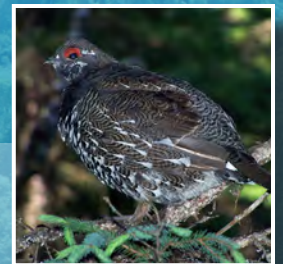


PROJET DUMONT NICKEL



DEMANDE DE PROLONGATION DE LA VALIDITÉ DU DÉCRET MINISTÉRIEL PROVINCIAL DU PROJET DUMONT 526-2015

RÉPONSES AUX QUESTIONS ET COMMENTAIRES DU MELCCFP — 1RE SÉRIE VOLUME 2



ANNEXE

R-8

ÉTUDE DE RÉFÉRENCE DE LA QUALITÉ
DE L'AIR POUR LE PROJET DE MINE
DUMONT EN ABITIBI, QUÉBEC
(sur clé USB seulement)

ANNEXE

R-11

UNPAVED ROAD FUGITIVE DUST
EMISSION REDUCTION ANALYSIS
AUGUST 29, 2012

(en anglais seulement)

632280-RPT-0001

Revision B

Royal Nickel Corporation Dumont Nickel Project

Unpaved Road Fugitive Dust Emission Reduction Analysis August 29, 2012

August 29, 2012

Revision Status

Revision	Date	Description	Author		Approver	
			FirstName LastName	Position Title	FirstName LastName	Position Title
A		Issued for internal review	Cameron Ross	Engineering Co-op	Harry H. Kim, P. Eng	General Manager
A4	July 16, 2012	Issued for Client Review				
B	August 29, 2012	Issued for Client Review				

Table of Contents

1	Introduction	1
2	Scope of Work	2
3	Methodology	2
4	Analysis and Results	3
4.1	RNC Haul Road Input Material	3
4.2	Field and Laboratory Analysis	3
4.3	Literature Analysis	5
4.3.1	Off-site Silt Content Review	5
4.3.2	Further Review	5
5	Recommendations	6
6	References	8

Figures

Figure 1.1 Dumont Project Location Map	1
Figure 4.1: The Perfect Gravel Road	6
Figure 5.1 Mobile Dust Emission Monitor by MRI	7

Tables

Table 4.1: Laboratory Test Results Summary	4
Table 4.2: South American Silt Contents	5

Appendix A – Laboratory Analysis

Appendix B – Literature Review

Appendix C – Attachment: Quebec Ministry of Transportation Tables

1. Introduction

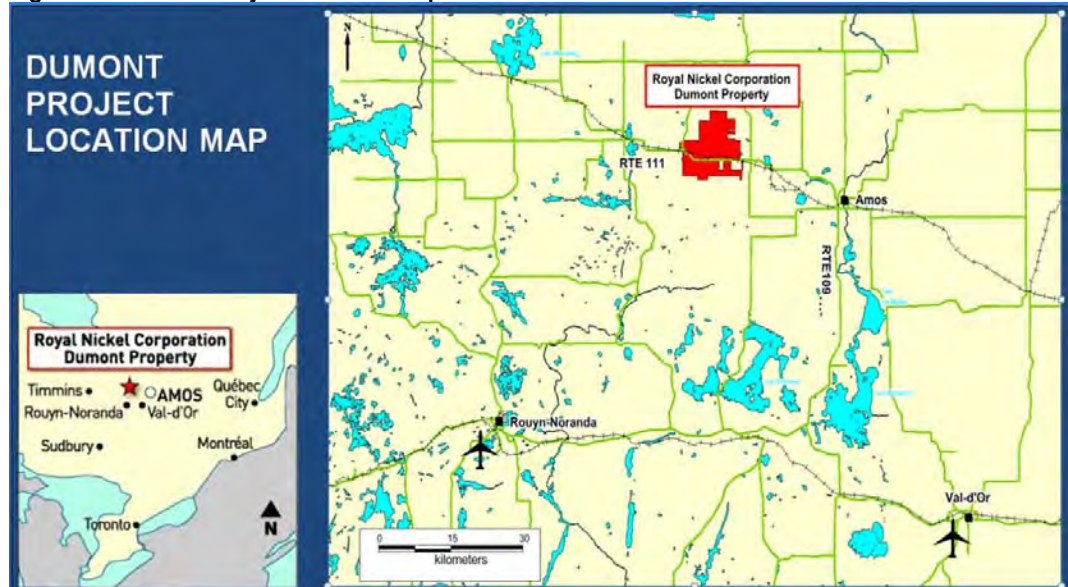
Royal Nickel Corporation (RNC) is a mineral resource company currently developing the Dumont Nickel Project. The project is located 25 kilometers northwest of the town of Amos in the province of Quebec, Canada in the established Abitibi mining camp. The project area lies between 310 and 350 meters above sea level.

The Dumont project is expected to produce 3.0 billion pounds payable nickel over 31 years of operation from the Dumont low-grade ultramafic nickel deposit [1]. In addition to nickel, SRK modelled the abundance distribution of seven other main elements: calcium, cobalt, chromium, iron, palladium, platinum and sulphur. The project consists of an open pit mine and an associated processing facility along with on-site and off-site infrastructure to support the operation. It is expected that 30% of the waste rock produced by the mine will be gabbro with excellent properties for use as a construction aggregate.

The project area geology consists of a layer of glacial overburden and swamp land overlying the bedrock which is approximately 30 m below the surface. The bedrock sill is considered to be a layered mafic-ultramafic intrusion and is comprised of a lower ultramafic zone and an upper mafic zone. The bedrock contains some gabbro and some extrusive volcanic rock.

The climate in the area is continental and varies throughout the year. The annual mean temperature is 1.2°C and ranges from -17.3°C in the winter months to +17.2°C in the summer months. The total average annual precipitation is 918 mm accumulating mainly in the form of rain with some snow. Mean calculated evaporation from lakes can range from 2.0-4.2 mm during the summer months. Wind speeds are generally low to moderate in the northwestern direction.

Figure 1.1 Dumont Project Location Map



2. Scope of Work

The Environment and Sustainability (E&S) division of Ausenco Engineering (Ausenco) was commissioned by RNC to provide third party opinion, analysis and consultation of fugitive dust dispersion modeling by GENIVAR to reduce high dust emission projections resulting from vehicle travel on the unpaved haul roads at the mine site. Ausenco was specifically asked to analyze the surface improvements to the unpaved haul road to lower emissions.

The Scope of work for this project included:

- Analyze GENIVAR's projected Air Dispersion Modeling preliminary results and recommendations [5] dated June 2012.
- Provide recommendations to lower emissions at the mine site specifically in the surface improvement area by determining a silt content of the real materials to be used for the road surface treatment in a cost effective and environmentally conscious way.
- Conduct a silt content analysis of gabbro and volcanics rock samples.
- Conduct literature review of the silt content and wear factors on the haul roads.

3. Methodology

According to the Quebec Ministry of Sustainable Development, Environment and Parks (MDDEP) the acceptable emission modeling methodologies include all air dispersion models found in "the latest edition of the United States Environmental Protection Agency (EPA) Guideline on Air Quality Models" [4].

The EPA has released guidelines outlining emission factor models in AP 42, Chapter 13: Miscellaneous Sources of Emissions on Unpaved Roads, Section 13.2.2 [8]. The report describes that when a vehicle travels on an unpaved road, the force of the wheels on the road causes pulverization of the road surface material. Particles are disturbed by the rolling wheels and exposed to turbulent air currents that continue to act on the road surface after the vehicle has passed. Therefore, the quantity of dust emissions from a segment of unpaved road varies with the volume of traffic. Other factors that can affect the amount of dust emissions include material characteristics, climate conditions, control measures in place, and frequency of disturbance [8].

In general there are three ways to control emissions: vehicle restrictions, surface improvements, and surface treatments. Due to the scope of work, this report focuses on surface improvements. It should be noted that vehicle restrictions and surface treatment can provide substantial reduction in fugitive dust emission.

The emission calculation model used in previous work by GENIVAR in June 2012 [5] follows EPA guidelines and is outlined below:

$$E = k (s/12)^a (W/3)^b \quad [8]$$

Where k, a, and b are empirical constants and

E = size-specific emission factor (lb/VMT)
s = surface material silt content (%)
W = mean vehicle weight (tons)

The model variables include surface silt content (s) and mean vehicle weight (W). The mean vehicle weight will change overtime with the weighted average becoming higher in later years of the mine life as production rate increases. This will result in an increase of emissions over time as a higher mean vehicle weight will increase the emission factor. Since the vehicle weight must increase to account for increases in production rates, the surface silt content factor is the important variable in this model. As the silt content of an unpaved road will vary with geographic location, the EPA recommends emissions should be measured from the project site. It notes that the silt content of the parent soil (or rock) in the area can be used as a conservative estimate but due to vehicle traffic disturbing the road, silt content decreases over time. For this reason EPA recommends testing for the silt content of the road surface 3 to 6 months following placement of the road surface to gain more accurate data [8].

In the circumstances of this project, the future emissions must be projected to determine mine design, because accurately measuring road surface silt content from the constructed roads is not possible. Emission projections attempt to predict the effects of future environmental conditions and emission controls such as biannual re-surfacing, precipitation, wind, vehicle traffic, erosion, and particle settlement. Thus, there will always be some uncertainty associated with any estimate of the emissions.

4. Analysis and Results

4.1 RNC Haul Road Input Material

RNC plans on using crushed waste rock for surface improvement and construction of the mine haul roads. It is projected that over 40% of the waste rock is gabbro which has excellent engineering properties [1]. There is also some volcanic waste rock that will be produced. The gabbro will be crushed in a two-stage plant utilizing a primary jaw crusher and secondary cone crusher. The crushed gabbro roadstone would be used as required to maintain a surface that will promote long tire life and high fleet productivity. A larger size fraction of 0-56mm will be used in the winter for increased traction and a smaller size fraction of 0-20mm will be used in the summer.

4.2 Field and Laboratory Analysis

Gabbro and volcanic core rock samples were collected from the Dumont Mine site, crushed, and tested by LMV Inc to determine the respective silt content. The samples were collected from drill core at various depths as outlined in the Appendix A in Table 1. The samples were crushed to 56 mm and 20 mm to simulate projected crushing schedules for winter and summer seasons respectively. The crushed samples were sieved following the Core Sample Laboratory Testing Schedule outlined in Appendix A. These guidelines are based off of three testing options: 1) EPA standards, 2) Quebec Ministry of Transportation (QMT) standards, and 3) projected site conditions of the haul

roads. The EPA standards test followed ASTM-C-136 sieve analysis method and involved dry sieving all crushed material without washing. The QMT standards test followed QMT guidelines and all crushed materials were washed on the 0.075mm sieve. The final test was used to simulate projected site conditions with pretreatment so crushed materials less than 2.36 mm were rejected and the remaining materials were dry sieved without washing.

The difference in methodologies between EPA standards and QMT standards resulted in the need to test for silt content by both standards for due diligence. The EPA standards must be followed according to the MDDEP [4] and require dry testing, where as the QMT standards require wet testing according to construction regulations. To align standards both parties can be contacted and made aware of conflicting regulations with the aim of changes occurring. Otherwise a compromise must be made between conflicting regulations.

The third testing option attempts to simulate haul road conditions as closely as possible by rejecting all fines before measuring silt content. The test was structured to project silt content levels if extensive aggregate pretreatment was completed before placing the road surface. Option 3 test data can be used as reference information but values should not be used in design models as they do not follow ministry regulations.

Results from the laboratory tests are summarized below, full results can be found in Appendix A in Table 3.

Table 4.1: Laboratory Test Results Summary

Methodology	Maximum Silt Content (%)	
	Gabbro	Volcanics
EPA Standards	0.1	0.2
QMT Standards	1.2	0.7
Projected Site Conditions	0	0

Silt content levels vary between methodologies and are highest when following QMT standards. The maximum silt content number in any of the tests was from the gabbro sample crushed to 20 mm, with a silt content of 1.2 %.

Two conclusions can be made from these results. Firstly, by crushing to a smaller fraction of 20 mm instead of 56 mm, more silt is produced. This means dust emissions will increase when roads are resurfaced using 20 mm roadstone. Secondly, the volcanics samples generally contain a lower silt content than the gabbro so may be better suited for road surfacing to reduce dust emissions.

Additionally, the silt content numbers were obtained from rock drill core so there may be as much as 25% more silt produced during blasting of the mine material that cannot be measured with a core sample. The silt content will also vary as coarser road material will be pulverized by vehicle traffic creating more fines content, new material will be used for resurfacing, and unbound fines will be lost as vehicle turbulence, precipitation, flooding, erosion, infiltration, and wind will transport the silt.

Please note this is a baseline study and a real laboratory emission analysis should be done on the road surface material 3 to 6 months after the road surface has settled as prescribed by EPA guidelines [8].

4.3 Literature Analysis

A literature review was carried out to determine the silt content of gabbro, other mining projects, and common silt content values geographically near the Dumont Mine site. By analyzing additional literature regarding fugitive dust emissions and silt content research a more accurate recommendation can be formed. It is important to note that the silt content and emissions vary greatly between geographical locations due to environmental conditions so collected information can only serve to aid in forming a more accurate silt content recommendation.

4.3.1 Off-site Silt Content Review

A list of Surface Material Silt Content by state prepared for the US National Emission Inventory was obtained from the EPA AP 42 report on unpaved roads and can be found in the Appendix B in Table 1. The average surface material silt content for the United States is 3.8% and the average for the 15 states north east of the Virginia's is 3.5% [9].

The 2006 EPA report on emission factors provides silt content ranges in a variety of industrial unpaved roads. These values range from 0.2% in the iron and steel production industry to 29% in the western surface coal mining industry and can be found in table 13.2.2-1 in the EPA AP42 report [8] and in Appendix B. These values vary by two magnitudes and therefore can only be used as broad range of silt content values. A mean silt content of 9.4% was calculated from the table from all types of industrial roads at 53 different plant sites across the United States.

Past Ausenco projects located in South America have provided some silt content values as seen in the table below. These values are located in a different geographical and environmental setting so should only be used to supplement other values found.

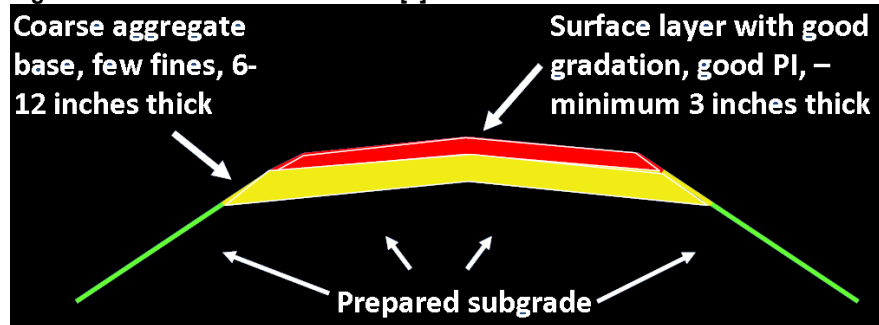
Table 4.2: South American Silt Contents

Location	Coordinates	Silt Content (%)
Santa Cruz - Argentina	X= 4.806.700 ; Y= 2.402.800	5% - 7%
Santa Cruz - Argentina	X= 4.664.868 ; Y= 2.606.835	3% - 4%
Santa Cruz - Argentina	X= 4.809.800 ; Y= 2.379.500	3% - 4%

4.3.2 Further Review

The 2008 conference on Road Dust Management Practices and Future Needs in San Antonio, Texas included a presentation on Unpaved Road Maintenance [6]. The presentation discusses how emissions are controlled by climatic conditions, traffic volume, and quality of surface gravel. It emphasizes that good surface gravel is key to reducing emissions. It discusses how surface aggregates must have fines with a good plasticity index to bind the surface. It recommends that the "perfect" gravel road follows the figure below.

Figure 4.1: The Perfect Gravel Road [6]



The Federation of Canadian Municipalities and the National Research Council produced a document on Dust Control for Unpaved Roads [3]. The report recommends that the use of dust suppressants to control dust emissions should only be considered once the road has adequate bearing capacity, drainage, and once surface-wearing materials have proper gradation and compaction. Inadequate bearing capacity results in deformation of the surface layer and leads to rapid disintegration of the road. Bearing capacity is controlled by cohesion and internal friction forces resulting from the attraction of compacted fine silt and clay particles and the ratio between fines and the coarse, interlocking, aggregate. The report discusses that road surface materials must have the proper gradation to ensure voids between larger aggregate materials are filled with fines. The report recommends a percent composition of 40-60% crushed coarse aggregate and 8-10% fines. It suggests including some clay in the fines to increase cohesion and stability, therefore reducing dust emissions. This aligns with Quebec Ministry of Transportation road foundation specifications outlined in Tableau 2102-1 in Appendix E.

5. Recommendations

Based on these results, it is recommended that several tasks be carried out to reduce the silt content and further predict fugitive dust emissions.

The unpaved road surface silt content will decrease with vehicle traffic due to removal of silt content from the road surface. Thus, consider performing a pilot test to more accurately determine the fugitive dust emissions. The pilot test would be able to account for factors that cannot be included in a theoretical model calculation. These factors could influence the emissions and return a more accurate result. It is specifically recommended by EPA that analysis of the pilot test material be performed 3-6 months after the test surface has been placed [7] as factors such as precipitation, wind, vehicle traffic, erosion, infiltration, and settlement would decrease the fine content in the placed surface material.

Ausenco recommends performing a pilot test 3 and 6 months after testable road surface has been placed. The surface should be subject to projected normal haul road vehicle traffic volumes and weights for the whole test period. During testing a mobile monitor is recommended to be used, in particular the Coarse Particle Cyclone Pre-Collector developed by MRI Global [2] as seen in Figure 5.1 below. The device monitors the vehicle travel speed and dust emission. Further collection and laboratory testing of surface materials would determine real silt content values. Results from the pilot test would more accurately predict dust emissions and silt contents and also allow for optimization of resurfacing frequency and material gradation.

Figure 5.1 Mobile Dust Emission Monitor by MRI [2]



Coarse Particle Cyclone Pre-collector with PM-10 Back-up Filter (40 cfm)

Based on laboratory testing and literature review results Ausenco recommends using a surface silt content of 1.5 for gabbro and 1.0 for volcanic in fugitive dust emission projection modeling if surface material pretreatment is used. If pretreatment is not used a conservative estimate of 2.0 for gabbro and 1.5 for volcanics is suggested.

Surface material pretreatment should include sieving the crushed aggregate material to screen out some silt using a crushing and sieving plant. Mechanical vibration sieving is highly recommended over washing because washing may remove required fine materials required by Quebec Ministry of Transportation (see Appendix E).

Consider using a mixture of crushed gabbro aggregate material with excellent engineering properties, crushed volcanic aggregate material with lower silt content, and a percentage of clay fines to increase adhesion of surface material. It is important to note that silt content reduction will be a surface improvement. If necessary, alternative fugitive dust suppression strategies could be considered such as oil, polymer, and water surface dust suppressants that will increase cohesion and decrease turbulence.

Polymers such as calcium and ammonium lingosulfonates are natural dust suppressants that are recovered from the sulfite pulping process. They would assist in decreasing emissions without the environmental concerns of using a petroleum based product. The substance is sprayed in light applications onto roads and creates an adhesive film that binds particles together and resists rain washout.

Water surface treatment using water trucks would pose little environmental risk and would temporarily reduce emissions but would need regular application to maintain dust suppression. Furthermore, dust controller turbines which generate dust-bonding mist could also aid in dust suppression.

These and any other alternatives for dust suppression techniques should be further evaluated in the context of compliance with local regulations and site specific needs.

References

- [1] Ausenco Solutions Canada Inc. (22 June 2012). *NI43-101 Technical Report on the Dumont Project, Launay and Trecsson Townships, Quebec, Canada (2139-RPT-003)*. Launay and Trecsson Townships, Quebec, Canada.
- [2] Cowherd, C. (13 November 2008). Road Dust Control Performance Monitoring. Kansas City , Missouri, United States. Retrieved 10 July 2012, from http://www.meetingsnorthwest.com/Event%20Archive/dustconf/Proceedings/Cowherd_presentation.pdf
- [3] Federation of Canadian Municipalities. (October 2005). *Dust Control for Unpaved Roads*. Federation of Canadian Municipalities- Infraguide. Retrieved 10 July 2012, from http://www.fcm.ca/Documents/reports/Infraguide/Dust_Control_for_Unpaved_Roads_EN.pdf
- [4] Gazette Officielle du Quebec. (2005). *Volume 127 No. 46 Environmental Quality Act-Air Quality Regulation*. Quebec City: Quebec Ministry of Sustainable Development, Environment, and Parks. Retrieved 10 July 2012, from <http://www.mddep.gouv.qc.ca/air/atmosphere/reg-assain-air-en.pdf>
- [5] Rheaume, P. (June 2012). Air Dispersion Modelling Presentation for Project Dumont. Genivar.
- [6] Skorseth, K. (13 November 2008). Unpaved Road Maintenance. San Antonio, Texas, United States. Retrieved 10 July 2012, from http://www.meetingsnorthwest.com/Event%20Archive/dustconf/Proceedings/Skorseth_presentation.pdf
- [7] U.S. Environmental Protection Agency. (July 1993). *Appendix C.2 Procedures for Laboratory Analysis of Surface/Bulk Dust Loading Samples*. Retrieved 10 July 2012, from <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/appendix/app-c2.pdf>
- [8] U.S. Environmental Protection Agency. (November 2006). *Emission Factors & AP 42, Fifth Edition, Volume I Chapter 13: Miscellaneous Sources Unpaved Roads*. Retrieved 10 July 2012, from <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/final/c13s0202.pdf>
- [9] US Environmental Protection Agency. (December 2003). *AP 42 Section 13.2.2 Unpaved Roads - Related Information*. Technology Transfer Network Clearinghouse for Inventories & Emissions Factors. Retrieved 10 July 2012, from <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/related/c13s02-2.html>

Appendix A – Laboratory Analysis

Table 1- Site Core Sample Information

HOLE NUMBER	Depth from (m)	Depth to (m)	SAMPLE NUMBER	Rock Type	Size
08-RN-81	15	16.05	08-RN-81-2-LVM007	volcanics	nq
08-RN-81	90	91.03	08-RN-81-2-LVM008	volcanics	nq
11-RN-248	27	27.65	11-RN-248-7A-LVM003	gabbro	hq
11-RN-248	66	66.7	11-RN-248-7A-LVM004	gabbro	hq
11-RN-252	333	333.7	11-RN-252-7A-LVM001	gabbro	hq
11-RN-252	119.35	120	11-RN-252-7A-LVM002	gabbro	hq
11-RN-383	24	25.07	11-RN-383-2-LVM005	volcanics	nq
11-RN-383	70.85	72	11-RN-383-2-LVM006	volcanics	nq

Core Sample Laboratory Testing Schedule

Table 2- Laboratory Testing Schedule

Group/hole #	Lab Sample #	Sample Description	Rock Type	Core	Crush to (mm)	# of Samples (names)
A/11-RN-252	1	11-RN-252-7A-LVM001	Gabbro	HQ	56	3 (A1,A2,A3)
	2	11-RN-252-7A-LVM002	Gabbro	HQ	20	
	3	Combined from the split	Gabbro	HQ	20	
B/11-RN-248	4	11-RN-248-7A-LVM003	Gabbro	HQ	56	3 (B1,B2,B3)
	5	11-RN-248-7A-LVM004	Gabbro	HQ	20	
	6	Combined from the split	Gabbro	HQ	56	
C/11-RN-383	7	11-RN-383-2-LVM005	Volcanics	NQ	56	3 (C1,C2,C3)
	8	11-RN-383-2-LVM006	Volcanics	NQ	20	
	9	Combined from the split	Volcanics	NQ	20	
D/08-RN-81	10	08-RN-81-2-LVM007	Volcanics	NQ	56	3 (D1,D2,D3)
	11	08-RN-81-2-LVM008	Volcanics	NQ	20	
	12	Combined from the split	Volcanics	NQ	56	

General Procedure:

1. Take core samples for each group (A,B OR C) separately and split each paired sample into 3 samples of equal mass in equal proportion. Crush to designated size as per table 1 (e.g. sample 1 are crushed to 56 mm and & sample 2 are crushed to 20 mm) for each group (A, B, or C) separately.
2. Test each group of samples according to testing option guidelines below

Testing Option Guidelines

Option 1 – EPA Standard Test ASTM-C-136

- Sieve and measure silt content according to EPA standards (ASTM-C-136)

Option 2 – Quebec Ministry of Transportation (QMT)

- Sieve according to QMT Specifications for Unpaved Haul Roads and measure silt contents (minus #200 sieve) by washing.

Option 3 – Projected Site Conditions (to simulate conditions on haul roads at site)

- Sieve samples rejecting particles less than 2.36mm.
- Measure 2.36-56mm and 2.36-20mm silt contents (minus #200 sieve) using dry samples.

Table 3 – Laboratory Results

Group/Hole #	Lab Sample #	Sample Description	Rock Type	Core	Crush to (mm)	Silt and Clay (%)	Testing Option
A/11-RN-252	1	11-RN-252-7A-LVM001	Gabbro	HQ	56	0.1	1
	2	11-RN-252-7A-LVM002	Gabbro	HQ	20	0.8	2
	3	Combined from split	Gabbro	HQ	20	0	3
B/11-RN-248	4	11-RN-248-7A-LVM003	Gabbro	HQ	56	0.1	1
	5	11-RN-248-7A-LVM004	Gabbro	HQ	20	1.2	2
	6	Combined from split	Gabbro	HQ	56	0	3
C/11-RN-383	7	11-RN-383-2-LVM005	Volcanics	NQ	56	0	1
	8	11-RN-383-2-LVM006	Volcanics	NQ	20	0.5	2
	9	Combined from split	Volcanics	NQ	20	0	3
D/08-RN-81	10	08-RN-81-2-LVM007	Volcanics	NQ	56	0.2	1
	11	08-RN-81-2-LVM008	Volcanics	NQ	20	0.7	2
	12	Combined from split	Volcanics	NQ	56	0	3

Appendix B – Literature Review

Table 1: Unpaved Road Surface Material Silt Content Values Used in the 1999 NEI [9]

State	Unpaved Road Surface Material Silt Content (%)	NE States
Alabama	3.9	
Alaska	3.8	
Arizona	3.0	
Arkansas	3.9	
California	2.6	
Colorado	1.5	
Connecticut	3.9	x
Delaware	3.9	x
DC	0.0	
Florida	3.9	
Georgia	3.9	
Hawaii	3.8	
Idaho	3.9	
Illinois	2.6	
Indiana	2.6	
Iowa	2.5	
Kansas	3.9	
Kentucky	3.9	
Louisiana	3.9	
Maine	3.9	x
Maryland	3.9	x
Massachusetts	3.9	x
Michigan	2.6	x
Minnesota	2.7	x
Mississippi	3.9	
Missouri	6.5	
Montana	6.6	
Nebraska	4.2	
Nevada	1.7	
New Hampshire	3.9	x
New Jersey	3.9	x
New Mexico	4.3	
New York	4.7	x
North Carolina	5.1	
North Dakota	3.9	
Ohio	3.1	
Oklahoma	4.4	
Oregon	7.2	
Pennsylvania	3.3	x
Rhode Island	3.9	x
South Carolina	3.9	
South Dakota	3.1	

State	Unpaved Road Surface Material Silt Content (%)	NE States
Tennessee	2.0	
Texas	5.6	
Utah	3.9	
Vermont	3.9	x
Virginia	3.2	
Washington	3.9	x
West Virginia	3.9	
Wisconsin	4.2	x
Wyoming	7.1	
Total Average	3.8	
North Eastern Average	3.5	

Table 13.2.2-1 Typical Silt Content Values of Surface Material on Industrial Unpaved Roads [8]

Industry	Road Use Or Surface Material	Plant Sites	No. Of Samples	Silt Content (%)	
				Range	Mean
Copper smelting	Plant road	1	3	16 - 19	17
Iron and steel production	Plant road	19	135	0.2 - 19	6.0
Sand and gravel processing	Plant road	1	3	4.1 - 6.0	4.8
	Material storage area	1	1	-	7.1
Stone quarrying and processing	Plant road	2	10	2.4 - 16	10
	Haul road to/from pit	4	20	5.0-15	8.3
Taconite mining and processing	Service road	1	8	2.4 - 7.1	4.3
	Haul road to/from pit	1	12	3.9 - 9.7	5.8
Western surface coal mining	Haul road to/from pit	3	21	2.8 - 18	8.4
	Plant road	2	2	4.9 - 5.3	5.1
	Scraper route	3	10	7.2 - 25	17
	Haul road (freshly graded)	2	5	18 - 29	24
Construction sites	Scraper routes	7	20	0.56-23	8.5
Lumber sawmills	Log yards	2	2	4.8-12	8.4
Municipal solid waste landfills	Disposal routes	4	20	2.2 - 21	6.4

Appendix C – Quebec Ministry of Transportation Tables

Titre VII	Chapitre 2	Norme 2102
	Page 2	de 2
Date 2001 12 15		

2.1 Granulats	
Matériaux granulaires pour fondation, sous-fondation, couche de roulement granulaire et accotement	
Sous-traitance autorisée Direction générale des infrastructures et des technologies Ministère des Transports, M. Ing.	

NORME

Tableau 2102-1

Fuseaux granulométriques de spécification pour fondation, sous-fondation, couche de roulement granulaire et accotement

Matériaux granulaires	Principales utilisations	Tamis en (mm)									Tamis en (µm)	
		112	80	56	40	31,5	20	14	5	1,25	315	80
		(% passant)										
MG 20	Fondation					100	90-100	68-93	35-60	19-38	9-17	2,0-7,0
MG 20b	Couche de roulement, accotement					100	90-100	68-93	35-60	19-38	9-17	5,0-11,0
MG 40	Fondation			100	90-100	75-95	—	50-80	30-55	15-36	7-18	2,0-7,0
MG 56	Fondation, sous- fondation, couche de transition		100	82-100	—	55-85	—	—	25-50	11-30	4-18	2,0-7,0
MG 80	Sous-fondation, couche de transition	100	80-100	60-85	—	35-60	—	23-45	12-29	5-17	1-10	0-10,0
MG 112	Sous-fondation	100	—	—	—	—	—	—	12-100	—	—	0-10,0

Tableau 2102-2

Catégories de gros granulats pour fondation, couche de roulement granulaire et accotement

Caractéristiques intrinsèques	5
Caractéristiques de fabrication	e

Tableau 2102-3

Catégorie de gros granulats pour sous-fondation

Caractéristiques intrinsèques	6
Caractéristiques de fabrication	—

Tableau 2102-4

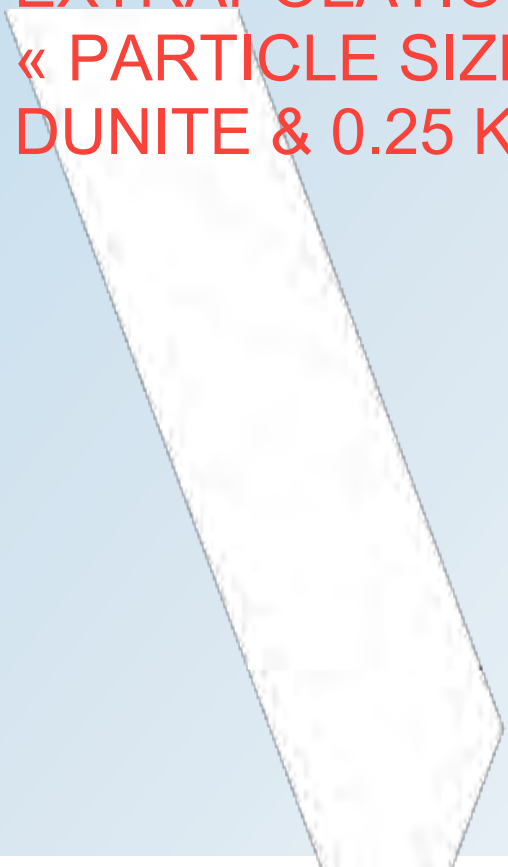
Caractéristiques complémentaires des granulats pour fondation, sous-fondation, couche de roulement granulaire et accotement

Caractéristiques complémentaires	Méthodes d'essais	Exigence
Matières organiques (%) (gravière et sablière seulement)	LC 31-22B	≤ 0,8
Valeur au bleu (gravière et sablière seulement)	(LC 21-255)	≤ 0,20

ANNEXE

R-12

EXTRAPOLATION DE LA COURBE
« PARTICLE SIZE DISTRIBUTION FOR
DUNITE & 0.25 KG/T »



Extrapolation de la courbe « Particle Size Distribution for Dunite & 0.25 kg/t »

Objectifs :

Digitaliser le graphique et extrapoler le % cumulatif pour une taille de particule de 75 microns.

Document source :

Ausenco_Dumont PFS_Draft 3Feb_FINAL DRAFT.pdf

Page 10-9, figure 10-3

Logiciels utilisés :

- ≠ GetData Graph Digitizer 2.24 (digitalisation et récupération des points de la courbe)
- ≠ Excel 2007 (traçage de la courbe et évaluation d'une courbe de tendance pour extrapolation).

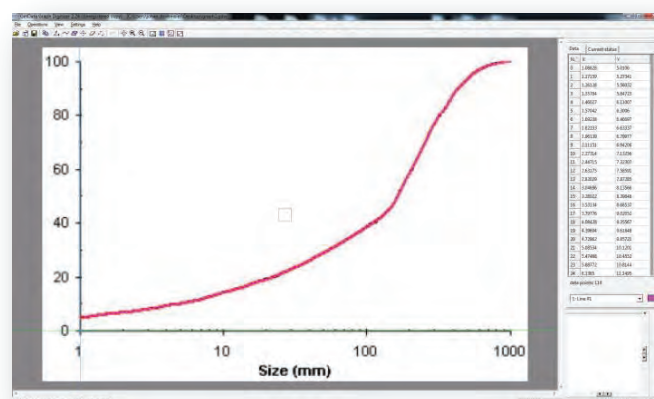


Figure 1 : Étape de digitalisation et récupération des points de la courbe avec GetData Graph Digitizer 2.24.

Parmi tous les types de courbes de tendance disponibles, seule le type de régression « puissance » offre une bonne approximation et représentation des valeurs dans la partie de la courbe qui nous intéresse, c'est-à-dire proche de l'axe des abscisses (figure 2). L'équation de la courbe de tendance fournie par Excel est la suivante :

$$y = 4.7942x^{0.468}$$

Cette équation de la courbe de tendance est **très bien représentative de la courbe pour des tailles de particule de 100 mm et moins.**

D'après cette équation, **des particules de 75 microns présentent un pourcentage cumulative de diffusion de 1.4264 %.**

Pour des particules de 100 mm à 1000 mm environ, la courbe de tendance de type polynomiale d'ordre 3 est préférée (figure 3). Son équation est la suivante :

$$y = 2e^{-7}x^3 - 0.0004x^2 + 0.3264x + 9.6406$$

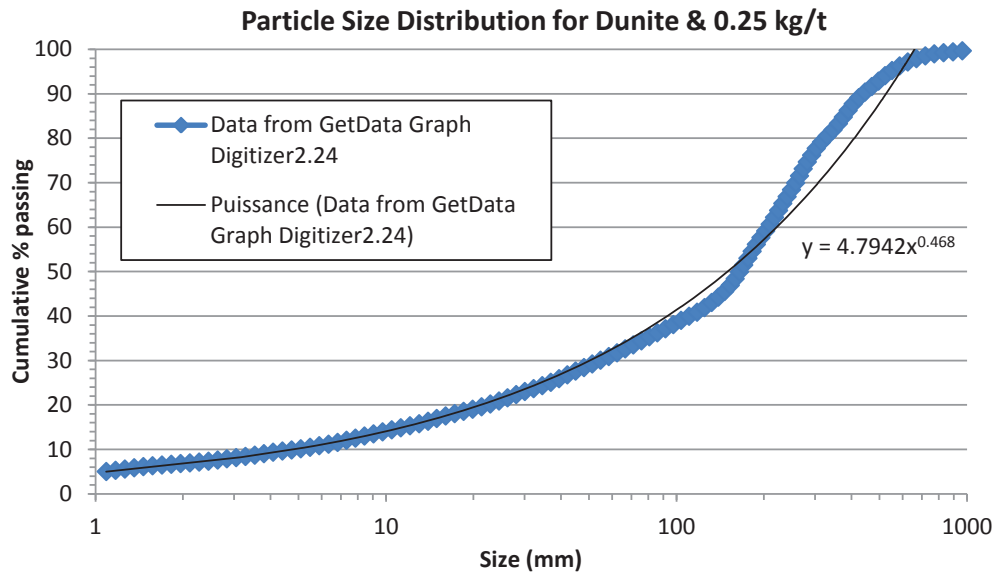


Figure 2 : Courbe tracé avec Excel et ajout d'une courbe de tendance de type puissance (taille de particule < 100 mm).

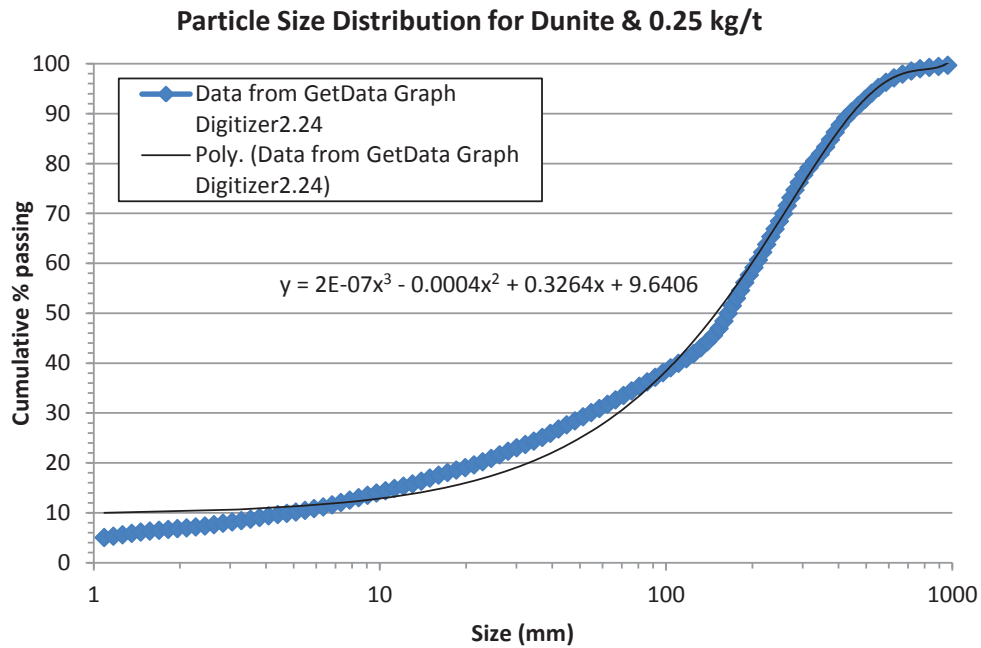
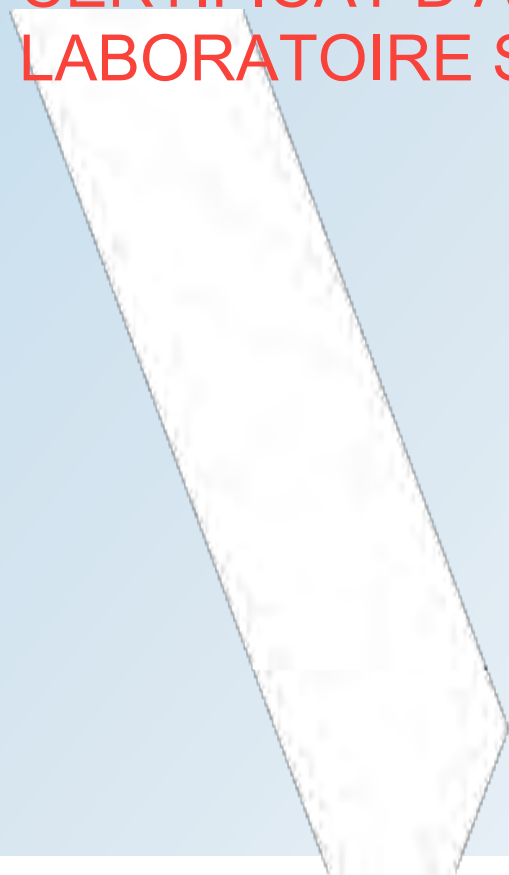


Figure 3 : Courbe tracé avec Excel et ajout d'une courbe de tendance de type polynomiale d'ordre 3 (100 mm < taille de particule < 1000 mm).

ANNEXE

R-15

CERTIFICAT D'ANALYSE DU
LABORATOIRE SGS CANADA INC.



**SGS Canada Inc.**

P.O. Box 4300 - 185 Concession St.

Lakefield - Ontario - K0L 2H0

Phone: 705-652-2019 FAX: 705-652-3123

Magneto Investments LP

Attn : Arnaud Fontaine

42 rue Trudel
Amos, Quebec
, Canada

Phone:

Fax:

13-November-2024

Date Rec. : 25 November 2022

LR. Ref. : MI4545-NOV22

Project : CA20I-00000-110-152
48-02

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Sample ID	% SiO2 Alpha-quartz
10: 12-RN-409-QQ-01	29.8
11: 12-RN-409-QQ-05	0.6
12: 12-RN-409-QQ-07	9.1
13: 12-RN-409-QQ-09	6.1
14: 12-RN-409-QQ-11	0.1
15: 12-RN-409-QQ-13	0.2
16: 12-RN-409-QQ-15	0.3

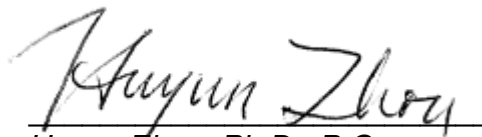
Note:

SiO₂ (alpha quartz) determination is made by semi-quantitative X-ray diffraction analysis using the standard addition procedure.

Accuracy is +/- 10% relative to the reported value.

detection limit 0.1%

Peak overlaps in the diffractograms may also affect the accuracy of these analyses.

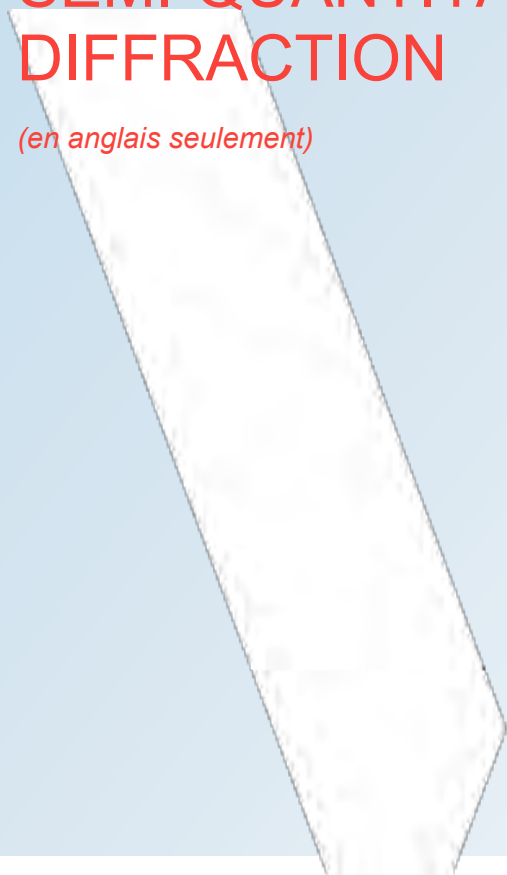

Huyun Zhou, Ph.D., P.Geo.
XRD Mineralogist

ANNEXE

R-16

SEMI-QUANTITATIVE X-RAY DIFFRACTION

(en anglais seulement)





Semi-Quantitative X-Ray Diffraction

Report Prepared for: Metallurgical Operations

Project Number/ LIMS No. 15248-04/MI4513-SEP23

Sample Receipt: September 13, 2023

Sample Analysis: September 20, 2023

Reporting Date: October 13, 2023

Instrument: BRUKER AXS D8 Advance Diffractometer

Test Conditions: Co radiation, 35 kV, 40 mA; Detector: LYNXEYE
Regular Scanning: Step: 0.02°, Step time: 0.2s, 2θ range: 6-70°

Interpretations : PDF2/PDF4 powder diffraction databases issued by the International Center for Diffraction Data (ICDD). DiffracPlus Eva software.

Detection Limit : 0.5-2%. Strongly dependent on crystallinity.

Contents:

- 1) Method Summary
- 2) Summary of Mineral Assemblages
- 3) Semi-Quantitative XRD Results
- 4) Chemical Balance(s)
- 5) XRD Pattern(s)

Kim Gibbs, H.B.Sc., P.Geol.
Senior Mineralogist

Huiyun Zhou, Ph.D., P.Geol.
Senior Mineralogist

ACCREDITATION: SGS Natural Resources Lakefield is accredited to the requirements of ISO/IEC 17025 for specific tests as listed on our scope of accreditation, including geochemical, mineralogical and trade mineral tests. To view a list of the accredited methods, please visit the following website and search SGS Canada Inc. - Minerals: <https://www.scc.ca/en/search/palcan>.



Method Summary

The Semi-Quantitative Mineral Identification by XRD (ME-LR-MIN-MET-MN-D03) method used by SGS Natural Resources is accredited to the requirements of ISO/IEC 17025.

Mineral Identification and Interpretation:

Mineral identification and interpretation involve matching the diffraction pattern of a test sample material to patterns of single-phase reference materials. The reference patterns are compiled by the Joint Committee on Powder Diffraction Standards - International Center for Diffraction Data (JCPDS-ICDD) and released on software as a database of Powder Diffraction Files (PDF).

Interpretations do not reflect the presence of non-crystalline and/or amorphous compounds. Mineral proportions are based on relative peak heights and may be strongly influenced by crystallinity, structural group or preferred orientations. Interpretations and relative proportions should be accompanied by supporting petrographic and geochemical data (Whole Rock Analysis, Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectroscopy, etc.).

Semi-Quantitative Analysis:

The Semi-Quantitative analysis (RIR method) is performed based on each mineral's relative peak heights and of their respective I/I_{cor} values, which are available from the PDF database. Mineral abundances for the bulk sample (in weight %) are generated by Bruker-EVA Software. These data are reconciled with a bulk chemistry (e.g. whole rock analysis including SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O , K_2O , CaO , MgO , Fe_2O_3 , Cr_2O_3 , MnO , TiO_2 , P_2O_5 , V_2O_5 or other chemical data). A chemical balance table shows the difference between the assay results and elemental concentrations determined by XRD.

DISCLAIMER: This document is issued by the Company under its General Conditions of Service accessible at <http://www.sgs.com/en/Terms-and-Conditions.aspx>. Attention is drawn to the limitation of liability, indemnification and jurisdiction issues defined therein. Any holder of this document is advised that information contained hereon reflects the Company's findings at the time of its intervention only and within the limits of Client's instructions, if any. The Company's sole responsibility is to its Client and this document does not exonerate parties to a transaction from exercising all their rights and obligations under the transaction documents. Any unauthorized alteration, forgery or falsification of the content or appearance of this document is unlawful and offenders may be prosecuted to the fullest extent of the law.

WARNING: The sample(s) to which the findings recorded herein (the "Findings") relate was(were) drawn and / or provided by the Client or by a third party acting at the Client's direction. The Findings constitute no warranty of the sample's representativeness of any goods and strictly relate to the sample(s). The Company accepts no liability with regard to the origin or source from which the sample(s) is/are said to be extracted.

Summary of Semi-Quantitative X-Ray Diffraction Results

Crystalline Mineral Assemblage (relative proportions based on peak height)

Sample	Major (>30% Wt)	Moderate (10% -30% Wt)	Minor (2% -10% Wt)	Trace (<2% Wt)
(1) SGS Conc Lab Head	pentlandite	magnetite, serpentine	cobaltpentlandite, violarite, brucite	*quartz, *cobaltite, *chromite

* tentative identification due to low concentrations, diffraction line overlap or poor crystallinity

Mineral	Composition
Brucite	Mg(OH) ₂
Chromite	FeCr ₂ O ₄
Cobaltite	(Co,Fe)AsS
Cobaltpentlandite	(Fe,Co,Ni) ₉ S ₈
Magnetite	Fe ₃ O ₄
Pentlandite	(Fe,Ni) ₉ S ₈
Quartz	SiO ₂
Serpentine	Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄
Violarite	FeNi ₂ S ₄



Semi-Quantitative X-ray Diffraction Results

Mineral	SGS Conc Lab Head (wt %)
Pentlandite	47.4
Magnetite	26.2
Antigorite	13.3
Cobaltpentlandite	4.2
Brucite	3.2
Violarite	2.2
Cobaltite	1.5
Quartz	1.2
Chromite	0.9
TOTAL	100



Chemical Balance

SGS Conc Lab Head

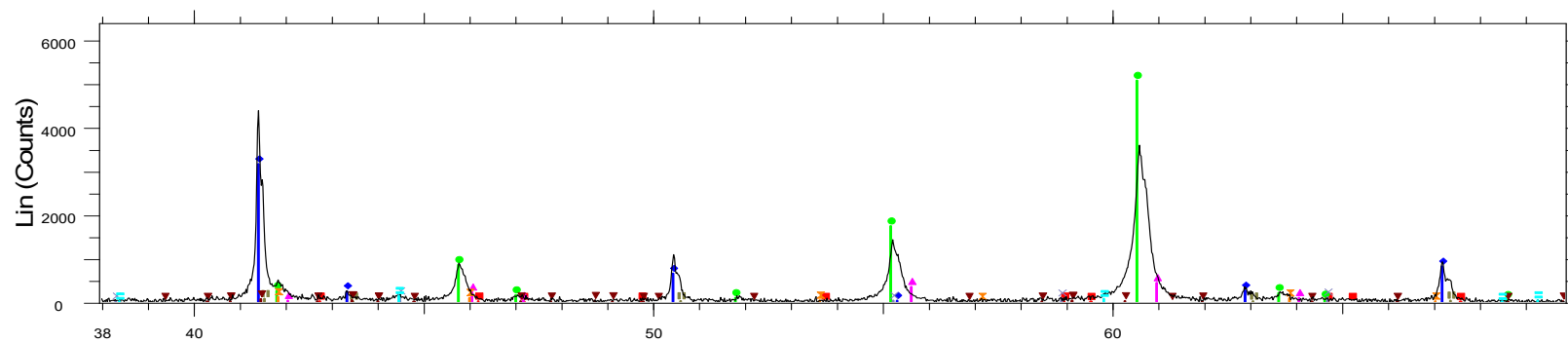
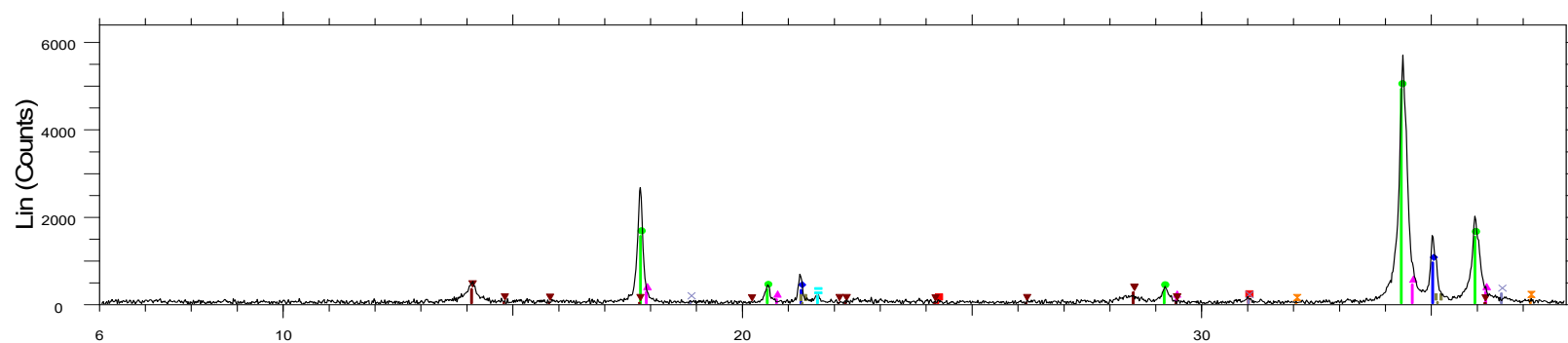
Name	Assay ¹	SQD ²	Delta	Status
Iron	33.8	35.6	-1.78	Both
Oxygen	-	16.8	-	SQD
Nickel	20.2	18.3	1.95	Both
Sulfur	17.9	18.3	-0.43	Both
Magnesium	4.06	4.82	-0.76	Both
Silicon	3.09	3.27	-0.18	Both
Cobalt	1.57	1.59	-0.02	Both
Carbon	0.52	-	-	Assay
Chromium	0.27	0.40	-0.14	Both
Aluminum	0.15	-	-	Assay
Calcium	0.14	-	-	Assay
Manganese	0.11	-	-	Assay
Copper	0.06	-	-	Assay
Zinc	0.02	-	-	Assay
Titanium	0.01	-	-	Assay
Hydrogen	-	0.30	-	SQD
Arsenic	-	0.67	-	SQD

1. Values measured by chemical assay. Reported in weight percent.

2. Values calculated based on mineral/compound formulas and quantites identified by semi-quantitative XRD.



SGS Conc Lab Head



2-Theta - Scale

SGS Conc Lab Head - File: SEP4513-1.raw

Operations: Enh. Background 0.000,1.000 | Import

01-079-1910 (C) - Quartz - SiO₂

01-076-1849 (C) - Magnetite - Fe₃O₄

01-086-2468 (C) - Pentlandite - from Frood mine, Sudbury, Ontario - Fe_{4.40}Ni_{4.57}Co_{0.03}S₈

00-012-0723 (I) - Cobaltpentlandite - (Co,Fe,Ni)₉S₈

01-076-1872 (C) - Cobaltite - CoAsS

00-047-1740 (*) - Violarite - FeNi₂S₄

00-034-0140 (*) - Chromite, syn - FeCr₂O₄

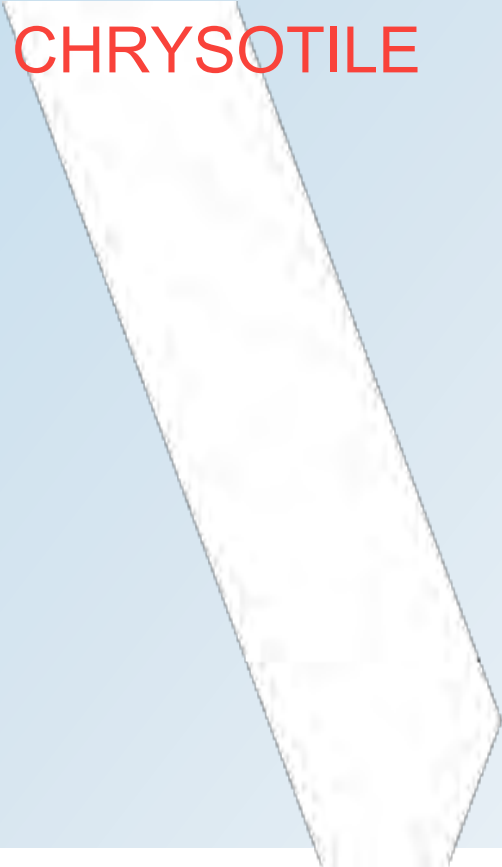
00-044-1447 (N) - Antigorite - Mg₃Si₂O₅(OH)₄

01-074-2220 (C) - Brucite - Mg(OH)₂

ANNEXE

R-17

DOCUMENTS DEMANDÉS —
CHRYSOTILE



R-17-1 *RAPPORT DE
QUANTIFICATION DU
CHRYSOTILE*



Royal Nickel Corporation

Rapport de Quantification du Chrysotile

07 novembre 2013

Projet Dumont; Amos, Qc.

07 novembre 2013

CERTIFICAT DE QUALIFICATION

Robert Cloutier

Je suis un citoyen canadien, résidant au 81 rue Germain, Amos, Québec, J9T 4J4, Canada certifie par la présente que :

1. Je suis gradué de l'Université de Montréal en 1986 avec le diplôme de bachelier (Bs.C) en Géologie.
2. Je pratique ma profession depuis 1986 en exploration et production minières avec une interruption de 7ans entre 2000 et 2007.
3. Je suis membre en règle de l'Ordre des Géologues du Québec (OGQ) depuis 2008, sous le numéro de membre 1233
4. Je travaille, à temps plein, pour la société Royal Nickel Corporation depuis 2007 à titre de géologue puis de géologue sénior.
5. Je reçois de mon employeur, à titre incitatif, des options d'achat d'actions dans la compagnie Royal Nickel Corporation.
6. Je suis co-auteur du rapport *Rapport de Quantification du Chrysotile, 15 avril 2013* et j'assume les responsabilités de tous les aspects géologiques de ce rapport.
7. J'ai supervisé le travail des professionnels de Royal Nickel Corporation qui ont travaillé à la compilation, l'interprétation et la rédaction de ce rapport.
8. Je travaille sur le projet Dumont depuis 2007, j'ai visité la propriété et j'ai examiné la carotte de forage du projet Dumont.
9. Le contenu de ce rapport est fondé sur mon expérience personnelle de la propriété Dumont et résume fidèlement les travaux effectués. Cette étude est valable dans les limites de mes qualifications et de mon expérience professionnelle.
10. Je consens à l'utilisation de mon nom en regard de ce rapport.

EN FOI DE QUOI, je signe à Amos, ce 07 novembre 2013



Robert Cloutier , géo

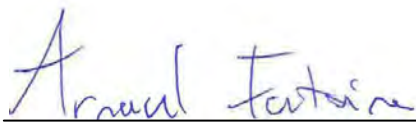
CERTIFICAT DE QUALIFICATION

Arnaud Fontaine

Je soussigné, Arnaud Fontaine, géo. stag., domicilié au 93, 3^e Avenue Ouest, Amos, Québec, Canada, J9T 1R5, certifie par la présente que :

1. Je travaille pour la compagnie Royal Nickel Corporation, 42 rue Trudel, Amos, Québec, Canada, J9T 4N1, depuis 2011 à titre de Géologue Stagiaire.
2. Je suis diplômé de l'Université de Québec à Montréal et détiens un Baccalauréat en Sciences de la Terre et de l'Atmosphère (2012) en concentration Géologie.
3. Je suis membre stagiaire de l'Ordre des Géologues du Québec depuis 2012, sous le numéro de membre 1608.
4. Je pratique ma profession dans le domaine de la géologie et de l'exploration minérale au Canada depuis 2011.
5. Je suis co-auteur du rapport intitulé *Rapport de Quantification du Chrysotile, 15 avril 2013*, et j'assume les responsabilités de tous les aspects géologiques de ce rapport.
6. J'ai participé aux activités reliées au projet Dumont depuis les 2 dernières années, j'ai examiné de la carotte de forage de la propriété et j'ai visité la propriété. Ce rapport est fondé sur mon expérience personnelle de la région, sur des rapports de travaux et sur des cartes disponibles ainsi que sur des travaux que j'y ai effectués.
7. En autant que je le sache, il n'y a aucun fait substantiel ou changement significatif en ce qui concerne le sujet du rapport qui ne serait pas reflété dans le rapport mentionné.

EN FOI DE QUOI, je signe à Amos, ce 07 novembre 2013



Arnaud Fontaine, géo. stag., B. Sc.
Géologue d'exploration – Projet Dumont
Royal Nickel Corporation

CERTIFICAT DE QUALIFICATION

Brian Bélisle

Je soussigné, Brian Bélisle, géo. stag., domicilié au 281, rue Marchildon, Amos, Québec, Canada, J9T 4G5, certifie par la présente que :

1. Je travaille pour la compagnie Royal Nickel Corporation, 42 rue Trudel, Amos, Québec, Canada, J9T 4N1, depuis 2011 à titre de Géologue Stagiaire.
2. Je suis diplômé de l'Université de Québec à Montréal et détiens un Baccalauréat en Sciences de la Terre et de l'Atmosphère (2010) en concentration Géologie.
3. Je suis membre stagiaire de l'Ordre des Géologues du Québec depuis 2011, sous le numéro de membre 1529.
4. Je pratique ma profession dans le domaine de la géologie et de l'exploration minérale au Canada depuis 2011.
5. Je suis co-auteur du rapport intitulé *Rapport de Quantification du Chrysotile, 15 avril 2013*, et j'assume les responsabilités de tous les aspects géologiques de ce rapport.
6. J'ai participé aux activités reliées au projet Dumont depuis les 2 dernières années, j'ai examiné de la carotte de forage de la propriété et j'ai visité la propriété. Ce rapport est fondé sur mon expérience personnelle de la région, sur des rapports de travaux et sur des cartes disponibles ainsi que sur des travaux que j'y ai effectués.
7. En autant que je le sache, il n'y a aucun fait substantiel ou changement significatif en ce qui concerne le sujet du rapport qui ne serait pas reflété dans le rapport mentionné.

EN FOI DE QUOI, je signe à Amos, ce 07 novembre 2013



Brian Bélisle. stag., B. Sc.
Géologue d'exploration – Projet Dumont
Royal Nickel Corporation

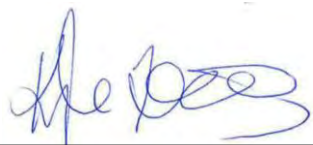
CERTIFICAT DE QUALIFICATION

Kyle Fournier

Je soussigné, Kyle Fournier, géo. stag., domicilié au 44, 2^e Avenue Est, Amos, Québec, Canada, J9T 1G4, certifie par la présente que :

1. Je travaille pour la compagnie Royal Nickel Corporation, 42 rue Trudel, Amos, Québec, Canada, J9T 4N1, depuis 2011 à titre de Géologue Stagiaire.
2. Je suis diplômé de l'Université de Toronto et détiens un Baccalauréat en Sciences spécialisé en Géologie (2009).
3. Je suis membre stagiaire de l'Ordre des Géologues du Québec depuis 2012, sous le numéro de membre 1582.
4. Je pratique ma profession dans le domaine de la géologie et de l'exploration minérale au Canada depuis 2011.
5. Je suis co-auteur du rapport intitulé *Rapport de Quantification du Chrysotile, 15 avril 2013*, et j'assume les responsabilités de tous les aspects géologiques de ce rapport.
6. J'ai participé aux activités reliées au projet Dumont depuis les 2 dernières années, j'ai examiné de la carotte de forage de la propriété et j'ai visité la propriété. Ce rapport est fondé sur mon expérience personnelle de la région, sur des rapports de travaux et sur des cartes disponibles ainsi que sur des travaux que j'y ai effectués.
7. En autant que je le sache, il n'y a aucun fait substantiel ou changement significatif en ce qui concerne le sujet du rapport qui ne serait pas reflété dans le rapport mentionné.

EN FOI DE QUOI, je signe à Amos, ce 07 novembre 2013



Kyle Fournier. stag., H.B.Sc.
Géologue d'exploration – Projet Dumont
Royal Nickel Corporation

CERTIFICAT DE QUALIFICATION

Alexandr Beloborodov

Je soussigné, Alexandr Beloborodov, géo. stag., domicilié au 723, rue Miniac, Amos, Québec, Canada, J9T 4N8, certifie par la présente que :

1. Je travaille pour la compagnie Royal Nickel Corporation, 42 rue Trudel, Amos, Québec, Canada, J9T 4N1, depuis 2011 à titre de Géologue Stagiaire.
2. Je suis diplômé de l'Université de Québec à Montréal et détiens un Baccalauréat en Sciences de la Terre et de l'Atmosphère (2011) en concentration Géologie.
3. Je suis membre stagiaire de l'Ordre des Géologues du Québec depuis 2012, sous le numéro de membre 1637.
4. Je pratique ma profession dans le domaine de la géologie et de l'exploration minérale au Canada depuis 2011.
5. Je suis co-auteur du rapport intitulé *Rapport de Quantification du Chrysotile, 15 avril 2013*, et j'assume les responsabilités de tous les aspects géologiques de ce rapport.
6. J'ai participé aux activités reliées au projet Dumont depuis les 2 dernières années, j'ai examiné de la carotte de forage de la propriété et j'ai visité la propriété. Ce rapport est fondé sur mon expérience personnelle de la région, sur des rapports de travaux et sur des cartes disponibles ainsi que sur des travaux que j'y ai effectués.
7. En autant que je le sache, il n'y a aucun fait substantiel ou changement significatif en ce qui concerne le sujet du rapport qui ne serait pas reflété dans le rapport mentionné.

EN FOI DE QUOI, je signe à Amos, ce 07 novembre 2013



Alexandr Beloborodov. stag., B. Sc.
Géologue d'exploration – Projet Dumont
Royal Nickel Corporation

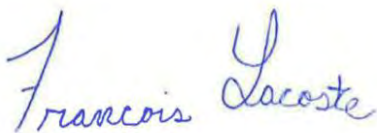
CERTIFICAT DE QUALIFICATION

François Lacoste

Je soussigné, François Lacoste, géo. stag., domicilié au 834, 3^e rue Ouest appartement 1, Amos, Québec, Canada, J9T 2T3, certifie par la présente que :

1. Je travaille pour la compagnie Royal Nickel Corporation, 42 rue Trudel, Amos, Québec, Canada, J9T 4N1, depuis 2011 à titre de Géologue Stagiaire.
2. Je suis diplômé de l'Université de Québec à Montréal et détiens un Baccalauréat en Sciences de la Terre et de l'Atmosphère (2010) en concentration Géologie.
3. Je suis membre stagiaire de l'Ordre des Géologues du Québec depuis 2011, sous le numéro de membre 1519.
4. Je pratique ma profession dans le domaine de la géologie et de l'exploration minérale au Canada depuis 2011.
5. Je suis co-auteur du rapport intitulé *Rapport de Quantification du Chrysotile, 15 avril 2013*, et j'assume les responsabilités de tous les aspects géologiques de ce rapport.
6. J'ai participé aux activités reliées au projet Dumont depuis les 2 dernières années, j'ai examiné de la carotte de forage de la propriété et j'ai visité la propriété. Ce rapport est fondé sur mon expérience personnelle de la région, sur des rapports de travaux et sur des cartes disponibles ainsi que sur des travaux que j'y ai effectués.
7. En autant que je le sache, il n'y a aucun fait substantiel ou changement significatif en ce qui concerne le sujet du rapport qui ne serait pas reflété dans le rapport mentionné.

EN FOI DE QUOI, je signe à Amos, ce 07 novembre 2013



François Lacoste, géo. stag., B. Sc.
Géologue d'exploration – Projet Dumont
Royal Nickel Corporation

Table des matières

1) Introduction	1
2) Problématique du chrysotile en lien avec le projet Dumont.....	2
3) Méthodes quantitatives du chrysotile	5
Option 1: Comptage des fibres par point tel qu'appliqué par APE	5
Option 2: DRX (Diffraction aux Rayons-X)	5
Option 3: Analyse Thermale Différentielle (ATD).....	6
Option 4: Analyse Spectrale par Photonic Knowledge	6
Option 5: Mesure de fibres par volume	7
Option 6: Estimation quantitative visuelle.....	7
4) Description de la méthode d'estimation visuelle quantitative	8
Introduction.....	8
Trois types d'environnements de chrysotile	10
1) Réseaux de chrysotile:.....	10
2) Chrysotile dans les zones hautement fragmentées	11
3) Chrysotile dans les veines/fractures	13
Discussion de la surestimation dans les environnements de chrysotile	14
Chrysotile dans les zones de carotte de forage non récupérées	15
Résumé.....	17
5) Sélection d'Échantillons Représentatifs.....	18
Méthodologie	18
1) Représentativité de la Lithologie:	18
2) Domaines Structuraux de la Propriété Dumont:.....	19
3) Domaines métallurgiques:	20
4) Trous de forage récents (coalingite):	21
Sommaire	21
6) Procédures (Document Détaillé dans l'Annexe IV).....	22
Identification	22
Prises des mesures	26
Collecte des données	28
7) Interprétation des données	29
8) Résultats.....	33
Résultats du journal de sondage du chrysotile	33
Représentativité des données.....	33
Traitement des données avancé	36
1) Calcul de l'écart-type pondéré	36
2) Identification du 95e percentile	36
3) Calcul de l'intervalle de confiance 95%	38
4) Calcul de la moyenne avec intervalle de confiance 95%.....	39
Résultats des méthodes statistiques.....	40
9) Conclusion.....	42

Table des figures

Figure 1: Distribution des échantillons Explomin (QUEMSCAN) dans le gisement Dumont.....	3
Figure 2: Distribution des trous de forage sur le gisement Dumont.....	8
Figure 3: Vue en 3D de la distribution des trous de forage sur le gisement Dumont.....	9
Figure 4: Géologie de surface et les domaines structuraux du projet Dumont.....	18
Figure 5: Vue en 3D de la fosse planifiée avec les failles majeures	19
Figure 6: Vue en 3D de la fosse planifiée avec les domaines métallurgiques.....	20
Figure 7: Intense (4.5 à 7%).....	22
Figure 8: Élevée (2.5 à 4.5%)	22
Figure 9: Modérée (1 à 2.5%).....	22
Figure 10: Faible (0.1 à 1%)	22
Figure 11: Exemple de délimitation des Réseaux de chrysotile	23
Figure 12: Intense (40 à 70%).....	24
Figure 13: Élevée (25 à 40%)	24
Figure 14: Modérée (10 à 25%)	24
Figure 15: Faible (1 à 10%)	24
Figure 16: Exemple de délimitation du chrysotile dans les zones hautement fragmentées	25
Figure 17: Veine de chrysotile coupant presque perpendiculairement l'axe de la carotte de forage	25
Figure 18: Veine de chrysotile subparallèle à l'axe de la carotte de forage	25
Figure 19: Image de la table Chrysotile dans DH Logger®	27
Figure 20: Segmentation en 4.5 cm d'une veine de chrysotile subparallèle à l'axe de la carotte.....	28
Figure 21: Représentation 3D vers le Nord-Est du chrysotile avec les failles majeures mises à jour en 2012. .	33
Figure 22: Représentation 3D vue vers le Nord-Est.	34
Figure 23: Représentation 3D vers le Sud du chrysotile avec les failles majeures.	34
Figure 24: Histogramme des pourcentages de chrysotile sur l'ensemble des données.....	36
Figure 25: Histogramme des pourcentages de chrysotile dans la péridotite supérieure	37
Figure 26: Histogramme des pourcentages de chrysotile dans la dunite	37
Figure 27: Histogramme des pourcentages de chrysotile dans la péridotite inférieure	38
Figure 28: Intervalle de confiance 95%	38
Figure 29 : Échelle log-normal en abscisse sur la distribution des données du chrysotile	39

Tableaux

Tableau 1 : Liste des minéraux asbestiformes	2
Tableau 2: Valeurs assignées pour les catégories d'intensités de chaque environnement de chrysotile	17
Tableau 3: Liste des trous de forage sélectionnés	21
Tableau 4: Quantification du chrysotile	35
Tableau 5: Résultats du traitement des données statistiques sur les valeurs examinées	40
Tableau 6: Résultats du traitement des données statistiques incluant le chrysotile de la carotte non récupérée	41

1) Introduction

Le mandat de ce projet consiste à établir une méthode d'évaluation quantitative du contenu de chrysotile dans le gisement Dumont et à évaluer la teneur globale du chrysotile dans le gisement. Cette teneur servira d'intrant à la modélisation des poussières par la firme Genivar qui servira ensuite d'intrant à la firme Sanexen pour une analyse d'évaluation des risques à la santé humaine posés par la dispersion des poussières lors de l'exploitation minière du projet Dumont.

Le chrysotile, avec l'antigorite et la lizardite, est l'un des trois plus importants polymorphes du groupe minéral de la serpentine. Son habitus souvent fibreux est le résultat de sa croissance dans des fractures d'expansion durant la serpentinisation des roches ultramafiques sous des conditions spécifiques. Étant donné les compositions et structures similaires des polymorphes et des autres phases de serpentine existantes, l'identification du chrysotile et sa quantification sont complexes.

Royal Nickel Corporation (RNC) a consulté divers minéralogistes de SGS (SGS Minerals Service) et XPS (Xstrata Process Support) pour fournir des options sur les possibles méthodes qui peuvent identifier et potentiellement quantifier le chrysotile.

Plusieurs méthodes sont disponibles pour des analyses qualitatives dépendamment de la pureté et de l'état de l'échantillon. Certaines de ces méthodes qualitatives peuvent être appliquées quantitativement. L'applicabilité de plusieurs de ces méthodes est limitée par leur capacité de quantifier le chrysotile à des basses teneurs comme celles présentes dans le gisement Dumont. Six méthodes ont été évaluées et sont décrites à la section 3. L'estimation quantitative visuelle a été la méthode choisie. Cette méthode, décrite en détail dans la section 4, a été appliquée sur un échantillonnage représentatif du dépôt à travers 13 trous de forage.

La moyenne de la teneur en chrysotile dans les roches ultramafiques de la propriété Dumont se situe entre 1.7% et 1.9% avec un intervalle de confiance à 95%.

2) Problématique du chrysotile en lien avec le projet Dumont

La dénomination « fibre d'amiante » désigne six fibres minérales qui se distinguent par leur forme dite « asbestiforme », c'est-à-dire « ayant la forme d'amiante ». Ces six fibres d'amiante se répartissent en deux familles :

Tableau 1 : Liste des minéraux asbestiformes

Minéral asbestiforme	Analogue minéral non asbestiforme	Composition nominal	Présent dans le gisement Dumont
Minéraux de la famille des serpentines			
Chrysotile	Lizardite, Antigorite	$\text{Mg}_3(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$	Oui
Minéraux de la famille des amphiboles			
Crocidolite	Riebeckite	$\text{Na}_2\text{Fe}_3^{2+}\text{Fe}_2^{3+}(\text{Si}_8\text{O}_{22})(\text{OH})_2$	Non
Amosite	Grunérite	$(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})_7(\text{Si}_8\text{O}_{22})(\text{OH})_2$	Non
Anthophyllite fibreux	Anthophyllite	$(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_7(\text{Si}_8\text{O}_{22})(\text{OH})_2$	Non
Actinolite fibreux	Actinolite	$\text{Ca}_2(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})_5(\text{Si}_8\text{O}_{22})(\text{OH})_2$	Non
Trémolite fibreuse	Trémolite	$\text{Ca}_2\text{Mg}_5(\text{Si}_8\text{O}_{22})(\text{OH})_2$	Non

Les méthodes analytiques pour la détermination des fibres d'amiante ne permettent pas toujours de différencier une fibre minérale asbestiforme de son homologue non asbestiforme, car il n'existe actuellement aucune méthode fiable pour différencier, de façon simple, les fragments de clivage des fibres asbestiformes ou non asbestiformes.

Les méthodes utilisées pour mesurer la teneur en chrysotile dans l'industrie du chrysotile s'intéressent surtout à la concentration des fibres de valeur commerciale et ne donnent pas une bonne représentation de la concentration totale de chrysotile dans la roche.

Les différents travaux réalisés par Royal Nickel Corporation ont démontré que le seul minéral asbestiforme présent dans le projet Dumont est le chrysotile. Cela a été vérifié grâce à un total de 1557 échantillons QEMSCAN qui ont été analysés par SGS. De ces échantillons, 1420 ont été prélevés à travers le gisement dans les unités ultramafiques (figure 1) susceptibles de contenir des minéraux asbestiformes.

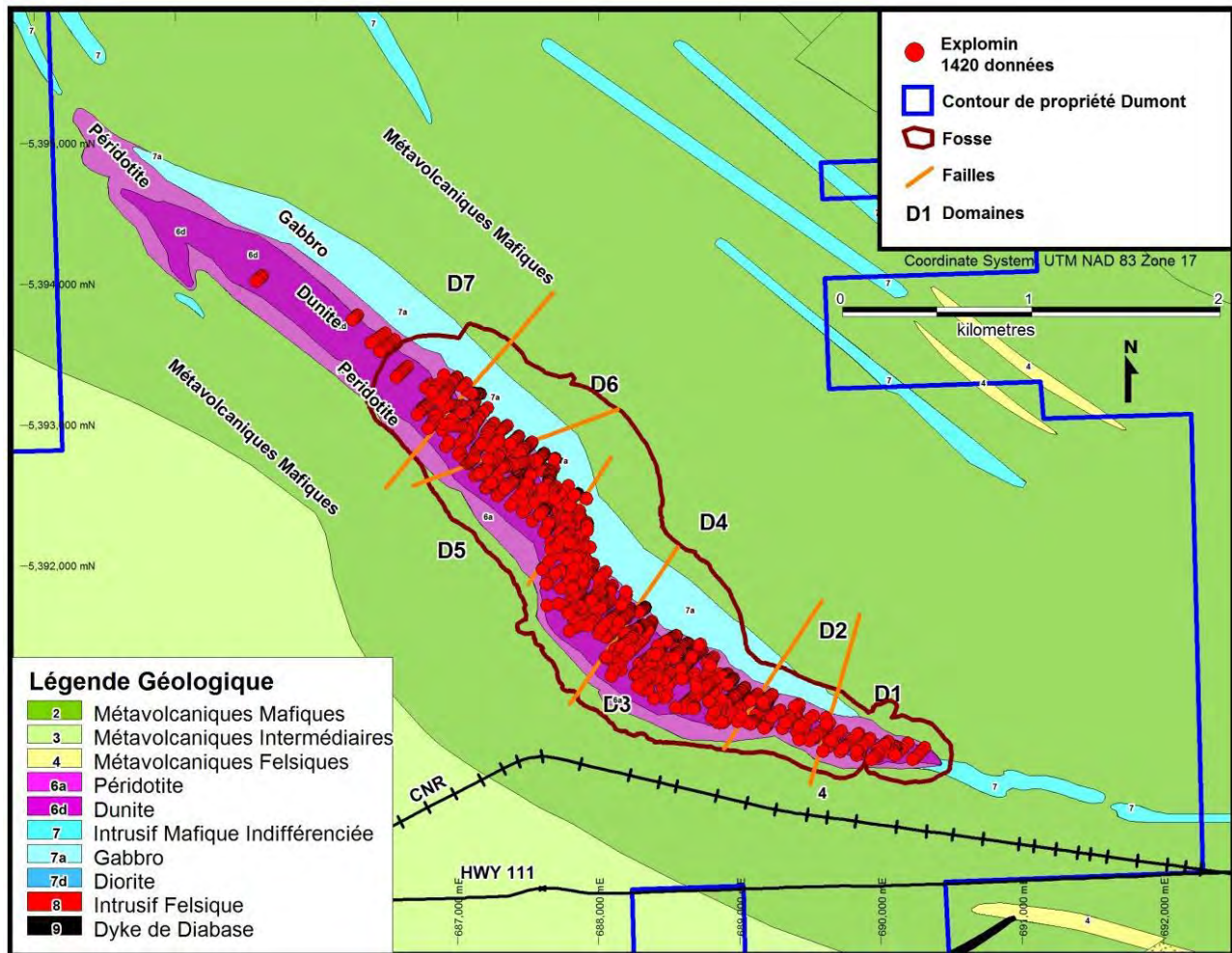


Figure 1: Distribution des échantillons Explomin (QUEMSCAN) dans le gisement Dumont

Dans la périodotite, près du contact de l'éponte inférieure, du talc a été identifié dans certains échantillons QUEMSCAN examinés. Dans cet environnement le talc et la magnésite remplacent le chrysotile.

Le talc peut, en présence de quartz, générer de la trémolite par la réaction : $\text{Talc} + \text{Qtz} = \text{Trémolite}$. Deux facteurs ont fait en sorte que cette réaction ne s'est pas produite :

- Le degré de métamorphisme du gisement est au faciès des schistes verts (serpentinisation). Ce niveau de métamorphisme n'est pas suffisant pour permettre la remobilisation de la silice et la formation de quartz comme on en retrouverait dans le faciès supérieur que serait celui des amphibolites (la trémolite fait partie du groupe des amphiboles).
- Le gisement Dumont est sous-saturé en silice.

Aucune amphibole abestiforme ou non abestiforme n'a été identifiée dans les échantillons contenant du talc.

Il est à noter qu'un autre minéral qui peut avoir une forme fibreuse est présent dans le minerai du projet Dumont. Il s'agit de la brucite, qui est un hydroxyde de magnésium, et non pas un silicate comme les minéraux asbestiforme.

Plusieurs analyses sont en cours pour évaluer les problématiques potentielles occasionnées par le chrysotile :

- Une première étude sur la carbonatation faite en 2010 par le Département de géologie et de génie géologique et du Département de génie chimique de l'Université Laval (Annexe I) a démontré l'application des minéraux fibreux (brucite et chrysotile) dans la réaction de transformation en carbonate. Il fut montré que le chrysotile faisait partie de cette réaction impliquant le dioxyde de carbone.
- Une analyse sur la séquestration du carbone est en cours dans le cadre d'une subvention de Recherche et Développement Coopératif (RDC) du CRSNG (Conseil de recherche en sciences naturelles et en génie) intitulée : « Facteurs d'influence sur la prédiction de la qualité des eaux de drainage de rejets miniers séquestrateurs de carbone : cas du projet Dumont de la compagnie Royal Nickel Corporation. » Le titulaire est le professeur Bruno Bussière, en collaboration avec Benoit Plante à l'UQAT et Georges Beaudoin à l'Université Laval. Dans le cadre de cette étude, la possibilité d'encapsulation du chrysotile par la brucite dans les résidus miniers sera évaluée.
- Des tests métallurgiques sont en cours pour évaluer les impacts des minéraux fibreux (chrysotile et brucite) sur l'usinage et la récupération.

3) Méthodes quantitatives du chrysotile

Option 1: Comptage des fibres par point tel qu'appliqué par APE

(Informations fournies par XPS)

- Les méthodes APE (Agence de Protection de l'Environnement) ne distinguent pas le clino-chrysotile des autres matériaux fibreux. Ces méthodes comptent le nombre de fibres par superficie (fibre/cm² par exemple). Une fibre est définie par son aspect ratio. Ainsi, une fibre peut être l'un des nombreux minéraux avec un habitus fibreux apparent. Par conséquent, cette méthode peut résulter en une surestimation du chrysotile, particulièrement dans les types de roche de la propriété Dumont, où la dunite et la péridotite contiennent entre 3% et 6% de brucite.
- En addition avec l'aspect ratio, les minéralogistes utilisent l'habitus formant des fibres courbées dites "tails" pour identifier le chrysotile, ce qui peut être très subjectif. La précision/reproductibilité d'une valeur numérique par cette méthode est variable et inappropriée dans notre cas.
- L'échantillonnage du comptage des fibres par point est exécuté en comptant une quelque centaine de points sur un échantillonnage à petite échelle et introduit des problèmes sur la représentativité des échantillons de même que la sélection de ces derniers qui est biaisée.

Conclusion:

Cette méthode n'a pas été tentée par RNC, elle est considérée comme prenant beaucoup de temps, imprécise, non-reproductible et non-représentative.

Option 2: DRX (Diffraction aux Rayons-X)

(Informations fournies par SGS et XPS, Annexe VII)

- Le chrysotile est un polymorphe de la lizardite et de l'antigorite. Cependant, certaines différences dans leur structure permettent d'observer une signature par DRX propre à chacune.
- La DRX a été performée sur des composites métallurgiques en tant que partie du programme QEMSCAN.

Conclusion:

Dans le cas de la propriété Dumont, cette option a été réfutée puisque le chrysotile n'est pas un composant majeur du dépôt. Ce faisant, les pics de DRX sont difficiles à distinguer selon les minéraux du groupe de la serpentine, qui eux sont abondants et souvent en intercroissance avec le chrysotile dans les fractures du dépôt. Il serait donc peu concluant d'utiliser la DRX car il serait difficile de quantifier le chrysotile. Cette méthode implique beaucoup de manipulations et n'est pas efficace en termes de temps.

Option 3: Analyse Thermale Différentielle (ATD)

(Voir rapport fourni par XPS pour détails, Annexe II)

- Selon Viti et al. 2011, il a été montré que l'ATD pouvait être appliquée pour déterminer quantitativement le chrysotile dans les serpentinites. XPS a été embauché pour reproduire la procédure établie par Viti et al. 2011 sur les roches de la propriété Dumont pour analyser les applicabilités.

Conclusion:

XPS a conclu que cette méthode ne peut pas être appliquée dû à la présence de brucite dans les roches de la propriété Dumont, ce que les auteurs n'ont pas considéré en raison du manque de brucite dans leurs échantillons. XPS n'était pas en mesure de corriger ces changements avec suffisamment de précision pour être en mesure de prédire la composition minérale, et donc la quantification, avec un quelconque degré de certitude. De plus, cette technique s'applique sur des échantillons microscopiques et donc peu représentatifs. Pour ces raisons, cette option n'a pas été considérée.

Option 4: Analyse Spectrale par Photonic Knowledge

(Présentation Power Point fournie par Photonic Knowledge)

En 2011, RNC a entrepris un programme de caractérisation par analyse spectrale avec Photonic Knowledge pour comprendre la répartition des altérations, dont celle du chrysotile, ainsi que la minéralogie dans la carotte de forage Dumont. Voici les difficultés rencontrées :

- Photonic Knowledge applique une bibliothèque de référence pour assigner un minéral ou un groupe de minéraux à un spectre donné. La bibliothèque de référence est établie par l'envoi d'échantillons pour MEB, analyse, DRX etc. En se référant aux options précédentes sur l'identification du chrysotile, la construction d'une bibliothèque de référence n'est pas possible en raison des facteurs qui ont été expliqués.
- Malgré la nature similaire de la chimie et les caractéristiques physiques des produits d'altération de la carotte de forage Dumont, l'analyse spectrale a été en mesure d'établir des spectres spécifiques pour un groupe de minéraux et de minéraux non distincts.
- D'addition avec ces contraintes, le chrysotile se retrouve souvent en petites quantités et dans les petites fractures d'extension, lesquelles sont plus petites que la résolution de l'imagerie spectrale. Par conséquent, les minéraux à grains fins, tels que le chrysotile, ne peuvent pas être clairement identifiés, et encore moins quantifiés.
- Les effets de bordure dans les données n'ont pas été corrigés adéquatement.
- L'imagerie spectrale n'a pas bien corrélé avec la minéralogie quantifiée par QEMSCAN en général pour toutes les images spectrales observées.

Conclusion:

Cette option n'a pas été prise en considération puisqu'il y a beaucoup de contraintes techniques et procédurales reliées à cette méthode pour son application à la quantification du chrysotile.

Option 5: Mesure de fibres par volume

Les producteurs de chrysotile/asbestos dans la région de Black Lake, Québec, utilisent une méthode de calcul volumétrique pour le contrôle de la teneur. Un échantillon donné est broyé et les fibres sont séparées. Le volume des fibres est comparé au volume de l'échantillon, fournissant un pourcentage de fibre. Le Centre de Technologie Minérale et de Plasturgie (CTMP) a été consulté pour l'utilisation de cette méthode pour les roches du projet Dumont.

Conclusion:

RNC a été informé que cette méthode ne fonctionnerait pas dans une perspective idéale pour les roches du projet Dumont en raison de la présence d'autres minéraux fibreux (brucite) et qu'il faudrait ainsi des méthodes supplémentaires (DRX) après qu'un échantillon de "fibre" soit séparé. Des dépôts tels que Black Lake n'ont qu'un seul type de fibre: l'amiante, qui est de qualité très pure et sous forme de cristaux. DRX a présenté les contraintes susmentionnées. Par conséquent, cette méthode n'a pas été approchée par RNC.

Option 6: Estimation quantitative visuelle

(Réalisation de journaux de sondages pour le chrysotile sur la carotte de forage du projet Dumont)

Les tentatives précédentes pour quantifier le chrysotile par les méthodes décrites ci-dessus n'ont pas été concluantes. RNC a donc établi une procédure standard représentative de réalisation d'un journal de sondage pour le chrysotile sur la carotte de forage. Cette méthode fournit des résultats reproductibles et quantifiables.

La première phase du programme est complétée affichant un résultat moyen de 1.8% de chrysotile sur 13 trous de forage représentatifs sélectionnés à travers le dépôt Dumont. La section suivante de ce document décrit les méthodes utilisées pour arriver à la construction du journal de sondage du chrysotile du projet Dumont (voir également le document Méthodes de quantification du chrysotile, Annexe III).

4) Description de la méthode d'estimation visuelle quantitative

Introduction

Le filon-couche de Dumont est encaissé dans les laves et roches volcanoclastiques du Groupe d'Amos. Considéré comme une intrusion litée mafique-ultramafique, le filon-couche comprend une zone ultramafique inférieure et une zone mafique supérieure. La zone ultramafique est subdivisée en sous-zones: péridotite inférieure, dunite et péridotite supérieure. La zone mafique regroupe trois sous-zones qui sont, de la base vers le sommet, la clinopyroxénite, le gabbro et le gabbro à quartz. Le chrysotile est connu pour se développer dans la zone ultramafique en fonction des divers degrés de serpentinisation.

RNC assume que les trous de forages effectués sur le projet Dumont sont représentatifs du gisement. Au moment de réaliser cette étude, plus de 460 trous de forage pour plus de 168 000 mètres forés ont été réalisés sur la zone minéralisée du projet Dumont.

Plusieurs contraintes géologiques ont orienté la sélection des trous de forages pour assurer une représentativité du gisement dans les forages choisis. Les détails du processus de sélection sont décrits dans le chapitre 5 de ce document.

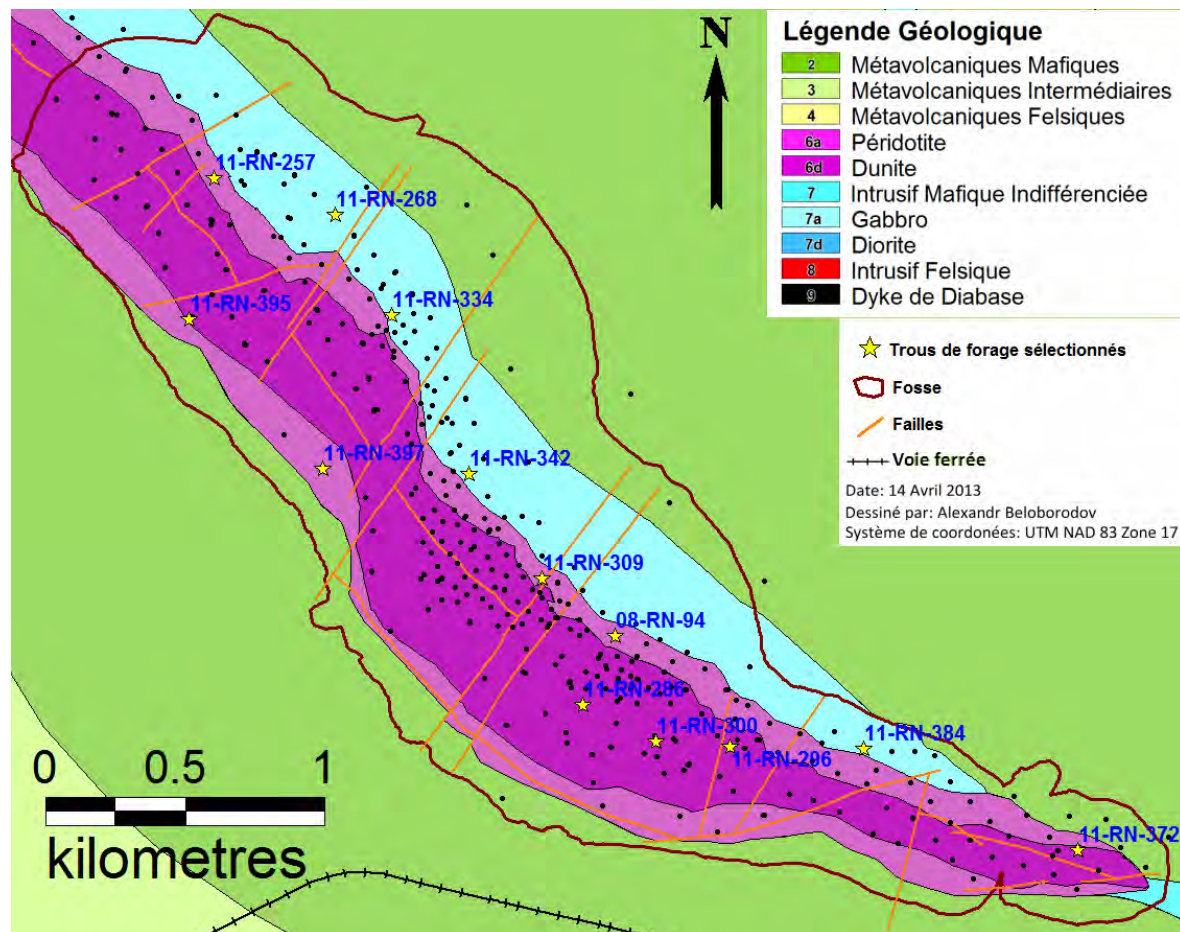


Figure 2: Distribution des trous de forage sur le gisement Dumont

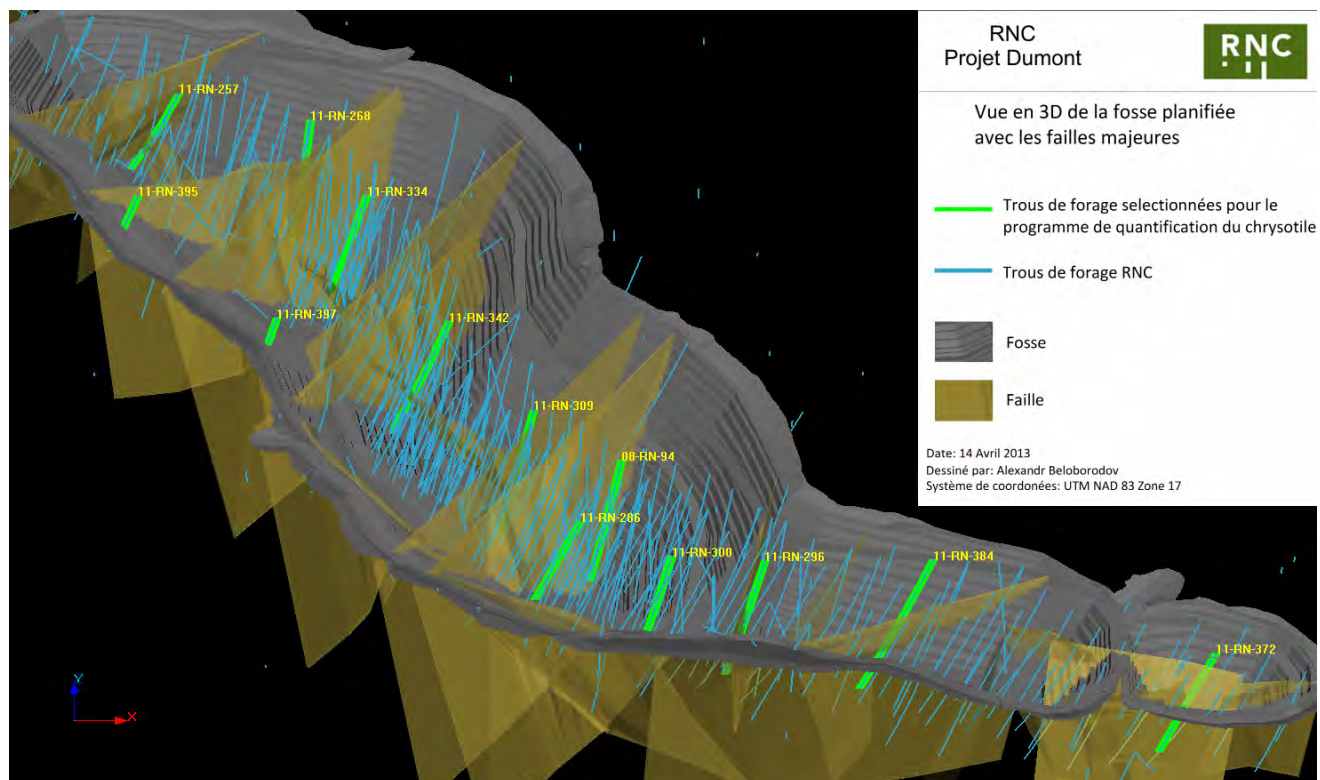


Figure 3: Vue en 3D de la distribution des trous de forage sur le gisement Dumont

Pour caractériser objectivement chaque environnement de chrysotile et pour une gestion de temps efficace, des niveaux d'intensités furent créés. Ils réfèrent chacun à une teneur en pourcentage de chrysotile présent dans la carotte. Pour se faire, les géologues de RNC ont utilisé un trou de forage en référence (11-RN-309) qui fut choisi pour ces variations de textures dans les environnements de chrysotile.

Il y a trois environnements géologiques où le chrysotile a été identifié dans la roche ultramafique récupérée en forage et où l'estimation de celui-ci a besoin d'être évaluée séparément. Ces environnements sont:

- 1) Réseaux de chrysotile: (Autour des grains et dans les petites veines, omniprésentes dans la roche)
- 2) Chrysotile dans les zones hautement fragmentées (Failles)
- 3) Chrysotile dans les veines/Fractures (ouvertes ou fermées)

Cette section présente toutes les méthodes envisagées et testées pour arriver à une entente sur la procédure d'opération finale. Ceci va être démontré pour les trois types d'environnements de chrysotile analysés.

Trois types d'environnements de chrysotile

1) Réseaux de chrysotile:

Pour estimer la teneur de chrysotile dans les réseaux, les géologues de RNC ont premièrement séparé l'analyse en quatre catégories d'intensité. Des étendues de variation d'intensité en pourcentage de chrysotile furent attribuées à chaque catégorie d'intensité afin de faire une distinction entre chaque catégorie.

Ces étendues sont:

Intense	(5-8%),
Élevée	(3-5%),
Modérée	(1-3%),
Faible	(0.1%-1%).

Pour attribuer une teneur en pourcentage de chrysotile à chaque catégorie, deux méthodes furent testées.

Premier essai d'évaluation du chrysotile

La première méthode expérimentée était de mesurer l'épaisseur de chrysotile dans les petites veines et autour des grains pour chaque catégorie d'intensité à travers des lignes perpendiculaires sur la surface coupée de la carotte dans un intervalle donné. Les mesures furent additionnées, puis divisées par la longueur de l'intervalle testé pour donner un pourcentage de chrysotile sur un plan.

Cette méthode a généré un écart significatif entre les résultats des cinq géologues attitrés à cette tâche. Les pourcentages mesurés ne correspondaient pas à leur estimation visuelle. Cet écart était dû à une surévaluation de l'épaisseur des petites veines de chrysotile (plus petite que 1mm) mesurées avec une règle traditionnelle. Les résultats et les étapes utilisées pour cette méthode sont décrits dans le document Méthodes de Quantification du Chrysotile en Annexe III.

Méthode d'évaluation du chrysotile retenue

Les géologues de RNC ont par la suite mis au point une nouvelle méthode utilisant Photoshop®. En premier lieu, des photos furent prises pour chaque catégorie d'intensité sur la surface coupée de la demie carotte. En tronquant la photo dans Photoshop®, les sections de réseaux de chrysotile furent isolées de sorte que seulement ceux-ci soient présents. Puis, en comparant avec la roche, le contraste et la luminosité furent ajustés pour faire en sorte que seulement (ou principalement) les réseaux de chrysotile apparaissent en blanc ou en couleurs claires et que le reste apparaisse en couleurs foncées. Par la suite, Photoshop® a calculé le pourcentage de pixels clairs par rapport aux pixels foncés présents en utilisant la fonction «Histogramme». Ainsi, les géologues de RNC obtinrent un pourcentage pour les différentes catégories de réseaux de chrysotile. Cette méthode est reproductible et donne des valeurs qui concordent avec l'estimation visuelle des géologues de RNC.

Avec cinq photos représentatives des catégories d'intensités "Faible" et "Modérée", quatre photos représentatives de la catégorie d'intensité "Élevée" et trois photos représentatives de la catégorie d'intensité "Intense", une valeur moyenne a été obtenue pour chaque catégorie en utilisant la méthode de Photoshop® pour les réseaux de chrysotile.

Par la suite, des gammes de pourcentage furent assignées à chaque catégorie. Ces valeurs sont indiquées dans le Tableau 2 du résumé à la fin de cette section.

Les résultats et étapes utilisées pour cette méthode sont décrits dans le document Méthodes de Quantification du Chrysotile en Annexe III.

Ajout de données supplémentaires

Dans le but d'avoir une meilleure représentativité des catégories d'intensités "Élevée" et "Intense" de nouveaux échantillons ont été évalués pour avoir maintenant un total de 5 échantillons pour chaque catégorie d'intensité. Ainsi, 2 échantillons ont été ajoutés pour la catégorie d'intensité "Intense" et un échantillon pour la catégorie d'intensité "Élevée".

Ces nouveaux échantillons ont été évalués par la méthode Photoshop®. La valeur assignée à chaque catégorie a été ajustée en prenant en compte les pourcentages des nouveaux échantillons. Malgré l'ajout de nouvelles données pour les catégories d'intensités "Élevée" et "Intense", l'ajustement de la valeur assignée des catégories d'intensités "Élevée" et "Intense" n'apporte aucune différence aux valeurs assignées précédentes.

La section «Échantillons utilisés pour la caractérisation de l'environnement «Réseaux de chrysotile»» du document «Méthodes de Quantification du Chrysotile» (Annexe III) montre le tableau récapitulatif de ces valeurs (tableau 3 de l'Annexe III) ainsi que les illustrations des nouveaux échantillons.

2) Chrysotile dans les zones hautement fragmentées

Pour estimer la teneur de chrysotile dans les zones hautement fragmentées, les géologues de RNC ont utilisé la même stratégie de catégories d'intensités que pour les Réseaux de chrysotile. Une variété de zones hautement fragmentées a été sélectionnée pour assurer une distribution représentative.

La quantification des catégories d'intensités du chrysotile dans ces zones a dû s'effectuer de façon visuelle par cinq géologues de RNC. Les valeurs mesurées ont été compilées, vérifiées puis assignées à une catégorie d'intensité (faible, modérée, élevée et intense).

Dans cet environnement il est impossible d'utiliser Photoshop® pour deux raisons principales. Photoshop® exige des surfaces propres et continues. Par contre, dans cet environnement, la carotte de forage est fragmentée et la boue des zones cisailées y couvre de façon omniprésente la carotte de forage.

Une teneur moyenne fut calculée pour chaque catégorie à partir des estimations des géologues faites sur une sélection de zones représentatives :

- 6 zones hautement fragmentées représentatives de la catégorie d'intensité Faible
- 6 zones hautement fragmentées représentatives de la catégorie d'intensité Modérée
- 2 zones hautement fragmentées représentatives de la catégorie d'intensité Élevée
- 2 zones hautement fragmentées représentatives de la catégorie d'intensité Intense,

Par la suite, des gammes de pourcentage furent assignées à chacune des catégories. Ces valeurs sont indiquées dans le Tableau 2 du résumé à la fin de cette section.

Les résultats et étapes utilisées pour cette méthode sont décrits dans le document Méthodes de Quantification du Chrysotile en Annexe III.

Ajout de données supplémentaires

Dans le but d'avoir une plus grande représentativité des catégories d'intensités Élevée et Intense, de nouveaux intervalles ont été évalués pour avoir maintenant un total de 5 échantillons pour ces catégories d'intensités. Ainsi, 3 intervalles ont été ajoutés pour les catégories d'intensités Élevée et Intense.

Ces nouveaux intervalles ont été évalués en utilisant la méthode décrite ci-haut. La valeur assignée à chaque catégorie a été ajustée en prenant en compte les pourcentages des nouveaux échantillons. L'ajout de nouvelles données pour les catégories d'intensités Élevée et Intense a causé une légère augmentation des valeurs assignées à ces catégories d'intensités.

- Intensité Élevée : la valeur moyenne passe de 33% à 35%.
- Intensité Intense : la valeur moyenne passe de 50% à 55%.

L'ajustement de la valeur assignée des zones hautement fragmentées de catégories d'intensités Élevée et Intense est supérieure à la première phase d'estimation et entraîne une augmentation du pourcentage estimé de chrysotile, à la fois sur les trous sélectionnés et sur l'ensemble du projet. Cet ajustement augmente la valeur dans l'ordre de grandeur du centième de pourcentage.

La section «Échantillons utilisés pour la caractérisation de l'environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées» » du document «Méthodes de Quantification du Chrysotile» (Annexe III) montre le tableau récapitulatif de ces valeurs (tableau 5 de l'Annexe III) incluant les illustrations des échantillons.

Vérification interne des zones hautement fragmentées

Lors de l'ajout de données supplémentaires, sept géologues ont réévalué six intervalles de la catégorie d'intensité Intense des zones hautement fragmentées. Sur ces six intervalles, trois d'entre eux ont été recatégorisés dans les catégories Modérée et Élevée. Les trois autres sont demeurés dans la catégorie Intense.

Pour cette raison, les géologues de RNC ont décidé de faire une réévaluation des 45 intervalles de la catégorie d'intensité Intense de l'environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées» pour vérifier la validité des identifications faites lors du journal de sondage du chrysotile.

Sur les 45 intervalles de la catégorie Intense, 15 d'entre eux ont été recatégorisés et ajustés dans la base de données. Ces intervalles sont illustrés dans l'Annexe VI.

La réévaluation interne des zones hautement fragmentées de la catégorie d'intensité «Intense» est inférieure à la première phase d'estimation et entraîne une diminution du pourcentage de chrysotile, à la fois, sur les trous sélectionnés et sur l'ensemble du projet. Cet ajustement diminue la valeur dans l'ordre de grandeur du centième de pourcentage.

3) Chrysotile dans les veines/fractures

Pour estimer la teneur en chrysotile de cet environnement les géologues de RNC ont jugé que la méthode la plus adéquate :

- est de mesurer l'épaisseur du chrysotile présent dans les veines et fractures à l'aide d'une règle;
- et d'assumer que la teneur désignée en chrysotile est de 100%.

Tout ce qui est à l'extérieur des veines est considéré comme faisant partie de réseaux de chrysotile à travers la roche.

Pour les veines qui recoupent l'axe de la carotte de forage avec un angle fort, une mesure de l'épaisseur du chrysotile est prise. Pour les veines qui recoupent l'axe de la carotte avec un angle faible, un calcul standard est utilisé de façon à diviser le joint en segments de 4.5 cm (ou le diamètre de la carotte de forage). Ce qui revient à couper la veine en segments de 4.5 cm de longueur, à regrouper ces segments côte à côte perpendiculairement à l'axe de la carotte de forage et à mesurer l'épaisseur totale.

Les résultats et étapes utilisées pour cette méthode sont décrits dans le document Méthodes de Quantification du Chrysotile en Annexe III.

Discussion de la surestimation dans les environnements de chrysotile

Une surestimation de la teneur en chrysotile présent dans la carotte de forage est générée par ces méthodes de quantification dans les environnements de chrysotile puisque de la brucite (pâle) et des minéraux blancs coexistants (tels que le talc, la serpentine et des carbonates) sont souvent associés au chrysotile et ne peuvent pas être aisément distingués lorsque ceux-ci sont de granulométrie fine.

À une échelle millimétrique, les géologues peuvent faire la différence entre ces minéraux et ainsi évaluer adéquatement les catégories d'intensités pour les environnements «Réseaux de chrysotile» et «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées». Pour l'environnement «Chrysotile dans les veines/fractures», l'identification plus aisée de ces minéraux pâles coexistants permet aux géologues d'estimer correctement l'épaisseur de la structure évaluée.

Cependant, sur une échelle plus petite qu'un millimètre, il est parfois difficile de différencier ces minéraux à l'œil nu et ceux-ci se retrouvent inclus dans l'évaluation des environnements de chrysotile fait par les géologues, ce qui génère cette surestimation.

Dans l'environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées», chaque catégorie d'intensité couvre une large gamme de pourcentage. L'estimation visuelle dans les zones à pourcentages élevés est plus variable d'un géologue à l'autre. Pour cette raison, dès que l'estimation visuelle se situe près des limites des gammes de pourcentage des catégories d'intensités, la zone est classée dans la catégorie supérieure.

Nous considérons ces surestimations comme globalement faibles avec un impact mineur sur les résultats. Ces méthodes d'évaluation pour les différents environnements de chrysotile furent approuvées par les géologues de RNC.

Chrysotile dans les zones de carotte de forage non récupérées

L'altération des lithologies ultramafiques du projet Dumont génère des minéraux fibreux qui peuvent former des veines ou remplir des failles ou zones cisailées. Ces zones sont potentiellement propices à une perte de récupération de la carotte de forage. Lors du forage, si le foreur ne fait pas attention, ces zones sont propices à être lessivées par un contrôle inadéquat de la pression d'eau lors du forage. Malgré tout, ces zones sont régulièrement récupérées par les foreurs.

Il existe plusieurs situations où une perte de la carotte de forage peut survenir.

Perte de carotte lors du forage:

- Broyage de la carotte lors du forage
 - Terrain fracturé
 - Mauvaise manœuvre des foreurs
- Faille ouverte sans remplissage minéral (veine d'eau)
- Faille ou veine de minéraux boueux lessivée lors du forage.
- Défectuosité ou usure de l'équipement de forage (ressort de soutien, foret, etc.)
- Perte de carotte lors des manipulations par les foreurs ou par les techniciens de RNC jusqu'à la carothèque.

Perte de carotte lors de la manipulation de la carotte de forage dans la carothèque:

- Lors de l'étalage des boîtes.
- Lors du transport des boîtes d'un secteur à l'autre dans la carothèque.
- Lors de la coupe de la carotte pour l'échantillonnage.
- Lors des manipulations d'entreposage sur palette et la manipulation de celle-ci.

Les zones de boues riches en chrysotile ne subissent peu de perte lors des manipulations dans la carothèque. Ces zones boueuses sont molles, pâteuses et «collent» au fond de la boîte de carotte de forage. Par nature, elles ne sont pas propices à tomber de la boîte, les pertes de carotte de forage proviennent donc presque exclusivement des morceaux de carottes solides.

Dans le cas spécifique de ce projet d'évaluation du chrysotile, les mesures sont faites sur des carottes de forage qui ont déjà été manipulées lors d'un journal de sondage et d'un échantillonnage préalable.

À partir de leur expérience globale du projet Dumont les géologues de RNC évaluent que 25% des zones de carotte de forage non récupérées correspondent des zones à contenu élevé en chrysotile (Zone hautement fracturée).

Ces 25% de carottes de forage non récupérées correspondent à des zones de veines ou de failles boueuses contenant également de la serpentine, de la brucite, du talc, des carbonates et des fragments de roche. Nous évaluons donc que le chrysotile représenterait en moyenne 35% du contenu de ces zones. Cette valeur de 35% est l'équivalent de la catégorie Élevée de l'environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées» qui est jugée représentative des sections «boueuses» non récupérées.

Avec 25% de zones de carotte de forage non récupéré à contenu élevé en chrysotile et une quantité attribuée de 35% de chrysotile dans ces zones, cela représente globalement 8.75% de chrysotile supplémentaire à ajouter au projet Dumont pour les zones de carotte de forage non récupérées.

La carotte perdue a été calculée par une différence de la longueur du trou dans la roche par rapport à la longueur de la carotte mesurée lors de l'évaluation du chrysotile. La teneur de chrysotile présent a été ensuite calculé automatiquement en multipliant la carotte perdue par 8.75%. Ce calcul a été fait individuellement pour chacun des trous et cumulé sur l'ensemble du projet.

Les zones de carotte de forage non récupérées, représentant environ 1.36% des 13 trous ciblés par ce projet d'évaluation du chrysotile, ont été ajoutées au tableau de compilation. Au final, les zones de carotte de forage non récupérées génèrent une augmentation de 0.12% de chrysotile qui ne peut être évalué visuellement et qui doit être ajouté au résultat de l'ensemble du projet. Les résultats sont montrés dans le Tableau 4 de la section «Résultats» de ce document.

Résumé

Toutes les valeurs moyennes de chaque catégorie d'intensité de chaque environnement de chrysotile identifié avec les méthodes mentionnées précédemment ont été compilées et arrondies à la valeur supérieure. Cette surestimation a pour but d'éviter une sous-estimation du contenu en chrysotile du projet Dumont. Ces valeurs ont servi au calcul de la teneur en pourcentage total du chrysotile présent dans la carotte de forage.

Le Tableau 2 montre les valeurs assignées à chaque catégorie d'intensité, avec la gamme du pourcentage que représente chacune des catégories.

Tableau 2: Valeurs assignées pour les catégories d'intensités de chaque environnement de chrysotile

Environnements de chrysotile	Catégories d'intensités (Gamme de pourcentage)	Valeurs assignées aux catégories d'intensité
Réseaux de chrysotile	Aucun (0 à 0.1%)	0%
	Faible (0.1 à 1%)	0.75%
	Modérée (1 à 2.5%)	1.75%
	Élevée (2.5 à 4.5%)	3.50%
	Intense (4.5 à 7%)	6%
Chrysotile dans les zones hautement fragmentées	Faible (1 à 10%)	3%
	Modérée (10 à 25%)	15%
	Élevée (25 à 40%)	33%
	Intense (40 à 70%)	50%
Chrysotile dans les veines/fractures	70 à 100% chrysotile	100%

Avec ces méthodes mises sur pied, les environnements de chrysotile peuvent être identifiés visuellement, mesurés avec une règle et catégorisés visuellement pour en arriver à quantifier le chrysotile.

La table «Chrysotile» a été créée dans DH Logger® où chaque catégorie d'intensité pour chaque environnement de chrysotile est représentée. La table et les calculs sont expliqués dans la section «Interprétation des données» de ce document.

5) Sélection d'Échantillons Représentatifs

Méthodologie

Treize (13) trous de forage ont été sélectionnés pour représenter les différentes lithologies ultramafiques. Le processus de sélection de ces 13 trous de forage de sondage devait respecter quatre (4) contraintes.

1. Représentativité de la lithologie et représentativité spatiale;
2. Représentativité des domaines structuraux;
3. Représentativité de domaines métallurgiques;
4. Utilisation de trous de forage récents (coalingite).

1) Représentativité de la Lithologie: (Figure 4)

Le chrysotile apparaît seulement dans les roches ultramafiques. Les trous de forage sélectionnés ont été spatialement répartis de façon à cibler la péridotite supérieure et/ou la dunite et/ou la péridotite inférieure. Les trous de forage sélectionnés ont aussi été spatialement répartis afin d'être représentatifs de l'étendue de la fosse. Les parties les plus profondes de la fosse sont également représentées.

Sur la figure 4, les trous de forage sélectionnés sont représentés par une étoile jaune.

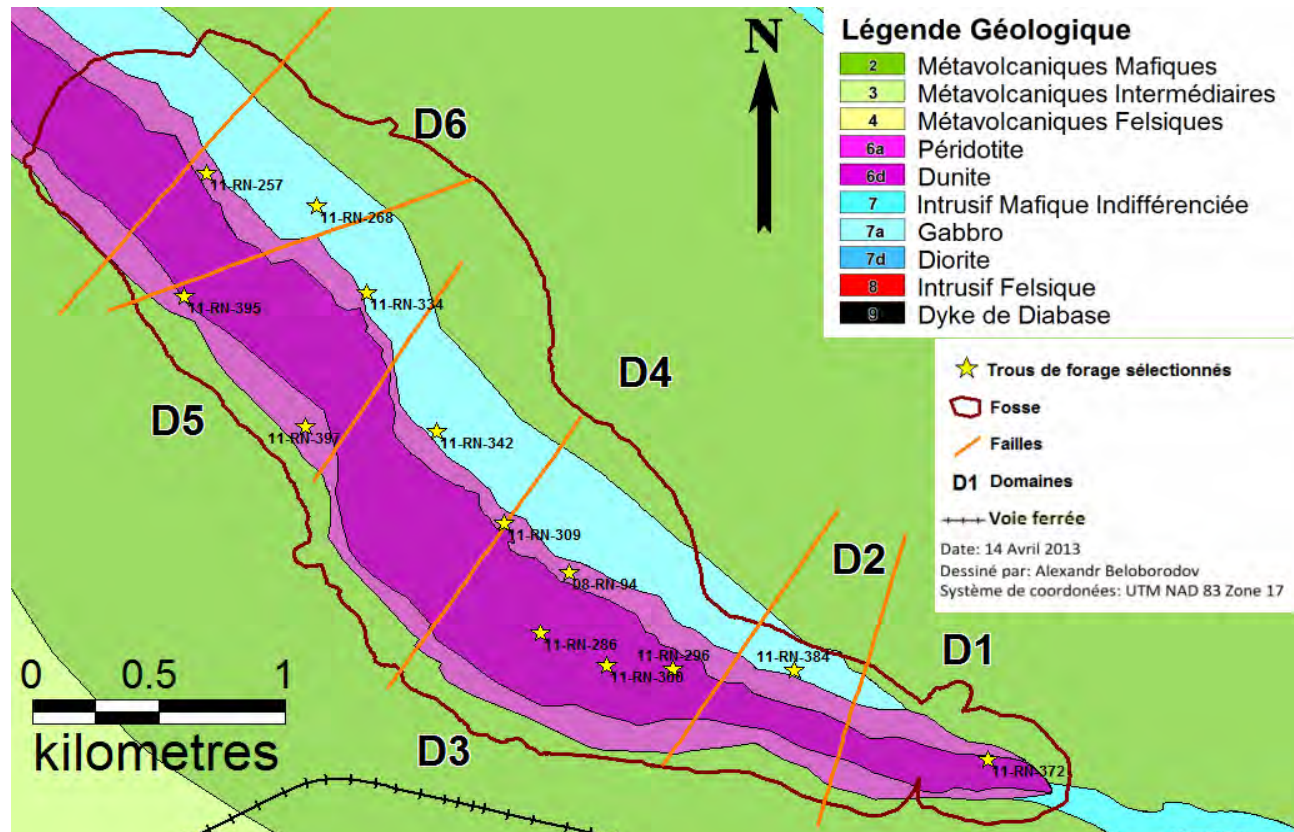


Figure 4: Géologie de surface et les domaines structuraux du projet Dumont

2) Domaines Structuraux de la Propriété Dumont: (Figure 4 et 5)

Le filon-couche de Dumont a été divisé en 7 domaines structuraux par les géologues de Royal Nickel, Itasca Consulting et SRK Consulting. Ces domaines sont définis par des structures majeures transversales au dépôt.

Un minimum d'un (1) trou de forage a été choisi dans chacun des domaines 1 à 6 ce qui permet aussi d'avoir une distribution spatiale proportionnée de la fosse (figure 5). Le domaine 7, à l'extrémité nord-ouest de la fosse planifiée, représente un faible tonnage et sera évalué lors d'une phase subséquente.

Les failles sont un processus de contrôle pour la création du chrysotile. Pour ce projet d'évaluation du chrysotile, nous nous sommes assurés de représenter les différents types de failles présentes. Quelques trous de forage géotechniques orientés ont ciblé les zones de failles majeures dans le but de les caractériser. Ces trous de forage sont aussi représentés parmi ceux sélectionnés pour ce projet d'évaluation du chrysotile.

La figure 5 illustre les trous de forage sélectionnés dans une vue en 3D de la fosse planifiée, de l'étude de faisabilité, avec les failles majeures.

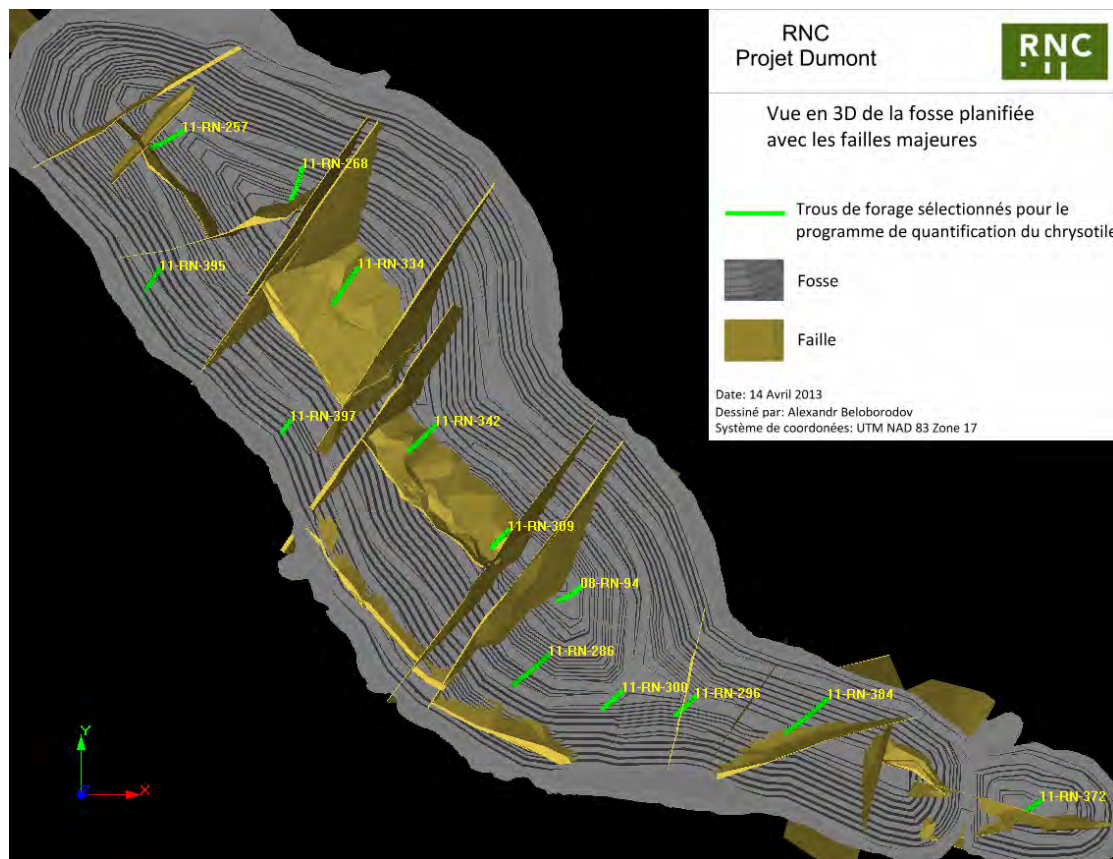


Figure 5: Vue en 3D de la fosse planifiée avec les failles majeures

Il existe une similitude spatiale entre les domaines structuraux et métallurgiques, car ils sont tous deux contrôlés par les failles structurales.

3) Domaines métallurgiques: (Figure 6)

Les essais métallurgiques complétés par RNC montrent une corrélation claire entre les variations minéralogiques reliées au degré de serpentinisation et à la récupération métallurgique du nickel. Cinq domaines métallurgiques ont été établis correspondant à ces différents niveaux de serpentinisation. Ils sont définis minéralogiquement en fonction du ratio de heazlewoodite par rapport à la pentlandite (H_z / P_n) ainsi que par l'abondance de serpentine enrichie en fer:

Domaine Métallurgique 1 ou Dominant Heazlewoodite: Les échantillons dont le ratio de heazlewoodite par rapport à la pentlandite (H_z / P_n) est supérieur à 5 sont considérés comme étant dominés par l'heazlewoodite.

Domaine Métallurgique 2 ou Combinaison heazlewoodite – pentlandite : Les échantillons dont le ratio de heazlewoodite par rapport à la pentlandite (H_z / P_n) se situe entre 1 et 5 sont considérés comme étant une combinaison de heazlewoodite et pentlandite.

Domaine Métallurgique 3, 4 et 5 ou Dominant pentlandite : Les échantillons dont le ratio de heazlewoodite par rapport à la pentlandite (H_z / P_n) est inférieur à 1 sont considérés comme étant dominés par la pentlandite. Ils sont divisés en 3 sous-types basés sur l'abondance des sulfures de nickel ainsi que de la serpentine enrichie en fer.

Ces domaines sont fondés sur différents types d'altération et différents contrôles structuraux menant à la formation du chrysotile. Pour une représentation complète des divers niveaux d'altérations ultramafiques, les cinq (5) domaines métallurgiques sont présents dans la fosse et sont représentés dans les trous sélectionnés. Un minimum d'un (1) trou de forage a été choisi dans chacun des 5 domaines métallurgiques.

La figure 6 illustre les domaines métallurgiques, les trous de forage sélectionnés et les failles majeures dans une vue en 3D de la fosse planifiée, de l'étude de faisabilité.

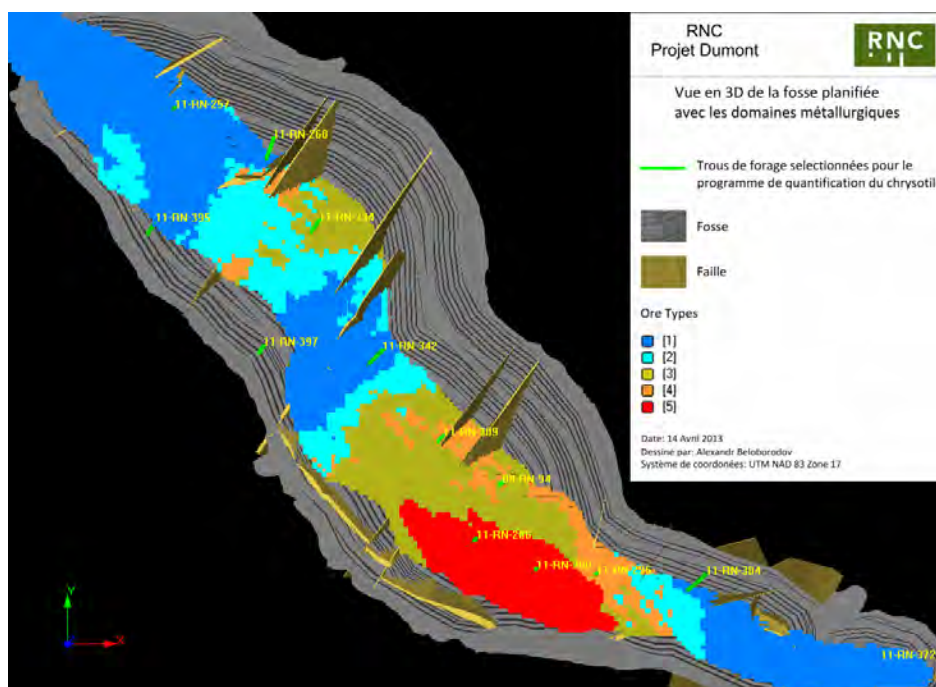


Figure 6: Vue en 3D de la fosse planifiée avec les domaines métallurgiques

4) Trous de forage récents (coalingite):

Les roches ultramafiques du projet Dumont contiennent un minéral d'expansion appelé coalingite qui provoque des fractures, variant de mineures à totales (poudre), dans la carotte de forage. Cela ajoute un niveau de difficulté pour quantifier le chrysotile dans les zones contenant de la coalingite. Par conséquent, il fut crucial de choisir des trous de forage contenant le moins de coalingite possible. Ainsi, des trous de forage plus récents qui n'avaient pas encore subi une forte altération de coalingite ont été priorisés.

La présence de coalingite dans les trous de forage a fait en sorte que le processus de sélection a été plus difficile, certains secteurs de la fosse projetée ayant peu de forages récents. Des 13 trous de forage sélectionnés, 12 d'entre eux datent de 2011 et un date de 2008.

Sommaire

Ces étapes constituent collectivement une sélection précise et représentative des trous de forage pour l'analyse du chrysotile. Ceci a été mis en œuvre pour la première phase du programme de quantification du chrysotile.

Le Tableau 3 présente la liste finale des trous de forage sélectionnés pour la première phase du programme.

Tableau 3: Liste des trous de forage sélectionnés

Trous de forage sélectionnés pour la phase 1	Lithologies	Domaines structuraux	Domaines Métallurgiques
08-RN-94	Péridotite supérieure, Dunite	Domaine 3	Pentlandite dominante (Type 3)
11-RN-257	Dunite, Péridotite inférieure	Domaine 6	Heazlewoodite dominante (Type 1)
11-RN-268	Péridotite supérieure, Dunite	Domaine 6	Heazlewoodite dominante (Type 1)
11-RN-286	Dunite	Domaine 3	Pentlandite dominante (Type 5)
11-RN-296	Dunite, Péridotite inférieure	Domaine 3	Pentlandite dominante (Type 4)
11-RN-300	Dunite	Domaine 3	Pentlandite dominante (Type 5)
11-RN-309	Péridotite supérieure, Dunite	Domaine 4	Pentlandite dominante (Type 4)
11-RN-334	Péridotite supérieure, Dunite	Domaine 5	Pentlandite dominante (Type 3)
11-RN-342	Péridotite supérieure, Dunite	Domaine 4	Heazlewoodite dominante (Type 1)
11-RN-372	Péridotite supérieure, Dunite, Péridotite inférieure	Domaine 1	Heazlewoodite dominante (Type 1)
11-RN-384	Péridotite supérieure, Dunite, Péridotite inférieure	Domaine 2	Combinaison (Type 2)
11-RN-395	Péridotite inférieure	Domaine 5	-
11-RN-397	Péridotite inférieure	Domaine 5	-

6) Procédures (Document Détaillé dans l'Annexe IV)

Les géologues de RNC ont créé une procédure standard pour le journal de sondage du chrysotile pour avoir une constance dans la prise des données, pour avoir une liste de vérification et pour avoir une reproductibilité des résultats. Ce qui suit est une version abrégée de la procédure standard qui figure à l'Annexe IV pour un intervalle de 3 mètres de carotte de forage.

Identification

1. Les intervalles de «Réseaux de chrysotile» sont séparés en délimitant les sections avec un crayon blanc (figure 11) selon leur intensité (figures 7, 8, 9 et 10).
 - Si l'intervalle de réseaux de chrysotile est entre 0% et 0.1% de chrysotile, un «N» (Aucun) est alors marqué dans le coin supérieur droit de la ligne de délimitation au début de l'intervalle.
 - Si l'intervalle de réseaux de chrysotile est entre 0.1% et 1% de chrysotile, un «W» (Faible) est alors marqué dans le coin supérieur droit de la ligne de délimitation au début de l'intervalle.
 - Si l'intervalle de réseaux de chrysotile est entre 1% et 2.5% de chrysotile, un «M» (Modérée) est alors marqué dans le coin supérieur droit de la ligne de délimitation au début de l'intervalle.
 - Si l'intervalle de réseaux de chrysotile est entre 2.5% et 4.5% de chrysotile, un «H» (Élevée) est alors marqué dans le coin supérieur droit de la ligne de délimitation au début de l'intervalle.
 - Si l'intervalle de réseaux de chrysotile est entre 4.5% et 7% de chrysotile, un «I» (Intense) est alors marqué dans le coin supérieur droit de la ligne de délimitation au début de l'intervalle.



Figure 7: Intense (4.5 à 7%)



Figure 8: Élevée (2.5 à 4.5%)

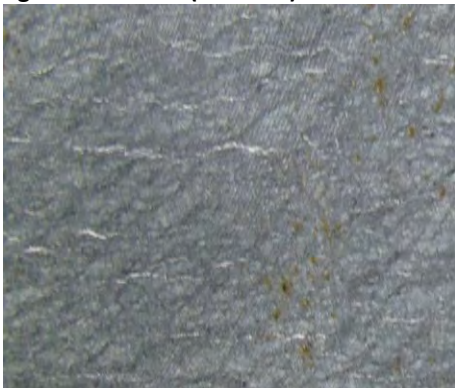


Figure 9: Modérée (1 à 2.5%)

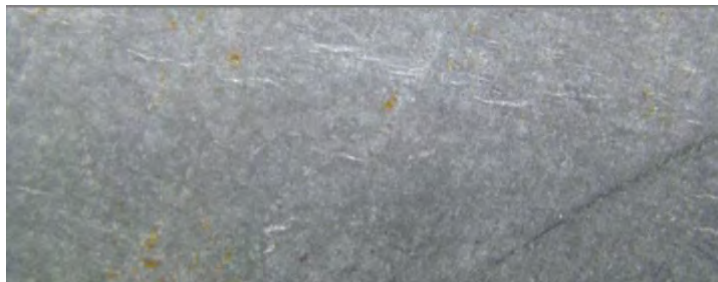


Figure 10: Faible (0.1 à 1%)

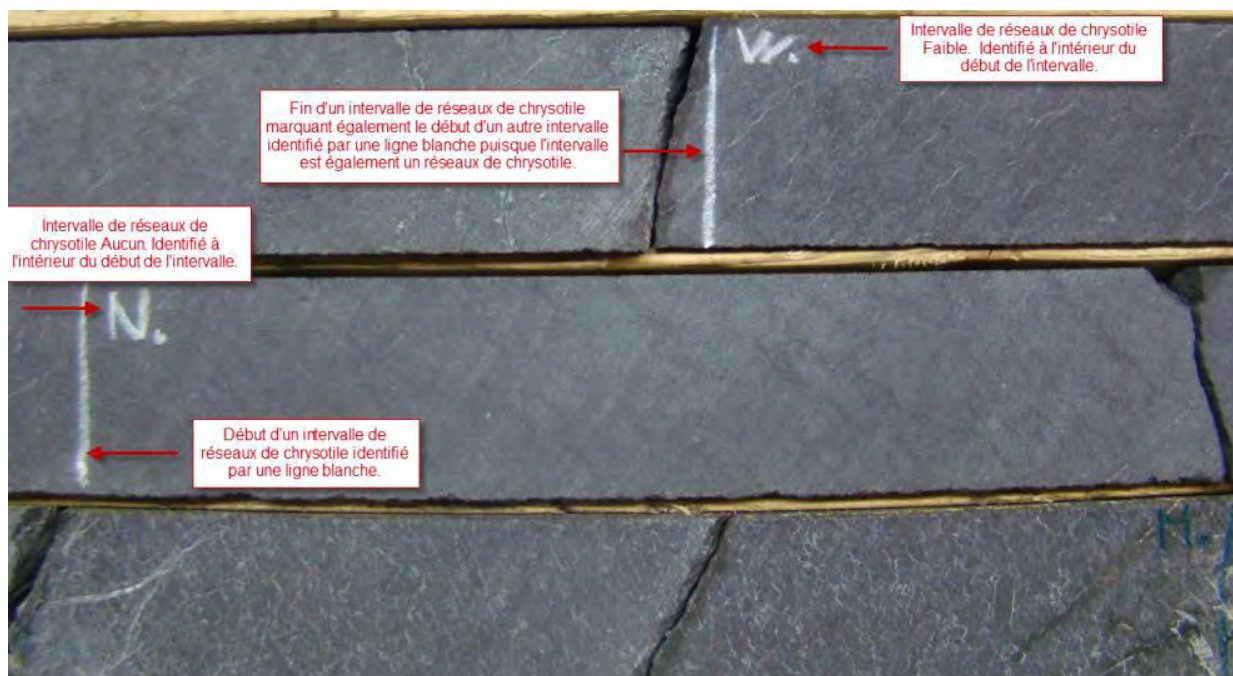


Figure 11: Exemple de délimitation des Réseaux de chrysotile

2. Les intervalles de «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées» sont séparés en délimitant les sections avec un crayon vert (figure 16) selon leur intensité (figures 12, 13, 14 et 15).

- Si l'intervalle de la zone hautement fragmentée se situe entre 1% et 10% de chrysotile, un «W» (Intensité Faible) est alors marqué dans le coin supérieur gauche de la ligne de délimitation du début de l'intervalle.
- Si l'intervalle de la zone hautement fragmentée se situe entre 10% et 25% de chrysotile, un «M» (Intensité Modérée) est alors marqué dans le coin supérieur gauche de la ligne de délimitation du début de l'intervalle.
- Si l'intervalle de la zone hautement fragmentée se situe entre 25% et 40% de chrysotile, un «H» (Intensité Élevée) est alors marqué dans le coin supérieur gauche de la ligne de délimitation du début de l'intervalle.
- Si l'intervalle de la zone hautement fragmentée se situe entre 40% et 70% de chrysotile, un «I» (Intensité Intense) est alors marqué dans le coin supérieur gauche de la ligne de délimitation du début de l'intervalle.



Figure 12: Intense (40 à 70%)



Figure 13: Élevée (25 à 40%)



Figure 14: Modérée (10 à 25%)



Figure 15: Faible (1 à 10%)



Figure 16: Exemple de délimitation du chrysotile dans les zones hautement fragmentées

3. Les veines/fractures de chrysotile significatives (seulement si elles contiennent entre 70% et 100% de chrysotile, sinon elles sont identifiées comme étant une zone hautement fragmentée) sont délimitées par un traçage du contour avec un crayon orange (Figures 17 et 18). Les veines de chrysotile trop petites pour les mesurer avec une règle sont incluses dans les intervalles de Réseaux de chrysotile.

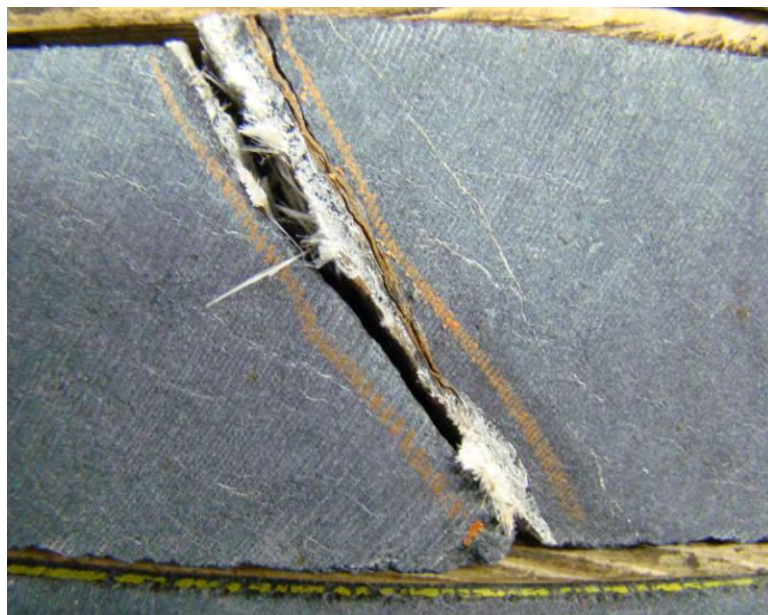


Figure 17: Veine de chrysotile coupant presque perpendiculairement l'axe de la carotte de forage



Figure 18: Veine de chrysotile subparallèle à l'axe de la carotte de forage

Prises des mesures

4. Les intervalles de «Réseaux de chrysotile» (en blanc) sont mesurés au millimètre près avec une règle et les résultats sont placés dans la colonne appropriée dans la table «Chrysotile» de DH Logger® (Figure 19).

- Les intervalles «Réseaux de chrysotile Aucun»: Tous les intervalles identifiés avec un «N» sont mesurés et additionnés et la mesure résultante est mise dans la colonne «None (0% to 0.1%)».
- Les intervalles «Réseaux de chrysotile Faible»: Tous les intervalles identifiés avec un «W» sont mesurés et additionnés et la mesure résultante est mise dans la colonne «Network (0.1% to 1%)».
- Les intervalles «Réseaux de chrysotile Modérée»: Tous les intervalles identifiés avec un «M» sont mesurés et additionnés et la mesure résultante est mise dans la colonne «Network (1% to 2.5%)».
- Les intervalles «Réseaux de chrysotile Élevée»: Tous les intervalles identifiés avec un «H» sont mesurés et additionnés et la mesure résultante est mise dans la colonne «Network (2.5% to 4.5%)».
- Les intervalles «Réseaux de chrysotile Intense»: Tous les intervalles identifiés avec un «I» sont mesurés et additionnés et la mesure résultante est mise dans la colonne «Network (4.5% to 7%)».

5. Les intervalles de «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées» (en vert) sont mesurés au millimètre près avec une règle et les résultats sont placés dans la colonne appropriée dans la table «Chrysotile» de DH Logger® (Figure 19).

- Les intervalles «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées Faible»: Tous les intervalles identifiés avec un «W» sont mesurés et additionnés et la mesure résultante est mise dans la colonne «RZ (1% to 10%)».
- Les intervalles «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées Modérée»: Tous les intervalles identifiés avec un «M» sont mesurés et additionnés et la mesure résultante est mise dans la colonne «RZ (10% to 25%)».
- Les intervalles «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées Élevée»: Tous les intervalles identifiés avec un «H» sont mesurés et additionnés et la mesure résultante est mise dans la colonne «RZ (25% to 40%)».
- Les intervalles «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées Intense»: Tous les intervalles identifiés avec un «I» sont mesurés et additionnés et la mesure résultante est mise dans la colonne «RZ (40% to 70%)».

Drill Hole from (0.00) to (868.00)

Project: 100

Dumont Resource Drilling

Hole Info: 11-09-268

Status: COPY

Colors

Details

Analysis

	Survey (1%)	Location (1)	Depth/Recess (1/1)	Altitude (1)	Altitude (1)	Surface (2)	Colour (1)	Fracture Structure (1/1)	Standard (1)	Microfracture (1/1)	Post-Lined Fracture (1)	Concentration (1)	Zone Size (2)	Heat Results (1)	Chrysotile (1/4)	
	From	To	Core Length Measured	None (0 to 1%) Network (0.1% to 1%) Network (1% to 2%) Network (2.1% to 5%) Network (4.5% to 7%) RZ (1% to 10%) RZ (10% to 20%) RZ (20% to 40%) RZ (40% to 70%) Veins and Fractures	Total Length	Chrysotile %									Comments	
1	18.00	18.00	381.00	2.970	.000	1.300	.980	.130	.000	.230	.000	.320	.000	.010	2.970	5.899
	18.00	18.00	510.00	513.00	2.700	1.291	.598	.000	.000	.236	.635	.000	.000	.000	2.760	4.438
7A	161.25	161.25	549.00	552.00	2.500	.000	.000	.000	.000	2.500	.000	.000	.000	.000	2.500	15.000
	161.25	161.25	339.00	342.00	3.011	.000	3.121	.000	.000	.275	.171	.118	.000	.000	3.011	4.138
10B	106.17	106.17	327.00	330.00	3.510	.000	.481	1.293	.179	.028	.837	.383	.108	.000	3.310	4.671
	106.00	106.00	360.00	363.00	2.940	.000	2.696	.080	.000	.000	.000	.055	.090	.010	2.940	3.720
10B	109.00	109.00	242.00	245.00	3.283	.000	1.478	.174	.156	.138	1.122	.179	.013	.000	3.283	3.621
	118.13	118.13	375.00	378.00	2.985	.000	1.390	.806	.644	.000	.000	.000	.145	.000	2.985	4.296
7A	118.00	118.00	403.00	406.00	3.390	.000	1.740	.590	.280	.000	.000	.000	.000	.000	3.390	3.982
	118.00	118.00	414.00	417.00	2.975	.000	.435	1.360	.000	1.140	.200	.000	.000	.000	2.975	3.252
6B	124.38	124.38	618.00	621.00	3.012	.000	1.333	1.106	.086	.031	.259	.109	.106	.000	3.012	3.152
	124.38	124.38	324.00	327.00	3.074	.000	1.038	.031	.052	.000	.842	.311	.000	.000	3.074	3.125
10B	159.00	159.00	594.00	597.00	2.833	.000	.000	1.412	.238	.000	1.017	.054	.112	.000	2.833	3.913
	222.00	222.00	522.00	525.00	3.024	.000	1.991	.429	.082	.000	.091	.421	.000	.000	3.024	3.027
6A	231.50	231.50	412.00	415.00	3.000	.000	.430	1.500	.000	3.000	.000	.000	.000	.000	3.000	3.980
	231.50	231.50	606.00	609.00	2.946	.000	1.681	.202	.301	.234	.272	.122	.044	.000	2.946	2.657
10B	385.00	385.00	348.00	351.00	3.120	.000	.000	.190	2.930	.000	.000	.000	.000	.000	3.120	3.351
	385.00	385.00	315.00	318.00	3.284	.000	.888	1.368	.271	.000	.546	.176	.000	.000	3.284	2.692
10B	385.00	385.00	312.00	315.00	3.067	.000	1.686	.878	.051	.000	.265	.161	.038	.000	3.067	2.690
	532.00	532.00	333.00	336.00	2.911	.000	1.673	.173	.312	.000	.547	.192	.000	.000	2.911	2.635
10B	652.00	652.00	345.00	348.00	3.140	.000	.403	1.624	.000	1.10	.000	.000	.005	3.140	2.844	
	652.00	652.00	660.00	663.00	2.890	.000	1.760	.662	.000	.328	.191	.000	.046	.000	2.890	2.683
10B	803.00	803.00	330.00	333.00	3.016	.000	1.053	.949	.000	.825	.189	.000	.000	.000	3.016	2.573
	803.00	803.00	561.00	564.00	2.960	.000	1.245	1.060	.630	.000	.000	.000	.000	.000	2.960	2.572
10B	833.00	833.00	393.00	396.00	2.920	.000	1.133	1.020	.000	1.330	.000	.000	.000	.000	2.920	2.529
	833.00	833.00	452.00	455.00	2.830	.000	.480	1.420	.240	.000	.120	.000	.070	.000	2.830	2.487
10B	868.00	868.00	300.00	303.00	2.824	.000	1.778	.173	.000	.805	.000	.061	.000	.000	2.824	2.458
	868.00	868.00	519.00	522.00	2.967	.000	1.169	.587	.994	.363	.253	.000	.000	.000	2.967	2.339
10B	868.00	868.00	447.00	450.00	2.805	.584	1.266	.195	.534	.000	.000	.226	.000	.000	2.805	2.335
	868.00	868.00	420.00	423.00	2.920	.000	1.670	.000	.000	1.250	.000	.000	.000	.000	2.920	2.385
10B	868.00	868.00	366.00	369.00	3.028	.600	.424	.684	.895	.000	.437	.000	.000	.000	3.028	2.213
	868.00	868.00	331.00	334.00	3.030	.485	1.410	.775	.360	.000	.360	.000	.000	.000	3.030	2.386
10B	868.00	868.00	336.00	339.00	3.094	.000	1.751	.526	.255	.000	.479	.072	.000	.000	3.094	2.178
	868.00	868.00	318.00	321.00	3.037	.000	2.138	.489	.000	.000	.000	.041	.000	.000	3.037	2.156
10B	868.00	868.00	321.00	324.00	3.005	.000	.717	1.401	.000	.692	.190	.000	.000	.000	3.005	2.800
	868.00	868.00	657.00	660.00	2.928	.000	2.012	.478	.000	.288	.198	.000	.000	.000	2.928	2.142
10B	868.00	868.00	576.00	579.00	2.990	.000	1.552	.507	.499	.064	.294	.094	.000	.000	2.990	2.105
	868.00	868.00	492.00	495.00	2.916	.000	1.462	1.816	.000	.000	.121	.000	.000	.000	2.916	2.098
10B	868.00	868.00	387.00	390.00	2.820	.000	1.664	.710	.000	.370	.000	.000	.000	.000	2.820	2.093

6. Les veines/fractures de chrysotile sont mesurées au millimètre près dans l'intervalle de 3 mètres. Le total, des largeurs cumulées, des veines/fractures est additionné, la valeur résultante est placée dans la colonne «Veins and Fractures». Si une veine recoupe l'axe de la carotte de forage avec un angle faible (Figure 18), une équation standard est utilisée. Cette équation permet de calculer l'épaisseur relative de chrysotile dans la veine en séparant la veine en plusieurs segments de 4.5 cm et en les mesurant côte à côte perpendiculairement à l'axe de la carotte de forage. Les étapes suivantes démontrent l'équation:

Étape 1: La longueur totale de la veine de chrysotile est mesurée et divisée par 4.5 cm (diamètre de la carotte).

Étape 2: L'épaisseur moyenne de chrysotile dans la veine est multipliée par le résultat obtenu à l'étape 1.

Exemple illustrant la figure 20:

Étape 1: Longueur totale de la veine (22.5cm) / 4.5cm = 5

Étape 2: Épaisseur moyenne de chrysotile dans la veine = 2mm
2mm * 5 = 10mm

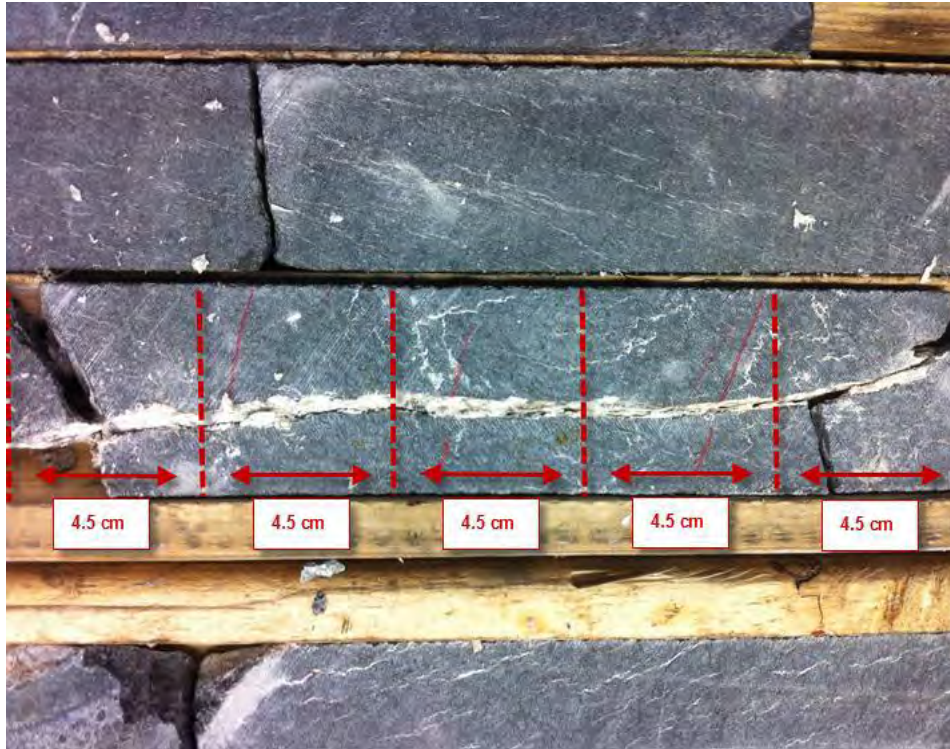


Figure 20: Segmentation en 4.5 cm d'une veine de chrysotile subparallèle à l'axe de la carotte

Collecte des données

7. La longueur totale de la carotte de forage entre les blocs de 3 mètres est mesurée.

- La longueur mesurée est insérée dans la colonne «Core Length Measured» et est comparée avec la colonne «Total Length» (expliquée dans la section «Interprétation des données») dans DH Logger® (Figure 19).
- Si les mesures ont une différence de 5 cm ou plus, les mesures entrées dans toutes les colonnes sont revérifiées pour voir si une donnée a été mal entrée. Si les données sont bien entrées, les intervalles de chrysotile sont tous remesurés pour voir si un intervalle a été oublié.
- Si les mesures ont une différence de moins de 5 cm, la valeur est considérée acceptable.

7) Interprétation des données

Une fois que toutes les mesures d'un intervalle de 3 mètres sont entrées dans la table «Chrysotile» dans DH Logger®, la sommation des mesures de chaque catégorie d'intensité de chaque environnement de chrysotile de l'intervalle de 3 mètres est calculée automatiquement dans la colonne «Total Length». En comparant la colonne «Total Length» avec la mesure de la longueur totale de la carotte de forage (colonne «Core Length Measured»), une vérification peut être faite par les géologues pour voir si les mesures ont bien été prises et/ou entrées dans DH Logger®. La colonne «Total Length» a été créée pour une assurance de qualité. L'équation du calcul automatique de la colonne «Total Length» est démontrée ci-dessous:

«Total Length» = «Réseaux de chrysotile Aucun» + «Réseaux de chrysotile Faible» + «Réseaux de chrysotile Modérée» + «Réseaux de chrysotile Élevée» + «Réseaux de chrysotile Intense» + «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées Faible» + «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées Modérée» + «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées Élevée» + «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées Intense» + «Chrysotile dans les veines/fractures».

Voici un exemple utilisant les valeurs de l'intervalle 228m à 231m du trou 11-RN-300 (Annexe V):

Longueur de la carotte	Réseaux de chrysotile					Chrysotile dans les zones hautement fragmentées				Chrysotile dans les veines /fractures	Calculs		
	Aucun	Faible	Modérée	Élevée	Intense	Faible	Modérée	Élevée	Intense		% Chrysotile	Total Length	Chrysotile Length
2.969	1.084	0.266	0.21	0.09	0	0.872	0.377	0	0.07	0	4.380	2.969	0.1300

«Total Length» = 1.084 + 0.266 + 0.21 + 0.09 + 0.872 + 0.377 + 0.07 = 2.969

De façon simultanée, le pourcentage de chrysotile de l'intervalle de 3 mètres est calculé automatiquement dans la colonne «% Chrysotile» avec une équation utilisant la valeur assignée aux catégories d'intensités (Tableau 2). Le pourcentage de chrysotile est calculé premièrement par une multiplication de chaque catégorie d'intensité par leur valeur assignée. Les résultats sont ensuite additionnés pour être finalement divisés par la valeur de la colonne «Total Length» pour donner un pourcentage de chrysotile de l'intervalle de 3 mètres. L'équation du calcul automatique de la colonne «% Chrysotile» est démontrée ci-dessous:

«% Chrysotile» = ((«Réseaux de chrysotile Aucun» * 0%) + («Réseaux de chrysotile Faible» * 0.75%) + («Réseaux de chrysotile Modérée» * 1.75%) + («Réseaux de chrysotile Élevée» * 3.5%) + («Réseaux de chrysotile Intense» * 6%) + («Chrysotile dans les zones hautement fragmentées Faible» * 3%) + («Chrysotile dans les zones hautement fragmentées Modérée» * 15%) + («Chrysotile dans les zones hautement fragmentées Élevée» * 35%) + («Chrysotile dans les zones hautement fragmentées Intense» * 55%) + («Chrysotile dans les veines/fractures» * 100%)) / «Total Length» * 100

Tous les pourcentages (Valeur assignée) sont tirés du Tableau 2 de la section Description de la Méthode

Voici un exemple utilisant les valeurs de l'intervalle 228m à 231m du trou 11-RN-300 (Annexe V):

Longueur de la carotte	Réseaux de chrysotile					Chrysotile dans les zones hautement fragmentées				Chrysotile dans les veines /fractures	Calculs		
	Aucun	Faible	Modérée	Élevée	Intense	Faible	Modérée	Élevée	Intense		% Chrysotile	Total Length	Chrysotile Length
2.969	1.084	0.266	0.21	0.09	0	0.872	0.377	0	0.07	0	4.380	2.969	0.1300

$$\text{«\% Chrysotile»} = ((1.084 * 0) + (0.266 * 0.75\%) + (0.21 * 1.75\%) + (0.09 * 3.5\%) + (0.872 * 3\%) + (0.377 * 15\%) + (0.07 * 55\%)) / 2.969 * 100 = 4.380\%$$

Dans le but de calculer la moyenne pondérée d'un ensemble des pourcentages de chrysotile (calcul de la moyenne pondérée d'une lithologie, d'un trou de forage, etc.), la longueur du chrysotile de chaque intervalle de 3 mètres est calculée automatiquement dans la colonne «Chrysotile Length» par une équation qui multiplie le pourcentage de chrysotile («Chrysotile %») par la colonne «Total Length» divisé par 100. L'équation du calcul automatique de la colonne «Chrysotile Length» est démontrée ci-dessous:

$$\text{«Chrysotile Length»} = \text{«Total Length»} * \text{«\% Chrysotile»} / 100$$

Voici un exemple utilisant les valeurs de l'intervalle 228m à 231m du trou 11-RN-300 (Annexe V):

Longueur de la carotte	Réseaux de chrysotile					Chrysotile dans les zones hautement fragmentées				Chrysotile dans les veines /fractures	Calculs		
	Aucun	Faible	Modérée	Élevée	Intense	Faible	Modérée	Élevée	Intense		% Chrysotile	Total Length	Chrysotile Length
2.969	1.084	0.266	0.21	0.09	0	0.872	0.377	0	0.07	0	4.380	2.969	0.1300

$$\text{«Chrysotile Length»} = 2.969 * 4.380 / 100 = 0.13$$

Lorsque le journal de sondage du chrysotile est complété pour un trou, les données sont exportées dans Excel et chaque intervalle du trou de forage est séparé respectivement par les lithologies présentes dans le trou de forage. Par la suite, une moyenne pondérée des pourcentages de chrysotile est calculée pour chaque lithologie en divisant la sommation de toutes les données de la colonne «Chrysotile Length» par la sommation de toutes les données de la colonne «Total Length» multipliée par 100. La moyenne pondérée de tous les pourcentages du trou est également calculée de la même façon en prenant toutes les données du trou. L'équation des moyennes pondérées est démontrée ci-dessous:

$$\text{Moyenne pondérée} = \Sigma \text{«Chrysotile Length» (Longueur du chrysotile)} / \Sigma \text{«Total Length» (Longueur de carotte de forage calculée)} * 100$$

Voici un exemple utilisant toutes les valeurs des intervalles du trou 11-RN-300 (Annexe V) :

	Carotte de forage		Calculs				Carotte de forage		Calculs		
Numéro du trou de forage	Début de l'intervalle	Fin de l'intervalle	% Chrysotile	Total Length	Chrysotile Length		Début de l'intervalle	Fin de l'intervalle	% Chrysotile	Total Length	Chrysotile Length
11-RN-300	45	48	0.203	2.975	0.0060		159	162	0.405	3.022	0.0122
11-RN-300	48	51	0.352	2.9	0.0102		162	165	0.173	2.875	0.0050
11-RN-300	51	54	0.250	2.85	0.0071		165	168	0.457	3.034	0.0139
11-RN-300	54	57	0.121	2.995	0.0036		168	171	5.144	2.989	0.1537
11-RN-300	57	60	0.065	2.925	0.0019		171	174	2.376	2.98	0.0708
11-RN-300	60	63	0.115	3	0.0035		174	177	1.310	2.96	0.0388
11-RN-300	63	66	0.489	3.035	0.0149		177	180	0.104	2.881	0.0030
11-RN-300	66	69	0.231	2.935	0.0068		180	183	0.567	3.024	0.0172
11-RN-300	69	72	0.017	3.045	0.0005		183	186	2.076	2.966	0.0616
11-RN-300	72	75	1.788	3.1	0.0554		186	189	0.561	2.942	0.0165
11-RN-300	75	78	0.899	3	0.0270		189	192	1.344	3.036	0.0408
11-RN-300	78	81	0.078	3.065	0.0024		192	195	2.180	3.088	0.0673
11-RN-300	81	84	0.971	2.76	0.0268		195	198	1.984	3.041	0.0603
11-RN-300	84	87	0.758	2.9	0.0220		198	201	2.602	3.018	0.0785
11-RN-300	87	90	0.284	3.095	0.0088		201	204	3.344	3.028	0.1012
11-RN-300	90	93	0.040	3.115	0.0012		204	207	0.346	2.985	0.0103
11-RN-300	93	96	1.138	2.925	0.0333		207	210	1.084	2.953	0.0320
11-RN-300	96	99	0.926	2.995	0.0277		210	213	3.681	2.993	0.1102
11-RN-300	99	102	0.216	3.045	0.0066		213	216	0.616	2.986	0.0184
11-RN-300	102	105	0.304	3.12	0.0095		216	219	0.725	3.015	0.0219
11-RN-300	105	108	1.440	3	0.0432		219	222	0.320	3.037	0.0097
11-RN-300	108	111	2.065	2.845	0.0588		222	225	0.237	3.025	0.0072
11-RN-300	111	114	0.283	2.805	0.0079		225	228	0.539	2.958	0.0159
11-RN-300	114	117	3.806	2.885	0.1098		228	231	4.380	2.969	0.1300
11-RN-300	117	120	0.444	2.945	0.0131		231	234	2.770	3.05	0.0845
11-RN-300	120	123	0.500	2.95	0.0148		234	237	0.142	2.932	0.0042
11-RN-300	123	126	0.128	2.97	0.0038		237	240	0.620	3.15	0.0195
11-RN-300	126	129	0.328	2.9	0.0095		240	243	2.593	3.048	0.0790
11-RN-300	129	132	0.629	3.111	0.0196		243	246	0.000	3.133	0.0000
11-RN-300	132	135	2.483	3.033	0.0753		246	249	0.736	3.112	0.0229
11-RN-300	135	138	0.670	3.039	0.0204		249	252	0.874	3.21	0.0280
11-RN-300	138	141	0.462	2.887	0.0133		252	255	1.502	2.8	0.0421
11-RN-300	141	144	0.229	3.035	0.0070		255	258	1.140	2.71	0.0309
11-RN-300	144	147	0.000	3.068	0.0000		258	261	1.720	2.948	0.0507
11-RN-300	147	150	0.918	3.044	0.0280		261	264	0.743	2.851	0.0212
11-RN-300	150	153	0.580	3	0.0174		264	267	0.807	3.01	0.0243
11-RN-300	153	156	6.752	3.102	0.2095		267	270	0.735	2.703	0.0199
11-RN-300	156	159	0.224	2.735	0.0061		270	273	0.939	3.05	0.0287

Moyenne pondérée = $2.4848 / 226.6 * 100 = 1.1\%$

La moyenne pondérée et la longueur totale de la carotte calculée (Σ «Total Length») sont par la suite insérées dans un tableau de compilation pour tous les trous de forages évalués pour le chrysotile de la phase un du projet (voir la section «Résultats» de ce document).

Pour répondre à la recommandation d’InnovExplo de rajouter une colonne montrant la différence entre la colonne «Core Length Measured» et la colonne «Total Length», une nouvelle colonne nommée «Core vs. Total» a été créée dans la table «Chrysotile» de DH Logger® en tant que calcul automatique. Cette colonne servira à mieux identifier les écarts de plus de cinq centimètres entre les colonnes «Core Length Measured» et «Total Length» lors de la collecte de données (Chapitre «Procédures» de ce document). Puisque cette colonne a été créée après la première phase du projet, aucune valeur n’est présentement affichée dans les tables de données. Lors des prochaines évaluations du chrysotile, cette colonne sera utilisée. L’équation du calcul automatique de la colonne «Core vs. Total» est démontrée ci-dessous:

«Core vs. Total» = «Core Length Measured» - «Total Length»

L’ordre des colonnes apparaissant dans la table «Chrysotile» du programme DH Logger® peut être personnalisé par chaque géologue sur leur version de DH Logger® selon leur préférence. De ce fait, chaque géologue peut ainsi mettre les colonnes «Core Length Measured», «Total Length» et «Core vs. Total» un à la suite de l’autre pour mieux visualiser la différence entre les mesures.

8) Résultats

Résultats du journal de sondage du chrysotile

La première phase du projet de quantification du chrysotile a été complétée le 2 février 2013. Les données brutes sont disponibles dans l'Annexe V.

Le Tableau 4 montre les moyennes pondérées des teneurs en pourcentages (tel que démontré dans la section «Interprétation des données») pour chaque unité lithologique de chaque trou de forage sélectionné ainsi que le pourcentage total pondéré de l'ensemble du projet.

Ce tableau prend en considération les ajustements apportés aux valeurs assignées des catégories d'intensité Élevée et Intense des zones hautement fragmentées, de la recatégorisation des zones hautement fragmentées Intense et de l'ajout du chrysotile dans les zones non récupérées.

Représentativité des données

Les figures 21, 22 et 23 mettent en évidence la distribution hétérogène du contenu en chrysotile des roches ultramafiques. L'hétérogénéité est représentée par les hautes concentrations de chrysotile qui se retrouvent concentrées autour des zones de failles majeures et de leurs failles associées identifiées par RNC, Itasca et SRK. Par le fait même, ces figures démontrent que la majorité du gisement se retrouve en dehors de ces zones de faille.

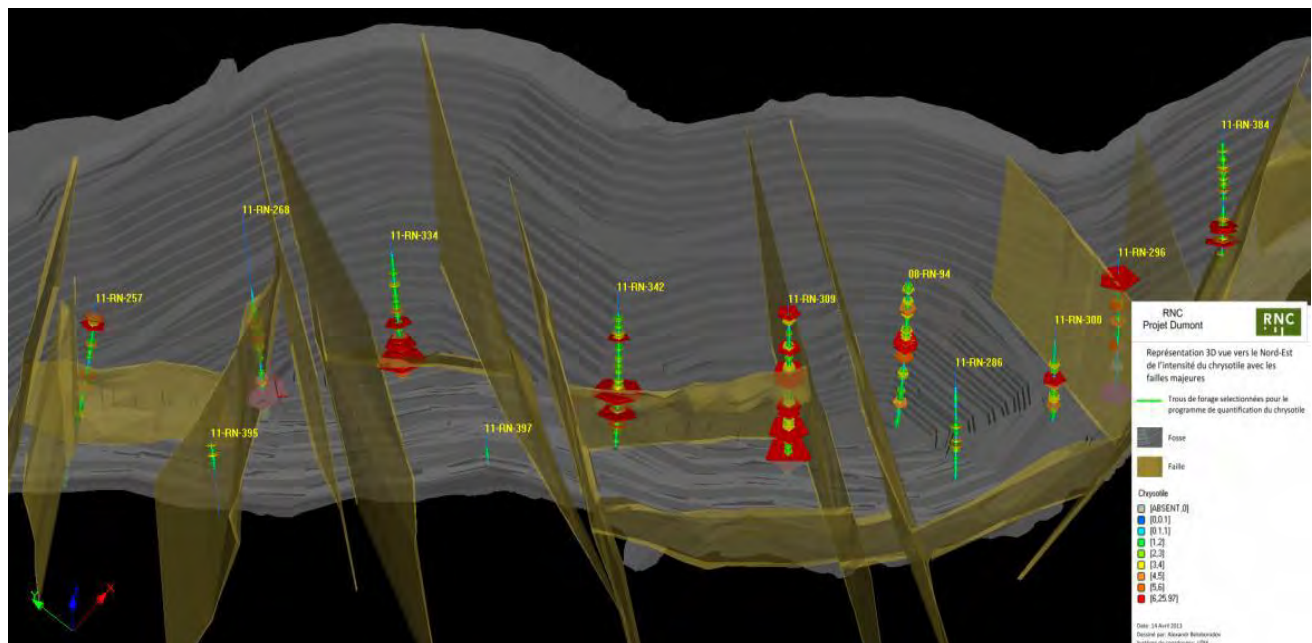


Figure 21: Représentation 3D vers le Nord-Est du chrysotile avec les failles majeures mises à jour en 2012.

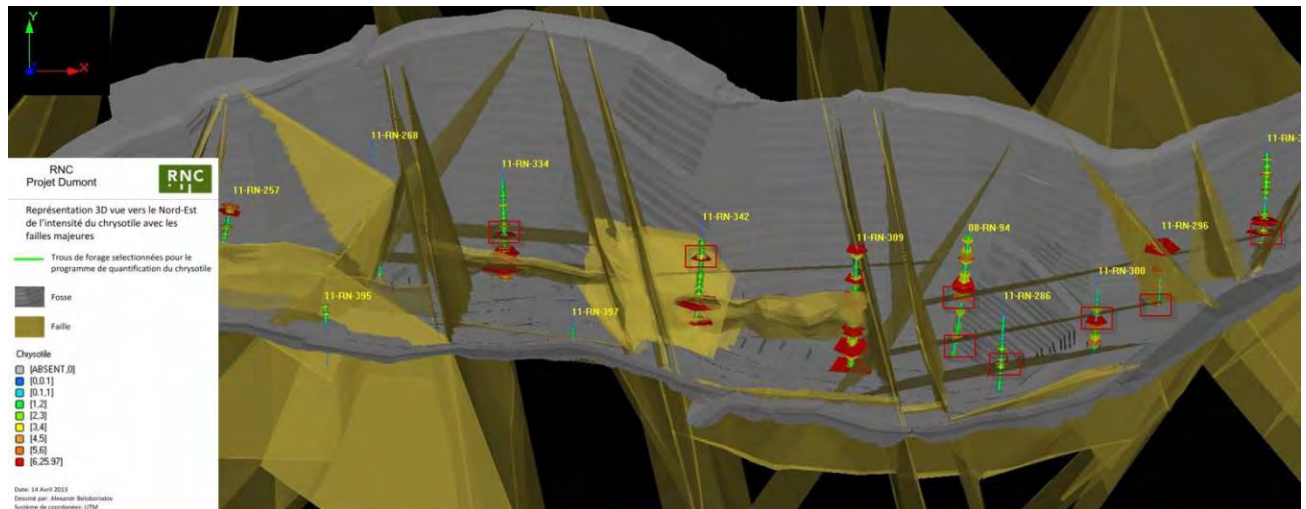


Figure 22: Représentation 3D vue vers le Nord-Est.

Sur la figure 22, les boites rouges représentent les failles mineures interprétées par SRK en 2011, qui n'ont pas été retenues dans la mise à jour des failles majeures de 2012.

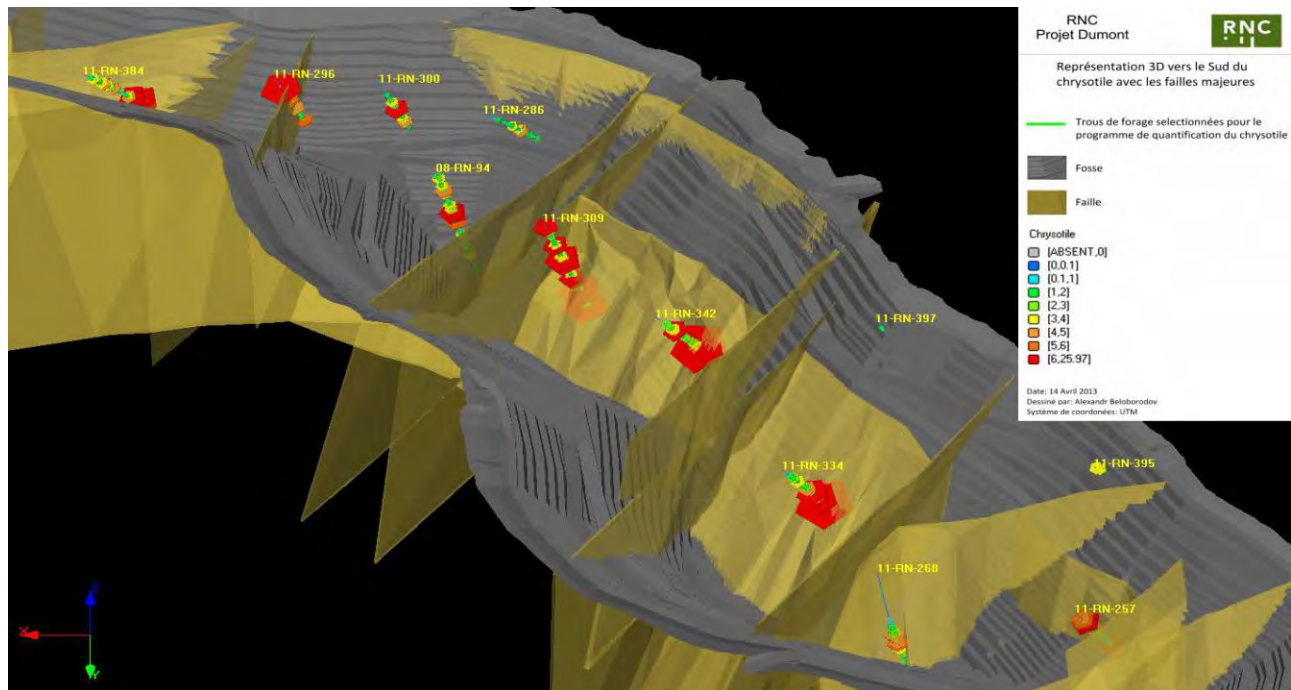


Figure 23: Représentation 3D vers le Sud du chrysotile avec les failles majeures.

Tableau 4: Quantification du chrysotile

Quantification du chrysotile (Moyenne Pondérée)

	TROUS	Péridotite Supérieure	Dunite	Péridotite Inférieure	Sous total Roche	Carotte non récupérée	TOTAL
Domaine 1	11-RN-372	91.9 m	152.8 m	20.6 m	265.3 m	0.6 m	265.9 m
		1.9%	0.9%	0.6%	1.2%	8.75%	1.2%
Domaine 2	11-RN-384	178.0 m	41.5 m	177.8 m	397.3 m	7.7 m	405.0 m
		1.6%	3.4%	1.5%	1.7%	8.75%	1.9%
Domaine 3	08-RN-94	100.7 m	351.2 m	0 m	451.8 m	0 m	451.8 m
		1.9%	1.7%		1.7%	0%	1.7%
Domaine 3	11-RN-286	0 m	221.6 m	0 m	221.6 m	1.8 m	223.4 m
			1.2%		1.2%	8.75%	1.3%
Domaine 3	11-RN-300	0 m	226.6 m	0 m	226.6 m	1.4 m	228.0 m
			1.1%		1.1%	8.75%	1.1%
Domaine 3	11-RN-296	0 m	258.5 m	86.1 m	344.6 m	4.4 m	349.0 m
			1.1%	1.5%	1.2%	8.75%	1.3%
Domaine 4	11-RN-342	110.2 m	247.1 m	0 m	357.2 m	0 m	357.2 m
		1.8%	2.5%		2.3%	0%	2.3%
Domaine 4	11-RN-309	125.2 m	362.8 m	0 m	488.0 m	7.0 m	495.0 m
		1.7%	2.6%		2.4%	8.75%	2.5%
Domaine 5	11-RN-334	104.4 m	204.9 m	0 m	309.2 m	10.8 m	320.0 m
		1.3%	3.1%		2.5%	8.75%	2.7%
Domaine 5	11-RN-395	0 m	0 m	83.8 m	83.8 m	1.1 m	84.9 m
				0.8%	0.8%	8.75%	0.9%
Domaine 5	11-RN-397	0 m	0 m	46.4 m	46.4 m	1.5 m	47.9 m
				0.5%	0.5%	8.75%	0.7%
Domaine 6	11-RN-268	152.7 m	273.7 m	0 m	426.4 m	5.2 m	431.6 m
		1.8%	1.7%		1.7%	8.75%	1.8%
Domaine 6	11-RN-257	0 m	380.6 m	65.4 m	446.0 m	14.8 m	460.8 m
			1.2%	0.8%	1.2%	8.75%	1.4%
Métrage total par lithologie		862.9 m	2721.3 m	480.1 m	4064.3 m	56.2 m	4120.4 m
Moyenne % par Lithologie		1.7 %	1.8 %	1.1 %	1.7 %	8.75 %	1.8 %

Traitement des données avancé

Un traitement des données a été effectué par la suite avec des méthodes statistiques pour définir un intervalle de confiance sur la moyenne de chrysotile. Les analyses ont été faites sur les différentes lithologies et sur l'ensemble des données. Les résultats sont représentés sur des histogrammes (voir figure 24 à 27) qui incluent des informations additionnelles comme les valeurs maximales et minimales et les percentiles. Voici les étapes du calcul qui a permis d'obtenir les résultats:

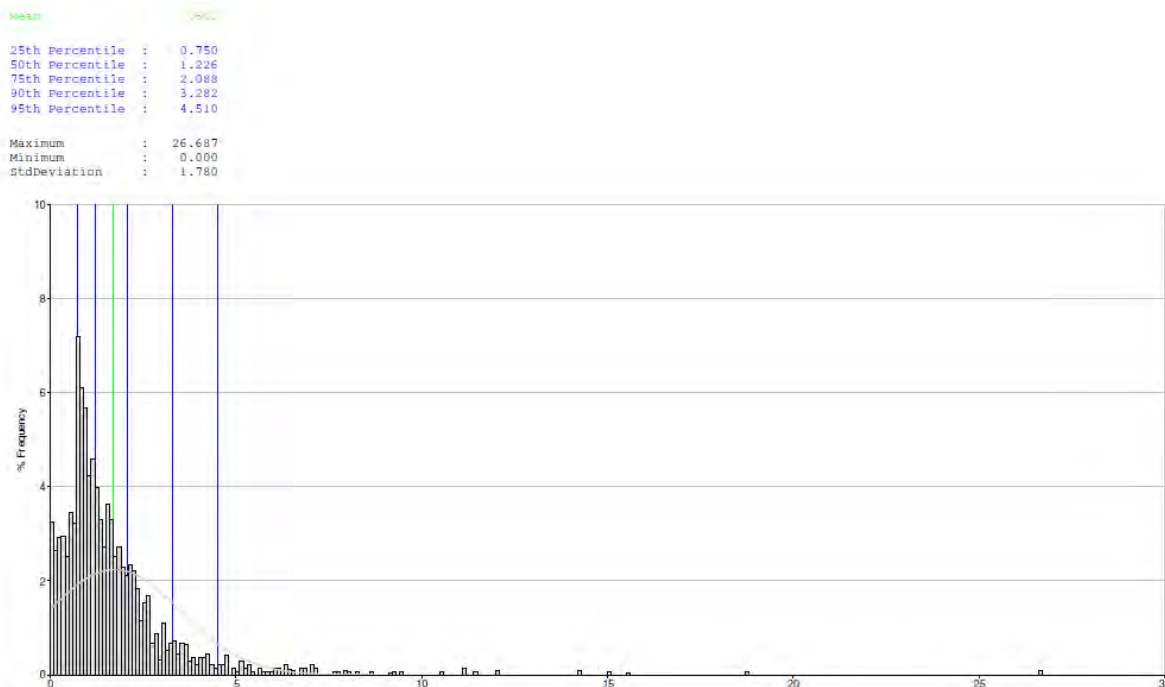
- 1) Calcul de l'écart-type pondéré
- 2) Identification du 95^e percentile
- 3) Calcul de l'intervalle de confiance 95%
- 4) Calcul de l'intervalle de confiance 95% sur la moyenne

1) Calcul de l'écart-type pondéré

L'écart-type est la dispersion des valeurs par rapport à la moyenne. Elle sert à définir les intervalles de confiance. L'écart-type de chaque distribution a été calculé à l'aide de la fonction ÉCARTYPE dans le programme Excel.

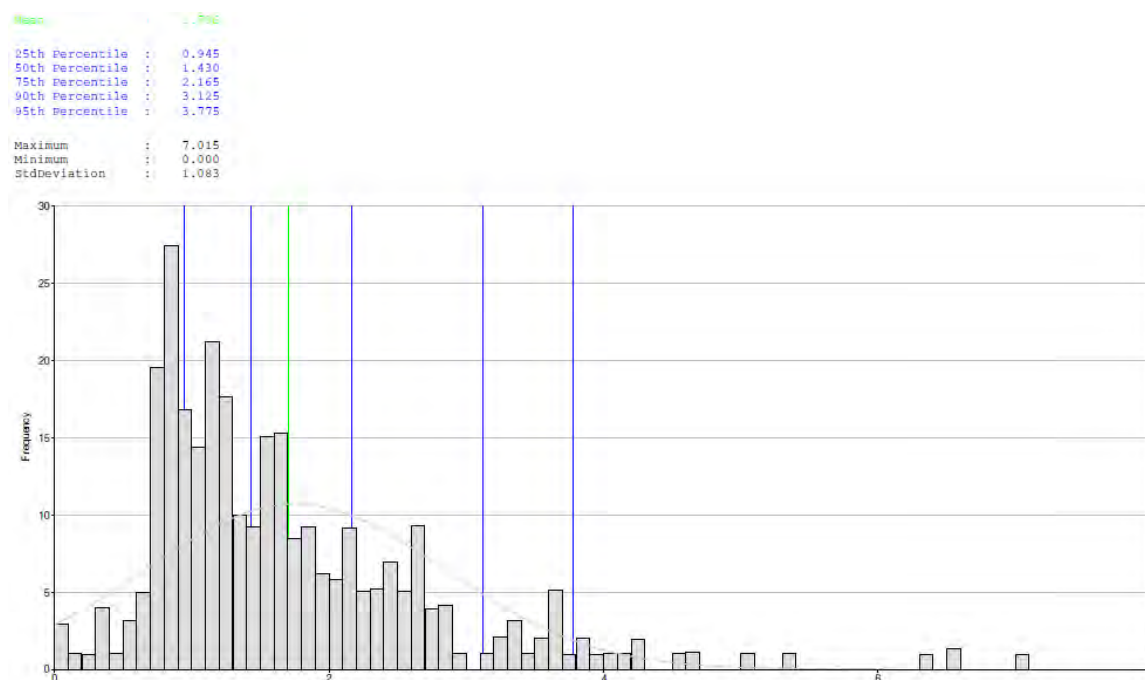
2) Identification du 95e percentile (Figure 24 à 27)

Le 95^e percentile est la valeur qui délimite le 5% des valeurs les plus élevées et les 95% les plus basses. Par exemple, sur un ensemble de 100 données de 1 à 100 respectivement, le 95^e percentile serait la valeur 95. Le 95^e percentile n'est pas un calcul, il est la 95^e plus petite valeur. Il a été déterminé en multipliant le nombre de valeurs par 0.95 dans la distribution et en sélectionnant la valeur correspondant aux résultats.



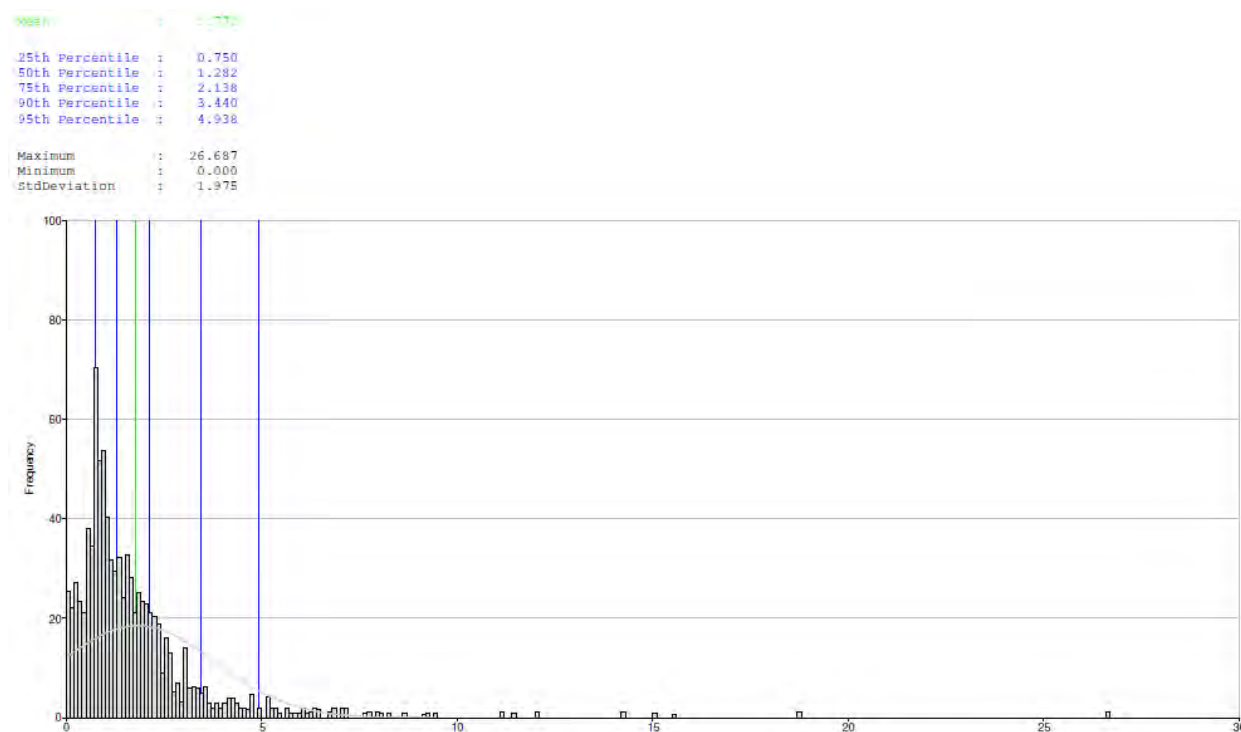
Source : RNC

Figure 24: Histogramme des pourcentages de chrysotile sur l'ensemble des données



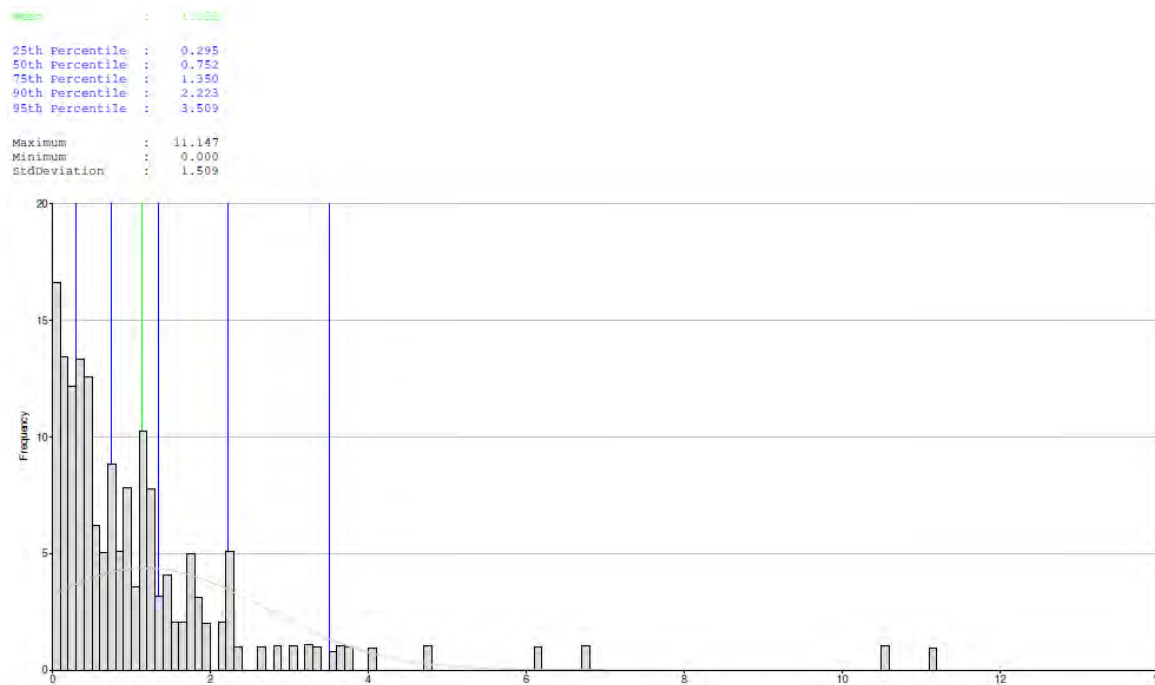
Source : RNC

Figure 25: Histogramme des pourcentages de chrysotile dans la péridotite supérieure



Source : RNC

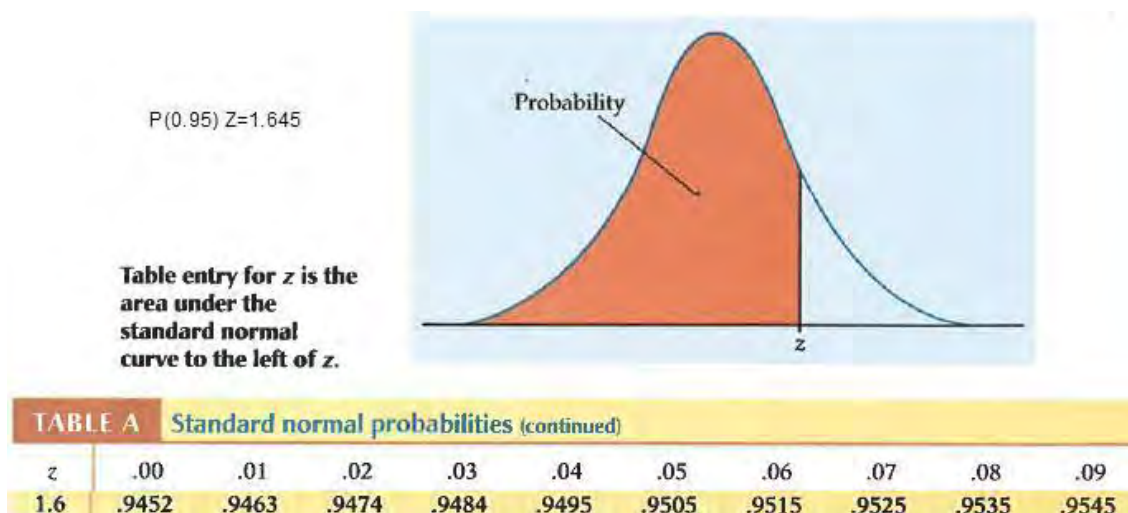
Figure 26: Histogramme des pourcentages de chrysotile dans la dunite



Source : RNC

3) Calcul de l'intervalle de confiance 95% (Figure 28)

L'intervalle de confiance se calcule en fonction de l'écart type pondéré et de la moyenne pondérée. En ajoutant 1.645 fois l'écart-type à la moyenne (valeur absolue correspondant à un niveau de confiance 95%), on obtient un intervalle de confiance unilatérale de 95% sur une distribution. L'intervalle de confiance représente le pourcentage de chance que chaque valeur soit contenue dans l'intervalle. Dans ce cas-ci, il y a 95% de chance que cette valeur se situe entre 0% et la valeur calculée.



Source : Introduction to the practice of statistics. David S. Moore, George P. McCabe

Figure 28: Intervalle de confiance 95%

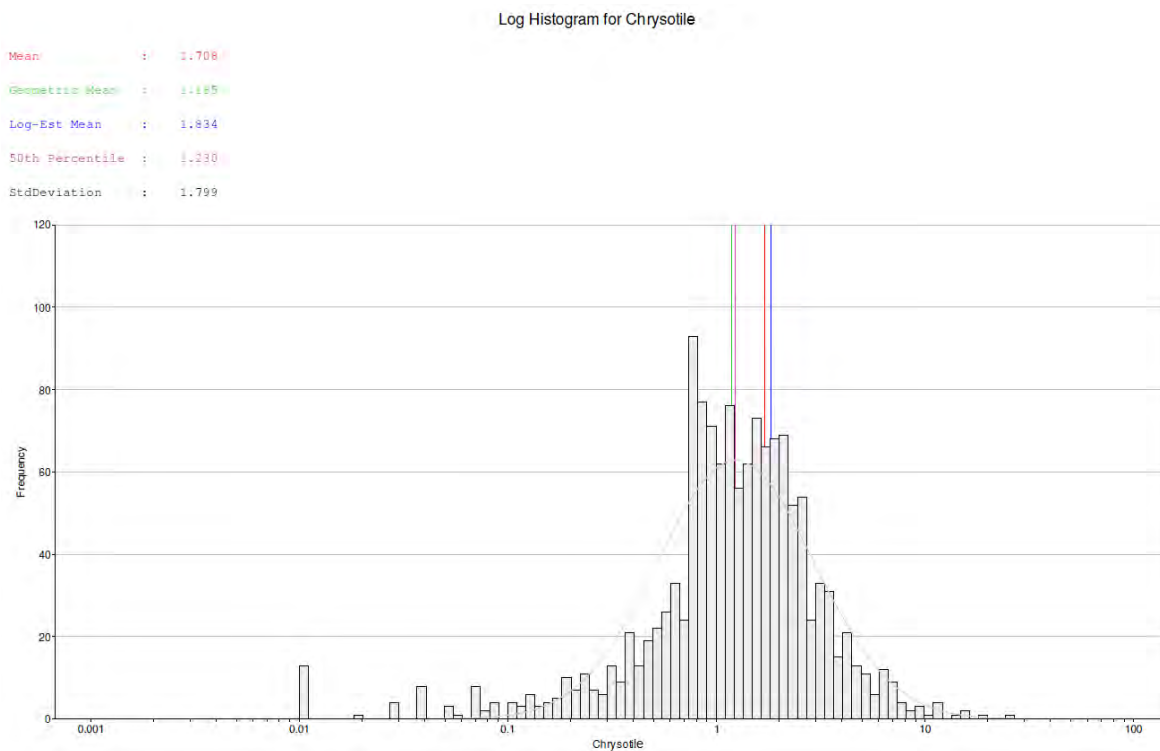
4) Calcul de la moyenne avec intervalle de confiance 95%

La moyenne avec intervalle de confiance est un intervalle dans lequel il y a 95% des chances que la «vraie» moyenne soit incluse à l'intérieur de l'intervalle. Cette valeur se calcule en fonction du nombre de données, de la moyenne et de l'écart-type. Plus il y a de valeurs, plus la moyenne est précise et représente l'ensemble de la population et plus l'intervalle diminue.

En considérant que la distribution n'est pas symétrique (figure 24), deux options peuvent être utilisées pour déterminer l'intervalle.

Première option : Échelle log-normal

La première option consiste à utiliser une échelle log-normal en abscisse sur notre distribution puisque c'est la distribution qui s'en approche le plus. La transformation logarithmique n'a pas été utilisée, car cette transformation modifie les données et minimise le risque; et notre but est d'être conservateur. En utilisant une échelle logarithmique, la distribution ressemble plus à une distribution normale. Une estimation logarithmique de la moyenne peut alors être faite. Dans l'histogramme ci-dessous, l'estimation logarithmique (en bleu) et la moyenne (en rouge) sont similaires.



Source : RNC

Figure 29 : Échelle log-normal en abscisse sur la distribution des données du chrysotile

Deuxième méthode : Données brutes

La deuxième option consiste à utiliser les valeurs brutes sans les transformer. Cette méthode est la plus conservatrice puisqu'elle tient compte de l'asymétrie et a donc une incertitude représentative sur la moyenne. De plus, en statistiques, quand le nombre de valeurs dans une distribution est supérieur à 30, l'asymétrie joue très peu sur les résultats. On peut donc appliquer les méthodes statistiques sur les données brutes.

Résultats des méthodes statistiques

Voici les tableaux des résultats représentant les teneurs en pourcentages obtenus de l'ensemble des données et par type de lithologies. Les deux méthodes de calculs obtiennent des résultats très similaires, c'est donc la méthode qui conserve les données brutes qui a été utilisée puisqu'elle ne minimise pas le risque.

Données brutes uniquement (sans le chrysotile dans les zones de carotte de forage non récupérées)

$$(IC95 = \mu \pm 1.96 * \hat{E}/\text{racine}(n)) \rightarrow 1.7 \pm 1.96 * 1.8/\text{racine}(1377) = 1.7 \pm 0.09 \rightarrow (1.6, 1.8)$$

Tableau 5: Résultats du traitement des données statistiques sur les valeurs examinées

Lithologies	Moyenne Pondérée	Écart-Type	Nombre de valeurs	95e Percentile	Intervalle de Confiance 95%	Limite de tolérance 95% sur la moyenne	
						Inférieure	Supérieure
Péridotite Supérieure	1.7	1.1	294	3.8	3.5	1.6	1.8
Dunite	1.8	2.0	917	4.9	5.1	1.6	1.9
Péridotite Inférieure	1.1	1.5	166	3.3	3.5	0.9	1.4
Ensemble des roches ultramafiques du projet Dumont	1.7	1.8	1 377	4.4	4.6	1.6	1.8

Selon ce tableau, l'application de formules statistiques a donné sur l'ensemble des données de chrysotile un intervalle de confiance de 95% sur la moyenne qui se situe entre 1.6% et 1.8% pour les roches ultramafiques du projet Dumont.

Données incluant les intervalles de chrysotile dans les zones de carotte de forage non récupérées

Le tableau 6 illustre les données mesurées sur la carotte de forage par les géologues et le chrysotile évalué dans les zones de carotte de forage non récupérées.

La teneur du chrysotile dans les carottes de forage non récupérées n'est pas une valeur observée, mais une valeur pondérée qui est démontrée dans le tableau 4. Cette valeur attribuée à la carotte non récupérée correspond à un ajout de 0.1% en chrysotile. Cette valeur a été ajoutée arbitrairement aux valeurs individuelles du tableau 5.

Tableau 6: Résultats du traitement des données statistiques incluant le chrysotile de la carotte non récupérée

Lithologies	Moyenne Pondérée	Écart-Type	Nombre de valeurs	95e Percentile	Intervalle de Confiance 95%	Limite de tolérance 95% sur la moyenne	
						Inférieure	Supérieure
Péridotite Supérieure	1.8	1.1	294	3.9	3.6	1.7	1.9
Dunite	1.9	2.0	917	5.0	5.2	1.7	2.0
Péridotite Inférieure	1.2	1.5	166	3.4	3.6	1.0	1.5
Ensemble des roches ultramafiques du projet Dumont	1.8	1.8	1 377	4.5	4.7	1.7	1.9

Selon ce tableau, l'application de formules statistiques a donné sur l'ensemble des données de chrysotile un intervalle de confiance de 95% sur la moyenne qui se situe entre 1.7% et 1.9% pour les roches ultramafiques du projet Dumont.

Les valeurs globales du tableau 6 sont plus représentatives du gisement Dumont car elles incluent le contenu en chrysotile dans les zones de carotte de forage non récupérées.

9) Conclusion

De toutes les options possibles pour la quantification du chrysotile, seulement l'estimation visuelle quantitative pouvait s'appliquer aux roches ultramafiques du projet Dumont. Une méthode et une procédure détaillées furent mises sur pied pour que les géologues de RNC puissent suivre et maintenir un niveau de constance dans leurs descriptions.

La quantification du chrysotile fut appliquée à 13 trous de forage qui ont été soigneusement sélectionnés sur la base de plusieurs facteurs afin d'obtenir la représentativité complète de la fosse planifiée. Les calculs des données brutes ont été facilités par une série d'équations automatiques créées dans DH Logger®.

L'application de formules statistiques a donné sur l'ensemble des données de teneur en chrysotile une moyenne pondérée de 1.8% avec un intervalle de confiance de 95% sur la moyenne qui se situe entre 1.7% et 1.9% pour les roches ultramafiques du projet Dumont.

ANNEXE I

Evaluation of the mineral carbonation potential of mining residues from Royal Nickel
Dumont Nickel Project, Amos

Evaluation of the mineral carbonation potential of mining residues from Royal Nickel Dumont Nickel Project, Amos (Québec, Canada)

Julie Pronost, Ph. D

Georges Beaudoin, geo., Ph.D.

Marc Constantin, geo., Ph.D.

Josée Duchesne, ing., Ph.D.

Réjean Hébert, geo., ing., Ph.D.

Faïçal Larachi, ing. st. D.Sc.

Département de géologie et de génie géologique
Département de génie chimique
Université Laval

26 April 2010



Table of content

Executive Summary	3
Introduction	5
1 Characterization of the material	6
1.1 Sorting process	6
1.2 Scanning electron microscopy (SEM).....	9
1.3 X-ray diffraction (XRD).....	12
1.4 Chemical characterization	14
1.41 Major element composition of the powdered rocks	14
1.42 Carbon content of the powdered rocks.....	18
1.43 Process water	20
A- Acidity.....	20
B- Solubility of the elements.....	21
2 Carbonation experiments.....	25
2.1 Carbonation in eudiometers	25
2.11 Gas mixture with high CO ₂ content	27
A- Protocol	27
B- Results	28
2.12 Gas mixture with low CO ₂ content	36
A- Protocol	36
B- Results	37
2.2 Carbonation at room conditions	38
3 Characterization of the carbonated material.....	39
3.1 Scanning electron microscopy (SEM).....	39
3.2 X-ray diffraction.....	47
3.3 pH of water.....	49
3.4 Carbon analyses.....	50
3.41 Samples carbonated at room conditions.....	50
3.42 Samples in eudiometers.....	52
4 Interpretations of results.....	56
4.1 Parameters influencing the total amount of carbonation.....	56
4.2 Parameters determining the reaction rate	59
Summary and conclusions.....	64
Appendix	67

Executive Summary

Carbonation of calcium or magnesium-rich minerals produces carbonates that are stable at the Earth's surface. These spontaneous reactions provide a suitable process for long term storage of CO₂. Twelve ultramafic samples provided by Royal Nickel Corporation have been studied in order to determine their potential for carbon sequestration. They belong to three different fractions produced by the sorting process of mineralized rocks from four different geological domains. The sorting fractions have varying grain size : 20 mesh for the fluffs, 100 mesh for the slimes and 150 mesh for the final tails. All the samples contain serpentine and brucite as major mineral components and magnetite and chlorite as minor phases. The geological domain of origin influences the relative abundance of brucite and serpentine, the content of brucite ranging from 13 to 20 wt %.

Final tail and slime fraction samples were delivered submerged in water. All the process waters displayed basic pH apart from one sulfur-rich sample. The amount of dissolved ions is in the range 16-31 ppm for Mg, 4-62 ppm for Ca, 10-27 ppm for Na and 3-7 ppm for K. The solid fractions contain less than 0.3% of Ca, Na and K oxides but these elements have a high solubility whereas Mg has a low solubility but its oxide accounts for more than 40 wt % of the solid samples. All the samples contained detectable amounts of CO₂ before the experiments, from 0.3% on average for fluffs to 0.9% on average for final tails, the finer fractions being the most reactive. This early carbonation presumably occurred after crushing during the sorting process and, for the fractions submerged in water, during open-air drying preliminary to the experiments.

One series of carbonation experiments was carried out in open atmosphere at standard indoor conditions (24°C, 380 – 400 ppm CO₂). Water was regularly added to the samples in order to keep the powders wet but not submerged. Half of each sample was been regularly crushed and stirred, the other half remained an unworked witness. After 33 days of reaction, unworked samples were containing between 1.5% CO₂ (average for fluffs) and 1.9% CO₂ (average for final tails). Regular stirring increased the CO₂ content of 0.2% on average.

Six series of experiments have been performed in eudiometers. These instruments allow real time monitoring of CO₂ uptake. It is thus possible to determine when the samples become unreactive with respect to CO₂, which indicate they have reached their maximum amount of carbonation. In addition to final content of carbon in the samples, reaction rates can also be calculated. Different amounts of powdered rocks were set in CO₂-rich gas mixtures (10 to 40 vol %) at two different temperatures (21 and 33°C) with varying water contents.

Samples that have reached their maximum amount of carbonation contain between 5.2 and 9.5% CO₂. MEB observation and EDS analysis have revealed carbonates in different habits: flakes, agglomerates and well crystallized prisms. The most common mineral has been identified by DRX analysis as nesquehonite (Mg(HCO₃)(OH).2H₂O), but dypingite (Mg₅(CO₃)₄(OH)₂.5H₂O) is also present in samples carbonated at higher temperature. A decrease in brucite proportion in carbonated samples in comparison with the initial powdered samples suggests that this phase is consumed preferentially by the carbonation reaction.

The mineral composition of the sample, which is determined by geological domain of origin, is the most important parameter influencing the final CO₂ content. Samples with 13 to 18% brucite can reach 6-7% CO₂ and samples with 18-20% brucite can reach 8-9% CO₂. In the range of tested conditions, other factors did not exert a strong influence on the maximal amount of carbonation.

Carbonation rates during the first days of reaction are sensitive to different parameters. The amount of sample loaded in a eudiometer determines the ratio between the surface of sample being in direct contact with the gas mixture and the total volume of powder. It is observed that the reaction rate by unit of weight is higher when the volume of powder is low. This probably corresponds to diffusion of CO₂ and/or advection of gas in the pores of the solid sample. It is observed that the coarser fractions display a higher reaction rate early in the experiment compared to the finer fractions, which can be ascribed to the same phenomenon. The kinetic of the reaction is enhanced by high CO₂ contents, whereas temperature has marginal effect on the reaction rate for the tested range.

Water is necessary for the reaction to proceed. As revealed by XRD analysis, the products of the reaction are hydrated carbonates whose formation requires the hydroxyl groups OH. It is also probable that gaseous CO₂ does not react with the magnesium in its solid state, but that the compounds need to be dissolved beforehand. In the range 30-60 %, the water content of the sample does not affect the reaction rate significantly. As water content is increased, the powder is submerged and all pores are saturated, and the reaction rate decreases considerably. Dissolution and diffusion of CO₂ in water are most likely the process provoking this decrease in the reaction rate.

Stability of the carbonated phases has been tested by leaving a series of samples in the eudiometers during 18 days after the wet but unsubmerged samples had reached a stage of non reactivity with CO₂. These samples did not release or consume any CO₂. Carbonated samples from all the series have been dried and submitted to infra red analysis after they were taken out of eudiometers. For the unsubmerged samples, the total amount of carbonation calculated from measurements in eudiometers and infra red analysis results yield consistent results. Carbon contents indicated by infra red analysis however tend to be slightly lower than the results based on eudiometer observation. The long term stability of the carbonates formed under high CO₂ condition needs further study.

Introduction

The increasing atmospheric concentrations in greenhouse gases such as methane and carbon dioxide and their effect on climate have lead to the development of several mitigation strategies to reduce deduced anthropogenic impact on climate. Sequestration of CO₂ by reaction with Ca or Mg-rich natural minerals and its long term storage in the form of carbonates has been identified as a promising method by the IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). The present study is aimed at determining the potential for carbon sequestration of ultramafic mining residues from metallurgical tests from the Dumont project of Royal Nickel Corporation, situated near Amos (Québec, Canada).

The experiments have been carried out on twelve samples: three fine grained fractions produced by the treatment of rocks belonging to four different geological domains within the Dumont project. We do not have information on the geological domains represented by the samples. The geochemical and petrological characteristics of the samples have been determined by X ray diffraction, scanning electron microscopy imagery, energy dispersive X-ray spectroscopy, X ray fluorescence and infrared analysis. Samples of the process water used in the wet sorting of mineralization have been submitted to inductively coupled plasma atomic emission spectrometry analysis as well as pH measurements.

Three kinds of carbonation experiments have been carried out on the mining residues. One series comprised open carbonation at room conditions whereas the other two series of experiments were completed in eudiometers under controlled conditions. The eudiometers are designed for real time monitoring of gas volumes throughout the experiments and thus allow the determination of reaction rates for CO₂ uptake in varying conditions. The effect of four different parameters have been tested : CO₂ concentration in the gas mixture, water/rock ratio, temperature and the ratio of exposed surface to volume.

1 Characterization of the material

1.1 Sorting process

The experimental studies were carried out on three streams of residues produced by the sorting process. Fig. 1 shows the dry process that involves crushing, sieving and defibering of the material that produces the “fluff” (F) fraction. Fig. 2 presents the ensuing wet process that generates the “slimes” (S) samples resulting from the desliming operation and the “final tail” (FT) samples obtained after magnetic separation and flotation.

These three fractions have been sampled during the processing of four different types of material belonging to geological domains identified as 184B, 184F, 184G and 197B. The 12 samples are labeled according to their fraction (F, S or FT) and sample number.

The fractions are all fine grained. Fluffs are grey powders. Slimes and final tails were delivered submerged in water. Once dried they are fine powders, dark grey in the case of slimes and yellowish grey for final tail samples. The samples 184B, 184F and 184G are identical whereas powders from 197B sample are more brownish.

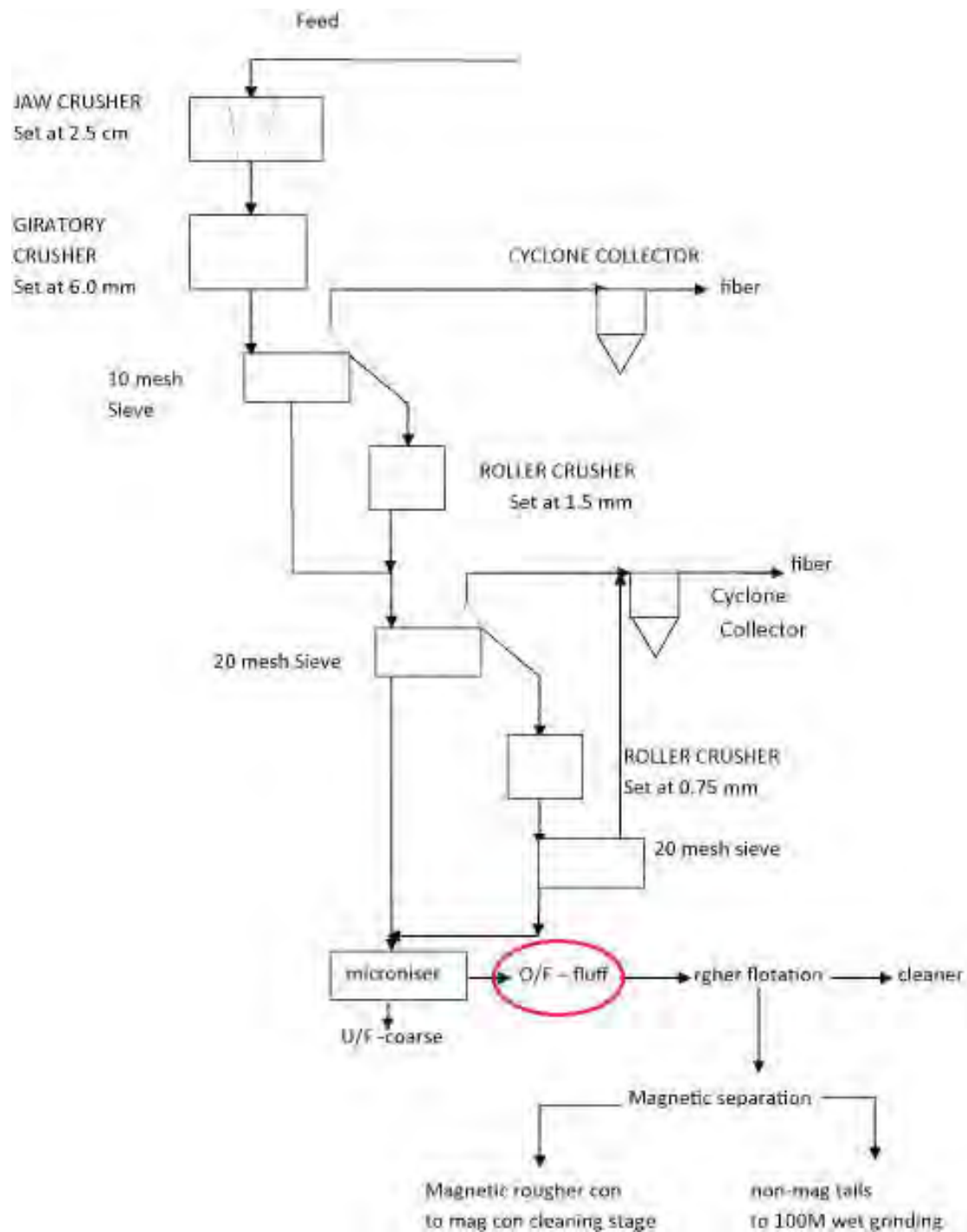


Fig. 1: Flowsheet describing the dry process. The fluff fraction output is circled in red. This fraction has a grain-size of less than 20 mesh (80% under 840 μm). Figure provided by Royal Nickel Corporation.

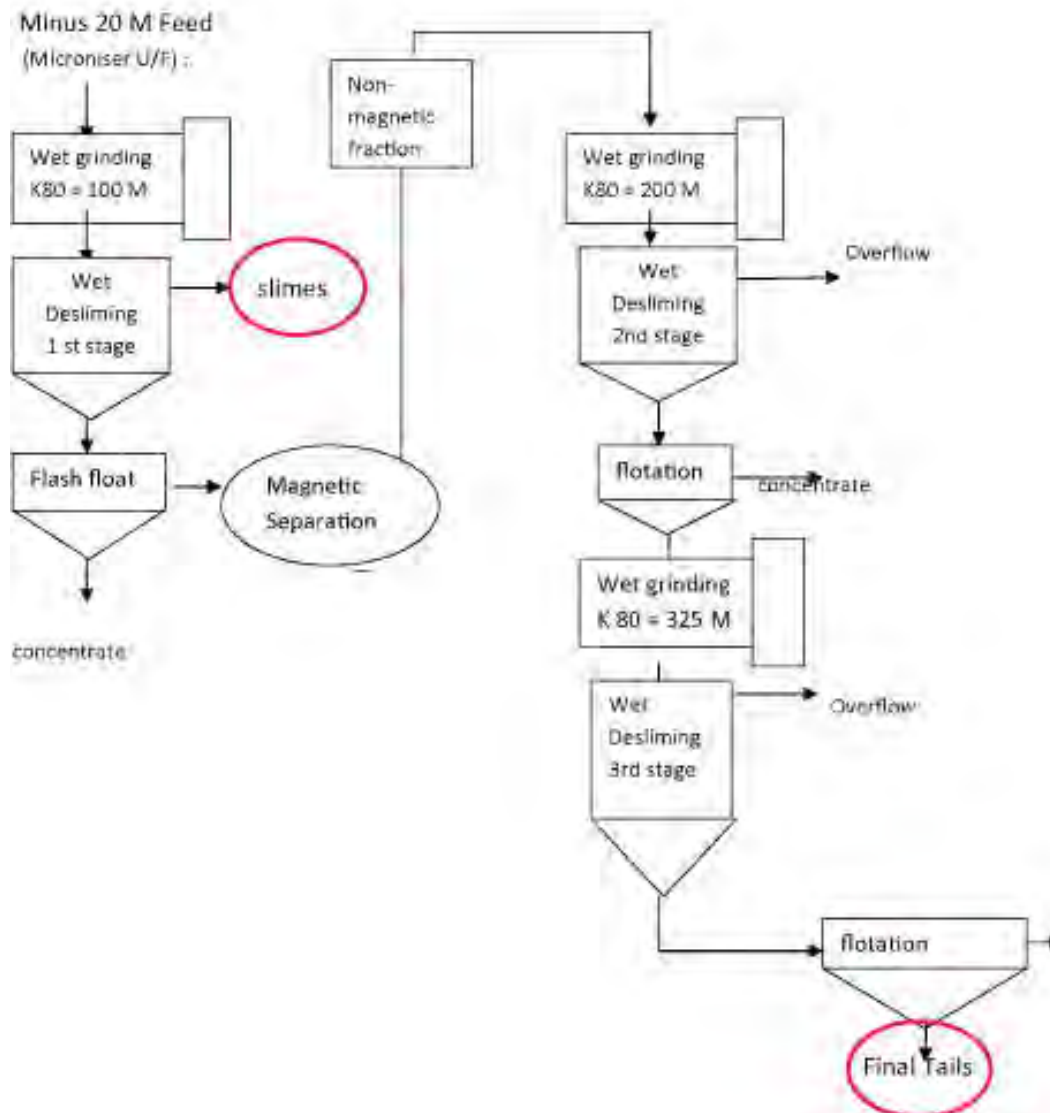


Fig. 2: Flowsheet of the wet process with output of the slime fraction (100 mesh : 80% under 150 μm) and final tail fraction (350 mesh : 80% under 40 μm). Figure provided by Royal Nickel Corporation.

1.2 Scanning electron microscopy (SEM)

The observations and analysis have been performed at Université Laval's Laboratoire de microanalyse. The scanning electron microscope (SEM) is a JEOL-840A equipped with energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS). Before being loaded in the SEM analysis chamber, samples are coated under vacuum with gold and palladium in order to increase the conductivity of the surface, such that EDS spectra will show gold and palladium peaks from the conductive coating.

All the 12 samples have been studied. Only representative pictures and analyses are reported here, but all data is reported in Appendix A.

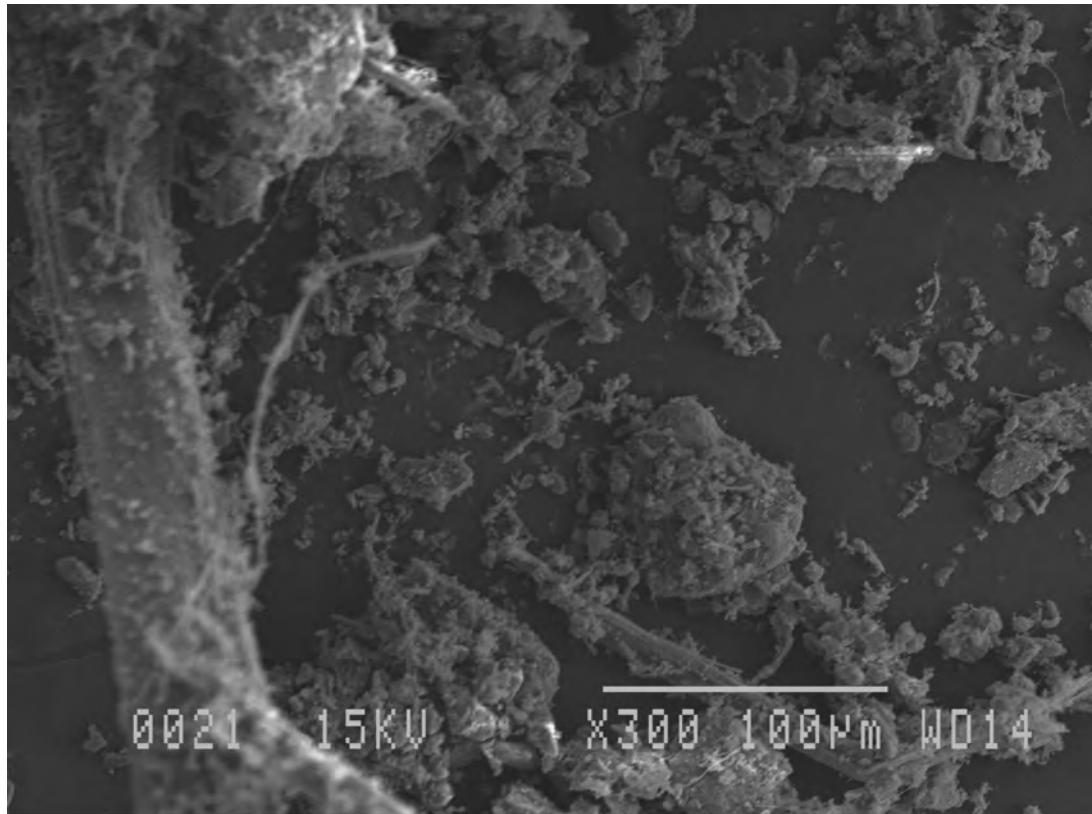


Fig. 3: Sample F197B (magnification: x300). Study of the fluff samples reveals a heterogeneous grain-size. A large proportion of the grains are under 100-200 μm but, as can be seen on the left of the image, considerably longer fibers are also present. In all fractions, a very fine fibrous coating is observed at the surface of some grains. Fibers can be brucite or chrysotile and grains are probably lizardite.

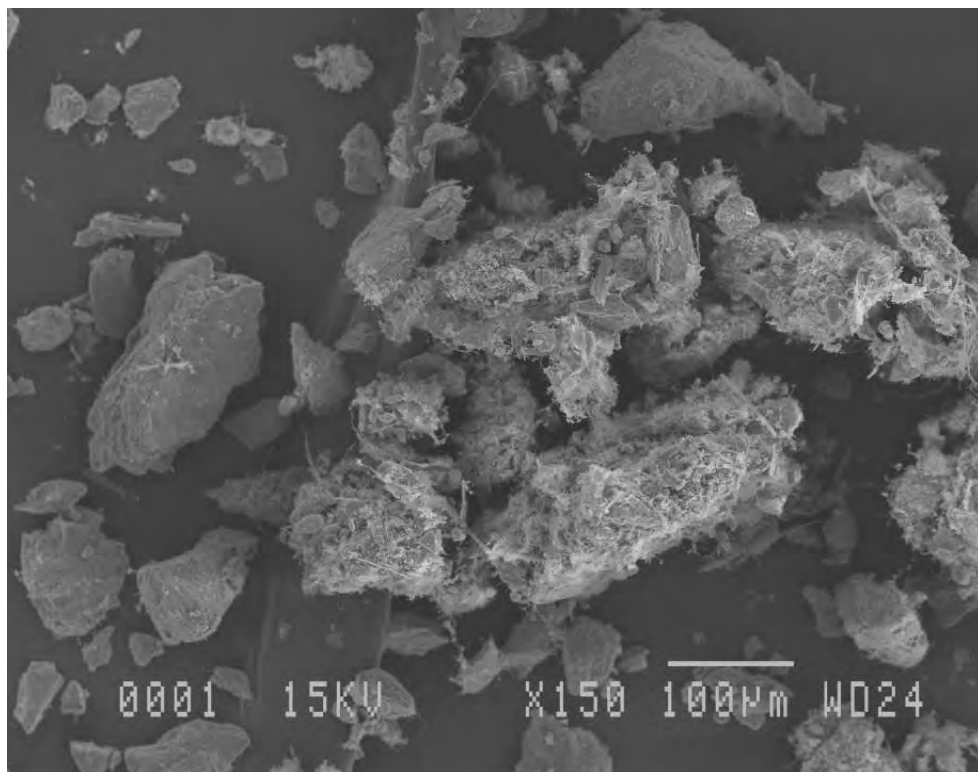


Fig. 4: Sample S184B (x150). The slime fractions have a more homogeneous and finer grain size than the fluffs. Most of the grains are smaller than 150 μm and some of them are covered by fibers.

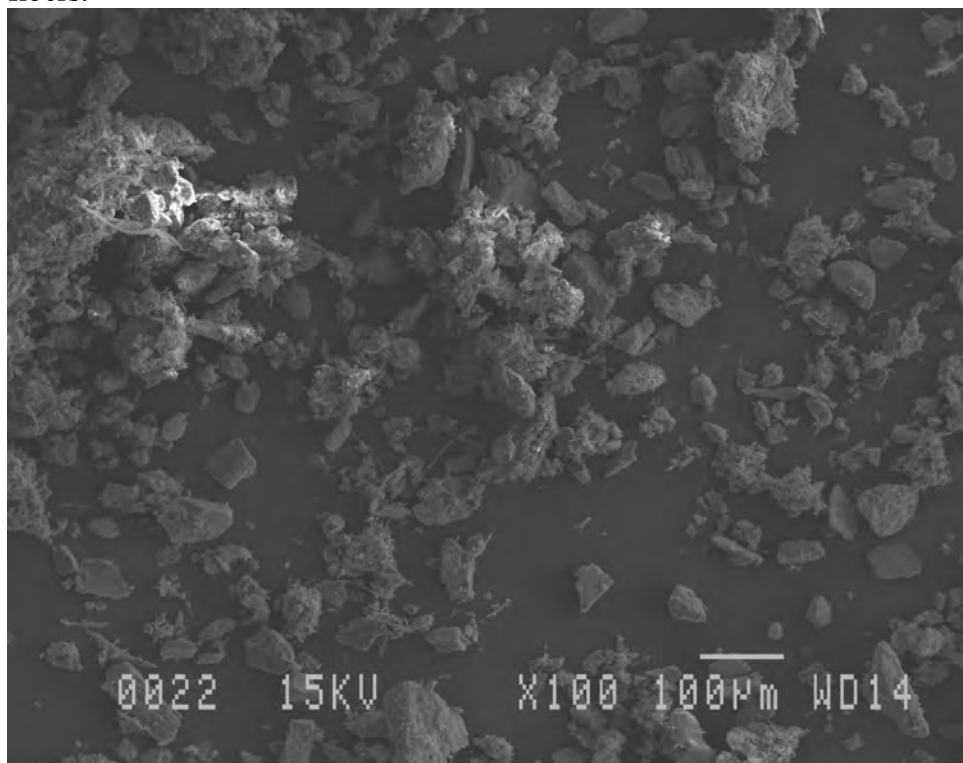


Fig. 5: Sample FT 184B (x100). The final tail fractions are finer grained than the slimes (generally under 50 μm) and the same fine fibers cover grains.

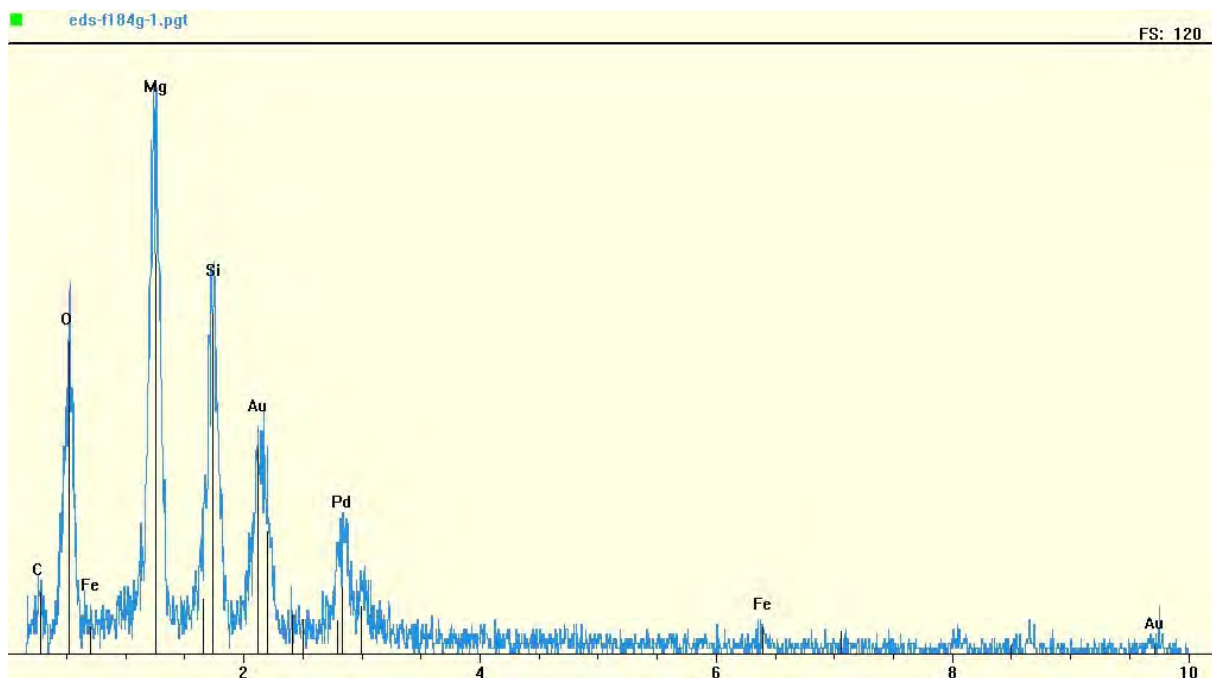


Fig. 6: EDS analysis of a large fiber from sample F184G.

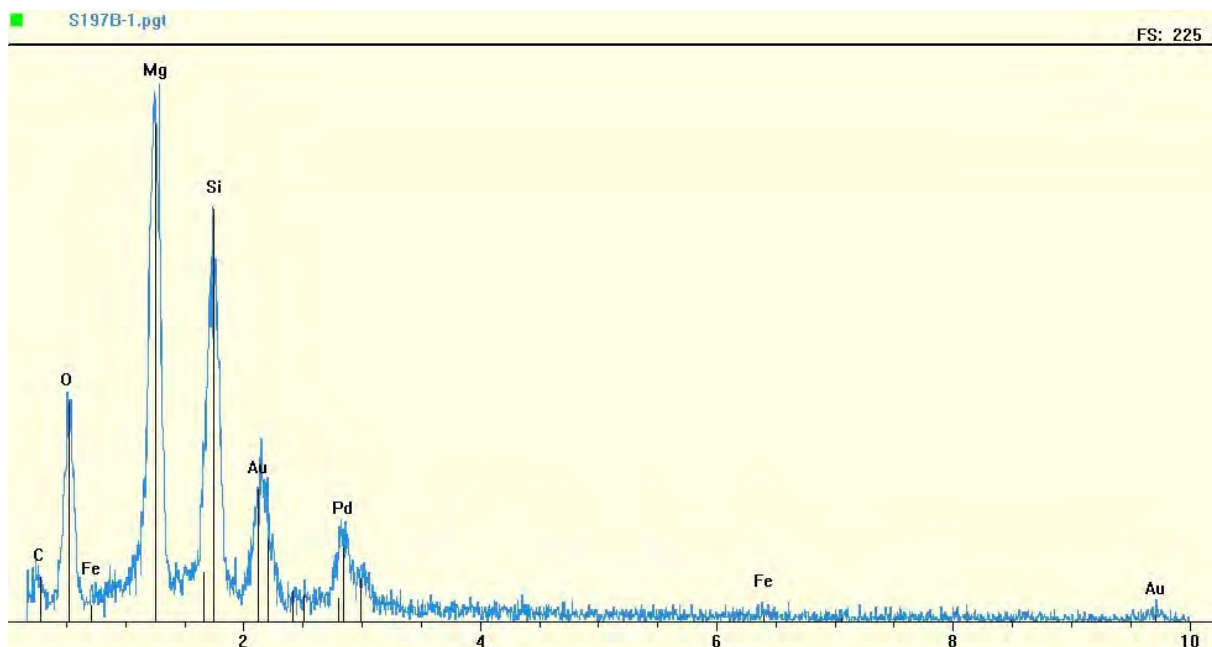


Fig. 7: EDS analysis of a grain from sample S197B.

All the EDS analysis performed on the material display very similar results. A small carbon peak, as observed on these patterns, is not indicative of the presence of carbonates. The samples are set on tape, which yields a higher background noise for carbon than for other elements.

The material is mainly composed of magnesium silicates containing a small amount of iron. The relative height of magnesium, silicon and oxygen peaks can vary, presumably because of the concomitant presence of serpentine ($\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) and brucite ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) in different proportions.

1.3 X-ray diffraction (XRD)

Analyses have been performed at Université Laval's Laboratoire de microanalyse with a Siemens D5000. This analytical technique allows identification of mineral phases on the basis of their crystal lattice structure. It is generally considered that a phase should account for ca 3-5 modal % in a sample in order to be detected.

Results indicate that the 12 samples contain the same five major phases in similar amounts: chrysotile, lizardite, brucite, magnetite and chlorite. All the data are reported in Appendix B and only representative XRD patterns are discussed hereafter.

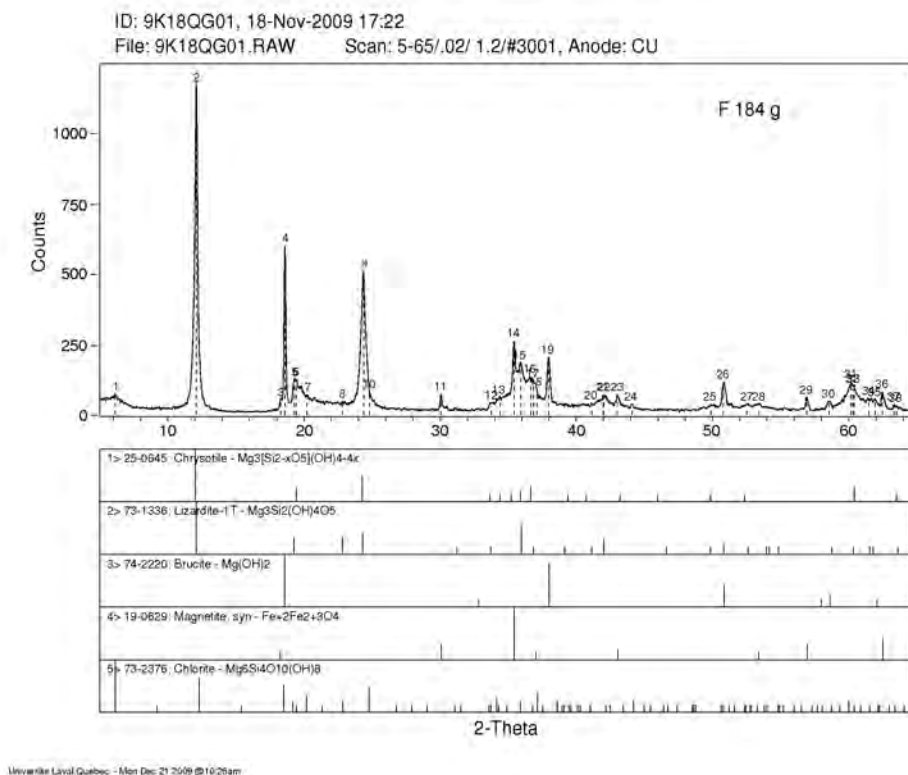


Fig. 8: XRD pattern of sample S184G. The serpentine peaks (chrysotile and lizardite) are overwhelmingly dominant. Brucite can easily be identified. Magnetite and chlorite are present in sufficient amount to be detected.

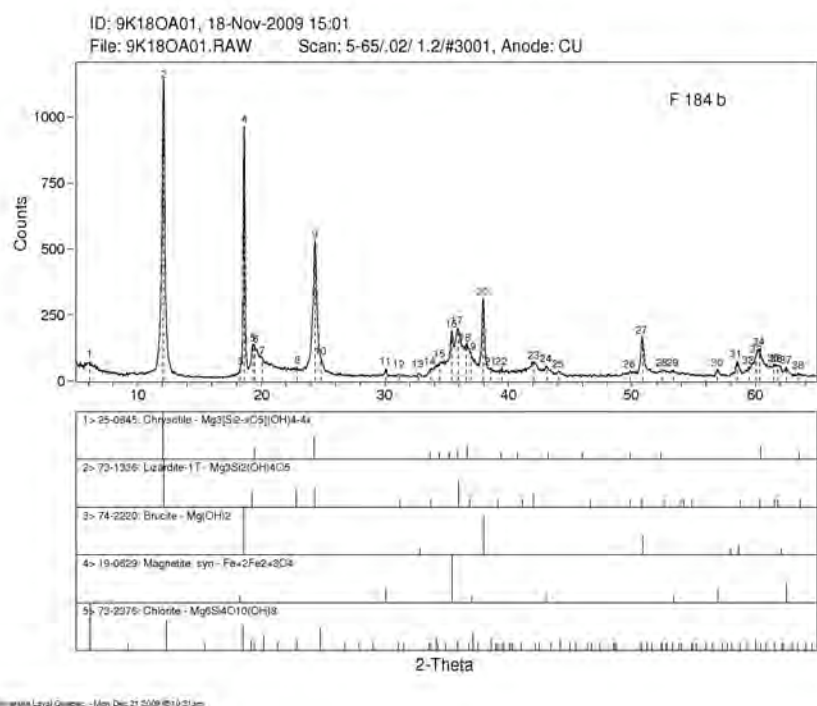


Fig. 9: XRD pattern of sample F184B. The identified phases are the same than in sample S184G but the relative importance of peaks is different: the peak of brucite is noticeably higher in that sample.

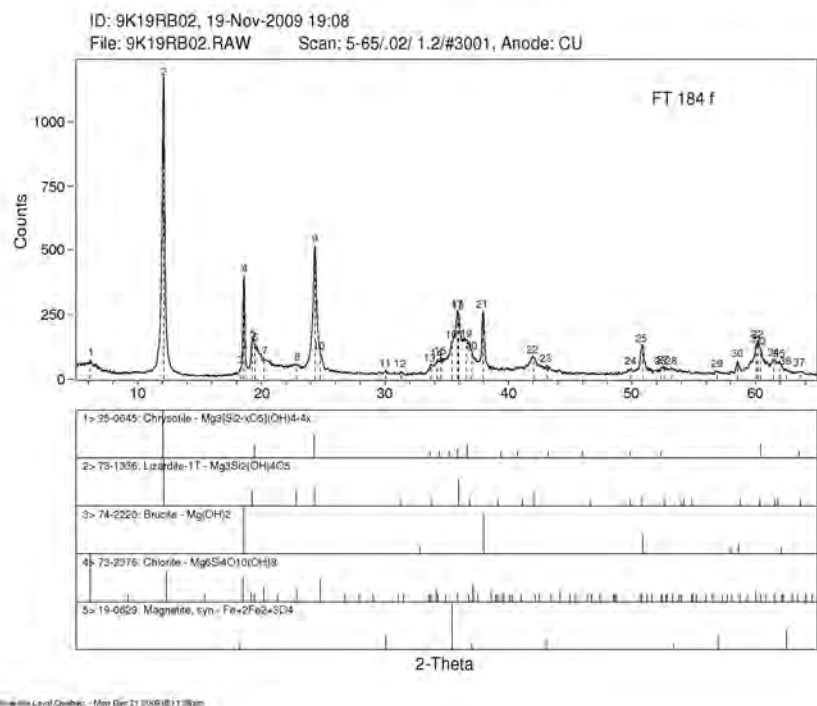


Fig. 10: XRD pattern of sample FT184F. The peak #11 corresponding to magnetite is smaller in that pattern.

1.4 Chemical characterization

1.4.1 Major element composition of the powdered rocks

Fluffs samples as well as dried fractions of final tail and slime samples were sent to Actlabs for major element analysis by X-ray fluorescence (XRF). The analyzed oxides are SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , P_2O_5 and Cr_2O_3 . Loss on ignition (LOI) is specified too. The samples are oxidized during the preparation for analysis and the iron content is then reported in its oxidized form Fe_2O_3 . For all the oxides the detection limit indicated by the laboratory is 0.01% except for MnO (0.001%). The laboratory analyzes 6 different standards with each series. One of them (UB-N) is a serpentinite whose composition is close to our samples. For all the oxides, the difference between the measured content and the certified value of this ultramafic standard is always less than 0.35% (absolute value). Accuracy and precision can then be considered good. The results are reported in Appendix C along with the ideal composition of the pure phases identified by XRD.

For all the samples, predominant oxides are MgO (in the range 40.4 – 43.5 %), SiO_2 (33.4 – 37.4 %) and Fe_2O_3 (3.0 – 7.4 %). LOI accounted for 14.8 to 16.8 % of the samples weight, with the exception of slime S197B that displays a particularly high LOI (19.6 %). The samples contain small amounts of Al_2O_3 (≤ 0.34), CaO (≤ 0.28), Cr_2O_3 (≤ 0.22), MnO (≤ 0.13), P_2O_5 (≤ 0.12), K_2O (≤ 0.05), TiO_2 (≤ 0.04) and Na_2O (≤ 0.03). These elements can substitute for other major elements in common phases, as Ti in magnetite and Mn in olivine, or they can be major constituent of minor phases undetected by XR-D, whether they belong to the ultramafic formation (chromite for example) or to possible small gabbroic intrusions (pyroxenes, quartz, feldspars, biotites, amphiboles). Assuming that Al in chlorite accounts for the whole Al content of the samples, the powdered rocks contain between 1.0 and 1.9 wt % chlorite. It should be noted that this phase is detected by XR-D in spite of its low abundance because its first peak can be easily isolated.

Even if the samples belonging to the four geological domains have overall very similar chemical compositions they can be distinguished one from another. Fig. 11 shows the binary diagram LOI (wt %) vs MgO (wt %) for the 12 samples as well as for the ideal composition of brucite, serpentine and chlorite. In this diagram, samples cluster according to their geological domain. Their position in the graph depends on their respective content of serpentine and brucite. The effect of chlorite is not discernable from the effect of serpentine because these phases have very similar composition, but it has been previously shown that the chlorite content is lower than 2 wt %. All the samples are mainly composed of a mix between brucite and Mg#84 serpentine (serpentine composed of 84% of magnesian end member and 16% of ferrous end member). The three fractions from geological domain 184G are less rich in brucite (between 13 and 18%) followed by samples 184F (18-19% brucite) and samples 184B (20% brucite). The relative heights of brucite and chrysotile peaks on XRD patterns confirm this observation. Powdered rocks coming from the geological domain 197B, and particularly the slime, plot off the trend defined by the other samples. The brucite/serpentine ratio seems to be similar to 184F but the data are shifted towards high LOI.

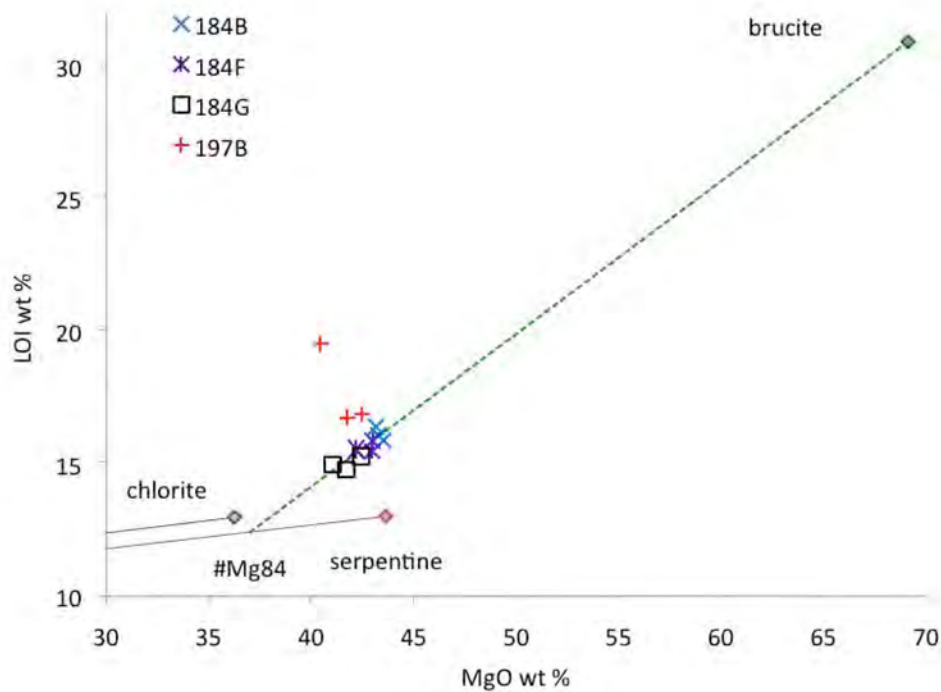


Fig. 11: Loss on ignition (LOI) vs MgO for the powders and for the following pure minerals phases : brucite, serpentine and chlorite. Chlorite and serpentine appear as lines because they are solid solutions between magnesian and ferrous end-members. The different fractions of each sample are not distinguished.

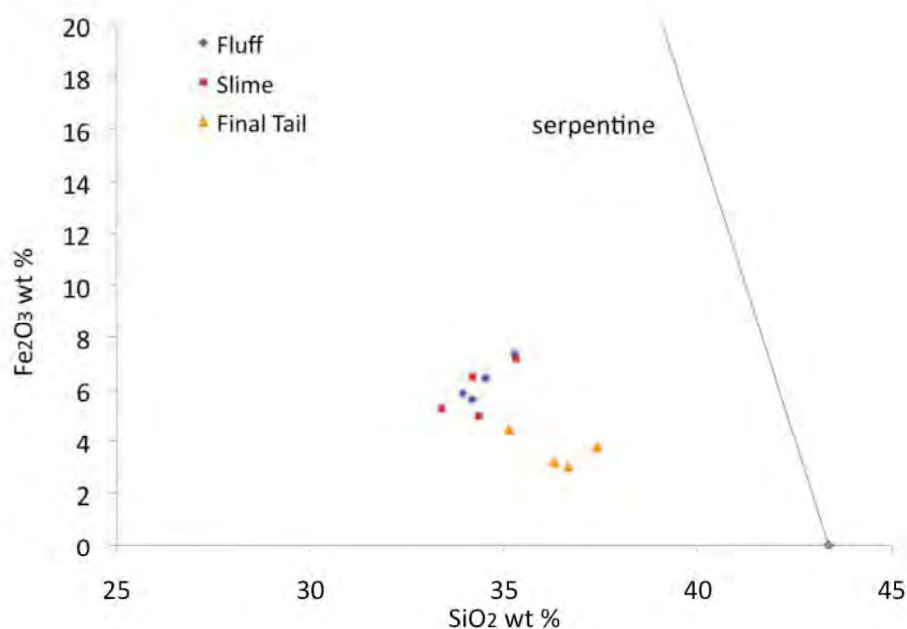


Fig. 12: Fe_2O_3 vs SiO_2 for the three fractions of the four samples, compared to and for pure serpentine. Brucite would plot at 0% for both oxides and magnetite at 100% Fe_2O_3 and 0% SiO_2 .

The samples also display geochemical variability that can be ascribed to the sorting process. As shown in the Fe_2O_3 vs SiO_2 binary diagram (Fig. 12), the final tails are generally depleted in Fe

compared to the other fractions, most probably because of the magnetic sorting that has removed Fe-rich oxides such as magnetite. Final tails are also slightly enriched in SiO_2 , apart from FT197B, that is also less depleted in Fe_2O_3 than the final tail samples coming from other geological domains.

Among the minor elements, CaO , Cr_2O_3 and P_2O_5 display a noticeable distribution. As can be seen in Fig. 13, Cr_2O_3 has slightly higher contents in samples 184G and the CaO content is also related to the geological origine of the rock. As for P_2O_5 , its concentration does not depend on the geological domain but on the sorting fraction: the fluffs are depleted compared to the slime and final tail fractions (Fig. 14).

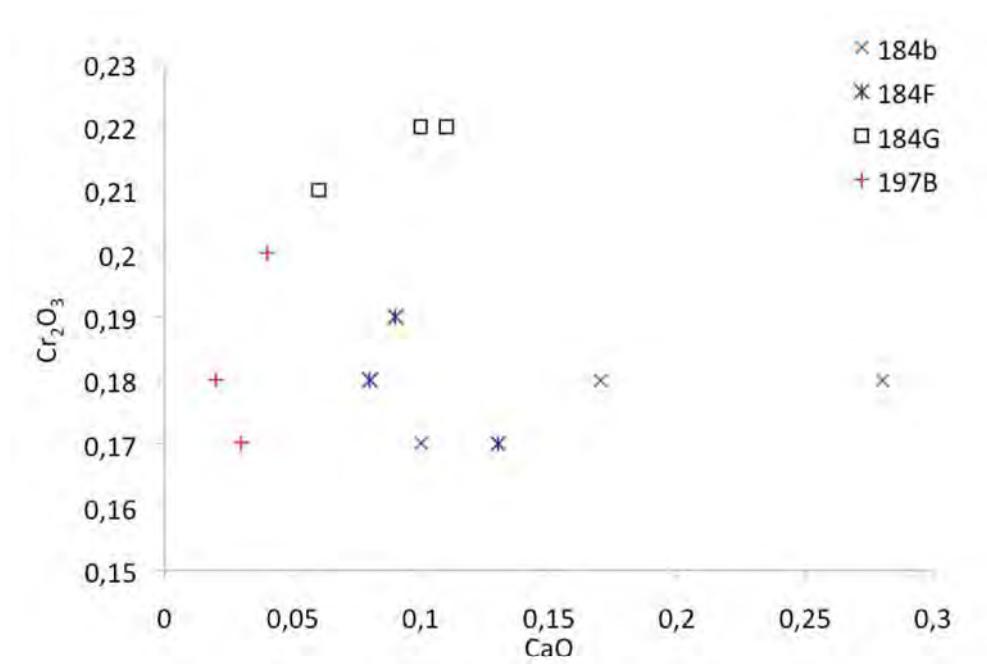


Fig. 13: Cr_2O_3 against CaO for each sample irrespective of the sorting fraction.

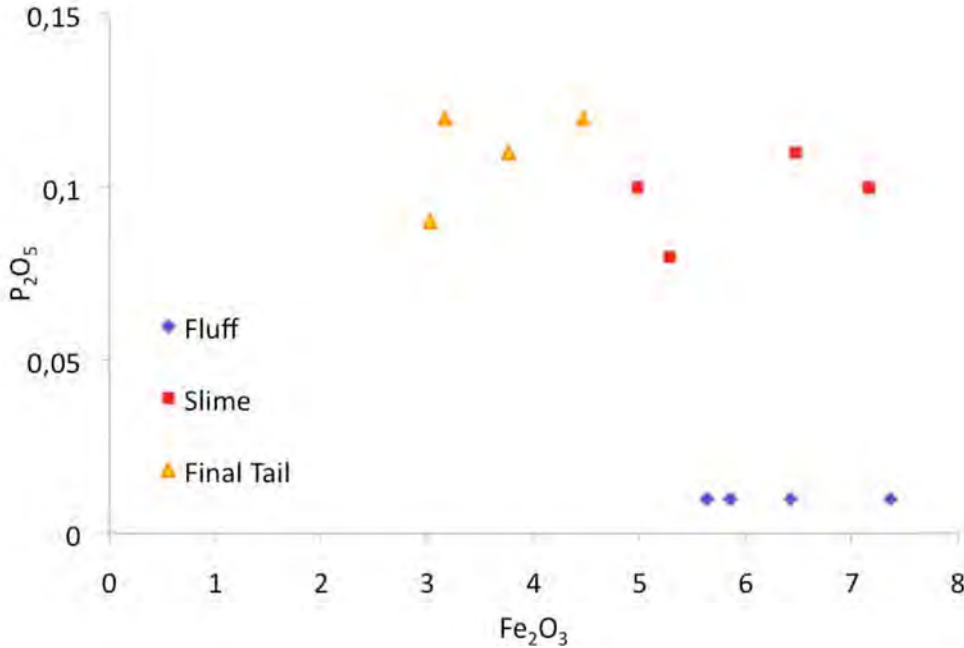


Fig. 14: P_2O_5 against Fe_2O_3 for the samples according to their sorting fraction.

The geochemical variability observed in the samples is conditioned by both the sorting process and the geological sampling site. The sorting process affects noticeably the iron content of the final tail fraction by removing the magnetic oxides, and this fraction also has higher silica. The slime and final tail fractions contain slightly more phosphorus than the fluff fraction, which could be due to relative enrichment of a very minor mineral such as apatite or to chemicals used in the sorting of these fractions under wet conditions and storage in process water.

Some other element contents are controlled by the geological origin of the rock. The domain 184G is enriched in chromium compared to the other samples and samples cluster according to their origin regarding the CaO content. The concentration in these minor elements depends on the quantity of minor phases that is different for each geological domain. The ratio LOI/MgO depends on the relative proportions of serpentine and brucite, which is mainly determined by the initial mineral composition of the rocks. It should be noted that samples coming from the domain 197B are slightly different than the others. All of them, and particularly the slime fraction, have higher LOI. The final tail fraction of this sample is less enriched in Si and less depleted in Fe than other final tail fractions, as if the sorting was less efficient for this sample. These chemical features could be caused by an unidentified phase that would be concentrated in the slime fraction. The 197B samples do not display anomalous content of minor elements and, as explained in next paragraph, the carbon content is not high enough to explain the high LOI. The unidentified mineral must then be a ferro-magnesian phase more hydrated than brucite or a mineral containing other volatile elements, such as sulfur.

1.42 Carbon content of the powdered rocks

Carbon analyses have been performed by Actlabs. Two types of analysis have been used in the study. Low level carbon analysis allows a detection limit of 0.001% and is suitable for samples with less than 1 wt % carbon. Standard infrared analysis has a detection limit of 0.01 % and is more appropriate for samples containing more than 1% carbon. In both cases the measurements indicate the total carbon content, without any discrimination between inorganic or organic carbon. Carbonate minerals have not been found during mineralogical study of the samples.

The fluff as well as the dried slime and final tail fractions have been analyzed using the low level carbon analysis method. The quality of the results is tested by the laboratory with two reference materials (standards) whose carbon content is outside the range of our samples (LKSD-4: 17.70% C and SGR-1b: 28% C). The serpentinite UB-N (recommended values with 95% confidence limits are $0.39\% \pm 0.08\%$ CO₂, which is equivalent to $0.11\% \pm 0.02\%$ C) has then been added as unknown in the series of samples to be measured. The laboratory always tests reproducibility by analyzing one or two samples of the series twice. For this series, a complete verification of reproducibility has been done by sending each sample and the UB-N standard in triplicate. The results are presented in Appendix D.

Reproducibility is generally good. The difference between two analyses of the same sample is generally lower than 8% of the value, even if exceptions occur (most noticeably for S197B and S184B). Fig. 15 shows the relative standards deviation for the three analyses of each sample against the average carbon content. As expected, the discrepancy decreases when the carbon content increases but the slimes S197B and S184B are out of the trend.

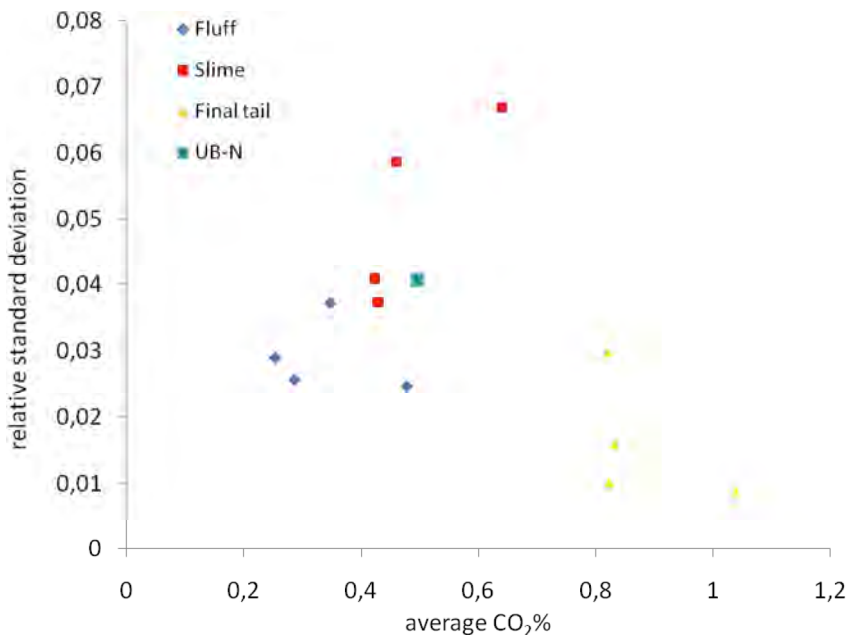


Fig. 15 : Each sample has been analyzed in triplicates. This diagram presents the relative standards deviation for the three analyses of each sample against the average value for CO₂ content.

Accuracy is estimated by comparing the analytical results with the reference values of the standards. The serpentinite UB-N has been analyzed three times and gave the following results: 0.139, 0.129 and 0.138 % C, which is significantly higher than the $0.11\% \pm 0.02\%$ C certified value. The results are considered precise but an overestimation in the range of 20% of the low C concentration is possible.

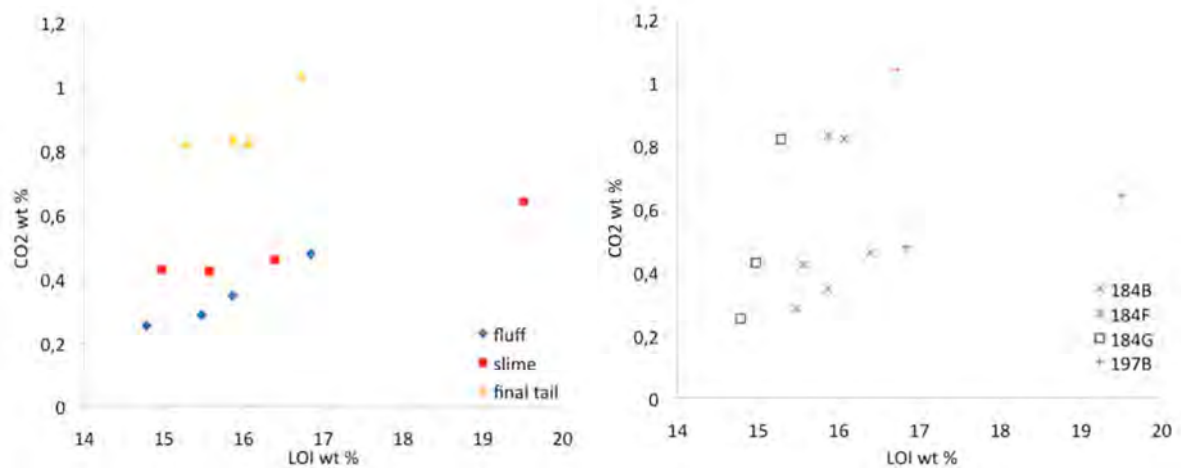


Fig 16A: Average triplicate CO₂ content against LOI. Symbols correspond to the sorting fraction of the samples.

Fig 16B: Same diagram, with symbols corresponding to the geological domain of each sample.

Fig. 16 shows the carbon content (average value for three measurements) against the LOI for each sample. The CO₂ content appears primarily controlled by the sorting fraction. The fluffs have the lowest content (av. 0.30 % CO₂), the slimes are slightly richer (av. 0.49 % CO₂) and the final tails contain markedly more carbon (av. 0.88 % CO₂). The carbon content does not seem heavily influenced by the geological origin in the case of the domains 184G, 184F and 184B, which display similar values (resp. 0.50, 0.51 and 0.53 % CO₂ on average). However, samples 197B fractions are enriched in carbon compared to the others (ave. 0.72 %). It could only partially explain their higher LOI, particularly in the case of the slime fraction.

The fluff fractions, that display the lowest carbon content, are the less processed fractions. They have not been in contact with water before the analysis, whereas the slimes and the final tails underwent the wet sorting process in the plant and were dried during three days under a hood in the laboratory. However, as the carbon content of slime and fluff fractions is similar whereas the final tail fractions are richer, it therefore seems that contact with water is not the crucial parameter. The finer grain size of the final tail fraction could explain why they are more reactive with atmospheric CO₂. It is also possible that a small amount of carbonates were present in the rocks before processing and became relatively enriched in the final tail fractions because of the sorting process.

1.43 Process water

A- Acidity

The fluff fraction is dry but the slime and final tail fractions were delivered submerged in water, as they were processed in the plant. The water content of each sample has been evaluated by weighting an aliquot before and after drying (Tab. 1). All the samples have water content higher than 90 %. Acidity has been measured (Tab. 2) with a pHmeter (Model 415 by Denver Instrument) calibrated before each use with three buffer solutions whose pH are 4, 7 and 12. The measurements for the four final tail fractions, water content fall in a narrow range of basic pH: 9.61 to 9.66 (see Fig. 17). The process water of the slime fractions has heterogeneous pH. S184B and S184F are in the same range (8.38 and 8.40) while S184G is a bit more basic (9.17) and S197B is slightly acid (6.18). As the dissolution of sulfides releases H^+ ions in an aqueous solution, making it more acid, this observation confirms that S197B could contain a high concentration of sulfur-bearing minerals.

Tab. 1: Water content of the wet samples (slimes and final tails).

	wet sample	dry sample	% water
S184B	62,0040	0,6087	99,02
S184F	59,4286	1,8516	96,88
S184G	60,0222	1,9046	96,83
S197B	64,7835	3,7827	94,16
FT184B	55,9581	1,3637	97,56
FT184F	63,5851	2,8587	95,50
FT184G	61,1224	4,4675	92,69
FT197B	65,0153	1,4679	97,74

Tab. 2: Acidity of the process water for the wet samples.

	pH
S184B	8,38
S184F	8,80
S184G	9,17
S197B	6,18
FT184B	9,64
FT184F	9,61
FT184G	9,62
FT197B	9,66

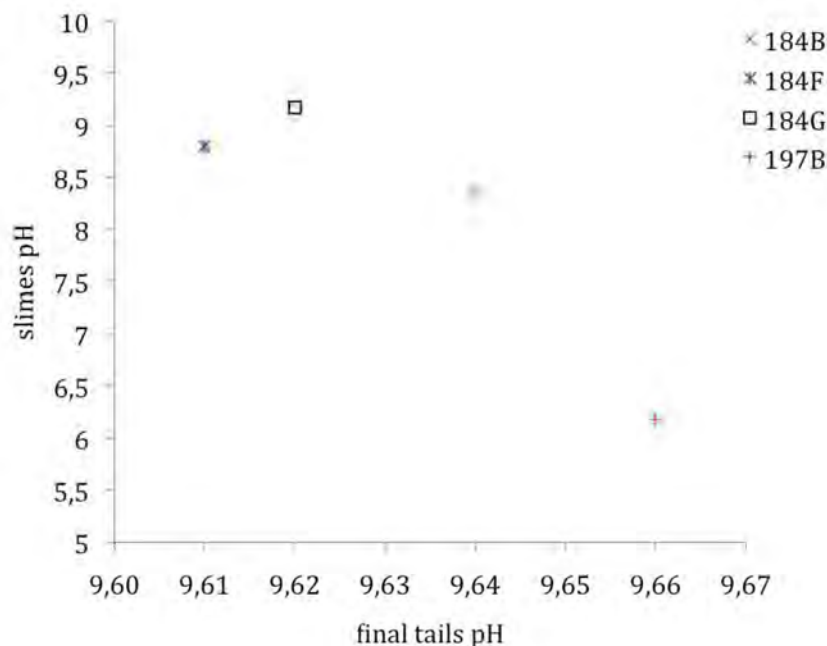


Fig. 17: Value of pH for the process water of final tail against the same data for the slimes.

B- Solubility of the elements

For each sample of process water, an aliquot has been filtered in order to remove the fine particles in suspension and has been sent for major element analysis to the laboratory Exova (Québec). 29 elements have been analyzed by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-AES). The detection limit is between 0.5 and 0.001 ppm depending on the element. In addition to the eight samples, the series included two standard solutions prepared at Université Laval and two aliquots of distilled water that have been used during the carbonation experiments. The complete table of results is presented in Appendix E.

For both the distilled water, the analytical results are under the detection limit. The distilled water is then considered pure enough to be used in the experiments without contaminating reaction products.

The two standard solutions were analyzed at the beginning and at the end of each analytical series. The difference between the two analyses of this standard does not exceed 3.3% of the content, which assures that the reproducibility is very good. The maximal discrepancy between a measure and the reference value is 10 % and occurs for Al (1.1 ppm instead of 1). Accuracy is then considered good.

For all the samples, the following elements concentrations are below detection limit: beryllium, bismuth, cadmium, chrome, cobalt, copper, lead, lithium, molybdenum, nickel, selenium, silver, thallium, tin, titanium, vanadium, zinc. Arsenic contents are under the detection limit for all

samples but S184B and S184F where it is very low: 0.002 ppm. This element will not be discussed further.

Some elements display concentrations that are lower than the detection limit in some samples and only slightly higher in others. It is the case for barium, boron, iron, manganese and strontium. Generally, the process water of the slime fractions are enriched in all the elements compared to those of the final tail fractions.

The following elements are systematically present at concentrations higher than the detection limit: aluminum, calcium, magnesium, potassium, silicon and sodium (Table 3). Al content is always under 0.1 ppm whereas Si content is lower than 0.1 ppm in final tail waters only, and comprised between 0.17 and 0.57 in the slime waters. Similarly, Ca concentration is between 3 and 7 ppm in final tails and between 13 and 62 in slimes. Na concentration is between 10 and 16 ppm in final tails and between 17 and 27 in slimes. For all samples, K content falls in the range 3 to 6.6 ppm and Mg concentration is comprised between 16 to 31 ppm.

Correlations can be established in the chemical behavior of some elements (Tab. 4). Al, Ca, K and Na as well as the trace elements B and Ba tend to have high or low concentrations in the same samples (see example in Fig. 18). Si, Fe and Mn are also bound together while Mg is not correlated to any other element. The process water FT197B is enriched in Ca, K and Na and is the only final tail sample with detectable Sr whereas these elements are less concentrated in the sample S197B than in other slimes process water.

Tab. 3: Chemical composition of the process waters of final tail and slime samples (concentrations are in ppm).

	FT184B	FT184F	FT184G	FT197B	S184B	S184F	S184G	S197B
Al	0,03	0,04	0,03	0,04	0,1	0,08	0,06	0,06
B	0,03	0,03	0,02	0	0,06	0,04	0,03	0
Ba	0	0	0	0	0,04	0,05	0,03	0,02
Ca	3,7	4,3	3,9	6,9	62	61	31	13
Fe	0	0	0	0	0,1	0,13	0,05	0,17
K	4,4	3,9	3,4	5	6,6	5,3	3	3,3
Mg	31	25	29	16	20	30	25	26
Mn	0	0	0,012	0	0,01	0,013	0,007	0,011
Na	12	12	10	16	27	23	14	17
Si	0,09	0,1	0,09	0,07	0,54	0,49	0,17	0,57
Sr	0	0	0	0,03	0,24	0,24	0,13	0,05

Tab. 4: Correlation matrix for the soluble elements contents in final tail and slime process waters.

	Al	Ba	B	Ca	Fe	Mg	Mn	K	Si	Na	Sr
Al	1,00										
Ba	0,92	1,00									
B	0,61	0,57	1,00								
Ca	0,94	0,95	0,72	1,00							
Fe	0,73	0,76	0,09	0,61	1,00						
Mg	-0,23	0,05	0,15	-0,07	0,08	1,00					
Mn	0,56	0,67	0,22	0,58	0,70	0,29	1,00				
K	0,62	0,42	0,58	0,64	0,17	-0,39	0,04	1,00			
Si	0,84	0,79	0,28	0,71	0,96	0,01	0,69	0,39	1,00		
Na	0,95	0,83	0,54	0,90	0,68	-0,32	0,45	0,80	0,81	1,00	
Sr	0,94	0,96	0,67	1,00	0,63	-0,11	0,57	0,62	0,71	0,90	1,00

Tab. 5: Ratio between the concentration of an element in process water and in the corresponding solid sample.

	FT184B	FT184F	FT184G	FT197B	S184B	S184F	S184G	S197B
Al	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,3	0,2	0,2
Ca	37	54	65	173	221	678	310	650
Fe	0	0	0	0	0,020	0,020	0,007	0,032
Mg	0,7	0,6	0,7	0,4	0,5	0,7	0,6	0,6
Mn	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1
K	220	195	113	250	132	265	150	110
Si	0,002	0,003	0,002	0,002	0,016	0,014	0,005	0,017
Na	x	400	500	533	900	767	467	1700

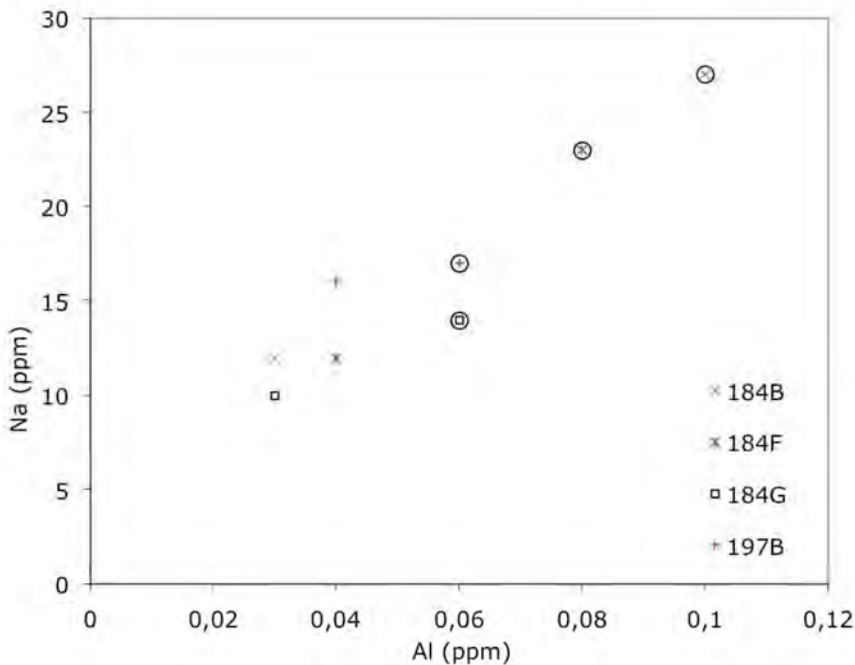


Fig. 18: Sodium concentration in process water against aluminum concentration. The slime samples are circled in black.

The final content of an element in a solution depends on its content in the submerged solid and on its tendency to dissolve. This tendency can be expressed by dividing the element content in solution by its content in the solid material (Tab. 5). This ratio is very high for Na (400 – 1700) and for K (110 – 275), that are easily soluble elements. Mg and Al have lower ratios, respectively 0.4 to 0.7 and 0.1 to 0.3. For Si, Fe and Mn, the ratio is very low, equal to or lower than 0.1.

Overall, despite its low solubility, Mg is the most abundant element in final tail solutions whereas Ca is dominant in slime waters. Most elements (Ca, K, Na, Al, Si) display a higher tendency to dissolve in slime solutions, which can be due to differences in water acidity.

2 Carbonation experiments

Two kinds of experiments have been carried out: most of them were set up in a controlled atmosphere in eudiometers but a series of carbonation tests has also been completed in open beakers left under a hood at standard room atmosphere. These tests in open beakers will indicate a final amount of carbonation but only the experiments in eudiometers allow a quantitative monitoring of the kinetics of CO₂ uptake. Among the experiments in eudiometers, six series of samples were carbonated in CO₂ rich atmospheres (500 mL apparatus) and four series in low CO₂ conditions (4 L apparatus). Each series of assays was generally scheduled to last two weeks.

2.1 Carbonation in eudiometers

An eudiometer is a device designed to measure gas volumes. It is comprised of a graduated PYREX® apparatus whose bottom opening is dipped in a cylinder filled with ideally a non-volatile liquid for which glycerol was chosen in the present work. A powdered sample with water to a fixed relative humidity is placed in the eudiometer in a mixture of N₂, O₂ and CO₂ in known proportions, and left to react at constant temperature. The level of glycerol varies depending on the changes in gas volume in the eudiometer. Because the reactions are monitored for long periods of time, each series of experiments include a control apparatus loaded with non reactive material (quartz) exposed to the same gas mixture atmosphere in order to correct automatically the data for the effect of atmospheric pressure changes. The two models of eudiometers (500 mL and 4 L) used for our experiments are shown in Figs. 19 and 20 respectively.



Fig. 19: Two 500 mL eudiometers. The left eudiometer contains a sample whereas the control apparatus loaded with quartz and water is to the right.



Fig. 20: Five 4L eudiometers. The apparatus seen on the left is loaded with quartz and the others contain experimental samples.

2.11 Gas mixture with high CO₂ content

A- Protocol

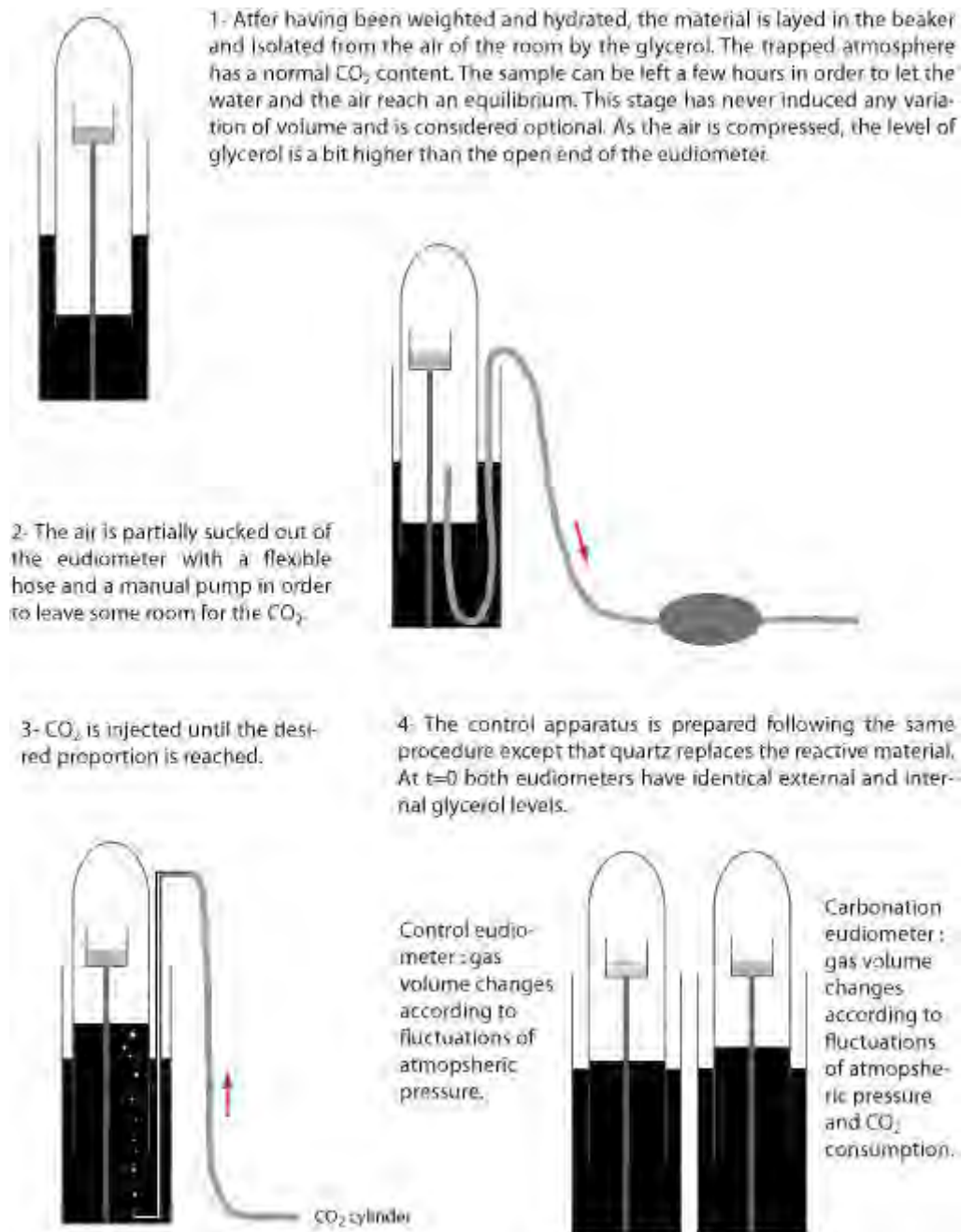


Fig. 21: Preparation protocol for carbonation experiments in eudiometers. Each series of experiment must include a control apparatus but the number of eudiometers loaded with samples is unlimited.

B- Results

All the series of experiments include four to six carbonation eudiometers containing samples. The series are numbered from RN1 to RN6 in chronological order. An additional letter, from *a* to *h*, designates each particular eudiometer. Samples are labeled according to their process fraction (F, S and FT) and to their geological domain of origin (184B, 184F 184G and 197B). Each carbonated sample corresponds to an experiment label and to a sample label (e.g. RN1a – FT184B). A table summarizing the main parameters and the experimental results can be consulted in Appendix F. The series of experiments RN1 to RN5 have been carried out at an average temperature of 20.7°C (standard deviation = 0.65) whereas the series RN6 was run at 33.3°C (s.d = 2.7).

Volume changes as low as 2 mL can be detected with the 4 L apparatus, which corresponds to 3.6 mg or 82 μ mole of CO₂. If this amount of CO₂ were absorbed by a 2 g sample, it would yield a weight increase of 0.18%.

Series RN1, 11/09 - 28/09

Only samples from the domain 184B were available at the time of the experiment. This series was a first experiment to evaluate the CO₂ uptake potential of the material, in order to adjust the quantity of sample powder that should be loaded in eudiometers for following experiments. The samples were two aliquots of S184B and FT184B partially dried under a hood. The water content was decreased from 99% to 83% for S184B and from 98% to 74% for FT184B. The solid inventory was still totally submerged in water. It should be noted that the material has been left in the process water, contrary to the protocol followed for the other series for which distilled water has been added to the totally dried powders.

The four experiments comprised one duplicate. Sample FT184B containing 74% of water was set up in a gas mixture with 33 vol % CO₂ in the duplicate experiments. The two samples S184B with 83% water were left in a gas mixture containing 12 and 15% CO₂. For the four experiments the amount of solid material was varied between 3.2 and 5.4 g (Appendix F).

Fig. 22 shows the eudiometers raw data acquired, including the control apparatus. A regular decrease in gas volume over time is shown for eudiometers containing samples, while the control device shows smaller and uneven fluctuations that are provoked by changes in atmospheric pressure (see Fig. 23). The gas is compressed and occupies a smaller volume when the pressure increases. Other factors such as temperature fluctuations are negligible in comparison to atmospheric pressure variations. The variations in the control eudiometers can then be used to correct the observations reported for the sample eudiometers. As the CO₂% in the initial gas mixture is known, the consumption corresponding to each measurement can be calculated, as illustrated in Fig. 24.

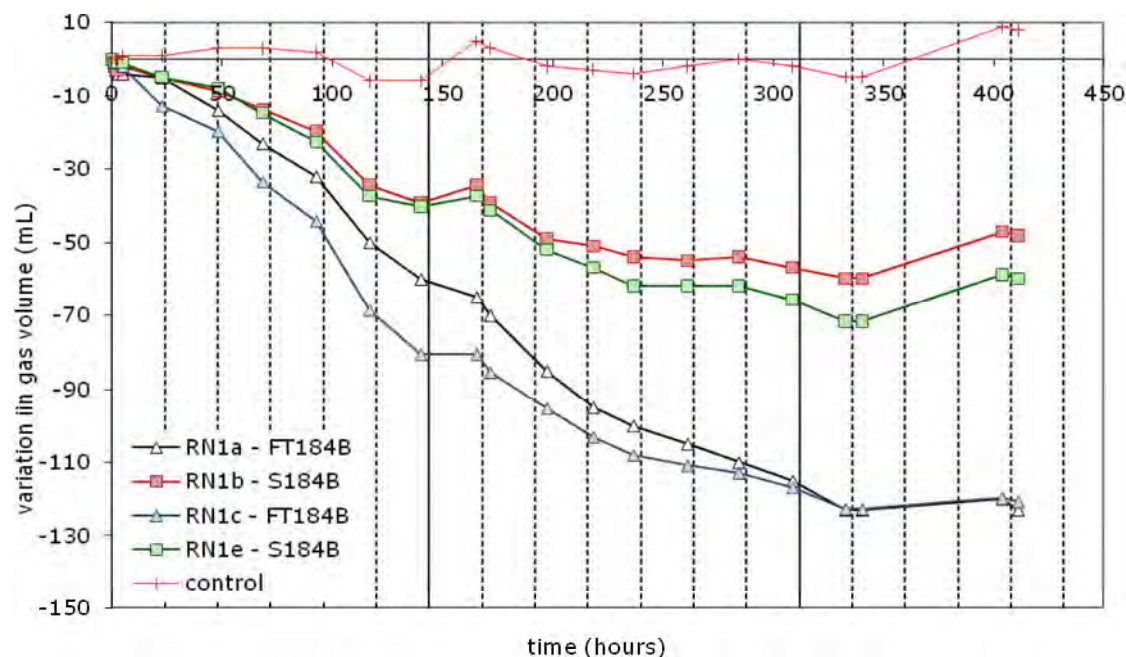


Fig. 22: Raw measurements of gas volume variations in eudiometers for the series RN1, including the control apparatus. Each vertical dotted line marks a 24 hours interval while full lines correspond to one week.

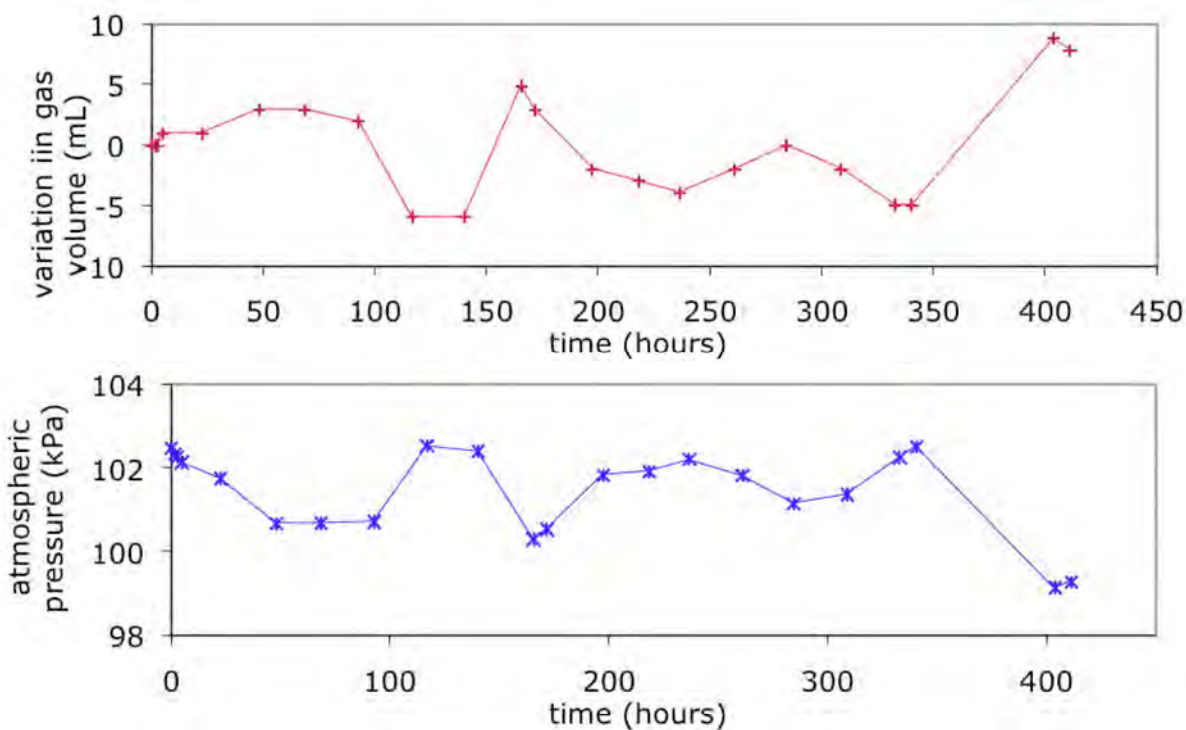


Fig. 23: Variations of the gas volume in the control apparatus in the course of the experiments RN1 compared to the changes in atmospheric pressure as measured at Jean Lesage airport and corrected for the difference of altitude with the laboratory.

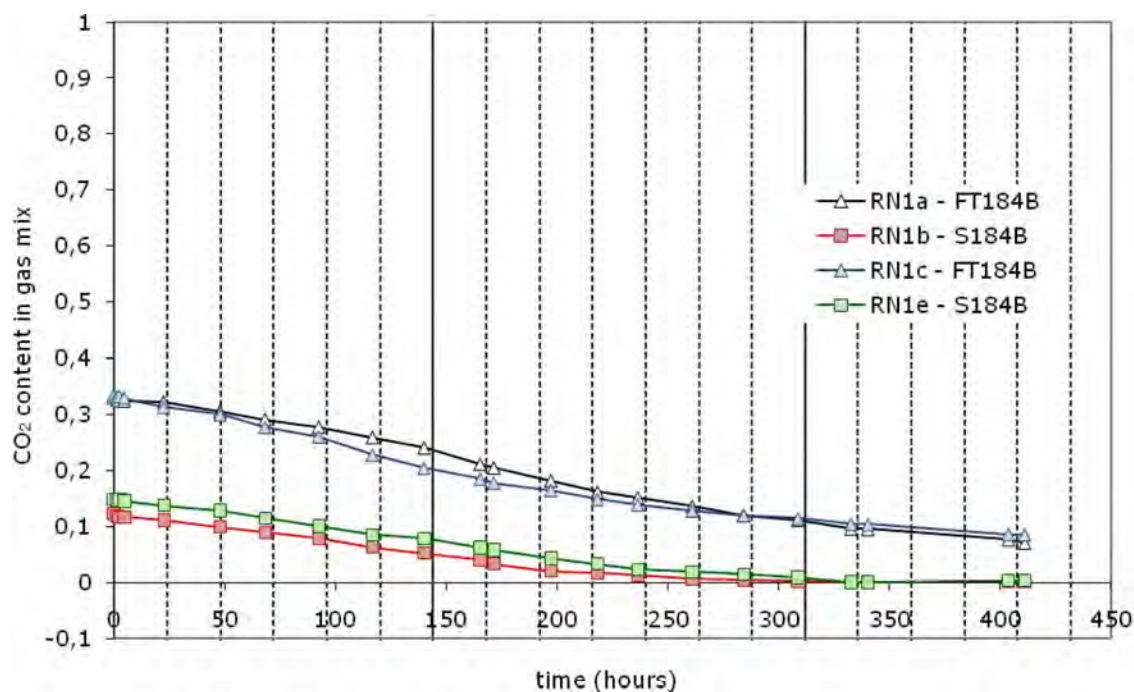


Fig. 24: Evolution of CO₂ contents in eudiometers during the series of experiments RN1. The amount of remaining CO₂ can be calculated as the difference between the initial CO₂ (on a molar basis) and the consumed CO₂. The ratio of CO₂ in the gas is calculated as CO₂ / (air + CO₂).

The two samples S184B, that have initial CO₂ content of 12 and 15%, display a regular decrease in CO₂ content and reach 98-99% consumption after two weeks. The initial CO₂ concentration in the atmosphere of the final tail samples was 33% and, after 18 days (time = 411 h), 81 to 84% of the CO₂ is consumed.

The duplicates of experiment RN1-FT184B give very similar results. Small discrepancies can be ascribed to slightly different initial parameters such as CO₂ content and the amount of solid material used. It should be noted that the absorption rate is not constant but slows down as the reaction progresses and CO₂ is depleted from the gas mixture.

RN2, 29/09 – 15 /10

At the time of the second series, samples 184F and 184G had been received. The RN2 series has been performed on available fluffs fractions, in order to investigate variability between the different domains, and completed with new aliquots of FT184B and S184B.

For the fluffs fractions, around 7 g of solid material has been set up in the 500 mL eudiometers with 4 g of water. The water content was then in the range 33-35%. The solid material was wet but not submerged in water. FT184B had a slurry texture. The water content was 59% and the amount of solid material 1.6 g. For S184B the water content was 78% and the amount of solid

material 1.5 g. The solid fraction was submerged. The CO₂ initial content was fixed to 11% for FT184B and between 32 and 34% for all the other samples (Appendix F).

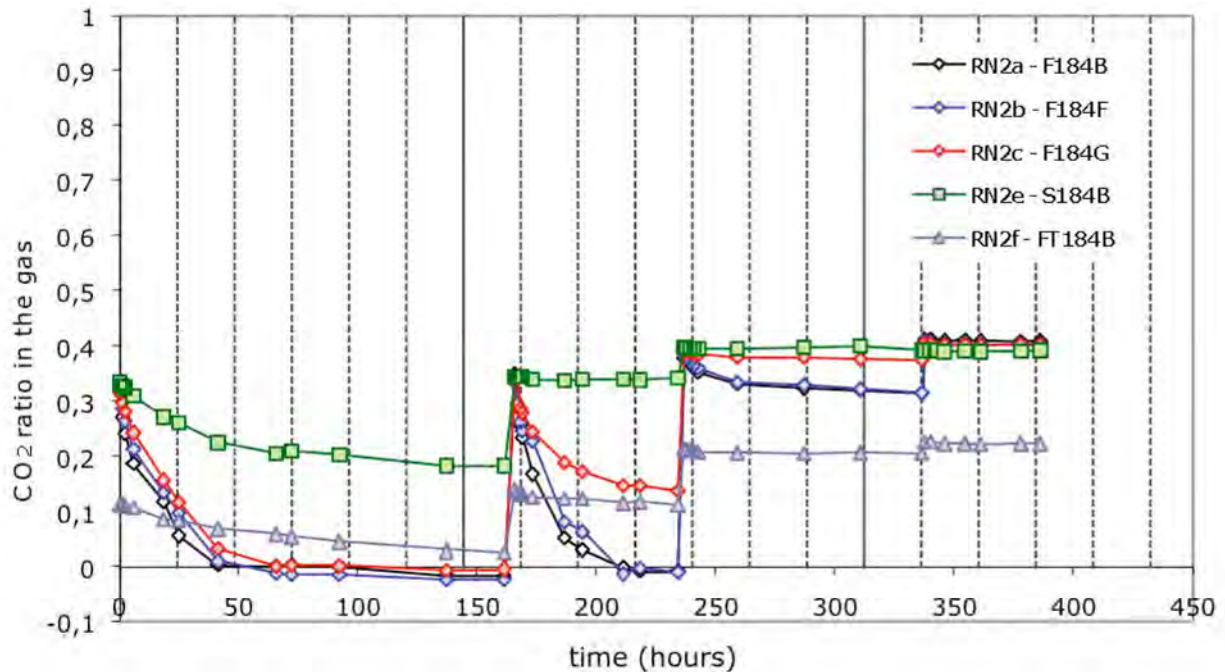


Fig. 25: Evolution of CO₂ contents in eudiometers during the series of experiments RN2.

As illustrated in Fig. 25, the three fluff samples display a very similar rate of CO₂ consumption. The uptake is very quick during the first two days until no CO₂ is left. The CO₂ content becomes slightly negative after the third day but this extra consumption is within uncertainty. An overestimation of 1-2 mL on the initial volume of the control apparatus would have led to this effect. On the 8th day (166 h), fresh CO₂ was injected inside the eudiometers, so that its concentration in the air mixture reached 34 to 35%. The uptake following the injection was quick, as it took around two days to entirely consume the CO₂. Another reinjection on the 11th day (237 h) was this time followed by a slower reaction that failed to consume all the CO₂ and the fourth reinjection that occurred on the 15th day (338 h) was not followed by any additional consumption of CO₂.

The two other samples, S and FT184B, had a greatly higher water content than the three fluffs: with respectively 78 and 59% water, these samples were submerged and they display noticeably slower reaction rates.

RN3, 16/10 – 02/11

The samples belonging to the domain 197B were delivered at the time of the third series. The RN3 series comprised then the fluff fractions of the four studied geological domains. Four 500

mL eudiometers were loaded with 2 g of dry material and 1 g of water (31 to 35% of water). Two other eudiometers were available for additional experiments and have then been loaded with 2 g of dry material (F184G and F197B). For all samples, the initial CO₂ content was close to 10% (Appendix F).

The CO₂ was totally consumed by the wet samples over a period of two days while the dry powders F184G and F197B display small CO₂ consumption: respectively 3 and 4 mL (see Fig. 26). On the 7th day (145 h), new CO₂ was reinjected in all the apparatus so that its content reached c.a. 40%. The dry fluffs remained unreactive while the consumption was slightly reactivated for the wet samples. On the 14th day, 60 mL of room air was injected in eudiometer “a”, in order to determine if lack of oxygen in the previous gas mixtures could have hindered the reaction, which would challenge the idea that the change in gas volume in eudiometers is due to CO₂ consumption. This injection had no observable effect and is omitted from the graph for clarity. On the 15th day (334 h), all the experimental apparatus were opened. The initially wet material was dry and hardened. It was then crushed and 2 mL of water was added. The dry fluffs had kept an unchanged aspect and texture. They were humidified with 1 mL of water. The eudiometers were then lowered in glycerol again and CO₂ was injected until its content reached 30 to 45%.

The samples that have been remoisturized display slight reactivation of the carbonatation. The loss of water (by consumption by the carbonatation reaction or by dilution in glycerol) was then a limiting factor for the reaction of the material with CO₂. CO₂ uptake for samples that were initially dry is stronger than what is observed for samples that had already reacted with CO₂.

Another reinjection in eudiometers “a” and “b” at t = 385 h did not result in any additional reaction.

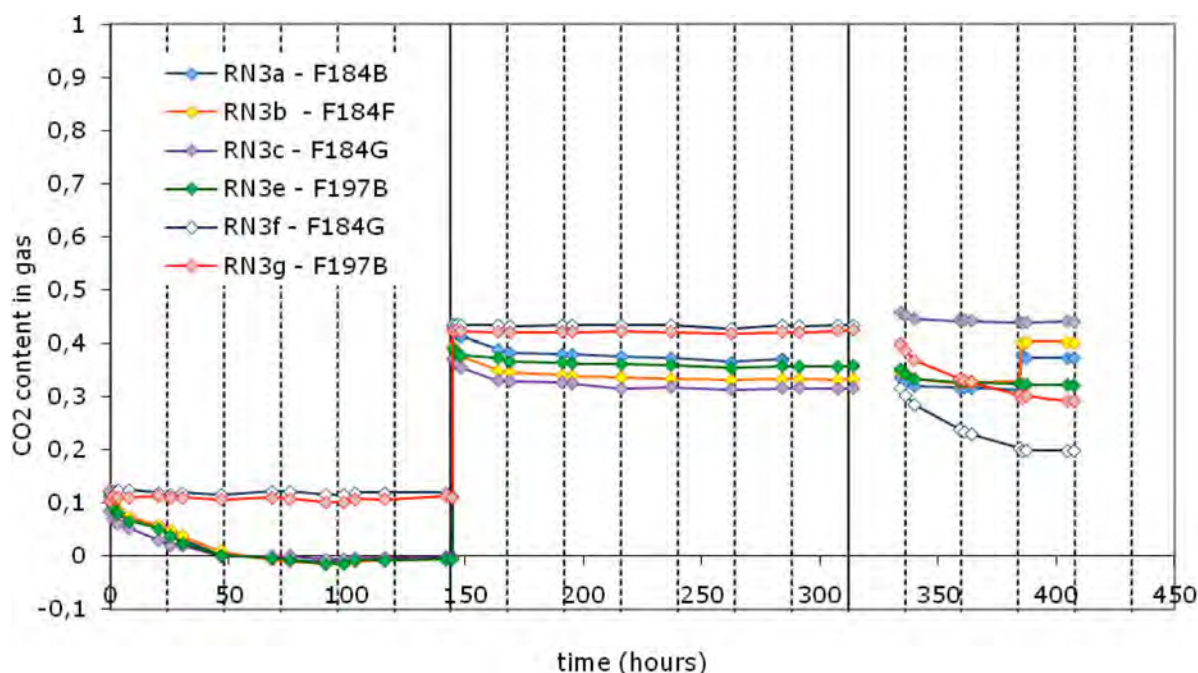


Fig. 26 : Evolution of CO₂ contents in eudiometers during the series of experiments RN3.

This series included the final tail fractions of the four samples. As the amount of water added to the samples in the previous experiment was insufficient to let the material react until it reached saturation, 2 g of powder were this time loaded with 2 g of water. The 500 mL eudiometers “f” and “g” were respectively loaded with 10 g of process water (from sample FT184G) and 10 g of distilled water, in order to evaluate the amount of CO₂ that can be dissolved in water under the experimental conditions (Appendix F).

The initial CO₂ content was set up at c.a. 10% for all samples. As can be seen in Fig. 27, the eudiometers containing only water do not display any measurable variation in gas volume (3 mL for both of them) whereas the CO₂ is entirely consumed after two days in the other eudiometers. On the third day (50 h), CO₂ was reinjected until its content reached 40% in the eudiometers containing water. In the eudiometer loaded with process water, the CO₂ content evolved from 41 to 40% over a period of seven days whereas the atmosphere in the eudiometer containing the distilled water evolved from 40 to 39%. The increase of CO₂ partial pressure in the air mixture has then provoked an increase in the amount of CO₂ dissolved in water but this effect is small when compared to the consumption observed in eudiometers that contain samples. In these eudiometers, the first reinjection brought the CO₂ content to 13 to 15% and its consumption took five days. Another reinjection was carried out on the 8th day (167 h). CO₂ content was set to 40%, and the reaction was barely reactivated. On the 10th day (215 h), all eudiometers were opened to air. The pH of the water in eudiometers “f” and “g” was measured, as discussed later. The solid samples were dry and hardened. After having been crushed and humidified with 2 g of water, they were placed in the eudiometers again in a gas mixture containing 32 to 37 % CO₂. The consumption observed during two days was limited: the decrease in CO₂ concentration reached 1 % only.

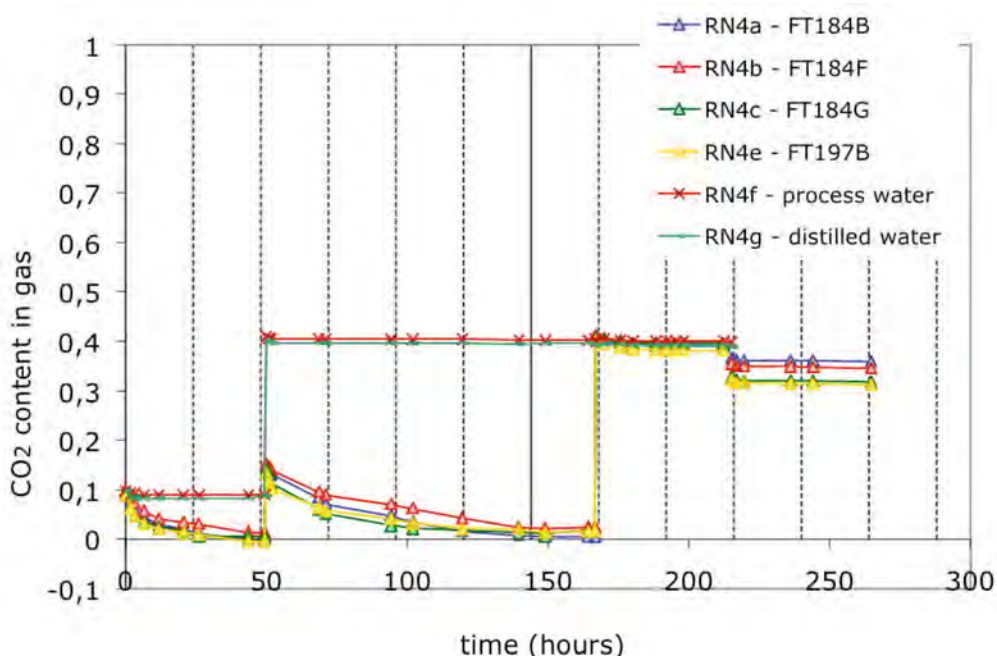


Fig. 27: Evolution of CO₂ contents in eudiometers during the series of experiments RN4.

The RN5 series included the four slime fractions. Two grams of powder were loaded in each eudiometer with 2 g of water. The two extra eudiometers (h and g) were loaded with two slime fractions (S184B and S184F) with the same water-solid ratio but a double amount of material: 4 g of powder and 4 g of water (Appendix F). As all the samples were laid in similar containers, they all had the same contact surface with the atmosphere. The comparison of the CO₂ uptake for the 2 g and the 4 g samples should give insight about the importance of the interface between the powder and the gas in comparison with the absolute amount of available material.

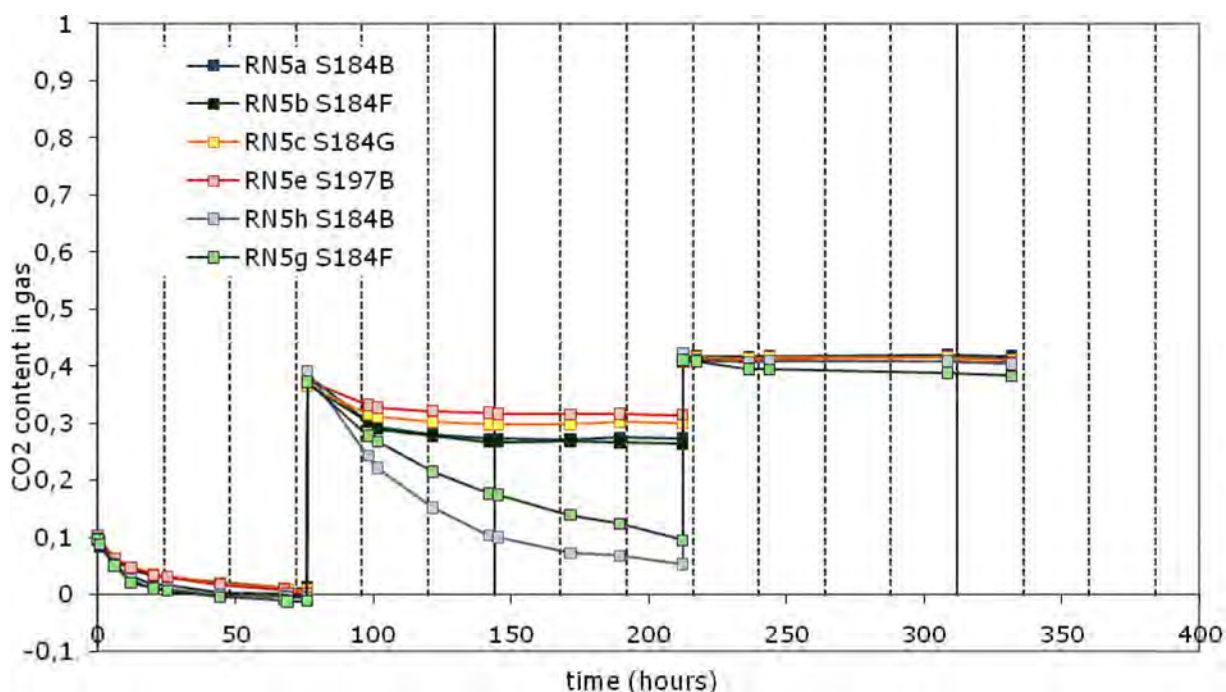


Fig. 28: Evolution of CO₂ contents in eudiometers during the series of experiments RN5.

The initial CO₂ content in gas mixture was set at 10% for all experiments. After 2 to 3 days of reaction, all the CO₂ was consumed. The apparatus containing 4 g of powder displayed a slightly higher rate of carbonation (Fig 28). After the first reinjection, the CO₂ content in the gas mixtures ranged from 37 to 39%. The difference in reaction rate and in total amount of carbonation became more distinguishable between the experiments involving 2 g of solid reactive and those involving 4 g. A third reinjection was performed on the 10th day (215 h) in order to ensure the samples had reached saturation.

This series of experiments was aimed at studying the effect of temperature on the reaction rate and on the total amount of carbonation. The laboratory temperature was set at 33°C instead of 20-21°C. The three eudiometers “a”, “b” and “c” received 2 g of water with 2 g of fractions F184F, ST184F and S184F. Eudiometer “e” was loaded with 2.7 g of water and 6 g of F184F. Finally the last two eudiometers (“g” and “h”) were loaded, respectively, with 2 g and 6 g of sample F184F with 24 and 36 g of water (Appendix F). For these samples, the solid fraction was submerged in water.

The evolution of CO₂ contents is shown in Fig. 29. High reaction rates were expected, so the CO₂ content was set between 23 and 30% in order to obtain curves representative of CO₂ consumption. Despite this precaution, the atmosphere of eudiometer “e”, that contains 6 g of reactive material, was already totally depleted of its CO₂ at the first measurement of the 2nd day (20 h). The three other eudiometers loaded with 2 g of wet samples display the usual curve of CO₂ consumption while the rate of uptake for submerged samples is lower. After reinjection of CO₂ up to 46-55% on the 5th day (91 h), it appears that wet powders were close to saturation except for the 6g sample. On the 10th day (212 h) eudiometers (a, b, c and e) were opened and the powders were humidified again with 3 g of water and left to react in gas mixtures containing 42-48% CO₂. All the powders, including RN6e-F184F (6g sample), displayed a limited reaction indicating they had reached carbon saturation. The eudiometers loaded with the submerged samples (g and h) had not been open and were left to react without interference from the 5th to the 17th day (hour 91 to 385). The samples were then left in eudiometers for a period corresponding to New Year holidays. For safety concerns, the heater was turned off and the room temperature was thus around 22°C. As they had not reached saturation, the submerged samples kept consuming CO₂. The wet samples display very stable CO₂ contents in the air mixture during this period at 22°C, which indicates that the carbonates formed at 33°C are still stable at lower temperatures.

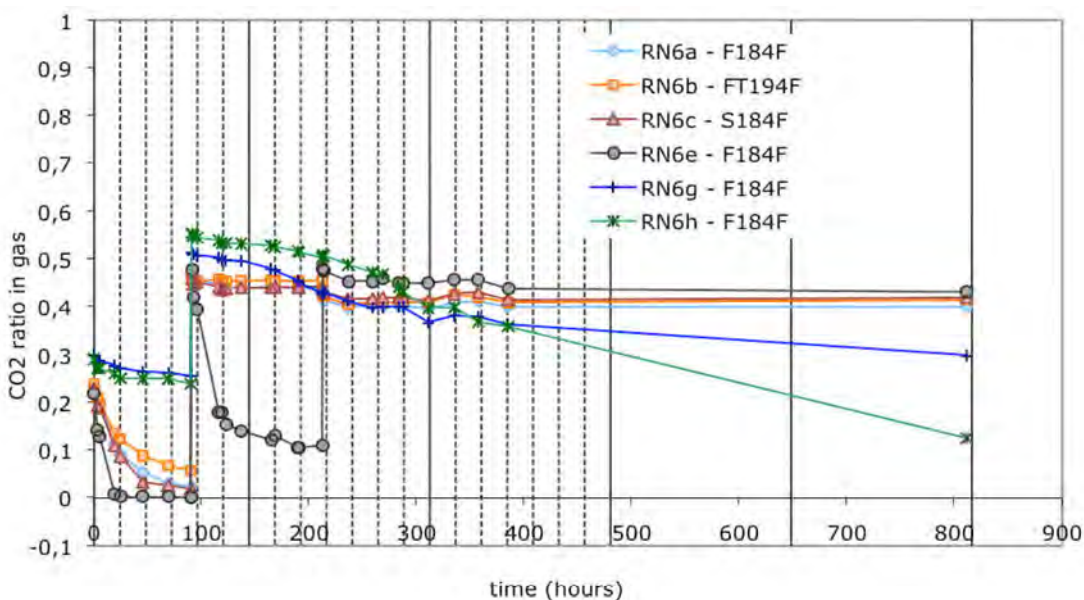


Fig. 29: Evolution of CO₂ contents in eudiometers during the series of experiments RN6.

2.12 Gas mixture with low CO₂ content

A- Protocol

The general principle of the experiments is the same than presented in the protocol of 500 mL eudiometers. Samples are left to react in air tight devices sealed by liquid glycerol and the variation of the glycerol level in a graduated column corresponds to the changes of volume of the trapped gas. One apparatus is loaded with inert material and water in order to correct for the effect of atmospheric pressure fluctuations.

Each eudiometer is composed of a 4 L container and a precisely graduated column. These devices are more sensitive to volume changes than the 500 mL apparatus. A variation as low as 0.1 mL can be detected. They are designed to study carbonation at lower CO₂ concentrations. Before they are dipped in glycerol, the eudiometers are flushed with air containing 415 ppm of CO₂. A 4 L container then contains 1.7 mL of CO₂. The samples are loaded in small Pyrex® containers that are maintained at the top of the graduated column with magnets.

As shown in Fig. 30, an additional correction is needed in these experiments. Indeed, it is not always possible to adjust the level of glycerol in the column with its external level. The traction or pressure exerted by the glycerol on the gas must therefore be corrected.

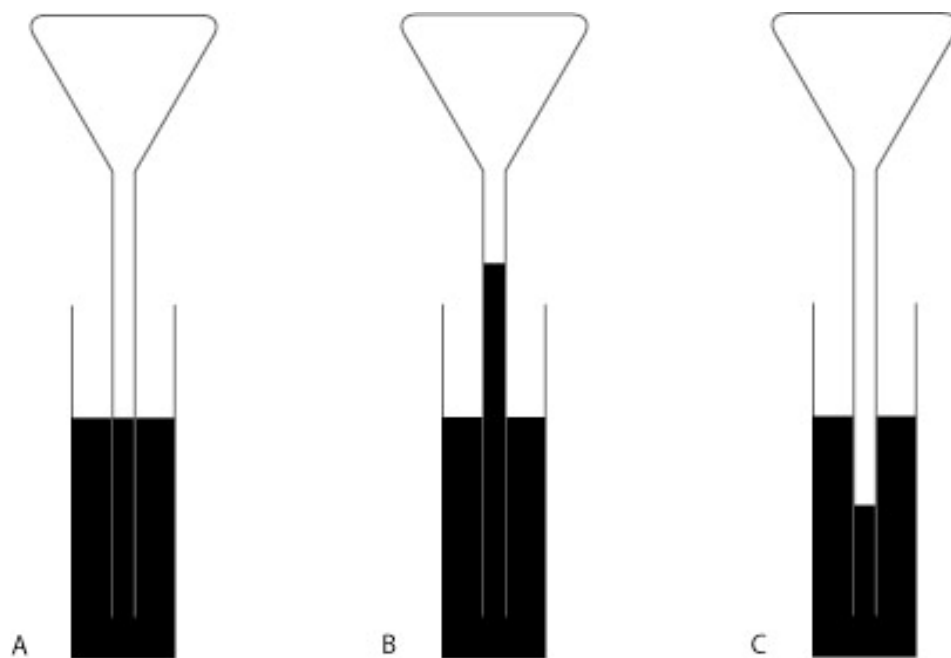


Fig. 30: Effect of the glycerol on the trapped gas. In case A, the internal and external levels are the same and there is no effect. In case B, the glycerol exerts traction equal to its weight multiplied by the height of the column it occupies ($\rho \cdot g \cdot h$). In case C, the column of glycerol exerts a pressure that can be calculated similarly.

B- Results

A very small air leak has been identified in the control apparatus, such that the variation in atmospheric pressure cannot be corrected and this renders the experimental results impossible to use for the purpose of the study. The air leak was detected after the experiments because experimental results showed suspicious values that could not be explained. Further testing demonstrated the small air leak.

The experiment will be redone in May-June 2010 and a complement to the report will be provided as soon as the results will have been processed.

2.2 Carbonation at room conditions

In order to estimate the amount of CO₂ captured by the material in a normal atmosphere over a long period of time, 20 g of each sample was laid in beakers and humidified with 50 g of distilled water (pH = 5.5). After a period of two or three days, when the powder was dry again, 20 mL of water was added. In each beaker, half of the powder was left undisturbed while the other half was crushed and stirred with a spatula before each water addition (Fig. 31). The beakers were left under a hood at 24°C for 33 days during which water has been added to the powders 14 times.

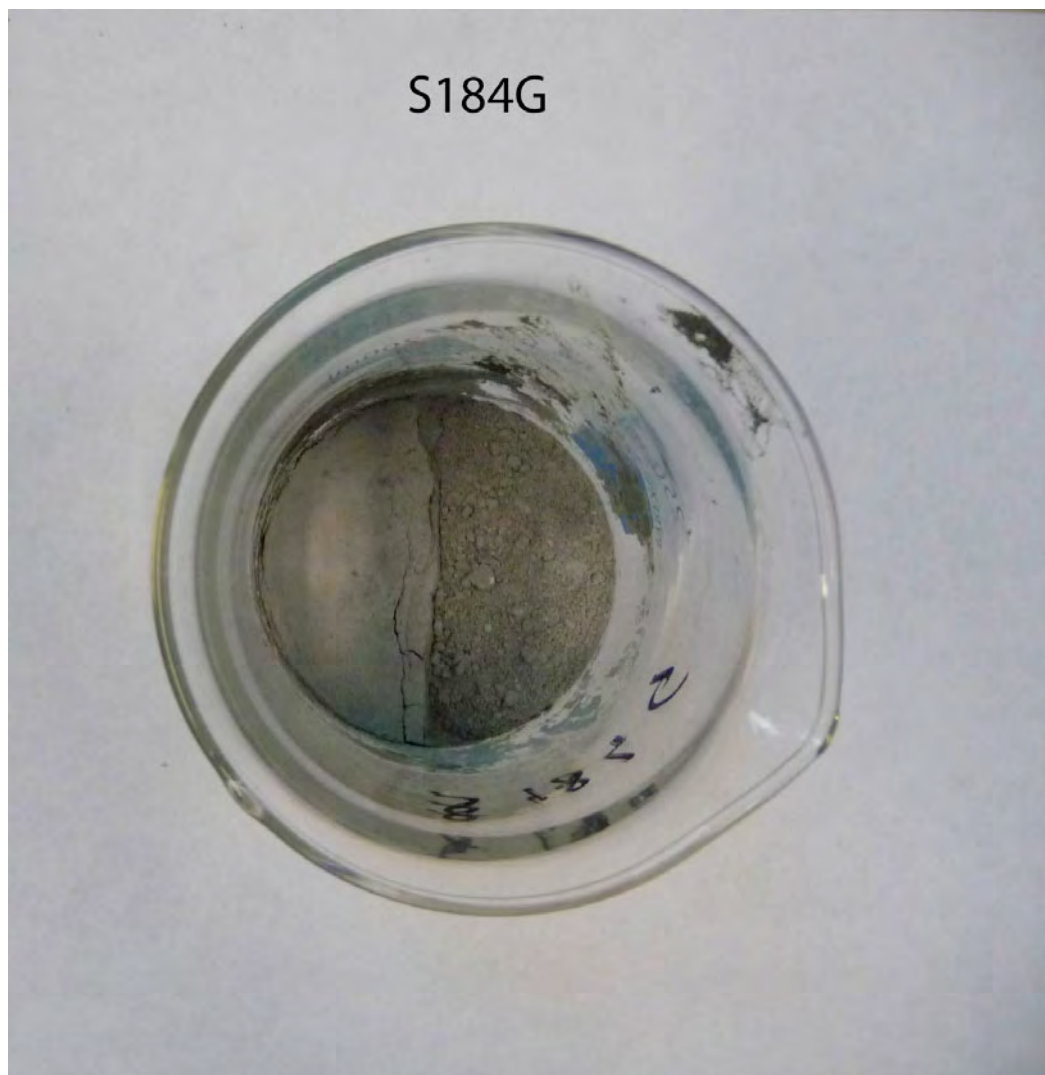


Fig. 31: Example of sample half crushed before water addition.

3 Characterization of the carbonated material

3.1 Scanning electron microscopy (SEM)

The samples have been observed with the scanning electron microscope of Université Laval. The distribution of carbonates appears heterogeneous. Even if all the samples contain carbonates, as attested by XRD and carbon content analysis, they are not always observed in the small quantity of powder that is loaded in the SEM.

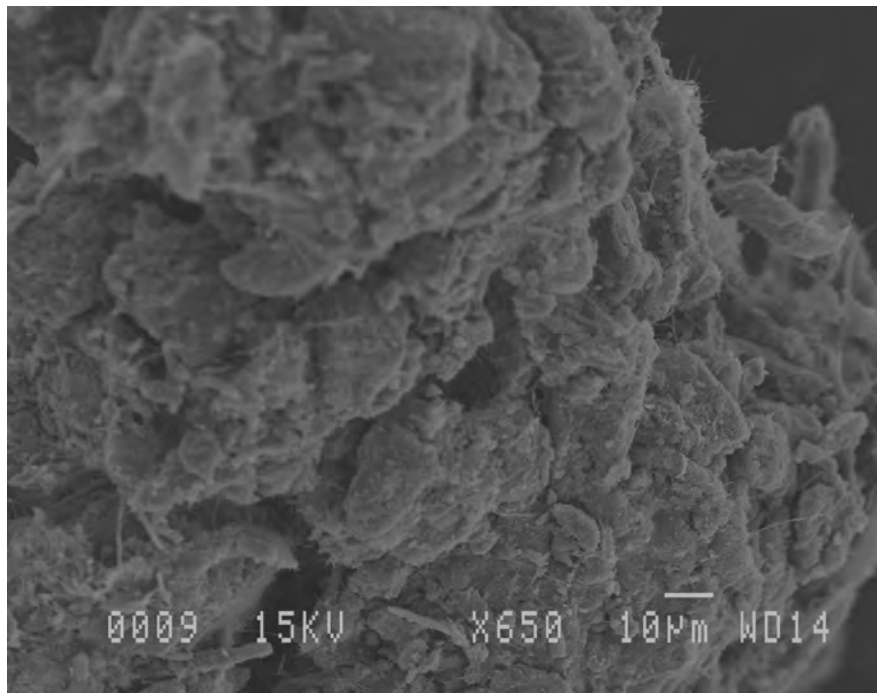


Fig. 32: RN4c-FT184G: Surface of an agglomerate of serpentine grains.

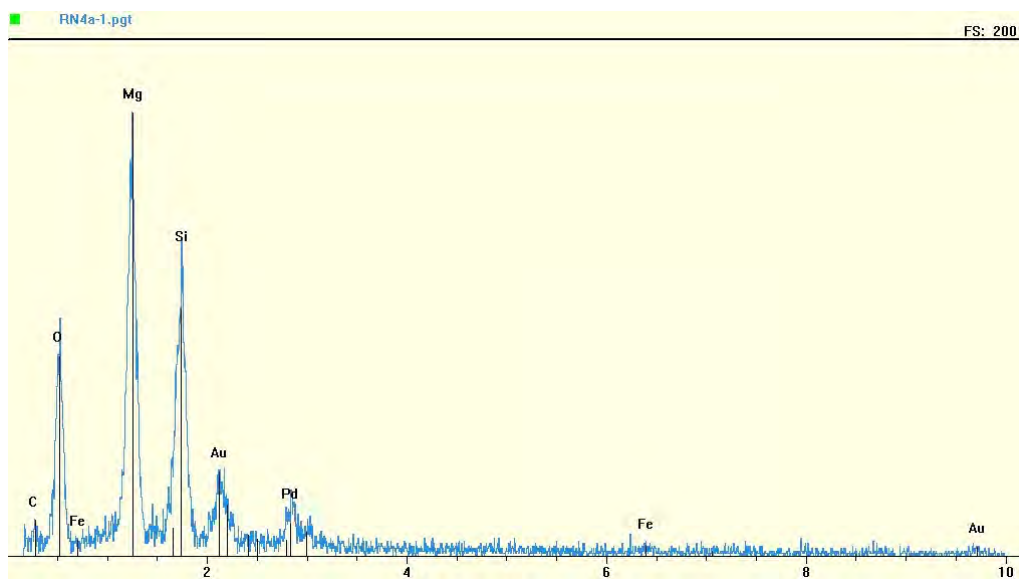


Fig. 33: RN4a-FT184B: EDS analysis of brucite/serpentine without carbonates.

Different types of carbonates have been observed in some samples. They sometimes form pale flakes at the surface of the grains or fibers of the material.

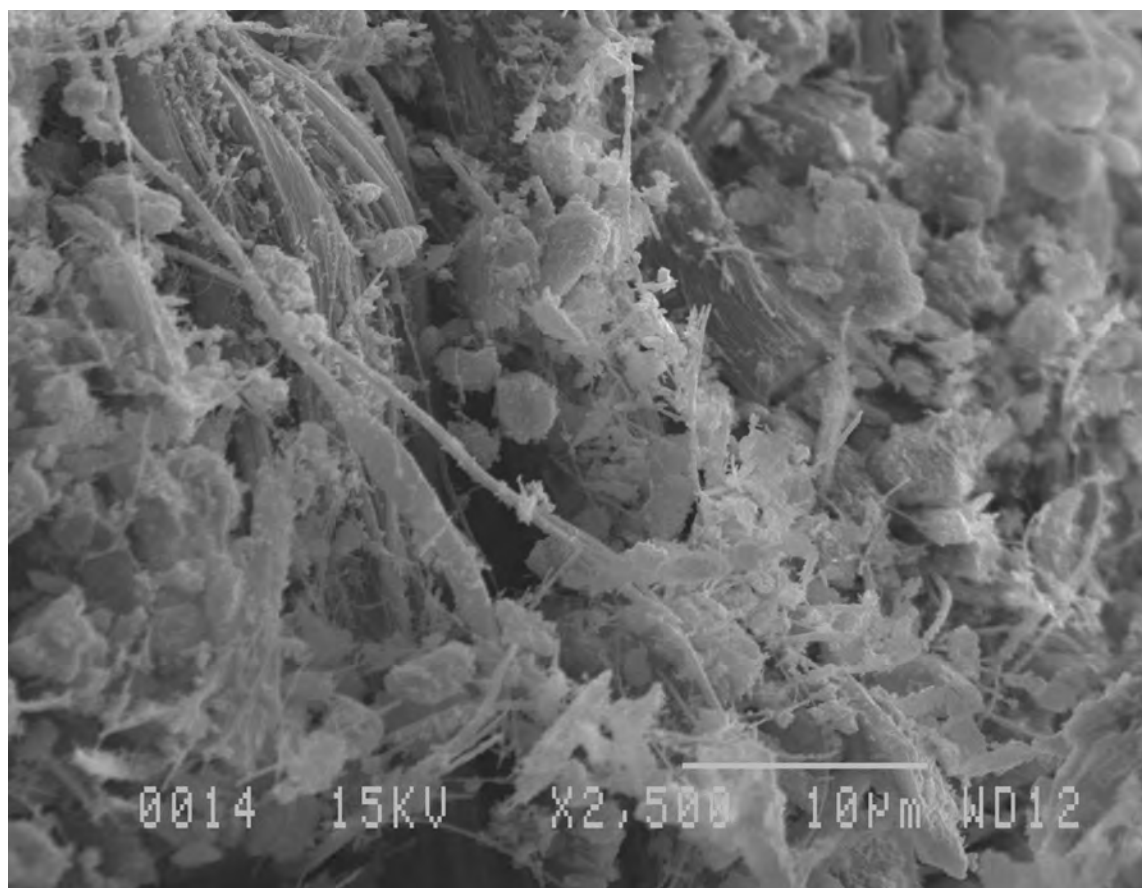


Fig. 34: RN2e-S184B: The flakes of carbonates on serpentine or brucite fibers appear light grey.

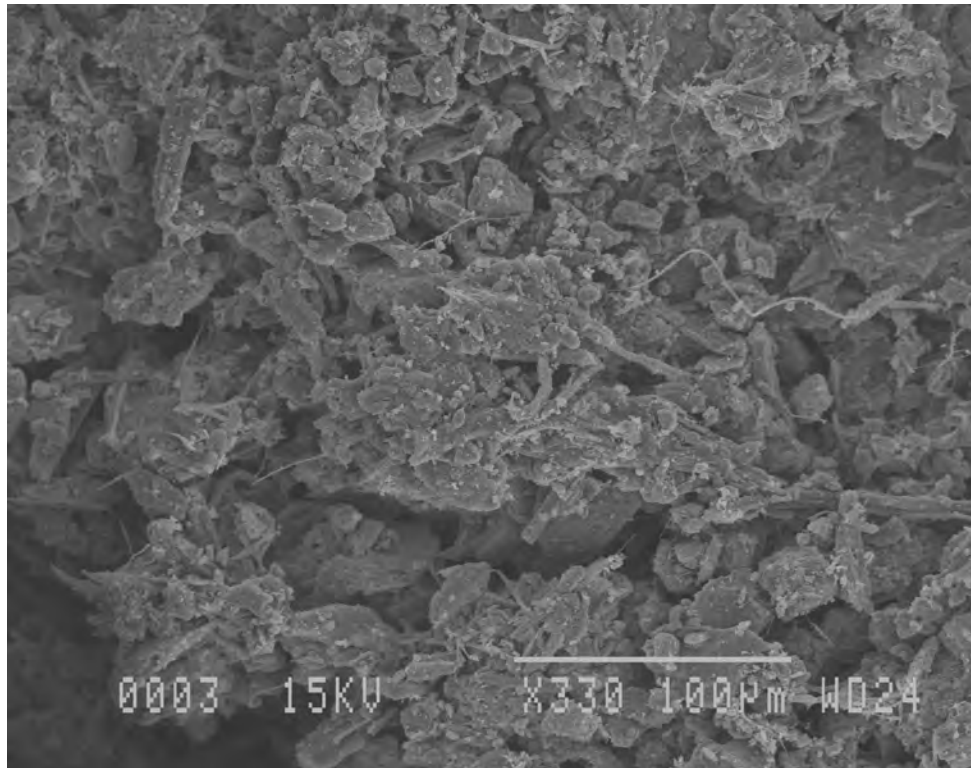


Fig. 35: RN3a-F184B: An area of the sample that is scattered with carbonates flakes.

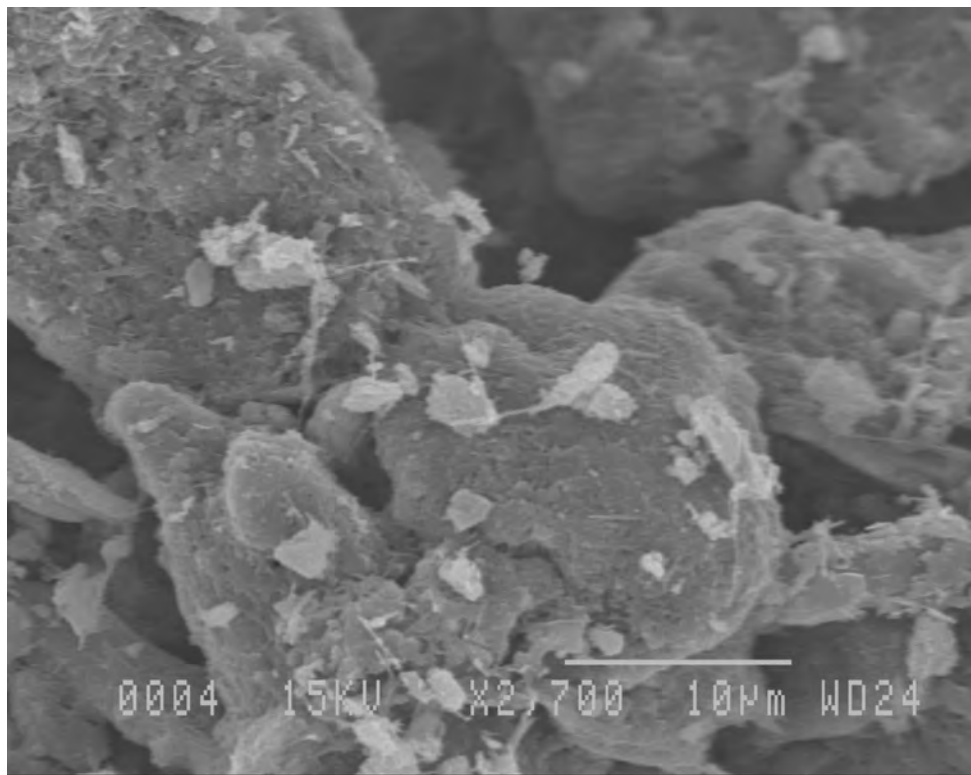


Fig. 36: RN3a-F184B: Close-up on grains with carbonate flakes smaller than 5µm.

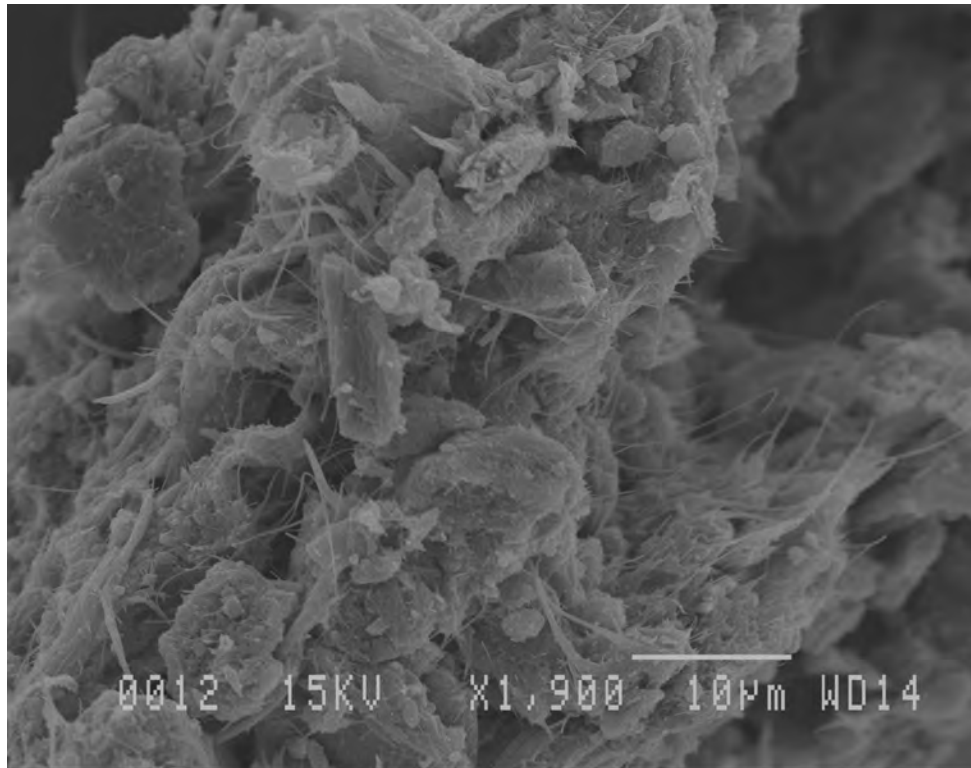


Fig. 37: RN5h-S184B: The carbonate flakes appear here in the same light grey than their serpentine substrate.

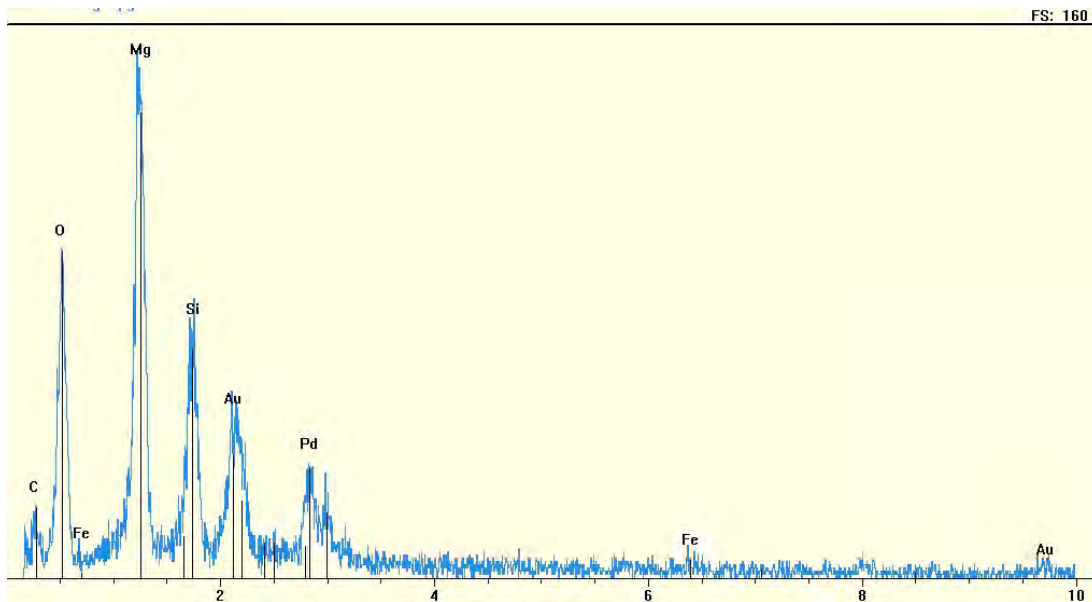


Fig. 38: RN5h-S184B : Analysis of the area corresponding to the above image. The carbon peak is higher than the usual background noise.

The carbonates can also appear as flat clusters, as illustrated in the two following pictures. These formations are composed of thin fibers and small grains agglomerated by a neoformed phase containing carbon.

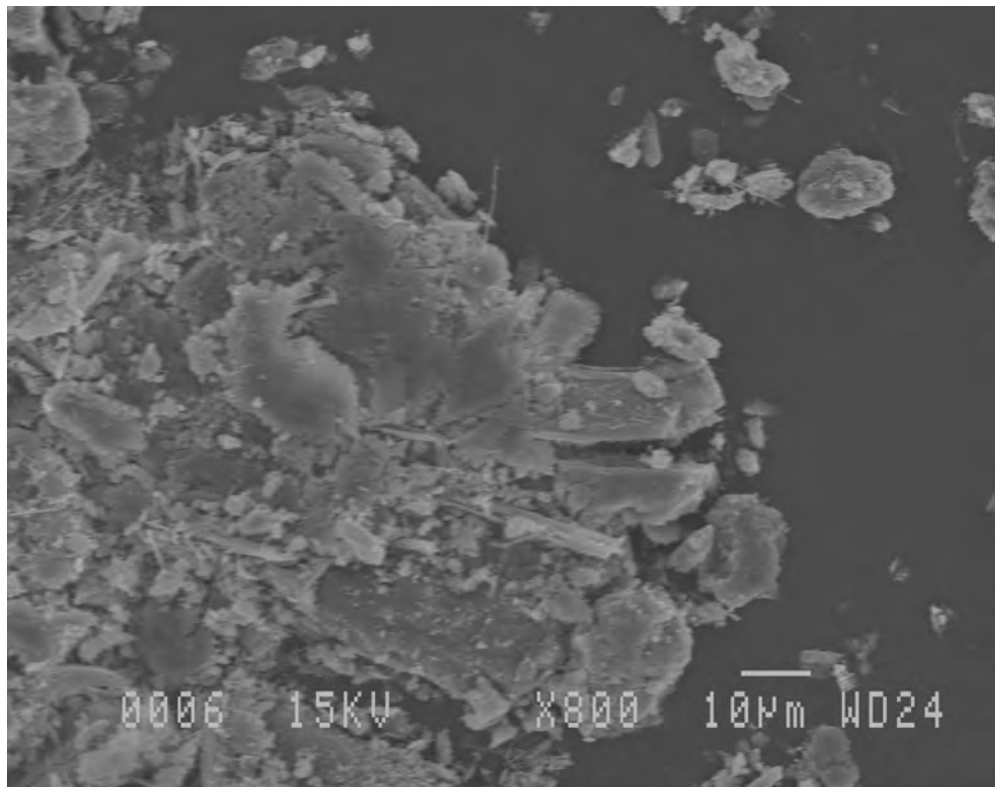


Fig. 39: RN3e-F197B : Powder of fibrous and rounded grains welded in a flat aggregate.

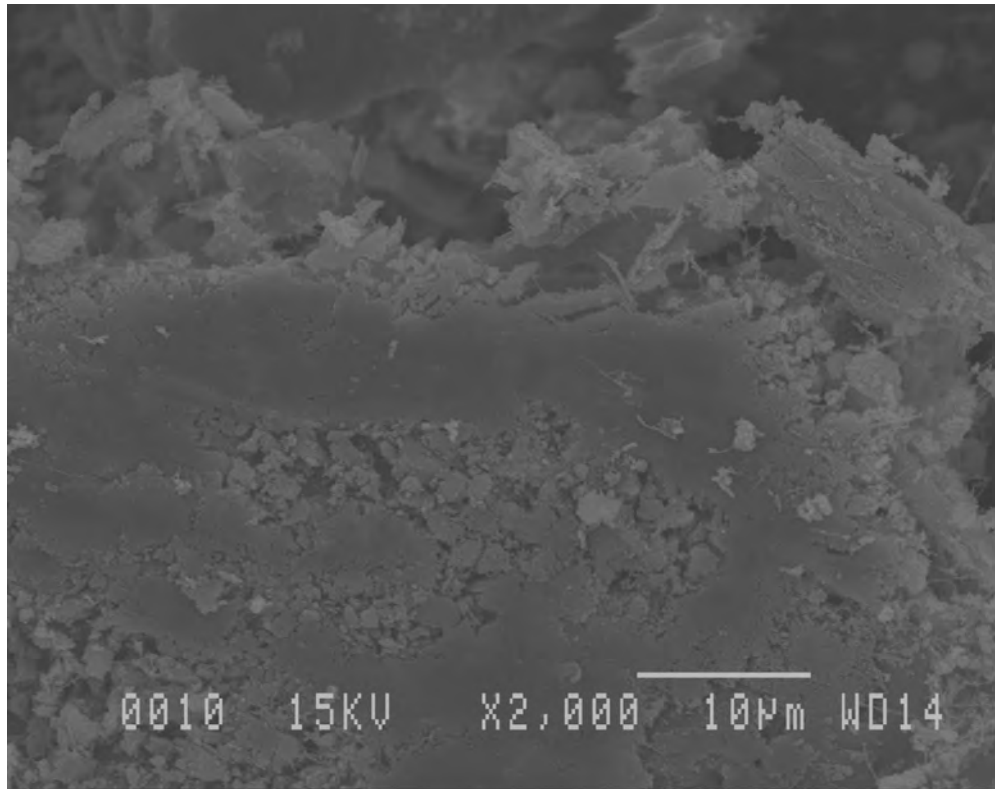


Fig. 40: RN5a S184B : Well cemented aggregate.

FS: 160

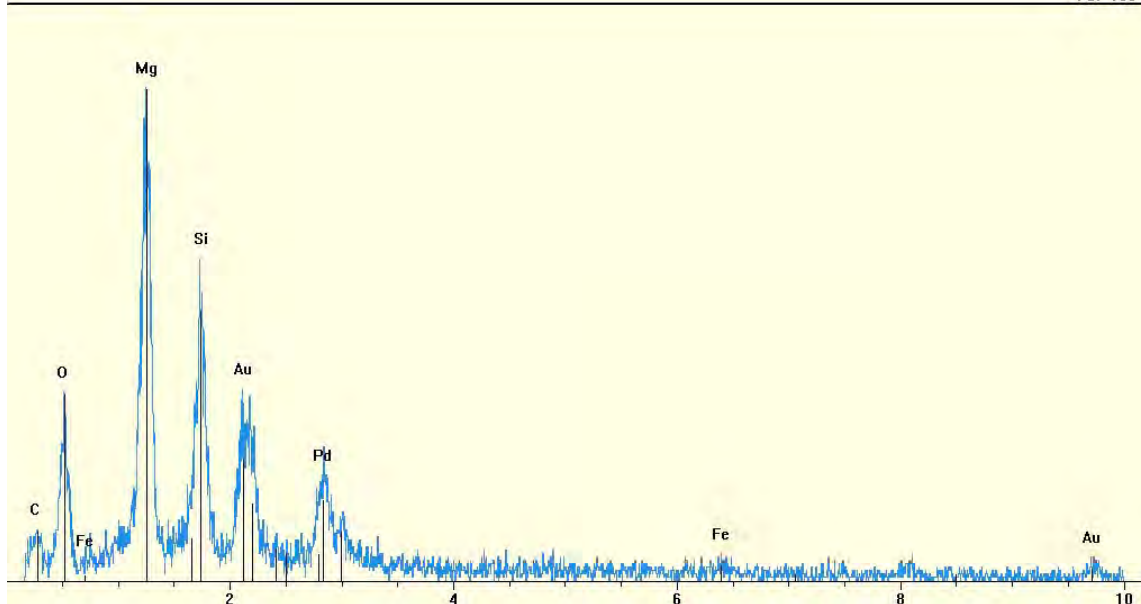


Fig. 41: RN5a S184B : These aggregate comprise a mixture of magnesium silicates and a mineral phase that contains carbon.

Less commonly, well crystallized carbonates have also been observed.



Fig. 42: RN4b-FT184F : Bundle of acicular carbonate crystals among serpentine grains.

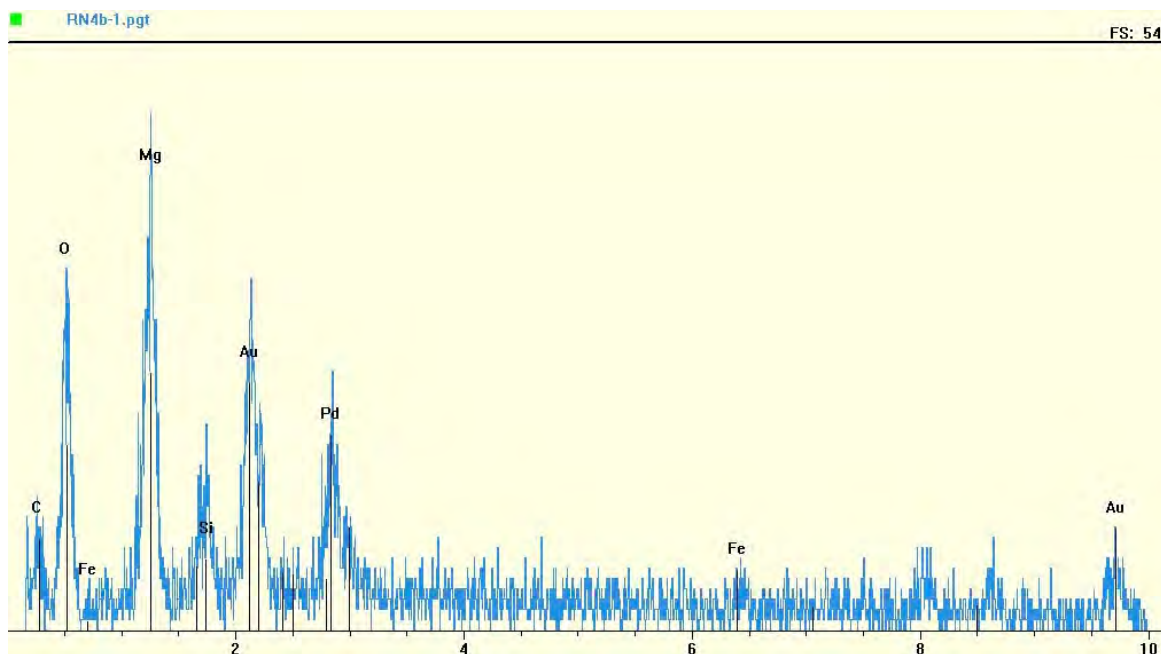


Fig. 33 : RN4b-FT184F : Even if the analyzed phase is a pure carbonate, a peak is still observed for Si because of the proximity of serpentine. The high background noise is due to the orientation of the crystal, which was not optimal compared to the position of the receptor.

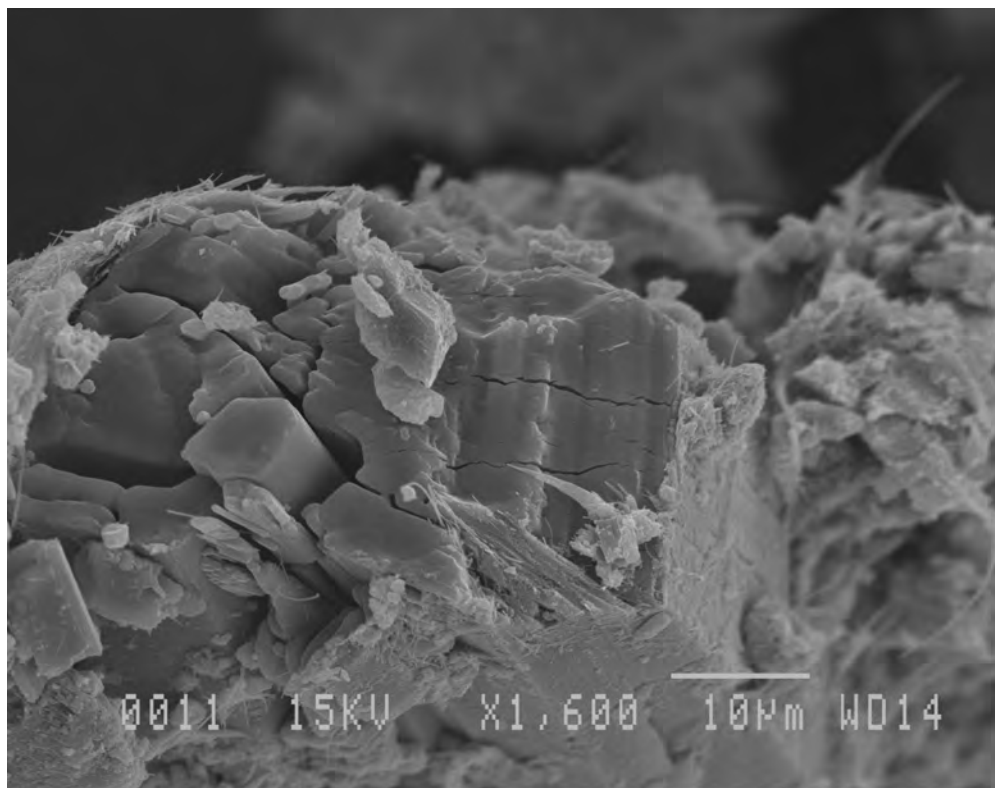


Fig. 34: RN5h-S184B : Massive carbonate crystal. The carbonate may have developed cracks during dehydration.

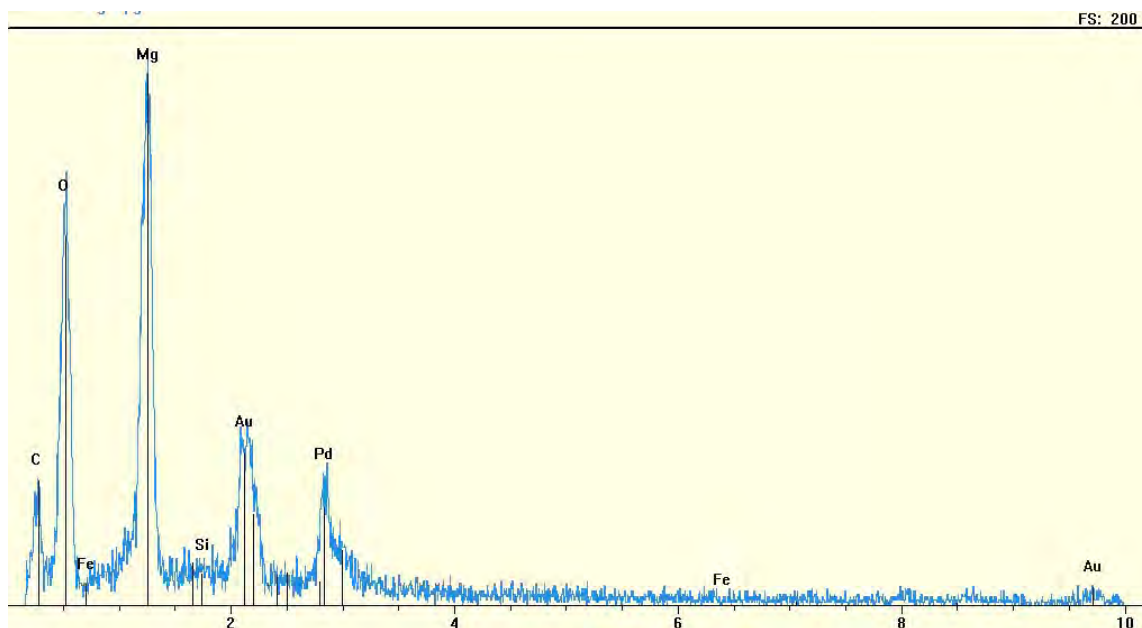


Fig. 35: RN5h-S184B : The EDS analysis reveals a magnesian carbonate containing traces of iron.

3.2 X-ray diffraction

XRD analyses have been carried out on all samples carbonated in 500 mL eudiometers. The XRD spectra are reported in appendix C and the data are summarized in Tab. 6. As discussed in section 1.3, the identified phases in non carbonated samples were serpentine (chrysotile and lizardite), brucite, chlorite and magnetite. The relative height of peaks revealed that the process fractions of sample 184B had the higher ratio of brucite over serpentine, 184F and 197B showed nearly the same proportion and samples from geological domain 184G contain less brucite than the other samples.

All the samples from the RN series contain at least a carbonated phase. The most common is nesquehonite ($\text{Mg}(\text{HCO}_3)(\text{OH}) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) but dypingite ($\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) is also found, particularly in samples from the series RN6. Both these minerals are hydrated magnesian carbonates.

Sample RN1a-S184B displays a remarkable peak corresponding to calcite that is not detected in any other sample. It is possible that this batch of powder contained a small amount of pre-existing calcite that could have favored crystallization of this phase by providing nuclei for mineral growth during the carbonation experiment. This sample is also the only one that contains dypingite and does not belong to series RN6.

The serpentine minerals are still present in all carbonated samples but the peaks corresponding to magnetite and chlorite tend to fade out or even to disappear from the patterns. It does not necessarily mean that these phases are absent from the carbonated samples, but it is more likely that they become too minor to be detected anymore. Moreover, some peaks of dypingite interfere with the peaks of chlorite and can hinder the detection of this phase.

Brucite also becomes undetectable or minor in most carbonated samples. It is unlikely that the presence of new carbonated phases prevents the detection of this phase originally constituting 13 to 20% of the samples. Brucite is more likely consumed during the carbonation process.

Tab. 6: Summary of minerals identified by XRD analysis for carbonated samples.

RN1a	S184B	x	x	x	x		x	x	x
RN1b	S184B	x	x	x	x		x		
RN1c	FT184B	x	x		x		x		
RN1e	FT184B	x	x		x		x		
RN2a	F184B	x	x	x	x		x		
RN2b	F184F	x	x	x	x		x		
RN2c	F184G	x	x		x		x		
RN2e	S184B	x	x		x		x		
RN2f	FT184B	x	x				x		
RN3a	F184B	x	x		x		x		
RN3b	F184F	x	x		x		x		
RN3c	F184G	x	x		x		x		
RN3e	F197B	x	x		x		x		
RN3f	F184G	x	x	x	x		x		
RN3g	F197B	x	x	x	x		x		
RN4a	FT184B	x	x				x		
RN4b	FT184F	x	x		x	x	x		
RN4c	FT184G	x	x		x	x	x		
RN4e	FT197B	x	x		x	x	x		
RN5a	S184B	x	x		x	x	x		
RN5b	S184F	x	x		x	x	x		
RN5c	S184G	x	x		x	x	x		
RN5e	S197B	x	x		x	x	x		
RN5g	S184F	x	x		x	x	x		
RN5h	S184B	x	x		x	x	x		
RN6a	F184F	x	x		x	x	x		x
RN6b	FT184F	x	x		x	x	x		
RN6c	S184F	x	x		x	x	x		x
RN6e	F184F	x	x		x	x	x		x
RN6g	F184F	x	x		x				x

RN6h	F184F	x	x	x	x				x
------	-------	---	---	---	---	--	--	--	---

3.3 pH of water

The eudiometers “f” and “g” of the series RN4 have been loaded respectively with filtered process water from the sample FT184G and with distilled water. During the experiment, they spent two days in air mixture containing c.a. 10% CO₂ followed by five days in atmosphere with c.a. 40% CO₂. The reduction in gas volume measured in these eudiometers was very limited compared to what has been observed for apparatus loaded with powders, but still noticeable (7.8 and 9.8 mL, which is equivalent to 0.014 and 0.018 g CO₂). As the absorption of CO₂ by water is known to make it more acid, the pH of water in these samples has been measured before and after the experiment.

Before beginning the experiments, the distilled water had a pH of 5.5, which is a normal value for pure water in equilibrium with the atmosphere. As previously shown, the process waters have basic pH because of the dissolved ions from the samples, a consequence of mineral-water reactions. The water of sample FT184G has an initial pH of 9.62. Figure 36 shows the pH evolution of the solutions during the 26 hours following the moment they have been taken out of the CO₂ enriched gas mixtures and left in a normal atmosphere. The first pH measurements gave 5.01 for the process water and 3.86 for the distilled water. Both of them have been considerably acidified by the dissolution of CO₂. When left in normal atmosphere, they tended to release the dissolved CO₂ and became less acidic. At pH lower than 6.5, CO₂ dissolved in water is dominantly present in the form of carbonic acid ions H₂CO₃.

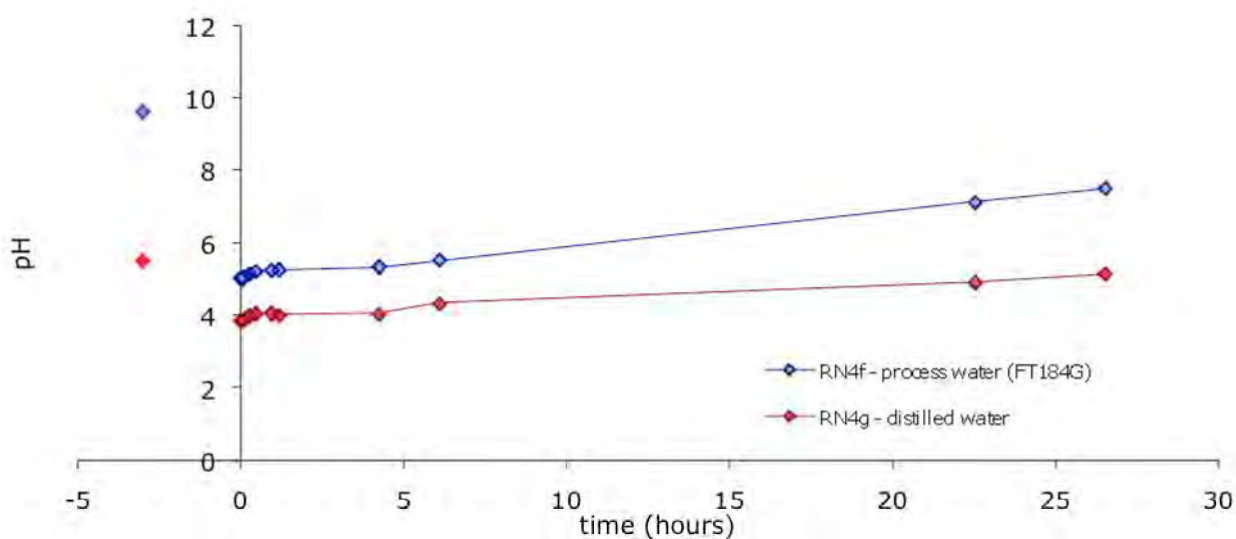


Fig. 36: Evolution of the pH for the two waters that have been kept during five days in eudiometers with an atmosphere containing 40% CO₂. Original pH for both the solutions are indicated at the left of the vertical axis.

At the beginning of the reaction the partial pressure of CO₂ in these eudiometers was close to 1000 kPa (0.01 atm). Theoretical calculations (for 25°C) indicate that water in equilibrium with this air mixture should reach a pH of 4.42. The process water yields a slightly higher value and the distilled water a slightly lower value. The dissolved CO₂ is mainly present as molecular CO₂ ($3.36 \cdot 10^{-3}$ mol/L) and carbonate ion HCO₃⁻ ($3.78 \cdot 10^{-5}$ mol/L).

3.4 Carbon analyses

All carbon analyses have been performed by Actlabs. Samples carbonated in open beakers have been submitted to low level carbon analysis, like the non carbonated powders previously discussed in section 1.42. As samples carbonated in eudiometers were thought to contain more than 1% C, standard infrared analyses were requested for them. Complete results of samples, standards and duplicates analysis are reported in appendix D.

3.41 Samples carbonated at room conditions

The results of carbon analysis are summarized in Tab. 7. Each beaker contained a sample split in two halves: one that has been left un-reworked during the whole experiment and another one that has been crushed and mixed up before each water addition. They have been analyzed separately. Sample fractions that have not been reworked are labeled with 1 (ex: F184B-1) and those that have been agitated with 2 (ex: F184B-2).

Tab. 7 : Results of CO₂ analysis for non carbonated samples (column A), samples carbonated without reworking (column B) and samples carbonated with frequent reworking (column C). Average values and standard deviation are given for each fraction. The three last columns present the CO₂ gain between the different series of data (A, B and C).

	A		B		C				
	Initial CO ₂ %	average per fraction (S.D.)	CO ₂ % in samples (1)	average per fraction (S.D.)	CO ₂ % in samples (2)	average per fraction (S.D.)	B-A	C-A	C-B
F184B	0.347	0.341 (0.099)	1.557	1.512 (0.202)	1.810	1.839 (0.161)	1.210	1.463	0.253
F184F	0.286		1.382		1.840		1.096	1.554	0.458
F184G	0.253		1.330		1.656		1.077	1.403	0.326
F197B	0.478		1.777		2.048		1.300	1.571	0.271
S184B	0.461	0.488 (0.102)	1.447	1.698 (0.305)	2.081	2.003 (0.266)	0.987	1.621	0.634
S184F	0.424		1.664		1.950		1.240	1.526	0.286
S184G	0.429		1.477		1.671		1.048	1.242	0.194
S197B	0.640		2.202		2.309		1.562	1.669	0.106
FT184B	0.822	0.878 (0.107)	1.847	1.914 (0.05)	2.052	1.999 (0.191)	1.025	1.230	0.205
FT184F	0.832		1.909		2.063		1.077	1.231	0.154
FT184G	0.820		1.935		1.722		1.115	0.903	-0.213
FT197B	1.038		1.964		2.158		0.926	1.120	0.194
Total average (S.D.)	0.569 (0.254)		1.708 (0.273)		1.947 (0.207)		1.139	1.378	0.239

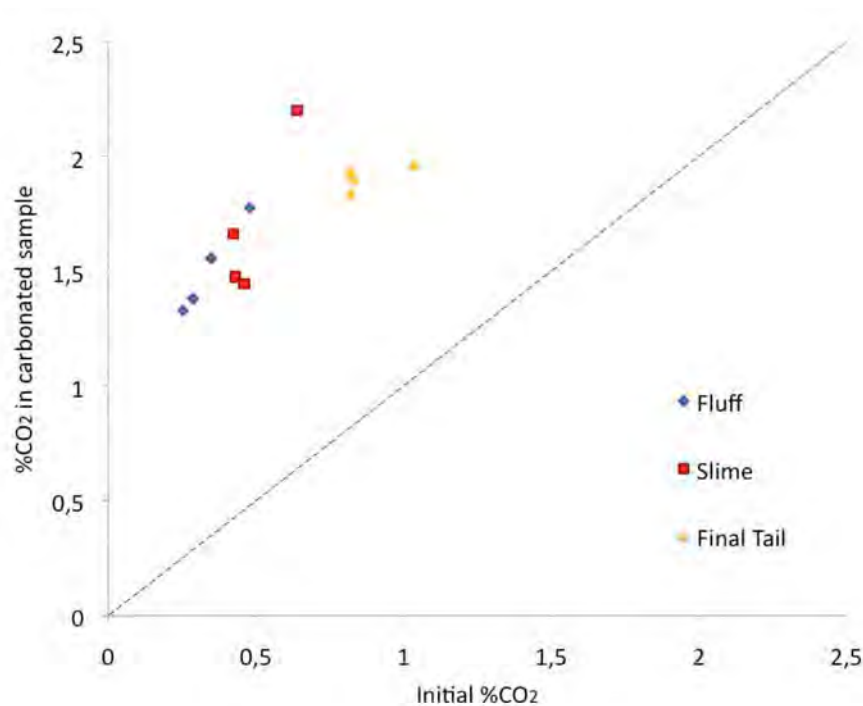


Fig. 37: CO₂ content in samples carbonated in open beakers without reworking against initial CO₂ content in powdered rocks.

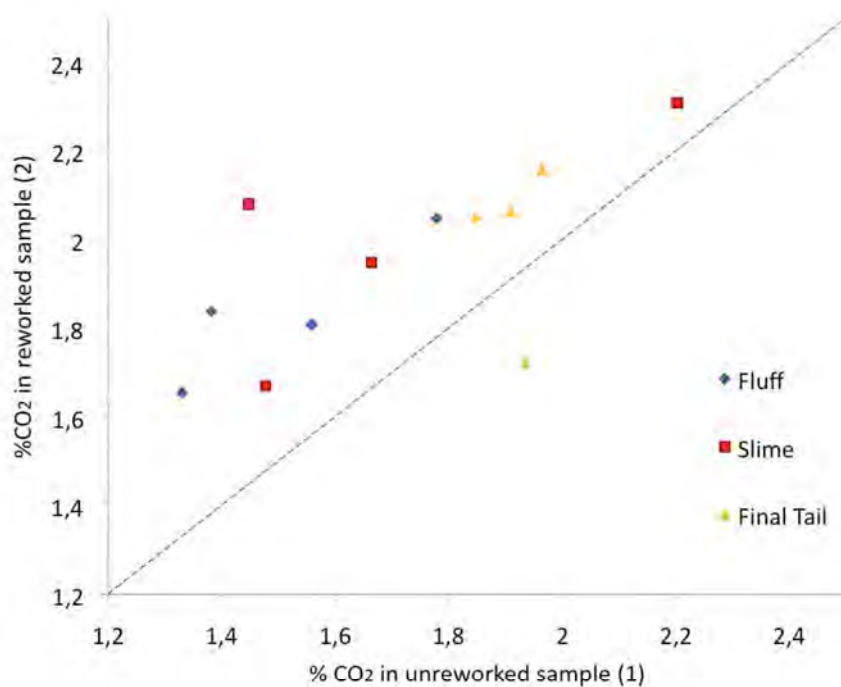


Fig. 38 : CO₂ content in regularly reworked powders vs CO₂ content in samples that have not been crushed before each addition of water.

It has been discussed in section 1.42 that the initial carbon content of the samples is slightly higher in slime than in fluff, and higher in final tail fractions. The geological domain of origin has a lesser influence for samples 184B, 184F and 184G, but samples 197B are slightly richer in carbon than the others. In Fig. 37 these initial CO₂ contents are plotted against the CO₂ content in the same powders after carbonation without reworking. The samples that contained more carbon before the carbonation have also been the most reactive during the experiment. The fluffs contain 1.51 wt % CO₂ on average (0.34 wt% before carbonation), the slime 1.68% (versus 0.49%) and the final tails 1.9% (versus 0.87%). On average, for all the samples involved, the CO₂ content has increased of 1.14 wt % during the 33 days of reaction.

Fig. 38 shows the comparison of CO₂ content for reworked and un-reworked samples. Apart in one case (FT184B), all the reworked samples are slightly more carbonated. Regular stirring yields an average increase of 0.24 wt % in the amount of CO₂.

3.42 Samples in eudiometers

All the samples carbonated in 500 mL eudiometers have been analyzed for carbon content by standard infrared (IR) analysis. The reproducibility of this method is better than 2%. The accuracy has been tested with the standard SY-4, a dioritic gneiss provided by Natural Resources Canada. The discrepancy between the measurements and the recommended value is under 15%. The results of samples analysis are summarized in Tab. 8. The study involved 25 samples distributed in 12 fluffs, 9 slimes and 8 final tails.

The results of IR analysis on the final carbonated products can be compared to the amount of assimilated carbon calculated from the CO₂ consumption derived from eudiometer measurements (Fig. 39). The two methods yield generally consistent results, but some samples display a noticeable discrepancy. An extreme example is sample RN2f-FT184B, that should contain 7% CO₂ according to the consumption observed in the eudiometer, but whose IR analysis indicates 18.4%. All the data that plot far away from the line 1:1 correspond to samples that were submerged during the carbonation. There is no systematical shift in one direction or another: IR measurements can give results that are higher, lower or similar to the values derived from eudiometers observations. High infrared CO₂ values indicate that wet samples, after being removed from the eudiometers, probably kept consuming air CO₂ during the two to four days of drying in normal indoor atmosphere.

As can be seen in Fig. 40, the samples that had consumed the highest amounts of CO₂ during the experiments are those in which carbonates became unstable (RN2e-S184B and RN6g-F184F) when left in normal atmosphere, while the samples that were far away from saturation kept consuming CO₂ during drying at room conditions. It is noticeable that these samples reached higher carbon contents than those that were left to react at room conditions during 33 days.

Tab. 8: Results of IR analysis for carbonated samples.

sample type	experiment identification	% C	% CO₂
S184B	RN1 a	1,34	4,91
S184B	RN1 b	1,37	5,02
FT184B	RN1 c	2,04	7,48
FT184B	RN1 e	2,13	7,81
F184B	RN2 a	2,08	7,62
F184F	RN2 b	2,35	8,61
F184G	RN2 c	1,42	5,20
S184B	RN2 e	2,02	7,40
FT184B	RN2 f	5,02	18,40
F184B	RN3 a	2,23	8,17
F184F	RN3 b	2,20	8,06
F184G	RN3 c	1,92	7,04
F197B	RN3 e	1,75	6,41
F184G	RN3 f	1,47	5,39
F197B	RN3 g	1,65	6,05
FT184B	RN4 a	1,87	6,85
FT184F	RN4 b	2,16	7,92
FT184G	RN4 c	1,47	5,39
FT197B	RN4 e	1,28	4,69
S184B	RN5 a	1,83	6,71
S184F	RN5 b	1,73	6,34
S184G	RN5 c	1,90	6,96
S197B	RN5 e	1,47	5,39
S184B	RN5 h	1,93	7,07
S184F	RN5 g	1,86	6,82
F84F	RN6 a	1,90	6,96
FT184F	RN6 b	1,84	6,74
S184F	RN6 c	1,87	6,85
F184F	RN6 e	2,04	7,48
F184F	RN6 g	1,16	4,25
F184F	RN6 h	1,53	5,61

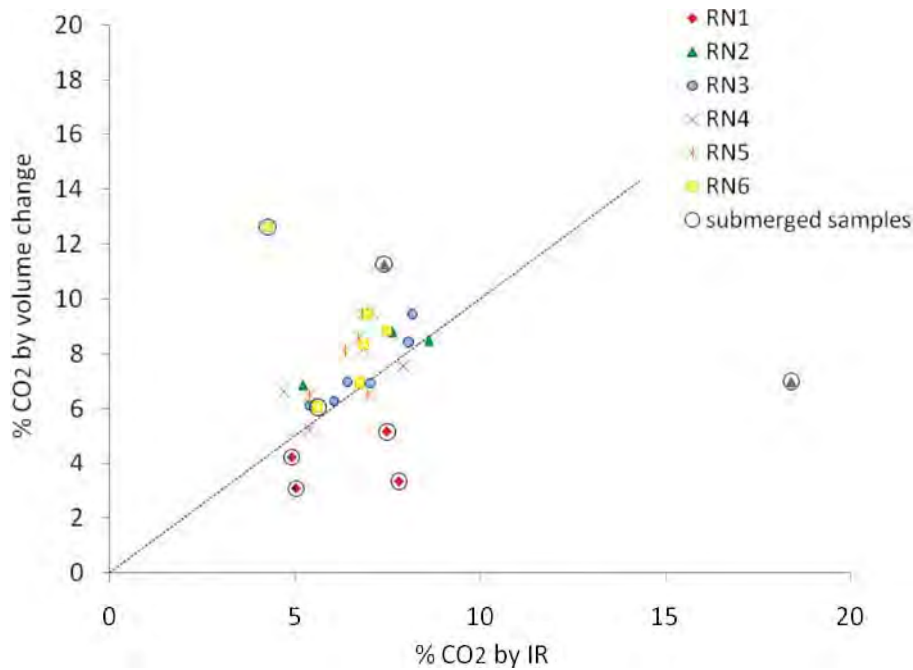


Fig. 39: Final CO₂ content in the carbonated samples calculated from the measurements of volume changes in eudiometers against IR analysis of CO₂ content in the same samples. The 1:1 line is plotted for reference. The samples are symbolized according to their experimental series and samples that were submerged by water during carbonation are circled in black.

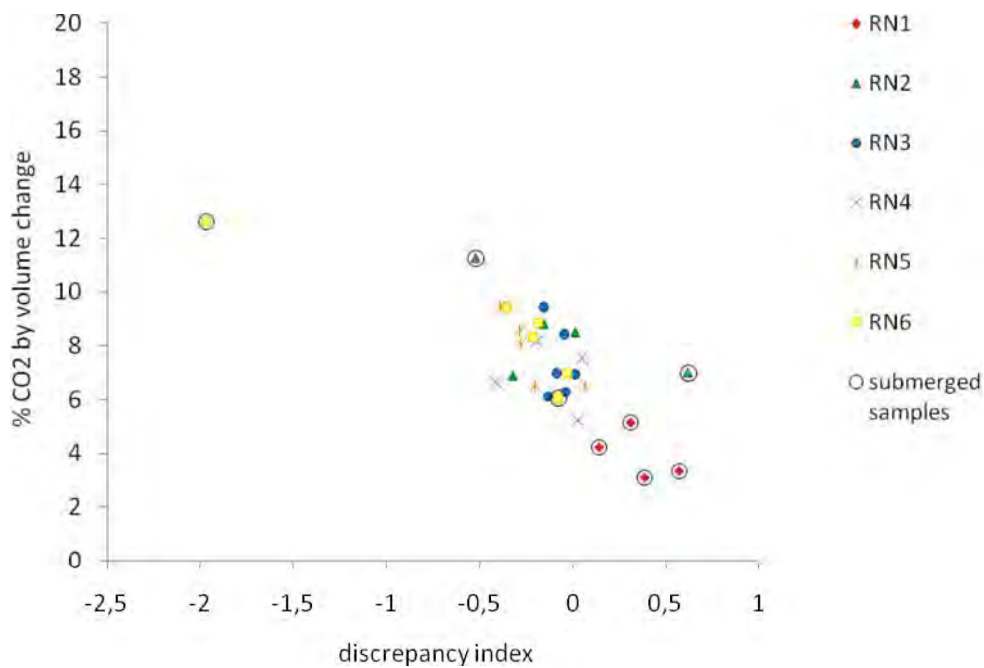


Fig. 40: Discrepancy between the two CO₂ content estimations for each sample against its content as calculated by observation of eudiometers. The discrepancy index is calculated by dividing the difference between the two measurements by the IR data. The result is positive when the IR analysis result is higher than the value based on eudiometers observations and negative in the other case.

Samples that were not submerged with water but only wet during carbonation cluster together in these diagrams. The lack of clearly defined trend suggest that the small differences between the measurements are random and due to the inherent accuracy of the methods. It is still noticeable that most of the samples display a slightly positive discrepancy index, i.e. that their CO₂ content measured by IR is lower than the content based on eudiometer observation. It could be due to the fact that samples were not totally dry when they were taken out of eudiometers and they could have evolved during a few hours. The long term stability of the carbonate phases would thus require a closer investigation.

4 Interpretations of results

4.1 Parameters influencing the total amount of carbonation

Maximal possible carbonation for all the samples has been investigated in 500 mL eudiometers. After the first stage of carbonation, generally at 10-15% CO₂, the gas mixtures have been replenished up to 30-40% CO₂ as many times as necessary to reach saturation. A period of two to three days without CO₂ consumption has been considered indicative of saturation. As a test, samples of series RN6 have been left in eudiometers after the end of CO₂ uptake and displayed neither additional consumption nor release of CO₂ during eighteen days.

Samples that were submerged during the experiments are excluded from the following discussion because they were still reactive with respect to CO₂ at the end of the experiments, as well as samples from the series RN1. The dry samples RN3f and RN3g that have been humidified only in the last stage of the experiment *h* were still reactive with respect to CO₂ and are also omitted.

Nature of the material

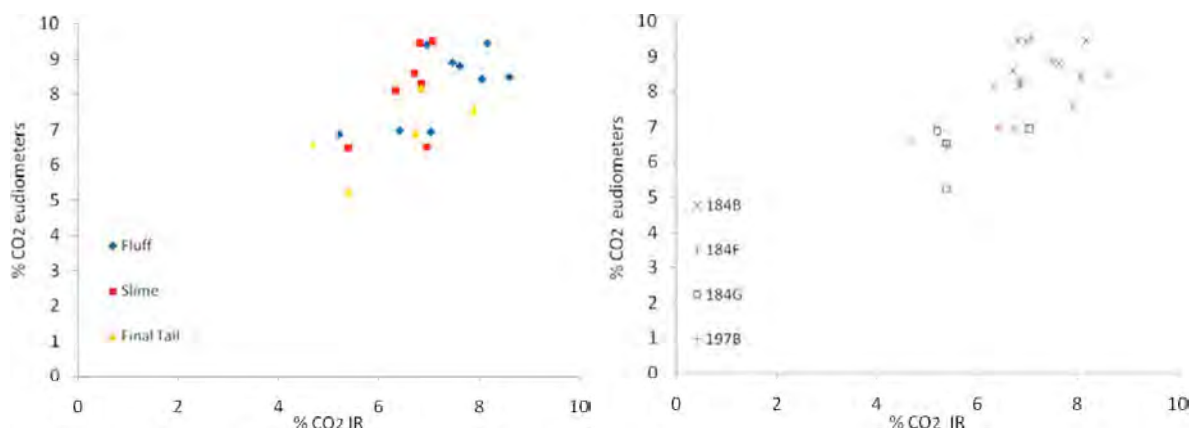
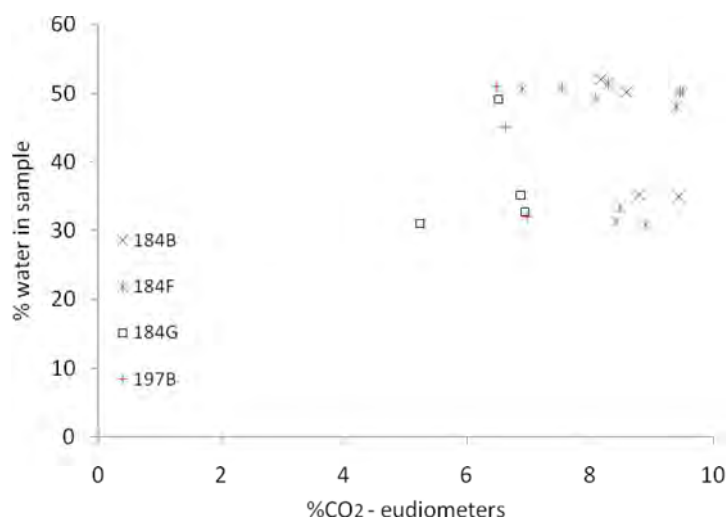


Fig. 41: Final CO₂ content in the carbonated samples calculated from the measurements of volume changes in eudiometers against infrared analysis of CO₂ content in the same samples. In Fig. 41A, samples are symbolized according to their process fraction while they are symbolized according to their geological domain in Fig. 41B.

Fig. 41 shows the final amount of carbonation reached by all the samples that had become inert with respect to CO₂, measured by observation of eudiometers and IR analysis. The final CO₂ content is comprised between ca 5 and 9 wt%. The final CO₂ content in the sample is calculated as $(100 * \text{mass of absorbed CO}_2) / \text{mass of dry sample loaded}$. No systematical CO₂ concentration depending on the process fraction is observed. On the contrary, the geological domain exerts an influence on the potential of carbonation. Samples from domains 184B and 184F reached higher CO₂ contents than samples from domains 184G and 197B. It should be noted that the most reactive samples are those in which the brucite/serpentine ratio is the highest (see section 1.41).

Water content

During the series of experiments RN3 and RN4, the wet samples had dried before they could reach saturation. Eudiometers have then been opened and samples have been rehydrated, which has provoked a reactivation of CO₂ uptake. Water is thus necessary to the carbonation process.



For wet samples, initial water content was comprised between 31 and 52%. As shown in Fig. 42, in this range, this parameter has no effect on the ultimate amount of carbonation. It should be noted that the solid/water ratio evolves during the course of the reaction.

Partial pressure of CO₂

58

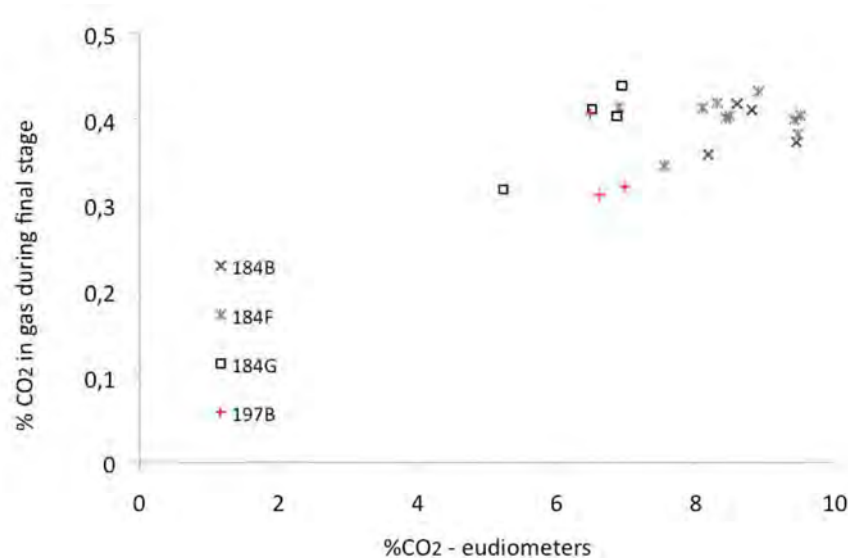


Fig. 43: CO₂ content of the samples according to observation of eudiometers against CO₂ content in the gas mixtures at the end of the experiments.

Temperature

All the series have been carbonated in a laboratory air-conditioned at 20-21°C except from series RN6 that was carried out at 33°C. Two of the samples, RN6g and RN6h, were submerged and are then excluded from this discussion. The samples were chosen in the domain 184F. As can be seen in Fig. 44, the temperature change had no effect on the total amount of carbonation.

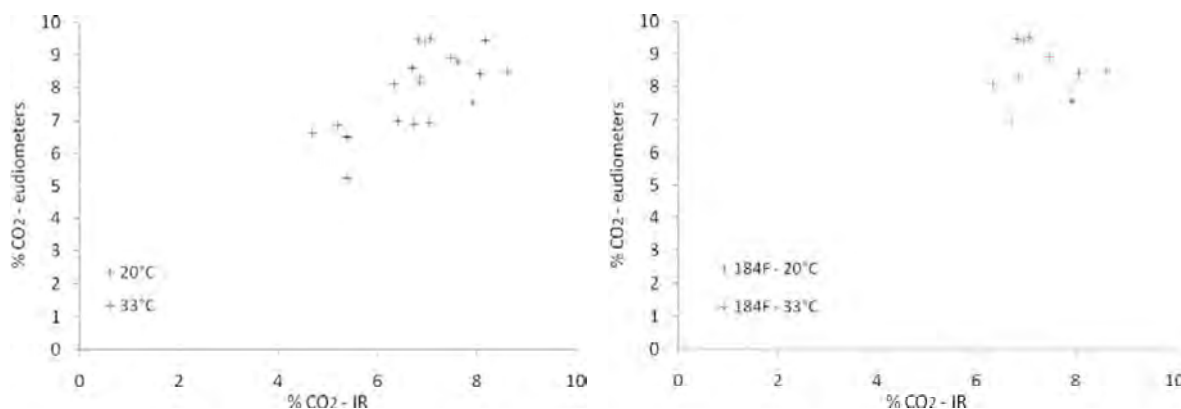
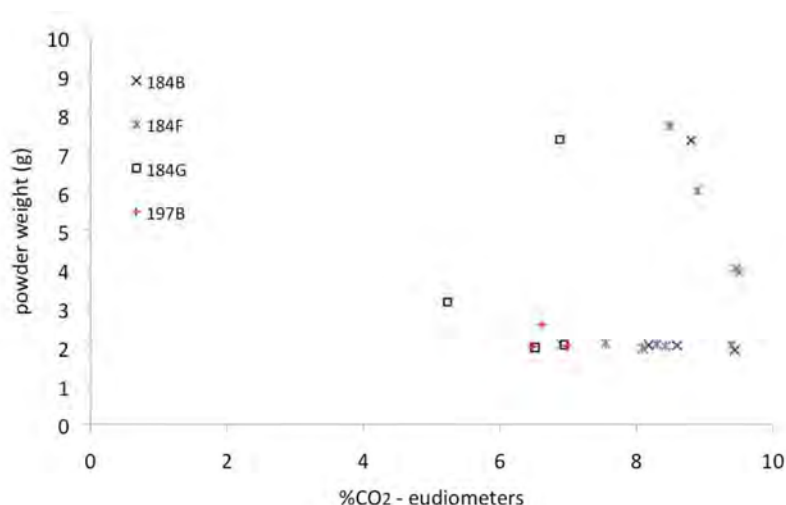


Fig. 44A: Total CO₂ content in samples estimated by IR and by observation of eudiometers in all the saturated samples (i.e that have reached a non reactive stage). Series RN6 at 33°C is highlighted in red. Fig. 44B: Only the samples originating from domain 184F are shown.

Surface of exposure

Except for the two samples that were only composed of water, the total amount of powder loaded into the eudiometers in the course of the experiments was comprised between 1.4 and 7.7 g. As the containers had identical dimensions, the upper free surface of solid material layer that is in direct contact with the gas mixture is constant, and only the height of the powder layer in the glass container varies according to the amount of sample. Fig. 45 illustrates that this parameter has no detectable influence on the total carbonation conversion, which means that the CO_2 does not react preferentially with the exposed surface but spreads in the porous material by diffusion to access all the vacuolar space in the porous material layer. Natural convection due to possible temperature gradients across the sample induced by the exothermic carbonation is also possible.



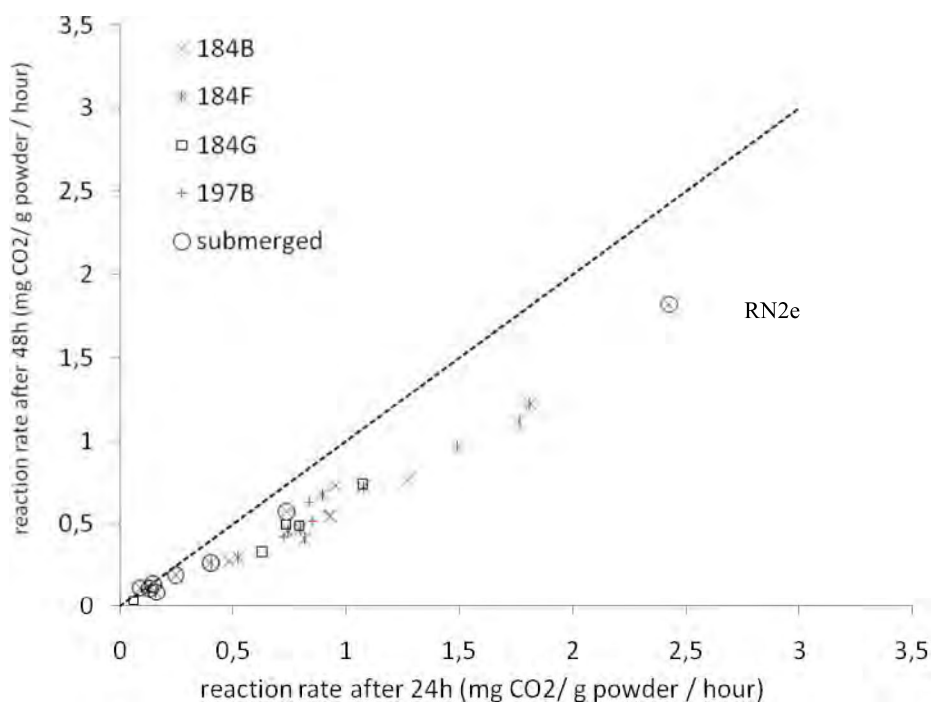


Fig. 46: Reaction rate in mg of consumed CO₂/hour/g of solid material 24 hours and 48 hours after the beginning of the experiment Samples comprised of water only are not represented.

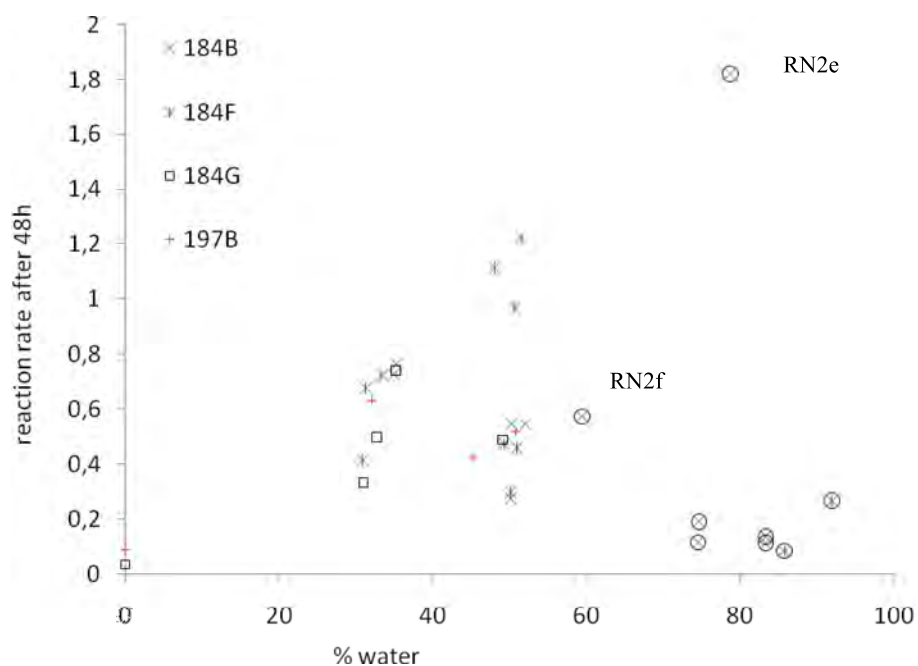


Fig. 47: Reaction rate at 48h (mg CO₂/hour/g of solid material) against the percentage of water in the sample. This parameter exerts no effect on the reaction rate of wet samples but the reaction is slowed down when the powder is submerged.

In order to assess the importance of the nature of the material on the reaction rate, the most consistent group of samples that can be used are the a, b, c and e samples from series RN3, RN4 and RN5. They were set in gas mixtures with similar CO₂ contents (8 to 12%), the same weight of powder was loaded in eudiometers and the temperature was near 20-21°C in all cases. Only RN4c is excluded because the weight of powder loaded was 3g instead of 2g.

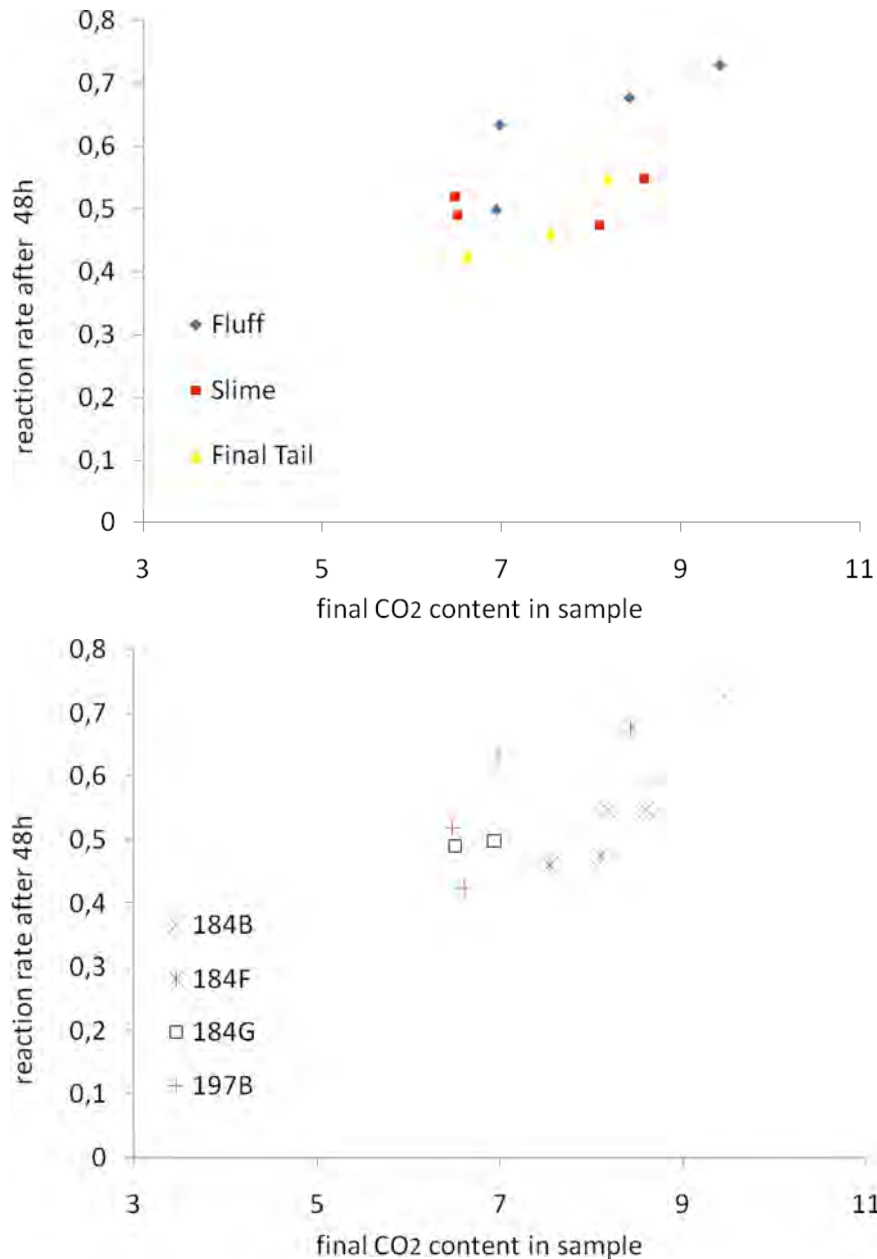


Fig. 48: Final CO₂ content in the samples against the rate of carbonation after 48 h (mg CO₂/h/g of solid material). In Fig. 48A, samples are symbolized according to their sorting fraction and in Fig. 48B, according to their geological domain of origin.

In Fig. 48 the final amount of CO₂ consumed by the samples is compared to the reaction rate after 48 h. It appears that, if the total amount of carbonation is primarily influenced by the geological domain, the reaction rate depends on the sorting fraction. The fluff fractions tend to have slightly higher carbonation rates than final tail fractions, and the slime fractions have

intermediate values. This result is counterintuitive because a finer grain size is generally associated with an enhanced reactivity. It is possible that coarser grain size favors more easily the diffusion or advection of CO₂ in the solid material, which would lead to a better reactivity in the first stage of the reaction. The lesser initial permeability of the fine grained samples would tend to lock up the lower pristine unreacted layers thus explaining a lower volume-averages reaction rate as highlighted in Figure 48.

Because all the containers are identical, the ratio between the volume of the sample and the surface that is in direct contact with the gas mixture is proportional to the absolute weight of sample loaded in the eudiometers. Series RN3, RN4 and RN5 were set in similar air mixtures and have reacted at the same temperature. The series RN2 was set in higher CO₂ content and the series RN6 reacted at higher temperature. These series of data are shown in Fig. 49.

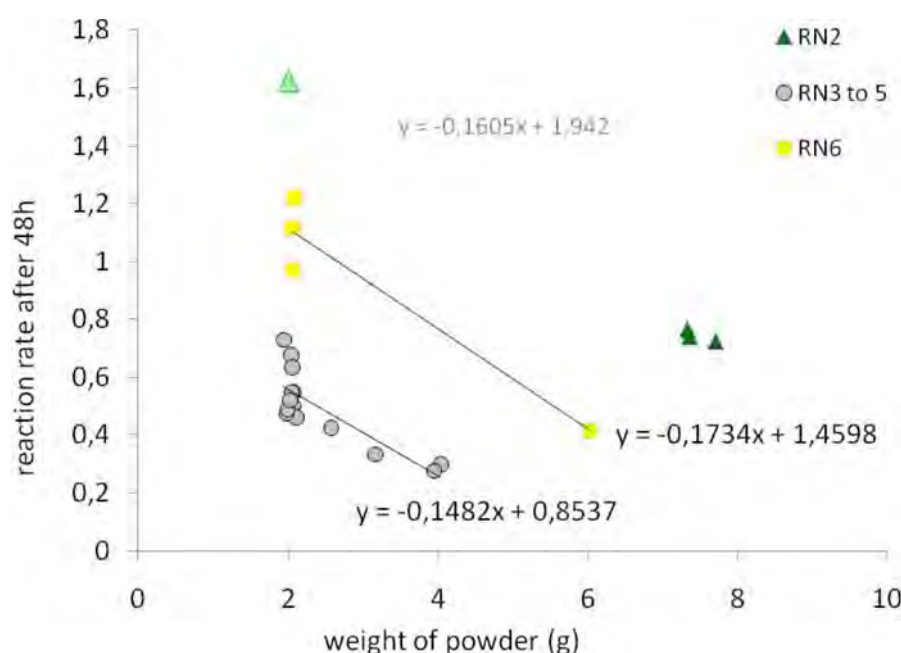


Fig. 49: Weight of sample loaded in eudiometers against reaction rate after 48 h (mg CO₂/hour/g of solid material). The samples are associated in groups that are consistent regarding the initial CO₂ content and the temperature during the experiment. The regression lines have been calculated for series RN3-5 and RN6 and have been used in order to infer the reaction rate for a 2g sample from the series RN2.

The series RN3 to RN5 and the series RN6 highlight the influence of the ratio volume/exposed surface. This parameter does not account for the whole variability: the nature of the material (mineralogy and grain size) can explain why samples with the same weight display variable reaction rates, but two clear trends indicate that samples with a higher quantity of powder have slower reaction rates per unit of weight. As this parameter has no influence on the total amount of carbonation, the low reaction rates for samples stocked in higher piles in the containers correspond probably to the delay induced by the diffusion/advection of the gas in the powder. This effect would have been demonstrated beyond doubt had we performed tests with the same volumes but with varying the exposed upper sample areas. Series RN2 and RN6 are more reactive than series RN3 to RN5. In the case of RN2, this can be ascribed to the higher CO₂ content of the gas mixture of the experiment: 32% instead of ca. 10%. In the case of RN6, the CO₂ content was ca 23% and the temperature was higher than for other series. In

order to decipher the relative importance of these factors, we calculated the reaction rate that samples from the series RN2 would display if the eudiometers had been loaded with 2g of powder. This extrapolation is reported in Fig. 49 and 50.

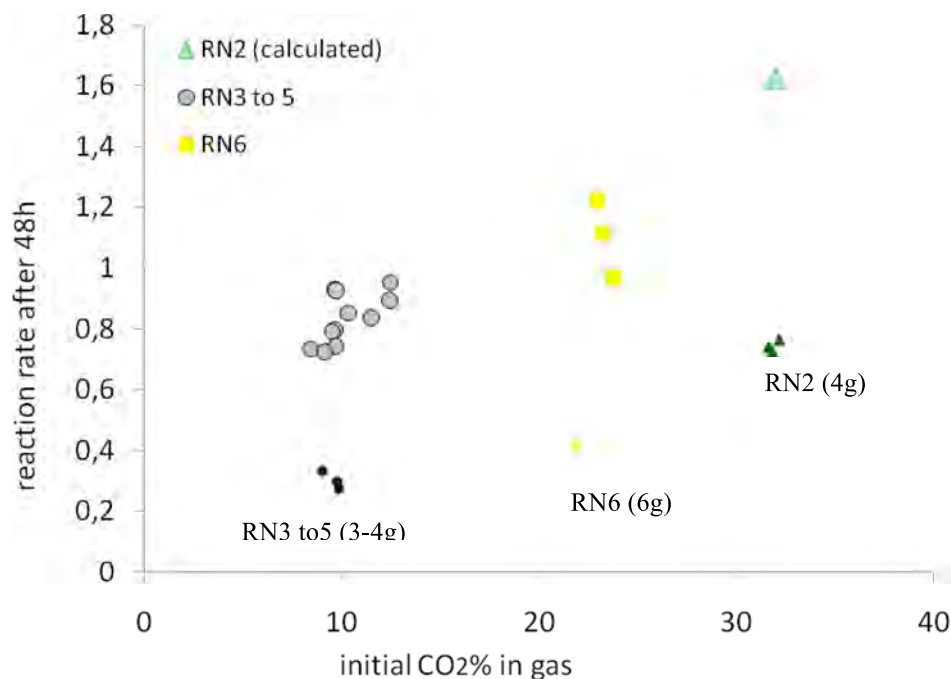


Fig. 50: Reaction rate after 48 hours against the initial CO₂ content in the gas mixture. The reaction rate for a 2g sample from the series RN2 has been calculated (see text). Data for samples with a weight of powder higher than 2g are indicated with smaller symbols.

As can be observed in Fig. 50, the reaction rate in the first stage of carbonation is directly proportional to the initial CO₂ content in the gas mixture. The series RN6, that was carbonated at higher temperature, does not display a higher rate than expected on the basis of the weight of powder and of the CO₂ content in the gas. It seems thus that, in the range tested in the experiments, this parameter does not affect the reaction rate.

Summary and conclusions

The twelve studied samples are distributed in three sorting fractions produced by the processing of rocks that belong to four different geological domains. The grain size is different for each fraction : 20 mesh for the fluffs, 100 mesh for the slimes and 150 mesh for the final tails. The mineralogy is homogeneous, with brucite and serpentine (chrysotile + lizardite) being the dominant phases whereas magnetite and chlorite are minor components. The relative ratio of serpentine and brucite varies according to the geological domain of origin. The modal proportion of brucite is close to 20% for samples 184F, 18-19% for samples 184B and in the range 13-18% for samples 184G. The modal composition of samples 197B is more difficult to assess because their high content in sulfur increases their loss on ignition, particularly for the slime fraction.

The slimes and final tails are composed of more than 90% of water. These process waters display basic pH apart from S197, presumably because of dissolved sulfur species. They contain 16-31 ppm of dissolved Mg as well as 4-62 ppm Ca, 10-27 ppm Na and 3-7 ppm K. The solid fractions contain very minor amounts of Ca, Na and K oxides (less than 0.3%) but these elements have a high solubility. On the contrary, Mg has a low solubility but its oxide accounts for more than 40 wt % of the solid samples.

All the samples were already partially carbonated before the experiments. Slimes and final tails may have reacted with the atmosphere during the few days of drying preliminary to the experiments and contained respectively 0.5 and 0.9% CO₂ on average, but the fluffs that were delivered dry were also carbonated, with 0.3% CO₂ on average. During this early stage, carbonation seems to have been influenced by the grain size of the material, the finer fractions being the most reactive. Carbonation carried out in standard indoor conditions (24°C) with regular supply of water lead to an increase in carbonate content, fluffs reaching 1.5% CO₂ on average, slimes 1.7% and final tails 1.9%. Regular stirring allows increasing the CO₂ content of 0.2 wt % on average.

Carbonation experiments in eudiometers have been performed in order to test the influence of different parameters on the total amount of carbonation as well as on the carbonation rate. The effects of temperature, CO₂ content of the gas, amount of water and surface of exposure of the samples have been studied. High carbonation contents can be reached: from 5.2 to 9.5% CO₂ for wet samples. The proportion of magnesium of the sample mobilized in newly formed carbonate is comprised between 10 and 20%. MEB observation and EDS analysis have revealed carbonates appearing as flakes, agglomerates and sometimes well crystallized minerals. They have been identified by XRD analysis as nesquehonite (Mg(HCO₃)(OH).2H₂O) in the general case, and dypingite also occurs (Mg₅(CO₃)₄(OH)₂.5H₂O) in the samples carbonated at 33°C instead of 20°C. Brucite becomes less abundant in carbonated samples than in the initial powdered samples, or can even disappear, which suggests that this phase is easily consumed by the reaction.

The final amount of CO₂ in the reacted samples depends primarily on the geological domain of origin of the sample. On average, samples 184G and 197B reach 6-7% CO₂ while samples 184B and 184F reach 8-9% CO₂. Samples richer in brucite are more reactive. Other parameters do not exert a major influence on the maximal potential of carbonation.

The reaction rate, studied during the first two days of carbonation is influenced by different factors. Firstly, the rates vary according to the sorting fraction, the coarser being more reactive, and according to the ratio volume/exposed surface. These factors probably impact the reaction rate by affecting the diffusion and advection of CO₂ in the sample pore space. As the gas does not pervade immediately to the bottom of the column of residues, the reaction is delayed for this part of the sample and the amount of CO₂ consumed by unit of weight is lowered proportionally to the height of the pile. A fine grain-size hinders diffusion and advection of gas in pore space, such that this parameter also influences the reaction rates during this early stage of carbonation.

The kinetics of a chemical reaction is generally enhanced by a high concentration in reactive components and by a higher temperature, as both these parameters affect the probability of interaction between molecules. Samples set up in gas mixtures with high CO₂ content display indeed higher reaction rates, but the temperature, in the range tested (20 and 33°C), does not affect the rate of reaction.

Experiments carried out on dry powders and on pure water demonstrated that water is necessary to the reaction but is not the compound that absorbs CO₂. XRD analysis revealed that the main products of the reaction are hydrated carbonates: hydroxyl groups OH are then required to form the final stable products. It is also probable that the solid compounds (serpentine and/or brucite) are not able to react directly with CO₂ in its gaseous form. Water would be required to dissolve CO₂ which then would react with dissolved components in solution.

In the range 30-50 %, the water content of the sample has no noticeable effect on the carbonation. However, some samples had water contents higher than 70% and were submerged during the experiments. This characteristic modifies the slows the carbonation reaction, presumably because of the processes of dissolution and diffusion of CO₂ in water. Water kept in equilibrium with high CO₂ gas content becomes acidic, which favors the dissolution of cations but hinders the precipitation of carbonates. The estimation of the final amount of carbonation displayed by submerged samples according to the variations of gas volume in eudiometers can be very different from the infra red analysis performed later on the dried powders. This discrepancy has been asserted to the evolution of the samples after they were taken out of the eudiometers. The carbonates crystallized in the samples that had consumed the highest amounts of CO₂ were unstable in normal atmosphere and, on the contrary, submerged samples that had consumed lower amount of CO₂ kept reacting with the atmosphere to form new carbonates. It should be noted that these samples have higher CO₂ contents than the powders that were left to react during 33 days with the atmosphere.

Acknowledgments

The authors thank Jovette Marois for communications about the flow sheets of the process. Martin Plante and Joniel Tremblay are acknowledged respectively for their involvement in the development of carbonation in eudiometers and in the realization of the experiments.

Appendix

Appendix A (p68)

Images by scanning electron microscopy and analysis by dispersive X-ray spectroscopy.

Appendix B (p83)

X-ray diffraction patterns.

Appendix C (p104)

Major element composition of the powders analyzed by X-ray fluorescence.

Appendix D (p105)

Carbon analysis for natural and carbonated samples.

Appendix E (p110)

Process water : composition and pH.

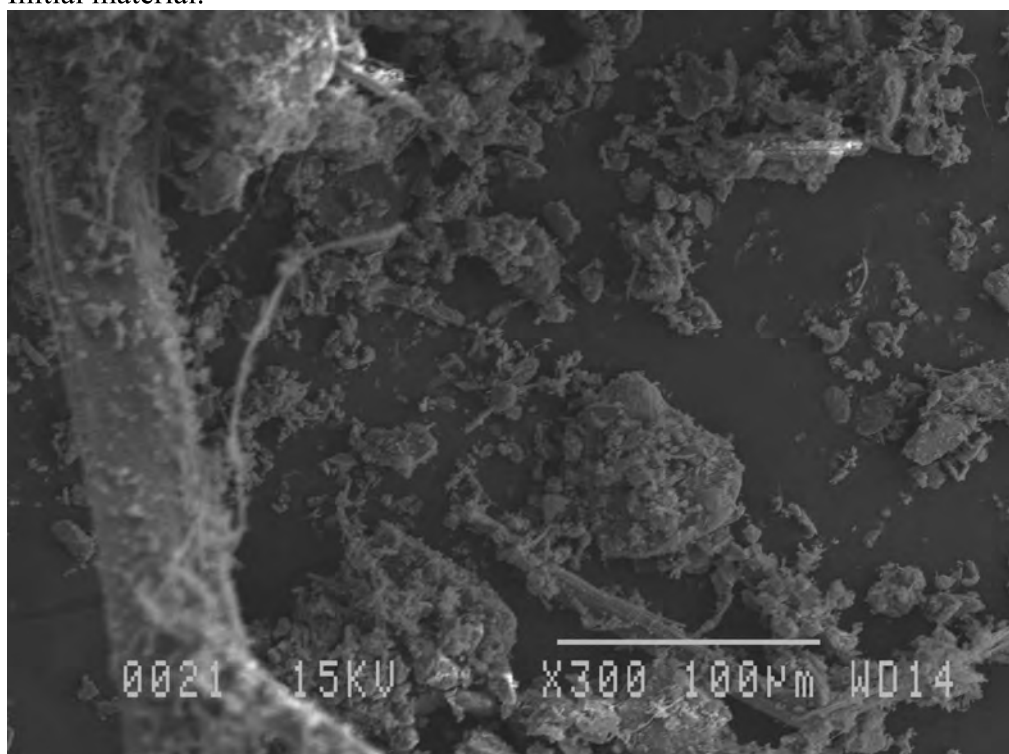
Appendix F (p112)

Synthesis tables of the carbonation experiments.

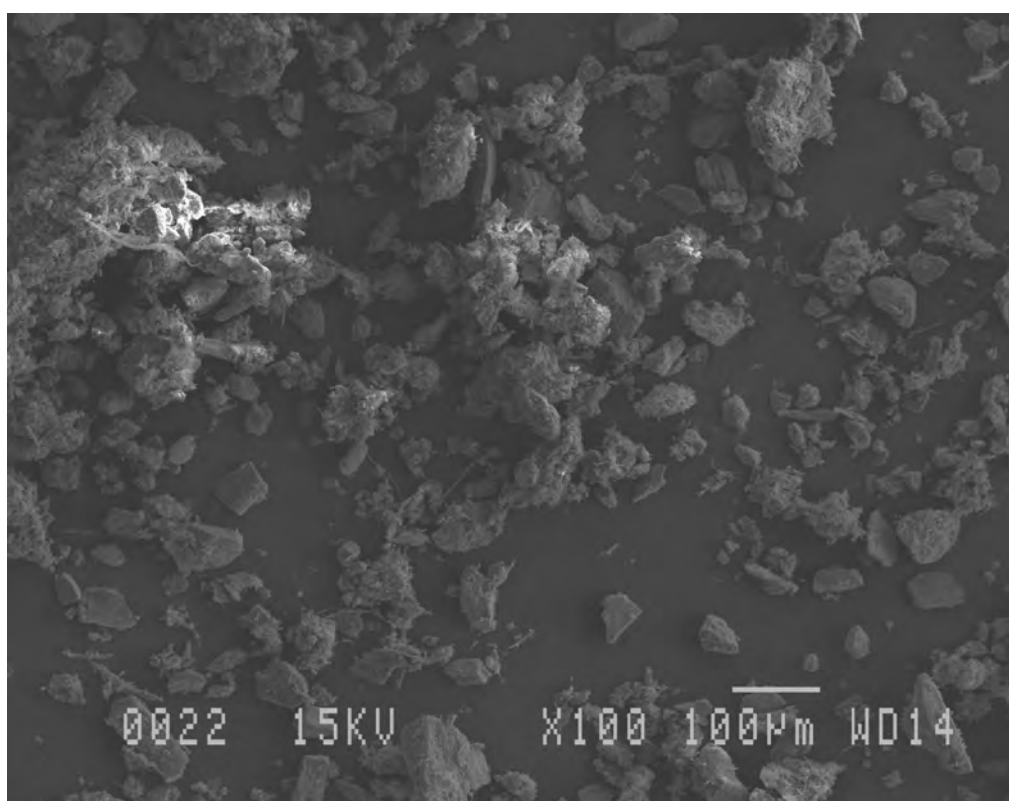
Appendix A

Images by scanning electron microscopy and analysis by dispersive X-ray spectroscopy (Laval university).

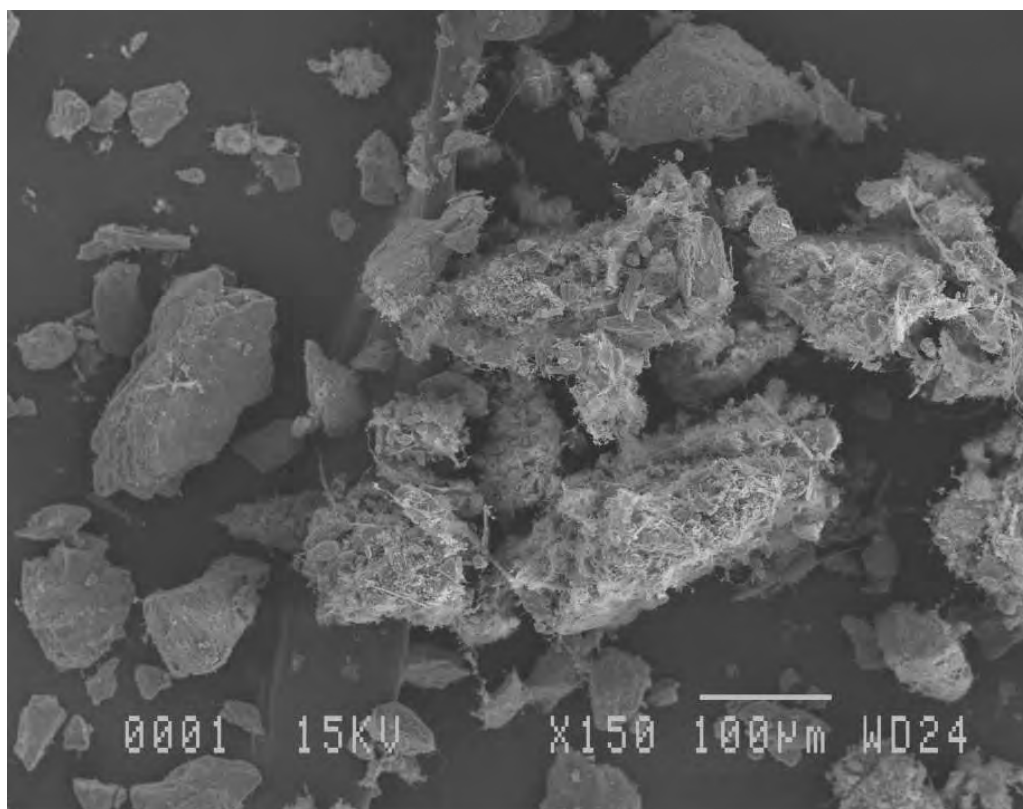
Initial material.



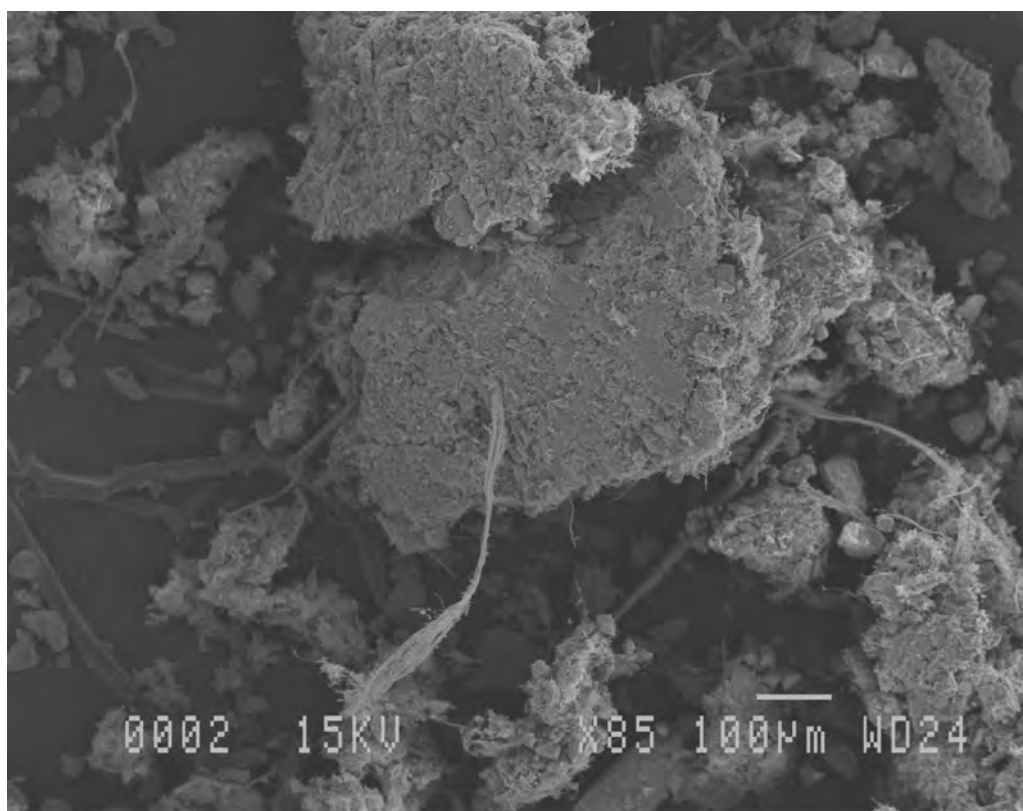
F197B



FT184B

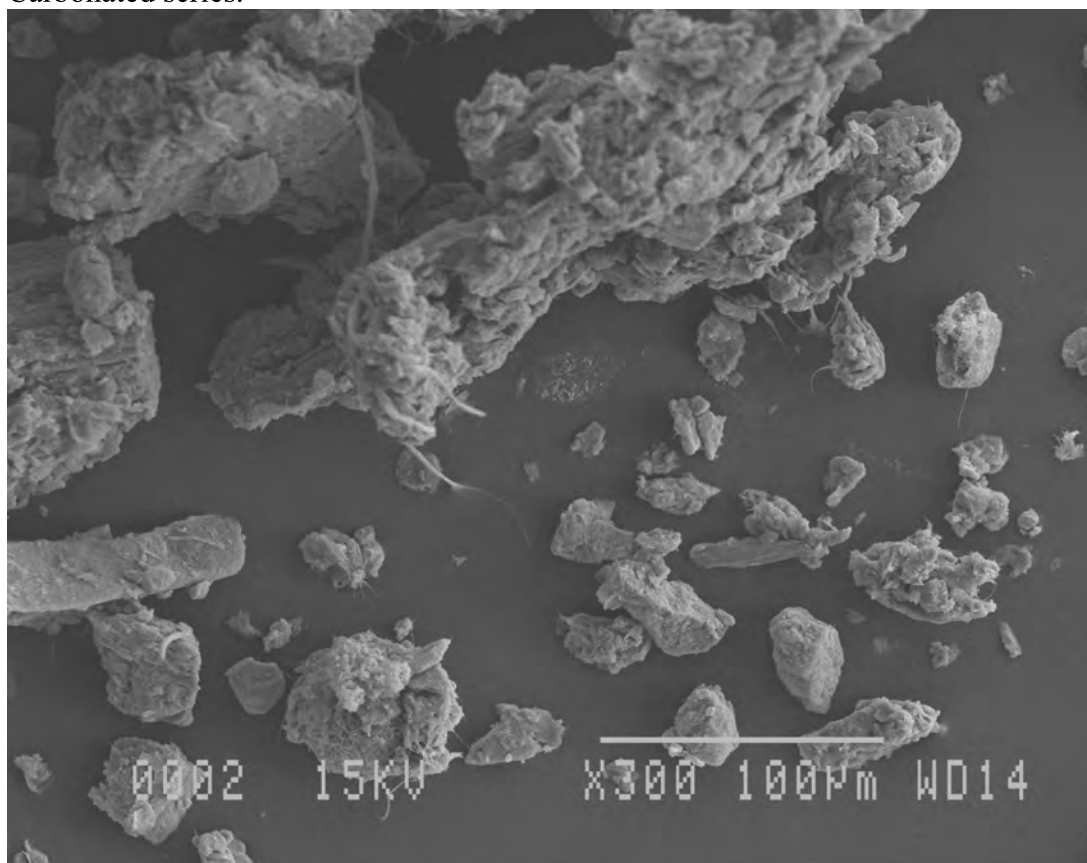


S184B

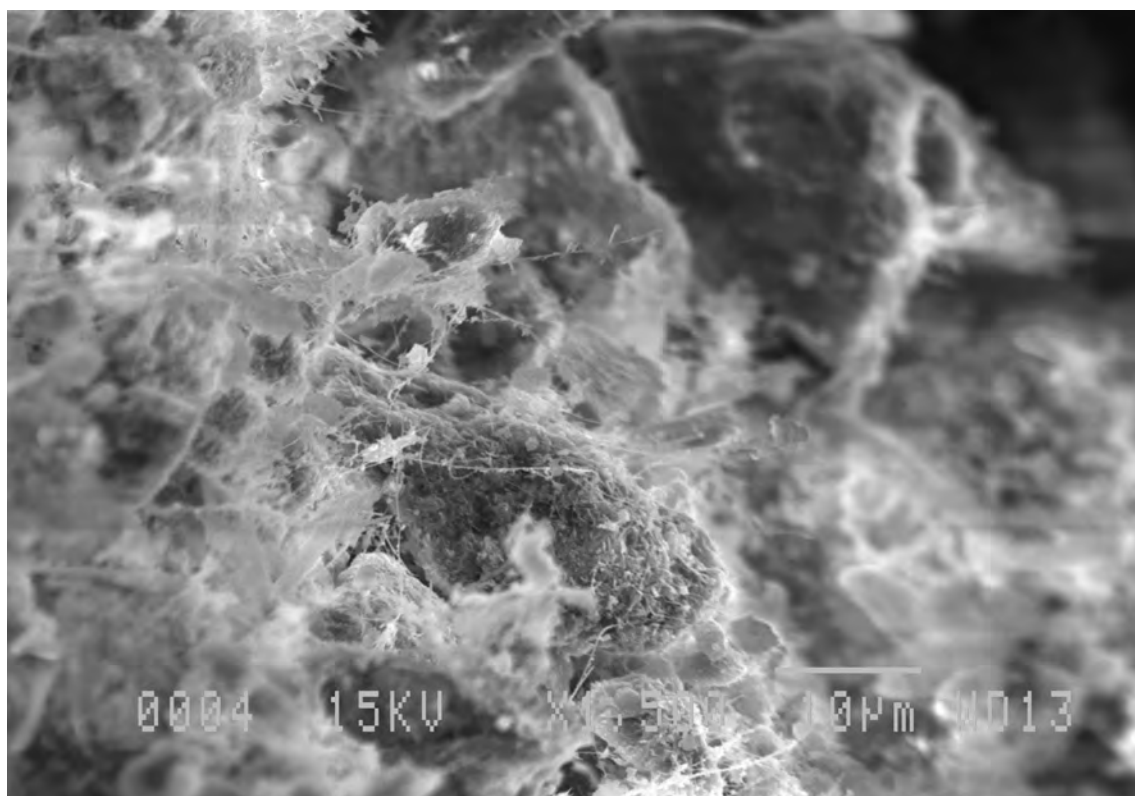


S184B

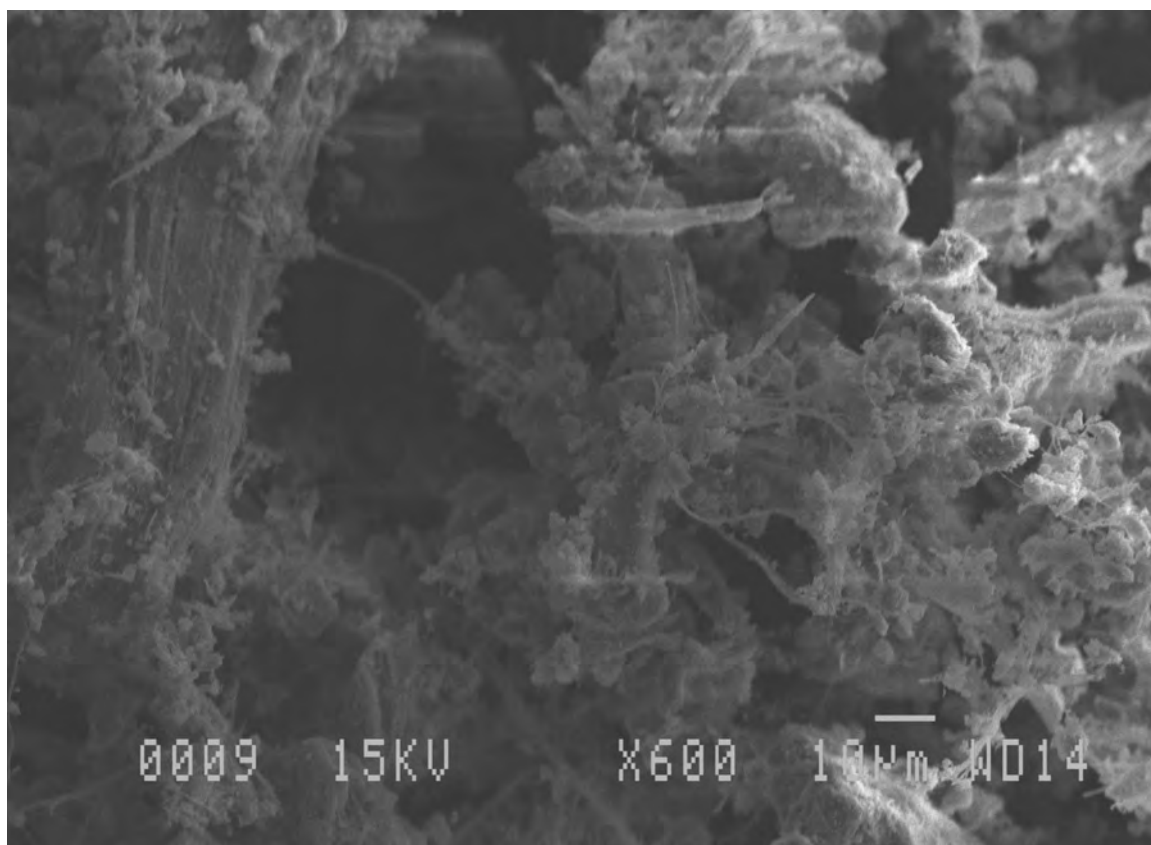
Carbonated series.



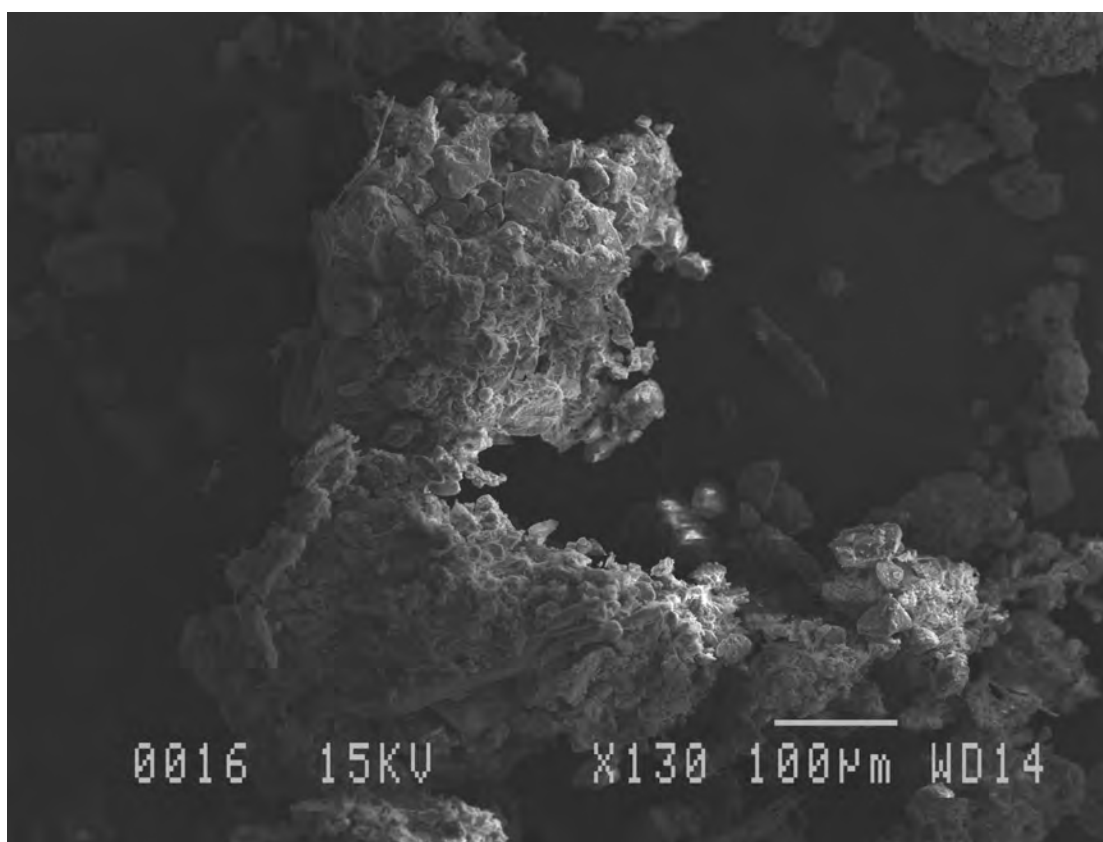
RN1a-S184B



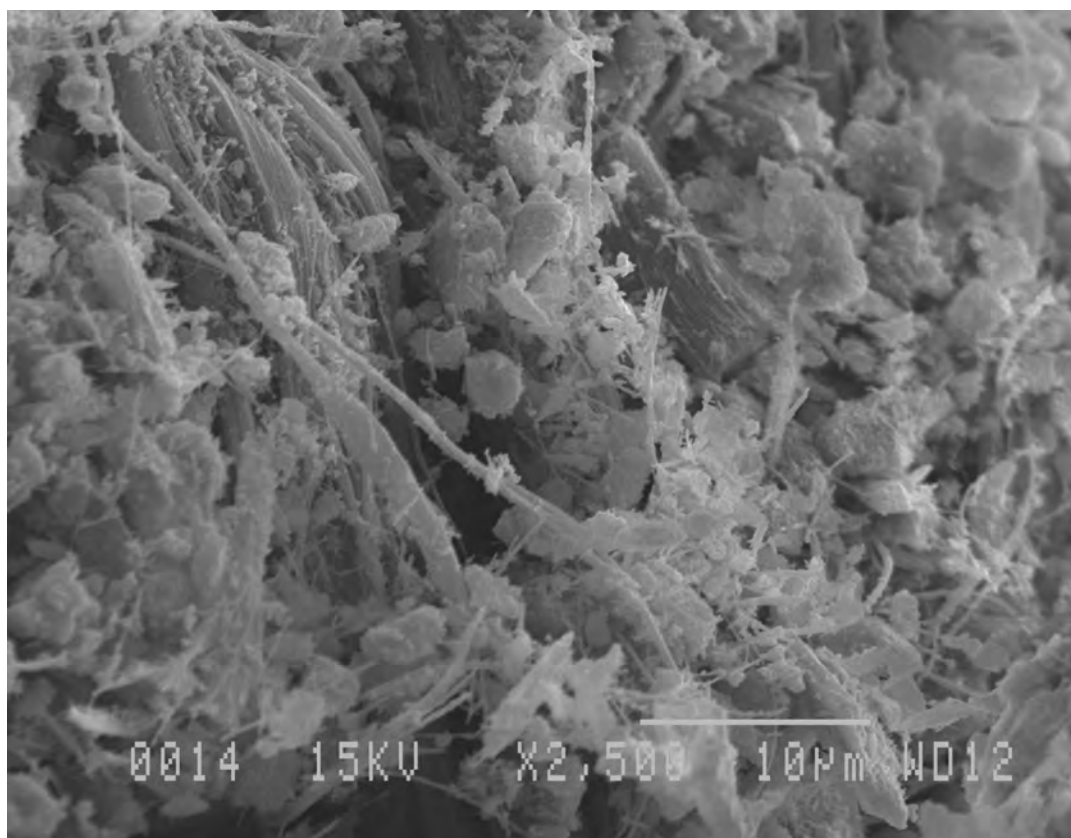
RN1c-FT184B



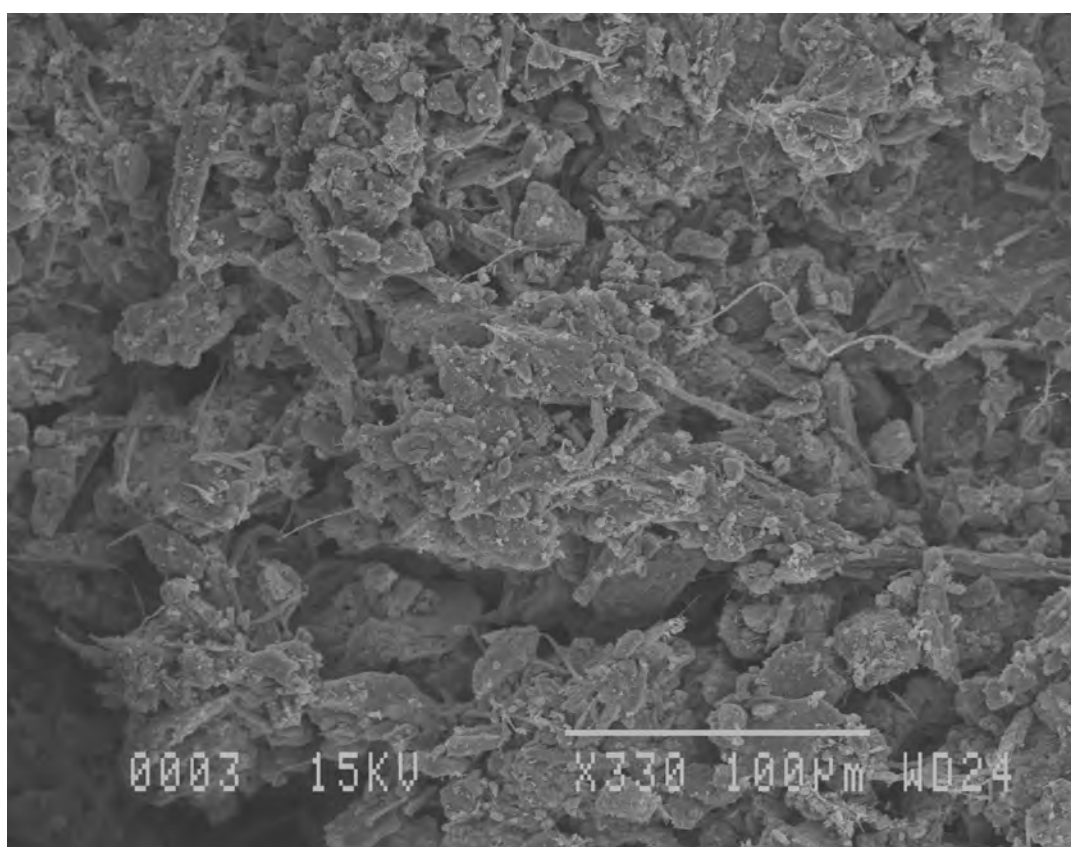
RN2A-F184B



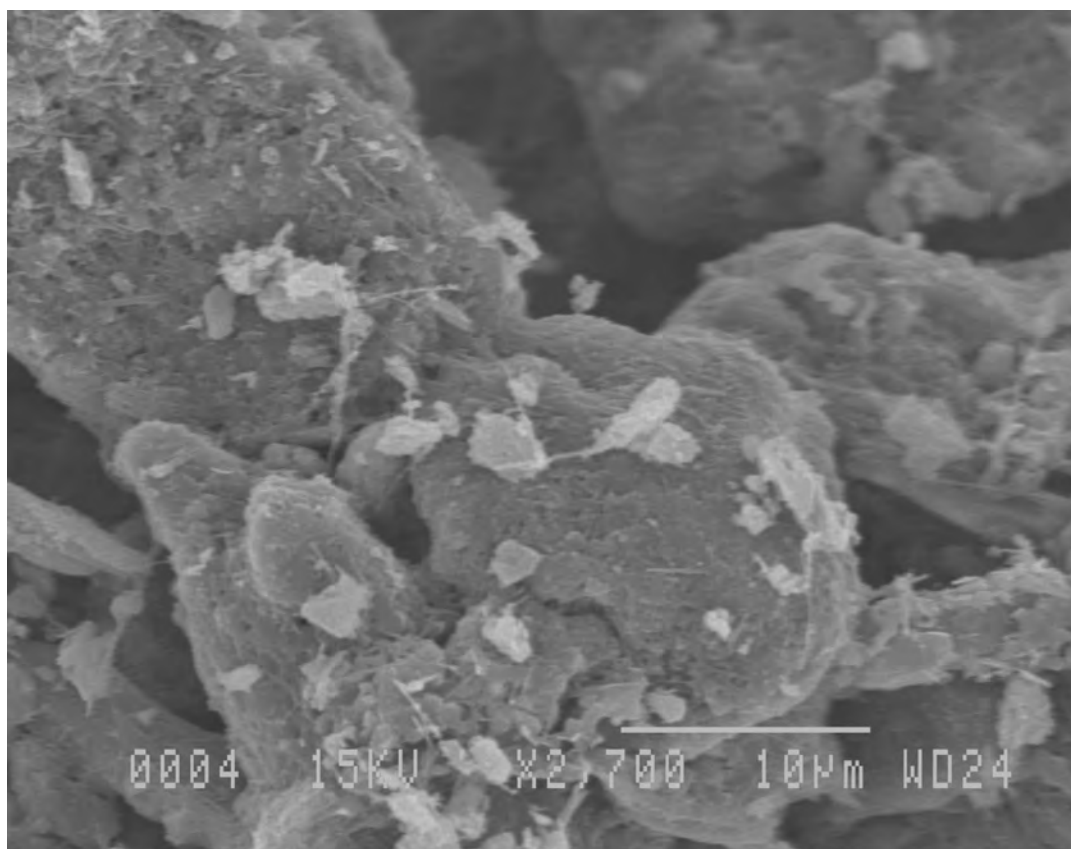
RN2e-S184B



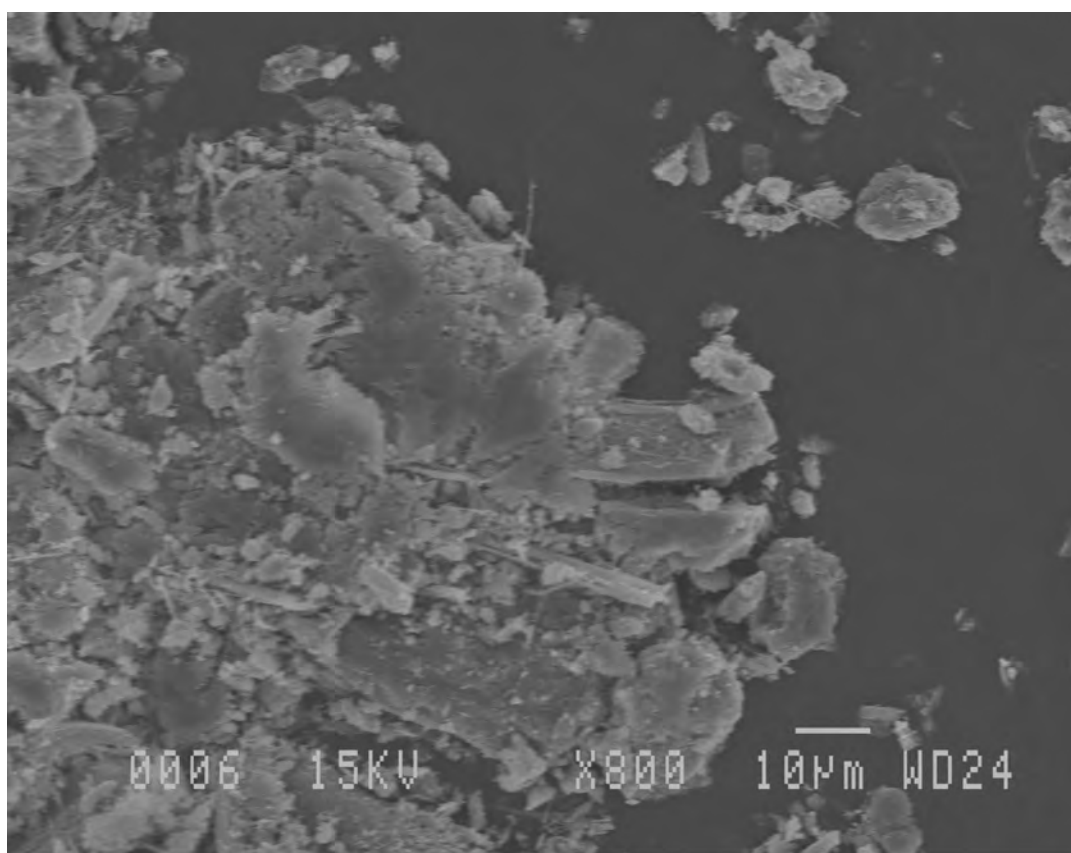
RN2e-S184B



RN3a-F184B



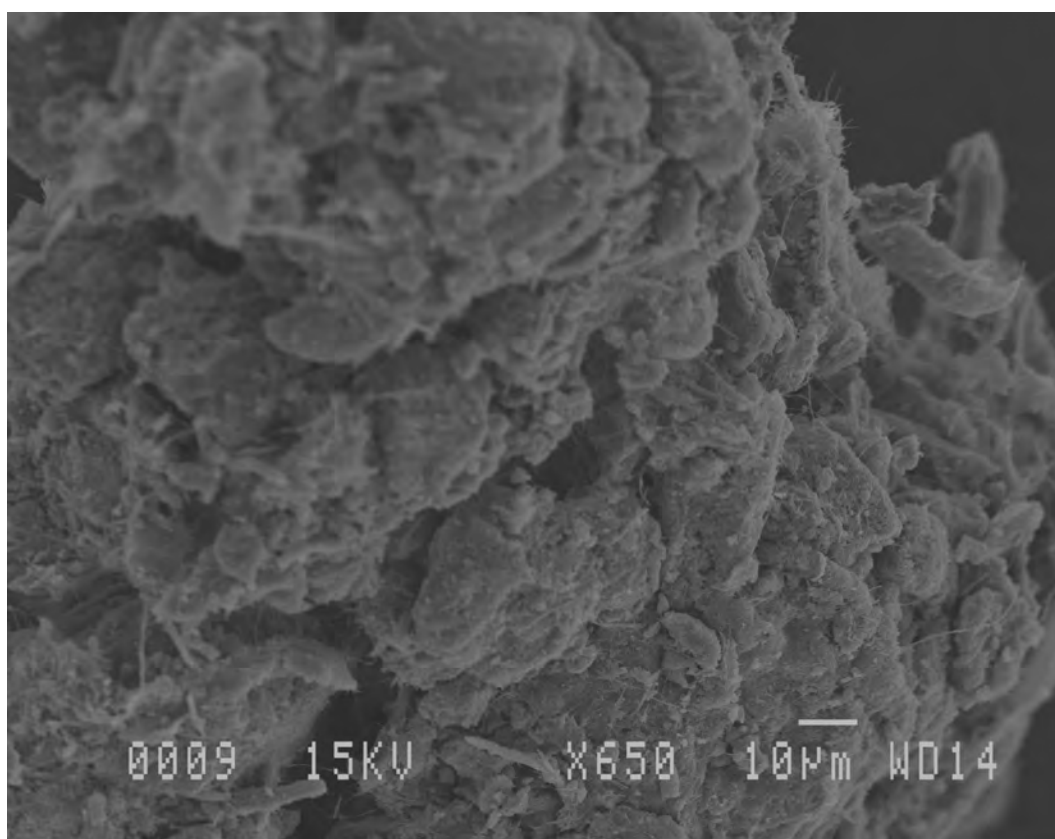
RN3a-F184B



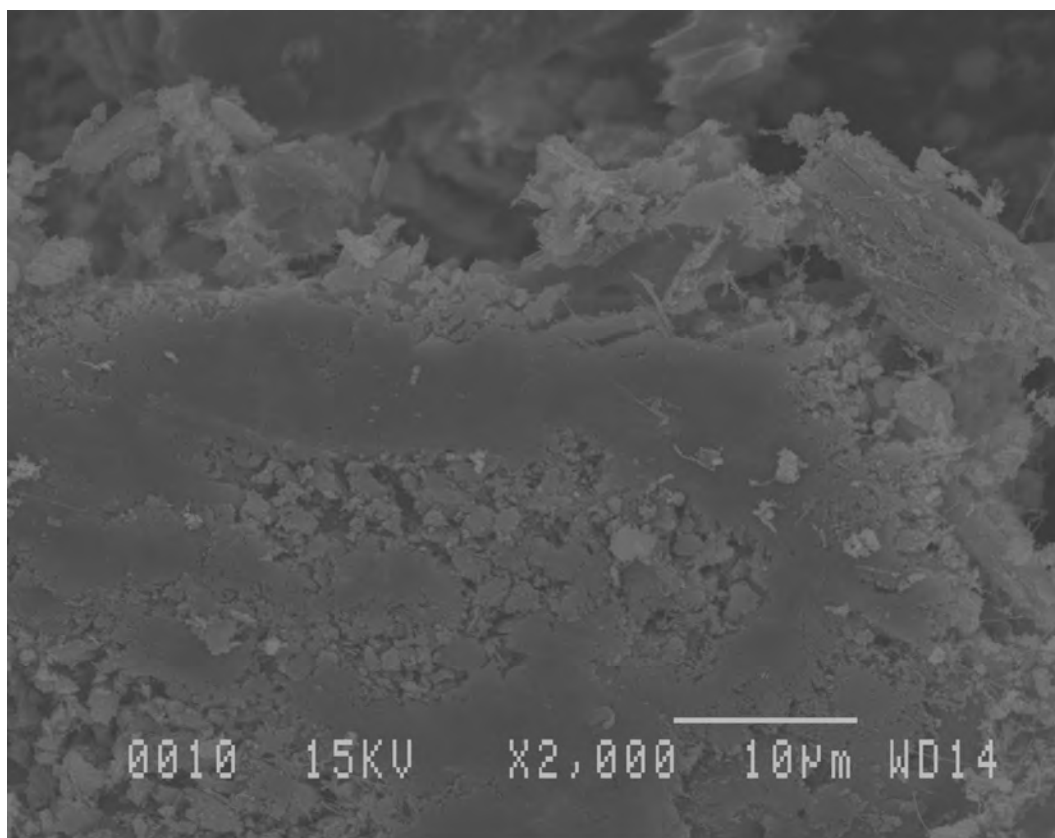
RN3e-F197B



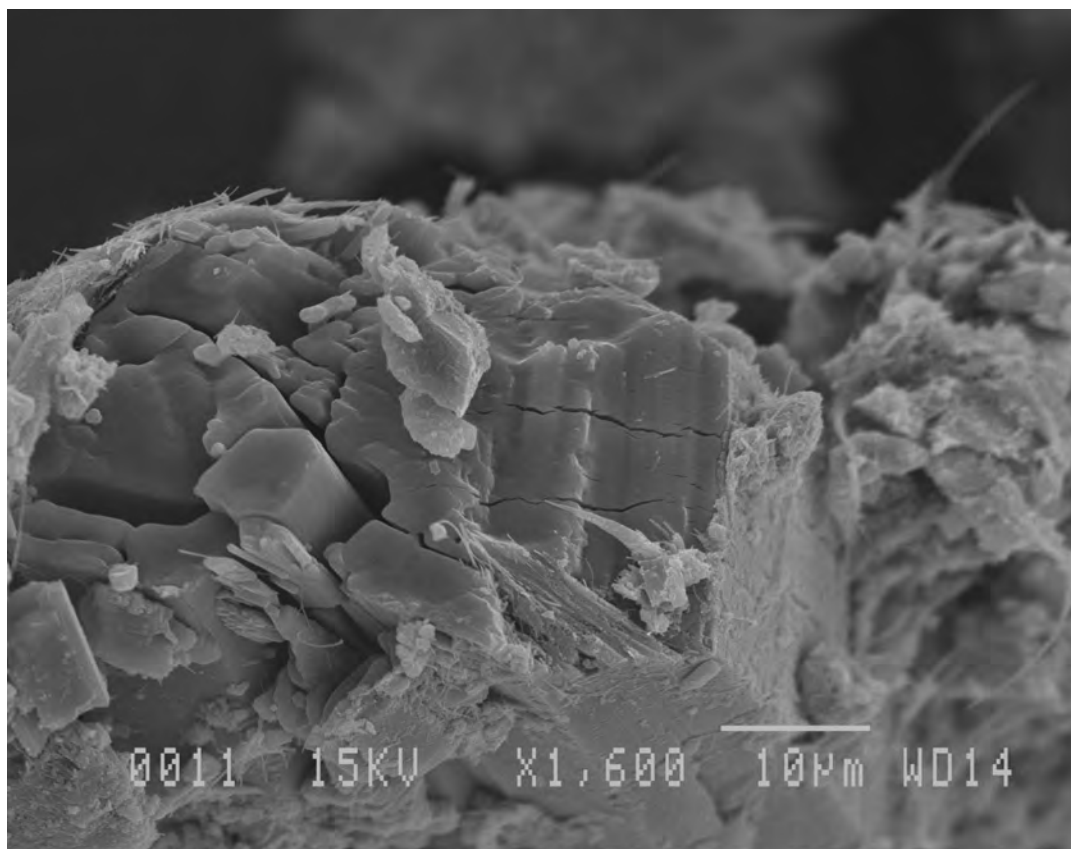
RN4b-FT184F



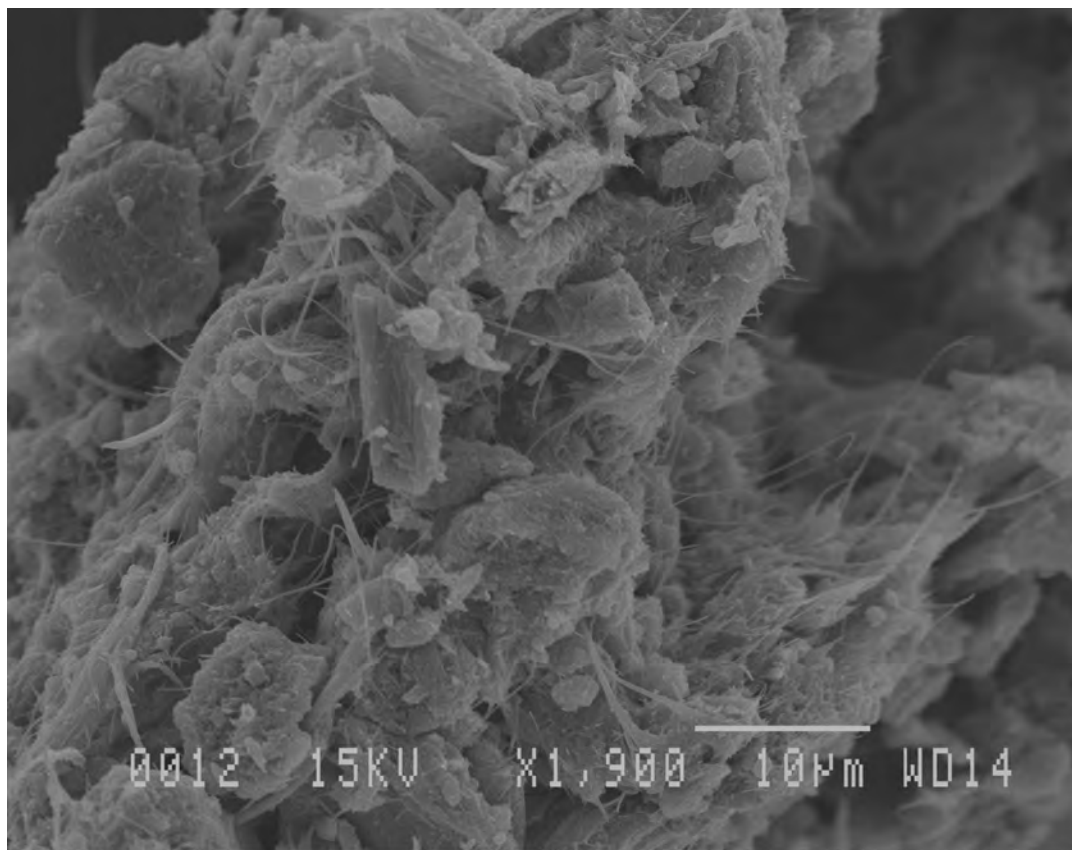
RN4c-FT184G



RN5a-S184B

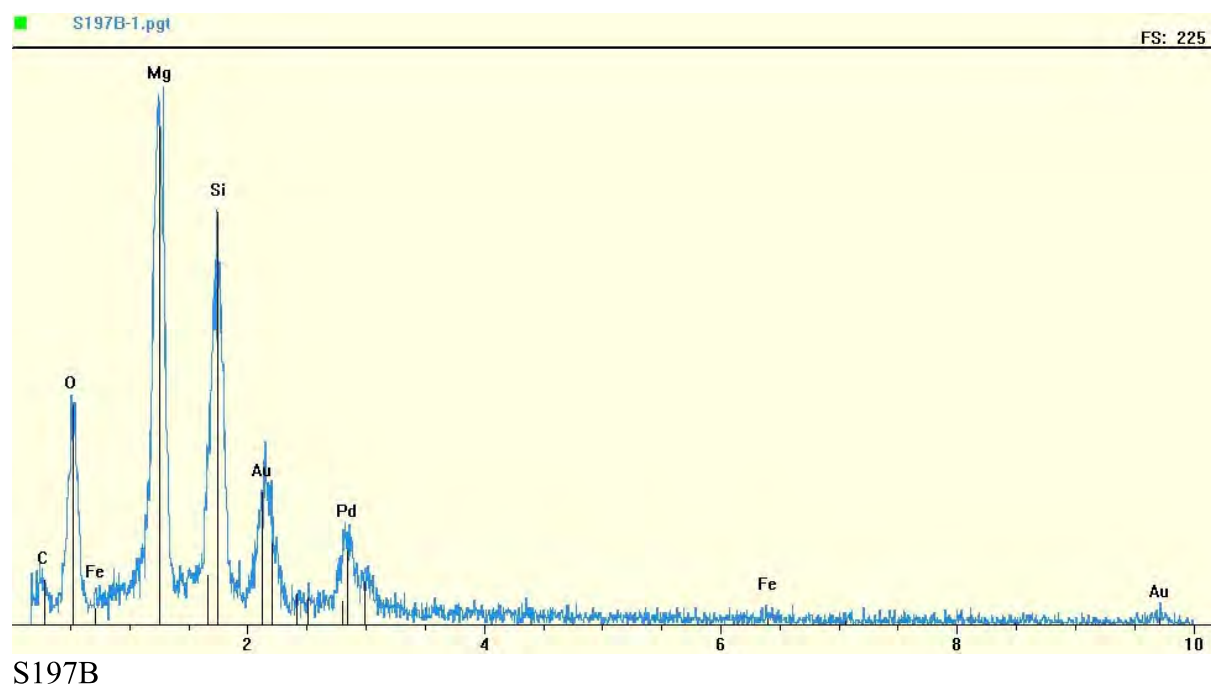
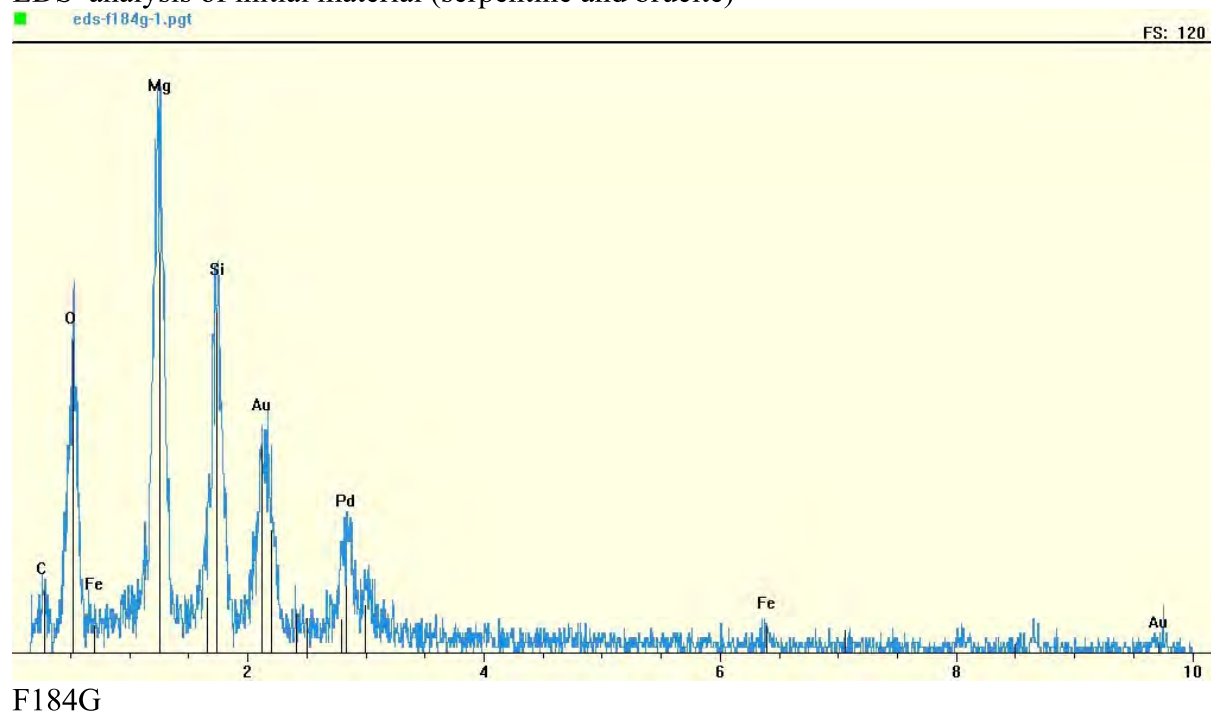


RN5h-S184B

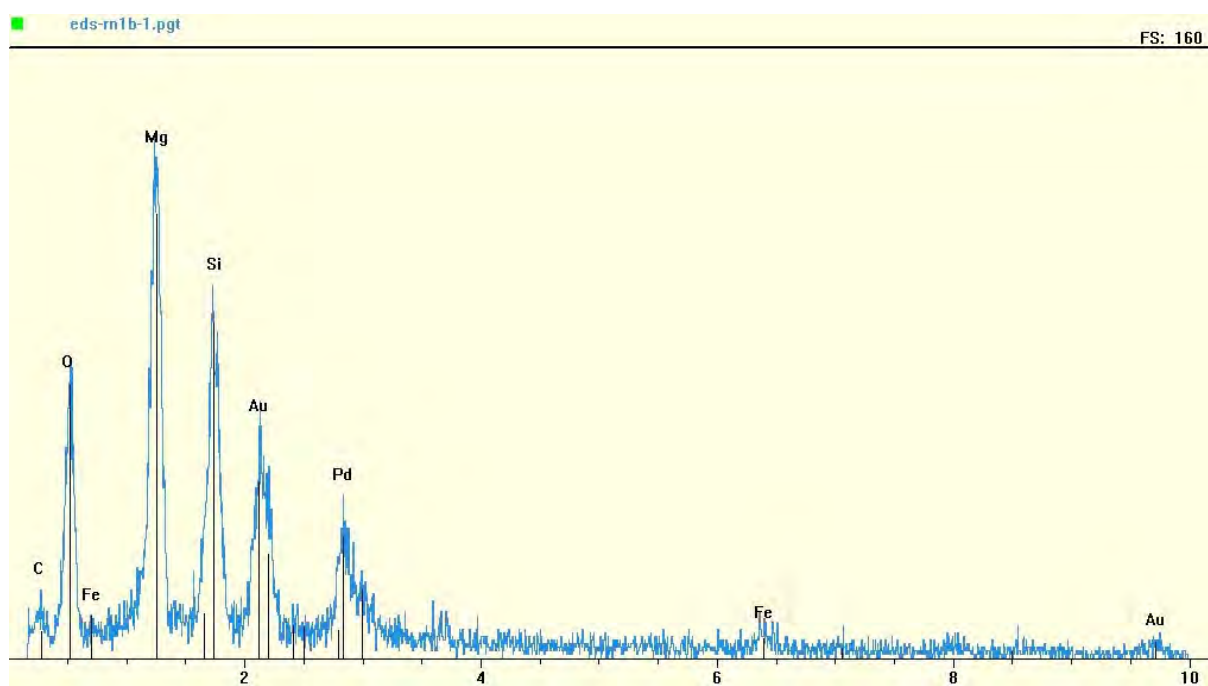
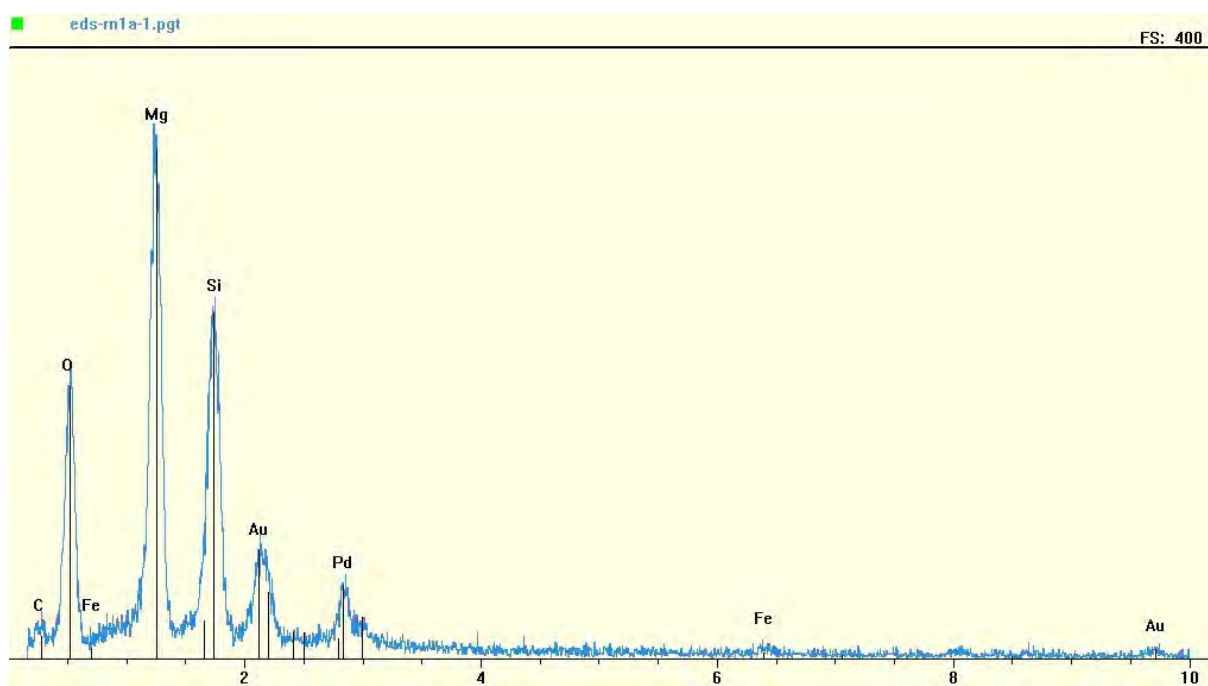


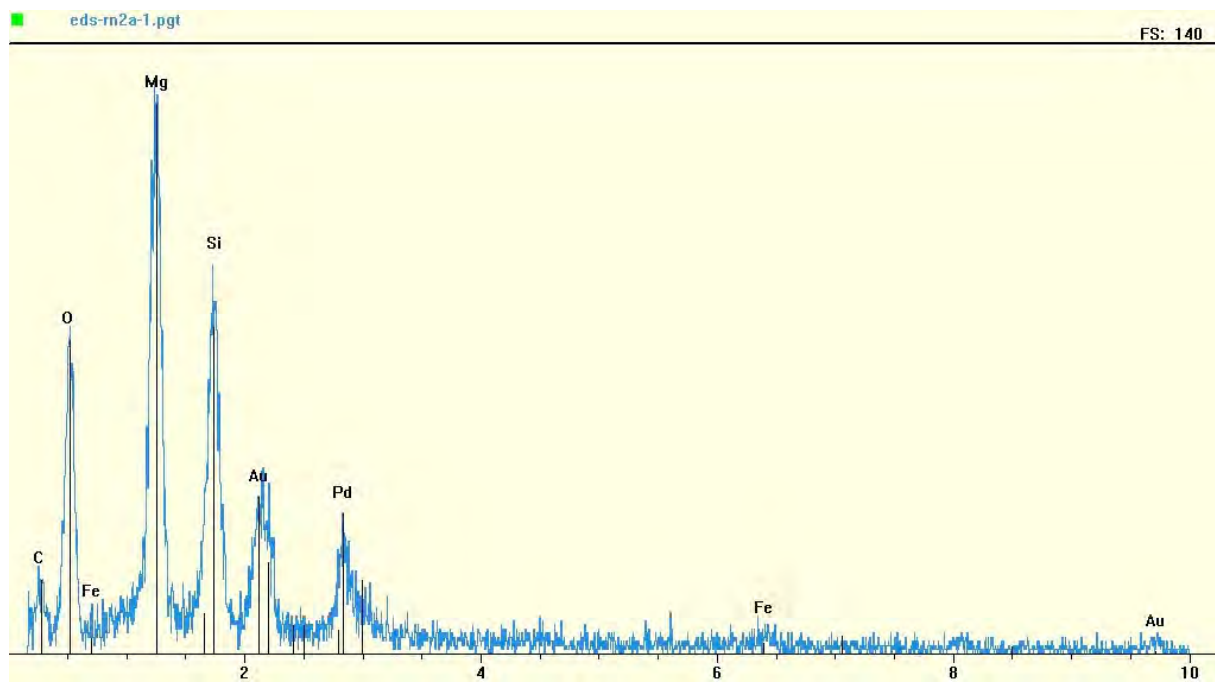
RN5h-S184B

EDS analysis of initial material (serpentine and brucite)

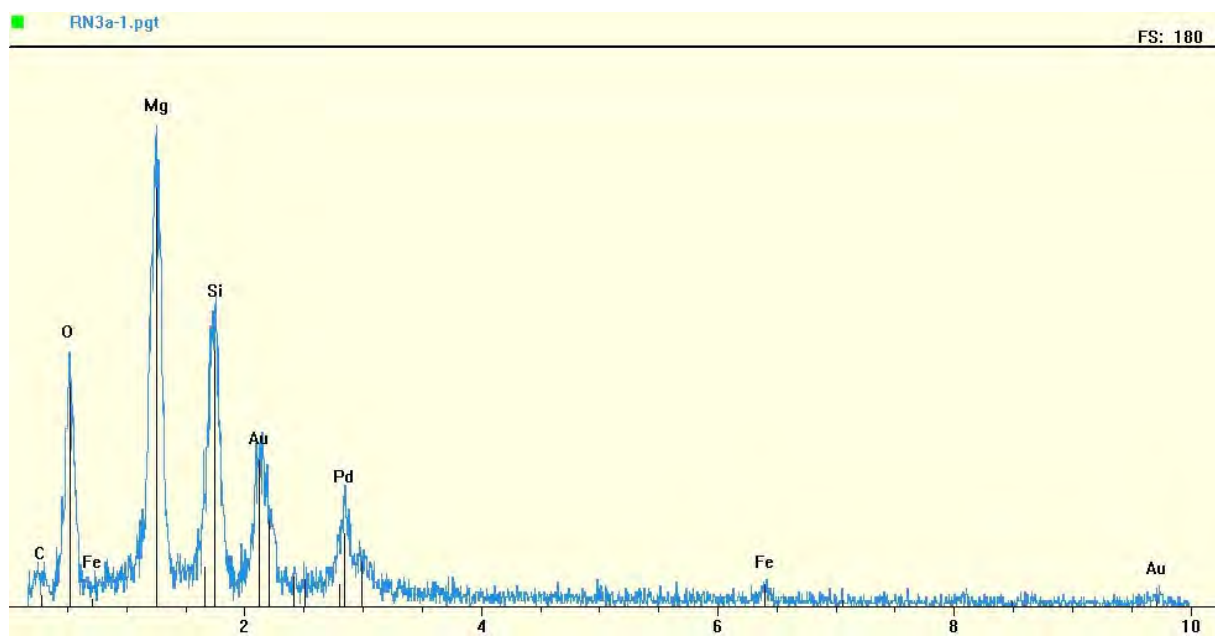


Carbonated samples (the analyzed phases are not all carbonates).

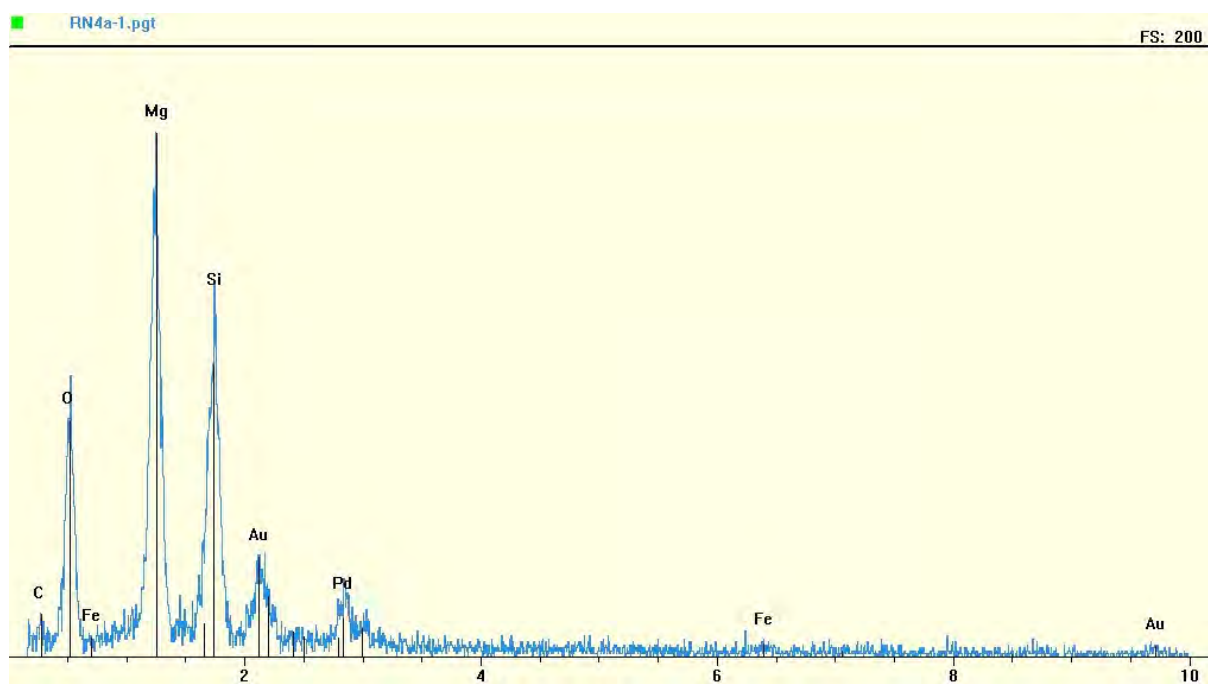




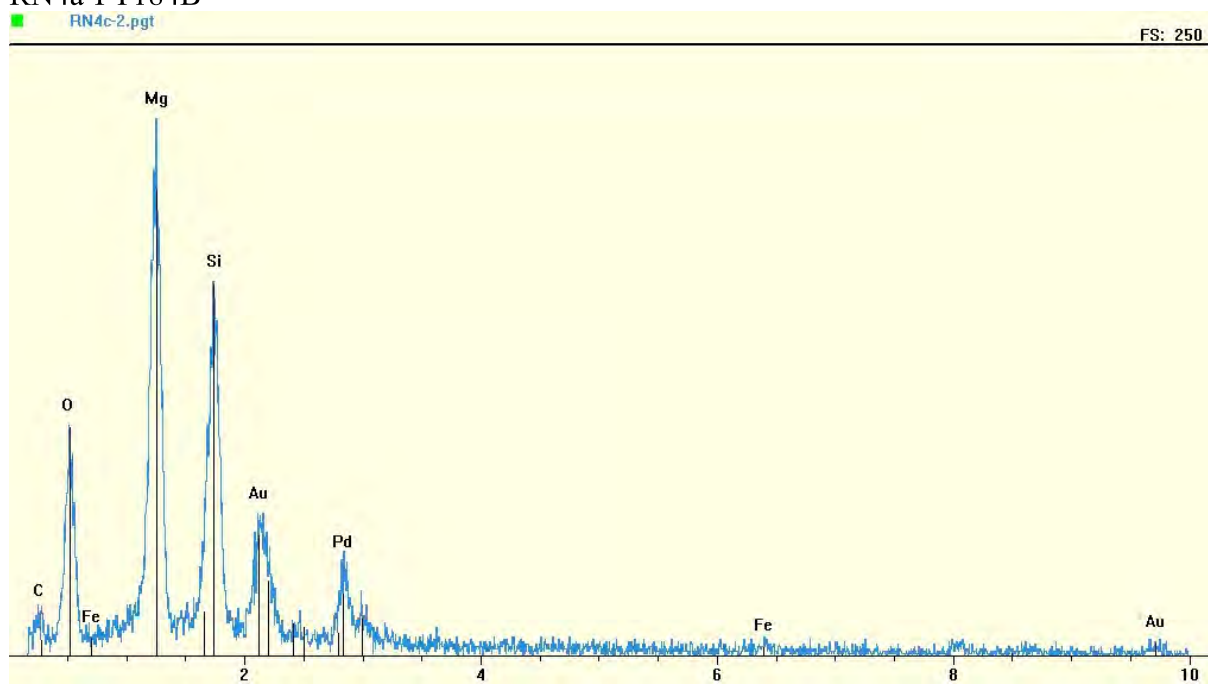
RN2a-F184B



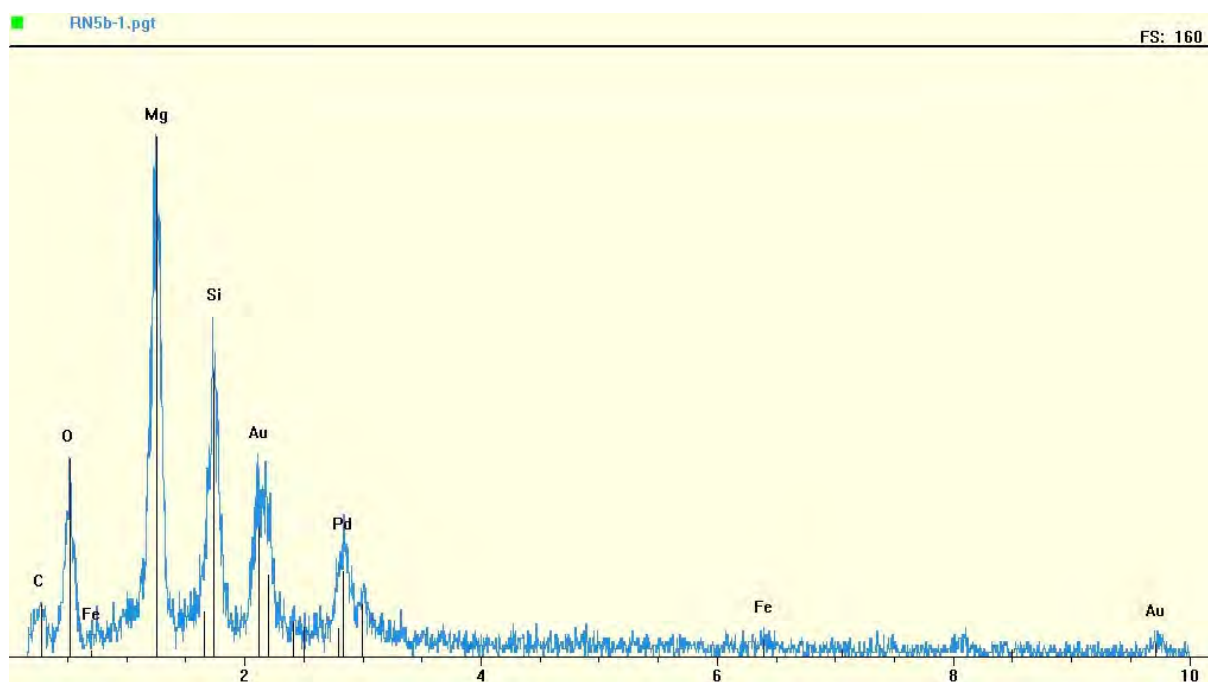
RN3a-F184B



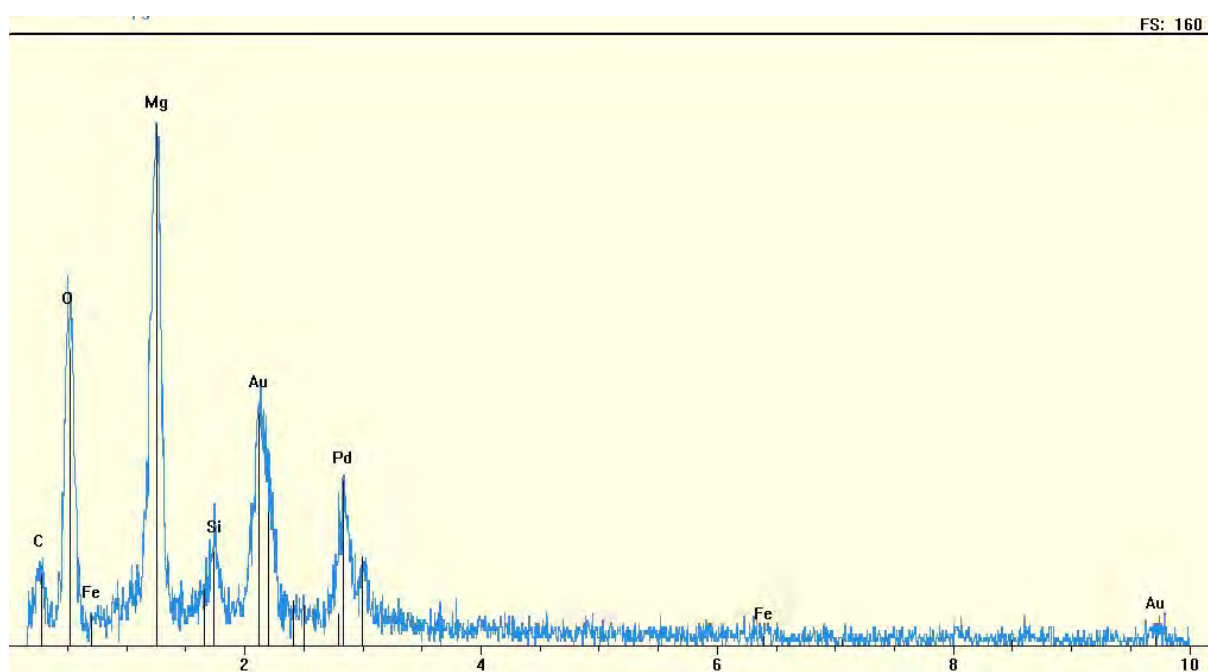
RN4a-FT184B



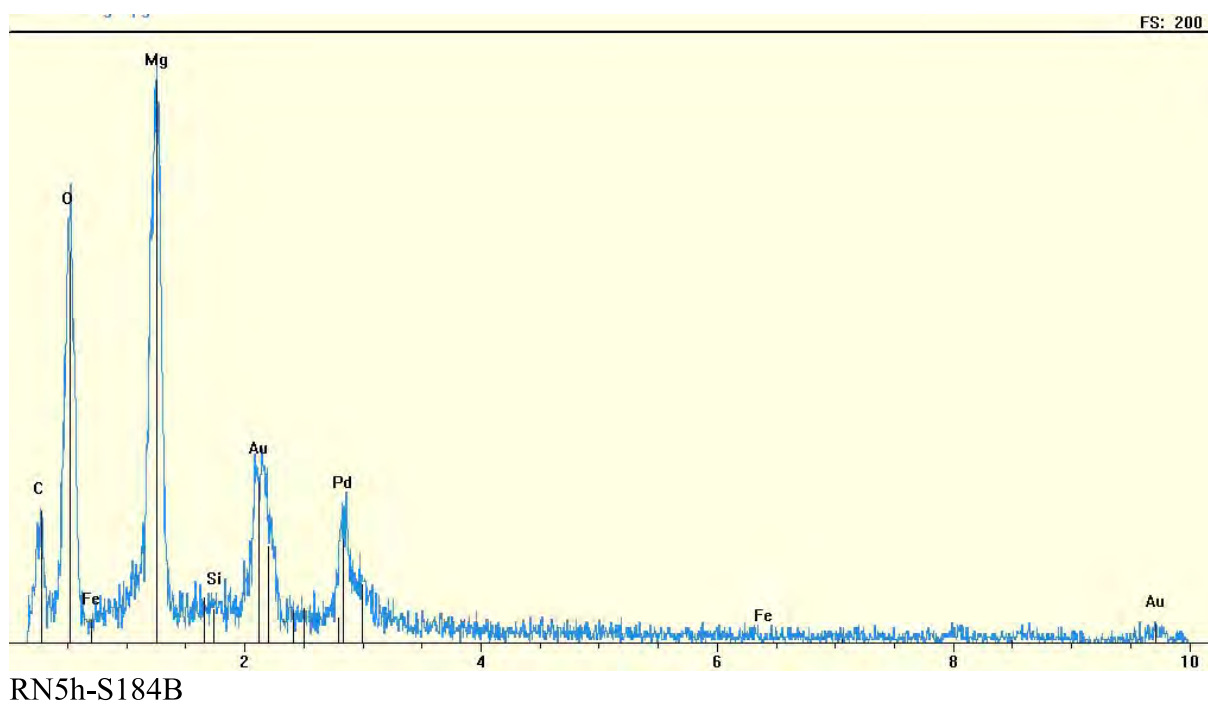
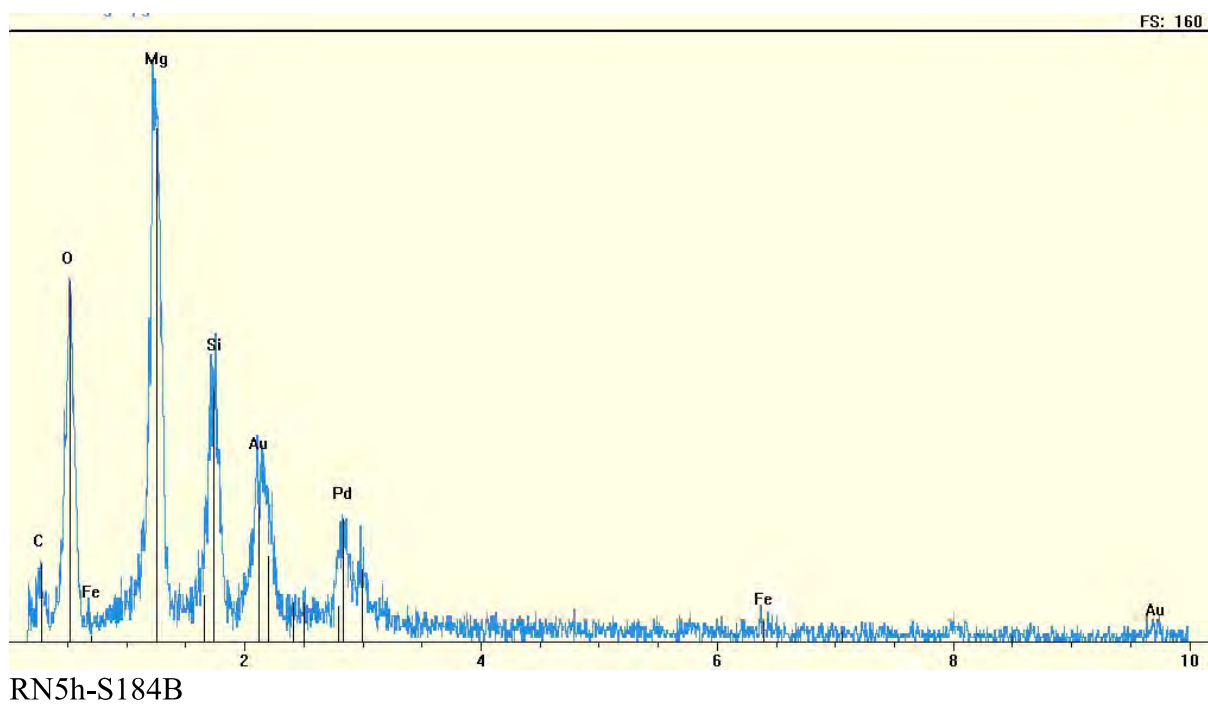
RN4b-FT184F



RN5a-S184B



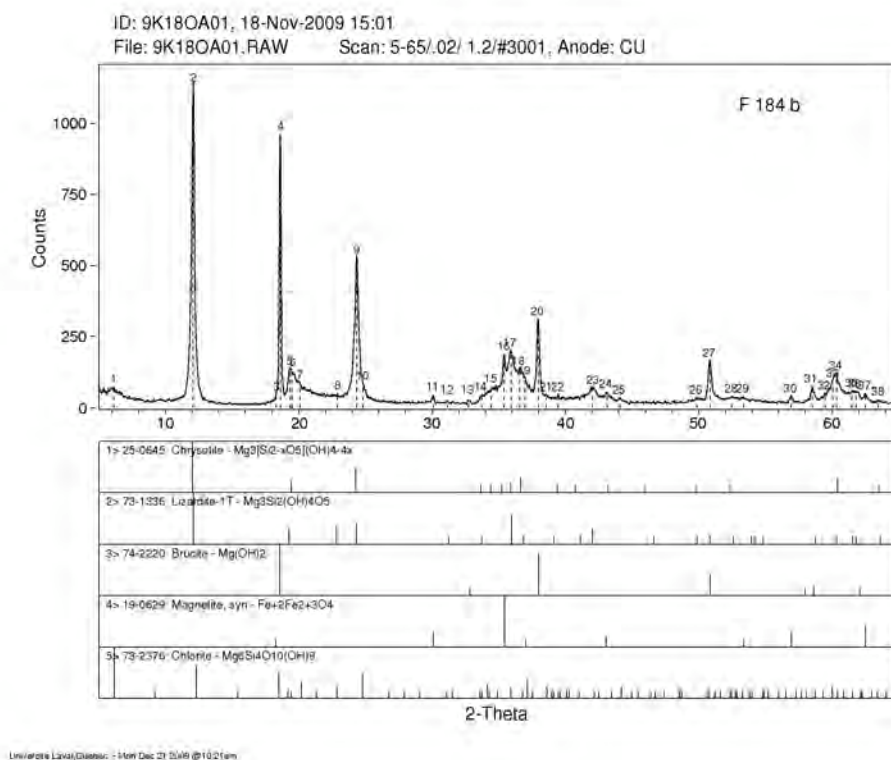
RN5c-S184G



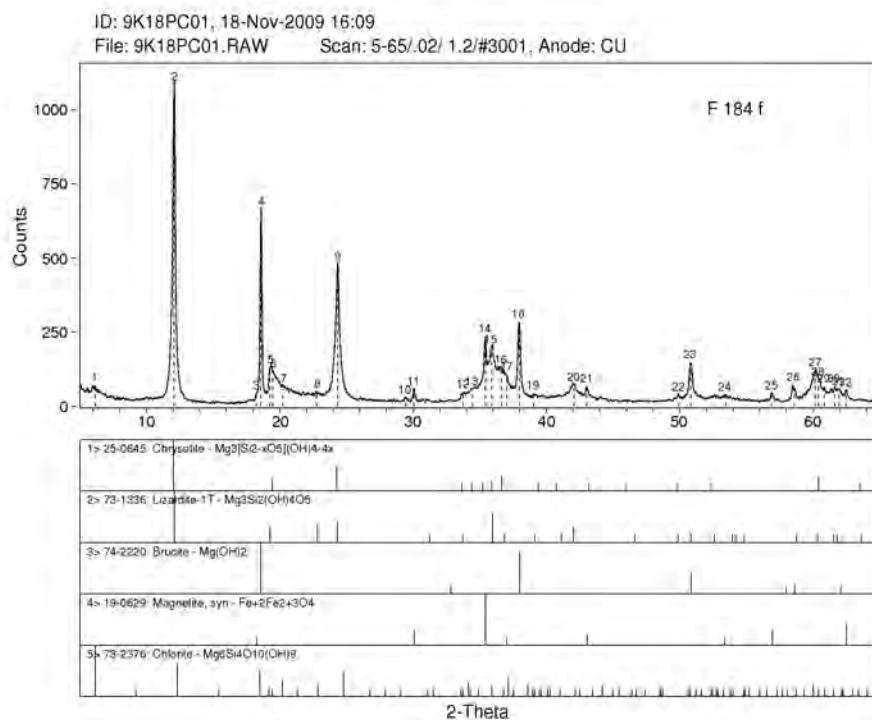
Appendix B

X ray diffraction patterns (Laval university)

Initial material - Fluffs



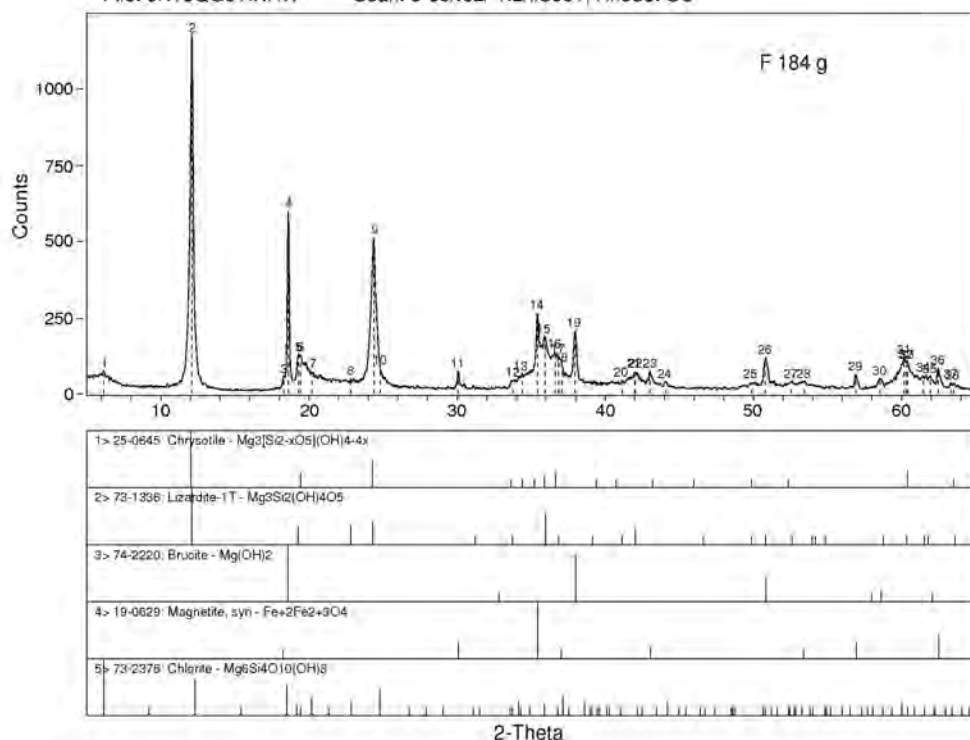
Université Laval/Québec - 1400 Dec 21 2009 @10.21am



Université Laval/Québec - 1400 Dec 21 2009 @10.23am

ID: 9K18QG01, 18-Nov-2009 17:22

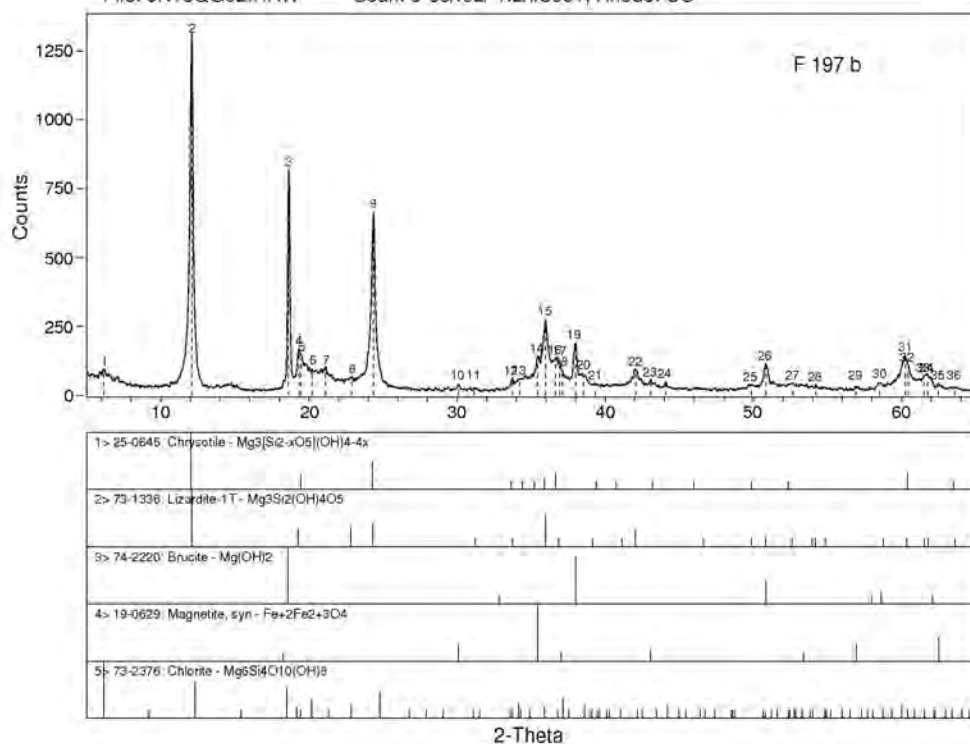
File: 9K18QG01.RAW Scan: 5-65/.02/ 1.2/#3001, Anode: CU



Université Laval Québec - Mer Dec 21 2009 @10:26am

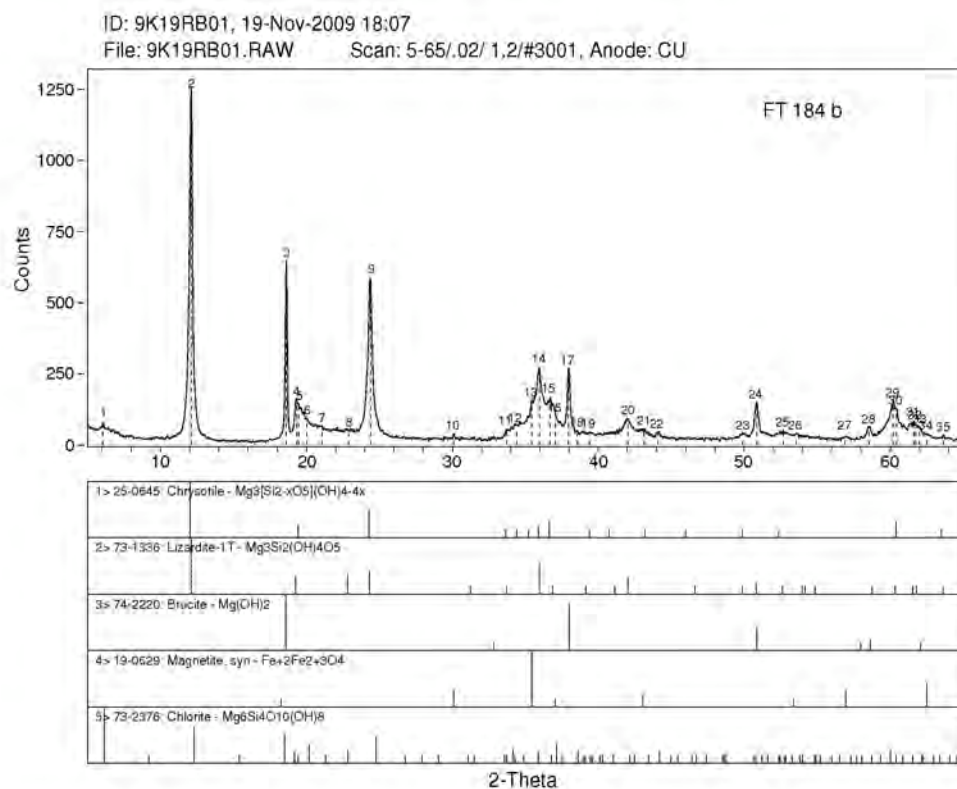
ID: 9K18QG02, 18-Nov-2009 18:22

File: 9K18QG02.RAW Scan: 5-65/.02/ 1.2/#3001, Anode: CU

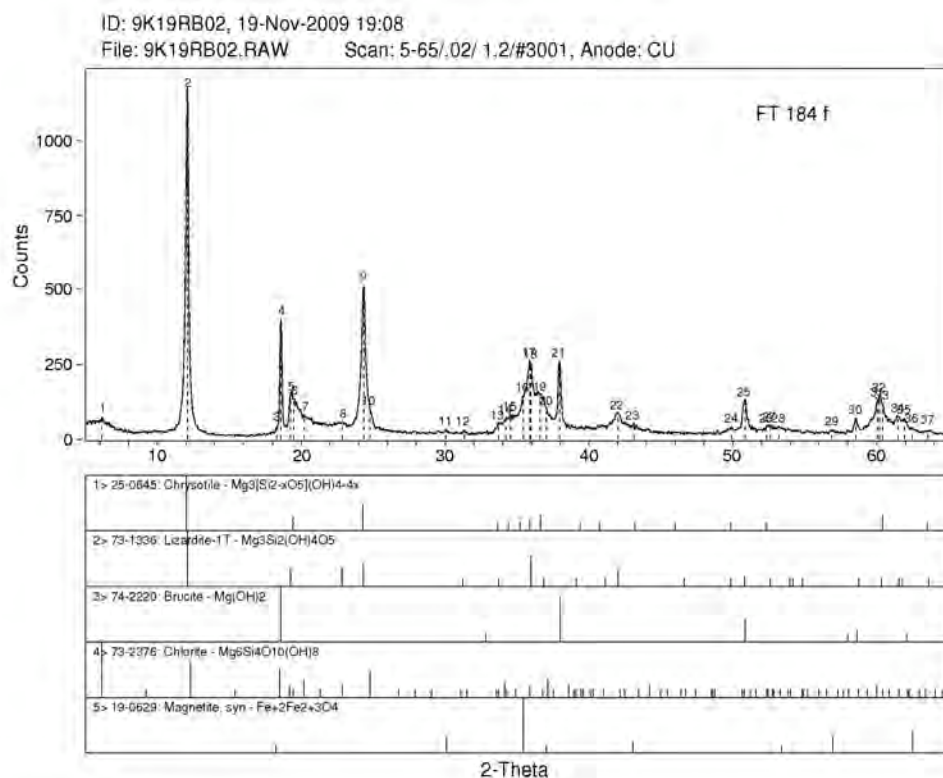


Université Laval Québec - Mer Dec 21 2009 @10:33am

Initial material - Final tails



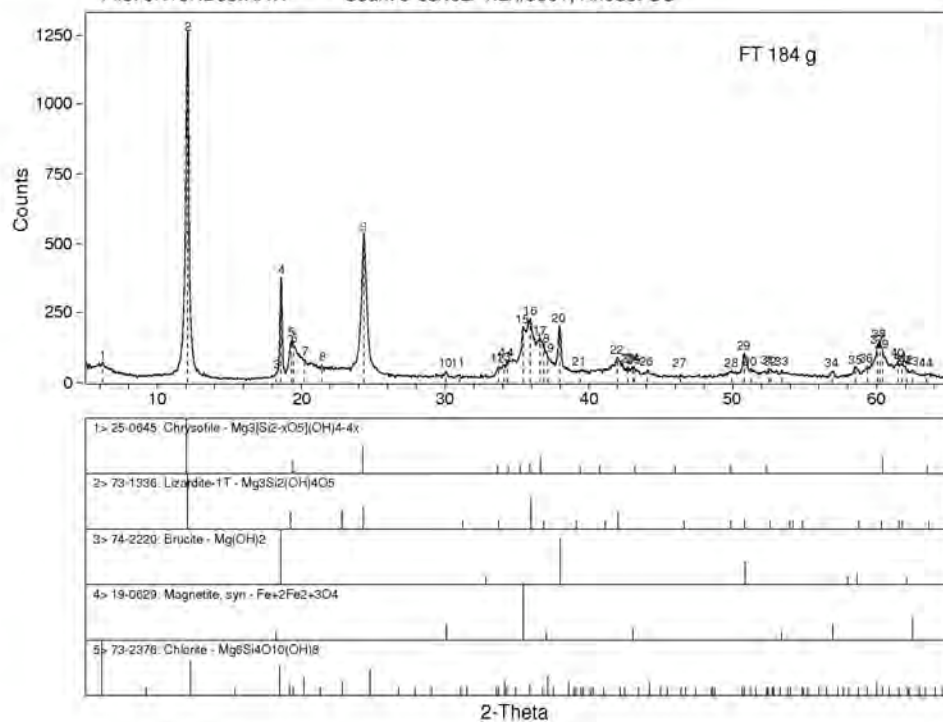
Université Laval Québec - 16m Dec 21 2009 @11:30am



Université Laval Québec - 16m Dec 21 2009 @11:30am

ID: 9K19RB03, 19-Nov-2009 20:08

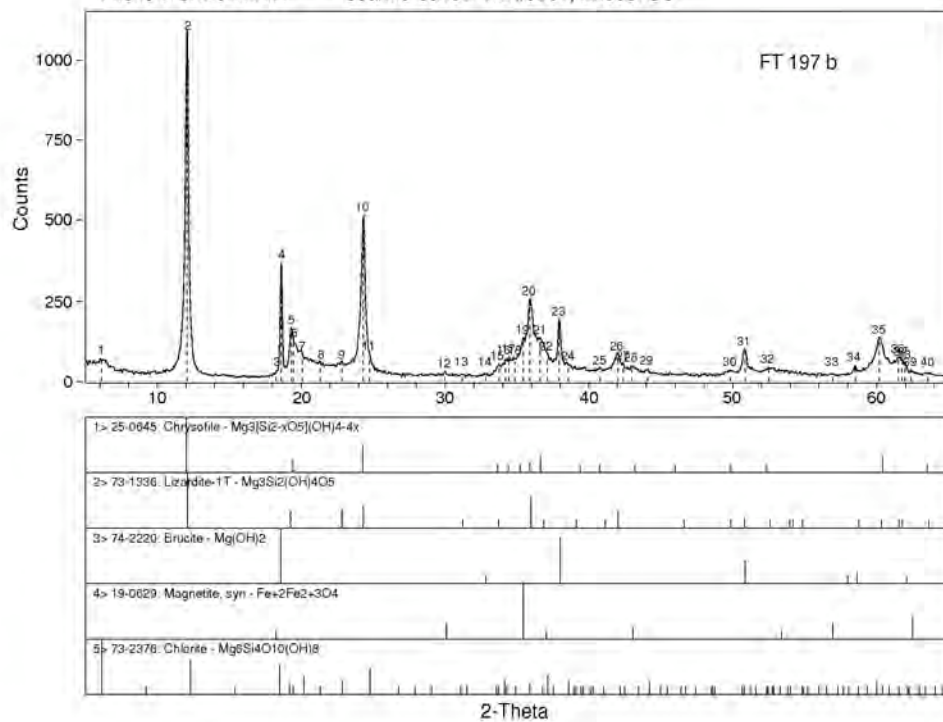
File: 9K19RB03.RAW Scan: 5-65/.02/ 1.2/#3001, Anode: CU



Université Laval Québec - / Mon Dec 21 2009 @ 11:45am

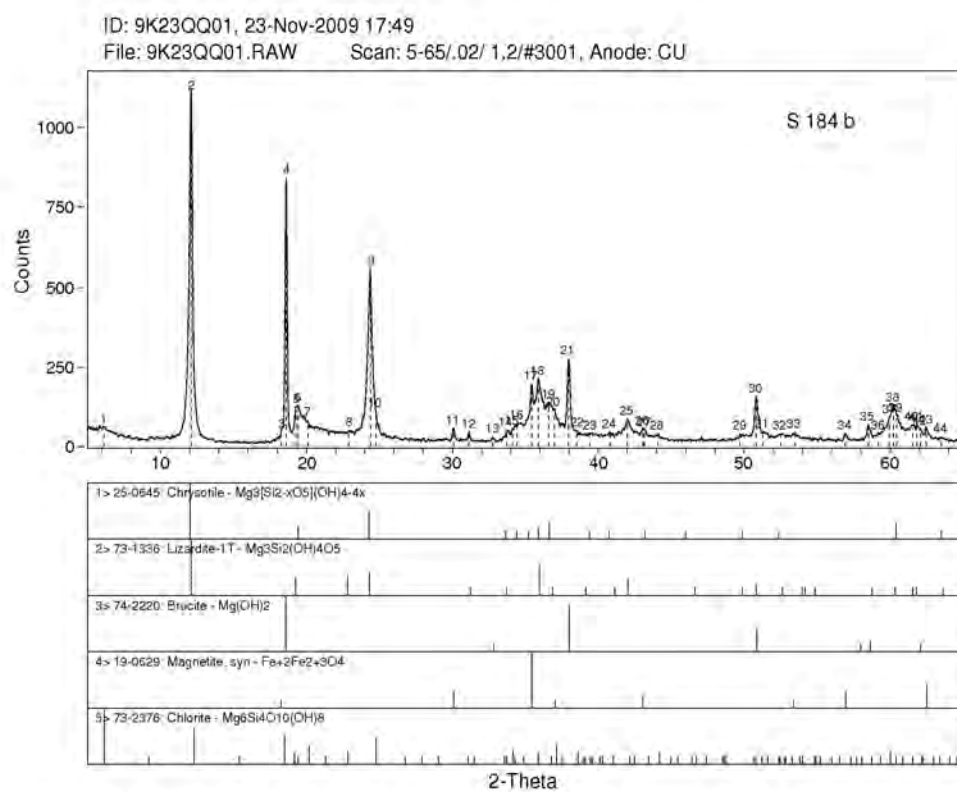
ID: 9K19RB04, 19-Nov-2009 21:09

File: 9K19RB04.RAW Scan: 5-65/.02/ 1.2/#3001, Anode: CU

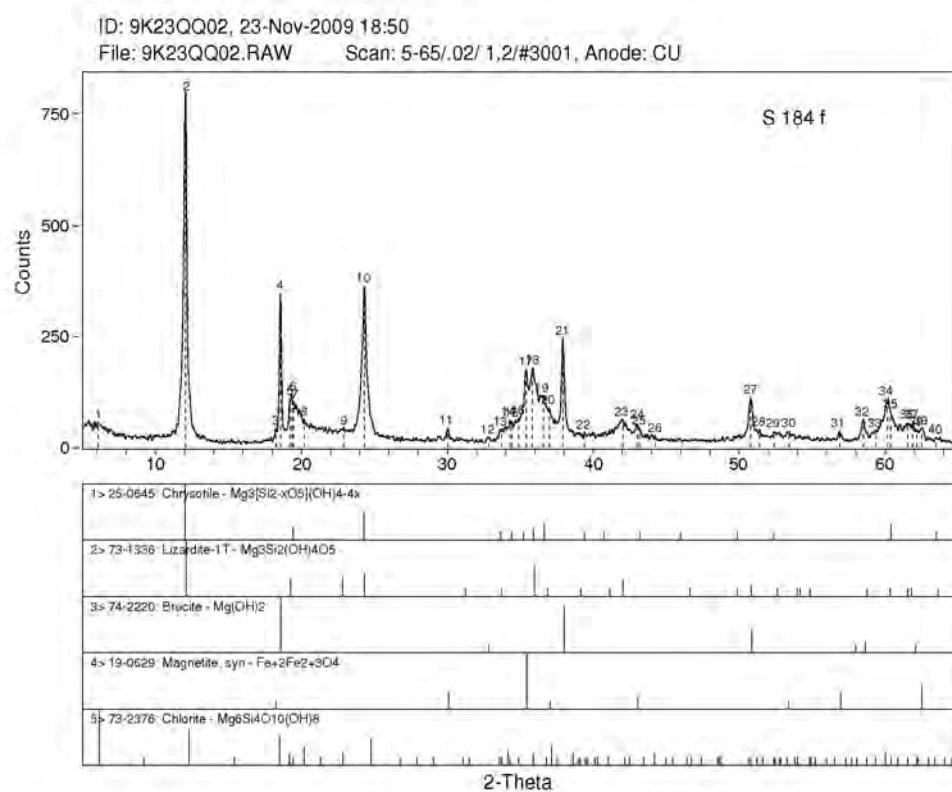


Université Laval Québec - / Tue Dec 22 2009 @ 02:17pm

Initial material - Slimes

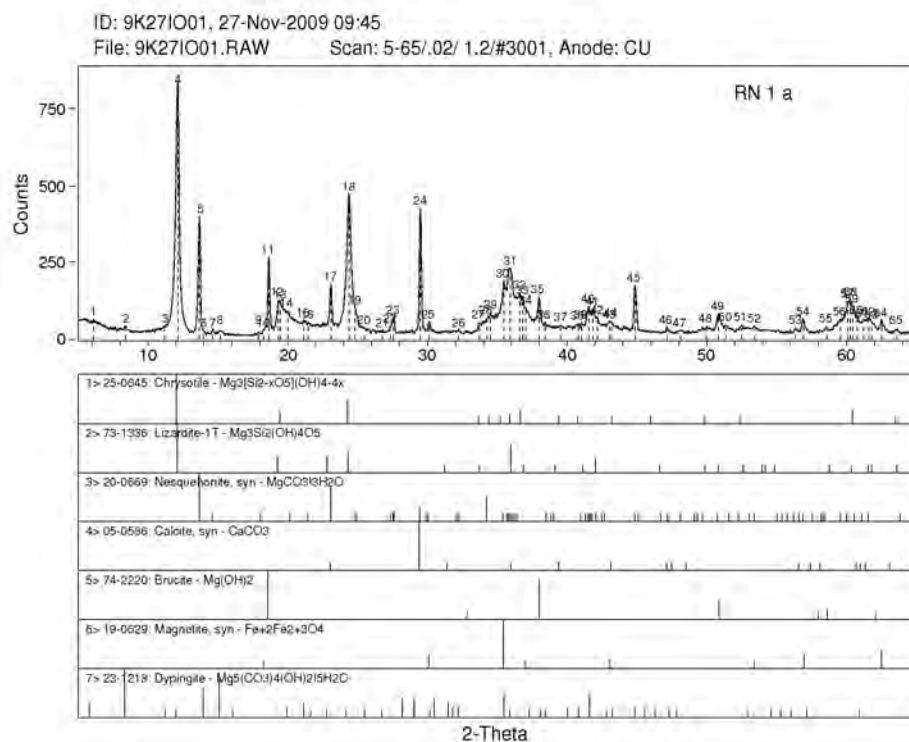


Université Laval / Université - 1 Nov Dec 21 2009 @ 11 pm



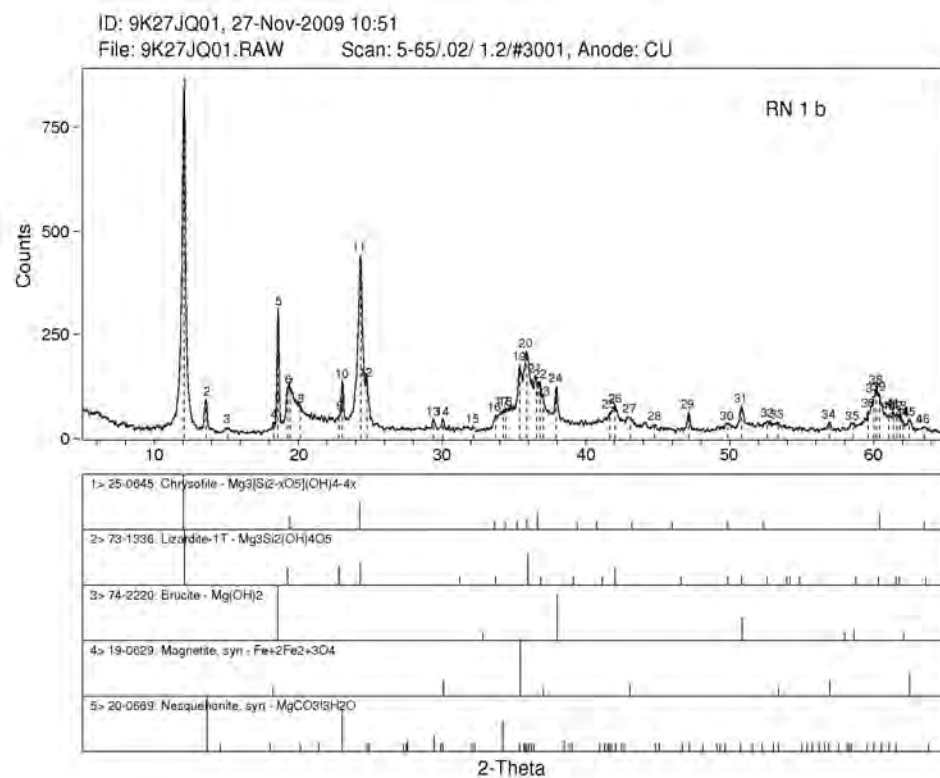
Université Laval / Université - 1 Nov Dec 21 2009 @ 11 pm

Carbonated samples RN1a S184B



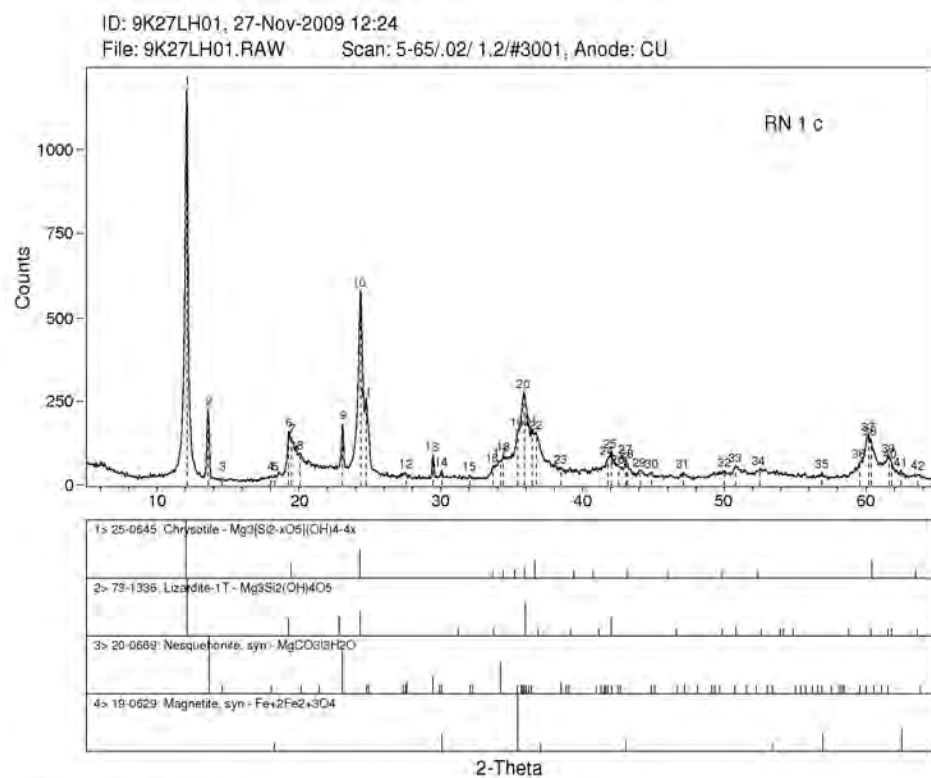
Université Laval Québec - Tue Dec 22 2009 09:51am

RN1b S184B



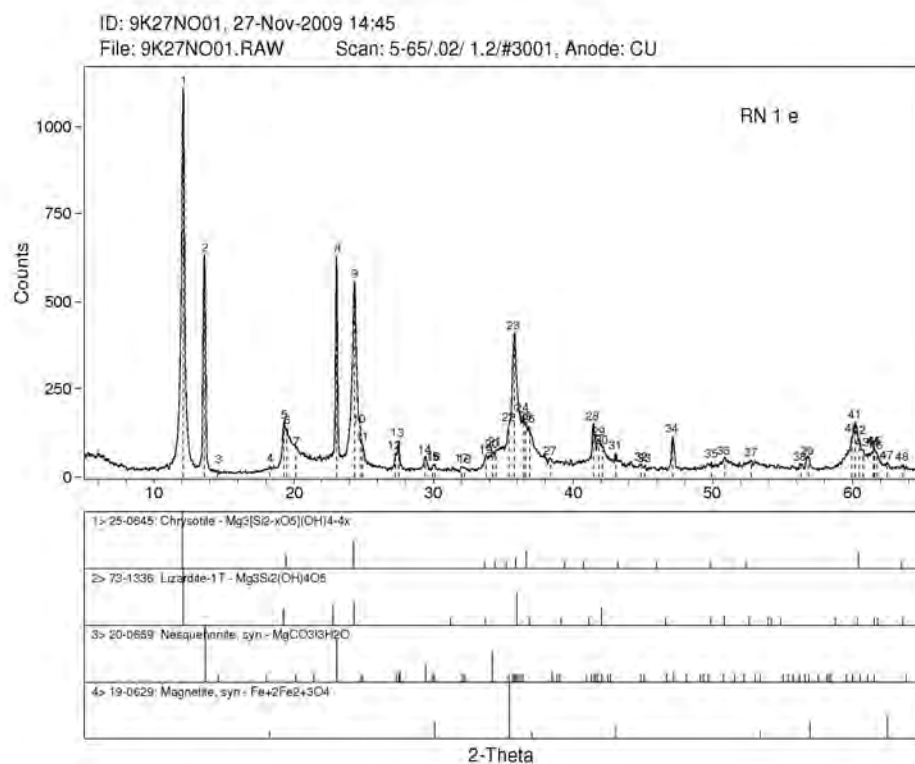
Université Laval Québec - Tue Dec 22 2009 09:52am

RN1c FT184B



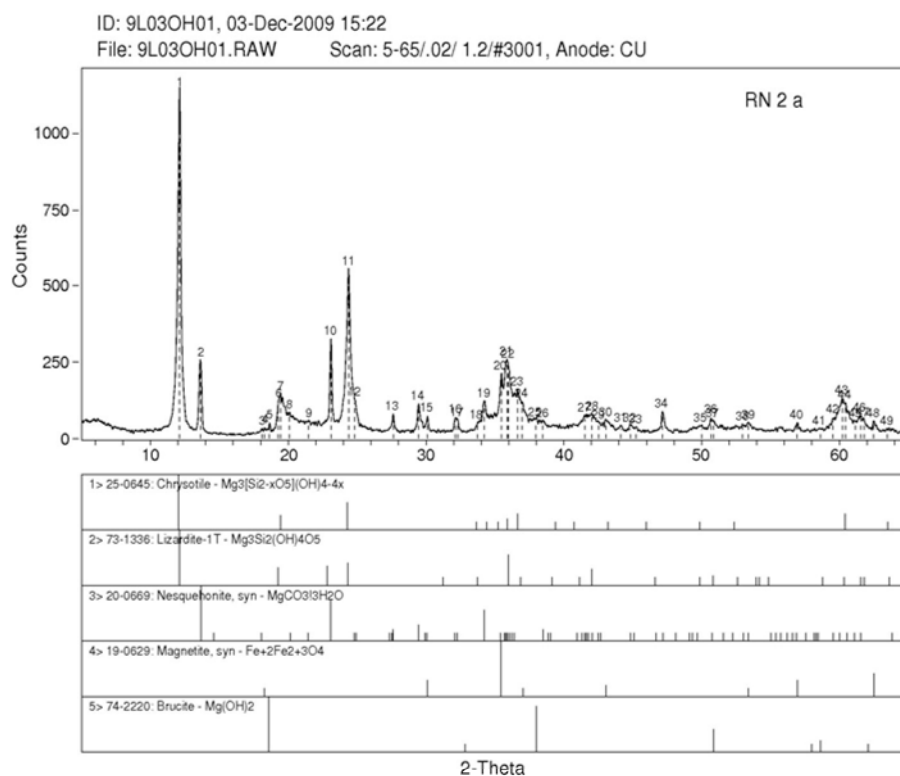
Université Laval/Québec - Tue Dec 22 2009 10:01am

RN1e FT 184B



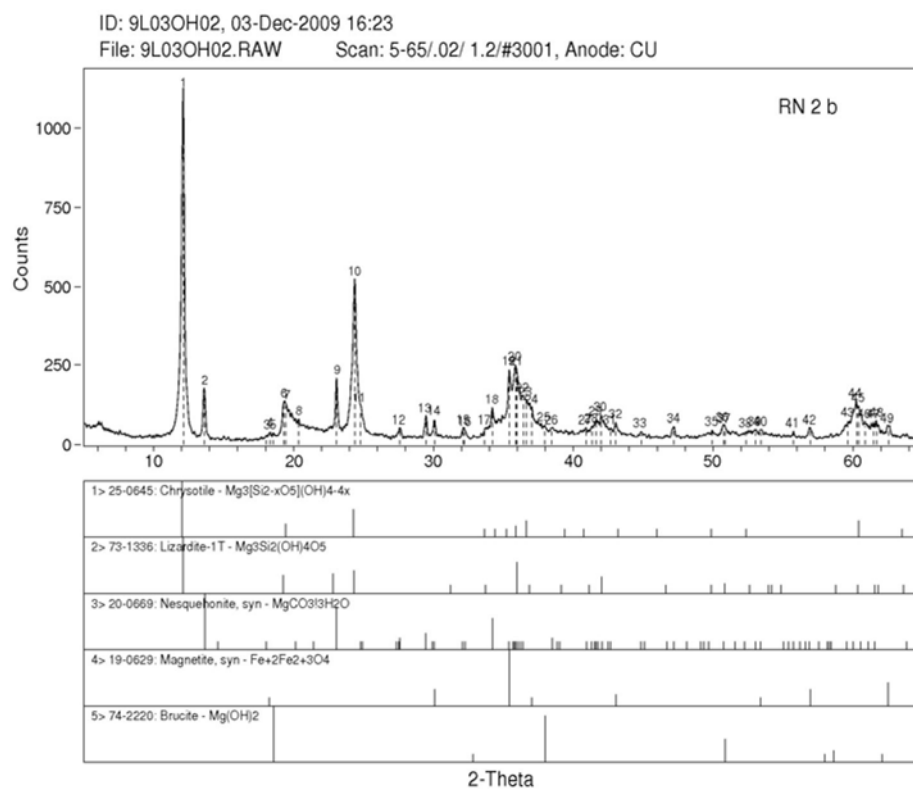
Université Laval/Québec - Tue Dec 22 2009 10:18am

RN2a F184B



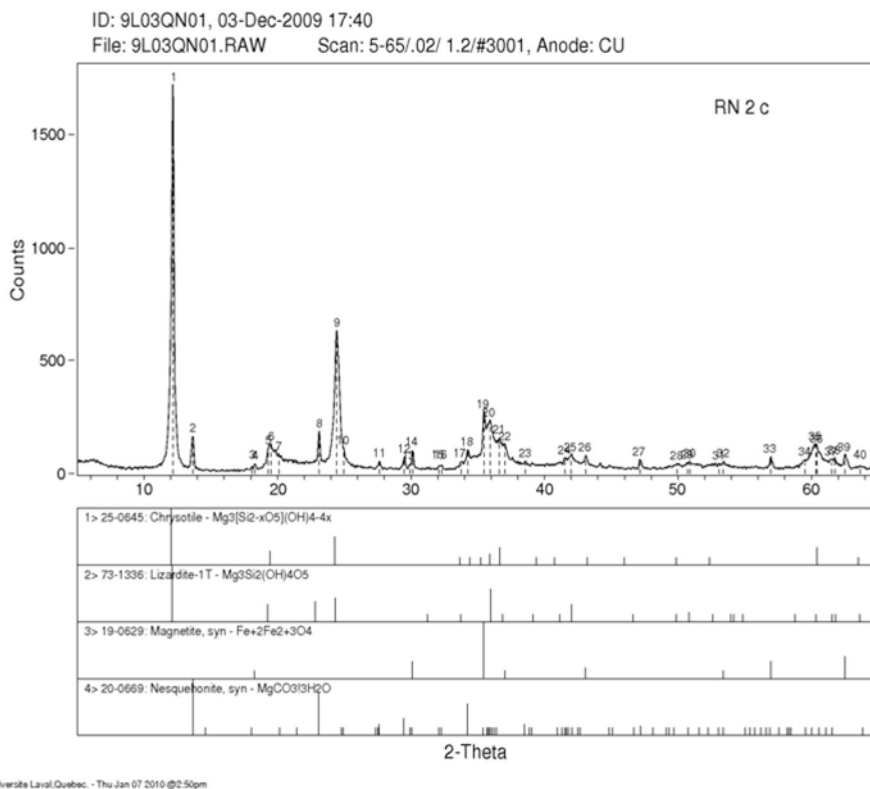
Universite Laval, Quebec - Tue Jan 05 2010 @4:27pm

RN2b F184F

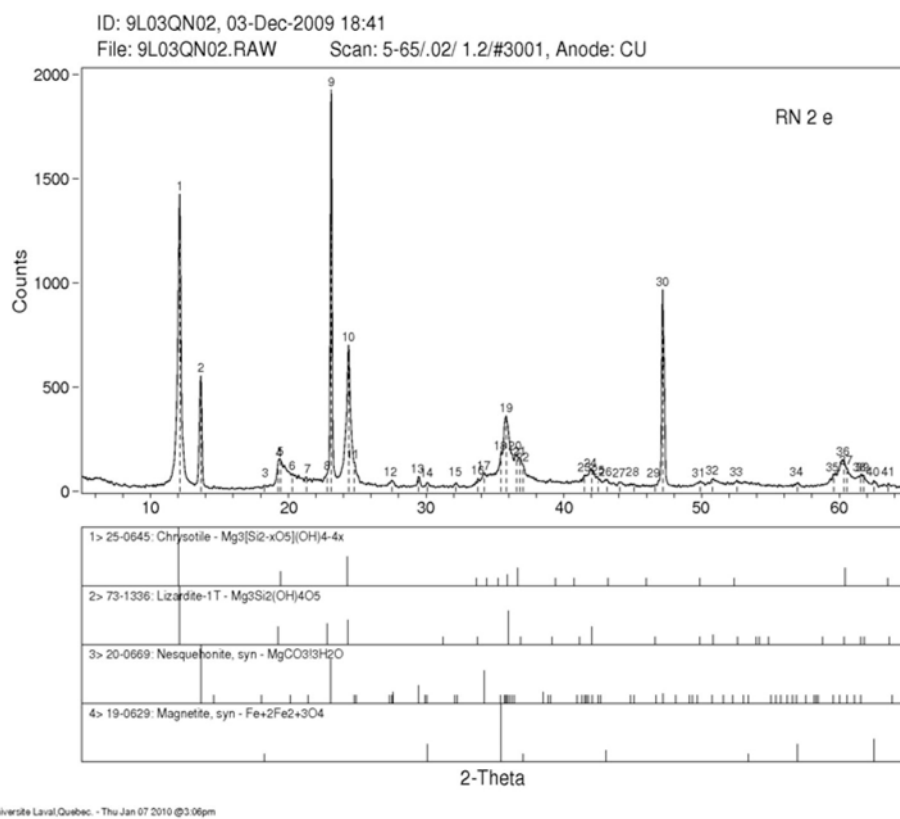


Universite Laval, Quebec - Thu Jan 07 2010 @2:39pm

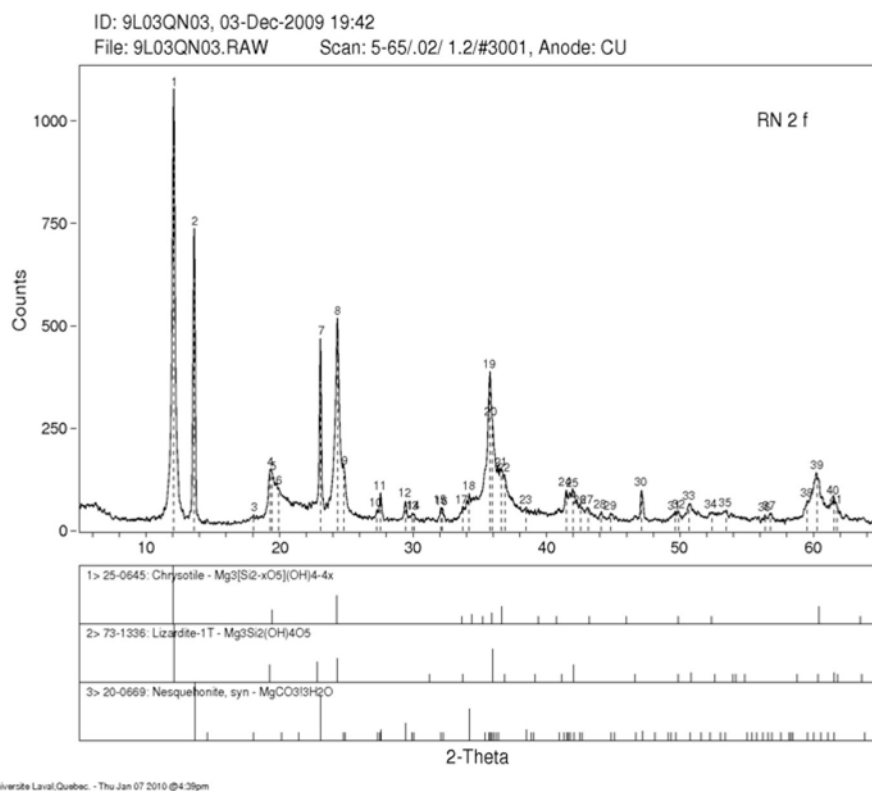
RN2c F184G



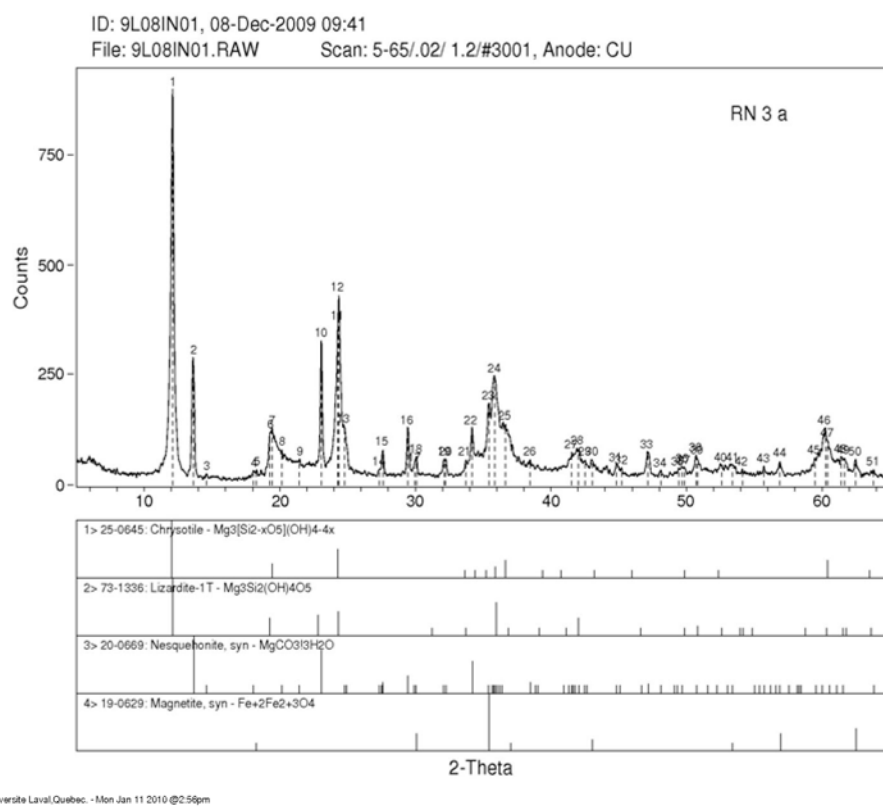
RN2e S184B



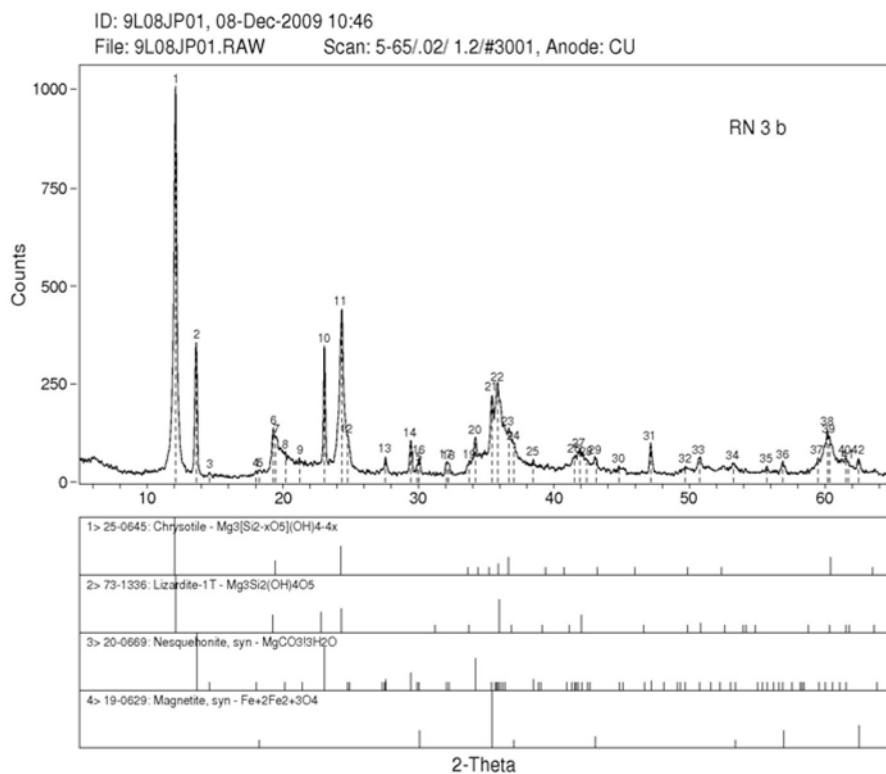
RN2f FT184B



RN3a F184B

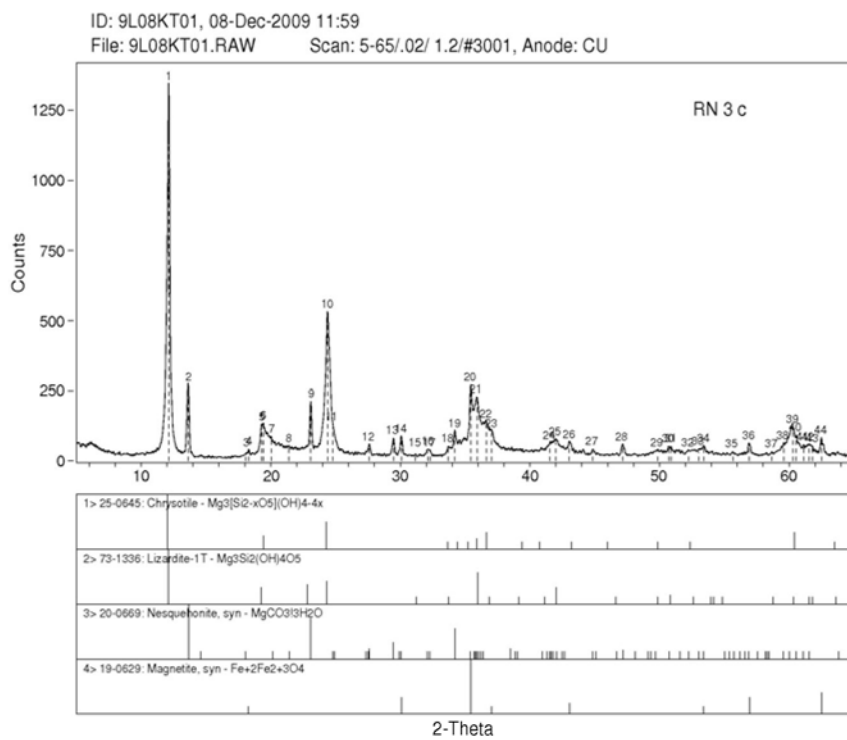


RN3b F84F



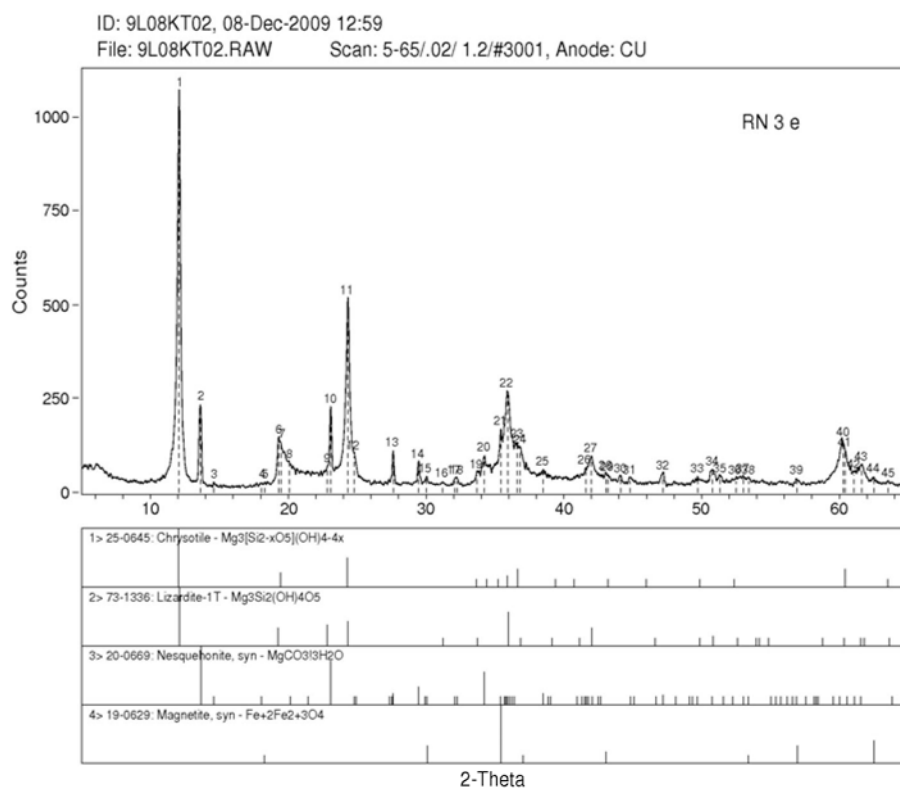
Université Laval/Quebec - Mon Jan 11 2010 @3:05pm

RN3c F184G



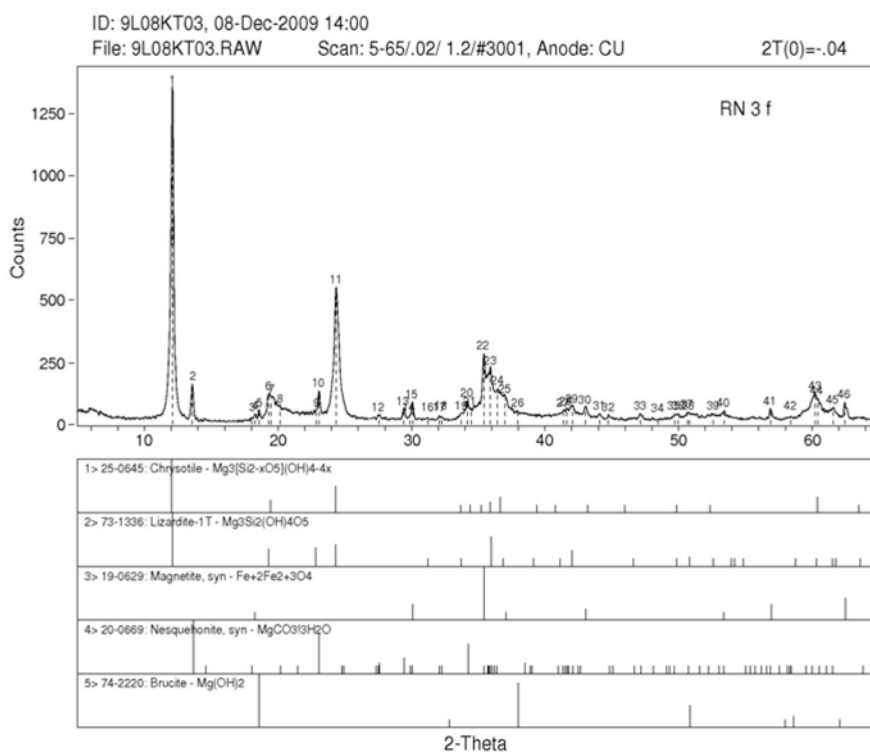
Université Laval/Quebec - Mon Jan 11 2010 @3:10pm

RN3e F197B



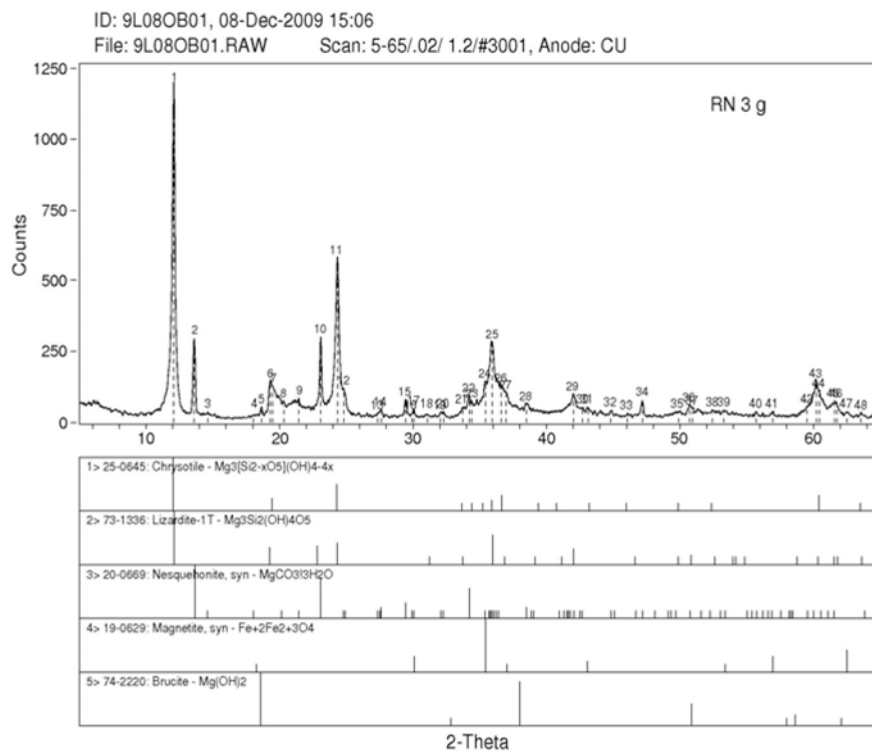
Universite Laval, Quebec - Mon Jan 11 2010 @4:16pm

RN3f F184G



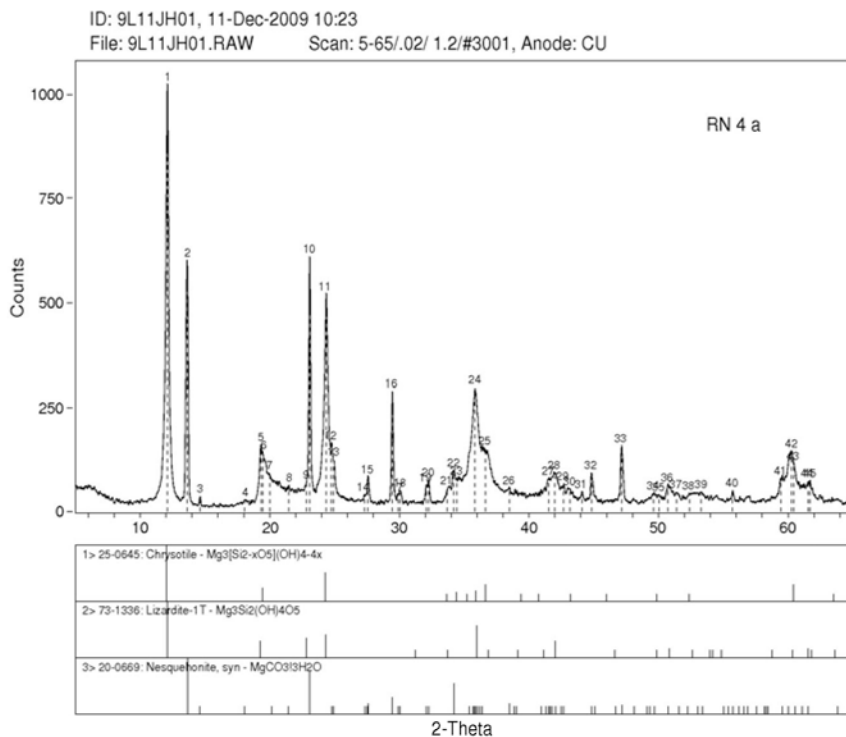
Universite Laval, Quebec - Wed Jan 13 2010 @3:07pm

RN3g F197B



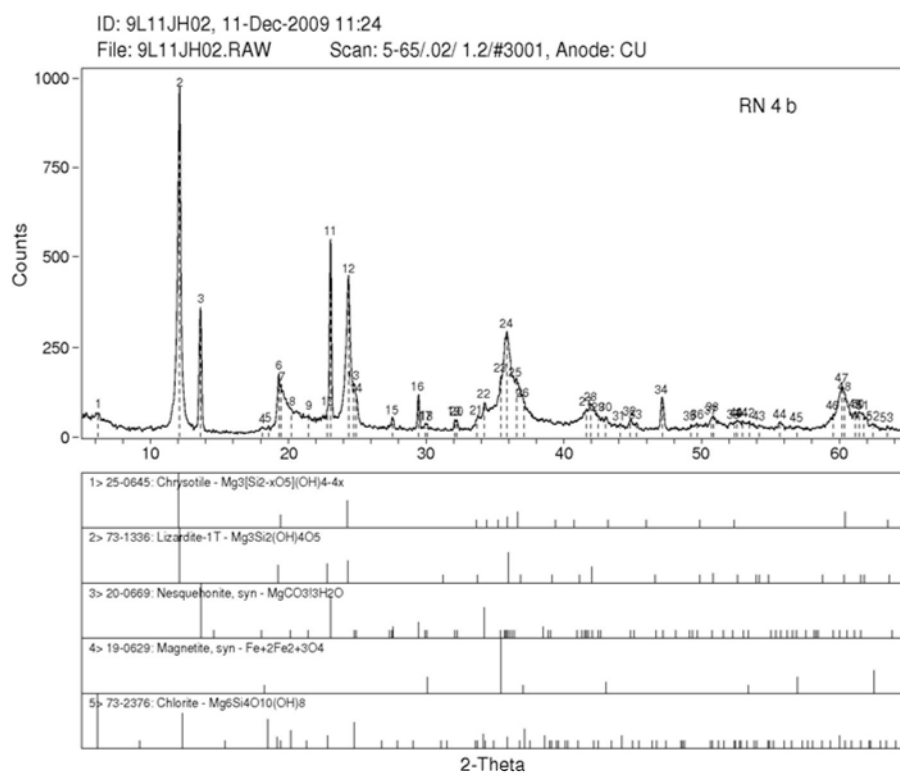
Université Laval/Quebec - Mon Jan 11 2010 @4:38pm

RN4a FT184B



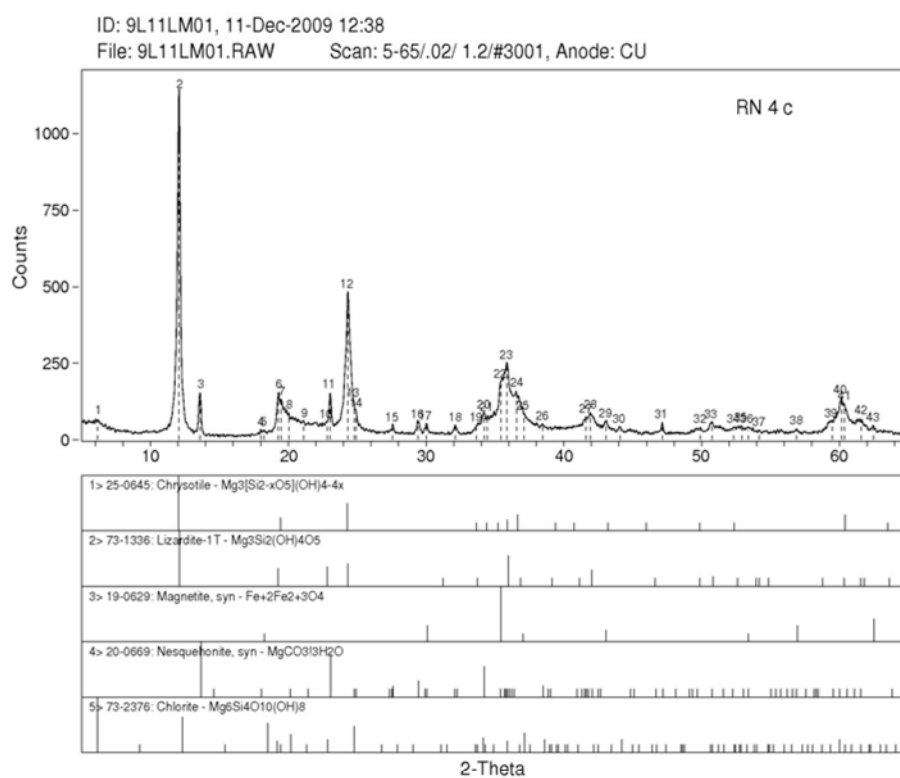
Université Laval/Quebec - Tue Jan 12 2010 @9:08am

RN4b FT184F



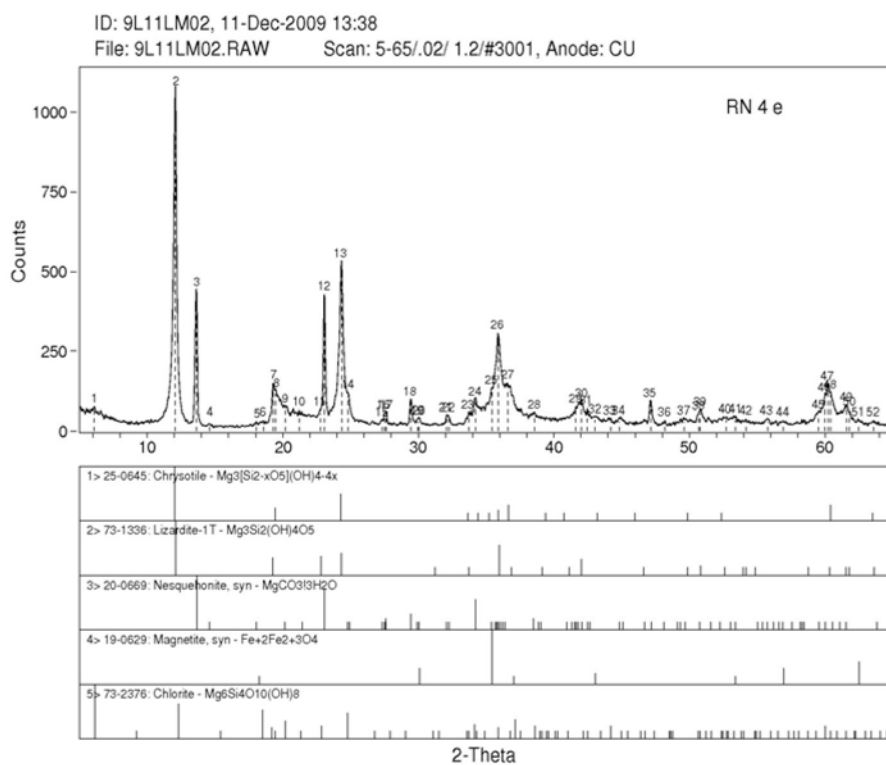
Université Laval Québec - Tue Jan 12 2010 @9:21am

RN4c FT184G



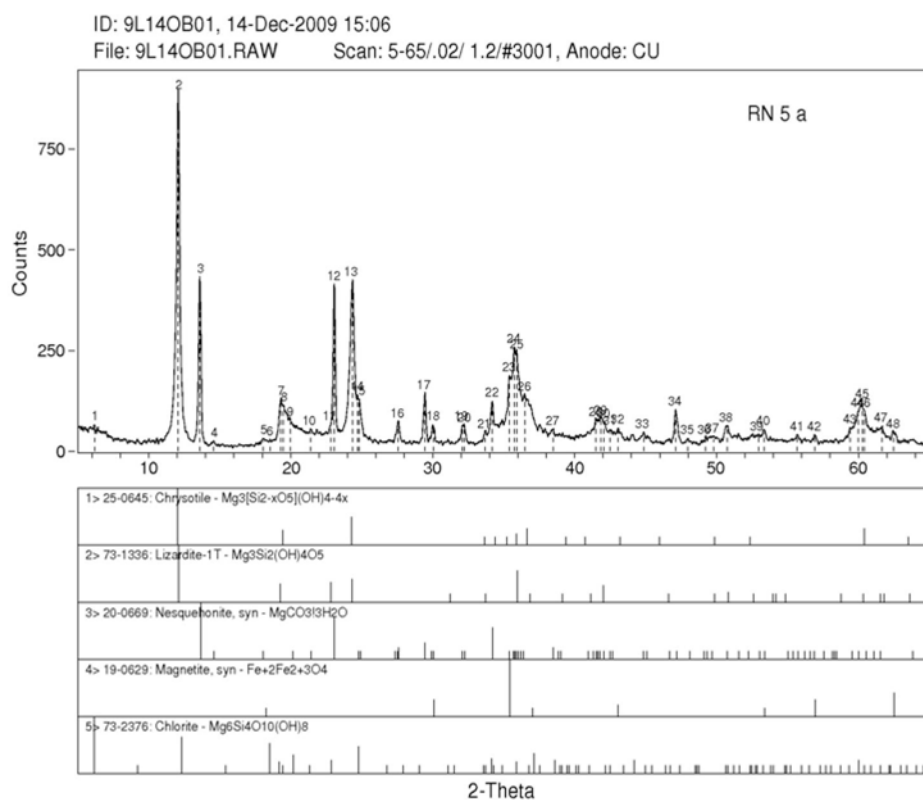
Université Laval Québec - Tue Jan 12 2010 @9:27am

RN4e FT197B



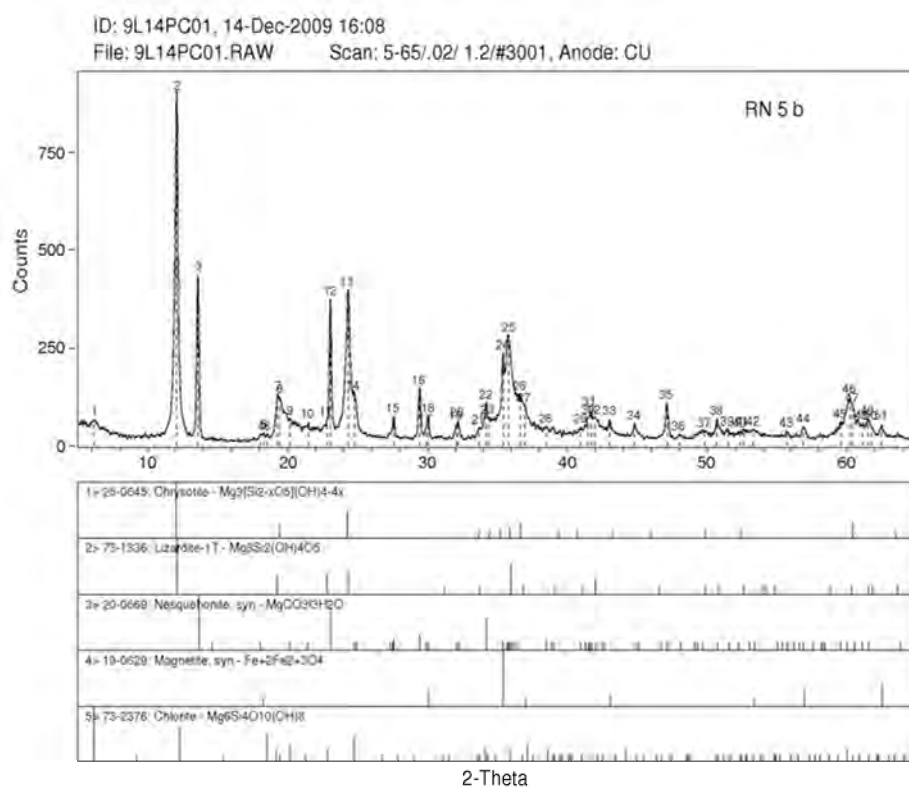
Universite Laval/Quebec - Tue Jan 12 2010 @9:42am

RN5a S184B



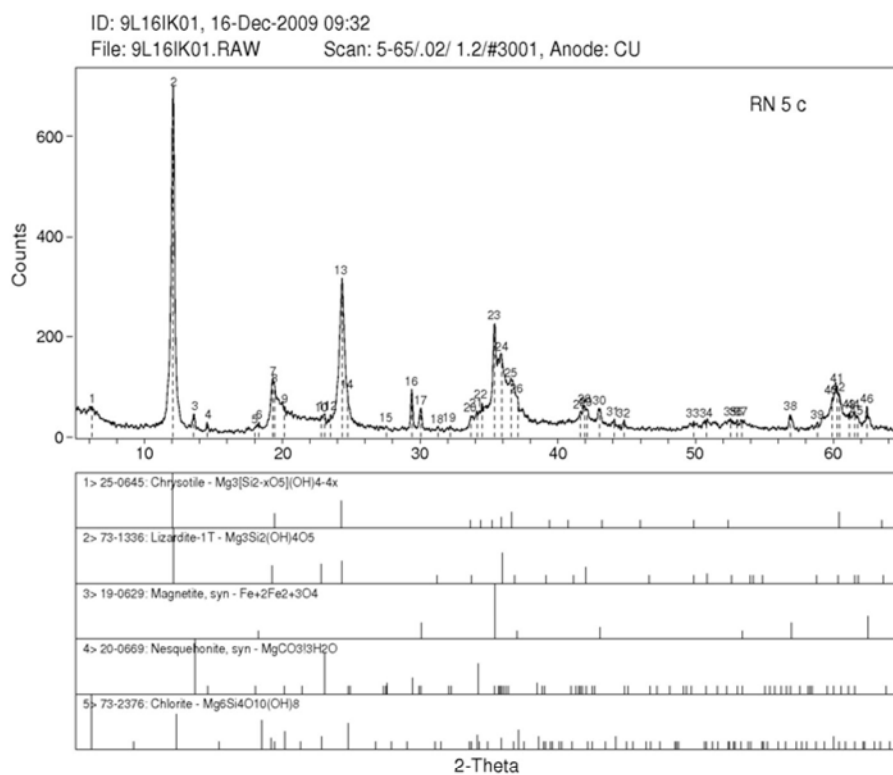
Universite Laval/Quebec - Wed Jan 13 2010 @10:16am

RN5b S184F



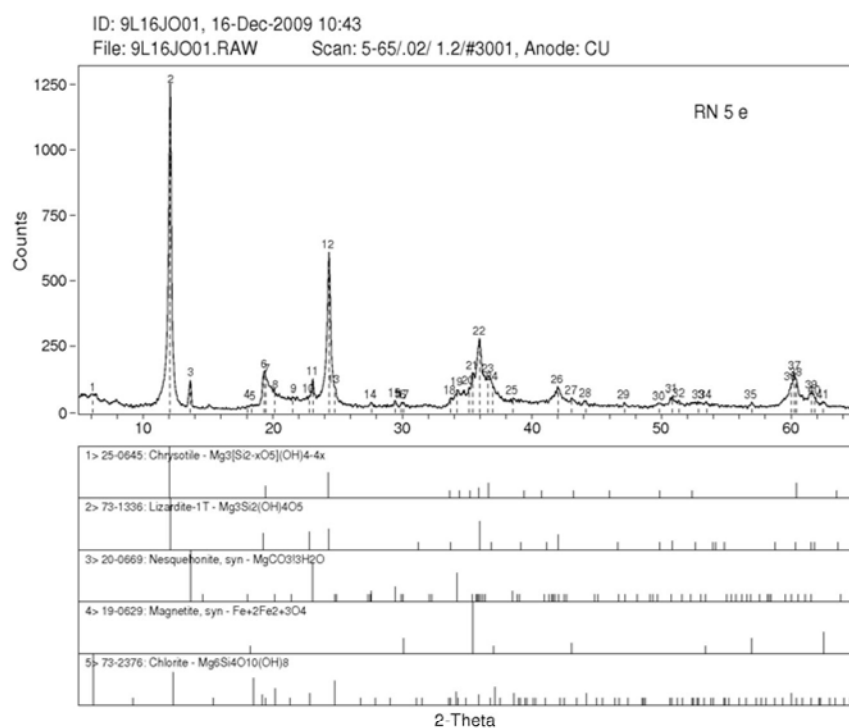
Université Laval Québec - Wed Jan 13 2010 @10:22am

RN5c S184G



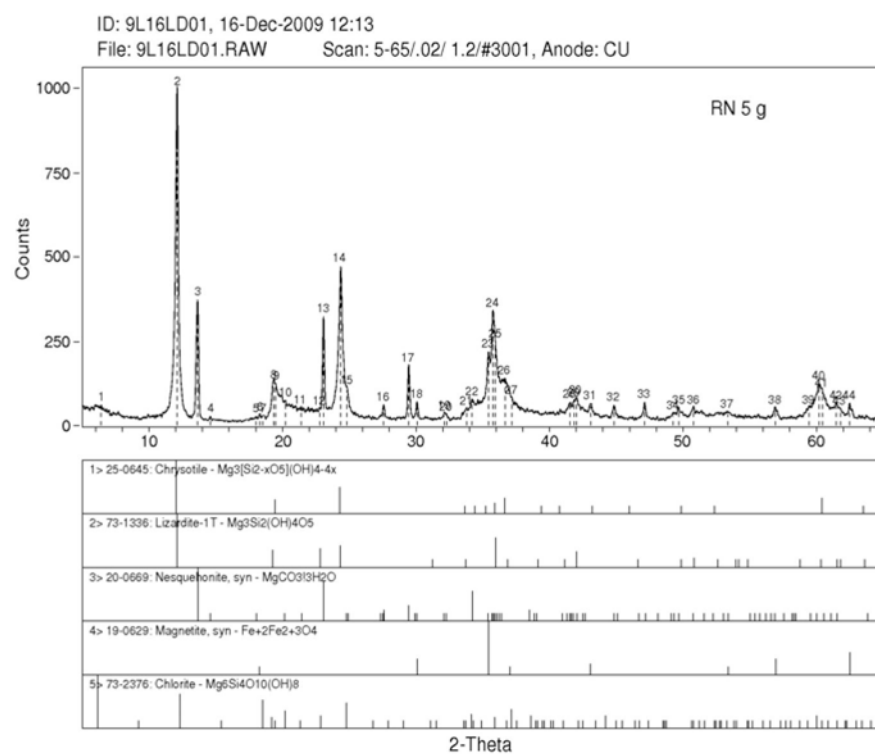
Université Laval Québec - Wed Jan 13 2010 @11:30am

RN5e S197B



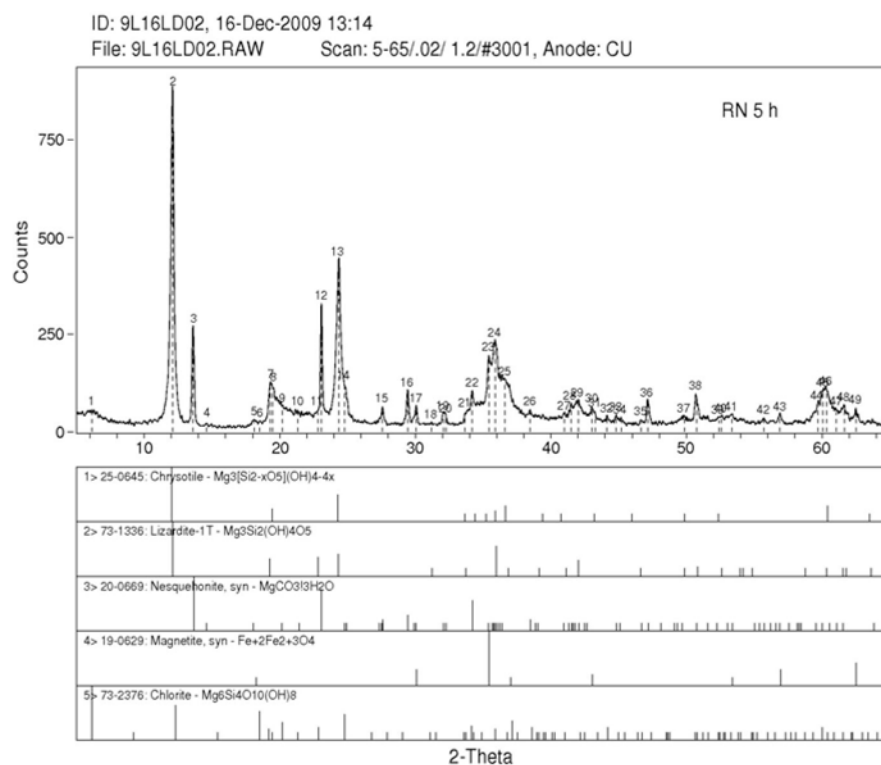
Université Laval/Quebec - Wed Jan 13 2010 @11:39am

RN5g S184F



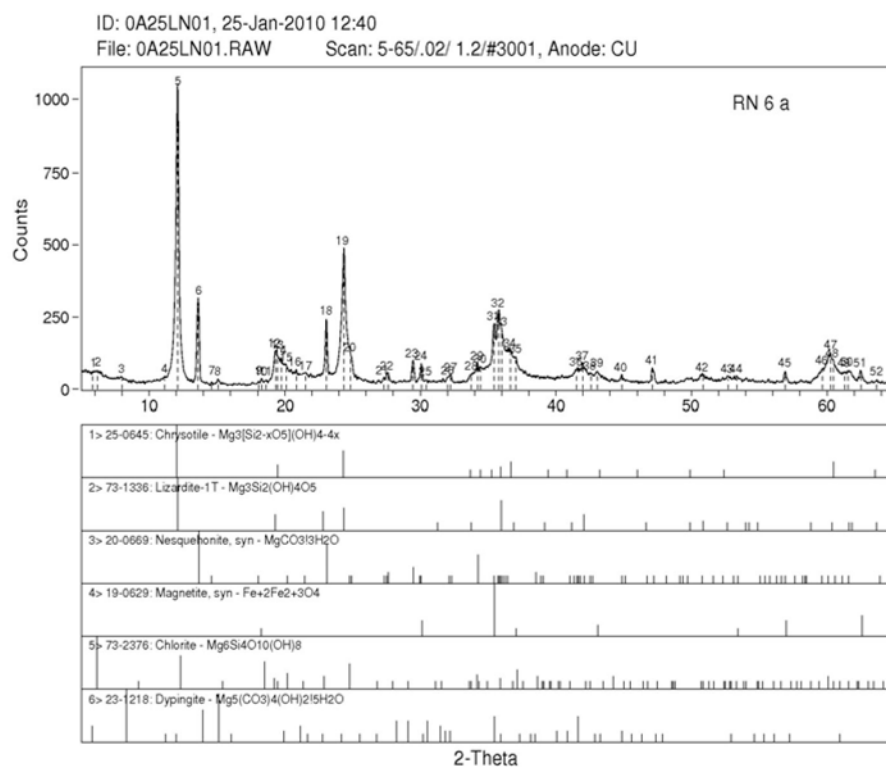
Université Laval/Quebec - Wed Jan 13 2010 @11:46am

RN5h S184B



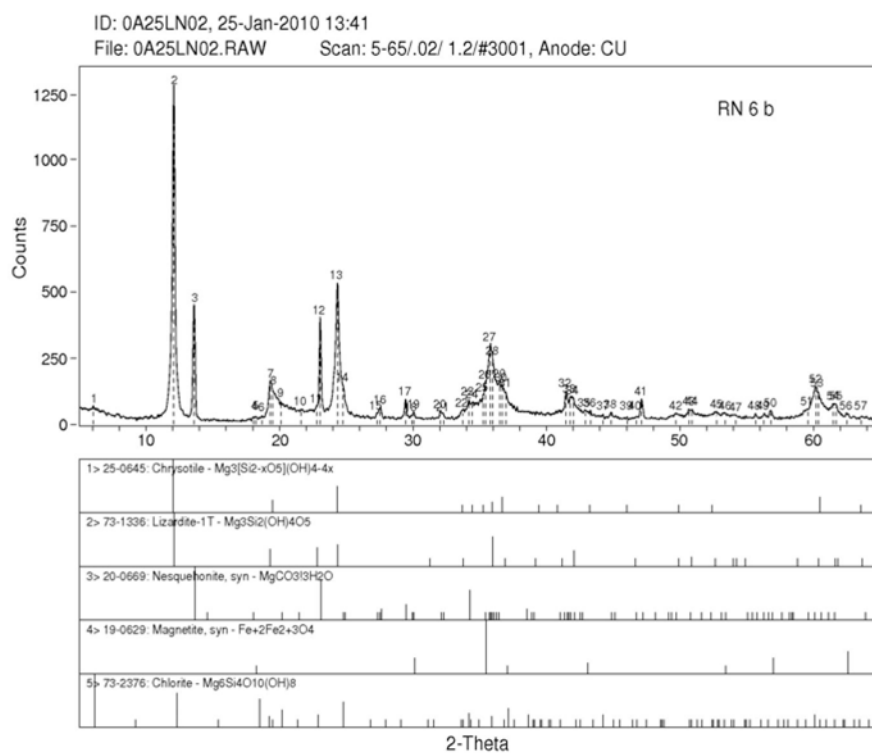
Université Laval/Quebec - Wed Jan 13 2010 @2:18pm

RN6a F184F



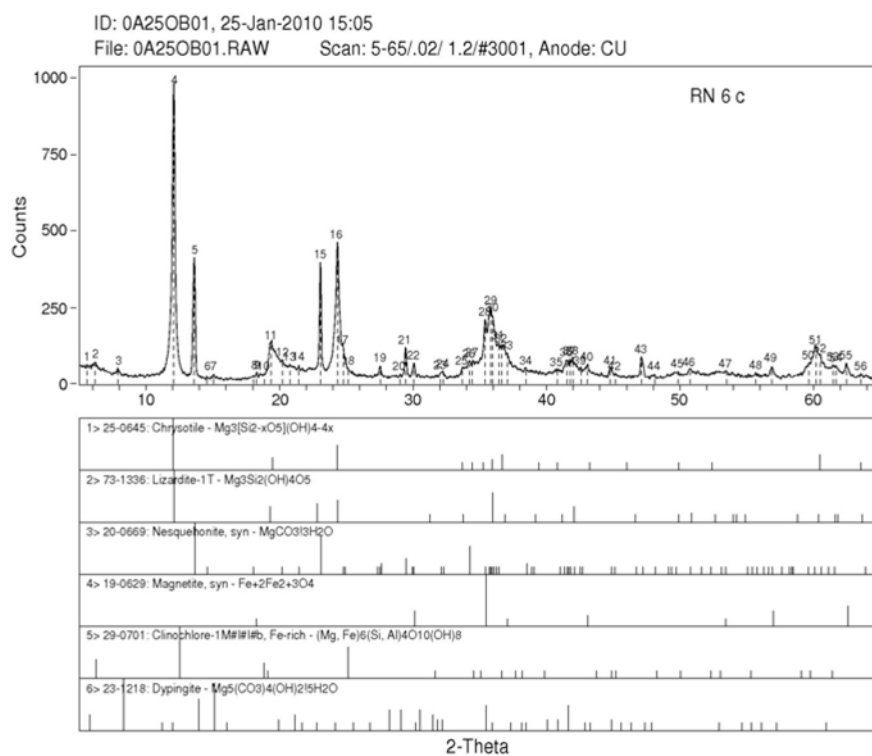
Université Laval/Quebec - Wed Feb 03 2010 @4:34pm

RN6b FT184F



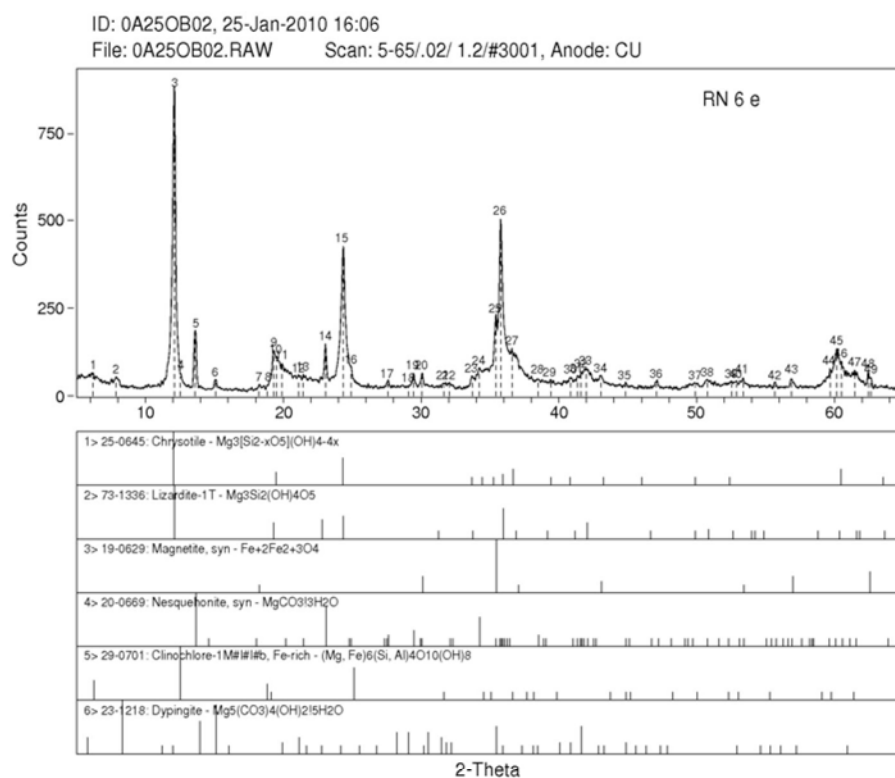
Universite Laval, Quebec - Wed Feb 03 2010 @4:21pm

RN6c S184F



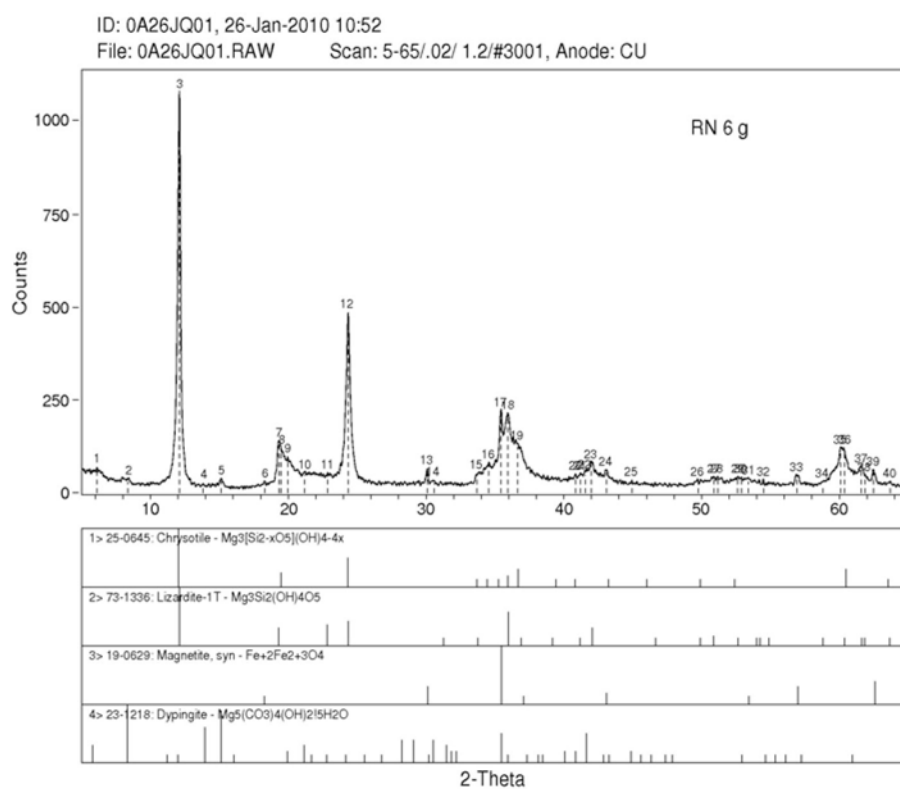
Universite Laval, Quebec - Wed Feb 03 2010 @4:14pm

RN6e F184F



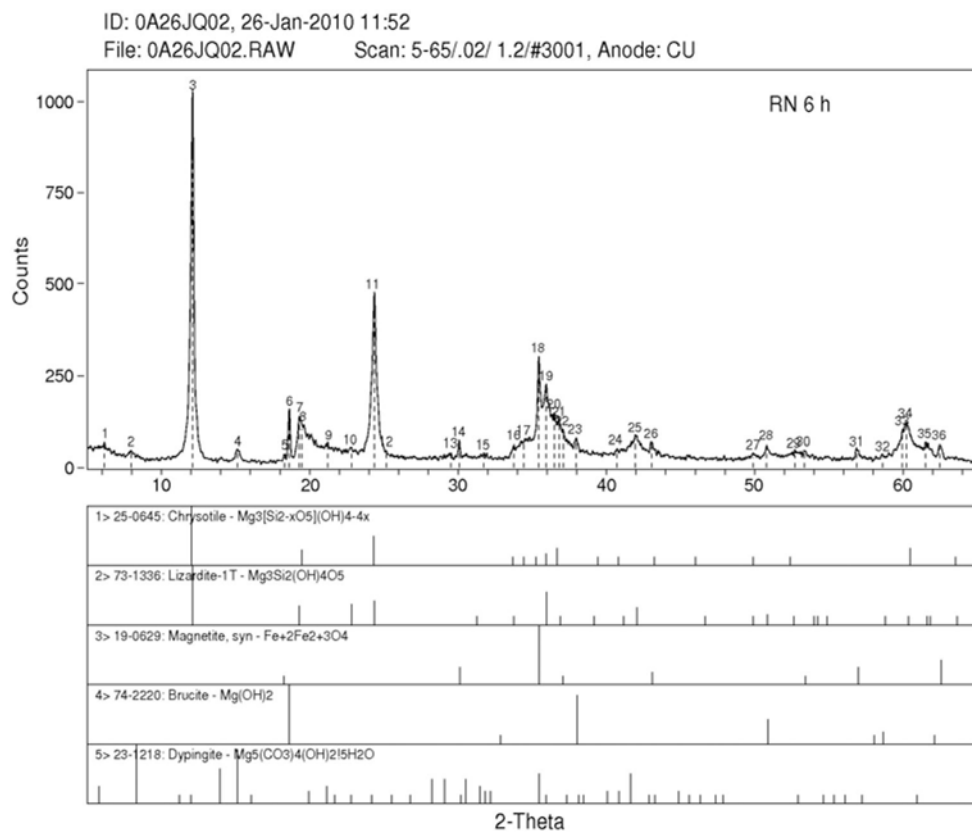
Universite Laval Quebec - Wed Feb 03 2010 @4:11pm

RN6g F184F



Universite Laval Quebec - Wed Feb 03 2010 @4:09pm

RN6h F184F



Universite Laval Quebec - Wed Feb 03 2010 @3:04pm

Appendix C

Major elements X-ray fluorescence analysis of uncarbonated samples by Actlabs.

Ideal composition calculated for the pure phases identified in the samples (lizardite and chrysotile = serpentine).

Appendix D

Carbon analysis by Actlabs.

Samples have been analyzed in four groups:

- 1) Initial material have been sent in triplicate with three standards UB-N for low level carbon analysis. FT and S fractions had been dried under a hood before shipment.
- 2) Series RN1 to RN5 carbonated in eudiometers have been sent with three standards SY-4 for standard infrared analysis.
- 3) Samples carbonated in beakers at room conditions have been submitted to low level carbon analysis with standards UB-N and SY-4.
- 4) Series RN6 carbonated at 33°C has been sent with standard SY-4 for standard analysis.

The laboratory systematically realizes quality controls. Blank measurements are always under the detection limit. One or two samples are also chosen for duplicate analysis.

For additionnal control, standards are added to the series of samples. UB-N is a serpentine provided by the Service d'Analyse des Roches et Minéraux (Nancy, France). SY-4 is a dioritic gneiss provided by Natural Resources Canada.

Reference values for standards.

N.B : $\text{CO}_2 = \text{C} * 0.27289$

Group 1 – Uncarbonated material (23/12/2009 – folder A09-7160)

Quality control

			Reproducibility	Accuracy
--	--	--	------------------------	-----------------

order of analysis	sample name	%C	% C average	% CO₂ average	Relative standard deviation
1	UB-N	0,139	0,135	0,496	0,041
14	UB-N	0,129			
27	UB-N	0,138			
10	F184B	0,091	0,095	0,347	0,037
23	F184B	0,098			
36	F184B	0,095			
11	F184F	0,076	0,078	0,286	0,026
24	F184F	0,080			
37	F184F	0,078			
12	F184G	0,067	0,069	0,253	0,029
25	F184G	0,071			
38	F184G	0,069			
13	F197B	0,134	0,130	0,478	0,025
26	F197B	0,129			
39	F197B	0,128			
6	S184B	0,123	0,126	0,461	0,059
19	S184B	0,134			
32	S184B	0,120			
7	S184F	0,112	0,116	0,424	0,041
20	S184F	0,121			
33	S184F	0,114			
8	S184G	0,114	0,117	0,429	0,037
21	S184G	0,122			
34	S184G	0,115			
9	S197B	0,162	0,175	0,640	0,067
22	S197B	0,177			
35	S197B	0,185			
2	FT184B	0,223	0,224	0,822	0,01
15	FT184B	0,223			
28	FT184B	0,227			
3	FT184F	0,223	0,227	0,832	0,016
16	FT184F	0,230			
29	FT184F	0,228			
4	FT184G	0,218	0,224	0,820	0,030
17	FT184G	0,222			
30	FT184G	0,231			
5	FT197B	0,281	0,283	1,038	0,009
18	FT197B	0,283			
31	FT197B	0,286			

Group 2 – Series carbonated at 20°C (22/12/2009 - folder A09-7347)

Quality control

	% C	% CO ₂	Reproducibility % difference max (absolute value)	Accuracy % difference to reference value
Duplicates				
RN2 E Orig	2,00	7,33	2,0	
RN2 E Dup	2,04	7,48		
RN4 B Orig	2,17	7,95	0,9	
RN4 B Dup	2,15	7,88		
Standard				
SY-4	1,10	4,03	1,8	13,1
SY-4	1,08	3,96		12,0
SY-4	1,09	3,99		13,1

Sample analysis

sample type	experiment identification	% C	% CO ₂
S184	RN1 a	1,34	4,91
S184B	RN1 b	1,37	5,02
FT184B	RN1 c	2,04	7,48
FT184B	RN1 e	2,13	7,81
F184B	RN2 a	2,08	7,62
F184F	RN2 b	2,35	8,61
F184G	RN2 c	1,42	5,20
S184B	RN2 e	2,02	7,40
FT184B	RN2 f	5,02	18,40
F184B	RN3 a	2,23	8,17
F184F	RN3 b	2,20	8,06
F184G	RN3 c	1,92	7,04
F197B	RN3 e	1,75	6,41
F184G	RN3 f	1,47	5,39
F197B	RN3 g	1,65	6,05
FT184B	RN4 a	1,87	6,85
FT184F	RN4 b	2,16	7,92
FT184G	RN4 c	1,47	5,39
FT197B	RN4 e	1,28	4,69
S184B	RN5 a	1,83	6,71
S184F	RN5 b	1,73	6,34
S184G	RN5 c	1,90	6,96
S197B	RN5 e	1,47	5,39
S184B	RN5 h	1,93	7,07
S184F	RN5 g	1,86	6,82

Group 3 – Samples carbonated at room temperature (29/12/2009 – folder A09-7606)

Quality control

	% C	% CO ₂	Reproducibility % difference max (absolute value)	Accuracy % difference to reference value
Duplicates				
SY-4 Orig	1,080	3,958	0,9	
SY-4 Dup	1,070	3,921		
Standards				
UB-N	0,163	0,597	14,1	53,2
UB-N	0,147	0,539		38,1
UB-N	0,140	0,513		31,5
SY-4	1,080	3,958	0,9	13,1
SY-4	1,070	3,921		12,0
SY-4	1,080	3,958		13,1

Sample-1 : not reworked Sample-2 : reworked at each water addition

samples	% C	% CO₂
F184B-1	0,425	1,557
F184B-2	0,494	1,810
F184F-1	0,377	1,382
F184F-2	0,502	1,840
F184G-1	0,363	1,330
F184G-2	0,452	1,656
F197B-1	0,485	1,777
F197B-2	0,559	2,048
FT184B-1	0,504	1,847
FT184B-2	0,560	2,052
FT184F-1	0,521	1,909
FT184F-2	0,563	2,063
FT184G-1	0,528	1,935
FT184G-2	0,470	1,722
FT197B-1	0,536	1,964
FT197B-2	0,589	2,158
S184B-1	0,395	1,447
S184B-2	0,568	2,081
S184F-1	0,454	1,664
S184F-2	0,532	1,950
S184G-1	0,403	1,477
S184G-2	0,456	1,671
S197B-1	0,601	2,202
S197B-2	0,630	2,309

Group 4 - Series RN6 carbonated at 30°C (28/01/2010 – folder 5D-0252)

Quality control

	% C	% CO ₂	Reproductibility % difference max (absolute value)	Accuracy % difference to reference value
Duplicates				
RN2 F Orig	5,04	18,47	2,0	
RN2 F Dup	4,94	18,10		
Standards				
SY-4	1,06	3,88	0	11,0
SY-4	1,06	3,88		11,0

Samples analysis

sample type	experiment identification	% C	% CO ₂
F84F	RN6 a	1,90	6,96
FT184F	RN6 b	1,84	6,74
S184F	RN6 c	1,87	6,85
F184F	RN6 e	2,04	7,48
F184F	RN6 g	1,16	4,25
F184F	RN6 h	1,53	5,61

Appendix E

Data concerning the process water. Chemical compositions have been obtained by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry at the laboratory Exova (Québec).

Water content of the wet samples.

	wet sample (g)	dry sample (g)	% water
S184B	62,0040	0,6087	99,02
S184F	59,4286	1,8516	96,88
S184G	60,0222	1,9046	96,83
S197B	64,7835	3,7827	94,16
FT184B	55,9581	1,3637	97,56
FT184F	63,5851	2,8587	95,50
FT184G	61,1224	4,4675	92,69
FT197B	65,0153	1,4679	97,74

PH measurements.

	pH
S184B	8,38
S184F	8,80
S184G	9,17
S197B	6,18
FT184B	9,64
FT184F	9,61
FT184G	9,62
FT197B	9,66

Chemical composition of the process waters and distilled waters. The standard analysis and its actual composition are given in the last two columns.

Zn	Zinc	0.05	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.04	0
----	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	---

Appendix F

Synthesis tables for the carbonation experiments in 500 mL eudiometers.

500 mL eudiom.	date of beginning/end	sample name	solid material g	water mL	% water	air mmol	CO ₂ mmol p	initial CO ₂ % in gas	final CO ₂ % in sample	saturation reached	comments
RN1 a	11/28 sept	FT184B	5,4336	15,8534	74	12,47	6,18	33	4,2		submerged
RN1 b	11/28 sept	S184B	3,2338	16,1405	83	16,48	2,31	12	3,1		submerged
RN1 c	11/28 sept	FT184B	4,4515	13,1134	75	12,79	6,42	33	5,2		submerged
RN1 e	11/28 sept	S184B	3,6194	18,0563	83	15,96	2,80	15	3,3		submerged
RN2 a	29 sept/15 oct	F184B	7,3318	3,9941	35	12,18	5,78	32	8,8	x	
RN2b	29 sept/15 oct	F184F	7,7081	3,8603	33	12,37	5,78	32	8,5	x	
RN2 c	29 sept/15 oct	F184G	7,3592	3,9957	35	12,83	5,94	32	6,9	x	
RN2 e	29 sept/15 oct	S184B	1,4833	5,4799	79	12,22	6,18	34	11,3	x	submerged
RN2 f	29 sept/15 oct	FT184B	1,6044	2,3464	59	15,57	2,00	11	7,0	x	submerged
RN3 a	16 oct/2 nov	F184B	1,9401	1,0435	35	10,92	1,55	12	9,4	x	
RN3 b	16 oct/2 nov	F184F	2,0374	0,9282	31	11,25	1,59	12	8,4	x	
RN3 c	16 oct/2 nov	F184G	2,0669	1,0046	33	12,00	1,11	8	6,9	x	
RN3 e	16 oct/2 nov	F197B	2,0521	0,9685	32	11,05	1,43	11	7,0	x	
RN3 f	16 oct/2 nov	F184G	2,0976	0,0000	0	10,86	1,51	12	6,1		initially dry
RN3 g	16 oct/2 nov	F197B	2,1151	0,0000	0	11,17	1,31	11	6,3		initially dry
RN4 a	3/14 nov	FT184B	2,0672	2,2431	52	11,33	1,22	10	8,2	x	
RN4 b	3/14 nov	FT184F	2,1069	2,1903	51	11,38	1,22	10	7,5	x	
RN4 c	3/14 nov	FT184G	3,1668	1,4237	31	12,32	1,22	9	5,2	x	
RN4 e	3/14 nov	FT197B	2,5774	2,1211	45	11,34	1,14	9	6,6	x	
RN4 f	3/12 nov	water	0	10,1943	100	11,06	1,22	10	0,2	x	process w
RN4 g	3/12 nov	water	0	10,1840	100	11,30	1,22	10	0,2	x	distilled w
RN5 a	17 nov/1 dec	S184B	2,0491	2,0661	50	11,61	1,24	10	8,6	x	
RN5 b	17 nov/1 dec	S184F	1,9790	1,9219	49	11,60	1,24	10	8,1	x	
RN5 c	17 nov/1 dec	S184G	1,9935	1,9219	49	12,19	1,28	10	6,5	x	
RN5 e	17 nov/1 dec	S197B	2,0296	2,0931	51	11,48	1,32	10	6,5	x	
RN5 h	17 nov/1 dec	S184B	3,9481	3,9683	50	10,59	1,16	10	9,5	x	
RN5 g	17 nov/1 dec	S184F	4,0374	4,0628	50	11,46	1,24	10	9,5	x	

RN6 a	10 déc/13 jan	F184F	2,0572	1,9047	48	9,89	2,99	23	9,4	x	
RN6 b	10 déc/13 jan	FT184F	2,064	2,1214	51	9,82	3,06	24	6,9	x	
RN6 c	10 déc/13 jan	S184F	2,0794	2,2074	51	10,28	3,06	23	8,3	x	
RN6 e	10 déc/13 jan	F184F	6,0302	2,6965	31	9,71	2,72	22	8,9	x	
RN6 g	10 déc/13 jan	F184F	2,075	23,5337	92	8,33	3,56	30	12,6	x	submerged

ANNEXE II

Final report on Identification and Quantification of Chrysotile using Differential Thermal Analysis

Date 21st January 2013
Address Michelle Sciortino
Royal Nickel Corp
220 Bay St, Suite 1200
Toronto , ON M5J 2W4

Your Ref TGA Chrysotile
Our Ref 3012808.00

Tel +1 705 699 3400
Fax +1 705 699 3431
Email abarnes@xstrataps.ca
Web www.myxps.ca

Address Xstrata Process Support
6 Edison Road
Falconbridge, ON
Canada

Dear Michelle,

Please find enclosed a copy of the XPS report titled "Final Report of Identification and Quantification of Chrysotile using Differential Thermal Analysis", dated January 21st, 2013.

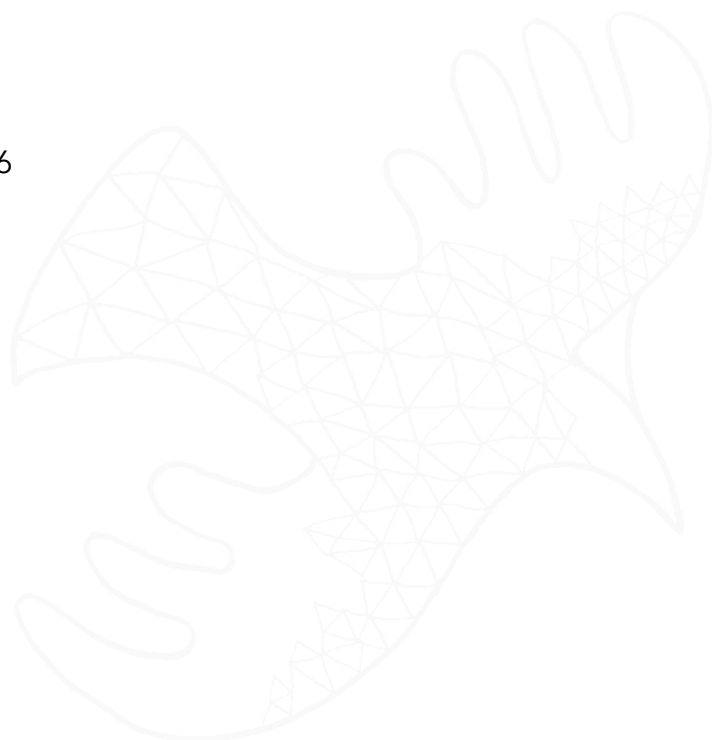
If you have any questions please do not hesitate to contact Arthur Barnes who is your primary XPS contact for this project.

Yours



Arthur Barnes
Principal Consultant
Extractive Metallurgy
abarnes@xstrataps.ca
+1 705 699 3400 x3483

Sandra Kuula
Technologist
Extractive Metallurgy
skuula@strataps.ca
+1 705 699 3400 x3426



Final report on Identification and Quantification of Chrysotile using Differential Thermal Analysis

Finals Report (Phase Ib)

Prepared For: **Royal Nickel.**
Michelle Sciorontino

CC:

Revision
Project Number
Submitted on:

Draft
3012811.00
Monday, 21 January 2013

XPS – extractive metallurgy



Summary

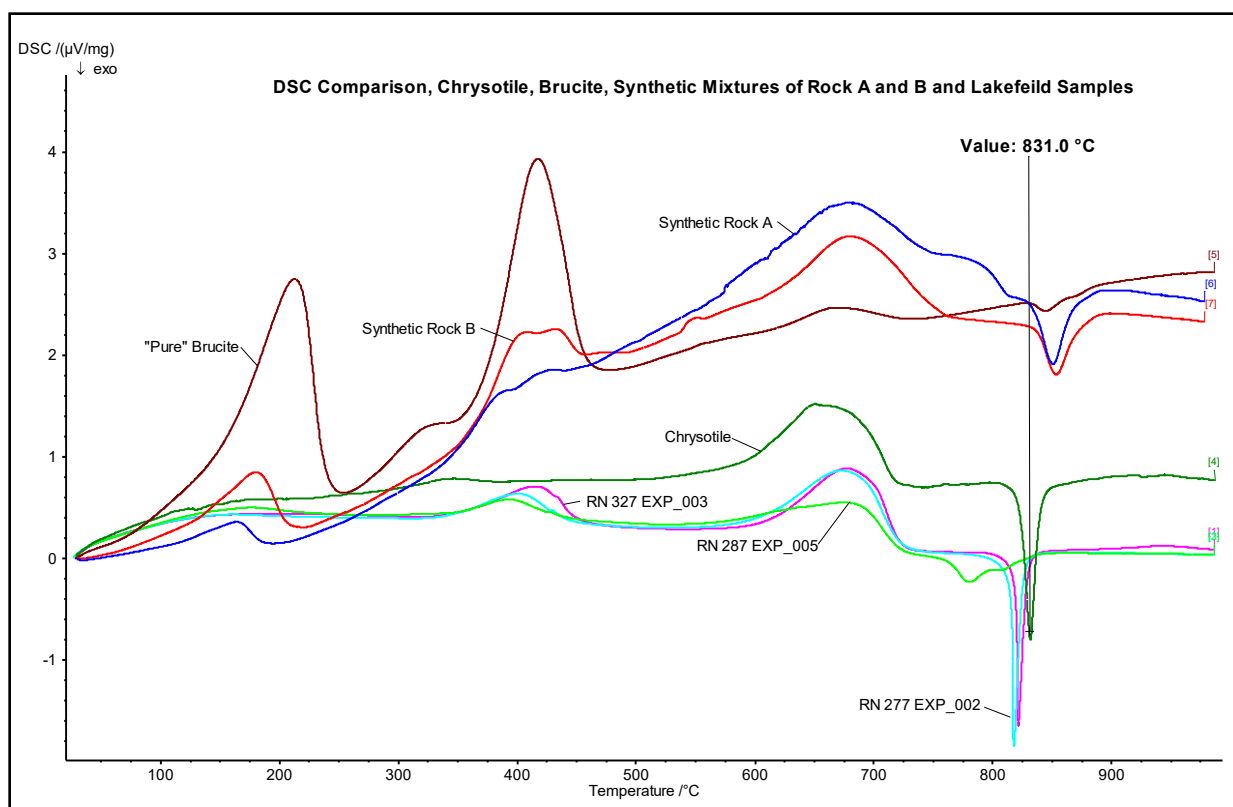
This report covers the findings of the thermal analysis work performed in attempting to use DTA techniques to quantify the amount of clino-chrysotile in Royal Nickel ores. The initial concept was based on a paper indicating that DTA could be used to distinguish clino-chrysotile from other serpentine minerals (antigorite and lizardite).

Initially a sample of pure clino-chrysotile was procured by XPS' mineralogy group, and subjected to Thermal Analysis. Characteristic peaks associated with thermal transformations were obtained, consistent with theoretical expectations. Dilution of the chrysotile with alumina permitted the production of 10% and 50% chrysotile reference samples, following the technique developed in the published paper..

However, when three samples of micronized ore from Royal Nickel were similarly subjected to the same thermal analysis conditions as the reference samples, the results were very discouraging, as the DTA traces showed either well over 100% chrysotile present (clearly impossible) or that other extremely hydrated species were present. At this stage it was concluded that while the technique demonstrated promise in that a sample of alumina spiked with 10% chrysotile clearly showed the presence of chrysotile at that level, the client samples contained very large amounts of, at the time, unidentified hydrated minerals which resulted in much larger mass changes and water evolution than anticipated. As a result of this unexpected result, phase 2 (quantification of the amount of chrysotile present in RN ore) was deferred until the minerals causing the large amounts of water evolution could be identified.

X-ray diffraction analysis indicated that substantial quantities of brucite and coalingite were present in the RN ore, in addition to lizardite and antigorite. XPS's Mineral Science department embarked on a search of their mineral specimen supply network to obtain pure reference samples of these minerals. After many frustrating attempts and frequent deliveries of mis-identified specimens, samples of supposedly relatively pure brucite, coalingite, antigorite and lizardite were obtained, and characteristic DTA traces for each of these minerals was obtained.

Comparison of these "pure" samples with the traces from the RN ores showed very poor correlations of reactions with temperature, and it was hypothesised that the presence of active MgO (from brucite de-hydration) resulted in a shift of reaction temperatures due to a secondary recrystallisation reaction occurring with the freshly hydrated Mg- silicate. To confirm this hypothesis, synthetic mixtures of "brucite" and chrysotile were blended in the proportions apparently present in RN ore. The mixtures were subjected to DTA analysis and the traces compared with those obtained for the ores. The results, while reasonably similar, were not sufficiently close to the natural traces to be able to predict the mineral composition with any degree of certainty.



An attempt was made at quantifying the total low Fe serpentine content of the samples submitted, and these results are shown compared with the mineralogical assessments made.

Estimated Mineralogy of Royal Nickel samples examined

Sample	Mineralogy Serpentine %	Thermal Serpentine %	Mineral Brucite %	Thermal Brucite %	High Fe Min %	Hi Fe Serp Thermal %	Other Mineralogy %	Other Thermal %
Sample 002	89	82	3	11	4	4	3	3
Sample 003	69	63	2	11	9	9	17	17
Sample 005	81	75	6	13	5	5	7	7
Rock A	64	24	16	30	1	30	17	17
Rock B	48	35	43	43	4	21	4	4

The study did confirm that in every case examined, the thermal analysis resulted in an increase in the estimate of the amount of brucite/ coalingite present and an appropriate downward adjustment in the amount of asbestiform mineral present

It was concluded that the extremely complex nature of the RN ores prevented simple quantification of the chrysotile content as originally envisaged and that phase 2 (the "routine" analysis of ores by TGA) should not proceed, especially given the inability to discriminate between lizardite and chrysotile, and the absence of a suitable brucite reference standard.

It is recommended that before further work continues, pure reference samples be acquired.



Table of Contents

Summary	i
Introduction.....	1
Testwork Summary.....	2
1.0 Background	2
2.0 Methodology.....	2
2.1 Thermal Analysis	2
2.2 Thermo Gravimetric Analysis (TGA).....	3
2.3 TGA with Mass Spectrometry (TGA-MS).....	3
2.4 TGA/ MS with Differential scanning Calorimetry / Differential Thermal Analysis (DSC/ DTA).....	3
2.5 Phase 1: Technique development	5
3 Results.....	7
3.1 Pure Chrysotile Reference Sample	7
3.1.1 Quantitative Confirmation	7
3.2 Client specimens.....	9
3.3 Other reference samples.....	12
3.4 Royal Nickel Rock A and B samples.....	20
3.5 SEM Identification of Minerals.....	24
3.5 Synthetic Mixtures.....	24
Discussion	27
Conclusions.....	31
Recommendations.....	32

Introduction

Royal Nickel are the owners of the Dumont Nickel Project, a large, low grade nickel deposit in Western Quebec. The ore body is highly serpentinised and contains a substantial amount of asbestiform fibres tentatively identified as clino-chrysotile (white asbestos). (Termed simply chrysotile from here on in this report). The presence of Chrysotile raises health concerns as it has historically been associated with respiratory diseases like asbestosis. Following extensive mineralogical investigations, attempts to quantify the amount of chrysotile present in the ore by conventional mineralogical techniques had proven unsuccessful. An article published in 2011 showed that Spanish investigators had successfully distinguished chrysotile from the serpentine minerals antigorite and lizardite and had successfully quantified the amount of chrysotile present in the ores by means of differential thermal analysis. (DTA)

Because the Extractive Metallurgy (EM) group at Xstrata Process Support (XPS) had extensive experience in the use of DTA for a variety of extractive metallurgy applications, and possessed a state-of-the-art Netsch Differential Scanning Calorimeter coupled to a Mass Spectrometer, the Mineral Science (MS) group of XPS suggested the client request some exploratory work from EM using the published method.

Following a review of the Spanish work, the EM group were confident that the technique was sound and that the same technique could be adopted for the Royal Nickel ore.

A diligent search by XPS's mineralogists resulted in obtaining a pure sample of chrysotile and the first stage of the investigation commenced. DTA traces of the pure chrysotile were produced, and diluted samples showed good correlations between peak intensities and concentration of chrysotile. An interim report was issued on 15 August 2012 covering the results to date and suggesting the route for the next phase of the investigation.

This report includes information from the progress report as well as the subsequent results on minerals other than chrysotile

Testwork Summary

1.0 Background

The process of weathering of igneous rocks results in the conversion of the original aluminosilicate minerals into a variety of oxidised and hydrated aluminosilicates including clays, talcs, and serpentines, ranging from bauxite (aluminium hydroxide) and kaolinite (fireclay) to a large number of chemically similar, but mineralogically distinctive silicates, including those with a needle-like fibrous habit ("Asbestiform" - the term used for crystals which have a large length to diameter ratio). One of the common asbestiform minerals is chrysotile or white asbestos, which was a very popular material for thermal insulation for many years until it was clearly linked to a variety of respiratory diseases, and subsequently fell into disuse.

The presence of asbestos in an ore gives cause for concern with respect to the health of workers involved in ore processing, and places stringent reporting requirements on the owner. A clear difficulty arises however, in that many other minerals have a similar asbestiform appearance, but are not designated substances, including lizardite and antigorite, which have a similar habit and almost identical chemistry.

Sophisticated mineralogical techniques like electron probe micro analysis (EPMA) are unable to distinguish between the various asbestiform minerals because they have very similar bulk chemistries, in that the Si-Mg ratios are almost identical, by virtue of their origin, and they only differ in the amount of hydration, and X-ray techniques are unable to detect hydrogen and oxygen with sufficient accuracy. X-ray diffraction can distinguish clearly between various minerals, because it is based on the unique crystal structure, but it is not sufficiently sensitive to permit quantification of a few percent chrysotile in ore.

Differential Thermal Analysis is based on a completely different approach, and in essence used the hydration differences to distinguish between various minerals. The technique is explained in more detail in the following section.

2.0 Methodology

2.1 Thermal Analysis

Since Thermal Analysis, of which Differential Thermal Analysis (also known by the alternative name of Differential scanning Calorimetry) is a sub set, some background on the various modes and typical equipment used for Thermal Analysis are given below.

Thermal Analysis is a frequently applied technique in those fields where the physical and chemical changes taking place as a result of thermal modification are important, and covers a wide field from characterisation of waxes to evaluation of heats of reaction during ore extraction. Because of the value of this technique to extractive metallurgy and chemical engineering in particular, the technique has been in use by XPS and its predecessors

Falconbridge Technology Centre and Noranda Technology Centre for many years, using state-of-the art equipment throughout.

Since every physical and chemical change taking place in a material is associated with some or other energy change, the technique at heart makes use of this principal to characterise the changes in the form of temperature, mass or energy differences. Typical transformations that are routinely monitored include- melting and solidification, recrystallisation, calcination, dehydration, phase transformations and all chemical reactions.

2.2 Thermo Gravimetric Analysis (TGA)

The most common application of thermal analysis is Thermogravimetric Analysis (TGA), and as the name suggests it uses the mass changes associated with chemical reactions to quantify not only the mass change associated with a given reaction, but also the temperatures at which the reactions commence and cease. The test normally involves heating a known mass of the substance to be examined, loaded on a micro-balance and enclosed in the heater in a controlled atmosphere and heated at a controlled rate. As chemical reactions occur between the sample and the atmosphere, the sample mass changes and this is recorded by the balance.

2.3 TGA with Mass Spectrometry (TGA-MS)

A popular refinement of basic TGA is to couple the system to a mass spectrometer (MS) in order to identify the gaseous product associated with the chemical reaction taking place within the furnace enclosure.

2.4 TGA/ MS with Differential scanning Calorimetry / Differential Thermal Analysis (DSC/ DTA)

The most comprehensive form of thermal analysis (and also the most delicate to perform) TGA/ DTA (Differential Thermal Analysis)/MS or TGA/DSC (Differential Scanning Calorimetry)/MS utilises both the sample to be tested and an inert reference sample, both of which are mounted on the balance and enclosed in the furnace. Similarly to TGA-MS, the samples are heated at a controlled rate, and mass changes and gaseous product evolution are monitored, but in addition, sensitive thermocouples connected to each of the samples measure small differences in heat content between the sample undergoing testing and the reference sample, and the differential in temperature associated with these minute temperature changes are recorded as a differential temperature between the two materials. With careful monitoring of these differences, actual calorimetric measurements associated with specific changes can be measured.

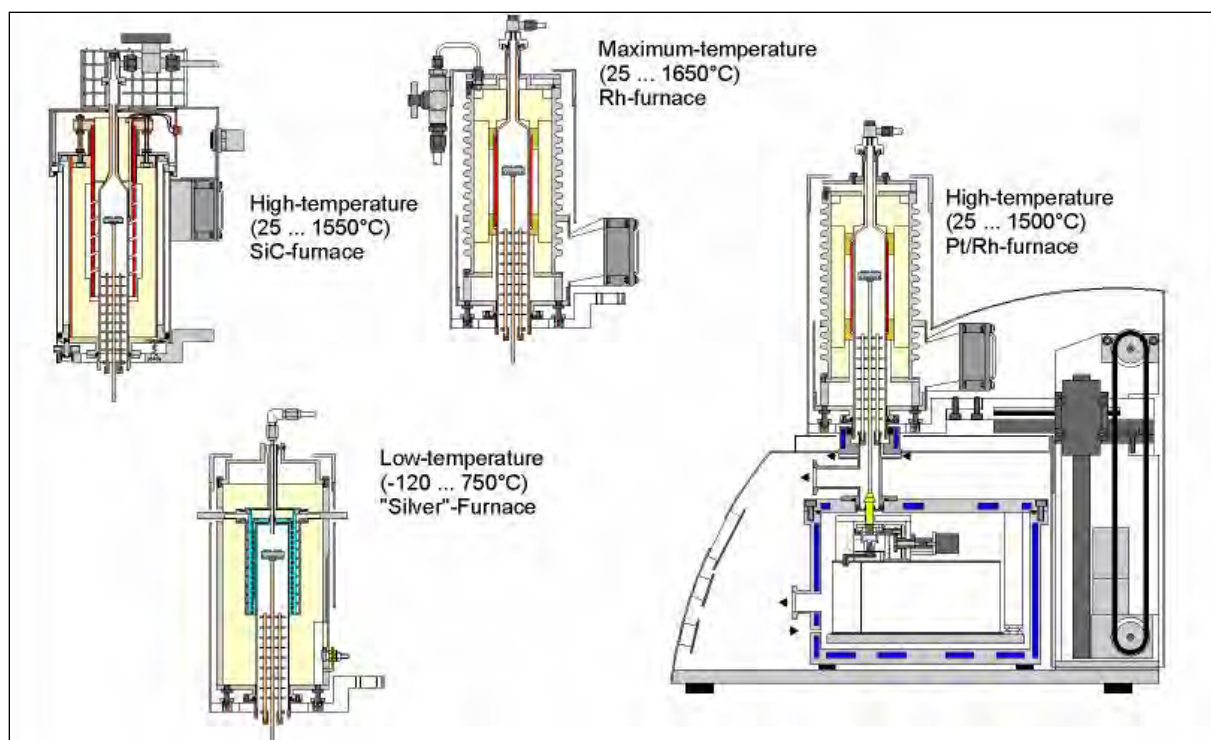


Figure 1: Various Thermal Analysis configurations

Figure 1 above shows the conceptual differences in the various modes of operation.



Figure 2: The Netzsch Jupiter STA 449C Thermal Analyser (open position) and the Netzsch Aeolos 403C Mass Spectrometer.

Figure 2 above shows the Netzsch combination TGA/DTA/MS apparatus in use at XPS, without its associated support equipment (vacuum pumps and furnace controllers).

2.5 Phase 1: Technique development

Based on provisional information provided by Royal Nickel, the focus of this first phase of work was on developing a reliable technique to quantify the amount of chrysotile present in a serpentinised rock. The expected range of chrysotile content was up to 10%.

Chrysotile, in its pure form is an asbestiform hydrated magnesium silicate, with a theoretical composition $Mg_4(Si_2O_5(OH)_4)$ which on heating will undergo dehydration to initially form $Mg_3Si_2O_7$ and $2H_2O$ with an associated mass loss of $36/277.1$ or around 13.0%. The dehydration and simultaneous restructuring of the asbestos into a meta-stable silicate will produce a distinctive mass loss peak, a water peak and an endothermic energy peak. Further heating will lead to the ultimate conversion of the magnesium silicate into forsterite and silica, but with no mass change or gas product detected, only a modest energy peak.

A rock sample with 10% chrysotile will be expected to show a mass loss of 1.3% during heating, (assuming no other hydrated minerals are present!) while a sample with only 1% chrysotile will be expected to show a mass change of 0.13% and a water peak on the MS of $1/10^{th}$ the intensity of the higher concentration sample. Since the dehydration reaction is not in essence a chemical reaction so much as a thermal transformation, the peak heights and intensities will not be influenced by the carrier gas, and a gas appropriate for avoiding fragments close to the molecular mass of water ($MM=18$) can be selected.

Using the Thermal Analysis equipment in combination TGA/DSC/MS mode, XPS believed that with 4 samples, sufficient “proof of concept” work on the technique could be performed to allow the client to make an informed decision as to whether the technique developed satisfactorily provides a sufficiently accurate estimate of the percentage of chrysotile present in the sample.

The method was therefore designed to follow the method outlined by Viti et al⁽¹⁾, whose DTA outputs are shown in figure 3 below.

It was noted in their paper that the method proved more reliable for Chrysotile in Lizardite than for Chrysotile in Antigorite. No other hydrated minerals were noted as being present in their paper. At this stage of the XPS investigation the proportion of serpentine minerals and their relative abundance were unknown in the Royal Nickel ores, although it was noted that beside serpentinite, dunite and brucite were also present.

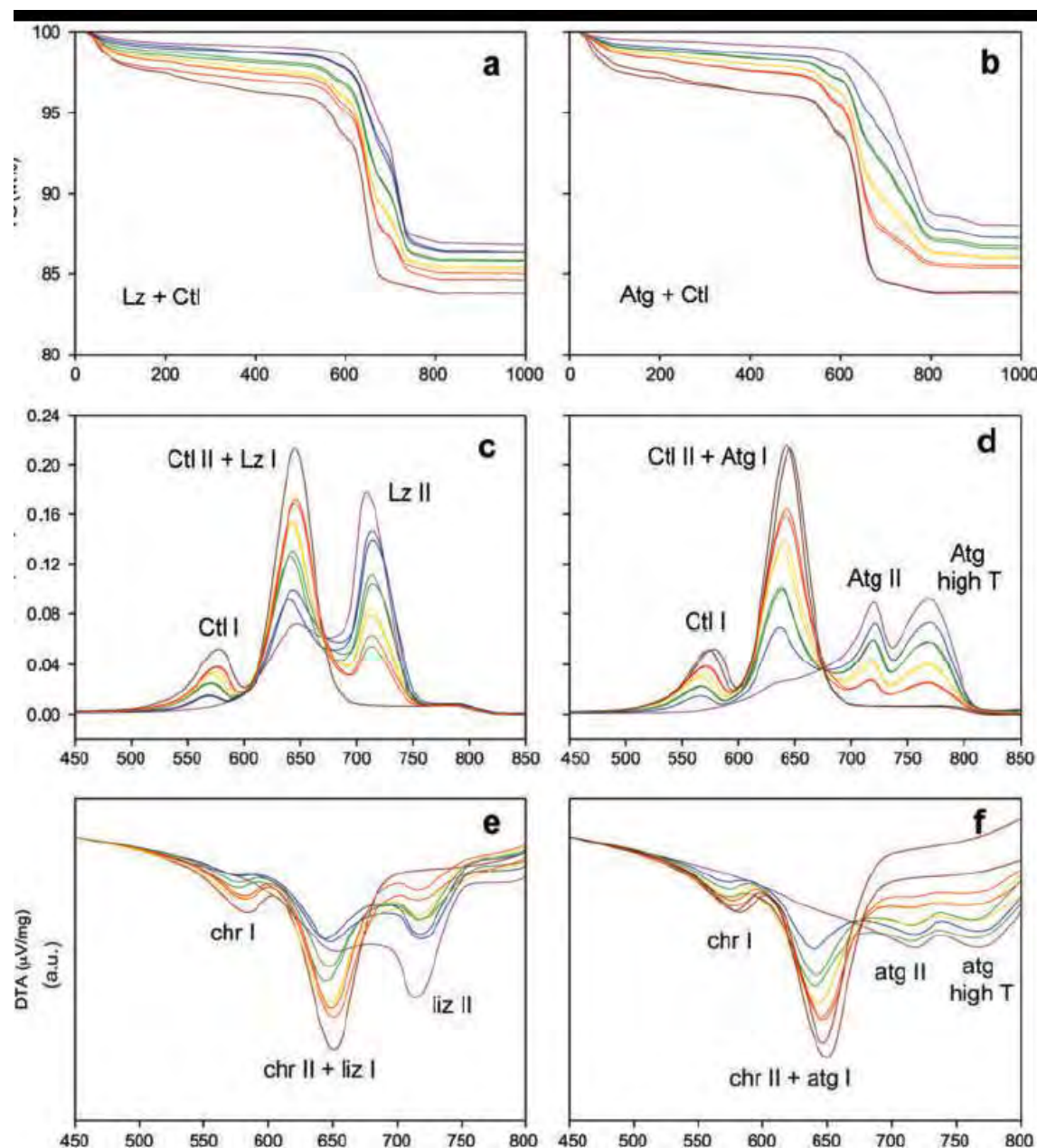


Figure 3: TGA/ DTA results obtained by Viti et al.⁽¹⁾

Note that the supposedly “pure” chrysotile in these figures shows in the top 2 (a and b) figures a total mass loss of almost 17% (4% more than the theoretical, and that almost 4% mass loss is noted below 500°C. (refer to the lower, dark brown curve in both figures.) In c and d this lower temperature portion of the mass loss is not displayed.

3 Results

3.1 Pure Chrysotile Reference Sample

3.1.1 Quantitative Confirmation

In order to establish the relative accuracy of the technique, XPS obtained a sample of pure chrysotile. Confirmation of its purity was obtained by X-ray diffraction. The XRD trace is given in figure 4 below. The specimen obtained is clearly of very high purity. The significance of this will be referred to in more detail in the discussion.

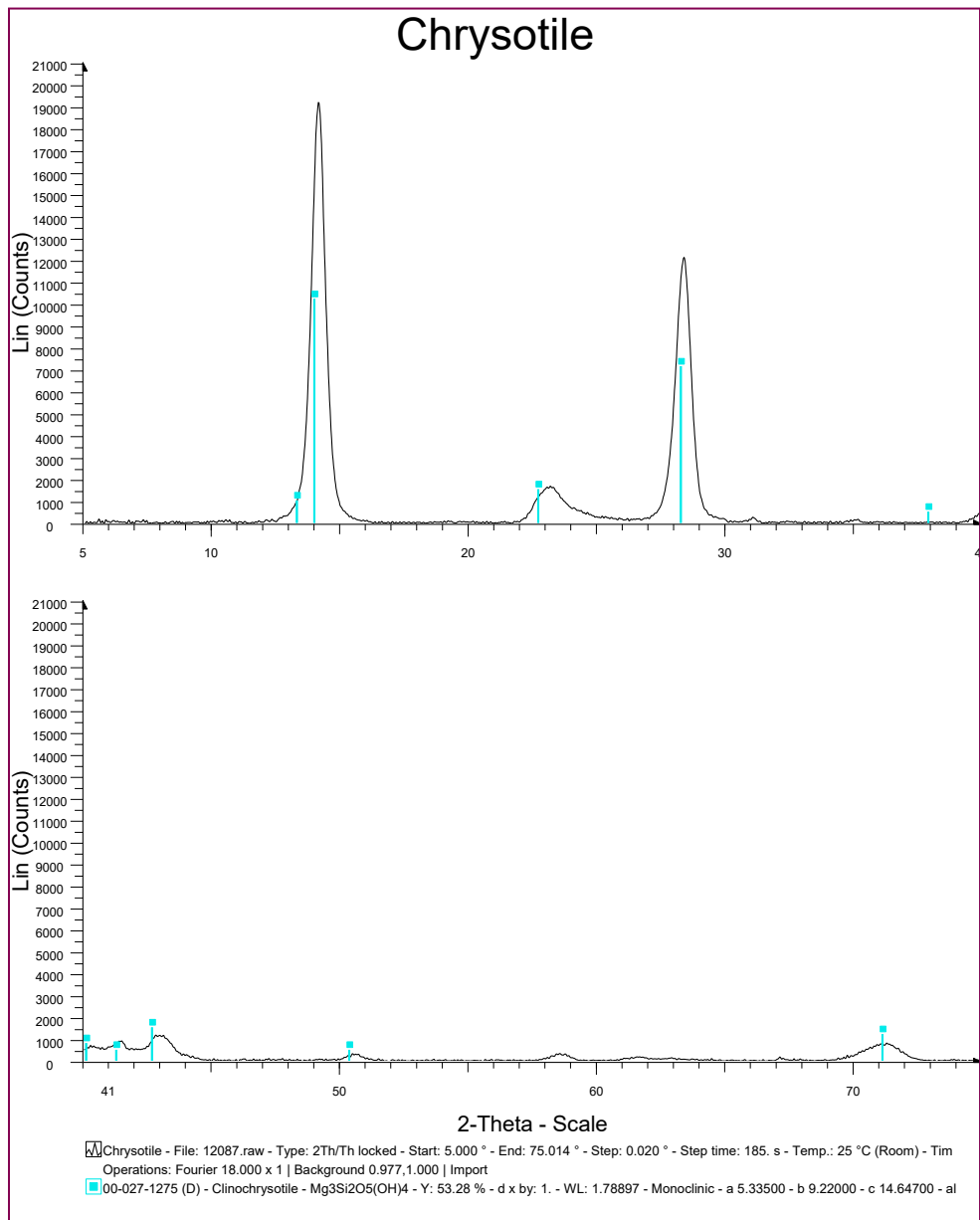


Figure 4: XRD Trace of Clino-chrysotile sample.

A small sample of the pure chrysotile was subjected to DTA as described above. A second specimen was created by blending 10% chrysotile with 90% alumina, known to be inert, yet of similar composition to the host rock. A third sample at a 50/50 blend was also tested to establish the linearity of the peak heights and areas in order to provide a calibration value for quantification. The 3 DTA traces are shown in figure 5 below:

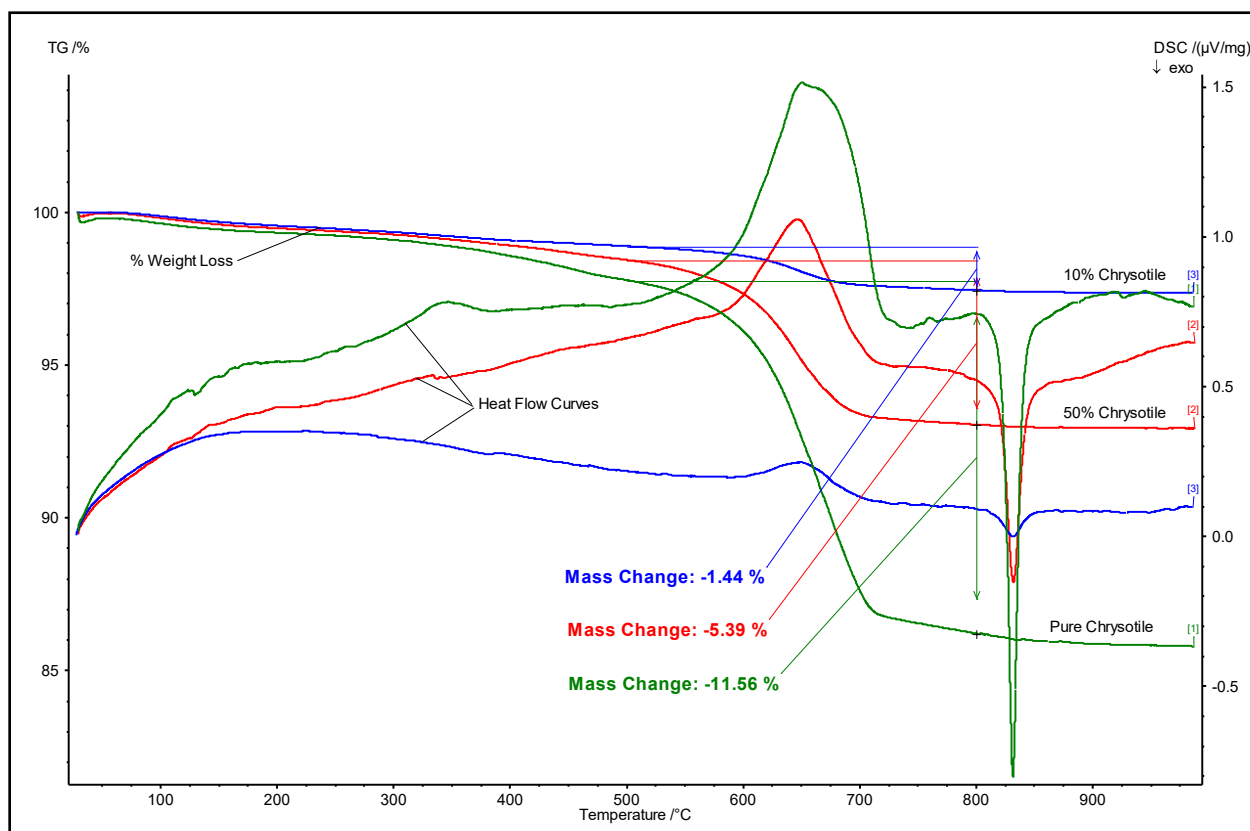


Figure 5: DTA Traces of pure reference samples

These 3 traces clearly indicated that the DTA is able to identify the presence of chrysotile at concentrations around 10%, and that dilution merely dampens the magnitude of the changes identified with the thermal decomposition of chrysotile. Note that in the above figure the vertical axes are kept the same for comparison, but for concentrations below 10% the sensitivity of the scale can be adjusted to provide accurate estimations of the amount of chrysotile present in the 0-10% range.

The mass loss obtained is very much closer to the theoretical value than the values obtained in the Viti publication, and it is worth noting that almost no mass loss was obtained below 500°C in contrast to the Viti sample, which made mention in the text of moisture absorption. The XPS sample was thoroughly dried before analysis. No energy peaks are evident below 500°C and the major endothermic peak is associated with mass loss and water evolution at 640°C. A very strong and sharp exothermic peak is seen at 825°C which is assumed to be associated with the formation of forsterite. This peak is not identified in the Viti publication.

3.2 Client specimens

Following these encouraging results, the technique was applied to 3 samples of Royal Nickel ore identified as: 11-RN-287-EXP005, 11-RN-327-EXP003 and 11-RN-277-EXP002. The mineralogy of the samples, as supplied by the client is shown in table 1 below

TABLE 1: Royal Nickel Sample Mineralogy.

SAMPLE	Pentlandite %	Hazelwoodite %	Awaruite %	Olivine %	Magnetite %	Tot Mg,Fe Serpentine %	Brucite %	Coalingite %	OPX %	CPX %	Low Fe-Serpentine %	High Fe-Serpentine %	Talc %
EXP_599	0.000827	0.409225	0.001654	0.08785	5.363593	86.927224	6.4515	0.024875	0.004	0.300915	11.535405	5.210085	0.005685
11-RN-277-EXP002	0.016992	0.008968	0.172615	0.02388	2.403182	93.759232	2.6007	0.104893	0	0.01456	13.579124	4.729725	0.001545
11-RN-287-EXP005	0.81474	0	0.022425	13.9694	1.699454	78.484527	0.8708	0.721831	0	0.207311	6.998064	9.272269	0.00164
11-RN-327-EXP003	0.814387	0.019757	0.005311	0.00388	6.087127	86.720042	5.7038	0.048437	0	0.00939	20.761251	5.121561	0

This data, while not of much direct value to the DTA testing, does indicate the large variability in mineral content, with sample 5 being high in olivine and sample 3 high in magnetite and brucite (magnesium hydroxide- $Mg(OH)_2$). Sample 5 also showed a higher amount of coalingite ($Mg_{10}Fe^{3+}_2(CO_3)(OH)_{24} \cdot 2(H_2O)$) than the other 2 samples. Both of these minerals will exhibit substantial mass loss and water evolution on heating.(37.3%and 29.3% respectively, based on a) $Mg(OH)_2 = MgO + H_2O$ and b) $Mg_{10}Fe^{3+}_2(CO_3)(OH)_{24} \cdot 2(H_2O) = 10MgO + Fe_2O_3 + CO_2 + 14H_2O$).

Based on the reported mineralogy, the samples would be expected to exhibit mass losses approximating those calculated below:

TABLE 2: Calculated mass loss based on mineral content

Sample	% Serpentine	Mass loss from serpentine*	% Brucite	Mass loss from brucite	% Coalingite	Mass loss from coalingite	Total Calculated mass loss
Exp 599	86.9	11.3	6.45	2.4	0.025	0.007	13.7
EXP 002	93.8	12.2	2.60	0.97	0.105	0.031	13.2
EXP 005	78.5	10.2	0.87	0.32	0.722	0.211	10.7
EXP 003	86.7	11.3	5.70	2.13	0.048	0.014	13.4

*Note: Assuming all the serpentine is chrysotile!

Sample 599 was not available, but TGAs on the other 3 samples showed mass losses of approximately 80% of what would be expected if all the serpentine identified was chrysotile. The mass losses at low temperature suggest that the quantity of brucite present is being underestimated by about 50% in the mineralogical examination.

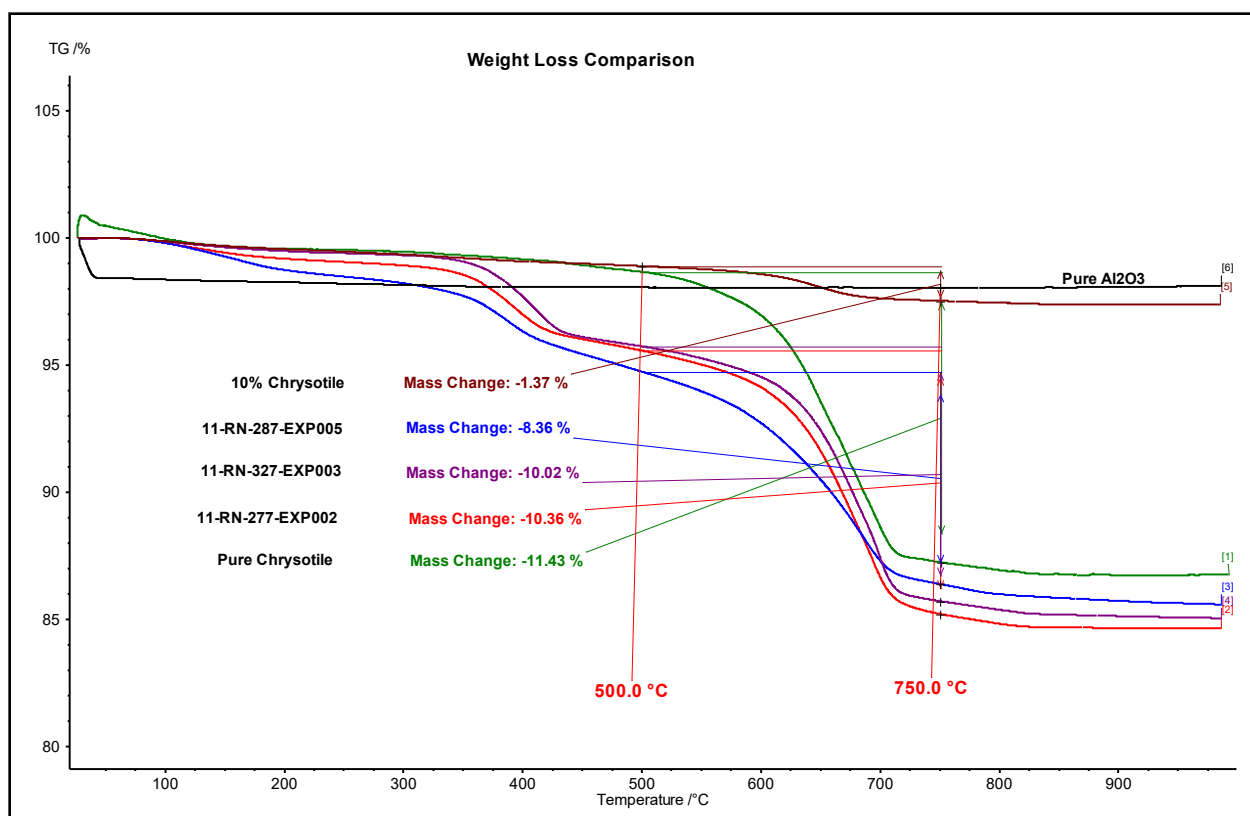


Figure 6: Mass loss via TGA on 3 Royal Nickel Samples, with chrysotile comparison superimposed.

As expected, the TGA results shown above are unable to give a complete quantification on their own. The mass loss on all 3 samples at 350°C is consistent with the thermal decomposition of brucite according to published data, and the amount of mass loss associated with brucite is close to that estimated from the mineralogy. The loss of the crystal water from the coalingite occurs at lower temperature. (Hence more water at lower temperatures is expected for #5, and is seen in the blue line in figure 6) .

Coalingite will be expected to loss mass in 3 ways- crystal water, hydroxide decomposition and carbon dioxide, all at different temperatures, and sample 5 does confirm coalingite, but more than is estimated by mineralogy.

Switching attention to the Mass Spectrometer results in figure 7 provides further confirmation of the behaviour observed.

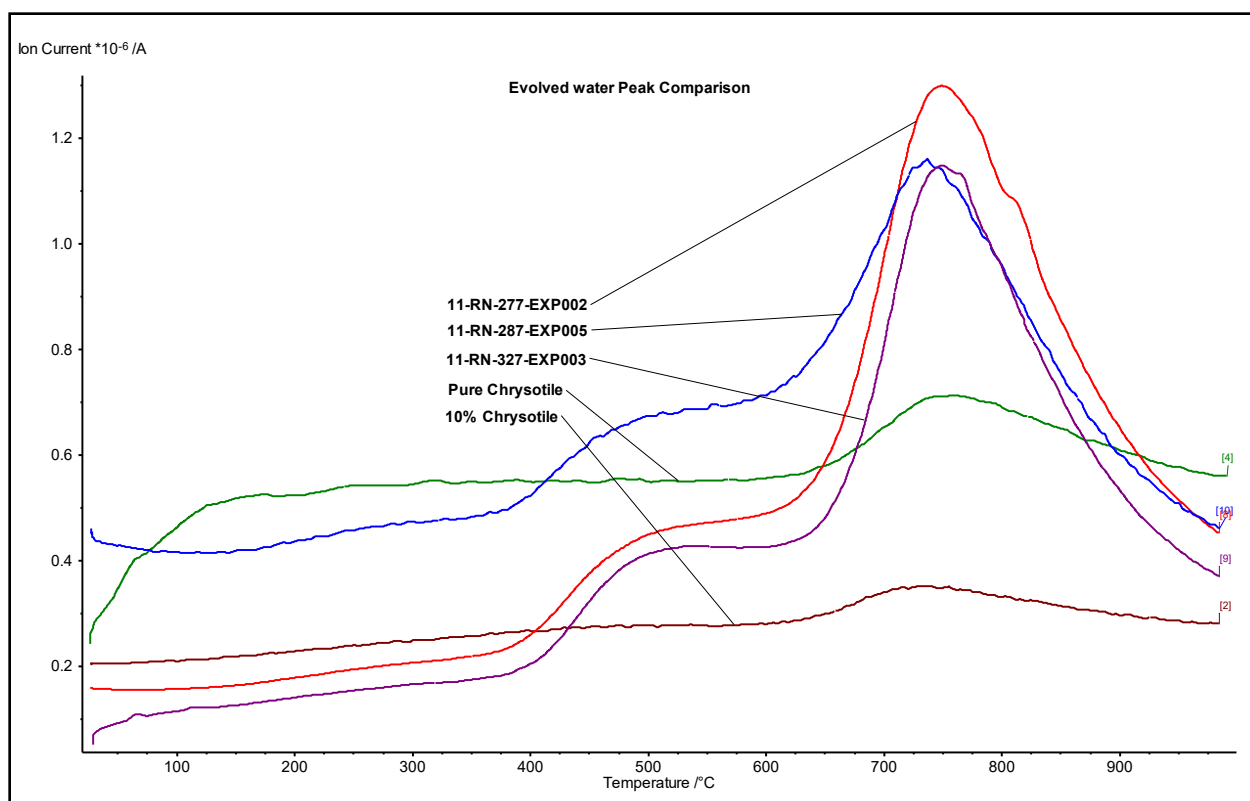


Figure 7: Mass Spectrometer results for 3 RN samples.

In this curve the water peaks during heating are displayed. The peaks for the three Royal Nickel samples are much higher because a 50 mg sample was used for the tests. A 7.5 mg sample was used for the pure chrysotile test and an equivalent amount of chrysotile mixed with Al_2O_3 was used for the 10% test.

The 3 water evolution shoulders identified at temperatures between 400 and 600°C in all 3 Royal Nickel samples are not present in pure chrysotile, and suggest that different serpentinised minerals are responsible for the very substantial mass losses and water evolution observed in the critical (from a diagnostic perspective) temperature zone 500-750°C. Clearly the brucite and possibly coalingite complicate the diagnostics compared to an assumption of chrysotile in inert host rock.

Finally the Heat flow, as determined by the differential scanning Calorimetry, as shown in figure 8 below, provides further diagnostic insight.

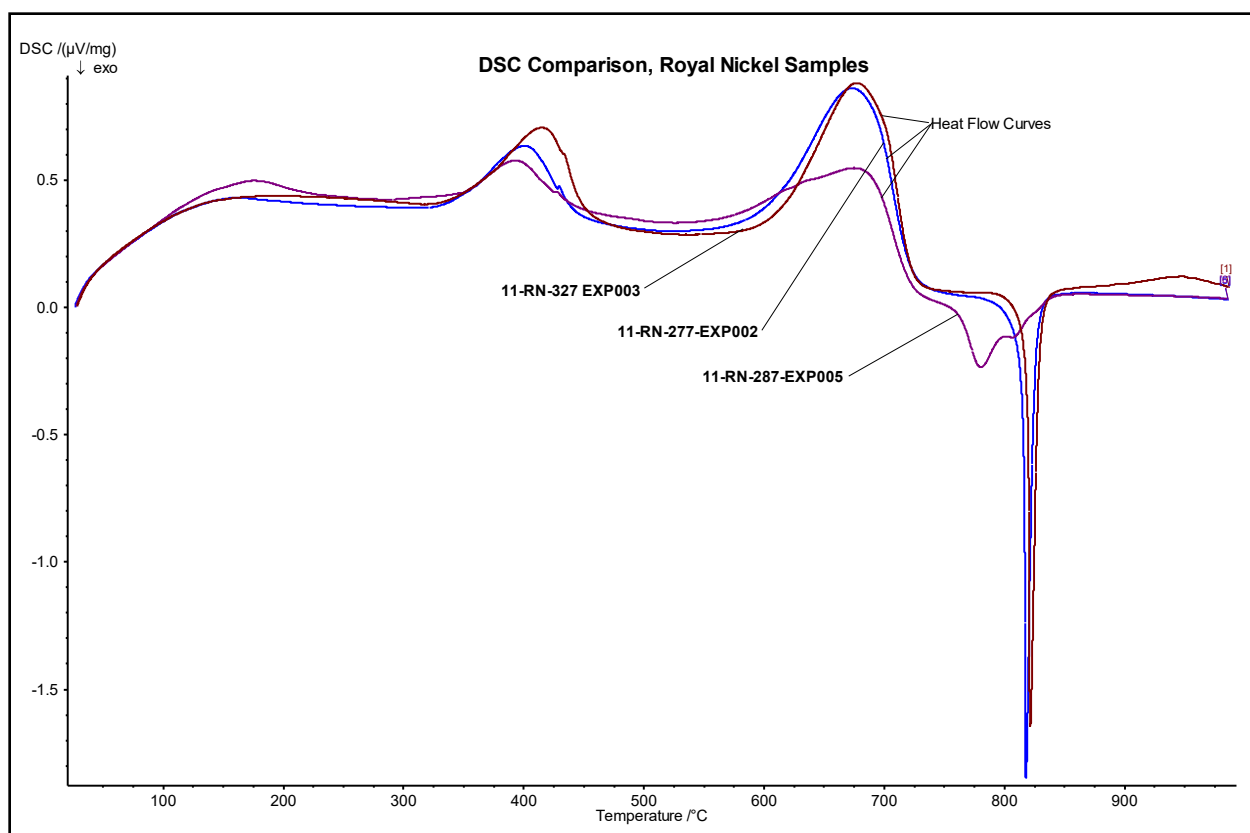


Figure 8: Heat flow by Differential Scanning Calorimetry (DSC)

Figure 8 shows endothermic peaks in the 350-400°C range, consistent with Brucite decomposition. It also shows strong endotherms in the same region as those for chrysotile (600-700°C) but of even higher magnitude than pure chrysotile. The exotherms believed to be associated with forsterite formation occur at a slightly lower temperature than pure chrysotile.

Sample 5 shows a very sluggish endotherm around 650°C but a minor exotherm at 780°C, a lower temperature than the forsterite formation reaction.

Since at this stage of the project we were unable to complete the quantitative estimation of the chrysotile content of the Royal Nickel samples, and interim report on the findings to date was issued and among its recommendations was the need to obtain TGA traces of other serpentine minerals (Antigorite and Lizardite) as well as Brucite and Coalingite, in order to compare them with the traces obtained on the RN samples.

3.3 Other reference samples

Following the recommendation in the interim report that pure samples of Antigorite, Lizardite, Brucite and Coalingite be examined using TGA to determine their characteristic patterns and hopefully in this way identify the presence of chrysotile by a process of elimination of the contribution of other minerals of the TGA traces obtained in the RN samples. The XPS Mineral science group began a process of contacting their network of North American mineralogists for pure reference specimens of the above mentioned minerals.

This proved much more difficult than expected, and X-ray powder diffraction analysis of many of the specimens submitted showed them to have been completely mis-identified. In other cases specimens of the desired minerals had other minerals intergrown with the desired mineral, and even with care in selecting the portion of the specimen to be analysed a single high purity reference specimen could not be obtained. Eventually after months of frustrating and time-consuming specimen hunting it was decided to use the best of the specimens obtained and to try to adjust the traces for the presence of the contaminants. This was acknowledged as not being ideal but seemed the only option to progressing the investigation. To illustrate the problem the following figures contain the XRD pattern and thermal Analysis trace for the principal mineral present in the specimen.

3.3.1 Antigorite

The sample below, labelled “Antigorite” is illustrative of the difficulties mentioned- in spite of repeated promises by suppliers that the sample was indeed what it was stated to be, the diagnostics from the XRD regularly showed either complete misidentification or at best contamination. The ease with which macro specimens are so frequently misidentified by “experts” is a measure of the complexity of the original problem- Simply identifying a mineral on the basis of its habit is unsatisfactory.

The sample below does at least contain some antigorite, whereas the other specimen turned out to be high purity ferro-actinolite.

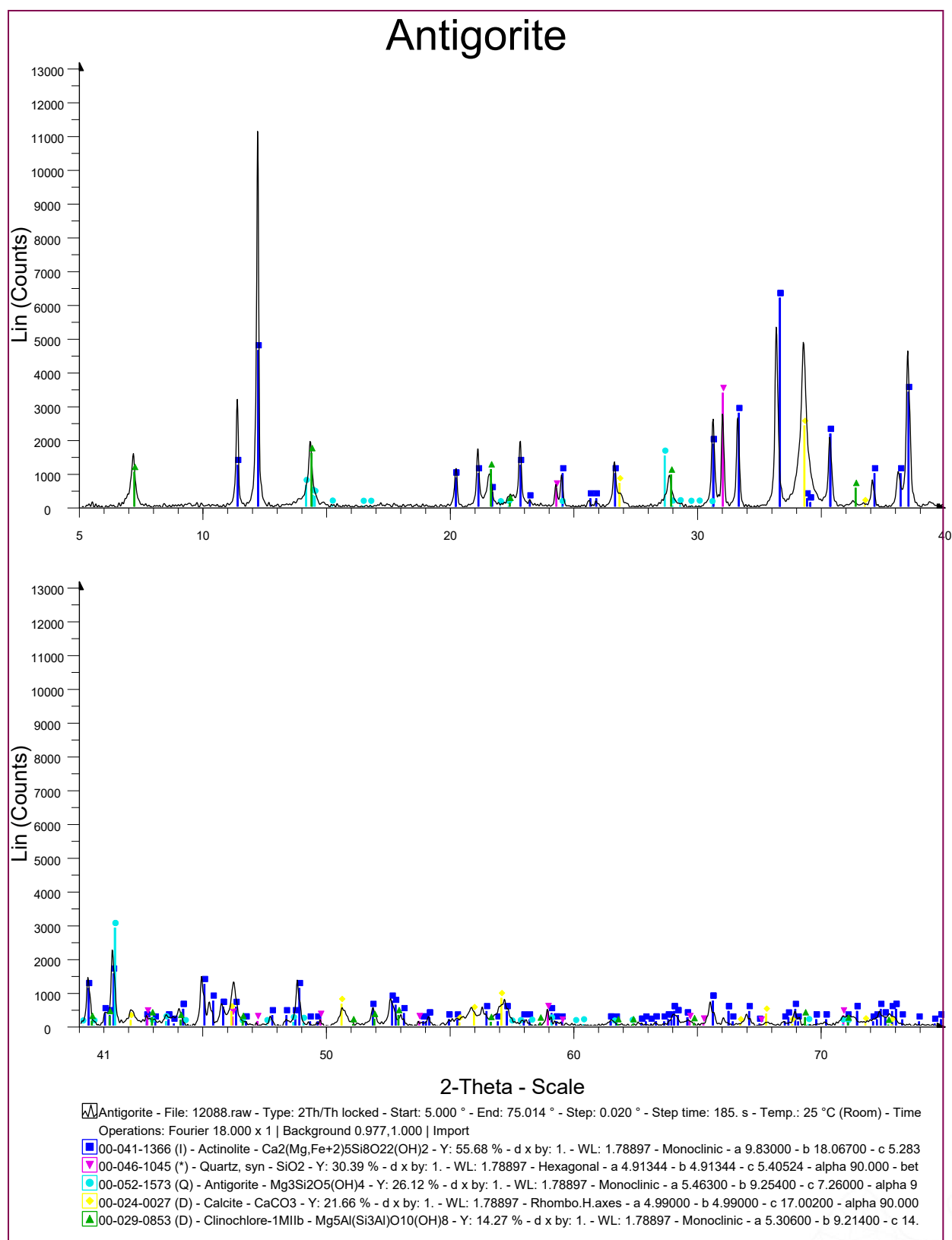


Figure 9: "Antigorite." 12088 (Provisionally visually identified as Antigorite), shown by XRD to be mainly **actinolite**, with some calcite, a small amount of antigorite and some clinocllore.

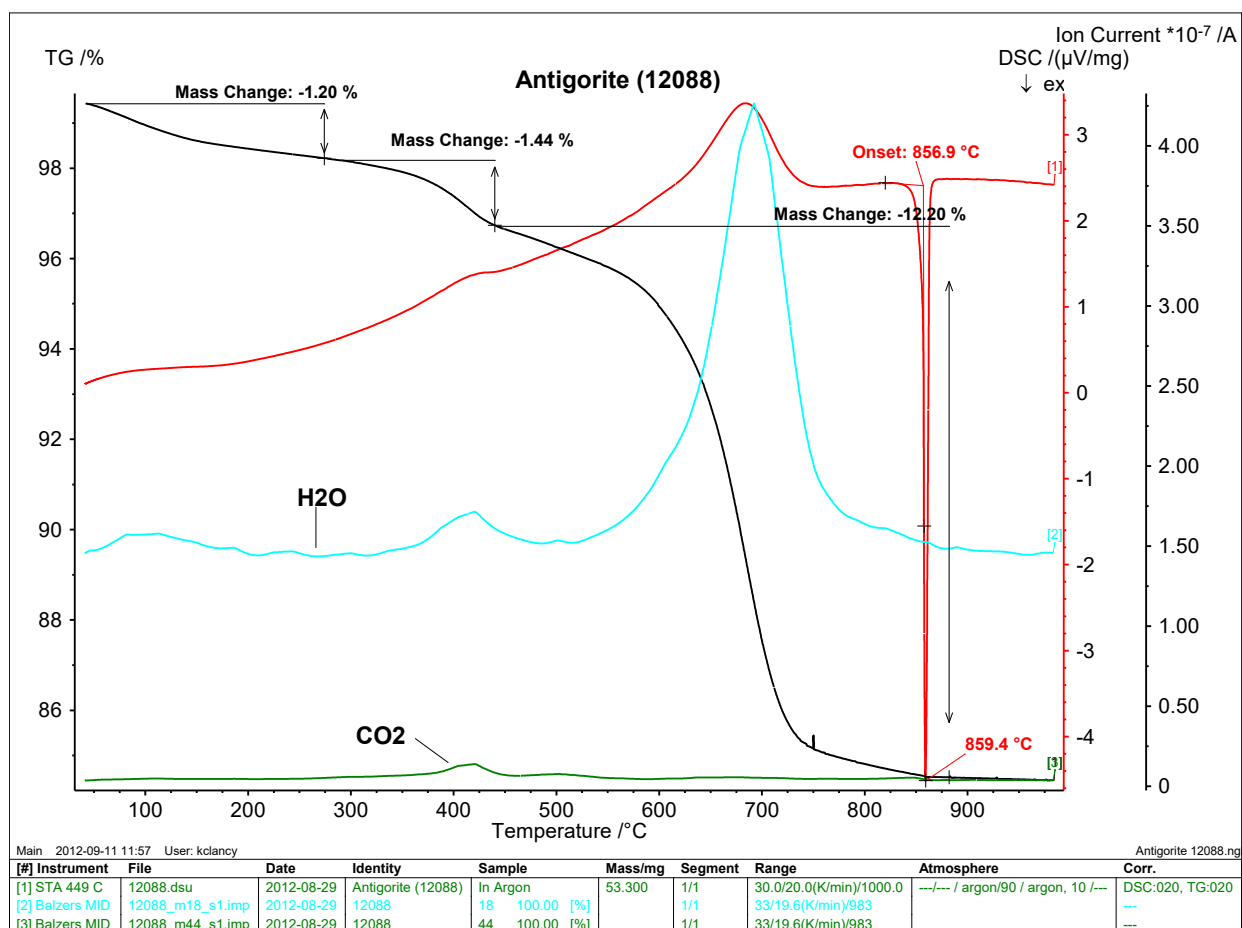


Figure 10: TGA Trace of supposed Antigorite (12088) actually a mixture of mainly actinolite with calcite and a small amount of antigorite.

This TGA trace, performed in good faith on a sample of “high purity antigorite” shows the presence of at least one carbonate and two hydroxide containing species. Subsequent XRD analysis showed it to be mainly actinolite.

To date no satisfactory reference sample for antigorite has been uncovered.

3.3.2 Lizardite

The specimen of lizardite associated with the XRD pattern in figure 11 below is at least mainly lizardite. It is unfortunately associated with intergrown dolomite, which would be expected to alter the high temperature TGA results.

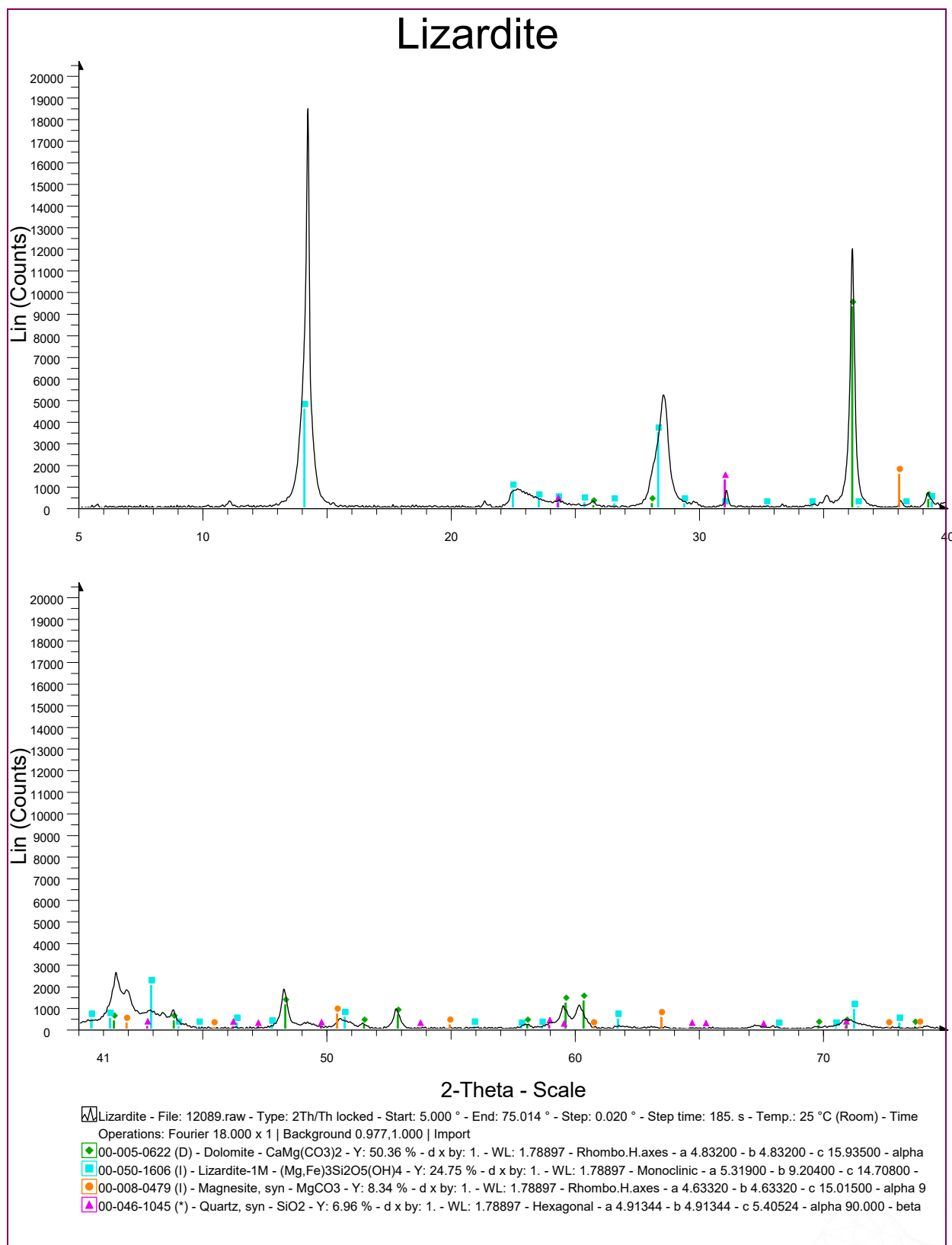


Figure 11: XRD trace for Lizardite, unfortunately contaminated with dolomite.

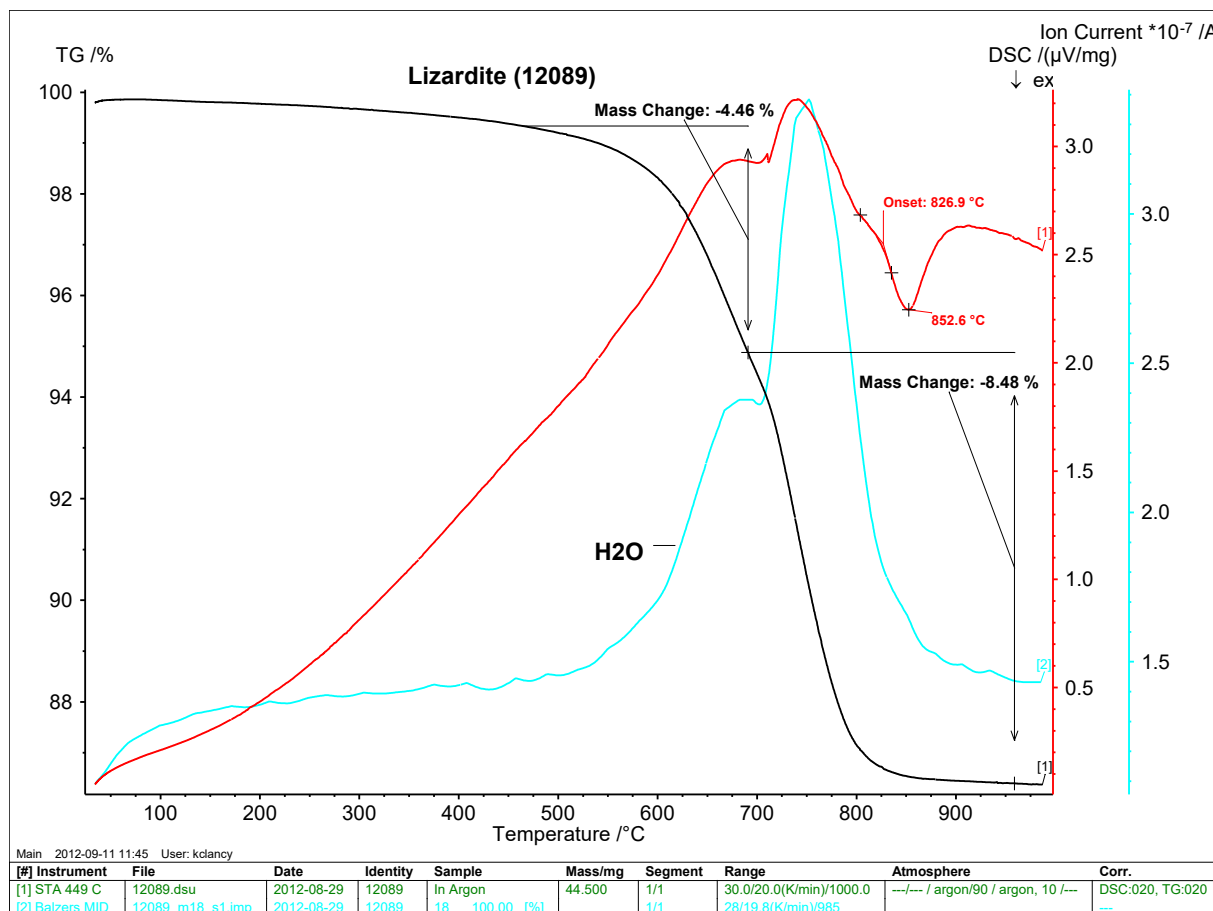


Figure 12: TGA Trace for Lizardite

The shape of the TGA energy curve at high temperature is very similar to what is seen in RN sample 005. The TGA trace shows water evolution only occurring above 600°C

3.3.3 Brucite

Sadly brucite was the most frequently mis-identified mineral amongst those requested. The first 3 samples of supposed brucite turned out to be contaminated pyroaurite (similar to coalingite, but with a higher moisture content.)

Since Brucite is the mineral likely to have the most significant influence on the Royal Nickel TGA results, it was very important that a reference sample be obtained.

Although no sample of brucite was obtained, the sample, shown below, from Black Lake, Quebec, identified as a mix of clino-chrysotile, pyroaurite and magnesioferrite was analysed by TGA, and the pattern obtained is remarkably similar to that obtained for the Royal Nickel TGA's, as will be shown later.

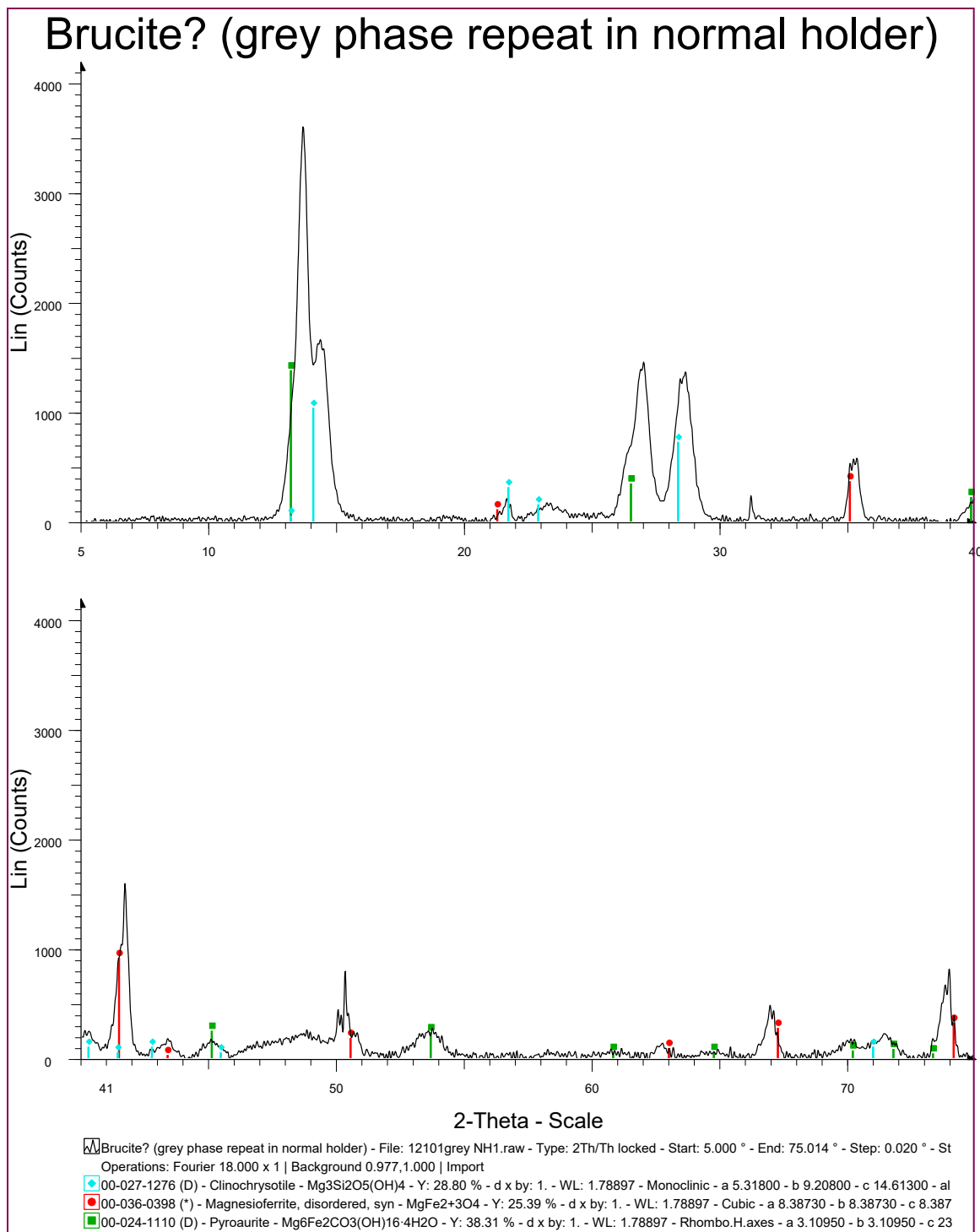


Figure 13: "Brucite" - actually a blend of chrysotile and pyroaurite.

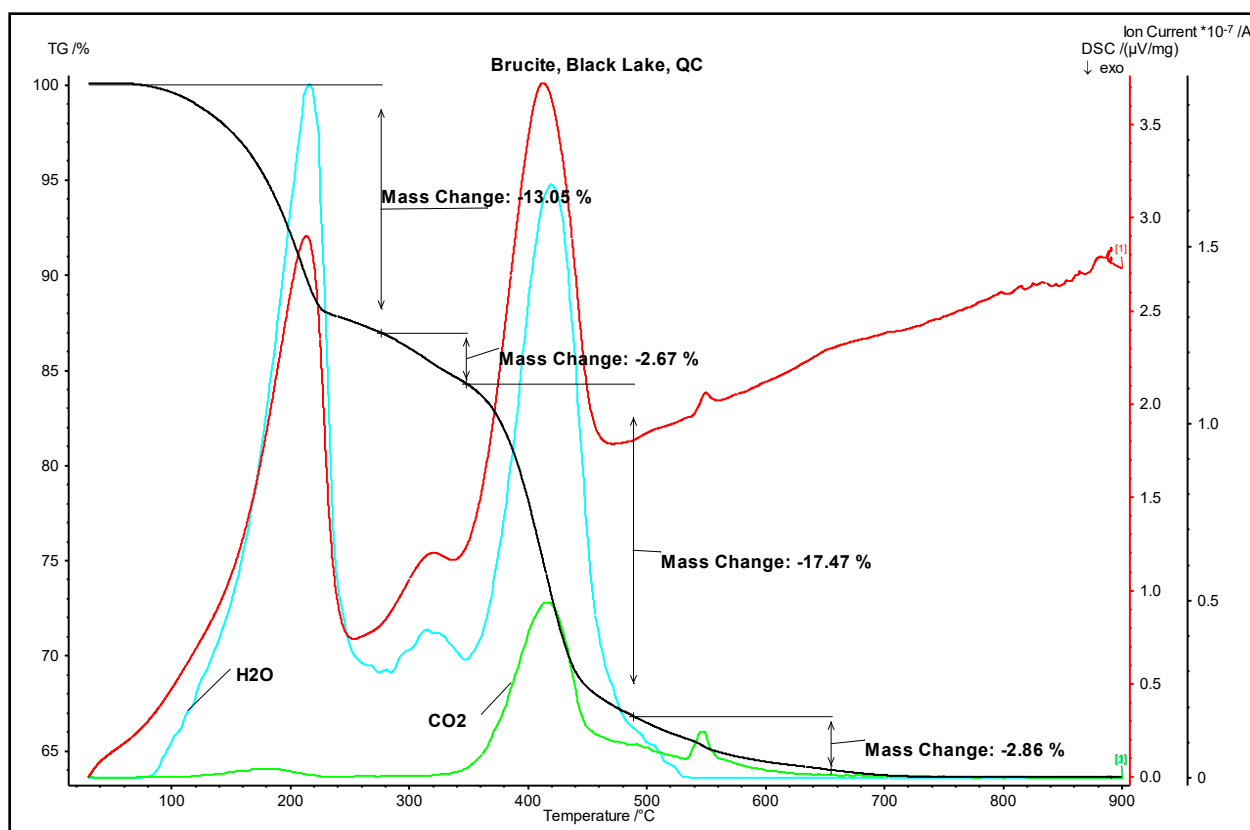


Figure 14: TGA trace of mis-identified Brucite, actually a chrysotile-pyroaurite mix.

Since brucite is magnesium hydroxide, and this specimen shows not only 3 water evolution peaks but also 3 carbon dioxide peaks it cannot be brucite. The low temperature water peak is indicative of crystal water and its 13% mass change at low temperature is consistent with a substantial amount of pyroaurite, and relatively little chrysotile, since none of the high temperature peaks associated with chrysotile are present.

3.3.4 Coalingite.

Coalingite is in sense a blend of brucite, magnesite, siderite and goethite, and is expected to decompose readily at very low temperatures, with crystal water, the hydrated water and finally carbon dioxide following, and no exotherm due to a recrystallisation reaction expected at higher temperatures, since magnesium and iron oxide are mutually soluble. No suitable specimen of coalingite could be sourced.

Pyroaurite is a similar more highly weathered version of the same blend: $\text{MgCO}_3 \cdot 5\text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot \text{Fe}_2(\text{OH})_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ which will yield more water at low temperature, and show a higher mass loss in TGA overall. The mass loss expected on heating pure pyroaurite is calculated to be a total of 37.8%. The water is expected to evolve in 3 stages and the CO_2 should be the last to evolve. The predicted mass changes are 11%; 8.1%; 13.6% and 6.7%. The actual losses from fig 14 are: 12%; 9% and 19% (water and CO_2 combined) to give an overall 37% mass loss, very close to the theoretical value. The decomposition of the magnesium hydroxide in pyroaurite is expected to be at a similar temperature to the brucite decomposition- around 350°C, and 8% mass loss. The reason for providing this fairly detailed breakdown of the pyroaurite

decomposition is because this is the material initially incorrectly identified as brucite and used in the subsequent attempts to reproduce brucite-chrysotile mixtures.

3.4 Royal Nickel Rock A and B samples

Following the difficulties in reconciling the mineral content of the pulverised rock samples, two larger pieces of Royal Nickel ore were submitted, labelled Rock A and Rock B, shown in figures 15 and 16 below



Figure 15: "Rock A"



Figure 16: Area sampled in Rock A

Scrapings taken off the surface of the rock were analysed by TGA resulting in the traces shown

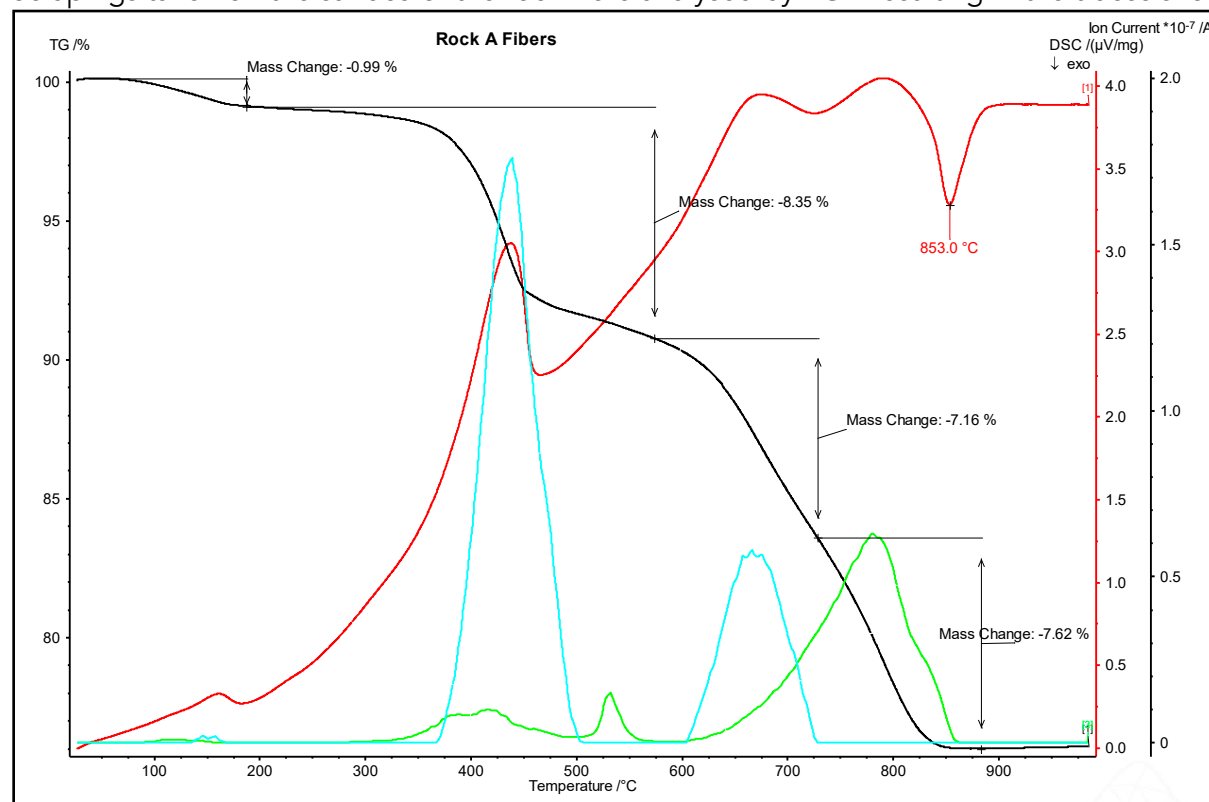


Figure 17: TGA for Rock A.

The trace for rock A shows firstly a 25% mass loss, and of this 8.35% is at very low temperature and could be assigned to brucite- 27% brucite. In addition there is about 10% associated with CO₂ evolution, which cannot be ascribed to asbestos minerals.

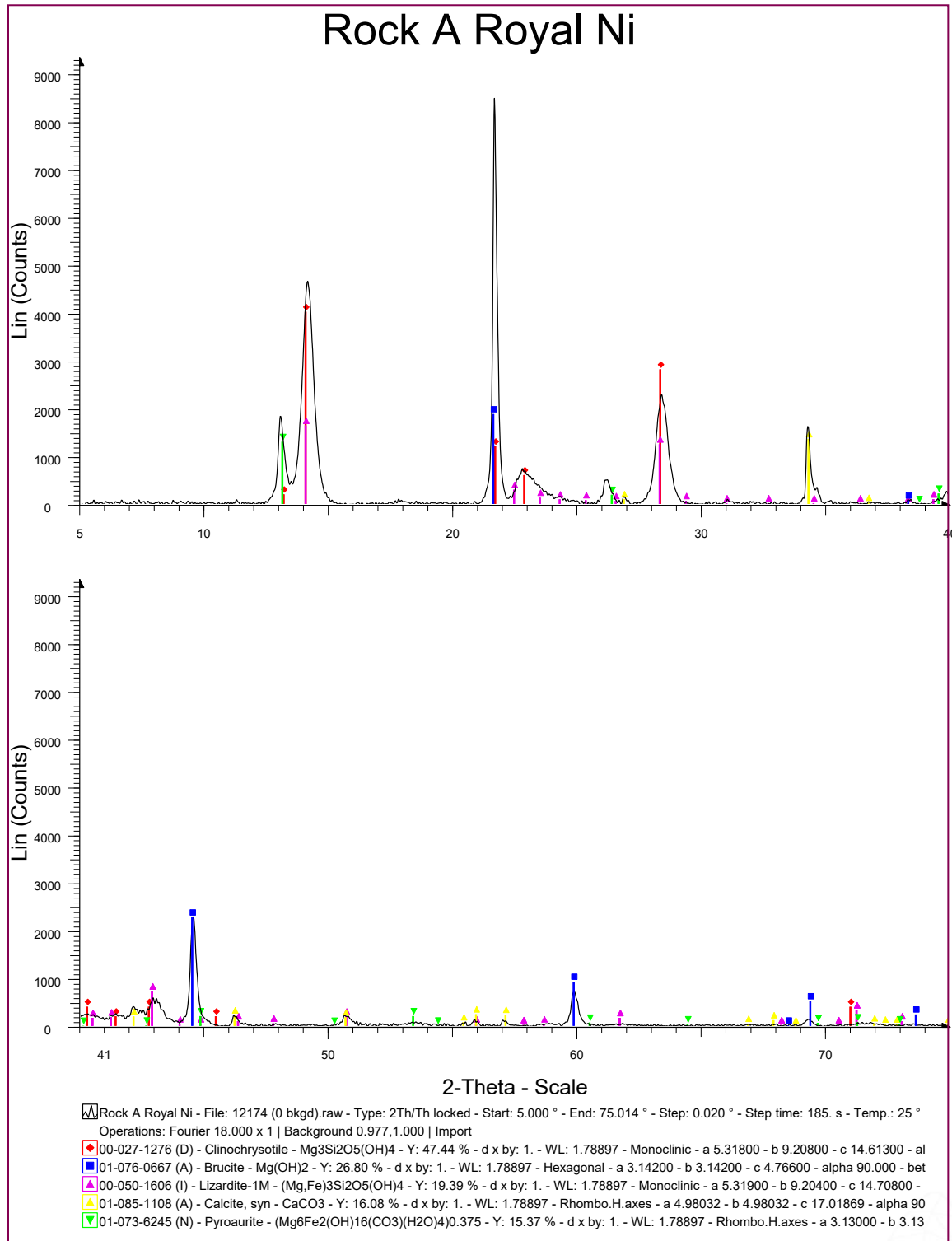


Figure 18 XRD trace for rock A

(Note: The peaks for Lizardite and Chrysotile overlap, except for a peak at 21.7° which overlaps with brucite so distinguishing between chrysotile and lizardite in the presence of brucite by XRD is not possible.)

The lower temperature CO₂ peak is likely coalingite, whilst the higher temperature peak probably denotes magnesite or calcite (Subsequently identified as calcite in the SEM)(About 7%). The remaining 7.16% mass loss occurring between 600 and 700°C could well be asbestos, but whether chrysotile or lizardite is impossible to say. Based on mass loss the asbestos content could be around 54%. The fact that there is a double endotherm at high temperature, with the higher temperature peak most likely associated with antigorite (based on Viti data, and being larger, suggests that there is not likely to be more than about 24% chrysotile present in the Rock A scrapings (which were from the most fibrous asbestiform area)



Figure 19: Rock B



Figure 20: Area sampled in Rock B

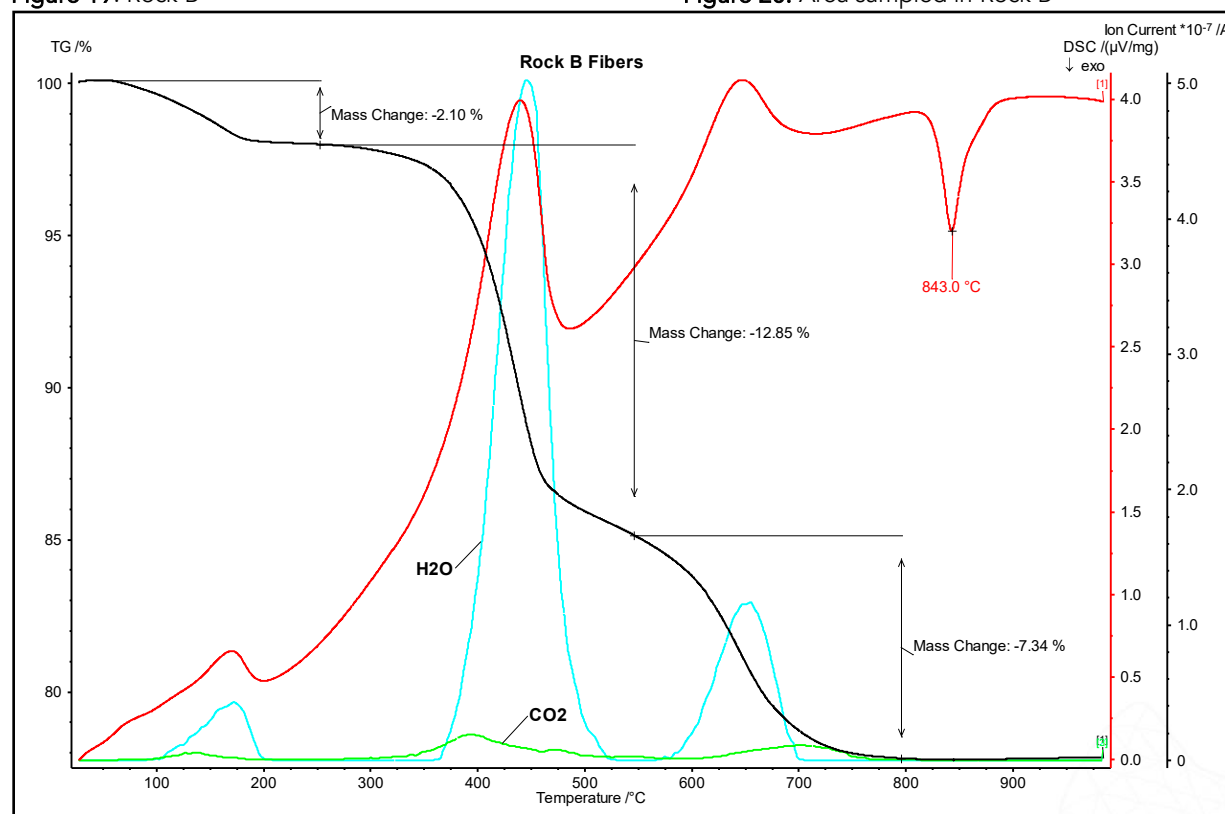


Figure 21: TGA Rock B.

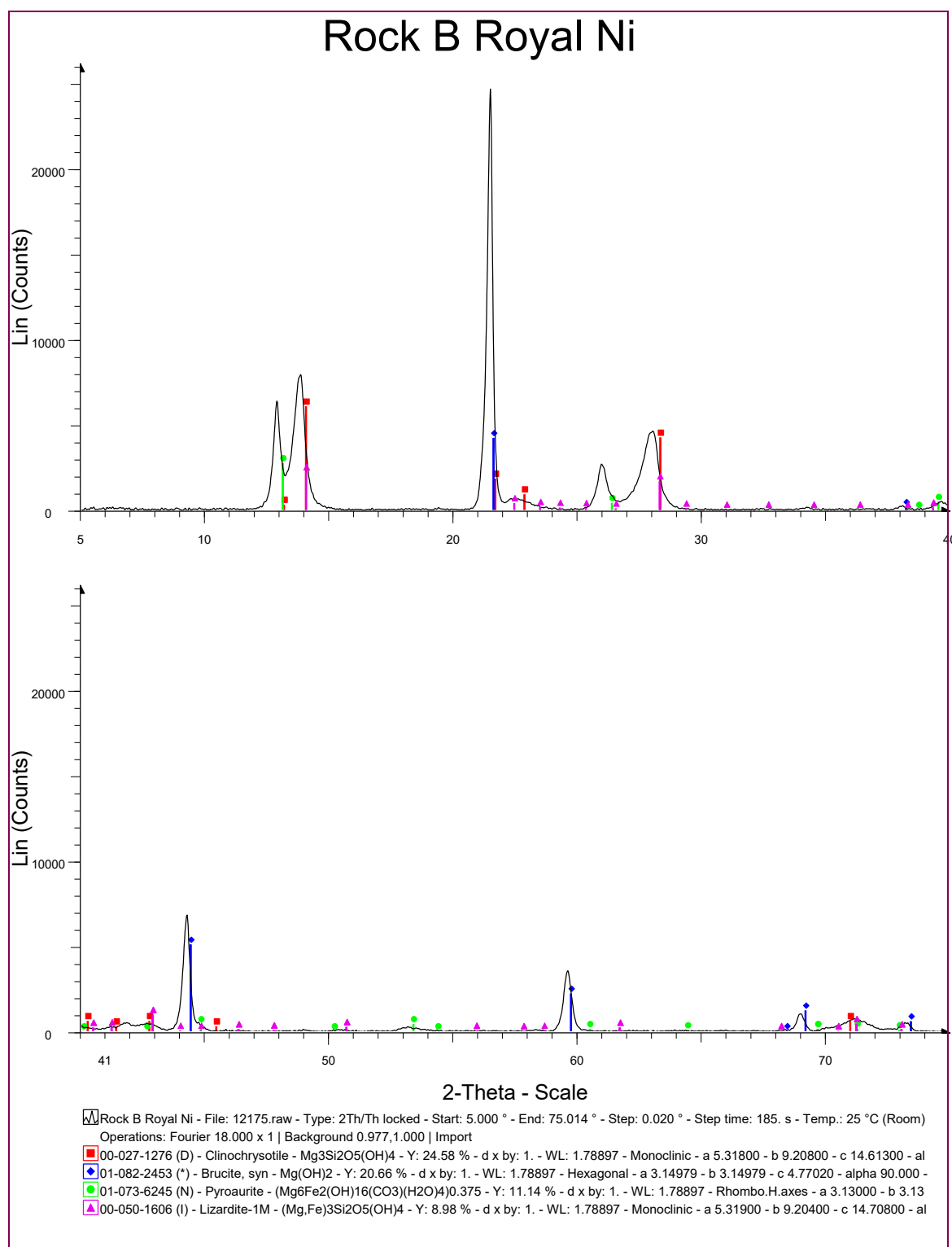


Figure 22: TGA trace for Rock B.

The TGA trace yields an overall 23% mass loss, made up of 2.1% below 300°C; 12.9% between 300 and 550, and 7.3% above 550. A small amount of CO_2 evolution is evident, but mostly at lower temperatures, suggesting a small amount of coalingite (about 5%). The brucite content is

estimated at 42%. If the mass loss above 550 is ascribed to asbestos, the asbestos content can be estimated at 56%. Although this also shows a double peak, the lower temperature peak is larger, suggesting that a greater proportion of the “asbestos” is low Fe. The maximum chrysotile content is therefore estimated by DTA at around 35%.

3.5 SEM Identification of Minerals

The problems associated with attempts to obtain pure reference samples and the often conflicting results of XRD patterns with TGA traces led to a request for some assistance from the Mineral Science department to examine some of the more relevant and therefore interesting samples using the microprobe. It was noted by the mineralogist performing the examination that inaccuracies in carbon measurements made discrimination between brucite and coalingite difficult, so these two minerals were grouped. The results are tabulated in the table below:

Table 3: SEM Measurements of Royal Nickel and other samples.

Antigorite Ropes Mine		Brucite - Black Lack		Royal Nickel - White Scrapings		Rock A	Rock B
Mineral	Wt%	Mineral	Wt%	Mineral	Wt%	Wt%	Wt%
Pentlandite	0.01	Low Fe Serpentine	1.82	Pentlandite	0.01	0.01	0.05
Heazlewoodite	0.07	Serpentine	6.71	Heazlewoodite	0.04	0.04	0.01
Low Fe Serpentine	77.67	Magnetite	5.48	Pyrrhotite	0.01	0.01	0.05
Chromite/CrFeSpine	1.15	Brucite - Coalingite V. High Fe	52.49	Brucite - Coalingite (High Fe)	1.69	1.69	2.57
Magnetite	3.01	Brucite - Coalingite Mod-High Fe	33.45	Brucite - Coalingite (Low Fe)	3.49	3.49	9.86
Magnesite (Low Fe)	16.73	Other	0.04	Brucite - Coalingite (No Fe)	10.40	10.40	31.05
Dolomite	1.03			Low Fe Serpentine	63.81	63.81	47.86
Other	0.32			Serpentine	1.01	1.01	3.78
				Magnetite	0.62	0.62	0.47
				Calcite	13.87	13.87	2.51
				Dolomite	4.44	4.44	1.41
				Other	0.60	0.60	0.40

These results were interesting: Firstly, the results on the Black Lake sample suggested that what the XRD had identified as Pyroaurite plus chrysotile was a coalingite- magnetite chrysotile blend (the coalingite identification rather than brucite is based on the CO₂ evolution noted in the TGA trace in figure 14, during the writing of this report. At the time, however it was believed that the SEM had confirmed the Black Lake sample was brucite, and used as “brucite” in subsequent blend tests. The presence of a substantial amount of calcite in the RN rock A sample explained the high temperature CO₂ evolution.

3.5 Synthetic Mixtures

In order to try to confirm the estimates made in the previous section, mixtures of (supposedly) brucite calcite and chrysotile were blended appropriately and submitted for TGA analysis.

The Red line in the figure below is a mixture of Chrysotile 47.9 mg + Brucite 43.5 mg and 2.5 mg of Calcite (Synthetic Rock B fibers). The blue line is a mixture of Chrysotile 63.8 mg + Brucite 15.6 mg and 13.9 mg of Calcite (Synthetic Rock A fibers). These mixtures were made up based on the SEM analysis.

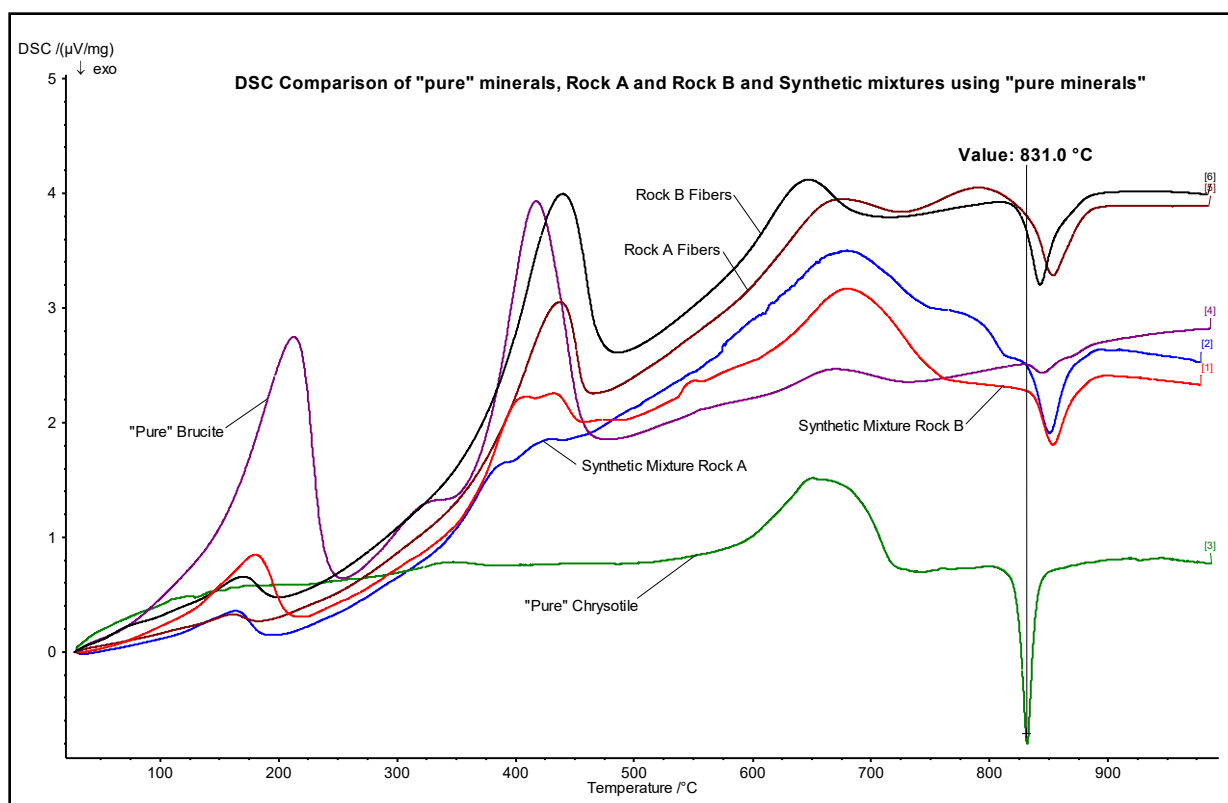


Figure 23: DSC trace for "Pure" brucite, chrysotile, Rock A, Rock B and synthetic mixtures

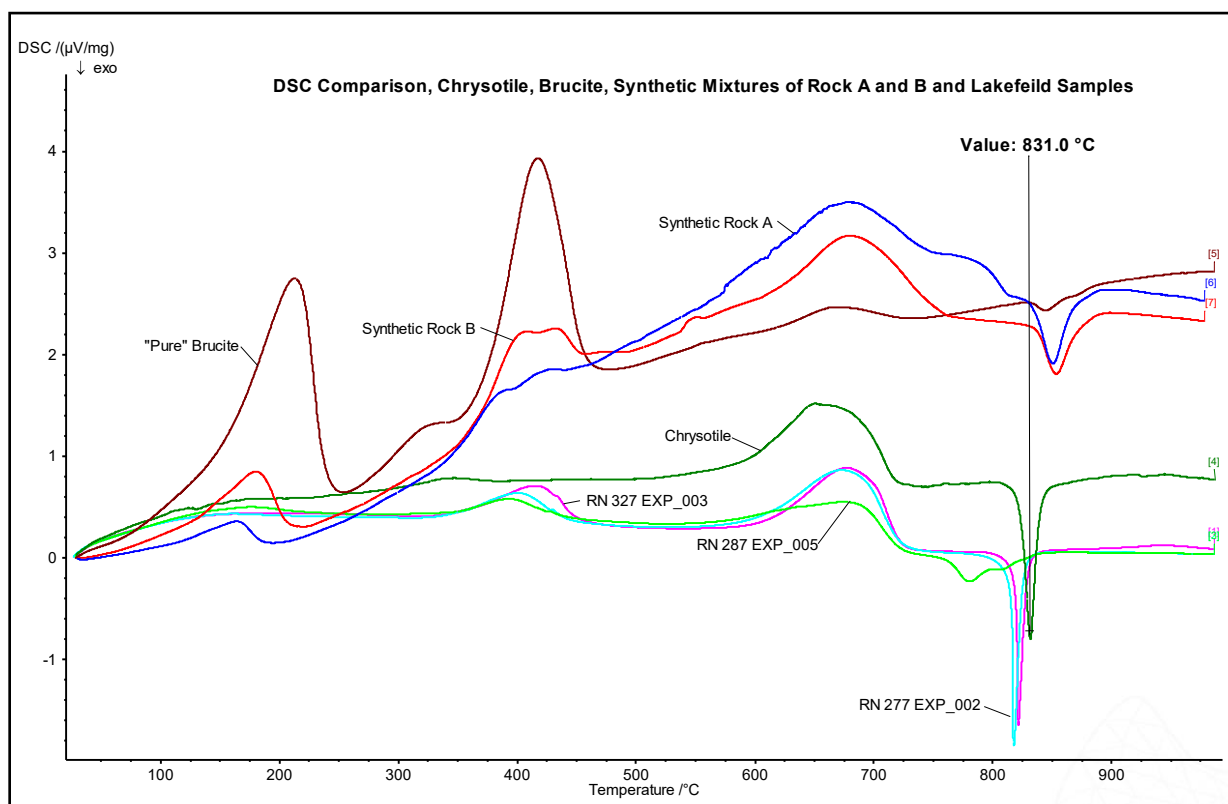


Figure 24: Comparison of DSC traces of all RN samples versus synthetic mixtures.

When these results did not fully explain the observed DSC results, it was suggested that since brucite is highly alkaline, washing with weak acid would dissolve the brucite, leaving the chrysotile unaltered and a TGA on this material would yield a "Chrysotile only" trace. This result is shown in figure 25 below:

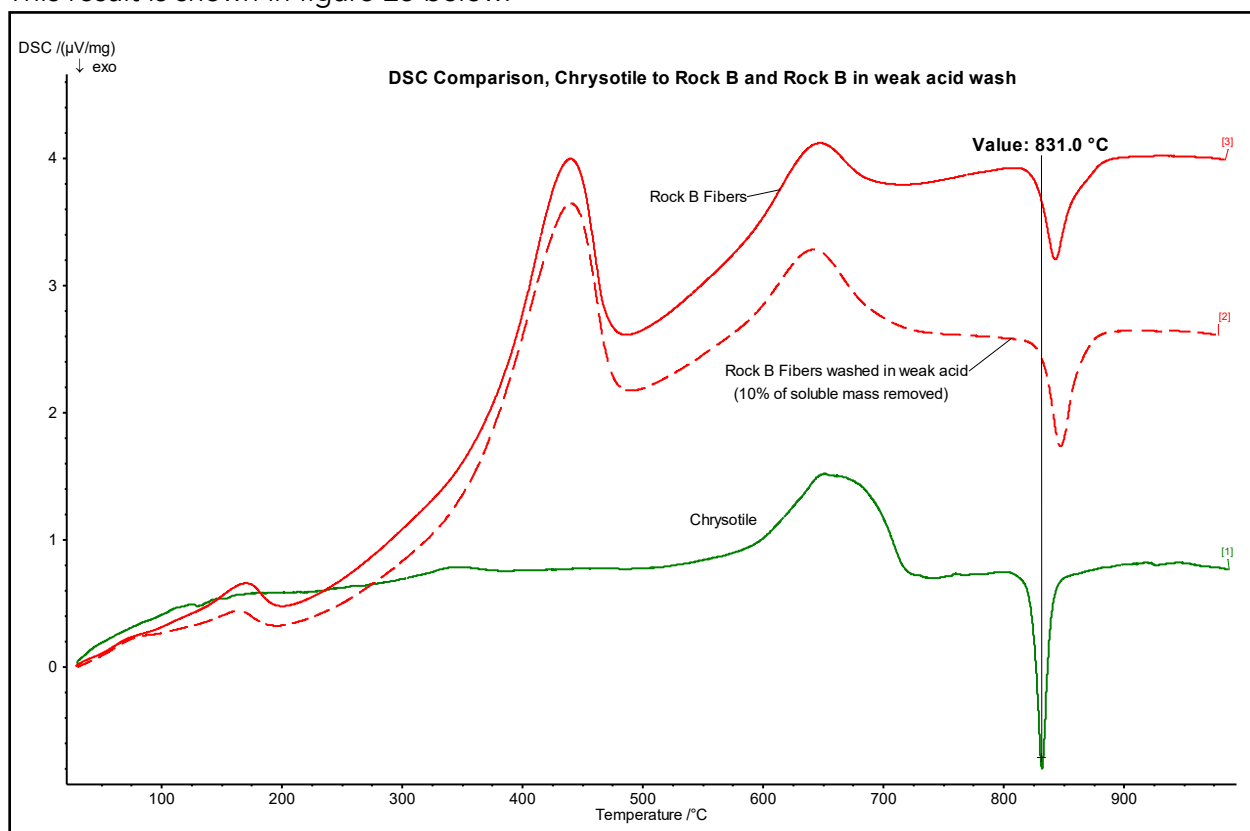


Figure 25: TGA on acid washed rock fibres.

Clearly from the results of figure 25, the residue which causes the water related endotherms seen just above 400°C are not from brucite, and a low temperature (150°C) endotherm suggests crystal water. A key question remaining unresolved at this stage is whether mineralogical examination is able to distinguish between brucite and coalingite. Unfortunately the Mass Spectrograph results, which would show CO₂ evolution, are not available at this stage.

Following the frequent frustration at the lack of pure reference materials, the confusion caused by conflicts between SEM and XRD diagnostics, the doubts raised about the applicability of the Vito work to this complex material and the general lack of proof that thermal analysis would be able to provide a quantitative measure of chrysotile content, it was decided to end the study without performing the planned "production" analyses, and to report the findings in order to reassess the project objectives as a whole.

Discussion

While the results of the TGA/MS/ DSC traces for the pure, 50% and 10% chrysotile samples were very encouraging, the results of the testing of the 3 Royal Nickel samples were not as straightforward to interpret as the samples clearly contained far more thermally unstable components than just chrysotile.

The lack of a completely pure sample of lizardite prevents an accurate comparison between the thermal patterns for chrysotile and lizardite. Rereading the Vito paper reveals that their method relied heavily on selective absorption of water by chrysotile for the quantification of chrysotile in chrysotile-lizardite mixtures.

The presence of brucite-coalingite minerals in the Royal Nickel ores complicates the quantification of chrysotile in a number of ways: Firstly the very high percentage mass loss associated with brucite/ coalingite/ pyroaurite minerals overwhelms the TGA trace. Secondly, the presence of a very active basic oxide like MgO results in a change in the temperature at which forsterite forms

Clearly the presence of Brucite/ coalingite produces strong mass changes in the 350°C range, consistent with the decomposition of magnesium hydroxide (confirmed by reference to the CRC Handbook of Chemistry and Physics). Coalingite and pyroaurite can be described as hydrated blends of brucite with goethite and magnesite, and will therefore be expected to show similar water peaks in the brucite decomposition range as well as low temperature (150°C) peaks associated with loss of crystal water, and some mass loss associated with CO₂ evolution).

Difficulties associated with accurate determination of carbon in electron probe microanalysis make brucite/ coalingite discrimination difficult. Thermal analysis can however provide resolution of this issue.

The needle-like specimens extracted from the Royal Nickel samples submitted show a tendency to underestimate the "Brucite" content by visual means, possibly because the more highly weathered minerals have replaced the original serpentine minerals and mimic their appearance. The total mass losses obtained by thermal analysis consistently confirm that the original mineralogical examinations consistently overestimate the serpentine content at the expense of brucite/ coalingite. Very simply stated, mass losses in the range of 25% on heating can only be obtained by 50% brucite and 50% low Fe serpentine

Mathematically expressed, for x=fraction of serpentine, and y = fraction of "brucite", then

$$13x + 37y = 25,$$

where 13 and 37 are the mass losses in percent for serpentine and brucite respectively, and 25 is the percentage mass loss measured in the unknown rock sample. Assuming the rock only consists of serpentine and brucite and solving for:

$$x + y = 1$$

gives the result shown above. Deductions for inert minerals leads to even higher estimates of "brucite" content.

While the thermal analysis technique as originally applied is not able to measure chrysotile content by the relative height of the 640°C peak, it does provide additional information not obtainable by mineralogical techniques..

There is a very distinctive difference between sample 5 and the other 2, most clearly revealed by a small but distinct exotherm at 780°C, definitely not associated with chrysotile and which is probably linked to antigorite

In the absence of pure samples of lizardite and antigorite, data extracted from Vito's paper for the rate of moisture removal is reproduced in figure 26 and adapted for the appropriate temperature scale displayed. The brucite peak which would be expected to result from a pure specimen is included for comparison

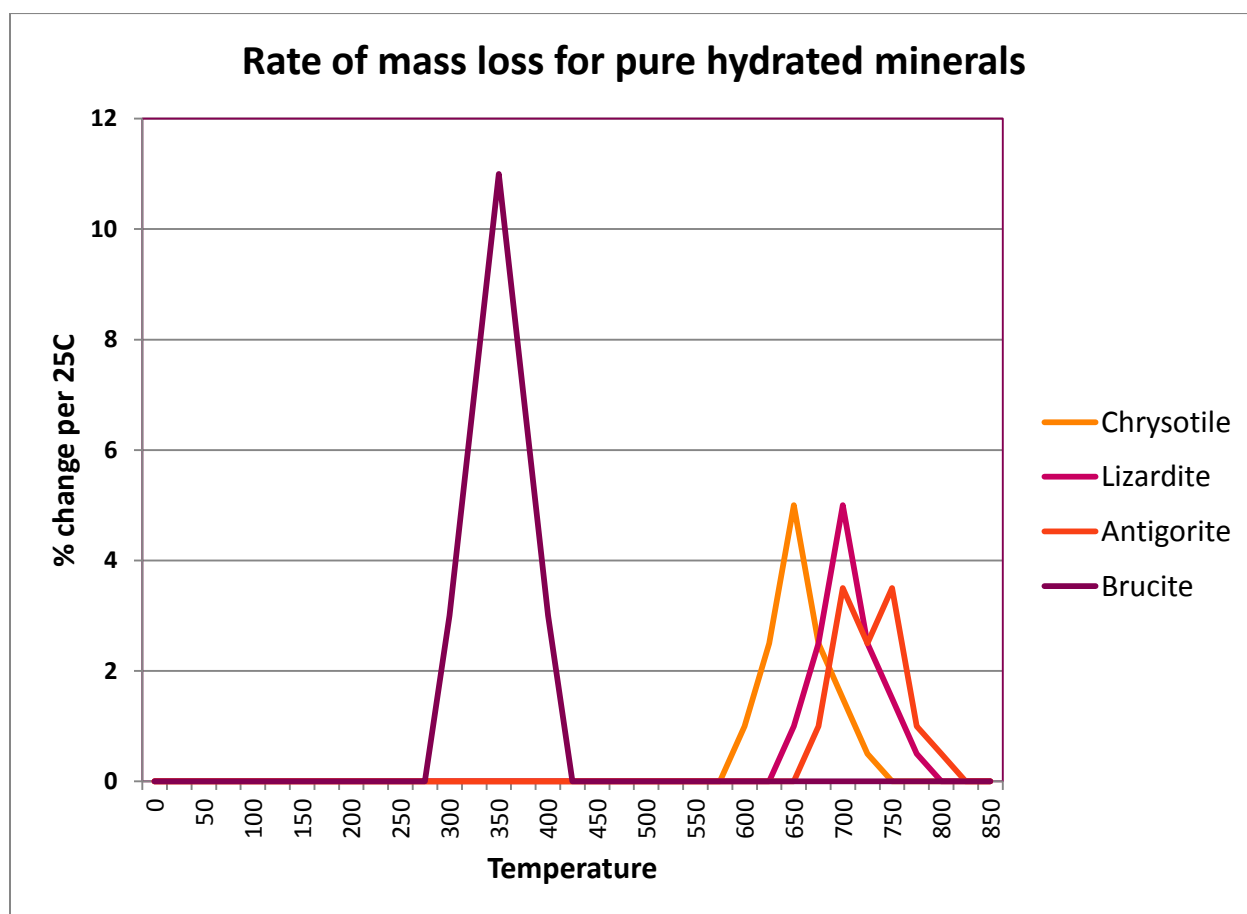


Figure 26: Reproduction of moisture removal rate from Vito et al.

The low temperature mass loss for sample 3, based on the 5.7% Brucite content reported is consistent with the calculated value of 3.3% mass loss. The value obtained for sample 5 however is much larger than the 1.52% calculated by Brucite decomposition alone. The moisture loss at low temperature for sample 5 is also much larger than the 4.2% of the mass of coalingite reported.

Re-reading of the Vito *et al* ⁽¹⁾ paper indicates that their chrysotile sample had incurred a substantial amount of water adsorption, (as much as 4% by mass) permitting a total mass loss considerably in excess of the theoretical amount possible for pure, air-dried chrysotile. This makes direct comparison of the XPS results with those of Vito *et al* difficult. It also suggests that care should be exercised regarding humidity control for the standards.

Based on their graphs however it appears as if their primary rate of mass loss peak (where the differential dm/dT is a maximum) agrees perfectly with the value obtained by XPS, at 660°C. The very minor peak obtained at 330°C by XPS was not observed by Vito, who detected a peak at around 575°C instead. This may require additional investigation.

The “pure” reference lizardite sample in Vito’s paper showed a major mass loss peak at 660 and a second at 710°C. This was what made determination of chrysotile in lizardite difficult for them. The “Antigorite” showed no peaks until 720 and 760°C.

The very sharp exotherms observed in the XPS samples at 825°C were not noted in the Vito work.

Since Vito *et al* reported the derivative values as part of their diagnostics, the equivalent XPS curves are shown in figure 27 below.

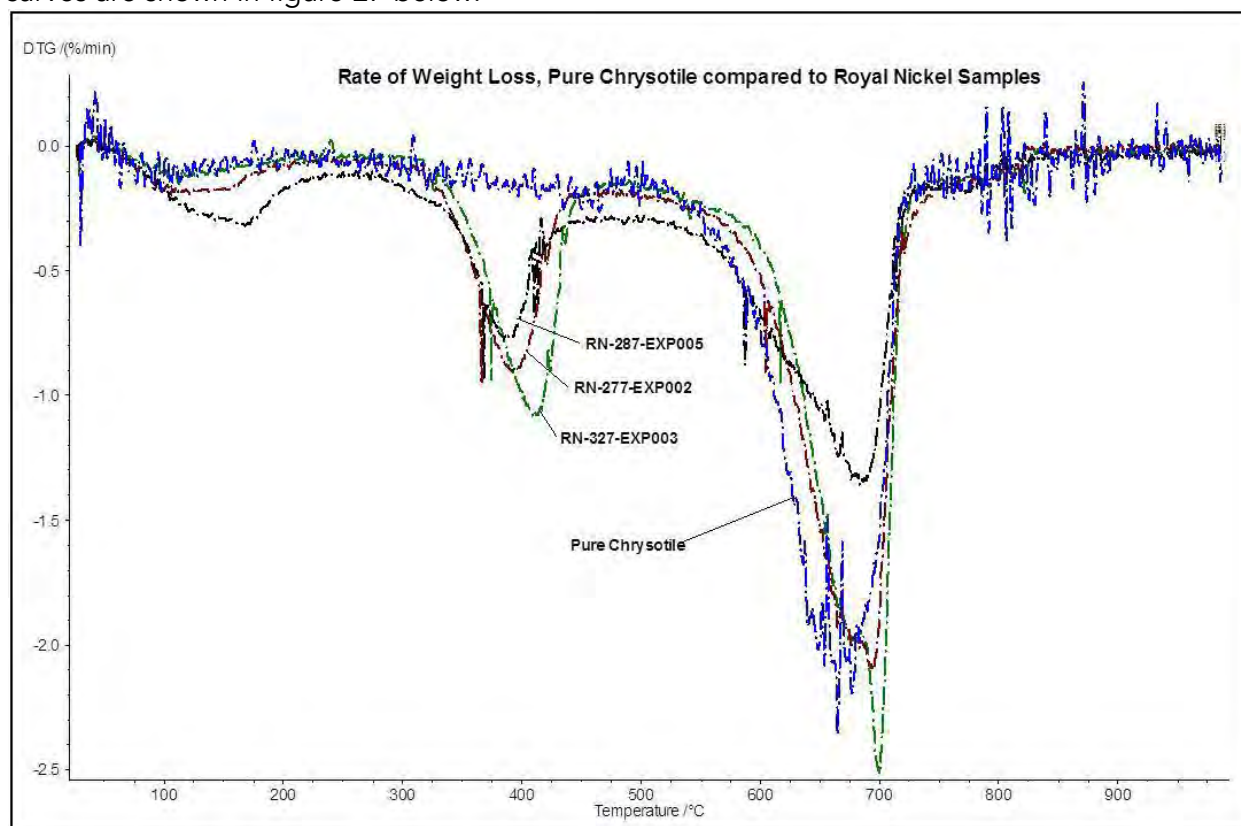


Figure 27: First differential of rate mass loss. (dm/dt)

This figure reinforces the conclusion that the mass losses observed in the 3 Royal Nickel samples are largely due to the the presence of larger amounts of brucite-coalignite than

reported by mineralogy and consequently there is much less chrysotile present than indicated by mineralogy.

The decomposition of brucite at 350-360°C is clearly seen. The highly active magnesia (MgO) resulting from this decomposition could result in a somewhat more vigorous forsterite formation reaction at a slightly lower temperature than would be the case for the same reaction from dehydrated chrysotile. Samples 2 and 3 are similar, but sample 5 has a different mineral deportment. The loss of crystal water at 150°C for sample 5 is also evident. (Associated with the presence of a larger quantity of coalingite than 2 and 3.) The difference at high temperature may well be associated with the presence of antigorite, but in the absence of a reliable antigorite reference, this cannot be confirmed.

Conclusions

- 1 Thermal analysis of blends of pure chrysotile with inert diluent alumina yield excellent diagnostic peaks from reference samples.
- 2 The complex nature of the Royal Nickel ore samples made chrysotile quantification, along the lines originally envisaged, extremely difficult.
- 3 The identical chemistry and similar structure of chrysotile and lizardite makes distinguishing of these two minerals using thermal analysis extremely difficult.
- 4 The presence of large quantities of brucite in the RN ore, and the generation of very active MgO during heating leads to a high temperature reaction between this MgO and the magnesium silicate generated by calcination of low Fe serpentines. This results in peak shifts for what would otherwise be a possibly useful diagnostic tool for distinguishing between lizardite and chrysotile.
- 5 The thermal analyses performed do tend to indicate that brucite in Royal Nickel ores is under-reported and serpentine over-reported.
- 6 The technique does indicate an ability to distinguish antigorite (high Fe serpentine) from low Fe serpentines (lizardite and chrysotile), but final quantification is limited by a lack of availability of high purity reference materials.
- 7 The alternative technique used by Viti et al, namely doping blended standards of chrysotile- lizardite with water and relying on the assumption that chrysotile will absorb a fixed percentage of water is not suitable for more complex weathered ores containing large amounts of other highly water absorbent substances like brucite and coalingite. Without this technique, distinction between chrysotile and lizardite is near to impossible.
- 8 The tentative assessments of the 5 Royal Nickel samples submitted are tabled below, comparing the thermal analysis results to the mineralogical results.

TABLE 4: Quantification of Royal Nickel Rock Samples

Sample	Mineralogy Serpentine %	Thermal Serpentine %	Mineral Brucite %	Thermal Brucite %	High Fe Min %	Hi Fe Serp Thermal %	Other Mineralogy %	Other Thermal %
Sample 002	89	82	3	11	4	4	3	3
Sample 003	69	63	2	11	9	9	17	17
Sample 005	81	75	6	13	5	5	7	7
Rock A	64	24	16	30	1	30	17	17
Rock B	48	35	43	43	4	21	4	4

Based on these estimates, thermal analysis can provide a comparative check on the mineralogy of the weathered minerals, and the major difference between the two techniques is that mineralogical examination tends to underestimate brucite/ coalingite and overestimate low Fe serpentine as a result. The comparative analyses of the rock scrapings highlight this difference. Thermal analysis can help to correct these estimates particularly if more highly weathered minerals replace serpentine while retaining the apparent asbestiform habit.

Recommendations

- 1 The combination TGA MS DSC technique can be used to quantify the overall asbestiform mineralisation in weathered rocks. The thermal analysis technique is in principle able to adjust initial mineralogical estimates, so this method can be applied where such adjustments are warranted.
- 2 The technique as tested is unable to distinguish between lizardite and chrysotile in the presence of brucite or coalingite, and cannot be used at this stage to perform this distinction. Since lizardite is not a designated substance, while clino-chrysotile is, any technique which claims to be able to reliably distinguish between these two allotropes should be regarded as questionable.
- 3 Antigorite does appear to be measurable, but a sample of pure antigorite is required before this can be confirmed. Should quantification of antigorite be regarded as important and necessary using thermal analysis, obtaining a pure reference sample should be regarded as a priority.
- 4 If the results obtained in this study on the 5 Royal Nickel samples submitted are considered satisfactory, further production samples can be analysed using the same techniques and assumptions, but the analysis of the results is definitely more complex than a simple calculation of mass loss, and will be more expensive than originally estimated.

ANNEXE III

Méthodes de quantification du chrysotile

Table des matières

1) Objectif.....	1
2) Introduction	1
3) Vue d'ensemble	1
4) Méthodes.....	3
i) Réseaux de chrysotile.....	3
Méthode de la mesure de l'épaisseur des réseaux de chrysotile	3
Méthode de l'histogramme des réseaux de chrysotile par Photoshop®	6
Échantillons utilisés pour la caractérisation de l'environnement «Réseaux de chrysotile»	9
Ajout de données supplémentaires	17
ii) Chrysotile dans les zones hautement fragmentées	20
Échantillons utilisés pour la caractérisation de l'environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées»	20
Ajout de données supplémentaires	29
Vérification interne des zones hautement fragmentées	33
iii) Chrysotile dans les veines/fractures	34
5) Discussion de la surestimation dans les environnements de chrysotile	35
6) Chrysotile dans les zones de carotte de forage non récupérées.....	36
7) Discussion.....	37

Table des images

<i>Image 1:</i> Section du trou de forage 11-RN-309 boîte #57 avec un niveau de réseaux de chrysotile modérées. Les mesures ont été prises au long des lignes jaunes perpendiculairement au réseau de chrysotile.	4
<i>Image 2:</i> Section du trou de forage 11-RN-309 boîte #88 avec un niveau de réseaux de chrysotile intense. Les mesures ont été prises au long des lignes rouges perpendiculairement au réseau de chrysotile.	5
<i>Image 3:</i> Photo du réseau de chrysotile de la catégorie Intense importée dans Photoshop®.	6
<i>Image 4:</i> Manipulation de la luminosité et du contraste de la photo de l'échantillon.	7
<i>Image 5:</i> Redéfinition des pixels de couleurs sur la photo de l'échantillon.	7
<i>Image 6:</i> Obtenir le pourcentage de chrysotile de la photo.	8
<i>Image 7:</i> Échantillon de la catégorie d'intensité Faible après manipulation dans Photoshop®.	9
<i>Image 8:</i> Échantillon de la catégorie d'intensité Faible après manipulation dans Photoshop®.	9
<i>Image 9:</i> Échantillon de la catégorie d'intensité Faible après manipulation dans Photoshop®.	10
<i>Image 10:</i> Échantillon de la catégorie d'intensité Faible après manipulation dans Photoshop®.	10
<i>Image 11:</i> Échantillon de la catégorie d'intensité Faible après manipulation dans Photoshop®.	11
<i>Image 12:</i> Échantillon de la catégorie d'intensité Modérée après manipulation dans Photoshop®.	11
<i>Image 13:</i> Échantillon de la catégorie d'intensité Modérée après manipulation dans Photoshop®.	12
<i>Image 14:</i> Échantillon de la catégorie d'intensité Modérée après manipulation dans Photoshop®.	12
<i>Image 15:</i> Échantillon de la catégorie d'intensité Modérée après manipulation dans Photoshop®.	13
<i>Image 16:</i> Échantillon de la catégorie d'intensité Modérée après manipulation dans Photoshop®.	13
<i>Image 17:</i> Échantillon de la catégorie d'intensité Élevée après manipulation dans Photoshop®.	14
<i>Image 18:</i> Échantillon de la catégorie d'intensité Élevée après manipulation dans Photoshop®.	14
<i>Image 19:</i> Échantillon de la catégorie d'intensité Élevée après manipulation dans Photoshop®.	15
<i>Image 20:</i> Échantillon de la catégorie d'intensité Élevée après manipulation dans Photoshop®.	15
<i>Image 21:</i> Échantillon de la catégorie d'intensité Intense après manipulation dans Photoshop®.	16
<i>Image 22:</i> Échantillon de la catégorie d'intensité Intense après manipulation dans Photoshop®.	16
<i>Image 23:</i> Échantillon de la catégorie d'intensité Intense après manipulation dans Photoshop®.	17
<i>Image 24:</i> Échantillon de la catégorie d'intensité Élevée sur la carotte de forage.	18
<i>Image 25:</i> Échantillon de la catégorie d'intensité Élevée sur la carotte de forage.	18
<i>Image 26:</i> Échantillon de la catégorie d'intensité Élevée sur la carotte de forage.	19
<i>Image 27:</i> Zone hautement fragmentée de la Boîte #61 (289.90-290.40m)	21
<i>Image 28:</i> Zone hautement fragmentée de la Boîte #61 (290.40-291.00m)	21
<i>Image 29:</i> Zone hautement fragmentées de la Boîte #35 (178.20-178.50m).	22
<i>Image 30:</i> Zone hautement fragmentée de la Boîte #114 (518.85- 519.10m).	22
<i>Image 31:</i> Zone hautement fragmentée de la Boîte #115 (521.50-522.00m).	23
<i>Image 32:</i> Zone hautement fragmentée de la Boîte #80 (369.60-370.30m).	23
<i>Image 33:</i> Zone hautement fragmentée de la Boîte #34 (172.35-172.75m).	24
<i>Image 34:</i> Zone hautement fragmentée de la Boîte #49 (236.50-237.00m).	24
<i>Image 35:</i> Zone hautement fragmentée de la Boîte #115 (521.00-521.50m).	25
<i>Image 36:</i> Zone hautement fragmentée de la Boîte #80 (370.30-370.80m).	25
<i>Image 37:</i> Zone hautement fragmentée de la Boîte #97 (445.80-446.20m).	26
<i>Image 38:</i> Zone hautement fragmentée de la Boîte #104 (474.15-474.75m).	26
<i>Image 39:</i> Zone hautement fragmentée de la Boîte #24 (131.40-131.95m).	27
<i>Image 40:</i> Zone hautement fragmentée de la Boîte #26 (139.75-140.35m).	27
<i>Image 41:</i> Zone hautement fragmentée de la Boîte #97 (446.20-446.80m).	28
<i>Image 42:</i> Zone hautement fragmentée de la Boîte #63 (299.20-299.50m)	28
<i>Image 43:</i> Zone hautement fragmentée de la Boîte #67 du trou 11-RN-334 (312.38-313.00m)	30
<i>Image 44:</i> Zone hautement fragmentée de la Boîte #3 du trou 11-RN-296 (63.49-63.97m)	30
<i>Image 45:</i> Zone hautement fragmentée de la Boîte #47 du trou 08-RN-94 (209.10-209.45m)	31
<i>Image 46:</i> Zone hautement fragmentée de la Boîte #4 du trou 11-RN-252 (43.10-43.32m)	31
<i>Image 47:</i> Zone hautement fragmentée de la Boîte #47 du trou 08-RN-94 (208.5-208.65m)	32
<i>Image 48:</i> Zone hautement fragmentée de la Boîte #18 du trou 11-RN-300 (115.03-115.11m)	32
<i>Image 49:</i> Veine de chrysotile coupant à travers l'axe de la carotte de forage séparée en segments de 4.5cm	34
<i>Image 50:</i> Veine coupant le diamètre de la carotte de forage à un angle faible.	35

Tableaux

Tableau 1: Valeurs assignées pour les catégories d'intensités de chaque environnements de chrysotile	2
Tableau 2: Valeurs assignées pour les catégories d'intensités de l'environnements «Réseaux de chrysotile» avant les ajustements.....	8
Tableau 3: Valeurs assignées pour les catégories d'intensités de l'environnements «Réseaux de chrysotile» après les ajustement	17
Tableau 4: Valeurs assignées pour les catégories d'intensités de l'environnements «Chrysotile dans les zones hautment fragmentées» avant les ajustements.	20
Tableau 5: Valeurs assignées pour les catégories d'intensités de l'environnements «Chrysotile dans les zones hautment fragmentées» après les ajustement	29

1) Objectif

L'objectif de ce programme est de mettre en place un système qui permettra la quantification du chrysotile dans la dunite et la péridotite. Plusieurs trous représentatifs de la fosse planifiée pourra ainsi être choisis pour être évalués rapidement et de manière systématique pour une évaluation du pourcentage de chrysotile dans la fosse.

2) Introduction

Le chrysotile est un minéral qui fait partie de la famille de l'amiante et, bien que considéré comme l'un des moins dangereux, constitue un danger pour la santé d'un individu s'il est respiré pendant de longues périodes de temps. Il est donc nécessaire de démontrer la quantité de chrysotile dans la roche ultramafique de la future mine.

Les méthodes de laboratoire, tel que le XRD, pour quantifier le chrysotile se sont avérées problématiques, car les signaux entre le chrysotile et la serpentine sont très semblables et ne peuvent être distingués. Le comptage de points est une autre méthode qui a été utilisée par certains scientifiques, mais cette méthode prend beaucoup de temps et a le problème d'introduire un biais et une subjectivité dans l'analyse.

L'objectif était donc de trouver un moyen de quantifier le chrysotile en évaluant plusieurs trous représentatifs dans différentes régions de la fosse planifiée. Plusieurs méthodes ont été testées et les méthodes qui ont produit les meilleurs résultats ont été choisies. Ce document décrit ces méthodes.

3) Vue d'ensemble

Le filon-couche de Dumont est encaissé dans les laves et roches volcanoclastiques du Groupe d'Amos. Considéré comme une intrusion litée mafique-ultramafique, le filon-couche comprend une zone ultramafique inférieure et une zone mafique supérieure. La zone ultramafique est subdivisée en sous-zones: péridotite inférieure, dunite et péridotite supérieure. La zone mafique regroupe trois sous-zones qui sont, de la base vers le sommet, la clinopyroxénite, le gabbro et le gabbro à quartz. Le chrysotile est connu pour se développer dans la zone ultramafique en fonction des divers degrés de serpentinisation.

Pour caractériser objectivement chaque environnement de chrysotile et pour une gestion de temps efficace, des niveaux d'intensités furent créés. Ils réfèrent chacun à une teneur en pourcentage de chrysotile présent dans la carotte. Pour se faire, les géologues de RNC ont utilisé un trou de forage en référence (11-RN-309) qui fut choisi pour ces variations de textures dans les environnements de chrysotile.

Il y a trois environnements géologiques où le chrysotile a été identifié dans la roche ultramafique récupérée en forage et où l'estimation de celui-ci a besoin d'être évaluée séparément. Ces environnements sont:

- **Réseaux de chrysotile:**
Autour des grains et dans les petites veines (omniprésentes dans la roche)
- **Chrysotile dans les zones hautement fragmentées** (Failles)
- **Chrysotile dans les veines/Fractures** (ouvertes ou fermées)

Pour chaque environnement différent, des catégories d'intensités, qui se rapportent à des pourcentages assignés de chrysotile présent, ont été créées suite aux méthodes mises sur pied. Ces pourcentages assignés sont utilisés comme facteur de multiplication pour tout convertir en millimètres de chrysotile sur un intervalle d'échantillonnage de 3m et donnant ainsi un pourcentage total de chrysotile sur l'intervalle de 3m. Pour faire une analyse plus objective, des exemples visuels des catégories d'intensités sont présentés ci-dessous, ainsi que la manière dont les géologues de RNC sont arrivés au résultat des pourcentages assignés. Un aperçu des résultats finaux se trouve dans le Tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1: Valeurs assignées pour les catégories d'intensités de chaque environnements de chrysotile

Environnements de chrysotile	Catégories d'intensités (Gamme de pourcentage)	Valeurs assignées aux catégories d'intensités
<i>Réseaux de chrysotile</i>	Aucun (0 à 0.1%)	0%
	Faible (0.1 à 1%)	0.75%
	Modérée (1 à 2.5%)	1.75%
	Élevée (2.5 à 4.5%)	3.50%
	Intense (4.5 à 7%)	6%
<i>Chrysotile dans les zones hautement fragmentées</i>	Faible (1 à 10%)	3%
	Modérée (10 à 25%)	15%
	Élevée (25 à 45%)	35%
	Intense (45 à 70%)	55%
<i>Chrysotile dans les veines/fractures</i>	70 à 100% chrysotile	100%

4) Méthodes

Cette section montre les différentes méthodes approchées pour quantifier le chrysotile dans les trois types d'environnements évalués pour finalement atteindre une technique de procédure pour le journal de sondage du chrysotile.

i) Réseaux de chrysotile

Pour estimer la teneur de chrysotile dans les réseaux, les géologues de RNC ont premièrement séparé l'analyse en quatre catégories d'intensité. Des étendues de variation d'intensité en pourcentage de chrysotile furent attribuées à chaque catégorie d'intensité afin de faire une distinction entre chaque catégorie.

Ces étendues sont:

Intense (5-8%),
Élevée (3-5%),
Modérée (1-3%),
Faible (0.1%-1%).

Pour attribuer une teneur en pourcentage de chrysotile à chaque catégorie, deux méthodes furent testées.

Méthode de la mesure de l'épaisseur des réseaux de chrysotile

La première méthode expérimentée était de mesurer l'épaisseur de chrysotile dans les petites veines et autour des grains pour chaque catégorie d'intensité à travers des lignes perpendiculaires sur la surface coupée de la carotte dans un intervalle donné. Les mesures furent additionnées, puis divisées par la longueur de l'intervalle testé pour donner un pourcentage de chrysotile sur un plan.

Cette méthode a généré un écart significatif entre les résultats des cinq géologues attirés à cette tâche. Les pourcentages mesurés ne correspondaient pas à leur estimation visuelle. Cette divergence était due à une surévaluation de l'épaisseur des petites veines de chrysotile (plus petite que 1mm) mesurées avec une règle traditionnelle.

Pour expérimenter cette méthode, cinq intervalles ont été sélectionnés pour chaque catégorie d'intensité de l'environnement «Réseaux de chrysotile» à partir d'une estimation visuelle des étendues attribuées. Chaque intervalle fut mesuré par cinq géologues et les données furent compilées au final pour donner un pourcentage de chrysotile pour chaque intervalle. Deux exemples (image 1 et 2) de cette méthode sont démontrés ci-dessous:



Image 1: Section du trou de forage 11-RN-309 boîte #57 avec un niveau de réseaux de chrysotile modérées. Les mesures ont été prises au long des lignes jaunes perpendiculairement au réseau de chrysotile.

Mesures de l'image 1

1^{er} ligne: 5.5cm de longueur

Géologue 1	$(0.6\text{mm}/55\text{mm}) \times 100 =$	1.1%
Géologue 2	$(1.6\text{mm}/55\text{mm}) \times 100 =$	2.9%
Géologue 3	$(1.3\text{mm}/55\text{mm}) \times 100 =$	2.4%
Géologue 4	$(1.0\text{mm}/55\text{mm}) \times 100 =$	1.8%
Géologue 5	$(1.1\text{mm}/55\text{mm}) \times 100 =$	2%
	Moyenne =	2% (Modérée)

2^{ième} ligne: 6.0cm de longueur

Géologue 1	$(0.6\text{mm}/60\text{mm}) \times 100 =$	1%
Géologue 2	$(1.1\text{mm}/60\text{mm}) \times 100 =$	1.8%
Géologue 3	$(1.3\text{mm}/60\text{mm}) \times 100 =$	2.2%
Géologue 4	$(0.5\text{mm}/60\text{mm}) \times 100 =$	0.8%
Géologue 5	$(1.1\text{mm}/60\text{mm}) \times 100 =$	1.8%
	Moyenne =	1.5% (Modérée)



Image 2: Section du trou de forage 11-RN-309 boîte #88 avec un niveau de réseaux de chrysotile intense. Les mesures ont été prises au long des lignes rouges perpendiculairement au réseau de chrysotile.

Mesures de l'image 2

1^{er} ligne: 4.7cm de longueur

Géologue 1	$(1.8\text{mm}/47\text{mm}) \times 100 =$	3.8%
Géologue 2	$(5.6\text{mm}/47\text{mm}) \times 100 =$	12.0%
Géologue 3	$(6.5\text{mm}/47\text{mm}) \times 100 =$	14.0%
Géologue 4	$(5.4\text{mm}/47\text{mm}) \times 100 =$	11.5%
Géologue 5	$(2\text{mm}/47\text{mm}) \times 100 =$	4.3%
	Moyenne =	9.12% (Intense)

Tel que le démontrent les deux exemples précédents, les mesures prises parmi les géologues ont des écarts importants donnant des résultats très divergeant. De plus, cette première expérimentation pour quantifier les réseaux de chrysotile donnent des pourcentages de chrysotile mesurés qui ne coïncident pas avec une estimation visuelle. Cette méthode fut abandonnée.

Méthode de l'histogramme des réseaux de chrysotile par Photoshop®

Les géologues de RNC ont par la suite mis au point une nouvelle méthode utilisant Photoshop®. En premier lieu, des photos furent prises pour chaque catégorie d'intensité sur la surface coupée de la demie carotte. En coupant la photo dans Photoshop®, les sections de réseaux de chrysotile furent isolées de sorte que seulement ceux-ci soient présents. En comparant avec la roche, le contraste et la luminosité furent ajustés pour faire en sorte que seulement (ou principalement) les réseaux de chrysotile apparaissent en blanc ou en couleurs claires et que le reste apparaisse en couleurs foncées. Par la suite, Photoshop® a calculé le pourcentage de pixels clairs par rapport aux pixels foncés présents en utilisant la fonction «Histogramme». Ainsi, les géologues de RNC obtinrent un pourcentage pour les différentes catégories de réseaux de chrysotile. Cette méthode est reproductible et donne des valeurs qui concordent avec l'estimation visuelle des géologues de RNC.

Pour expérimenter cette méthode, un échantillon de l'environnement «Réseaux de chrysotile» de la catégorie d'intensité «Intense» fut pris en photo. Les étapes suivantes montrent les procédures utilisées pour cette méthode étape par étape. Cette méthode fut par la suite appliquée pour définir le pourcentage de chrysotile pour chaque catégorie d'intensité de l'environnement «Réseaux de chrysotile».

1^{er} étape: Une photo de l'échantillon est prise et importée dans Photoshop®.

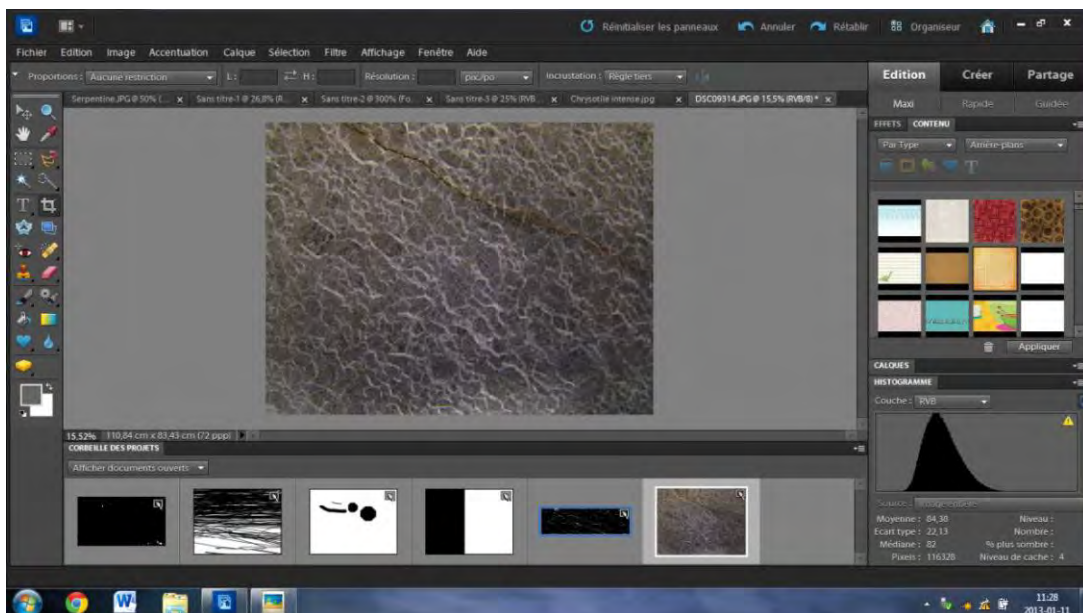


Image 3: Photo du réseau de chrysotile de la catégorisé Intense importée dans Photoshop®.

2^{ème} Étape: Le contraste et la luminosité sont ajustés de façon à avoir seulement (ou principalement) le chrysotile affiché en pixels clairs.

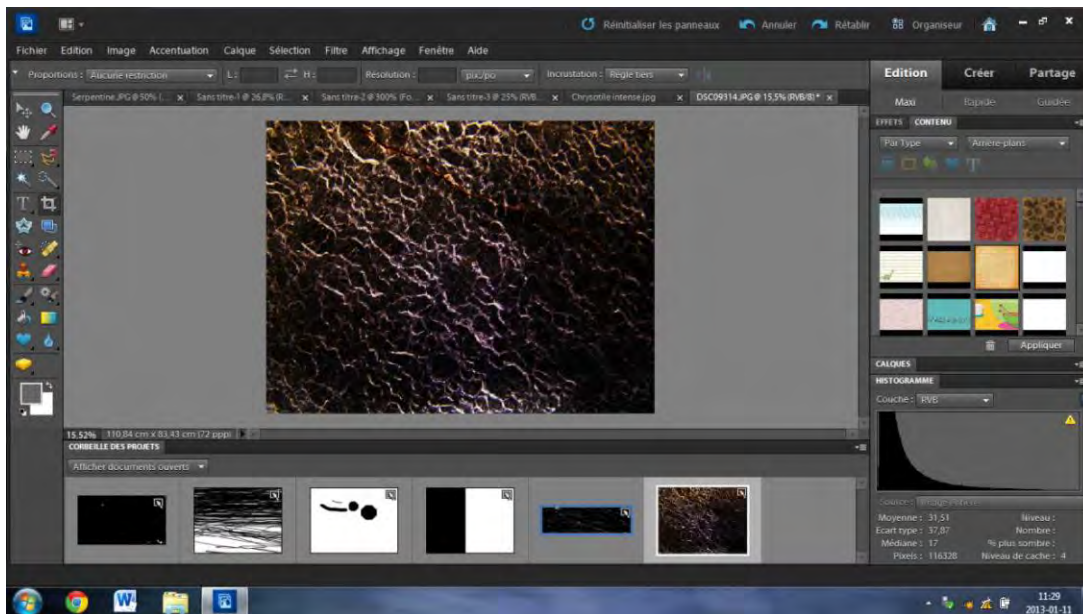


Image 4: Manipulation de la luminosité et du contraste de la photo de l'échantillon.

3^{ème} étape: Le chrysotile identifié de couleur gris foncé est redéfini comme étant des pixels clairs pour représenter tous le chrysotile dans l'échantillon.

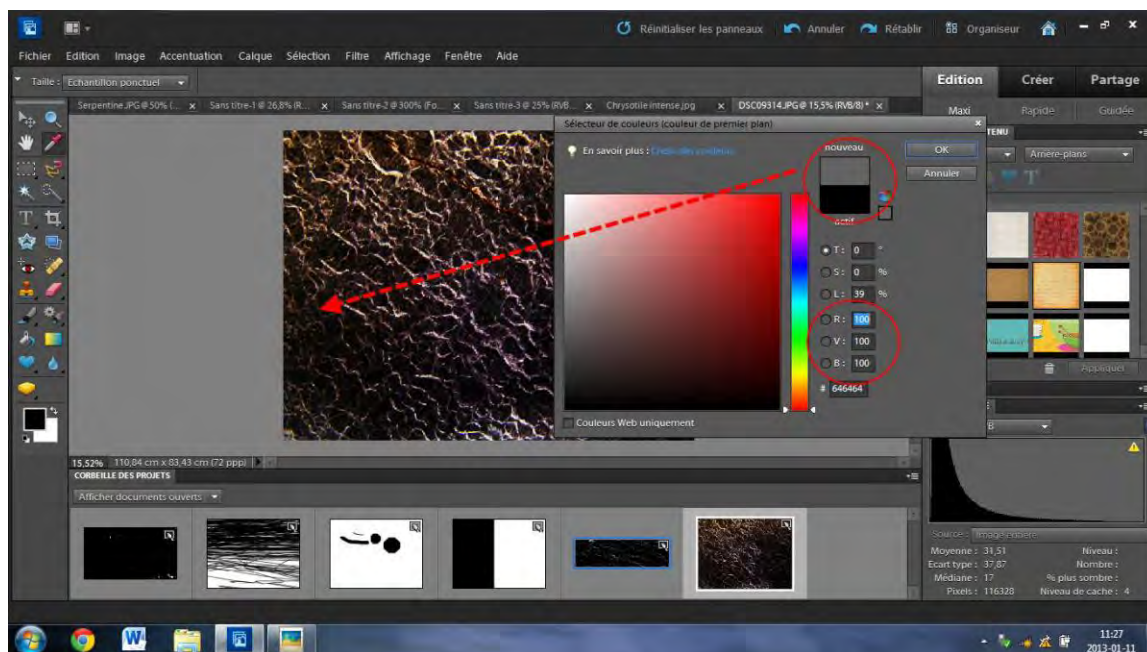


Image 5: Redéfinition des pixels de couleurs sur la photo de l'échantillon.

Étape 4: La fonction Histogramme montre le pourcentage de pixels qui sont plus foncés qu'une valeur donnée. Dans ce cas-ci, la valeur donnée représente la couleur limite attribuée à la chrysotile, soit 100 dans l'exemple.

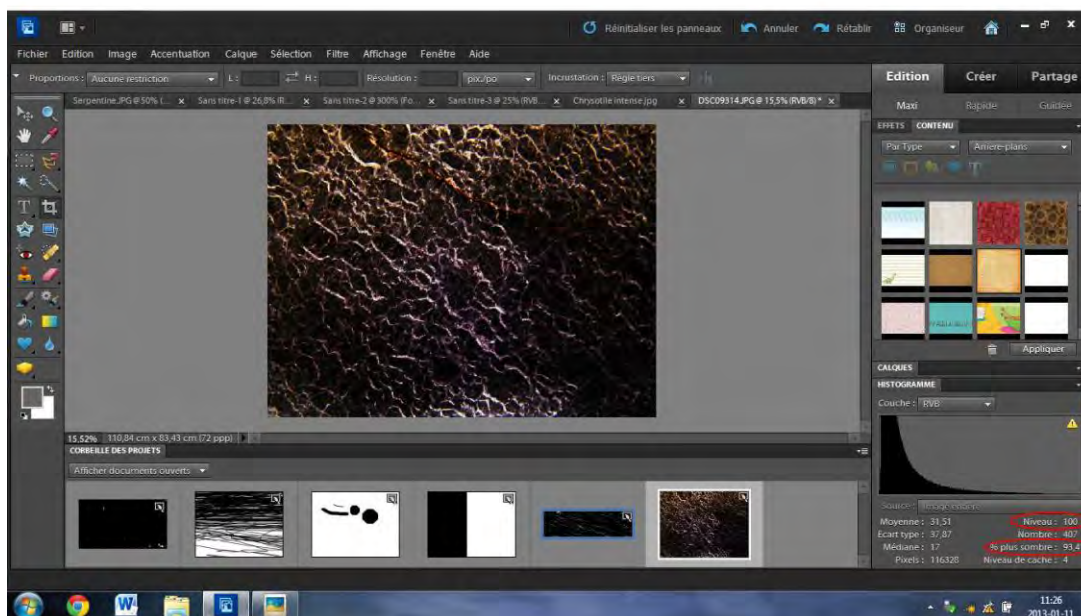


Image 6: Obtenir le pourcentage de chrysotile de la photo.

Avec cinq photos représentatives des catégories d'intensité Faible et Modérée, quatre photos représentatives de la catégorie d'intensité Élevée et trois photos représentatives de la catégorie d'intensité Intense, une valeur moyenne a été obtenue pour chaque catégorie en utilisant la méthode de Photoshop® pour les Réseaux de chrysotile. Ces valeurs ont été par la suite arrondies au supérieur pour donner une surestimation artificielle dans le but de rester conservateur, donnant ainsi une valeur assignée pour chaque catégorie d'intensité pour l'environnement «Réseaux de chrysotile».

Par la suite, des nouvelles gammes de valeurs de pourcentage possible furent assignées à chaque catégorie d'intensité. Ces valeurs sont montrées dans le *tableau 2* ci-dessous:

Tableau 2: Valeurs assignées pour les catégories d'intensités de l'environnements «Réseaux de chrysotile» avant les ajustements

Catégories d'intensité de l'environnement «Réseaux de chrysotile»	Nombre de photo utilisée	Valeurs assignées	Gammes de pourcentage assignées
Aucun	-	0%	0% à 0.1%
Faible	5	0.75%	0.1% à 1%
Modérée	5	1.75%	1% à 2.5%
Élevée	4	3.50%	2.5% à 4.5%
Intense	3	6%	4.5% à 7%

Échantillons utilisés pour la caractérisation de l'environnement «Réseaux de chrysotile»

Toutes les photos utilisées pour déterminer la valeur assignée de chaque catégorie d'intensité sont illustrées ci-dessous (Image 7 à 23):

Catégorie d'intensité: Faible

Pourcentage de chrysotile: 0.23%

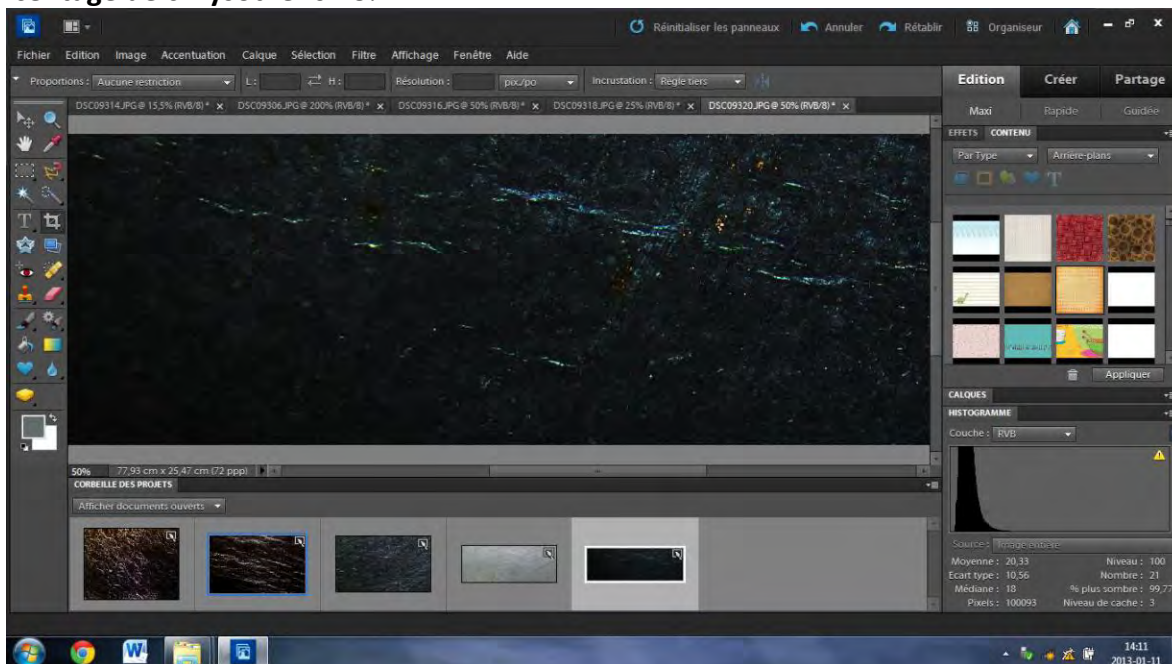


Image 7: Échantillon de la catégorie d'intensité Faible après manipulation dans Photoshop®.

Catégorie d'intensité: Faible

Pourcentage de chrysotile: 0.74%

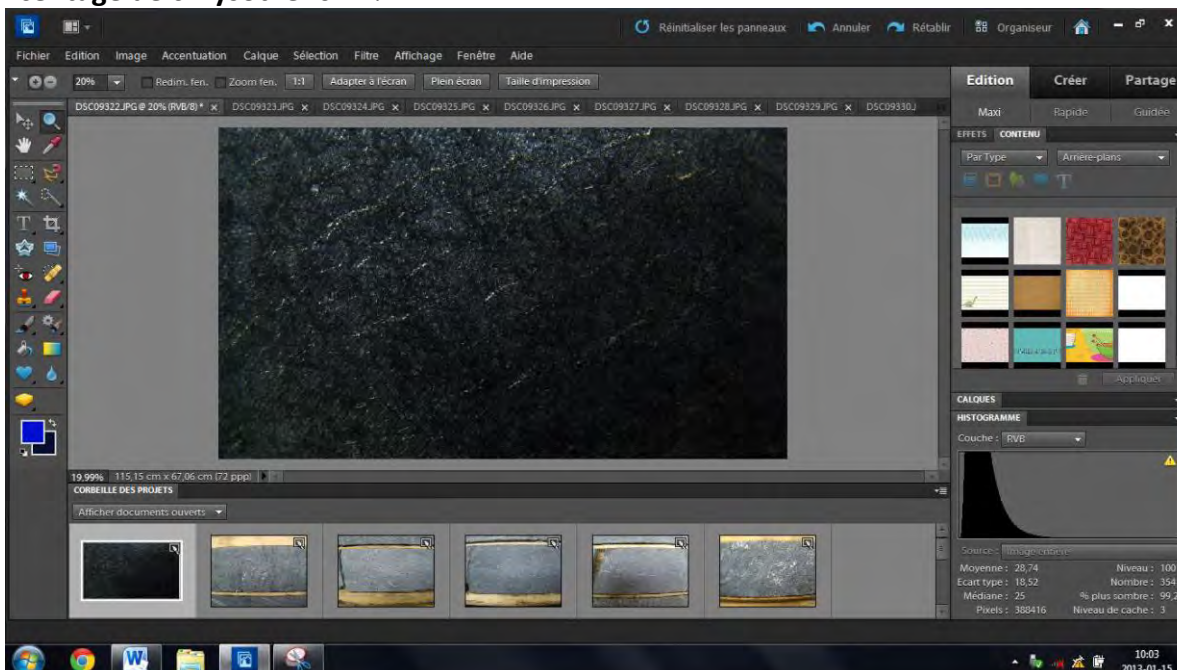


Image 8: Échantillon de la catégorie d'intensité Faible après manipulation dans Photoshop®.

Catégorie d'intensité: Faible
 Pourcentage de chrysotile: 0.96%

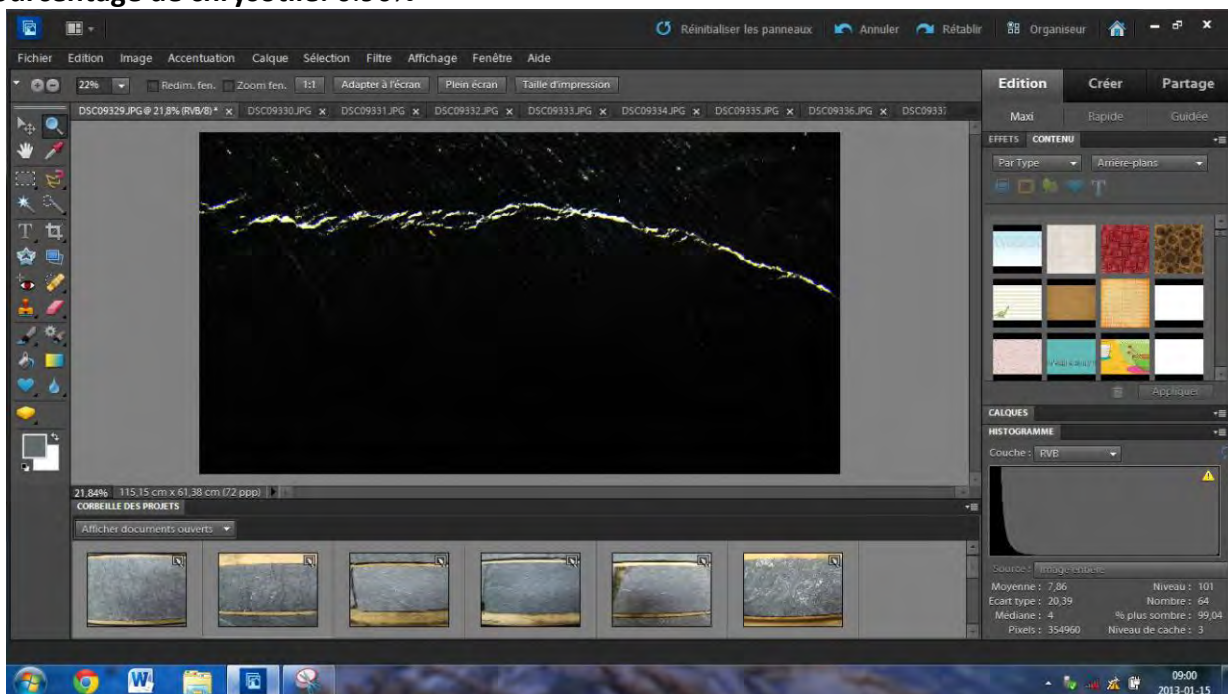


Image 9: Échantillon de la catégorie d'intensité Faible après manipulation dans Photoshop®.

Catégorie d'intensité: Faible
 Pourcentage de chrysotile: 0.50%

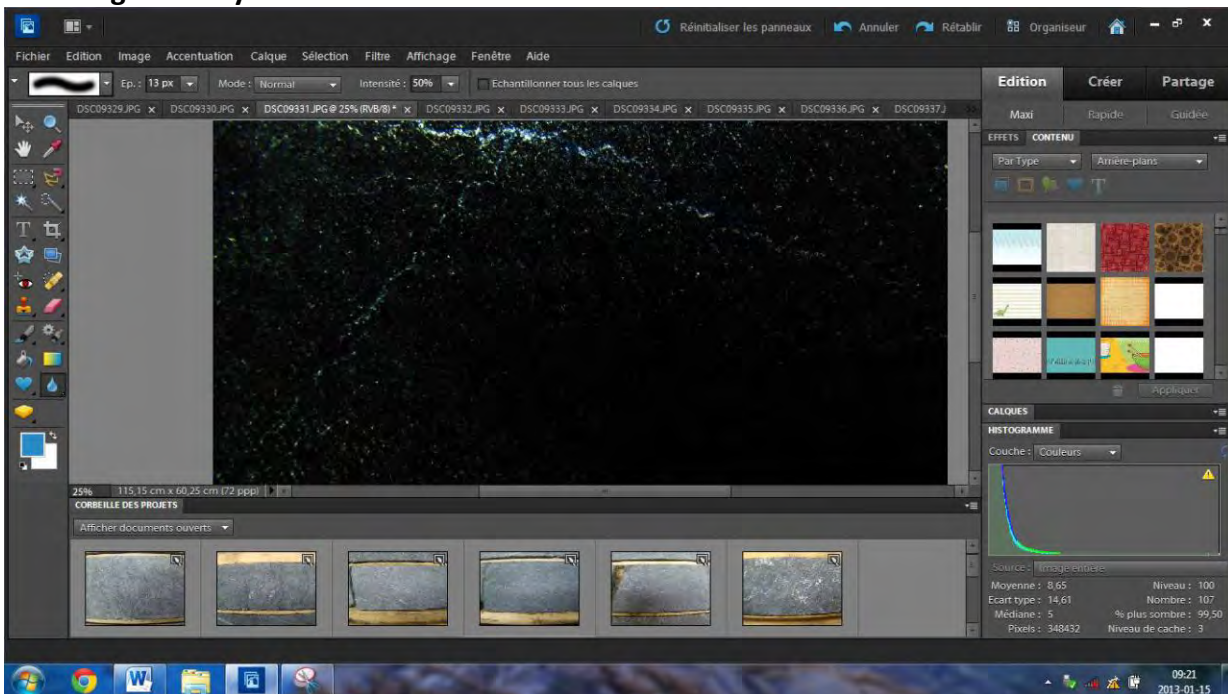


Image 10: Échantillon de la catégorie d'intensité Faible après manipulation dans Photoshop®.

Catégorie d'intensité: Faible
Pourcentage de chrysotile: 0.93%

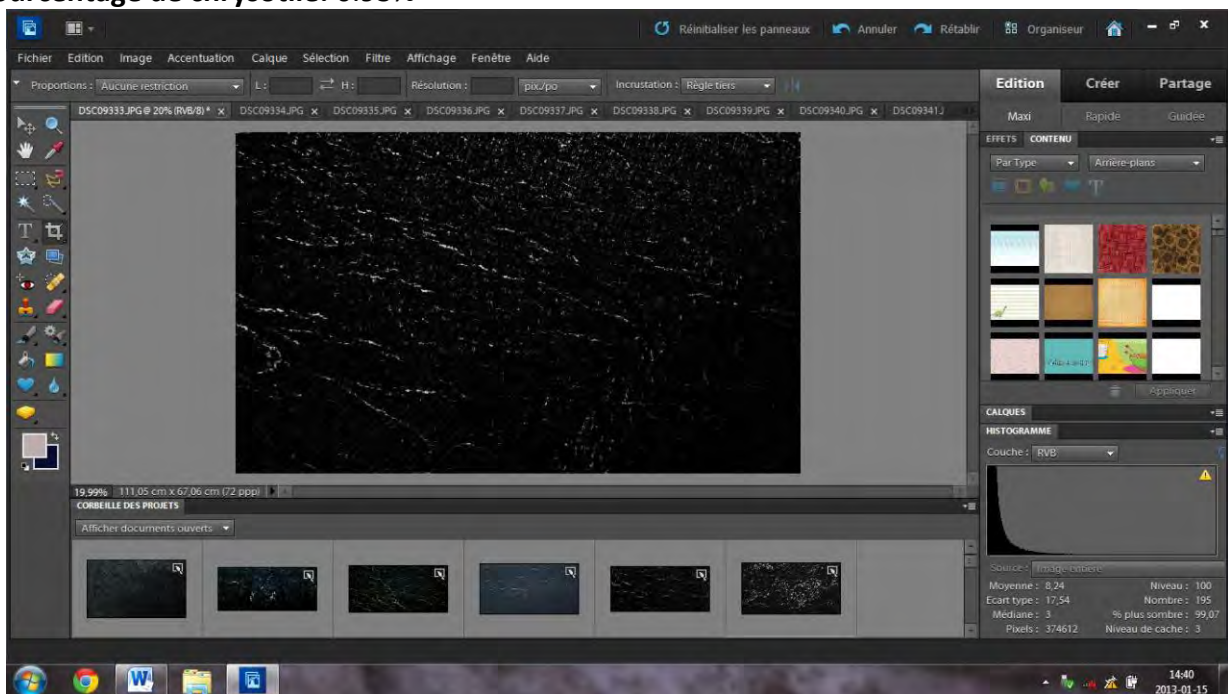


Image 11: Échantillon de la catégorie d'intensité Faible après manipulation dans Photoshop®.

Catégorie d'intensité: Modérée
Pourcentage de chrysotile: 1.35%

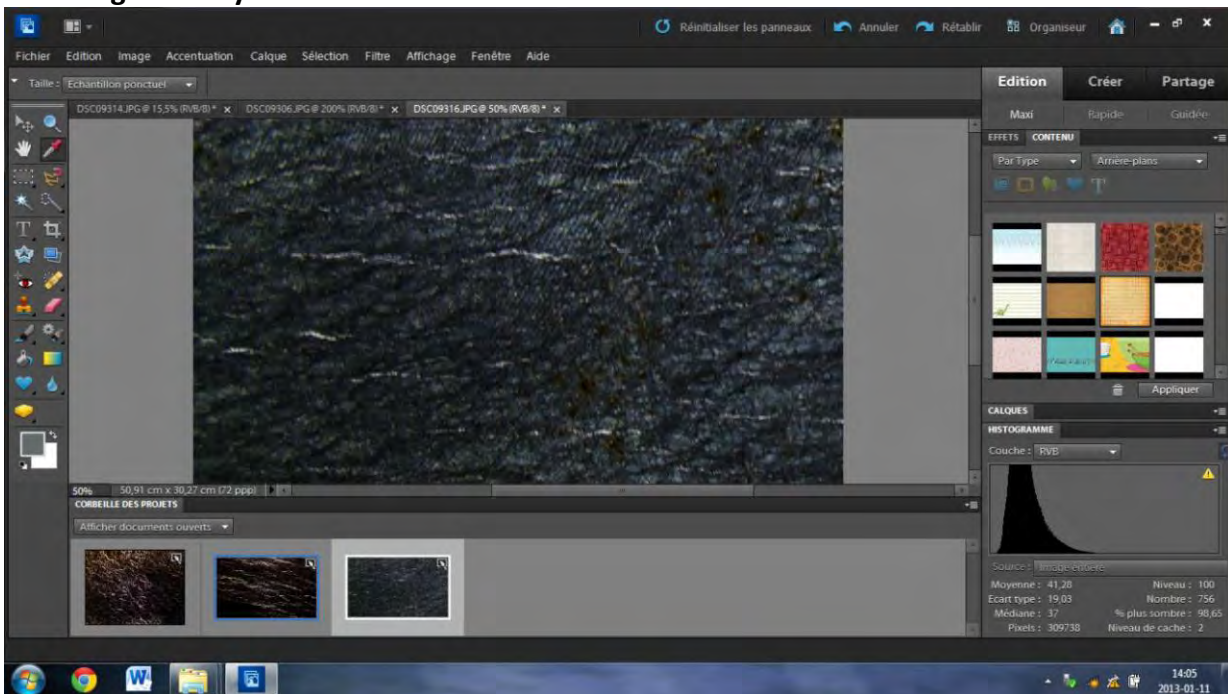


Image 12: Échantillon de la catégorie d'intensité Modérée après manipulation dans Photoshop®.

Catégorie d'intensité: Modérée
Pourcentage de chrysotile: 1.83%

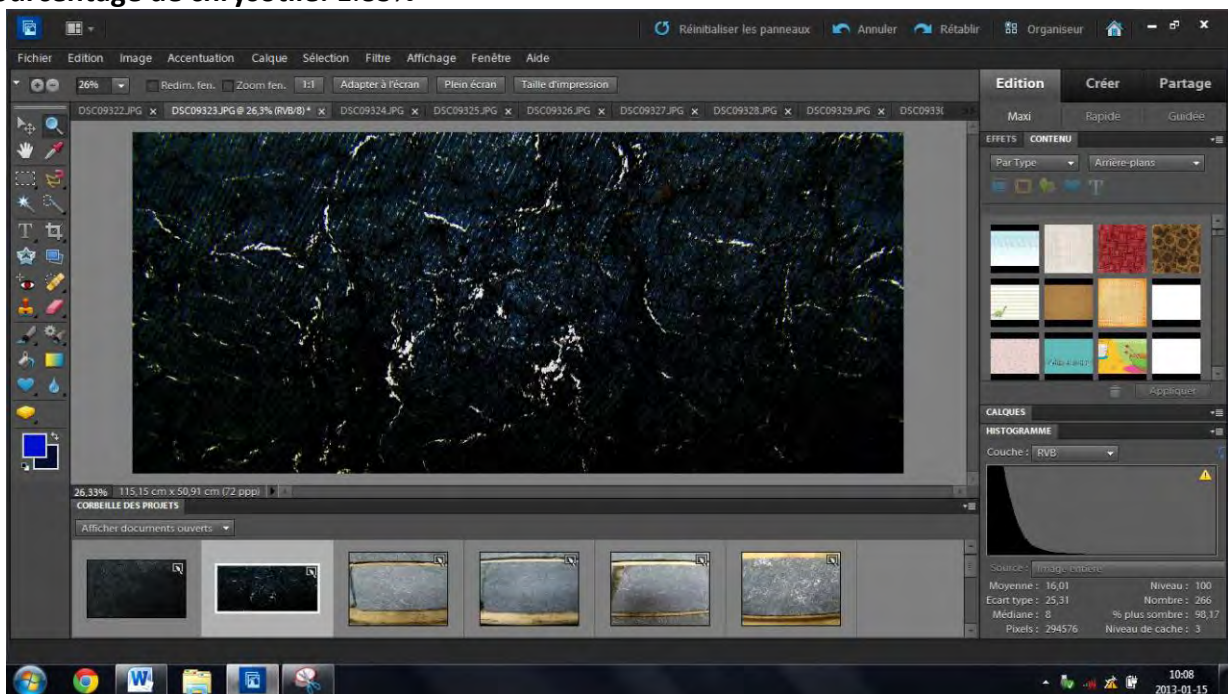


Image 13: Échantillon de la catégorie d'intensité Modérée après manipulation dans Photoshop®.

Catégorie d'intensité: Modérée
Pourcentage de chrysotile: 1.29%

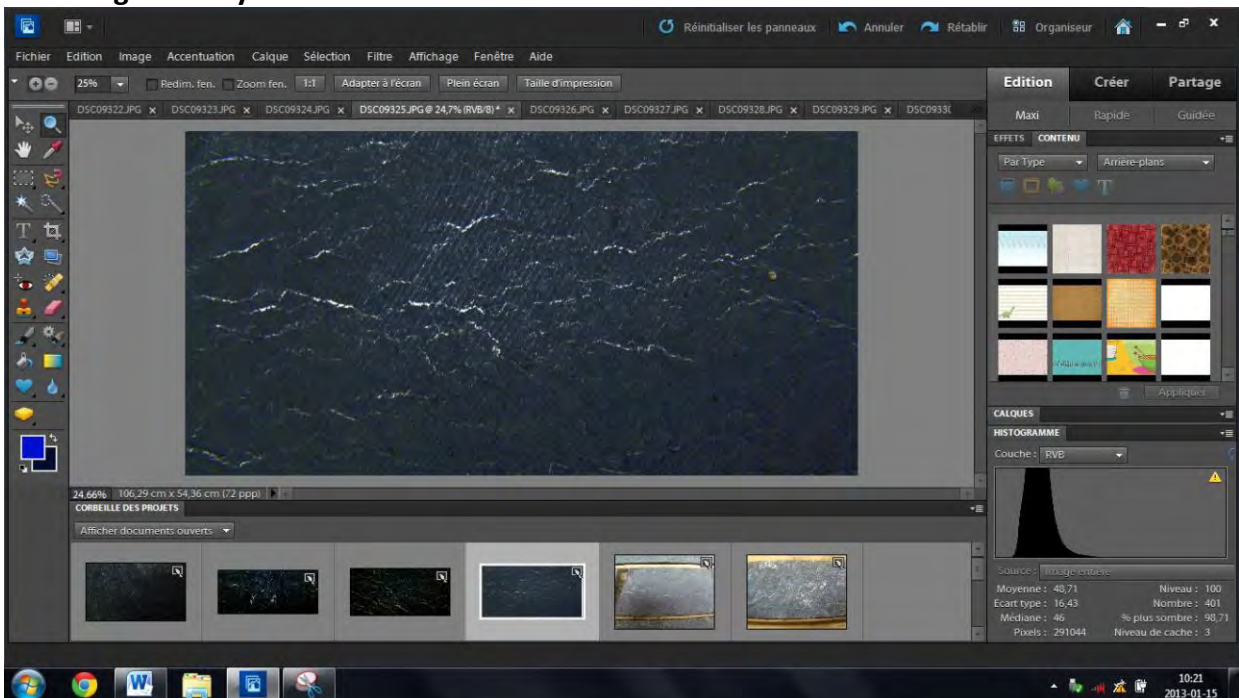


Image 14: Échantillon de la catégorie d'intensité Modérée après manipulation dans Photoshop®.

Catégorie d'intensité: Modérée
Pourcentage de chrysotile: 2.44%

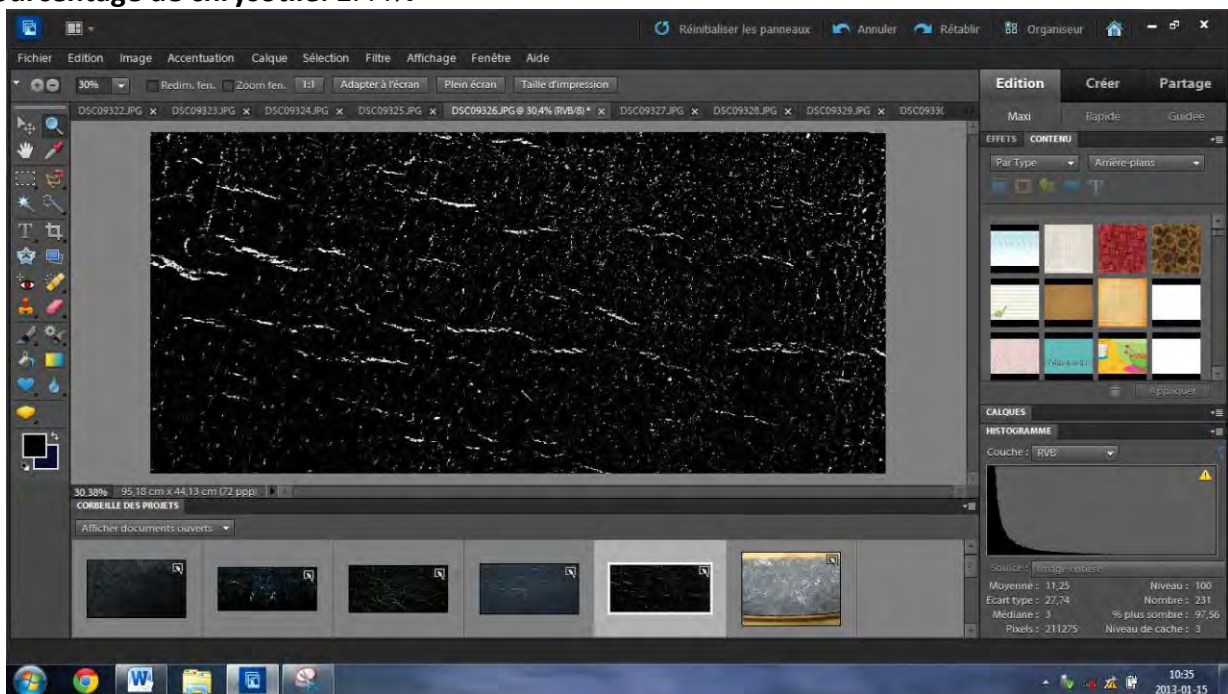


Image 15: Échantillon de la catégorie d'intensité Modérée après manipulation dans Photoshop®.

Catégorie d'intensité: Modérée
Pourcentage de chrysotile: 2.10%

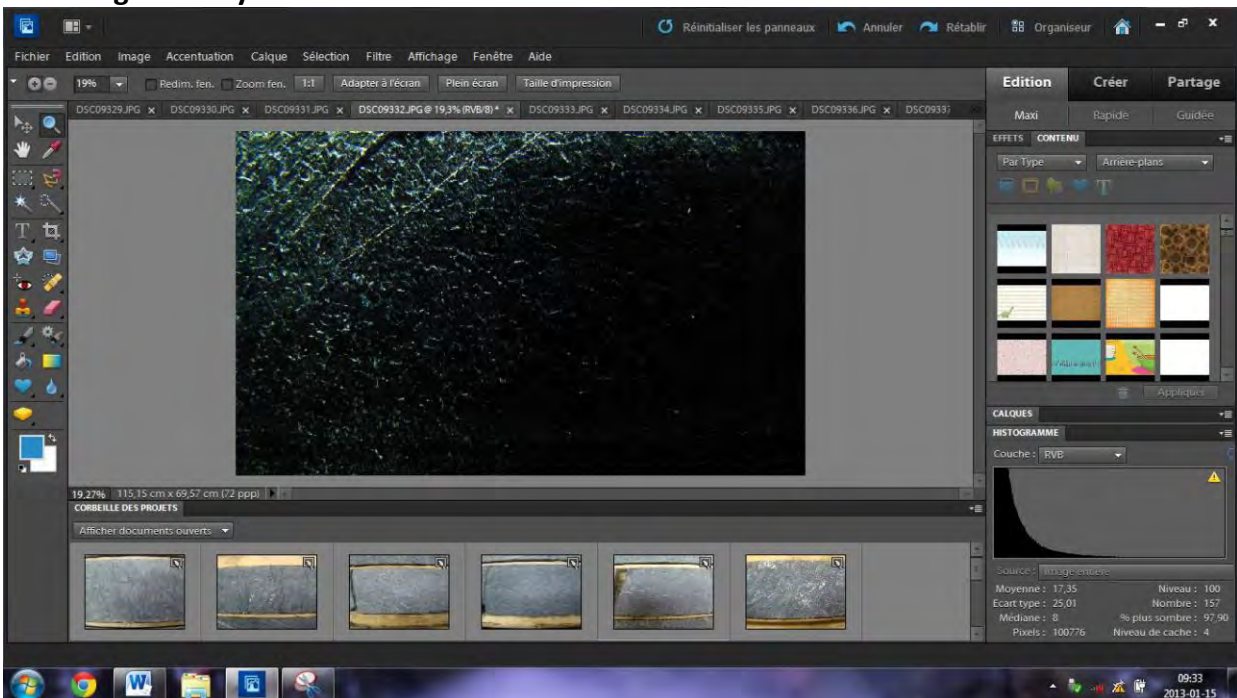


Image 16: Échantillon de la catégorie d'intensité Modérée après manipulation dans Photoshop®.

Catégorie d'intensité: Élevée
Pourcentage de chrysotile: 4.11%

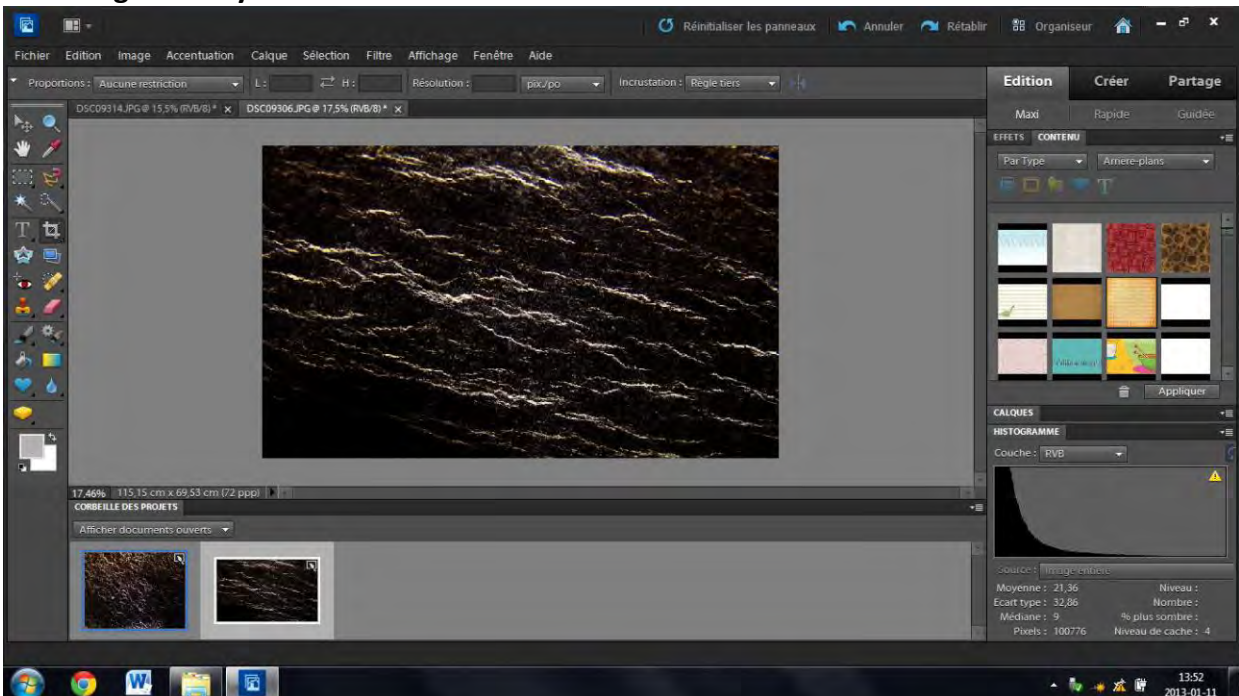


Image 17: Échantillon de la catégorie d'intensité Élevée après manipulation dans Photoshop®.

Catégorie d'intensité: Élevée
Pourcentage de chrysotile: 2.81%

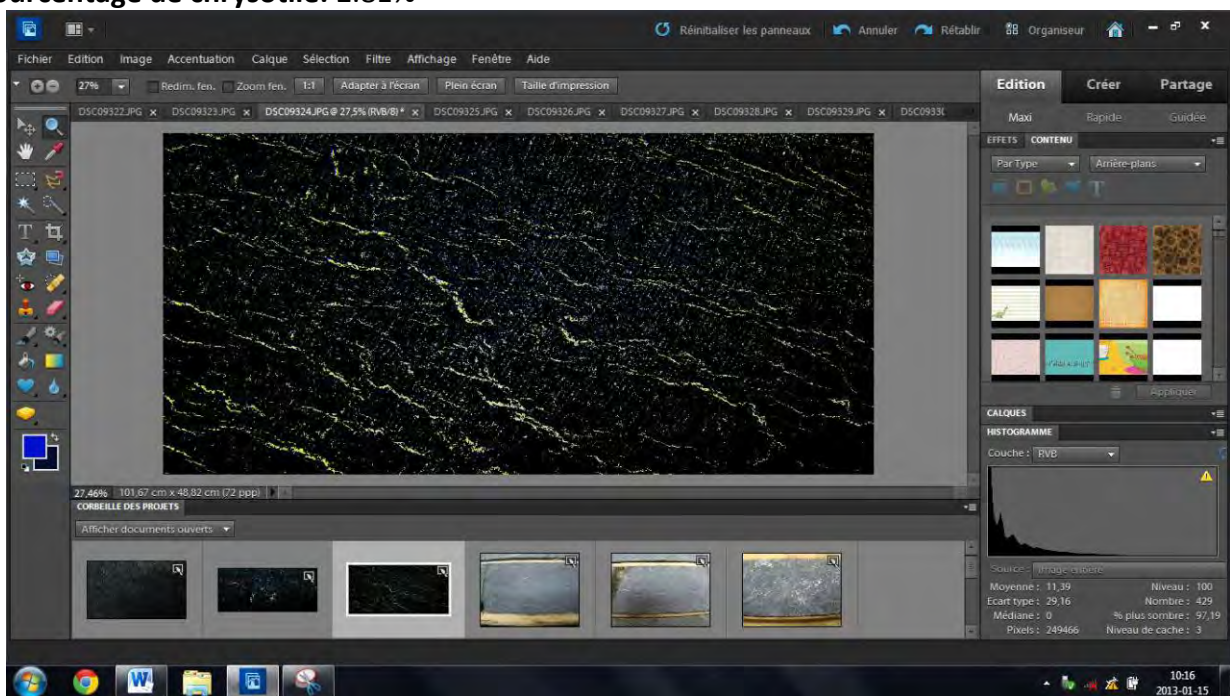


Image 18: Échantillon de la catégorie d'intensité Élevée après manipulation dans Photoshop®.

Catégorie d'intensité: Élevée
Pourcentage de chrysotile: 3.50%

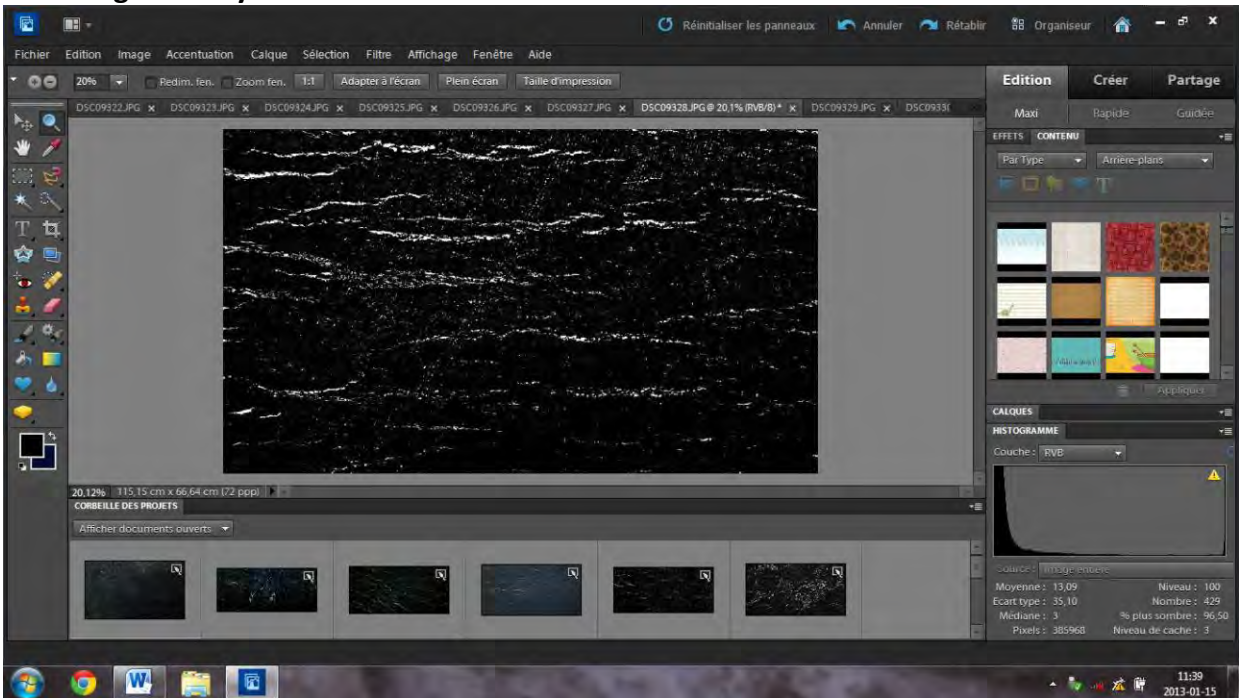


Image 19: Échantillon de la catégorie d'intensité Élevée après manipulation dans Photoshop®.

Catégorie d'intensité: Élevée
Pourcentage de chrysotile: 2.78%

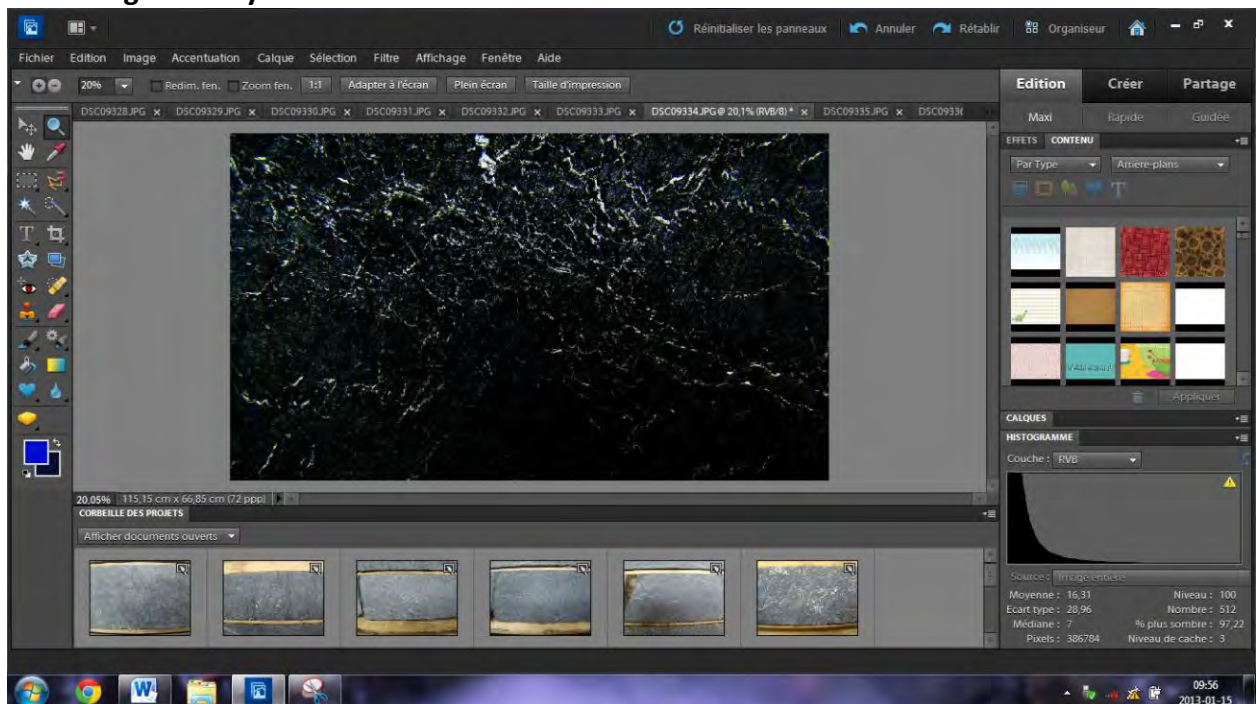


Image 20: Échantillon de la catégorie d'intensité Élevée après manipulation dans Photoshop®.

Catégorie d'intensité: Intense
Pourcentage de chrysotile: 5.65%

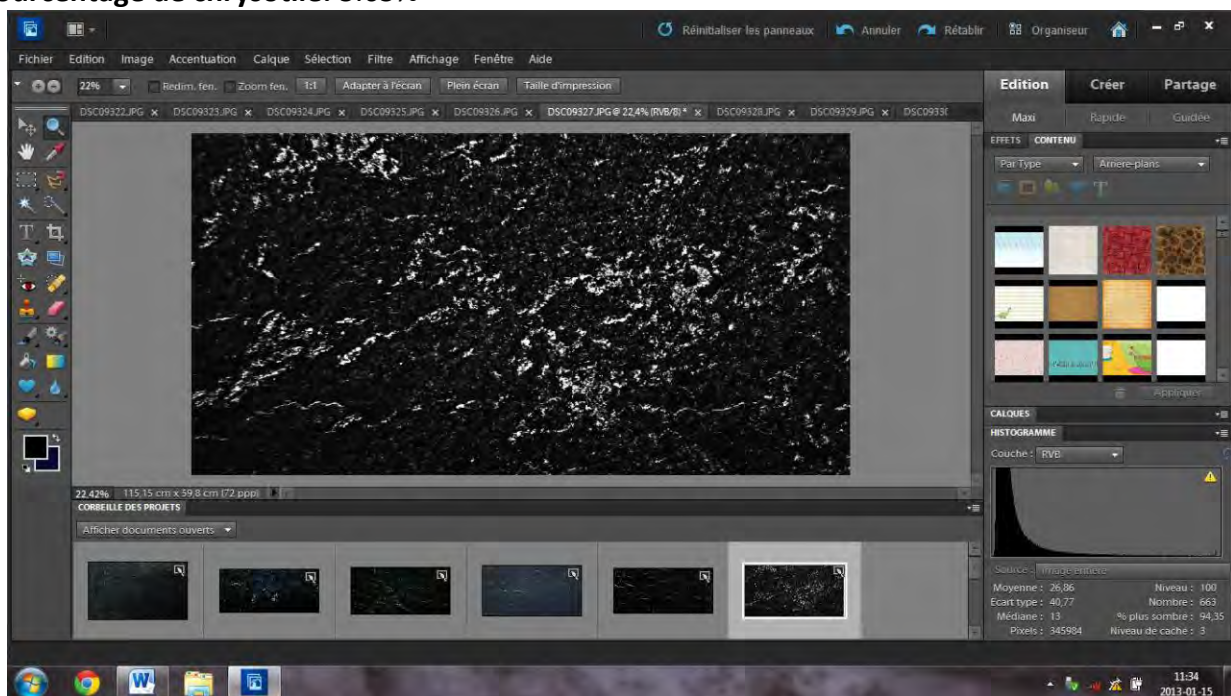


Image 21: Échantillon de la catégorie d'intensité Intense après manipulation dans Photoshop®.

Catégorie d'intensité: Intense
Pourcentage de chrysotile: 4.87%

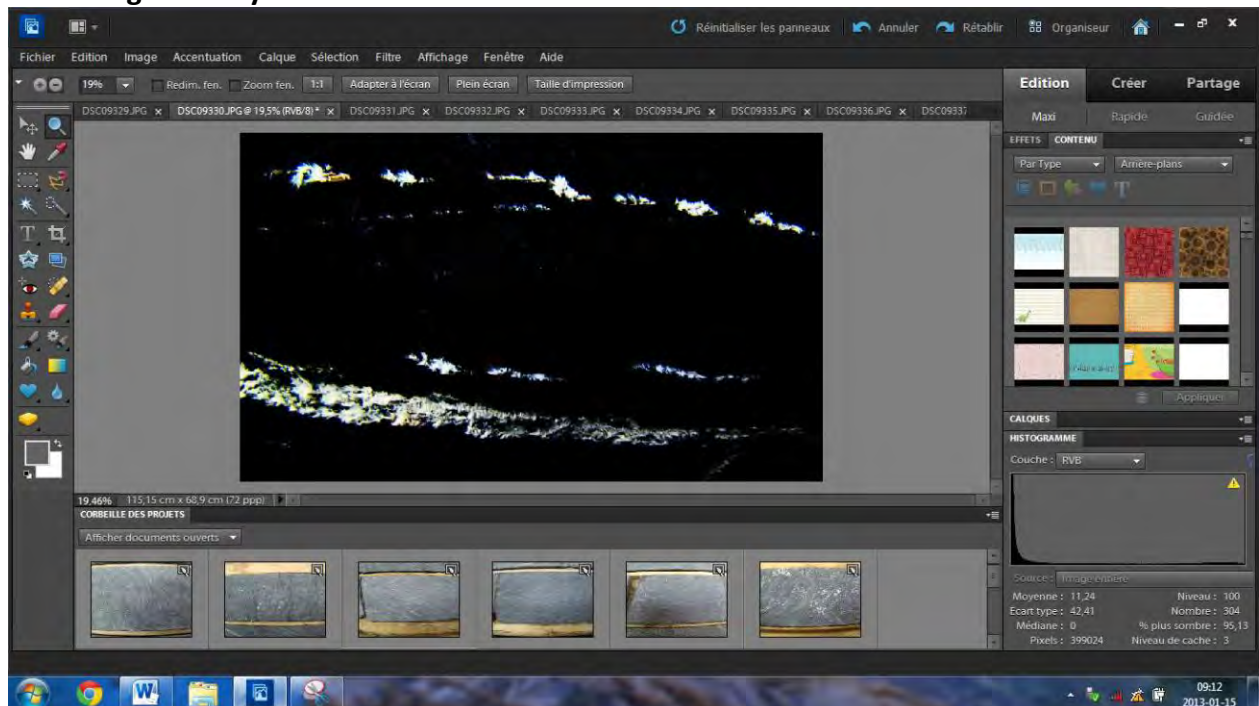


Image 22: Échantillon de la catégorie d'intensité Intense après manipulation dans Photoshop®.

Catégorie d'intensité: Intense
Pourcentage de chrysotile:6.59%

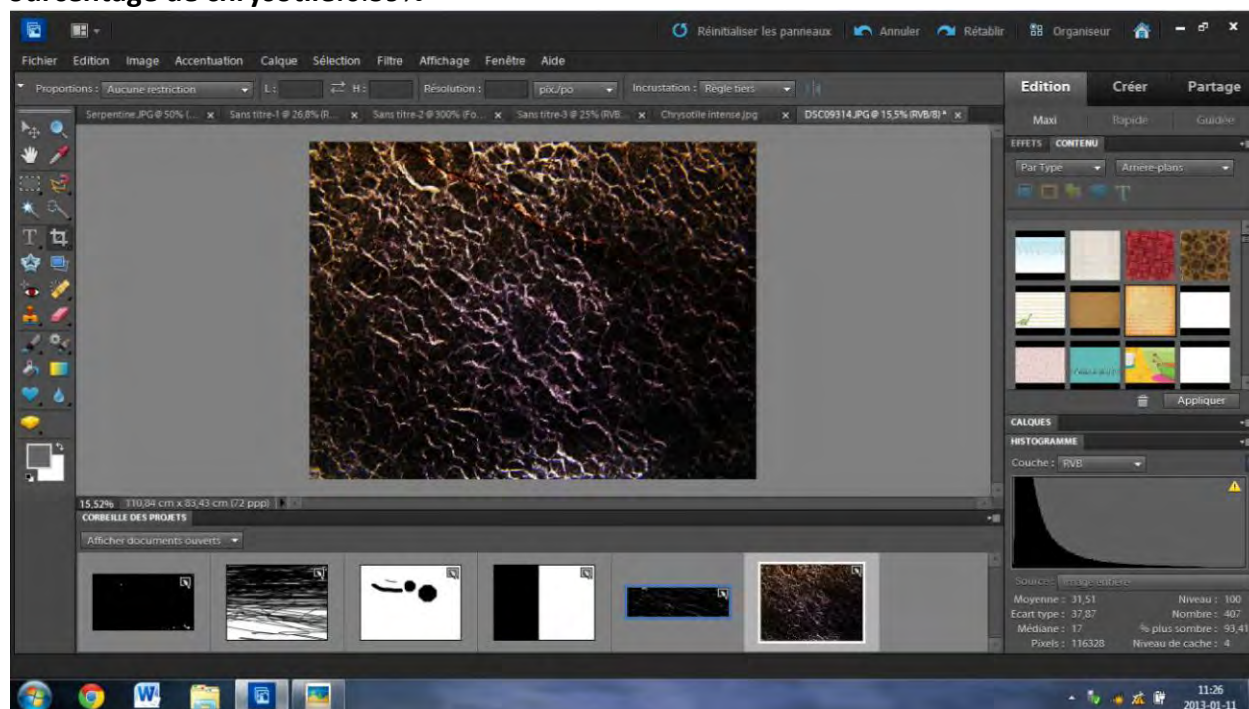


Image 23: Échantillon de la catégorie d'intensité Intense après manipulation dans Photoshop®.

Ajout de données supplémentaires

Dans le but d'avoir une meilleure représentativité des catégories d'intensités "Élevée" et "Intense", de nouveaux échantillons ont été évalués pour avoir maintenant un total de 5 échantillons pour chaque catégorie d'intensité. Ainsi, 2 échantillons ont été ajoutés pour la catégorie d'intensité "Intense" et un échantillon pour la catégorie d'intensité "Élevée".

Ces nouveaux échantillons ont été évalués par la méthode Photoshop®. La valeur assignée à chaque catégorie a été ajustée en prenant en compte les pourcentages des nouveaux échantillons. Malgré l'ajout de nouvelles données pour les catégories d'intensités "Élevée" et "Intense", l'ajustement de la valeur assignée des catégories d'intensités "Élevée" et "Intense" n'apporte aucune différence aux valeurs assignées précédentes. Le Tableau 3 montre ces valeurs.

Tableau 3: Valeurs assignées pour les catégories d'intensités de l'environnements «Réseaux de chrysotile» après les ajustement

Catégories d'intensité de l'environnement «Réseaux de chrysotile»	Nombre de photo utilisée avant ajustement	Nombre de photo utilisée après ajustement	Valeurs assignées précédentes	Valeurs assignées ajustées	Gammes de pourcentage assignées
Aucun	-	-	0%	0%	0% à 0.1%
Faible	5	5	0.75%	0.75%	0.1% à 1%
Modérée	5	5	1.75%	1.75%	1% à 2.5%
Élevée	4	5	3.50%	3.50%	2.5% à 4.5%
Intense	3	5	6%	6%	4.5% à 7%

Les photos des nouveaux échantillons sont illustrées ci-dessous:

Catégorie d'intensité: Élevée

Pourcentage de chrysotile: 3.59%



Image 24: Échantillon de la catégorie d'intensité Élevée sur la carotte de forage

Catégorie d'intensité: Intense

Pourcentage de chrysotile: 5.68%



Image 25: Échantillon de la catégorie d'intensité Élevée sur la carotte de forage

Catégorie d'intensité: Intense
Pourcentage de chrysotile: 5.57%



Image 26: Échantillon de la catégorie d'intensité Élevée sur la carotte de forage

ii) Chrysotile dans les zones hautement fragmentées

Pour estimer la teneur de chrysotile dans les zones hautement fragmentées, les géologues de RNC ont utilisé la même stratégie de catégories d'intensités que pour les Réseaux de chrysotile. Une variété de zones hautement fragmentées a été sélectionnée pour assurer une distribution représentative.

La quantification des catégories d'intensités du chrysotile dans ces zones a dû s'effectuer de façon visuelle par cinq géologues de RNC. Les valeurs mesurées ont été compilées, vérifiées puis assignées à une catégorie d'intensité (faible, modérée, élevée et intense).

Dans cet environnement il est impossible d'utiliser Photoshop® pour deux raisons principales. Photoshop® exige des surfaces propres et continues. Mais dans cet environnement, la carotte de forage est fragmentée et la boue des zones cisailées y couvre de façon omniprésente la carotte de forage.

Une valeur moyenne fut calculée pour chaque catégorie à partir des estimations des géologues faites sur une sélection de zones représentatives :

- 6 zones hautement fragmentées représentatives de la catégorie d'intensité Faible
- 6 zones hautement fragmentées représentatives de la catégorie d'intensité modérée
- 2 zones hautement fragmentées représentatives de la catégorie d'intensité Élevée
- 2 zones hautement fragmentées représentatives de la catégorie d'intensité Intense,

Par la suite, des gammes de pourcentage furent assignées à chacune des catégories. Ces valeurs sont indiquées dans le Tableau 4 ci-dessous:

Tableau 4: Valeurs assignées pour les catégories d'intensités de l'environnements «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées» avant les ajustements.

Catégories d'intensité de l'environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées»	Nombre de zones hautement fragmentées utilisées	Valeurs assignées	Gammes de pourcentage assignées
Faible	6	3%	1% à 10%
Modérée	6	15%	10% à 25%
Élevée	2	33%	25% à 40%
Intense	2	50%	40% à 70%

Échantillons utilisés pour la caractérisation de l'environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées»

Toutes les zones hautement fragmentées utilisées pour déterminer la valeur assignée de chaque catégorie d'intensité sont illustrées ci-dessous (Image 27 à 39):

Catégorie d'intensité: Faible

Pourcentage de chrysotile moyen: 5%



Image 27: Zone hautement fragmentée de la Boite #61 (289.90-290.40m)

Chrysotile estimé de l'image 27 par les géologues:

Géologue 1	8% (Faible)
Géologue 2	3% (Faible)
Géologue 3	5% (Faible)
Géologue 4	3% (Faible)
Géologue 5	7% (Faible)
Valeur Moyenne	5% (Faible)

Catégorie d'intensité: Faible

Pourcentage de chrysotile moyen: 5%



Image 28: Zone hautement fragmentée de la Boite #61 (290.40-291.00m)

Chrysotile estimé de l'image 28 par les géologues:

Géologue 1	7% (Faible)
Géologue 2	3% (Faible)
Géologue 3	5% (Faible)
Géologue 4	3% (Faible)
Géologue 5	7% (Faible)
Valeur Moyenne	5% (Faible)

Catégorie d'intensité: Faible

Pourcentage de chrysotile moyen: 3%



Image 29: Zone hautement fragmentées de la Boite #35 (178.20-178.50m).

Chrysotile estimé de l'image 29 par les géologues:

Géologue 1	3% (Faible)
Géologue 2	2% (Faible)
Géologue 3	4% (Faible)
Géologue 4	3% (Faible)
Géologue 5	3% (Faible)
Valeur Moyenne	3% (Faible)

Catégorie d'intensité: Faible

Pourcentage de chrysotile moyen: 3%



Image 30: Zone hautement fragmentée de la Boite #114 (518.85- 519.10m).

Chrysotile estimé de l'image 30 par les géologues:

Géologue 1	3% (Faible)
Géologue 2	2% (Faible)
Géologue 3	3% (Faible)
Géologue 4	3% (Faible)
Géologue 5	3% (Faible)
Valeur Moyenne	3% (Faible)

Catégorie d'intensité: Faible

Pourcentage de chrysotile moyen: 3%



Image 31: Zone hautement fragmentée de la Boîte #115 (521.50-522.00m).

Chrysotile estimé de l'image 31 par les géologues:

Géologue 1	4% (Faible)
Géologue 2	2% (Faible)
Géologue 3	2% (Faible)
Géologue 4	3% (Faible)
Géologue 5	3% (Faible)
Valeur Moyenne	3% (Faible)

Catégorie d'intensité: Faible

Pourcentage de chrysotile moyen: 4%



Image 32: Zone hautement fragmentée de la Boîte #80 (369.60-370.30m).

Chrysotile estimé de l'image 32 par les géologues:

Géologue 1	5% (Faible)
Géologue 2	3% (Faible)
Géologue 3	3% (Faible)
Géologue 4	4% (Faible)
Géologue 5	5% (Faible)
Valeur Moyenne	4% (Faible)

Catégorie d'intensité: Modérée

Pourcentage de chrysotile moyen: 10%



Image 33: Zone hautement fragmentée de la Boite #34 (172.35-172.75m).

Chrysotile estimé de l'image 33 par les géologues:

Géologue 1	15% (Modérée)
Géologue 2	5% (Faible)
Géologue 3	10% (Modérée)
Géologue 4	10% (Modérée)
Géologue 5	10% (Modérée)
Valeur Moyenne	10% (Modérée)

Catégorie d'intensité: Modérée

Pourcentage de chrysotile moyen: 10%



Image 34: Zone hautement fragmentée de la Boite #49 (236.50-237.00m).

Chrysotile estimé de l'image 34 par les géologues:

Géologue 1	15% (Modérée)
Géologue 2	8% (Faible)
Géologue 3	11% (Modérée)
Géologue 4	7% (Faible)
Géologue 5	9% (Faible)
Valeur Moyenne	10% (Modérée)

Catégorie d'intensité: Modérée

Pourcentage de chrysotile moyen: 20%



Image 35: Zone hautement fragmentée de la Boite #115 (521.00-521.50m).

Chrysotile estimé de l'image 35 par les géologues:

Géologue 1	25% (Modérée)
Géologue 2	15% (Modérée)
Géologue 3	20% (Modérée)
Géologue 4	20% (Modérée)
Géologue 5	20% (Modérée)
Valeur Moyenne	20% (Modérée)

Catégorie d'intensité: Modérée

Pourcentage de chrysotile moyen: 20%



Image 36: Zone hautement fragmentée de la Boite #80 (370.30-370.80m).

Chrysotile estimé de l'image 36 par les géologues:

Géologue 1	25% (Modérée)
Géologue 2	15% (Modérée)
Géologue 3	20% (Modérée)
Géologue 4	25% (Modérée)
Géologue 5	15% (Modérée)
Valeur Moyenne	20% (Modérée)

Catégorie d'intensité: Modérée

Pourcentage de chrysotile moyen: 17%



Image 37: Zone hautement fragmentée de la Boite #97 (445.80-446.20m).

Chrysotile estimé de l'image 37 par les géologues:

Géologue 1	23% (Modérée)
Géologue 2	15% (Modérée)
Géologue 3	18% (Modérée)
Géologue 4	15% (Modérée)
Géologue 5	15% (Modérée)
Valeur Moyenne	17% (Modérée)

Catégorie d'intensité: Modérée

Pourcentage de chrysotile moyen: 12%



Image 38: Zone hautement fragmentée de la Boite #104 (474.15-474.75m).

Chrysotile estimé de l'image 38 par les géologues:

Géologue 1	15% (Modérée)
Géologue 2	8% (Faible)
Géologue 3	15% (Modérée)
Géologue 4	12% (Modérée)
Géologue 5	10% (Modérée)
Valeur Moyenne	12% (Modérée)

Catégorie d'intensité: Élevée

Pourcentage de chrysotile moyen: 35%



Image 39: Zone hautement fragmentée de la Boîte #24 (131.40-131.95m)

Chrysotile estimé de l'image 39 par les géologues:

Géologue 1	40% (Élevée)
Géologue 2	25% (Élevée)
Géologue 3	30% (Élevée)
Géologue 4	25% (Élevée)
Géologue 5	40% (Élevée)
Valeur Moyenne	35% (Élevée)

Catégorie d'intensité: Élevée

Pourcentage de chrysotile moyen: 36%



Image 40: Zone hautement fragmentée de la Boîte #26 (139.75-140.35m).

Chrysotile estimé de l'image 40 par les géologues:

Géologue 1	40% (Élevée)
Géologue 2	35% (Élevée)
Géologue 3	35% (Élevée)
Géologue 4	35% (Élevée)
Géologue 5	35% (Élevée)
Valeur Moyenne	36% (Élevée)

Catégorie d'intensité: Intense

Pourcentage de chrysotile moyen: 50%



Image 41: Zone hautement fragmentée de la Boite #97 (446.20-446.80m).

Chrysotile estimé de l'image 41 par les géologues:

Géologue 1	55% (Intense)
Géologue 2	45% (Intense)
Géologue 3	50% (Intense)
Géologue 4	50% (Intense)
Géologue 5	50% (Intense)
Valeur Moyenne	50% (Intense)

Catégorie d'intensité: Intense

Pourcentage de chrysotile moyen: 57%



Image 42: Zone hautement fragmentée de la Boite #63 (299.20-299.50m)

Chrysotile estimé de l'image 42 par les géologues:

Géologue 1	60% (Intense)
Géologue 2	60% (Intense)
Géologue 3	50% (Intense)
Géologue 4	55% (Intense)
Géologue 5	60% (Intense)
Valeur Moyenne	57% (Intense)

Ajout de données supplémentaires

Dans le but d'avoir une plus grande représentativité des catégories d'intensités Élevée et Intense, de nouveaux intervalles ont été évalués pour avoir maintenant un total de 5 échantillons pour ces catégories d'intensités. Ainsi, 3 intervalles ont été ajoutés pour les catégories d'intensités Élevée et Intense.

Ces nouveaux intervalles ont été évalués en utilisant la méthode décrite ci-haut. La valeur assignée à chaque catégorie a été ajustée en prenant en compte les pourcentages des nouveaux échantillons. L'ajout de nouvelles données pour les catégories d'intensités Élevée et Intense, cause une légère différence aux valeurs assignées de ces catégories d'intensités.

- Intensité Élevée, la valeur moyenne passe de 33% à 35%.
- Intensité Intense, la valeur moyenne passe de 50% à 55%.

L'ajustement de la valeur assignée des zones hautement fragmentées de catégories d'intensités Élevée et Intense est supérieure à la première phase d'estimation et entraîne une augmentation du pourcentage estimé de chrysotile, à la fois sur les trous sélectionnés et sur l'ensemble du projet. Cet ajustement augmente la valeur dans l'ordre de grandeur du centième de pourcent. Le Tableau 5 montre ces valeurs:

Tableau 5: Valeurs assignées pour les catégories d'intensités de l'environnements «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées» après les ajustement

Catégories d'intensité de l'environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées»	Nombre de photo utilisée avant ajustement	Nombre de photo utilisée après ajustement	Valeurs assignées précédentes	Valeurs assignées ajustées	Gammes de pourcentage assignées
Faible	6	6	3%	3%	1% à 10%
Modérée	6	6	15%	15%	10% à 25%
Élevée	2	5	33%	35%	25% à 45%
Intense	2	5	50%	55%	45% à 70%

Les photos des nouvelles zones hautement fragmentées sont illustrées ci-dessous:

Catégorie d'intensité: Élevée

Pourcentage de chrysotile moyen: 31%



Image 43: Zone hautement fragmentée de la Boîte #67 du trou 11-RN-334 (312.38-313.00m)

Chrysotile estimé de l'image 43 par les géologues:

Géologue 1	60% (Intense)
Géologue 2	30% (Élevée)
Géologue 3	40% (Élevée)
Géologue 4	15% (Modérée)
Géologue 5	20% (Modérée)
Géologue 6	25% (Modérée)
Valeur Moyenne	31% (Élevée)

Catégorie d'intensité: Élevée

Pourcentage de chrysotile moyen: 28%



Image 44: Zone hautement fragmentée de la Boîte #3 du trou 11-RN-296 (63.49-63.97m)

Chrysotile estimé de l'image 44 par les géologues:

Géologue 1	20% (Modérée)
Géologue 2	15% (Modérée)
Géologue 3	45% (Intense)
Géologue 4	30% (Élevée)
Géologue 5	30% (Élevée)
Géologue 6	25% (Élevée)
Valeur Moyenne	28% (Élevée)

Catégorie d'intensité: Élevée

Pourcentage de chrysotile moyen: 38%



Image 45: Zone hautement fragmentée de la Boîte #47 du trou 08-RN-94 (209.10-209.45m)

Chrysotile estimé de l'image 45 par les géologues:

Géologue 1	45% (Intense)
Géologue 2	40% (Élevée)
Géologue 3	40% (Élevée)
Géologue 4	25% (Élevée)
Géologue 5	40% (Élevée)
Géologue 6	35% (Élevée)
Valeur Moyenne	38% (Élevée)

Catégorie d'intensité: Intense

Pourcentage de chrysotile moyen: 56%



Image 46: Zone hautement fragmentée de la Boîte #4 du trou 11-RN-252 (43.10-43.32m)

Chrysotile estimé de l'image 46 par les géologues:

Géologue 1	70% (Intense)
Géologue 2	60% (Intense)
Géologue 3	70% (Intense)
Géologue 4	30% (Élevée)
Géologue 5	60% (Intense)
Géologue 6	50% (Intense)
Valeur Moyenne	56% (Intense)

Catégorie d'intensité: Intense

Pourcentage de chrysotile moyen: 51%



Image 47: Zone hautement fragmentée de la Boîte #47 du trou 08-RN-94 (208.5-208.65m)

Chrysotile estimé de l'image 47 par les géologues:

Géologue 1	50% (Intense)
Géologue 2	50% (Intense)
Géologue 3	55% (Intense)
Géologue 4	40% (Élevée)
Géologue 5	60% (Intense)
Géologue 6	50% (Intense)
Valeur Moyenne	51% (Intense)

Catégorie d'intensité: Intense

Pourcentage de chrysotile moyen: 61%



Image 48: Zone hautement fragmentée de la Boîte #18 du trou 11-RN-300 (115.03-115.11m)

Chrysotile estimé de l'image 48 par les géologues:

Géologue 1	60% (Intense)
Géologue 2	55% (Intense)
Géologue 3	70% (Intense)
Géologue 4	60% (Intense)
Valeur Moyenne	61% (Élevée)

Vérification interne des zones hautement fragmentées

Lors de l'ajout de données supplémentaires, sept géologues ont réévalué six intervalles de la catégorie d'intensité Intense des zones hautement fragmentées. Sur ces six intervalles, trois d'entre eux ont été recatégorisés dans les catégories Modérée et Élevée. Les trois autres sont demeurés dans la catégorie Intense.

Pour cette raison, les géologues de RNC ont décidé de faire une réévaluation des 45 intervalles de la catégorie d'intensité Intense de l'environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées» pour vérifier la validité des identifications faites lors du journal de sondage du chrysotile.

Sur les 45 intervalles de la catégorie Intense, 15 d'entre eux ont été recatégorisés et ajustés dans la base de données. Ces intervalles sont montrés dans l'Annexe VI.

La réévaluation interne des zones hautement fragmentées de la catégorie d'intensité «Intense» est inférieure à la première phase d'estimation et entraîne une diminution du pourcentage de chrysotile, à la fois, sur les trous sélectionnés et sur l'ensemble du projet. Cet ajustement diminue la valeur dans l'ordre de grandeur du centième de pourcent.

iii) Chrysotile dans les veines/fractures

Pour estimer la teneur en chrysotile de cet environnement les géologues de RNC ont jugé que la méthode la plus adéquate :

- est de mesurer l'épaisseur du chrysotile présent dans les veines et fractures à l'aide d'une règle;
- et d'assumer que la teneur désignée en chrysotile est de 100%.

Tout ce qui est à l'extérieur des veines est considéré comme faisant partie de réseaux de chrysotile à travers la roche.

Pour les veines qui recoupent l'axe de la carotte de forage avec un angle fort (image 50), une mesure de l'épaisseur du chrysotile est prise. Pour les veines qui recoupent l'axe de la carotte avec un angle faible (image 49), un calcul standard est utilisé de façon à diviser le joint en segments de 4.5 cm (ou le diamètre de la carotte de forage). Ce qui revient à couper la veine en segments de 4.5 cm de longueur, à regrouper ces segments côte à côte perpendiculairement à l'axe de la carotte de forage et à mesurer l'épaisseur totale. L'équation standard est montrée ci-dessous:

Étape 1: La longueur totale de la veine de chrysotile est mesurée et divisé par 4.5cm (diamètre de la carotte).

Étape 2: L'épaisseur moyenne de chrysotile dans la veine est multipliée par le résultat obtenue à l'étape 1.

Exemple utilisant l'image 49:

Étape 1: Longueur totale (22.5cm) / 4.5cm = 5

Étape 2: Épaisseur moyenne de chrysotile dans la veine = 2mm

$$2\text{mm} * 5 = 10\text{mm}$$

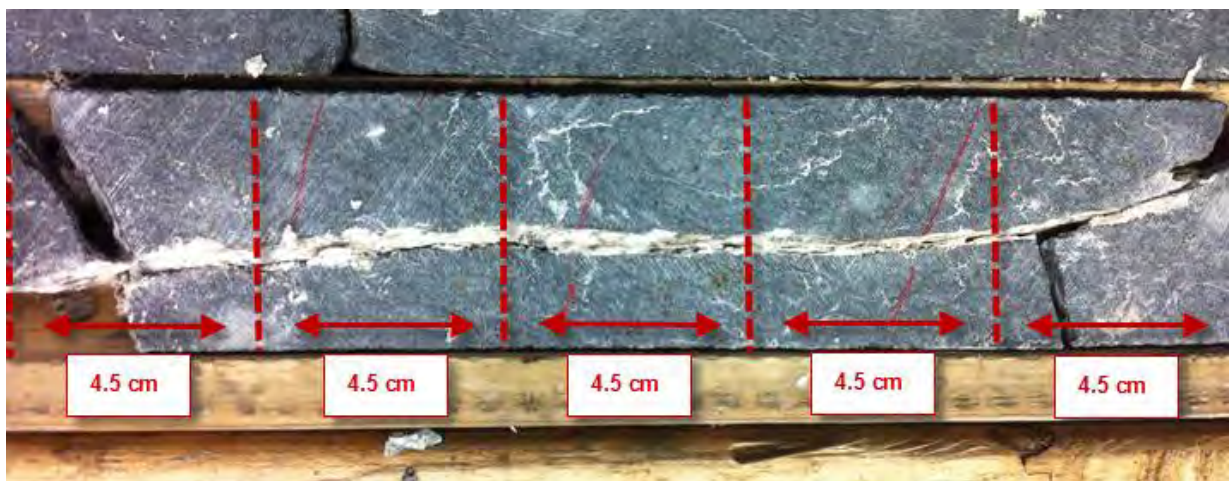


Image 49: Veine de chrysotile coupant à travers l'axe de la carotte de forage séparée en segments de 4.5cm



Image 50: Veine coupant le diamètre de la carotte de forage à un angle faible.

5) Discussion de la surestimation dans les environnements de chrysotile

Une surestimation de la teneur en chrysotile présent dans la carotte de forage est générée par ces méthodes de quantification dans les environnements de chrysotile puisque de la brucite (pâle) et des minéraux blancs coexistants (tels que le talc, la serpentine et des carbonates) sont souvent associés au chrysotile et ne peuvent pas être aisément distingués lorsque ceux-ci sont de granulométrie fine.

À une échelle millimétrique, les géologues peuvent faire la différence entre ces minéraux et ainsi évaluer adéquatement les catégories d'intensités pour les environnements «Réseaux de chrysotile» et «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées». Pour l'environnement «Chrysotile dans les veines/fractures», l'identification plus aisée de ces minéraux pâles coexistants permet aux géologues d'estimer correctement l'épaisseur de la structure évaluée.

Cependant, sur une échelle plus petite qu'un millimètre, il est parfois difficile de différencier ces minéraux à l'œil nu et ceux-ci se retrouvent inclus dans l'évaluation des environnements de chrysotile fait par les géologues, ce qui génère cette surestimation.

Dans l'environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées», chaque catégorie d'intensité couvre une large gamme de pourcentage. L'estimation visuelle dans les zones à pourcentages élevés est plus variable d'un géologue à l'autre. Pour cette raison, dès que l'estimation visuelle se situe près des limites des gammes de pourcentage des catégories d'intensités, la zone est classée dans la catégorie supérieure.

Nous considérons ces surestimations comme globalement faibles avec un impact mineur sur les résultats. Ces méthodes d'évaluation pour les différents environnements de chrysotile furent approuvées par les géologues de RNC.

6) Chrysotile dans les zones de carotte de forage non récupérées

L'altération des lithologies ultramafiques du projet Dumont génère des minéraux fibreux qui peuvent former des veines ou remplir des failles ou zones cisailées. Ces zones sont potentiellement propices à une perte de récupération de la carotte de forage. Lors du forage, si le foreur ne fait pas attention, ces zones sont propices à être lessivées par un contrôle inadéquat de la pression d'eau lors du forage. Malgré tout, ces zones sont régulièrement récupérées par les foreurs.

Il existe plusieurs situations où une perte de la carotte de forage peut survenir.

Perte de carotte lors du forage:

- Broyage de la carotte lors du forage
 - Terrain fracturé
 - Mauvaise manœuvre des foreurs
- Faille ouverte sans remplissage minéral (veine d'eau)
- Faille ou veine de minéraux boueux lessivée lors du forage.
- Défectuosité ou usure de l'équipement de forage (ressort de soutien, foret, etc.)
- Perte de carotte lors des manipulations par les foreurs ou par les techniciens de RNC jusqu'à la carothèque.

Perte de carotte lors de la manipulation de la carotte de forage dans la carothèque:

- Lors de l'étalage des boîtes.
- Lors du transport des boîtes d'un secteur à l'autre dans la carothèque.
- Lors de la coupe de la carotte pour l'échantillonnage.
- Lors des manipulations d'entreposage sur palette et la manipulation de celle-ci.

Les zones de boues riches en chrysotile ne subissent peu de perte lors des manipulations dans la carothèque. Ces zones boueuses sont molles, pâteuses et «collent» au fond de la boîte de carotte de forage. Par nature, elles ne sont pas propices à tomber de la boîte, les pertes de carotte de forage proviennent donc presque exclusivement des morceaux de carottes solides.

Dans le cas spécifique de ce projet d'évaluation du chrysotile, les mesures sont faites sur des carottes de forage qui ont déjà été manipulées lors d'un journal de sondage et d'un échantillonnage préalable.

À partir de leur expérience globale du projet Dumont les géologues de RNC évaluent que 25% des zones de carotte de forage non récupérées correspondent des zones à contenu élevé en chrysotile (Zone hautement fracturée).

Ces 25% de carottes de forage non récupérées correspondent à des zones de veines ou de failles boueuses contenant également de la serpentine, de la brucite, du talc, des carbonates et des fragments de roche. Nous évaluons donc que le chrysotile représenterait en moyenne 35% du contenu de ces zones. Cette valeur de 35% est l'équivalent de la catégorie Élevée de l'environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées» qui est jugée représentative des sections «boueuses» non récupérées.

Avec 25% de zones de carotte de forage non récupéré à contenu élevé en chrysotile et une quantité attribuée de 35% de chrysotile dans ces zones, cela représente globalement 8.75% de chrysotile supplémentaire à ajouter au projet Dumont pour les zones de carotte de forage non récupérées.

7) Discussion

Toutes les valeurs moyennes de chaque catégorie d'intensité de chaque environnement de chrysotile trouvées avec les méthodes mentionnées précédemment ont été compilées et arrondies au supérieur pour donner une surestimation artificielle pour but de rester conservateur. Ceci a résulté en une valeur assignée pour chaque catégorie d'intensité pour faciliter le calcul du chrysotile présent dans la carotte. Le Tableau 1 montre ces valeurs assignées pour chaque catégorie d'intensité avec leur gamme de pourcentage attribuée.

Avec les méthodes mises sur pied, les environnements de chrysotile peuvent facilement être identifiés visuellement et mesurés avec une règle. Puisque le chrysotile peut être mesuré précisément au millimètre dans les veines et fractures avec une règle conventionnelle, mesurer tous les intervalles au millimètre près devient significatif et a donc été appliqué aux procédures.

Une table a été créée dans DH Logger® où chaque catégorie d'intensité pour chaque environnement de chrysotile est représentée et qui va servir comme base de données pour le journal de sondage du chrysotile. Elle permet l'entrée des données et calcul automatiquement le pourcentage de chrysotile pour chaque intervalle de 3m. Ces calculs ainsi que des exemples concrets utilisant des valeurs sont décrites dans la section «Interprétation des données» du document «Rapport de Quantification du chrysotile».

ANNEXE IV

PROCÉDURE DU JOURNAL DE SONDAGE DU CHRYSOTILE

PROCÉDURE DU JOURNAL DE SONDAGE DU CHRYSOTILE

Projet Dumont

10 Avril, 2013

RNC



Procédure du journal de sondage du chrysotile en huit étapes

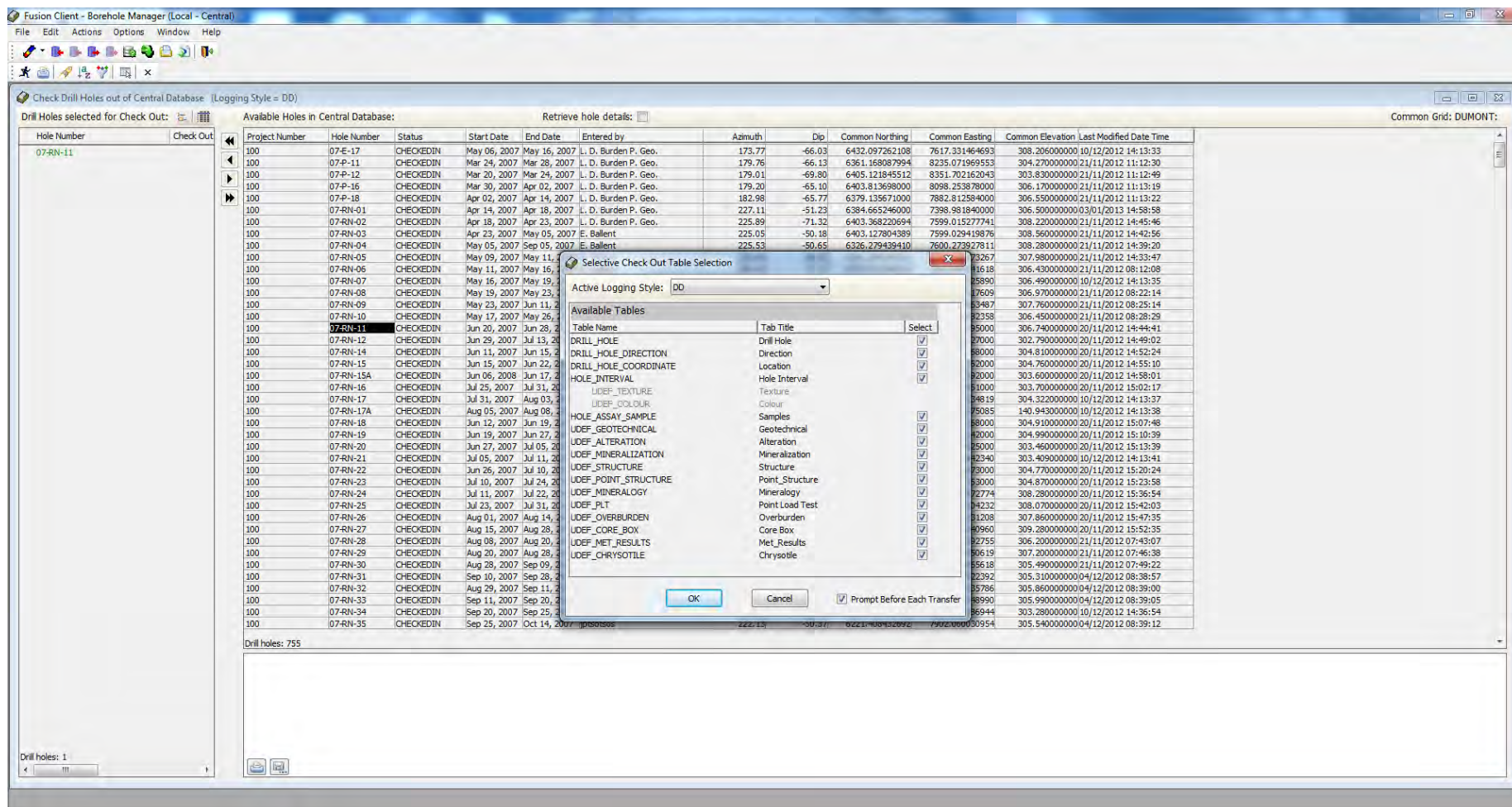
- 1. Préparer la carotte de forage et Ouvrir DH Logger**
- 2. Évaluer chaque intervalle de 3 mètres minutieusement**
- 3. Séparer les intervalles de «Réseaux de chrysotile»**
- 4. Séparer les intervalles de «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées»**
- 5. Séparer les intervalles de «Chrysotile dans les veines/fractures»**
- 6. Mesurer les intervalles et Entrer les données**
- 7. Vérifier la longueur totale de l'intervalle de 3 mètres**
- 8. Révision, Photo et Ranger les boîtes de carotte de forage**

1^{er} Étape: Préparer la carotte de forage et Ouvrir DH Logger

1. «Check-out» le trou de forage sélectionné dans Fusion
2. Ouvrir le programme DH Logger.
 - Cliquer sur la table «Chrysotile» dans DH Logger.
3. Laver la carotte de forage méticuleusement.
4. Placer parfaitement la carotte de forage.
 - Pousser les morceaux de carotte de forage ensemble pour approximer le volume de la carotte de forage.

1^{er} Étape: Préparer la carotte de forage et Ouvrir DH Logger

1. «Check-out» le trou de forage sélectionné dans Fusion



Fusion Client - Borehole Manager (Local - Central)

File Edit Actions Options Window Help

Check Drill Holes out of Central Database (Logging Style = DD)

Drill Holes selected for Check Out: 07-RN-11

Available Holes in Central Database: Retrieve hole details: ☐

Project Number	Hole Number	Status	Start Date	End Date	Entered by	Azimuth	Dip	Common Northing	Common Easting	Common Elevation	Last Modified Date/Time
100	07-E-17	CHECKED IN	May 06, 2007	May 16, 2007	L. D. Burden P. Geo.	173.77	-66.03	6432.097262108	7617.331464693	308.206000000	10/12/2012 14:13:33
100	07-P-11	CHECKED IN	Mar 24, 2007	Mar 28, 2007	L. D. Burden P. Geo.	179.76	-66.13	6361.168087994	8235.071969553	304.270000000	21/11/2012 11:12:30
100	07-P-12	CHECKED IN	Mar 20, 2007	Mar 24, 2007	L. D. Burden P. Geo.	179.01	-69.80	6405.121845512	8351.702162043	303.830000000	21/11/2012 11:12:49
100	07-P-16	CHECKED IN	Mar 30, 2007	Apr 02, 2007	L. D. Burden P. Geo.	179.20	-65.10	6403.813698000	8098.253878000	306.170000000	21/11/2012 11:13:19
100	07-P-18	CHECKED IN	Apr 02, 2007	Apr 14, 2007	L. D. Burden P. Geo.	182.98	-65.77	6379.135671000	7882.812584000	306.550000000	21/11/2012 11:13:22
100	07-RN-01	CHECKED IN	Apr 14, 2007	Apr 18, 2007	L. D. Burden P. Geo.	227.11	-51.23	6384.665246000	7398.981840000	306.500000000	03/01/2013 14:58:58
100	07-RN-02	CHECKED IN	Apr 18, 2007	Apr 23, 2007	L. D. Burden P. Geo.	225.89	-71.32	6403.368220694	7599.015277741	308.220000000	21/11/2012 14:45:46
100	07-RN-03	CHECKED IN	Apr 23, 2007	May 05, 2007	E. Ballent	225.05	-50.18	6403.127804389	7599.029419876	308.560000000	21/11/2012 14:42:56
100	07-RN-04	CHECKED IN	May 05, 2007	Sep 05, 2007	E. Ballent	225.53	-50.65	6326.279439410	7600.273278111	308.280000000	21/11/2012 14:39:20
100	07-RN-05	CHECKED IN	May 09, 2007	May 11, 2007						307.980000000	21/11/2012 14:33:47
100	07-RN-06	CHECKED IN	May 11, 2007	May 16, 2007						306.430000000	21/11/2012 08:12:08
100	07-RN-07	CHECKED IN	May 16, 2007	May 19, 2007						306.490000000	10/12/2012 14:13:35
100	07-RN-08	CHECKED IN	May 19, 2007	May 23, 2007						306.970000000	21/11/2012 08:22:14
100	07-RN-09	CHECKED IN	May 23, 2007	Jun 11, 2007						307.760000000	21/11/2012 08:25:14
100	07-RN-10	CHECKED IN	May 17, 2007	May 26, 2007						306.450000000	21/11/2012 08:28:29
100	07-RN-11	CHECKED IN	Jun 20, 2007	Jun 28, 2007						306.740000000	20/11/2012 14:44:41
100	07-RN-12	CHECKED IN	Jun 29, 2007	Jul 15, 2007						302.790000000	20/11/2012 14:49:02
100	07-RN-14	CHECKED IN	Jun 11, 2007	Jun 15, 2007						304.810000000	20/11/2012 14:52:24
100	07-RN-15	CHECKED IN	Jun 15, 2007	Jun 22, 2007						304.760000000	20/11/2012 14:55:10
100	07-RN-15A	CHECKED IN	Jun 06, 2008	Jun 17, 2007						303.600000000	20/11/2012 14:58:01
100	07-RN-16	CHECKED IN	Jul 25, 2007	Jul 31, 2007						303.700000000	20/11/2012 15:02:17
100	07-RN-17	CHECKED IN	Jul 31, 2007	Aug 03, 2007						304.320000000	10/12/2012 14:13:37
100	07-RN-17A	CHECKED IN	Aug 05, 2007	Aug 08, 2007						140.943000000	10/12/2012 14:13:38
100	07-RN-18	CHECKED IN	Jun 12, 2007	Jun 19, 2007						304.910000000	20/11/2012 15:07:48
100	07-RN-19	CHECKED IN	Jun 19, 2007	Jun 27, 2007						304.990000000	20/11/2012 15:10:39
100	07-RN-20	CHECKED IN	Jun 27, 2007	Jul 05, 2007						303.460000000	20/11/2012 15:13:39
100	07-RN-21	CHECKED IN	Jul 05, 2007	Jul 11, 2007						303.409000000	10/12/2012 14:13:41
100	07-RN-22	CHECKED IN	Jun 26, 2007	Jul 10, 2007						304.770000000	20/11/2012 15:20:24
100	07-RN-23	CHECKED IN	Jul 10, 2007	Jul 24, 2007						304.870000000	20/11/2012 15:23:58
100	07-RN-24	CHECKED IN	Jul 11, 2007	Jul 22, 2007						308.280000000	20/11/2012 15:36:54
100	07-RN-25	CHECKED IN	Jul 23, 2007	Jul 31, 2007						308.070000000	20/11/2012 15:42:03
100	07-RN-26	CHECKED IN	Aug 01, 2007	Aug 14, 2007						307.860000000	20/11/2012 15:47:35
100	07-RN-27	CHECKED IN	Aug 15, 2007	Aug 28, 2007						309.280000000	20/11/2012 15:52:35
100	07-RN-28	CHECKED IN	Aug 08, 2007	Aug 20, 2007						306.200000000	21/11/2012 07:43:07
100	07-RN-29	CHECKED IN	Aug 20, 2007	Aug 28, 2007						307.200000000	21/11/2012 07:46:38
100	07-RN-30	CHECKED IN	Aug 28, 2007	Sep 09, 2007						305.490000000	21/11/2012 07:49:22
100	07-RN-31	CHECKED IN	Sep 10, 2007	Sep 28, 2007						305.310000000	04/12/2012 08:38:57
100	07-RN-32	CHECKED IN	Aug 29, 2007	Sep 11, 2007						305.860000000	04/12/2012 08:39:00
100	07-RN-33	CHECKED IN	Sep 11, 2007	Sep 20, 2007						305.990000000	04/12/2012 08:39:05
100	07-RN-34	CHECKED IN	Sep 20, 2007	Sep 25, 2007						303.280000000	10/12/2012 14:36:54
100	07-RN-35	CHECKED IN	Sep 25, 2007	Oct 14, 2007						305.540000000	04/12/2012 08:39:12

Drill holes: 755

Drill holes: 1

OK Cancel Prompt Before Each Transfer

1^{er} Étape: Préparer la carotte de forage et Ouvrir DH Logger

2. Ouvrir DH Logger et choisir la table «Chrysotile»

Drill Hole from: (0.00) to: (330.00)

Project: 100 Dumont Resource Drilling Hole No: 11-RN-372 Status: COPY

Collar Details Samples

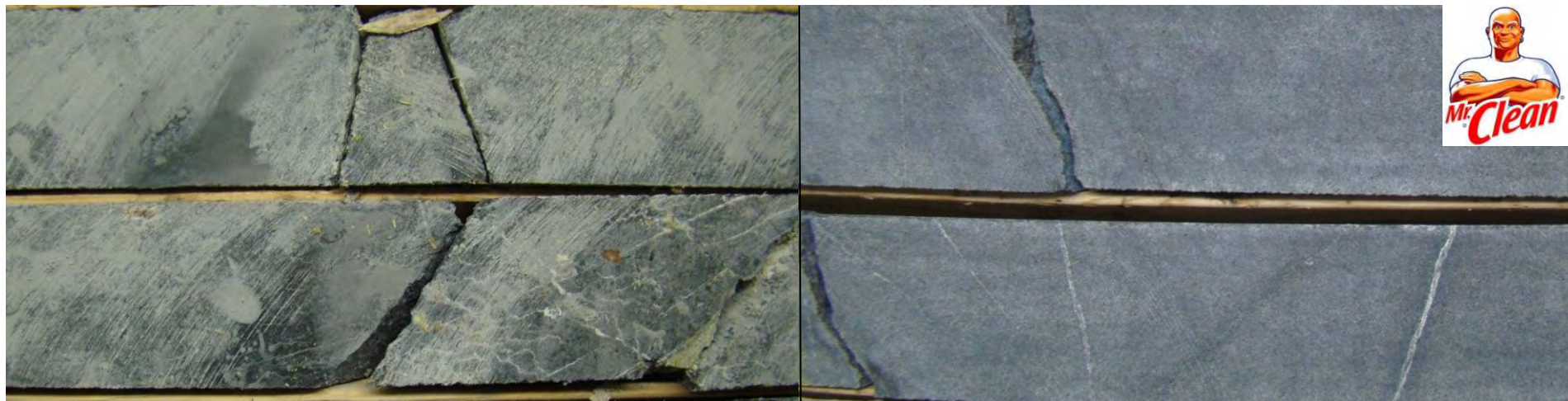
Survey (108) Location (1) Geotechnical (110) Alteration (15) Mineralization (11) Texture (0) Colour (0) Point_Structure (141) Structure (15) Mineralogy (1122) Point Load Test (0) Overburden (0) Core Box (0) Met_Results (0) Chrysotile (89)

From	To	Core Length Measured	None (0% to 0.1%)	Network (0.1% to 1%)	Network (1% to 2.5%)	Network (2.5% to 4.5%)	Network (4.5% to 7%)	RZ (1% to 10%)	RZ (10% to 25%)	RZ (25% to 45%)	RZ (45% to 70%)	Veins and Fractures	Total Length	Chrysotile %	Comments
1.16	3.00	1.795	.000	1.072	.342	.115	.000	.262	.000	.000	.000	.004	1.795	1.666	
3.00	6.00	2.892	.000	1.136	.121	1.473	.159	.000	.000	.000	.000	.003	2.892	2.584	
6.00	9.00	3.142	.000	1.675	1.064	.311	.000	.092	.000	.000	.000	.000	3.142	1.427	
9.00	12.00	3.163	.000	2.323	.625	.171	.000	.044	.000	.000	.000	.000	3.163	1.128	
12.00	15.00	3.076	.000	2.269	.584	.223	.000	.000	.000	.000	.000	.000	3.076	1.139	
15.00	18.00	3.102	.000	1.164	1.168	1.264	.162	.342	.000	.000	.000	.002	3.102	2.833	
18.00	21.00	2.986	.000	.798	.943	.486	.000	.478	.278	.000	.000	.003	2.986	3.300	
21.00	24.00	3.008	.000	2.526	.199	.283	.000	.000	.000	.000	.000	.000	3.008	1.075	
24.00	27.00	2.954	.000	2.528	.207	.161	.000	.052	.000	.000	.000	.006	2.954	1.211	
27.00	30.00	3.027	.000	1.716	.785	.523	.000	.000	.000	.000	.000	.003	3.027	1.583	
30.00	33.00	3.193	1.699	1.301	.189	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.004	3.193	.534	
33.00	36.00	2.892	.000	1.308	.731	.759	.000	.068	.026	.000	.000	.000	2.892	1.906	
36.00	39.00	3.227	.000	1.041	.923	.447	.000	.750	.061	.000	.000	.005	3.227	2.363	
39.00	42.00	2.982	.000	1.291	.883	.703	.000	.102	.000	.000	.000	.003	2.982	1.871	
42.00	45.00	2.980	.000	2.450	.528	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.002	2.980	.994	
45.00	48.00	2.838	.000	2.100	.337	.401	.000	.000	.000	.000	.000	.000	2.838	1.257	
48.00	51.00	2.980	.000	1.028	1.088	.718	.000	.123	.000	.023	.000	.000	2.980	2.135	
51.00	54.00	3.003	.000	2.074	.499	.378	.037	.000	.000	.000	.000	.015	3.003	1.823	
54.00	57.00	2.819	.000	1.603	.711	.238	.254	.000	.000	.000	.000	.013	2.819	2.165	
57.00	60.00	2.945	.000	1.430	.311	.681	.449	.067	.000	.000	.000	.007	2.945	2.579	
60.00	63.00	3.261	.000	1.947	1.182	.062	.000	.000	.052	.000	.000	.018	3.261	1.940	
63.00	66.00	3.049	.000	1.095	1.437	.465	.000	.000	.000	.000	.000	.052	3.049	3.333	
66.00	69.00	3.004	.000	.735	1.428	.841	.000	.000	.000	.000	.000	.000	3.004	1.995	
69.00	72.00	2.887	.000	.452	1.672	.000	.593	.167	.000	.000	.000	.003	2.887	2.719	
72.00	75.00	2.897	.000	1.019	.792	.172	.000	.823	.088	.000	.000	.003	2.897	2.361	
75.00	78.00	2.883	.000	1.071	.819	.769	.000	.142	.058	.024	.000	.000	2.883	2.450	
78.00	81.00	3.052	.000	1.264	1.186	.602	.000	.000	.000	.000	.000	.000	3.052	1.681	
81.00	84.00	2.927	.000	1.281	1.132	.514	.000	.000	.000	.000	.000	.000	2.927	1.620	
84.00	87.00	2.809	.000	.723	1.343	.216	.000	.519	.000	.000	.000	.008	2.809	2.138	
87.00	90.00	3.034	.000	1.456	1.431	.122	.000	.000	.000	.019	.000	.006	3.034	1.743	
90.00	93.00	3.063	.000	1.279	1.333	.451	.000	.000	.000	.000	.000	.000	3.063	1.590	
93.00	96.00	2.998	.000	1.569	.474	.714	.000	.241	.000	.000	.000	.000	2.998	1.744	
96.00	99.00	3.019	.000	1.043	.417	1.300	.000	.133	.124	.000	.000	.002	3.019	2.822	
99.00	102.00	3.000	.000	2.501	.394	.100	.000	.000	.000	.000	.000	.005	3.000	1.138	
102.00	105.00	2.983	.000	2.622	.139	.000	.222	.000	.000	.000	.000	.000	2.983	1.187	
105.00	108.00	2.942	.000	2.729	.111	.000	.102	.000	.000	.000	.000	.000	2.942	.970	
108.00	111.00	3.033	.000	2.100	.164	.568	.201	.000	.000	.000	.000	.000	3.033	1.667	
111.00	114.00	2.924	.000	2.205	.450	.194	.000	.075	.000	.000	.000	.000	2.924	1.144	
114.00	117.00	3.047	.000	2.285	.555	.205	.000	.000	.000	.000	.000	.002	3.047	1.182	

1^{er} Étape: Préparer la carotte de forage et Ouvrir DH Logger

3. Laver la carotte de forage méticuleusement.

- Cette étape est critique car il est primordiale de voir toutes les veines de chrysotile sur la carotte de forage pour pouvoir bien évaluer les réseaux de chrysotile. Même s'il est difficile d'enlever de la chrysotile à travers le lavage, il est important de NE PAS FROTTER TROP FORT la carotte de forage et plus rincer que de frotter. Ceci est particulièrement vrai pour les fractures ouvertes où le chrysotile est mobile. NE PAS laver les zones hautement fragmentées.



Carotte sale (Veines de chrysotile à peine visible) **Carotte propre** (Veines de chrysotile très visible)

1^{er} Étape: Préparer la carotte de forage et Ouvrir DH Logger

4. Placer parfaitement la carotte de forage.

- Les fragments dans les zones hautement fragmentées doivent aussi être rapprochés pour approximer le volume de la carotte de forage intact pour ne pas surestimer la longueur de la carotte.



← Séparé



← Rapproché

2^{ième} Étape: Évaluer chaque intervalle de 3 mètres minutieusement

1. Révision des propriétés physiques du chrysotile vs. minéraux similaires.
2. Test pour trouver le chrysotile dans l'intervalle de 3 mètres.
 - Test par grattage, test par acide, test visuel, test par texture.
3. Estimation rapide du pourcentage de chrysotile de l'intervalle complet.
 - Garder l'estimation en tête pour vérifier si le pourcentage évalué est censé.

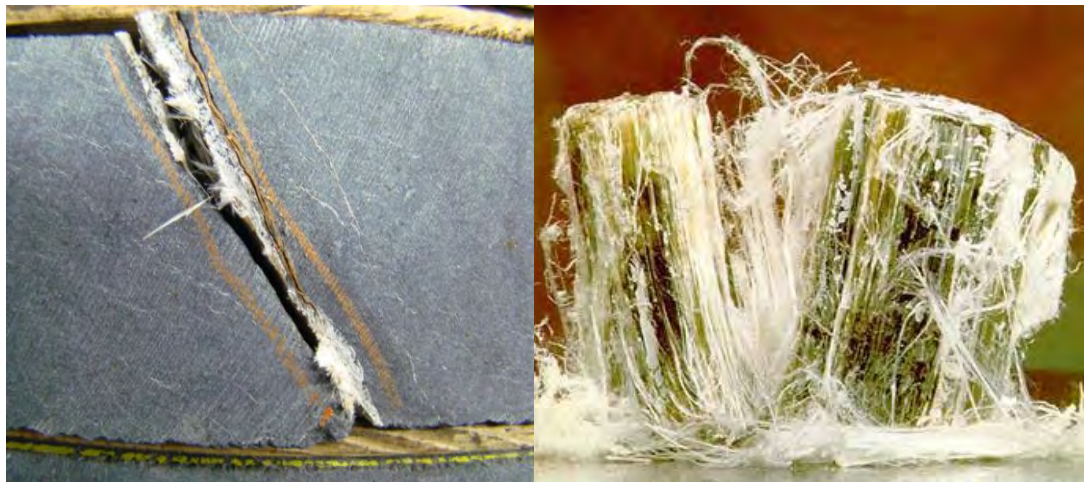
2^{ième} Étape: Évaluer chaque intervalle de 3 mètres minutieusement

1. Révision des propriétés physiques du chrysotile vs. minéraux similaires.

Chrysotile

- Formule chimique: $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
- Composition:

Magnésium	26.31%	Mg
Silice	20.27%	Si
Hydrogène	1.45%	H
Oxygène	<u>51.96%</u>	O
	100.00%	
- Formule empirique: $\text{Mg}_3(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$
- Clivage: None.
- Couleur: gris/blanc à vert.
- Densité: 2.53 g/ml
- Diaphanéité: Translucide.
- Fracture: Fibreux.
- Dureté: 2.5 – ongle, calcite
- Habitus: Aciculaire – Apparaît comme des cristaux en aiguilles.
- Lustre: Soyeux.
- Magnétisme: Non-magnétique
- Trait: Blanc



Source - <http://webmineral.com/>

2^{ième} Étape: Évaluer chaque intervalle de 3 mètres minutieusement

1. Révision des propriétés physiques du chrysotile vs. minéraux similaires.

Talc

- Formule chimique: $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
- Composition:

Magnésium	19.23%	Mg
Silice	29.62%	Si
Hydrogène	0.53%	H
Oxygène	<u>50.62%</u>	O
	100.00%	
- Formule empirique: $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
- Clivage: {001} Parfait
- Couleur: Vert pale, blanc, blanc grisâtre, blanc jaunâtre, blanc brunâtre.
- Densité: 2.7 - 2.8, moyenne = 2.75g/ml
- Diaphanéité: Translucide
- Fracture: Inégale - Surfaces lamellaires fracturées de façon inégales.
- Habitus: Folié – Forme lamellaire bidimensionnelle, Massive, écailleux.
- Dureté: 1 - Talc
- Lustre: Vitreux - Perlé
- Trait: Blanc



Source - <http://webmineral.com/>

2^{ième} Étape: Évaluer chaque intervalle de 3 mètres minutieusement

1. Révision des propriétés physiques du chrysotile vs. minéraux similaires.

Magnésite

- Formule chimique: MgCO_3
- Composition:

Magnésium	19.23%	Mg
Carbone	72.43%	Ni
Oxygène	<u>56.93%</u>	O
	100.00%	
- Formule empirique: $\text{Mg}(\text{CO}_3)$
- Clivage: {1011} Parfait, {1011} Parfait, {1011} Parfait
- Couleur: Transparent, blanc, blanc grisâtre, blanc jaunâtre, blanc brunâtre.
- Densité: 3 g/ml
- Diaphanéité: Transparent à translucide
- Fracture: Fragile – Conchoïdal.
- Habitus: Terreux – texture argileuse sans affinités cristallines visible, fibreux – Grains fins fibreux, Massive - Granulaire – Texture commune observée dans les granite et autres roches ignées.
- Dureté: 4 - Fluorite
- Lustre: Vitreux
- Trait: Blanc



Source - <http://webmineral.com/>

2^{ième} Étape: Évaluer chaque intervalle de 3 mètres minutieusement

1. Révision des propriétés physiques du chrysotile vs. minéraux similaires.

Brucite

- Formule chimique: $\text{Mg}(\text{OH})_2$
- Composition:

Magnésium	41.68%	Mg
Hydrogène	3.46%	H
Oxygène	<u>54.87%</u>	O
	100.00%	



- Formule empirique: $\text{Mg}(\text{OH})_2$
- Clivage: {0001} Parfait
- Couleur: Blanc, vert pâle, bleu, gris, jaune mielleux à brun rougeâtre.
- Densité: 2.39 - 2.4, moyenne = 2.39 g/ml
- Diaphanéité: Transparent
- Fracture: Irrégulière
- Dureté: 2.5-3 – Ongle, calcite
- Habitus: Fibreux – cristaux faits de fibres, Massive - Lamellaire - Grains fins foliés, Massive – cristaux uniformément indistinguable formant de larges masses.
- Lustre: Vitreux - Perlé
- Trait: Blanc

Source - <http://webmineral.com/>

2^{ième} Étape: Évaluer chaque intervalle de 3 mètres minutieusement

2. Test pour trouver le chrysotile dans l'intervalle de 3 mètres.

- Il est nécessaire de distinguer le chrysotile des autres minéraux similaires pour pouvoir quantifier proprement le chrysotile dans la carotte de forage.
- I. **Regarder la couleur et l'habitat:** Le chrysotile dans la roche du projet Dumont est principalement blanc et fibreux, tandis que la brucite est brun et plat.
- II. **Test par acide:** Tester les endroits en question avec une goutte d'acide. Si il y a de l'effervescence, ce n'est pas du chrysotile et est probablement de la magnésite ou un carbonate.
- III. **Test par grattage:** Utiliser une pointe de Tungstène pour gratter le minéral en question. Si il brise en poudre au lieu de longues fibres, ce n'est pas du chrysotile et est probablement du talc.

NOTE: Porter une attention spéciale puisque plusieurs de ces minéraux peuvent coexister et il faudra souvent séparer une région en particulier qui contient du chrysotile avec d'autre minéraux similaires.

Source - <http://webmineral.com/>

2^{ième} Étape: Évaluer chaque intervalle de 3 mètres minutieusement

3. Estimation rapide du pourcentage de chrysotile de l'intervalle complet.
 - Une fois que les régions contenant du chrysotile dans l'intervalle de 3 mètres ont été évaluées, faire une estimation visuelle du pourcentage de chrysotile. Ceci va être utile après pour une vérification du pourcentage finale de chrysotile de l'intervalle de 3 mètres évaluée.

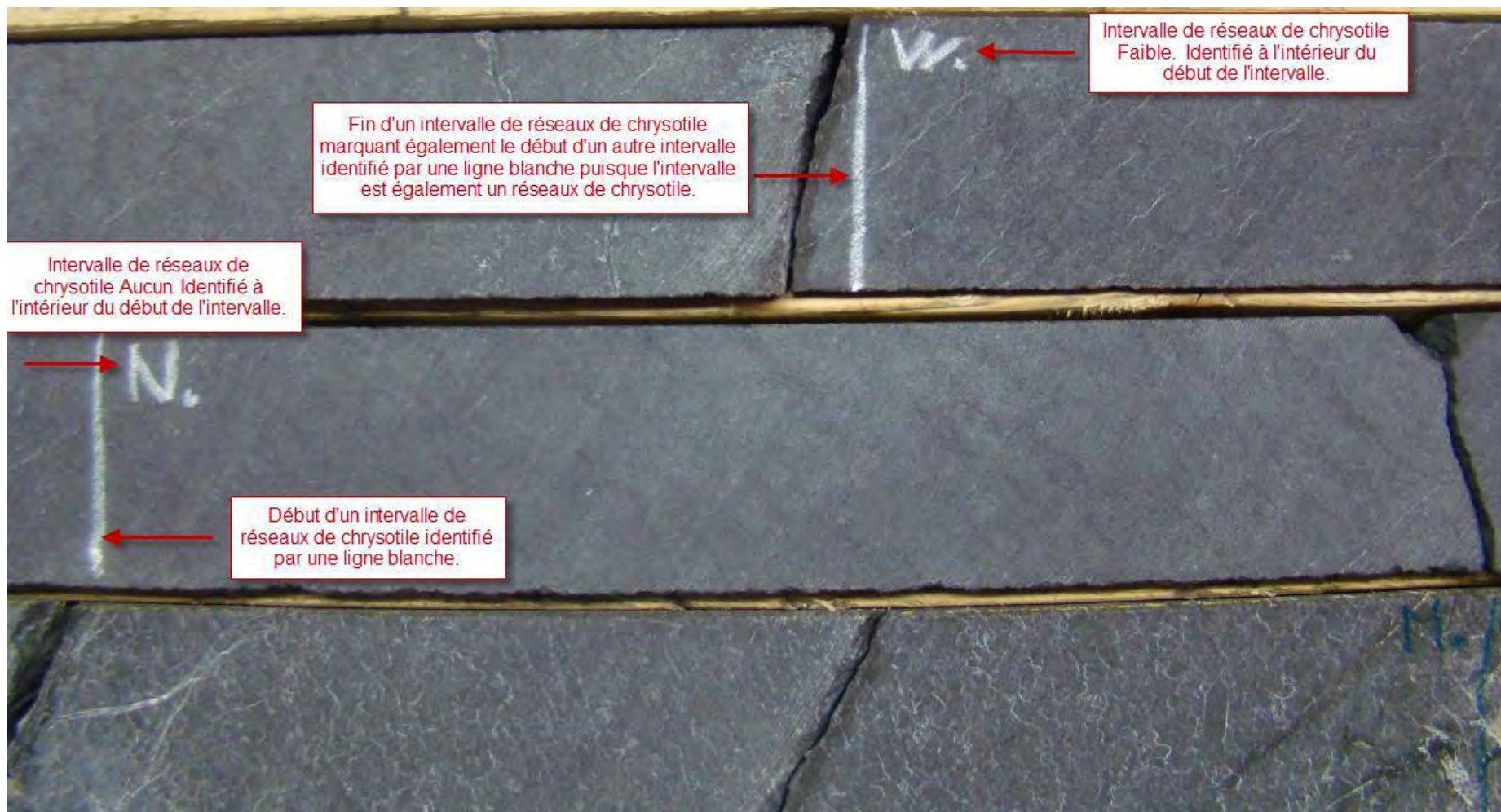
3^{ième} Étape: Séparer les intervalles de «Réseaux de chrysotile»

1. Définir chaque intervalle de l'environnement «Réseaux de chrysotile» pour chaque catégorie d'intensité et identifier les intervalles avec un crayon blanc.
2. Exemples de chaque catégorie d'intensité pour les réseaux de chrysotile.

3^{ième} Étape: Séparer les intervalles de «Réseaux de chrysotile»

1. Séparer les intervalles de réseaux de chrysotile en identifiant les sections avec un crayon blanc pour les différentes catégories d'intensités.
 - Si la section de la carotte de forage a entre 0% et 0.1% de chrysotile, identifier l'intervalle avec un «N» (Aucun) à l'intérieur de la ligne marquant le début de l'intervalle.
 - Si la section de la carotte de forage a entre 0.1% et 1% de chrysotile, identifier l'intervalle avec un «W» (Faible) à l'intérieur de la ligne marquant le début de l'intervalle.
 - Si la section de la carotte de forage a entre 1% et 2.5% de chrysotile, identifier l'intervalle avec un «M» (Modérée) à l'intérieur de la ligne marquant le début de l'intervalle.
 - Si la section de la carotte de forage a entre 2.5% et 4.5% de chrysotile, identifier l'intervalle avec un «H» (Élevée) à l'intérieur de la ligne marquant le début de l'intervalle.
 - Si la section de la carotte de forage a entre 4.5% et 7% de chrysotile, identifier l'intervalle avec un «I» (Intense) à l'intérieur de la ligne marquant le début de l'intervalle.

3^{ième} Étape: Séparer les intervalles de «Réseaux de chrysotile»

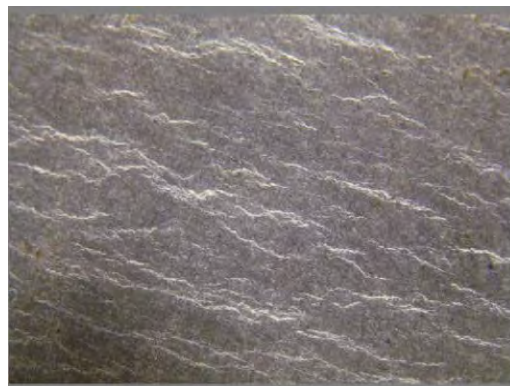


3^{ième} Étape: Séparer les intervalles de «Réseaux de chrysotile»

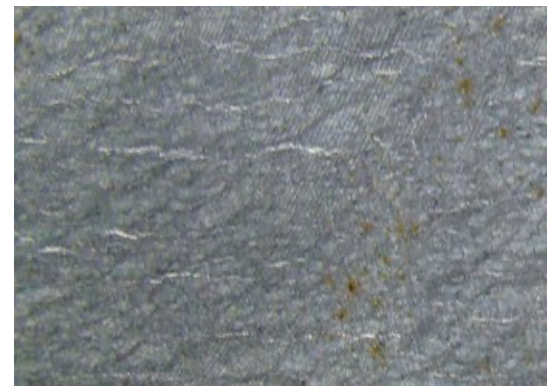
2. Exemples de chaque catégorie d'intensité
de l'environnement «Réseaux de chrysotile»:



Intense (4.5% à 7%)



Élevée (2.5% à 4.5%)



Modérée (1% à 2.5%)



Faible (0.1% à 1%)

4^{ième} Étape: Séparer les intervalles de «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées»

1. Définir chaque intervalle de l'environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées» pour chaque catégorie d'intensité et identifier les intervalles avec un crayon vert.
2. Exemples de chaque catégorie d'intensité pour le chrysotile dans les zones hautement fragmentées.

4^{ième} Étape: Séparer les intervalles de «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées»

1. Séparer les intervalles de chrysotile dans les zones hautement fragmentées en identifiant les sections avec un crayon vert pour les différentes catégories d'intensités.
 - Si l'intervalle de zone hautement fragmenté a entre 1% et 10% de chrysotile, identifier l'intervalle avec un «W» (Faible) à l'extérieur de la ligne marquant le début de l'intervalle.
 - Si l'intervalle de zone hautement fragmenté a entre 10% et 25% de chrysotile, identifier l'intervalle avec un «M» (Modérée) à l'extérieur de la ligne marquant le début de l'intervalle.
 - Si l'intervalle de zone hautement fragmenté a entre 25% et 45% de chrysotile, identifier l'intervalle avec un «H» (Élevée) à l'extérieur de la ligne marquant le début de l'intervalle.
 - Si l'intervalle de zone hautement fragmenté a entre 45% et 70% de chrysotile, identifier l'intervalle avec un «I» (Intense) à l'extérieur de la ligne marquant le début de l'intervalle.

4^{ième} Étape: Séparer les intervalles de «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées»



4^{ième} Étape: Séparer les intervalles de «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées»

2. Exemples de chaque catégorie d'intensité de l'environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées»:



Intense (45% à 70%)



Élevée (25% à 45%)

4^{ième} Étape: Séparer les intervalles de «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées»

Exemples (continue):



Modérée (10% à 25%)



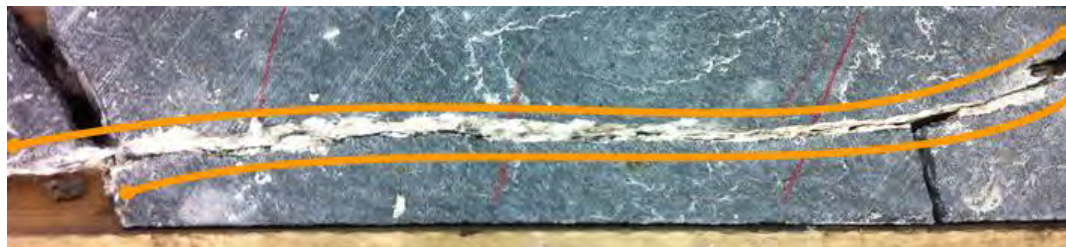
Faible (1% à 10%)

5^{ième} Étape: Séparer les intervalles de «Chrysotile dans les veines/fractures»

1. Contourner les veines de chrysotile significatives (seulement s'ils contiennent de 70% à 100% de chrysotile) avec un crayon orange.
2. Si les veines sont trop petites pour être mesurées, les inclure avec les intervalles de «Réseaux de chrysotile».
3. Si les veines sont épaisses mais ne contiennent pas entre 70% et 100% de chrysotile, les identifier en tant que environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées» approprié selon le pourcentage de chrysotile estimé dans la veine.

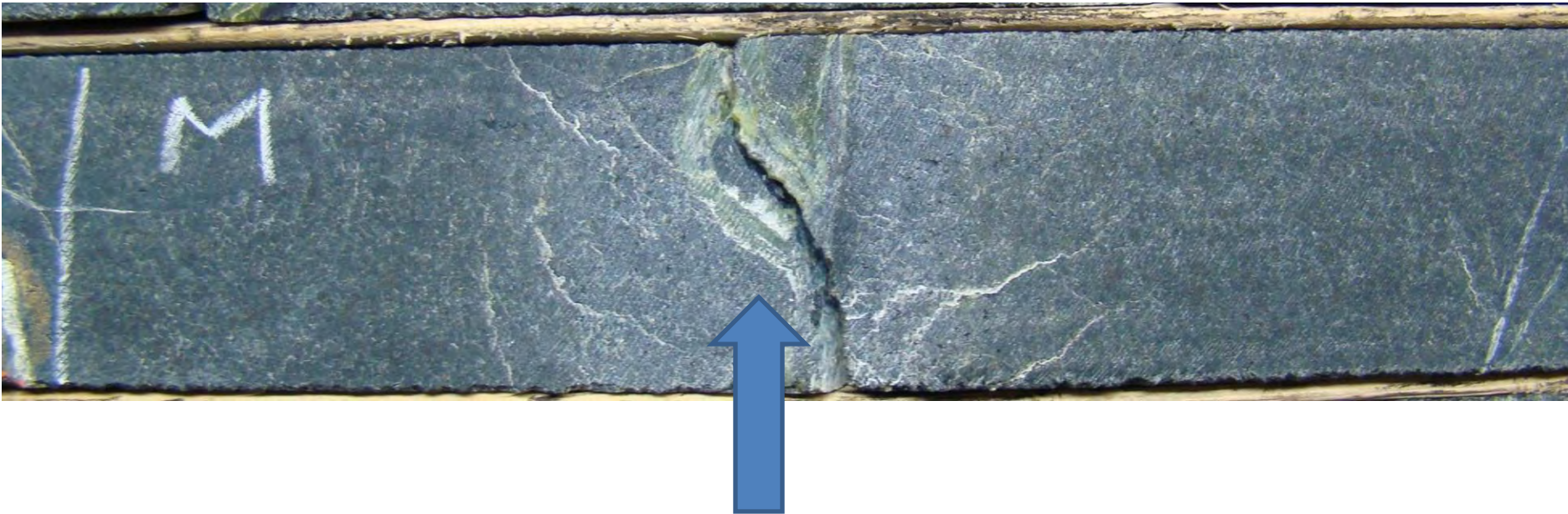
5^{ième} Étape: Séparer les intervalles de «Chrysotile dans les veines/fractures»

1. Contourner les veines de chrysotile significatives (seulement s'ils contiennent de 70% à 100% de chrysotile) avec un crayon orange.



5^{ième} Étape: Séparer les intervalles de «Chrysotile dans les veines/fractures»

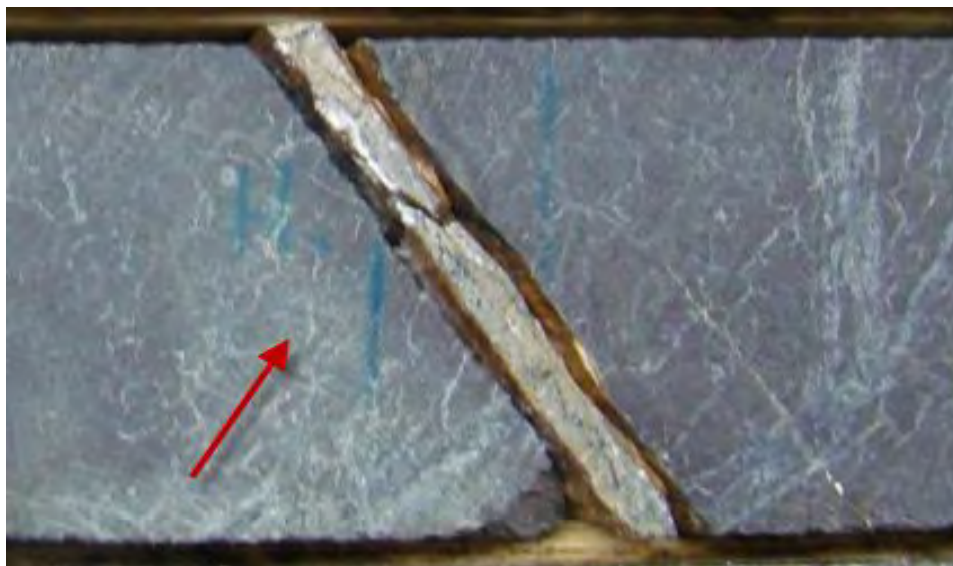
2. Si les veines sont trop petites pour être mesurées, les inclure avec les intervalles de «Réseaux de chrysotile»:



Veines trop minces pour être mesurés avec une règle. Inclues dans le réseaux de chrysotile.

5^{ième} Étape: Séparer les intervalles de «Chrysotile dans les veines/fractures»

1. Si les veines sont épaisses mais ne contiennent pas entre 70% et 100% de chrysotile, les identifier en tant que environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées» approprié selon le pourcentage de chrysotile estimé dans la veine:



Veine avec 25% à 45% de chrysotile.
Inclue dans l'environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées».

6^{ième} Étape: Mesurer les intervalles et Entrer les données

1. Mesurer les intervalles de l'environnement «Réseaux de chrysotile» (en crayon blanc) au millimètre près avec une règle et placer la valeur dans la colonne appropriée de DH Logger.
2. Mesurer les intervalles de l'environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées» (en crayon vert) au millimètre près avec une règle et placer la valeur dans la colonne appropriée de DH Logger.
3. Mesurer et additionner l'épaisseur de toutes les veines de chrysotile dans l'intervalle de 3 mètres au millimètre près et placer la valeur dans la colonne appropriée de DH Logger. Utiliser l'équation standard pour les veines qui recoupe l'axe de la carotte de forage avec un angle faible.

6^{ième} Étape: Mesurer les intervalles et Entrer les données

1. Mesurer les intervalles de l'environnement «Réseaux de chrysotile» (en crayon blanc) au millimètre près avec une règle et placer la valeur dans la colonne appropriée de DH Logger.
 - Intervalle avec «Réseaux de chrysotile» Aucun: Mesurer et additionner tous les intervalles identifiés avec un «N» et mettre la valeur dans la colonne «None (0 to 0.1%)» de la table «Chrysotile» dans DH Logger.
 - Intervalle avec «Réseaux de chrysotile» Faible: Mesurer et additionner tous les intervalles identifiés avec un «W» et mettre la valeur dans la colonne «Network (0.1 to 1%)» de la table «Chrysotile» dans DH Logger.
 - Intervalle avec «Réseaux de chrysotile» Modérée: Mesurer et additionner tous les intervalles identifiés avec un «M» et mettre la valeur dans la colonne «Network (1 to 2.5%)» de la table «Chrysotile» dans DH Logger.
 - Intervalle avec «Réseaux de chrysotile» Élevée: Mesurer et additionner tous les intervalles identifiés avec un «H» et mettre la valeur dans la colonne «Network (2.5 to 4.5%)» de la table «Chrysotile» dans DH Logger.
 - Intervalle avec «Réseaux de chrysotile» Intense: Mesurer et additionner tous les intervalles identifiés avec un «I» et mettre la valeur dans la colonne «Network (4.5 to 7%)» de la table «Chrysotile» dans DH Logger.

6^{ème} Étape: Mesurer les intervalles et Entrer les données

1. Mesurer les intervalles de l'environnement «Réseaux de chrysotile» (en crayon blanc) au millimètre près avec une règle et placer la valeur dans la colonne appropriée de DH Logger.

Drill Hole from: (0.00) to: (330.00)
Project: 100 Dumont Resource Drilling Hole No: 11-RN-372 Status: COPY

Collar Details Samples

Survey (108)	Location (1)	Geotechnical (110)	Alteration (15)	Mineralization (1)	Texture (0)	Colour (0)	Point_Structure (141)	Structure (15)	Mineralogy (1122)	Point Load Test (0)	Overburden (0)	Core Box (0)	Met_Results (0)	Chrysotile (89)
From	To	Core Length Measured	None (0% to 0.1%)	Network (0.1% to 1%)	Network (1% to 2.5%)	Network (2.5% to 4.5%)	Network (4.5% to 7%)	RZ (1% to 10%)	RZ (10% to 25%)	RZ (25% to 45%)	RZ (45% to 70%)	Veins and Fractures	Total Length	Chrysotile %
0	1.16	3.00	1.795	.000	1.072	.342	.115	.000	.262	.000	.000	.004	1.795	1.666
6A	3.00	6.00	2.892	.000	1.136	.121	1.473	.159	.000	.000	.000	.003	2.892	2.584
56.00	6.00	9.00	3.142	.000	1.675	1.064	.311	.000	.092	.000	.000	.000	3.142	1.427
6D	9.00	12.00	3.163	.000	2.323	.625	.171	.000	.044	.000	.000	.000	3.163	1.128
289.00	12.00	15.00	3.076	.000	2.269	.584	.223	.000	.000	.000	.000	.000	3.076	1.139
289.00	18.00	21.00	3.102	.000	.164	1.168	.162	.342	.000	.000	.000	.002	3.102	2.833
278.00	21.00	24.00	2.986	.000	.798	.943	.486	.000	.478	.278	.000	.003	2.986	3.300
276.00	24.00	27.00	3.008	.000	2.526	.199	.283	.000	.000	.000	.000	.000	3.008	1.075
276.00	27.00	30.00	2.954	.000	2.528	.207	.161	.000	.052	.000	.000	.006	2.954	1.211
278.00	30.00	33.00	3.027	.000	1.716	.785	.523	.000	.000	.000	.000	.003	3.027	1.583
278.00	33.00	36.00	3.193	1.699	1.301	.189	.000	.000	.000	.000	.000	.004	3.193	.534
303.40	36.00	39.00	2.892	.000	1.308	.731	.759	.000	.068	.026	.000	.000	2.892	1.906
303.40	39.00	42.00	3.227	.000	1.041	.923	.447	.000	.750	.061	.000	.005	3.227	2.363
306.20	42.00	45.00	2.982	.000	1.291	.883	.703	.000	.102	.000	.000	.003	2.982	1.871
306.20	45.00	48.00	2.980	.000	2.450	.528	.000	.000	.000	.000	.000	.002	2.980	.594
330.00	48.00	51.00	2.838	.000	2.100	.337	.401	.000	.000	.000	.000	.000	2.838	1.257
	51.00	54.00	2.980	.000	1.028	1.088	.718	.000	.123	.000	.023	.000	2.980	2.135
	54.00	57.00	3.003	.000	2.074	.499	.378	.037	.000	.000	.000	.015	3.003	1.823
	57.00	60.00	2.819	.000	1.603	.711	.238	.254	.000	.000	.000	.013	2.819	2.185
	60.00	63.00	2.945	.000	1.430	.311	.681	.449	.067	.000	.000	.007	2.945	2.579
	63.00	66.00	3.261	.000	1.947	1.182	.062	.000	.000	.052	.000	.018	3.261	1.940
	66.00	69.00	3.049	.000	1.095	1.437	.465	.000	.000	.000	.000	.052	3.049	3.333
	69.00	72.00	3.004	.000	.735	1.428	.841	.000	.000	.000	.000	.000	3.004	1.995
	72.00	75.00	2.887	.000	.452	1.672	.000	.593	.167	.000	.000	.003	2.887	2.719
	75.00	78.00	2.897	.000	1.019	.792	.172	.000	.823	.088	.000	.003	2.897	2.361
	78.00	81.00	2.883	.000	1.071	.819	.769	.000	.142	.058	.024	.000	2.883	2.450
	81.00	84.00	3.052	.000	1.264	1.186	.602	.000	.000	.000	.000	.000	3.052	1.681
	84.00	87.00	2.927	.000	1.281	1.132	.514	.000	.000	.000	.000	.000	2.927	1.620
	87.00	90.00	2.809	.000	.723	1.343	.216	.000	.519	.000	.000	.008	2.809	2.138
	90.00	93.00	3.034	.000	1.456	1.431	.122	.000	.000	.000	.019	.006	3.034	1.743
	93.00	96.00	3.063	.000	1.279	1.333	.451	.000	.000	.000	.000	.000	3.063	1.590
	96.00	99.00	2.998	.000	1.569	.474	.714	.000	.241	.000	.000	.000	2.998	1.744
	99.00	102.00	3.019	.000	1.043	.417	1.300	.000	.133	.124	.000	.002	3.019	2.822
	102.00	105.00	3.000	.000	2.501	.394	.100	.000	.000	.000	.000	.005	3.000	1.138
	105.00	108.00	2.983	.000	2.622	.139	.000	.222	.000	.000	.000	.000	2.983	1.187
	108.00	111.00	2.942	.000	2.729	.111	.000	.102	.000	.000	.000	.000	2.942	.970
	111.00	114.00	3.033	.000	2.100	.164	.568	.201	.000	.000	.000	.000	3.033	1.667
	114.00	117.00	2.924	.000	2.205	.450	.194	.000	.075	.000	.000	.000	2.924	1.144
	117.00	120.00	3.047	.000	2.285	.555	.205	.000	.000	.000	.000	.002	3.047	1.182

6^{ième} Étape: Mesurer les intervalles et Entrer les données

2. Mesurer les intervalles de l'environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées» (en crayon vert) au millimètre près avec une règle et placer la valeur dans la colonne appropriée de DH Logger.
 - Intervalle de zone hautement fragmentée avec chrysotile Faible: Mesurer et additionner tous les intervalles identifiés avec un «W» et mettre la valeur dans la colonne «RZ (1 to 10%)» de la table «Chrysotile» dans DH Logger.
 - Intervalle de zone hautement fragmentée avec chrysotile Modérée: Mesurer et additionner tous les intervalles identifiés avec un «M» et mettre la valeur dans la colonne «RZ (10 to 25%)» de la table «Chrysotile» dans DH Logger.
 - Intervalle de zone hautement fragmentée avec chrysotile Élevée: Mesurer et additionner tous les intervalles identifiés avec un «H» et mettre la valeur dans la colonne «RZ (25 to 45%)» de la table «Chrysotile» dans DH Logger.
 - Intervalle de zone hautement fragmentée avec chrysotile Intense: Mesurer et additionner tous les intervalles identifiés avec un «I» et mettre la valeur dans la colonne «RZ (45 to 70%)» de la table «Chrysotile» dans DH Logger.

6^{ième} Étape: Mesurer les intervalles et Entrer les données

- Mesurer les intervalles de l'environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées» (en crayon vert) au millimètre près avec une règle et placer la valeur dans la colonne appropriée de DH Logger.

Drill Hole from: (0.00) to: (330.00)

Project: 100

Dumont Resource Drilling

Hole No: 11-RN-372

Status: COPY

Collar

Details

Samples

Survey (108)

Location (1)

Geotechnical (110)

Alteration (15)

Mineralization (11)

Texture (0)

Colour (0)

Point_Structure (14)

Structure (15)

Mineralogy (112)

Point Load Test (0)

Overburden (0)

Core Box (0)

Met_Results (0)

Chrysotile (89)

	From	To	Core Length Measured	None (0% to 0.1%)	Network (0.1% to 1%)	Network (1% to 2.5%)	Network (2.5%to4.5%)	Network (4.5% to 7%)	RZ (1% to 10%)	RZ (10% to 25%)	RZ (25% to 45%)	RZ (45% to 70%)	Veins and Fractures	Total Length	Chrysotile %	Comments
0	1.16	3.00	1.795	.000	1.072	.342	.115	.000	.262	.000	.000	.000	.004	1.795	1.666	
6A	3.00	6.00	2.892	.000	1.136	.121	1.473	.159	.000	.000	.000	.000	.003	2.892	2.584	
	6.00	9.00	3.142	.000	1.675	1.064	.311	.000	.092	.000	.000	.000	.000	3.142	1.427	
6D	9.00	12.00	3.163	.000	2.323	.625	.171	.000	.044	.000	.000	.000	.000	3.163	1.128	
	12.00	15.00	3.076	.000	2.269	.584	.223	.000	.000	.000	.000	.000	.000	3.076	1.139	
6A	18.00	21.00	3.102	.000	.164	1.168	1.264	.162	.342	.000	.000	.000	.002	3.102	2.833	
	21.00	24.00	2.986	.000	.798	.943	.486	.000	.478	.278	.000	.000	.003	2.986	3.300	
2	24.00	27.00	3.008	.000	2.526	.199	.283	.000	.000	.000	.000	.000	.000	3.008	1.075	
	27.00	30.00	2.954	.000	2.528	.207	.161	.000	.052	.000	.000	.000	.006	2.954	1.211	
8	30.00	33.00	3.027	.000	1.716	.785	.523	.000	.000	.000	.000	.000	.003	3.027	1.583	
2	33.00	36.00	3.193	1.699	1.301	.189	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.004	3.193	.534	
	36.00	39.00	2.892	.000	1.308	.731	.759	.000	.068	.026	.000	.000	.000	2.892	1.906	
8	39.00	42.00	3.227	.000	1.041	.923	.447	.000	.750	.061	.000	.000	.005	3.227	2.363	
	42.00	45.00	2.982	.000	1.291	.883	.703	.000	.102	.000	.000	.000	.003	2.982	1.871	
2	45.00	48.00	2.980	.000	2.450	.528	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.002	2.980	.994	
	48.00	51.00	2.838	.000	2.100	.337	.401	.000	.000	.000	.000	.000	.000	2.838	1.257	
	51.00	54.00	2.980	.000	1.028	1.088	.718	.000	.123	.000	.023	.000	.000	2.980	2.135	
	54.00	57.00	3.003	.000	2.074	.499	.378	.037	.000	.000	.000	.000	.015	3.003	1.823	
	57.00	60.00	2.819	.000	1.603	.711	.238	.254	.000	.000	.000	.000	.013	2.819	2.165	
	60.00	63.00	2.945	.000	1.430	.311	.681	.449	.067	.000	.000	.000	.007	2.945	2.579	
	63.00	66.00	3.261	.000	1.947	1.182	.062	.000	.000	.052	.000	.000	.018	3.261	1.940	
	66.00	69.00	3.049	.000	1.095	1.437	.465	.000	.000	.000	.000	.000	.052	3.049	3.333	
	69.00	72.00	3.004	.000	.735	1.428	.841	.000	.000	.000	.000	.000	.000	3.004	1.995	
	72.00	75.00	2.887	.000	.452	1.672	.000	.000	.593	.167	.000	.000	.003	2.887	2.719	
	75.00	78.00	2.897	.000	1.019	.792	.172	.000	.823	.088	.000	.000	.003	2.897	2.361	
	78.00	81.00	2.883	.000	1.071	.819	.769	.000	.142	.058	.024	.000	.000	2.883	2.450	
	81.00	84.00	3.052	.000	1.264	1.186	.602	.000	.000	.000	.000	.000	.000	3.052	1.681	
	84.00	87.00	2.927	.000	1.281	1.132	.514	.000	.000	.000	.000	.000	.000	2.927	1.620	
	87.00	90.00	2.809	.000	.723	1.343	.216	.000	.519	.000	.000	.000	.008	2.809	2.138	
	90.00	93.00	3.034	.000	1.456	1.431	.122	.000	.000	.000	.019	.000	.006	3.034	1.743	
	93.00	96.00	3.063	.000	1.279	1.333	.451	.000	.000	.000	.000	.000	.000	3.063	1.590	
	96.00	99.00	2.998	.000	1.569	.474	.714	.000	.241	.000	.000	.000	.000	2.998	1.744	
	99.00	102.00	3.019	.000	1.043	.417	1.300	.000	.133	.124	.000	.000	.002	3.019	2.822	
	102.00	105.00	3.000	.000	2.501	.394	.100	.000	.000	.000	.000	.000	.005	3.000	1.138	
	105.00	108.00	2.983	.000	2.622	.139	.000	.222	.000	.000	.000	.000	.000	2.983	1.187	
	108.00	111.00	2.942	.000	2.729	.111	.000	.102	.000	.000	.000	.000	.000	2.942	.970	
	111.00	114.00	3.033	.000	2.100	.164	.568	.201	.000	.000	.000	.000	.000	3.033	1.667	
	114.00	117.00	2.924	.000	2.205	.450	.194	.000	.075	.000	.000	.000	.000	2.924	1.144	
	117.00	120.00	3.047	.000	2.285	.555	.205	.000	.000	.000	.000	.000	.002	3.047	1.182	

6A

6D

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

2

6A

8

<

6^{ième} Étape: Mesurer les intervalles et Entrer les données

3. Mesurer l'épaisseur de toutes les veines de chrysotile dans l'intervalle de 3 mètres au millimètre près.

 - Si la veine recoupe l'axe de la carotte de forage avec un angle fort, mesurer l'épaisseur de la veine.
 - Si la veine recoupe l'axe de la carotte de forage avec un angle faible, utiliser l'équation standard suivante:

Étape 1: Mesurer la longueur total de la veine et la diviser par 4.5cm.

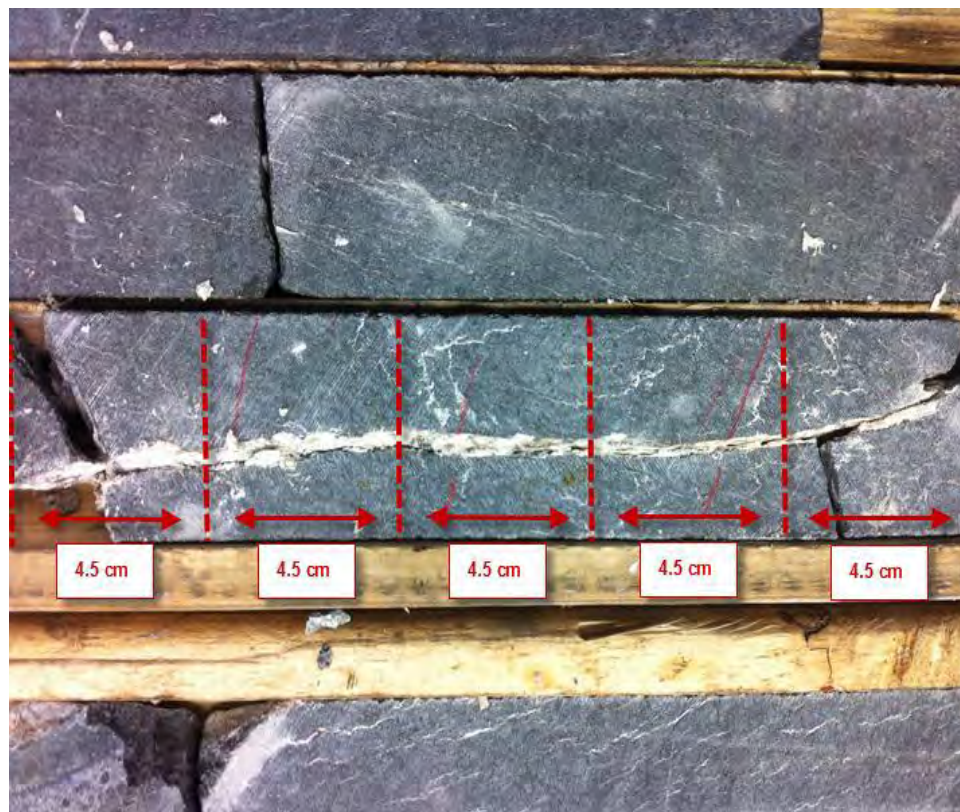
Étape 2: Multiplier l'épaisseur moyenne de la veine par le résultat obtenu à l'étape 1.

6^{ième} Étape: Mesurer les intervalles et Entrer les données

Exemple de veine qui recoupe l'axe de la carotte de forage avec un angle faible (en utilisant la photo ci-jointe).

Équation standard:

- **Étape 1:**
Longueur totale = 22.5cm
 $22.5\text{cm} / 4.5\text{cm} = 5$
- **Étape 2:**
Épaisseur moyen du joint = 2mm
 $2\text{mm} * 5 = 10\text{mm}$



6^{ième} Étape: Mesurer les intervalles et Entrer les données

3. Additionner toutes les épaisseurs des veines mesurées et calculées précédemment dans l'intervalle de 3 mètres et placer la valeur dans la colonne «Veins and Fractures» de la table «Chrysotile» dans DH Logger.

Drill Hole from: (0.00) to: (330.00)

Project: 100Dumont Resource DrillingHole No: 11-RN-372

Status: COPY

CollarDetailsSamples

Survey (108)Location (1)Geotechnical (110)Alteration (15)Mineralization (11)Texture (0)Colour (0)Point_Structure (141)Structure (15)Mineralogy (1122)Point Loss Test (0)Overburden (0)Core Box (0)Met_Results (0)Chrysotile (89)

	From	To	Core Length Measured	None (0% to 0.1%)	Network (0.1% to 1%)	Network (1% to 2.5%)	Network (2.5% to 4.5%)	Network (4.5% to 7%)	RZ (1% to 10%)	RZ (10% to 25%)	RZ (25% to 45%)	RZ (45% to 70%)	Veins and Fractures	Total Length	Chrysotile %	Comments
0	1.16	3.00	1.795	.000	1.072	.342	.115	.000	.262	.000	.000	.000	.004	1.795	1.666	
6A	3.00	6.00	2.892	.000	1.136	.121	1.473	.159	.000	.000	.000	.000	.003	2.892	2.584	
6D	6.00	9.00	3.142	.000	1.675	1.064	.311	.000	.092	.000	.000	.000	.000	3.142	1.427	
	9.00	12.00	3.163	.000	2.323	.625	.171	.000	.044	.000	.000	.000	.000	3.163	1.128	
	12.00	15.00	3.076	.000	2.269	.584	.223	.000	.000	.000	.000	.000	.000	3.076	1.139	
6A	18.00	21.00	3.102	.000	.164	1.168	1.264	.162	.342	.000	.000	.000	.002	3.102	2.833	
	21.00	24.00	2.986	.000	.798	.943	.486	.000	.478	.278	.000	.000	.003	2.986	3.300	
2	24.00	27.00	3.008	.000	2.526	.199	.283	.000	.000	.000	.000	.000	.000	3.008	1.075	
8	27.00	30.00	2.954	.000	2.528	.207	.161	.000	.052	.000	.000	.000	.006	2.954	1.211	
	30.00	33.00	3.027	.000	1.716	.785	.523	.000	.000	.000	.000	.000	.003	3.027	1.583	
2	33.00	36.00	3.193	1.699	1.301	.189	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.004	3.193	.534	
	36.00	39.00	2.892	.000	1.308	.731	.759	.000	.068	.026	.000	.000	.000	2.892	1.906	
8	39.00	42.00	3.227	.000	1.041	.923	.447	.000	.750	.061	.000	.000	.005	3.227	2.363	
	42.00	45.00	2.982	.000	1.291	.883	.703	.000	.102	.000	.000	.000	.003	2.982	1.871	
2	45.00	48.00	2.980	.000	2.450	.528	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.002	2.980	.994	
	48.00	51.00	2.838	.000	2.100	.337	.401	.000	.000	.000	.000	.000	.000	2.838	1.257	
	51.00	54.00	2.980	.000	1.028	1.088	.718	.000	.123	.000	.023	.000	.000	2.980	2.135	
	54.00	57.00	3.003	.000	2.074	.499	.378	.000	.000	.000	.000	.000	.015	3.003	1.823	
	57.00	60.00	2.819	.000	1.603	.711	.238	.254	.000	.000	.000	.000	.013	2.819	2.165	
	60.00	63.00	2.945	.000	1.430	.311	.681	.449	.067	.000	.000	.000	.007	2.945	2.579	
	63.00	66.00	3.261	.000	1.947	1.182	.062	.000	.000	.052	.000	.000	.018	3.261	1.940	
	66.00	69.00	3.049	.000	1.095	1.437	.465	.000	.000	.000	.000	.000	.052	3.049	3.333	
	69.00	72.00	3.004	.000	.735	1.428	.841	.000	.000	.000	.000	.000	.000	3.004	1.995	
	72.00	75.00	2.887	.000	.452	1.672	.000	.000	.593	.167	.000	.000	.003	2.887	2.719	
	75.00	78.00	2.897	.000	1.019	.792	.172	.000	.823	.088	.000	.000	.003	2.897	2.361	
	78.00	81.00	2.883	.000	1.071	.819	.769	.000	.142	.058	.024	.000	.000	2.883	2.450	
	81.00	84.00	3.052	.000	1.264	1.186	.602	.000	.000	.000	.000	.000	.000	3.052	1.681	
	84.00	87.00	2.927	.000	1.281	1.132	.514	.000	.000	.000	.000	.000	.000	2.927	1.620	
	87.00	90.00	2.809	.000	.723	1.343	.216	.000	.519	.000	.000	.000	.008	2.809	2.138	
	90.00	93.00	3.034	.000	1.456	1.431	.122	.000	.000	.000	.019	.000	.006	3.034	1.743	
	93.00	96.00	3.063	.000	1.279	1.333	.451	.000	.000	.000	.000	.000	.000	3.063	1.590	
	96.00	99.00	2.998	.000	1.569	.474	.714	.000	.241	.000	.000	.000	.000	2.998	1.744	
	99.00	102.00	3.019	.000	1.043	.417	1.300	.000	.133	.124	.000	.000	.002	3.019	2.822	
	102.00	105.00	3.000	.000	2.501	.394	.100	.000	.000	.000	.000	.000	.005	3.000	1.138	
	105.00	108.00	2.983	.000	2.622	.139	.000	.222	.000	.000	.000	.000	.000	2.983	1.187	
	108.00	111.00	2.942	.000	2.729	.111	.000	.102	.000	.000	.000	.000	.000	2.942	.970	
	111.00	114.00	3.033	.000	2.100	.164	.568	.201	.000	.000	.000	.000	.000	3.033	1.667	
	114.00	117.00	2.924	.000	2.205	.450	.194	.000	.075	.000	.000	.000	.000	2.924	1.144	
	117.00	120.00	3.047	.000	2.285	.555	.205	.000	.000	.000	.000	.000	.002	3.047	1.182	

7^{ième} Étape: Vérifier la longueur totale de l'intervalle de 3 mètres

1. Mesurer la longueur totale de la carotte de forage dans l'intervalle de 3 mètres et comparer cette mesure avec la colonne «Total Length» de la table «Chrysotile» dans DH logger.
2. Vérifier la pourcentage de chrysotile de l'intervalle de 3 mètres évalué dans la colonne «% Chrysotile» de la table «Chrysotile» dans DH Logger et comparer avec l'estimation faite à la 1^{er} étape de la procédure.

7^{ième} Étape: Vérifier la longueur totale de l'intervalle de 3 mètres

1. Mesurer la longueur totale de la carotte de forage dans l'intervalle de 3 mètres et comparer cette mesure avec la colonne «Total Length» de la table «Chrysotile» dans DH logger.
 - Mesurer la longueur totale de la carotte de forage dans l'intervalle de 3 mètres et insérer cette valeur dans la colonne «Core Length Measured».
 - Comparer cette mesure avec la colonne «Total Length» de la table «Chrysotile» dans DH logger.
 - Si il y a une différence de 5cm ou plus, vérifier en premier si une erreur est survenue lors de l'entrée des données ou s'il manque une donnée. S'il n'y a pas d'erreur dans les données, remesurer tous les intervalles de chrysotile.
 - *Si la différence est de moins que 5cm, la mesure est considérée acceptable.*

7^{ième} Étape: Vérifier la longueur totale de l'intervalle de 3 mètres

1. Mesurer la longueur totale de la carotte de forage dans l'intervalle de 3 mètres et comparer cette mesure avec la colonne «Total Length» de la table «Chrysotile» dans DH logger pour voir s'il y a une différence.

Drill Hole from: (0.00) to: (330.00)

Project: 100 ▾Dumont Resource DrillingHole No: 11-RN-372 ▾Status: COPY

Collar

Details

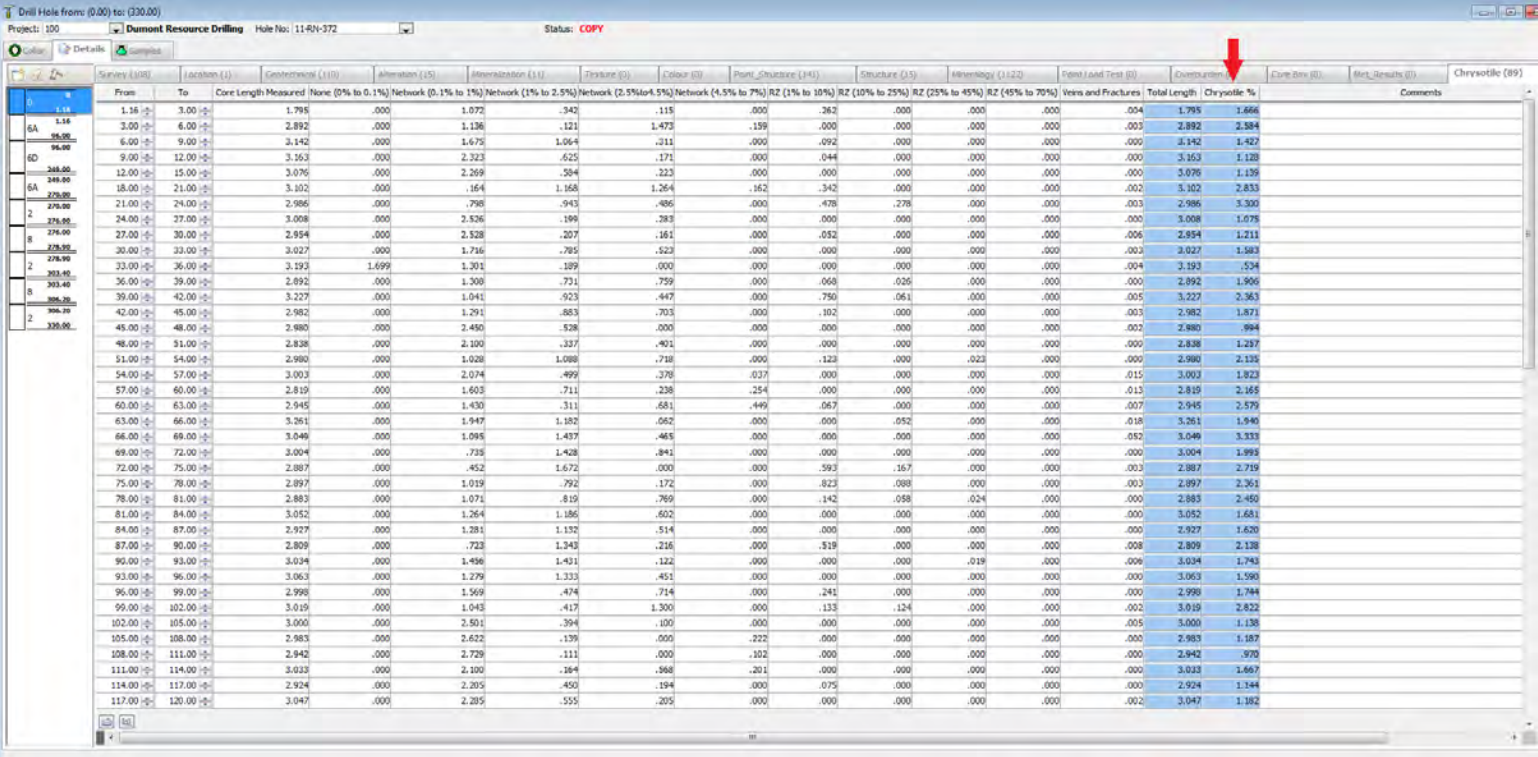
Samples

Survey (108)	Location (1)	Isotecthical (110)	Alteration (15)	Mineralization (11)	Texture (0)	Colour (0)	Point_Structure (141)	Structure (15)	Mineralogy (1122)	Point Load Test (0)	Overburden (0)	Core Box (0)	Met_Results (0)	Chrysotile (89)	
From	To	Core Length Measured	None (0% to 0.1%)	Network (0.1% to 1%)	Network (1% to 2.5%)	Network (2.5%to4.5%)	Network (4.5% to 7%)	RZ (1% to 10%)	RZ (10% to 25%)	RZ (25% to 45%)	RZ (45% to 70%)	Veins and Fractures	Total Length	Chrysotile %	Comments
0	1.16	1.15	3.00	1.795	.000	1.072	.342	.115	.000	.262	.000	.000	.004	1.795	1.666
6A	1.16	3.00	6.00	2.892	.000	1.136	.121	1.473	.159	.000	.000	.000	.003	2.892	2.584
	56.00	6.00	9.00	3.142	.000	1.675	1.064	.311	.000	.092	.000	.000	.000	3.142	1.427
6D	56.00	9.00	12.00	3.163	.000	2.323	.625	.171	.000	.044	.000	.000	.000	3.163	1.128
	249.00	12.00	15.00	3.076	.000	2.269	.584	.223	.000	.000	.000	.000	.000	3.076	1.139
6A	249.00	18.00	21.00	3.102	.000	.164	1.168	1.264	.162	.342	.000	.000	.002	3.102	2.833
	270.00	21.00	24.00	2.986	.000	.798	.943	.486	.000	.478	.278	.000	.003	2.986	3.300
2	270.00	24.00	27.00	3.008	.000	2.526	.199	.283	.000	.000	.000	.000	.000	3.008	1.075
8	270.00	27.00	30.00	2.954	.000	2.528	.207	.161	.000	.052	.000	.000	.006	2.954	1.211
	278.90	30.00	33.00	3.027	.000	1.716	.785	.523	.000	.000	.000	.000	.003	3.027	1.583
2	278.90	33.00	36.00	3.193	1.699	1.301	.189	.000	.000	.000	.000	.000	.004	3.193	.534
	303.40	36.00	39.00	2.892	.000	1.308	.731	.759	.000	.068	.026	.000	.000	2.892	1.906
8	303.40	39.00	42.00	3.227	.000	1.041	.923	.447	.000	.750	.061	.000	.005	3.227	2.363
	306.20	42.00	45.00	2.982	.000	1.291	.883	.703	.000	.102	.000	.000	.003	2.982	1.871
2	306.20	45.00	48.00	2.980	.000	2.450	.528	.000	.000	.000	.000	.000	.002	2.980	.994
	330.00	48.00	51.00	2.838	.000	2.100	.337	.401	.000	.000	.000	.000	.000	2.838	1.257
		51.00	54.00	2.980	.000	1.028	1.088	.718	.000	.123	.000	.023	.000	2.980	2.135
		54.00	57.00	3.003	.000	2.074	.499	.378	.000	.037	.000	.000	.015	3.003	1.823
		57.00	60.00	2.819	.000	1.603	.711	.238	.254	.000	.000	.000	.013	2.819	2.165
		60.00	63.00	2.945	.000	1.430	.311	.681	.449	.067	.000	.000	.007	2.945	2.579
		63.00	66.00	3.261	.000	1.947	1.182	.062	.000	.000	.052	.000	.018	3.261	1.940
		66.00	69.00	3.049	.000	1.095	1.437	.465	.000	.000	.000	.000	.052	3.049	3.333
		69.00	72.00	3.004	.000	.735	1.428	.841	.000	.000	.000	.000	.000	3.004	1.995
		72.00	75.00	2.887	.000	.452	1.672	.000	.000	.593	.167	.000	.003	2.887	2.719
		75.00	78.00	2.897	.000	1.019	.792	.172	.000	.823	.088	.000	.003	2.897	2.361
		78.00	81.00	2.883	.000	1.071	.819	.769	.000	.142	.058	.024	.000	2.883	2.450
		81.00	84.00	3.052	.000	1.264	1.186	.602	.000	.000	.000	.000	.000	3.052	1.681
		84.00	87.00	2.927	.000	1.281	1.132	.514	.000	.000	.000	.000	.000	2.927	1.620
		87.00	90.00	2.809	.000	.723	1.343	.216	.000	.519	.000	.000	.008	2.809	2.138
		90.00	93.00	3.034	.000	1.456	1.431	.122	.000	.000	.000	.019	.000	3.034	1.743
		93.00	96.00	3.063	.000	1.279	1.333	.451	.000	.000	.000	.000	.000	3.063	1.590
		96.00	99.00	2.998	.000	1.569	.474	.714	.000	.241	.000	.000	.000	2.998	1.744
		99.00	102.00	3.019	.000	1.043	.417	1.300	.000	.133	.124	.000	.002	3.019	2.822
		102.00	105.00	3.000	.000	2.501	.394	.100	.000	.000	.000	.000	.005	3.000	1.138
		105.00	108.00	2.983	.000	2.622	.139	.000	.222	.000	.000	.000	.000	2.983	1.187
		108.00	111.00	2.942	.000	2.729	.111	.000	.102	.000	.000	.000	.000	2.942	.970
		111.00	114.00	3.033	.000	2.100	.164	.568	.201	.000	.000	.000	.000	3.033	1.667
		114.00	117.00	2.924	.000	2.205	.450	.194	.000	.075	.000	.000	.000	2.924	1.144
	117.00	120.00	3.047	.000	2.285	.555	.205	.000	.000	.000	.000	.000	.002	3.047	1.182

ht

7^{ième} Étape: Vérifier la longueur totale de l'intervalle de 3 mètres

- Vérifier la pourcentage de chrysotile de l'intervalle de 3 mètres évalué dans la colonne «% Chrysotile» de la table «Chrysotile» dans DH Logger et comparer avec l'estimation faite à la 1^{er} étape de la procédure.



Drill Hole from (0.00) to (330.00)
 Project: 100 Dumont Resource Drilling Hole No: 11-RN-372 Status: COPY

Survey (L10)	Location (L1)	Geotechnical (L10)	Alteration (L5)	Alteration (L1)	Texture (L1)	Colour (L1)	Point Structure (L1)	Structure (L1)	Mineralogy (L1)	Veins and Fractures (L1)	Total Length	Chrysotile %	Comments
1.16	3.00	1.795	.000	1.072	.342	.115	.000	.262	.000	.000	.004	1.795	1.666
3.00	6.00	2.892	.000	1.136	.121	1.473	.159	.000	.000	.000	.003	2.892	2.384
6.00	9.00	3.142	.000	1.675	1.064	.311	.000	.092	.000	.000	.000	3.142	1.427
9.00	12.00	3.163	.000	2.323	.625	.171	.000	.044	.000	.000	.000	3.163	1.128
12.00	15.00	3.076	.000	2.269	.584	.223	.000	.000	.000	.000	.000	3.076	1.139
15.00	18.00	3.102	.000	1.164	1.168	1.264	.162	.342	.000	.000	.002	3.102	2.833
18.00	21.00	2.986	.000	.798	.943	.486	.000	.478	.278	.000	.003	2.986	3.300
21.00	24.00	3.008	.000	2.526	.199	.283	.000	.000	.000	.000	.000	3.008	1.075
24.00	27.00	2.954	.000	2.528	.207	.161	.000	.052	.000	.000	.006	2.954	1.211
27.00	30.00	3.027	.000	1.716	.785	.523	.000	.000	.000	.000	.003	3.027	1.383
30.00	33.00	3.193	1.699	1.301	.189	.000	.000	.000	.000	.000	.004	3.193	.524
33.00	36.00	2.892	.000	1.308	.731	.759	.000	.068	.026	.000	.000	2.892	1.906
36.00	39.00	3.227	.000	1.041	.923	.447	.000	.750	.061	.000	.005	3.227	2.363
39.00	42.00	2.982	.000	1.291	.883	.703	.000	.102	.000	.000	.003	2.982	1.871
42.00	45.00	2.980	.000	2.430	.528	.000	.000	.000	.000	.000	.002	2.980	.994
45.00	48.00	2.838	.000	2.100	.337	.901	.000	.000	.000	.000	.000	2.838	1.237
48.00	51.00	2.980	.000	1.028	1.088	.738	.000	.123	.000	.023	.000	2.980	2.135
51.00	54.00	3.003	.000	2.074	.499	.376	.000	.000	.000	.000	.015	3.003	1.823
54.00	57.00	1.603	.000	.711	.228	.254	.000	.000	.000	.000	.013	2.819	2.165
57.00	60.00	2.945	.000	1.430	.311	.681	.000	.449	.087	.000	.007	2.945	2.579
60.00	63.00	3.261	.000	1.947	1.182	.062	.000	.000	.052	.000	.018	3.261	1.940
63.00	66.00	3.049	.000	1.085	1.437	.465	.000	.000	.000	.000	.052	3.049	3.333
66.00	69.00	3.004	.000	.735	1.428	.841	.000	.000	.000	.000	.000	3.004	1.995
69.00	72.00	2.887	.000	.452	1.672	.000	.000	.593	.167	.000	.003	2.887	2.719
72.00	75.00	2.897	.000	1.019	.792	.172	.000	.823	.088	.000	.003	2.897	2.361
75.00	78.00	2.883	.000	1.071	.819	.769	.000	.142	.058	.024	.000	2.883	2.460
78.00	81.00	3.052	.000	1.186	.602	.000	.000	.000	.000	.000	.000	3.052	1.631
81.00	84.00	2.927	.000	1.281	1.132	.514	.000	.000	.000	.000	.000	2.927	1.620
84.00	87.00	2.809	.000	.723	1.243	.216	.000	.518	.000	.000	.008	2.809	2.138
87.00	90.00	3.034	.000	1.456	1.431	.122	.000	.000	.000	.019	.006	3.034	1.743
90.00	93.00	3.063	.000	1.279	1.333	.451	.000	.000	.000	.000	.000	3.063	1.590
93.00	96.00	2.998	.000	1.569	.474	.714	.000	.241	.000	.000	.000	2.998	1.744
96.00	99.00	3.019	.000	1.043	.417	1.300	.000	.133	.124	.000	.002	3.019	2.822
99.00	102.00	3.000	.000	2.501	.394	.100	.000	.000	.000	.000	.005	3.000	1.138
102.00	105.00	2.983	.000	2.622	.139	.000	.222	.000	.000	.000	.000	2.983	1.187
105.00	108.00	2.942	.000	2.729	.111	.000	.102	.000	.000	.000	.000	2.942	.970
108.00	111.00	3.033	.000	2.100	.264	.568	.201	.000	.000	.000	.000	3.033	1.667
111.00	114.00	2.924	.000	2.205	.450	.194	.000	.075	.000	.000	.000	2.924	1.144
114.00	117.00	3.047	.000	2.285	.555	.205	.000	.000	.000	.000	.002	3.047	1.182

8^{ième} Étape: Révision, Photo et Ranger les boîtes de carotte de forage

1. Révision de l'intégrité de toutes les données entrées du trou de forage.
2. Prendre en photo toutes les boîtes de carotte de forage.
3. Ranger les boîtes de carotte de forage.

8^{ième} Étape: Révision, Photo et Ranger les boîtes de carotte de forage

1. Révision de l'intégrité de toutes les données entrées du trou de forage.
 - Vérifier une seconde fois pour voir si aucune erreur est survenue lors de l'entrée des données.
 - Vérifier la colonne «% Chrysotile» pour les pourcentages élevés et vérifier si ces valeurs concordent avec leur intervalle de 3 mètres.
 - Vérifier si tous les intervalles de 3 mètres ont été évalués pour le chrysotile dans le trou de forage.

8^{ième} Étape: Révision, Photo et Ranger les boites de carotte de forage

2. Prendre en photo toutes les boites de carotte de forage.



- Mettre les photos dans le dossier P:\Dumont Data\Core Photos\Chrysotile 2013 prévu a cet effet.

8^{ième} Étape: Révision, Photo et Ranger les boîtes de carotte de forage

3. Ranger les boîtes de carotte de forage dans les étagères prévues a cet effet.



ANNEXE V

Données du journal de sondage du chrysotile

Données du journal de sondage du chrysotile

Numéro du trou de forage	Carotte de forage			Réseaux de chrysotile					Chrysotile dans les zones hautment fragmentées				Chrysotile dans les veines /fractures	Calculs			Commentaires
	Début de l'intervall e	Fin de l'intervalle	Longueur de la carotte	Aucun	Faible	Modérée	Élevée	Intense	Faible	Modérée	Élevée	Intense		"% Chrysotile"	"Total Length"	"Chrysotile Length"	
08-RN-94	20	21	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1.750	1	0.0175	
08-RN-94	21	24	2.98	0	0.41	1.23	1.34	0	0	0	0	0	0	2.399	2.98	0.0715	
08-RN-94	24	27	3.12	0	0	2.63	0.4	0	0	0.09	0	0	0	2.357	3.12	0.0735	
08-RN-94	27	30	2.96	0	0.1	2.26	0.51	0	0	0.09	0	0	0	2.421	2.96	0.0717	
08-RN-94	30	33	3.07	0	1.84	1.23	0	0	0	0	0	0	0	1.151	3.07	0.0353	
08-RN-94	33	36	3.1	0	0	2.34	0	0.45	0	0.31	0	0	0	3.692	3.1	0.1145	
08-RN-94	36	39	3.02	0	2.58	0	0.22	0	0	0.22	0	0	0	1.988	3.02	0.0601	
08-RN-94	39	42	2.98	0	2.62	0	0.19	0	0.11	0	0	0.06	0	2.101	2.98	0.0626	
08-RN-94	42	45	3.03	0	2.69	0	0.05	0.09	0	0.2	0	0	0	1.892	3.03	0.0573	
08-RN-94	45	48	2.96	0	2.38	0.39	0.12	0.07	0	0	0	0	0	1.117	2.96	0.0331	
08-RN-94	48	51	2.98	0	2.85	0.123	0	0	0	0	0	0	0.007	1.024	2.98	0.0305	
08-RN-94	51	54	3.098	0	2.798	0	0.22	0.08	0	0	0	0	0	1.081	3.098	0.0335	
08-RN-94	54	57	3.04	0	2.99	0	0	0.05	0	0	0	0	0	0.836	3.04	0.0254	
08-RN-94	57	60	2.925	0	2.738	0	0.187	0	0	0	0	0	0	0.926	2.925	0.0271	
08-RN-94	60	63	2.98	0	2.595	0.305	0.08	0	0	0	0	0	0	0.926	2.98	0.0276	
08-RN-94	63	66	2.726	0	2.14	0.135	0.103	0.078	0.209	0.061	0	0	0	1.545	2.726	0.0421	
08-RN-94	66	69	2.915	0	2.735	0.115	0.065	0	0	0	0	0	0	0.851	2.915	0.0248	
08-RN-94	69	72	3	0	2.105	0.415	0	0	0	0.47	0	0	0.01	3.452	3	0.1036	
08-RN-94	72	75	2.97	0	2.697	0	0	0	0.27	0	0	0	0.003	1.055	2.97	0.0313	
08-RN-94	75	78	3.06	0	2.595	0.34	0	0	0.125	0	0	0	0	0.953	3.06	0.0292	
08-RN-94	78	81	3	0	2.615	0.085	0.3	0	0	0	0	0	0	1.053	3	0.0316	
08-RN-94	81	84	3	0	1.33	1.67	0	0	0	0	0	0	0	1.307	3	0.0392	
08-RN-94	84	87	2.98	0	2.09	0.62	0.05	0	0	0.22	0	0	0	2.056	2.98	0.0613	
08-RN-94	87	90	3	0	2.623	0.1	0.127	0	0	0.15	0	0	0	1.612	3	0.0484	
08-RN-94	90	93	3.065	0	1.198	0	0.64	0	0.836	0.191	0.2	0	0	5.061	3.065	0.1551	
08-RN-94	93	96	2.99	0	1.01	0.424	1.148	0	0	0.303	0.105	0	0	4.594	2.99	0.1374	
08-RN-94	96	99	3.174	0	2.342	0.323	0.365	0	0.07	0.074	0	0	0	1.550	3.174	0.0492	
08-RN-94	99	102	3.01	0	1.782	0.83	0.21	0	0.188	0	0	0	0	1.358	3.01	0.0409	
08-RN-94	102	105	2.945	0	1.548	0.814	0.543	0	0	0.04	0	0	0	1.727	2.945	0.0509	
08-RN-94	105	108	3.19	0	1.13	0.335	1.282	0	0.165	0.278	0	0	0	3.318	3.19	0.1059	
08-RN-94	108	111	3	0	1.327	0.933	0.265	0	0	0.475	0	0	0	3.560	3	0.1068	
08-RN-94	111	114	3.43	0	2.052	1.378	0	0	0	0	0	0	0	1.152	3.43	0.0395	
08-RN-94	114	117	2.91	0.399	2.352	0.159	0	0	0	0	0	0	0	0.702	2.91	0.0204	
08-RN-94	117	120	3.043	0	2.5	0.153	0	0	0.39	0	0	0	0	1.089	3.043	0.0331	
08-RN-94	120	123	3.39	0	0.86	1.595	0.53	0	0.405	0	0	0	0	1.919	3.39	0.0651	
08-RN-94	123	126	3.058	1.853	0.815	0	0.39	0	0	0	0	0	0	0.646	3.058	0.0198	
08-RN-94	126	129	2.95	2.555	0.395	0	0	0	0	0	0	0	0	0.100	2.95	0.0030	
08-RN-94	129	132	2.948	0.816	1.326	0.19	0.479	0.137	0	0	0	0	0	1.298	2.948	0.0383	
08-RN-94	132	135	3.305	0	2.525	0.37	0.26	0	0.15	0	0	0	0	1.180	3.305	0.0390	
08-RN-94	135	138	3.1	1.285	1.225	0.23	0	0	0.36	0	0	0	0	0.775	3.1	0.0240	
08-RN-94	138	141	3.19	1.171	1.303	0.13	0.186	0	0.4	0	0	0	0	0.958	3.19	0.0306	
08-RN-94	141	144	2.935	0	2.136	0.234	0.465	0	0.1	0	0	0	0	1.342	2.935	0.0394	
08-RN-94	144	147	2.995	1.582	0.861	0.384	0	0	0.168	0	0	0.84	0	0.608	2.995	0.0182	
08-RN-94	147	150	2.92	0.463	2.017	0.11	0.086	0	0.14	0	0.104	0	0	2.077	2.92	0.0607	
08-RN-94	150	153	3.47	0.596	2.105	0.654	0	0	0	0.115	0	0	0	1.282	3.47	0.0445	
08-RN-94	153	156	3	0	2.71	0	0	0	0	0.29	0	0	0	2.128	3	0.0638	
08-RN-94	156	159	3.03	0	2.14	0.56	0	0	0	0.33	0	0	0	2.487	3.03	0.0754	
08-RN-94	159	162	3.07	0	2.46	0	0	0	0	0.61	0	0	0	3.581	3.07	0.1100	
08-RN-94	162	165	3.04	0	3.04	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	3.04	0.0228	
08-RN-94	165	168	3.13	0	2.46	0.46	0	0	0	0.21	0	0	0	1.853	3.13	0.0580	
08-RN-94	168	171	3.07	0	2.24	0.76	0.07	0	0	0	0	0	0	1.060	3.07	0.0326	
08-RN-94	171	174	3.11	0	2.58	0.29	0	0	0	0.24	0	0	0	1.943	3.11	0.0604	
08-RN-94	174	177	3.17	0	1.97	0.72	0	0	0	0.48	0	0	0	3.135	3.17	0.0994	
08-RN-94	177	180	3.05	0	1.42	0.23	0	0	0.91	0.49	0	0	0	3.786	3.05	0.1155	
08-RN-94	180	183	3.06	0	1.59	1.36	0.11	0	0	0	0	0	0	1.293	3.06	0.0396	
08-RN-94	183	186	3	0	0.74	0.32	0.89	0.14	0.11	0.792	0	0	0.008	6.027	3	0.1808	
08-RN-94	186	189	3	0	0.95	0.95	0.17	0	0	0.93	0	0	0	5.640	3	0.1692	
08-RN-94	189	192	3	0	1.64	0.56	0.2	0	0.06	0.23	0.31	0	0	5.797	3	0.1739	
08-RN-94	192	195	3	0	0.867	0.27	0.12	0	0.53	1.21	0	0	0.003	7.194	3	0.2158	

08-RN-94	195	198	2.46	0	1.16	0.81	0	0	0	0.482	0	0	0.008	4.194	2.46	0.1032	
08-RN-94	198	201	3.1	0	0.77	1.12	0.14	0	0.5	0.57	0	0	0	4.219	3.1	0.1308	
08-RN-94	201	204	3.1	0.3	1.96	0.06	0	0	0.52	0.26	0	0	0	2.269	3.1	0.0704	
08-RN-94	204	207	2.95	0	2.17	0	0.04	0.18	0.39	0	0.17	0	0	3.379	2.95	0.0997	
08-RN-94	207	210	3.05	0	1.82	0.35	0.18	0	0.26	0	0.31	0.13	0	7.012	3.05	0.2139	
08-RN-94	210	213	2.81	0	0.99	1.51	0	0	0	0.31	0	0	0	2.859	2.81	0.0804	
08-RN-94	213	216	3.04	0	0.79	0.57	0.44	0	0.6	0.64	0	0	0	4.780	3.04	0.1453	
08-RN-94	216	219	3	0	2.34	0	0	0	0.5	0.16	0	0	0	1.885	3	0.0566	
08-RN-94	219	222	2.9	0	1.2	0.15	0	0	1.55	0	0	0	0	2.004	2.9	0.0581	
08-RN-94	222	225	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	3	0.0225	
08-RN-94	225	228	2.97	0	2.61	0	0	0	0.36	0	0	0	0	1.023	2.97	0.0304	
08-RN-94	228	231	2.85	0	2.65	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0.908	2.85	0.0259	
08-RN-94	231	234	3.09	0	2.865	0	0	0	0.21	0	0	0	0.015	1.385	3.09	0.0428	
08-RN-94	234	237	2.85	0	2.185	0	0	0	0.52	0.14	0	0	0.005	2.035	2.85	0.0580	
08-RN-94	237	240	2.9	0	2.595	0.135	0	0	0	0.06	0	0.11	0	3.149	2.9	0.0913	
08-RN-94	240	243	3	0	2.02	0	0	0	0.27	0.58	0.084	0.046	0	5.498	3	0.1650	
08-RN-94	243	246	2.88	0	2.05	0	0	0	0.66	0.17	0	0	0	2.107	2.88	0.0607	
08-RN-94	246	249	3	0	2.76	0	0	0	0.2	0	0	0.04	0	1.623	3	0.0487	
08-RN-94	249	252	3.03	0	3.03	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	3.03	0.0227	
08-RN-94	252	255	2.97	0	2.915	0	0.05	0	0	0	0	0	0.005	0.963	2.97	0.0286	
08-RN-94	255	258	3	0	2.995	0	0	0	0	0	0	0	0.005	0.915	3	0.0275	
08-RN-94	258	261	2.9	0	2.767	0.13	0	0	0	0	0	0	0.003	0.898	2.9	0.0260	
08-RN-94	261	264	3	0	2.493	0.115	0	0	0.39	0	0	0	0.002	1.147	3	0.0344	
08-RN-94	264	267	2.98	0	2.89	0.09	0	0	0	0	0	0	0	0.780	2.98	0.0233	
08-RN-94	267	270	3	0	2.935	0.06	0	0	0	0	0	0	0.005	0.935	3	0.0281	
08-RN-94	270	273	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	3	0.0225	
08-RN-94	273	276	3	0	2.75	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0.938	3	0.0281	
08-RN-94	276	279	3	0	2.8	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0.900	3	0.0270	
08-RN-94	279	282	2.95	0	2.88	0.07	0	0	0	0	0	0	0	0.774	2.95	0.0228	
08-RN-94	282	285	3.05	0	2.89	0.08	0.08	0	0	0	0	0	0	0.848	3.05	0.0259	
08-RN-94	285	288	3.01	0	0.826	1.184	0	0	0.88	0.12	0	0	0	2.369	3.01	0.0713	
08-RN-94	288	291	3.07	0	1.381	0.997	0.692	0	0	0	0	0	0	1.695	3.07	0.0520	
08-RN-94	291	294	2.88	0	0.7	0.798	1.382	0	0	0	0	0	0	2.347	2.88	0.0676	
08-RN-94	294	297	3.112	0	1.282	0.1	1.28	0	0.165	0.285	0	0	0	3.338	3.112	0.1039	
08-RN-94	297	300	3.025	0.627	1.003	0.625	0.695	0	0.075	0	0	0	0	1.489	3.025	0.0450	
08-RN-94	300	303	3.149	1.695	1.446	0	0	0	0	0	0	0	0.008	0.598	3.149	0.0188	
08-RN-94	303	306	3.095	1.058	0.639	1.158	0.24	0	0	0	0	0	0	1.081	3.095	0.0335	
08-RN-94	306	309	3.275	0	0.815	0	1.1	0	1.36	0	0	0	0	2.608	3.275	0.0854	
08-RN-94	309	312	2.962	0.826	2.136	0	0	0	0	0	0	0	0	0.541	2.962	0.0160	
08-RN-94	312	315	3.03	1.471	1.35	0	0.061	0.055	0.093	0	0	0	0	0.606	3.03	0.0184	
08-RN-94	315	318	3.095	1.31	1.619	0	0.163	0	0	0	0	0	0.003	0.674	3.095	0.0208	
08-RN-94	318	321	2.653	1.291	1.26	0	0.102	0	0	0	0	0	0	0.491	2.653	0.0130	
08-RN-94	321	324	2.971	1.133	1.685	0	0.153	0	0	0	0	0	0	0.606	2.971	0.0180	
08-RN-94	324	327	3.037	1.255	1.567	0.215	0	0	0	0	0	0	0	0.511	3.037	0.0155	
08-RN-94	327	330	3.08	1.582	1.008	0.387	0.103	0	0	0	0	0	0	0.582	3.08	0.0179	
08-RN-94	330	333	3.106	0	2.535	0.371	0.2	0	0	0	0	0	0	1.047	3.106	0.0325	
08-RN-94	333	336	2.985	1.255	0.92	0.48	0.141	0	0.188	0	0	0	0.001	0.900	2.985	0.0269	
08-RN-94	336	339	2.964	1.468	1.271	0	0	0	0.224	0	0	0	0.001	0.582	2.964	0.0173	
08-RN-94	339	342	2.96	1.132	0.275	0.806	0.34	0	0.407	0	0	0	0	1.361	2.96	0.0403	
08-RN-94	342	345	3.055	0.453	2.325	0	0.051	0	0.225	0	0	0	0.001	0.883	3.055	0.0270	
08-RN-94	345	348	3.061	0.878	1.569	0.303	0.106	0	0.205	0	0	0	0	0.880	3.061	0.0269	
08-RN-94	348	351	2.957	0.424	2.003	0.225	0.15	0	0	0.155	0	0	0	1.605	2.957	0.0475	
08-RN-94	351	354	2.9	0	2.41	0	0.3	0	0.07	0.05	0	0.07	0	2.644	2.9	0.0767	
08-RN-94	354	357	3.06	0	2.78	0.11	0.17	0	0	0	0	0	0	0.939	3.06	0.0287	
08-RN-94	357	360	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	3	0.0225	
08-RN-94	360	363	2.9	0	2.78	0.12	0	0	0	0	0	0	0	0.791	2.9	0.0230	
08-RN-94	363	366	2.98	0	2.52	0	0	0	0.38	0.08	0	0	0	1.419	2.98	0.0423	
08-RN-94	366	369	2.9	0	1.955	0.93	0	0	0	0	0	0	0.015	1.584	2.9	0.0459	
08-RN-94	369	372	3	0	2.58	0.11	0	0	0.31	0	0	0	0	1.019	3	0.0306	
08-RN-94	372	375	2.99	0.18	2.39	0	0.33	0	0	0	0.09	0	0	2.039	2.99	0.0610	
08-RN-94	375	378	2.92	1.045	1.56	0	0.18	0	0	0.12	0	0	0.015	1.747	2.92	0.0510	
08-RN-94	378	381	3.11	1.07	1.95	0.09	0	0	0	0	0	0	0	0.521	3.11	0.0162	
08-RN-94	381	384	3.05	1.1	1.49	0.46	0	0	0	0	0	0	0	0.630	3.05	0.0192	
08-RN-94	384	387	3.12	2.24	0.776	0.1	0	0	0	0	0	0	0.004	0.371	3.12	0.0116	
08-RN-94	387	390	2.81	0	2.215	0.55	0	0	0	0	0	0	0.045	2.535	2.81	0.0712	
08-RN-94	390	393	2.38	0	1.487	0.64	0	0	0	0	0.25	0	0.003	4.742	2.38	0.1129	
08-RN-94	393	396	2.86	0	1.42	0.92	0	0	0.24	0.17	0.1	0	0.01	3.652	2.86	0.1045	
08-RN-94	396	399	3	0	0.51	2.17	0	0	0.12	0.2	0	0	0	2.513	3	0.0754	

08-RN-94	399	402	2.89	0	2.47	0.09	0	0	0.21	0.12	0	0	0	1.536	2.89	0.0444	
08-RN-94	402	405	3.16	1.05	1.81	0	0	0	0.18	0	0.12	0	0	1.930	3.16	0.0610	
08-RN-94	405	408	2.99	0	2.72	0.27	0	0	0	0	0	0	0	0.840	2.99	0.0251	
08-RN-94	408	411	3.12	0	3.08	0	0.04	0	0	0	0	0	0	0.785	3.12	0.0245	
08-RN-94	411	414	3.12	1.53	1.59	0	0	0	0	0	0	0	0	0.382	3.12	0.0119	
08-RN-94	414	417	2.99	1.36	1.17	0.46	0	0	0	0	0	0	0	0.563	2.99	0.0168	
08-RN-94	417	420	3.11	2.035	0.655	0.26	0.07	0.09	0	0	0	0	0	0.557	3.11	0.0173	
08-RN-94	420	423	3.068	0.537	0.668	1.008	0.6	0	0.255	0	0	0	0	1.672	3.068	0.0513	
08-RN-94	423	426	3.135	0	2.604	0.482	0	0.049	0	0	0	0	0	0.986	3.135	0.0309	
08-RN-94	426	429	3.055	1.653	1.311	0.091	0	0	0	0	0	0	0	0.374	3.055	0.0114	
08-RN-94	429	432	3.038	0.286	2.75	0	0	0	0	0	0	0	0.002	0.745	3.038	0.0226	
08-RN-94	432	435	3.012	0.61	1.59	0.685	0.127	0	0	0	0	0	0	0.941	3.012	0.0284	
08-RN-94	435	438	3.005	0.921	1.847	0.097	0.14	0	0	0	0	0	0	0.681	3.005	0.0205	
08-RN-94	438	441	2.94	1.978	0.835	0.123	0	0	0	0	0	0	0.004	0.422	2.94	0.0124	
08-RN-94	441	444	2.961	0.535	1.542	0	0.724	0	0.16	0	0	0	0	1.408	2.961	0.0417	
08-RN-94	444	447	3.037	0.506	1.685	0.651	0.195	0	0	0	0	0	0	1.016	3.037	0.0309	
08-RN-94	447	450	2.672	1.531	0.84	0.184	0.114	0	0	0	0	0	0.003	0.618	2.672	0.0165	
08-RN-94	450	453	2.624	1.121	1.237	0.266	0	0	0	0	0	0.266	0	0.531	2.624	0.0139	
08-RN-94	453	456	2.935	0	1.283	0.493	0	0	1.157	0	0	0	0.002	1.873	2.935	0.0550	
08-RN-94	456	459	3.06	0	2.397	0.12	0	0	0.54	0	0	0	0.003	1.284	3.06	0.0393	
08-RN-94	459	462	3.02	0	2.7	0.17	0	0	0.15	0	0	0	0	0.918	3.02	0.0277	
08-RN-94	462	465	2.86	0	1.97	0.57	0	0	0.22	0.1	0	0	0	1.621	2.86	0.0464	
08-RN-94	465	468	3.02	0	2.847	0.17	0	0	0	0	0	0	0.003	0.905	3.02	0.0273	
08-RN-94	468	471	3.021	0.965	1.596	0.295	0	0.1	0.065	0	0	0	0	0.830	3.021	0.0251	
11-RN-257	39.25	42	2.744	0	1.42	0.605	0.134	0.112	0.137	0.197	0.138	0	0.001	4.213	2.744	0.1156	
11-RN-257	42	45	2.863	0	1.793	0.389	0.212	0	0.194	0	0	0.275	0	6.453	2.863	0.1847	
11-RN-257	45	48	2.655	1.64	0.176	0.49	0.241	0	0	0.1	0	0	0.008	1.557	2.655	0.0413	
11-RN-257	48	51	2.697	0	1.153	1.314	0.196	0	0	0	0	0	0.034	2.688	2.697	0.0725	
11-RN-257	51	54	2.35	0	0.926	0.614	0	0	0.81	0	0	0	0	1.787	2.35	0.0420	
11-RN-257	54	57	2.41	0.41	1.606	0	0	0	0.394	0	0	0	0	0.990	2.41	0.0239	
11-RN-257	57	60	0.765	0	0	0	0	0	0.765	0	0	0	0	3.000	0.765	0.0230	
11-RN-257	60	63	2.798	0	0.508	0	0.625	0.102	0.571	0.992	0	0	0	7.067	2.798	0.1977	
11-RN-257	63	66	2.705	0	0.896	1.41	0.205	0.05	0.144	0	0	0	0	1.696	2.705	0.0459	
11-RN-257	66	69	2.544	0	1.192	0.66	0	0	0.692	0	0	0	0	1.621	2.544	0.0413	
11-RN-257	69	72	1.748	0	0.743	0.46	0.545	0	0	0	0	0	0	1.871	1.748	0.0327	
11-RN-257	72	75	2.64	0	1.784	0.175	0.12	0	0.561	0	0	0	0	1.419	2.64	0.0375	
11-RN-257	75	78	2.425	1.212	0.853	0.36	0	0	0	0	0	0	0	0.524	2.425	0.0127	
11-RN-257	78	81	1.891	0.464	1.201	0.22	0	0	0	0	0	0.2	0.006	0.997	1.891	0.0189	
11-RN-257	81	84	2.875	0.653	1.32	0.331	0.555	0	0	0	0	0	0.016	1.778	2.875	0.0511	
11-RN-257	84	87	3	0.143	1.162	0.998	0.697	0	0	0	0	0	0	1.686	3	0.0506	
11-RN-257	87	90	2.99	1.592	0.792	0.086	0.52	0	0	0	0	0	0	0.858	2.99	0.0256	
11-RN-257	90	93	3.03	1.104	0.92	0.187	0.819	0	0	0	0	0	0	1.282	3.03	0.0388	
11-RN-257	93	96	2.73	0.314	1.473	0.942	0	0	0	0	0	0	0.001	1.045	2.73	0.0285	
11-RN-257	96	99	2.914	0.425	1.596	0.885	0	0	0	0	0	0	0.008	1.217	2.914	0.0355	
11-RN-257	99	102	3.033	1.141	1.891	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.501	3.033	0.0152	
11-RN-257	102	105	2.957	0	2.452	0.475	0	0	0	0	0	0	0.03	1.918	2.957	0.0567	
11-RN-257	105	108	3.04	0	1.31	1.088	0.513	0	0	0	0.127	0	0.002	3.068	3.04	0.0933	
11-RN-257	108	111	3.06	0	1.102	1.874	0	0	0	0	0	0	0.084	4.087	3.06	0.1251	
11-RN-257	111	114	2.959	0	1.095	0.288	1.165	0.411	0	0	0	0	0	2.659	2.959	0.0787	
11-RN-257	114	117	3.004	0	2.306	0.28	0.23	0.18	0	0	0	0	0.008	1.633	3.004	0.0490	
11-RN-257	117	120	3	0.602	2.351	0	0	0	0.038	0	0	0	0.009	0.926	3	0.0278	
11-RN-257	120	123	3.008	0	2.594	0.096	0	0	0.275	0.03	0	0	0.013	1.559	3.008	0.0469	
11-RN-257	123	126	3.058	0	2.764	0.196	0	0	0.089	0	0	0	0.009	1.172	3.058	0.0358	
11-RN-257	126	129	2.78	0	2.376	0.305	0	0	0.06	0.03	0	0	0.009	1.383	2.78	0.0385	
11-RN-257	129	132	3.007	1.2	1.001	0.227	0	0	0.289	0.29	0	0	0	2.117	3.007	0.0637	
11-RN-257	132	135	3.01	2.7	0	0.31	0	0	0	0	0	0	0	0.180	3.01	0.0054	
11-RN-257	135	138	3	2.03	0.97	0	0	0	0	0	0	0	0	0.243	3	0.0073	
11-RN-257	138	141	3.01	1.8	0.56	0.65	0	0	0	0	0	0	0	0.517	3.01	0.0156	
11-RN-257	141	144	2.9	0.23	1.02	0	1.65	0	0	0	0	0	0	2.255	2.9	0.0654	
11-RN-257	144	147	3.05	0	2	0	1.05	0	0	0	0	0	0	1.697	3.05	0.0518	
11-RN-257	147	150	2.96	0.91	1.09	0	0	0	0.96	0	0	0	0	1.249	2.96	0.0370	
11-RN-257	150	153	3	2.75	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0.063	3	0.0019	
11-RN-257	153	156	3.04	1.45	0.59	0.53	0.47	0	0	0	0	0	0	0.992	3.04	0.0302	
11-RN-257	156	159	3.09	1.1	1.54	0	0	0	0.45	0	0	0	0	0.811	3.09	0.0251	
11-RN-257	159	162	3.05	1.44	0.54	0.61	0.06	0	0.4	0	0	0	0	0.945	3.05	0.0288	
11-RN-257	162	165	3	2.71	0.29	0	0	0	0	0	0	0	0	0.073	3	0.0022	
11-RN-257	165	168	2.89	1.27	1.3	0.32	0	0	0	0	0	0	0	0.531	2.89	0.0154	
11-RN-257	168	171	3.13	0.85	1	1.28	0	0	0	0	0	0	0	0.955	3.13	0.0299	

11-RN-257	171	174	2.93	0.22	0.92	0.51	1.28	0	0	0	0	0	0	2.069	2.93	0.0606	
11-RN-257	174	177	2.85	1.61	0.51	0.17	0.56	0	0	0	0	0	0	0.926	2.85	0.0264	
11-RN-257	177	180	3.04	2.94	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0.197	3.04	0.0060	
11-RN-257	180	183	2.884	0	0.799	0.879	0.835	0	0.371	0	0	0	0	2.140	2.884	0.0617	
11-RN-257	183	186	3.011	0.506	2.001	0.139	0.363	0	0	0	0	0	0.002	1.068	3.011	0.0321	
11-RN-257	186	189	2.703	0	1.671	0.413	0.196	0	0.423	0	0	0	0	1.454	2.703	0.0393	
11-RN-257	189	192	2.964	0.409	1.538	0.511	0	0	0.506	0	0	0	0	1.203	2.964	0.0357	
11-RN-257	192	195	2.932	0	1.556	0	0	0	0.354	1.022	0	0	0	5.989	2.932	0.1756	
11-RN-257	195	198	2.799	0.312	0.817	0.178	0	0	1.492	0	0	0	0	1.929	2.799	0.0540	
11-RN-257	198	201	3.004	0.501	1.843	0.212	0.211	0	0.226	0	0	0	0.011	1.421	3.004	0.0427	
11-RN-257	201	204	3.05	0	1.95	0.6	0.5	0	0	0	0	0	0	1.398	3.05	0.0426	
11-RN-257	204	207	2.95	2.18	0.53	0.09	0.15	0	0	0	0	0	0	0.366	2.95	0.0108	
11-RN-257	207	210	3.05	0.685	0.805	0.88	0	0.49	0.19	0	0	0	0	1.854	3.05	0.0565	
11-RN-257	210	213	2.84	0	2.69	0.15	0	0	0	0	0	0	0	0.803	2.84	0.0228	
11-RN-257	213	216	2.91	0	2.295	0.355	0	0	0.26	0	0	0	0	1.073	2.91	0.0312	
11-RN-257	216	219	2.96	1.42	1.23	0	0	0	0.31	0	0	0	0	0.626	2.96	0.0185	
11-RN-257	219	222	2.98	2.335	0	0	0	0	0.645	0	0	0	0	0.649	2.98	0.0194	
11-RN-257	222	225	3	0.955	0.095	0.14	0	0	1.125	0.685	0	0	0	4.655	3	0.1397	
11-RN-257	225	228	2.935	0	2.525	0.41	0	0	0	0	0	0	0	0.890	2.935	0.0261	
11-RN-257	228	231	3.065	1.65	1.415	0	0	0	0	0	0	0	0	0.346	3.065	0.0106	
11-RN-257	231	234	3.005	2.045	0.96	0	0	0	0	0	0	0	0	0.240	3.005	0.0072	From 234 to 240m: No core recovered
11-RN-257	240	243	2.96	0	1.39	0.17	0.89	0	0.51	0	0	0	0	2.022	2.96	0.0599	
11-RN-257	243	246	2.8	0	1.37	0.89	0	0	0.54	0	0	0	0	1.502	2.8	0.0421	
11-RN-257	246	249	2.885	0	2.885	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	2.885	0.0216	
11-RN-257	249	252	3	0	0.625	2.375	0	0	0	0	0	0	0	1.542	3	0.0463	
11-RN-257	252	255	2.83	0	2.63	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0.944	2.83	0.0267	
11-RN-257	255	258	3.15	0	0.81	0.76	0	0	1.58	0	0	0	0	2.120	3.15	0.0668	
11-RN-257	258	261	2.91	1.47	0.53	0	0	0	0.91	0	0	0	0	1.075	2.91	0.0313	
11-RN-257	261	264	3.05	0.61	1.21	1.05	0	0	0.18	0	0	0	0	1.077	3.05	0.0329	
11-RN-257	264	267	3	0	1.45	0	0	0	1.55	0	0	0	0	1.913	3	0.0574	
11-RN-257	267	270	3	0	2.85	0	0	0	0.15	0	0	0	0	0.863	3	0.0259	
11-RN-257	270	273	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	3	0.0225	
11-RN-257	273	276	2.977	0	2.082	0.687	0.196	0	0	0	0	0	0.012	1.562	2.977	0.0465	
11-RN-257	276	279	3.02	0	2.041	0.531	0	0.052	0.391	0	0	0	0.005	1.472	3.02	0.0445	
11-RN-257	279	282	2.958	0	2.406	0.303	0	0	0.072	0.177	0	0	0	1.760	2.958	0.0521	
11-RN-257	282	285	3.084	0	1.782	0.387	0.843	0	0	0.072	0	0	0	1.960	3.084	0.0604	
11-RN-257	285	288	3.002	0	2.499	0.204	0	0	0.216	0.079	0	0	0.004	1.487	3.002	0.0446	
11-RN-257	288	291	2.97	0.377	2.221	0	0	0	0.372	0	0	0	0	0.937	2.97	0.0278	
11-RN-257	291	294	2.991	1.734	0.475	0	0	0	0.478	0	0.304	0	0	4.156	2.991	0.1243	
11-RN-257	294	297	2.815	2.075	0.74	0	0	0	0	0	0	0	0	0.197	2.815	0.0056	
11-RN-257	297	300	2.735	1.329	0.658	0.373	0.375	0	0	0	0	0	0	0.899	2.735	0.0246	
11-RN-257	300	303	3.165	0.644	1.759	0.762	0	0	0	0	0	0	0	0.838	3.165	0.0265	
11-RN-257	303	306	3.18	0.372	1.063	1.185	0	0	0.56	0	0	1.0	0	1.431	3.18	0.0455	
11-RN-257	306	309	2.89	0.92	0.941	0.202	0	0	0.827	0	0	0	0	1.225	2.89	0.0354	
11-RN-257	309	312	3.063	2.431	0.632	0	0	0	0	0	0	0	0	0.155	3.063	0.0047	
11-RN-257	312	315	3.016	1.549	0.583	0.15	0	0	0.515	0.219	0	0	0	1.833	3.016	0.0553	
11-RN-257	315	318	2.986	0.173	1.323	0.787	0.591	0	0.112	0	0	0	0	1.599	2.986	0.0477	
11-RN-257	318	321	3.175	1.925	1.055	0.1	0.095	0	0	0	0	0	0	0.409	3.175	0.0130	
11-RN-257	321	324	3.087	2.441	0.613	0.033	0	0	0	0	0	0	0	0.168	3.087	0.0052	
11-RN-257	324	327	2.871	1.954	0.627	0	0	0	0.29	0	0	0	0	0.467	2.871	0.0134	
11-RN-257	327	330	3	1.72	0.52	0	0	0	0.76	0	0	0	0	0.890	3	0.0267	
11-RN-257	330	333	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	3	0.0000	
11-RN-257	333	336	3	2.25	0.75	0	0	0	0	0	0	0	0	0.188	3	0.0056	
11-RN-257	336	339	3.1	0.7	0.4	0.4	0	0	1.6	0	0	0	0	1.871	3.1	0.0580	
11-RN-257	339	342	3.019	2.757	0.262	0	0	0	0	0	0	0	0	0.065	3.019	0.0020	
11-RN-257	342	345	3.094	1.942	1.152	0	0	0	0	0	0	0	0	0.279	3.094	0.0086	
11-RN-257	345	348	3.103	2.152	0.951	0	0	0	0	0	0	0	0	0.230	3.103	0.0071	
11-RN-257	348	351	3.146	1.198	1.274	0.492	0.182	0	0	0	0	0	0	0.780	3.146	0.0245	
11-RN-257	351	354	3.102	0.681	2.418	0	0	0	0	0	0	0	0.003	0.681	3.102	0.0211	
11-RN-257	354	357	2.99	1.666	0.774	0.222	0	0	0	0.328	0	0	0	1.970	2.99	0.0589	
11-RN-257	357	360	3.067	1.913	1.154	0	0	0	0	0	0	0	0	0.282	3.067	0.0087	
11-RN-257	360	363	3.135	2.148	0.987	0	0	0	0	0	0	0	0	0.236	3.135	0.0074	
11-RN-257	363	366	3.128	0.662	2.466	0	0	0	0	0	0	0	0	0.591	3.128	0.0185	
11-RN-257	366	369	3.035	0.843	2.192	0	0	0	0	0	0	0	0	0.542	3.035	0.0164	
11-RN-257	369	372	3.038	2.671	0.367	0	0	0	0	0	0	0	0	0.091	3.038	0.0028	
11-RN-257	372	375	2.996	2.731	0.265	0	0	0	0	0	0	0	0	0.066	2.996	0.0020	
11-RN-257	375	378	2.879	1.113	1.454	0.312	0	0	0	0	0	0	0	0.568	2.879	0.0164	
11-RN-257	378	381	3.1	2.036	0.617	0	0	0	0.447	0	0	0	0	0.582	3.1	0.0180	

11-RN-257	381	384	3.118	2.116	1.002	0	0	0	0	0	0	0	0	0.241	3.118	0.0075	
11-RN-257	384	387	3.03	2.654	0.376	0	0	0	0	0	0	0	0	0.093	3.03	0.0028	
11-RN-257	387	390	2.98	2.089	0.891	0	0	0	0	0	0	0	0	0.224	2.98	0.0067	
11-RN-257	390	393	3.072	1.533	1.539	0	0	0	0	0	0	0	0	0.376	3.072	0.0115	
11-RN-257	393	396	2.966	2.966	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	2.966	0.0000	
11-RN-257	396	399	3.149	1.464	1.061	0	0	0	0.624	0	0	0	0	0.847	3.149	0.0267	
11-RN-257	399	402	3.202	0.821	1.496	0.236	0	0	0.649	0	0	0	0	1.087	3.202	0.0348	
11-RN-257	402	405	2.934	1.835	1.099	0	0	0	0	0	0	0	0	0.281	2.934	0.0082	
11-RN-257	405	408	2.977	1.89	1.087	0	0	0	0	0	0	0	0	0.274	2.977	0.0082	
11-RN-257	408	411	2.935	0.751	1.936	0	0.079	0	0.169	0	0	0	0	0.762	2.935	0.0224	
11-RN-257	411	414	3.059	1.207	1.816	0	0	0	0	0.036	0	0	0	0.622	3.059	0.0190	
11-RN-257	414	417	2.939	2.161	0.778	0	0	0	0	0	0	0	0	0.199	2.939	0.0058	
11-RN-257	417	420	2.965	2.36	0.605	0	0	0	0	0	0	0	0	0.153	2.965	0.0045	
11-RN-257	420	423	3.08	2.67	0.41	0	0	0	0	0	0	0	0	0.100	3.08	0.0031	
11-RN-257	423	426	2.9	1.68	0.81	0	0	0	0.41	0	0	0	0	0.634	2.9	0.0184	
11-RN-257	426	429	2.98	1.36	0.99	0	0	0	0.63	0	0	0	0	0.883	2.98	0.0263	
11-RN-257	429	432	3.035	2.89	0.145	0	0	0	0	0	0	0	0	0.036	3.035	0.0011	
11-RN-257	432	435	3.105	2.59	0.32	0	0	0	0.195	0	0	0	0	0.266	3.105	0.0083	
11-RN-257	435	438	3.09	2.125	0.195	0.22	0.33	0	0	0.19	0.03	0	0	1.808	3.09	0.0559	
11-RN-257	438	441	2.95	2.425	0.415	0.11	0	0	0	0	0	0	0	0.171	2.95	0.0050	
11-RN-257	441	444	3.045	2.045	0.55	0.31	0	0	0.14	0	0	0	0	0.452	3.045	0.0138	
11-RN-257	444	447	2.99	2.595	0.315	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0.126	2.99	0.0038	
11-RN-257	447	450	2.985	2.515	0.13	0.07	0.27	0	0	0	0	0	0	0.390	2.985	0.0117	
11-RN-257	450	453	3.045	0.6	1.465	0.85	0	0	0.13	0	0	0	0	0.977	3.045	0.0298	
11-RN-257	453	456	3.055	1.305	1.54	0	0	0	0.21	0	0	0	0	0.584	3.055	0.0179	
11-RN-257	456	459	3.055	3.055	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	3.055	0.0000	
11-RN-257	459	462	3.055	2.84	0.215	0	0	0	0	0	0	0	0	0.053	3.055	0.0016	
11-RN-257	462	465	2.95	2.55	0.125	0.275	0	0	0	0	0	0	0	0.195	2.95	0.0058	
11-RN-257	465	468	3.055	1.519	1.056	0	0	0	0.48	0	0	0	0	0.731	3.055	0.0223	
11-RN-257	468	471	2.93	2.053	0.272	0.161	0.244	0	0.2	0	0	0	0	0.662	2.93	0.0194	
11-RN-257	471	474	3	1.49	0.504	0.228	0.506	0	0	0.272	0	0.28	0	2.209	3	0.0663	
11-RN-257	474	477	2.95	2.322	0.46	0.168	0	0	0	0	0	0	0	0.217	2.95	0.0064	
11-RN-257	477	480	3.051	2.467	0.483	0.1	0	0	0	0	0	0	0.001	0.209	3.051	0.0064	
11-RN-257	480	483	3.1	1.411	0.231	0.582	0.333	0.285	0.258	0	0	0	0	1.562	3.1	0.0484	
11-RN-257	483	486	2.983	0.416	0.73	0.824	0.77	0	0.243	0	0	0	0	1.815	2.983	0.0541	
11-RN-257	486	489	3.057	0.636	1.844	0.457	0.12	0	0	0	0	0	0	0.851	3.057	0.0260	
11-RN-257	489	492	3.07	1.325	0.978	0.757	0	0	0	0	0	0	0.01	0.996	3.07	0.0306	
11-RN-257	492	495	2.932	0.3	1.313	0.505	0.593	0.157	0	0.06	0	0.505	0.004	2.110	2.932	0.0619	
11-RN-257	495	498	3.036	0.761	1.608	0.028	0.589	0	0.05	0	0	0	0	1.142	3.036	0.0347	
11-RN-257	498	500	1.989	1.075	0.621	0.293	0	0	0	0	0	0	0	0.492	1.989	0.0098	
11-RN-268	234	237	2.89	1.96	0.93	0	0	0	0	0	0	0	0	0.241	2.89	0.0070	
11-RN-268	237	240	2.96	1.41	1.55	0	0	0	0	0	0	0	0	0.393	2.96	0.0116	
11-RN-268	240	243	2.935	0.52	2.415	0	0	0	0	0	0	0	0	0.617	2.935	0.0181	
11-RN-268	243	246	2.806	0.923	1.883	0	0	0	0	0	0	0	0	0.503	2.806	0.0141	
11-RN-268	246	249	3.03	1.48	1.55	0	0	0	0	0	0	0	0	0.384	3.03	0.0116	
11-RN-268	249	252	2.76	0	2.76	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	2.76	0.0207	
11-RN-268	252	255	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	3	0.0225	
11-RN-268	255	258	2.94	0	2.94	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	2.94	0.0221	
11-RN-268	258	261	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	3	0.0225	
11-RN-268	261	264	2.85	0	2.85	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	2.85	0.0214	
11-RN-268	264	267	2.81	0	2.81	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	2.81	0.0211	
11-RN-268	267	270	2.878	0.499	2.17	0.045	0.145	0.019	0	0	0	0	0	0.809	2.878	0.0233	
11-RN-268	270	273	2.745	1.5	1.19	0.055	0	0	0	0	0	0	0	0.360	2.745	0.0099	
11-RN-268	273	276	2.72	0	2.45	0.225	0.045	0	0	0	0	0	0	0.878	2.72	0.0239	
11-RN-268	276	279	3.03	0	2.435	0.595	0	0	0	0	0	0	0	0.946	3.03	0.0287	
11-RN-268	279	282	3.09	0	1.185	1.675	0	0.053	0.135	0.042	0	1.0	0	1.674	3.09	0.0517	
11-RN-268	282	285	2.935	0	1.265	1.515	0.125	0	0	0.03	0	0	0	1.529	2.935	0.0449	
11-RN-268	285	288	2.835	0.761	1.136	0.772	0.061	0.031	0.074	0	0	0	0	0.996	2.835	0.0282	
11-RN-268	288	291	3.035	0	1.347	0.753	0	0	0.935	0	0	0	0	1.691	3.035	0.0513	
11-RN-268	291	294	2.704	0	0.919	0.516	0.092	0	1.177	0	0	0	0	2.014	2.704	0.0545	
11-RN-268	294	297	3.157	0	1.748	0.947	0.181	0	0.281	0	0	0.947	0	1.408	3.157	0.0444	
11-RN-268	297	300	2.869	1.344	1.213	0.074	0.113	0	0.125	0	0	0	0	0.631	2.869	0.0181	
11-RN-268	300	303	2.824	0	1.778	0.173	0	0	0.805	0	0.061	0	0.007	2.438	2.824	0.0689	
11-RN-268	303	306	2.976	1.071	1.511	0.186	0	0	0.208	0	0	0	0	0.700	2.976	0.0208	
11-RN-268	306	309	3.273	1.616	1.431	0.063	0	0	0.161	0	0	0	0.002	0.570	3.273	0.0187	
11-RN-268	309	312	3.074	0.319	0.918	0.961	0.222	0	0.592	0.062	0	0	0	1.904	3.074	0.0585	
11-RN-268	312	315	3.067	0	1.686	0.878	0.031	0	0.265	0.161	0.038	0	0.008	2.690	3.067	0.0825	
11-RN-268	315	318	3.284	0	0.888	1.398	0.271	0	0.546	0.176	0	0	0.005	2.692	3.284	0.0884	

11-RN-268	318	321	3.037	0	2.138	0.489	0	0	0.353	0	0.041	0	0.016	2.158	3.037	0.0655	
11-RN-268	321	324	3.005	0	0.717	1.401	0	0	0.692	0.19	0	0	0.005	2.800	3.005	0.0842	
11-RN-268	324	327	3.074	0	1.038	0.831	0.052	0	0.842	0.311	0	0	0	3.125	3.074	0.0961	
11-RN-268	327	330	3.31	0	0.481	1.293	0.179	0.029	0.837	0.383	0.108	0	0	4.671	3.31	0.1546	
11-RN-268	330	333	3.016	0	1.053	0.949	0	0	0.825	0.189	0	0	0	2.573	3.016	0.0776	
11-RN-268	333	336	2.901	0	1.673	0.173	0.312	0	0.547	0.192	0	0	0.004	2.610	2.901	0.0757	
11-RN-268	336	339	3.094	0	1.751	0.526	0.255	0	0.479	0.072	0	0	0.011	2.179	3.094	0.0674	
11-RN-268	339	342	3.021	0	1.251	0.815	0.391	0	0.171	0.275	0.118	0	0	4.138	3.021	0.1250	
11-RN-268	342	345	3.283	0	1.478	0.171	0.156	0.138	1.122	0.179	0.013	0	0.026	3.621	3.283	0.1189	
11-RN-268	345	348	3.14	0	0.94	0.453	1.634	0.11	0	0	0	0	0.003	2.604	3.14	0.0818	
11-RN-268	348	351	3.12	0	0	0.19	2.93	0	0	0	0	0	0	3.393	3.12	0.1059	
11-RN-268	351	354	3.03	0	0.485	1.41	0.775	0	0.36	0	0	0	0	2.186	3.03	0.0662	
11-RN-268	354	357	3.105	0	1.846	0.197	1.062	0	0	0	0	0	0	1.754	3.105	0.0545	
11-RN-268	357	360	3.03	0.219	2.496	0.235	0	0	0.08	0	0	0	0	0.833	3.03	0.0252	
11-RN-268	360	363	3.04	0.419	1.428	0.314	0.879	0	0	0	0	0	0	1.545	3.04	0.0470	
11-RN-268	363	366	3.13	0	1.629	0.72	0.379	0	0.282	0.12	0	0	0	2.062	3.13	0.0645	
11-RN-268	366	369	3.058	0.6	0.434	0.684	0.895	0	0.437	0	0	0	0.008	2.213	3.058	0.0677	
11-RN-268	369	372	3.021	1.207	1.579	0.19	0	0.04	0	0	0	0	0.005	0.747	3.021	0.0226	
11-RN-268	372	375	3.07	0.187	2	0.592	0.288	0	0	0	0	0	0.003	1.252	3.07	0.0384	
11-RN-268	375	378	2.985	0	1.39	0.806	0.644	0	0	0	0	0.145	0	4.249	2.985	0.1268	
11-RN-268	378	381	2.97	0	1.3	0.98	0.13	0	0.23	0	0.32	0	0.01	5.399	2.97	0.1604	
11-RN-268	381	384	2.92	0	2.517	0.295	0.105	0	0	0	0	0	0.003	1.052	2.92	0.0307	
11-RN-268	384	387	2.835	0.8	1.475	0.22	0.215	0.11	0	0	0	0	0.015	1.553	2.835	0.0440	
11-RN-268	387	390	2.82	0	1.666	0.71	0	0	0.37	0.06	0	0	0.014	2.093	2.82	0.0590	
11-RN-268	390	393	2.94	0	2.696	0.08	0	0	0	0	0.055	0.09	0.019	3.720	2.94	0.1094	
11-RN-268	393	396	2.92	0	1.133	1.62	0	0	0	0.13	0.03	0	0.007	2.529	2.92	0.0738	
11-RN-268	396	399	3.045	0	1	1.853	0.1	0.06	0.03	0	0	0	0.002	1.640	3.045	0.0499	
11-RN-268	399	402	2.985	0	1.77	1.075	0.14	0	0	0	0	0	0	1.239	2.985	0.0370	
11-RN-268	402	405	2.81	0	1.85	0.48	0.24	0.12	0	0.05	0.07	0	0	2.487	2.81	0.0699	
11-RN-268	405	408	3.08	0	1.74	0.59	0	0	0.29	0.46	0	0	0	3.282	3.08	0.1011	
11-RN-268	408	411	3.085	0	2.905	0.14	0	0	0	0	0.04	0	0	1.239	3.085	0.0382	
11-RN-268	411	414	2.96	0	2.08	0.29	0	0	0.59	0	0	0	0	1.296	2.96	0.0384	
11-RN-268	414	417	2.975	0	0	0.425	1.36	0	1.14	0.05	0	0	0	3.252	2.975	0.0967	
11-RN-268	417	420	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3.000	3	0.0900	
11-RN-268	420	423	2.92	0	0	1.67	0	0	1.25	0	0	0	0	2.285	2.92	0.0667	
11-RN-268	423	426	2.945	0	0	2.795	0.15	0	0	0	0	0	0	1.839	2.945	0.0542	
11-RN-268	426	429	2.885	0.687	1.258	0.89	0	0	0.05	0	0	0	0	0.919	2.885	0.0265	
11-RN-268	429	432	2.908	0.522	2.069	0.125	0.192	0	0	0	0	0	0	0.840	2.908	0.0244	
11-RN-268	432	435	3	0	1.261	0.95	0.789	0	0	0	0	0	0	1.790	3	0.0537	
11-RN-268	435	438	2.994	0	2.444	0.195	0.355	0	0	0	0	0	0	1.141	2.994	0.0342	
11-RN-268	438	441	3	0.57	2.43	0	0	0	0	0	0	0	0	0.608	3	0.0182	
11-RN-268	441	444	2.97	1.142	1.404	0.294	0	0	0.13	0	0	0	0	0.659	2.97	0.0196	
11-RN-268	444	447	2.92	0.515	1.543	0.784	0.078	0	0	0	0	0	0	0.960	2.92	0.0280	
11-RN-268	447	450	2.805	0.584	1.266	0.195	0.534	0	0	0.226	0	0	0	2.335	2.805	0.0655	
11-RN-268	450	453	2.865	0	0	2.865	0	0	0	0	0	0	0	1.750	2.865	0.0501	
11-RN-268	453	456	2.735	0	2.42	0.315	0	0	0	0	0	0	0	0.865	2.735	0.0237	
11-RN-268	456	459	2.817	0	2.817	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	2.817	0.0211	
11-RN-268	459	462	2.88	0.773	2.107	0	0	0	0	0	0	0	0	0.549	2.88	0.0158	
11-RN-268	462	465	2.99	0	2.99	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	2.99	0.0224	
11-RN-268	465	468	2.9	0.139	2.566	0	0	0	0.195	0	0	0	0	0.865	2.9	0.0251	
11-RN-268	468	471	3	0	2.961	0	0	0	0	0.039	0	0	0	0.935	3	0.0281	
11-RN-268	471	474	2.85	0	2.825	0	0	0	0	0.025	0	0	0	0.875	2.85	0.0249	
11-RN-268	474	477	2.95	0	2.657	0	0	0	0.293	0	0	0	0	0.973	2.95	0.0287	
11-RN-268	477	480	2.924	0	2.924	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	2.924	0.0219	
11-RN-268	480	483	2.926	0	2.926	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	2.926	0.0219	
11-RN-268	483	486	2.914	0	2.62	0	0	0	0.294	0	0	0	0	0.977	2.914	0.0285	
11-RN-268	486	489	2.9	0	1.795	0.215	0	0	0.89	0	0	0	0	1.515	2.9	0.0439	
11-RN-268	489	492	3	0	1.04	0.96	0	0	0.955	0.045	0	0	0	2.000	3	0.0600	
11-RN-268	492	495	2.816	0	0.14	2.5	0	0	0.101	0.075	0	0	0	2.098	2.816	0.0591	
11-RN-268	495	498	2.782	0	0.159	2.623	0	0	0	0	0	0	0	1.693	2.782	0.0471	
11-RN-268	498	501	3	0.713	2.287	0	0	0	0	0	0	0	0	0.572	3	0.0172	
11-RN-268	501	504	2.9	0	2.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	2.9	0.0218	
11-RN-268	504	507	2.825	1.582	0.87	0.102	0	0	0.271	0	0	0	0	0.582	2.825	0.0164	
11-RN-268	507	510	2.954	0	2.422	0.163	0.087	0	0.261	0	0.021	0	0	1.328	2.954	0.0392	
11-RN-268	510	513	2.76	0	1.291	0.598	0	0	0.236	0.635	0	0	0	4.438	2.76	0.1225	
11-RN-268	513	516	3	0	1.376	0.515	0	0.047	1.062	0	0	0	0	1.800	3	0.0540	
11-RN-268	516	519	3.174	0.102	2.795	0.056	0	0	0.195	0.026	0	0	0	0.999	3.174	0.0317	
11-RN-268	519	522	2.967	0	1.169	0.587	0.594	0.365	0.252	0	0	0	0	2.335	2.967	0.0693	

11-RN-268	522	525	3.024	0	1.991	0.429	0.092	0	0.091	0.421	0	0	0	3.027	3.024	0.0915	
11-RN-268	525	528	3.01	0	2.473	0.082	0.286	0.15	0	0.019	0	0	0	1.390	3.01	0.0418	
11-RN-268	528	531	2.875	0	1.914	0.961	0	0	0	0	0	0	0	1.084	2.875	0.0312	
11-RN-268	531	534	3.042	0	2.362	0.254	0.309	0	0.117	0	0	0	0	1.199	3.042	0.0365	
11-RN-268	534	537	2.953	0	2.851	0	0.102	0	0	0	0	0	0	0.845	2.953	0.0250	
11-RN-268	537	540	2.985	0	2.091	0.445	0.039	0.109	0.301	0	0	0	0	1.354	2.985	0.0404	
11-RN-268	540	543	3.094	1.439	1.522	0	0.112	0	0	0.021	0	0	0	0.597	3.094	0.0185	
11-RN-268	543	546	2.92	0.474	2.156	0.177	0.113	0	0	0	0	0	0	0.795	2.92	0.0232	
11-RN-268	546	549	2.679	0	0.812	0.882	0	0	0.93	0.055	0	0	0	2.153	2.679	0.0577	
11-RN-268	549	552	2.5	0	0	0	0	0	0	2.5	0	0	0	15.000	2.5	0.3750	
11-RN-268	552	555	2.82	0	2.41	0.11	0	0	0.05	0.25	0	0	0	2.092	2.82	0.0590	
11-RN-268	555	558	3.19	0	2.62	0.57	0	0	0	0	0	0	0	0.929	3.19	0.0296	
11-RN-268	558	561	3.02	0	2.82	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0.816	3.02	0.0247	
11-RN-268	561	564	2.96	0	1.245	1.06	0.63	0	0	0	0	0	0.025	2.532	2.96	0.0749	
11-RN-268	567	570	2.95	0	0.451	0.585	1.243	0.403	0.268	0	0	0	0	3.029	2.95	0.0893	
11-RN-268	570	573	2.861	0	1.854	0.374	0.382	0.121	0.068	0.058	0	0	0.004	1.951	2.861	0.0558	
11-RN-268	573	576	3.038	0	1.339	0.812	0.703	0.108	0.074	0	0	0	0.002	1.960	3.038	0.0596	
11-RN-268	576	579	2.93	0	2.291	0.264	0.113	0.169	0.089	0	0	0	0.004	1.453	2.93	0.0426	
11-RN-268	579	582	2.99	0	1.552	0.507	0.499	0.064	0.284	0.084	0	0	0	2.105	2.99	0.0629	
11-RN-268	582	585	2.996	0	1.95	0.538	0.428	0	0.08	0	0	0	0	1.383	2.996	0.0414	
11-RN-268	585	588	2.957	0	2.438	0.324	0.195	0	0	0	0	0	0	1.041	2.957	0.0308	
11-RN-268	588	591	3.041	0	0.263	2.329	0.269	0.098	0.063	0.019	0	0	0	2.064	3.041	0.0628	
11-RN-268	591	594	3.128	1.567	1.068	0.493	0	0	0	0	0	0	0	0.532	3.128	0.0166	
11-RN-268	594	597	2.833	0	0	1.412	0.238	0	1.017	0.054	0.112	0	0	3.913	2.833	0.1109	
11-RN-268	597	600	2.967	0	1.962	0.802	0.073	0	0.081	0.044	0	0	0.005	1.528	2.967	0.0453	
11-RN-268	600	603	3.011	0	1.517	1.044	0.219	0	0.104	0.127	0	0	0	1.976	3.011	0.0595	
11-RN-268	603	606	3.01	0	1.123	0.398	0.039	0.141	0.266	0.041	0	0	0.002	1.623	3.01	0.0488	
11-RN-268	606	609	2.946	0	1.681	0.292	0.301	0.234	0.272	0.122	0.044	0	0	2.857	2.946	0.0842	
11-RN-268	609	612	2.981	0	2.258	0.412	0.139	0	0.172	0	0	0	0	1.146	2.981	0.0342	
11-RN-268	612	615	2.971	0	2.442	0.159	0	0	0.321	0.049	0	0	0	1.282	2.971	0.0381	
11-RN-268	615	618	2.94	0	2	0.714	0	0	0.134	0.092	0	0.714	0	1.541	2.94	0.0453	
11-RN-268	618	621	3.032	0	1.333	1.106	0.086	0.033	0.259	0.109	0.106	0	0	3.152	3.032	0.0956	
11-RN-268	621	624	3.018	0	2.348	0.294	0.092	0	0.111	0.173	0	0	0	1.831	3.018	0.0553	
11-RN-268	624	627	3.073	0	2.764	0.244	0	0.046	0	0.019	0	0	0	0.996	3.073	0.0306	
11-RN-268	627	630	2.866	0	2.397	0.22	0.018	0	0.183	0.048	0	0	0	1.226	2.866	0.0351	
11-RN-268	630	633	3.122	0	2.548	0.252	0.062	0	0.189	0.071	0	0	0	1.346	3.122	0.0420	
11-RN-268	633	636	2.862	0	2.573	0.178	0.074	0	0.019	0.018	0	0	0	0.988	2.862	0.0283	
11-RN-268	636	639	2.937	0	2.198	0.442	0.118	0	0	0.179	0	0	0	1.879	2.937	0.0552	
11-RN-268	639	642	3.023	0	2.374	0.358	0.146	0	0.086	0.059	0	0	0	1.343	3.023	0.0406	
11-RN-268	642	645	2.957	0	2.637	0.118	0	0	0.202	0	0	0	0	0.944	2.957	0.0279	
11-RN-268	645	648	2.995	0	2.719	0.014	0	0	0.262	0	0	0.014	0	0.952	2.995	0.0285	
11-RN-268	648	651	3.006	0	2.523	0.265	0.041	0	0.171	0	0	0	0.006	1.202	3.006	0.0361	
11-RN-268	651	654	3.14	0	1.893	0.576	0.024	0.159	0.439	0.026	0.023	0	0	1.904	3.14	0.0598	
11-RN-268	654	657	2.941	0	2.656	0	0	0	0.127	0.139	0.019	0	0	1.742	2.941	0.0512	
11-RN-268	657	660	2.978	0	2.012	0.478	0	0	0.288	0.198	0	0	0.002	2.142	2.978	0.0638	
11-RN-268	660	663	2.89	0	1.76	0.662	0	0	0.328	0.091	0	0.049	0	2.603	2.89	0.0752	
11-RN-268	663	666	2.945	0	2.208	0.655	0	0	0.082	0	0	0	0	1.035	2.945	0.0305	
11-RN-268	666	668.6	2.507	0.183	1.83	0.239	0.061	0	0.018	0.176	0	0	0	1.874	2.507	0.0470	
11-RN-286	51	54	2.565	0	2.07	0.495	0	0	0	0	0	0	0	0.943	2.565	0.0242	
11-RN-286	54	57	3.025	0.77	2.255	0	0	0	0	0	0	0	0	0.559	3.025	0.0169	
11-RN-286	57	60	3.645	0	3.385	0.26	0	0	0	0	0	0	0	0.821	3.645	0.0299	
11-RN-286	60	63	2.645	0	2.645	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	2.645	0.0198	
11-RN-286	63	66	2.735	0	2.735	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	2.735	0.0205	
11-RN-286	66	69	2.74	0	2.74	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	2.74	0.0206	
11-RN-286	69	72	2.515	0	2.09	0.05	0.04	0	0.29	0.045	0	0	0	1.328	2.515	0.0334	
11-RN-286	72	75	2.86	0	2.22	0	0	0	0.64	0	0	0	0	1.253	2.86	0.0359	
11-RN-286	75	78	3	0	2.81	0	0	0	0	0.19	0	0	0	1.653	3	0.0496	
11-RN-286	78	81	2.855	0	2.165	0.69	0	0	0	0	0	0	0	0.992	2.855	0.0283	
11-RN-286	81	84	2.805	0	1.71	0.83	0.195	0	0	0.07	0	0	0	1.593	2.805	0.0447	
11-RN-286	84	87	2.75	0	2.54	0	0	0	0.12	0.09	0	0	0	1.315	2.75	0.0362	
11-RN-286	87	90	2.64	0	2.64	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	2.64	0.0198	
11-RN-286	90	93	3.06	0	2.905	0	0	0	0.155	0	0	0	0	0.864	3.06	0.0264	
11-RN-286	93	96	2.92	0.737	1.371	0.812	0	0	0	0	0	0	0	0.839	2.92	0.0245	
11-RN-286	96	99	3.013	1.492	1.521	0	0	0	0	0	0	0	0	0.379	3.013	0.0114	
11-RN-286	99	102	2.955	0.898	1.71	0.347	0	0	0	0	0	0	0	0.640	2.955	0.0189	
11-RN-286	102	105	3.13	0.575	1.245	1.16	0	0	0.15	0	0	0	0	1.091	3.13	0.0341	
11-RN-286	105	108	3	0	1.075	1.75	0	0	0.175	0	0	0	0	1.465	3	0.0439	
11-RN-286	108	111	3.165	1.573	1.592	0	0	0	0	0	0	0	0	0.377	3.165	0.0119	

11-RN-286	111	114	3.105	0.723	2.162	0.22	0	0	0	0	0	0	0	0.646	3.105	0.0201	
11-RN-286	114	117	2.864	0.559	1.88	0.425	0	0	0	0	0	0	0	0.752	2.864	0.0215	
11-RN-286	117	120	3.06	0.16	2.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0.711	3.06	0.0218	
11-RN-286	120	123	3.014	0.724	1.342	0.823	0	0	0.125	0	0	0	0	0.936	3.014	0.0282	
11-RN-286	123	126	2.97	0.127	2.128	0.315	0.295	0	0.105	0	0	0	0	1.177	2.97	0.0349	
11-RN-286	126	129	2.93	0.202	2.343	0	0.195	0	0.19	0	0	0	0	1.027	2.93	0.0301	
11-RN-286	129	132	3.09	1.173	1.917	0	0	0	0	0	0	0	0	0.465	3.09	0.0144	
11-RN-286	132	135	3.06	0.142	2.262	0.656	0	0	0	0	0	0	0	0.930	3.06	0.0284	
11-RN-286	135	138	2.893	0.249	1.671	0.973	0	0	0	0	0	0	0	1.022	2.893	0.0296	
11-RN-286	138	141	3.18	0	1.355	0.135	0	0	1.69	0	0	0	0	1.988	3.18	0.0632	
11-RN-286	141	144	3.175	0	0.35	2.825	0	0	0	0	0	0	0	1.640	3.175	0.0521	
11-RN-286	144	147	3.01	0	1.81	0	0	0	0.8	0.4	0	0	0	3.242	3.01	0.0976	
11-RN-286	147	150	3.11	0	1.26	0	0	0	1.85	0	0	0	0	2.088	3.11	0.0650	
11-RN-286	150	153	3	0	1.37	0.2	0	0	1.43	0	0	0	0	1.889	3	0.0567	
11-RN-286	153	156	3.1	1.7	1.24	0	0	0	0.16	0	0	0	0	0.455	3.1	0.0141	
11-RN-286	156	159	3.02	0	1.44	0	0	0	1.58	0	0	0	0	1.927	3.02	0.0582	
11-RN-286	159	162	2.94	0	1.45	0	0	0	1.49	0	0	0	0	1.890	2.94	0.0556	
11-RN-286	162	165	3.01	2.11	0.5	0	0	0	0.4	0	0	0	0	0.523	3.01	0.0158	
11-RN-286	165	168	2.91	0	2.2	0	0	0	0.71	0	0	0	0	1.299	2.91	0.0378	
11-RN-286	168	171	3.15	0	3.05	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0.821	3.15	0.0259	
11-RN-286	171	174	3.02	0	2.96	0	0	0	0.06	0	0	0	0	0.795	3.02	0.0240	
11-RN-286	174	177	3.01	0	3.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	3.01	0.0226	
11-RN-286	177	180	3	0	0.61	0	0	0	2.26	0.13	0	0	0	3.063	3	0.0919	
11-RN-286	180	183	3.02	0	2.78	0	0	0	0.24	0	0	0	0	0.929	3.02	0.0281	
11-RN-286	183	186	2.93	0	2.93	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	2.93	0.0220	
11-RN-286	186	189	3.05	0	2.81	0	0	0	0	0.24	0	0	0	1.871	3.05	0.0571	
11-RN-286	189	192	3	0	1.66	0	0.15	0	0.79	0.26	0.14	0	0	4.313	3	0.1294	
11-RN-286	192	195	3.02	0	2.69	0.27	0	0	0	0.06	0	0	0	1.123	3.02	0.0339	
11-RN-286	195	198	3	0	0.87	0.5	0.26	0	1.37	0	0	0	0	2.183	3	0.0655	
11-RN-286	198	201	3	0	1.16	0	0	0	1.84	0	0	0	0	2.130	3	0.0639	
11-RN-286	201	204	3	0	2.696	0	0	0	0	0.21	0.09	0	0.004	2.907	3	0.0872	
11-RN-286	204	207	3	0	2.88	0	0	0	0	0.12	0	0	0	1.320	3	0.0396	
11-RN-286	207	210	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	3	0.0225	
11-RN-286	210	213	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	3	0.0225	
11-RN-286	213	216	3.08	0	3.077	0	0	0	0	0	0	0	0.003	0.847	3.08	0.0261	
11-RN-286	216	219	3	0	2.95	0	0	0	0	0	0.05	0	0	1.321	3	0.0396	
11-RN-286	219	222	3	0	2.79	0	0	0	0	0.21	0	0	0	1.748	3	0.0524	
11-RN-286	222	225	3	0	2.85	0	0	0	0	0.15	0	0	0	1.463	3	0.0439	
11-RN-286	225	228	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	3	0.0225	
11-RN-286	228	231	3	0	2.85	0	0	0	0	0.146	0	0	0.004	1.576	3	0.0473	
11-RN-286	231	234	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	3	0.0225	
11-RN-286	234	237	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	3	0.0225	
11-RN-286	237	240	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	3	0.0225	
11-RN-286	240	243	3	0	1.9	0.4	0.696	0	0	0	0	0	0.004	1.654	3	0.0496	
11-RN-286	243	246	3	0	2.57	0	0	0	0.43	0	0	0	0	1.073	3	0.0322	
11-RN-286	246	249	2.975	0	2.043	0	0	0	0.932	0	0	0	0	1.455	2.975	0.0433	
11-RN-286	249	252	2.927	0	2	0.927	0	0	0	0	0	0	0	1.067	2.927	0.0312	
11-RN-286	252	255	3	0	2.61	0.39	0	0	0	0	0	0	0	0.880	3	0.0264	
11-RN-286	255	258	2.925	0	1.66	1.265	0	0	0	0	0	0	0	1.182	2.925	0.0346	
11-RN-286	258	261	2.935	0	2.579	0.356	0	0	0	0	0	0	0	0.871	2.935	0.0256	
11-RN-286	261	264	2.902	0	2.159	0.422	0	0	0.321	0	0	0	0	1.144	2.902	0.0332	
11-RN-286	264	267	2.96	0	2.69	0.27	0	0	0	0	0	0	0	0.841	2.96	0.0249	
11-RN-286	267	270	2.96	0	2.958	0	0	0	0	0	0	0	0.002	0.817	2.96	0.0242	
11-RN-286	270	273	2.94	0	2.94	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	2.94	0.0221	
11-RN-286	273	274.35	1.35	0	0.69	0	0	0	0.66	0	0	0	0	1.850	1.35	0.0250	
11-RN-296	49	51	1.89	0.223	0.353	0.36	0	0	0.564	0.205	0.185	0	0	6.422	1.89	0.1214	
11-RN-296	51	54	3.095	0.354	2.739	0	0	0	0	0	0	0	0.002	0.728	3.095	0.0225	
11-RN-296	54	57	3.117	0.942	0.884	0.931	0.245	0	0	0	0.112	0	0.003	2.364	3.117	0.0737	
11-RN-296	57	60	3.015	2.154	0.72	0	0	0	0.14	0	0	0	0.001	0.352	3.015	0.0106	
11-RN-296	60	63	3.17	1.3	0.612	0.563	0.375	0	0	0.32	0	0	0	2.384	3.17	0.0756	
11-RN-296	63	66	3.2	0	0	0	0.41	0	2.225	0.565	0	0	0	5.183	3.2	0.1659	
11-RN-296	66	69	3.2	0	1.782	0	0	0	1.418	0	0	0	0	1.747	3.2	0.0559	
11-RN-296	69	72	2.87	1.473	1.397	0	0	0	0	0	0	0	0	0.365	2.87	0.0105	
11-RN-296	72	75	3.262	0.625	1.837	0.185	0	0	0.415	0.2	0	0	0	1.823	3.262	0.0595	
11-RN-296	75	78	3.205	0.8	1.366	0.518	0	0	0.521	0	0	0	0	1.090	3.205	0.0349	
11-RN-296	78	81	3.125	1.31	0.868	0.947	0	0	0	0	0	0	0	0.739	3.125	0.0231	
11-RN-296	81	84	3.08	2.81	0.27	0	0	0	0	0	0	0	0	0.066	3.08	0.0020	
11-RN-296	84	87	2.956	2.956	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	2.956	0.0000	

11-RN-296	87	90	2.98	2.708	0.272	0	0	0	0	0	0	0	0	0.068	2.98	0.0020	
11-RN-296	90	93	3.078	2.803	0.275	0	0	0	0	0	0	0	0	0.067	3.078	0.0021	
11-RN-296	93	96	3.104	0.689	2.182	0	0	0	0.154	0.079	0	0	0	1.058	3.104	0.0328	
11-RN-296	96	99	2.929	1.713	0.903	0.181	0	0	0.132	0	0	0	0	0.475	2.929	0.0139	
11-RN-296	99	102	3.133	2.632	0.389	0	0	0	0.112	0	0	0	0	0.200	3.133	0.0063	
11-RN-296	102	105	3.601	2.998	0.603	0	0	0	0	0	0	0	0	0.126	3.601	0.0045	
11-RN-296	105	108	3.066	0	1.632	0.568	0	0	0.866	0	0	0	0	1.571	3.066	0.0482	
11-RN-296	108	111	3.116	0	2.258	0	0	0	0.858	0	0	0	0	1.370	3.116	0.0427	
11-RN-296	111	114	3.03	1.422	1.608	0	0	0	0	0	0	0	0	0.398	3.03	0.0121	
11-RN-296	114	117	2.931	1.983	0.398	0.528	0.022	0	0	0	0	0	0	0.443	2.931	0.0130	
11-RN-296	117	120	3.131	0.944	1.272	0.416	0	0	0.499	0	0	0	0	1.015	3.131	0.0318	
11-RN-296	120	123	3.191	0.178	2.902	0	0	0	0.111	0	0	0	0	0.786	3.191	0.0251	
11-RN-296	123	126	3.036	1.261	1.419	0.356	0	0	0	0	0	0	0	0.556	3.036	0.0169	
11-RN-296	126	129	2.707	0	1.241	0	0.036	0	1.143	0	0.226	0.061	0	5.819	2.707	0.1575	
11-RN-296	129	132	2.917	0	1.461	0	0	0	1.302	0.092	0	0.062	0	3.357	2.917	0.0979	
11-RN-296	132	135	2.788	0.227	1.988	0	0	0	0.181	0	0.376	0	0.016	6.024	2.788	0.1679	
11-RN-296	135	138	2.848	0	2.129	0.492	0.059	0	0.161	0	0	0	0.007	1.351	2.848	0.0385	
11-RN-296	138	141	3.038	1.371	1.311	0.356	0	0	0	0	0	0	0	0.529	3.038	0.0161	
11-RN-296	141	144	2.956	0	2.388	0.252	0.063	0	0.249	0	0	0	0.004	1.218	2.956	0.0360	
11-RN-296	144	147	3.033	2.843	0.188	0	0	0	0	0	0	0	0.002	0.112	3.033	0.0034	
11-RN-296	147	150	2.896	2.341	0.354	0	0	0	0.198	0	0	0	0.003	0.400	2.896	0.0116	
11-RN-296	150	153	2.91	2.15	0.76	0	0	0	0	0	0	0	0	0.196	2.91	0.0057	
11-RN-296	153	156	2.94	2.59	0.35	0	0	0	0	0	0	0	0	0.089	2.94	0.0026	
11-RN-296	156	159	2.2	0.53	1.12	0	0	0	0.55	0	0	0	0	1.132	2.2	0.0249	
11-RN-296	159	162	2.9	2.09	0.63	0.18	0	0	0	0	0	0	0	0.272	2.9	0.0079	
11-RN-296	162	165	2.95	2.45	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.127	2.95	0.0038	
11-RN-296	165	168	2.97	2.76	0.21	0	0	0	0	0	0	0	0	0.053	2.97	0.0016	
11-RN-296	168	171	2.849	2.744	0.095	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.376	2.849	0.0107	
11-RN-296	171	174	2.999	2.112	0.287	0.233	0	0	0	0.364	0	0	0.003	2.128	2.999	0.0638	
11-RN-296	174	177	2.956	2.458	0.491	0	0	0	0	0	0	0	0.007	0.361	2.956	0.0107	
11-RN-296	177	180	2.981	2.732	0.126	0	0	0	0	0.123	0	0	0	0.651	2.981	0.0194	
11-RN-296	180	183	3.048	1.988	0.284	0	0	0	0.433	0	0.336	0	0.007	4.584	3.048	0.1397	
11-RN-296	183	186	3.066	2.914	0.152	0	0	0	0	0	0	0	0	0.037	3.066	0.0011	
11-RN-296	186	189	2.95	1.678	1.062	0.21	0	0	0	0	0	0	0	0.395	2.95	0.0116	
11-RN-296	189	192	2.974	2.388	0.068	0.518	0	0	0	0	0	0	0	0.322	2.974	0.0096	
11-RN-296	192	195	3.115	3.115	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	3.115	0.0000	
11-RN-296	195	198	3.332	0.68	1.31	0.573	0	0	0.769	0	0	0	0	1.288	3.332	0.0429	
11-RN-296	198	201	3.267	1.903	1.364	0	0	0	0	0	0	0	0	0.313	3.267	0.0102	
11-RN-296	201	204	3.094	3.094	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	3.094	0.0000	
11-RN-296	204	207	3.035	3.031	0	0	0	0	0	0	0	0	0.004	0.132	3.035	0.0040	
11-RN-296	207	210	2.835	2.181	0.6	0.054	0	0	0	0	0	0	0	0.192	2.835	0.0054	
11-RN-296	210	213	2.84	1.412	1.425	0	0	0	0	0	0	0	0.003	0.482	2.84	0.0137	
11-RN-296	213	216	3.088	1.678	0.12	0	0	0	1.29	0	0	0	0	1.282	3.088	0.0396	
11-RN-296	216	219	3	0.805	1.17	1	0	0	0	0	0	0	0.025	1.709	3	0.0513	
11-RN-296	219	222	2.889	0.947	0.957	0.255	0	0	0.73	0	0	0	0	1.161	2.889	0.0335	
11-RN-296	222	225	3.11	0.965	1.85	0	0	0	0.295	0	0	0	0	0.731	3.11	0.0227	
11-RN-296	225	228	2.84	1.995	0.675	0	0.17	0	0	0	0	0	0	0.388	2.84	0.0110	
11-RN-296	228	231	3.11	0.611	1.969	0.53	0	0	0	0	0	0	0	0.773	3.11	0.0240	
11-RN-296	231	234	2.805	0	1.29	1.515	0	0	0	0	0	0	0	1.290	2.805	0.0362	
11-RN-296	234	237	3.32	1.602	1.184	0.171	0	0	0.36	0	0	0	0.003	0.773	3.32	0.0257	
11-RN-296	237	240	2.932	2.01	0.922	0	0	0	0	0	0	0	0	0.236	2.932	0.0069	
11-RN-296	240	243	2.963	2.108	0.505	0.35	0	0	0	0	0	0	0	0.335	2.963	0.0099	
11-RN-296	243	246	2.89	1.176	0.9	0.187	0.141	0	0.486	0	0	0	0	1.022	2.89	0.0295	
11-RN-296	246	249	3.026	2.215	0.445	0.079	0.287	0	0	0	0	0	0	0.488	3.026	0.0148	
11-RN-296	249	252	2.94	0.393	0.924	0.175	0	0	0.835	0.468	0.145	0	0	5.306	2.94	0.1560	
11-RN-296	252	255	2.94	1.14	1.15	0.65	0	0	0	0	0	0	0	0.680	2.94	0.0200	
11-RN-296	255	258	3.185	1.52	1.085	0.078	0	0	0.502	0	0	0	0	0.771	3.185	0.0246	
11-RN-296	258	261	2.942	0.946	1.212	0.426	0.356	0	0	0	0	0.426	0.002	1.054	2.942	0.0310	
11-RN-296	261	264	3.265	1.09	1.225	0	0.216	0.212	0.522	0	0	0	0	1.382	3.265	0.0451	
11-RN-296	264	267	2.977	1.281	1.305	0.389	0	0	0	0	0	0	0.002	0.625	2.977	0.0186	
11-RN-296	267	270	3.217	0.803	1.894	0.52	0	0	0	0	0	0	0	0.724	3.217	0.0233	
11-RN-296	270	273	3	1.115	1.155	0.73	0	0	0	0	0	0	0	0.715	3	0.0214	
11-RN-296	273	276	2.872	0.979	1.448	0.228	0.217	0	0	0	0	0	0	0.782	2.872	0.0224	
11-RN-296	276	279	3.204	0.983	1.117	0.671	0.158	0	0.275	0	0	0	0	1.058	3.204	0.0339	
11-RN-296	279	282	2.955	0.852	0.841	0.285	0	0	0.977	0	0	0	0	1.374	2.955	0.0406	
11-RN-296	282	285	3.075	0.809	0.553	1.089	0.289	0	0.335	0	0	0	0	1.410	3.075	0.0434	
11-RN-296	285	288	3.216	1.481	1.732	0	0	0	0	0	0	0	0.003	0.497	3.216	0.0160	
11-RN-296	288	291	2.904	0	1.887	0.221	0	0	0.793	0	0	0	0.003	1.543	2.904	0.0448	

11-RN-296	291	294	2.997	0.313	1.128	0.233	0	0	1.323	0	0	0	0	1.743	2.997	0.0522	
11-RN-296	294	297	3.159	0.801	2.122	0	0	0	0	0.236	0	0	0	1.624	3.159	0.0513	
11-RN-296	297	300	2.903	0	2.313	0.366	0	0	0.156	0.058	0	0	0.01	1.624	2.903	0.0471	
11-RN-296	300	303	2.954	0.208	2.591	0.1	0	0	0	0.053	0	0	0.002	1.054	2.954	0.0311	
11-RN-296	303	306	2.933	1.139	1.465	0.326	0	0	0	0	0	0	0.003	0.671	2.933	0.0197	
11-RN-296	306	309	2.966	0.437	2.021	0.366	0	0	0.142	0	0	0	0	0.871	2.966	0.0258	
11-RN-296	309	312	2.725	0.164	1.121	0.171	0	0	0.966	0.191	0.109	0	0.003	4.043	2.725	0.1102	
11-RN-296	312	315	3.283	0.451	1.883	0.249	0	0	0.695	0	0	0	0.005	1.350	3.283	0.0443	
11-RN-296	315	318	2.954	0.486	1.784	0.218	0	0	0.461	0	0	0	0.005	1.220	2.954	0.0360	
11-RN-296	318	321	2.7	0.225	2.09	0.33	0.055	0	0	0	0	0	0	0.866	2.7	0.0234	
11-RN-296	321	324	2.25	0.08	1.19	0.91	0.07	0	0	0	0	0	0	1.213	2.25	0.0273	
11-RN-296	324	327	2.93	2.4	0.53	0	0	0	0	0	0	0	0	0.136	2.93	0.0040	
11-RN-296	327	330	2.77	1.89	0.67	0.21	0	0	0	0	0	0	0	0.314	2.77	0.0087	
11-RN-296	330	333	3.05	2.49	0.56	0	0	0	0	0	0	0	0	0.138	3.05	0.0042	
11-RN-296	333	336	2.18	0.56	0.71	0.91	0	0	0	0	0	0	0	0.975	2.18	0.0213	
11-RN-296	336	339	2.68	1.29	1.22	0.15	0	0.02	0	0	0	0	0	0.484	2.68	0.0130	
11-RN-296	339	342	2.8	1.48	0.54	0.49	0.16	0	0	0.13	0	0	0	1.347	2.8	0.0377	
11-RN-296	342	345	2.65	1.19	1.13	0.12	0.21	0	0	0	0	0	0	0.676	2.65	0.0179	
11-RN-296	345	348	2.82	1.1	1.3	0.36	0.03	0.03	0	0	0	0	0	0.670	2.82	0.0189	
11-RN-296	348	351	3.03	2.66	0.37	0	0	0	0	0	0	0	0	0.092	3.03	0.0028	
11-RN-296	351	354	2.715	1.485	0.96	0.27	0	0	0	0	0	0	0	0.439	2.715	0.0119	
11-RN-296	354	357	2.65	1.92	0.6	0	0.05	0.08	0	0	0	0	0	0.417	2.65	0.0111	
11-RN-296	357	360	2.925	2.29	0.24	0.145	0.21	0	0.04	0	0	0	0	0.441	2.925	0.0129	
11-RN-296	360	363	2.74	2.22	0.32	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0.215	2.74	0.0059	
11-RN-296	363	366	3.04	2.19	0.78	0	0	0.07	0	0	0	0	0	0.331	3.04	0.0101	
11-RN-296	366	369	2.88	1.43	1.45	0	0	0	0	0	0	0	0	0.378	2.88	0.0109	
11-RN-296	369	372	2.89	0	1.82	1.07	0	0	0	0	0	0	0	1.120	2.89	0.0324	
11-RN-296	372	375	2.95	0.665	1.38	0	0	0	0	0.65	0.25	0	0.005	6.792	2.95	0.2004	
11-RN-296	375	378	2.88	0	1.798	0.84	0.1	0	0.13	0	0	0	0.012	1.652	2.88	0.0476	
11-RN-296	378	381	2.44	0.11	2.24	0	0	0	0.086	0	0	0	0.004	0.958	2.44	0.0234	
11-RN-296	381	384	3.03	0	2.54	0	0	0	0.49	0	0	0	0	1.114	3.03	0.0338	
11-RN-296	384	387	2.83	0	1.63	0.27	0	0	0.74	0.19	0	0	0	2.390	2.83	0.0677	
11-RN-296	387	390	3	0	1.14	0	0	0	0.48	0.94	0.44	0	0	10.598	3	0.3180	
11-RN-296	390	393	2.86	0	2.4	0	0	0.2	0.12	0.14	0	0	0	1.909	2.86	0.0546	
11-RN-296	393	396	2.41	0	1.36	0	0	0	1.05	0	0	0	0	1.730	2.41	0.0417	
11-RN-296	396	398	2.04	0	2.04	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	2.04	0.0153	
11-RN-300	45	48	2.975	2.17	0.805	0	0	0	0	0	0	0	0	0.203	2.975	0.0060	
11-RN-300	48	51	2.9	1.7	1.08	0.12	0	0	0	0	0	0	0	0.352	2.9	0.0102	
11-RN-300	51	54	2.85	1.9	0.95	0	0	0	0	0	0	0	0	0.250	2.85	0.0071	
11-RN-300	54	57	2.995	2.51	0.485	0	0	0	0	0	0	0	0	0.121	2.995	0.0036	
11-RN-300	57	60	2.925	2.67	0.255	0	0	0	0	0	0	0	0	0.065	2.925	0.0019	
11-RN-300	60	63	3	2.54	0.46	0	0	0	0	0	0	0	0	0.115	3	0.0035	
11-RN-300	63	66	3.035	1.995	0.335	0.705	0	0	0	0	0	0	0	0.489	3.035	0.0149	
11-RN-300	66	69	2.935	2.03	0.905	0	0	0	0	0	0	0	0	0.231	2.935	0.0068	
11-RN-300	69	72	3.045	3.015	0	0.03	0	0	0	0	0	0	0	0.017	3.045	0.0005	
11-RN-300	72	75	3.1	0	1.67	0	0	0	1.43	0	0	0	0	1.788	3.1	0.0554	
11-RN-300	75	78	3	0.405	1.845	0.75	0	0	0	0	0	0	0	0.899	3	0.0270	
11-RN-300	78	81	3.065	2.745	0.32	0	0	0	0	0	0	0	0	0.078	3.065	0.0024	
11-RN-300	81	84	2.76	0.53	1.71	0.13	0	0	0.39	0	0	0	0	0.971	2.76	0.0268	
11-RN-300	84	87	2.9	1.3	1.04	0.21	0	0	0.35	0	0	0	0	0.758	2.9	0.0220	
11-RN-300	87	90	3.095	2.095	0.87	0.13	0	0	0	0	0	0	0	0.284	3.095	0.0088	
11-RN-300	90	93	3.115	2.95	0.165	0	0	0	0	0	0	0	0	0.040	3.115	0.0012	
11-RN-300	93	96	2.925	0.89	1.895	0.09	0	0	0	0	0.05	0	0	1.138	2.925	0.0333	
11-RN-300	96	99	2.995	2.235	0.275	0	0.305	0	0.1	0.08	0	0	0	0.926	2.995	0.0277	
11-RN-300	99	102	3.045	2.17	0.875	0	0	0	0	0	0	0	0	0.216	3.045	0.0066	
11-RN-300	102	105	3.12	1.855	1.265	0	0	0	0	0	0	0	0	0.304	3.12	0.0095	
11-RN-300	105	108	3	2.315	0.22	0	0	0	0.235	0.23	0	0	0	1.440	3	0.0432	
11-RN-300	108	111	2.845	1.035	1.295	0	0	0	0.235	0.28	0	0	0	2.065	2.845	0.0588	
11-RN-300	111	114	2.805	1.895	0.8	0.11	0	0	0	0	0	0	0	0.283	2.805	0.0079	
11-RN-300	114	117	2.885	1.885	0.505	0.13	0	0	0.15	0	0.095	0.12	0	3.806	2.885	0.1098	
11-RN-300	117	120	2.945	1.67	1.03	0.16	0	0	0.085	0	0	0	0	0.444	2.945	0.0131	
11-RN-300	120	123	2.95	1.855	0.485	0.585	0.025	0	0	0	0	0	0	0.500	2.95	0.0148	
11-RN-300	123	126	2.97	2.595	0.275	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0.128	2.97	0.0038	
11-RN-300	126	129	2.9	2.1	0.45	0.35	0	0	0	0	0	0	0	0.328	2.9	0.0095	
11-RN-300	129	132	3.111	1.66	1.075	0.371	0	0	0	0	0	0	0.005	0.629	3.111	0.0196	
11-RN-300	132	135	3.033	0.632	1.556	0	0	0	0.526	0.319	0	0	0	2.483	3.033	0.0753	
11-RN-300	135	138	3.039	0.943	1.829	0.265	0	0	0	0	0	0	0.002	0.670	3.039	0.0204	
11-RN-300	138	141	2.887	1.109	1.778	0	0	0	0	0	0	0	0	0.462	2.887	0.0133	

11-RN-300	141	144	3.035	2.186	0.823	0	0	0	0.026	0	0	0	0	0.229	3.035	0.0070	
11-RN-300	144	147	3.068	3.068	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	3.068	0.0000	
11-RN-300	147	150	3.044	0.992	1.318	0.359	0.108	0	0.267	0	0	0	0	0.918	3.044	0.0280	
11-RN-300	150	153	3	1.501	1.398	0	0	0	0.097	0	0	0	0.004	0.580	3	0.0174	
11-RN-300	153	156	3.102	1.244	0.249	0	0	0	0.578	0.853	0.178	0	0	6.752	3.102	0.2095	
11-RN-300	156	159	2.735	1.919	0.816	0	0	0	0	0	0	0	0	0.224	2.735	0.0061	
11-RN-300	159	162	3.022	2.491	0.466	0	0	0	0.058	0	0	0	0.007	0.405	3.022	0.0122	
11-RN-300	162	165	2.875	2.403	0.328	0.144	0	0	0	0	0	0	0	0.173	2.875	0.0050	
11-RN-300	165	168	3.034	1.187	1.847	0	0	0	0	0	0	0	0	0.457	3.034	0.0139	
11-RN-300	168	171	2.989	1.482	0.932	0	0.173	0	0	0	0.402	0	0	5.144	2.989	0.1537	
11-RN-300	171	174	2.98	1.334	1.308	0	0	0	0.236	0	0.074	0	0.028	2.376	2.98	0.0708	
11-RN-300	174	177	2.96	1.443	0.911	0.445	0	0	0	0.161	0	0	0	1.310	2.96	0.0388	
11-RN-300	177	180	2.881	2.878	0	0	0	0	0	0	0	0	0.003	0.104	2.881	0.0030	
11-RN-300	180	183	3.024	2.433	0.111	0.079	0	0	0.398	0	0	0	0.003	0.567	3.024	0.0172	
11-RN-300	183	186	2.966	0.959	1.138	0	0	0	0.786	0.063	0	0	0.02	2.076	2.966	0.0616	
11-RN-300	186	189	2.942	1.973	0.735	0	0	0	0.201	0.033	0	0	0	0.561	2.942	0.0165	
11-RN-300	189	192	3.036	2.274	0.596	0	0	0	0.068	0	0.098	0	0	1.344	3.036	0.0408	
11-RN-300	192	195	3.088	1.203	0.996	0.251	0	0	0.392	0.212	0.034	0	0	2.180	3.088	0.0673	
11-RN-300	195	198	3.041	1.442	1.473	0	0	0	0	0	0.118	0	0.008	1.984	3.041	0.0603	
11-RN-300	198	201	3.018	0.716	0.71	0.391	0	0	1.005	0.188	0	0	0.008	2.602	3.018	0.0785	
11-RN-300	201	204	3.028	1.829	0.342	0.296	0	0	0	0.55	0	0	0.011	3.344	3.028	0.1012	
11-RN-300	204	207	2.985	2.049	0.873	0	0	0.063	0	0	0	0	0	0.346	2.985	0.0103	
11-RN-300	207	210	2.953	2.439	0.376	0	0	0	0	0.128	0	0	0.01	1.084	2.953	0.0320	
11-RN-300	210	213	2.993	0.946	1.128	0.111	0	0	0.572	0	0.236	0	0	3.681	2.993	0.1102	
11-RN-300	213	216	2.986	2.118	0.357	0	0.078	0	0.433	0	0	0	0	0.616	2.986	0.0184	
11-RN-300	216	219	3.015	1.73	0.476	0.556	0	0	0.252	0	0	0	0.001	0.725	3.015	0.0219	
11-RN-300	219	222	3.037	2.691	0.223	0.117	0	0	0	0	0	0	0.006	0.320	3.037	0.0097	
11-RN-300	222	225	3.025	2.378	0.415	0.232	0	0	0	0	0	0	0	0.237	3.025	0.0072	
11-RN-300	225	228	2.958	2.169	0.43	0	0	0	0.357	0	0	0	0.002	0.539	2.958	0.0159	
11-RN-300	228	231	2.969	1.084	0.266	0.21	0.09	0	0.872	0.377	0	0.07	0	4.380	2.969	0.1300	
11-RN-300	231	234	3.05	1.366	0.61	0.276	0.388	0	0	0.41	0	0	0	2.770	3.05	0.0845	
11-RN-300	234	237	2.932	2.376	0.556	0	0	0	0	0	0	0	0	0.142	2.932	0.0042	
11-RN-300	237	240	3.15	1.9	0.833	0	0.153	0	0.264	0	0	0	0	0.620	3.15	0.0195	
11-RN-300	240	243	3.048	0.541	0.835	0.654	0.11	0	0.656	0.252	0	0	0	2.593	3.048	0.0790	
11-RN-300	243	246	3.133	3.133	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	3.133	0.0000	
11-RN-300	246	249	3.112	2.116	0.238	0.13	0	0	0.628	0	0	0	0	0.736	3.112	0.0229	
11-RN-300	249	252	3.21	1.679	0.78	0.133	0.265	0	0.353	0	0	0	0	0.874	3.21	0.0280	
11-RN-300	252	255	2.8	0.425	0.97	0.59	0	0	0.815	0	0	0	0	1.502	2.8	0.0421	
11-RN-300	255	258	2.71	0.36	1.76	0	0	0	0.59	0	0	0	0	1.140	2.71	0.0309	
11-RN-300	258	261	2.948	0.878	1.176	0.234	0	0	0.51	0.15	0	0	0	1.720	2.948	0.0507	
11-RN-300	261	264	2.851	1.348	1.278	0	0	0	0.22	0	0	0	0.005	0.743	2.851	0.0212	
11-RN-300	264	267	3.01	1	1.6	0	0	0	0.41	0	0	0	0	0.807	3.01	0.0243	
11-RN-300	267	270	2.703	1.541	0.427	0.43	0	0	0.305	0	0	0	0	0.735	2.703	0.0199	
11-RN-300	270	273	3.05	1.274	1.117	0.115	0	0	0.542	0	0	0	0.002	0.939	3.05	0.0287	
11-RN-309	28	30	1.04	0	0.43	0.09	0	0	0.12	0.4	0	0	0	6.577	1.04	0.0684	
11-RN-309	30	33	2.88	0	1.4	0	0.11	0	0.97	0	0.4	0	0	6.370	2.88	0.1835	
11-RN-309	33	36	2.88	0	1.69	0.27	0.75	0	0.17	0	0	0	0	1.693	2.88	0.0488	
11-RN-309	36	39	3	0	2.85	0	0.095	0	0.055	0	0	0	0	0.878	3	0.0264	
11-RN-309	39	42	2.99	0	2.29	0.32	0	0	0.38	0	0	0	0	1.143	2.99	0.0342	
11-RN-309	42	45	3.01	0	2.995	0	0	0	0	0.015	0	0	0	0.821	3.01	0.0247	
11-RN-309	45	48	3	0	2.67	0	0.22	0	0.01	0.1	0	0	0	1.434	3	0.0430	
11-RN-309	48	51	2.8	0	1.5	0	0	0	0.8	0.5	0	0	0	3.938	2.8	0.1103	
11-RN-309	51	54	2.67	0	1.77	0.35	0	0	0.4	0.1	0	0	0.05	3.610	2.67	0.0964	
11-RN-309	54	57	3.02	0	2.82	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0.874	3.02	0.0264	
11-RN-309	57	60	2.89	0	2.59	0.15	0.15	0	0	0	0	0	0	0.945	2.89	0.0273	
11-RN-309	60	63	3.05	0	2.99	0	0.06	0	0	0	0	0	0	0.804	3.05	0.0245	
11-RN-309	63	66	3.02	0	2.85	0.17	0	0	0	0	0	0	0	0.806	3.02	0.0244	
11-RN-309	66	69	2.93	0	2.68	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0.985	2.93	0.0289	
11-RN-309	69	72	3.02	0	2.929	0	0	0	0.09	0	0	0	0.001	0.850	3.02	0.0257	
11-RN-309	72	75	3.02	0	2.87	0.09	0.06	0	0	0	0	0	0	0.834	3.02	0.0252	
11-RN-309	75	78	3.02	0	2.92	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0.825	3.02	0.0249	
11-RN-309	78	81	2.94	0	2.557	0.25	0	0.1	0.03	0	0	0	0.003	1.138	2.94	0.0335	
11-RN-309	81	84	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	3	0.0225	
11-RN-309	84	87	3.02	0	2.22	0.36	0	0.07	0.37	0	0	0	0	1.267	3.02	0.0383	
11-RN-309	87	90	2.85	0	2.48	0.14	0	0.03	0.1	0	0.1	0	0	2.135	2.85	0.0609	
11-RN-309	90	93	3.025	0	3.025	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	3.025	0.0227	
11-RN-309	93	96	2.93	0	2.82	0	0.11	0	0	0	0	0	0	0.853	2.93	0.0250	
11-RN-309	96	99	2.825	0	2.77	0.055	0	0	0	0	0	0	0	0.769	2.825	0.0217	

11-RN-309	99	102	2.9	0	2.72	0.18	0	0	0	0	0	0	0	0.812	2.9	0.0236	
11-RN-309	102	105	3.11	0	2.685	0	0.035	0	0.29	0.1	0	0	0	1.449	3.11	0.0451	
11-RN-309	105	108	3.09	0	2.909	0	0	0	0.11	0.07	0	0	0	0.001	1.185	3.09	0.0366
11-RN-309	108	111	2.83	0	2.609	0.12	0.1	0	0	0	0	0	0	0.001	0.925	2.83	0.0262
11-RN-309	111	114	2.98	0	2.94	0.04	0	0	0	0	0	0	0	0	0.763	2.98	0.0228
11-RN-309	114	117	2.97	0	2.82	0	0.08	0	0.07	0	0	0	0	0	0.877	2.97	0.0261
11-RN-309	117	120	3	0	2.43	0	0.13	0	0.32	0.12	0	0	0	0	1.679	3	0.0504
11-RN-309	120	123	2.91	0	2.747	0	0	0	0.09	0.02	0.05	0	0	0.003	1.608	2.91	0.0468
11-RN-309	123	126	2.89	0	1.928	0.14	0.365	0.04	0	0.4	0	0	0	0.017	3.775	2.89	0.1091
11-RN-309	126	129	2.95	0	2.585	0.225	0.09	0.04	0	0	0	0	0	0.01	1.318	2.95	0.0389
11-RN-309	129	132	2.85	0	1.388	0.79	0	0	0.19	0	0.48	0	0	0.002	7.015	2.85	0.1999
11-RN-309	132	135	2.79	0	2.177	0.04	0.345	0	0.22	0	0	0	0	0.008	1.566	2.79	0.0437
11-RN-309	135	138	2.86	0	2.608	0	0	0.15	0	0.1	0	0	0	0.002	1.593	2.86	0.0456
11-RN-309	138	141	2.973	0	2.064	0.044	0.306	0	0.273	0.286	0	0	0	0	2.625	2.973	0.0781
11-RN-309	141	144	3.209	0	2.496	0.062	0.278	0	0.172	0.2	0	0	0	0.001	2.047	3.209	0.0657
11-RN-309	144	147	3.139	0	1.777	0.335	0	0	0.986	0.039	0	0	0	0.002	1.804	3.139	0.0566
11-RN-309	147	150	2.882	0	2.769	0	0	0	0.08	0	0.033	0	0	0	1.205	2.882	0.0347
11-RN-309	150	153	3.053	0	2.643	0	0.194	0	0.116	0.054	0.026	0	0	0.02	2.204	3.053	0.0673
11-RN-309	153	156	3	0	2.738	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0.012	1.230	3	0.0369
11-RN-309	156	159	2.958	0	2	0.71	0	0	0.1	0.12	0	0	0	0.028	2.584	2.958	0.0764
11-RN-309	159	162	2.97	0	2.895	0	0	0	0	0.05	0	0	0	0.025	1.825	2.97	0.0542
11-RN-309	162	165	3.01	0	2.66	0.14	0	0.114	0.09	0	0	0	0	0.006	1.260	3.01	0.0379
11-RN-309	165	168	3.04	0	2.02	0.73	0.11	0	0.16	0	0.011	0	0	0.009	1.626	3.04	0.0494
11-RN-309	168	171	2.98	0	2.445	0	0.29	0	0.24	0	0	0	0	0.005	1.365	2.98	0.0407
11-RN-309	171	174	2.98	0	2.03	0.55	0	0	0.395	0	0	0	0	0.005	1.399	2.98	0.0417
11-RN-309	174	177	2.99	0	2.8	0.14	0	0	0.05	0	0	0	0	0	0.834	2.99	0.0250
11-RN-309	177	180	2.84	0.286	1.838	0.149	0.33	0	0.228	0	0	0	0	0.009	1.542	2.84	0.0438
11-RN-309	180	183	3	0	0.22	2.1	0.14	0.07	0.18	0.29	0	0	0	0	3.213	3	0.0964
11-RN-309	183	186	3	0	1.38	1.05	0.36	0	0	0	0.21	0	0	0	3.828	3	0.1148
11-RN-309	186	189	3.092	0	1.329	0.476	0.731	0	0.53	0	0	0	0	0.026	2.774	3.092	0.0858
11-RN-309	189	192	2.875	0	0	0	2.875	0	0	0	0	0	0	0	3.500	2.875	0.1006
11-RN-309	192	195	3.03	0	0	0.4	0	0	2.32	0.31	0	0	0	0	4.063	3.03	0.1231
11-RN-309	195	198	3	0	1.65	0	0	0	0	1.35	0	0	0	0	7.163	3	0.2149
11-RN-309	198	201	2.7	0	0	0.83	0	0	0.34	1.53	0	0	0	0	9.416	2.7	0.2542
11-RN-309	201	204	2.96	0	0	0.8	0	0	1.93	0	0.23	0	0	0	5.149	2.96	0.1524
11-RN-309	204	207	3.08	0	2.95	0	0	0	0.07	0	0.06	0	0	0	1.468	3.08	0.0452
11-RN-309	207	210	3.01	0	2.523	0	0	0	0.48	0	0	0	0	0.007	1.340	3.01	0.0403
11-RN-309	210	213	3.039	0	1.697	1.132	0	0	0.184	0.021	0	0	0	0.005	1.520	3.039	0.0462
11-RN-309	213	216	2.898	0	1.737	0.978	0	0	0	0.176	0	0	0	0.007	2.193	2.898	0.0635
11-RN-309	216	219	2.859	0	1.946	0	0	0	0.896	0	0	0	0	0.017	2.045	2.859	0.0585
11-RN-309	219	222	2.156	0	1.187	0	0	0	0.528	0	0.36	0.078	0.003	0.003	9.121	2.156	0.1966
11-RN-309	222	225	3.08	0	2.96	0	0.12	0	0	0	0	0	0	0	0.857	3.08	0.0264
11-RN-309	225	228	3.018	0	2.75	0.26	0	0	0	0	0	0	0	0.008	1.099	3.018	0.0332
11-RN-309	228	231	2.854	0	2.32	0.51	0	0	0	0	0	0	0	0.024	1.763	2.854	0.0503
11-RN-309	231	234	3.047	0	2.792	0	0.161	0	0.081	0	0	0	0	0.013	1.379	3.047	0.0420
11-RN-309	234	237	3.081	0	1.038	0.935	0.233	0	0.093	0.742	0.017	0	0	0.023	5.691	3.081	0.1753
11-RN-309	237	240	2.981	0	1.453	0.374	0.586	0	0.11	0.421	0.037	0	0	0	3.937	2.981	0.1174
11-RN-309	240	243	2.627	0	0.975	0.816	0.642	0	0	0.16	0.032	0	0	0.002	3.093	2.627	0.0813
11-RN-309	243	246	2.856	0	1.976	0.256	0.474	0	0.1	0	0.04	0	0	0.01	2.202	2.856	0.0629
11-RN-309	246	249	2.777	0	1.147	0.927	0.315	0	0.344	0.012	0.014	0	0	0.018	2.552	2.777	0.0709
11-RN-309	249	252	2.954	0	1.492	0.231	0.788	0.371	0.064	0	0	0	0	0.008	2.539	2.954	0.0750
11-RN-309	252	255	2.904	0	1.882	0.843	0.072	0	0	0.106	0	0	0	0.001	1.663	2.904	0.0483
11-RN-309	255	258	2.663	0	1.214	0.854	0	0	0.587	0	0	0	0	0.008	1.865	2.663	0.0497
11-RN-309	258	261	3.154	0	2.069	0.886	0.048	0	0.151	0	0	0	0	0	1.180	3.154	0.0372
11-RN-309	261	264	3.184	0	0.916	2.102	0.166	0	0	0	0	0	0	0	1.554	3.184	0.0495
11-RN-309	264	267	3.01	0	1.83	1.18	0	0	0	0	0	0	0	0	1.142	3.01	0.0344
11-RN-309	267	270	2.87	0	1.45	0	1.17	0.12	0.13	0	0	0	0	0	2.193	2.87	0.0629
11-RN-309	270	273	3.016	0	2.215	0.503	0.115	0.183	0	0	0	0	0	0	1.340	3.016	0.0404
11-RN-309	273	276	3.02	0	1.175	1.694	0.13	0	0	0	0.016	0	0	0.005	1.775	3.02	0.0536
11-RN-309	276	279	2.935	1.116	0.475	0.435	0.519	0	0	0.382	0.006	0	0	0.002	3.092	2.935	0.0907
11-RN-309	279	282	3.018	0	1.275	1.577	0	0.119	0	0.04	0	0	0	0.007	1.899	3.018	0.0573
11-RN-309	282	285	2.934	0	2.659	0.039	0.175	0	0	0.055	0	0	0	0.006	1.397	2.934	0.0410
11-RN-309	285	288	2.91	1.653	1.128	0.097	0	0	0	0.024	0	0	0	0.008	0.748	2.91	0.0218
11-RN-309	288	291	2.892	0	1.625	0	0.208	0.054	0.583	0.422	0	0	0	0	3.579	2.892	0.1035
11-RN-309	291	294	2.95	0	0.997	1.214	0.287	0	0.17	0.264	0	0	0	0.018	3.440	2.95	0.1015
11-RN-309	294	297	2.726	0	1.408	0.75	0.084	0	0.396	0.074	0	0	0	0.014	2.333	2.726	0.0636
11-RN-309	297	300	2.672	0	1.342	0.695	0	0	0	0.422	0	0.21	0	0.003	7.636	2.672	0.2040
11-RN-309	300	303	3.108	0	1.349	0.795	0	0	0.42	0.53	0	0	0	0.014	4.187	3.108	0.1301

Grind 1 foot

There is approximatively 75cm of no core (Grinded)

11-RN-309	303	306	3.022	0	0.47	2.026	0.515	0	0	0	0	0	0.011	2.250	3.022	0.0680	
11-RN-309	306	309	3.046	0	0.18	2.303	0.561	0	0	0	0	0	0.002	2.078	3.046	0.0633	
11-RN-309	309	312	2.962	0	2.578	0.314	0	0	0.041	0	0.014	0	0.015	1.552	2.962	0.0460	
11-RN-309	312	315	2.97	0	2.64	0	0.33	0	0	0	0	0	0	1.056	2.97	0.0314	
11-RN-309	315	318	2.95	0	0.4	0.76	0	1.244	0	0.53	0	0	0.016	6.320	2.95	0.1864	
11-RN-309	318	321	3	0	1	1.13	0	0.08	0.79	0	0	0	0	1.859	3	0.0558	
11-RN-309	321	324	3	0	0.42	0.87	1.71	0	0	0	0	0	0	2.608	3	0.0782	
11-RN-309	324	327	3.03	0	0.76	0.39	1.88	0	0	0	0	0	0	2.585	3.03	0.0783	
11-RN-309	327	330	3	0	1.28	0.98	0	0.46	0	0.28	0	0	0	3.212	3	0.0964	
11-RN-309	330	333	2.99	0	0.941	1.254	0.753	0	0.037	0	0	0	0.005	2.056	2.99	0.0615	
11-RN-309	333	336	2.945	0.072	0.903	1.553	0.383	0	0	0.022	0.008	0	0.004	1.951	2.945	0.0575	
11-RN-309	336	339	2.984	0	0	2.571	0.413	0	0	0	0	0	0	1.992	2.984	0.0594	
11-RN-309	339	342	2.984	0	0	0.541	2.158	0.285	0	0	0	0	0	3.421	2.984	0.1021	
11-RN-309	342	345	3.03	0	0	0.734	2.296	0	0	0	0	0	0	3.076	3.03	0.0932	
11-RN-309	345	348	3.013	0	0.1	1.619	1.2	0	0	0.094	0	0	0	2.827	3.013	0.0852	
11-RN-309	348	351	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3.500	3	0.1050	
11-RN-309	351	354	3.04	0	0	1.621	1.419	0	0	0	0	0	0	2.567	3.04	0.0780	
11-RN-309	354	357	2.988	0	0	1.714	1.271	0	0	0	0	0	0.003	2.593	2.988	0.0775	
11-RN-309	357	360	3.025	0	0	2.577	0.411	0	0	0.025	0.011	0	0.001	2.251	3.025	0.0681	
11-RN-309	360	363	2.937	0	0	1.658	1.208	0	0	0	0	0.067	0.004	3.818	2.937	0.1121	
11-RN-309	363	366	3.015	0	0	2.372	0.637	0	0	0	0	0	0.006	2.315	3.015	0.0698	
11-RN-309	366	369	2.75	0	0.01	1.67	0.13	0	0	0.94	0	0	0	6.358	2.75	0.1749	
11-RN-309	369	372	3	0	0	0.81	0	0	0	2.19	0	0	0	11.423	3	0.3427	
11-RN-309	372	375	3.065	0	0	0.905	2.15	0	0	0.01	0	0	0	3.021	3.065	0.0926	
11-RN-309	375	378	2.97	0	0	2.618	0.262	0.039	0	0	0.051	0	0	2.531	2.97	0.0752	
11-RN-309	378	381	2.98	0	0	2.604	0.375	0	0	0	0	0	0.001	2.003	2.98	0.0597	
11-RN-309	381	384	2.98	0	0	2.865	0.115	0	0	0	0	0	0	1.818	2.98	0.0542	
11-RN-309	384	387	3.012	0	0	2.48	0.424	0	0.103	0	0	0	0.005	2.202	3.012	0.0663	
11-RN-309	387	390	2.925	0	0.66	1.175	0.98	0.09	0	0	0.014	0	0.006	2.602	2.925	0.0761	
11-RN-309	390	393	2.99	0	0	2.16	0.83	0	0	0	0	0	0	2.236	2.99	0.0669	
11-RN-309	393	396	2.965	0	0	2.762	0.2	0	0	0	0	0	0.003	1.967	2.965	0.0583	
11-RN-309	396	399	3.03	0	0	1.085	1.894	0.045	0	0	0	0	0.006	3.102	3.03	0.0940	
11-RN-309	399	402	2.91	0	1.19	1.496	0	0	0	0.22	0	0	0.004	2.478	2.91	0.0721	
11-RN-309	402	405	2.97	0	0	0	2.904	0.065	0	0	0	0	0.001	3.587	2.97	0.1065	
11-RN-309	405	408	3.028	0	0.704	1.005	0.69	0.595	0	0	0.03	0	0.004	3.211	3.028	0.0972	
11-RN-309	408	411	2.84	0	1.985	0.605	0.09	0	0	0.155	0	0	0.005	2.003	2.84	0.0569	
11-RN-309	411	414	2.91	0	2.855	0	0	0	0	0	0.05	0	0.005	1.509	2.91	0.0439	
11-RN-309	414	417	2.98	0	0	2.98	0	0	0	0	0	0	0	1.750	2.98	0.0522	
11-RN-309	417	420	3.01	0	0	2.596	0	0	0.41	0	0	0	0.004	2.051	3.01	0.0617	
11-RN-309	420	423	3.11	0	0	2.205	0.905	0	0	0	0	0	0	2.259	3.11	0.0703	
11-RN-309	423	426	2.925	0	0	1.9	0.52	0	0.5	0	0	0	0.005	2.443	2.925	0.0715	
11-RN-309	426	429	2.98	0	1.274	1.137	0.525	0	0	0	0.04	0	0.004	2.209	2.98	0.0658	
11-RN-309	429	432	2.998	0	2.75	0.215	0	0	0	0	0.024	0	0.009	1.394	2.998	0.0418	
11-RN-309	432	435	3.084	0.115	1.84	1.129	0	0	0	0	0	0	0	1.088	3.084	0.0336	
11-RN-309	435	438	2.964	0	1.648	1.316	0	0	0	0	0	0	0	1.194	2.964	0.0354	
11-RN-309	438	441	3.018	0	0.811	1.058	0.817	0.324	0	0	0	0	0.008	2.672	3.018	0.0806	
11-RN-309	441	444	3.134	0	1.33	1.296	0	0	0.486	0	0	0	0.022	2.209	3.134	0.0692	
11-RN-309	444	447	3.11	0	0.497	0.585	0	0	1.117	0.264	0	0.646	0.001	14.256	3.11	0.4434	
11-RN-309	447	450	2.95	1.204	1.119	0	0	0	0	0.627	0	0	0	3.473	2.95	0.1024	
11-RN-309	450	453	2.867	0.731	1.209	0	0	0	0.624	0.221	0.021	0	0.061	4.510	2.867	0.1293	
11-RN-309	453	456	2.845	0	2.312	0.285	0	0	0.233	0	0	0	0.015	1.558	2.845	0.0443	
11-RN-309	456	459	2.989	0.63	1.743	0.511	0	0	0.102	0	0	0	0.003	0.939	2.989	0.0281	
11-RN-309	459	462	3.012	0	1.761	0.63	0	0	0.452	0.164	0	0	0.005	2.237	3.012	0.0674	
11-RN-309	462	465	2.89	0	2.654	0.06	0.08	0	0.035	0.047	0	0	0.014	1.587	2.89	0.0459	
11-RN-309	465	468	2.998	1.173	1.584	0	0	0	0.24	0	0	0	0.001	0.670	2.998	0.0201	
11-RN-309	468	471	2.897	0	2.743	0	0	0	0.15	0	0	0	0.004	1.004	2.897	0.0291	
11-RN-309	471	474	2.974	0	1.846	1.073	0	0	0	0	0.048	0	0.007	1.897	2.974	0.0564	
11-RN-309	474	477	2.935	1.005	1.13	0	0	0	0	0.75	0.048	0	0.002	4.762	2.935	0.1398	
11-RN-309	477	480	3.002	0	2.861	0	0.048	0	0	0	0	0.09	0.003	2.520	3.002	0.0756	
11-RN-309	480	483	2.92	0	2.311	0.415	0	0	0.09	0.1	0	0	0.004	1.585	2.92	0.0463	
11-RN-309	483	486	3.02	0	2.27	0.36	0	0	0	0.13	0.17	0.07	0.02	5.325	3.02	0.1608	
11-RN-309	486	489	3.07	0	1.52	1.55	0	0	0	0	0	0	0	1.255	3.07	0.0385	
11-RN-309	489	492	3.11	0.86	0.76	1.3	0	0	0.18	0	0	0	0.01	1.410	3.11	0.0439	
11-RN-309	492	495	3.04	0.93	2.104	0	0	0	0	0	0	0	0.006	0.716	3.04	0.0218	
11-RN-309	495	498	3.05	2.45	0.53	0.051	0	0	0	0	0	0	0.019	0.783	3.05	0.0239	
11-RN-309	498	501	3.01	2.365	0.385	0	0	0	0.055	0.205	0	0	0	1.172	3.01	0.0353	
11-RN-309	501	504	3.05	2.28	0.26	0.125	0.25	0	0	0.13	0	0	0.005	1.226	3.05	0.0374	
11-RN-309	504	507	3	1.868	0.51	0.61	0	0	0	0	0	0	0.012	0.883	3	0.0265	

11-RN-309	507	510	2.94	1.83	0.26	0.845	0	0	0	0	0	0	0.005	0.739	2.94	0.0217	
11-RN-309	510	513	3.02	0	2.28	0.15	0.225	0	0.33	0	0	0	0.035	2.401	3.02	0.0725	
11-RN-309	513	516	2.98	2.98	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	2.98	0.0000	
11-RN-309	516	519	2.864	1.02	1.64	0.15	0	0.03	0	0	0	0	0.024	1.422	2.864	0.0407	
11-RN-309	519	522	3	0	0.32	0	0	0	2.68	0	0	0	0	2.760	3	0.0828	
11-RN-309	522	523	1.08	0	0.61	0	0	0	0.47	0	0	0	0	1.729	1.08	0.0187	
11-RN-334	30	33	2.7	2.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	2.7	0.0000	
11-RN-334	33	36	2.95	1.4	1.55	0	0	0	0	0	0	0	0	0.394	2.95	0.0116	
11-RN-334	36	39	2.92	0	2.92	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	2.92	0.0219	
11-RN-334	39	42	2.555	0	2.55	0	0	0	0	0	0	0	0.005	0.944	2.555	0.0241	
11-RN-334	42	45	2.4	0	2.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	2.4	0.0180	
11-RN-334	45	48	3	0	2.998	0	0	0	0	0	0	0	0.002	0.816	3	0.0245	
11-RN-334	48	51	3.08	0	3.077	0	0	0	0	0	0	0	0.003	0.847	3.08	0.0261	
11-RN-334	51	54	2.5	0	2.095	0	0	0	0.4	0	0	0	0.005	1.309	2.5	0.0327	
11-RN-334	54	57	2.8	0	2.79	0	0	0	0	0	0	0	0.01	1.104	2.8	0.0309	
11-RN-334	57	60	3	0	2.97	0	0	0	0	0	0	0	0.03	1.743	3	0.0523	
11-RN-334	60	63	2.6	0	2	0	0	0	0.6	0	0	0	0	1.269	2.6	0.0330	
11-RN-334	63	66	2.705	0	2.7	0	0	0	0	0	0	0	0.005	0.933	2.705	0.0253	
11-RN-334	66	69	2.65	0	2.64	0	0	0	0	0	0	0	0.01	1.125	2.65	0.0298	
11-RN-334	69	72	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	2	0.0150	
11-RN-334	72	75	2.6	0	2	0	0	0	0.6	0	0	0	0	1.269	2.6	0.0330	
11-RN-334	75	78	2.25	0	1.35	0	0	0	0.9	0	0	0	0	1.650	2.25	0.0371	
11-RN-334	78	81	2.5	0	2.46	0	0	0	0.03	0	0	0	0.01	1.174	2.5	0.0294	
11-RN-334	81	84	2.983	0	1.891	0.17	0	0	0.916	0	0	0	0.006	1.698	2.983	0.0506	
11-RN-334	84	87	3.097	0	1.122	0.1	0	0	1.85	0	0	0	0.025	2.928	3.097	0.0907	
11-RN-334	87	90	2.91	0	2.71	0	0	0	0.098	0.1	0	0	0.002	1.384	2.91	0.0403	
11-RN-334	90	93	3.106	0	3.055	0	0	0	0.043	0	0	0	0.008	1.037	3.106	0.0322	
11-RN-334	93	96	2.851	0	2.611	0.179	0	0	0	0.058	0	0	0.003	1.207	2.851	0.0344	
11-RN-334	96	99	3.127	0	2.894	0.191	0	0	0	0	0.012	0	0.03	1.895	3.127	0.0592	
11-RN-334	99	102	2.944	0	2.358	0.276	0	0	0.306	0	0	0	0.004	1.212	2.944	0.0357	
11-RN-334	102	105	2.967	0	2.721	0.246	0	0	0	0	0	0.246	0	0.833	2.967	0.0247	
11-RN-334	105	108	3.024	0	2.532	0.492	0	0	0	0	0	0	0	0.913	3.024	0.0276	
11-RN-334	108	111	2.806	0.119	1.943	0.564	0	0	0.143	0.036	0	0	0.001	1.252	2.806	0.0351	
11-RN-334	111	114	2.998	0	2.846	0.149	0	0	0	0	0	0	0.003	0.899	2.998	0.0270	
11-RN-334	114	117	2.938	0	1.544	0.862	0	0	0	0.532	0	0	0	3.624	2.938	0.1065	
11-RN-334	117	120	2.914	0	1.996	0.914	0	0	0	0	0	0	0.004	1.200	2.914	0.0350	
11-RN-334	120	123	2.977	0	2.404	0.573	0	0	0	0	0	0	0	0.942	2.977	0.0281	
11-RN-334	123	126	2.851	0	1.897	0.488	0	0	0.358	0.108	0	0	0	1.744	2.851	0.0497	
11-RN-334	126	129	2.921	0.373	1.532	0.827	0.184	0	0	0	0	0	0.005	1.280	2.921	0.0374	
11-RN-334	129	132	2.968	0	1.382	1.193	0.193	0	0.196	0	0	0	0.004	1.613	2.968	0.0479	
11-RN-334	132	135	3.02	0	2.418	0.1	0.275	0	0.227	0	0	0	0	1.203	3.02	0.0363	
11-RN-334	135	138	2.808	0	1.763	0.48	0.463	0	0.102	0	0	0	0	1.456	2.808	0.0409	
11-RN-334	138	141	2.94	0	2.095	0	0.4	0	0.445	0	0	0	0	1.465	2.94	0.0431	
11-RN-334	141	144	2.958	0	0.553	1.146	0.89	0	0.369	0	0	0	0	2.246	2.958	0.0664	
11-RN-334	144	147	3.045	0	1.742	1.109	0	0	0.194	0	0	0	0	1.258	3.045	0.0383	
11-RN-334	147	150	3	0	1.518	1.481	0	0	0	0	0	0	0.001	1.277	3	0.0383	
11-RN-334	150	153	3.14	0	1.763	0.36	0.495	0	0.521	0	0	0	0.001	1.703	3.14	0.0535	
11-RN-334	153	156	2.95	0	0.715	1.63	0.605	0	0	0	0	0	0	1.867	2.95	0.0551	
11-RN-334	156	159	2.81	0	0.48	1.585	0.45	0.13	0.16	0	0	0	0.005	2.302	2.81	0.0647	
11-RN-334	159	162	2.9	0	2.885	0	0	0	0.015	0	0	0	0	0.762	2.9	0.0221	
11-RN-334	162	165	3.11	0	3.11	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	3.11	0.0233	
11-RN-334	165	168	3.118	0	0.863	2.041	0	0	0.124	0.087	0	0	0.003	1.987	3.118	0.0620	
11-RN-334	168	171	2.855	0	1.457	0.809	0.195	0	0.118	0.276	0	0	0	2.692	2.855	0.0769	
11-RN-334	171	174	2.967	0	2.082	0.095	0	0	0.781	0	0	0	0.009	1.675	2.967	0.0497	
11-RN-334	174	177	2.727	0	1.204	0.362	0	0	1.153	0	0	0	0.008	2.125	2.727	0.0580	
11-RN-334	177	180	2.742	0	0.896	0	0	0	1.846	0	0	0	0	2.265	2.742	0.0621	
11-RN-334	180	183	3.061	0	0.929	0.288	0.635	0	0.718	0.486	0	0	0.005	4.367	3.061	0.1337	
11-RN-334	183	186	3.2	0	2.462	0.737	0	0	0	0	0	0	0.001	1.011	3.2	0.0324	
11-RN-334	186	189	2.72	0.59	0.524	0.784	0	0	0.82	0	0	0	0.002	1.627	2.72	0.0443	The none interval is due to a dyke
11-RN-334	189	192	2.887	1.106	1.323	0	0.456	0	0	0	0	0	0.002	0.966	2.887	0.0279	The none interval is due to a dyke
11-RN-334	192	195	2.965	0	2.233	0.083	0.357	0.252	0	0.023	0	0.083	0.017	2.235	2.965	0.0663	
11-RN-334	195	198	2.907	0	1.114	1.682	0.086	0	0	0.021	0	0	0.004	1.649	2.907	0.0480	
11-RN-334	198	201	2.85	0	0	2.55	0.3	0	0	0	0	0	0	1.934	2.85	0.0551	
11-RN-334	201	204	2.85	0	2.8	0	0	0	0.045	0	0	0	0.005	0.960	2.85	0.0274	
11-RN-334	204	207	2.77	0	2.77	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	2.77	0.0208	
11-RN-334	207	210	3	0	2.67	0	0	0	0.33	0	0	0	0	0.998	3	0.0299	
11-RN-334	210	213	2.755	0	0	1.9	0.15	0	0.7	0	0	0	0.005	2.341	2.755	0.0645	
11-RN-334	213	216	3.01	0	0	1.7	0	0	0	1.3	0	0	0.01	7.799	3.01	0.2348	

11-RN-334	216	219	2.75	0	0.93	0.568	0.81	0.08	0.23	0.12	0	0	0.012	3.162	2.75	0.0870	
11-RN-334	219	222	2.94	0	0.05	2.435	0.19	0.26	0	0	0	0	0.005	2.389	2.94	0.0702	
11-RN-334	222	225	2.85	0	1.51	0.14	0.67	0.36	0.15	0	0	0	0.02	2.924	2.85	0.0833	
11-RN-334	225	228	2.81	0.1	0	2.296	0.32	0	0	0.09	0	0	0.004	2.451	2.81	0.0689	
11-RN-334	228	231	3	0	1.43	1.03	0.41	0	0.12	0	0	0	0.01	1.890	3	0.0567	
11-RN-334	231	234	2.8	0.09	0	2.216	0.28	0	0.2	0	0	0	0.014	2.449	2.8	0.0686	
11-RN-334	234	237	3.071	0	1.723	1.072	0	0	0.271	0	0	0	0.005	1.459	3.071	0.0448	
11-RN-334	237	240	2.987	0	2.963	0	0	0	0	0.024	0	0	0	0.864	2.987	0.0258	
11-RN-334	240	243	2.862	0	1.728	1.076	0	0	0.023	0.021	0	0	0.014	1.734	2.862	0.0496	
11-RN-334	243	246	2.871	1.413	1.454	0	0	0	0	0	0	0	0.004	0.519	2.871	0.0149	
11-RN-334	246	249	3.162	0	2.474	0.596	0	0	0	0.091	0	0	0.001	1.380	3.162	0.0436	
11-RN-334	249	252	2.805	0	0.544	0.725	0.141	0	1.193	0	0.194	0	0.008	4.756	2.805	0.1334	
11-RN-334	252	255	2.82	0	0.434	0.507	0.737	0	0.499	0.615	0	0	0.028	6.140	2.82	0.1731	
11-RN-334	255	258	2.988	0	2.048	0.296	0.199	0	0.107	0.316	0	0	0.022	3.351	2.988	0.1001	
11-RN-334	258	261	2.663	0	1.297	0.285	0.429	0	0.433	0.195	0	0	0.024	3.604	2.663	0.0960	
11-RN-334	261	264	2.866	0	1.543	1.261	0.036	0	0.018	0	0	0	0.008	1.516	2.866	0.0434	
11-RN-334	264	267	2.867	0	0.163	0.642	0	0	1.071	0.987	0	0	0.004	6.859	2.867	0.1966	
11-RN-334	267	270	2.7	0	0.9	0.2	0	0	0	1.6	0	0	0	9.269	2.7	0.2503	
11-RN-334	270	273	2.6	0	0.76	1	0.21	0	0.33	0.298	0	0	0.002	3.352	2.6	0.0872	
11-RN-334	273	276	2.82	0	2.15	0.615	0	0	0.04	0	0	0	0.015	1.528	2.82	0.0431	
11-RN-334	276	279	2.95	0	1.36	1.04	0	0	0	0.51	0	0	0.04	4.912	2.95	0.1449	
11-RN-334	279	282	3	0	1.15	0.95	0	0	0.88	0	0	0	0.02	2.388	3	0.0717	
11-RN-334	282	285	2.85	0	1.385	0	0	0	0	1.465	0	0	0	8.075	2.85	0.2301	
11-RN-334	285	288	2.95	0	1.24	0.44	0.47	0	0.8	0	0	0	0	1.947	2.95	0.0575	
11-RN-334	288	291	3	0	1.42	0	0	0	0	1.58	0	0	0	8.255	3	0.2477	
11-RN-334	291	294	3.07	1.09	0.95	0.88	0	0	0.15	0	0	0	0	0.880	3.07	0.0270	
11-RN-334	294	297	3.2	0	0.78	0.5	1.2	0	0.53	0.06	0.12	0	0.01	4.172	3.2	0.1335	
11-RN-334	297	300	3.07	0	0.73	0.39	0.25	0	0.7	1	0	0	0	6.256	3.07	0.1921	
11-RN-334	300	303	3	0	2.707	0	0.275	0	0	0	0	0	0.018	1.598	3	0.0479	
11-RN-334	303	306	2.89	0	1.77	0.64	0.23	0.07	0.18	0	0	0	0	1.458	2.89	0.0421	
11-RN-334	306	309	3	0.71	1.545	0.531	0.053	0	0	0.151	0	0	0.01	1.846	3	0.0554	
11-RN-334	309	312	3.18	0	0	0.675	0.68	0	0.743	0.309	0.731	0.04	0.002	12.079	3.18	0.3841	
11-RN-334	312	315	3.036	0	0	0	0.372	1.117	0.176	0	1.363	0	0.008	18.787	3.036	0.5704	
11-RN-334	315	318	3.004	0	1.187	0.712	0.19	0.3	0.455	0.16	0	0	0	2.785	3.004	0.0837	
11-RN-334	318	321	2.821	0	1.794	0.396	0.306	0.166	0.102	0.048	0	0	0.009	2.138	2.821	0.0603	
11-RN-334	321	324	2.942	0	1.266	0.748	0.541	0	0.102	0.283	0	0	0.002	3.026	2.942	0.0890	
11-RN-334	324	327	2.889	0	1.41	0.892	0	0	0.206	0.378	0	0	0.003	3.187	2.889	0.0921	
11-RN-334	327	330	3.031	0	2.441	0	0	0	0.209	0.381	0	0	0	2.696	3.031	0.0817	
11-RN-334	330	333	3.113	0	1.665	0.316	0	0	0.456	0.676	0	0	0	4.276	3.113	0.1331	
11-RN-334	333	336	3.222	0	1.716	0.591	0	0	0.746	0.161	0	0	0.008	2.413	3.222	0.0777	
11-RN-334	336	339	2.998	0	2.076	0.374	0.376	0	0.092	0.079	0	0	0.001	1.697	2.998	0.0509	
11-RN-334	339	342	2.968	0	1.047	1.331	0.134	0	0.124	0.143	0.189	0	0	4.284	2.968	0.1272	
11-RN-334	342	345	2.965	0	2.162	0.263	0.203	0	0.334	0	0	0	0.003	1.381	2.965	0.0409	
11-RN-334	345	348	2.898	0	2.478	0.076	0	0	0.344	0	0	0	0	1.043	2.898	0.0302	
11-RN-334	348	350	2.29	0	1.982	0	0	0	0.049	0	0.259	0	0	4.672	2.29	0.1070	
11-RN-342	57	60	3.3	0.41	2.89	0	0	0	0	0	0	0	0	0.657	3.3	0.0217	
11-RN-342	60	63	3.04	0	3.04	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	3.04	0.0228	
11-RN-342	63	66	3.17	0	2.35	0.48	0	0	0.34	0	0	0	0	1.143	3.17	0.0362	
11-RN-342	66	69	3.07	0	0.32	0.44	0.64	0	1.67	0	0	0	0	2.691	3.07	0.0826	
11-RN-342	69	72	2.94	0	2.34	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0.954	2.94	0.0281	
11-RN-342	72	75	2.96	0	0.26	0.59	1.44	0	0.67	0	0	0	0	2.796	2.96	0.0828	
11-RN-342	75	78	2.91	0	1.71	0.56	0.64	0	0	0	0	0	0	1.547	2.91	0.0450	
11-RN-342	78	81	3	0	2.53	0.07	0.4	0	0	0	0	0	0	1.140	3	0.0342	
11-RN-342	81	84	2.98	0	2.05	0.78	0.07	0	0.08	0	0	0	0	1.137	2.98	0.0339	
11-RN-342	84	87	3	0	1.79	1.21	0	0	0	0	0	0	0	1.153	3	0.0346	
11-RN-342	87	90	2.97	0	1.1	1.11	0.42	0	0.18	0.16	0	0	0	2.417	2.97	0.0718	
11-RN-342	90	93	2.95	0	1.16	1.26	0	0	0.3	0.23	0	0	0	2.517	2.95	0.0743	
11-RN-342	93	96	3.04	0	0.89	1.56	0.12	0	0.47	0	0	0	0	1.720	3.04	0.0523	
11-RN-342	96	99	2.91	0	2.49	0.42	0	0	0	0	0	0	0	0.894	2.91	0.0260	
11-RN-342	99	102	3.07	0	2.08	0.47	0.28	0	0.24	0	0	0	0	1.330	3.07	0.0408	
11-RN-342	102	105	3.08	0	2.95	0.13	0	0	0	0	0	0	0	0.792	3.08	0.0244	
11-RN-342	105	108	3.05	0	1.53	0.6	0.38	0	0.19	0.23	0.12	0	0	3.852	3.05	0.1175	
11-RN-342	108	111	2.97	0	1.77	0.17	0.17	0	0.71	0.15	0	0	0	2.222	2.97	0.0660	
11-RN-342	111	114	3.07	0	1.72	1.06	0	0	0	0.29	0	0	0	2.441	3.07	0.0750	
11-RN-342	114	117	2.91	0	1.61	0.47	0.33	0	0.32	0	0.18	0	0	3.589	2.91	0.1045	
11-RN-342	117	120	2.96	0	1.1	0	1.12	0	0	0.57	0.17	0	0	6.502	2.96	0.1925	
11-RN-342	120	123	2.765	0	1.44	1.325	0	0	0	0	0	0	0	1.229	2.765	0.0340	
11-RN-342	123	126	3.015	0	0.35	0.81	0.775	0	1.08	0	0	0	0	2.532	3.015	0.0763	

11-RN-342	126	129	2.925	1.565	0.75	0.34	0.14	0	0	0.085	0	0.045	0	1.845	2.925	0.0540	
11-RN-342	129	132	2.935	0	1.875	0.95	0.11	0	0	0	0	0	0	1.177	2.935	0.0345	
11-RN-342	132	135	3.255	0	1.02	1.86	0.075	0	0.3	0	0	0	0	1.592	3.255	0.0518	
11-RN-342	135	138	2.835	0	1.13	0.7	0.705	0	0.3	0	0	0	0	1.919	2.835	0.0544	
11-RN-342	138	141	2.895	0	2.215	0.54	0.14	0	0	0	0	0	0	1.070	2.895	0.0310	
11-RN-342	141	144	2.475	0	1.57	0.15	0.23	0.09	0.435	0	0	0	0	1.653	2.475	0.0409	
11-RN-342	144	147	3.055	0	0.95	0.85	1.025	0	0.19	0	0	0.04	0	2.801	3.055	0.0856	
11-RN-342	147	150	2.915	0	2.58	0	0.24	0.095	0	0	0	0	0	1.148	2.915	0.0335	
11-RN-342	150	153	2.875	0	2.07	0.195	0	0.255	0.355	0	0	0	0	1.561	2.875	0.0449	
11-RN-342	153	156	2.865	1.285	0.93	0.4	0.215	0	0	0.035	0	0	0	0.934	2.865	0.0268	
11-RN-342	156	159	3.005	0	2.77	0	0.185	0.05	0	0	0	0	0	1.007	3.005	0.0303	
11-RN-342	159	162	2.814	0	2.22	0.262	0.097	0.235	0	0	0	0	0	1.376	2.814	0.0387	
11-RN-342	162	165	2.985	0	2.12	0.26	0.45	0	0.155	0	0	0	0	1.369	2.985	0.0409	
11-RN-342	165	168	3.195	0	0.475	1.285	1.145	0.29	0	0	0	0	0	2.614	3.195	0.0835	
11-RN-342	168	171	3.07	0	1.025	0.785	0.615	0.135	0.51	0	0	0	0	2.161	3.07	0.0664	
11-RN-342	171	174	3	0	0.264	0.568	0.395	0	1.773	0	0	0	0	2.631	3	0.0789	
11-RN-342	174	177	3.2	0.255	1.858	0.47	0.387	0	0	0.23	0	0	0	2.194	3.2	0.0702	
11-RN-342	177	180	3.063	0.644	1.057	0.329	0.75	0	0.283	0	0	0	0	1.581	3.063	0.0484	
11-RN-342	180	183	3.076	1.214	1.32	0.408	0	0	0.128	0	0	0	0.006	0.874	3.076	0.0269	
11-RN-342	183	186	2.831	0	1.373	0.507	0.555	0	0.255	0.137	0	0	0.004	2.501	2.831	0.0708	
11-RN-342	186	189	3.33	0.457	0.633	0.87	1.37	0	0	0	0	0	0	2.040	3.33	0.0679	
11-RN-342	189	192	2.973	0.154	0.608	0.86	1.351	0	0	0	0	0	0	2.250	2.973	0.0669	
11-RN-342	192	195	3.215	0.562	1.036	0.725	0.107	0	0.785	0	0	0	0	1.485	3.215	0.0478	
11-RN-342	195	198	3.117	0.53	1.214	0.83	0.543	0	0	0	0	0	0	1.368	3.117	0.0426	
11-RN-342	198	201	3.09	0	0.452	1.151	0.707	0	0.78	0	0	0	0	2.320	3.09	0.0717	
11-RN-342	201	204	3.175	0	0.658	0.896	0.527	0	1.094	0	0	0	0	2.264	3.175	0.0719	
11-RN-342	204	207	2.985	0	0.934	0.86	0.598	0	0.577	0	0	0	0.016	2.556	2.985	0.0763	
11-RN-342	207	210	3.04	1.643	0.955	0.15	0.228	0	0.054	0	0	0	0.01	0.967	3.04	0.0294	
11-RN-342	210	213	3.152	1.474	0.61	0.583	0.18	0	0.305	0	0	0	0	0.959	3.152	0.0302	
11-RN-342	213	216	3.014	1.941	0.725	0.171	0	0.176	0	0	0	0	0.001	0.663	3.014	0.0200	
11-RN-342	216	219	2.955	0.202	1.069	1.198	0.486	0	0	0	0	0	0	1.556	2.955	0.0460	
11-RN-342	219	222	3.123	0.745	2.314	0	0	0	0.064	0	0	0	0	0.617	3.123	0.0193	
11-RN-342	222	225	2.8	0	0.443	1.098	0.745	0.514	0	0	0	0	0	2.838	2.8	0.0795	
11-RN-342	225	228	3.044	0	0.652	0.422	1.563	0.407	0	0	0	0	0	3.003	3.044	0.0914	
11-RN-342	228	231	3.02	0	0.278	1.892	0.55	0	0.3	0	0	0	0	2.101	3.02	0.0634	
11-RN-342	231	234	3.351	0	0.697	0.692	1.208	0	0.75	0	0	0	0.004	2.570	3.351	0.0861	
11-RN-342	234	237	2.965	0	1.573	1.267	0.117	0	0	0	0	0	0.008	1.554	2.965	0.0461	
11-RN-342	237	240	3	0	0	0.856	2.144	0	0	0	0	0	0	3.001	3	0.0900	
11-RN-342	240	243	3.01	0	0	1.021	1.986	0	0	0	0	0	0.003	3.003	3.01	0.0904	
11-RN-342	243	246	2.906	0	0.869	1.575	0.21	0	0	0.242	0	0	0.01	3.019	2.906	0.0877	
11-RN-342	246	249	2.937	0	0.16	1.25	0.695	0.126	0.476	0.045	0.17	0	0.015	5.124	2.937	0.1505	
11-RN-342	249	252	3.212	0	0.096	0.457	0.139	0	0.12	0	2.4	0	0	26.687	3.212	0.8572	
11-RN-342	252	255	2.821	0	0.657	1.261	0.492	0	0	0.288	0.118	0	0.005	4.740	2.821	0.1337	
11-RN-342	255	258	2.779	0	0.843	0.653	0.884	0.092	0.099	0	0.183	0	0.025	5.262	2.779	0.1462	
11-RN-342	258	261	1.888	0	0.071	0.166	0.146	0	0.292	0.798	0.363	0.052	0	15.501	1.888	0.2927	
11-RN-342	261	264	3.553	0	0.703	1.676	0.351	0	0.434	0.378	0	0	0.011	3.592	3.553	0.1276	
11-RN-342	264	267	2.904	0	0	0.683	1.347	0	0.652	0.214	0	0	0.008	4.089	2.904	0.1188	
11-RN-342	267	270	2.812	0.351	0.497	1.131	0.511	0	0.118	0.204	0	0	0	2.687	2.812	0.0755	
11-RN-342	270	273	3.042	0.317	1.134	0.872	0.575	0	0.063	0.058	0.013	0	0.01	2.269	3.042	0.0690	
11-RN-342	273	276	3.012	0	1.774	0.097	0.583	0.081	0.158	0.302	0	0	0.017	3.563	3.012	0.1073	
11-RN-342	276	279	2.749	0	1.683	0.567	0.381	0	0.118	0	0	0	0	1.434	2.749	0.0394	
11-RN-342	279	282	3.057	0.352	2.032	0.406	0.066	0	0	0.186	0	0	0.015	2.210	3.057	0.0676	
11-RN-342	282	285	3.112	2.346	0.662	0.104	0	0	0	0	0	0	0	0.218	3.112	0.0068	
11-RN-342	285	288	2.958	2.04	0.77	0.13	0	0	0	0	0	0	0.018	0.881	2.958	0.0261	
11-RN-342	288	291	3.05	0	1.2	0.19	0	0	1.66	0	0	0	0	2.037	3.05	0.0621	
11-RN-342	291	294	2.9	0	1.81	0.97	0.103	0	0	0	0	0	0.017	1.764	2.9	0.0512	
11-RN-342	294	297	3.18	1.3	1.13	0.09	0	0.66	0	0	0	0	0	1.561	3.18	0.0497	
11-RN-342	297	300	3.07	0	1.41	0.65	0.19	0	0	0.82	0	0	0	4.938	3.07	0.1516	
11-RN-342	300	303	3.17	0	1.183	1.98	0	0	0	0	0	0	0.007	1.594	3.17	0.0505	
11-RN-342	303	306	3.018	0	0.91	0.82	1.27	0	0	0	0	0	0.018	2.771	3.018	0.0836	
11-RN-342	306	309	3.296	0	1.58	0.36	0.27	0	1.07	0	0	0	0.016	2.297	3.296	0.0757	
11-RN-342	309	312	3.12	0	0.34	0.2	0.14	0	0.25	2.19	0	0	0	11.120	3.12	0.3470	
11-RN-342	312	315	3.18	0	2.36	0.07	0.17	0	0	0.58	0	0	0	3.518	3.18	0.1119	
11-RN-342	315	318	3.25	0.28	2.41	0.56	0	0	0	0	0	0	0	0.858	3.25	0.0279	
11-RN-342	318	321	3.21	0	1.49	0.79	0	0	0.93	0	0	0	0	1.648	3.21	0.0529	
11-RN-342	321	324	2.97	0.35	1.872	0.268	0.48	0	0	0	0	0	0	1.196	2.97	0.0355	
11-RN-342	324	327	3.19	0	1.654	0.346	0.528	0.287	0.375	0	0	0	0	2.050	3.19	0.0654	
11-RN-342	327	330	3.1	0.176	0.308	0.61	2.001	0	0	0	0	0	0.005	2.839	3.1	0.0880	

11-RN-342	330	333	3.093	0.43	1.318	0.25	0.595	0	0.5	0	0	0	0	1.619	3.093	0.0501	
11-RN-342	333	336	3.057	0	0.883	0.6	1.574	0	0	0	0	0	0	2.362	3.057	0.0722	
11-RN-342	336	339	2.85	0	1.34	0.56	0	0	0.945	0	0	0	0	0.005	1.867	2.85	0.0532
11-RN-342	339	342	3	0	1.685	0.28	0.11	0	0.07	0.85	0	0	0	0.005	5.200	3	0.1560
11-RN-342	342	345	2.96	0	2.513	0.44	0	0	0	0	0	0	0	0.007	1.133	2.96	0.0335
11-RN-342	345	348	3.06	0.76	2.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.564	3.06	0.0173
11-RN-342	348	351	3.09	0	2.305	0.78	0	0	0	0	0	0	0	0.005	1.163	3.09	0.0359
11-RN-342	351	354	2.96	0	2.055	0.785	0.12	0	0	0	0	0	0	0	1.127	2.96	0.0334
11-RN-342	354	357	2.89	0	2.493	0.115	0.22	0	0.06	0	0	0	0	0.002	1.115	2.89	0.0322
11-RN-342	357	360	2.94	0	2.42	0	0.24	0	0	0.28	0	0	0	0	2.332	2.94	0.0686
11-RN-342	360	363	3	0.25	2.206	0.54	0	0	0	0	0	0	0	0.004	1.000	3	0.0300
11-RN-342	363	366	2.96	0.2	2.04	0.145	0.37	0	0.202	0	0	0	0	0.003	1.346	2.96	0.0398
11-RN-342	366	369	3	0	2.55	0.18	0.27	0	0	0	0	0	0	0	1.058	3	0.0317
11-RN-342	369	372	3.01	0.45	2.154	0.405	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.805	3.01	0.0242
11-RN-342	372	375	3.19	0.89	2.155	0.145	0	0	0	0	0	0	0	0	0.586	3.19	0.0187
11-RN-342	375	378	2.75	0.4	1.781	0.115	0.16	0	0.28	0	0	0	0	0.014	1.577	2.75	0.0434
11-RN-342	378	381	2.8	0	0.69	0.4	0.3	0	1.408	0	0	0	0	0.002	2.390	2.8	0.0669
11-RN-342	381	384	2.6	0.36	1.89	0.05	0	0	0.3	0	0	0	0	0	0.925	2.6	0.0241
11-RN-342	384	387	2.88	1.76	0.84	0.2	0	0.08	0	0	0	0	0	0	0.507	2.88	0.0146
11-RN-342	387	390	2.94	2.16	0.71	0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0.223	2.94	0.0066
11-RN-342	390	393	3.04	0.75	1.61	0.51	0.05	0.12	0	0	0	0	0	0	0.985	3.04	0.0300
11-RN-342	393	396	2.96	0	2.23	0.68	0.05	0	0	0	0	0	0	0	1.026	2.96	0.0304
11-RN-342	396	399	2.81	0.53	1.18	1.1	0	0	0	0	0	0	0	0	1.000	2.81	0.0281
11-RN-342	399	402	3.066	0.56	1.16	1.34	0	0	0	0	0	0	0	0.006	1.244	3.066	0.0382
11-RN-342	402	405	3.13	0	1.55	1.21	0.37	0	0	0	0	0	0	0	1.462	3.13	0.0458
11-RN-342	405	408	2.89	0.33	2.06	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.837	2.89	0.0242
11-RN-342	408	411	3	0	1.09	0	0	0	1.91	0	0	0	0	0	2.183	3	0.0655
11-RN-342	411	414	3.08	0	2.72	0.36	0	0	0	0	0	0	0	0	0.867	3.08	0.0267
11-RN-372	1.16	3	1.795	0	1.072	0.342	0.115	0	0.262	0	0	0	0	0.004	1.666	1.795	0.0299
11-RN-372	3	6	2.892	0	1.136	0.121	1.473	0.159	0	0	0	0	0	0.003	2.584	2.892	0.0747
11-RN-372	6	9	3.142	0	1.675	1.064	0.311	0	0.092	0	0	0	0	0	1.427	3.142	0.0448
11-RN-372	9	12	3.163	0	2.323	0.625	0.171	0	0.044	0	0	0	0	0	1.128	3.163	0.0357
11-RN-372	12	15	3.076	0	2.269	0.584	0.223	0	0	0	0	0	0	0	1.139	3.076	0.0350
11-RN-372	18	21	3.102	0	0.164	1.168	1.264	0.162	0.342	0	0	0	0	0.002	2.833	3.102	0.0879
11-RN-372	21	24	2.986	0	0.798	0.943	0.486	0	0.478	0.278	0	0	0	0.003	3.300	2.986	0.0985
11-RN-372	24	27	3.008	0	2.526	0.199	0.283	0	0	0	0	0	0	0	1.075	3.008	0.0323
11-RN-372	27	30	2.954	0	2.528	0.207	0.161	0	0.052	0	0	0	0	0.006	1.211	2.954	0.0358
11-RN-372	30	33	3.027	0	1.716	0.785	0.523	0	0	0	0	0	0	0.003	1.583	3.027	0.0479
11-RN-372	33	36	3.193	1.699	1.301	0.189	0	0	0	0	0	0	0	0.004	0.534	3.193	0.0171
11-RN-372	36	39	2.892	0	1.308	0.731	0.759	0	0.068	0.026	0	0	0	0	1.906	2.892	0.0551
11-RN-372	39	42	3.227	0	1.041	0.923	0.447	0	0.75	0.061	0	0	0	0.005	2.363	3.227	0.0763
11-RN-372	42	45	2.982	0	1.291	0.883	0.703	0	0.102	0	0	0	0	0.003	1.871	2.982	0.0558
11-RN-372	45	48	2.98	0	2.45	0.528	0	0	0	0	0	0	0.58	0.002	0.994	2.98	0.0296
11-RN-372	48	51	2.838	0	2.1	0.337	0.401	0	0	0	0	0	0	0	1.257	2.838	0.0357
11-RN-372	51	54	2.98	0	1.028	1.088	0.718	0	0.123	0	0.023	0	0	0	2.135	2.98	0.0636
11-RN-372	54	57	3.003	0	2.074	0.499	0.378	0.037	0	0	0	0	0	0.015	1.823	3.003	0.0547
11-RN-372	57	60	2.819	0	1.603	0.711	0.238	0.254	0	0	0	0	0	0.013	2.165	2.819	0.0610
11-RN-372	60	63	2.945	0	1.43	0.311	0.681	0.449	0.067	0	0	0	0	0.007	2.579	2.945	0.0760
11-RN-372	63	66	3.261	0	1.947	1.182	0.062	0	0	0.052	0	0	0	0.018	1.940	3.261	0.0633
11-RN-372	66	69	3.049	0	1.095	1.437	0.465	0	0	0	0	0	0	0.052	3.333	3.049	0.1016
11-RN-372	69	72	3.004	0	0.735	1.428	0.841	0	0	0	0	0	0	0	1.995	3.004	0.0599
11-RN-372	72	75	2.887	0	0.452	1.672	0	0	0.593	0.167	0	0	0	0.003	2.719	2.887	0.0785
11-RN-372	75	78	2.897	0	1.019	0.792	0.172	0	0.823	0.088	0	0	0	0.003	2.361	2.897	0.0684
11-RN-372	78	81	2.883	0	1.071	0.819	0.769	0	0.142	0.058	0.024	0	0	0	2.450	2.883	0.0706
11-RN-372	81	84	3.052	0	1.264	1.186	0.602	0	0	0	0	0	0	0	1.681	3.052	0.0513
11-RN-372	84	87	2.927	0	1.281	1.132	0.514	0	0	0	0	0	0	0	1.620	2.927	0.0474
11-RN-372	87	90	2.809	0	0.723	1.343	0.216	0	0.519	0	0	0	0	0.008	2.138	2.809	0.0601
11-RN-372	90	93	3.034	0	1.456	1.431	0.122	0	0	0	0.019	1.43	0	0.006	1.743	3.034	0.0529
11-RN-372	93	96	3.063	0	1.279	1.333	0.451	0	0	0	0	0	0	0	1.590	3.063	0.0487
11-RN-372	96	99	2.998	0	1.569	0.474	0.714	0	0.241	0	0	0	0	0	1.744	2.998	0.0523
11-RN-372	99	102	3.019	0	1.043	0.417	1.3	0	0.133	0.124	0	0	0	0.002	2.822	3.019	0.0852
11-RN-372	102	105	3	0	2.501	0.394	0.1	0	0	0	0	0	0	0.005	1.138	3	0.0342
11-RN-372	105	108	2.983	0	2.622	0.139	0	0.222	0	0	0	0	0	0	1.187	2.983	0.0354
11-RN-372	108	111	2.942	0	2.729	0.111	0	0.102	0	0	0	0	0	0	0.970	2.942	0.0285
11-RN-372	111	114	3.033	0	2.1	0.164	0.568	0.201	0	0	0	0	0	0	1.667	3.033	0.0506
11-RN-372	114	117	2.924	0	2.205	0.45	0.194	0	0.075	0	0	0	0	0	1.144	2.924	0.0335
11-RN-372	117	120	3.047	0	2.285	0.555	0.205	0	0	0	0	0	0	0.002	1.182	3.047	0.0360
11-RN-372	120	123	2.875	0	1.701	0.9	0.085	0	0.185	0	0	0	0	0.004	1.427	2.875	0.0410

11-RN-372	123	126	3.017	0	2.085	0.801	0.091	0.04	0	0	0	0	0	1.168	3.017	0.0352	
11-RN-372	126	129	2.858	0	2.338	0.375	0.08	0	0.065	0	0	0	0	1.009	2.858	0.0288	
11-RN-372	129	132	3.027	0	2.583	0.368	0.075	0	0	0	0	0	0.001	0.972	3.027	0.0294	
11-RN-372	132	135	3.106	0	1.656	0.871	0.575	0	0	0	0	0	0.004	1.667	3.106	0.0518	
11-RN-372	135	138	2.817	0	1.796	1.021	0	0	0	0	0	0	0	1.112	2.817	0.0313	
11-RN-372	138	141	3.013	2.15	0.763	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0.248	3.013	0.0075	
11-RN-372	141	144	2.895	1.887	0.91	0.098	0	0	0	0	0	0	0	0.295	2.895	0.0085	
11-RN-372	144	147	2.96	1.091	1.155	0.635	0.079	0	0	0	0	0	0	0.761	2.96	0.0225	
11-RN-372	147	150	2.976	1.256	1.57	0.15	0	0	0	0	0	0	0	0.484	2.976	0.0144	
11-RN-372	150	153	3.029	1.745	0.881	0.403	0	0	0	0	0	0	0	0.451	3.029	0.0137	
11-RN-372	153	156	2.877	1.499	0.82	0.558	0	0	0	0	0	0	0	0.553	2.877	0.0159	
11-RN-372	156	159	2.9	0.487	2.413	0	0	0	0	0	0	0	0	0.624	2.9	0.0181	
11-RN-372	159	162	3.25	0.29	2.638	0.322	0	0	0	0	0	0	0	0.782	3.25	0.0254	
11-RN-372	162	165	2.885	0.134	1.367	1.384	0	0	0	0	0	0	0	1.195	2.885	0.0345	
11-RN-372	165	168	3.015	0.36	1.774	0.881	0	0	0	0	0	0	0	0.953	3.015	0.0287	
11-RN-372	168	171	3.085	0.298	2.217	0.57	0	0	0	0	0	0	0	0.862	3.085	0.0266	
11-RN-372	171	174	2.934	0	2.934	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	2.934	0.0220	
11-RN-372	174	177	2.97	1.18	1.79	0	0	0	0	0	0	0	0	0.452	2.97	0.0134	
11-RN-372	177	180	2.977	1.373	1.089	0.515	0	0	0	0	0	0	0	0.577	2.977	0.0172	
11-RN-372	180	183	2.96	0.299	1.289	1.27	0	0	0.102	0	0	0	0	1.181	2.96	0.0350	
11-RN-372	183	186	3.151	0.34	2.079	0.456	0.22	0	0	0.056	0	0	0	1.259	3.151	0.0397	
11-RN-372	186	189	2.883	0	2.646	0	0	0	0.237	0	0	0	0	0.935	2.883	0.0270	
11-RN-372	189	192	3.04	0	2.934	0.106	0	0	0	0	0	0	0	0.785	3.04	0.0239	
11-RN-372	192	195	3.097	0.18	2.853	0.064	0	0	0	0	0	0	0	0.727	3.097	0.0225	
11-RN-372	195	198	2.971	0	1.898	1.073	0	0	0	0	0	0	0	1.111	2.971	0.0330	
11-RN-372	198	201	2.92	0.856	1.744	0.32	0	0	0	0	0	0	0	0.640	2.92	0.0187	
11-RN-372	201	204	3.064	0.482	2.001	0.581	0	0	0	0	0	0	0	0.822	3.064	0.0252	
11-RN-372	204	207	2.945	0.884	2.061	0	0	0	0	0	0	0	0	0.525	2.945	0.0155	
11-RN-372	207	210	2.92	0	2.68	0.24	0	0	0	0	0	0	0	0.832	2.92	0.0243	
11-RN-372	210	213	2.99	0	2.99	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	2.99	0.0224	
11-RN-372	213	216	2.84	0	2.59	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0.838	2.84	0.0238	
11-RN-372	216	219	2.854	0.152	2.361	0.341	0	0	0	0	0	0	0	0.830	2.854	0.0237	
11-RN-372	219	222	2.949	0	2.949	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	2.949	0.0221	
11-RN-372	222	225	2.918	0	2.918	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	2.918	0.0219	
11-RN-372	225	228	3.185	0.147	3.038	0	0	0	0	0	0	0	0	0.715	3.185	0.0228	
11-RN-372	228	231	3.2	0	3.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	3.2	0.0240	
11-RN-372	231	234	3.095	1.334	1.761	0	0	0	0	0	0	0	0	0.427	3.095	0.0132	
11-RN-372	234	237	3.085	0.523	2.562	0	0	0	0	0	0	0	0	0.623	3.085	0.0192	
11-RN-372	237	240	3.315	0.548	2.767	0	0	0	0	0	0	0	0	0.626	3.315	0.0208	
11-RN-372	240	243	3.006	0.195	2.811	0	0	0	0	0	0	0	0	0.701	3.006	0.0211	
11-RN-372	243	246	3.027	0.383	2.644	0	0	0	0	0	0	0	0	0.655	3.027	0.0198	
11-RN-372	246	249	2.987	0.557	2.43	0	0	0	0	0	0	0	0	0.610	2.987	0.0182	
11-RN-372	249	252	2.912	0	2.912	0	0	0	0	0	0	0	0	0.750	2.912	0.0218	
11-RN-372	252	255	2.93	0.665	2.265	0	0	0	0	0	0	0	0	0.580	2.93	0.0170	
11-RN-372	255	258	2.945	0.147	2.798	0	0	0	0	0	0	0	0	0.713	2.945	0.0210	
11-RN-372	258	261	2.8	1.12	1.68	0	0	0	0	0	0	0	0	0.450	2.8	0.0126	
11-RN-372	261	264	3.12	0.7	2.42	0	0	0	0	0	0	0	0	0.582	3.12	0.0182	
11-RN-372	264	267	2.85	1.865	0.985	0	0	0	0	0	0	0	0	0.259	2.85	0.0074	
11-RN-372	267	270	3.04	0.99	2.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0.506	3.04	0.0154	
11-RN-384	36	39	2.96	0	2.17	0.79	0	0	0	0	0	0	0	1.017	2.96	0.0301	
11-RN-384	39	42	2.974	0	0.45	2.064	0.46	0	0	0	0	0	0	1.869	2.974	0.0556	
11-RN-384	42	45	3.212	0.248	2.669	0.235	0.06	0	0	0	0	0	0	0.817	3.212	0.0262	
11-RN-384	45	48	3.082	0.188	2.654	0.237	0	0	0	0	0	0	0.003	0.878	3.082	0.0271	
11-RN-384	48	51	2.874	0.658	1.233	0.526	0.457	0	0	0	0	0	0	1.199	2.874	0.0344	
11-RN-384	51	54	3.055	0.555	2.305	0	0	0	0	0	0.192	0	0.003	2.864	3.055	0.0875	
11-RN-384	54	57	3.045	0.618	1.502	0.621	0	0	0	0.082	0.222	0	0	3.683	3.045	0.1121	
11-RN-384	57	60	2.935	0	2.65	0.285	0	0	0	0	0	0	0	0.847	2.935	0.0249	
11-RN-384	60	63	2.92	0	2.82	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0.827	2.92	0.0242	
11-RN-384	63	66	2.97	0	2.2	0.77	0	0	0	0	0	0	0	1.009	2.97	0.0300	
11-RN-384	66	69	3.17	0.535	1.308	0.593	0.525	0	0.104	0.105	0	0	0	1.812	3.17	0.0574	
11-RN-384	69	72	2.8	0.216	1.809	0.707	0	0	0	0	0.065	0	0.003	1.846	2.8	0.0517	
11-RN-384	72	75	3.144	0	1.622	1.012	0.32	0	0	0.19	0	0	0	2.213	3.144	0.0696	
11-RN-384	75	78	2.786	0.345	1.388	0.941	0.072	0	0	0	0	0.04	0.04	2.491	2.786	0.0694	
11-RN-384	78	81	3.15	0	2.532	0.27	0.243	0	0	0	0.105	0	0	2.190	3.15	0.0690	
11-RN-384	81	84	2.919	0	1.851	0.841	0	0.152	0.075	0	0	0	0	1.369	2.919	0.0400	
11-RN-384	84	87	2.94	0	1.714	1.012	0.214	0	0	0	0	0	0	1.294	2.94	0.0381	
11-RN-384	87	90	3.032	0.335	1.794	0.648	0	0	0.255	0	0	0	0	1.070	3.032	0.0324	
11-RN-384	90	93	3.008	0	1.053	1.69	0	0	0.265	0	0	0	0	1.510	3.008	0.0454	

11-RN-384	93	96	2.854	0	1.056	0.418	0.288	0	0.863	0.166	0	0.063	0	3.881	2.854	0.1108	
11-RN-384	96	99	2.562	0	0.717	0.756	0.199	0	0.89	0	0	0	0	2.040	2.562	0.0523	
11-RN-384	99	102	2.607	0	0.632	0.781	0.233	0	0.924	0.037	0	0	0	2.295	2.607	0.0598	
11-RN-384	102	105	2.8	0	1.508	0	0.221	0	0.544	0.521	0	0	0.006	4.268	2.8	0.1195	
11-RN-384	105	108	3.033	0	1.423	0.751	0.476	0	0.383	0	0	0	0	1.713	3.033	0.0520	
11-RN-384	108	111	2.733	0	0.078	0.902	0.702	0	1.048	0	0	0	0.003	2.758	2.733	0.0754	
11-RN-384	111	114	2.752	0	0.964	1.458	0.149	0	0.179	0	0	0	0.002	1.647	2.752	0.0453	
11-RN-384	114	117	2.777	0	1.263	0.801	0.625	0	0.088	0	0	0	0	1.729	2.777	0.0480	
11-RN-384	117	120	2.929	0	1.473	1.073	0.191	0	0.19	0	0	0	0.002	1.509	2.929	0.0442	
11-RN-384	120	123	2.817	0	1.768	0.823	0	0	0.226	0	0	0	0	1.223	2.817	0.0344	
11-RN-384	123	126	3.029	0	1.098	0.383	0	0	1.239	0.309	0	0	0	3.250	3.029	0.0985	
11-RN-384	126	129	3.095	0	1.928	0.684	0	0	0.483	0	0	0	0	1.322	3.095	0.0409	
11-RN-384	129	132	2.895	0	1.951	0.799	0	0	0.143	0	0	0	0.002	1.206	2.895	0.0349	
11-RN-384	132	135	2.489	0	0.949	1.089	0	0	0.439	0	0	0	0.012	2.063	2.489	0.0513	
11-RN-384	135	138	2.849	0	1.914	0	0	0	0.661	0.274	0	0	0	2.643	2.849	0.0753	
11-RN-384	138	141	2.898	0	2.134	0	0.138	0	0.345	0.277	0	0	0.004	2.648	2.898	0.0767	
11-RN-384	141	144	2.972	0	2.688	0.116	0	0.016	0.106	0	0.036	0	0.01	1.646	2.972	0.0489	
11-RN-384	144	147	2.885	0	2.481	0.061	0	0.092	0.19	0.054	0	0	0.007	1.594	2.885	0.0460	
11-RN-384	147	150	3.024	0	2.283	0.057	0	0.048	0.631	0	0	0	0.005	1.486	3.024	0.0449	
11-RN-384	150	153	2.954	0	0.657	1.088	0	0.333	0.592	0.221	0.059	0	0.004	4.046	2.954	0.1195	
11-RN-384	153	156	2.89	0	1.13	0.801	0.588	0	0.233	0.138	0	0	0	2.449	2.89	0.0708	
11-RN-384	156	159	2.918	0	1.909	0.096	0	0.039	0.574	0.298	0	0	0.002	2.819	2.918	0.0823	
11-RN-384	159	162	2.775	1.77	0.92	0	0	0.08	0	0	0	0	0.005	0.602	2.775	0.0167	
11-RN-384	162	165	2.855	1.595	1.15	0	0	0.1	0	0	0	0	0.01	0.863	2.855	0.0246	
11-RN-384	165	168	2.8	0.63	1.72	0.45	0	0	0	0	0	0	0	0.742	2.8	0.0208	
11-RN-384	168	171	2.8	0	1.78	0.8	0	0.22	0	0	0	0	0	1.448	2.8	0.0406	
11-RN-384	171	174	3	0	0.6	1	1.4	0	0	0	0	0	0	2.367	3	0.0710	
11-RN-384	174	177	3	0	2.45	0.26	0.23	0.06	0	0	0	0	0	1.153	3	0.0346	
11-RN-384	177	180	2.72	0.86	1.55	0.31	0	0	0	0	0	0	0	0.627	2.72	0.0171	low Chrysotile and none is due to Felsic Dykes from 179.5 to 190.1m
11-RN-384	180	183	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	3	0.0000	
11-RN-384	183	186	3	2.37	0.63	0	0	0	0	0	0	0	0	0.158	3	0.0047	
11-RN-384	186	189	2.85	2.85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	2.85	0.0000	
11-RN-384	189	192	3	1.22	1.78	0	0	0	0	0	0	0	0	0.445	3	0.0134	
11-RN-384	192	195	2.79	0.21	1.77	0.81	0	0	0	0	0	0	0	0.984	2.79	0.0275	
11-RN-384	195	198	2.91	1.49	0.86	0.1	0	0	0.46	0	0	0	0	0.756	2.91	0.0220	
11-RN-384	198	201	2.96	0	2.05	0.74	0.17	0	0	0	0	0	0	1.158	2.96	0.0343	
11-RN-384	201	204	2.75	0	1.585	1.165	0	0	0	0	0	0	0	1.174	2.75	0.0323	
11-RN-384	204	207	2.93	0	2.62	0.1	0.21	0	0	0	0	0	0	0.981	2.93	0.0288	
11-RN-384	207	210	2.995	0.75	2.08	0.115	0	0	0	0.05	0	0	0	0.838	2.995	0.0251	
11-RN-384	210	213	2.875	0	1.47	0.8	0.605	0	0	0	0	0	0	1.607	2.875	0.0462	
11-RN-384	213	216	3.115	0	1.235	1.7	0.18	0	0	0	0	0	0	1.455	3.115	0.0453	
11-RN-384	216	219	3.15	0	2.45	0.64	0.06	0	0	0	0	0	0	1.006	3.15	0.0317	
11-RN-384	219	222	2.895	0	1.66	0.365	0.75	0	0	0.105	0	0.015	0	2.386	2.895	0.0691	
11-RN-384	222	225	2.975	0	0	2.06	0.655	0.065	0	0.195	0	0	0	3.097	2.975	0.0921	
11-RN-384	225	228	2.73	0	0	1.475	0.375	0	0.52	0.3	0.06	0	0	4.415	2.73	0.1205	
11-RN-384	228	231	2.987	0	1.238	1.169	0.409	0	0	0.171	0	0	0	2.334	2.987	0.0697	
11-RN-384	231	234	2.869	0	2.429	0.164	0.074	0.091	0.098	0	0.013	0	0	1.277	2.869	0.0366	
11-RN-384	234	237	3.057	0	2.946	0.029	0.082	0	0	0	0	0	0	0.833	3.057	0.0255	
11-RN-384	237	240	2.993	0	2	0.506	0.179	0.053	0	0.223	0	0.029	0.003	2.863	2.993	0.0857	
11-RN-384	240	243	2.837	0	0.304	0.522	0.262	0	0.533	1.158	0	0.053	0.005	8.616	2.837	0.2444	
11-RN-384	243	246	3.018	0	1.631	0.372	0.421	0	0.582	0	0	0	0.012	2.085	3.018	0.0629	
11-RN-384	246	249	2.919	0	2.268	0.468	0	0	0.182	0	0	0	0.001	1.085	2.919	0.0317	
11-RN-384	249	252	3.001	0	0.233	0.191	0.432	0	1.143	1	0	0	0.002	6.881	3.001	0.2065	
11-RN-384	252	255	3.167	0	0.866	0.573	0.453	0.346	0	0.67	0.247	0	0.012	7.960	3.167	0.2521	
11-RN-384	255	258	2.973	0	2.603	0	0.218	0	0.062	0.058	0	0.028	0.004	1.921	2.973	0.0571	
11-RN-384	258	261	3.051	0	2.109	0.598	0	0	0.249	0.076	0	0	0.019	2.103	3.051	0.0642	
11-RN-384	261	264	2.961	0	2.613	0.263	0.078	0	0	0	0	0	0.007	1.146	2.961	0.0339	
11-RN-384	264	267	3.048	0	2.662	0.386	0	0	0	0	0	0	0	0.877	3.048	0.0267	
11-RN-384	267	270	2.955	0.971	1.956	0	0	0	0	0	0.028	0	0	0.828	2.955	0.0245	
11-RN-384	270	273	3.003	0	2.019	0	0.173	0	0.52	0.284	0	0	0.007	2.877	3.003	0.0864	
11-RN-384	273	276	3.075	0	1.552	0.221	0	0.113	1.111	0	0	0.078	0	3.204	3.075	0.0985	
11-RN-384	276	279	2.857	0	1.144	0.088	0	0	1.262	0	0.363	0	0	6.126	2.857	0.1750	
11-RN-384	279	282	2.645	0	0.203	0	0.116	0	1.082	0.893	0.351	0	0	11.147	2.645	0.2948	
11-RN-384	282	285	2.937	0	2.238	0	0.038	0	0.083	0.578	0	0	0	3.654	2.937	0.1073	
11-RN-384	285	288	2.989	0	2.945	0.044	0	0	0	0	0	0	0	0.765	2.989	0.0229	
11-RN-384	288	291	3.04	0	2.151	0.018	0.043	0	0.564	0	0.173	0.091	0	4.785	3.04	0.1455	
11-RN-384	291	294	2.829	0.684	1.816	0.176	0.094	0	0.043	0.013	0	0	0.003	0.927	2.829	0.0262	
11-RN-384	294	297	2.945	1.5	1.445	0	0	0	0	0	0	0	0	0.368	2.945	0.0108	

11-RN-384	297	300	3.111	1.736	1.278	0.097	0	0	0	0	0	0	0	0.363	3.111	0.0113	
11-RN-384	300	303	2.904	1.778	0.979	0	0.147	0	0	0	0	0	0	0.430	2.904	0.0125	
11-RN-384	303	306	2.978	2.279	0.493	0.204	0	0	0	0	0	0	0.002	0.311	2.978	0.0093	
11-RN-384	306	309	3.039	1.338	1.268	0.215	0.218	0	0	0	0	0	0	0.688	3.039	0.0209	
11-RN-384	309	312	3	0.501	0.897	0.945	0	0	0.657	0	0	0	0	1.433	3	0.0430	
11-RN-384	312	315	2.959	1.134	1.021	0.292	0	0	0	0.512	0	0	0	3.027	2.959	0.0896	
11-RN-384	315	318	2.935	0.514	1.169	0.842	0.072	0	0.33	0	0	0	0.008	1.497	2.935	0.0439	
11-RN-384	318	321	2.93	1	1.065	0.865	0	0	0	0	0	0	0	0.789	2.93	0.0231	
11-RN-384	321	324	3.044	0.979	2.062	0	0	0	0	0	0	0	0.003	0.607	3.044	0.0185	
11-RN-384	324	327	2.986	2.655	0.331	0	0	0	0	0	0	0	0	0.083	2.986	0.0025	
11-RN-384	327	330	2.988	2.218	0.593	0.065	0	0.112	0	0	0	0	0	0.412	2.988	0.0123	
11-RN-384	330	333	3.095	1.978	0.932	0.185	0	0	0	0	0	0	0	0.330	3.095	0.0102	
11-RN-384	333	336	2.873	0.17	1.667	0.336	0.5	0	0	0.2	0	0	0	2.293	2.873	0.0659	
11-RN-384	336	339	2.815	0.836	1.342	0.637	0	0	0	0	0	0	0	0.754	2.815	0.0212	
11-RN-384	339	342	2.89	0	1.095	0.854	0	0	0.766	0	0.175	0	0	3.716	2.89	0.1074	
11-RN-384	342	345	2.806	0	0.145	0.771	0.686	0	1.204	0	0	0	0	2.663	2.806	0.0747	
11-RN-384	345	348	2.945	0	2.253	0.313	0.096	0	0.172	0.106	0	0	0.005	1.759	2.945	0.0518	
11-RN-384	348	351	2.965	0	1.401	0.929	0.523	0	0.096	0	0	0	0.016	2.157	2.965	0.0640	
11-RN-384	351	354	3.01	0	0.681	2.083	0.246	0	0	0	0	0	0	1.667	3.01	0.0502	
11-RN-384	354	357	2.947	0	1.707	1.206	0	0	0	0	0	0.022	0.012	1.968	2.947	0.0580	
11-RN-384	357	360	2.832	0	1.442	0.741	0.127	0	0.522	0	0	0	0	1.550	2.832	0.0439	
11-RN-384	360	363	2.865	0	1.188	1.085	0	0	0.444	0.146	0	0	0.002	2.273	2.865	0.0651	
11-RN-384	363	366	2.78	0	1.92	0.55	0.31	0	0	0	0	0	0	1.254	2.78	0.0349	
11-RN-384	366	369	3.1	0	1.95	0.89	0.21	0	0	0	0.05	0.05	0	2.663	3.1	0.0826	
11-RN-384	369	372	3	0	1.42	1.43	0.055	0	0	0.095	0	0	0	1.728	3	0.0519	
11-RN-384	372	375	3.135	0	2.795	0.225	0.115	0	0	0	0	0	0	0.923	3.135	0.0289	
11-RN-384	375	378	3	0	2.73	0.19	0	0.08	0	0	0	0	0	0.953	3	0.0286	
11-RN-384	378	381	2.965	0	2.46	0.155	0.35	0	0	0	0	0	0	1.127	2.965	0.0334	
11-RN-384	381	384	3.015	0	2.62	0.245	0	0.15	0	0	0	0	0	1.092	3.015	0.0329	
11-RN-384	384	387	3	0	1.99	0.26	0.44	0.23	0.08	0	0	0	0	1.703	3	0.0511	
11-RN-384	387	390	3	0	1.19	1.81	0	0	0	0	0	0	0	1.353	3	0.0406	
11-RN-384	390	393	3	1.215	1.665	0.12	0	0	0	0	0	0	0	0.486	3	0.0146	
11-RN-384	393	396	3	0	2.12	0.67	0.21	0	0	0	0	0	0	1.166	3	0.0350	
11-RN-384	396	399	2.965	2.205	0.56	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0.260	2.965	0.0077	
11-RN-384	399	402	2.767	0	2.18	0.58	0	0	0	0	0	0	0.007	1.211	2.767	0.0335	
11-RN-384	402	405	2.765	0.295	1.04	1.23	0	0	0.2	0	0	0	0	1.278	2.765	0.0353	
11-RN-384	405	408	3.002	0	1.26	1.03	0.08	0.5	0.13	0	0	0	0.002	2.204	3.002	0.0662	
11-RN-384	408	411	2.9	1.76	1.14	0	0	0	0	0	0	0	0	0.295	2.9	0.0086	
11-RN-384	411	414	3	1.51	1.49	0	0	0	0	0	0	0	0	0.373	3	0.0112	
11-RN-384	414	417	2.91	1.93	0.69	0.21	0	0	0.08	0	0	0	0	0.387	2.91	0.0113	
11-RN-384	417	420	2.86	2.36	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0.131	2.86	0.0038	
11-RN-384	420	423	3	0.84	2.16	0	0	0	0	0	0	0	0	0.540	3	0.0162	
11-RN-384	423	426	3.065	2.41	0.55	0.105	0	0	0	0	0	0	0	0.195	3.065	0.0060	
11-RN-384	426	429	2.979	2.491	0.488	0	0	0	0	0	0	0	0	0.123	2.979	0.0037	
11-RN-384	429	432	3.154	2.963	0.191	0	0	0	0	0	0	0	0	0.045	3.154	0.0014	
11-RN-384	432	435	2.905	2.314	0.591	0	0	0	0	0	0	0	0	0.153	2.905	0.0044	
11-RN-384	435	438	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	3	0.0000	
11-RN-384	438	441	3.307	3.121	0.186	0	0	0	0	0	0	0	0	0.042	3.307	0.0014	
11-RN-395	18.6	21	2.325	0	1.466	0.645	0	0	0	0.182	0	0	0.032	3.509	2.325	0.0816	
11-RN-395	21	24	2.93	1.539	1.391	0	0	0	0	0	0	0	0	0.356	2.93	0.0104	
11-RN-395	24	27	2.878	1.649	1.229	0	0	0	0	0	0	0	0	0.320	2.878	0.0092	
11-RN-395	27	30	2.994	0.715	1.037	0.885	0	0	0.357	0	0	0	0	1.135	2.994	0.0340	
11-RN-395	30	33	3.125	0.832	1.249	0.616	0	0	0.318	0.11	0	0	0	1.478	3.125	0.0462	
11-RN-395	33	36	3.456	2.657	0.799	0	0	0	0	0	0	0	0	0.173	3.456	0.0060	
11-RN-395	36	39	2.941	1.282	1.659	0	0	0	0	0	0	0	0	0.423	2.941	0.0124	
11-RN-395	39	42	2.895	1.175	1.463	0.11	0	0	0	0	0.147	0	0	2.223	2.895	0.0643	
11-RN-395	42	45	2.817	0.32	1.356	0	0.37	0	0.619	0	0.152	0	0	3.368	2.817	0.0949	
11-RN-395	45	48	2.936	0.987	0.914	0.46	0	0	0.575	0	0	0	0	1.095	2.936	0.0322	
11-RN-395	48	51	2.691	0	2.312	0	0	0	0.378	0	0	0	0.001	1.103	2.691	0.0297	
11-RN-395	51	54	2.744	0.609	0.873	0.403	0	0	0.858	0	0	0	0.001	1.470	2.744	0.0403	
11-RN-395	54	57	2.949	0.851	2.085	0	0	0	0	0	0	0	0.013	0.971	2.949	0.0286	
11-RN-395	57	60	3.038	0.721	1.251	1.058	0	0	0	0	0	0	0.008	1.182	3.038	0.0359	
11-RN-395	60	63	2.949	1.464	0.533	0.608	0.106	0	0	0.238	0	0	0	1.833	2.949	0.0540	
11-RN-395	63	66	3.027	0.956	1.28	0.708	0	0	0.077	0	0	0	0.006	1.001	3.027	0.0303	
11-RN-395	66	69	3.008	2.228	0.531	0.249	0	0	0	0	0	0	0	0.277	3.008	0.0083	
11-RN-395	69	72	2.97	1.82	0.78	0.13	0	0.24	0	0	0	0	0	0.758	2.97	0.0225	
11-RN-395	72	75	3.07	2.415	0.65	0	0	0	0	0	0	0	0.005	0.322	3.07	0.0099	
11-RN-395	75	78	3.15	2.03	1.09	0	0	0	0	0	0	0	0.03	1.212	3.15	0.0382	

11-RN-395	78	81	2.841	2.84	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.035	2.841	0.0010	
11-RN-395	81	84	2.881	2.88	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.035	2.881	0.0010	
11-RN-395	84	87	2.981	2.98	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.034	2.981	0.0010	
11-RN-395	87	90	3.041	3.04	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.033	3.041	0.0010	
11-RN-395	90	93	2.821	2.82	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.035	2.821	0.0010	
11-RN-395	93	96	2.911	2.91	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.034	2.911	0.0010	
11-RN-395	96	99	3.001	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.033	3.001	0.0010	
11-RN-395	99	102	2.971	2.97	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.034	2.971	0.0010	
11-RN-395	102	103.5	1.461	1.46	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	0.068	1.461	0.0010	
11-RN-397	40.6	42	1.368	0	0.975	0.393	0	0	0	0	0	0	0	1.037	1.368	0.0142	
11-RN-397	42	45	2.924	0.483	2.437	0	0	0	0	0	0	0	0.004	0.762	2.924	0.0223	
11-RN-397	45	48	2.761	1.603	0.899	0.259	0	0	0	0	0	0	0	0.408	2.761	0.0113	
11-RN-397	48	51	3.171	2.598	0.431	0.141	0	0	0	0	0	0	0.001	0.211	3.171	0.0067	
11-RN-397	51	54	2.977	0.823	1.186	0	0	0	0.968	0	0	0	0	1.274	2.977	0.0379	
11-RN-397	54	57	3.006	1.088	1.273	0.369	0	0	0.266	0	0	0	0.01	1.131	3.006	0.0340	
11-RN-397	57	60	2.8	1.22	1.05	0.14	0	0.39	0	0	0	0	0	1.204	2.8	0.0337	
11-RN-397	60	63	2.88	2.08	0.73	0.07	0	0	0	0	0	0	0	0.233	2.88	0.0067	
11-RN-397	63	66	2.9	1.88	0.78	0	0	0	0.24	0	0	0	0	0.450	2.9	0.0131	
11-RN-397	66	69	2.75	0.85	1.78	0.12	0	0	0	0	0	0	0	0.562	2.75	0.0155	
11-RN-397	69	72	2.85	2.1	0.75	0	0	0	0	0	0	0	0	0.197	2.85	0.0056	
11-RN-397	72	75	2.6	1.6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.288	2.6	0.0075	
11-RN-397	75	78	3.172	1.972	1.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0.284	3.172	0.0090	
11-RN-397	78	81	2.83	2.38	0.45	0	0	0	0	0	0	0	0	0.119	2.83	0.0034	
11-RN-397	81	84	2.917	2.077	0.84	0	0	0	0	0	0	0	0	0.216	2.917	0.0063	
11-RN-397	84	87	3.03	2.55	0.48	0	0	0	0	0	0	0	0	0.119	3.03	0.0036	
11-RN-397	87	88.5	1.5	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	1.5	0.0000	

ANNEXE VI

Intervalles recatégorisés du journal de sondage du chrysotile

ANNEXE VI

Intervalles recatégorisés du journal de sondage du chrysotile

Données originales

Trou	Carotte			Réseaux de chrysotile					Chrysotile dans les zones hautement fragmentées				Chrysotile dans les veines / fractures	Calculs		
	Début intervalle	Fin intervalle	Longueur de la carotte	Aucun	Faible	Modérée	Élevée	Intense	Faible	Modérée	Élevée	Intense		% Chrysotile	Longueur total	Longueur de chrysotile
08-RN-94	93	96	2.99	0	1.01	0.424	1.148	0	0	0.303	0	0.105	0	5.121	2.99	0.153
08-RN-94	240	243	3	0	2.02	0	0	0	0.27	0.58	0.04	0.09	0	5.615	3	0.168
11-RN-296	49	51	1.89	0.223	0.353	0.36	0	0	0.564	0.205	0	0.185	0	7.89	1.89	0.149
11-RN-296	54	57	3.117	0.942	0.884	0.931	0.245	0	0	0	0	0.112	0.003	2.903	3.117	0.090
11-RN-296	63	66	3.2	0	0	0	0.41	0	2.225	0	0	0.565	0	11.363	3.2	0.364
11-RN-296	180	183	3.048	1.988	0.284	0	0	0	0.433	0	0.225	0.111	0.007	4.983	3.048	0.152
11-RN-309	147	150	2.882	0	2.769	0	0	0	0.08	0	0	0.033	0	1.376	2.882	0.040
11-RN-309	150	153	3.053	0	2.643	0	0.194	0	0.116	0.054	0	0.026	0.02	2.332	3.053	0.071
11-RN-309	243	246	2.856	0	1.976	0.256	0.474	0	0.1	0	0	0.04	0.01	2.412	2.856	0.069
11-RN-309	450	453	2.867	0.731	1.209	0	0	0	0.624	0.221	0	0.021	0.061	4.619	2.867	0.132
11-RN-334	309	312	3.18	0	0	0.675	0.68	0	0.743	0.309	0.722	0.049	0.002	11.604	3.18	0.369
11-RN-334	312	315	3.036	0	0	0	0.372	1.117	0.176	0	0.508	0.855	0.008	22.677	3.036	0.688
11-RN-342	249	252	3.212	0	0.096	0.457	0.139	0	0.12	0	2.275	0.125	0	25.854	3.212	0.830
11-RN-384	267	270	2.955	0.971	1.956	0	0	0	0	0	0	0.028	0	0.97	2.955	0.029
11-RN-384	366	369	3.1	0	1.95	0.89	0.21	0	0	0	0	0.05	0	2.018	3.1	0.063

Zones hautement fragmentées

Chrysotile dans les zones hautement fragmentées			
Faible	Modérée	Élevée	Intense
0	0.303	0.105	0
0.27	0.58	0.084	0.046
0.564	0.205	0.185	0
0	0	0.112	0
2.225	0.565	0	0
0.433	0	0.336	0
0.08	0	0.033	0
0.116	0.054	0.026	0
0.1	0	0.04	0
0.624	0.221	0.021	0
0.743	0.309	0.731	0.04
0.176	0	1.363	0
0.12	0	2.4	0
0	0	0.028	0
0	0	0.05	0

ANNEXE VII

XRD mineralogy of awaruite and sulphide samples



To:	Robert Salter
From:	Peter Whittaker
CC:	Alger St-Jean
Date:	September 30, 2008
Subject:	XRD mineralogy of awaruite and sulphide samples
Keywords:	

Introduction

Four samples were submitted by Royal Nickel Corporation from the Dumont Ni deposit. The samples were selected to compare mineralogy of awaruite mineralization and sulphide mineralization.

Of primary interest is the identification and distinction of brucite [$\text{Mg}(\text{OH})_2$] from serpentine group minerals [chrysotile, lizardite, antigorite } $(\text{Mg,Fe})_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$] and to check for differences between crushed and air classified products.

Method

X-ray diffraction [XRD - Bruker D8 Advance powder diffractometer] was used to identify the main mineral components, Ni-bearing species are too low in concentration to be detected by XRD for these samples with Ni grades between 0.32% and 0.39% [pers. comm., August 2008, R. Salter]. Raw data files were processed using Rietveld Refinement software [TOPAS] to give mineral weight % values. These values should be used mainly for comparative purposes rather than absolute values. Samples were micronized [McCrone Micronizing Mill] to give a particle size distribution between 5 and 10um which is optimal for diffraction and provides the same particle sizes for measurement for each sample.

The samples analyzed include:

8607	22A awaruite [crushed only]
8608	22A awaruite souverse ATP [air classified]
8609	23B sulphide souverse ATP [air classified]
8610	23B sulphide [crushed only]

XRD Results

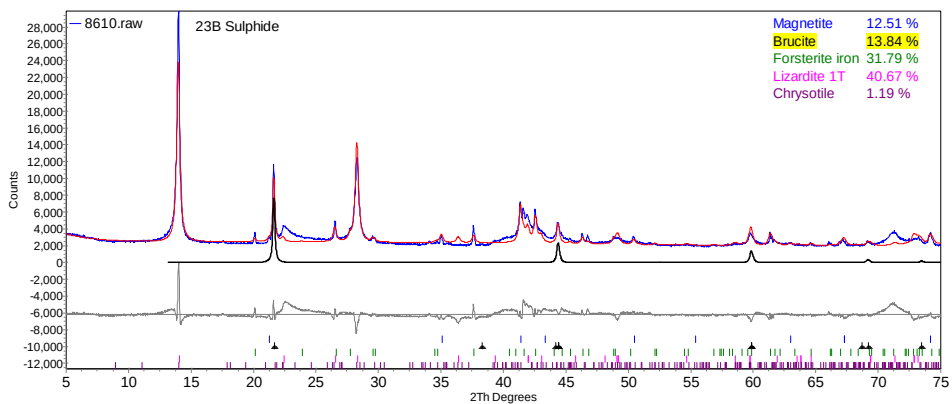
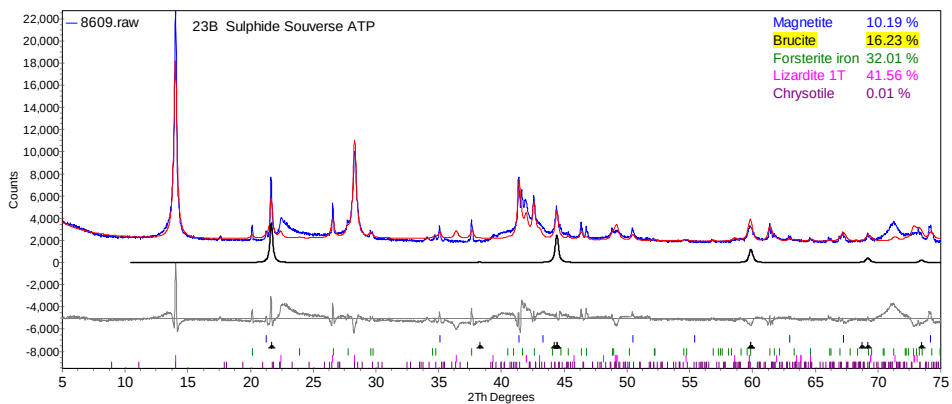
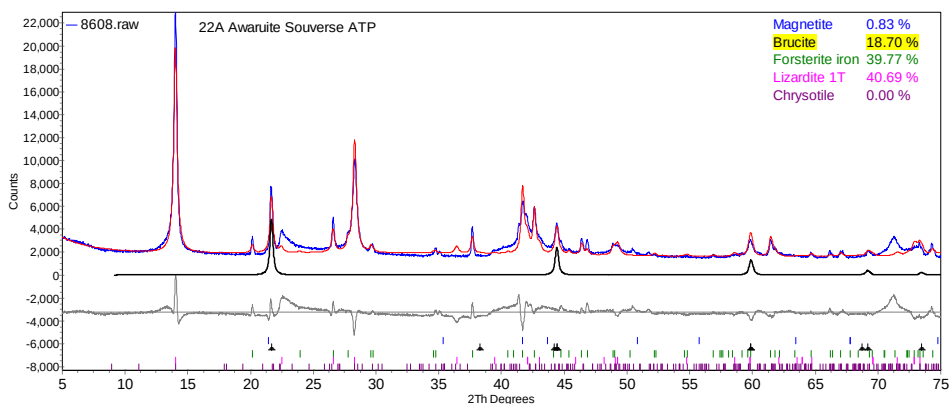
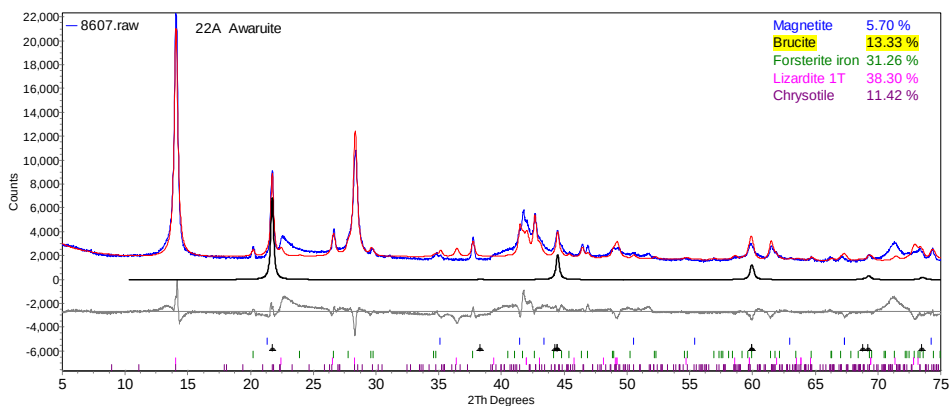
Brucite can be distinguished from lizardite and chrysotile, although the distinction between lizardite and chrysotile can be problematic because of diffraction pattern overlaps. Brucite is a minor mineral in both awaruite and sulphide bearing samples and ranges from 13% to 19%. Brucite is present across all samples measured. Diffraction patterns and mineral weight %'s are attached and given in Table 1.

Brucite contents in the air classified samples [ATP] are 3% to 5% higher than in the crushed samples (Table 1). Air classification has produced a significant increase in brucite content based on comparison of these four samples.

Magnetite content is lower in the awaruite samples [5.70% & 0.83%] compared to the sulphide samples [10.19% & 12.51%]. This may reflect the more reducing conditions where awaruite [alloy] is stable.

Table 1. Comparison of XRD mineralogy [wt.%] between awaruite and sulphide bearing samples and for crushed versus air classified { ATP } products.

	magnetite	brucite	forsterite	Liz. + Chrys.
22A awaruite	5.7	13.3	31.3	49.7
22A aw. ATP	0.8	18.7	39.8	40.7
23B sulph. ATP	10.2	16.2	32.0	41.6
23B sulphide	12.5	13.8	31.8	41.9



xstrata Process Mineralogy, xstrata Process support, Falconbridge, Ontario, Canada P0M 1S0
Tel +1 (705) 693 2761 Fax +1 (705) 6993431 www.xstrata.com

Confidential: Property of Xstrata plc

R-17-2 *AUDIT INDÉPENDANT – MÉTHODE D'ÉVALUATION DU CONTENU EN CHRYSOTILE DÉVELOPÉE POUR LE PROJET DUMONT*

InnovExplo – Experts-Conseils

Mines et Exploration

560, 3^e Avenue,

Val-d'Or, Québec, Canada, J9P 1S4

Tél. : 819 874.0447 Fax : 819 874.0379

Sans frais : 866 749.8140

Courriel : info@innovexplo.com

Site Web : www.innovexplo.com



AUDIT INDÉPENDANT MÉTHODE D'ÉVALUATION DU CONTENU EN CHRYSOTILE DÉVELOPÉE POUR LE PROJET DUMONT

Coordonnées du projet Dumont

Latitude 48°38'N ; Longitude 78°26'O

Canton Launay, Région d'Amos, Québec

Préparé pour



Royal Nickel Corporation

42, rue Trudel

Amos (Québec) Canada J9T 4N1

Préparé par

Rémi Verschelden, Géo. (InnovExplo)

Vincent Jourdain, Ing. (InnovExplo)

11 avril 2013

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE	3
1. INTRODUCTION.....	4
2. MÉTHODE D'ÉVALUATION DU POURCENTAGE DE CHRYSOTILE ÉTABLIE PAR RNC	5
2.1. Réseaux de chrysotile : Autour des grains et dans les petites veines (omniprésentes dans la roche).....	5
2.2. Chrysotile dans les zones hautement fragmentées (Failles)	6
2.3. Chrysotile dans les veines/Fractures (ouvertes ou fermées)	8
2.4. Chrysotile dans les zones non-récupérées de carotte de forage	9
3. PROCÉDURE DU JOURNAL DE SONDAGE ÉTABLIE PAR RNC.....	11
3.1. Préparer la carotte de forage et Ouvrir DHLogger®	11
3.2. Évaluer chaque intervalle de 3 mètres minutieusement	11
3.3. Séparer les intervalles de «Réseaux de chrysotile»	12
3.4. Séparer les intervalles de «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées»	12
3.5. Séparer les intervalles de «Chrysotile dans les veines/fractures»	12
3.6. Mesurer les intervalles et Entrer les données.....	13
3.7. Vérifier la longueur totale de l'intervalle de 3 mètres	13
3.8. Révision, photo et ranger les boîtes de carottes de forage	14
4. REPRODUCTIBILITÉ DES RÉSULTATS	15
5. CONCLUSION.....	18
6. PAGE DE SIGNATURES.....	19
CERTIFICAT D'AUTEUR – RÉMI VERSCHOLDEN	20
CERTIFICAT D'AUTEUR – VINCENT JOURDAIN.....	21

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Valeurs assignées pour les catégories d'intensités de chaque environnement de chrysotile ...	5
Tableau 2 : Valeurs assignées pour les catégories d'intensités de l'environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées» avec nouveaux intervalles	7
Tableau 3 : Liste de tous les forages sélectionnés pour l'étude de RNC.....	15
Tableau 4 : Résultats comparatifs pour les sections de forages évaluées par InnovExplo	16

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE I : MÉTHODES DE QUANTIFICATION DU CHRYSOTILE, 2013 PROJET DUMONT, V.1.2	22
ANNEXE II : PROCÉDURE DU JOURNAL DE SONDAGE DU CHRYSOTILE V.1.02, 22 MARS 2013	64
ANNEXE III : RAPPORT DE QUANTIFICATION DU CHRYSOTILE 2013 V. 1.4, PROJET DUMONT.....	108
ANNEXE IV : TABLE DES RÉSULTATS PAR FORAGE	148
ANNEXE V : CHARTE DES RÉSEAUX DE CHRYSOTILE.....	152
ANNEXE VI : CHARTE CHRYSOTILE DANS LES ZONES HAUTEMENT FRAGMENTÉES	157

SOMMAIRE

Royal Nickel Corporation (« RNC ») a mandaté la firme InnovExplo de Val d'Or pour auditer de façon indépendante une méthode de quantification, une procédure ainsi que la reproductibilité de la méthode d'évaluation du pourcentage de chrysotile développée pour son projet Dumont à Amos.

La méthode développée par RNC a été réalisée pour que la quantification du chrysotile puisse se faire de façon aisée. L'utilisation de la méthode se base sur des paramètres quantitatifs faciles d'utilisation.

La procédure décrivant la prise de mesures et l'évaluation proprement dite du contenu en chrysotile est également facile d'approche. La description de la procédure, accompagnée d'exemples et de chartes photographiques permettent à l'utilisateur d'en arriver facilement à une évaluation rapide et fiable du contenu en chrysotile.

InnovExplo a vérifié trois sections de forages qui comptent pour 161 mètres parmi les 4 064,3 mètres utilisés par RNC pour l'ensemble de leur étude. En utilisant le protocole d'évaluation établi par RNC, InnovExplo a calculé 2,60% de chrysotile pour cette section et RNC 2,97% de chrysotile. La différence entre les deux évaluations est de 0,37% soit une précision de 13,3%. On observe que la variabilité du contenu en chrysotile est importante pour des échantillons de petite taille, mais que pour des échantillons de taille plus importante (un ou plusieurs forages), la variabilité diminue. Il est donc probable que l'estimé du contenu en chrysotile du massif rocheux établi par RNC à partir de nombreux forages soit reproductible avec une précision encore meilleure que dans le présent audit basé sur seulement trois (3) forages.

À notre avis, les résultats obtenus par notre évaluation démontrent bien la rigueur du travail de RNC. Nous sommes d'avis que la méthode a bien été préparée, que la procédure est facile d'utilisation et que la précision qui en résulte font que l'évaluation du pourcentage de chrysotile sur le projet Dumont, telle qu'établie par RNC, est fiable et reproductible.

1. INTRODUCTION

Le 20 février 2013, Royal Nickel Corporation (RNC) a mandaté la firme InnovExplo de Val d'Or pour auditer de façon indépendante une méthode de quantification du contenu en chrysotile récemment développée pour la zone nickélifère du projet Dumont près d'Amos. Dans un premier temps, il nous a été demandé de vérifier et commenter la méthode d'évaluation du pourcentage de chrysotile développée. Ensuite, InnovExplo s'est assuré que les procédures liées à la méthode soient bien décrites et permettaient à quelconque géologue de l'utiliser sans ambiguïté. Finalement InnovExplo a vérifié la reproductibilité de la méthode d'évaluation du chrysotile à partir des forages au diamant des roches du projet Dumont en comparant les données provenant des géologues de RNC à celles d'un des auteurs ayant utilisé les procédures prescrites par RNC.

Cette méthode doit pouvoir évaluer le contenu en chrysotile du projet Dumont avec un certain degré de certitude et de reproductibilité.

2. MÉTHODE D'ÉVALUATION DU POURCENTAGE DE CHRYSOTILE ÉTABLIE PAR RNC

Dans un premier temps, les géologues de RNC ont sélectionné des forages représentatifs des roches du gisement Dumont en s'assurant de refléter une gamme variée d'environnements géologiques et d'intensité de contenu en chrysotile. Trois environnements géologiques dans lesquels le chrysotile se présente ont été identifiés : réseaux de chrysotile; chrysotile dans les zones hautement fragmentées (failles ouvertes) et chrysotile dans les veines/fractures.

Le chrysotile étant un minéral filonien, c'est-à-dire qui cristallise sous forme de veines et veinules, dans des fractures et ouvertures, sous forme filonienne, les auteurs sont d'avis que les trois environnements identifiés correspondent tout à fait à la réalité du projet Dumont.

L'idée dans la démarche entreprise par RNC est simple. Définir pour chacun des environnements des catégories d'intensité auxquelles sera attribué un pourcentage de chrysotile prédéfini. Lors de la description, le géologue mesurera un intervalle en lui attribuant une catégorie et une intensité. La teneur en chrysotile sur l'intervalle donné sera automatiquement calculée par un tableur élaboré spécialement pour l'opération.

Tableau 1 : Valeurs assignées pour les catégories d'intensités de chaque environnement de chrysotile

Environnements de chrysotile	Catégories d'intensités (Gamme de pourcentage)	Valeurs assignées aux catégories d'intensité
<i>Réseaux de chrysotile</i>	Aucun (0 à 0.1%)	0%
	Faible (0.1 à 1%)	0.75%
	Modérée (1 à 2.5%)	1.75%
	Élevée (2.5 à 4.5%)	3.50%
	Intense (4.5 à 7%)	6%
<i>Chrysotile dans les zones hautement fragmentées</i>	Faible (1 à 10%)	3%
	Modérée (10 à 25%)	15%
	Élevée (25 à 40%)	35%
	Intense (40 à 70%)	55%
<i>Chrysotile dans les veines/fractures</i>	70 à 100% chrysotile	100%

Voici, plus en détails, comment ces trois types d'environnements ont été décrits.

2.1. Réseaux de chrysotile : Autour des grains et dans les petites veines (omniprésentes dans la roche)

Les réseaux de chrysotile sont décrits comme des zones à filonnets ou à texture de filonnets en treillis enveloppant les cristaux d'olivine ou de pyroxènes ainsi que sous forme de petites veinules millimétriques à submillimétriques traversant la roche. Une fois cet environnement décrit, les géologues ont fait des estimations visuelles des pourcentages de chrysotile pour

plusieurs intensités, de façon à refléter différentes catégories de gammes de pourcentages (voir Tableau 1).

L'estimation visuelle des pourcentages est une procédure commune en géologie pour l'estimation du contenu des minéraux. De façon à vérifier et à appuyer leurs estimations, les géologues de RNC ont pris des photographies représentatives de chacune des intensités choisies. Les photos sont ensuite traitées dans le logiciel Photoshop® pour en déterminer le pourcentage de pixels pâles et ainsi donner un pourcentage plus exact du contenu en chrysotile. Le chrysotile est un minéral de couleur pâle relativement contrastant lorsqu'il est présent dans une roche foncée, comme c'est le cas dans la dunite et la pyroxénite présente sur le projet Dumont. RNC a pu ainsi valider que les estimations visuelles des géologues se trouvent à l'intérieur des gammes de pourcentage établies. Des photographies furent rassemblées pour former une charte de différentes intensités auxquelles un pourcentage de chrysotile fut assigné. En effet, plutôt que de donner un pourcentage précis pour différent cas, c'est plutôt une moyenne de pourcentage qui est assignée à une certaine catégorie d'intensité du réseau de chrysotile (Voir Annexe I, Méthode de quantification du chrysotile, v. 1.2). L'utilité de ces chartes est illustrée plus loin dans l'application de la procédure et de l'utilisation des pourcentages assignés dans le calcul du pourcentage de chrysotile.

Pour l'environnement défini comme « réseau de chrysotile », les auteurs sont d'avis que la démarche entreprise par RNC pour estimer le pourcentage de chrysotile est valable et bien appuyée par des observations répétées par plusieurs géologues différents. Elle est aussi appuyée par une méthode plus objective (le logiciel Photoshop®) qui permet de valider l'estimation visuelle et de confirmer que le travail entrepris est tout à fait valable et fiable.

RNC mentionne également une certaine surévaluation en raison de la difficulté à discerner certains minéraux blancs les uns des autres. La brucite, certaines formes de serpentine, le talc et des carbonates cohabitent avec le chrysotile et il peut souvent être hasardeux de les différencier correctement, surtout dans le cas de réseaux de fines veinules qui ont moins d'un millimètre d'épaisseur. Les géologues de RNC ont convenu de considérer alors que tous les minéraux blancs observés sont du chrysotile. Si d'autres minéraux blancs autres que le chrysotile sont présents, il en résultera évidemment une surévaluation du contenu en chrysotile. InnovExplo est d'avis que cette pratique de surévaluation du chrysotile est préférable à une sous-évaluation.

2.2. Chrysotile dans les zones hautement fragmentées (Failles)

Cette catégorie correspond à des failles et fractures ouvertes et cassantes (« rubble zones ») où la roche se présente sous forme très fracturée, en grenaille, en sable et même en boue. La nature très fragmentée de la roche, la présence de chrysotile en plaquage, en grenaille et dans la boue ou le sable sans oublier une certaine perte de matériel par lessivage dans les eaux de forages font en sorte que l'estimation visuelle ne soit pas aussi directe qu'envisagée au départ.

Des essais d'estimation pour certaines sections sélectionnées, réalisés par différents géologues de RNC, montrent que les pourcentages estimés varient beaucoup d'un individu à l'autre. InnovExplo est d'avis que pour ce type d'environnement, aucune autre méthode que l'estimation visuelle ne peut mesurer le contenu en chrysotile dans la roche.

De la même façon que dans l'environnement précédent, des catégories d'intensité ont été définies par les géologues de RNC selon une certaine variation de pourcentage de chrysotile. Puis, pour chacune des catégories d'intensité, une valeur a été assignée. Ces valeurs ont été choisies en fonction d'une moyenne des estimations faites par l'ensemble des géologues (Tableau 1).

Pour les catégories d'intensité « Élevée » à « Intense », seulement deux intervalles avaient été évalués pour chacune de ces deux catégories, ce qui est peu. Étant donné que ces catégories, dont la valeur assignée est « Élevée », pouvaient avoir une incidence sur le pourcentage final de chrysotile dans un secteur donné, il a été décidé d'évaluer de nouveaux intervalles. Après cet ajout, l'estimation et les valeurs assignées ont été ajustées à la hausse, pour mieux refléter l'ensemble des catégories. Ainsi, pour l'intensité « Élevée », la valeur moyenne est passée de 33% à 35% et de 50% à 55% pour l'intensité « Intense » (Tableau 2).

Les auteurs estiment que l'évaluation des intensités « Élevée » à « Intense » est mieux représentée avec un nombre supérieur d'intervalles étudiés. InnovExplo est également d'avis que le fait d'avoir fait passer les valeurs assignées à un pourcentage supérieur, basé sur de vraies observations d'une population élargie d'exemples, rehausse notre confiance en l'estimation posée, même si une certaine surévaluation pourrait être introduite. Il est à remarquer que de façon tout à fait consciente, une légère surestimation a d'ailleurs été introduite dans l'évaluation des intervalles hautement fragmentés. En effet, il a été observé que les estimations différaient beaucoup d'un individu à l'autre et, par surcroît, les fourchettes de pourcentages sont étalées. Il a alors été convenu par les géologues de RNC de placer l'évaluation d'un intervalle qui se trouve près de la limite supérieure d'une gamme d'intensité dans la catégorie supérieure suivante. InnovExplo est d'accord avec cette approche conservatrice.

Tableau 2 : Valeurs assignées pour les catégories d'intensités de l'environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées» avec nouveaux intervalles

	Nombre de photo utilisée avant ajustement	Nombre de photo utilisée après ajustement	Valeurs assignées précédentes (% Chrysotile)	Valeurs assignées ajustées (% Chrysotile)	Gammes de pourcentage assignées (% Chrysotile)
Faible	6	6	3%	3%	1% à 10%
Modérée	6	6	15%	15%	10% à 25%
Élevée	2	5	33%	35%	25% à 45%
Intense	2	5	50%	55%	45% à 70%

Puisque les valeurs assignées à l'environnement « Chrysotile dans les zones hautement fragmentées » venaient d'être modifiées pour les catégories d'intensité « élevée » et « intense », les géologues de RNC ont procédé à une vérification des évaluations des pourcentages de chrysotile dans ces catégories. À la lumière de cette vérification et puisque certains intervalles passaient à des catégories inférieures, il a été jugé opportun de réévaluer l'ensemble des 45 intervalles d'intensité « intense ». Après la nouvelle évaluation, 15 des 45 intervalles sont passés à des catégories d'intensité inférieures. Selon RNC, ces ajustements modifient le pourcentage final de chrysotile pour l'ensemble du projet par quelques centièmes de un pourcent.

Dans ce dernier exemple, les géologues de RNC ont montré un souci de vérifier de nouveau leurs données à partir de nouveaux éléments. Même si au final, l'estimation du pourcentage de chrysotile pour l'ensemble du projet ne s'en trouve que faiblement ajusté, les auteurs sont d'avis que cette bonne pratique ne fait que consolider la confiance en l'évaluation finale du pourcentage de chrysotile.

S'il est vrai qu'un travail méticuleux doit être fait pour l'ensemble de cette procédure, il est important de noter qu'une attention particulière doit être portée aux évaluations des zones hautement fragmentées. Les pourcentages de chrysotile attribués à ces catégories sont en effet très élevés. Une erreur de mesure, une mauvaise catégorisation d'un géologue à l'autre ou l'entrée d'une donnée dans une mauvaise catégorie ont des répercussions plus grandes que dans la catégorie réseau de chrysotile, où les valeurs attribuées sont beaucoup plus faibles.

À la page 36 de l'Annexe I, « Méthodes de quantification du chrysotile, 2013, Projet Dumont, Amos, Qc, V. 1.2 », il serait préférable de clarifier le paragraphe suivant, dont l'interprétation est confuse :

«La réévaluation interne des zones hautement fragmentées de la catégorie d'intensité «Intense» diminue le pourcentage de chrysotile, à la fois, sur les trous sélectionnés et sur l'ensemble du projet. Cet ajustement augmente la valeur dans l'ordre de grandeur du centième de pourcent. »

2.3. Chrysotile dans les veines/Fractures (ouvertes ou fermées)

Cet environnement géologique correspond à des veinules et veines qu'il est possible de mesurer à l'aide d'une règle graduée en millimètre. Comme mentionné par RNC, c'est la façon la plus exacte de mesurer le contenu de chrysotile dans un intervalle donné. Lorsque la veine est dans un angle fort avec l'axe de la carotte, on mesure son épaisseur moyenne. Dans les cas où la veine ou la veinule traverse la carotte selon un angle faible, RNC a établi un calcul aisé qui permet de mesurer le contenu total de la veine sur l'ensemble de l'intervalle. Il apparaît qu'il est important de faire une bonne mesure de l'épaisseur moyenne de la veine en question pour

que l'évaluation soit valable. En pratique, la plupart des veinules de chrysotile observées par InnovExplo lors de son évaluation étaient de l'ordre de 2 à 4 millimètres d'épaisseur, tout au plus. Il peut être compris qu'à moins que les veinules ne soient très nombreuses sur l'intervalle évalué (ce qui n'a jamais été observé), que ce n'est pas 2 ou 3 millimètres de chrysotile sur un intervalle de 3 mètres (3 000mm) qui feront varier considérablement le résultat pour cet intervalle. Comme il pourrait être difficile d'évaluer le pourcentage de chrysotile dans une telle veine, même si elles sont plus épaisses que dans le cas des réseaux de chrysotile, les géologues de RNC ont convenu de considérer qu'elles étaient constituées à 100% de chrysotile. Toutefois, si le géologue peut identifier la nature des minéraux blancs présents dans la veine, il pourrait ajuster l'épaisseur de la veine mesurée par rapport à son observation du contenu en chrysotile.

Encore une fois, InnovExplo est d'avis que les géologues de RNC font preuve de prudence en introduisant une faible surévaluation du contenu en chrysotile de tels intervalles.

2.4. Chrysotile dans les zones non-récupérées de carotte de forage

Les géologues de RNC estiment que 1,5% de la longueur des treize (13) forages utilisés dans cette étude n'a pas été récupérée pour diverses raisons (failles, zones fortement fracturées, veines d'eau, pertes lors de la manipulation de carotte, etc.). L'évaluation du contenu en chrysotile dans ces intervalles non-récupérés demeure problématique.

Après avoir discuté des possibilités de types d'environnements favorisant la perte de carotte, RNC en est arrivé à l'estimation que 25% des intervalles de carottes perdues devaient provenir de secteurs fortement fracturés à contenu « Élevé » en chrysotile. Selon les estimés établis par RNC, un contenu « Élevé » dans une zone hautement fracturée correspond à 35% de chrysotile pour cet intervalle, ce qui correspond également aux observations du contenu en chrysotile d'une zone de veine ou de faille boueuse. Ces deux derniers environnements sont en effet susceptibles d'être « lavés » et perdus par les opérations de forage.

InnovExplo est d'avis, tout comme les géologues de RNC, qu'il est important de ne pas considérer ces intervalles comme étant exempts de chrysotile. Nous croyons aussi qu'il est opportun de leur attribuer un contenu en chrysotile relativement élevé étant avisés des environnements géologiques favorisant la perte de roche. L'addition d'une certaine quantité de chrysotile dans ces intervalles non-récupérés doit se faire automatiquement, en se basant sur des informations réalistes, puisqu'elle ne peut pas être évaluée visuellement.

La valeur attribuée de ces intervalles est calculée à 35% de chrysotile sur 25% des intervalles de carotte perdue ou non-récupérée. Ceci correspond à un taux de 8,75% de chrysotile pour l'ensemble des intervalles de carotte perdue. Comme il a été mentionné dans le document décrivant la méthode de quantification préparée par RNC (Annexe I), l'ensemble des zones de carottes de forage non récupérées génèrent une augmentation de 0,11% de chrysotile pour l'ensemble du volume évalué, ce qu'InnovExplo juge raisonnable. Ce calcul fait parti du tableau servant au calcul final du pourcentage de chrysotile pour le massif rocheux du projet Dumont.

N.B. Dans le Tableau 3, p. 29 du Rapport de journal de sondage (Annexe III), il devrait être lu « carotte non-récupérée » plutôt que « chrysotile non-récupérée ».

Dans la dernière partie de la description de la méthode, RNC fait une discussion de l'approche utilisée et introduit le lecteur à la table de calcul utilisée dans le logiciel DHLogger®.

« Une table a été créée dans DH Logger® où chaque catégorie d'intensité pour chaque environnement de chrysotile est représentée et qui va servir comme base de données pour le journal de sondage du chrysotile. Elle permet l'entrée des données et calcule automatiquement le pourcentage de chrysotile pour chaque intervalle de 3m. »

Bien que cette table soit disponible, que son utilisation soit aisée et que les calculs simples qui y sont opérés ne soient en aucune façon contredits, les auteurs sont d'avis qu'il est important d'en faire état dans cette section. InnovExplo recommande que des exemples de calculs du contenu en chrysotile et des moyennes pondérées pour quelques-unes des catégories soient exposées et citées en exemple.

3. PROCÉDURE DU JOURNAL DE SONDAGE ÉTABLIE PAR RNC

L'Annexe II présentée par RNC correspond à un recueil des procédures à suivre pour la description d'une carotte de forage du projet Dumont dans le but d'en évaluer correctement le pourcentage en chrysotile.

La procédure nous a été présentée en cahier plastifié et boudiné, facilitant son utilisation dans l'environnement de la carothèque. Elle reprend point par point et systématiquement, les manipulations, observations et entrées de données nécessaires à la bonne conduite de l'évaluation du chrysotile.

Voici les premières étapes de la procédure, telles que décrites par RNC.

3.1. Préparer la carotte de forage et Ouvrir DHLogger®

Il s'agit ici d'étaler la carotte de forage sur les tables de description et de laver l'ensemble de la carotte méticuleusement avec de l'eau, en s'abstenant de laver les zones fortement fragmentées. Cette étape est cruciale, car les boues de forages ou les résidus de sciage de carotte collent sur la roche et empêcheraient une estimation adéquate du chrysotile. Cette étape doit se faire tôt car il prendra un certain temps à la roche à sécher de nouveau. L'évaluation du pourcentage de chrysotile doit se faire sur la carotte sèche car la surface mouillée est assombrie et les contrastes nécessaires à la bonne conduite de l'opération disparaissent. Il faut ensuite s'assurer de bien replacer les morceaux de carottes pour « rassembler le casse-tête » et replacer la carotte pour que les morceaux reflètent le mieux possible la longueur réelle de la carotte. Le géologue devra également s'assurer que les blocs repères soient bien présents et à leur place. Ces blocs repères sont placés à chaque 3 mètres par les foreurs et serviront de limites aux intervalles qui seront évalués. Dans le cas où les blocs seraient absents, les inscriptions de profondeurs sur les étiquettes placées par les échantillonneurs ou certains repères inscrits directement sur les boîtes au crayon gras pourront, dans la plupart des cas, permettre de bien localiser les échantillons de 3 mètres dans les boîtes.

Le géologue pourra également ouvrir le logiciel DHLogger® et faire l'importation sur son poste de travail des fichiers et tables correspondants au forage à décrire.

3.2. Évaluer chaque intervalle de 3 mètres minutieusement

La procédure établie par RNC pour cette section inclut un rappel des propriétés physiques et des critères d'identification du chrysotile. Il en est de même pour les minéraux pâles cohabitant avec le chrysotile sur le projet Dumont et pour lesquels une distinction est nécessaire (talc, magnésite et brucite). Les tests discriminatoires couramment utilisés (dureté, réaction à un acide faible, aspects morphologiques, éclat, textures, etc.) sont passés en revue pour l'ensemble des minéraux visés par ce rappel.

Le géologue pourra ensuite, avant d'entrer dans la procédure d'évaluation proprement dite, identifier les régions contenant du chrysotile pour quelques intervalles de 3 mètres à décrire. Il pourra également estimer grossièrement le contenu en chrysotile de ces intervalles de 3 mètres à décrire. Une fois les estimations réalisées, il pourra comparer son estimation au résultat obtenu et comparer. InnovExplo est d'avis que cette étape simple permet au géologue de poser un regard critique sur l'estimation qu'il vient de réaliser. S'il y a lieu, le géologue pourra apporter les correctifs nécessaires pendant la réalisation de l'estimation plutôt que d'être obligé de revenir sur le travail accompli.

3.3. Séparer les intervalles de «Réseaux de chrysotile»

Lorsque la chrysotile a bien été identifiée dans quelques intervalles de 3 mètres, il s'agit maintenant de bien séparer et d'identifier les intervalles selon l'environnement reconnu. De façon à éviter les confusions lors de la mesure subséquente des sous-intervalles, une couleur de crayon gras a été attribuée à chacun des environnements : blanc pour les réseaux de chrysotile, vert pour les zones hautement fragmentées et orange pour l'identification des veines. Une fois cette étape réalisée, il faudra subdiviser chacun des environnements selon l'intensité de leur contenu en chrysotile. L'utilisateur pourra se référer aux chartes d'intensité des environnements, disponibles dans le cahier de procédure ou affichées à la carothèque. Pour la catégorie « réseau de chrysotile », une lettre correspondant à l'intensité sera placée à droite de la ligne débutant l'intervalle : « N » pour none/aucun; « W » pour weak/faible; « M » pour moderate/moyennement; « H » pour highly/fortement et « I » pour intense.

3.4. Séparer les intervalles de «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées»

Pour la catégorie « zone hautement fragmentée », le même exercice doit être fait, mais en indiquant plutôt la lettre d'intensité correspondante à gauche de la ligne du début de l'intervalle (puisque la carotte est fragmentée dans l'intervalle) ou directement sur la bordure de la boîte de carotte dans le cas où un long intervalle fortement fragmenté devra être sous divisé.

3.5. Séparer les intervalles de «Chrysotile dans les veines/fractures»

Pour la catégorie « chrysotile en veines/fractures », il suffira de placer deux traits orange parallèles aux bordures de la veine pour bien indiquer qu'elle devra être mesurée.

Cette étape de l'évaluation du contenu en chrysotile est cruciale et doit être réalisée rigoureusement. Chacune des catégories d'intensité sera par la suite mesurée. Le produit du pourcentage attribué par la longueur mesurée déterminera du contenu final en chrysotile de l'intervalle. Les photographies de cette étape qui sont présentées dans le document de procédure établi par RNC illustrent très bien la façon de procéder.

3.6. Mesurer les intervalles et Entrer les données

Il s'agit ici de mesurer, au millimètre près, la somme de chacun des intervalles de chacune des catégories d'intensité pour chacun des environnements identifiés et d'inscrire la longueur obtenue dans la case correspondante de la feuille de calcul. De façon à ne pas oublier de catégories et à ne pas entrer de données au mauvais endroit, les géologues de RNC ont pris l'habitude d'inscrire un zéro (« 0 ») dans les champs où aucune mesure n'a été prise. Cette pratique permet de minimiser les erreurs en plaçant les intervalles mesurés dans les bonnes catégories d'intensité.

3.7. Vérifier la longueur totale de l'intervalle de 3 mètres

Une fois que les mesures d'intervalles individuels auront été inscrites dans la table de données, on mesurera la longueur totale de roche pour l'ensemble de la section de 3 mètres, au millimètre près. Cette mesure doit aussi être entrée dans la table (core length) et doit être comparée avec la colonne qui affiche la somme de tous les intervalles mesurés pour chaque catégorie d'intensité (total length) pour la section de 3 mètres. Si la différence est plus grande que 5 cm (0,050m), une vérification des mesures devra être réalisée.

Cette étape permet une validation du travail du géologue et assure une rigueur d'exécution pendant la prise de données. Il importera de ne pas oublier d'intervalles de faible épaisseur et de bien s'assurer que toutes les mesures auront été prises correctement. Il va sans dire que ce travail doit être fait rigoureusement et systématiquement.

Le géologue pourra finalement comparer la valeur obtenue par la procédure avec son estimation visuelle faite à la première étape. Toujours de façon à valider le travail fait, si l'écart entre les deux valeurs est trop important, le géologue verra à trouver la raison de cette différence et à rectifier la situation.

Une colonne affichant la différence de longueur entre ces deux valeurs devrait être préalablement insérée dans la table de calcul et les deux colonnes « core length » et « total length » placées côte à côte pour mieux visualiser les possibles différences. Aussi, il serait pertinent de nommer les colonnes apparaissant dans le logiciel DHLogger® de la même façon que ce qui est indiqué dans les chartes d'intensité, pour éviter la confusion entre les groupes d'intensité de chaque catégorie. Au besoin, il suffira d'utiliser des abréviations, qui utilisent moins de caractères mais dont l'orthographe devra être rigoureusement utilisée et maintenue dans les tableaux et les textes explicatifs.

3.8. Révision, photo et ranger les boîtes de carottes de forage

Finalement, avant de déplacer les boîtes de carottes et de passer aux étapes suivantes, le géologue devra s'assurer de vérifier l'intégrité des données récoltées :

- vérifier la table de calculs pour s'assurer qu'aucune erreur n'est survenue lors de l'entrée des données (parcourir les différentes colonnes de la section étudiée) ;
- vérifier la colonne « % chrysotile » et déceler les pourcentages élevés pour ensuite vérifier s'ils correspondent avec leurs intervalles de 3 m ;
- vérifier si tous les intervalles de 3 mètres ont été évalués.

Le géologue devra ensuite prendre en photo les sections pour lesquelles le pourcentage de chrysotile aura été estimé. De cette façon, les banques de photos de RNC comprendront les photos des boîtes de carottes prises à la sortie de la foreuse et avant l'intervention des géologues; après les journaux de sondages usuels de carottes réalisés (logs); après les estimations du contenu en chrysotile. Cette pratique permet de revenir facilement à la carotte de forage en consultant les photographies pour faire des vérifications. Les auteurs sont d'avis que cette étape est essentielle et bien intégrée dans la pratique de la procédure décrite.

Une fois ces étapes complétées, les boîtes de carottes pourront être rangées dans leurs étagères ou empilées sur des palettes pour entreposage.

4. REPRODUCTIBILITÉ DES RÉSULTATS

Le travail d'audit et de vérification de la procédure préparée par RNC avait pour but ultime de vérifier la reproductibilité des résultats obtenus. En fonction de cet objectif, l'un des auteurs a procédé de façon indépendante à la description de trois (3) sections choisies de forages différents en suivant la procédure établie par RNC. Les résultats obtenus sont présentés au Tableau 4 et plus en détails à l'Annexe IV.

Le Tableau 3 présente la liste des forages choisis par domaine (domaines structuraux et métallurgiques, tel que présenté par RNC dans son document « Rapport de quantification du chrysotile 2013, V. 1.4, Projet Dumont; Amos, Qc.; Annexe III »). Les forages décrits par InnovExplo lors de la vérification de la procédure de RNC sont présentés en gras et surlignés.

Tableau 3 : Liste de tous les forages sélectionnés pour l'étude de RNC
En gras surligné, forages vérifiés par InnovExplo

Trous de forage sélectionnés pour la phase 1	Lithologies	Domaines structuraux	Domaines Métallurgiques
08-RN-94	Péridotite supérieure, Dunite	Domaine 3	Pentlandite dominante (Type 3)
11-RN-257	Dunite, Péridotite inférieure	Domaine 6	Heazlewoodite dominante (Type 1)
<u>11-RN-268</u>	Péridotite supérieure, Dunite	Domaine 6	Heazlewoodite dominante (Type 1)
11-RN-286	Dunite	Domaine 3	Pentlandite dominante (Type 5)
11-RN-296	Dunite, Péridotite inférieure	Domaine 3	Pentlandite dominante (Type 4)
<u>11-RN-300</u>	Dunite	Domaine 3	Pentlandite dominante (Type 5)
11-RN-309	Péridotite supérieure, Dunite	Domaine 4	Pentlandite dominante (Type 4)
<u>11-RN-334</u>	Péridotite supérieure, Dunite	Domaine 5	Pentlandite dominante (Type 3)
11-RN-342	Péridotite supérieure, Dunite	Domaine 4	Heazlewoodite dominante (Type 1)
11-RN-372	Péridotite supérieure, Dunite, Péridotie inférieure	Domaine 1	Heazlewoodite dominante (Type 1)
11-RN-384	Péridotite supérieure, Dunite, Péridotie inférieure	Domaine 2	Combinaison (Type 2)
11-RN-395	Péridotite inférieure	Domaine 5	-
11-RN-397	Péridotite inférieure	Domaine 5	-

La procédure de RNC et l'ensemble des annexes l'accompagnant furent consultés avant le début de la vérification. L'un des auteurs de l'audit a utilisé les installations de la carothèque de RNC mise à sa disposition les 16, 17 et 18 mars 2013.

M. Arnaud Fontaine, géologue chez RNC, s'est rendu disponible pendant la vérification de la procédure. Il a au préalable transmis toutes les informations nécessaires à l'apprentissage des étapes de la procédure. Il s'est assuré que la procédure soit bien assimilée et qu'elle soit réalisée de la même façon que par les autres géologues et selon les normes établies par RNC. Selon InnovExplo, cette étape est fondamentale. La transmission du savoir de la bonne pratique de la procédure doit être réalisée par un géologue familier avec celle-ci. RNC emploie présentement un bon nombre de géologues ayant travaillé sur l'estimation du contenu en chrysotile. Ceux-ci ont d'ailleurs travaillé ensemble pendant la description des treize (13) forages sélectionnés pour l'étude. InnovExplo est d'avis que la façon de travailler en équipe utilisée par RNC lors de la description de ces forages a permis de maintenir une homogénéité dans les estimations du contenu en chrysotile. Par la pratique utilisée dans le choix des intensités et l'estimation des pourcentages, telle que présentée dans le rapport « Méthodes de quantification du chrysotile, 2013, Projet Dumont, Amos, Qc, V. 1.2 » à l'Annexe I, RNC démontre un souci de s'assurer que tous les membres de l'équipe travaillant à ce projet se concertent et s'entendent sur les paramètres d'évaluation et la façon de les utiliser.

InnovExplo a décrit trois (3) sections de forages différents. Pour les forages 11-RN-300 et 11-RN-334, des intervalles respectifs de 72,6 et 66,8 mètres ont été vérifiés. Pour le forage 11-RNC-268, 21,8 mètres ont été vérifiés.

Le Tableau 4 présente les résultats comparés obtenus par RNC et InnovExplo lors de l'évaluation du pourcentage de chrysotile. Un tableau détaillé est présenté à l'Annexe IV.

Tableau 4 : Résultats comparatifs pour les sections de forages évaluées par InnovExplo

Forage	Long RNC (m)	RNC % Chrys.	Long Innov (m)	Innov % Chrys.	Diff. % Chrys.	Précision Chrysotile
268	21.793	2.96	21.839	2.71	0.25	8.7%
300	72.219	1.41	72.643	1.35	0.06	4.3%
334	66.184	4.68	66.793	3.93	0.75	17.5%
Total	160.196	2.97	161.275	2.60	0.37	13.3%

Dans un premier temps, on remarque que les longueurs mesurées des sections évaluées sont légèrement plus grandes dans le cas d'InnovExplo que pour RNC (longueurs mesurées entre les blocs repères). Ceci est attribuable au fait que les carottes ont été manipulées à plusieurs reprises avant que InnovExplo en fasse l'évaluation. Il est donc normal que, bien que les morceaux de carottes aient été replacés du mieux possible, les longueurs mesurées soient légèrement plus grandes. Ici, la différence est tout de même de 1,079 mètres de plus pour

InnovExplo pour un peu plus de 160 mètres au total, ce qui représente une augmentation de 0,67% de la longueur. Les estimations de chrysotile ont donc été calculées à l'aide des longueurs prises respectivement par les deux intervenants avant d'être comparées.

La valeur absolue des différences de pourcentage de chrysotile (colonne « Diff. % Chrys. ») et la précision de la valeur (valeur absolue de la différence divisée par la moyenne des deux valeurs; donc 0% de précision pour deux valeurs identiques contre 200% si l'une des deux valeurs est égale à 0) illustrent bien la faible variabilité des résultats d'un forage à l'autre ainsi que globalement pour les trois forages comparés.

Lorsque l'on compare les contenus en chrysotile obtenus par RNC et InnovExplo sur des intervalles de 3 mètres (Annexe IV), on observe une grande variabilité des précisions dont les pires peuvent atteindre de 90 à 100%. La même comparaison effectuée par forage (Tableau 4) indique que les précisions varient de 4,3 à 17,5%. Finalement la précision sur l'ensemble des intervalles documentés par InnovExplo montre une précision de 13,3% correspondant à une différence 0,37% du contenu en chrysotile. On observe que la variabilité du contenu en chrysotile est importante pour des échantillons de petite taille, mais que pour des échantillons de taille plus importante (un ou plusieurs forages), la variabilité diminue. Il est donc probable que l'estimé du contenu en chrysotile du massif rocheux établi par RNC à partir de nombreux forages soit reproductible avec une précision encore meilleure que dans le présent audit basé sur seulement trois forages.

5. CONCLUSION

Lors de cette vérification indépendante, trois thèmes du travail de RNC concernant l'évaluation du contenu en chrysotile ont été examinés : la méthode développée pour calculer le pourcentage de chrysotile, la procédure établie et la précision des résultats obtenus.

La méthode développée par les géologues de RNC a été réalisée pour que la quantification du chrysotile puisse se faire de façon aisée. L'utilisation de la méthode est basée sur des paramètres quantitatifs faciles d'utilisation et sur des estimations visuelles validées par un groupe de géologues et appuyées par un décompte numérique. Avec cet outil, des classes de pourcentages ont été définies pour trois environnements bien distincts, ce qui permet de réduire la possibilité d'une trop grande variabilité d'un individu à l'autre dans l'évaluation d'un pourcentage précis de chrysotile. L'approche est conservatrice puisque qu'en plusieurs points elle tend à surévaluer le contenu en chrysotile.

La procédure décrivant la prise de mesures et l'évaluation proprement dite du contenu en chrysotile est également facile d'approche. La description de la procédure accompagnée d'exemples et de chartes photographiques permet à l'utilisateur d'en arriver facilement à une évaluation rapide et fiable du contenu en chrysotile pour une section de forage donnée.

Pour l'ensemble des trois sections de forages évaluées par InnovExplo, qui totalisent 161 mètres, le contenu en chrysotile évalué par RNC est de 2,97%. En utilisant le même protocole d'évaluation établi par RNC pour l'évaluation du contenu en chrysotile du projet Dumont, InnovExplo en arrive à 2,60%. La différence entre les deux évaluations est de 0,37% soit une précision de 13,3%. Dans l'ensemble, à partir du tableau des résultats obtenus lors de cet audit par InnovExplo (Annexe IV), on peut constater une précision des données individuelles qui varie entre 0% et 97,8%. En examinant les valeurs de précision calculées par forage, la variation atteint 17,5% et si on regroupe pour l'ensemble des 161 mètres, elle atteint 13,3%.

On observe que la variabilité du contenu en chrysotile est importante pour des échantillons de petite taille, mais que pour des échantillons de taille plus importante (un ou plusieurs forages) la variabilité diminue. Il est donc probable que l'estimé du contenu en chrysotile du massif rocheux établi par RNC à partir de nombreux forages soit reproductible avec une précision encore meilleure que dans le présent audit basé sur seulement trois forages.

À notre avis, les résultats obtenus lors de l'audit démontrent très bien la bonne précision et l'excellente reproductibilité de l'évaluation du contenu en chrysotile établie par RNC.

6. PAGE DE SIGNATURES

**AUDIT INDÉPENDANT
MÉTHODE D'ÉVALUATION DU CONTENU EN CHRYSOTILE
DÉVELOPÉE POUR LE PROJET DUMONT**

Coordonnées du projet Dumont

Latitude 48°38'N ; Longitude 78°26'O
Canton Launay, Région d'Amos, Québec

Préparé pour

Royal Nickel Corporation
42, rue Trudel
Amos (Québec) Canada J9T 4N1

« signé et scellé »

Rémi Verschelden, Géo., BSc. (OGQ #484)
InnovExplo Inc.

Signé à Val-d'Or le 11 avril 2013

« signé et scellé »

Vincent Jourdain, Ing., Ph.D. (OIQ #40485)
InnovExplo Inc.

Signé à Val-d'Or le 11 avril 2013

CERTIFICAT D'AUTEUR – RÉMI VERSCHULDEN

Je, Rémi Verschelden, BSc., Géo. (OGQ no 484), certifie que:

1. Je suis un géologue consultant pour InnovExplo Inc, 560 3^{ième} Avenue, Val-d'Or, Québec, Canada, J9P 1S4, depuis mai 2012.
2. J'ai obtenu mon Baccalauréat en géologie (1990) de l'Université de Montréal.
3. Je suis membre de l'Ordre des Géologues du Québec (OGQ, no 484).
4. Depuis ma graduation de l'université, j'ai cumulé 17 ans d'expérience comme géologue.
5. Je suis responsable de la préparation de ce rapport technique nommé "Audit indépendant du protocole et procédure de détermination du pourcentage du chrysotile en forage, Gisement de nickel Dumont, Amos, avril 2013 », concernant le projet Dumont de Royal Nickel Corporation, en date du 11 avril 2013, signé le 11 avril 2013. Je n'ai pas visité la propriété Dumont pour l'exécution de cet audit.
6. Je n'ai aucune raison de présumer que l'information utilisée dans le rapport soit invalide ou contienne des incongruités. L'audit présenté ici est basé sur les données techniques du projet, lesquelles sont jugées raisonnables et appropriées dans le développement progressif de l'évaluation minérale économique du projet.
7. Je suis indépendant par rapport à Royal Nickel Corporation et je n'ai aucun lien avec la propriété qui fait le sujet de ce rapport technique.

Signé le 11^e jour du mois d'avril 2013 à Val-d'Or (Québec).

« signé et scellé »

Rémi Verschelden, Géo., BSc. (OGQ #484)
InnovExplo Inc.

CERTIFICAT D'AUTEUR – VINCENT JOURDAIN

Je, Vincent Jourdain, ing., Ph.D.. (OIQ no 40485), certifie que:

1. Je suis un ingénieur consultant pour InnovExplo Inc, 560 3ième Avenue, Val-d'Or, Québec, Canada, J9P 1S4, depuis mai 2012.
2. J'ai obtenu mon Baccalauréat en génie géologique (1984) de l'Université Laval. J'ai obtenu ma Maîtrise en sciences de la terre (1987) de l'UQAC. J'ai obtenu mon Doctorat en ressources minérales (1993) de l'UQAM.
3. Je suis membre de l'Ordre des Ingénieurs du Québec (OIQ, no 40485).
4. Depuis ma graduation de l'université, j'ai cumulé 29 ans d'expérience comme ingénieur.
5. Je suis responsable de la préparation de ce rapport technique nommé "Audit indépendant du protocole et procédure de détermination du pourcentage du chrysotile en forage, Gisement de nickel Dumont, Amos, avril 2013 », concernant le projet Dumont de Royal Nickel Corporation, en date du 11 avril 2013, signé le 11 avril 2013. Je n'ai pas visité la propriété Dumont pour l'exécution de cet audit.
6. Je n'ai aucune raison de présumer que l'information utilisée dans le rapport soit invalide ou contienne des incongruités. L'audit présenté ici est basé sur les données techniques du projet, lesquelles sont jugées raisonnables et appropriées dans le développement progressif de l'évaluation minérale économique du projet.
7. Je suis indépendant par rapport à Royal Nickel Corporation et je n'ai aucun lien avec la propriété qui fait le sujet de ce rapport technique.

Signé le 11^e jour du mois d'avril 2013 à Val-d'Or (Québec).

« signé et scellé »

Vincent Jourdain, ing., Ph.D. (OIQ #40485)

InnovExplo Inc.

vincent.jourdain@innovexplo.com

**ANNEXE I : MÉTHODES DE QUANTIFICATION DU CHRYSOTILE, 2013
PROJET DUMONT, AMOS, QC, V. 1.2**



Royal Nickel Corporation

Méthodes de quantification du chrysotile, 2013

Projet Dumont, Amos, Qc

V. 1.2

Table des matières

1) Objectif	4
2) Introduction	4
3) Vue d'ensemble	4
4) Méthodes.....	6
i) Réseaux de chrysotile	6
Méthode de la mesure de l'épaisseur des réseaux de chrysotile.....	6
Méthode de l'histogramme des réseaux de chrysotile par Photoshop.....	9
Échantillons utilisés pour la caractérisation de l'environnement «Réseaux de chrysotile»	12
Ajout de données supplémentaires	20
Discussion de la surestimation dans les Réseaux de chrysotile.....	22
ii) Chrysotile dans les zones hautement fragmentées.....	23
Échantillons utilisés pour la caractérisation de l'environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées»	23
Ajout de données supplémentaires	32
Vérification interne des zones hautement fragmentées	36
Discussion de la surestimation dans les zones hautement fragmentées	36
iii) Chrysotile dans les veines/fractures	37
Discussion de la surestimation de la chrysotile dans les veines/fractures	38
5) Chrysotile dans les zones de carotte de forage non récupérées	39
6) Discussion	41

Table des images

<i>Image 1:</i> Section du trou de forage 11-RN-309 boîte #57 avec un niveau de réseaux de chrysotile modérées. Les mesures ont été prises au long des lignes jaunes perpendiculairement au réseau de chrysotile.....	7
<i>Image 2:</i> Section du trou de forage 11-RN-309 boîte #88 avec un niveau de réseaux de chrysotile intense. Les mesures ont été prises au long des lignes rouges perpendiculairement au réseau de chrysotile.	8
<i>Image 3:</i> Photo du réseau de chrysotile intense (5-8%) importée dans Photoshop.	9
<i>Image 4:</i> Manipulation de la luminosité et du contraste de la photo de l'échantillon.	10
<i>Image 5:</i> Redéfinition des pixels de couleurs sur la photo de l'échantillon.	10
<i>Image 6:</i> Obtenir le pourcentage de chrysotile de la photo.	11
<i>Image 7:</i> Échantillon de la catégorie d'intensité Faible après manipulation dans Photoshop.....	12
<i>Image 8:</i> Échantillon de la catégorie d'intensité Faible après manipulation dans Photoshop.....	12
<i>Image 9:</i> Échantillon de la catégorie d'intensité Faible après manipulation dans Photoshop.....	13
<i>Image 10:</i> Échantillon de la catégorie d'intensité Faible après manipulation dans Photoshop.....	13
<i>Image 11:</i> Échantillon de la catégorie d'intensité Faible après manipulation dans Photoshop.....	14
<i>Image 12:</i> Échantillon de la catégorie d'intensité Modérée après manipulation dans Photoshop.	14
<i>Image 13:</i> Échantillon de la catégorie d'intensité Modérée après manipulation dans Photoshop.	15
<i>Image 14:</i> Échantillon de la catégorie d'intensité Modérée après manipulation dans Photoshop.	15
<i>Image 15:</i> Échantillon de la catégorie d'intensité Modérée après manipulation dans Photoshop.	16
<i>Image 16:</i> Échantillon de la catégorie d'intensité Modérée après manipulation dans Photoshop.	16

<i>Image 17</i> : Échantillon de la catégorie d'intensité Élevée après manipulation dans Photoshop.....	17
<i>Image 18</i> : Échantillon de la catégorie d'intensité Élevée après manipulation dans Photoshop.....	17
<i>Image 19</i> : Échantillon de la catégorie d'intensité Élevée après manipulation dans Photoshop.....	18
<i>Image 20</i> : Échantillon de la catégorie d'intensité Élevée après manipulation dans Photoshop.....	18
<i>Image 21</i> : Échantillon de la catégorie d'intensité Intense après manipulation dans Photoshop.	19
<i>Image 22</i> : Échantillon de la catégorie d'intensité Intense après manipulation dans Photoshop.	19
<i>Image 23</i> : Échantillon de la catégorie d'intensité Intense après manipulation dans Photoshop.	20
<i>Image 24</i> : Échantillon de la catégorie d'intensité Élevée sur la carotte de forage	21
<i>Image 25</i> : Échantillon de la catégorie d'intensité Élevée sur la carotte de forage	21
<i>Image 26</i> : Échantillon de la catégorie d'intensité Élevée sur la carotte de forage	22
<i>Image 27</i> : Zone hautement fragmentée de la Boite #61 (289.90-290.40m).....	24
<i>Image 28</i> : Zone hautement fragmentée de la Boite #61 (290.40-291.00m).....	24
<i>Image 29</i> : Zone hautement fragmentées de la Boite #35 (178.20-178.50m).	25
<i>Image 30</i> : Zone hautement fragmentée de la Boite #114 (518.85- 519.10m).....	25
<i>Image 31</i> : Zone hautement fragmentée de la Boite #115 (521.50-522.00m).....	26
<i>Image 32</i> : Zone hautement fragmentée de la Boite #80 (369.60-370.30m).....	26
<i>Image 33</i> : Zone hautement fragmentée de la Boite #34 (172.35-172.75m).....	27
<i>Image 34</i> : Zone hautement fragmentée de la Boite #49 (236.50-237.00m).....	27
<i>Image 35</i> : Zone hautement fragmentée de la Boite #115 (521.00-521.50m).....	28
<i>Image 36</i> : Zone hautement fragmentée de la Boite #80 (370.30-370.80m).....	28
<i>Image 37</i> : Zone hautement fragmentée de la Boite #97 (445.80-446.20m).....	29
<i>Image 38</i> : Zone hautement fragmentée de la Boite #104 (474.15-474.75m).....	29
<i>Image 39</i> : Zone hautement fragmentée de la Boite #24 (131.40-131.95m).....	30
<i>Image 40</i> : Zone hautement fragmentée de la Boite #26 (139.75-140.35m).....	30
<i>Image 41</i> : Zone hautement fragmentée de la Boite #97 (446.20-446.80m).....	31
<i>Image 42</i> : Zone hautement fragmentée de la Boite #63 (299.20-299.50m).....	31
<i>Image 43</i> : Zone hautement fragmentée de la Boite #67 du trou 11-RN-334 (312.38-313.00m).....	33
<i>Image 45</i> : Zone hautement fragmentée de la Boite #3 du trou 11-RN-296 (63.49-63.97m).....	33
<i>Image 46</i> : Zone hautement fragmentée de la Boite #47 du trou 08-RN-94 (209.10-209.45m).....	34
<i>Image 47</i> : Zone hautement fragmentée de la Boite #4 du trou 11-RN-252 (43.10-43.32m).....	34
<i>Image 48</i> : Zone hautement fragmentée de la Boite #47 du trou 08-RN-94 (208.5-208.65m).....	35
<i>Image 49</i> : Zone hautement fragmentée de la Boite #18 du trou 11-RN-300 (115.03-115.11m).....	35
<i>Image 50</i> : Veine de chrysotile coupant à travers l'axe de la carotte de forage séparée en segments de 4.5cm	37
<i>Image 51</i> : Veine coupant le diamètre de la carotte de forage à un angle faible. L'épaisseur est mesurée avec une règle.	38

Table des tableaux

Tableau 1: Valeurs assignées pour les catégories d'intensités de chaque environnements de chrysotile	5
Tableau 2: Valeurs assignées pour les catégories d'intensités de l'environnements «Réseaux de chrysotile»	11
Tableau 3: Valeurs assignées pour les catégories d'intensités de l'environnements «Réseaux de chrysotile» avec nouveaux intervalles représentatifs.	20
Tableau 4: Valeurs assignées pour les catégories d'intensités de l'environnements «Chrysotile dans les zones hautment fragmentées»	23
Tableau 5: Valeurs assignées pour les catégories d'intensités de l'environnements «Chrysotile dans les zones hautment fragmentées» avec nouveaux intervalles.	32

1) Objectif

L'objectif de ce programme est de mettre en place un système qui permettra la quantification du chrysotile dans la dunite et la péridotite. Plusieurs trous représentatifs de la fosse planifiée pourra ainsi être choisis pour être évalués rapidement et de manière systématique pour une évaluation du pourcentage de chrysotile de la fosse.

2) Introduction

Le chrysotile est un minéral qui fait partie de la famille de l'amiante et bien que considéré comme l'un des moins dangereux, il constitue un danger pour la santé d'un individu s'il est respiré pendant de longues périodes de temps. Il est donc nécessaire de prouver que la future mine a une quantité minimale de chrysotile dans la roche ultramafique.

Les méthodes de laboratoire tels que le XRD pour quantifier le chrysotile se sont avérées problématiques, car les signaux entre le chrysotile et la serpentine sont très semblables et ne peuvent être distingués. Le comptage de points est une autre méthode qui a été utilisée par certains scientifiques, mais cette méthode prend beaucoup de temps et a le problème d'introduire un biais et une subjectivité dans l'analyse.

L'objectif était donc de trouver un moyen de quantifier le chrysotile en évaluant plusieurs trous représentatifs dans différentes régions de la fosse planifiée. Plusieurs méthodes ont été testées et les méthodes qui ont produit les meilleurs résultats ont été choisies. Celles-ci sont décrites ci-après.

3) Vue d'ensemble

Le filon-couche de Dumont est encaissé dans les laves et roches volcanoclastiques du Groupe d'Amos. Considéré comme une intrusion litée mafique-ultramafique, le filon-couche comprend une zone ultramafique inférieure et une zone mafique supérieure. La zone ultramafique est subdivisée en sous-zones: péridotite inférieure, dunite et péridotite supérieure. La zone mafique regroupe trois sous-zones qui sont, de la base vers le sommet, la clinopyroxénite, le gabbro et le gabbro à quartz. Le chrysotile est connu pour se développer dans la zone ultramafique en fonction des divers degrés de serpentinisation.

Pour caractériser objectivement chaque environnement de chrysotile et pour une gestion de temps efficace, des niveaux d'intensités, qui réfèrent à un pourcentage de chrysotile présent dans la carotte, furent créés. Pour se faire, les géologues de RNC ont utilisé un trou de forage en référence (11-RN-309) qui fut choisi pour ces variations de textures dans les environnements de chrysotile.

Il y a trois environnements géologiques où le chrysotile a été identifié dans la roche ultramafique récupérée en forage et où l'estimation de celui-ci a besoin d'être évaluée séparément. Ces environnements sont:

- **Réseaux de chrysotile:**
Autour des grains et dans les petites veines (omniprésentes dans la roche)
- **Chrysotile dans les zones hautement fragmentées** (Failles)
- **Chrysotile dans les veines/Fractures** (ouvertes ou fermées)

Pour chaque environnement différent, des catégories d'intensités, qui se rapportent à des pourcentages assignés de chrysotile présent, ont été créées suite aux méthodes mises sur pied. Ces pourcentages assignés sont utilisés comme facteur de multiplication pour tout convertir en millimètres de chrysotile sur un intervalle d'échantillonnage de 3m et donnant ainsi un pourcentage total de chrysotile sur l'intervalle de 3m. Pour faire une analyse plus objective, des exemples visuels des catégories d'intensités sont présentés ci-dessous, ainsi que la manière dont les géologues de RNC sont arrivés au résultat des pourcentages assignés. Un aperçu des résultats finaux se trouve dans le Tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1: Valeurs assignées pour les catégories d'intensités de chaque environnements de chrysotile

Environnements de chrysotile	Catégories d'intensités (Gamme de pourcentage)	Valeurs assignées aux catégories d'intensité
<i>Réseaux de chrysotile</i>	Aucun (0 à 0.1%)	0%
	Faible (0.1 à 1%)	0.75%
	Modérée (1 à 2.5%)	1.75%
	Élevée (2.5 à 4.5%)	3.50%
	Intense (4.5 à 7%)	6%
<i>Chrysotile dans les zones hautement fragmentées</i>	Faible (1 à 10%)	3%
	Modérée (10 à 25%)	15%
	Élevée (25 à 40%)	35%
	Intense (40 à 70%)	55%
<i>Chrysotile dans les veines/fractures</i>	70 à 100% chrysotile	100%

4) Méthodes

Cette section montre les différentes méthodes approchées pour quantifier le chrysotile dans les trois types d'environnements évalués pour finalement atteindre une technique de procédure pour le journal de sondage du chrysotile.

i) Réseaux de chrysotile

Pour estimer la quantité de chrysotile dans les réseaux, les géologues de RNC ont premièrement séparé l'analyse en quatre catégories d'intensité. Des étendues de variation d'intensité en pourcentage de chrysotile furent attribuées à chaque catégorie d'intensité afin de faire une distinction entre chaque catégorie.

Ces étendues sont:

Intense (5-8%),
Élevée (3-5%),
Modérée (1-3%),
Faible (0.1%-1%).

Pour attribuer une valeur de pourcentage de chrysotile à chaque catégorie, deux méthodes furent testées.

Méthode de la mesure de l'épaisseur des réseaux de chrysotile

La première méthode expérimentée était de mesurer l'épaisseur de chrysotile dans les petites veines et autour des grains pour chaque catégorie d'intensité à travers des lignes perpendiculaires sur la surface coupée de la carotte dans un intervalle donné. Les mesures furent additionnées, puis divisées par la longueur de l'intervalle testé pour donner un pourcentage de chrysotile sur un plan.

Cette méthode a généré un écart significatif entre les résultats des cinq géologues attitrés à cette tâche. Les pourcentages mesurés ne correspondaient pas à leur estimation visuelle. Cette divergence était due à une surévaluation de l'épaisseur des petites veines de chrysotile (plus petite que 1mm) mesurées avec une règle traditionnelle.

Pour expérimenter cette méthode, cinq intervalles ont été sélectionnés pour chaque catégorie d'intensité de l'environnement «Réseaux de chrysotile» à partir d'une estimation visuelle des étendues attribuées. Chaque intervalle fut mesuré par cinq géologues et les données furent compilées au final pour donner un pourcentage de chrysotile pour chaque intervalle. Deux exemples (image 1 et 2) de cette méthode sont démontrés ci-dessous:



Image 1: Section du trou de forage 11-RN-309 boîte #57 avec un niveau de réseaux de chrysotile modérées. Les mesures ont été prises au long des lignes jaunes perpendiculairement au réseau de chrysotile.

Mesures de l'image 1

1^{er} ligne: 5.5cm de longueur

Géologue 1	$(0.6\text{mm}/55\text{mm}) * 100 =$	1.1%
Géologue 2	$(1.6\text{mm}/55\text{mm}) * 100 =$	2.9%
Géologue 3	$(1.3\text{mm}/55\text{mm}) * 100 =$	2.4%
Géologue 4	$(1.0\text{mm}/55\text{mm}) * 100 =$	1.8%
Géologue 5	$(1.1\text{mm}/55\text{mm}) * 100 =$	2%
	Moyenne =	2% (Modérée)

2^{ième} ligne: 6.0cm de longueur

Géologue 1	$(0.6\text{mm}/60\text{mm}) * 100 =$	1%
Géologue 2	$(1.1\text{mm}/60\text{mm}) * 100 =$	1.8%
Géologue 3	$(1.3\text{mm}/60\text{mm}) * 100 =$	2.2%
Géologue 4	$(0.5\text{mm}/60\text{mm}) * 100 =$	0.8%
Géologue 5	$(1.1\text{mm}/60\text{mm}) * 100 =$	1.8%
	Moyenne =	1.5% (Modérée)



Image 2: Section du trou de forage 11-RN-309 boîte #88 avec un niveau de réseaux de chrysotile intense. Les mesures ont été prises au long des lignes rouges perpendiculairement au réseau de chrysotile.

Mesures de l'image 2

1^{er} ligne: 4.7cm de longueur

Géologue 1	$(1.8\text{mm}/47\text{mm}) * 100 =$	3.8%
Géologue 2	$(5.6\text{mm}/47\text{mm}) * 100 =$	12.0%
Géologue 3	$(6.5\text{mm}/47\text{mm}) * 100 =$	14.0%
Géologue 4	$(5.4\text{mm}/47\text{mm}) * 100 =$	11.5%
Géologue 5	$(2\text{mm}/47\text{mm}) * 100 =$	4.3%
	Moyenne =	9.12% (Intense)

Tel que le démontrent les deux exemples précédents, les mesures prises parmi les géologues ont des écarts importants donnant des résultats très divergeant. De plus, cette première expérimentation pour quantifier les réseaux de chrysotile donnent des pourcentages de chrysotile mesurés qui ne coïncident pas avec une estimation visuelle. Cette méthode fut abandonnée.

Méthode de l'histogramme des réseaux de chrysotile par Photoshop

Les géologues de RNC ont par la suite mis au point une nouvelle méthode utilisant Photoshop. En premier lieu, des photos furent prises pour chaque catégorie d'intensité sur la surface coupée de la demie carotte. En coupant la photo dans Photoshop, les sections de réseaux de chrysotile furent isolées de sorte que seulement ceux-ci soient présents. En comparant avec la roche, le contraste et la luminosité furent ajustés pour faire en sorte que seulement (ou principalement) les réseaux de chrysotile apparaissent en blanc ou en couleurs claires et que le reste apparaisse en couleurs foncées. Par la suite, Photoshop a calculé le pourcentage de pixels clairs par rapport aux pixels foncés présents en utilisant la fonction «Histogramme». Ainsi, les géologues de RNC obtinrent un pourcentage pour les différentes catégories de réseaux de chrysotile. Cette méthode est reproductible et donne des valeurs qui concordent avec l'estimation visuelle des géologues de RNC.

Pour expérimenter cette méthode, un échantillon de l'environnement «Réseaux de chrysotile» Intense fut pris en photo. Les étapes suivantes montrent les procédures utilisées pour cette méthode étape par étape. Cette méthode fut par la suite appliquée pour définir le pourcentage de chrysotile pour chaque environnement.

1^{er} étape: Une photo de l'échantillon est prise et importée dans Photoshop.

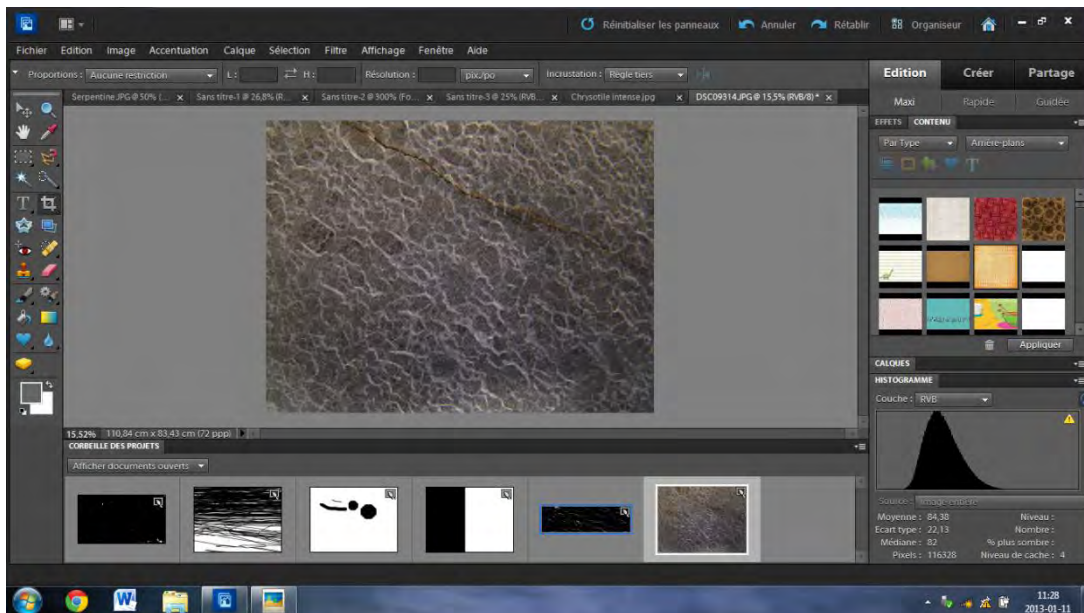


Image 3: Photo du réseau de chrysotile Intense (5-8%) importée dans Photoshop.

2^{ème} Étape: Le contraste et la luminosité sont ajustés de façon à avoir seulement (ou principalement) le chrysotile affiché en pixels clairs.

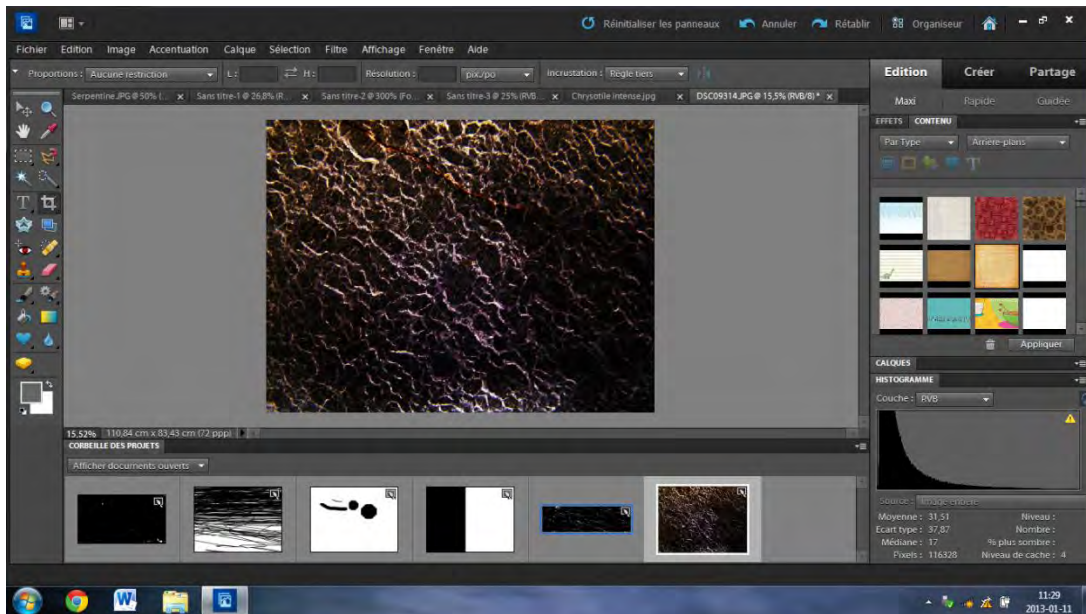


Image 4: Manipulation de la luminosité et du contraste de la photo de l'échantillon.

3^{ème} étape: Le chrysotile identifié de couleur gris foncé est redéfini comme étant des pixels clairs pour représenter tous le chrysotile dans l'échantillon.

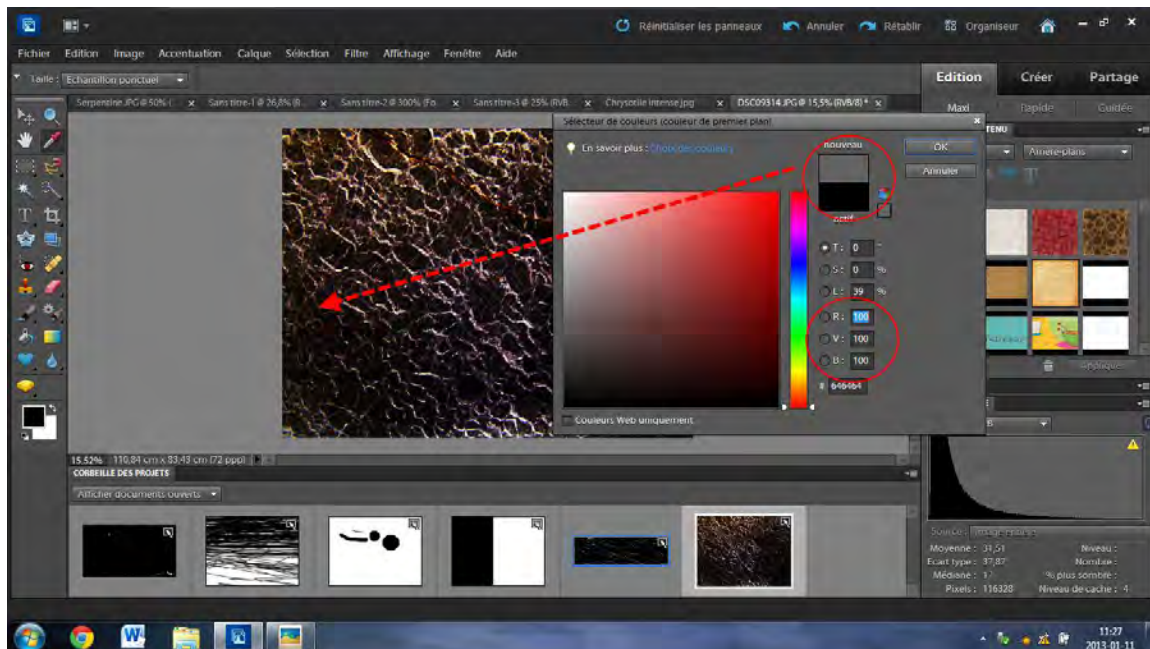


Image 5: Redéfinition des pixels de couleurs sur la photo de l'échantillon.

Étape 4: La fonction Histogramme montre le pourcentage de pixels qui sont plus foncés qu'une valeur donnée. Dans ce cas-ci, la valeur donnée représente la couleur limite attribuée à la chrysotile, soit 100 dans l'exemple

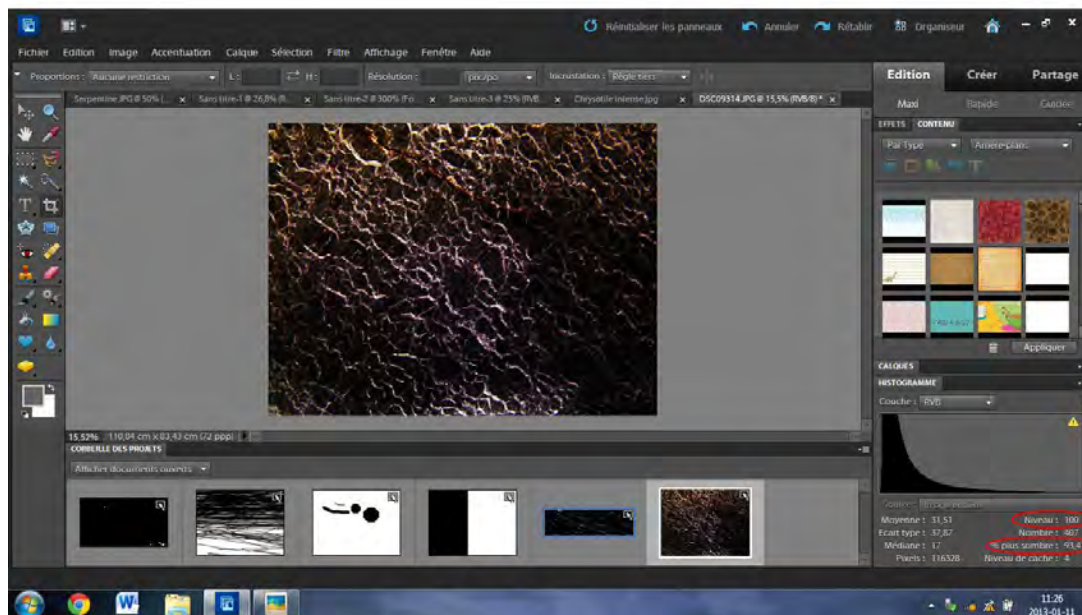


Image 6: Obtenir le pourcentage de chrysotile de la photo.

Avec cinq photos représentatives des catégories d'intensité Faible et Modérée, quatre photos représentatives de la catégorie d'intensité Élevée et trois photos représentatives de la catégorie d'intensité Intense, une valeur moyenne a été obtenue pour chaque catégorie en utilisant la méthode de Photoshop pour les Réseaux de chrysotile. Ces valeurs ont été par la suite arrondies au supérieur pour donner une surestimation artificielle dans le but de rester conservateur, donnant ainsi une valeur assignée pour chaque catégorie d'intensité pour l'environnement «Réseaux de chrysotile».

Par la suite, des nouvelles gammes de valeurs de pourcentage possible furent assignées à chaque catégorie d'intensité. Ces valeurs sont montrées dans le *tableau 2* ci-dessous:

Tableau 2: Valeurs assignées pour les catégories d'intensités de l'environnements «Réseaux de chrysotile»

Catégories d'intensité de l'environnement «Réseaux de chrysotile»	Nombre de photo utilisée	Valeurs assignées	Gammes de pourcentage assignées
Aucun	-	0%	0% à 0.1%
Faible	5	0.75%	0.1% à 1%
Modérée	5	1.75%	1% à 2.5%
Élevée	4	3.50%	2.5% à 4.5%
Intense	3	6%	4.5% à 7%

Échantillons utilisés pour la caractérisation de l'environnement «Réseaux de chrysotile»

Toutes les photos utilisées pour déterminer la valeur assignée de chaque catégorie d'intensité sont illustrées ci-dessous (Image 7 à 23):

Catégorie d'intensité: Faible

Pourcentage de chrysotile: 0.23%

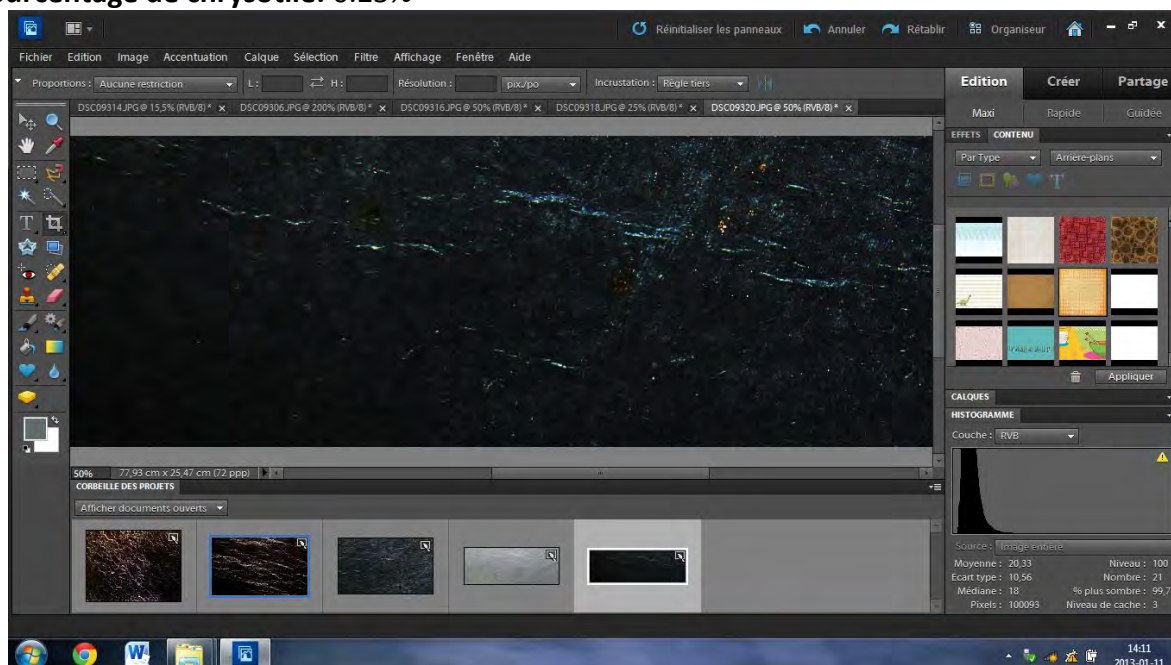


Image 7: Échantillon de la catégorie d'intensité Faible après manipulation dans Photoshop.

Catégorie d'intensité: Faible

Pourcentage de chrysotile: 0.74%

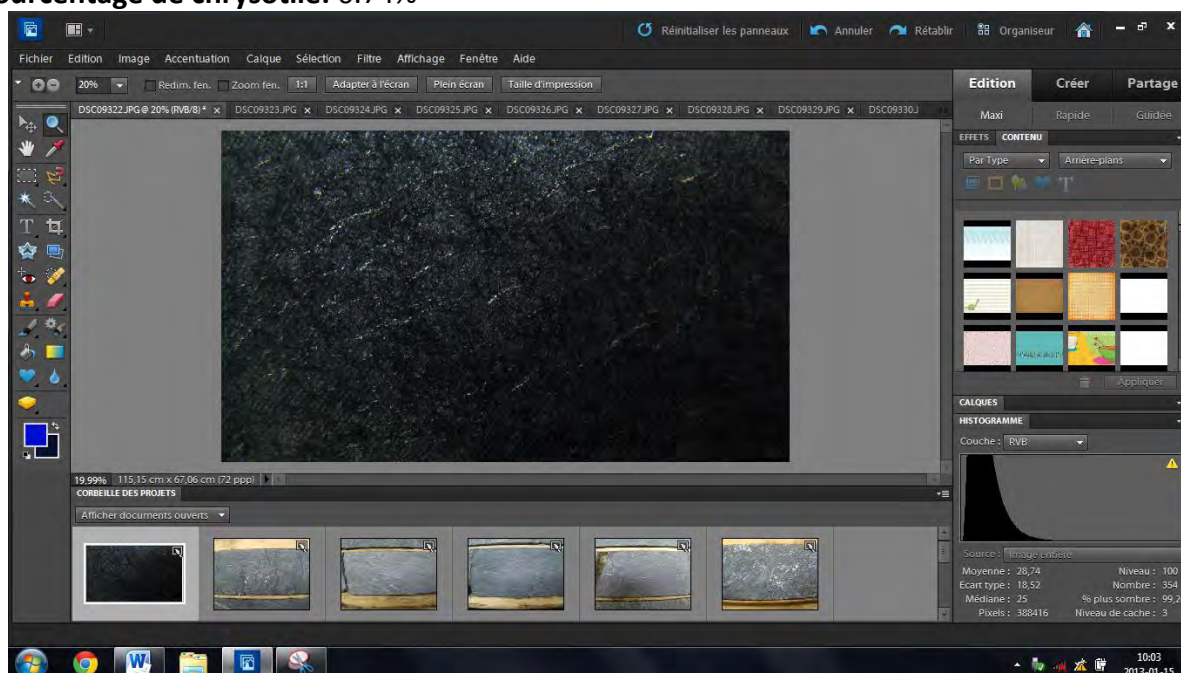


Image 8: Échantillon de la catégorie d'intensité Faible après manipulation dans Photoshop.

Catégorie d'intensité: Faible
Pourcentage de chrysotile: 0.96%

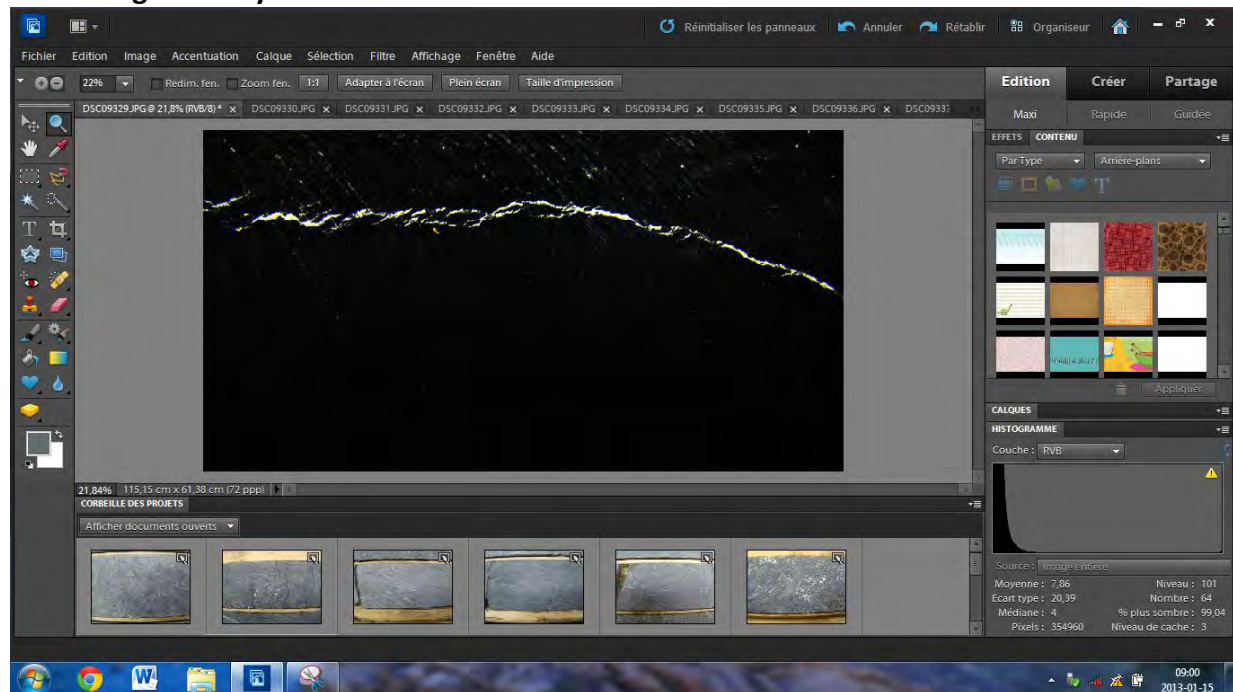


Image 9: Échantillon de la catégorie d'intensité Faible après manipulation dans Photoshop.

Catégorie d'intensité: Faible
Pourcentage de chrysotile: 0.50%

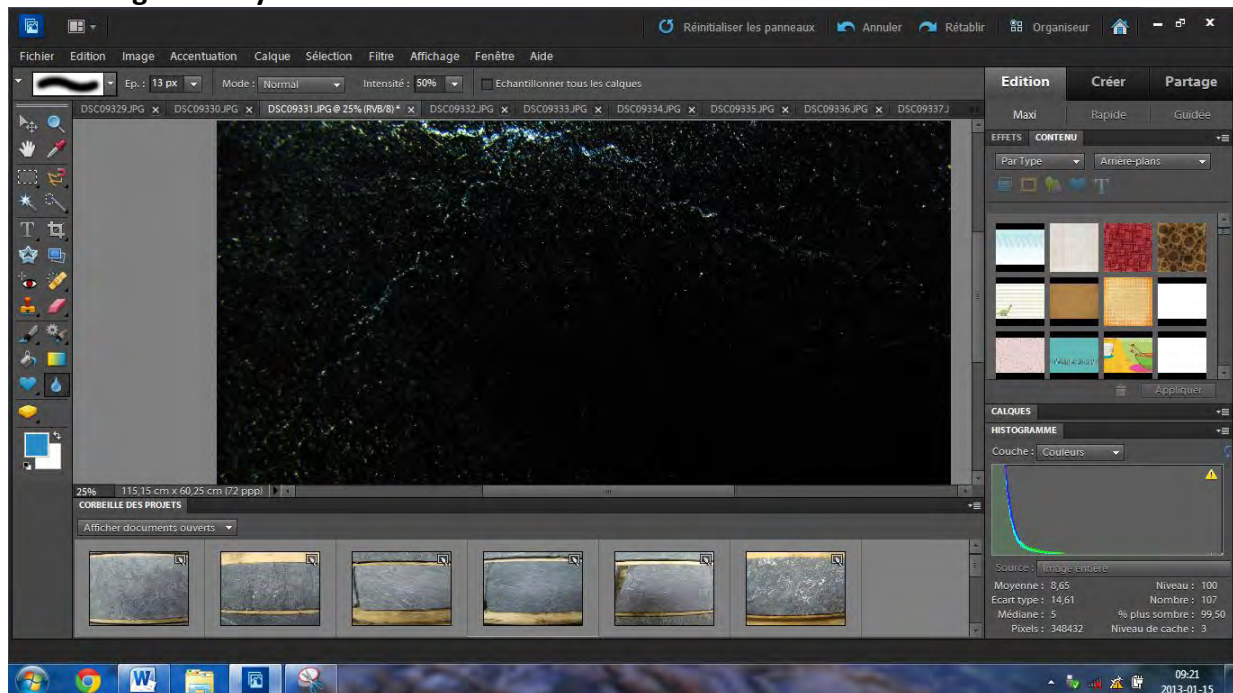


Image 10: Échantillon de la catégorie d'intensité Faible après manipulation dans Photoshop.

Catégorie d'intensité: Faible
Pourcentage de chrysotile: 0.93%

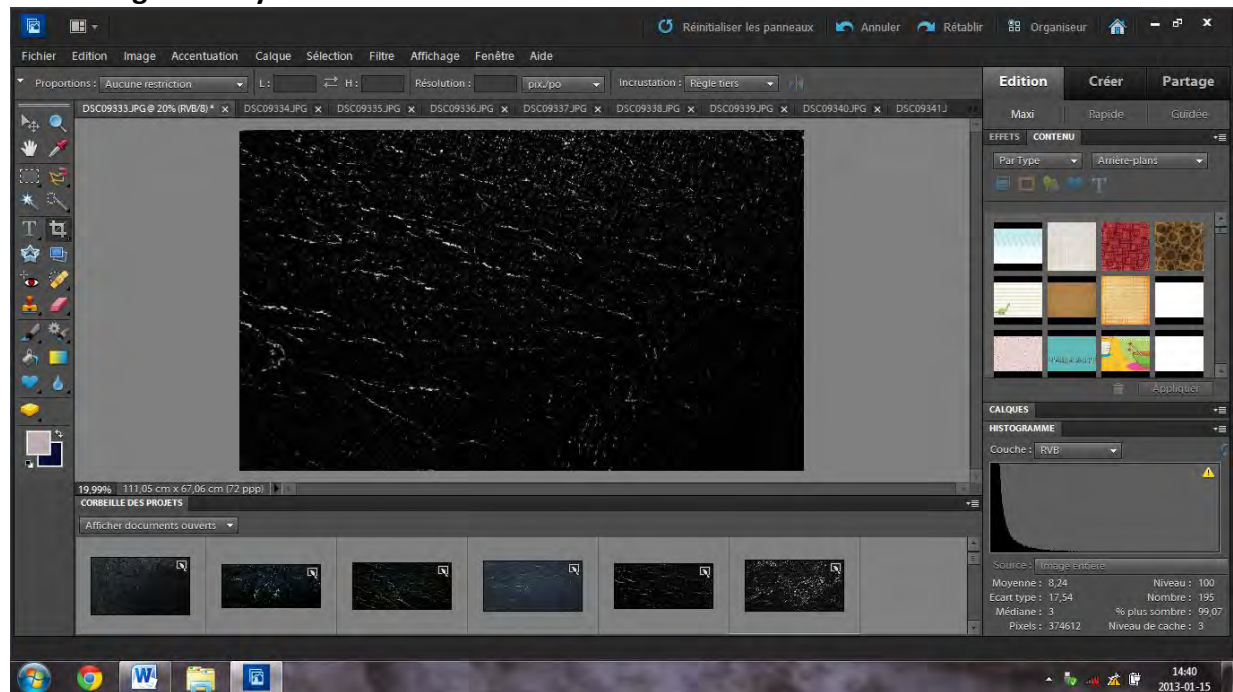


Image 11: Échantillon de la catégorie d'intensité Faible après manipulation dans Photoshop.

Catégorie d'intensité: Modérée
Pourcentage de chrysotile: 1.35%

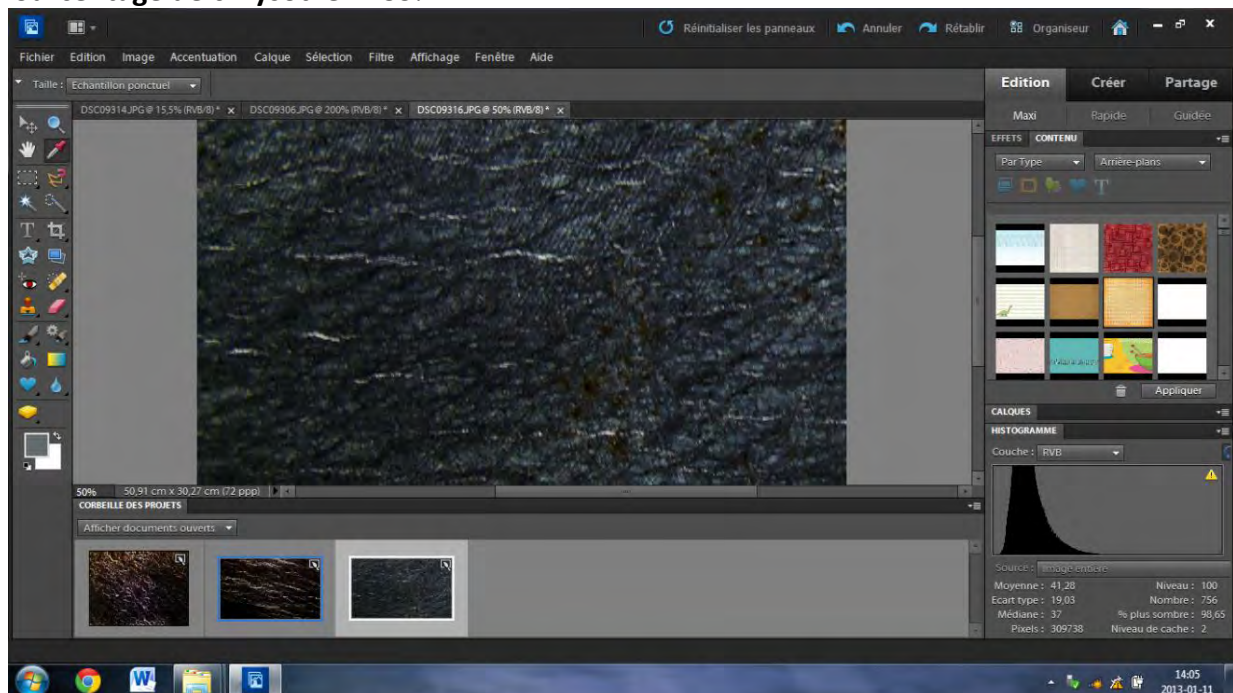


Image 12: Échantillon de la catégorie d'intensité Modérée après manipulation dans Photoshop.

Catégorie d'intensité: Modérée
Pourcentage de chrysotile: 1.83%

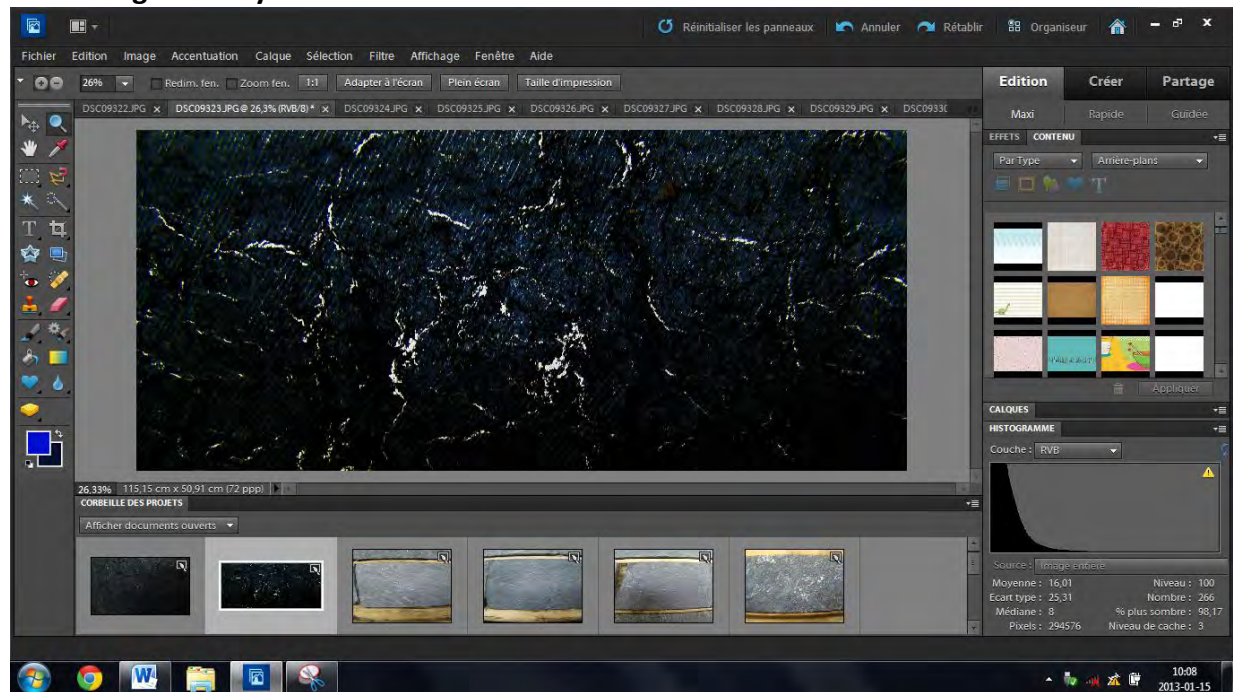


Image 13: Échantillon de la catégorie d'intensité Modérée après manipulation dans Photoshop.

Catégorie d'intensité: Modérée
Pourcentage de chrysotile: 1.29%

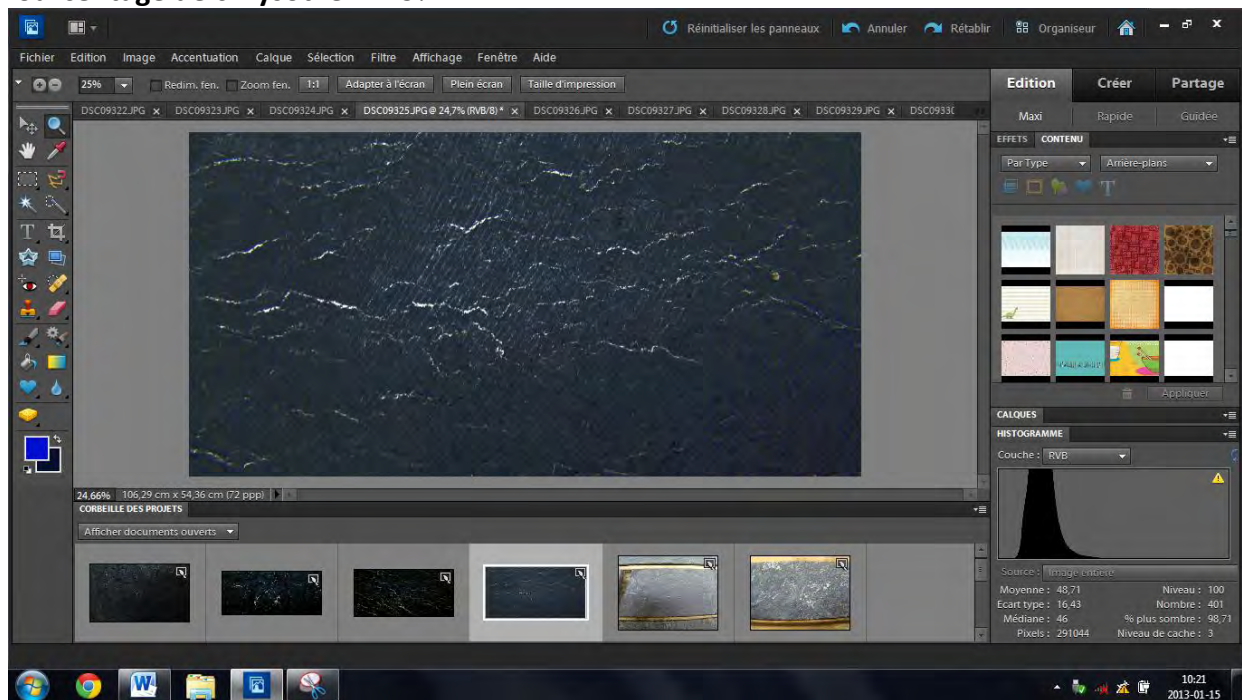


Image 14: Échantillon de la catégorie d'intensité Modérée après manipulation dans Photoshop.

Catégorie d'intensité: Modérée
Pourcentage de chrysotile: 2.44%

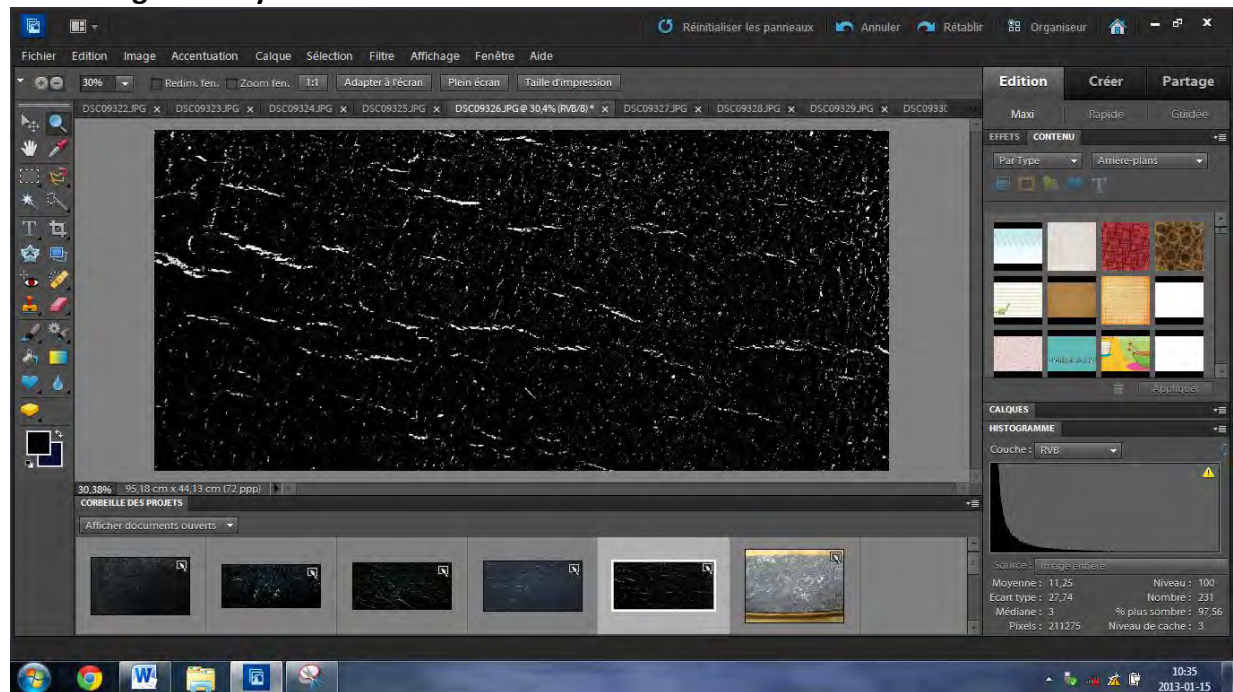


Image 15: Échantillon de la catégorie d'intensité Modérée après manipulation dans Photoshop.

Catégorie d'intensité: Modérée
Pourcentage de chrysotile: 2.10%

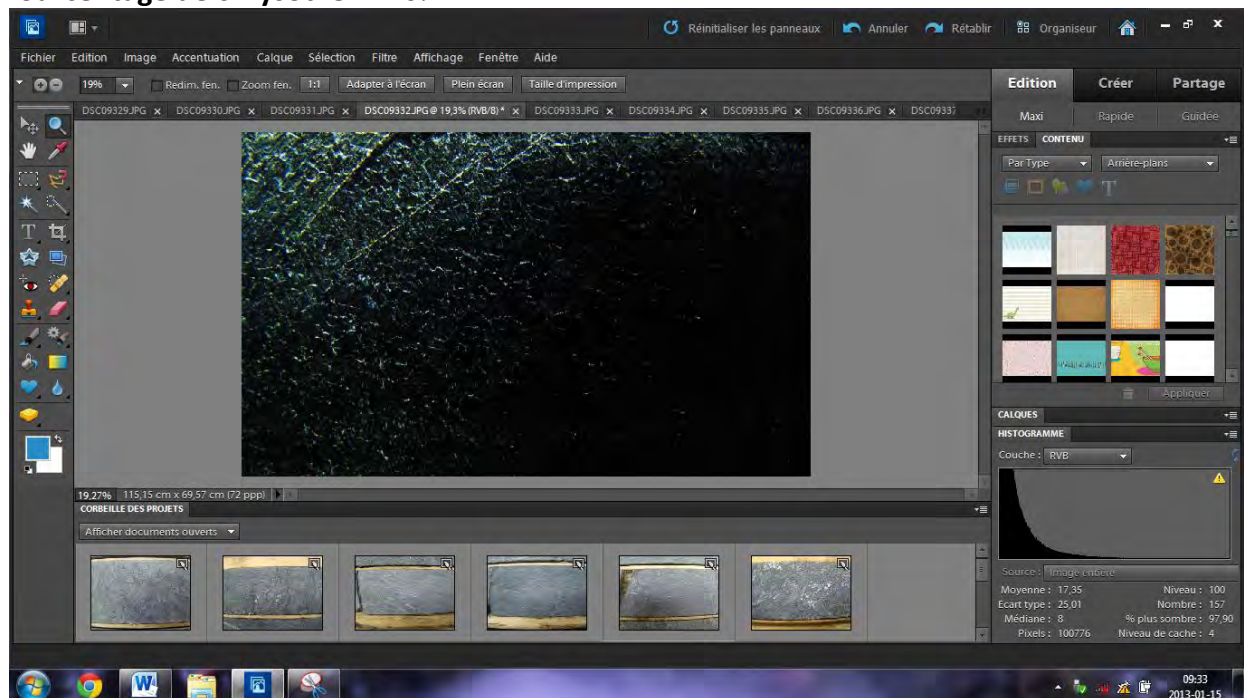


Image 16: Échantillon de la catégorie d'intensité Modérée après manipulation dans Photoshop.

Catégorie d'intensité: Élevée
Pourcentage de chrysotile: 4.11%

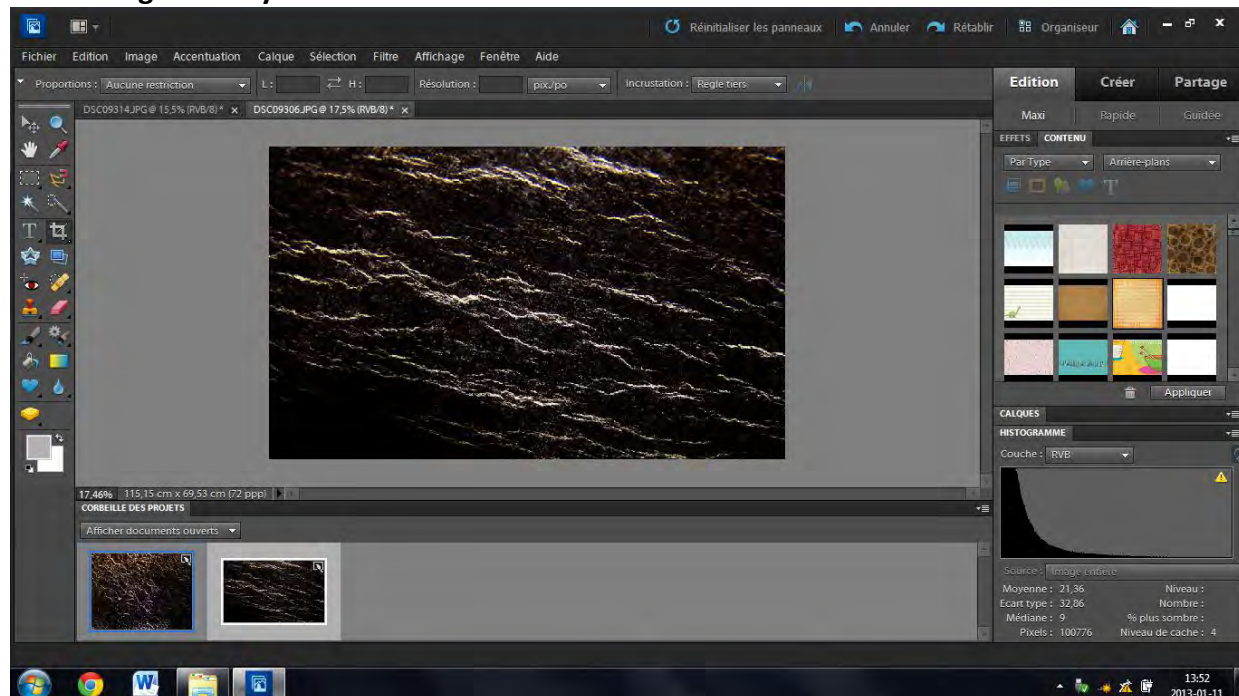


Image 17: Échantillon de la catégorie d'intensité Élevée après manipulation dans Photoshop.

Catégorie d'intensité: Élevée
Pourcentage de chrysotile: 2.81%

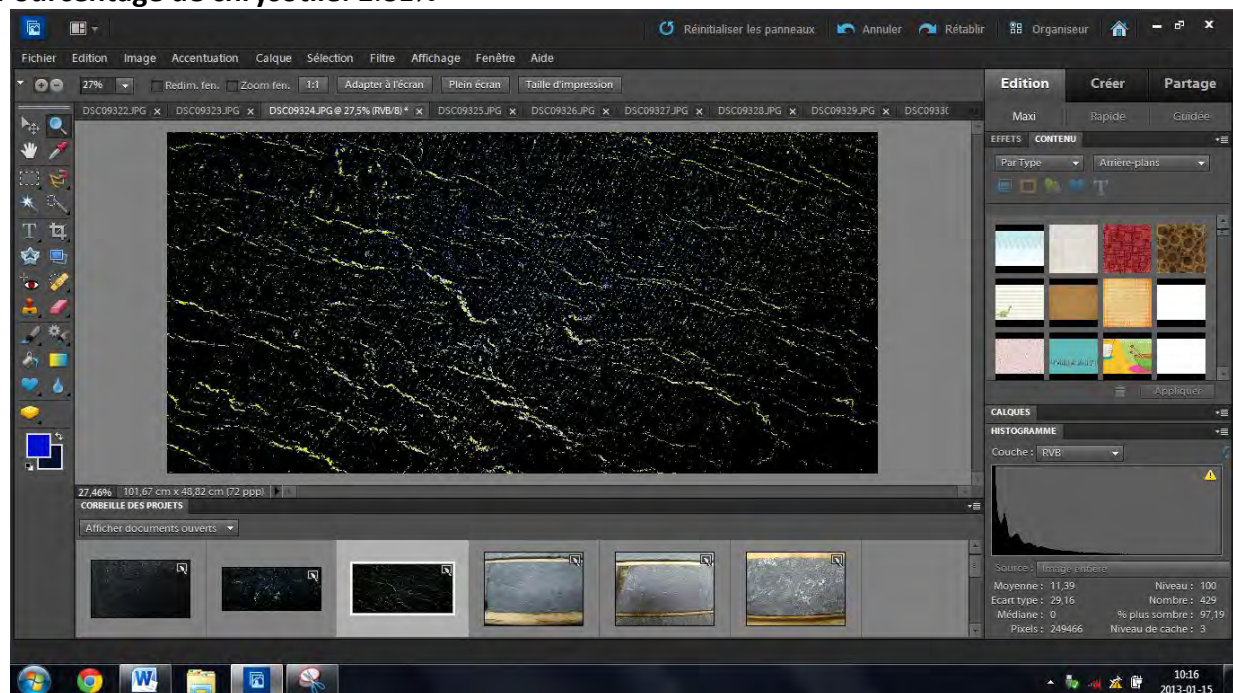


Image 18: Échantillon de la catégorie d'intensité Élevée après manipulation dans Photoshop.

Catégorie d'intensité: Élevée
Pourcentage de chrysotile: 3.50%

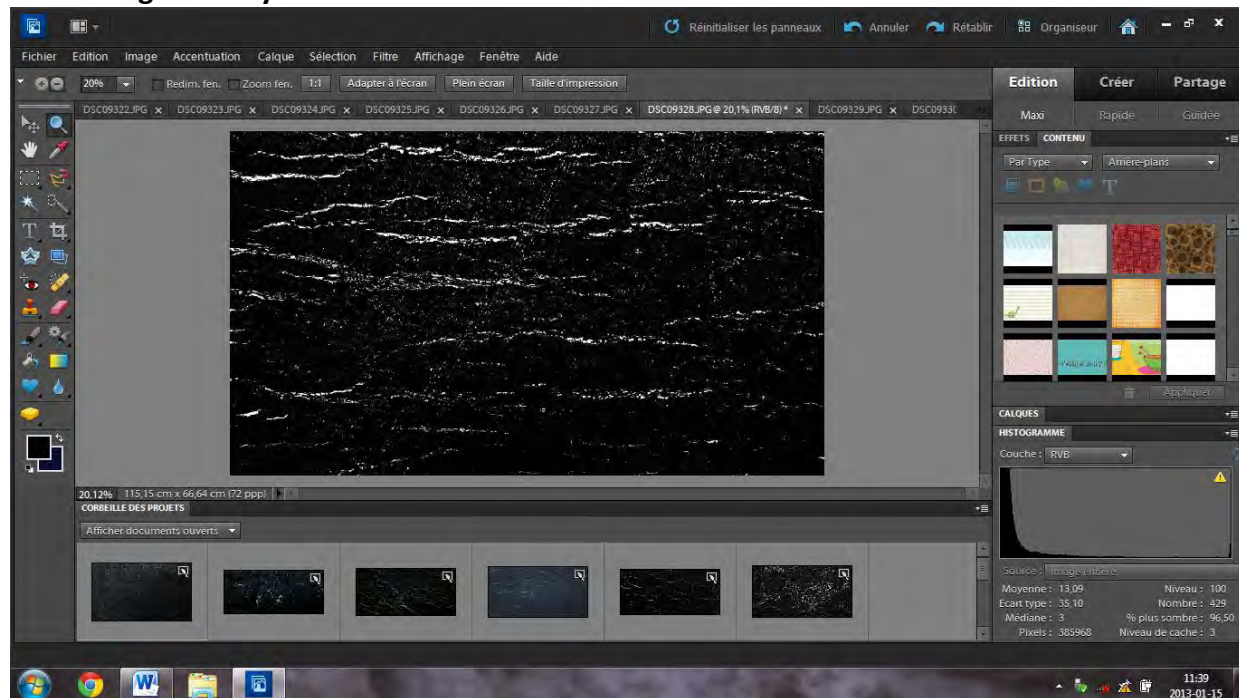


Image 19: Échantillon de la catégorie d'intensité Élevée après manipulation dans Photoshop.

Catégorie d'intensité: Élevée
Pourcentage de chrysotile: 2.78%

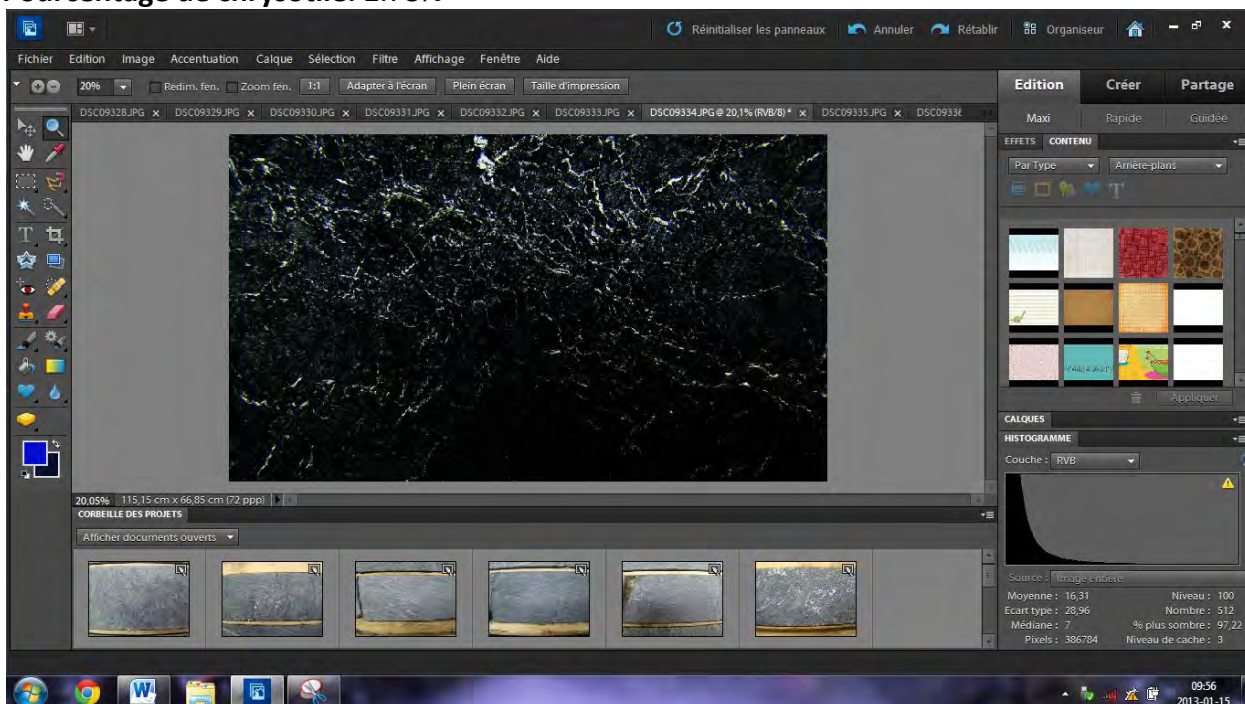


Image 20: Échantillon de la catégorie d'intensité Élevée après manipulation dans Photoshop.

Catégorie d'intensité: Intense
Pourcentage de chrysotile: 5.65%

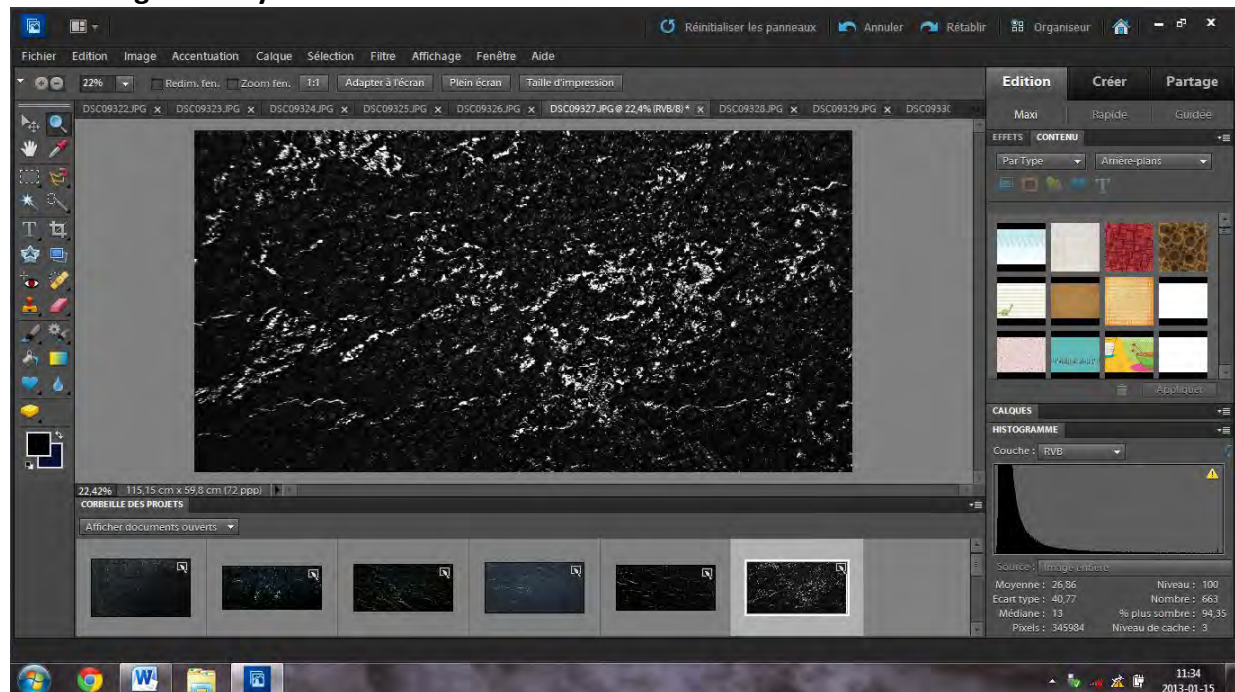


Image 21: Échantillon de la catégorie d'intensité Intense après manipulation dans Photoshop.

Catégorie d'intensité: Intense
Pourcentage de chrysotile: 4.87%

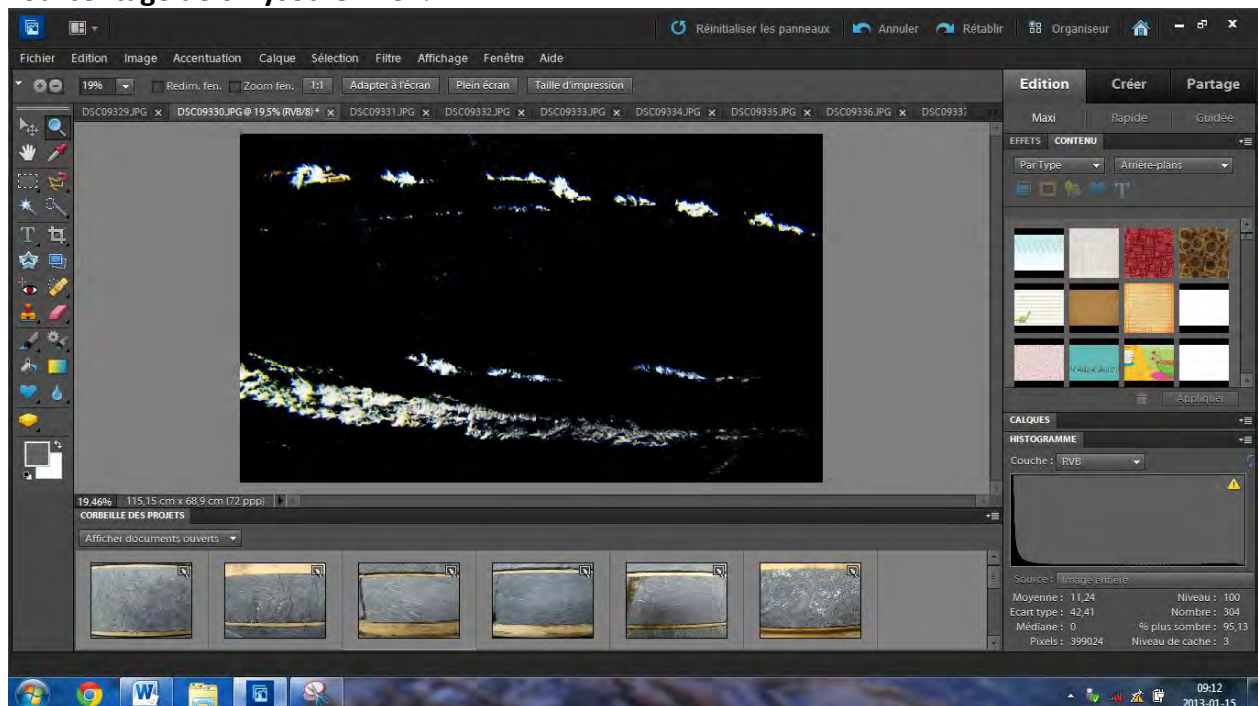


Image 22: Échantillon de la catégorie d'intensité Intense après manipulation dans Photoshop.

Catégorie d'intensité: Intense
Pourcentage de chrysotile: 6.59%

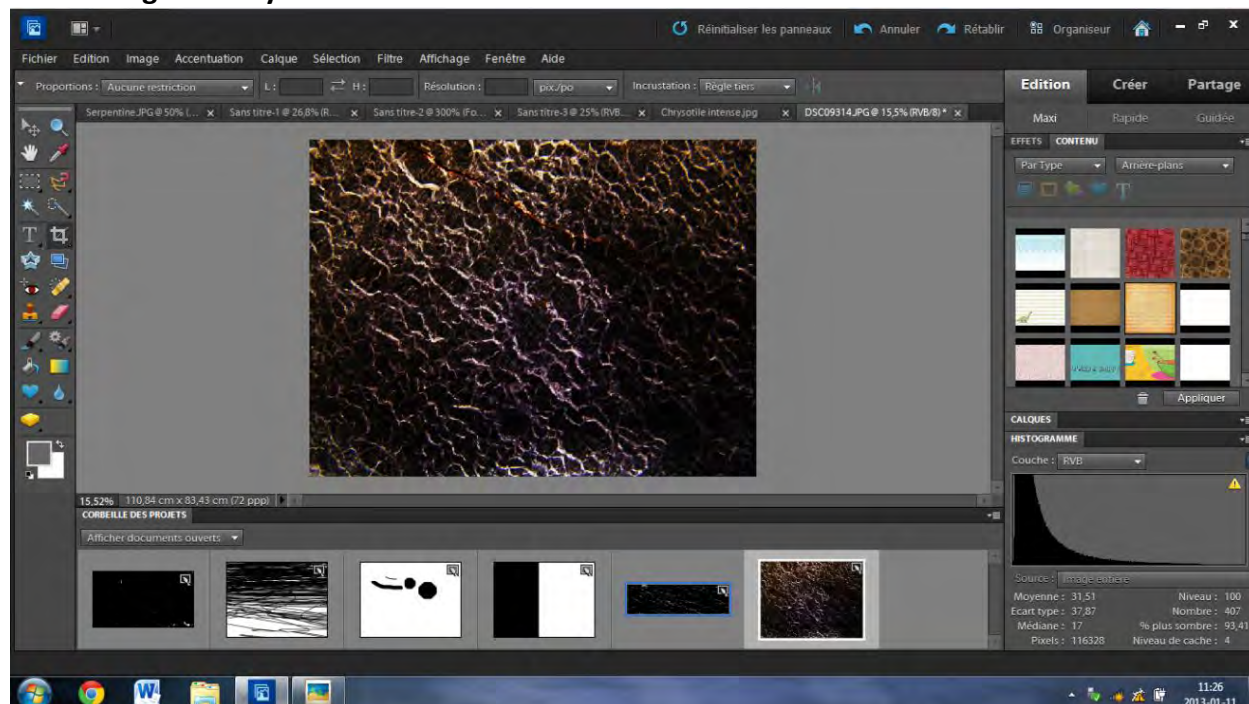


Image 23: Échantillon de la catégorie d'intensité Intense après manipulation dans Photoshop.

Ajout de données supplémentaires

Dans le but d'avoir une meilleure représentativité des catégories d'intensités "Élevée" et "Intense" de nouveaux échantillons ont été évalués pour avoir maintenant un total de 5 échantillons pour chaque catégorie d'intensité. Ainsi, 2 échantillons ont été ajoutés pour la catégorie d'intensité "Intense" et un échantillon pour la catégorie d'intensité "Élevée".

Ces nouveaux échantillons ont été évalués par la méthode Photoshop. La valeur assignée à chaque catégorie a été ajustée en prenant en compte les pourcentages des nouveaux échantillons. Malgré l'ajout de nouvelles données pour les catégories d'intensités "Élevée" et "Intense", l'ajustement de la valeur assignée des catégories d'intensités "Élevée" et "Intense" n'apporte aucune différence aux valeurs assignées précédentes. Le Tableau 3 montre ces valeurs.

Tableau 3: Valeurs assignées pour les catégories d'intensités de l'environnements «Réseaux de chrysotile» avec nouveaux intervalles représentatifs.

Catégories d'intensité de l'environnement «Réseaux de chrysotile»	Nombre de photo utilisée avant ajustement	Nombre de photo utilisée après ajustement	Valeurs assignées précédentes	Valeurs assignées ajustées	Gammes de pourcentage assignées
Aucun	-	-	0%	0%	0% à 0.1%
Faible	5	5	0.75%	0.75%	0.1% à 1%
Modérée	5	5	1.75%	1.75%	1% à 2.5%
Élevée	4	5	3.50%	3.50%	2.5% à 4.5%
Intense	3	5	6%	6%	4.5% à 7%

Les photos des nouveaux échantillons sont illustrées ci-dessous:

Catégorie d'intensité: Élevée

Pourcentage de chrysotile: 3.59%



Image 24: Échantillon de la catégorie d'intensité Élevée sur la carotte de forage

Catégorie d'intensité: Intense

Pourcentage de chrysotile: 5.68%



Image 25: Échantillon de la catégorie d'intensité Élevée sur la carotte de forage

Catégorie d'intensité: Intense

Pourcentage de chrysotile: 5.57%



Image 26: Échantillon de la catégorie d'intensité Élevée sur la carotte de forage

Discussion de la surestimation dans les Réseaux de chrysotile

Une légère surestimation du pourcentage du chrysotile présent dans la carotte de forage est générée par cette méthode de quantification des réseaux de chrysotile puisque de la brucite (pâle) et des minéraux blancs coexistants (tels que talc, serpentine presque fibreuse et carbonates) sont souvent associés au chrysotile à l'intérieur des réseaux et ne peuvent pas être distinctement séparés dans la section photographiée.

En pratique, les géologues peuvent faire la différence entre ces minéraux sur une échelle millimétrique et ainsi ajuster les catégories d'intensités pour les réseaux de chrysotile. Cependant, sur une échelle plus petite qu'un millimètre, il est parfois difficile de différencier ces minéraux à l'œil nu et une légère surestimation est encore présente.

Puisque cette surestimation est généralement très faible et a un impact mineur sur les résultats, cette méthode d'évaluation pour les catégories d'intensités fut approuvée par les géologues de RNC.

ii) Chrysotile dans les zones hautement fragmentées

Pour estimer la quantité de chrysotile dans les zones hautement fragmentées, les géologues de RNC ont utilisé la même stratégie de catégories d'intensités que pour les Réseaux de chrysotile. Une variété de zones hautement fragmentées a été sélectionnée pour assurer une distribution représentative.

La quantification des catégories d'intensités du chrysotile dans ces zones a dû s'effectuer de façon visuelle par cinq géologues de RNC. Les valeurs mesurées ont été compilées, vérifiées puis assignées à une catégorie d'intensité (faible, modérée, élevée et intense). Dans cette catégorie, de la boue de zones cisailées est souvent omniprésente. Additionnée à la nature fragmentée de ces zones, il est impossible d'utiliser Photoshop qui exige des surfaces propres.

Avec six zones hautement fragmentées représentatives des catégories d'intensités Faible et modérée et deux zones hautement fragmentées représentatives des catégories d'intensités Élevée et Intense, une valeur moyenne fut calculée pour chaque catégorie à partir des estimations des géologues de chaque zone hautement fragmentée.

Par la suite, des gammes de pourcentage possible furent assignées à chacune des catégories. Ces valeurs sont indiquées dans le Tableau 4 ci-dessous:

Tableau 4: Valeurs assignées pour les catégories d'intensités de l'environnements «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées»

Catégories d'intensité de l'environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées»	Nombre de zones hautement fragmentées utilisées	Valeurs assignées	Gammes de pourcentage assignées
Faible	6	3%	1% à 10%
Modérée	6	15%	10% à 25%
Élevée	2	33%	25% à 40%
Intense	2	50%	40% à 70%

Échantillons utilisés pour la caractérisation de l'environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées»

Toutes les zones hautement fragmentées utilisées pour déterminer la valeur assignée de chaque catégorie d'intensité sont illustrées ci-dessous (Image 24 à 39):

Catégorie d'intensité: Faible

Pourcentage de chrysotile moyen: 5%



Image 27: Zone hautement fragmentée de la Boite #61 (289.90-290.40m)

Chrysotile estimé de l'image 27 par les géologues:

Géologue 1	8% (Faible)
Géologue 2	3% (Faible)
Géologue 3	5% (Faible)
Géologue 4	3% (Faible)
Géologue 5	7% (Faible)
Valeur Moyenne	5% (Faible)

Catégorie d'intensité: Faible

Pourcentage de chrysotile moyen: 5%



Image 28: Zone hautement fragmentée de la Boite #61 (290.40-291.00m)

Chrysotile estimé de l'image 28 par les géologues:

Géologue 1	7% (Faible)
Géologue 2	3% (Faible)
Géologue 3	5% (Faible)
Géologue 4	3% (Faible)
Géologue 5	7% (Faible)
Valeur Moyenne	5% (Faible)

Catégorie d'intensité: Faible

Pourcentage de chrysotile moyen: 3%



Image 29: Zone hautement fragmentées de la Boite #35 (178.20-178.50m).

Chrysotile estimé de l'image 29 par les géologues:

Géologue 1	3% (Faible)
Géologue 2	2% (Faible)
Géologue 3	4% (Faible)
Géologue 4	3% (Faible)
Géologue 5	3% (Faible)
Valeur Moyenne	3% (Faible)

Catégorie d'intensité: Faible

Pourcentage de chrysotile moyen: 3%



Image 30: Zone hautement fragmentée de la Boite #114 (518.85- 519.10m).

Chrysotile estimé de l'image 30 par les géologues:

Géologue 1	3% (Faible)
Géologue 2	2% (Faible)
Géologue 3	3% (Faible)
Géologue 4	3% (Faible)
Géologue 5	3% (Faible)
Valeur Moyenne	3% (Faible)

Catégorie d'intensité: Faible

Pourcentage de chrysotile moyen: 3%



Image 31: Zone hautement fragmentée de la Boite #115 (521.50-522.00m).

Chrysotile estimé de l'image 31 par les géologues:

Géologue 1	4% (Faible)
Géologue 2	2% (Faible)
Géologue 3	2% (Faible)
Géologue 4	3% (Faible)
Géologue 5	3% (Faible)
Valeur Moyenne	3% (Faible)

Catégorie d'intensité: Faible

Pourcentage de chrysotile moyen: 4%



Image 32: Zone hautement fragmentée de la Boite #80 (369.60-370.30m).

Chrysotile estimé de l'image 32 par les géologues:

Géologue 1	5% (Faible)
Géologue 2	3% (Faible)
Géologue 3	3% (Faible)
Géologue 4	4% (Faible)
Géologue 5	5% (Faible)
Valeur Moyenne	4% (Faible)

Catégorie d'intensité: Modérée

Pourcentage de chrysotile moyen: 10%



Image 33: Zone hautement fragmentée de la Boîte #34 (172.35-172.75m).

Chrysotile estimé de l'image 33 par les géologues:

Géologue 1	15% (Modérée)
Géologue 2	5% (Faible)
Géologue 3	10% (Modérée)
Géologue 4	10% (Modérée)
Géologue 5	10% (Modérée)
Valeur Moyenne	10% (Modérée)

Catégorie d'intensité: Modérée

Pourcentage de chrysotile moyen: 10%



Image 34: Zone hautement fragmentée de la Boîte #49 (236.50-237.00m).

Chrysotile estimé de l'image 34 par les géologues:

Géologue 1	15% (Modérée)
Géologue 2	8% (Faible)
Géologue 3	11% (Modérée)
Géologue 4	7% (Faible)
Géologue 5	9% (Faible)
Valeur Moyenne	10% (Modérée)

Catégorie d'intensité: Modérée

Pourcentage de chrysotile moyen: 20%



Image 35: Zone hautement fragmentée de la Boîte #115 (521.00-521.50m).

Chrysotile estimé de l'image 35 par les géologues:

Géologue 1	25% (Modérée)
Géologue 2	15% (Modérée)
Géologue 3	20% (Modérée)
Géologue 4	20% (Modérée)
Géologue 5	20% (Modérée)
Valeur Moyenne	20% (Modérée)

Catégorie d'intensité: Modérée

Pourcentage de chrysotile moyen: 20%



Image 36: Zone hautement fragmentée de la Boîte #80 (370.30-370.80m).

Chrysotile estimé de l'image 36 par les géologues:

Géologue 1	25% (Modérée)
Géologue 2	15% (Modérée)
Géologue 3	20% (Modérée)
Géologue 4	25% (Modérée)
Géologue 5	15% (Modérée)
Valeur Moyenne	20% (Modérée)

Catégorie d'intensité: Modérée

Pourcentage de chrysotile moyen: 17%



Image 37: Zone hautement fragmentée de la Boite #97 (445.80-446.20m).

Chrysotile estimé de l'image 37 par les géologues:

Géologue 1	23% (Modérée)
Géologue 2	15% (Modérée)
Géologue 3	18% (Modérée)
Géologue 4	15% (Modérée)
Géologue 5	15% (Modérée)
Valeur Moyenne	17% (Modérée)

Catégorie d'intensité: Modérée

Pourcentage de chrysotile moyen: 12%



Image 38: Zone hautement fragmentée de la Boite #104 (474.15-474.75m).

Chrysotile estimé de l'image 38 par les géologues:

Géologue 1	15% (Modérée)
Géologue 2	8% (Faible)
Géologue 3	15% (Modérée)
Géologue 4	12% (Modérée)
Géologue 5	10% (Modérée)
Valeur Moyenne	12% (Modérée)

Catégorie d'intensité: Élevée

Pourcentage de chrysotile moyen: 35%



Image 39: Zone hautement fragmentée de la Boîte #24 (131.40-131.95m)

Chrysotile estimé de l'image 39 par les géologues:

Géologue 1	40% (Élevée)
Géologue 2	25% (Élevée)
Géologue 3	30% (Élevée)
Géologue 4	25% (Élevée)
Géologue 5	40% (Élevée)
Valeur Moyenne	35% (Élevée)

Catégorie d'intensité: Élevée

Pourcentage de chrysotile moyen: 36%



Image 40: Zone hautement fragmentée de la Boîte #26 (139.75-140.35m).

Chrysotile estimé de l'image 40 par les géologues:

Géologue 1	40% (Élevée)
Géologue 2	35% (Élevée)
Géologue 3	35% (Élevée)
Géologue 4	35% (Élevée)
Géologue 5	35% (Élevée)
Valeur Moyenne	36% (Élevée)

Catégorie d'intensité: Intense

Pourcentage de chrysotile moyen: 50%



Image 41: Zone hautement fragmentée de la Boite #97 (446.20-446.80m).

Chrysotile estimé de l'image 41 par les géologues:

Géologue 1	55% (Intense)
Géologue 2	45% (Intense)
Géologue 3	50% (Intense)
Géologue 4	50% (Intense)
Géologue 5	50% (Intense)
Valeur Moyenne	50% (Intense)

Catégorie d'intensité: Intense

Pourcentage de chrysotile moyen: 57%



Image 42: Zone hautement fragmentée de la Boite #63 (299.20-299.50m)

Chrysotile estimé de l'image 42 par les géologues:

Géologue 1	60% (Intense)
Géologue 2	60% (Intense)
Géologue 3	50% (Intense)
Géologue 4	55% (Intense)
Géologue 5	60% (Intense)
Valeur Moyenne	57% (Intense)

Ajout de données supplémentaires

Dans le but d'avoir une plus grande représentativité des catégories d'intensités Élevée et Intense, de nouveaux intervalles ont été évalués pour avoir maintenant un total de 5 échantillons pour ces catégories d'intensités. Ainsi, 3 intervalles ont été ajoutés pour les catégories d'intensités Élevée et Intense.

Ces nouveaux intervalles ont été évalués en utilisant la méthode décrite ci-haut. La valeur assignée à chaque catégorie a été ajustée en prenant en compte les pourcentages des nouveaux échantillons. L'ajout de nouvelles données pour les catégories d'intensités Élevée et Intense, cause une légère différence aux valeurs assignées de ces catégories d'intensités.

- Intensité Élevée, la valeur moyenne passe de 33% à 35%.
- Intensité Intense, la valeur moyenne passe de 50% à 55%.

L'ajustement de la valeur assignée des zones hautement fragmentées de catégories d'intensités Élevée et Intense augmente le pourcentage de chrysotile, à la fois sur les trous sélectionnés et sur l'ensemble du projet. Cet ajustement augmente la valeur dans l'ordre de grandeur du centième de pourcent. Le Tableau 5 montre ces valeurs:

Tableau 5: Valeurs assignées pour les catégories d'intensités de l'environnements «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées» avec nouveaux intervalles.

Catégories d'intensité de l'environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées»	Nombre de photo utilisée avant ajustement	Nombre de photo utilisée après ajustement	Valeurs assignées précédentes	Valeurs assignées ajustées	Gammes de pourcentage assignées
Faible	6	6	3%	3%	1% à 10%
Modérée	6	6	15%	15%	10% à 25%
Élevée	2	5	33%	35%	25% à 45%
Intense	2	5	50%	55%	45% à 70%

Les photos des nouvelles zones hautement fragmentées sont illustrées ci-dessous:

Catégorie d'intensité: Élevée

Pourcentage de chrysotile moyen: 31%



Image 43: Zone hautement fragmentée de la Boîte #67 du trou 11-RN-334 (312.38-313.00m)

Chrysotile estimé de l'image 43 par les géologues:

Géologue 1	60% (Intense)
Géologue 2	30% (Élevée)
Géologue 3	40% (Élevée)
Géologue 4	15% (Modérée)
Géologue 5	20% (Modérée)
Géologue 6	25% (Modérée)
Valeur Moyenne	31% (Élevée)

Catégorie d'intensité: Élevée

Pourcentage de chrysotile moyen: 28%



Image 45: Zone hautement fragmentée de la Boîte #3 du trou 11-RN-296 (63.49-63.97m)

Chrysotile estimé de l'image 45 par les géologues:

Géologue 1	20% (Modérée)
Géologue 2	15% (Modérée)
Géologue 3	45% (Intense)
Géologue 4	30% (Élevée)
Géologue 5	30% (Élevée)
Géologue 6	25% (Élevée)
Valeur Moyenne	28% (Élevée)

Catégorie d'intensité: Élevée

Pourcentage de chrysotile moyen: 38%



Image 46: Zone hautement fragmentée de la Boite #47 du trou 08-RN-94 (209.10-209.45m)

Chrysotile estimé de l'image 46 par les géologues:

Géologue 1	45% (Intense)
Géologue 2	40% (Élevée)
Géologue 3	40% (Élevée)
Géologue 4	25% (Élevée)
Géologue 5	40% (Élevée)
Géologue 6	35% (Élevée)
Valeur Moyenne	38% (Élevée)

Catégorie d'intensité: Intense

Pourcentage de chrysotile moyen: 56%



Image 47: Zone hautement fragmentée de la Boite #4 du trou 11-RN-252 (43.10-43.32m)

Chrysotile estimé de l'image 47 par les géologues:

Géologue 1	70% (Intense)
Géologue 2	60% (Intense)
Géologue 3	70% (Intense)
Géologue 4	30% (Élevée)
Géologue 5	60% (Intense)
Géologue 6	50% (Intense)
Valeur Moyenne	56% (Intense)

Catégorie d'intensité: Intense

Pourcentage de chrysotile moyen: 51%



Image 48: Zone hautement fragmentée de la Boite #47 du trou 08-RN-94 (208.5-208.65m)

Chrysotile estimé de l'image 48 par les géologues:

Géologue 1	50% (Intense)
Géologue 2	50% (Intense)
Géologue 3	55% (Intense)
Géologue 4	40% (Élevée)
Géologue 5	60% (Intense)
Géologue 6	50% (Intense)
Valeur Moyenne	51% (Intense)

Catégorie d'intensité: Intense

Pourcentage de chrysotile moyen: 61%



Image 49: Zone hautement fragmentée de la Boite #18 du trou 11-RN-300 (115.03-115.11m)

Chrysotile estimé de l'image 49 par les géologues:

Géologue 1	60% (Intense)
Géologue 2	55% (Intense)
Géologue 3	70% (Intense)
Géologue 4	60% (Intense)
Valeur Moyenne	61% (Élevée)

Vérification interne des zones hautement fragmentées

Lors de l'ajout de données supplémentaires, sept géologues ont réévalué six intervalles de la catégorie d'intensité Intense des zones hautement fragmentées. Sur ces six intervalles, trois d'entre eux ont été recatégorisés dans les catégories Modérée et Élevée. Les trois autres sont demeurés dans la catégorie Intense.

Pour cette raison, les géologues de RNC ont décidé de faire une réévaluation des 45 intervalles de la catégorie d'intensité Intense de l'environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées» pour vérifier la validité des identifications faites lors du journal de sondage du chrysotile.

Sur les 45 intervalles de la catégorie Intense, 15 d'entre eux ont été recatégorisés et ajustés dans la base de données. Ces intervalles sont montrés dans l'Annexe VI.

La réévaluation interne des zones hautement fragmentées de la catégorie d'intensité «Intense» diminue le pourcentage de chrysotile, à la fois, sur les trous sélectionnés et sur l'ensemble du projet. Cet ajustement augmente la valeur dans l'ordre de grandeur du centième de pourcent.

Discussion de la surestimation dans les zones hautement fragmentées

Une légère surestimation du pourcentage du chrysotile peut se présenter dans les zones hautement fragmentées par cette méthode de quantification puisque de la brucite et des minéraux blancs coexistants (tels que talc, serpentine presque fibreuse et carbonates) sont souvent associés au chrysotile à l'intérieur des zones hautement fragmentées.

Dans les zones hautement fragmentées, chaque catégorie d'intensité couvre une large gamme de pourcentage. L'estimation visuelle dans les zones à pourcentages élevés est plus variable d'un géologue à l'autre. Pour cette raison, dès que l'estimation visuelle se situe près des limites des gammes de pourcentage des catégories d'intensités, la zone est classée dans la catégorie supérieure.

Puisque cette surestimation est généralement très faible et a un impact mineur sur les résultats, cette méthode d'évaluation pour les catégories d'intensités fut approuvée par les géologues de RNC.

iii) Chrysotile dans les veines/fractures

Pour le chrysotile se trouvant dans les veines et fractures, les géologues de RNC ont jugé que la méthode la plus précise pour l'estimation était de mesurer l'épaisseur du chrysotile présent dans les veines et fractures avec une règle ou ruban à mesurer et d'assumer que la valeur mesurée équivaut à 100% de chrysotile. Tout ce qui est à l'extérieur des veines est considéré comme faisant partie de réseaux de chrysotile à travers la roche.

Pour les veines qui recoupent l'axe de la carotte de forage avec un angle fort, une mesure de l'épaisseur du chrysotile est prise. Pour les veines qui recoupent l'axe de la carotte avec un angle faible, un calcul standard est utilisé de façon à diviser le joint en segments de 4.5 cm (ou le diamètre de la carotte de forage). Ce qui revient à couper la veine en segments de 4.5 cm de longueur, à regrouper ces segments côte à côte perpendiculairement à l'axe de la carotte de forage et à mesurer l'épaisseur totale. L'équation standard est montrée ci-dessous:

Étape 1: La longueur totale de la veine de chrysotile est mesurée et divisé par 4.5cm (diamètre de la carotte).

Étape 2: L'épaisseur moyenne de chrysotile dans la veine est multipliée par le résultat obtenue à l'étape 1.

Exemple utilisant l'image 50:

Étape 1: Longueur totale (22.5cm) / 4.5cm = 5

Étape 2: Épaisseur moyenne de chrysotile dans la veine = 2mm
 $2\text{mm} * 5 = 10\text{mm}$

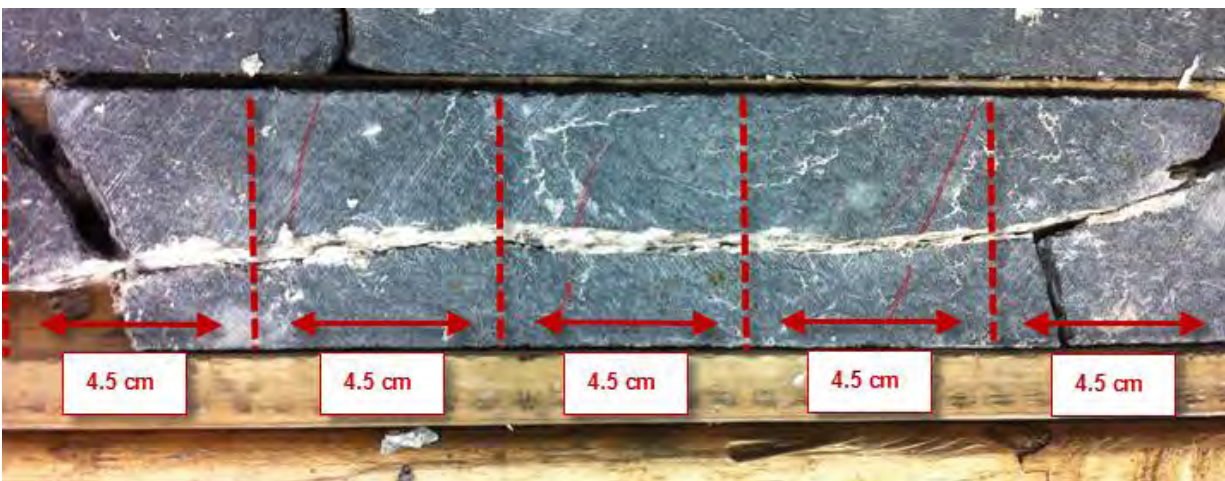


Image 50: Veine de chrysotile coupant à travers l'axe de la carotte de forage séparée en segments de 4.5cm



Image 51: Veine coupant le diamètre de la carotte de forage à un angle faible. L'épaisseur est mesurée avec une règle.

Discussion de la surestimation de la chrysotile dans les veines/fractures

Une légère surestimation du pourcentage du chrysotile présent dans les veines/fractures est générée puisque de la brucite et des minéraux blancs coexistants (tel que talc, serpentine presque fibreuse et carbonates) sont souvent associés au chrysotile et ne peuvent pas être distingués lorsque ceux-ci se présentent en faible quantité ou avec une granulométrie fine. La valeur attribuée de 100% aux veines et fractures de chrysotile augmente la quantité totale de chrysotile.

Puisque cette surestimation est généralement très faible et a un impact mineur sur les résultats, cette méthode d'évaluation pour les catégories d'intensité fut approuvée par les géologues de RNC.

5) Chrysotile dans les zones de carotte de forage non récupérées

L'altération des lithologies ultramafiques du projet Dumont génère des minéraux fibreux qui peuvent former des veines ou remplir des failles ou zones cisillées. Ces zones sont potentiellement propices à une perte de récupération de la carotte de forage. Lors du forage, si le foreur ne fait pas attention, ces zones sont propices à être lavées par un contrôle inadéquat de la pression d'eau lors du forage. Malgré tout, ces zones sont régulièrement récupérées.

Il existe plusieurs situations où une perte de la carotte de forage peut survenir, soit lors du forage:

- Broyage de la carotte lors du forage
 - Terrain fracturé
 - Mauvaise manœuvre des foreurs
- Faille ouverte sans remplissage minéral (veine d'eau)
- Faille ou veine de minéraux boueux lessivée lors du forage.
- Défectuosité ou usure de l'équipement de forage (ressort de soutien, forêt,...)
- Perte de carotte lors des manipulations par les foreurs ou par les techniciens de RNC jusqu'à la carothèque.

Soit lors de la manipulation de la carotte de forage dans la carothèque:

- Perte de carotte de forage lors de la coupe de la carotte pour l'échantillonnage.
- Perte de carotte de forage lors des manipulations d'entreposage et d'étalage des boîtes sur les tables de travail.

Dans le cas spécifique de ce projet, puisque les mesures sont faites sur des carottes de forage qui ont déjà été manipulées, un journal de sondage standard réalisé, échantillonnées et entreposées sur palettes. La carotte perdue lors des différentes manipulations est le facteur le plus important puisque les pertes représentent presque exclusivement des morceaux de carottes solides, car les sections «molles» restent dans les boîtes de carottes.

À partir de notre expérience globale du projet Dumont, pour le cas spécifique de cet étude, environ 25% des zones de carotte de forage non récupérées correspondent à des zones à contenu élevé en chrysotile (Zone hautement fracturée). Cette valeur est considérée comme étant généreuse, car il est également fréquent de voir des sections de carottes de forage broyées représentant une section de roche compétente en plus de la possibilité de rencontrer toutes les autres raisons mentionnées ci-haut.

De ces 25%, qui correspondent dans les faits à des zones de veines ou de failles boueuses contenant également de la serpentine, de la brucite, du talc, des carbonates et des fragments de roche, le chrysotile représenterait en moyenne 35% du contenu de ces zones. Cette valeur de 35% correspond à la catégorie Élevée de l'environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées». Elle est jugée représentative des sections «boueuses» non récupérées.

Avec 25% de zones de carotte de forage non récupérées à contenu élevé en chrysotile et une quantité attribuée de 35% de chrysotile dans ces zones, cela représente 8.75% de chrysotile supplémentaire à ajouter globalement au projet.

La carotte perdue a été calculée par une différence de la longueur du trou dans la roche par rapport à la longueur de la carotte mesurée lors de l'évaluation du chrysotile. Le pourcentage de chrysotile présent a été ensuite calculé automatiquement en multipliant la carotte perdue par 8.75%. Ce calcul a été fait individuellement pour chacun des trous et sur l'ensemble du projet.

Les zones de carotte de forage non récupérées, représentant environ 1.5% des 13 trous ciblés par ce projet d'évaluation du chrysotile, ont été ajoutées au tableau de compilation. Au final, les zones de carotte de forage non récupérées génèrent une augmentation de 0.11% de chrysotile qui ne peut être évalué visuellement et qui doit être ajouté au résultat de l'ensemble du projet. Les résultats sont montrés dans le Tableau 3 de la section «Résultats» de ce document.

6) Discussion

Toutes les valeurs moyennes de chaque catégorie d'intensité de chaque environnement de chrysotile trouvées avec les méthodes mentionnées précédemment ont été compilées et arrondies au supérieur pour donner une surestimation artificielle pour but de rester conservateur. Ceci a résulté en une valeur assignée pour chaque catégorie d'intensité pour faciliter le calcul du chrysotile présent dans la carotte. Le Tableau 1 montre ces valeurs assignées pour chaque catégorie d'intensité avec leur gamme de pourcentage attribuée.

Avec les méthodes mises sur pied, les environnements de chrysotile peuvent facilement être identifiés visuellement et mesurés avec une règle. Puisque le chrysotile peut être mesuré précisément au millimètre dans les veines et fractures avec une règle conventionnelle, mesurer tous les intervalles au millimètre près devient significatif et a donc été appliqué aux procédures.

Une table a été créée dans DH Logger où chaque catégorie d'intensité pour chaque environnement de chrysotile est représentée et qui va servir comme base de données pour le journal de sondage du chrysotile. Elle permet l'entrée des données et calcul automatiquement le pourcentage de chrysotile pour chaque intervalle de 3m.

**ANNEXE II : PROCÉDURE DU JOURNAL DE SONDAGE DU CHRYSOTILE
V. 1.02, PROJET DUMONT, 22 MARS 2013**

PROCÉDURE DU JOURNAL DE SONDAGE DU CHRYSOTILE

Projet Dumont

22 Mars, 2013

RNC



Procédure du journal de sondage du chrysotile en huit étapes

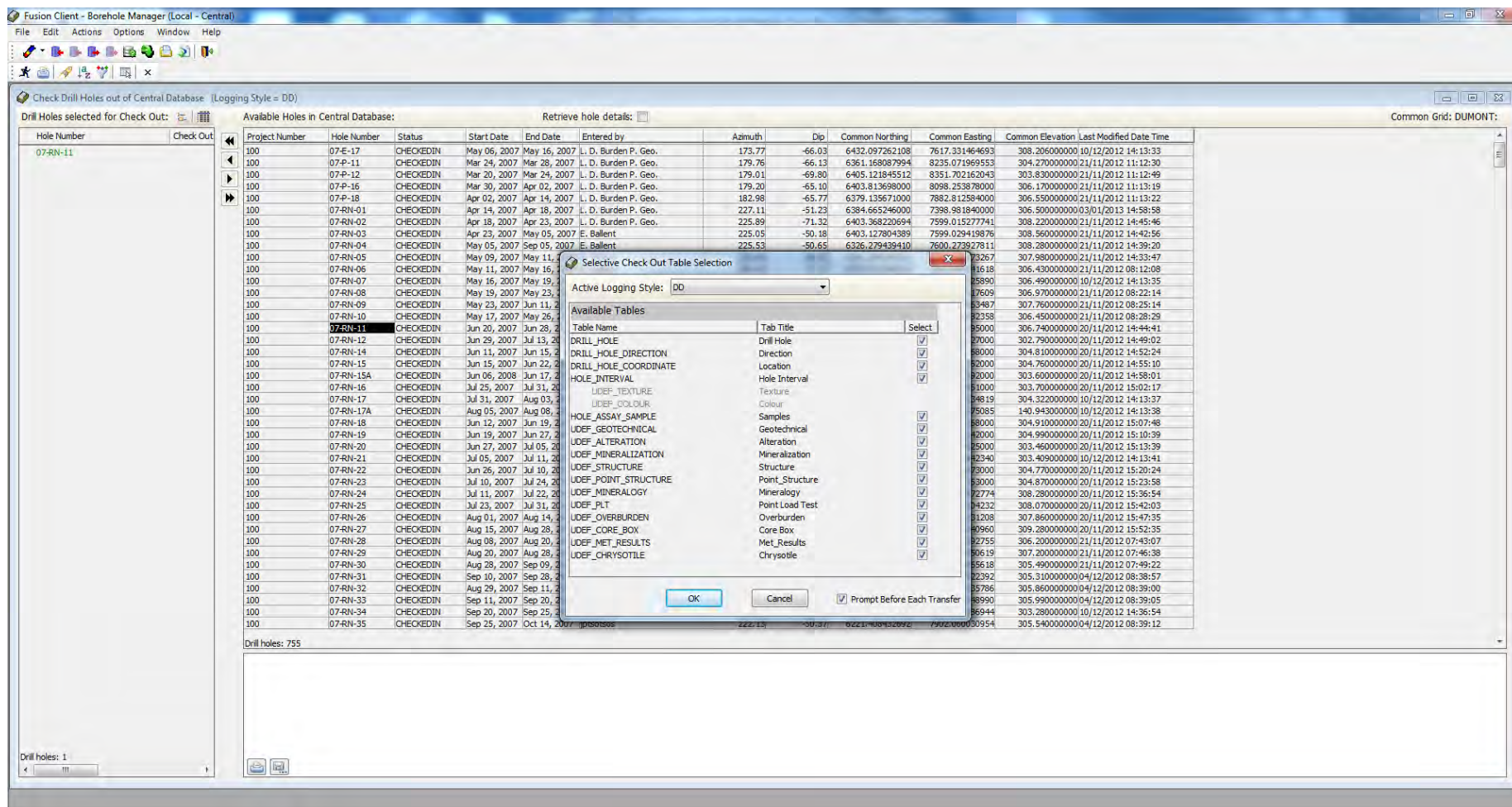
- 1. Préparer la carotte de forage et Ouvrir DH Logger**
- 2. Évaluer chaque intervalle de 3 mètres minutieusement**
- 3. Séparer les intervalles de «Réseaux de chrysotile»**
- 4. Séparer les intervalles de «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées»**
- 5. Séparer les intervalles de «Chrysotile dans les veines/fractures»**
- 6. Mesurer les intervalles et Entrer les données**
- 7. Vérifier la longueur totale de l'intervalle de 3 mètres**
- 8. Révision, Photo et Ranger les boîtes de carotte de forage**

1^{er} Étape: Préparer la carotte de forage et Ouvrir DH Logger

1. «Check-out» le trou de forage sélectionné dans Fusion
2. Ouvrir le programme DH Logger.
 - Cliquer sur la table «Chrysotile» dans DH Logger.
3. Laver la carotte de forage méticuleusement.
4. Placer parfaitement la carotte de forage.
 - Pousser les morceaux de carotte de forage ensemble pour approximer le volume de la carotte de forage.

1^{er} Étape: Préparer la carotte de forage et Ouvrir DH Logger

1. «Check-out» le trou de forage sélectionné dans Fusion



Fusion Client - Borehole Manager (Local - Central)

File Edit Actions Options Window Help

Check Drill Holes out of Central Database (Logging Style = DD)

Drill Holes selected for Check Out: 07-RN-11

Available Holes in Central Database: Retrieve hole details: ☐

Project Number	Hole Number	Status	Start Date	End Date	Entered by	Azimuth	Dip	Common Northing	Common Easting	Common Elevation	Last Modified Date Time
100	07-E-17	CHECKED IN	May 06, 2007	May 16, 2007	L. D. Burden P. Geo.	173.77	-66.03	6432.097262108	7617.331464693	308.206000000	10/12/2012 14:13:33
100	07-P-11	CHECKED IN	Mar 24, 2007	Mar 28, 2007	L. D. Burden P. Geo.	179.76	-66.13	6361.168087994	8235.071969553	304.270000000	21/11/2012 11:12:30
100	07-P-12	CHECKED IN	Mar 20, 2007	Mar 24, 2007	L. D. Burden P. Geo.	179.01	-69.80	6405.121845512	8351.702162043	303.830000000	21/11/2012 11:12:49
100	07-P-16	CHECKED IN	Mar 30, 2007	Apr 02, 2007	L. D. Burden P. Geo.	179.20	-65.10	6403.813698000	8098.253878000	306.170000000	21/11/2012 11:13:19
100	07-P-18	CHECKED IN	Apr 02, 2007	Apr 14, 2007	L. D. Burden P. Geo.	182.98	-65.77	6379.135671000	7882.812584000	306.550000000	21/11/2012 11:13:22
100	07-RN-01	CHECKED IN	Apr 14, 2007	Apr 18, 2007	L. D. Burden P. Geo.	227.11	-51.23	6384.665246000	7398.981840000	306.500000000	03/01/2013 14:58:58
100	07-RN-02	CHECKED IN	Apr 18, 2007	Apr 23, 2007	L. D. Burden P. Geo.	225.89	-71.32	6403.368220694	7599.015277741	308.220000000	21/11/2012 14:45:46
100	07-RN-03	CHECKED IN	Apr 23, 2007	May 05, 2007	E. Ballent	225.05	-50.18	6403.127804389	7599.029419876	308.560000000	21/11/2012 14:42:56
100	07-RN-04	CHECKED IN	May 05, 2007	Sep 05, 2007	E. Ballent	225.53	-50.65	6326.279439410	7600.273278111	308.280000000	21/11/2012 14:39:20
100	07-RN-05	CHECKED IN	May 09, 2007	May 11, 2007						307.980000000	21/11/2012 14:33:47
100	07-RN-06	CHECKED IN	May 11, 2007	May 16, 2007						306.430000000	21/11/2012 08:12:08
100	07-RN-07	CHECKED IN	May 16, 2007	May 19, 2007						306.490000000	10/12/2012 14:13:35
100	07-RN-08	CHECKED IN	May 19, 2007	May 23, 2007						306.970000000	21/11/2012 08:22:14
100	07-RN-09	CHECKED IN	May 23, 2007	Jun 11, 2007						307.760000000	21/11/2012 08:25:14
100	07-RN-10	CHECKED IN	May 17, 2007	May 26, 2007						306.450000000	21/11/2012 08:28:29
100	07-RN-11	CHECKED IN	Jun 20, 2007	Jun 28, 2007						306.740000000	20/11/2012 14:44:41
100	07-RN-12	CHECKED IN	Jun 29, 2007	Jul 15, 2007						302.790000000	20/11/2012 14:49:02
100	07-RN-14	CHECKED IN	Jun 11, 2007	Jun 15, 2007						304.810000000	20/11/2012 14:52:24
100	07-RN-15	CHECKED IN	Jun 15, 2007	Jun 22, 2007						304.760000000	20/11/2012 14:55:10
100	07-RN-15A	CHECKED IN	Jun 06, 2008	Jun 17, 2007						303.600000000	20/11/2012 14:58:01
100	07-RN-16	CHECKED IN	Jul 25, 2007	Jul 31, 2007						303.700000000	20/11/2012 15:02:17
100	07-RN-17	CHECKED IN	Jul 31, 2007	Aug 03, 2007						304.322000000	10/12/2012 14:13:37
100	07-RN-17A	CHECKED IN	Aug 05, 2007	Aug 08, 2007						140.943000000	10/12/2012 14:13:38
100	07-RN-18	CHECKED IN	Jun 12, 2007	Jun 19, 2007						304.910000000	20/11/2012 15:07:48
100	07-RN-19	CHECKED IN	Jun 19, 2007	Jun 27, 2007						304.990000000	20/11/2012 15:10:39
100	07-RN-20	CHECKED IN	Jun 27, 2007	Jul 05, 2007						303.460000000	20/11/2012 15:13:39
100	07-RN-21	CHECKED IN	Jul 05, 2007	Jul 11, 2007						303.409000000	10/12/2012 14:13:41
100	07-RN-22	CHECKED IN	Jun 26, 2007	Jul 10, 2007						304.770000000	20/11/2012 15:20:24
100	07-RN-23	CHECKED IN	Jul 10, 2007	Jul 24, 2007						304.870000000	20/11/2012 15:23:58
100	07-RN-24	CHECKED IN	Jul 11, 2007	Jul 22, 2007						308.280000000	20/11/2012 15:36:54
100	07-RN-25	CHECKED IN	Jul 23, 2007	Jul 31, 2007						308.070000000	20/11/2012 15:42:03
100	07-RN-26	CHECKED IN	Aug 01, 2007	Aug 14, 2007						307.860000000	20/11/2012 15:47:35
100	07-RN-27	CHECKED IN	Aug 15, 2007	Aug 28, 2007						309.280000000	20/11/2012 15:52:35
100	07-RN-28	CHECKED IN	Aug 08, 2007	Aug 20, 2007						306.200000000	21/11/2012 07:43:07
100	07-RN-29	CHECKED IN	Aug 20, 2007	Aug 28, 2007						307.200000000	21/11/2012 07:46:38
100	07-RN-30	CHECKED IN	Aug 28, 2007	Sep 09, 2007						305.490000000	21/11/2012 07:49:22
100	07-RN-31	CHECKED IN	Sep 10, 2007	Sep 28, 2007						305.310000000	04/12/2012 08:38:57
100	07-RN-32	CHECKED IN	Aug 29, 2007	Sep 11, 2007						305.860000000	04/12/2012 08:39:00
100	07-RN-33	CHECKED IN	Sep 11, 2007	Sep 20, 2007						305.990000000	04/12/2012 08:39:05
100	07-RN-34	CHECKED IN	Sep 20, 2007	Sep 25, 2007						303.280000000	10/12/2012 14:36:54
100	07-RN-35	CHECKED IN	Sep 25, 2007	Oct 14, 2007						305.540000000	04/12/2012 08:39:12

Drill holes: 755

Drill holes: 1

Common Grid: DUMONT:

Active Logging Style: DD

Available Tables

Table Name	Tab Title	Select
DRILL_HOLE	Drill Hole	☒
DRILL_HOLE_DIRECTION	Direction	☒
DRILL_HOLE_COORDINATE	Location	☒
HOLE_INTERVAL	Hole Interval	☒
UDEF_TEXTURE	Texture	☐
UDEF_COLOUR	Colour	☐
HOLE_ASSAY_SAMPLE	Samples	☒
UDEF_GEOTECHNICAL	Geotechnical	☒
UDEF_ALTERATION	Alteration	☒
UDEF_MINERALIZATION	Mineralization	☒
UDEF_STRUCTURE	Structure	☒
UDEF_POINT_STRUCTURE	Point Structure	☒
UDEF_MINERALOGY	Mineralogy	☒
UDEF_PLT	Point Load Test	☒
UDEF_OVERBURDEN	Overburden	☒
UDEF_CORE_BOX	Core Box	☒
UDEF_MET_RESULTS	Met Results	☒
UDEF_CHRYSTOLITE	Chrysolite	☒

OK Cancel ☒ Prompt Before Each Transfer

1^{er} Étape: Préparer la carotte de forage et Ouvrir DH Logger

2. Ouvrir DH Logger et choisir la table «Chrysotile»

Drill Hole from: (0.00) to: (350.00)
 Project: 100 Dumont Resource Drilling Hole No: 11-RN-334 Status: MIXED

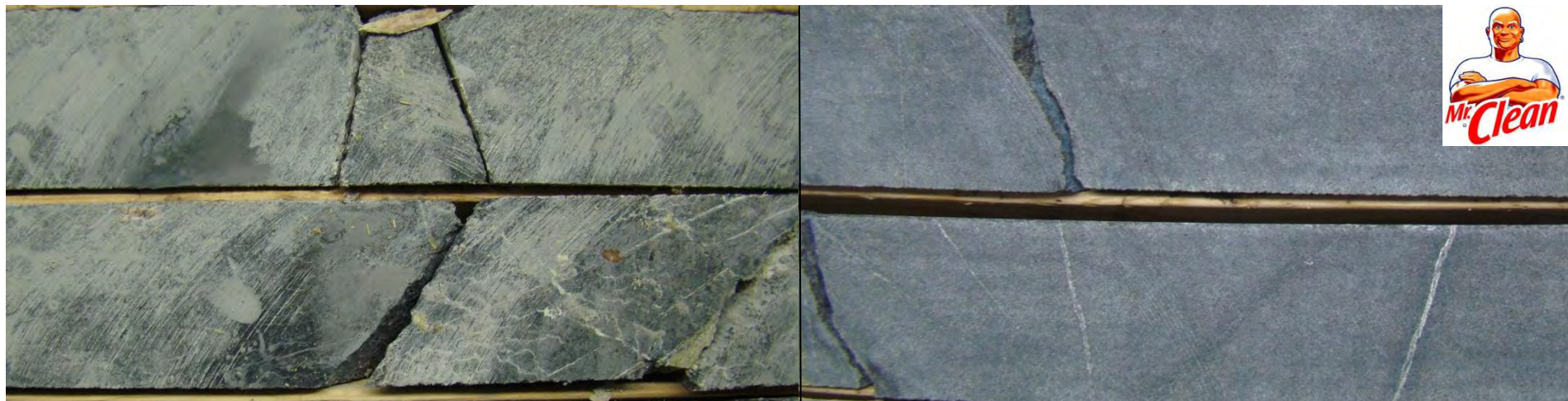
Collar Details Samples

Survey (115) Location (1) Geotechnical (107) Alteration (9) Mineralization (7) Texture (0) Colour (0) Point_Structure (101) Structure (45) Mineralogy (0) Point Load Test (0) Overburden (0) Core Box (0) Met_Results (0) **Chrysotile (28)**

	From	To	Core Length	None (0% to 0.1%)	Network (0.1% to 1%)	Network (1% to 2.5%)	Network (2.5% to 4.5%)	Network (4.5% to 7%)	RZ (1% to 10%)	RZ (10% to 25%)	RZ (25% to 40%)	RZ (40% to 70%)	Veins and Fractures	% Chrysotile	Total Length	Comments
0	84.00	87.00	3.197	.000	1.122	.100	.000	.000	1.850	.000	.000	.000	.025	2.836	3.097	
7A	87.00	90.00	2.910	.000	2.710	.000	.000	.000	.098	.100	.000	.000	.002	1.384	2.910	
33.00	90.00	93.00	3.106	.000	3.055	.000	.000	.000	.043	.000	.000	.000	.008	1.037	3.106	
34.50	93.00	96.00	2.851	.000	2.611	.179	.000	.000	.000	.058	.000	.000	.003	1.207	2.851	
6A	96.00	99.00	3.127	.000	2.894	.191	.000	.000	.000	.000	.012	.000	.030	1.887	3.127	
142.40	99.00	102.00	2.944	.000	2.358	.276	.000	.000	.306	.000	.000	.000	.004	1.212	2.944	
142.40	102.00	105.00	2.967	.000	2.721	.246	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.833	2.967	
188.45	105.00	108.00	3.024	.000	2.532	.492	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.913	3.024	
188.45	108.00	111.00	2.806	.119	1.943	.564	.000	.000	.143	.036	.000	.000	.001	1.252	2.806	
189.95	111.00	114.00	3.020	.000	2.418	.100	.275	.000	.227	.000	.000	.000	.000	1.203	3.020	
6D	114.00	117.00	2.808	.000	1.763	.480	.463	.000	.102	.000	.000	.000	.000	1.456	2.808	
350.00	117.00	120.00	2.940	.000	2.095	.000	.400	.000	.445	.000	.000	.000	.000	1.465	2.940	
	120.00	123.00	2.958	.000	.553	1.146	.890	.000	.369	.000	.000	.000	.000	2.246	2.958	
	123.00	126.00	3.045	.000	1.742	1.109	.000	.000	.194	.000	.000	.000	.000	1.258	3.045	
	126.00	129.00	3.000	.000	1.518	1.481	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.001	1.277	3.000	
	129.00	132.00	3.140	.000	1.763	.360	.495	.000	.521	.000	.000	.000	.001	1.703	3.140	
	132.00	135.00	3.071	.000	1.723	1.072	.000	.000	.271	.000	.000	.000	.005	1.459	3.071	
	135.00	138.00	2.987	.000	2.963	.000	.000	.000	.000	.024	.000	.000	.000	.864	2.987	
	138.00	141.00	2.862	.000	1.728	1.076	.000	.000	.023	.021	.000	.000	.014	1.734	2.862	
	141.00	144.00	2.871	1.413	1.454	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.004	.519	2.871	
	144.00	147.00	3.162	.000	2.474	.596	.000	.000	.000	.091	.000	.000	.001	1.380	3.162	
	147.00	150.00	2.805	.000	.544	.725	.141	.000	1.193	.000	.194	.000	.008	4.617	2.805	
	150.00	153.00	2.820	.000	.434	.507	.737	.000	.499	.615	.000	.000	.028	6.140	2.820	
	153.00	156.00	2.988	.000	2.048	.296	.199	.000	.107	.316	.000	.000	.022	3.351	2.988	
	156.00	159.00	2.663	.000	1.297	.285	.429	.000	.433	.195	.000	.000	.024	3.604	2.663	
	159.00	162.00	2.866	.000	1.543	1.261	.036	.000	.018	.000	.000	.000	.008	1.516	2.866	
	162.00	165.00	2.867	.000	.163	.642	.000	.000	1.071	.987	.000	.000	.004	6.859	2.867	
	165.00	168.00	2.983	.000	1.891	.170	.000	.000	.916	.000	.000	.000	.006	1.698	2.983	

3. Laver la carotte de forage méticuleusement.

- Cette étape est critique car il est primordiale de voir toutes les veines de chrysotile sur la carotte de forage pour pouvoir bien évaluer les réseaux de chrysotile. Même s'il est difficile d'enlever de la chrysotile à travers le lavage, il est important de NE PAS FROTTER TROP FORT la carotte de forage et plus rincer que de frotter. Ceci est particulièrement vrai pour les fractures ouvertes où le chrysotile est mobile. NE PAS laver les zones hautement fragmentées.



Carotte sale (Veines de chrysotile à peine visible) **Carotte propre** (Veines de chrysotile très visible)

1^{er} Étape: Préparer la carotte de forage et Ouvrir DH Logger

4. Placer parfaitement la carotte de forage.

- Les fragments dans les zones hautement fragmentées doivent aussi être rapprochés pour approximer le volume de la carotte de forage intact pour ne pas surestimer la longueur de la carotte.



Séparé



Rapproché

2^{ième} Étape: Évaluer chaque intervalle de 3 mètres minutieusement

1. Révision des propriétés physiques du chrysotile vs. minéraux similaires.
2. Test pour trouver le chrysotile dans l'intervalle de 3 mètres.
 - Test par grattage, test par acide, test visuel, test par texture.
3. Estimation rapide du pourcentage de chrysotile de l'intervalle complet.
 - Garder l'estimation en tête pour vérifier si le pourcentage évalué est censé.

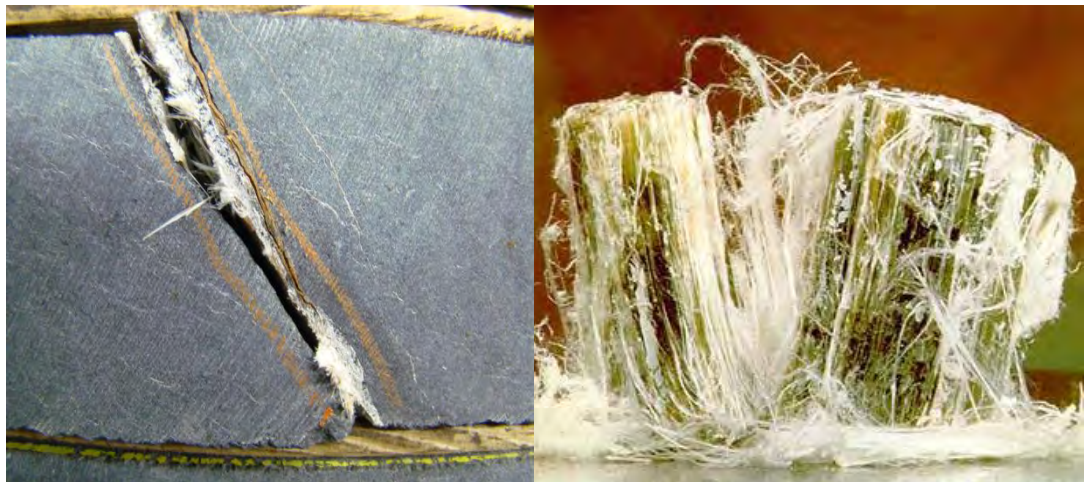
2^{ième} Étape: Évaluer chaque intervalle de 3 mètres minutieusement

1. Révision des propriétés physiques du chrysotile vs. minéraux similaires.

Chrysotile

- Formule chimique: $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
- Composition:

Magnésium	26.31%	Mg
Silice	20.27%	Si
Hydrogène	1.45%	H
Oxygène	<u>51.96%</u>	O
	100.00%	
- Formule empirique: $\text{Mg}_3(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$
- Clivage: None.
- Couleur: gris/blanc à vert.
- Densité: 2.53 g/ml
- Diaphanéité: Translucide.
- Fracture: Fibreux.
- Dureté: 2.5 – ongle, calcite
- Habitus: Aciculaire – Apparaît comme des cristaux en aiguilles.
- Lustre: Soyeux.
- Magnétisme: Non-magnétique
- Trait: Blanc



Source - <http://webmineral.com/>

2^{ième} Étape: Évaluer chaque intervalle de 3 mètres minutieusement

1. Révision des propriétés physiques du chrysotile vs. minéraux similaires.

Talc

- Formule chimique: $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
- Composition:

Magnésium	19.23%	Mg
Silice	29.62%	Si
Hydrogène	0.53%	H
Oxygène	<u>50.62%</u>	O
	100.00%	
- Formule empirique: $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
- Clivage: {001} Parfait
- Couleur: Vert pale, blanc, blanc grisâtre, blanc jaunâtre, blanc brunâtre.
- Densité: 2.7 - 2.8, moyenne = 2.75g/ml
- Diaphanéité: Translucide
- Fracture: Inégale - Surfaces lamellaires fracturées de façon inégales.
- Habitus: Folié – Forme lamellaire bidimensionnelle, Massive, écailleux.
- Dureté: 1 - Talc
- Lustre: Vitreux - Perlé
- Trait: Blanc



Source - <http://webmineral.com/>

2^{ième} Étape: Évaluer chaque intervalle de 3 mètres minutieusement

1. Révision des propriétés physiques du chrysotile vs. minéraux similaires.

Magnésite

- Formule chimique: MgCO_3
- Composition:

Magnésium	19.23%	Mg
Carbone	72.43%	Ni
Oxygène	<u>56.93%</u>	O
	100.00%	
- Formule empirique: $\text{Mg}(\text{CO}_3)$
- Clivage: {1011} Parfait, {1011} Parfait, {1011} Parfait
- Couleur: Transparent, blanc, blanc grisâtre, blanc jaunâtre, blanc brunâtre.
- Densité: 3 g/ml
- Diaphanéité: Transparent à translucide
- Fracture: Fragile – Conchoïdal.
- Habitus: Terreux – texture argileuse sans affinités cristallines visible, fibreux – Grains fins fibreux, Massive - Granulaire – Texture commune observée dans les granite et autres roches ignées.
- Dureté: 4 - Fluorite
- Lustre: Vitreux
- Trait: Blanc



Source - <http://webmineral.com/>

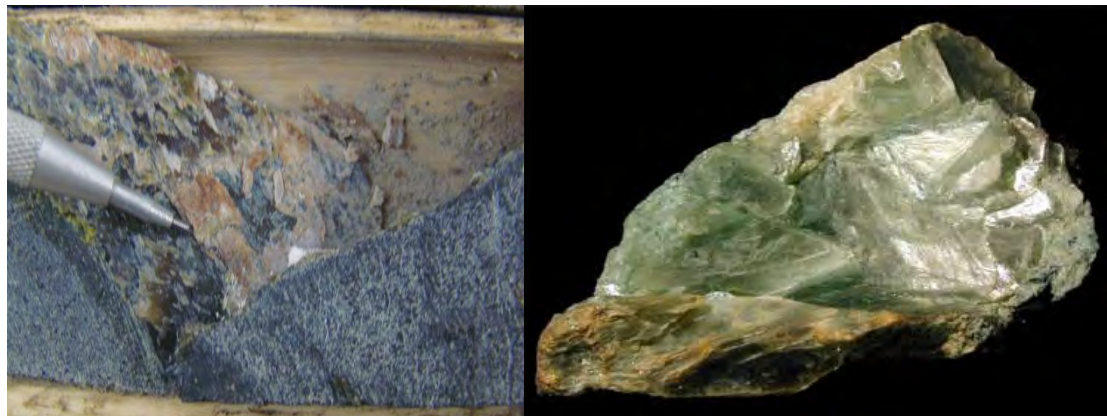
2^{ième} Étape: Évaluer chaque intervalle de 3 mètres minutieusement

1. Révision des propriétés physiques du chrysotile vs. minéraux similaires.

Brucite

- Formule chimique: $\text{Mg}(\text{OH})_2$
- Composition:

Magnésium	41.68%	Mg
Hydrogène	3.46%	H
Oxygène	<u>54.87%</u>	O
	100.00%	



- Formule empirique: $\text{Mg}(\text{OH})_2$
- Clivage: {0001} Parfait
- Couleur: Blanc, vert pâle, bleu, gris, jaune mielleux à brun rougeâtre.
- Densité: 2.39 - 2.4, moyenne = 2.39 g/ml
- Diaphanéité: Transparent
- Fracture: Irrégulière
- Dureté: 2.5-3 – Ongle, calcite
- Habitus: Fibreux – cristaux faits de fibres, Massive - Lamellaire - Grains fins foliés, Massive – cristaux uniformément indistinguable formant de larges masses.
- Lustre: Vitreux - Perlé
- Trait: Blanc

Source - <http://webmineral.com/>

2^{ième} Étape: Évaluer chaque intervalle de 3 mètres minutieusement

2. Test pour trouver le chrysotile dans l'intervalle de 3 mètres.

- Il est nécessaire de distinguer le chrysotile des autres minéraux similaires pour pouvoir quantifier proprement le chrysotile dans la carotte de forage.
- I. **Regarder la couleur et l'habitat:** Le chrysotile dans la roche du projet Dumont est principalement blanc et fibreux, tandis que la brucite est brun et plat.
- II. **Test par acide:** Tester les endroits en question avec une goutte d'acide. Si il y a de l'effervescence, ce n'est pas du chrysotile et est probablement de la magnésite ou un carbonate.
- III. **Test par grattage:** Utiliser une pointe de Tungstène pour gratter le minéral en question. Si il brise en poudre au lieu de longues fibres, ce n'est pas du chrysotile et est probablement du talc.

NOTE: Porter une attention spéciale puisque plusieurs de ces minéraux peuvent coexister et il faudra souvent séparer une région en particulier qui contient du chrysotile avec d'autre minéraux similaires.

Source - <http://webmineral.com/>

2^{ième} Étape: Évaluer chaque intervalle de 3 mètres minutieusement

3. Estimation rapide du pourcentage de chrysotile de l'intervalle complet.
 - Une fois que les régions contenant du chrysotile dans l'intervalle de 3 mètres ont été évaluées, faire une estimation visuelle du pourcentage de chrysotile. Ceci va être utile après pour une vérification du pourcentage finale de chrysotile de l'intervalle de 3 mètres évaluée.

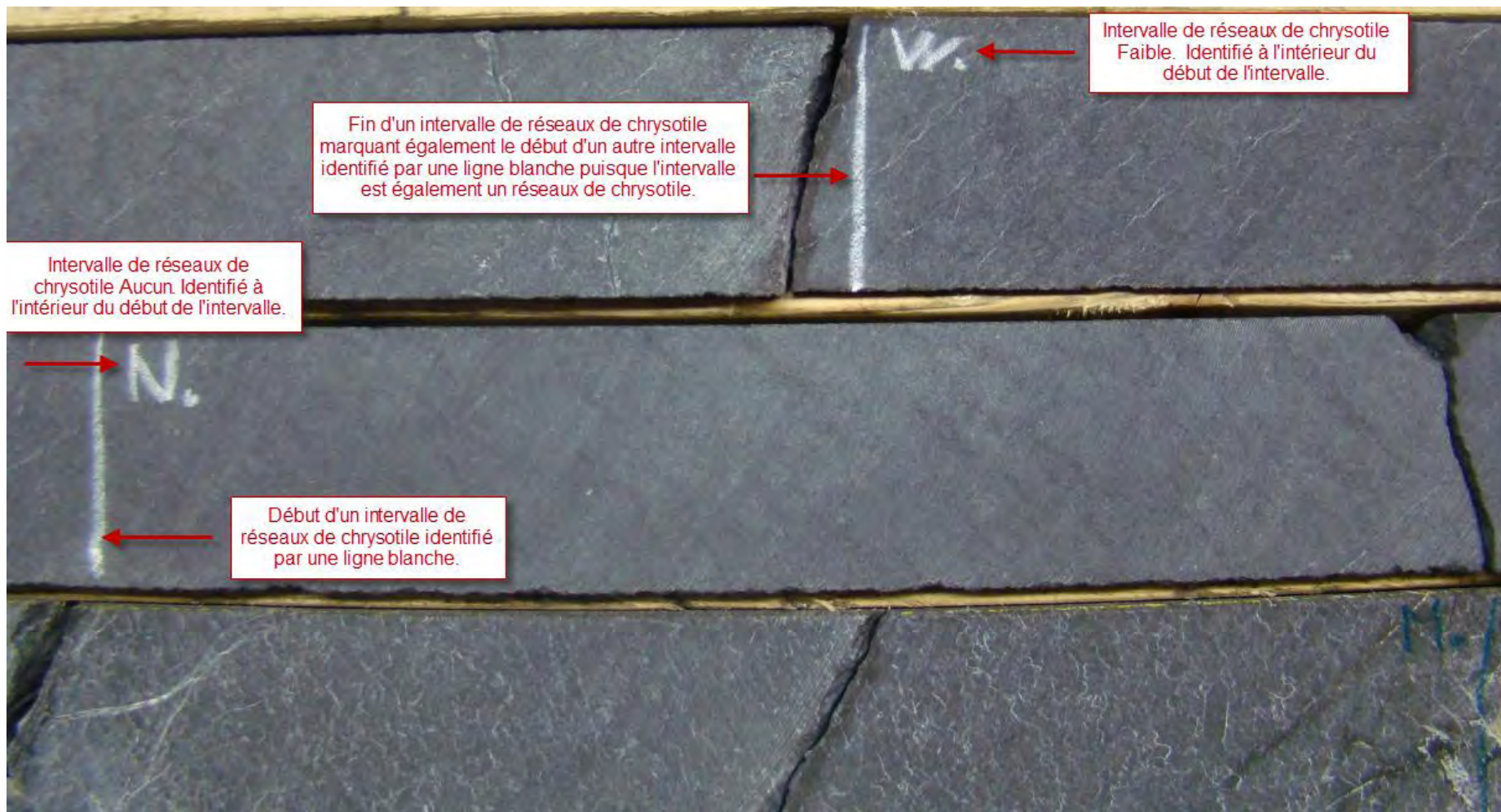
3^{ième} Étape: Séparer les intervalles de «Réseaux de chrysotile»

1. Définir chaque intervalle de l'environnement «Réseaux de chrysotile» pour chaque catégorie d'intensité et identifier les intervalles avec un crayon blanc.
2. Exemples de chaque catégorie d'intensité pour les réseaux de chrysotile.

3^{ième} Étape: Séparer les intervalles de «Réseaux de chrysotile»

1. Séparer les intervalles de réseaux de chrysotile en identifiant les sections avec un crayon blanc pour les différentes catégories d'intensités.
 - Si la section de la carotte de forage a entre 0% et 0.1% de chrysotile, identifier l'intervalle avec un «N» (Aucun) à l'intérieur de la ligne marquant le début de l'intervalle.
 - Si la section de la carotte de forage a entre 0.1% et 1% de chrysotile, identifier l'intervalle avec un «W» (Faible) à l'intérieur de la ligne marquant le début de l'intervalle.
 - Si la section de la carotte de forage a entre 1% et 2.5% de chrysotile, identifier l'intervalle avec un «M» (Modérée) à l'intérieur de la ligne marquant le début de l'intervalle.
 - Si la section de la carotte de forage a entre 2.5% et 4.5% de chrysotile, identifier l'intervalle avec un «H» (Élevée) à l'intérieur de la ligne marquant le début de l'intervalle.
 - Si la section de la carotte de forage a entre 4.5% et 7% de chrysotile, identifier l'intervalle avec un «I» (Intense) à l'intérieur de la ligne marquant le début de l'intervalle.

3^{ième} Étape: Séparer les intervalles de «Réseaux de chrysotile»

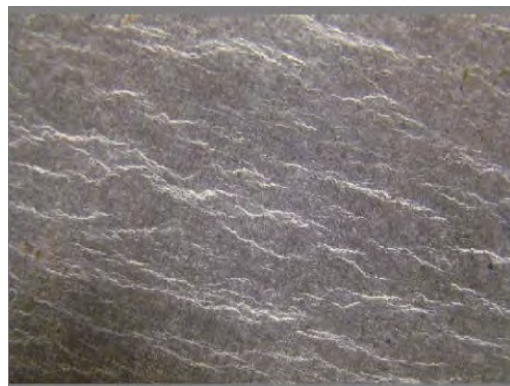


3^{ième} Étape: Séparer les intervalles de «Réseaux de chrysotile»

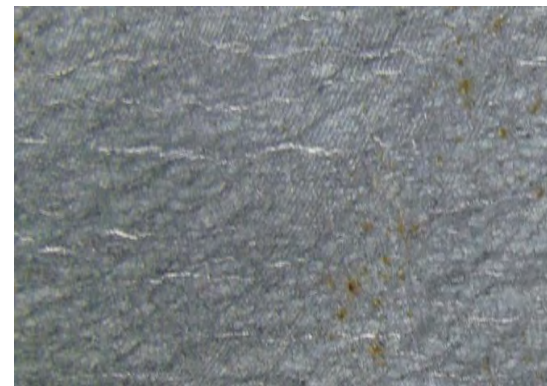
2. Exemples de chaque catégorie d'intensité
de l'environnement «Réseaux de chrysotile»:



Intense (4.5% à 7%)



Élevée (2.5% à 4.5%)



Modérée (1% à 2.5%)



Faible (0.1% à 1%)

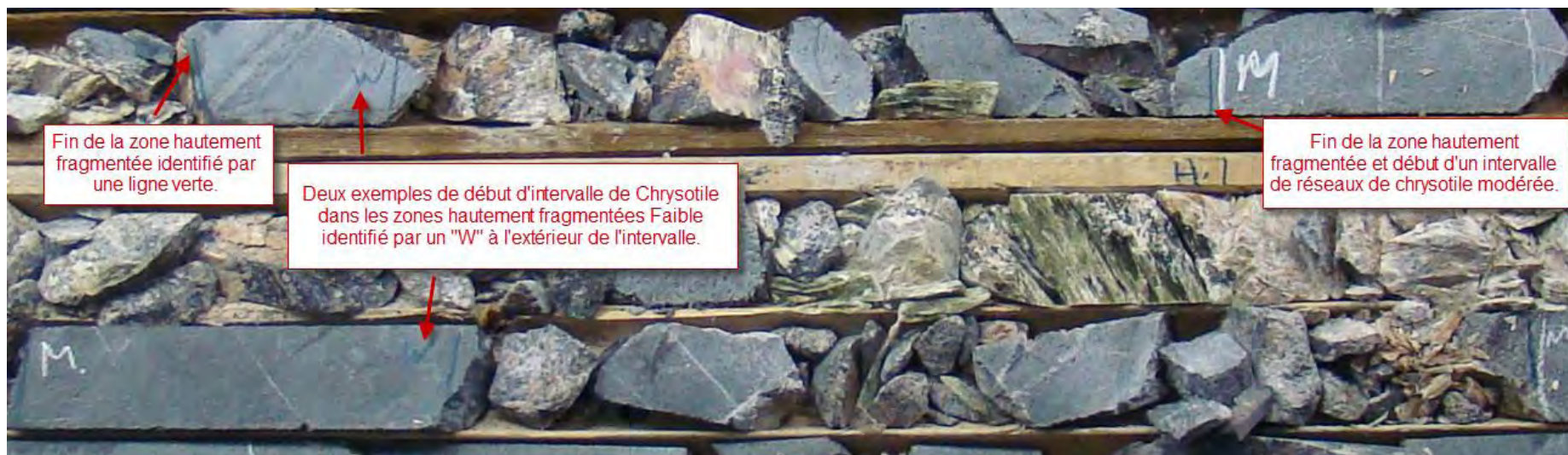
4^{ième} Étape: Séparer les intervalles de «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées»

1. Définir chaque intervalle de l'environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées» pour chaque catégorie d'intensité et identifier les intervalles avec un crayon vert.
2. Exemples de chaque catégorie d'intensité pour le chrysotile dans les zones hautement fragmentées.

4^{ième} Étape: Séparer les intervalles de «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées»

1. Séparer les intervalles de chrysotile dans les zones hautement fragmentées en identifiant les sections avec un crayon vert pour les différentes catégories d'intensités.
 - Si l'intervalle de zone hautement fragmenté a entre 1% et 10% de chrysotile, identifier l'intervalle avec un «W» (Faible) à l'extérieur de la ligne marquant le début de l'intervalle.
 - Si l'intervalle de zone hautement fragmenté a entre 10% et 25% de chrysotile, identifier l'intervalle avec un «M» (Modérée) à l'extérieur de la ligne marquant le début de l'intervalle.
 - Si l'intervalle de zone hautement fragmenté a entre 25% et 45% de chrysotile, identifier l'intervalle avec un «H» (Élevée) à l'extérieur de la ligne marquant le début de l'intervalle.
 - Si l'intervalle de zone hautement fragmenté a entre 45% et 70% de chrysotile, identifier l'intervalle avec un «I» (Intense) à l'extérieur de la ligne marquant le début de l'intervalle.

4^{ième} Étape: Séparer les intervalles de «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées»



4^{ième} Étape: Séparer les intervalles de «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées»

2. Exemples de chaque catégorie d'intensité de l'environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées»:



Intense (45% à 70%)



Élevée (25% à 45%)

4^{ième} Étape: Séparer les intervalles de «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées»

Exemples (continue):



Modérée (10% à 25%)



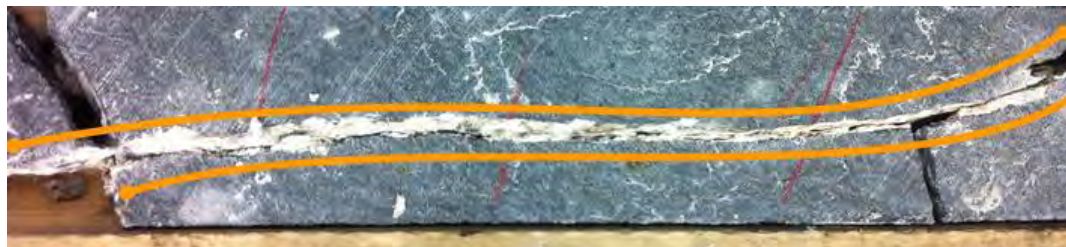
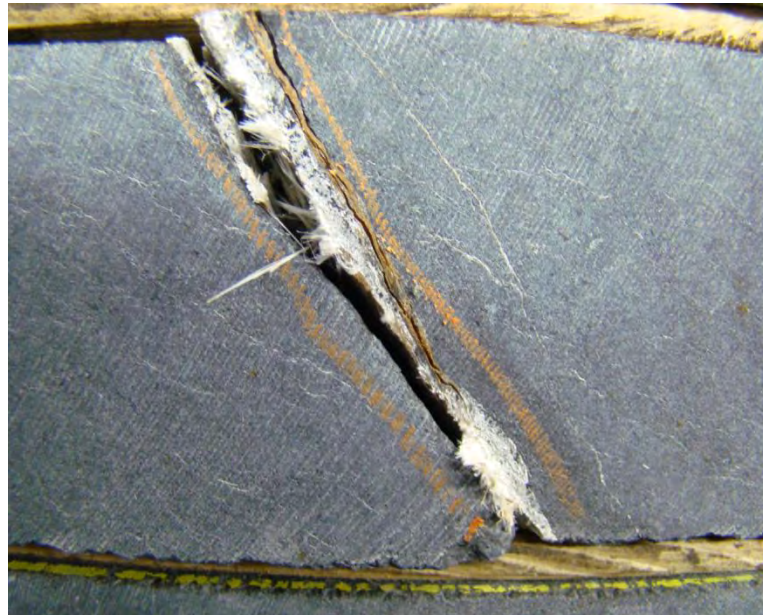
Faible (1% à 10%)

5^{ième} Étape: Séparer les intervalles de «Chrysotile dans les veines/fractures»

1. Contourner les veines de chrysotile significatives (seulement s'ils contiennent de 70% à 100% de chrysotile) avec un crayon orange.
2. Si les veines sont trop petites pour être mesurées, les inclure avec les intervalles de «Réseaux de chrysotile».
3. Si les veines sont épaisses mais ne contiennent pas entre 70% et 100% de chrysotile, les identifier en tant que environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées» approprié selon le pourcentage de chrysotile estimé dans la veine.

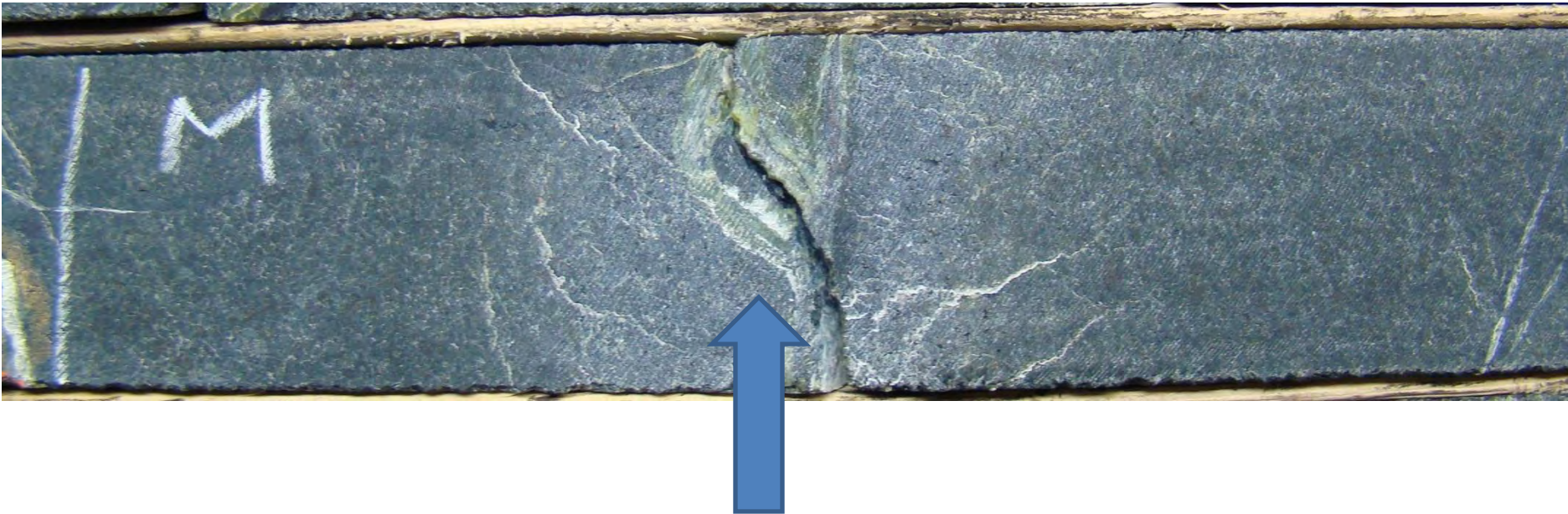
5^{ième} Étape: Séparer les intervalles de «Chrysotile dans les veines/fractures»

1. Contourner les veines de chrysotile significatives (seulement s'ils contiennent de 70% à 100% de chrysotile) avec un crayon orange.



5^{ième} Étape: Séparer les intervalles de «Chrysotile dans les veines/fractures»

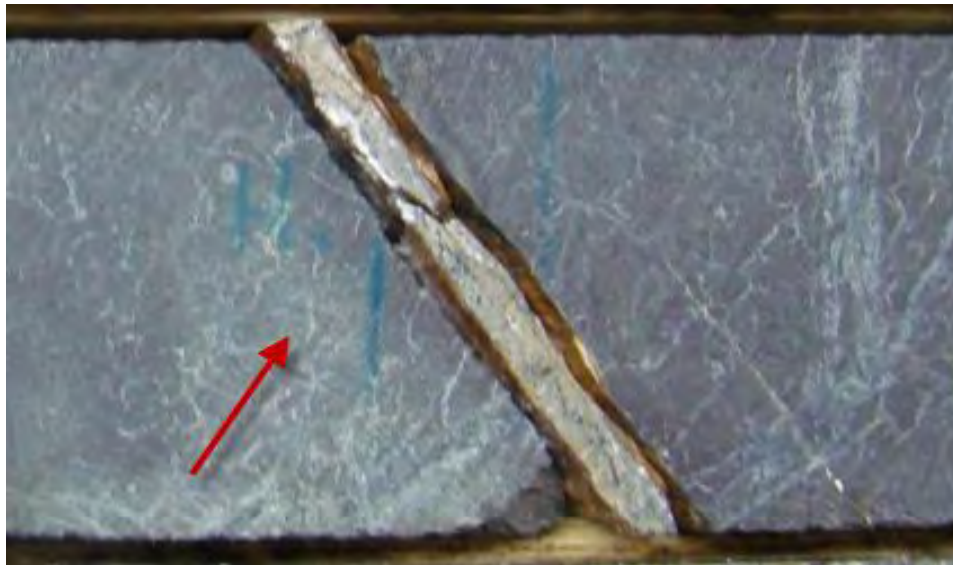
2. Si les veines sont trop petites pour être mesurées, les inclure avec les intervalles de «Réseaux de chrysotile»:



Veines trop minces pour être mesurés avec une règle. Inclues dans le réseaux de chrysotile.

5^{ième} Étape: Séparer les intervalles de «Chrysotile dans les veines/fractures»

1. Si les veines sont épaisses mais ne contiennent pas entre 70% et 100% de chrysotile, les identifier en tant que environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées» approprié selon le pourcentage de chrysotile estimé dans la veine:



Veine avec 25% à 40% de chrysotile.
Inclue dans l'environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées».

6^{ième} Étape: Mesurer les intervalles et Entrer les données

1. Mesurer les intervalles de l'environnement «Réseaux de chrysotile» (en crayon blanc) au millimètre près avec une règle et placer la valeur dans la colonne appropriée de DH Logger.
2. Mesurer les intervalles de l'environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées» (en crayon vert) au millimètre près avec une règle et placer la valeur dans la colonne appropriée de DH Logger.
3. Mesurer et additionner l'épaisseur de toutes les veines de chrysotile dans l'intervalle de 3 mètres au millimètre près et placer la valeur dans la colonne appropriée de DH Logger. Utiliser l'équation standard pour les veines qui recoupe l'axe de la carotte de forage avec un angle faible.

6^{ième} Étape: Mesurer les intervalles et Entrer les données

1. Mesurer les intervalles de l'environnement «Réseaux de chrysotile» (en crayon blanc) au millimètre près avec une règle et placer la valeur dans la colonne appropriée de DH Logger.
 - Intervalle avec «Réseaux de chrysotile» Aucun: Mesurer et additionner tous les intervalles identifiés avec un «N» et mettre la valeur dans la colonne «None (0 to 0.1%)» de la table «Chrysotile» dans DH Logger.
 - Intervalle avec «Réseaux de chrysotile» Faible: Mesurer et additionner tous les intervalles identifiés avec un «W» et mettre la valeur dans la colonne «Network (0.1 to 1%)» de la table «Chrysotile» dans DH Logger.
 - Intervalle avec «Réseaux de chrysotile» Modérée: Mesurer et additionner tous les intervalles identifiés avec un «M» et mettre la valeur dans la colonne «Network (1 to 2.5%)» de la table «Chrysotile» dans DH Logger.
 - Intervalle avec «Réseaux de chrysotile» Élevée: Mesurer et additionner tous les intervalles identifiés avec un «H» et mettre la valeur dans la colonne «Network (2.5 to 4.5%)» de la table «Chrysotile» dans DH Logger.
 - Intervalle avec «Réseaux de chrysotile» Intense: Mesurer et additionner tous les intervalles identifiés avec un «I» et mettre la valeur dans la colonne «Network (4.5 to 7%)» de la table «Chrysotile» dans DH Logger.

6^{ième} Étape: Mesurer les intervalles et Entrer les données

1. Mesurer les intervalles de l'environnement «Réseaux de chrysotile» (en crayon blanc) au millimètre près avec une règle et placer la valeur dans la colonne appropriée de DH Logger.

Drill Hole from: (0.00) to: (350.00)

Project: 100

Dumont Resource Drilling

Hole No: 11-RN-334

Status: MIXED

Collar

Details

Samples

Survey (115)	Location (1)	Geotechnical (107)	Alteration (9)	Mineralization (7)	Texture (0)	Color (0)	Point Structure (101)	Structure (45)	Mineralogy (0)	Point Load Test (0)	Overburden (0)	Core Box (0)	Met Results (0)	Chrysotile (28)	
From	To	Core Length	None (0% to 0.1%)	Network (0.1% to 1%)	Network (1% to 2.5%)	Network (2.5% to 4.5%)	Network (4.5% to 7%)	RZ (1% to 10%)	RZ (10% to 25%)	RZ (25% to 40%)	RZ (40% to 70%)	Veins and Fractures	% Chrysotile	Total Length	Comments
0	84.00	3.197	.000	1.122	.100	.000	.000	1.850	.000	.000	.000	.025	2.836	3.097	
7A	87.00	2.910	.000	2.710	.000	.000	.000	.098	.100	.000	.000	.002	1.384	2.910	
8	90.00	3.106	.000	3.055	.000	.000	.000	.043	.000	.000	.000	.008	1.037	3.106	
6A	93.00	2.851	.000	2.611	.179	.000	.000	.058	.000	.000	.000	.003	1.207	2.851	
6D	96.00	3.127	.000	2.894	.191	.000	.000	.000	.000	.012	.000	.030	1.887	3.127	
8	99.00	2.944	.000	2.358	.276	.000	.000	.306	.000	.000	.000	.004	1.212	2.944	
6D	102.00	2.967	.000	2.721	.246	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.833	2.967	
8	105.00	3.024	.000	2.532	.492	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.913	3.024	
8	108.00	2.806	.119	1.943	.564	.000	.000	.143	.036	.000	.000	.001	1.252	2.806	
6D	132.00	3.020	.000	2.418	.100	.275	.000	.227	.000	.000	.000	.000	1.203	3.020	
8	135.00	2.808	.000	1.763	.480	.463	.000	.102	.000	.000	.000	.000	1.456	2.808	
6D	138.00	2.940	.000	2.095	.000	.400	.000	.445	.000	.000	.000	.000	1.465	2.940	
8	141.00	2.958	.000	.553	1.146	.890	.000	.369	.000	.000	.000	.000	2.246	2.958	
8	144.00	3.045	.000	1.742	1.109	.000	.000	.194	.000	.000	.000	.000	1.258	3.045	
8	147.00	3.000	.000	1.518	1.481	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.001	1.277	3.000	
8	150.00	3.140	.000	1.763	.360	.495	.000	.521	.000	.000	.000	.001	1.703	3.140	
8	234.00	3.071	.000	1.723	1.072	.000	.000	.271	.000	.000	.000	.005	1.459	3.071	
8	237.00	2.987	.000	2.963	.000	.000	.000	.024	.000	.000	.000	.000	.864	2.987	
8	240.00	2.862	.000	1.728	1.076	.000	.000	.023	.021	.000	.000	.014	1.734	2.862	
8	243.00	2.871	1.413	1.454	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.004	.519	2.871	
8	246.00	3.162	.000	2.474	.596	.000	.000	.000	.091	.000	.000	.001	1.380	3.162	
8	249.00	2.805	.000	.544	.725	.141	.000	1.193	.000	.194	.000	.008	4.617	2.805	
8	252.00	2.820	.000	.434	.507	.737	.000	.499	.615	.000	.000	.028	6.140	2.820	
8	255.00	2.988	.000	2.048	.296	.199	.000	.107	.316	.000	.000	.022	3.351	2.988	
8	258.00	2.663	.000	1.297	.285	.429	.000	.433	.195	.000	.000	.024	3.604	2.663	
8	261.00	2.866	.000	1.543	1.261	.036	.000	.018	.000	.000	.000	.008	1.516	2.866	
8	264.00	2.867	.000	.163	.642	.000	.000	1.071	.987	.000	.000	.004	6.859	2.867	
8	81.00	2.983	.000	1.891	.170	.000	.000	.916	.000	.000	.000	.006	1.688	2.983	

6^{ième} Étape: Mesurer les intervalles et Entrer les données

2. Mesurer les intervalles de l'environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées» (en crayon vert) au millimètre près avec une règle et placer la valeur dans la colonne appropriée de DH Logger.
 - Intervalle de zone hautement fragmentée avec chrysotile Faible: Mesurer et additionner tous les intervalles identifiés avec un «W» et mettre la valeur dans la colonne «RZ (1 to 10%)» de la table «Chrysotile» dans DH Logger.
 - Intervalle de zone hautement fragmentée avec chrysotile Modérée: Mesurer et additionner tous les intervalles identifiés avec un «M» et mettre la valeur dans la colonne «RZ (10 to 25%)» de la table «Chrysotile» dans DH Logger.
 - Intervalle de zone hautement fragmentée avec chrysotile Élevée: Mesurer et additionner tous les intervalles identifiés avec un «H» et mettre la valeur dans la colonne «RZ (25 to 45%)» de la table «Chrysotile» dans DH Logger.
 - Intervalle de zone hautement fragmentée avec chrysotile Intense: Mesurer et additionner tous les intervalles identifiés avec un «I» et mettre la valeur dans la colonne «RZ (45 to 70%)» de la table «Chrysotile» dans DH Logger.

6^{ième} Étape: Mesurer les intervalles et Entrer les données

- Mesurer les intervalles de l'environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées» (en crayon vert) au millimètre près avec une règle et placer la valeur dans la colonne appropriée de DH Logger.

Drill Hole from: (0.00) to: (350.00)

Project: 100

Dumont Resource Drilling

Hole No: 11-RN-334

Status: MIXED

Collar

Details

Samples

Survey (115)	Location (1)	Geotechnical (107)	Alteration (9)	Mineralization (7)	Texture (0)	Colour (0)	Point Structure (101)	Structure (0)	Mineralogy (0)	Point Load Test (0)	Overburden (0)	Core Box (0)	Met Results (0)	Chrysotile (28)	
From	To	Core Length	None (0% to 0.1%)	Network (0.1% to 1%)	Network (1% to 2.5%)	Network (2.5% to 4.5%)	Network (4.5% to 7%)	RZ (1% to 10%)	RZ (10% to 25%)	RZ (25% to 40%)	RZ (40% to 70%)	Veins and Fractures	% Chrysotile	Total Length	Comments
0	84.00	87.00	3.197	.000	1.122	.100	.000	1.850	.000	.000	.000	.025	2.836	3.097	
7A	87.00	90.00	2.910	.000	2.710	.000	.000	.098	.100	.000	.000	.002	1.384	2.910	
33.00	90.00	93.00	3.106	.000	3.055	.000	.000	.043	.000	.000	.000	.008	1.037	3.106	
33.00	93.00	96.00	2.851	.000	2.611	.179	.000	.000	.058	.000	.000	.003	1.207	2.851	
34.50	96.00	99.00	3.127	.000	2.894	.191	.000	.000	.000	.012	.000	.030	1.887	3.127	
6A	99.00	102.00	2.944	.000	2.358	.276	.000	.306	.000	.000	.000	.004	1.212	2.944	
147.40	102.00	105.00	2.967	.000	2.721	.246	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.833	2.967	
147.40	105.00	108.00	3.024	.000	2.532	.492	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.913	3.024	
188.45	108.00	111.00	2.806	.119	1.943	.564	.000	.143	.036	.000	.000	.001	1.252	2.806	
188.45	111.00	113.00	2.806	.000	2.418	.100	.275	.227	.000	.000	.000	.000	1.203	3.020	
189.95	113.00	115.00	2.808	.000	1.763	.480	.000	.102	.000	.000	.000	.000	1.456	2.808	
189.95	115.00	118.00	2.940	.000	2.095	.000	.400	.445	.000	.000	.000	.000	1.465	2.940	
350.00	118.00	121.00	2.958	.000	.553	1.146	.890	.369	.000	.000	.000	.000	2.246	2.958	
	121.00	124.00	3.045	.000	1.742	1.109	.000	.194	.000	.000	.000	.000	1.258	3.045	
	124.00	127.00	3.000	.000	1.518	1.481	.000	.000	.000	.000	.000	.001	1.277	3.000	
	127.00	130.00	3.140	.000	1.763	.360	.495	.521	.000	.000	.000	.001	1.703	3.140	
	130.00	133.00	3.071	.000	1.723	1.072	.000	.271	.000	.000	.000	.005	1.459	3.071	
	133.00	136.00	2.987	.000	2.963	.000	.000	.000	.024	.000	.000	.000	.864	2.987	
	136.00	139.00	2.862	.000	1.728	1.076	.000	.023	.021	.000	.000	.014	1.734	2.862	
	139.00	142.00	2.871	1.413	1.454	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.004	.519	2.871	
	142.00	145.00	3.162	.000	2.474	.596	.000	.000	.091	.000	.000	.001	1.380	3.162	
	145.00	148.00	2.805	.000	.544	.725	.141	1.193	.000	.194	.000	.008	4.617	2.805	
	148.00	151.00	2.820	.000	.434	.507	.737	.499	.615	.000	.000	.028	6.140	2.820	
	151.00	154.00	2.988	.000	2.048	.296	.199	.107	.316	.000	.000	.022	3.351	2.988	
	154.00	157.00	2.663	.000	1.297	.285	.429	.433	.195	.000	.000	.024	3.604	2.663	
	157.00	160.00	2.866	.000	1.543	1.261	.036	.018	.000	.000	.000	.008	1.516	2.866	
	160.00	163.00	2.867	.000	.163	.642	.000	1.071	.987	.000	.000	.004	6.859	2.867	
	163.00	166.00	2.983	.000	1.891	.170	.000	.916	.000	.000	.000	.006	1.698	2.983	

6^{ième} Étape: Mesurer les intervalles et Entrer les données

3. Mesurer l'épaisseur de toutes les veines de chrysotile dans l'intervalle de 3 mètres au millimètre près.

 - Si la veine recoupe l'axe de la carotte de forage avec un angle fort, mesurer l'épaisseur de la veine.
 - Si la veine recoupe l'axe de la carotte de forage avec un angle faible, utiliser l'équation standard suivante:

Étape 1: Mesurer la longueur total de la veine et la diviser par 4.5cm.

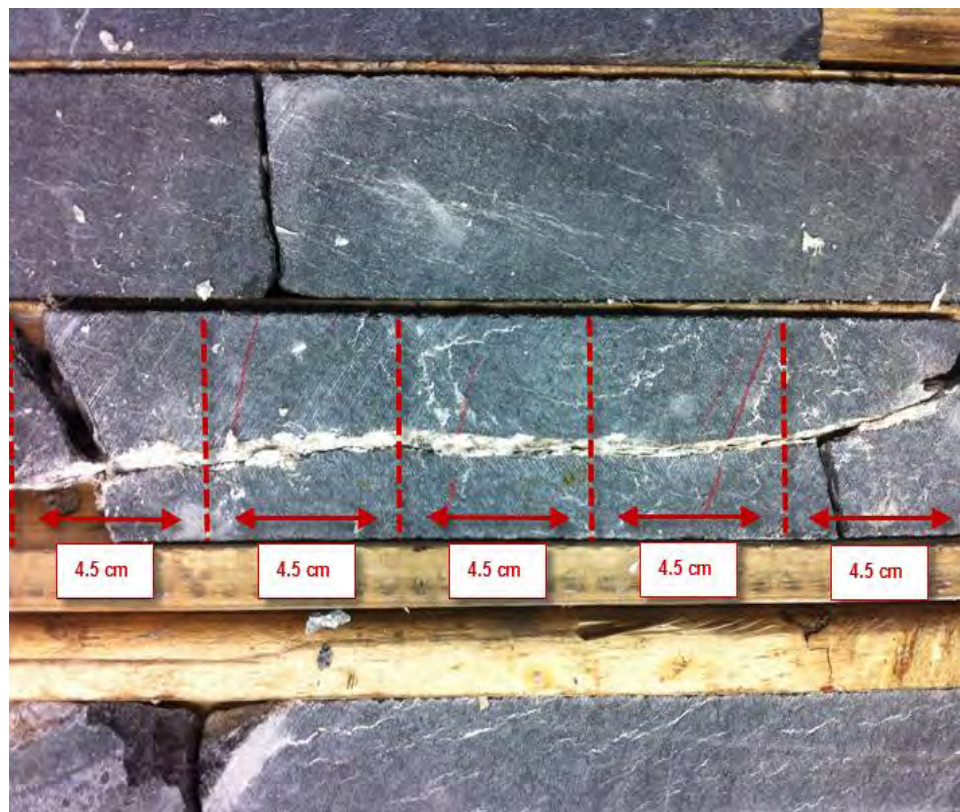
Étape 2: Multiplier l'épaisseur moyenne de la veine par le résultat obtenu à l'étape 1.

6^{ième} Étape: Mesurer les intervalles et Entrer les données

Exemple de veine qui recoupe l'axe de la carotte de forage avec un angle faible (en utilisant la photo ci-jointe).

Équation standard:

- **Étape 1:**
Longueur totale = 22.5cm
 $22.5\text{cm} / 4.5\text{cm} = 5$
- **Étape 2:**
Épaisseur moyen du joint = 2mm
 $2\text{mm} * 5 = 10\text{mm}$



6^{ième} Étape: Mesurer les intervalles et Entrer les données

3. Additionner toutes les épaisseurs des veines mesurées et calculées précédemment dans l'intervalle de 3 mètres et placer la valeur dans la colonne «Veins and Fractures» de la table «Chrysotile» dans DH Logger.

Drill Hole from: (0.00) to: (350.00)

Project: 100

Dumont Resource Drilling

Hole No: 11-RN-334

Status: MIXED

Collar

Details

Samples

Survey (115)	Location (1)	Geotechnical (107)	Alteration (9)	Mineralization (7)	Texture (0)	Colour (0)	Point_Structure (101)	Structure (45)	Mineralogy (0)	Point Load Test (0)	Overburden (0)	Core Box (0)	Met_Results (0)	Chrysotile (28)	
From	To	Core Length	None (0% to 0.1%)	Network (0.1% to 1%)	Network (1% to 2.5%)	Network (2.5% to 4.5%)	Network (4.5% to 7%)	RZ (1% to 10%)	RZ (10% to 25%)	RZ (25% to 40%)	RZ (40% to 70%)	Veins and Fractures	% Chrysotile	Total Length	Comments
0	0														
30.00	84.00	3.197	.000	1.122	.100	.000	.000	1.850	.000	.000	.000	.025	2.836	3.097	
7A	87.00	2.910	.000	2.710	.000	.000	.000	.098	.100	.000	.000	.002	1.384	2.910	
33.00	90.00	3.106	.000	3.055	.000	.000	.000	.043	.000	.000	.000	.008	1.037	3.106	
8	93.00	2.851	.000	2.611	.179	.000	.000	.058	.000	.000	.000	.003	1.207	2.851	
34.50	96.00	3.127	.000	2.894	.191	.000	.000	.000	.000	.012	.000	.030	1.887	3.127	
6A	99.00	2.944	.000	2.358	.276	.000	.000	.306	.000	.000	.000	.004	1.212	2.944	
142.40	102.00	2.967	.000	2.721	.246	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.833	2.967	
6D	105.00	3.024	.000	2.532	.492	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.913	3.024	
188.45	108.00	2.806	.119	1.943	.564	.000	.000	.143	.036	.000	.000	.001	1.252	2.806	
8	132.00	3.020	.000	2.418	.100	.275	.000	.227	.000	.000	.000	.000	1.203	3.020	
189.95	135.00	2.808	.000	1.763	.480	.463	.000	.102	.000	.000	.000	.000	1.456	2.808	
6D	138.00	2.940	.000	2.095	.000	.400	.000	.445	.000	.000	.000	.000	1.465	2.940	
350.00	141.00	2.958	.000	.553	1.146	.890	.000	.369	.000	.000	.000	.000	2.246	2.958	
	144.00	3.045	.000	1.742	1.109	.000	.000	.194	.000	.000	.000	.000	1.258	3.045	
	147.00	3.000	.000	1.518	1.481	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.001	1.277	3.000	
	150.00	3.140	.000	1.763	.360	.495	.000	.521	.000	.000	.000	.001	1.703	3.140	
	234.00	3.071	.000	1.723	1.072	.000	.000	.271	.000	.000	.000	.005	1.459	3.071	
	237.00	2.987	.000	2.963	.000	.000	.000	.000	.024	.000	.000	.000	.864	2.987	
	240.00	2.862	.000	1.728	1.076	.000	.000	.023	.021	.000	.000	.014	1.734	2.862	
	243.00	2.871	1.413	1.454	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.004	.519	2.871	
	246.00	3.162	.000	2.474	.596	.000	.000	.000	.091	.000	.000	.001	1.380	3.162	
	249.00	2.805	.000	.544	.725	.141	.000	1.193	.000	.194	.000	.008	4.617	2.805	
	252.00	2.820	.000	.434	.507	.737	.000	.499	.615	.000	.000	.028	6.140	2.820	
	255.00	2.988	.000	2.048	.296	.199	.000	.107	.316	.000	.000	.022	3.351	2.988	
	258.00	2.663	.000	1.297	.285	.429	.000	.433	.195	.000	.000	.024	3.604	2.663	
	261.00	2.866	.000	1.543	1.261	.036	.000	.018	.000	.000	.000	.008	1.516	2.866	
	264.00	2.867	.000	.163	.642	.000	.000	1.071	.987	.000	.000	.004	6.859	2.867	
	81.00	2.983	.000	1.891	.170	.000	.000	.916	.000	.000	.000	.006	1.698	2.983	

7^{ième} Étape: Vérifier la longueur totale de l'intervalle de 3 mètres

1. Mesurer la longueur totale de la carotte de forage dans l'intervalle de 3 mètres et comparer cette mesure avec la colonne «Total Length» de la table «Chrysotile» dans DH logger.
 - Comparer cette mesure avec la colonne «Total Length» de la table «Chrysotile» dans DH logger.
 - Si il y a une différence de 5cm ou plus, vérifier en premier si une erreur est survenue lors de l'entrée des données ou s'il manque une donnée. S'il n'y a pas d'erreur dans les données, remesurer tous les intervalles de chrysotile.
 - *Si la différence est de moins que 5cm*, la mesure est considérée acceptable et la valeur de la colonne «Total Length» est copiée dans la colonne «Core Length» de la table «Chrysotile» dans DH Logger.
2. Vérifier la pourcentage de chrysotile de l'intervalle de 3 mètres évalué dans la colonne «% Chrysotile» de la table «Chrysotile» dans DH Logger et comparer avec l'estimation faite à la 1^{er} étape de la procédure.

7^{ième} Étape: Vérifier la longueur totale de l'intervalle de 3 mètres

1. Mesurer la longueur totale de la carotte de forage dans l'intervalle de 3 mètres et comparer cette mesure avec la colonne «Total Length» de la table «Chrysotile» dans DH logger.
 - Si il y a une différence de 5cm ou plus, vérifier en premier si une erreur est survenue lors de l'entrée des données ou s'il manque une donnée. S'il n'y a pas d'erreur dans les données, remesurer tous les intervalles de chrysotile.
 - *Si la différence est de moins que 5cm*, la mesure est considérée acceptable et la valeur de la colonne «Total Length» est copiée dans la colonne «Core Length» de la table «Chrysotile» dans DH Logger.

7^{ième} Étape: Vérifier la longueur totale de l'intervalle de 3 mètres

1. Mesurer la longueur totale de la carotte de forage dans l'intervalle de 3 mètres et comparer cette mesure avec la colonne «Total Length» de la table «Chrysotile» dans DH logger pour voir s'il y a une différence.

Drill Hole from: (0.00) to: (350.00)

Project: 100

Dumont Resource Drilling

Hole No: 11-RN-334

Status: MIXED

Collar

Details

Samples

Survey (115)	Location (1)	Geotechnical (107)	Alteration (9)	Mineralization (7)	Texture (0)	Colour (0)	Point_Structure (101)	Structure (45)	Mineralogy (0)	Point Load Test (0)	Overburden (0)	Core Box (0)	Met_Results (0)	Chrysotile (28)	
From	To	Core Length	None (0% to 0.1%)	Network (0.1% to 1%)	Network (1% to 2.5%)	Network (2.5% to 4.5%)	Network (4.5% to 7%)	RZ (1% to 10%)	RZ (10% to 25%)	RZ (25% to 40%)	RZ (40% to 70%)	Veins and Fractures	% Chrysotile	Total Length	Comments
0	84.00	87.00	3.197	.000	1.122	.100	.000	.000	1.850	.000	.000	.000	.025	2.836	3.097
7A	87.00	90.00	2.910	.000	2.710	.000	.000	.098	.100	.000	.000	.002	1.384	2.910	
8	90.00	93.00	3.106	.000	3.055	.000	.000	.043	.000	.000	.000	.008	1.037	3.106	
6A	93.00	96.00	2.851	.000	2.611	.179	.000	.000	.058	.000	.000	.003	1.207	2.851	
6D	96.00	99.00	3.127	.000	2.894	.191	.000	.000	.000	.012	.000	.030	1.887	3.127	
8	99.00	102.00	2.944	.000	2.358	.276	.000	.306	.000	.000	.000	.004	1.212	2.944	
6D	102.00	105.00	2.967	.000	2.721	.246	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.833	2.967	
8	105.00	108.00	3.024	.000	2.532	.492	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.913	3.024	
6D	108.00	111.00	2.806	.119	1.943	.564	.000	.143	.036	.000	.000	.001	1.252	2.806	
8	111.00	114.00	3.020	.000	2.418	.100	.275	.000	.227	.000	.000	.000	1.203	3.020	
6D	114.00	117.00	2.808	.000	1.763	.480	.463	.000	.102	.000	.000	.000	1.456	2.808	
8	117.00	120.00	2.940	.000	2.095	.000	.400	.000	.445	.000	.000	.000	1.465	2.940	
6D	120.00	123.00	2.958	.000	.553	1.146	.890	.000	.369	.000	.000	.000	2.246	2.958	
8	123.00	126.00	3.045	.000	1.742	1.109	.000	.194	.000	.000	.000	.000	1.258	3.045	
6D	126.00	129.00	3.000	.000	1.518	1.481	.000	.000	.000	.000	.000	.001	1.277	3.000	
8	129.00	132.00	3.140	.000	1.763	.360	.495	.000	.521	.000	.000	.000	1.703	3.140	
6D	132.00	135.00	3.071	.000	1.723	1.072	.000	.000	.271	.000	.000	.000	1.459	3.071	
8	135.00	138.00	2.987	.000	2.963	.000	.000	.000	.024	.000	.000	.000	.864	2.987	
6D	138.00	141.00	2.862	.000	1.728	1.076	.000	.023	.021	.000	.000	.014	1.734	2.862	
8	141.00	144.00	2.871	1.413	1.454	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.004	.519	2.871	
6D	144.00	147.00	3.162	.000	2.474	.596	.000	.000	.091	.000	.000	.001	1.380	3.162	
8	147.00	150.00	2.805	.000	.544	.725	.141	.000	1.193	.000	.194	.008	4.617	2.805	
6D	150.00	153.00	2.820	.000	.434	.507	.737	.000	.499	.615	.000	.028	6.140	2.820	
8	153.00	156.00	2.988	.000	2.048	.296	.199	.000	.107	.316	.000	.022	3.351	2.988	
6D	156.00	159.00	2.663	.000	1.297	.285	.429	.000	.433	.195	.000	.024	3.604	2.663	
8	159.00	162.00	2.866	.000	1.543	1.261	.036	.000	.018	.000	.000	.008	1.516	2.866	
6D	162.00	165.00	2.867	.000	.163	.642	.000	.000	1.071	.987	.000	.004	6.859	2.867	
8	165.00	168.00	2.983	.000	1.891	.170	.000	.000	.916	.000	.000	.006	1.698	2.983	

7^{ième} Étape: Vérifier la longueur totale de l'intervalle de 3 mètres

- Vérifier la pourcentage de chrysotile de l'intervalle de 3 mètres évalué dans la colonne «% Chrysotile» de la table «Chrysotile» dans DH Logger et comparer avec l'estimation faite à la 1^{er} étape de la procédure.

Drill Hole from: (0.00) to: (350.00)
 Project: 100 Dumont Resource Drilling Hole No: 11-RN-334 Status: MIXED

Collar Details Samples

Survey (115)	Location (1)	Geotechnical (107)	Alteration (9)	Mineralization (7)	Texture (0)	Colour (0)	Point_Structure (101)	Structure (45)	Mineralogy (0)	Point Load Test (0)	% Chrysotile	Overburden (0)	Core Box (0)	Met_Results (0)	Chrysotile (28)
From	To	Core Length	None (0% to 0.1%)	Network (0.1% to 1%)	Network (1% to 2.5%)	Network (2.5% to 4.5%)	Network (4.5% to 7%)	RZ (1% to 10%)	RZ (10% to 25%)	RZ (25% to 40%)	RZ (40% to 70%)	Veins and Fractures	% Chrysotile	Total Length	Comments
0	84.00	87.00	3.197	.000	1.122	.100	.000	.000	1.850	.000	.000	.000	.025	2.636	3.097
7A	87.00	90.00	2.910	.000	2.710	.000	.000	.098	.100	.000	.000	.000	.002	1.384	2.910
8	90.00	93.00	3.106	.000	3.055	.000	.000	.043	.000	.000	.000	.000	.008	1.037	3.106
6A	93.00	96.00	2.851	.000	2.611	.179	.000	.000	.058	.000	.000	.000	.003	1.207	2.851
6D	96.00	99.00	3.127	.000	2.894	.191	.000	.000	.000	.012	.000	.000	.030	1.887	3.127
	99.00	102.00	2.944	.000	2.358	.276	.000	.306	.000	.000	.000	.000	.004	1.212	2.944
	102.00	105.00	2.967	.000	2.721	.246	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.833	2.967
	105.00	108.00	3.024	.000	2.532	.492	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.913	3.024
8	108.00	111.00	2.806	.119	1.943	.564	.000	.143	.036	.000	.000	.000	.001	1.252	2.806
	111.00	114.00	2.806	.000	2.418	.100	.275	.000	.227	.000	.000	.000	.000	1.203	3.020
	114.00	117.00	2.808	.000	1.763	.480	.463	.000	.102	.000	.000	.000	.000	1.456	2.808
	117.00	120.00	2.940	.000	2.095	.000	.400	.000	.445	.000	.000	.000	.000	1.465	2.940
	120.00	123.00	2.958	.000	.553	1.146	.890	.000	.369	.000	.000	.000	.000	2.246	2.958
	123.00	126.00	3.045	.000	1.742	1.109	.000	.194	.000	.000	.000	.000	.000	1.258	3.045
	126.00	129.00	3.000	.000	1.518	1.481	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.001	1.277	3.000
	129.00	132.00	3.140	.000	1.763	.360	.495	.000	.521	.000	.000	.000	.001	1.703	3.140
	132.00	135.00	3.071	.000	1.723	1.072	.000	.000	.271	.000	.000	.000	.005	1.459	3.071
	135.00	138.00	2.987	.000	2.963	.000	.000	.000	.024	.000	.000	.000	.000	.864	2.987
	138.00	141.00	2.862	.000	1.728	1.076	.000	.023	.021	.000	.000	.000	.014	1.734	2.862
	141.00	144.00	2.871	1.413	1.454	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.004	.519	2.871
	144.00	147.00	3.162	.000	2.474	.596	.000	.000	.091	.000	.000	.000	.001	1.380	3.162
	147.00	150.00	2.805	.000	.544	.725	.141	.000	1.193	.000	.194	.000	.008	4.617	2.805
	150.00	153.00	2.820	.000	.434	.507	.737	.000	.499	.615	.000	.000	.028	6.140	2.820
	153.00	156.00	2.988	.000	2.048	.296	.199	.000	.107	.316	.000	.000	.022	3.351	2.988
	156.00	159.00	2.663	.000	1.297	.285	.429	.000	.433	.195	.000	.000	.024	3.604	2.663
	159.00	162.00	2.866	.000	1.543	1.261	.036	.000	.018	.000	.000	.000	.008	1.516	2.866
	162.00	165.00	2.867	.000	.163	.642	.000	.000	1.071	.987	.000	.000	.004	6.859	2.867
	165.00	168.00	2.983	.000	1.891	.170	.000	.000	.916	.000	.000	.000	.006	1.698	2.983

8^{ième} Étape: Révision, Photo et Ranger les boîtes de carotte de forage

1. Révision de l'intégrité de toutes les données entrées du trou de forage.
2. Prendre en photo toutes les boîtes de carotte de forage.
3. Ranger les boîtes de carotte de forage.

8^{ième} Étape: Révision, Photo et Ranger les boîtes de carotte de forage

1. Révision de l'intégrité de toutes les données entrées du trou de forage.
 - Vérifier une seconde fois pour voir si aucune erreur est survenue lors de l'entrée des données.
 - Vérifier la colonne «% Chrysotile» pour les pourcentages élevés et vérifier si ces valeurs concordent avec leur intervalle de 3 mètres.
 - Vérifier si tous les intervalles de 3 mètres ont été évalués pour le chrysotile dans le trou de forage.

8^{ième} Étape: Révision, Photo et Ranger les boites de carotte de forage

2. Prendre en photo toutes les boites de carotte de forage.



- Mettre les photos dans le dossier P:\Dumont Data\Core Photos\Chrysotile 2013 prévu a cet effet.

8^{ième} Étape: Révision, Photo et Ranger les boîtes de carotte de forage

3. Ranger les boîtes de carotte de forage dans les étagères prévues a cet effet.



ANNEXE III : RAPPORT DE QUANTIFICATION DU CHRYSOTILE 2013
V. 1.4, PROJET DUMONT, AMOS, QC



Royal Nickel Corporation

Rapport de Quantification du Chrysotile 2013

V. 1.4

Projet Dumont; Amos, Qc.

20 Mars, 2013

Table des matières

1) Introduction	1
2) Méthodes quantitatives du chrysotile	2
Option 1: Comptage des fibres par point tel qu'appliqué par APE	2
Option 2: DRX (Diffraction aux Rayons-X)	2
Option 3: Analyse Thermale Différentielle (ATD).....	3
Option 4: Analyse Spectrale par Photonic Knowledge.....	3
Option 5: Mesure de fibres par volume	4
Option 6: Estimation quantitative visuelle.....	4
3) Description de la méthode d'estimation visuelle quantitative	5
Introduction.....	5
Trois types d'environnements de chrysotile	7
1) Réseaux de chrysotile:.....	7
2) Chrysotile dans les zones hautement fragmentées	9
3) Chrysotile dans les veines/fractures	11
Chrysotile dans les zones de carotte de forage non récupérées	11
Résumé.....	13
4) Sélection d'Échantillons Représentatifs.....	14
Méthodologie.....	14
4.1 Représentation de la Lithologie	14
4.1 Domaines Structuraux de la Propriété Dumont.....	15
4.3 Domaines métallurgiques.....	16
4.4 Trous de forage récents (coalingite)	17
Sommaire	17
5) Procédures (Document Complet dans l'Annexe IV)	18
Identification	18
Prises des Mesures	22
Collection des données	24
6) Interprétation des données	25
7) Résultats.....	27
Résultats du journal de sondage du chrysotile	27
Représentativité des données.....	27
Traitement des données avancé	30
1) Calcul de l'écart-type pondéré	30
2) Identification du 95e percentile	30
3) Calcul de l'intervalle de confiance 95%.....	32
4) Calcul de la moyenne avec intervalle de confiance 95%.....	33
Résultats des méthodes statistiques.....	35
8) Conclusion.....	36

Table des figures

Figure 1: Distribution des trous de forage sur le gisement Dumont.....	5
Figure 2: Vue en 3D de la distribution des trous de forage sur le gisement Dumont.....	6
Figure 3: Géologie de surface et les domaines structuraux du projet Dumont.....	14
Figure 4: Vue en 3D de la fosse planifiée avec les failles majeures	15
Figure 5: Vue en 3D de la fosse planifiée avec les domaines métallurgiques	16
Figure 6: Intense (4.5 à 7%)	20
Figure 7: Élevée (2.5 à 4.5%).....	20
Figure 8: Modérée (1 à 2.5%)	20
Figure 9: Faible (0.1 à 1%)	20
Figure 10: Exemple de délimitation des Réseaux de chrysotile.....	19
Figure 11: Intense (40 à 70%)	20
Figure 12: Élevée (25 à 40%).....	20
Figure 13: Modérée (10 à 25%).....	20
Figure 14: Faible (1 à 10%).....	20
Figure 15: Exemple de délimitation de la chrysotile dans les zones hautement fragmentées	21
Figure 16: Veine de chrysotile coupant presque perpendiculairement l'axe de la carotte de forage	21
Figure 17: Veine de chrysotile subparallèle à l'axe de la carotte de forage.....	21
Figure 18: Image de la table Chrysotile dans DH Logger	23
Figure 19: Segmentation en 4.5 cm d'une veine de chrysotile subparallèle à l'axe de la carotte	24
Figure 20: Légende des figures 21, 22 et 23	27
Figure 21: Représentation 3D vers le Nord-Est du chrysotile avec les failles majeures.	28
Figure 22: Représentation 3D zoomer vers le Nord-Est du chrysotile avec les failles majeures.	28
Figure 23: Représentation 3D vers le Sud du chrysotile avec les failles majeures.	28
Figure 24: Histogramme des pourcentages de chrysotile sur l'ensemble des données	30
Figure 25: Histogramme des pourcentages de chrysotile dans la péridotite supérieure	31
Figure 26: Histogramme des pourcentages de chrysotile dans la dunite	31
Figure 27: Histogramme des pourcentages de chrysotile dans la péridotite inférieure	32
Figure 28: Intervalle de confiance 95%	32
Figure 29: Distribution asymétrique.....	33
Figure 30: Valeurs inférieures projetées.....	34
Figure 31: Valeurs supérieures projetées	34

Tableaux

Tableau 1: Valeurs assignées pour les catégories d'intensités de chaque environnement de chrysotile.....	13
Tableau 2: Liste des trous de forage sélectionnés.....	17
Tableau 3: Quantification du chrysotile.....	29
Tableau 4: Résultats du traitement des données statistiques	35

1) Introduction

Le mandat de ce projet consiste à établir une méthode d'évaluation quantitative du pourcentage du chrysotile dans le gisement Dumont et d'évaluer un pourcentage global du chrysotile dans le gisement.

Le chrysotile est un polymorphe contenant de l'antigorite et de la lizardite appartenant au groupe minéral de la serpentine. Son habitus souvent fibreux est le résultat de sa croissance dans des fractures d'expansion due à la serpentinisation des roches ultramafiques sous des conditions spécifiques. Étant donné les compositions et structures similaires des polymorphes et des autres phases de serpentine existantes, l'identification du chrysotile et sa quantification sont complexes.

Royal Nickel Corporation (RNC) a consulté divers minéralogistes de SGS et XPS pour fournir des options sur les possibles méthodes qui peuvent identifier et potentiellement quantifier le chrysotile.

Plusieurs méthodes sont disponibles pour des analyses qualitatives dépendamment de la pureté et de l'état de l'échantillon. Certaines de ces méthodes qualitatives peuvent être appliquées quantitativement. Six méthodes ont été révisées et sont décrites à la section 2. L'estimation quantitative visuelle a été la méthode choisie. Cette méthode, décrite en détail dans la section 3, a été appliquée sur un échantillonnage représentatif du dépôt à travers 13 trous de forage.

La moyenne du pourcentage de chrysotile dans les roches ultramafiques de la propriété Dumont se situe entre 1.63% et 2.03% avec un intervalle de confiance à 95%.

2) Méthodes quantitatives du chrysotile

Option 1: Comptage des fibres par point tel qu'appliqué par APE

(Information fournie par XPS)

- Les méthodes APE (Agence de Protection de l'Environnement) ne distinguent pas le clino-chrysotile des autres matériaux fibreux. Ces méthodes comptent le nombre de fibres par superficie (fibre/cm² par exemple). Une fibre est définie par son aspect ratio. Ainsi, une fibre peut être l'un des nombreux minéraux avec un habitus fibreux apparent. Par conséquent, cette méthode peut résulter en une surestimation du chrysotile, particulièrement dans les types de roche de la propriété Dumont, où la dunite et la périclase contiennent entre 3% et 6% de brucite.
- En addition avec l'aspect ratio, les minéralogistes utilisent l'habitus formant des fibres courbées dites "tails" pour identifier le chrysotile, ce qui peut être très subjectif. La précision/reproductibilité d'une valeur numérique par cette méthode est variable et inappropriée dans notre cas.
- L'échantillonnage du comptage des fibres par point est exécuté en comptant une quelque centaine de points sur un échantillonnage à petite échelle et introduit des problèmes sur la représentativité des échantillons de même que la sélection de ces derniers qui est biaisée.

Conclusion:

Cette méthode n'a pas été tentée par RNC, elle est considérée comme prenant beaucoup de temps, imprécise, non-reproductible et non-représentative.

Option 2: DRX (Diffraction aux Rayons-X)

(Information fournie par SGS, Annexe I)

- Le chrysotile est un polymorphe de la lizardite et de l'antigorite. Cependant, certaines différences dans leur structure permettent d'observer une signature par DRX propre à chacune.
- La DRX a été performée sur des composites métallurgiques en tant que partie du programme QEMSCAN.

Conclusion:

Dans le cas de la propriété Dumont, cette option a été réfutée puisque le chrysotile n'est pas un composant majeur du dépôt. Ce faisant, les pics de DRX sont difficiles à distinguer selon les minéraux du groupe de la serpentine, tous souvent en intercroissance dans les fractures du dépôt. Il serait donc peu concluant d'utiliser la DRX car il serait difficile de quantifier le chrysotile. Cette méthode implique beaucoup de manipulations et n'est pas efficace en termes de temps.

Option 3: Analyse Thermale Différentielle (ATD)

(Voir rapport fourni par XPS pour détails, Annexe II)

- Selon Viti et al. 2011, il a été montré que l'ATD pouvait être appliquée pour déterminer quantitativement le chrysotile dans les serpentinites. XPS a été engagé pour reproduire la procédure établie par Viti et al. 2011 sur les roches de la propriété Dumont pour analyser les applicabilités.

Conclusion:

XPS a conclu que cette méthode ne peut pas être appliquée dû à la présence de brucite dans les roches de la propriété Dumont, ce que les auteurs n'ont pas considéré en raison du manque de brucite dans leurs échantillons. XPS n'était pas en mesure de corriger ces changements avec suffisamment de précision pour être en mesure de prédire la composition minérale, et donc la quantification, avec un quelconque degré de certitude. De plus, cette technique s'applique sur des échantillons microscopiques et donc peu représentatifs. Pour ces raisons, cette option n'a pas été considérée.

Option 4: Analyse Spectrale par Photonic Knowledge

(Présentation Power Point fournie par Photonic Knowledge)

En 2011, RNC a entrepris un programme de caractérisation par analyse spectrale avec Photonic Knowledge pour comprendre la répartition des altérations, dont celle du chrysotile, ainsi que la minéralogie dans la carotte de forage Dumont. Voici les difficultés rencontrées :

- Photonic Knowledge applique une bibliothèque de référence pour assigner un minéral ou un groupe de minéraux à un spectre donné. La bibliothèque de référence est établie par l'envoi d'échantillons pour MEB, analyse, DRX etc. En se référant aux options précédentes sur l'identification du chrysotile, la construction d'une bibliothèque de référence n'est pas possible en raison des facteurs qui ont été expliqués.
- Malgré la nature similaire de la chimie et les caractéristiques physiques des produits d'altération de la carotte de forage Dumont, l'analyse spectrale a été en mesure d'établir des spectres spécifiques pour un groupe de minéraux et de minéraux non distincts.
- D'addition avec ces contraintes, le chrysotile se retrouve souvent en petites quantités et dans les petites fractures d'extension, lesquelles sont plus petites que la résolution de l'imagerie spectrale. Par conséquent, les minéraux à grains fins, tels que le chrysotile, ne peuvent pas être clairement identifiés, et encore moins quantifiés.
- Les effets de bordure dans les données n'ont pas été corrigés adéquatement.
- L'imagerie spectrale n'a pas bien corrélé avec la minéralogie quantifiée par QEMSCAN en général pour toutes les images spectrales observées.

Conclusion:

Cette option n'a pas été prise en considération puisqu'il y a beaucoup de contraintes techniques et procédurales reliées à cette méthode pour son application à la quantification du chrysotile.

Option 5: Mesure de fibres par volume

Les producteurs de chrysotile/asbestos dans la région de Black Lake, Québec, utilisent une méthode de calcul volumétrique pour le contrôle de la teneur. Un échantillon donné est broyé et les fibres sont séparées. Le volume des fibres est comparé au volume de l'échantillon, fournissant un pourcentage de fibre. Le Centre de Technologie Minérale et de Plasturgie (CTMP) a été consulté pour l'utilisation de cette méthode pour les roches du projet Dumont.

Conclusion:

RNC a été informé que cette méthode ne fonctionnerait pas dans une perspective idéale pour les roches du projet Dumont en raison de la présence d'autres minéraux fibreux (brucite) et qu'il faudrait ainsi des méthodes supplémentaires (DRX) après qu'un échantillon de "fibre" soit séparé. Des dépôts tels que Black Lake n'ont qu'un seul type de fibre: l'amiante, qui est de qualité très pure et sous forme de cristaux. DRX a présenté les contraintes susmentionnées. Par conséquent, cette méthode n'a pas été approchée par RNC.

Option 6: Estimation quantitative visuelle

(Réalisation de journaux de sondages pour le chrysotile sur la carotte de forage du projet Dumont)

Les tentatives précédentes pour quantifier le chrysotile par les méthodes décrites ci-dessus n'ont pas été concluantes. RNC a donc établi une procédure standard représentative de réalisation d'un journal de sondage pour le chrysotile sur la carotte de forage. Cette méthode fournit des résultats reproductibles et quantifiables.

La première phase du programme est complétée affichant un résultat moyen de 2% de chrysotile sur 13 trous de forage représentatifs sélectionnés à travers le dépôt Dumont. La section suivante de ce document décrit les méthodes utilisées pour arriver à la construction du journal de sondage du chrysotile du projet Dumont (voir également le document Méthodes de quantification du chrysotile à l'Annexe III).

3) Description de la méthode d'estimation visuelle quantitative

Introduction

Le filon-couche de Dumont est encaissé dans les laves et roches volcanoclastiques du Groupe d'Amos. Considéré comme une intrusion litée mafique-ultramafique, le filon-couche comprend une zone ultramafique inférieure et une zone mafique supérieure. La zone ultramafique est subdivisée en sous-zones: péridotite inférieure, dunite et péridotite supérieure. La zone mafique regroupe trois sous-zones qui sont, de la base vers le sommet, la clinopyroxénite, le gabbro et le gabbro à quartz. Le chrysotile est connu pour se développer dans la zone ultramafique en fonction des divers degrés de serpentinisation.

RNC assume que les trous de forages effectués sur le projet Dumont sont représentatifs du gisement. Au moment de réaliser cette étude, plus de 460 trous de forage pour plus de 168 000 mètres forés ont été réalisés sur la zone minéralisée du projet Dumont.

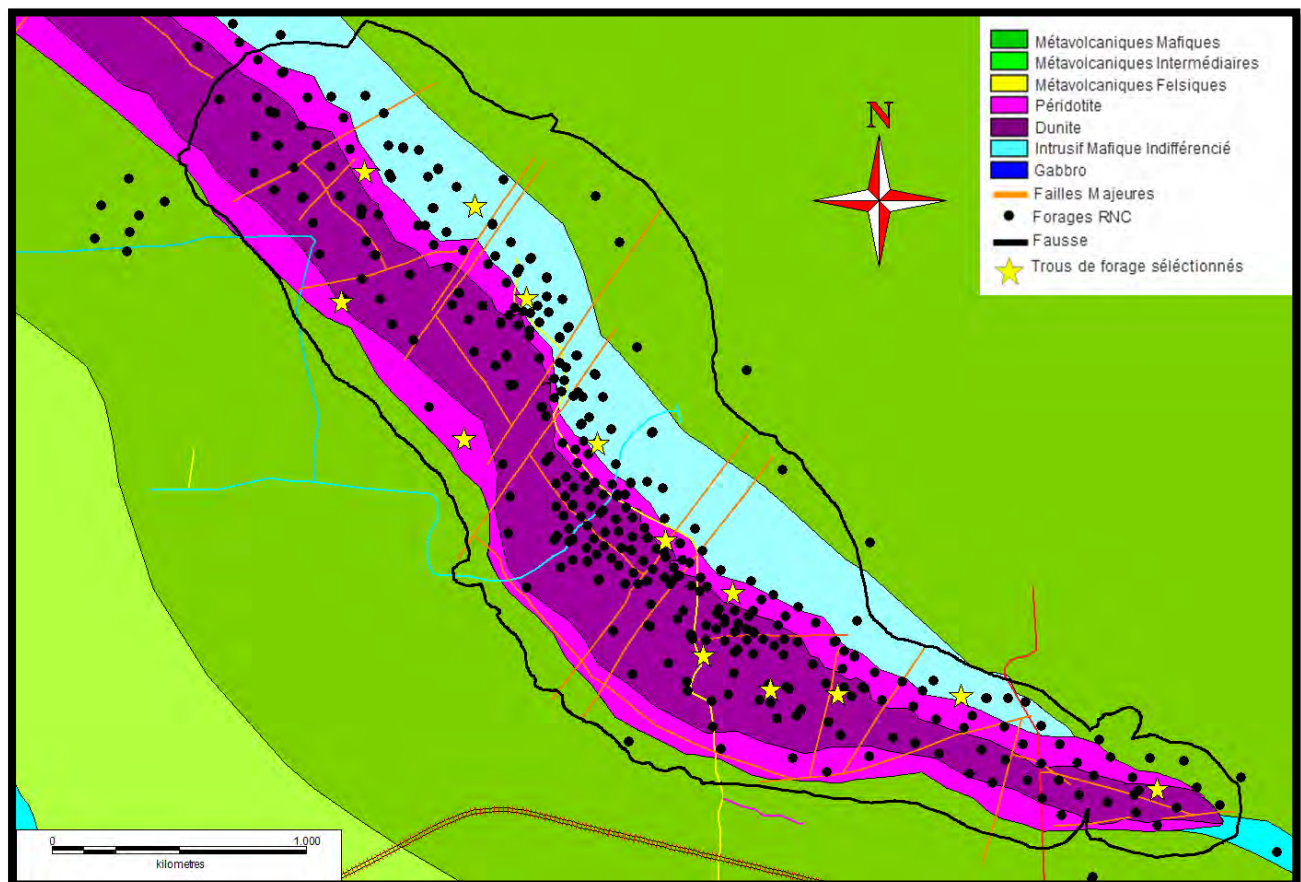


Figure 1: Distribution des trous de forage sur le gisement Dumont

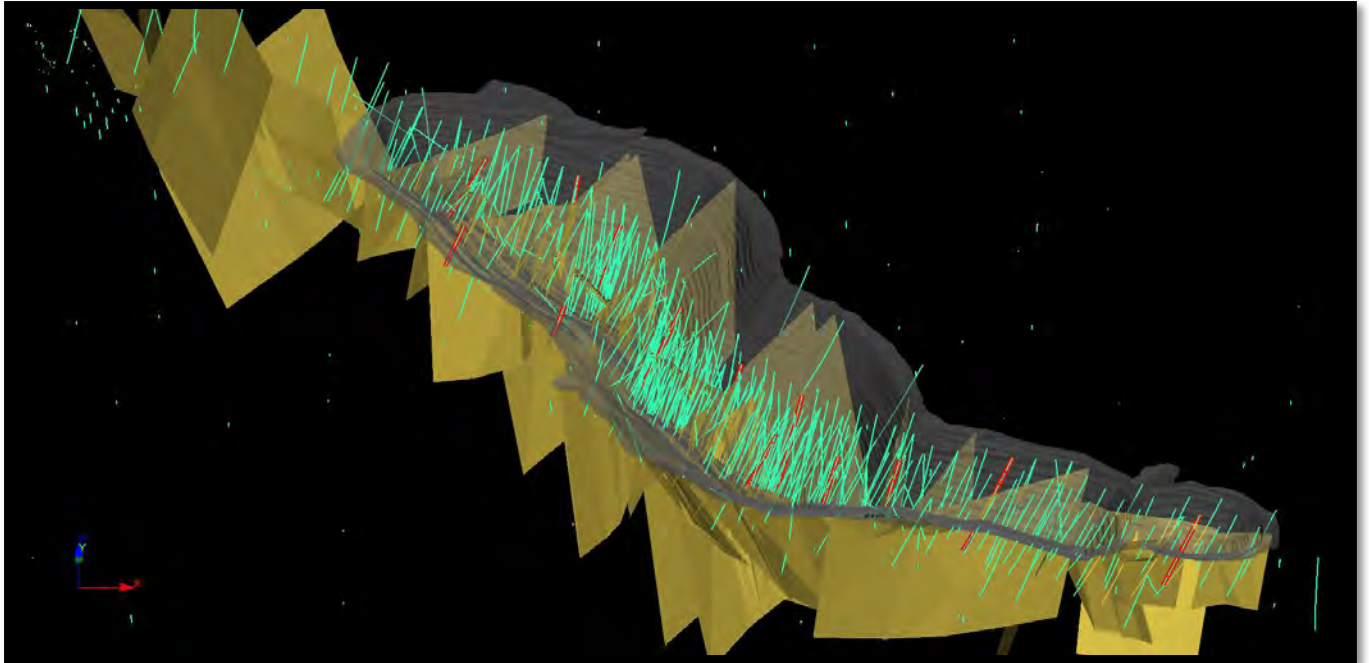


Figure 2: Vue en 3D de la distribution des trous de forage sur le gisement Dumont

Pour caractériser objectivement chaque environnement de chrysotile et pour une gestion de temps efficace, des niveaux d'intensités, qui réfèrent à un pourcentage de chrysotile présent dans la carotte, furent créés. Pour se faire, les géologues de RNC ont utilisé un trou de forage en référence (11-RN-309) qui fut choisi pour ces variations de textures dans les environnements de chrysotile.

Il y a trois environnements géologiques où le chrysotile a été identifié dans la roche ultramafique récupérée en forage et où l'estimation de celui-ci a besoin d'être évaluée séparément. Ces environnements sont:

- 1) Réseaux de chrysotile: (Autour des grains et dans les petites veines, omniprésentes dans la roche)
- 2) Chrysotile dans les zones hautement fragmentées (Failles)
- 3) Chrysotile dans les veines/Fractures (ouvertes ou fermées)

Cette section présente toutes les méthodes envisagées et essayées pour arriver à une entente sur la procédure finale. Ceci va être démontré pour les trois types d'environnements de chrysotile analysés.

Trois types d'environnements de chrysotile

1) Réseaux de chrysotile:

Pour estimer la quantité de chrysotile dans les réseaux, les géologues de RNC ont premièrement séparé l'analyse en quatre catégories d'intensité. Des étendues de variation d'intensité en pourcentage de chrysotile furent attribuées à chaque catégorie d'intensité afin de faire une distinction entre chaque catégorie.

Ces étendues sont:

Intense (5-8%),
Élevée (3-5%),
Modérée (1-3%),
Faible (0.1%-1%).

Pour attribuer une valeur de pourcentage de chrysotile à chaque catégorie, deux méthodes furent testées.

- La première méthode expérimentée était de mesurer l'épaisseur de chrysotile dans les petites veines et autour des grains pour chaque catégorie d'intensité à travers des lignes perpendiculaires sur la surface coupée de la carotte dans un intervalle donné. Les mesures furent additionnées, puis divisées par la longueur de l'intervalle testé pour donner un pourcentage de chrysotile sur un plan.

Cette méthode a généré un écart significatif entre les résultats des cinq géologues attirés à cette tâche. Les pourcentages mesurés ne correspondaient pas à leur estimation visuelle. Cette divergence était due à une surévaluation de l'épaisseur des petites veines de chrysotile (plus petite que 1mm) mesurées avec une règle traditionnelle. Les résultats et les étapes utilisées pour cette méthode sont décrits dans le document Méthodes de Quantification de la Chrysotile en Annexe III.

- Les géologues de RNC ont par la suite mis au point une nouvelle méthode utilisant Photoshop. En premier lieu, des photos furent prises pour chaque catégorie d'intensité sur la surface coupée de la demie carotte. En coupant la photo dans Photoshop, les sections de réseaux de chrysotile furent isolées de sorte que seulement ceux-ci soient présents. En comparant avec la roche, le contraste et la luminosité furent ajustés pour faire en sorte que seulement (ou principalement) les réseaux de chrysotile apparaissent en blanc ou en couleurs claires et que le reste apparaisse en couleurs foncées. Par la suite, Photoshop a calculé le pourcentage de pixels clairs par rapport aux pixels foncés présents en utilisant la fonction «Histogramme». Ainsi, les géologues de RNC obtinrent un pourcentage pour les différentes catégories de réseaux de chrysotile. Cette méthode est reproductible et donne des valeurs qui concordent avec l'estimation visuelle des géologues de RNC.

Avec cinq photos représentatives des catégories d'intensités "Faible" et "Modérée", quatre photos représentatives de la catégorie d'intensité "Élevée" et trois photos représentatives de la catégorie d'intensité "Intense", une valeur moyenne a été obtenue pour chaque catégorie en utilisant la méthode de Photoshop pour les réseaux de chrysotile.

Par la suite, des gammes de pourcentage possible furent assignées à chaque catégorie. Ces valeurs sont indiquées dans le Tableau 1 du résumé à la fin de cette section.

Les résultats et étapes utilisées pour cette méthode sont décrits dans le document Méthodes de Quantification de la Chrysotile en Annexe III.

Ajout de données supplémentaires

Dans le but d'avoir une meilleure représentativité des catégories d'intensités "Élevée" et "Intense" de nouveaux échantillons ont été évalués pour avoir maintenant un total de 5 échantillons pour chaque catégorie d'intensité. Ainsi, 2 échantillons ont été ajoutés pour la catégorie d'intensité "Intense" et un échantillon pour la catégorie d'intensité "Élevée".

Ces nouveaux échantillons ont été évalués par la méthode Photoshop. La valeur assignée à chaque catégorie a été ajustée en prenant en compte les pourcentages des nouveaux échantillons. Malgré l'ajout de nouvelles données pour les catégories d'intensités "Élevée" et "Intense", l'ajustement de la valeur assignée des catégories d'intensités "Élevée" et "Intense" n'apporte aucune différence aux valeurs assignées précédentes.

La section «Échantillons utilisés pour la caractérisation de l'environnement «Réseaux de chrysotile» » du document «Méthodes de Quantification de la Chrysotile v.1.2» (Annexe III) montre le tableau récapitulatif de ces valeurs (tableau 3) ainsi que les illustrations des nouveaux échantillons.

Discussion de la surestimation dans les réseaux de chrysotile

Une légère surestimation du pourcentage du chrysotile présent dans la carotte de forage est générée par cette méthode de quantification des réseaux de chrysotile puisque de la brucite (pâle) et des minéraux blancs coexistants (tels que talc, serpentine presque fibreuse et carbonates) sont souvent associés au chrysotile à l'intérieur des réseaux et ne peuvent pas être distinctement séparés dans la section photographiée.

En pratique, les géologues peuvent faire la différence entre ces minéraux sur une échelle millimétrique et ainsi ajuster les catégories d'intensités pour les réseaux de chrysotile. Cependant, sur une échelle plus petite qu'un millimètre, il est parfois difficile de différencier ces minéraux à l'œil nu et une légère surestimation est encore présente.

Puisque cette surestimation est généralement très faible et a un impact mineur sur les résultats, cette méthode d'évaluation pour les catégories d'intensités fut approuvée par les géologues de RNC.

2) Chrysotile dans les zones hautement fragmentées

Pour estimer la quantité de chrysotile dans les zones hautement fragmentées, les géologues de RNC ont utilisé la même stratégie de catégories d'intensités que pour les Réseaux de chrysotile. Une variété de zones hautement fragmentées a été sélectionnée pour assurer une distribution représentative.

La quantification des catégories d'intensités du chrysotile dans ces zones a dû s'effectuer de façon visuelle par cinq géologues de RNC. Les valeurs mesurées ont été compilées, vérifiées puis assignées à une catégorie d'intensité (faible, modérée, élevée et intense). Dans cette catégorie, de la boue de zones cisailées est souvent omniprésente. Additionnée à la nature fragmentée de ces zones, il est impossible d'utiliser Photoshop qui exige des surfaces propres.

Avec six zones hautement fragmentées représentatives des catégories d'intensités Faible et modérée et deux zones hautement fragmentées représentatives des catégories d'intensités Élevée et Intense, une valeur moyenne fut calculée pour chaque catégorie à partir des estimations des géologues de chaque zone hautement fragmentée.

Par la suite, des gammes de pourcentage possible furent assignées à chacune des catégories. Ces valeurs sont indiquées dans le Tableau 1 du résumé à la fin de cette section.

Les résultats et étapes utilisées pour cette méthode sont décrits dans le document Méthodes de Quantification de la Chrysotile en Annexe III.

Ajout de données supplémentaires

Dans le but d'avoir une plus grande représentativité des catégories d'intensités Élevée et Intense, de nouveaux intervalles ont été évalués pour avoir maintenant un total de 5 échantillons pour ces catégories d'intensités. Ainsi, 3 intervalles ont été ajoutés pour les catégories d'intensités Élevée et Intense.

Ces nouveaux intervalles ont été évalués en utilisant la méthode décrite ci-haut. La valeur assignée à chaque catégorie a été ajustée en prenant en compte les pourcentages des nouveaux échantillons. L'ajout de nouvelles données pour les catégories d'intensités Élevée et Intense, cause une légère différence aux valeurs assignées de ces catégories d'intensités.

- Intensité Élevée, la valeur moyenne passe de 33% à 35%.
- Intensité Intense, la valeur moyenne passe de 50% à 55%.

L'ajustement de la valeur assignée des zones hautement fragmentées de catégories d'intensités Élevée et Intense augmente le pourcentage de chrysotile, à la fois sur les trous sélectionnés et sur l'ensemble du projet. Cet ajustement augmente la valeur dans l'ordre de grandeur du centième de pourcent.

La section «Échantillons utilisés pour la caractérisation de l'environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées» » du document «Méthodes de Quantification de la Chrysotile v.1.2» (Annexe III) montre le tableau récapitulatif de ces valeurs (tableau 5) ainsi que les illustrations des nouveaux échantillons.

Vérification interne des zones hautement fragmentées

Lors de l'ajout de données supplémentaires, sept géologues ont réévalué six intervalles de la catégorie d'intensité Intense des zones hautement fragmentées. Sur ces six intervalles, trois d'entre eux ont été recatégorisés dans les catégories Modérée et Élevée. Les trois autres sont demeurés dans la catégorie Intense.

Pour cette raison, les géologues de RNC ont décidé de faire une réévaluation des 45 intervalles de la catégorie d'intensité Intense de l'environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées» pour vérifier la validité des identifications faites lors du journal de sondage du chrysotile.

Sur les 45 intervalles de la catégorie Intense, 15 d'entre eux ont été recatégorisés et ajustés dans la base de données. Ces intervalles sont montrés dans l'Annexe VI.

La réévaluation interne des zones hautement fragmentées de la catégorie d'intensité «Intense» diminue le pourcentage de chrysotile, à la fois, sur les trous sélectionnés et sur l'ensemble du projet. Cet ajustement augmente la valeur dans l'ordre de grandeur du centième de pourcent.

Discussion de la surestimation dans les zones hautement fragmentées

Une légère surestimation du pourcentage du chrysotile peut se présenter dans les zones hautement fragmentées par cette méthode de quantification puisque de la brucite et des minéraux blancs coexistants (tels que talc, serpentine presque fibreuse et carbonates) sont souvent associés au chrysotile à l'intérieur des zones hautement fragmentées.

Dans les zones hautement fragmentées, chaque catégorie d'intensité couvre une large gamme de pourcentage. L'estimation visuelle dans les zones à pourcentages élevés est plus variable d'un géologue à l'autre. Pour cette raison, dès que l'estimation visuelle se situe près des limites des gammes de pourcentage des catégories d'intensités, la zone est classée dans la catégorie supérieure.

Puisque cette surestimation est généralement très faible et a un impact mineur sur les résultats, cette méthode d'évaluation pour les catégories d'intensités fut approuvée par les géologues de RNC.

3) Chrysotile dans les veines/fractures

Pour le chrysotile se trouvant dans les veines et fractures, les géologues de RNC ont jugé que la méthode la plus précise pour l'estimation était de mesurer l'épaisseur du chrysotile présent dans les veines et fractures avec une règle ou ruban à mesurer et d'assumer que la valeur mesurée équivaut à 100% de chrysotile. Tout ce qui est à l'extérieur des veines est considéré comme faisant partie de réseaux de chrysotile à travers la roche.

Pour les veines qui recoupent l'axe de la carotte de forage avec un angle fort, une mesure de l'épaisseur du chrysotile est prise. Pour les veines qui recoupent l'axe de la carotte avec un angle faible, un calcul standard est utilisé de façon à diviser le joint en segments de 4.5 cm (ou le diamètre de la carotte de forage). Ce qui revient à couper la veine en segments de 4.5 cm de longueur, à regrouper ces segments côte à côte perpendiculairement à l'axe de la carotte de forage et à mesurer l'épaisseur totale.

Les résultats et étapes utilisées pour cette méthode sont décrits dans le document Méthodes de Quantification de la Chrysotile en Annexe III.

Discussion de la surestimation du chrysotile dans les veines/fractures

Une légère surestimation du pourcentage du chrysotile présent dans les veines/fractures est générée puisque de la brucite et des minéraux blancs coexistants (tel que talc, serpentine presque fibreuse et carbonates) sont souvent associés au chrysotile et ne peuvent pas être distingués lorsque ceux-ci se présentent en faible quantité ou avec une granulométrie fine. La valeur attribuée de 100% aux veines et fractures de chrysotile augmente la quantité totale de chrysotile.

Puisque cette surestimation est généralement très faible et a un impact mineur sur les résultats, cette méthode d'évaluation pour les catégories d'intensité fut approuvée par les géologues de RNC.

Chrysotile dans les zones de carotte de forage non récupérées

L'altération des lithologies ultramafiques du projet Dumont génère des minéraux fibreux qui peuvent former des veines ou remplir des failles ou zones cisailées. Ces zones sont potentiellement propices à une perte de récupération de la carotte de forage. Lors du forage, si le foreur ne fait pas attention, ces zones sont propices à être lavées par un contrôle inadéquat de la pression d'eau lors du forage. Malgré tout, ces zones sont régulièrement récupérées.

Il existe plusieurs situations où une perte de la carotte de forage peut survenir, soit lors du forage:

- Broyage de la carotte lors du forage
 - Terrain fracturé
 - Mauvaise manœuvre des foreurs
- Faille ouverte sans remplissage minéral (veine d'eau)
- Faille ou veine de minéraux boueux lessivée lors du forage.
- Défectuosité ou usure de l'équipement de forage (ressort de soutien, forêt,..)
- Perte de carotte lors des manipulations par les foreurs ou par les techniciens de RNC jusqu'à la carothèque.

Soit lors de la manipulation de la carotte de forage dans la carothèque:

- Perte de carotte de forage lors de la coupe de la carotte pour l'échantillonnage.
- Perte de carotte de forage lors des manipulations d'entreposage et d'étalage des boîtes sur les tables de travail.

Dans le cas spécifique de ce projet, puisque les mesures sont faites sur des carottes de forage qui ont déjà été manipulées, un journal de sondage standard réalisé, échantillonnées et entreposées sur palettes. La carotte perdue lors des différentes manipulations est le facteur le plus important puisque les pertes représentent presque exclusivement des morceaux de carottes solides, car les sections «molles» restent dans les boîtes de carottes.

À partir de notre expérience globale du projet Dumont, pour le cas spécifique de cet étude, environ 25% des zones de carotte de forage non récupérées correspondent à des zones à contenu élevé en chrysotile (Zone hautement fracturée). Cette valeur est considérée comme étant généreuse, car il est également fréquent de voir des sections de carottes de forage broyées représentant une section de roche compétente en plus de la possibilité de rencontrer toutes les autres raisons mentionnées ci-haut.

De ces 25%, qui correspondent dans les faits à des zones de veines ou de failles boueuses contenant également de la serpentine, de la brucite, du talc, des carbonates et des fragments de roche, le chrysotile représenterait en moyenne 35% du contenu de ces zones. Cette valeur de 35% correspond à la catégorie Élevée de l'environnement «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées». Elle est jugée représentative des sections «boueuses» non récupérées.

Avec 25% de zones de carotte de forage non récupérées à contenu élevé en chrysotile et une quantité attribuée de 35% de chrysotile dans ces zones, cela représente 8.75% de chrysotile supplémentaire à ajouter globalement au projet.

La carotte perdue a été calculée par une différence de la longueur du trou dans la roche par rapport à la longueur de la carotte mesurée lors de l'évaluation du chrysotile. Le pourcentage de chrysotile présent a été ensuite calculé automatiquement en multipliant la carotte perdue par 8.75%. Ce calcul a été fait individuellement pour chacun des trous et sur l'ensemble du projet.

Les zones de carotte de forage non récupérées, représentant environ 1.5% des 13 trous ciblés par ce projet d'évaluation du chrysotile, ont été ajoutées au tableau de compilation. Au final, les zones de carotte de forage non récupérées génèrent une augmentation de 0.11% de chrysotile qui ne peut être évalué visuellement et qui doit être ajouté au résultat de l'ensemble du projet. Les résultats sont montrés dans le Tableau 3 de la section «Résultats» de ce document.

Résumé

Toutes les valeurs moyennes de chaque catégorie d'intensité de chaque environnement de chrysotile identifié avec les méthodes mentionnées précédemment ont été compilées et arrondies à la valeur supérieure. Cette légère surestimation a pour but de rester conservateur. Ces valeurs ont servi au calcul du pourcentage total du chrysotile présent dans la carotte de forage.

Le Tableau 1 montre les valeurs assignées à chaque catégorie d'intensité, avec la gamme du pourcentage que représente chacune des catégories.

Tableau 1: Valeurs assignées pour les catégories d'intensités de chaque environnement de chrysotile

Environnements de chrysotile	Catégories d'intensités (Gamme de pourcentage)	Valeurs assignées aux catégories d'intensité
Réseaux de chrysotile	Aucun (0 à 0.1%)	0%
	Faible (0.1 à 1%)	0.75%
	Modérée (1 à 2.5%)	1.75%
	Élevée (2.5 à 4.5%)	3.50%
	Intense (4.5 à 7%)	6%
Chrysotile dans les zones hautement fragmentées	Faible (1 à 10%)	3%
	Modérée (10 à 25%)	15%
	Élevée (25 à 40%)	33%
	Intense (40 à 70%)	50%
Chrysotile dans les veines/fractures	70 à 100% chrysotile	100%

Avec ces méthodes mises sur pied, les environnements de chrysotile peuvent facilement être identifiés visuellement, mesurés avec une règle ou estimés visuellement pour en arriver à quantifier le chrysotile.

Puisque le chrysotile peut être mesuré précisément au millimètre près dans les veines et fractures avec une règle conventionnelle, mesurer tous les environnements de chrysotile au millimètre près devient significatif et cette méthode a donc été appliquées aux procédures.

La table «Chrysotile» a été créée dans DH Logger où chaque catégorie d'intensité pour chaque environnement de chrysotile est représentée. La table et les calculs sont expliqués dans la section «Interprétation des données» de ce document.

4) Sélection d'Échantillons Représentatifs

Méthodologie

Treize (13) trous de forage ont été sélectionnés pour représenter les différentes lithologies ultramafiques. Le processus de sélection de ces 13 trous de forage de sondage devait respecter quatre (4) contraintes.

1. Représentation de la lithologie et représentativité spatiale;
2. Représentation des domaines structuraux;
3. Représentation de domaines métallurgiques;
4. Utilisation de trous de forage récents (coalingite).

4.1 Représentation de la Lithologie: (Figure 3)

Le chrysotile apparaît seulement dans les roches ultramafiques. Les trous de forage sélectionnés ont été spatialement répartis de façon à cibler la péridotite supérieure et/ou la dunite et/ou la péridotite inférieure. Les trous de forage sélectionnés ont aussi été spatialement répartis afin d'être représentatifs de l'étendue de la fosse. Les parties les plus profondes de la fosse sont également représentées.

Sur la figure 3, les trous de forage sélectionnés sont représentés par une étoile jaune.

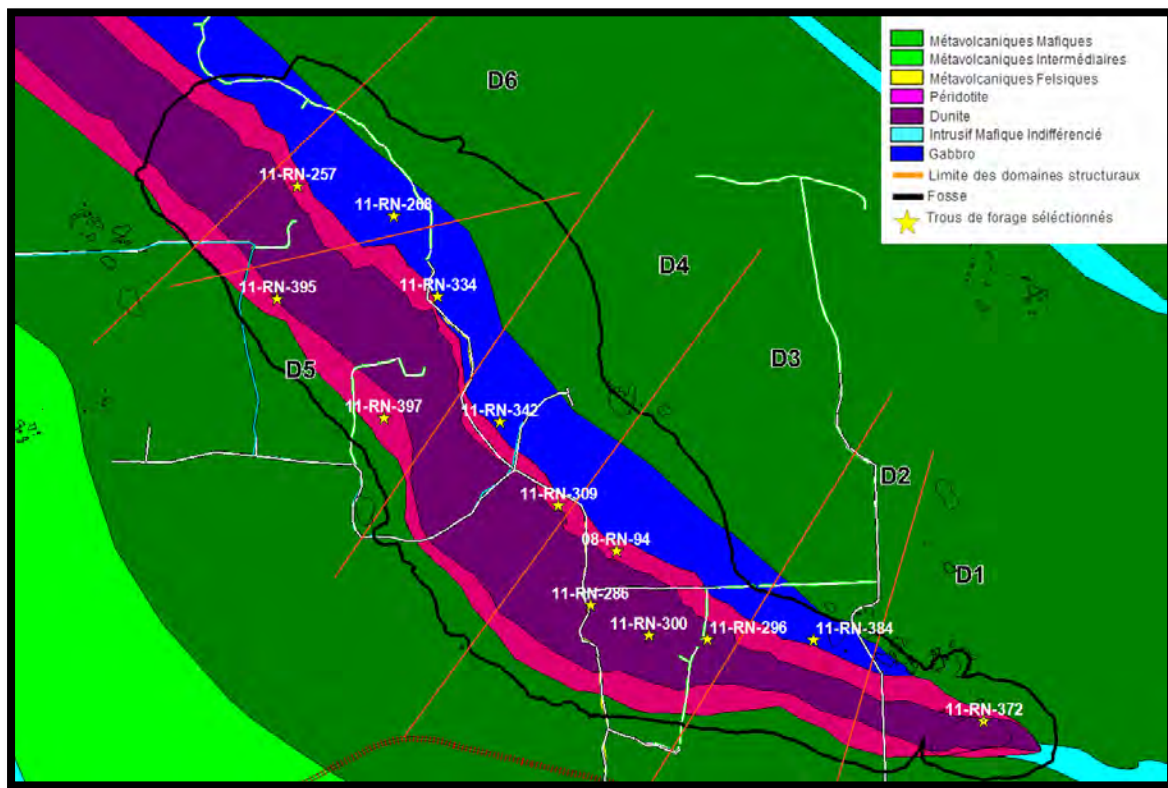


Figure 3: Géologie de surface et les domaines structuraux du projet Dumont

4.2 Domaines Structuraux de la Propriété Dumont: (Figure 3 et 4)

Le filon-couche de Dumont a été divisé en 7 domaines structuraux par les géologues de Royal Nickel, Itasca Consulting et SRK Consulting. Ces domaines sont définis par des structures majeures transversales au dépôt.

Quelques trous de forage orientés ont ciblé les zones de failles majeures dans le but de les caractériser, étant donné que les failles sont un processus de contrôle pour la création du chrysotile.

Un minimum d'un (1) trou de forage a été choisi dans chacun des domaines 1 à 6 ce qui permet aussi d'avoir une distribution spatiale proportionnée de la fosse. Le domaine 7, à l'extrémité nord-ouest de la fosse planifiée, représente un faible tonnage et sera évalué lors d'une phase subséquente.

La figure 4 illustre les trous de forage sélectionnés dans une vue en 3D de la fosse planifiée, de l'étude de faisabilité, avec les failles majeures.

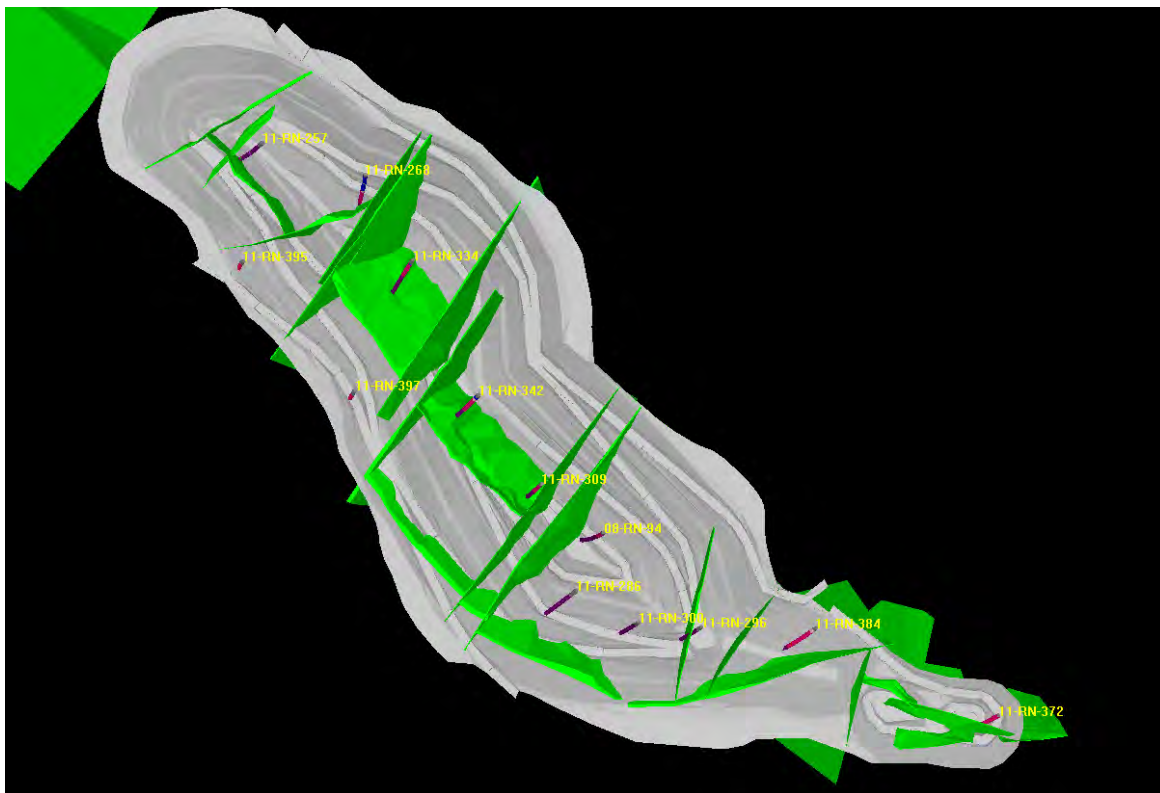


Figure 4: Vue en 3D de la fosse planifiée avec les failles majeures

Il existe une similitude spatiale entre les domaines structuraux et métallurgiques, car ils sont tous deux contrôlés par les failles structurales.

4.3 Domaines métallurgiques: (Figure 5)

Les essais métallurgiques complétés précédemment montrent une corrélation claire entre les variations minéralogiques reliées au degré de serpentinisation et à la récupération métallurgique du nickel. Cinq domaines métallurgiques ont été établis correspondant à ces différents niveaux de serpentinisation. Ils sont définis minéralogiquement en fonction du ratio de heazlewoodite par rapport à la pentlandite (H_z / P_n) ainsi que par l'abondance de serpentine enrichie en fer:

Domaine Métallurgique 1 ou Dominant Heazlewoodite: Les échantillons dont le ratio de heazlewoodite par rapport à la pentlandite (H_z / P_n) est supérieur à 5 sont considérés comme étant dominés par l'heazlewoodite.

Domaine Métallurgique 2 ou Combinaison heazlewoodite – pentlandite : Les échantillons dont le ratio de heazlewoodite par rapport à la pentlandite (H_z / P_n) se situe entre 1 et 5 sont considérés comme étant une combinaison de heazlewoodite et pentlandite.

Domaine Métallurgique 3, 4 et 5 ou Dominant pentlandite : Les échantillons dont le ratio de heazlewoodite par rapport à la pentlandite (H_z / P_n) est inférieur à 1 sont considérés comme étant dominés par la pentlandite. Ils sont divisés en 3 sous-types basés sur l'abondance des sulfures de nickel ainsi que de la serpentine enrichie en fer.

Ces domaines sont fondés sur différents types d'altération et différents contrôles structuraux menant à la formation du chrysotile. Pour une représentation complète des divers niveaux d'altérations ultramafiques, les cinq (5) domaines métallurgiques sont présents dans la fosse et sont représentés dans les trous sélectionnés. Un minimum d'un (1) trou de forage a été choisi dans chacun des 5 domaines métallurgiques.

La figure 5 illustre les domaines métallurgiques, les trous de forage sélectionnés et les failles majeures dans une vue en 3D de la fosse planifiée, de l'étude de faisabilité.

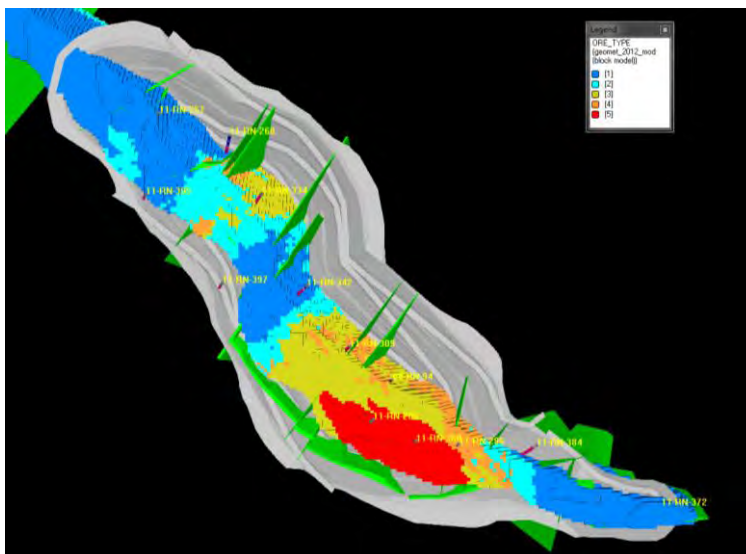


Figure 5: Vue en 3D de la fosse planifiée avec les domaines métallurgiques

4.4 Trous de forage récents (coalingite):

Les roches ultramafiques du projet Dumont contiennent un minéral d'expansion appelé coalingite qui provoque des fractures variant de mineures à totales dans la carotte de forage. Cela ajoute un niveau de difficulté pour quantifier le chrysotile dans les zones contenant de la coalingite. Par conséquent, il fut crucial de choisir des trous de forage contenant le moins de coalingite possible. Ainsi, des trous de forage plus récents qui n'avaient pas encore subi une forte altération de coalingite ont été priorités.

La présence de coalingite dans les trous de forage a fait en sorte que le processus de sélection a été plus difficile en ce qui concerne la représentativité des échantillons sur la totalité du secteur de la fosse projetée. Des 13 trous de forage sélectionnés, 12 d'entre eux datent de 2011 et un date de 2008.

Sommaire

Ces étapes constituent collectivement une sélection précise et représentative des trous de forage pour l'analyse du chrysotile. Ceci a été mis en œuvre pour la première phase du programme de quantification du chrysotile.

Le Tableau 2 présente la liste finale des trous de forage sélectionnés pour la première phase du programme.

Tableau 2: Liste des trous de forage sélectionnés

Trous de forage sélectionnés pour la phase 1	Lithologies	Domaines structuraux	Domaines Métallurgiques
08-RN-94	Péridotite supérieure, Dunite	Domaine 3	Pentlandite dominante (Type 3)
11-RN-257	Dunite, Péridotite inférieure	Domaine 6	Heazlewoodite dominante (Type 1)
11-RN-268	Péridotite supérieure, Dunite	Domaine 6	Heazlewoodite dominante (Type 1)
11-RN-286	Dunite	Domaine 3	Pentlandite dominante (Type 5)
11-RN-296	Dunite, Péridotite inférieure	Domaine 3	Pentlandite dominante (Type 4)
11-RN-300	Dunite	Domaine 3	Pentlandite dominante (Type 5)
11-RN-309	Péridotite supérieure, Dunite	Domaine 4	Pentlandite dominante (Type 4)
11-RN-334	Péridotite supérieure, Dunite	Domaine 5	Pentlandite dominante (Type 3)
11-RN-342	Péridotite supérieure, Dunite	Domaine 4	Heazlewoodite dominante (Type 1)
11-RN-372	Péridotite supérieure, Dunite, Péridotie inférieure	Domaine 1	Heazlewoodite dominante (Type 1)
11-RN-384	Péridotite supérieure, Dunite, Péridotie inférieure	Domaine 2	Combinaison (Type 2)
11-RN-395	Péridotite inférieure	Domaine 5	-
11-RN-397	Péridotite inférieure	Domaine 5	-

5) Procédures (Document Complet dans l'Annexe IV)

Les géologues de RNC ont créé une procédure standard pour le journal de sondage du chrysotile pour avoir une constance dans la prise des données, pour avoir une liste de vérification et une reproductibilité des résultats. Ce qui suit est une version abrégée de la procédure standard qui figure à l'Annexe IV pour un intervalle de 3 mètres de carotte de forage.

Identification

1. Les intervalles de «Réseaux de chrysotile» sont séparés en délimitant les sections avec un crayon blanc (figure 10) selon leur intensité (figures 6, 7, 8 et 9).
 - Si l'intervalle de réseaux de chrysotile a entre 0 et 0.1% de chrysotile, un «N» (Intensité Aucun) est alors marqué dans le coin supérieur droit de la ligne de délimitation au début de l'intervalle.
 - Si l'intervalle de réseaux de chrysotile a entre 0.1% et 1% de chrysotile, un «W» (Intensité Faible) est alors marqué dans le coin supérieur droit de la ligne de délimitation au début de l'intervalle.
 - Si l'intervalle de réseaux de chrysotile a entre 1% et 2.5% de chrysotile, un «M» (Intensité Modérée) est alors marqué dans le coin supérieur droit de la ligne de délimitation au début de l'intervalle.
 - Si l'intervalle de réseaux de chrysotile a entre 2.5% et 4.5% de chrysotile, un «H» (Intensité Élevée) est alors marqué dans le coin supérieur droit de la ligne de délimitation au début de l'intervalle.
 - Si l'intervalle de réseaux de chrysotile a entre 4.5% et 7% de chrysotile, un «I» (Intensité Intense) est alors marqué dans le coin supérieur droit de la ligne de délimitation au début de l'intervalle.



Figure 6: Intense (4.5 à 7%)



Figure 7: Élevée (2.5 à 4.5%)

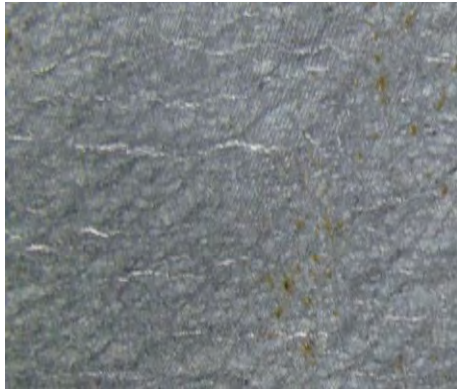


Figure 8: Modérée (1 à 2.5%)

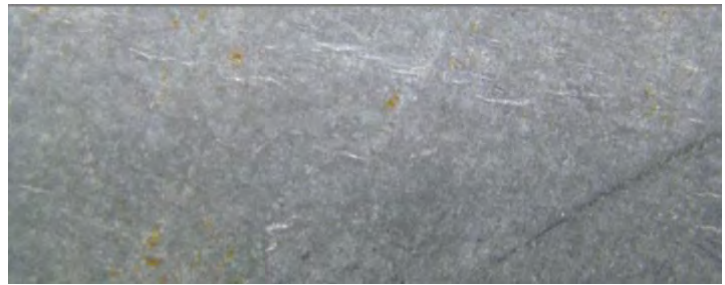


Figure 9: Faible (0.1 à 1%)

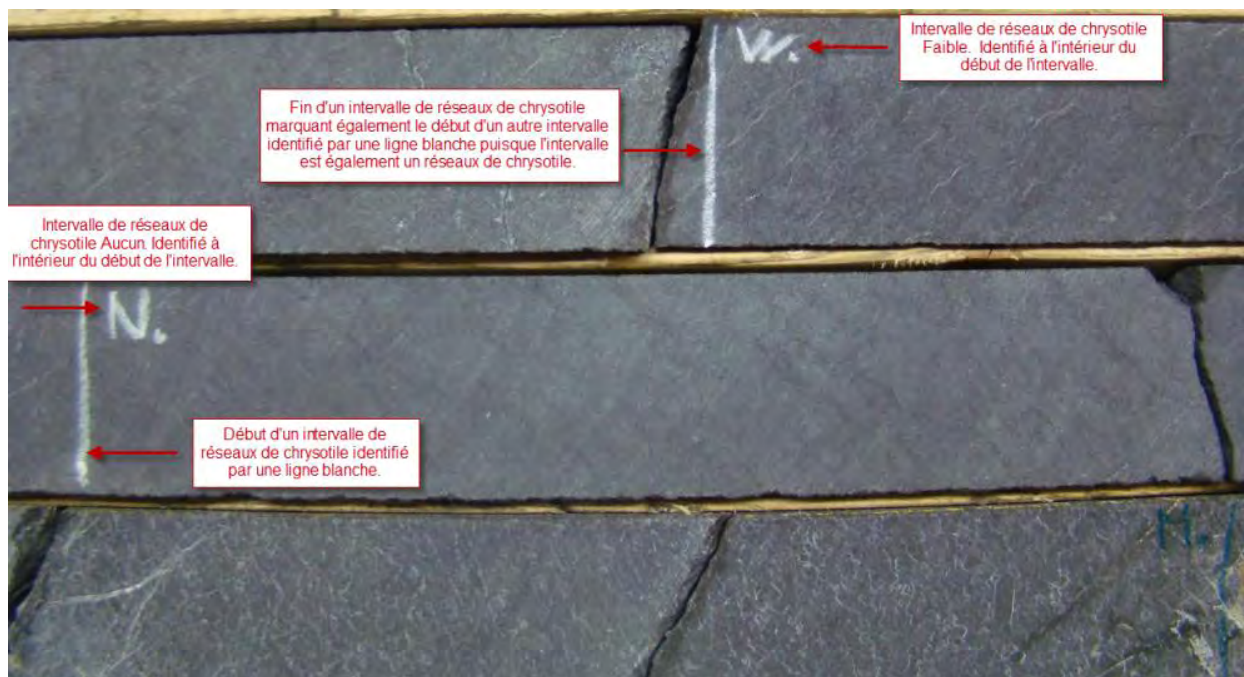


Figure 10: Exemple de délimitation des Réseaux de chrysotile

2. Les intervalles de «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées» sont séparés en délimitant les sections avec un crayon vert (figure 15) selon leur intensité (figures 11, 12, 13 et 14).

- Si l'intervalle de la zone hautement fragmentée se situe entre 1% et 10% de chrysotile, un «W» (Intensité Faible) est alors marqué dans le coin supérieur gauche de la ligne de délimitation du début de l'intervalle.
- Si l'intervalle de la zone hautement fragmentée se situe entre 10% et 25% de chrysotile, un «M» (Intensité Modérée) est alors marqué dans le coin supérieur gauche de la ligne de délimitation du début de l'intervalle.

- Si l'intervalle de la zone hautement fragmentée se situe entre 25% et 40% de chrysotile, un «H» (Intensité Élevée) est alors marqué dans le coin supérieur gauche de la ligne de délimitation du début de l'intervalle.
- Si l'intervalle de la zone hautement fragmentée se situe entre 40% et 70% de chrysotile, un «I» (Intensité Intense) est alors marqué dans le coin supérieur gauche de la ligne de délimitation du début de l'intervalle.



Figure 11: Intense (40 à 70%)



Figure 12: Élevée (25 à 40%)



Figure 13: Modérée (10 à 25%)



Figure 14: Faible (1 à 10%)



Figure 15: Exemple de délimitation du chrysotile dans les zones hautement fragmentées

3. Les veines/fractures de chrysotile significantes (seulement si elles contiennent entre 70% et 100% de chrysotile, sinon elles sont identifiées comme étant une zone hautement fragmentée) sont délimitées par un traçage du contour avec un crayon orange (Figures 16 et 17). Les veines de chrysotile trop petites pour les mesurer avec une règle sont incluses dans les intervalles de Réseaux de chrysotile.

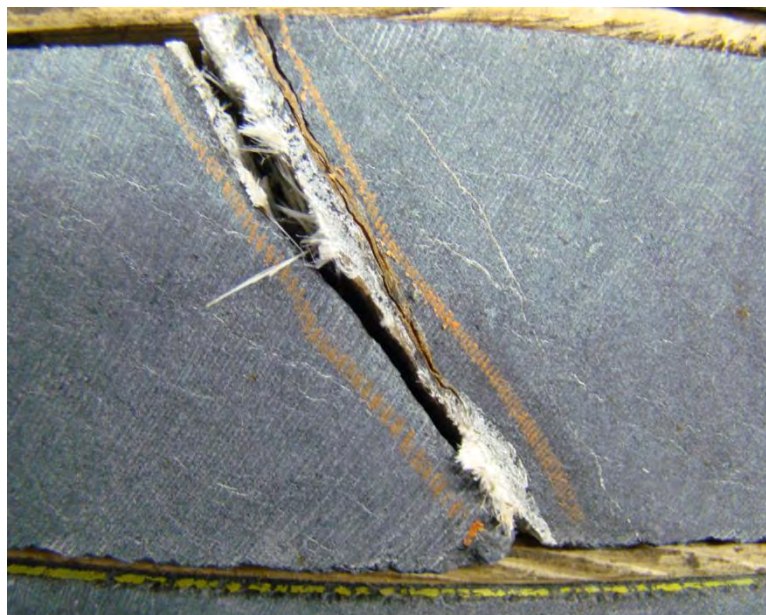


Figure 16: Veine de chrysotile coupant presque perpendiculairement l'axe de la carotte de forage



Figure 17: Veine de chrysotile subparallèle à l'axe de la carotte de forage

Prises des Mesures

4. Les intervalles de «Réseaux de chrysotile» (en blanc) sont mesurés au millimètre près avec une règle et les résultats sont placés dans la colonne appropriée dans la table «Chrysotile» de DH Logger (Figure 18).

- Les intervalles «Réseaux de chrysotile Aucun»: Tous les intervalles identifiés avec un «N» sont mesurés et additionnés et la mesure résultante est mise dans la colonne «None (0% to 0.1%)».
- Les intervalles «Réseaux de chrysotile Faible»: Tous les intervalles identifiés avec un «W» sont mesurés et additionnés et la mesure résultante est mise dans la colonne «Network (0.1% to 1%)».
- Les intervalles «Réseaux de chrysotile Modérée»: Tous les intervalles identifiés avec un «M» sont mesurés et additionnés et la mesure résultante est mise dans la colonne «Network (1% to 2.5%)».
- Les intervalles «Réseaux de chrysotile Élevée»: Tous les intervalles identifiés avec un «H» sont mesurés et additionnés et la mesure résultante est mise dans la colonne «Network (2.5% to 4.5%)».
- Les intervalles «Réseaux de chrysotile Intense»: Tous les intervalles identifiés avec un «I» sont mesurés et additionnés et la mesure résultante est mise dans la colonne «Network (4.5% to 7%)».

5. Les intervalles de «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées» (en vert) sont mesurés au millimètre près avec une règle et les résultats sont placés dans la colonne appropriée dans la table «Chrysotile» de DH Logger (Figure 18).

- Les intervalles «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées Faible»: Tous les intervalles identifiés avec un «W» sont mesurés et additionnés et la mesure résultante est mise dans la colonne «RZ (1% to 10%)».
- Les intervalles «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées Modérée»: Tous les intervalles identifiés avec un «M» sont mesurés et additionnés et la mesure résultante est mise dans la colonne «RZ (10% to 25%)».
- Les intervalles «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées Élevée»: Tous les intervalles identifiés avec un «H» sont mesurés et additionnés et la mesure résultante est mise dans la colonne «RZ (25% to 40%)».
- Les intervalles «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées Intense»: Tous les intervalles identifiés avec un «I» sont mesurés et additionnés et la mesure résultante est mise dans la colonne «RZ (40% to 70%)».

Drill Hole from: (0.00) to: (350.00)
Project: 100 Dumont Resource Drilling Hole No: 11-RH-334 Status: HXDD

Color Details Samples

Survey (115)	Location (1)	Geotechnical (107)	Alteration (9)	Mineralization (7)	Texture (3)	Colour (3)	Point Structure (10.1)	Structure (45)	Mineralogy (3)	Point Load Test (3)	Veins and Fractures	% Chrysotile	Overburden (3)	Core Box (3)	Met Results (3)	Chrysotile (28)
From	To	Core Length	None (0% to 0.1%) Network (0.1% to 1%) Network (1% to 2.5%) Network (2.5% to 4.5%) Network (4.5% to 7%) RZ (1% to 10%) RZ (10% to 25%) RZ (25% to 40%) RZ (40% to 70%)													
0	30.00	84.00	87.00	3.197	.000	1.122	.100	.000	.000	1.850	.000	.000	.000	.025	2.836	3.097
7A	30.00	87.00	90.00	2.910	.000	2.710	.000	.000	.000	.098	.100	.000	.000	.002	1.384	2.910
8	30.00	90.00	93.00	3.106	.000	3.055	.000	.000	.000	.043	.000	.000	.000	.008	1.037	3.106
8	34.50	93.00	96.00	2.851	.000	2.611	.179	.000	.000	.058	.000	.000	.000	.003	1.207	2.851
6A	34.50	96.00	99.00	3.127	.000	2.894	.191	.000	.000	.000	.000	.012	.000	.030	1.887	3.127
6A	142.40	99.00	102.00	2.944	.000	2.358	.276	.000	.000	.306	.000	.000	.000	.004	1.212	2.944
6D	142.40	102.00	105.00	2.967	.000	2.721	.246	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.833	2.967
6D	188.45	105.00	108.00	3.024	.000	2.532	.492	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.913	3.024
8	188.45	108.00	111.00	2.806	.119	1.943	.564	.000	.000	.143	.036	.000	.000	.001	1.252	2.806
8	188.95	111.00	115.00	3.020	.000	2.418	.100	.000	.000	.227	.000	.000	.000	.000	1.203	3.020
6D	188.95	115.00	118.00	2.808	.000	1.763	.400	.463	.000	.102	.000	.000	.000	.000	1.456	2.808
6D	350.00	118.00	141.00	2.940	.000	2.095	.000	.400	.000	.445	.000	.000	.000	.000	1.465	2.940
		141.00	144.00	2.958	.000	.553	1.146	.390	.000	.369	.000	.000	.000	.000	2.246	2.958
		144.00	147.00	3.045	.000	1.742	1.109	.000	.000	.194	.000	.000	.000	.000	1.258	3.045
		147.00	150.00	3.000	.000	1.518	1.481	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.001	1.277	3.000
		150.00	153.00	3.140	.000	1.763	.360	.495	.000	.521	.000	.000	.000	.001	1.703	3.140
		153.00	156.00	3.071	.000	1.723	1.072	.000	.000	.271	.000	.000	.000	.005	1.459	3.071
		156.00	159.00	2.987	.000	2.963	.000	.000	.000	.000	.024	.000	.000	.000	.864	2.987
		159.00	162.00	2.862	.000	1.728	1.076	.000	.000	.023	.021	.000	.000	.014	1.734	2.862
		162.00	165.00	2.871	1.413	1.454	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.004	.519	2.871
		165.00	168.00	3.162	.000	2.474	.596	.000	.000	.000	.091	.000	.000	.001	1.380	3.162
		168.00	171.00	2.805	.000	.544	.725	.141	.000	1.193	.000	.194	.000	.008	4.617	2.805
		171.00	174.00	2.820	.000	.434	.507	.717	.000	.499	.615	.000	.000	.028	6.140	2.820
		174.00	177.00	2.988	.000	2.048	.296	.199	.000	.107	.316	.000	.000	.022	3.351	2.988
		177.00	180.00	2.653	.000	1.297	.285	.429	.000	.433	.195	.000	.000	.024	3.604	2.653
		180.00	183.00	2.866	.000	1.943	1.261	.036	.000	.018	.000	.000	.000	.008	1.516	2.866
		183.00	186.00	2.867	.000	.163	.642	.000	.000	1.071	.867	.000	.000	.004	6.659	2.867
		186.00	189.00	2.983	.000	1.891	.170	.000	.000	.916	.000	.000	.000	.006	1.698	2.983

Figure 18: Image de la table Chrysotile dans DH Logger

6. Les veines/fractures de chrysotile sont mesurées au millimètre près dans l'intervalle de 3 mètres, additionnées et la valeur résultante est placée dans la colonne «Veins and Fractures». Si une veine recoupe l'axe de la carotte de forage avec un angle faible (Figure 17), une équation standard est utilisée. Cette équation permet de calculer l'épaisseur relative de chrysotile dans la veine en séparant la veine en plusieurs segments de 4.5 cm et en les mesurant côte à côte perpendiculairement à l'axe de la carotte de forage. Les étapes suivantes démontrent l'équation:

Étape 1: La longueur totale de la veine de chrysotile est mesurée et divisée par 4.5 cm (diamètre de la carotte).

Étape 2: L'épaisseur moyenne de chrysotile dans la veine est multipliée par le résultat obtenu à l'étape 1.

Exemple illustrant la figure 19:

Étape 1: Longueur totale de la veine (22.5cm) / 4.5cm = 5

Étape 2: Épaisseur moyenne de chrysotile dans la veine = 2mm
 $2\text{mm} * 5 = 10\text{mm}$

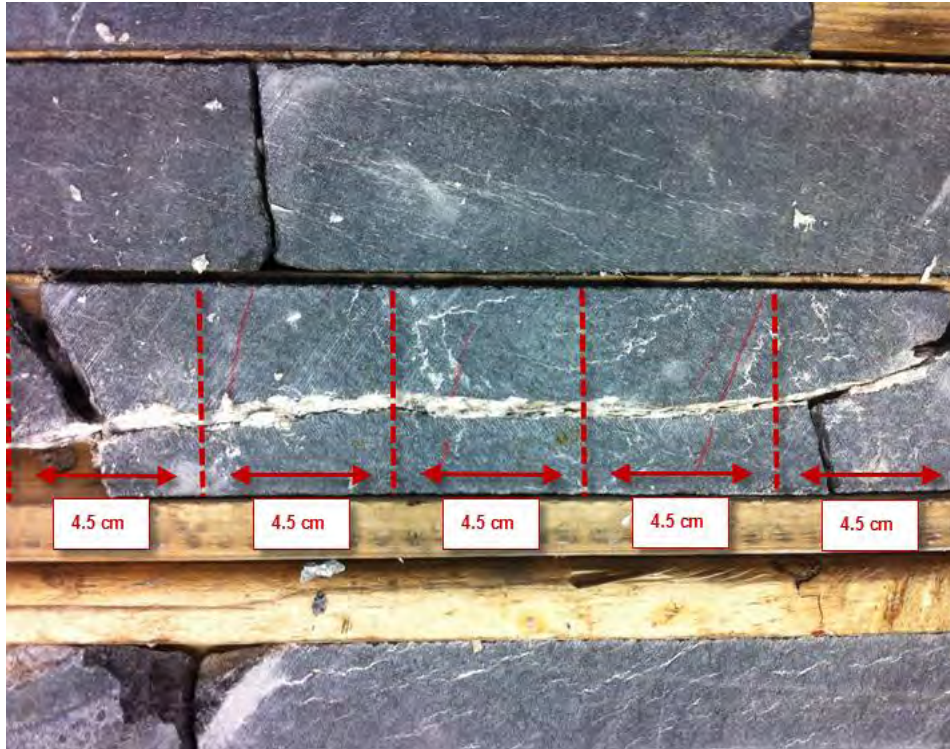


Figure 19: Segmentation en 4.5 cm d'une veine de chrysotile subparallèle à l'axe de la carotte

Collecte des données

7. La longueur totale de la carotte de forage entre les blocs de 3 mètres est mesurée.

- La mesure est comparée avec la colonne «Total Length» (expliquée dans la section Interprétation des données) dans DH Logger (Figure 16).
- Si les mesures ont une différence de 5 cm ou plus, les mesures entrées dans toutes les colonnes sont revérifiées pour voir si une donnée a mal été entrée. Si les données sont bien entrées, les intervalles de chrysotile sont tous remesurés pour voir si un intervalle a été oublié.
- Si les mesures ont une différence de moins de 5 cm, la valeur est considérée acceptable et la valeur de la colonne «Total Length» est copiée dans la colonne «Total Length» dans DH Logger.

6) Interprétation des données

Une fois que toutes les mesures d'un intervalle de 3 mètres sont entrées dans la table «Chrysotile» dans DH Logger, la sommation des mesures de chaque catégorie d'intensité de chaque environnement de chrysotile de l'intervalle de 3 mètres est calculée automatiquement dans la colonne «Total Length». En comparant la colonne «Total Length» avec la mesure de la longueur totale de la carotte de forage, une vérification peut être faite par les géologues pour voir si les mesures ont bien été prises et/ou entrées dans DH Logger. La colonne «Total Length» a été créée pour une assurance de qualité. L'équation du calcul automatique de la colonne «Total Length» est démontrée ci-dessous:

«Total Length» = «Réseaux de chrysotile Aucun» + «Réseaux de chrysotile Faible» + «Réseaux de chrysotile Modérée» + «Réseaux de chrysotile Élevée» + «Réseaux de chrysotile Intense» + «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées Faible» + «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées Modérée» + «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées Élevée» + «Chrysotile dans les zones hautement fragmentées Intense» + «Chrysotile dans les veines/fractures».

De façon simultanée, le pourcentage de chrysotile de l'intervalle de 3 mètres est calculé automatiquement dans la colonne «% Chrysotile» avec une équation utilisant la valeur assignée aux catégories d'intensités (tel que vu dans la *Tableau 1*). Le pourcentage de chrysotile est calculé premièrement par une multiplication de chaque catégorie d'intensité par leur valeur assignée. Les résultats sont ensuite additionnés pour être finalement divisés par la valeur entrée dans la colonne «Core Length» pour donner un pourcentage de chrysotile de l'intervalle de 3 mètres. L'équation du calcul automatique de la colonne «% Chrysotile» est démontrée ci-dessous:

«% Chrysotile» = ((«Réseaux de chrysotile Aucun» * 0%) + («Réseaux de chrysotile Faible» * 0.75%) + («Réseaux de chrysotile Modérée» * 1.75%) + («Réseaux de chrysotile Élevée» * 3.5%) + («Réseaux de chrysotile Intense» * 6%) + («Chrysotile dans les zones hautement fragmentées Faible» * 3%) + («Chrysotile dans les zones hautement fragmentées Modérée» * 15%) + («Chrysotile dans les zones hautement fragmentées Élevée» * 35%) + («Chrysotile dans les zones hautement fragmentées Intense» * 55%) + («Chrysotile dans les veines/fractures» * 100%)) / «Core Length» (Longueur de la carotte) * 100

tous les pourcentages (Valeur assignée) sont tirés du **Tableau 1** de la section *Description de la Méthode*

Dans le but de calculer la moyenne pondérée d'un ensemble des pourcentages de chrysotile (calcul de la moyenne pondérée d'une lithologie, d'un tour de forage, etc.), la longueur du chrysotile de chaque intervalle de 3 mètres est calculée automatiquement dans la colonne «Chrysotile Length» par une équation qui multiplie le pourcentage de chrysotile par la longueur de la carotte d'un intervalle de 3 mètres divisé par 100. L'équation du calcul automatique de la colonne «Chrysotile Length» est démontrée ci-dessous:

$$\text{«Chrysotile Length»} = \text{«Core Length» (Longueur de carotte de forage de l'intervalle de 3 mètres)} * \text{«\% Chrysotile» (Pourcentage de chrysotile de l'intervalle de 3 mètres)} / 100$$

Lorsque le journal de sondage du chrysotile est complété pour un trou, les données sont exportées dans Excel et chaque intervalle du trou de forage est séparé respectivement par les lithologies présentes dans le trou de forage. Par la suite, une moyenne pondérée des pourcentages de chrysotile est calculée pour chaque lithologie en divisant la sommation de toutes les données de la colonne «Chrysotile Length» par la sommation de toutes les données de la colonne «Core Length» multipliée par 100. La moyenne pondérée de tous les pourcentages du trou est également calculée de la même façon en prenant toutes les données du trou. L'équation des moyennes pondérées est démontrée ci-dessous:

$$\text{Moyenne pondérée} = \Sigma \text{«Chrysotile Length» (Longueur du chrysotile)} / \Sigma \text{«Core Length» (Longueur de carotte de forage)} * 100$$

La moyenne pondérée et la longueur totale de la carotte (Σ «Core Length») sont par la suite insérées dans un tableau de compilation pour tous les trous de forages évalués pour le chrysotile de la phase un du projet (voir la section *Résultats*).

7) Résultats

Résultats du journal de sondage du chrysotile

La première phase du projet de quantification du chrysotile a été complétée le 2 février 2013. Les données brutes sont disponibles dans l'Annexe V.

Le Tableau 3 montre les moyennes pondérées des pourcentages (tel que démontré dans la section Interprétation des données) pour chaque unité lithologique de chaque trou de forage sélectionné ainsi que le pourcentage total pondéré de l'ensemble du projet.

Ce tableau prend en considération les ajustements apportés aux valeurs assignées des catégories d'intensité Élevée et Intense des zones hautement fragmentées, de la recatégorisation des zones hautement fragmentées Intense et de l'ajout du chrysotile dans les zones non récupérées.

Représentativité des données

Les figures 21, 22 et 23 mettent en évidence la distribution hétérogène du contenu en chrysotile des roches ultramafiques. L'hétérogénéité est représentée par les hautes concentrations de chrysotile qui se retrouvent concentrées autour des zones de failles majeures et de leurs failles associées identifiées par RNC, Itasca et SRK. Par le fait même, ces figures démontrent que la majorité du gisement se retrouve en dehors de ces zones de faille.

La figure 20 montre la légende du chrysotile des figures 21, 22 et 23:

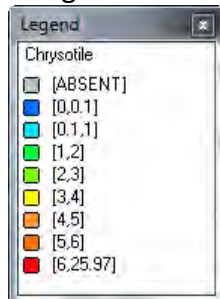


Figure 20: Légende des figures 21, 22 et 23

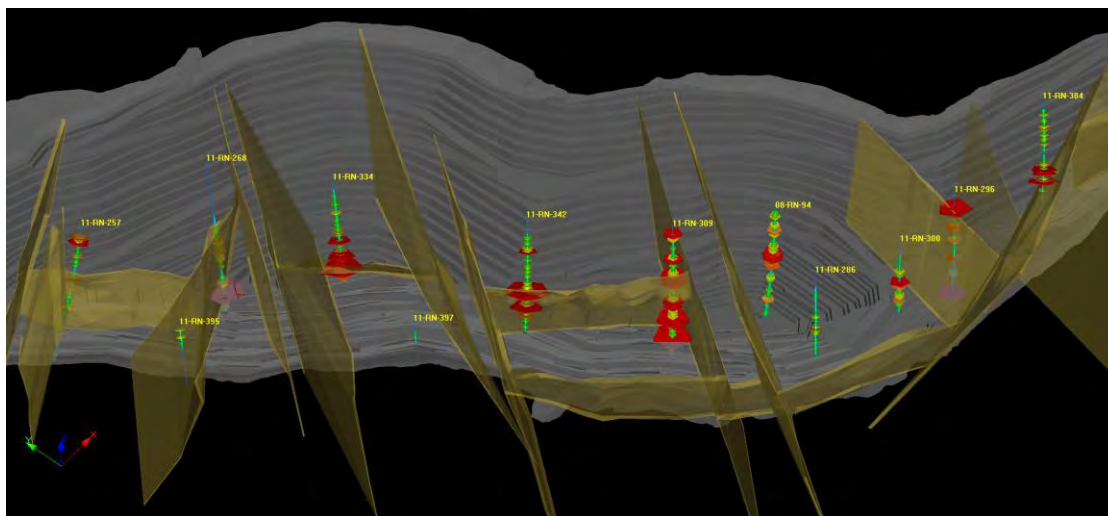


Figure 21: Représentation 3D vers le Nord-Est du chrysotile avec les failles majeures.

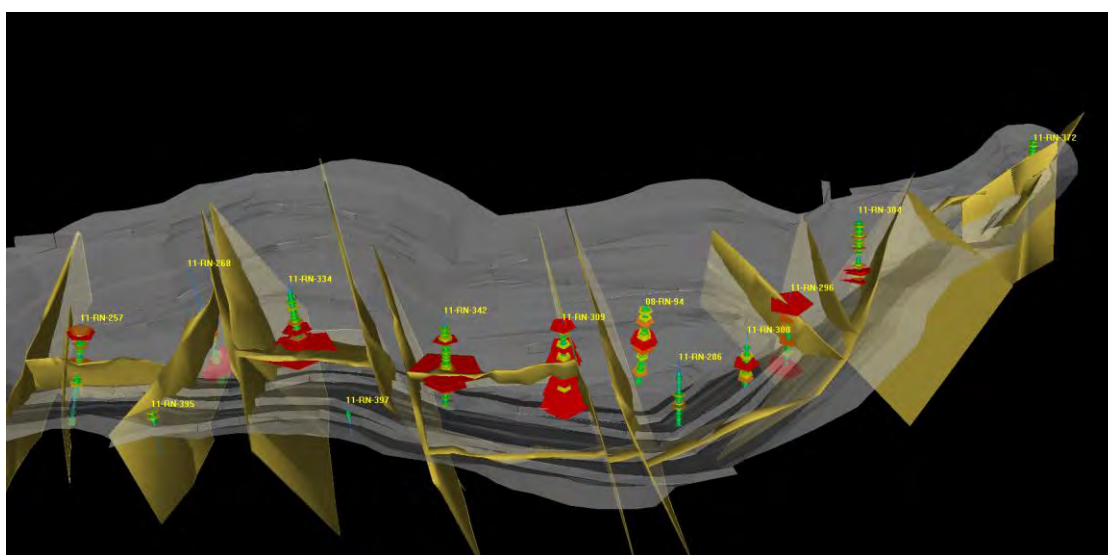


Figure 22: Représentation 3D zoomer vers le Nord-Est du chrysotile avec les failles majeures.

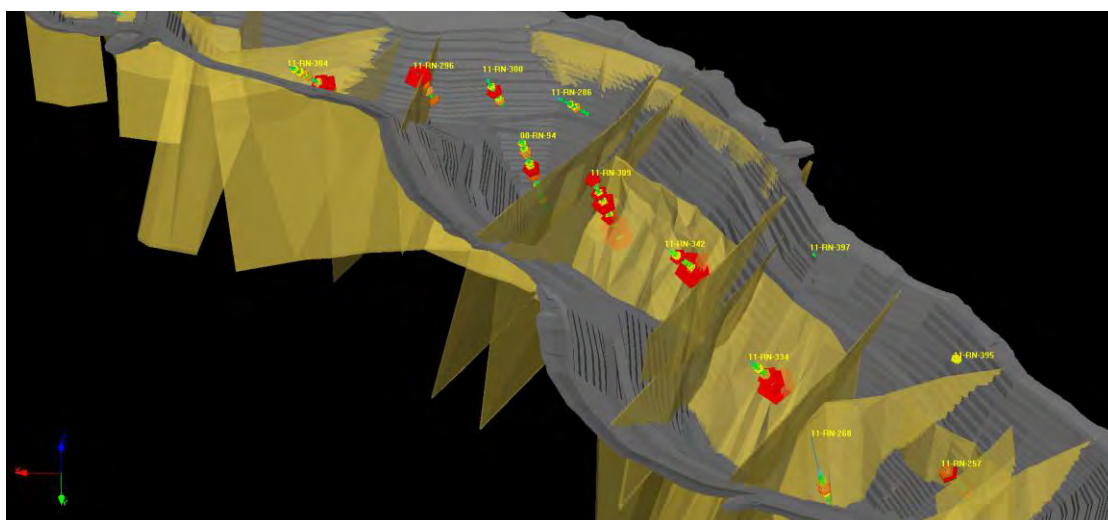


Figure 23: Représentation 3D vers le Sud du chrysotile avec les failles majeures.

Tableau 3: Quantification du chrysotile

Quantification du chrysotile (Moyenne Pondérée)

	TROUS	Péridotite Supérieure	Dunite	Péridotite Inférieure	Sous total Roche	Chrysotile non récupérée	TOTAL
Domaine 1	11-RN-372	91.9 m	152.8 m	20.6 m	265.3 m	3.6 m	268.8 m
		1.9%	0.9%	0.6%	1.2%	8.75%	1.3%
Domaine 2	11-RN-384	178.0 m	41.5 m	177.8 m	397.3 m	7.7 m	405.0 m
		1.6%	3.4%	1.5%	1.7%	8.75%	1.9%
Domaine 3	08-RN-94	100.7 m	351.2 m	0 m	451.8 m	0 m	451.8 m
		1.9%	1.7%		1.7%	0%	1.7%
Domaine 3	11-RN-286	0 m	221.6 m	0 m	221.6 m	1.8 m	223.4 m
			1.2%		1.2%	8.75%	1.3%
Domaine 3	11-RN-300	0 m	226.6 m	0 m	226.6 m	1.4 m	228.0 m
			1.1%		1.1%	8.75%	1.1%
Domaine 3	11-RN-296	0 m	258.5 m	86.1 m	344.6 m	4.4 m	349.0 m
			1.1%	1.5%	1.2%	8.75%	1.3%
Domaine 4	11-RN-342	110.2 m	247.1 m	0 m	357.2 m	0 m	357.2 m
		1.8%	2.5%		2.3%	0%	2.3%
Domaine 4	11-RN-309	125.2 m	362.8 m	0 m	488.0 m	7.0 m	495.0 m
		1.7%	2.6%		2.4%	8.75%	2.5%
Domaine 5	11-RN-334	104.4 m	204.9 m	0 m	309.2 m	10.8 m	320.0 m
		1.3%	3.1%		2.5%	8.75%	2.7%
Domaine 5	11-RN-395	0 m	0 m	83.8 m	83.8 m	1.1 m	84.9 m
				0.8%	0.8%	8.75%	0.9%
Domaine 5	11-RN-397	0 m	0 m	46.4 m	46.4 m	1.5 m	47.9 m
				0.5%	0.5%	8.75%	0.7%
Domaine 6	11-RN-268	152.7 m	273.7 m	0 m	426.4 m	8.2 m	434.6 m
		1.8%	1.7%		1.7%	8.75%	1.9%
Domaine 6	11-RN-257	0 m	380.6 m	65.4 m	446.0 m	14.8 m	460.8 m
			1.2%	0.8%	1.2%	8.75%	1.4%
Métrage totale par lithologie		862.9 m	2721.3 m	480.1 m	4064.3 m	62.2 m	4126.4 m
Moyenne % par Lithologie		1.7 %	1.8 %	1.1 %	1.7 %	8.75 %	1.8 %

Traitement des données avancé

Un traitement des données a été effectué par la suite avec des méthodes statistiques pour définir un intervalle de confiance sur la moyenne de chrysotile. Les analyses ont été faites sur les différentes lithologies et sur l'ensemble des données. Les résultats sont représentés sur des histogrammes (voir figure 24 à 27) qui incluent des informations additionnelles comme les valeurs maximales et minimales et les percentiles. Voici les étapes du calcul qui a permis d'obtenir les résultats:

- 1) Calcul de l'écart-type pondéré
- 2) Identification du 95^e percentile
- 3) Calcul de l'intervalle de confiance 95%
- 4) Calcul de l'intervalle de confiance 95% sur la moyenne

1) Calcul de l'écart-type pondéré

L'écart-type est la dispersion des valeurs par rapport à la moyenne. Elle sert à définir les intervalles de confiance. L'écart-type de chaque distribution a été calculé à l'aide de la fonction ÉCARTYPE dans le programme Excel.

2) Identification du 95e percentile

Le 95^e percentile est la valeur qui délimite le 5% des valeurs les plus élevées et les 95% les plus basses. Par exemple, sur un ensemble de 100 données de 1 à 100 respectivement, le 95^e percentile serait la valeur 95. Le 95^e percentile n'est pas un calcul, il est la 95^e plus petite valeur. Il a été déterminé en multipliant le nombre de valeurs par 0.95 dans la distribution et en sélectionnant la valeur correspondant aux résultats.

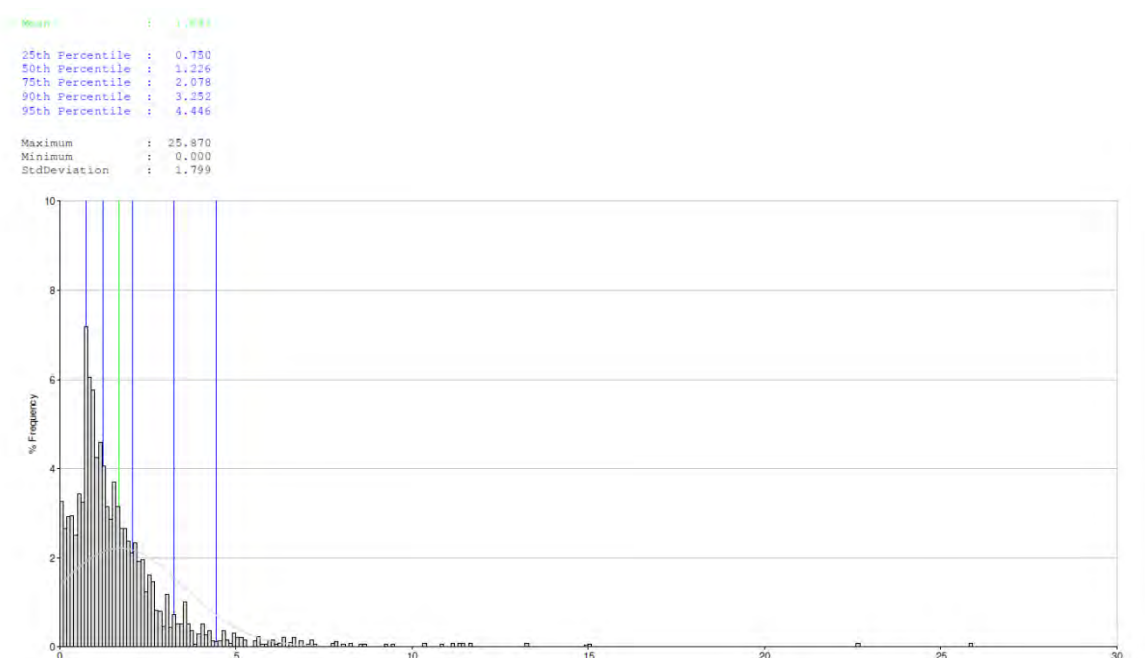


Figure 24: Histogramme des pourcentages de chrysotile sur l'ensemble des données

Mean : 1.699

25th Percentile : 0.945
50th Percentile : 1.430
75th Percentile : 2.138
90th Percentile : 3.125
95th Percentile : 3.770

Maximum : 6.678
Minimum : 0.000
StdDeviation : 1.065

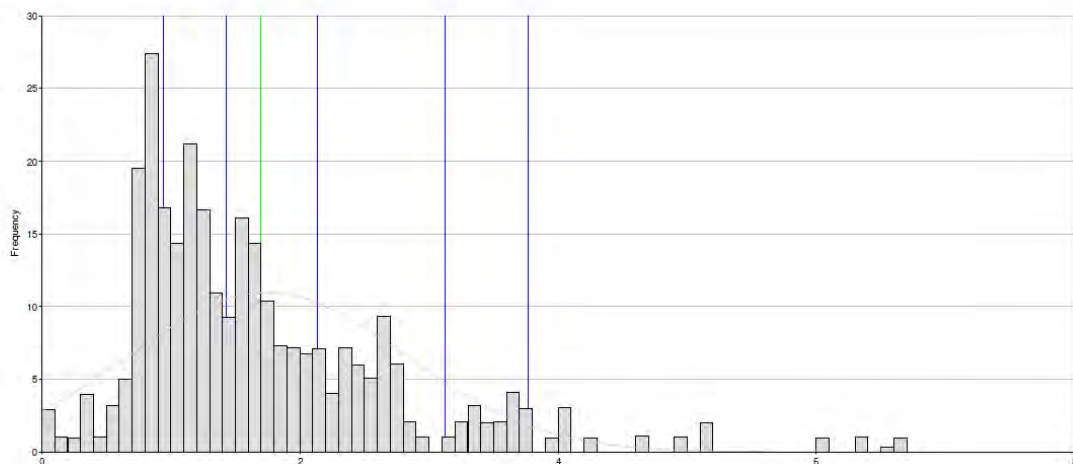


Figure 25: Histogramme des pourcentages de chrysotile dans la péridotite supérieure

Mean : 1.774

25th Percentile : 0.750
50th Percentile : 1.282
75th Percentile : 2.138
90th Percentile : 3.440
95th Percentile : 4.938

Maximum : 25.854
Minimum : 0.000
StdDeviation : 2.006

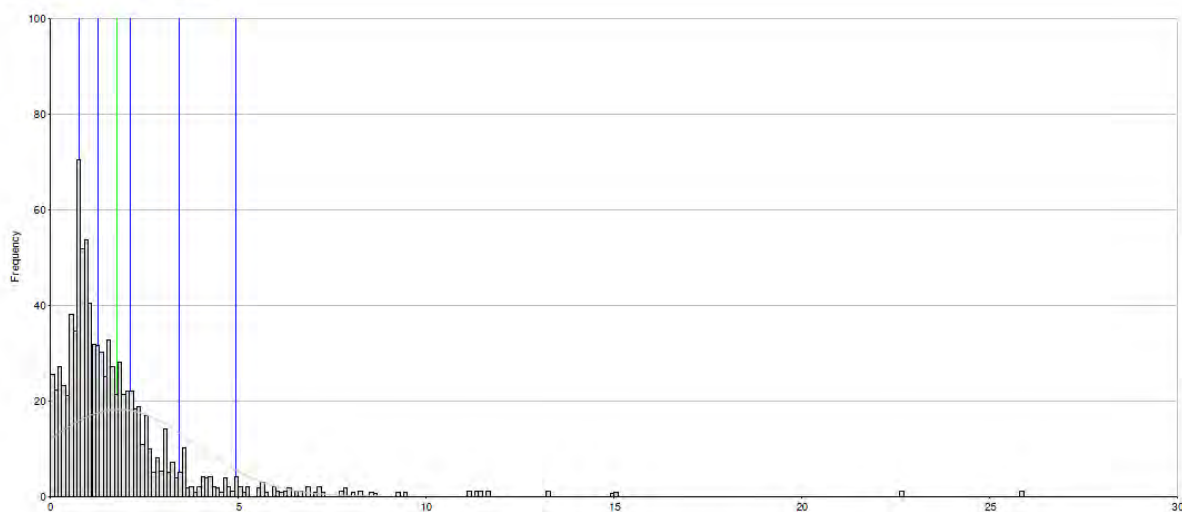


Figure 26: Histogramme des pourcentages de chrysotile dans la dunite



Figure 27: Histogramme des pourcentages de chrysotile dans la péridotite inférieure

3) Calcul de l'intervalle de confiance 95% (Figure 28)

L'intervalle de confiance se calcule en fonction de l'écart type pondéré et de la moyenne pondérée. En ajoutant 1.645 fois l'écart-type à la moyenne (valeur absolue correspondant à un niveau de confiance 95%), on obtient un intervalle de confiance unilatérale de 95% sur une distribution. L'intervalle de confiance représente le pourcentage de chance que chaque valeur soit contenue dans l'intervalle. Dans ce cas-ci, il y a 95% de chance que cette valeur se situe entre 0% et la valeur calculée.

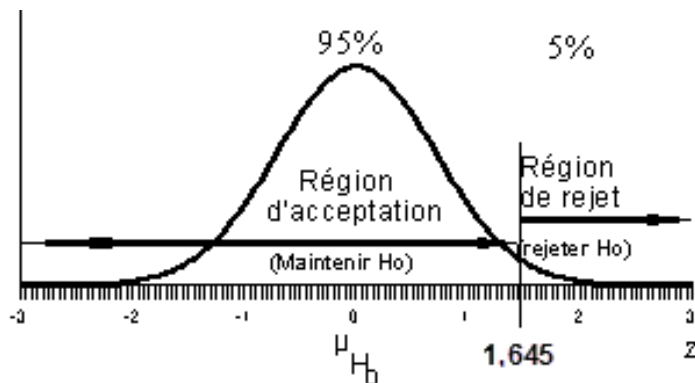


Figure 28: Intervalle de confiance 95%

4) Calcul de la moyenne avec intervalle de confiance 95%

La moyenne avec intervalle de confiance est un intervalle dans lequel il y a 95% des chances que la «vraie» moyenne soit incluse sur la population. Cette valeur se calcule en fonction du nombre de données, de la moyenne et de l'écart-type. Plus il y a de valeurs, plus la moyenne est précise et représente l'ensemble de la population et plus l'intervalle diminue.

En considérant que la distribution n'est pas symétrique (figure 29), plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour calculer l'intervalle.

Première méthode : Projection de valeurs

La première est de séparer les valeurs qui sont inférieures et celles qui sont supérieures à la moyenne, de les projeter symétriquement par rapport à la moyenne (figure 31 et 31) et d'appliquer un intervalle de confiance 95% sur chacune des distributions obtenues. De cette manière, l'intervalle global tient compte de l'asymétrie de la population. Pour corriger l'asymétrie de la distribution, la formule suivante est utilisée pour projeter les valeurs symétriquement par rapport à la moyenne:

$$x' = (2 * \mu) - x.$$

μ : Moyenne x : Valeur x' : valeur projetée

Ensuite, les valeurs initiales et les valeurs projetées sont insérées dans une même distribution qui est donc symétrique et centrée sur la moyenne. L'intervalle de confiance sur la moyenne de ces deux nouvelles distributions correspond aux «vrais» intervalles de confiances. La distribution issue de la projection des valeurs supérieures à la moyenne est utilisée pour définir la limite supérieure alors que la distribution issue de la projection des valeurs inférieures à la moyenne est utilisée pour définir la limite inférieure.

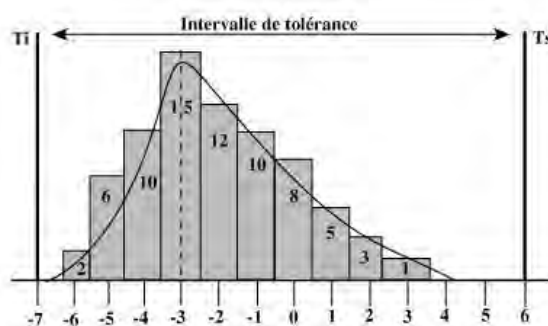


Figure 29: Distribution asymétrique

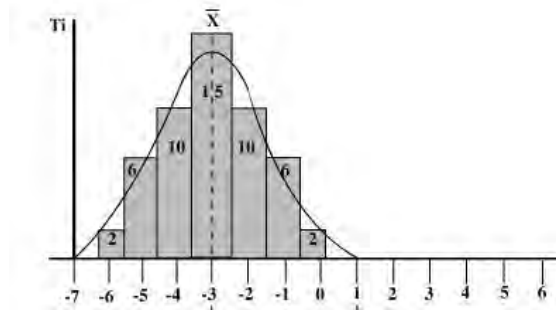


Figure 30: Valeurs inférieures projetées

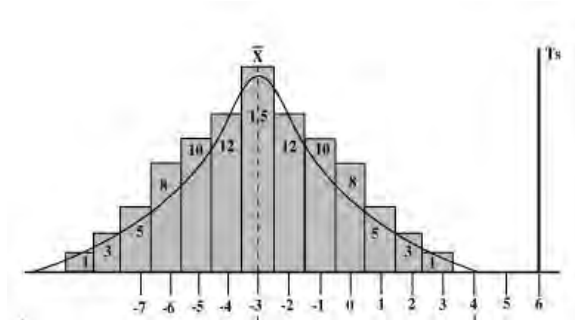


Figure 31: Valeurs supérieures projetées

Deuxième méthode : Transformation log-normal

La deuxième méthode consiste à transformer notre distribution en log normal puisque c'est la distribution qui s'en approche le plus. Le problème est que cette méthode minimise l'incertitude sur la moyenne et le but est d'être conservateur.

Troisième méthode : Données brutes

La troisième méthode consiste à laisser les valeurs sans les transformer. Cette méthode est la plus conservatrice puisqu'elle tient compte de l'asymétrie et a donc une incertitude représentative sur la moyenne. De plus, en statistiques, quand le nombre de valeurs dans une distribution est supérieur à 30, l'asymétrie joue très peu sur les résultats. On peut donc appliquer les méthodes statistiques sur les données brutes.

Résultats des méthodes statistiques

Voici le tableau des résultats représentant les pourcentages obtenus dans l'ensemble des données et par type de lithologies.

Tableau 4: Résultats du traitement des données statistiques

Lithologies	Moyenne Pondéré	Écart-Type	nombre de valeurs	95e Percentile	Intervalle de Confiance 95%	Limite de tolérance 95% sur la moyenne	
						Inférieure	Supérieure
Péridotite Supérieure	1.7	1.1	294	3.8	3.5	1.6	2.1
Dunite	1.8	2.0	917	4.9	5.1	1.7	2.3
Péridotite Inférieure	1.1	1.5	166	3.3	3.5	1.0	1.9
Ensemble du Projet	1.7	1.8	1 377	4.4	4.6	1.6	2.0

8) Conclusion

De toutes les options possibles pour la quantification du chrysotile, seulement l'estimation visuelle quantitative pouvait s'appliquer aux roches ultramafiques du projet Dumont. Une méthode et une procédure détaillées furent mises sur pied pour que les géologues de RNC puissent suivre et maintenir un niveau de constance dans leurs descriptions.

La quantification du chrysotile fut appliquée à 13 trous de forage qui ont été soigneusement sélectionnés sur la base de plusieurs facteurs afin d'obtenir la représentativité complète de la fosse planifiée. Les calculs des données brutes ont été facilités par une série d'équations automatiques créées dans DH Logger.

L'application de formules statistiques a donné sur l'ensemble des données de chrysotile un intervalle de confiance de 95% sur la moyenne qui se situe entre 1.6% et 2.0% pour les roches ultramafiques du projet Dumont.

ANNEXE IV : TABLE DES RÉSULTATS PAR FORAGE

Forage	Profondeur DE	Profondeur À	RNC Longueur Carotte	RNC Chrysotile	INNOV Longueur Carotte	InnovExplo Chrysotile	Différence Chrysotile	Précision Chrysotile
11-RN-268	312	315	3.067	2.67	3.052	2.42	0.25	9.8%
11-RN-268	315	318	3.284	2.69	3.273	2.50	0.20	7.6%
11-RN-268	318	321	3.037	2.13	3.039	1.98	0.15	7.1%
11-RN-268	321	324	3.005	2.80	2.953	3.06	0.26	8.9%
11-RN-268	324	327	3.074	3.13	3.155	2.35	0.78	28.5%
11-RN-268	327	330	3.310	4.61	3.406	4.50	0.11	2.4%
11-RN-268	330	333	3.016	2.57	2.961	2.01	0.56	24.6%

Forage	Profondeur DE	Profondeur À	RNC Longueur totale	RNC Chrysotile	INNOV Longueur totale	InnovExplo Chrysotile	Différence Chrysotile	Précision Chrysotile
11-RN-300	186	189	2.942	0.56	3.003	0.42	0.14	28.8%
11-RN-300	189	192	3.036	1.28	2.960	1.41	0.13	9.7%
11-RN-300	192	195	3.088	2.16	3.061	1.09	1.06	65.5%
11-RN-300	195	198	3.041	1.91	3.070	0.82	1.08	79.4%
11-RN-300	198	201	3.018	2.60	3.051	1.69	0.92	42.7%
11-RN-300	201	204	3.028	3.34	3.158	3.88	0.54	15.0%
11-RN-300	204	207	2.985	0.35	3.006	0.79	0.45	78.6%
11-RN-300	207	210	2.953	1.08	2.974	0.90	0.18	18.2%
11-RN-300	210	213	2.993	3.52	3.013	1.21	2.31	97.8%
11-RN-300	213	216	2.986	0.62	2.959	0.57	0.05	7.9%
11-RN-300	216	219	3.015	0.73	3.012	0.80	0.07	9.7%
11-RN-300	219	222	3.037	0.32	3.096	0.65	0.33	68.5%
11-RN-300	222	225	3.025	0.24	3.019	0.29	0.05	18.7%
11-RN-300	225	228	2.958	0.54	2.966	0.59	0.05	8.6%
11-RN-300	228	231	2.969	4.26	3.047	5.87	1.60	31.7%
11-RN-300	231	234	3.050	2.77	3.025	2.73	0.04	1.3%
11-RN-300	234	237	2.932	0.14	2.926	0.24	0.10	51.1%
11-RN-300	237	240	3.150	0.62	3.154	0.81	0.19	27.1%
11-RN-300	240	243	3.048	2.59	3.054	2.78	0.18	6.9%
11-RN-300	243	246	3.133	0.00	3.145	0.00	0.00	0.0%
11-RN-300	246	249	3.112	0.74	3.188	1.18	0.44	46.0%
11-RN-300	249	252	3.210	0.87	3.215	0.86	0.01	1.7%
11-RN-300	252	255	2.800	1.50	2.820	1.37	0.13	9.3%
11-RN-300	255	258	2.710	1.14	2.721	1.16	0.02	2.0%

Forage	Profondeur DE	Profondeur À	RNC Longueur totale	RNC Chrysotile	INNOV Longueur totale	InnovExplo Chrysotile	Différence Chrysotile	Précision Chrysotile
11-RN-334	276	279	2.950	4.91	2.973	5.21	0.30	5.9%
11-RN-334	279	282	3.000	2.39	3.016	3.28	0.89	31.4%
11-RN-334	282	285	2.850	8.08	2.797	7.89	0.18	2.3%
11-RN-334	285	288	2.950	1.95	2.984	2.15	0.20	9.9%
11-RN-334	288	291	3.000	8.26	3.002	4.05	4.21	68.4%
11-RN-334	291	294	3.070	0.88	3.112	1.11	0.23	23.4%
11-RN-334	294	297	3.200	4.10	3.294	3.43	0.67	17.8%
11-RN-334	297	300	3.070	6.26	3.087	4.90	1.35	24.3%
11-RN-334	300	303	3.000	1.60	3.011	1.49	0.10	6.7%
11-RN-334	303	306	2.890	1.46	2.889	1.36	0.10	6.8%
11-RN-334	306	309	3.000	1.85	3.063	3.71	1.86	67.0%
11-RN-334	309	312	3.180	11.60	3.185	9.66	1.95	18.3%
11-RN-334	312	315	3.036	22.68	3.085	17.34	5.34	26.7%
11-RN-334	315	318	3.004	2.79	2.972	2.93	0.15	5.1%
11-RN-334	318	321	2.821	2.14	2.879	2.57	0.43	18.3%
11-RN-334	321	324	2.942	3.03	3.017	3.73	0.71	20.9%
11-RN-334	324	327	2.889	3.19	3.006	2.70	0.48	16.5%
11-RN-334	327	330	3.031	2.70	3.071	1.90	0.80	34.6%
11-RN-334	330	333	3.113	4.28	3.109	1.74	2.54	84.5%
11-RN-334	333	336	3.222	2.41	3.265	1.71	0.70	34.1%
11-RN-334	336	339	2.998	1.70	3.014	1.54	0.16	9.8%
11-RN-334	339	342	2.968	4.16	2.962	1.80	2.36	79.3%

ANNEXE V : CHARTE DES RÉSEAUX DE CHRYSOTILE

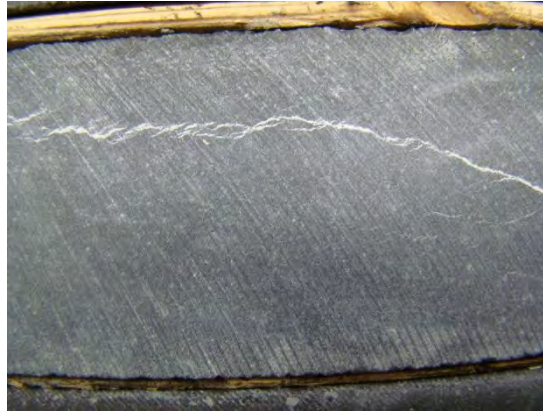
Réseaux de chrysotile

Faible (0.1 à 1%)

Limite inférieure
(Aucun)



Exemples typiques



Limite supérieure
(1%)



Réseaux de chrysotile

Modérée (1 à 2.5%)

Limite inférieure
(1%)



Exemples typiques



Limite supérieure
(2.5%)



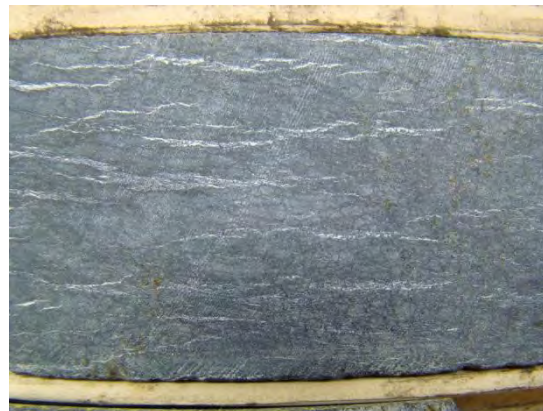
Réseaux de chrysotile

Élevée (2.5 à 4.5%)

Limite inférieure
(2.5%)



Exemples typiques



Limite supérieure
(4.5%)



Réseaux de chrysotile **Intense (4.5 à 7%)**

Limite inférieure
(2.5%)



Exemples typiques



Limite supérieure
**Chrysotile dans les
zones hautement
fragmentées**

**ANNEXE VI : CHARTE CHRYSOTILE
DANS LES ZONES HAUTEMENT FRAGMENTÉES**

Chrysotile dans les zones hautement fragmentées

Faible (1 à 10%)

Exemples
typiques



Chrysotile dans les zones hautement fragmentées

Modérée (10 à 25%)

Exemples
typiques



Chrysotile dans les zones hautement fragmentées **Élevée (25 à 45%)**

Exemples
typiques



Chrysotile dans les zones hautement fragmentées **Intense (45 à 70%)**

Exemples
typiques



R-17-3 *VÉRIFICATION DES PROCÉDURES D'IDENTIFICATION ET DE MESURE DU CHRYSOTILE DANS LE MINÉRAI NICKÉLIFÈRE DU FILON-COUCHE DUMONT DE ROYAL NICKEL CORP.*

Vérification des procédures d'identification et de mesure du chrysotile dans le minerai nickélifère du filon-couche Dumont de Royal Nickel Corp.

Présenté à

Monsieur Robert Cloutier
Géologue sénior de Royal Nickel Corporation

par

Michel Gauthier, PhD
SEGF 282497, OGQ 144, OIQ 30213

Le 8 avril 2013

Le 4 février 2013, mandat verbal nous a été donné par Monsieur Robert Cloutier, pour examiner la procédure d'identification et d'évaluation du pourcentage de chrysotile dans le minerai nickélifère de Royal Nickel corporation. Une entente de confidentialité à ce sujet a été signée le 22 février 2013.

Procédure de la vérification

Une fois l'entente de confidentialité signée, une série de documents nous a été transmise pour examen. La liste de ces documents apparaît à l'appendice 1.

Le 5 mars 2013, le soussigné a rencontré à Toronto le personnel de Royal Nickel pour faire mention verbalement de demandes de précision à la suite de la lecture des documents apparaissant à l'appendice 1. Il a également été convenu que nous nous rendrions le 21 mars 2013 au bureau de Royal Nickel à Amos.

Lors de la visite du 21 mars à Amos, les procédures écrites ont été examinées et discutées avec le personnel de Royal Nickel. Des améliorations ont alors été suggérées aux documents écrits. Par ailleurs, nous avons demandé que soit fait, devant nous, l'évaluation d'une section de forage non préalablement évaluée pour le chrysotile.

La procédure de cet examen fût la suivante :

- Dans un premier temps, photographie fût prise d'une section de carotte. Puis cette image a été traitée via le logiciel Adobe Photoshop et l'estimé du pourcentage de chrysotile fût fait selon la méthode décrite aux pages 9 à 22 du document #4 en appendice 1.
- Dans un deuxième temps, un premier géologue est venu faire l'estimation visuelle du contenu en chrysotile de cette section de forage. Nous l'avons interrogé sur les sujets suivants :
 - i) Sur la différenciation des quatre modes de distribution du chrysotile, à savoir, en stockwerk fin, en veinule, en matrice de zone broyée et tout simplement perdu par non récupération lors du forage.
 - ii) Sur quelles caractéristiques il se basait pour identifier le chrysotile. De fait, la brucite se présente en amas fibreux tout comme le chrysotile. La manière de distinguer l'un de l'autre est le caractère rigide de la brucite alors que le chrysotile est en fibre cotonneuse souple.
- Dans un troisième temps, nous avons invité un deuxième géologue à faire cet exercice sur la même section de forage. Nous avons demandé au premier géologue de quitter la salle afin que le second ne soit pas influencé par le premier. Nous avons, à nouveau, posé des questions à ce

deuxième géologue afin de nous assurer de la reproductibilité de l'examen. Des planches photos ont été disposées près des carottes de forages afin que ces deux géologues disposent également du repaire de la synthèse des observations antérieures.

- Dans un quatrième temps, en présence des trois géologues qui avaient fait les examens susmentionnés, nous avons comparé les résultats. La méthode Photoshop estimait à 2,5% le pourcentage de chrysotile dans le bout de carotte testé alors que les deux géologues l'estimaient respectivement à un niveau plus bas (une fois traduite l'échelle qualitative (p.ex. 'W' pour faible)). Ceci nous a permis de vérifier que l'observation qualitative des géologues pourrait être comparée à une méthode semi-quantitative non biaisé par l'observateur, celle tirée d'un traitement d'image par méthode informatique. Ceci nous a également permis de constater que la méthode Photoshop surestimait le pourcentage de chrysotile en incorporant des minéraux que, visuellement, il était aisé de distinguer du chrysotile, la brucite par exemple.

Commentaires sur les documents écrits examinés et recommandations pour des améliorations

a) Éventail des minéraux asbestiformes¹ et situation particulière du projet Dumont

Les documents écrits fournis (appendice 1) et la procédure d'estimation présentée lors de notre visite porte spécifiquement sur un minéral asbestiforme, le chrysotile. Nous suggérons que la problématique des minéraux asbestiformes pour la santé publique soit abordée dans son ensemble afin de bien situer le cas de Dumont.

Les minéraux asbestiformes sont tous ces minéraux fibreux pour lesquels une toxicité a été établie ou est suspectée. La crocidolite, l'actinolite, la cummingtonite, l'anthophyllite et la trémolite² sont de ce nombre. Leur toxicité n'est pas nécessairement moindre que celle du chrysotile asbestiforme. Du talc est présent en abondance dans le minerai de Dumont, ce qui pourrait laisser présager la présence de trémolite comme dans les gisements du feuillet de Pennington en Estrie. Nous avons interrogé le personnel de Royal Nickel à ce sujet. Il ressort des études minéralogiques systématiques faites sur le minerai de Dumont, tout particulièrement les études de XStrata (document #6 cité dans l'appendice 1) et les 1500 analyses QEMSCAN qui ont été faites chez SGS, que le seul minéral asbestiforme problématique à Dumont soit le chrysotile. Donc, hormis le

¹ Ce terme est défini plus avant dans 'Termium Plus', la banque de données terminologiques linguistiques du gouvernement du Canada, <http://www.btb.termiumplus.gc.ca>

² Dion, C., Perrault, G. et Rhazi, M., 2012. Synthèse des connaissances sur la trémolite contenue dans le talc. IRSST (Montréal), rapport R-724, 98 pages. www.irsst.qc.ca/-publication-irsst-synthese

chrysotile, il ne semble y avoir aucun des minéraux toxiques susmentionnés. Cependant, il est à noter qu'un autre minéral fibreux est abondant dans le minerai de Dumont. Il s'agit de la brucite, un hydroxyde de magnésium, et non pas un silicate comme les minéraux toxiques précités. Le chrysotile et la brucite sont intimement liés dans le minerai de Dumont au point d'être très difficile à distinguer par traitement d'image informatique (i.e. méthode 'Photoshop').

La brucite est un minéral non toxique. De plus, les études faites à l'Université Laval (#8 en appendice 1) démontrent que la brucite est très instable au contact du CO₂ atmosphérique et qu'elle se transforme très rapidement en un carbonate de magnésium hydraté. La carbonatation de la brucite est un phénomène à garder en mémoire car il ouvre la porte à un traitement des résidus miniers avec séquestration des fibres de chrysotile dans une gaine de carbonate de magnésium. En corollaire, il est permis d'envisager une extraction minière qui pourrait tendre vers une opération carbo-neutre par séquestration du CO₂ atmosphérique³.

En regard, de ce qui précède, nous réitérons qu'il serait opportun d'ajouter, dans l'introduction du document synthèse final, un paragraphe traçant ce portrait global.

b) Méthodes envisagées pour l'estimation de la proportion de chrysotile dans le minerai de Dumont

Cette section du document synthèse (#3 dans l'appendice 1) est particulièrement bien rédigée. Une revue des méthodes d'estimation du chrysotile a été effectuée. Nous notons, tout particulièrement, que les méthodes de l'E.P.A. (Environmental Protection Agency du gouvernement américain) et celle en vigueur dans les exploitations du sud du Québec ont tout d'abord été envisagées. Le document synthèse de Royal Nickel expose clairement pourquoi ces standards gouvernementaux et industriels ne sont pas adéquats pour une estimation précise du chrysotile à Dumont. Dans sa recherche de méthodes plus performantes, nous notons que Royal a fait appel aux toutes dernières technologies. À titre d'exemple, mentionnons le test fait de la méthode spectrale de Photonic Knowledge⁴ ltée pour l'estimation des phases minérales dans les carottes de forage. Ce qui précède nous démontre que Royal Nickel a clairement utilisé toutes les pistes que lui fournissait la technologie actuelle.

Au terme de cet exercice, il est ressorti deux choses : a) que la meilleure méthode d'évaluation semi-quantitative du pourcentage de chrysotile reposait sur le traitement d'image via la photographie de carottes de minerai suivi par un traitement informatique à l'aide du logiciel Photoshop d'Adobe; b) que l'estimation visuelle par l'œil humain dépassait encore largement toutes les autres procédures envisagées.

³ Pronost, J. et al., 2011. Carbon Sequestration Kinetic and Storage Capacity of Ultramafic Mining Waste. *Environmental Science and Technology*, Vol. 45, pages 9413 à 9420.

⁴ www.photonicknowledge.com

c) *Quoique plus précise, la méthode d'évaluation visuelle du chrysotile demeure qualitative et est dépendante de l'acuité particulière de l'observateur.*

Le test que nous avons fait avec les géologues de Royal Nickel le 22 mars dernier nous a donné les résultats suivants :

- Estimation du pourcentage de chrysotile par la méthode Photoshop : 2,5%
- Estimation visuelle du géologue 1 : 1,1%
- Estimation visuelle du géologue 2 : 1,3%

Quoique statistiquement non robuste, ce test n'en indique pas moins deux choses : a) que la méthode 'Photoshop' donne un estimé supérieur à celui des géologues; b) qu'il y a variation significative entre les estimés des géologues et qu'il n'est pas possible de complètement éviter que l'estimé d'un second géologue ne soit biaisé par celui d'un premier.

A la lumière de ce test nous recommandons que l'estimé semi-quantitatif 'Photoshop' serve d'étalon pour l'estimation visuelle du pourcentage de chrysotile par les géologues. Ceci permettrait à chacun d'entre eux de calibrer ses observations qualitatives avec une méthode quantitative. Ainsi, on pourrait juger de la reproductibilité des mesures d'un géologue donné et du niveau de précision de celui-ci par rapport à ses collègues. Qui plus est, ceci accélérerait l'apprentissage de nouveaux géologues. Cette mesure complètera la mise à la disposition des géologues de chartes photographiques dans la carothèque (cf documents #9 et #10 en appendice 1). Ces chartes seront accompagnées par un document intitulé 'Procédure du journal de sondage du chrysotile' (document #5 dans l'appendice 1).

Afin de restreindre à un niveau raisonnable le nombre d'estimations semi-quantitatives par la méthode 'Photoshop' nous suggérons que celle-ci soit faite aléatoirement sur des échantillons de carotte. Ces photographies devront être faites avant l'estimé visuel et la rédaction du journal de forage. Il serait souhaitable que ces deux modes d'évaluation soient fait par des personnes différentes sur un même sondage. Ainsi, l'estimé visuel fait par un géologue pourra être comparé avec le résultat 'Photoshop' sans que celui-ci ne sache sur quel bout de carotte il a été vérifié.

d) Evaluation statistique des teneurs en chrysotile

Le traitement statistique des teneurs déterminées pour le chrysotile est requis pour assurer la robustesse de l'évaluation. Un tel traitement statistique a été fait (Fig. 1, cf. pages 20 à 24 du document #7 cité en appendice). Cependant, nous nous sommes interrogés sur celui-ci. En effet, quoiqu'une distribution lognormale soit usuelle pour les données géologiques^{5,6} un modèle de distribution 'normale' a été appliqué dans le

⁵ Davis, J.C., 2002. Statistics and data analysis in Geology, 3rd ed. John Wiley and Sons, 432 p.

document de Royal Nickel. Ceci nous semble inadéquat. Le personnel de Royal Nickel nous a expliqué le choix fait par suite de difficultés techniques pour obtenir une moyenne équivalente à celle d'autres méthodes mathématiques. Cependant, compte tenu du fait que l'histogramme (Fig. 1) des teneurs en chrysotile soit clairement lognormale (Fig. 2) nous réitérons notre souhait de voir affiner d'avantage le traitement statistique.

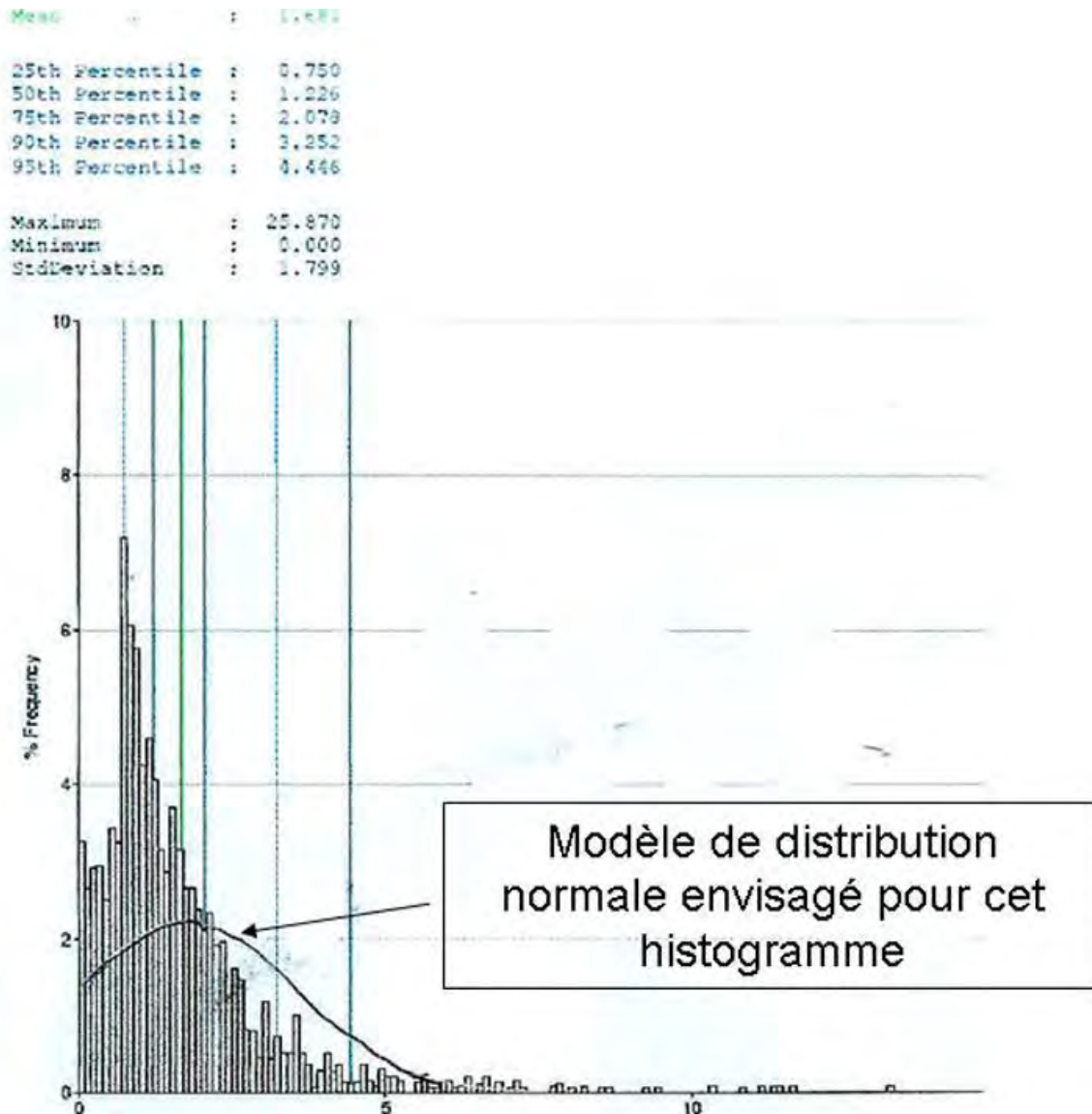


Figure 19: Histogramme de l'ensemble des données

Figure 1 : Histogramme des teneurs en chrysotile mesurées par Royal Nickel corporation (cf. document # 7, p. 21) et modèle de distribution normale envisagé dans ce document.

⁶ Rollinson, H., 1993. Using geochemical data : évaluation, présentation, interprétation. Prentice Hall, 352 p.

Figure 2 : Distinction entre une courbe de distribution 'normale' et une courbe de distribution 'lognormale'.

Conclusion

Les documents soumis au soussigné et la visite de la carothèque de Royal Nickel à Amos, nous permettent de conclure qu'à notre connaissance toutes les méthodes d'estimation du pourcentage de chrysotile ont été envisagées pour le minerai de Dumont. Par ailleurs, plusieurs de ces techniques ont été testées (cf. page 1 à 3 du document #7 cité à l'appendice 1). Deux méthodes ont été retenues, une première, utilisant un traitement d'image informatique, et une seconde basée sur l'estimation visuelle par des géologues. La combinaison de ces deux méthodes permet d'envisager une estimation de la teneur dont la précision sera de l'ordre du pourcent.

Appendice 1

Documents écrits remis par Royal Nickel corporation au sousigné pour fin d'évaluation

- 1) Anonyme, 27 février 2013. QAQC du Projet de Quantification de la Chrysotile 2013, Dumont Project; Amos, Qc. Royal Nickel corporation ltée., rapport interne non publié, 4 pages.
- 2) Anonyme, 20 mars 2013. QAQC du Projet de Quantification de la Chrysotile 2013, Dumont Project; Amos, Qc. Royal Nickel corporation ltée., rapport interne non publié, 4 pages.
- 3) Anonyme, 20 mars 2013. Rapport de quantification du chrysotile 2013, v. 1.4, projet Dumont, Amos, Qc. Royal Nickel corporation ltée., rapport interne non publié, 36 pages.
- 4) Anonyme, 22 mars 2013. Méthodes de quantification du chrysotile 2013, projet Dumont, Amos, Qc v. 1.2., Royal Nickel corporation ltée., rapport interne non publié, 42 pages.
- 5) Anonyme, mars 2013. Procédure du journal de sondage du chrysotile, Projet Dumont. Royal Nickel corporation ltée., rapport interne non publié, 42 pages.
- 6) Barnes, A., et Kuula, S., 2013a. Final Report of Identification and Quantification of Chrysotile using Differential Thermal Analysis. Xstrata process support, rapport d'expertise non publié fourni à Royal Nickel corporation, 32 pages.
- 7) Fournier, K., et Fontaine, A., 2013. Chrysotile Quantification Report 2013, Dumont Project; Amos, Qc. Royal Nickel corporation ltée., rapport interne non publié, 24 pages.
- 8) Pronost, J., Beaudoin, G., Constantin, M., Duchesne, J., Hébert, R., et Larachi, F. 2010. Evaluation of the Mineral Carbonation potential of Mining Residues from Royal Nickel Dumont Project, Amos (Québec, Canada). Université Laval, rapport d'expertise non publié fourni à Royal Nickel corporation, 64 pages.
- 9) Charte intitulée Réseaux de chrysotile. Royal Nickel corporation ltée., document interne, 4 pages.
- 10) Charte intitulée Chrysotile dans les zones hautement fragmentées. Royal Nickel corporation ltée., document interne, 4 pages.

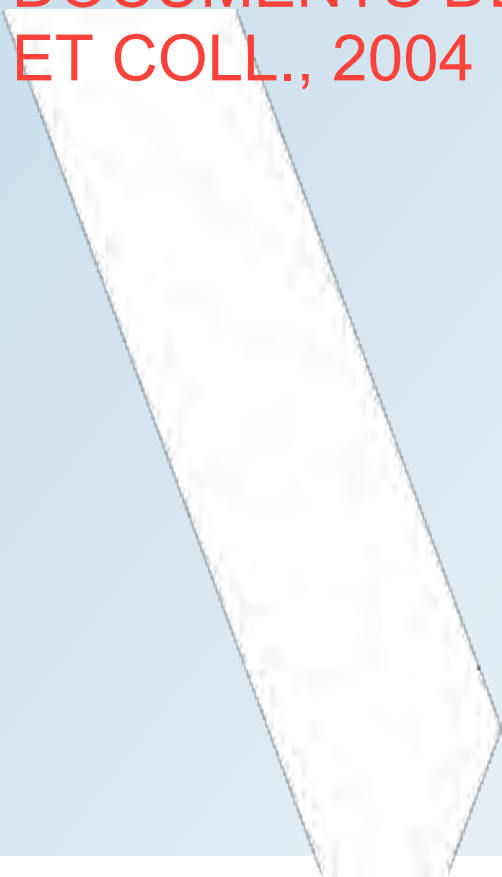
Qualifications de l'examineur externe et indépendance vis à vis de Royal Nickel Corporation

Je, soussigné Michel Gauthier, suis détenteur d'un doctorat en génie géologique obtenu en 1982 de l'École Polytechnique de Montréal. Je suis fellow de la Society of Economic Geologists (#282497). Pour l'année 2013, je suis également inscrit aux tableaux de l'Ordre des géologues du Québec (#144) et de l'Ordre des ingénieurs du Québec (#30213). Je pratique la géologie depuis plus de quarante au Québec et à l'étranger. Je ne suis détenteur d'aucun titre de Royal Nickel corporation ltée.

ANNEXE

R-18

DOCUMENTS DE DUKE, 1986 ET BAILEY
ET COLL., 2004



**THE ASBESTIFORM AND PRISMATIC
MINERAL GROWTH HABIT AND THEIR
RELATIONSHIP TO CANCER STUDIES**



A PICTORIAL PRESENTATION

The Asbestiform and Prismatic Mineral Growth Habit and Their Relationship to Cancer Studies

Kelly F. Bailey, CIH
Manager, Occupational Health
Vulcan Materials Company
Birmingham, Alabama

John Kelse
Corporate Industrial Hygienist
Manager, Risk Management Dept.
R. T. Vanderbilt Company
Norwalk, Connecticut

Ann G. Wylie, PhD
Asst. President and Chief of Staff
Professor of Geology
University of Maryland
College Park, Maryland

Richard J. Lee, PhD
President
R. J. Lee Group, Inc.
Monroeville, Pennsylvania

The recognition and regulation of asbestiform and prismatic minerals is of critical concern to the entire mining and aggregates industry, to individuals exposed to these materials and to the economic vitality of the United States.

CONTENTS

INTRODUCTION	1
WHY IS THIS DISTINCTION IMPORTANT?	2
REFERENCE EXHIBITS	
1. What is Asbestos?	4
2. Macroscopic Raw Ore Comparisons	8
3. Light Microscopic Comparisons	10
4. The Aspect Ratio and Particle Width	12
5. Byssolite	16
EXPOSURE EXHIBITS	
ASBESTOS EXPOSURES	
A. Libby Montana Vermiculite	18
B. Greek Tremolite	20
C. Korean Tremolite	22
D. Addison/Davis - Tremolite (Jamestown)	24
E. Addison/Davis - Tremolite (Swansea)	26
F. Smith - Tremolite FD-72	28
G. Stanton - Tremolite 1 and 2	30
ASBESTIFORM AND/OR HIGHLY FIBROUS	
H. Cook/Coffin - Ferroactinolite	32
I. Smith - Tremolite FD-31	34
J. Addison/Davis - Tremolite (Italy)	36
COMMON PRISMATIC EXPOSURES	
K. Homestake Gold Mine	38
L. East Mesabi Range - Taconite	40
M. N.Y. State Tremolitic Talc	42
N. Smith - Tremolite FD-275-1 and McConnell - Tremolite 275	46
O. Wagner - Tremolite (Greenland)	48
P. Addison/Davis - Tremolite (Dornie)	50
Q. Addison/Davis - Tremolite (Shinness)	52
R. Pott - Actinolite	54
SUMMARY	56
CONCLUSION	58
REFERENCES	59
APPENDIX I - Asbestiform Definition Contributors and Supporters	64
APPENDIX II - Analytical Issues	65

INTRODUCTION

It has long been recognized that the inhalation of excessive asbestos fibers, over time, is associated with significant pulmonary disease in humans. The link between asbestos, lung cancer and mesothelioma is well established. Asbestos is perhaps the most feared mineral risk and certainly is among the most publicized, litigated and studied.

Despite this attention, a clear understanding of what asbestos actually is remains a source of confusion to many. This is often demonstrated when commercial asbestos is not known "a priori" to exist in a dust exposure. Nowhere is this problem better demonstrated than the decades old confusion over the difference between asbestiform and prismatic crystal growth.

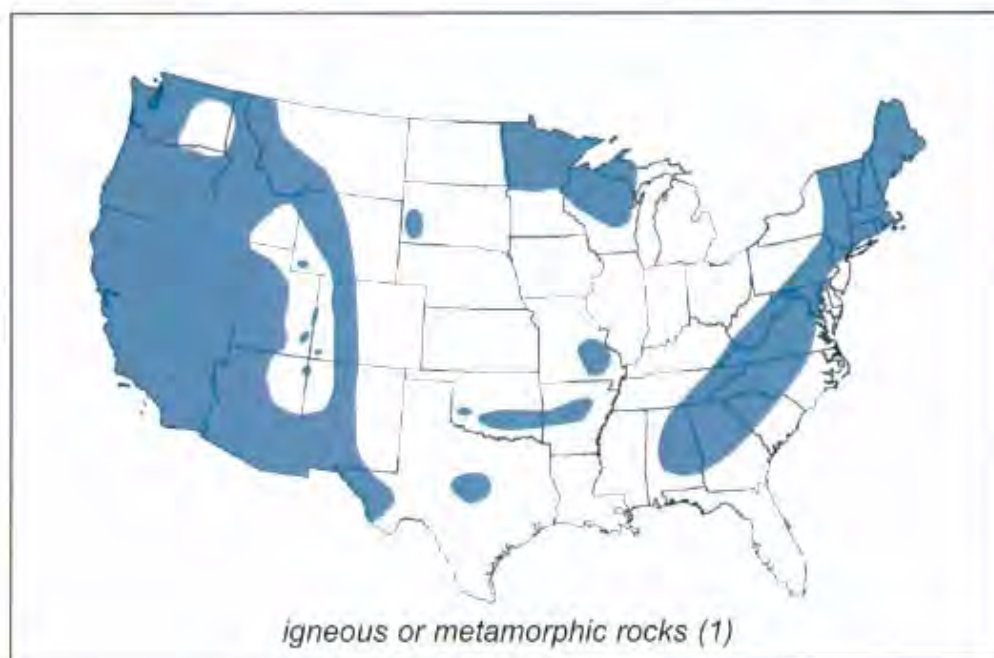
No federal regulatory agency treats elongated prismatic mineral particulates as asbestos, yet some in the regulatory and health community believe that they should. These individuals mistakenly believe that the essential difference between prismatic minerals and asbestos is not significant from both a mineralogic and biologic perspective.

This pictorial presentation demonstrates that important mineralogic and health differences do, in fact, exist. Health researchers who fail to understand these differences can assign and have attributed the carcinogenic effects of asbestos exposure to prismatic minerals. Because these common, prismatic rock-forming minerals make up so much of the earth's crust, it is important that this error be avoided.

WHY IS THIS DISTINCTION IMPORTANT?

The prismatic minerals are common hard rock forming minerals found throughout the earth's crust. Unlike asbestos, they are not at all rare.

The map below shows the general areas in the continental United States where igneous and metamorphic rocks are likely to be found on or near the surface. Amphiboles and serpentine, the two mineral groups that contain mineral species that may form asbestos, are restricted in their occurrence to these types of rock. When amphiboles and serpentine form part of the bedrock, they may also be found in the overlying soil. All the rock and soil in the shaded areas, however, do not contain amphibole and serpentine, and the occurrence of the asbestiform habits of these minerals in the shaded areas is even more restricted. The shaded areas do not mean that every rock or soil mass in that area contains these minerals, but it does mean that they are often present in these areas.



The composition of the rock also affects the likelihood of finding asbestos. Asbestos is more likely to form during the metamorphism of limestone, mafic and ultramafic rocks and alkali igneous rocks than during the metamorphism of other common rocks such as granite and sandstone. Furthermore, many of the amphiboles, particularly those that contain a significant amount of aluminum, never form asbestiform fibers. Therefore, while the prismatic habits of amphibole and serpentine are common throughout the shaded areas, asbestos occurrences are localized and uncommon.

The U.S. Bureau of Mines reports that the regulation of prismatic minerals as asbestos would significantly impact the mining of important mineral commodities such as gold, copper, iron, crushed stone, sand, gravel and talc. Downstream users of these mineral commodities such as construction, refractories, smelters, ceramics and paint manufacturers, would be affected as well (2).

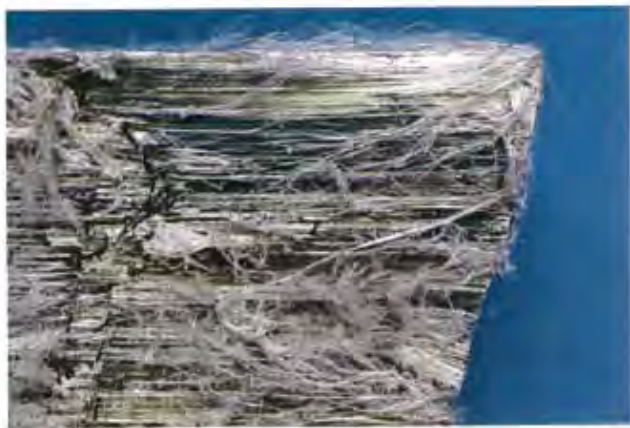
Therefore, it is important that these prismatic minerals be properly assessed with respect to their health risk.

The goal of this document is to clearly and succinctly demonstrate that mineralogical and biological differences exist between asbestos and common prismatic minerals. To accomplish this objective, this presentation:

- **DESCRIBES THE MINERALOGICAL DIFFERENCES BETWEEN ASBESTIFORM AND PRISMATIC MINERALS.**
- **CLARIFIES THE MINERAL EXPOSURES CITED IN KEY HEALTH STUDIES.**
- **SUMMARIZES THE OUTCOME OF THIS COMPARISON.**

REFERENCE EXHIBIT 1

What is Asbestos?



In the *Glossary of Geology*, asbestos is defined as. . .

"A commercial term applied to a group of highly fibrous silicate minerals that readily separate into *long, thin, strong* fibers of sufficient flexibility to be woven. . ." (3).

This definition has been further expanded based on mineral-crystallographic studies over the last decade or so:

A. ASBESTOS - A collective mineralogic term that describes a variety of certain silicates belonging to the serpentine and amphibole mineral groups, which have crystallized in the asbestiform habit causing them to be easily separated into long, thin, flexible, strong fibers when crushed or processed. Included in the definition are: chrysotile, crocidolite, asbestiform grunerite (amosite), anthophyllite asbestos, tremolite asbestos and actinolite asbestos. The nomenclature and composition of amphibole minerals should conform with International Mineralogical Association recommendations (Leake, B.E., *Nomenclature of Amphiboles*. American Mineralogist. Vol. 82, 1019 - 1037, 1997).

B. ASBESTOS FIBERS - Asbestiform mineral fiber populations generally have the following characteristics when viewed by light microscopy:

1. Mean aspect ratios ranging from 20:1 to 100:1 or higher for fibers longer than 5 μm ,
2. Very thin fibrils, usually less than 0.5 μm in width,
3. Parallel fibers occurring in bundles, and
4. One or more of the following:
 - a) Fiber bundles displaying splayed ends,
 - b) Matted masses of individual fibers,
 - c) Fibers showing curvature

This definition represents the consensus of a group of mineral scientists, several of whom have published extensively in this area (see Appendix I).

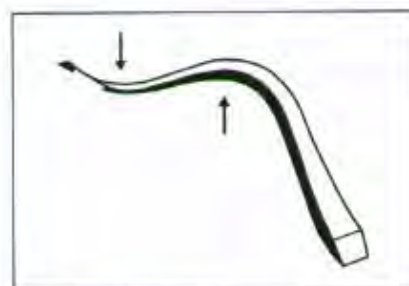
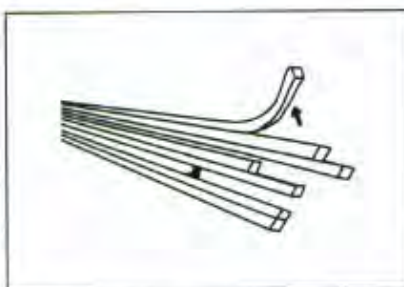
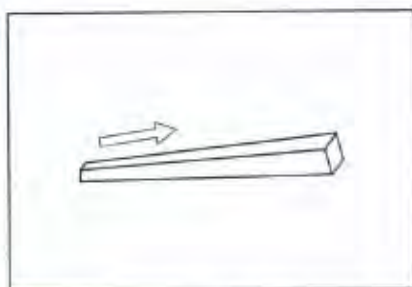
Morphological properties are difficult to apply to single particles when classifying them as a cleavage fragment or a fiber. Distinctions on morphology are most reliably made on populations. Furthermore, in air and water samples, in which particles are often less than 5 μm in length, the presence of asbestos should be verified in bulk material at the source before identification of particles as asbestos can be reliably made. Bulk materials display the full range of distinctive morphological characteristics, but in fibers collected from air and water, the range of morphological properties is more limited.

Asbestiform fibers normally exhibit anomalous optical properties that are distinctive. For example, under polarized light microscopy, asbestiform fibers may display parallel extinction in all orientations, they may display oblique extinction in some orientations at angles that are less than those characteristic of ordinary amphibole fragments in the same crystallographic orientation, they may have only two principal indices of refraction (as opposed to the expected three), or they may display orthorhombic optical properties when monoclinic optical properties are expected (79).

When asbestiform fibers are found in nature, there may be other habits of the same mineral intergrown such as the brittle, fibrous prismatic habit byssolite and fragments of the enclosing rock (cleavage fragments). Byssolite is characterized by wide, single glassy crystals usually $> 1 \mu\text{m}$ in width. While asbestos is characterized by high tensile strength which results in difficulty on grinding with a mortar and pestle, byssolite and cleavage fragments will easily reduce to powder under the same circumstances (see page 16, Reference Exhibit #5).

Although asbestiform crystal growth is very rare in nature, under the right geologic conditions approximately 100 minerals may be formed in this manner - not just the six minerals we refer to as asbestos (76). Evidence on the carcinogenicity of asbestiform minerals that are not asbestos is mixed, but there is no compelling evidence that all asbestiform minerals are carcinogenic. Different minerals have different biodurabilities, surface chemistries, friabilities in vivo, and bioavailability differences that influence their biological activities (77). Asbestiform richterite, winchite and erionite are examples of fibers that appear to pose a risk similar to that of asbestos (74,78). In contrast, asbestiform talc (72) and minerals such as xonotlite (commonly found in an asbestiform habit but is water soluble) do not appear to pose the same risk.

ASBESTIFORM



In the asbestiform habit, fibers grow almost exclusively in one direction and exhibit narrow width (on the order of $0.1\ \mu\text{m}$). Fibers that are visible to the eye are bundles of individual crystal fibers known as "fibrils". In some deposits, there is a range in fibril width, sometimes extending up to as much as $0.5\ \mu\text{m}$. Asbestiform fibers wider than $1.0\ \mu\text{m}$ are always bundles of fibrils. Asbestiform minerals have fibrils that are easily separated, although variability exists. In populations of asbestiform fibers, the distribution of particle widths will reflect single fibrils as well as bundles of fibrils. Under the light microscope, this "polyfilamentous" characteristic of fibers is evident, and **is the single most important morphological characteristic of the asbestiform habit**. Asbestiform fibers are flexible and exhibit high tensile strength. The flexibility may be accounted for by the very narrow widths of fibrils and perhaps by the ability of fibrils to slide past one another on bending.

Six minerals have been regulated as asbestos. These are listed below:

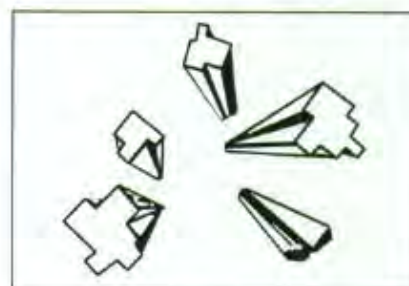
ASBESTIFORM VARIETY (Asbestos, CAS No. 1332-21-4*)	
<u>SERPENTINE GROUP</u>	
chrysotile	(CAS No. 12001-29-5)
<u>AMPHIBOLE GROUP</u>	
crocidolite	(CAS No. 12001-28-4)
grunerite asbestos (amosite)	(CAS No. 12172-73-5*)
anthophyllite asbestos	(CAS No. 77536-67-5*)
tremolite asbestos	(CAS No. 77536-68-6*)
actinolite asbestos	(CAS No. 77536-66-4*)

The presence of an asterisk (*) following a CAS Registry Number indicates that the registration is for a substance which CAS does not treat in its regular CA index processing as a unique chemical entity.

For asbestiform fibers to grow, there must be mineral rich fluids that are either associated with regional metamorphism or contact metamorphism around crystallizing igneous bodies. The vast majority of the occurrences of asbestos are small because, in addition to metamorphic fluids, there must be open spaces into which the fibers can grow, a condition restricted to the upper portions of the earth's crust in structurally specific environments such as faults, joints, the axes of folds, etc. Only rarely are large portions of a rock composed of asbestos.

The most common occurrence of asbestos is in cross-fiber or slip fiber veins. In the former, the fiber axes are perpendicular to the walls of narrow openings in the host rock; in the latter, they are parallel. Asbestos rarely occurs as mass fiber bundles in which fibrillar growth is in many directions. This growth pattern is not clearly related to planar structural features of the rock.

PRISMATIC



In the prismatic variety, mineral crystal growth tend not to grow with parallel alignment, but form multi-directional growth patterns instead. When pressure is applied, the crystals fracture easily, fragmenting into prismatic particles called cleavage fragments. Some particles or cleavage fragments are acicular or needle-shaped as a result of the tendency of amphibole minerals to cleave along two dimensions but not along the third. Stair-step cleavage along the edges of some particulates is common. Serpentine have a single cleavage direction and single crystals would form sheets when crushed. Serpentine rock, when crushed, will produce some elongated fragments.

Comminution of prismatic amphibole produces particles that, although generally elongated, have widths larger than asbestos fibers of the same length. These wide widths are characteristic of all amphibole cleavage fragments, even those that have developed higher aspect ratios due to well-developed parting. Byssollite, the most acicular, needle-like prismatic amphibole, will break perpendicular to the fiber axis during comminution because it is brittle, thereby producing particulates with low aspect ratios (See Reference Exhibit 5).

NON-ASBESTIFORM VARIETY

SERPENTINE GROUP

antigorite

(CAS No. 12135-86-3)

AMPHIBOLE GROUP

riebeckite

(CAS No. 17787-87-0)

grunerite

(CAS No. 14567-61-4)

anthophyllite

(CAS No. 17068-78-9)

tremolite

(CAS No. 14567-73-8)

actinolite

(CAS No. 13768-00-8)

REFERENCE EXHIBIT 2

Macroscopic Raw Ore Comparisons

Each of these six minerals included in OSHA's asbestos standard occurs in both an asbestiform and a prismatic variety.

Three of the six minerals have been given a different name for each of their two forms. *Chrysotile* is the asbestiform variety of the serpentine minerals group. In this group *antigorite* is a common prismatic mineral. In the amphibole group, *crocidolite* is the asbestiform variety of *riebeckite*; *amosite* is the asbestiform variety of "cummingtonite"-grunerite.

Asbestiform



a.

chrysotile

Prismatic



b.

antigorite



c.

crocidolite



d.

riebeckite



e.

amosite



f.

cummingtonite-grunerite

Macroscopic Raw Ore Comparisons

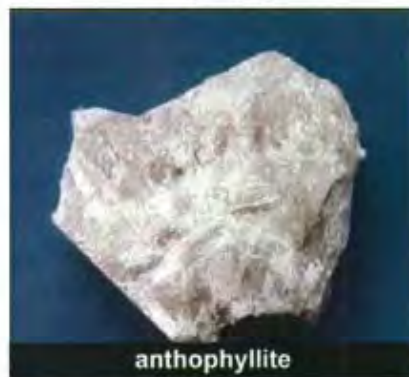
Asbestiform



g.

anthophyllite asbestos

Prismatic



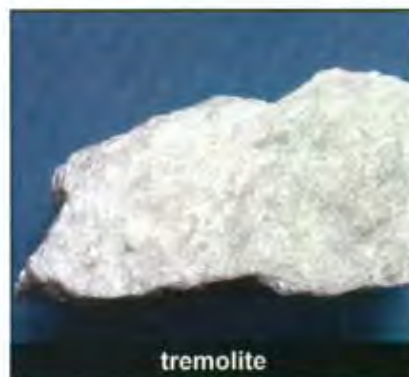
h.

anthophyllite



i.

tremolite asbestos



j.

tremolite



k.

actinolite asbestos



l.

actinolite

REFERENCE EXHIBIT 3

Light Microscopic Comparisons

(2.75 $\mu\text{m}/\text{divisions}$)

Asbestiform



a.

chrysotile

Prismatic



b.

antigorite



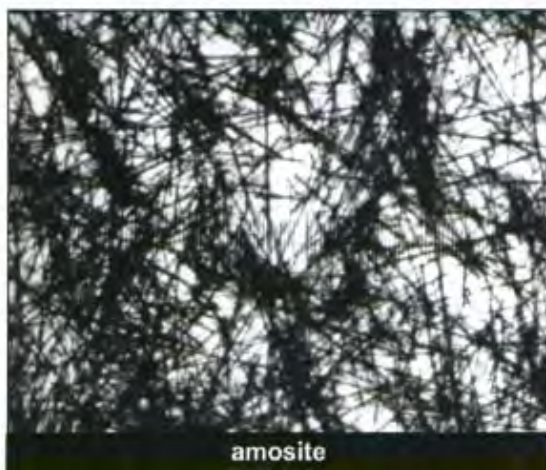
c.

crocidolite



d.

riebeckite



e.

amosite



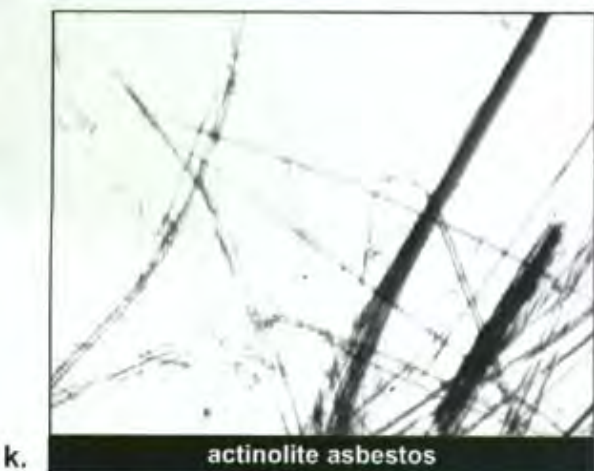
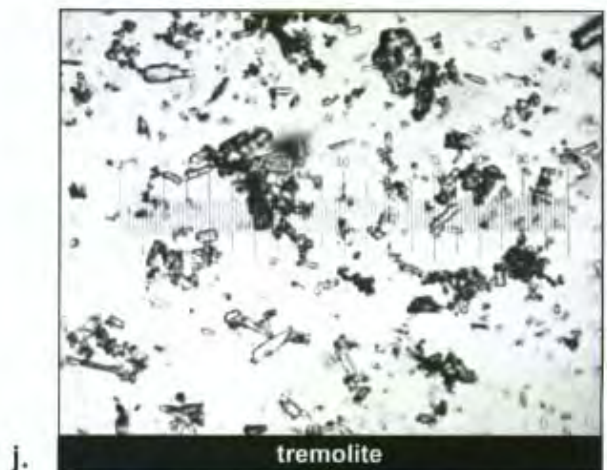
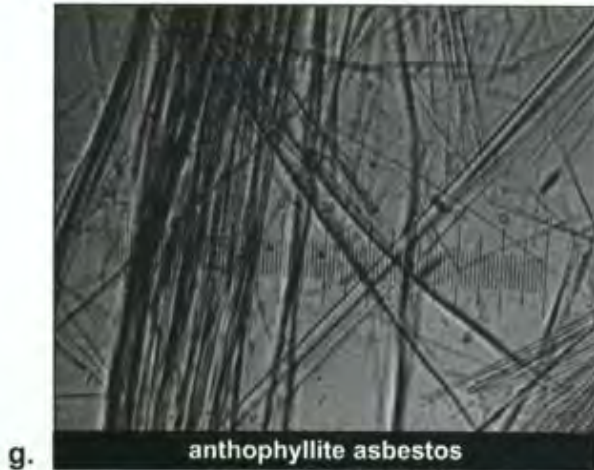
f.

cummingtonite-grunerite

(2.75 $\mu\text{m}/\text{divisions}$)

Asbestiform

Prismatic



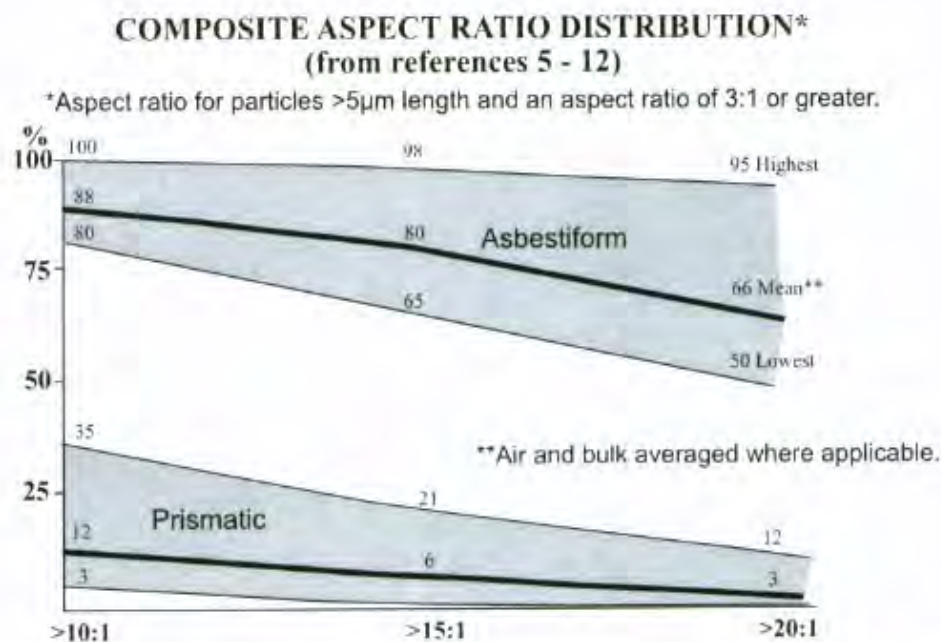
REFERENCE EXHIBIT 4

The Aspect Ratio

Existing regulatory standards for asbestos are based on a light microscopy analysis of airborne particles with a length-to-width ratio (aspect ratio) of 3:1 or greater and a length greater than 5 μm . This was arbitrarily set to obtain consistency among **asbestos** "fiber" counters. Unfortunately, this dimensionless parameter, adopted for asbestos quantification, has been misused by some as a means to "identify" asbestos. Since many other particles share these dimensions, it is improper to use the aspect ratio as a designator of asbestos.

However, the aspect ratio concept, when used with caution, can be useful in distinguishing the asbestiform or prismatic nature of a given dust population. Due to the tendency of asbestiform fiber bundles to separate into thinner and thinner fibers when pressure is applied (i.e., ground), the aspect ratio tends to remain high. In contrast, because prismatic minerals break or cleave in a more random fashion, few relatively long, thin particles are produced. Prismatic dust populations will, therefore, generally retain low aspect ratio characteristics. This fundamental difference can be observed under the light microscope and used as one analytical parameter to distinguish an asbestiform dust population from a prismatic dust population. It must be stressed, however, that this parameter is not a means to positively identify asbestos.

The following figure contrasts the typical aspect ratio difference between asbestiform dust populations and prismatic dust populations. Starting with all particles that exceed a 3:1 aspect ratio ($> 5 \mu\text{m}$ length), the asbestiform dust population maintains an elevated percentage of high aspect ratio particles while the prismatic population does not.



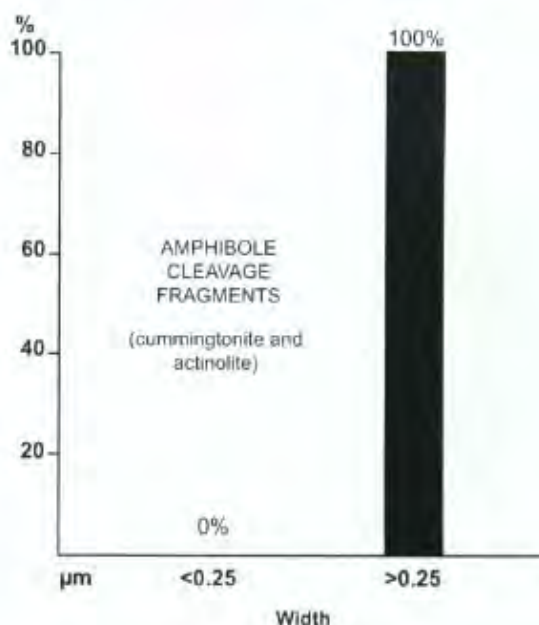
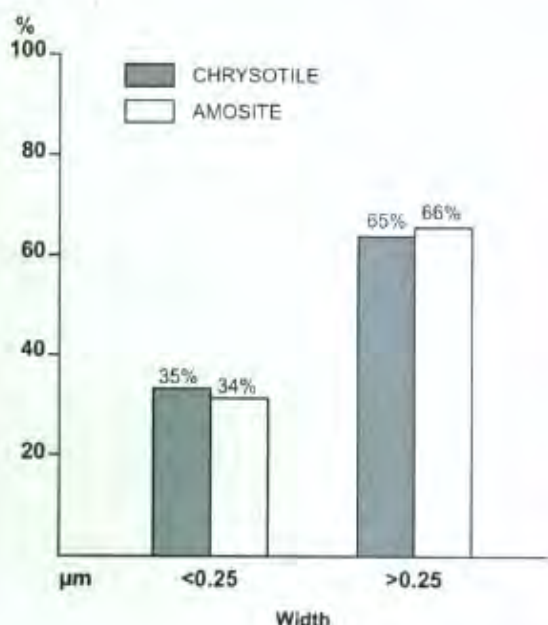
Example: Prismatic particles with an aspect ratio of 3:1 or greater ($> 5 \mu\text{m}$ length), 6% on average exceed an aspect ratio of 15:1 while asbestiform particles, 80% on average exceed this ratio.

Particle Width

Distinctions between populations of cleavage fragments and asbestos fibers can be drawn by comparing the frequency of widths for particles longer than 5 μm . In cleavage fragment populations, width increases with length; in asbestos populations, width is almost independent of length. Cleavage fragments are rarely less than 0.5 μm in width and almost never less than 0.25 μm . A significant fraction of asbestos fibers, however, are less than 0.25 μm in width, and most asbestos populations have at least 50% of the fibers with widths equal to or less than 0.5 μm . (75)

Since asbestos fibrils separate easily, wide fibers composed of multiple fibrils are uncommon in airborne populations or in laboratory preparations that involve dispersal in water by using ultrasound. Nonetheless, there is a slight tendency for very long fibers to be composed of more than one fibril and therefore to be slightly wider than the shorter fibers. In the examination of bulk asbestos under the light microscope, however, it is not uncommon to encounter very wide bundles since sample preparation does not involve fibrillar separation by sonication. However, the composite nature (fibrillar structure) of fibers wider than 1 μm can almost always be seen by light and electron microscopy.

Asbestos populations do vary in their fibril size, the range in fibril size, and their resistance to separation. For example, amosite fibrils are slightly wider than crocidolite fibrils and single fibrils of chrysotile have uniform widths. Nonetheless, taken as a group, the width distribution of a given dust population can be used to gauge the asbestiform or prismatic nature of a mineral dust.

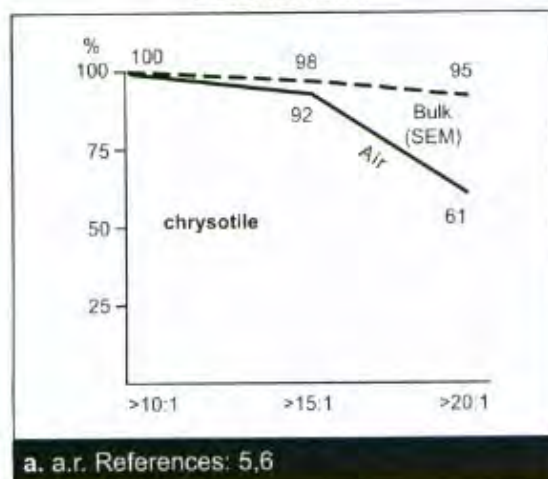


Average of 17 air samples. Width comparison by electron microscopy (STEM). All particles are 3:1 aspect ratio or greater, > 5 μm length (4).

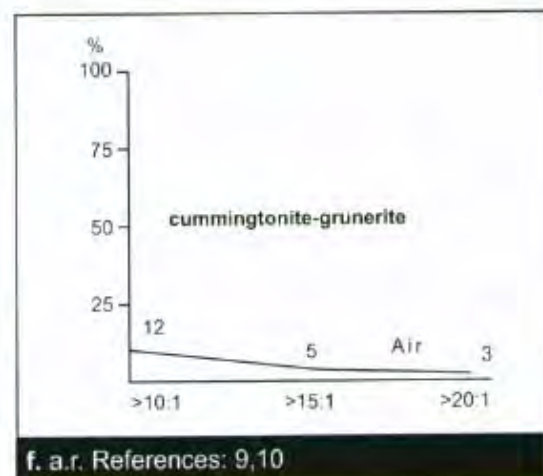
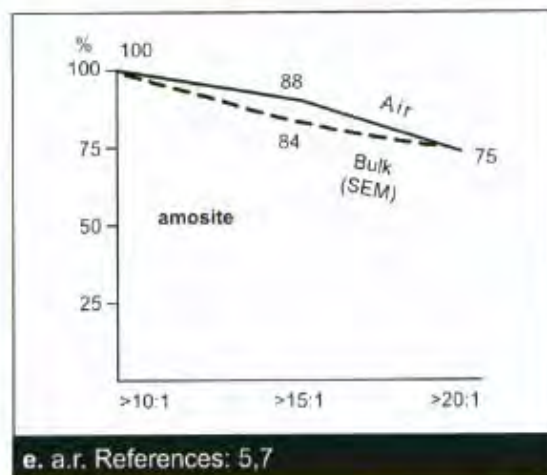
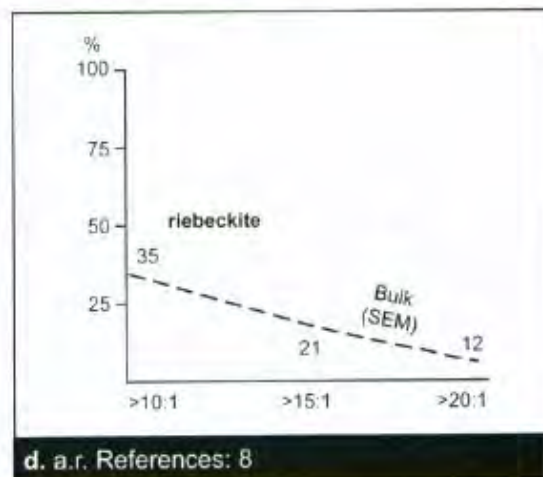
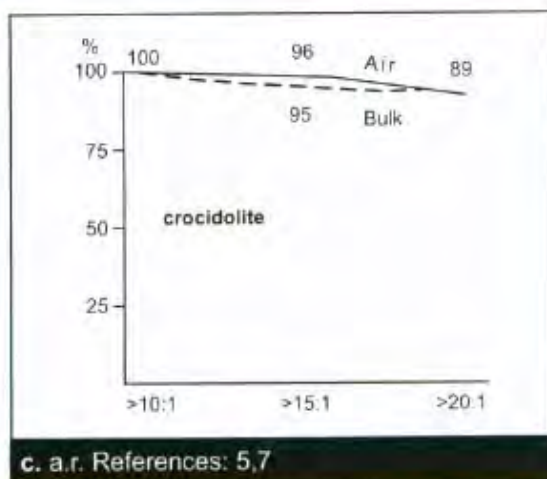
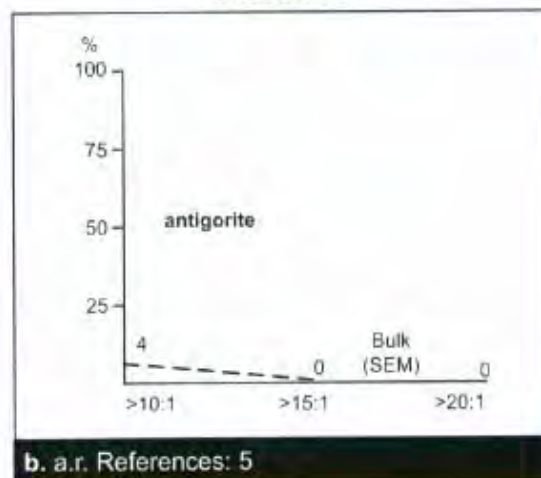
ASPECT RATIO COMPARISONS

Includes only particles with a 3:1 aspect ratio (a.r.) or greater and length $> 5 \mu\text{m}$.

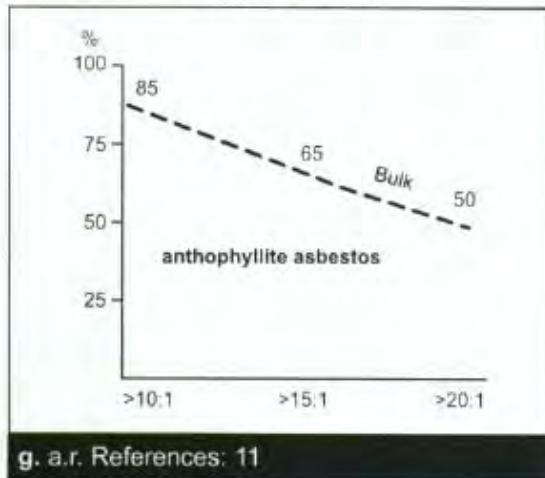
Asbestiform



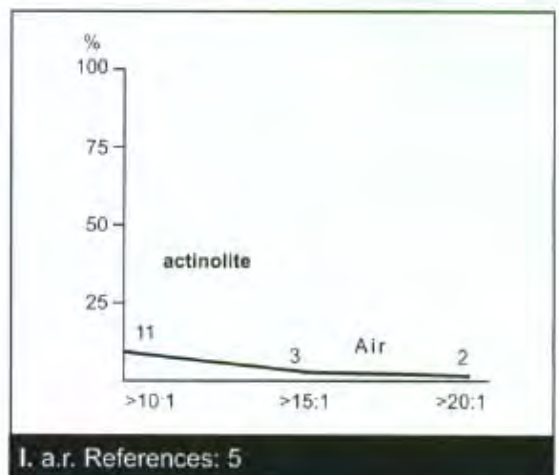
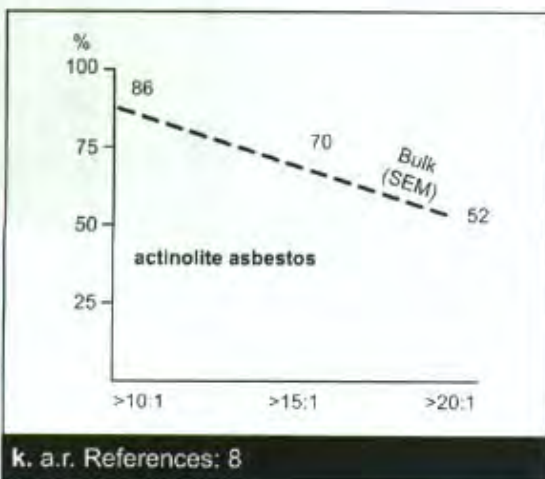
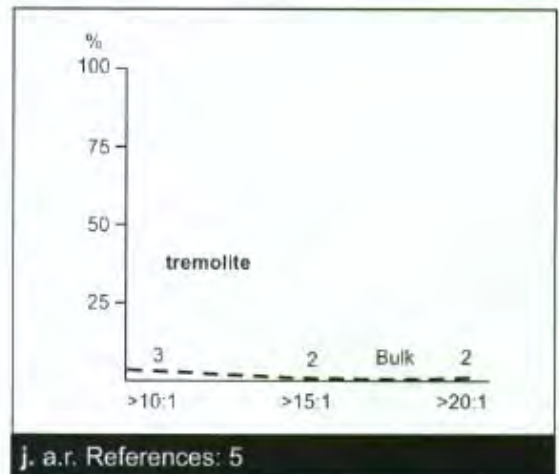
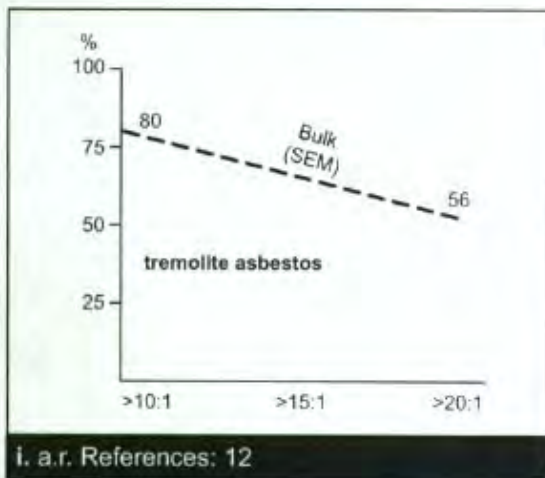
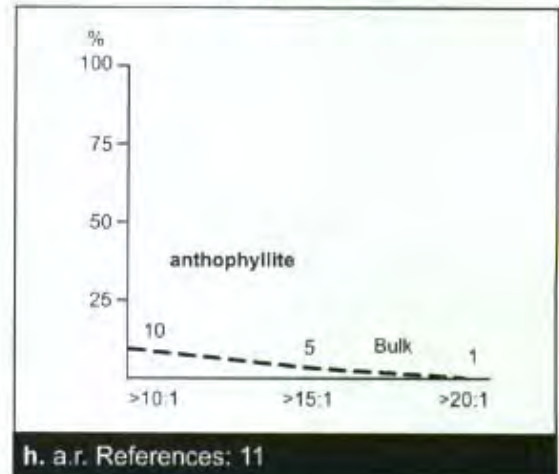
Prismatic



Asbestiform



Prismatic



REFERENCE EXHIBIT 5

Byssolite Unusual Needle-like Prismatic Mineral Growth

Although most prismatic particulates appear as described and pictured in prior exhibits, prismatic particles can appear in a very acicular or needle-like form. Although such particles do not exhibit characteristics unique to asbestos (fibrillar bundling, splayed terminations, extreme lengths, etc.), high length to width aspect ratios are possible. The Addison Italian and Dornie tremolite samples summarized in this pictorial exhibit (J and P respectively) reflect this rare particulate form. Byssolites, whose optical properties are often normal, sometimes exhibit their own distinctive optical property - a lack of optical extinction when oriented and viewed on the 010 crystallographic surface (79). This distinction, as well as a lack of other asbestiform morphological properties, allows one to distinguish the byssolite habit from the asbestiform habit.

Further comminution of these elongated prismatic particles, as illustrated to the right, demonstrates the essential difference in mineral habit. Prismatic minerals cleave to shorter prismatic particles, while asbestos continues to separate along crystal surfaces into smaller and smaller bundles of fibrils.

Comminution of Byssolite



Photomicrograph - 265 X (2 $\mu\text{m}/\text{Div.}$)



Minor Breaking
Photomicrograph - 265 X (2 $\mu\text{m}/\text{Div.}$)



Commercial Grind
Photomicrograph - 265 X (2 $\mu\text{m}/\text{Div.}$)



QUESTION

DOES THIS MINERALOGICAL (MORPHOLOGICAL)
DIFFERENCE = BIOLOGICAL DIFFERENCE?

A Review of Asbestiform and Prismatic Cancer Studies

The following "EXPOSURE EXHIBITS" summarize human and animal studies relative to prismatic amphiboles. The majority of studies available in this area involve tremolite.

A large body of literature amply addresses the most commonly encountered, commercially exploited asbestos minerals (*chrysotile*, *crocidolite*, and *amosite*). For the purpose of this presentation, further health review of these asbestos minerals is not considered necessary.

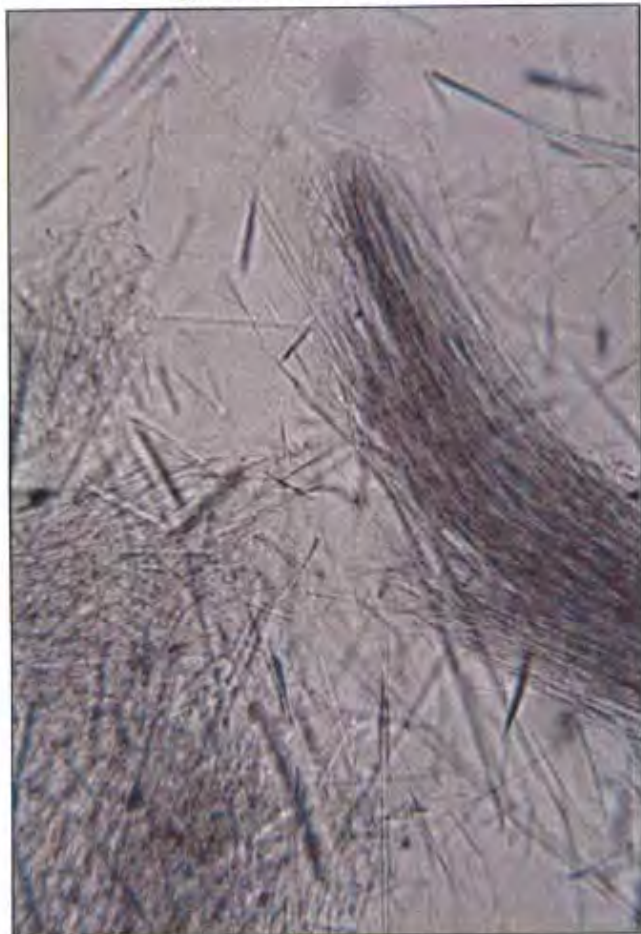
These asbestiform exhibits sufficiently demonstrate previously described mineralogical distinctions and provide the most appropriate contrast to prismatic amphibole health studies.

EXPOSURE EXHIBIT A

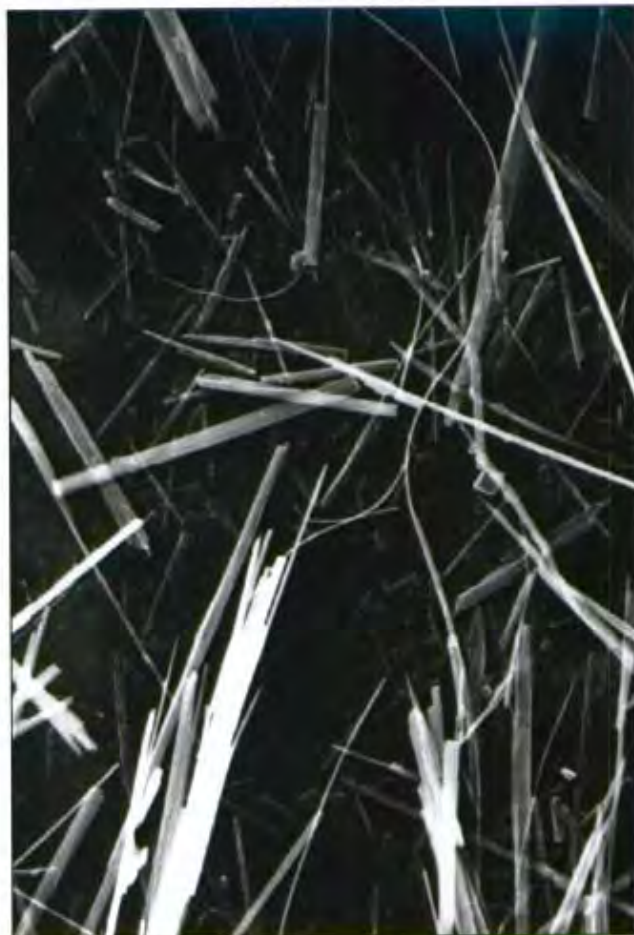
LIBBY MONTANA VERMICULITE

Asbestiform Winchite — Human Mortality Study

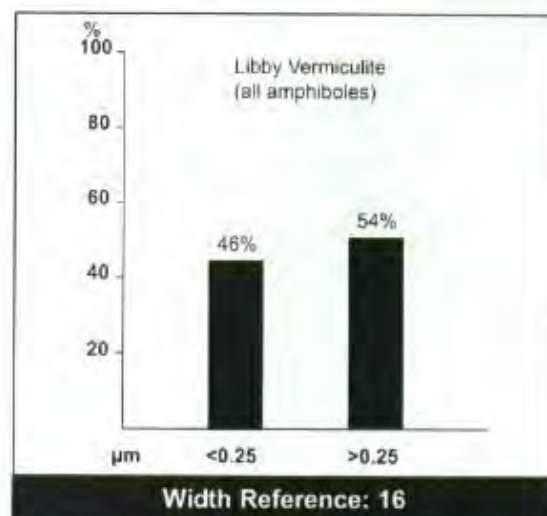
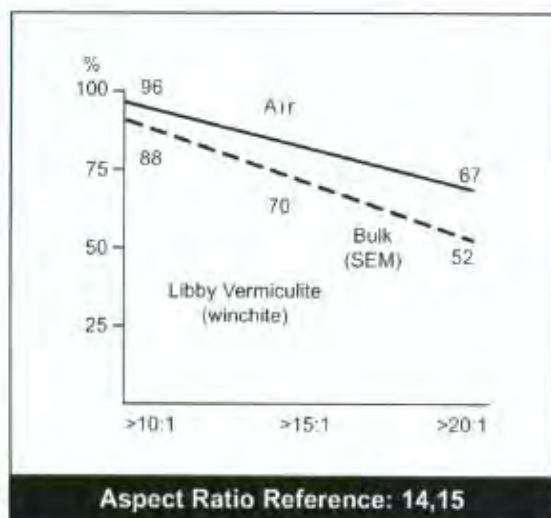
Light Microscopy: 320 X



SEM: 1180 X



ORE: "The vermiculite ore as fed to the mill contained 4-6% amphibole in the tremolite series" (13). More recent analysis of the Libby ore reports the asbestiform amphibole to be winchite asbestos (formally called soda tremolite) (74).



ADDITIONAL MINERAL PARTICLE DATA:

Range of: Diameters = 0.1 - 0.2 µm
 Length = 1 - 70 µm (62% > 5 µm)
 Aspect Ratio = 3:1 - 100:1 (13)

For fibers > 0.45 µm in width and > 5 µm in length, collected on air filters, 96% had aspect ratios > 10:1, 67% had 20:1 or greater aspect ratios and 10% were 50:1 or greater. (15)

HEALTH STUDIES:

Authors: McDonald, J.C., et al (13) Pub. 1986

Cohort: 406 men, >1 yr. exposure, hired prior to 1963

Vital Status Cut Off: July 1, 1983 **SMR** (resp. cancer) - 245

Conclusion: "The cohort studied was not large but sufficient to show that workers in this mine experienced a serious hazard from lung cancer, pneumoconiosis, and mesothelioma."

Authors: Amandus, H.E., et al (15) Pub. 1987

Cohort: 575 men, >1 yr. exposure, hired prior to 1970

Vital Status Cut Off: December 31, 1981 **SMR** (resp. cancer) - 223

Conclusion: "Results indicated that mortality from nonmalignant respiratory disease and lung cancer was significantly increased."

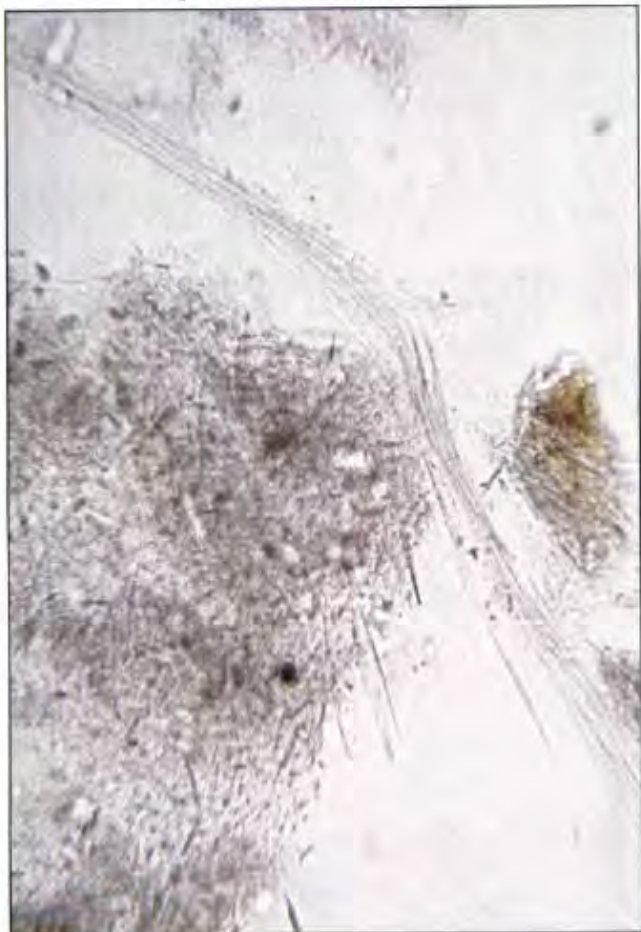
OVERALL CONCLUSION: Asbestiform winchite in this mining operation is reasonably linked to excess lung cancer and mesothelioma.

EXPOSURE EXHIBIT B

GREEK TREMOLITE

Asbestiform Tremolite — Human Mortality Study

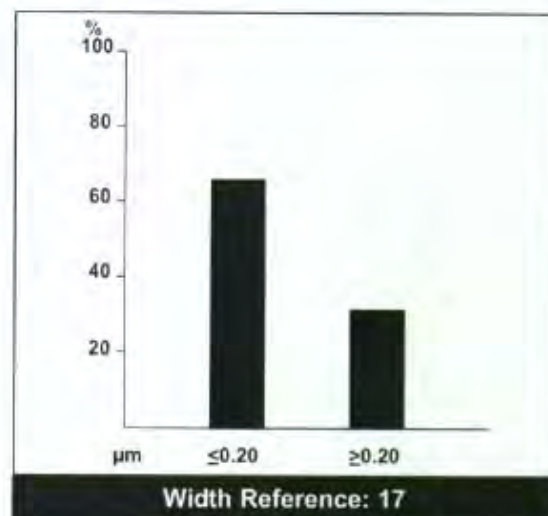
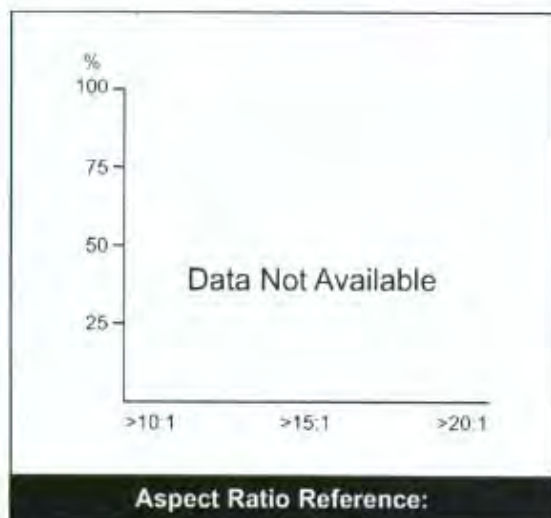
Light Microscopy: 320 X



SEM: 1900X



ORE: "This tremolite is linked to whitewash used in Greek villages. The villages involved Milea, Metsovo, Anilio and Votonosi (Metsovo area in North Western Greece)" (18).



ADDITIONAL MINERAL PARTICLE DATA:

"These fine fibers were unlike the usual tremolite laths, they had aspect ratios in excess of 100:1; they were curvilinear; they had parallel extinction, and they formed polyfilamentous bundles of fibers" (18). Only 6.7% of fibers exceeded a 0.61 μm width. Fifty-three percent of all fibers were < 1.0 μm in length while 6% exceeded 5 μm in length (17).

HEALTH STUDIES:

Authors: Langer, A.M., et al (18) Pub. 1987

Cohort: Population of Metsovo in Northwestern Greece

Conclusion: Substantial incidence of mesothelioma in certain towns is linked to tremolite asbestos found in whitewash and stucco.

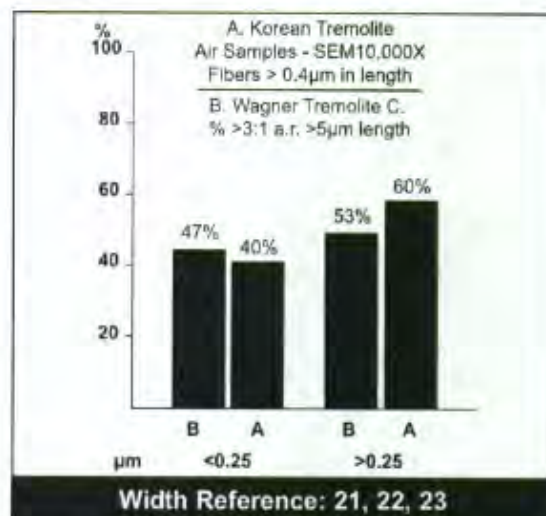
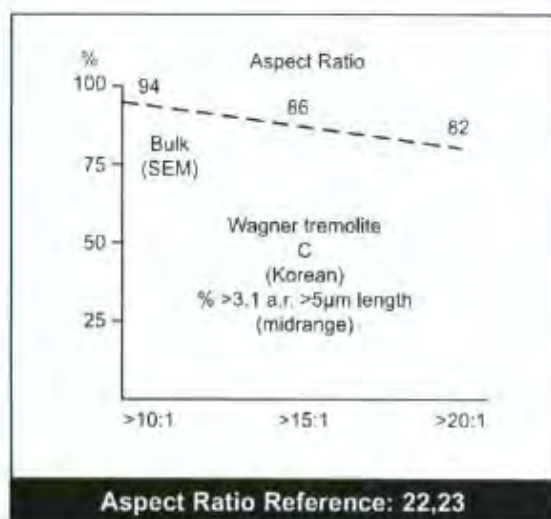
OVERALL CONCLUSION: **Asbestiform tremolite in whitewash has been linked to substantial incidences of mesothelioma.**

Asbestiform Tremolite — Animal Study**Light Microscopy: 320 X****SEM: 1900 X**

SAMPLE: Reported as commercial asbestos originating from S. Korea. Contains by mass approx. 95% asbestiform tremolite. It is reported this same material was used in three separate animal studies (19).

ADDITIONAL MINERAL PARTICLE INFORMATION

"In the optical microscopy and SEM examinations, the asbestos tremolites were found to be typical of that form in displaying polyfilamentous fiber bundles, curved fibers, fibers with splayed ends, and long, thin, parallel-sided fibers. Most of the fibers showed straight extinction when observed with polarized light under crossed polarizers, indicating the presence of multiple twinning of the crystals." "Samples did contain some elongated fragments of tremolite with oblique extinction, stepped ends, and nonparallel sides indicating that they were cleavage fragments." (20)



ANIMAL STUDIES:

Authors: Wagner, J.C., et al (22) Pub. 1982

Test Animals: Sprague-Dawley rats, 6-10 weeks old when injected.

Test Type: Pleural injection

Protocol: A single 20 milligram injection into the right pleural cavity of 48 rats. "The sample was prepared by milling in a small agate mill and ultrasonic dispersion, large particles being removed by sedimentation in water."

Findings: "Sample C produced 14 mesotheliomas in 47 rats."

Authors: Davis, J.M., et al (21) Pub. 1985

Test Animals: SPF male Wistar rats

Test Type: Inhalation and interperitoneal injection

Protocol: For inhalation, 48 rats were exposed for 7 hours each day, 5 days per week, over a 12 month period, to approx. 10 mg of respirable dust per cubic meter of air. For interperitoneal injection, a 25 mg dose of tremolite was collected from the inhalation chamber and injected (in saline) into the peritoneal cavities of rats.

Findings: For the inhalation study, a total of 16 carcinomas and 2 mesotheliomas occurred in 39 animals. None were observed in controls. For the interperitoneal study, a total of 27 animals out of 29 examined were found to have mesothelioma tumors. Mean survival time was 352 days.

Authors: Davis, J.M.G., Addison, J. (20) Pub. 1991

Test Animals: AF/Han strain rats

Test Type: Peritoneal injection

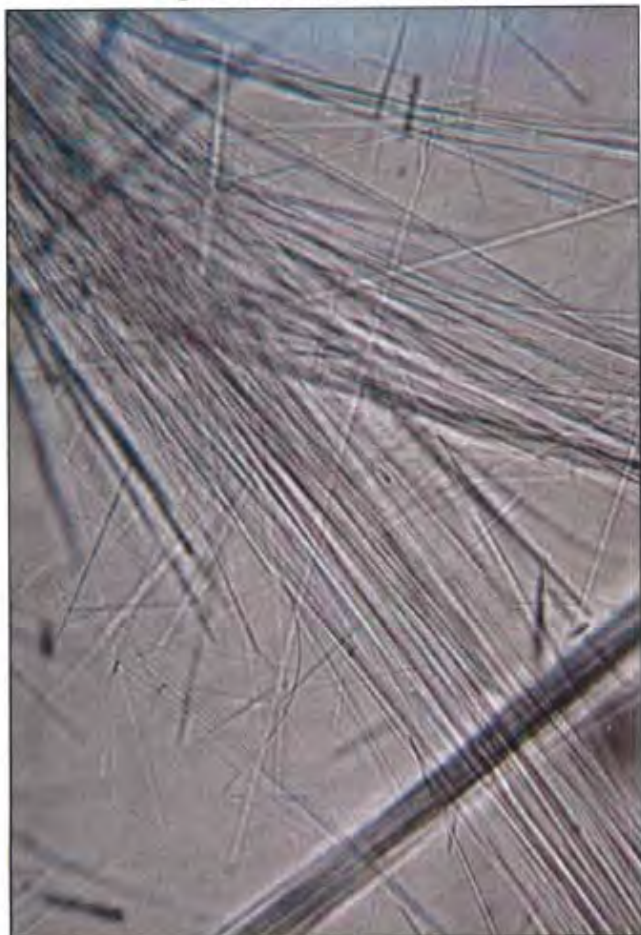
Protocol: Fractions of this sample were obtained by generating an airborne dust cloud in an experimental chamber (Timbrell dust dispensers) with fine fractions collected using a vertical elutriator. A single 10 mg dose was injected into the peritoneal cavities of the animals. All animals lived out of their full life span or were killed when moribund.

Findings: 32 mesothelioma deaths out of 33 animals were observed with a median survival time of 428 days.

OVERALL CONCLUSION: This asbestiform tremolite produced a strong carcinogenic response in the test animals.

Asbestiform Tremolite — Animal Study

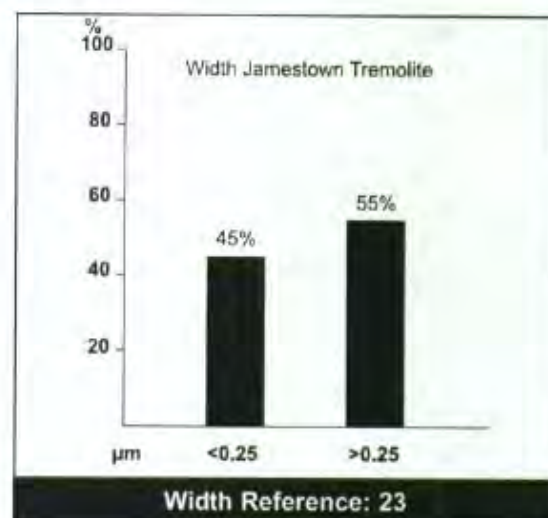
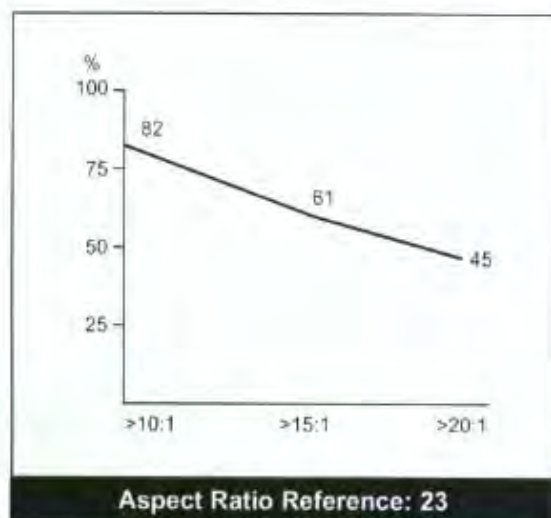
Light Microscopy: 320 X



SEM: 1900 X



SAMPLE: "Fine white tremolite asbestos, Jamestown, California" (20). (Above photomicrographs were taken from bulk material.)



ADDITIONAL MINERAL PARTICLE DATA:

"In the optical microscopy and SEM examinations, the asbestos tremolites were found to be typical of that form in displaying polyfilamentous fiber bundles, curved fibers, fibers with splayed ends, and long, thin, parallel-sided fibers. Most of the fibers showed straight extinction when observed with polarized light under crossed polarizers, indicating the presence of multiple twinning of the crystals." "Samples did contain some elongated fragments of tremolite with oblique extinction, stepped ends, and nonparallel sides indicating that they were cleavage fragments." (20)

ANIMAL STUDIES

Authors: Davis, J.M.G., Addison, J. (20) Pub. 1991

Test Animals: AF/Han strain rats

Test Type: Peritoneal injection

Protocol: Fractions of this sample were obtained by generating an airborne dust cloud in an experimental chamber (Timbrell dust dispensers) with fine fractions collected using a vertical elutriator. A single 10 mg dose was injected into the peritoneal cavities of the animals. All animals lived out of their full life span or were killed when moribund.

Findings: 36 mesothelioma deaths out of 36 animals were observed with a median survival time of 301 days.

OVERALL CONCLUSION: This asbestiform tremolite produced a strong carcinogenic response in the test animals.

Asbestiform Tremolite — Animal Study

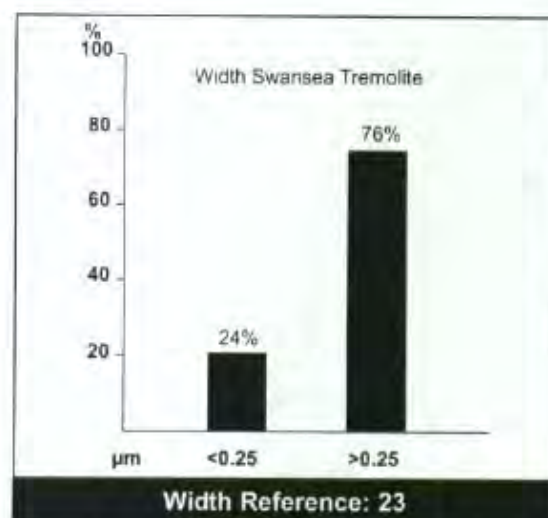
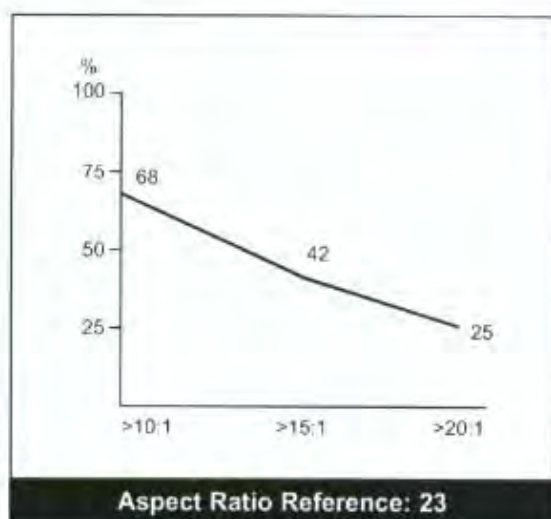
Light Microscopy: 320 X



SEM: 1900 X



SAMPLE: "Fine white tremolite asbestos, Swansea Laboratory" (20). (Above photomicrographs were taken from bulk material.)



ADDITIONAL MINERAL PARTICLE DATA:

"In the optical microscopy and SEM examinations, the asbestos tremolites were found to be typical of that form in displaying polyfilamentous fiber bundles, curved fibers, fibers with splayed ends, and long, thin, parallel-sided fibers. Most of the fibers showed straight extinction when observed with polarized light under crossed polarizers, indicating the presence of multiple twinning of the crystals." "Samples did contain some elongated fragments of tremolite with oblique extinction, stepped ends, and nonparallel sides indicating that they were cleavage fragments." (20)

ANIMAL STUDIES

Authors: Davis, J.M.G., Addison, J. (20) Pub. 1991

Test Animals: AF/Han strain rats

Test Type: Peritoneal injection

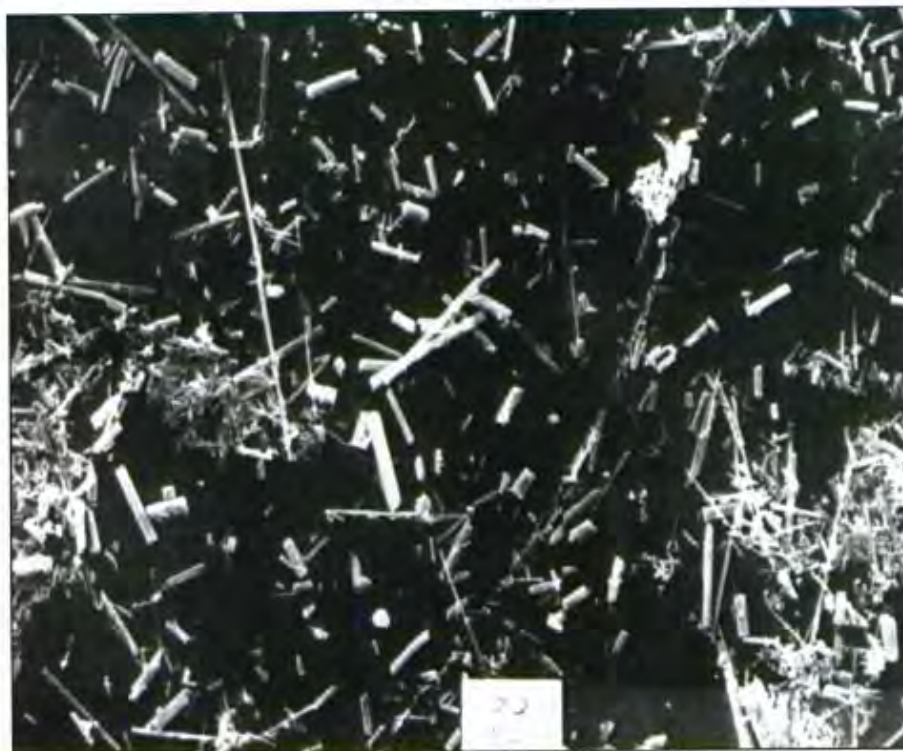
Protocol: Fractions of this sample were obtained by generating an airborne dust cloud in an experimental chamber (Timbrell dust dispensers) with fine fractions collected using a vertical elutriator. A single 10 mg dose was injected into the peritoneal cavities of the animals. All animals lived out of their full life span or were killed when moribund.

Findings: 35 mesothelioma deaths out of 36 animals were observed with a median survival time of 365 days.

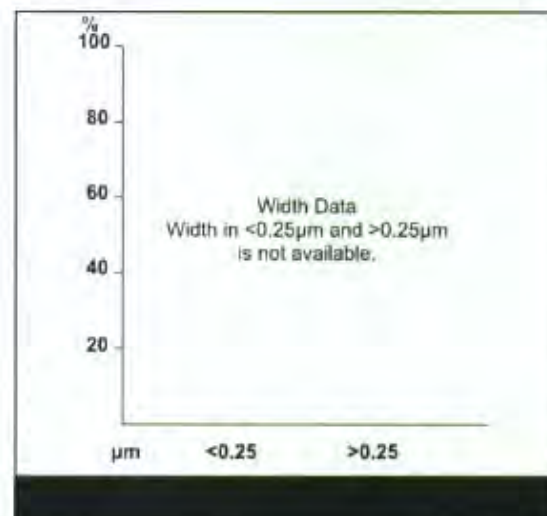
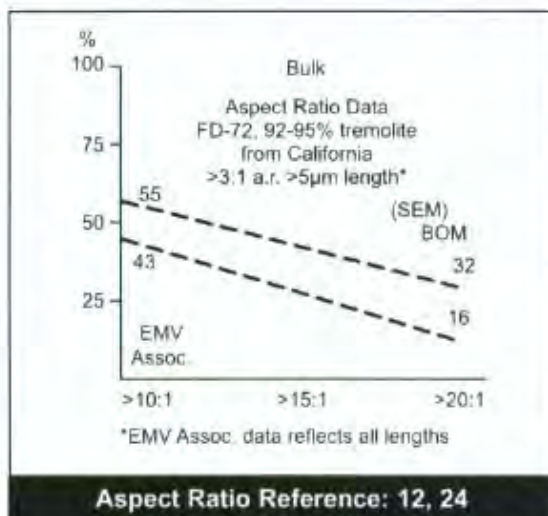
OVERALL CONCLUSION: This asbestiform tremolite produced a strong carcinogenic response in the test animals.

Asbestiform Tremolite — Animal Study

SEM: 1250 X



SAMPLE: FD-72 was supplied to Dr. Smith from Dr. Merle Stanton and indirectly from Johns-Manville. This material, reportedly from California, is described as asbestiform and may have been used by Dr. Stanton in his work (tremolite 1 and 2).



ADDITIONAL MINERAL PARTICLE DATA:

The sample preparation of FD-72 is unclear, although a portion of this sample was provided to the Bureau of Mines (BOM) for characterization. The sample was dispersed in water, ultrasonically agitated and filtered through a nucleopore filter for SEM preparation. Petrographic preparation required no such processing. There is some question as to how exact the BOM samples are to Dr. Smith's analysis (EMV Assoc), but major differences are not indicated. For FD-72, 9 particles with a length of >10 µm were observed in 200 total particles by SEM.

ANIMAL STUDIES

Authors: Smith, W.E., et al (25) Pub. 1979

Test Animals: Male LUG; LAK hamsters, injected at 2 months of age.

Test Type: Intrapleural injection

Protocol: Single intrapleural injection of two dosages (10 and 25 mg). The sample was suspended in saline and sterilized by autoclave. The occurrence of tumors (unspecified) was noted at necropsies for a starting group of 50 animals per dose. After short-term sacrifice of some animals and the loss of others through acute enteritis, the occurrence of tumors was noted in nonsurvivors up to 600 days.

Findings: Four tumors out of 13 animals were found at the 10 mg dose, and 13 out of 20 animals were found at the 25 mg dose.

OVERALL CONCLUSION: Asbestiform tremolite produced pleural tumors.

Asbestiform Tremolite — Animal Study

Light Microscopy: 320 X



SEM: 1800 X



SAMPLE: The exact origin of this tremolite asbestos from California, provided to Dr. Stanton by Johns-Manville, is unknown (26). "Both of these samples were from the same lot of asbestos and were in the optimal range of size for carcinogenesis" (27).

Aspect Ratio and Width Data

Aspect ratio and width data has not been developed due to concerns over the reliability of transcribing data presented in the literature (28). These difficulties result from questions over the accuracy (reproducibility) of size distribution data (especially for asbestiform samples — see discussion below). Size-data, however, does reflect a broad size distribution with many very long and very narrow fibers (i.e., < 0.25 width, > 20:1 aspect ratios).

ADDITIONAL MINERAL PARTICLE DATA:

Obtaining accurate dimensional data for these tremolite samples was difficult as reported by the investigators on page 965 of their report: "Of special interest are the data on the amphibole asbestoses: amosite, tremolite and crocidolite, though estimates of the dimensions of the asbestoses are especially liable to error." And on page 973: "In preparations of amphibole asbestos (which included the crocidolites and tremolites), we observed that both clumping and fragmentation of the particles were greater than those in other minerals, and estimates of particle size distribution in that the asbestiform characteristic of fiber bundles (reported as clumping), and the splitting of these bundles (reported as fragmentation), was the reason for the difficulty in obtaining accurate fiber size distributions.

ANIMAL STUDIES

Authors: Stanton, M.F., et al. (27) Pub. 1981

Test Animals: 20-week-old, outbred female Osborne-Mendal rats

Test Type: Pleural implantation

Protocol: A standard 40 mg dose of each tremolite asbestos sample was uniformly dispersed in hardened gelatin and applied by open thoracotomy directed to the left pleural surface. The animals were followed for 2 years, at which time the survivors were sacrificed and the tissue examined for pleural sarcomas.

Findings: Exposure to these tremolite asbestos samples resulted in tumor incidences in 22 out of 28 animals for Sample 1 and 21 out of 28 animals in Sample 2.

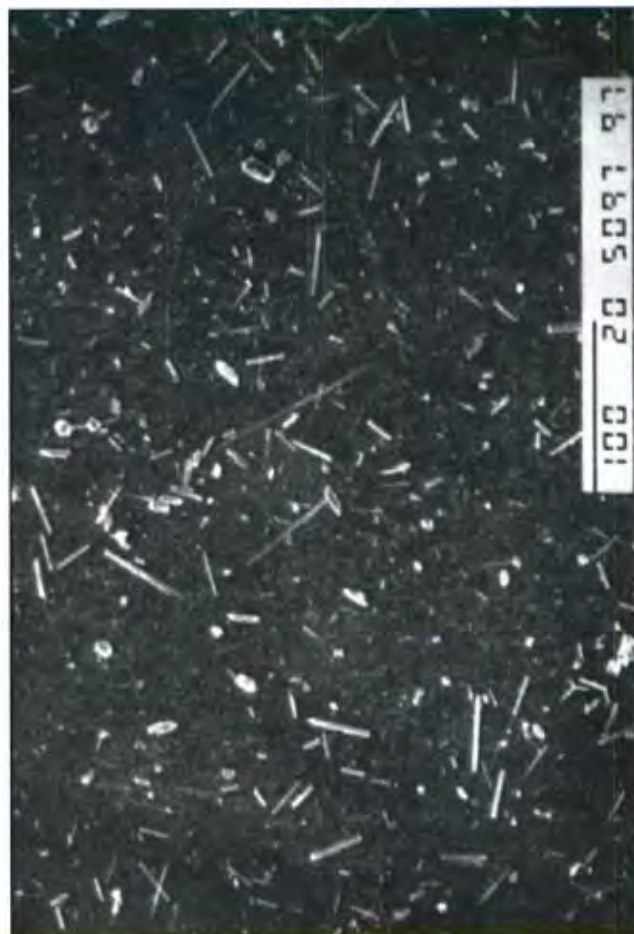
OVERALL CONCLUSION: **These asbestiform tremolites resulted in a significant carcinogenic response in the study population.**

Asbestiform Ferroactinolite — Animal Study

Light Microscopy: 400 X



SEM: 200 X



SAMPLE: "Test fibers were prepared from loose surface iron-formation rocks" (29).

NOTE: Although the reference photo-micrograph reflects actinolite asbestos, ferroactinolite is not a designated asbestos mineral. It appears, however, to be asbestiform.

Ferroactinolite Prior to Placement in the Animals				Ferroactinolite After Placement in the Animals			
				Mean After			
	Mean	Median	Range	1 Month	4 Months	12 Months	
Length	3.18	1.50	0.3 - 52.3	2.10	2.00	1.77	Length
Width	0.41	0.24	0.03 - 5.23	0.19	0.17	0.11	Width
Aspect Ratio	9.0	6.0	3.0 - 130.0	17.1	22.3	30.1	Aspect Ratio

ADDITIONAL MINERAL PARTICLE DATA:

"The estimated mineral particle content by volume was as follows: ferroactinolite fibers (50%), sheet silicate plates (20%), magnetite (5%), ferroactinolite and hornblende fragments (20%), and other minerals (5%)" (29). "Examination by transmission electron microscopy of low temperature ashed whole lung specimens of animals killed sequentially, indicated that the mineralogical characteristics of both ferroactinolite and amosite fibers changed in time. Longitudinal splitting of the fibers resulted in a greater number of thinner fibers with increased aspect ratio." "The ferroactinolite splitting reaction is more rapid and results in the formation of thinner and more numerous fibers than the amosite splitting reaction" (30).

ANIMAL STUDIES

Authors: Cook, P.M., Coffin, D.L., et al (29-30) 1982

Test Animals: Male Fischer - 344 rats

Test Type: Intratracheal instillation and intrapleural injection

Protocol: The intratracheal instillation experiment involved twelve week injections of 0.5 and 0.25 mg each in groups of 561 and 139 rats (ferroactinolite and amosite, respectively). For study of early pathological sequences and for the evaluation of clearance and fate of mineral fibers by electron microscopy, the animals were killed at various intervals up to 1 year, while others were allowed to live out their lives. The intrapleural injection experiment involved a single injection of 20 mg in groups of 135 and 137 rats. Animals were allowed to live out their lives.

Findings: "The data demonstrates that ferroactinolite produced neoplastic lesions through both routes of inoculation. On the basis of mass dose by intratracheal instillation on cogenic potency, it was greater for the ferroactinolite, whereas, by intrapleural inoculation, potency was greater for amosite, however, the difference was not statistically significant."

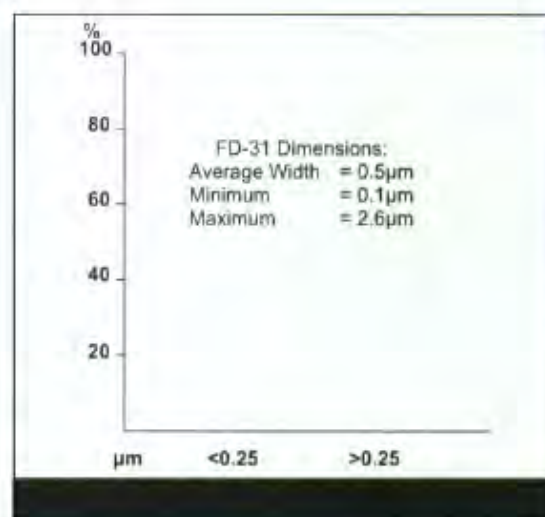
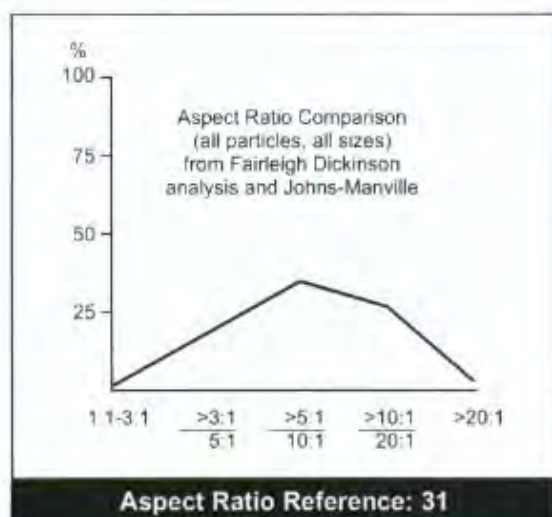
OVERALL CONCLUSION: **This study demonstrates a carcinogenic effect to asbestiform ferroactinolite.**

Asbestiform or Highly Fibrous Tremolite — Animal Study

SEM: 1250 X



SAMPLE: FD-31 was provided through Johns-Manville Corp. from a tremolitic talc in the Western United States (JM Sample 4368-31-3). The exact origin of this sample is unknown. This sample is generally considered a mineralogical curiosity.



ADDITIONAL MINERAL PARTICLE DATA:

The exact origin and preparation of this sample is unclear. Subsequent analysis of this sample suggests that: "The particle distribution in the sample is not typical of cleavage fragments of tremolite. The particles in Sample 31 appear to be composed of true fibers whose shape was attained by growth rather than cleavage." "Particles with a 20:1 aspect ratio are quite common." "There is at least one particle which appears to be a bundle of fibers although the photograph is too fuzzy to be absolutely sure, . . ." "This sample is probably not true asbestos, and would be more appropriately characterized as a stiff fibrous variety of amphibole, which is probably byssollite" (32).

ANIMAL STUDIES

Authors: Smith, W.E., et al (25) Pub. 1979

Test Animals: Male LUG:LAK hamsters, injected at 2 months of age.

Test Type: Intrapleural injection

Protocol: Single intrapleural injection of two dosages (10 and 25 mg). The sample was suspended in saline and sterilized by autoclave. The occurrence of tumors (unspecified) was noted at necropsies for a starting group of 50 animals per dose. After short-term sacrifice of some animals and the loss of others through acute enteritis, the occurrence of tumors was noted in nonsurvivors up to 600 days.

Findings: Three tumors out of 41 animals were found at the 10 mg dose, and 12 out of 28 animals were found at the 25 mg dose.

OVERALL CONCLUSION: A highly fibrous, possibly asbestiform tremolite (or byssollite) produced pleural tumors.

**Prismatic Tremolite
with Asbestiform Subpopulation — Animal Study**

Light Microscopy: 320 X



SEM: 1800 X

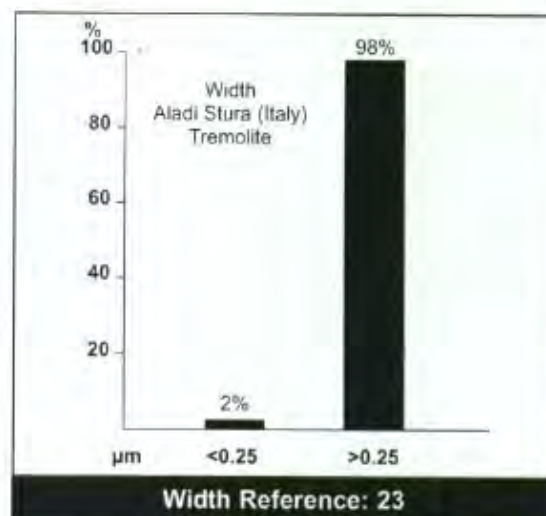
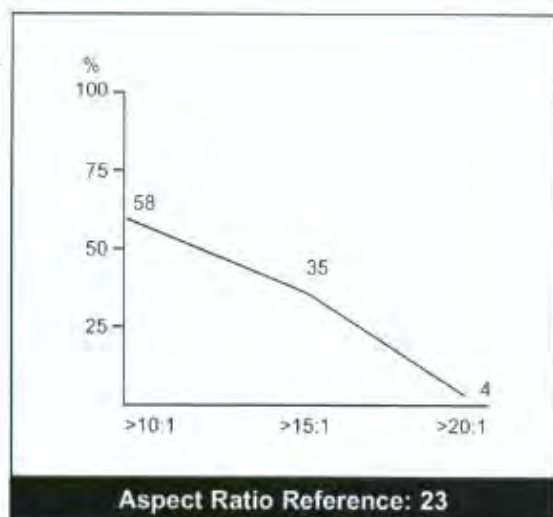


BULK MATERIAL



SAMPLE: The sample "consisted of large bundles of very long (often >5cm) needle-like fibers which were flexible and very elastic but quite brittle." "The tremolite from Italy contained mostly cleavage fragments, but some very long, thin fibers were observed." "The overall impression gained from dense SEM preparations, as shown in this paper, is that the Italian tremolite specimen did contain a certain amount of what observers would consider asbestiform fibers" (20).

Minerals have been characterized and verified as tremolite by x-ray diffractometry, optical microscopy, scanning electron microscopy and energy dispersive x-ray spectroscopy.



ANIMAL STUDIES

Authors: Davis, J.M.G., Addison, J. (20) Pub. 1991

Test Animals: AF/Han strain rats

Test Type: Peritoneal injection

Protocol: Fractions of this sample were obtained by generating an airborne dust cloud in an experimental chamber (Timbrell dust dispensers) with fine fractions collected using a vertical elutriator. A single 10 mg dose was injected into the peritoneal cavities of the animals. All animals lived out of their full life span or were killed when moribund.

Findings: 24 mesothelioma deaths out of 36 animals were observed with a median survival time of 755 days (contrasted to much shorter survival time for samples containing many tremolite asbestos fibers).

OVERALL CONCLUSION: Sample suggests the asbestiform subpopulation influenced late tumor development.

Prismatic Grunerite — Human Mortality Study

Light Microscopy: 320 X



SEM: 1200 X

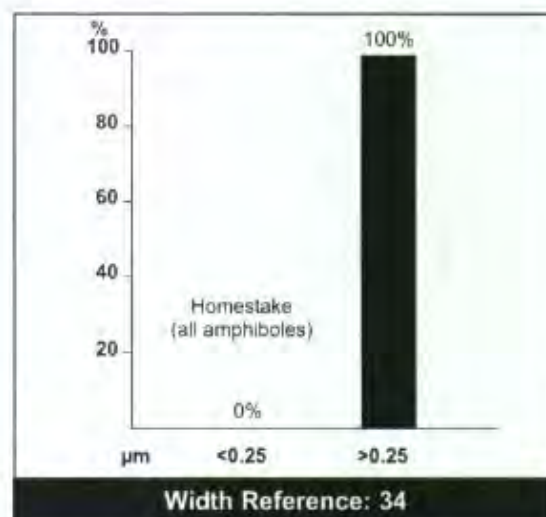
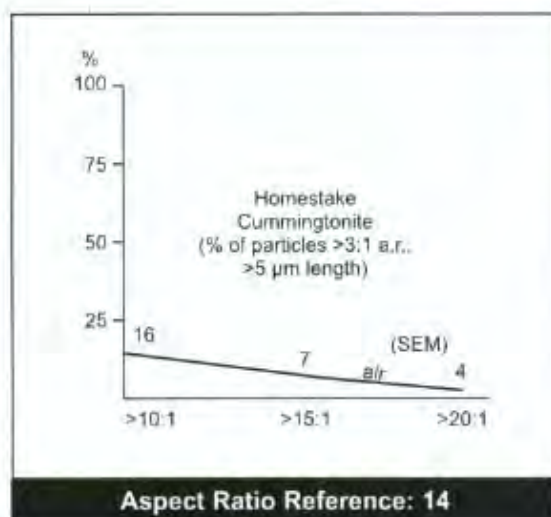


ORE: The ore is a cummingtonite-grunerite (CG), quartz deposit mined for its gold in Lead, S. Dakota (33).

ADDITIONAL MINERAL PARTICLE DATA:

266 Fibers examined with aspect ratio of > 2:1 (air)			
Minimum Width =	0.3 μm	Minimum Length =	0.9 μm
Mean Width =	1.1 μm	Mean Length =	4.6 μm
Maximum Width =	4.8 μm	Maximum Length =	17.5 μm

"Eighty-four percent of the airborne fibers were identified as amphiboles." "Sixty-nine percent of the amphiboles were characterized as CG, 15% as tremolite-actinolite, with the remaining 16% identified as fibrous hornblende minerals" (33). Note: tremolite-actinolite is reported as an atypical heterogeneous occurrence.



HEALTH STUDIES

Authors: McDonald, J.C., et al (35) Pub. 1978

Cohort: 1,321 men, worked > 21 years (in Co. Veteran's Assoc.)

Vital Status Cut Off: 1973

SMR (respiratory cancer): 103

Conclusion: "There was no convincing evidence of an increase in respiratory cancer." Relative to a high mortality from silicosis - "It is difficult to believe that deaths with so wide a distribution could systematically have blocked the appearance of respiratory cancer."

Authors: Brown, D.P., et al (33) Pub. 1986

Cohort: 3,328 men, > 1 year experience underground work between 1940 and 1965

Vital Status Cut Off: June 1, 1977

SMR (respiratory cancer): 100

Conclusion: "No association as measured by length of employment underground, by dose (total dust x time), or by latency was apparent with lung cancer mortality."

Authors: Steenland, K. et al (67) Pub. 1995

Cohort: 3,328 men, >1 year experience underground between 1940 and 1965

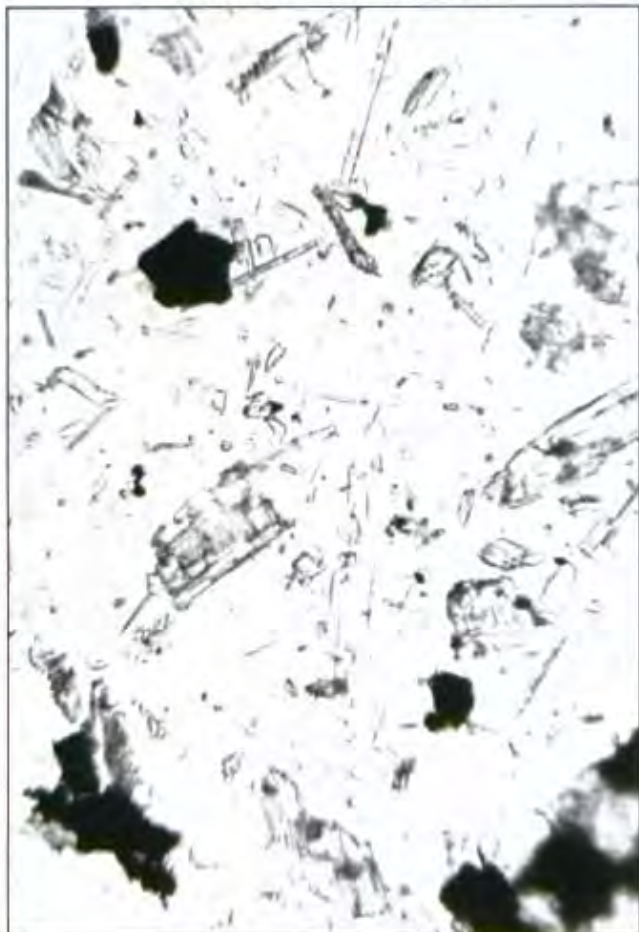
Vital Status Cut Off: Dec. 12, 1990

SMR (respiratory cancer): 115 (CI 94-136)

Conclusion: "Neither exposure to prismatic amphiboles nor silica was likely to be responsible for the observed excess of lung cancer, at least not in a way related to quantitative exposure to dust."

"There was only one death from asbestosis in this cohort - it would therefore appear that the prismatic fibers in this mine did not cause any marked excess of either asbestosis or lung cancer."

OVERALL CONCLUSION: **Prismatic amphibole exposure in this mining operation is not linked to excess lung cancer or mesotheliomas.**

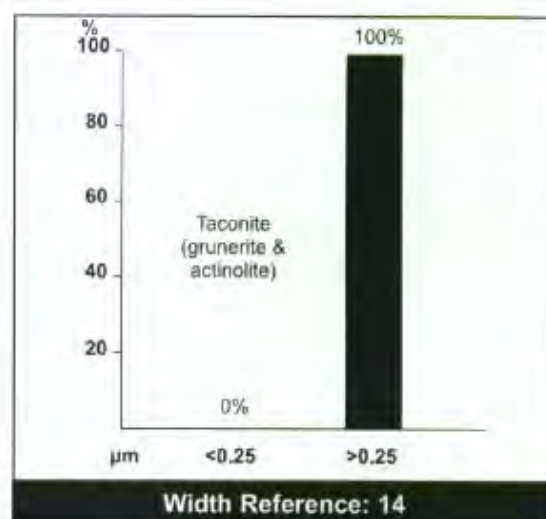
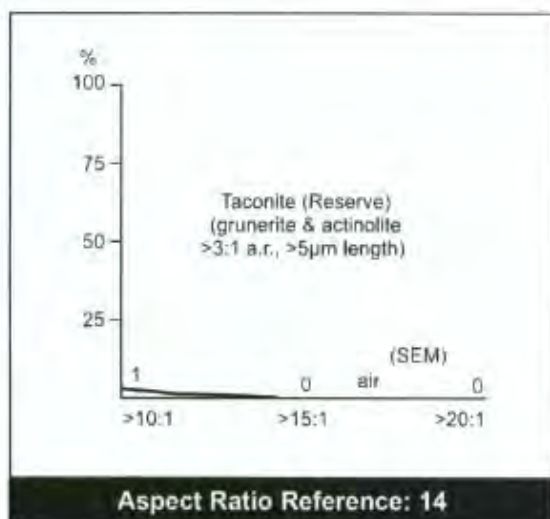
Prismatic Grunerite — Human Mortality Study**Light Microscopy: 320 X****SEM: 1200 X**

ORE: Minnesota taconite contains cummingtonite-grunerite, actinolite and hornblende amphiboles. Trace amounts of riebeckite also occur (36).

ADDITIONAL MINERAL PARTICLE DATA:

464 Fibers characterized with aspect ratio of > 2:1 (air)			
Minimum Width	=	0.25 μm	Minimum Length = 1.0 μm
Mean Width	=	1.2 μm	Mean Length = 5.5 μm
Maximum Width	=	5.0 μm	Maximum Length = 32.4 μm

"Zoltai and Stout (1976) in a report prepared for the Minnesota Pollution Control Agency, concluded that the cleavage fragments of cummingtonite-grunerite found in the Peter Mitchell Pit (Reserve Mining) should not be referred to as asbestiform" (37). "The fibers of taconite are short in length, the vast majority being less than 10 μm " (14).



HEALTH STUDIES

Authors: Higgins, I.T.T., et al (38) Pub. 1983 (Reserve Mining Co.)

Cohort: 5,751 men, worked > 1 year, 1952 to 1976

Vital Status Cut Off: July 1, 1976

SMR (respiratory cancer): 84 (full cohort), 102 (> 15 years latency)

Conclusion: "This study does not suggest any increase in cancer mortality from taconite exposure."

Authors: Cooper, W.C., et al (39) Pub. 1988 (Erie & Minntac Miners)

Cohort: 3,444, worked > 3 months 1947 to January 1, 1959

Vital Status Cut Off: 1983

SMR (respiratory cancer): 61 (full cohort), 57 (> 20 years latency)

Conclusion: "Respiratory tract cancer deaths were 39% fewer than expected (U.S. comparison) and 15% fewer than expected for Minnesota white men. Even when analysis was limited to deaths 20 or more years after first exposure, which provided ample opportunity for the leading edge of any excess in latent tumors to appear, there was no excess."

Authors: Cooper, W. C. et al (68) Pub. 1992 (Erie & Minntac Miners)

Cohort: 3,341 men, worked >3 months 1947 to Jan. 1, 1959

Vital Status Cut Off: Dec. 1988 (update - minimum 30 yr. observation period)

SMR (respiratory cancer): 67 (full cohort)

Conclusion: "no evidence to support any association between exposure to quartz or elongated cleavage fragments of amphibole with lung cancer, nonmalignant respiratory disease or any other specific disease."

OVERALL CONCLUSION: **Prismatic amphibole exposure in this mining operation is not linked to excess lung cancer.**

EXPOSURE EXHIBIT M

N.Y. STATE TREMOLITIC TALC

Prismatic Tremolite — Human Mortality Studies and Animal Studies

Light Microscopy: 320 X

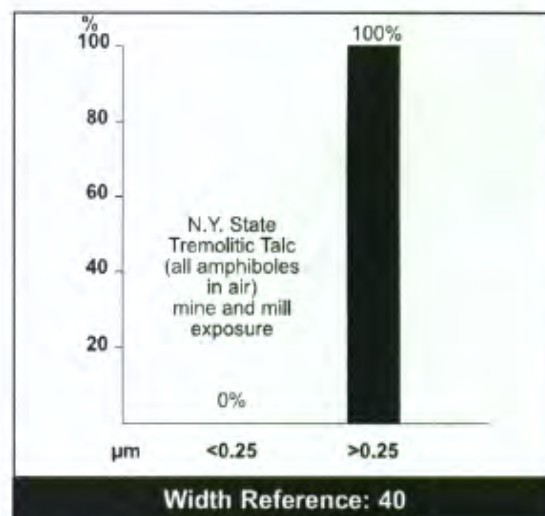
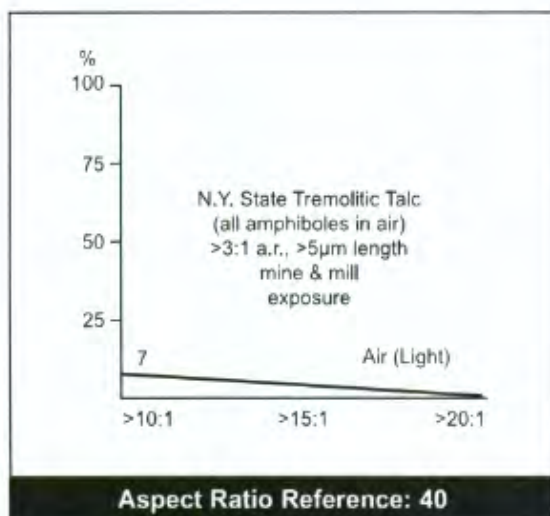


SEM: 1250 X



ORE: As mined and milled at the R. T. Vanderbilt Co., Gouverneur N.Y. mine: mainly talc (20-40%), and tremolite (40-60%) with minor antigorite and anthophyllite. Quartz trace, if detected at all (40).

Also contains minor but observable rod-like mixed talc/amphibole and ribbon-like talc fiber. (69).



ADDITIONAL MINERAL PARTICLE DATA:

R. T. Vanderbilt Mine: NIOSH reported upwards of 70% amphibole asbestos based upon % of all 3:1 aspect ratio or greater particles in air (41). However, the mining company states that **all** of the tremolite and anthophyllite in its talc products appear only in the prismatic habit (42,43). Varying in concentration from one grade to another, fibers of the mineral talc and to a much smaller extent "transitional" particles (talc evolving from anthophyllite) may also be found in this ore deposit. Some of these fibers do exhibit gross morphological characteristics consistent with an asbestiform habit. Such fibers, however, are rare and possess certain physical-chemical properties very different from amphibole asbestos (i.e. harshness, surface properties, etc.). Once fibrous talc is recognized in the analysis, the absence of asbestos in this material is consistently confirmed (40,44-49).

Stanton-Tremolitic Talc Samples 6 and 7: These talcs were positively identified as N.Y. State tremolitic talcs (50), and described as "refined raw materials for commercial products" (27). Sample 6 contained some very elongated particles which are likely to be talc fibers (see discussion above). These fibers did satisfy Stanton's critical dimension range (< 0.25 μm width, > 8 μm length). Sample 7 was reported as containing no particles in this dimensional range but is likely to be another fraction of the same sample.

Smith-Tremolitic Talc FD-14: This sample was supplied by the R. T. Vanderbilt Company and represents a high fiber product grade known as IT-3X (as sold). Analysis reported 50% tremolite, 10% antigorite, 35% talc (of which 25% was fibrous), 2-5% chlorite. Median particle length was 8.5 μm . Diameters (2,000X): < 1 μm = 20%, 1-2 μm = 36%, 2-4 μm = 32%, 4-6 μm = 8%, 6-8 μm = 2%, 10 μm = 2% (51). Tremolite varied considerably in their size lengths, ranging from 1 μm to 40-50 μm . "Talc fiber is abundant in the specimens, occurring as finely fibrous material with high aspect ratio. The talc fibers are also mineral mixtures, structurally talc and a magnesium amphibole. These minerals are also mixtures compositionally. The tremolite contained within the talc occurs as cleavage fragments and is not asbestiform on any level of examination" (45). (Reference includes specific analysis of International Talc-3X product.) In this animal study, this sample was used without comminution or separation.

HEALTH STUDIES (R. T. Vanderbilt Company, Inc.)

Authors: Brown, D.P., Wagoner, J.K., (NIOSH) (41) Pub. 1980

Cohort: 398 men, any work period between 1947-1959

Vital Status Cut Off: 1979

SMR (resp. cancer): 270

Conclusion: "Exposures to asbestiform tremolite and anthophyllite stand out as the prime suspect etiologic factors associated with the observed increase in bronchogenic cancer. . ." No confirmed mesotheliomas.

Critique: Amphibole asbestos is not involved. Excess lung cancer was not reasonably shown to be casually associated with the dust exposure (52-58).

Authors: Stille, W.T., Tabershaw, I.R. (59) Pub. 1982

Cohort: 708 men, any work period between 1947-1977

Vital Status Cut Off: 1978

SMR (resp. cancer): 157

Conclusion: "Elevated mortalities but no significant increases in number of deaths from lung cancer. . ." " . . . workers with exposures in other jobs prior to work at the TMX were found to have excessive mortality from lung cancer. . ."

Critique: Inadequate latency analysis, small cohort and missing data (i.e., smoking) (60).

Authors: Lamm, S.H., et al (61) Pub. 1988

Cohort: 705, worked any time between 1947-1977

Vital Status Cut Off: 1978

SMR (resp. cancer): 220

Conclusion: "This increase in lung cancer mortality. . . has been shown to be concentrated in short term employees (in contrast with nonmalignant respiratory disease). This increase. . . is most likely due to risk acquired elsewhere, such as prior employments, or to differences in smoking experience or other behavioral characteristics." "The risk did not appear to be associated with either the magnitude or the duration of exposure of GTC and was not different from that of workers at talc plants where ores did not contain tremolite or anthophyllite."

Critique: "The findings of these analyses. . . are based on assumptions, small numbers and short latency" (62).

Authors: Brown, D. P. et al (NIOSH) (70) Pub. 1990. Health Hazard Evaluation Report: Update of original NIOSH 1980 study

Cohort: 710, worked any time between 1947-1978

Vital Status Cut Off: 1983

SMR (resp. cancer): 207

Conclusion: "Workplace exposures at GTC are, in part, associated with these excesses in mortality. Possible confounding factors, such as cigarette smoking and other occupational exposures from employment elsewhere, may have contributed to these risks as well."

Critique: "When stratified by smoking, the odds ratios decreased with tenure and the trend analysis were significant. In short, the analysis showed a strong association between lung cancer and cigarette smoking, and there appeared to be an inverse relationship between exposure and the development of lung cancer." (71).

Authors: Gamble, J., et al (71) Pub. 1993

Cohort: Case control applied to above NIOSH Cohort

SMR (resp. cancer): 207

Conclusion: "When stratified by smoking status, risk of lung cancer decreased with talc tenure and remained negative when excluding cases with <20 years latency and short-term workers. These data suggest that non-talc exposures are not confounding risk factors (for lung cancer) while smoking is, and that temporal and exposure-response relationships are consistent with a smoking etiology but not an occupational etiology for lung cancer."

Critique: No dust data and disagreement over whether the elevated smoking rates would or would not account for all the excess.

Authors: Honda, Y. et al (73) Pub. 2002

Cohort: 818 men, worked any time between 1947-1998 (Retrospective Mortality study update with exposure estimation study)

Vital Status Cut Off: January 1, 1990

SMR (resp. cancer): 254

Conclusion: "The results of this study are similar to those of earlier investigations. The cohort giving rise to the lung cancer was seen among subjects unexposed to GTC talc. These features suggest that some of the apparent increase is due to exposure to tobacco smoke. Mill workers and mine workers had similar estimated cumulative dust exposures, yet the excess of lung cancer was considerably stronger among miners than among millers. This indicates that GTC talc dust, per se, did not produce the excess. Most important, the presence of an inverse relationship between estimated cumulative exposure and lung cancer is inconsistent with the hypothesis that GTC talc dust is a carcinogen. The results of experimental animal studies also do not provide any support for this hypothesis."

ANIMAL STUDIES

Authors: Stanton, M.F., et al (27) Pub. 1981

Test Animals: 20-week-old outbred female Osborne-Mendel rats

Test Type: Pleural implantation

Protocol: A standard 40 mg dose of each sample was uniformly dispersed in hardened gelatin and applied by open thoracotomy directly to the left pleural surface. The animals (30-90 for each experiment) were followed for 2 years, at which time all surviving animals were sacrificed and the tissues examined for pleural sarcomas.

Findings: Exposure to these tremolitic talc samples resulted in no incidence of tumors. Similarly tested tremolite asbestos reflected a high tumor rate (see Exposure Exhibit G).

Authors: Smith, W. E., et al (25) Pub. 1979

Test Animals: Male LUG:LAK hamsters, injected at 2 months of age

Test Type: Intrapleural injection

Protocol: Single intrapleural injection of two dosages (10 and 25 mg). The sample was suspended in saline and sterilized by autoclave. The occurrence of tumors (unspecified) was noted at necropsies for a starting group of 50 animals per dose. After short term sacrifice of some animals and the loss of others through acute enteritis, the occurrence of tumors was noted in nonsurvivors up to 600 days.

Findings: No tumor development was noted. In contrast, tremolite asbestos similarly tested did produce tumors (see Exposure Exhibit F).

CELL STUDIES

Authors: Wylie, A. G., et al (72) Pub. 1997

Study: In vivo cytotoxicity and proliferative potential in HTE & RPM cells contrasting asbestos fibers to similar dose talc and transitional fibers (concentrate) from RTV talc.

Conclusion: "Our experiments also show that fibrous talc does not cause proliferation of HTE cells or cytotoxicity equivalent to asbestos in either cell type despite the fact that talc samples contain durable mineral fibers with dimensions similar to asbestos. These results are consistent with the findings of Stanton, et al (1981) who found no significant increases in pleural sarcomas in rats after implantation of materials containing fibrous talc."

OVERALL CONCLUSION: **Human Studies - A definite link between prismatic tremolite and respiratory cancer in the R. T. Vanderbilt Company talc mining population has not been demonstrated.**

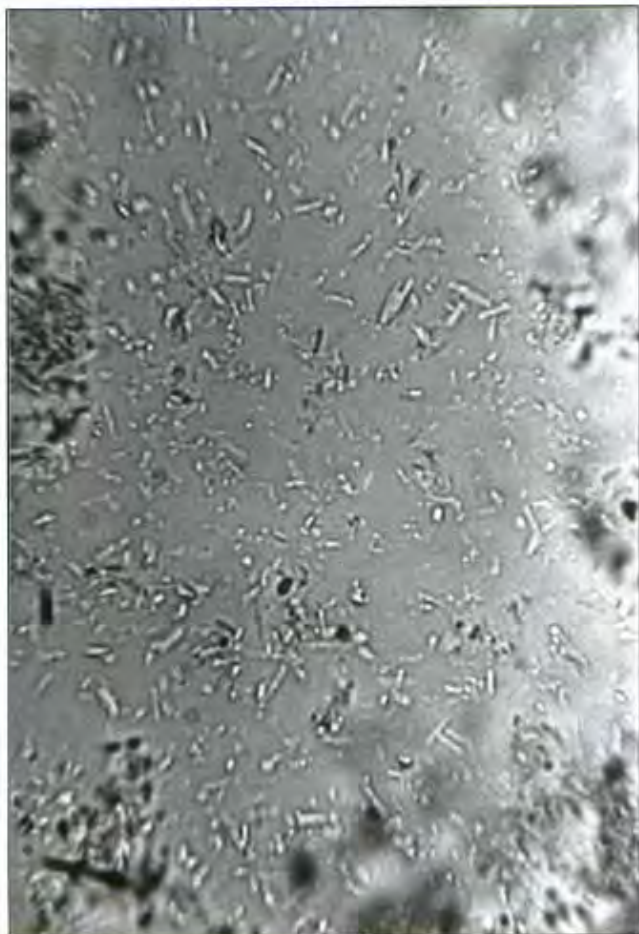
Animal Studies - N. Y. State tremolitic talc containing a high prismatic tremolite content produced no carcinogenic response in rats or hamsters.

EXPOSURE EXHIBIT N

**SMITH-TREMOLITE FD-275-1 AND
MCCONNELL TREMOLITE 275**

Prismatic Tremolite — Animal Studies

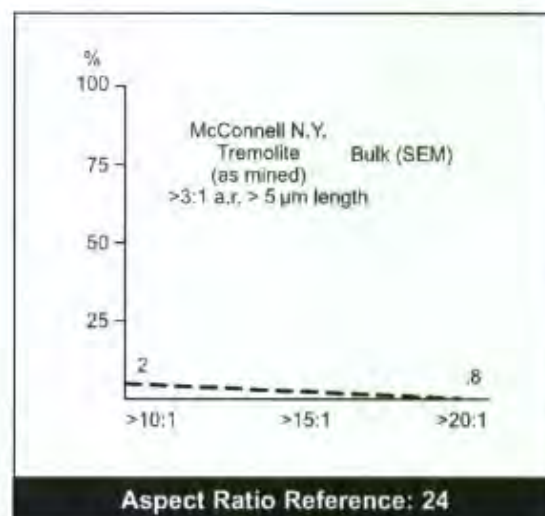
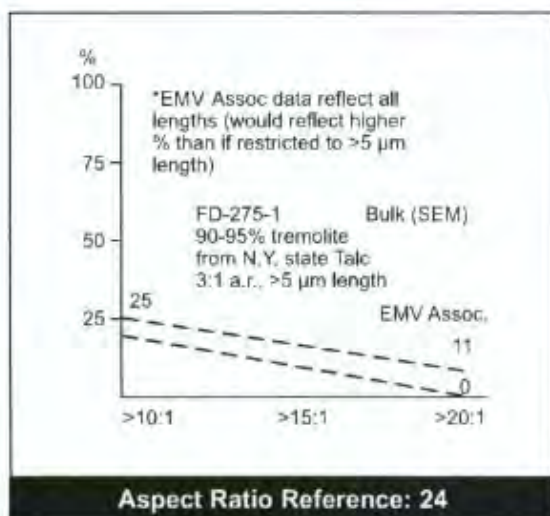
Light Microscopy: 320 X



SEM: 1250 X



SAMPLE: Both FD-275-1 and 275 originated from N.Y. State tremolitic talc ore. Both samples represent tremolite concentrates from this ore.



ADDITIONAL MINERAL PARTICLE DATA:

Tremolite 275 was selected from N.Y. tremolitic talc ore from an area rich in tremolite. This ore was provided to the Bureau of Mines (BOM) for mineral and elemental particle size characterization as well as use in an animal feeding study by Dr. E. McConnell (sample contained approximately 70% tremolite with the remainder talc and antigorite). Also, an aliquot of this sample was further processed to obtain a higher tremolite concentrate for use in another animal study by Dr. William Smith (approximately 95% tremolite).

The processing of FD-275-1 involved crushing, milling, separation via sedimentation and filtering to obtain only the respirable fraction. Particle size characterization of FD-275-1 was undertaken by Dr. Smith (via EMV Assoc. Inc.), and by the BOM.

For FD-275-1, no particles with a width < 1 µm and length of > 10 µm were observed (200 particles via SEM). For FD-275 (McConnell tremolite), a mean width of 3.4 µm for particles > 6 µm in length was recorded (for amosite similarly sized mean width = 0.4 µm).

ANIMAL STUDIES

Authors: Smith, W.E., et al (25) Pub. 1979

Test Animals: Male LUG:LAK Hamsters

Test Type: Intrapleural injection

Protocol: Single intrapleural injection of two dosages (10 and 25 mg). The occurrence of tumors (unspecified) was noted at necropsies for a starting group of 50 animals per dose. After short term sacrifice of some animals and the loss of others through acute enteritis, the occurrence of tumors was noted in nonsurvivors up to 600 days.

Findings: No tumor development was noted. In contrast, tremolite asbestos similarly tested did produce tumors (see Exposure Exhibit F).

Authors: McConnell, E.E., et al (64) Pub. 1983

Test Animals: Male and female Fischer 344 rats

Test Type: Ingestion

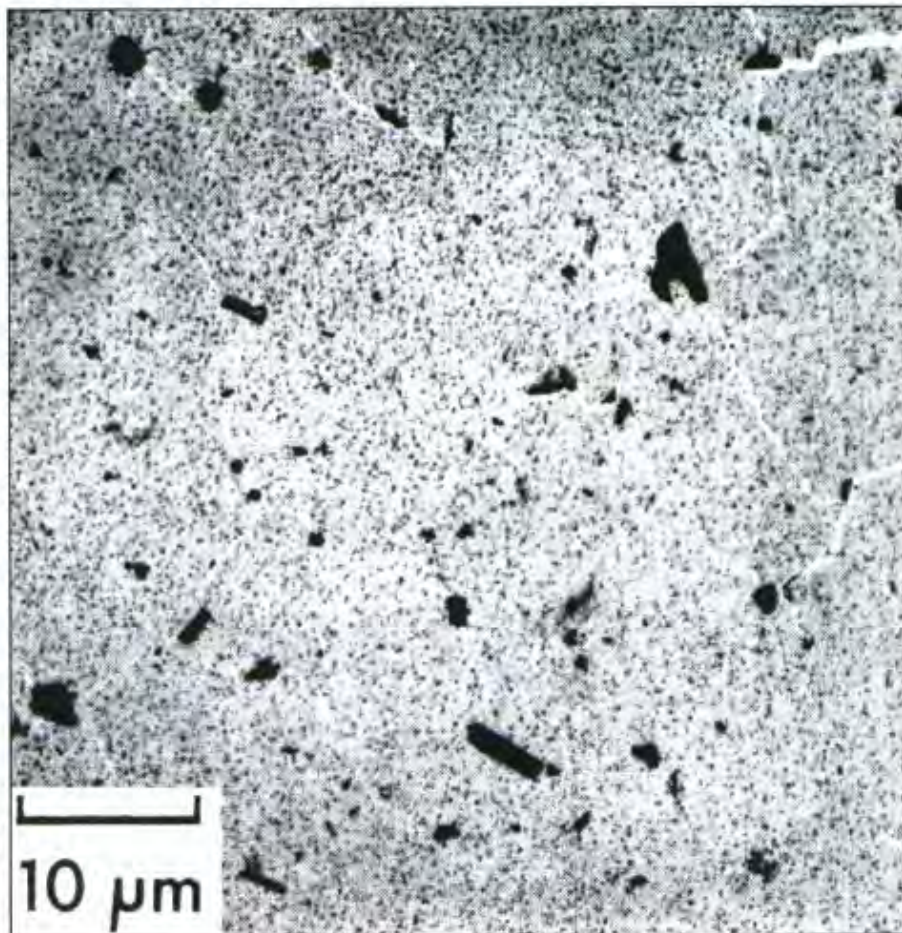
Protocol: Prismatic tremolite and amosite were administered alone and in combination at a concentration of 1% in the daily diet of rats. Rats were sacrificed when exhibiting specified symptoms, or when less than 10% of the test group survived. Group size varied from 100 to 250 animals.

Findings: No toxic or neoplastic lesions were observed in the target organs - gastrointestinal tract, or mesothelioma for either the tremolite or the amosite.

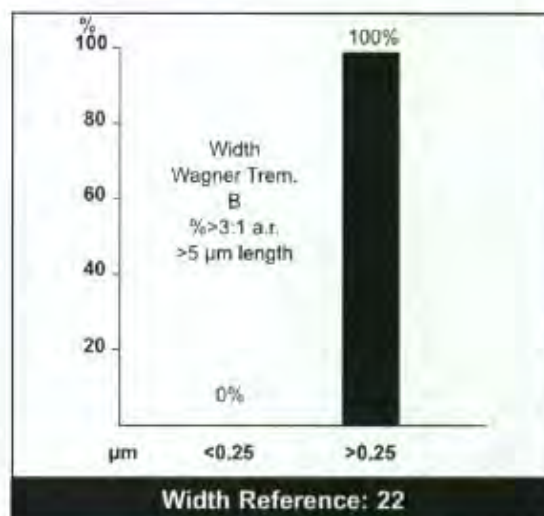
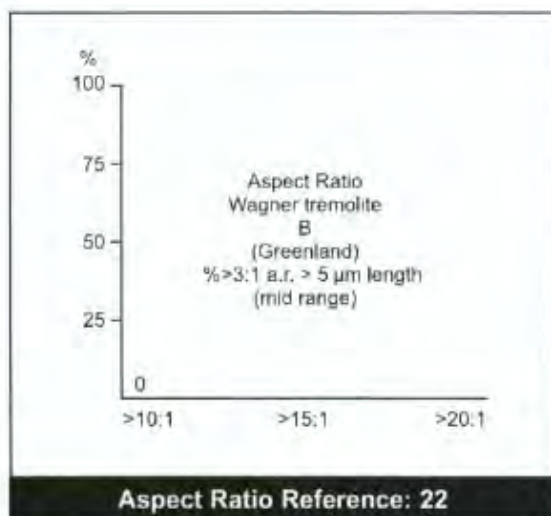
OVERALL CONCLUSION:

A concentrate of N.Y. State tremolite prismatic produced no pleural tumors in hamsters and no gastrointestinal tract neoplastic lesions in rats.

Prismatic Tremolite — Animal Study



SAMPLE: Prepared from a rock specimen from Greenland. Referenced as tremolite "B" (22).



ADDITIONAL MINERAL PARTICLE DATA:

- 100% of particles > 5 µm have diameters > 1.0 µm
- 100% of particles are less than 10 µm long
- 100% of particles > 5 µm length have aspect ratios < 10:1 (22)

ANIMAL STUDIES

Authors: Wagner, J.C., et al (22) Pub. 1982

Test Animals: Sprague-Dawley rats 6-10 weeks old when injected

Test Type: Pleural injection

Protocol: A single 20 mg injection into the right pleural cavity of 48 rats was applied. "The sample was prepared by milling in a small agate mill and ultrasonic dispersion, large particles being removed by sedimentation in water." The sample was sterilized by autoclave and introduced in saline solution. All animals were allowed to live out their lives or necropsied when moribund for tumors (unspecified-reported as "mesotheliomas").

Findings: No tumors were noted in 48 rats. One sample of tremolite asbestos was tested under the same protocol (see Exposure Exhibit C).

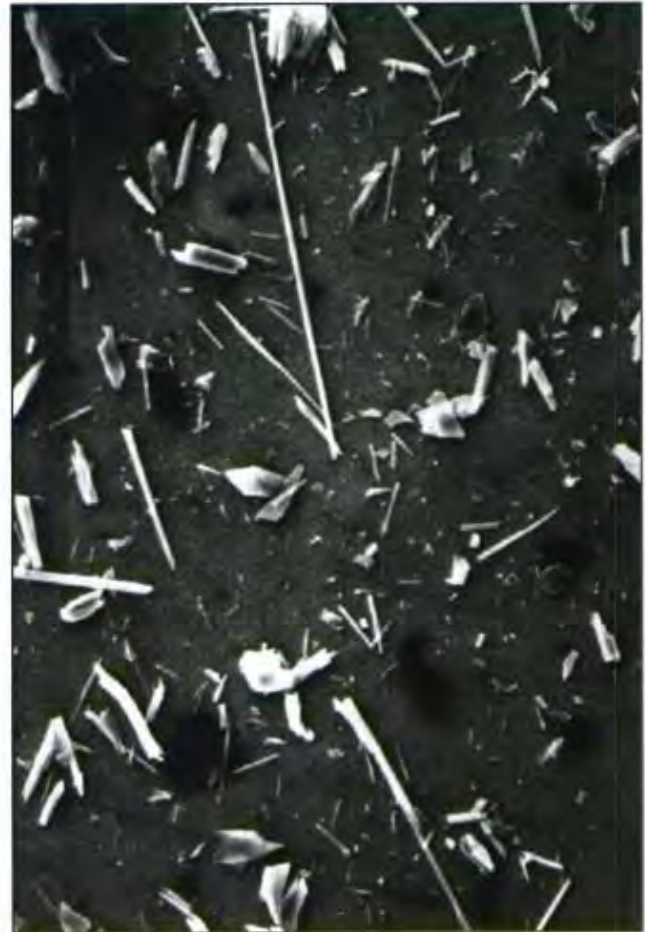
OVERALL CONCLUSION: Prismatic tremolite produced no tumors in the test animals.

Prismatic Tremolite — Animal Study

Light Microscopy: 320 X

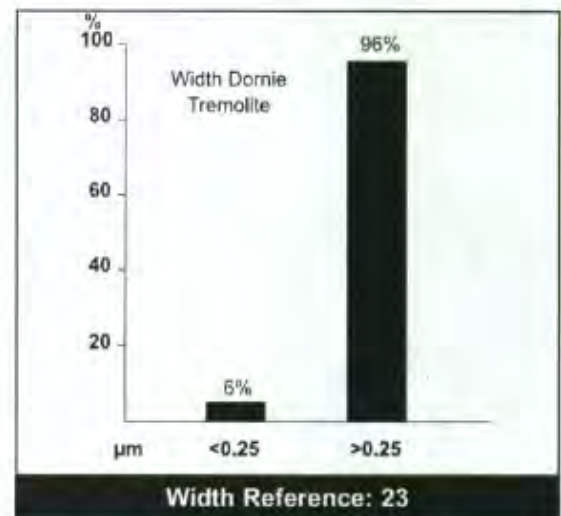
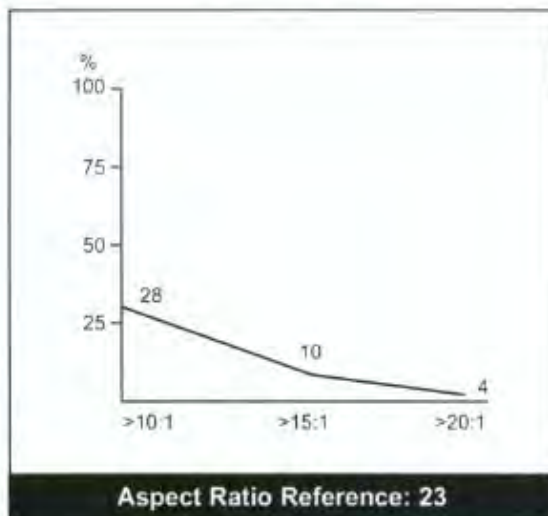


SEM: 190 X



SAMPLE: Like the tremolite from Italy (see exhibit J), this sample "contains mostly cleavage fragments, but some very long, thin fibers were also observed." There are more fibers longer than 8 μm in this sample than in the Italian sample, but most were $>1 \mu\text{m}$ in diameter. A small amphibole asbestiform subpopulation may also exist in this sample as it does in the Italian sample (though this is less clear). "The material contains several populations of varying habits of a member of the tremolite-actinolite solid solution series." (65). Both this sample and the Italian sample are not typical of tremolite prismatic cleavage fragment populations. Both exhibit the presence of byssolite in the samples.

Minerals were characterized and verified as a tremolite by x-ray diffractometry, optical microscopy, scanning electron microscopy and energy dispersive x-ray spectroscopy.



ANIMAL STUDIES

Authors: Davis, J.M.G., Addison, J. (20) Pub. 1991

Test Animals: AF/Han strain rats

Test Type: Peritoneal injection

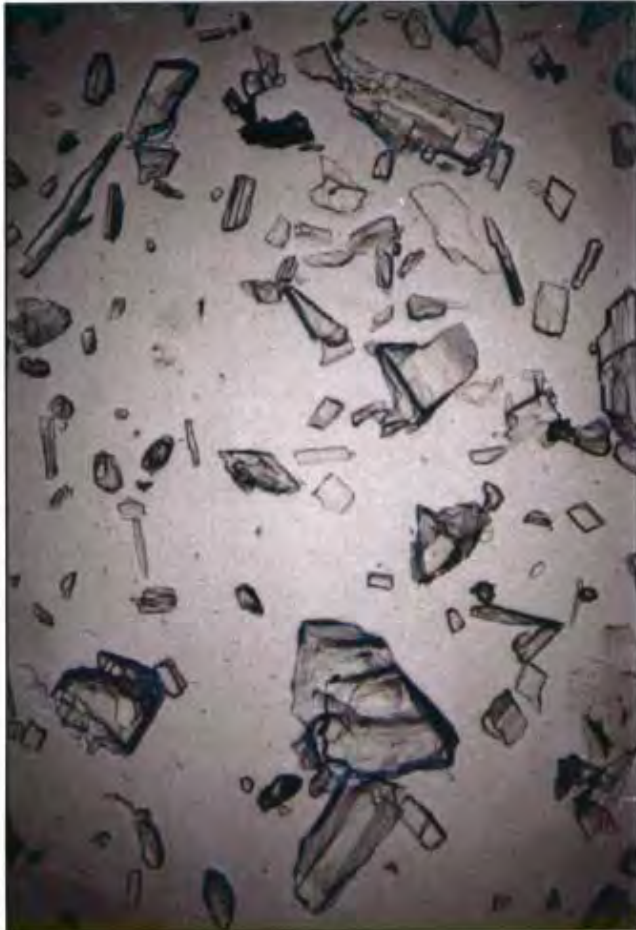
Protocol: Fractions of this sample were obtained by generating an airborne dust cloud in an experimental chamber (Timbrell dust dispensers) with fine fractions collected using a vertical elutriator. A single 10 mg dose was injected into the peritoneal cavities of the animals. All animals lived out of their full life span or were killed when moribund.

Findings: 4 mesothelioma deaths out of 33 animals were observed with no median survival time published (too few tumors for median survival times to be calculated). It is important to note - as stated in the study - "The intraperitoneal injection test is extremely sensitive, and it is usually considered that, with a 10 mg dose, any dust that produced tumors in fewer than 10% of the experimental group is unlikely to show evidence of carcinogenicity following administration by the more natural route of inhalation - the material from Dornie is probably to be considered harmless to human beings."

OVERALL CONCLUSION: This predominantly prismatic tremolite produced no significant carcinogenic response in the test animals and is likely harmless to humans.

Prismatic Tremolite — Animal Study

Light Microscopy: 45 X

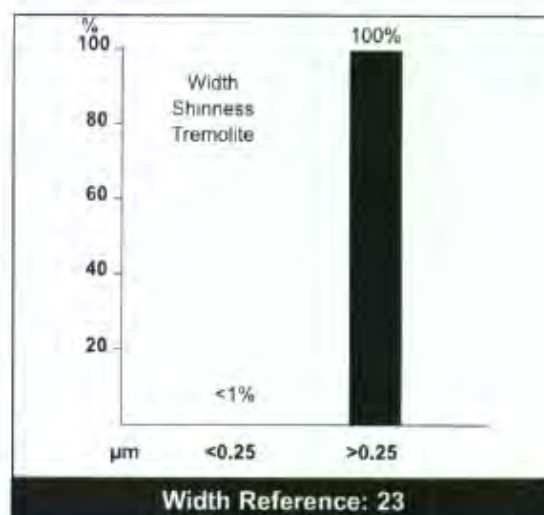
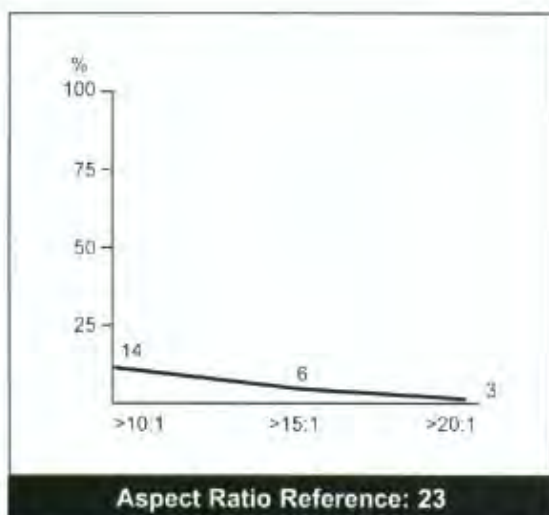


SEM: 1800 X



SAMPLE: "The Shinness tremolite dust was almost exclusively composed of cleavage fragments, only a small portion of which had an aspect ratio greater than 3:1."

Minerals were characterized and verified as tremolite by x-ray diffractometry, optical microscopy, scanning electron microscopy and energy dispersive x-ray spectroscopy.



ADDITIONAL MINERAL PARTICLE DATA:

"In the optical microscopy and SEM examinations, the asbestos tremolites were found to be typical of that form in displaying polyfilamentous fiber bundles, curved fibers, fibers with splayed ends, and long, thin, parallel-sided fibers. Most of the fibers showed straight extinction when observed with polarized light under crossed polarizers, indicating the presence of multiple twinning of the crystals." "Samples did contain some elongated fragments of tremolite with oblique extinction, stepped ends, and nonparallel sides indicating that they were cleavage fragments." (20)

ANIMAL STUDIES

Authors: Davis, J.M.G., Addison, J. (20) Pub. 1991

Test Animals: AF/Han strain rats

Test Type: Peritoneal injection

Protocol: Fractions of this sample were obtained by generating an airborne dust cloud in an experimental chamber (Timbrell dust dispensers) with fine fractions collected using a vertical elutriator. A single 10 mg dose was injected into the peritoneal cavities of the animals. All animals lived out of their full life span or were killed when moribund.

Findings: 2 mesothelioma deaths out of 36 animals were observed (well below background for test method). There were too few tumors for median survival times to be calculated. Authors state: "Human exposure to a material such as that obtained from Shinness Scotland, whether as a pure mineral dust or as a contaminant of other products, will almost certainly produce no hazard."

OVERALL CONCLUSION: **This prismatic tremolite produced no carcinogenic response in the test animals.**

Prismatic Actinolite - Animal Study

No photograph available.

SAMPLE: Origin of sample unknown.

DIMENSIONAL DATA: Not provided by author.

ANIMAL STUDIES:

Authors: Pott, F. et al (66) Pub. 1974

Test Animals: Wistar rats

Test Type: Peritoneum injection.

Protocol: Assorted fibrous dust (chrysotile, anthophyllite asbestos, actinolite asbestos, wollastonite, glass fibers, gypsum, etc.) and granular dust (prismatic actinolite, biotite, talc, etc.) were intraperitoneally injected (up to 12.5 mg/ml) into varying test groups of 40 rats at various dosages.

Findings: The "fibrous" dusts (with some exceptions such as gypsum, slag wool, and wollastonite), induced varying tumor development while the granular dusts reflected little to no tumors (prismatic actinolite - no tumors). "Very low doses between 0.05 and 0.5 mg asbestos led to tumor incidences of about 20% to 80%."

(This page intentionally left blank.)

SUMMARY

MINERAL HABIT AND CARCINOGENICITY

**CLEAR AMPHIBOLE
ASBESTOS
EXPOSURES**
(amphibole asbestos)

Libby Vermiculite (H)
Greek Tremolite (H)
Smith FD-72 (A)
Stanton Tremolite #1 (A)
Stanton Tremolite #2 (A)
Wagner Korean Tremolite (A)
Davis Korean Tremolite (A)
Addison/Davis Jamestown Tremolite (A)
Addison/Davis Korean Tremolite (A)
Addison/Davis Swansea Tremolite (A)

**PREDOMINANTLY
ASBESTIFORM
AND/OR
HIGHLY FIBROUS**

Cook/Coffin-Ferroactinolite (asbestiform) (A)
Smith FD-31 (unique Tremolite/Byssolite) (A)
Addison/Davis Italian Tremolite (highly fibrous
with asbestos subpopulation) (A)

**COMMON
PRISMATIC
AMPHIBOLE
EXPOSURES**

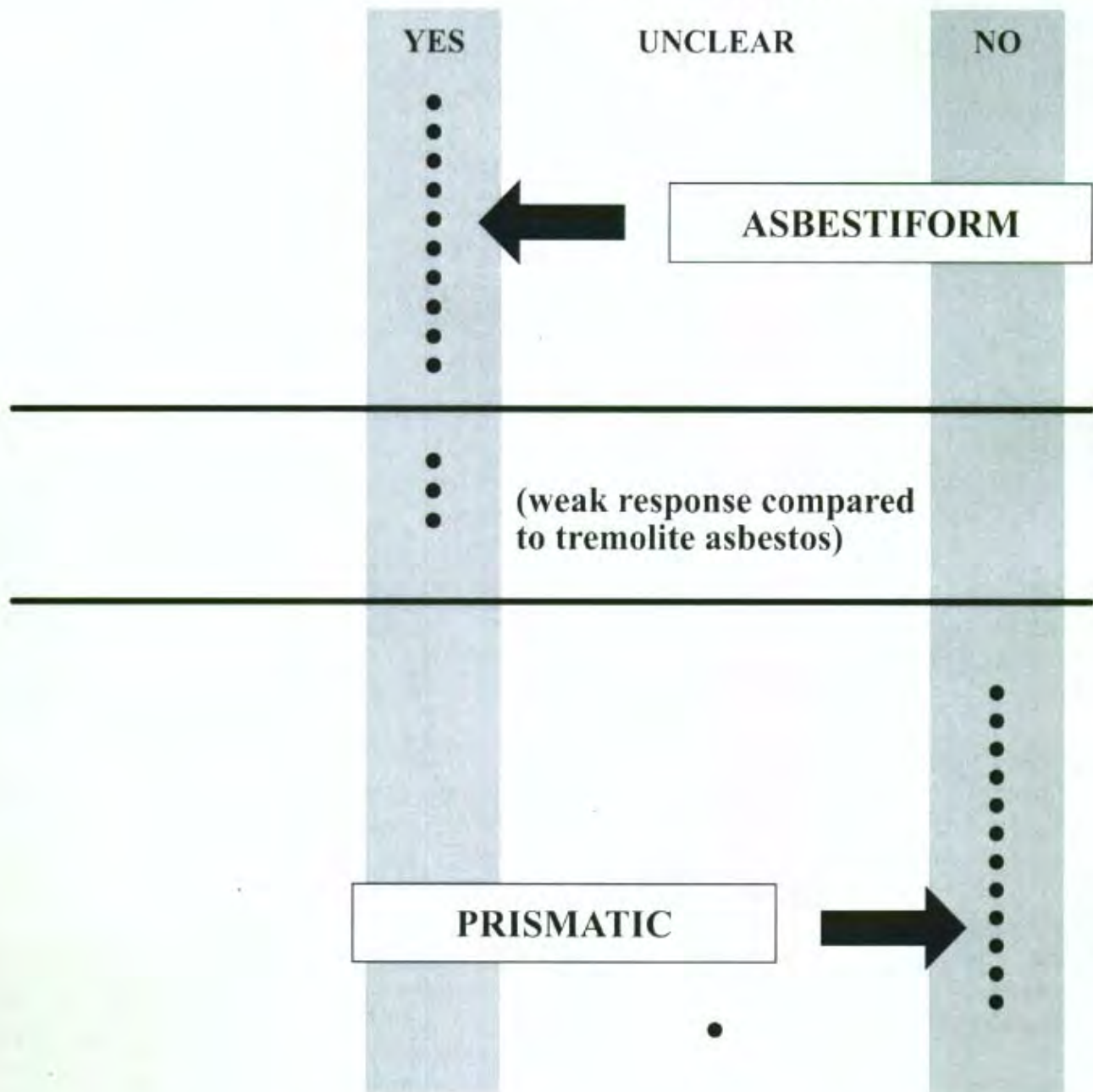
Homestake (C-G) (H)
Mesabi Range-Taconite (C-G, trace Actinolite) (H)
Smith FD-14 (Tremolitic Talc) (A)
Smith FD-275 (conc. Tremolite) (A)
McConnell Tremolite (conc. Tremolite) (A)
Stanton Talc #6 (Tremolitic Talc) (A)
Stanton Talc #7 (Tremolitic Talc) (A)
Pott-Granular Actinolite (A)
Wagner California Tremolite (A)
Wagner Greenland Tremolite (A)
Addison/Davis Dornie Tremolite (A)
Addison/Davis Shinness Tremolite (A)
N.Y. State Tremolitic Talc (neg. for animals) (H)

(H) = Human Studies

(A) = Animal Studies

C-G = Cummingtonite-grunerite

CARCINOGENIC RESPONSE



CONCLUSION

Difference Exists Mineralogically

AND

Biologically

In 1992, after many years of scientific review, the Occupational Safety and Health Administration (OSHA) specifically excluded elongated prismatic cleavage fragments from the scope of their asbestos standard. OSHA's decision to recognize the key mineralogic and biologic distinctions reviewed in this pictorial presentation was instrumental in that decision.

Because this matter involves scientific issues ranging from geology, mineralogy and health, the authors believe it is important that these complex relationships be explained as simply as possible. This matter remains a source of confusion to many and the consequences of misunderstanding can be immense.

Sustaining confusion is an unfortunate array of overly broad asbestos analytical protocols and definitions now being applied in mixed dust environments. To address analytical ambiguities, appendix II is provided.

REFERENCES

1. Kuryvial, R. J., Wood, R. A., and Barrett, R. E.: Identification and Assessment of Asbestos Emissions from Incidental Sources of Asbestos. Environmental Protection Agency Report, EPA-650/2-74-087, (1974).
2. Gillett, Richard S. and Virta, Robert L.: Analysis of the Cost Effectiveness of the OSHA Regulation of Nonasbestiform Amphiboles with Respect to Selected Sectors of the Domestic Minerals Industry. United States Department of the Interior, Bureau of Mines Report, p. 1-55, (September 22, 1989).
3. McAfee, G. M. and Wolf, C.: Glossary of Geology. American Geological Institute, (1974).
4. Snyder, J., Virta, R. L., and Segret, R.: Evaluation of the Phase Contrast Microscopy Method for the Detection of Fibrous and other Elongated Mineral Particulates by Comparison with STEM Technique. American Industrial Hygiene Association Journal, 48(5): 471-477, (1987).
5. Campbell, W. J., and Huggins, C. W., and Wylie, A. G.: Chemical and Physical Characterization of Amosite, Chrysotile, Crocidolite and Nonfibrous Tremolite for Oral Ingestion Studies by the National Institute of Environmental Health Sciences. U.S. Bureau of Mines Report of Investigation No. 8452, p. 48, (1980).
6. Gibbs, G. W., and Hwang, C. Y.: Dimensions of Airborne Asbestos Fibers in Biological Effects of Mineral Fibers. Vol. 1, J.C. Wagner Edition, IARC Scientific Publication No. 30, p. 79-86, Lyon, France, (1980).
7. Pooley, F. D., and Clark, N. A.: Comparison of Fiber Dimensions in Chrysotile, Crocidolite, and Amosite Particles from Sampling of Airborne Dust and from Post Mortem Lung Tissue Specimens. Biological Effects of Mineral Fibers, Vol. 1, J.C. Wagner Edition, IARC Scientific Publication No. 30, p. 79-86, Lyon, France, (1980).
8. Wylie, A. G., and Schweitzer, P.: The Effects of Sample Preparation and Measuring Techniques on the Shape and Shape Characterization of Mineral Particles, The case of Wollastonite. Environmental Research, Vol. 27, p. 52-73, (1982).
9. Wylie, A. G.: Collected on Location by MSHA, Homestake Mining Company, (1985).
10. Eckert, J.: Dimensions of Airborne Cummingtonite Particles from the Homestake Mine, Lead, South Dakota. Unpublished Senior Thesis, Department of Geology, University of Maryland, p. 10, (1981).
11. Campbell, W. J., et al.: Selected Silicate Minerals and Their Asbestiform Varieties. U.S. Bureau of Mines Information Circular No. 8751, p. 56, (1977).
12. Campbell, W. J., Steel, E. B., Virta, R. L., and Eisner, M. H.: Relationship of Mineral Habit to Size Characteristics for Tremolite Cleavage Fragments and Fibers. U.S. Bureau of Mines Report of Investigation, No. 8367, p. 18, (1979).
13. McDonald, J.C., McDonald, A. D., Armstrong, B., and Sebastien, P.: Cohort Study of Mortality of Vermiculite Miners Exposed to Tremolite. British Journal of Industrial Medicine, 43: 436-444, (1986).
14. Wylie, A. G.: Relationship Between the Growth Habit of Asbestos and the Dimensions of Asbestos Fibers, Mining Engineering, p. 1036-1040, (1988).
15. Amandus, H., Wheller, R., and Jankovic, J.: Part II: The Morbidity and Mortality of Vermiculite Miners and Millers Exposed to Tremolite-Actinolite. Part I: Exposure Estimates. American Journal of Industrial Medicine, 11:1-14, (1987).

16. Langer, A. M., Mackler, A. D., and Pooley, F. D.: Electron Microscopic Investigation of Asbestos Fibers. *Environmental Health Perspectives*, Vol. 9, p. 63-80, (1974).
17. Langer, A. M., and Nolan, R. P.: Letter to the R. T. Vanderbilt Company, Inc., (March 12, 1990).
18. Langer, A. M., Nolan, R. P., Constantopoulos, S. H., and Moutsopoulos, H. M.: Association of Metsovo Lung and Pleural Mesothelioma with Exposure to Tremolite Containing Whitewash, *The Lancet* I, April, p. 965-967, (1987).
19. Lee, R.J.: Correspondence to Rick Renninger on the source of Korean tremolite asbestos samples used in J.M.G. Davis and Wagner animal studies. National Stone Association, (April 21, 1990).
20. Davis, J.M.G., Addison, J., McIntosh, C., Miller, M., and Niven, K.: Variations in the Carcinogenicity of Tremolite Dust Samples of Differing Morphology. *Annals of the New York Academy of Sciences*, Vol. 643, p. 473-490, (1991).
21. Davis, J. M. G., Addison, J., Bolton, R. E., Donaldson, K., Jones, A. D., and Miller, B. G.: Inhalation Studies on the Effects of Tremolite and Brucite Dust. *Carcinogenesis*, 6:667-674, (1985).
22. Wagner, J. C., and Berry, C. B.: Mesotheliomas in Rats Following Inoculation with Asbestos. *British Journal of Cancer*, 23:567, (1969); and Wagner, J. C. et al.: Biological Effects of Tremolite. *British Journal of Cancer*, 45:352-360, (1982).
23. Lee, R. J.: Correspondence to Rick Renninger relaying aspect ratio and width distribution data on the J. Addison and J.M.G. Davis tremolite samples. National Stone Association, (April 16, 1990).
24. EMV Associates, Inc.: Consultant Report to R. T. Vanderbilt Company, Inc. on Particle Size Analysis of Tremolite Samples, (September 1977).
25. Smith, William E., Hubert, D., Sobel, H., and Marquet, E.: "Biologic Tests of Tremolite in Hamsters." *Dusts and Disease*, p. 335-339, (1979).
26. Harvey, A. M.: Interoffice Memorandum - R. T. Vanderbilt Company, Inc. to Dr. C. S. Thompson - Subject: Tremolite Asbestos, (February 11, 1976).
27. Stanton, M. F., Layard, M., Tegeris, A., Miller, E., May, M., Morgan, E., and Smith, A. Relation of Particle Dimension to Carcinogenicity in Amphibole Asbestos and Other Fibrous Minerals. *Journal of the National Cancer Institute*, 67:965-975, (1981).
28. Wylie, A. G., et al.: Characterization of Mineral Population by Index Particle: Implication for the Stanton Hypothesis. *Environmental Research*, 43:427-439, (1985).
29. Coffin, D. L., Palekar, L. D., and Cook, P. M.: Tumorigenesis by a Ferroactinolite Mineral. *Toxicology Letters*, 13, p. 143-150, (1982).
30. Cook, P. M., Palekar, L. D., and Coffin, D. L.: Interpretation of the Carcinogenicity of Amosite Asbestos and Ferroactinolite on the Basis of Retained Fiber Dose and Characteristics In Vivo. *Toxicology Letters*, 13, p. 151-158, (1982).
31. Leineweber, J.: Correspondence to W. Smith with sample FD-31, Johns-Manville Corporation, (1976).
32. Wylie, A. G.: Letter to F. A. Renninger, Sr. Vice President, National Stone Association, (February 13, 1987).

33. Brown, D. P., Kaplan, S. D., Zumwalde, R. D., Kaplowitz, M., and Archer, V. E.: Retrospective Cohort Mortality Study of Underground Gold Mine Workers. In: *Controversy in Occupational Medicine, Cancer Research Monograph, Vol. 2* Praeger, NY, NY p. 335-350, (1986).
34. Virta, R. L., Shedd, K., Wylie, A. G., and Snyder, J. G.: Size and Shape Characteristics of Amphibole Asbestos (Amosite) and Amphibole Cleavage Fragments (Actinolite, Cummingtonite) Collected on Occupational Air Monitoring Filters. *Aerosols in Mining and Industrial Work Environments, Vol. 2, Chapter 47, p. 633-643, (1983).*
35. McDonald, J. C., Gibbs, G. W., Liddell, F. D. K., and McDonald, A. D.: Mortality After Long Exposure to Cummingtonite-Grunerite. *American Review of Respiratory Diseases, 118:271-277, (1978).*
36. Gundersen, J. N., and Schwartz, G. M.: The Geology of the Metamorphosed Biwabik Iron-Formation, Eastern Mesabi District, Minnesota. Bulletin No. 43, University of Minnesota, Minnesota Geological Survey. The University of Minnesota Press, Minneapolis, p. 123, (1962).
37. Cooper, W. C.: Epidemiologic Studies of Mining Population Exposed to Nonasbestiform Amphiboles. Literature Review Prepared for The National Stone Association, January 22, p. 5, (1988).
38. Higgins, I. T. T., Glassman, J. H., Mary, S. O., and Cornell, R. G.: Mortality of Reserve Mining Company Employees in Relation to Taconite Dust Exposure. *American Journal of Epidemiology, Vol. 5, 118:710-719, (1983).*
39. Cooper, W. C., Wong, O., and Graebner, R.: Mortality of Workers in Two Minnesota Taconite Mining and Milling Operations. *Journal of Occupational Medicine, 30:507-511, (1988).*
40. Kelse, J. W., and Thompson, C. S.: The Regulation and Mineralogical Definitions of Asbestos and Their Impact on Amphibole Dust Analysis. *American Industrial Hygiene Association Journal, 50:11, p. 613-622, (1989) .*
41. Brown, D. P., Wagoner, J. K., Dement, J. M., Zumwalde, R. D., Gamble, J. F., Fellner, W., and DeMeo, M. J.: Occupational Exposure to Talc Containing Asbestos. NIOSH Publication No. 80-115, (1980).
42. Thompson, C. S.: Consequences of Using Improper Definitions for Regulated Mineral. In *Definitions for Asbestos and Other Health-Related Silicates (STP-834)* Philadelphia, PA: ASTM, p. 182, (1984).
43. Harvey, A. M.: Tremolite in Talc - A Clarification in Industrial Minerals. Worchester Park Survey, England: Metal Bulletin Limited, p. 23-59, (1979).
44. Dunn Geoscience Corporation: An Evaluation of Mineral Particles at Gouverneur Talc Company 1975 and 1982: A Comparison of Mineralogical Results Between NIOSH and DGC. Contract analysis and report to the R. T. Vanderbilt Company, Inc., (January 4, 1985).
45. Langer, A. M., and Nolan, R. P.: Mineralogical Characterization of Vanderbilt Talc Specimens. Contract analysis and report to the R. T. Vanderbilt Company, Inc., (1989).
46. Virta, R. L.: The Phase Relationship of Talc and Amphiboles in a Fibrous Talc Sample. U.S. Department of the Interior, U.S. Bureau of Mines Report of Investigations #8923, p. 8, (1985).
47. Crane, Daniel T.: Memorandum from OSHA Salt Lake City Analytical Laboratory — Microscopy Branch to Dr. Greg Piacitelli, NIOSH — Morgantown, West Virginia, (November 26, 1986).

48. Wylie, A. G.: Report of Investigation — The University of Maryland, Department of Geology. Sample analysis report to Mr. Dennis Race (sample from the House of Ceramics in Memphis — GTC talc — NYTAL 100), (February 13, 1987).
49. Wylie, A. G.: Analysis Report to Guy Driver regarding R. T. Vanderbilt Talcs. NYTAL 300 and NYTAL 400, (March 8, 1983).
50. Wylie, A. G.: Affidavit for submission to the OSHA docket, (November 1, 1984).
51. Griegner, G., and Walter, C.: McCrone Associates Analysis of Tremolitic Talc FD-14, (April 5, 1972).
52. R. T. Vanderbilt Company, Inc.: Evaluation of NIOSH Studies of Mortality of Workers Employed by the Gouverneur Talc Company between 1948-1983. Re: Gamble, J. and Piacitelli: MHETA 86-012. 1988 Report of Ad Hoc Subcommittee, Board of Scientific Counselors, NIOSH, (1989).
53. Reger, R., and Morgan, W. K. C.: On Talc, Tremolite and Tergiversation. *British Journal of Industrial Medicine*, Vol. 47, p. 505-507, (1990).
54. Gamble, John (NIOSH): Critique of NIOSH position of Vanderbilt talc as an asbestiform mineral increasing the risk of lung cancer in exposed workers. Memorandum to Director, DRDS, (November 22, 1985).
55. Cooper, W. C.: Letter to the R. T. Vanderbilt Company, Inc. commenting on the NIOSH study of New York Tremolitic Talc, (October 4, 1982).
56. Morgan, Robert W.: A Review of the Literature on the Carcinogenicity of Asbestiform and Nonasbestiform Actinolite, Tremolite and Anthophyllite. For the National Stone Association, (February 4, 1988).
57. Boehlecke, Brian A.: Review and Comments on the Evidence for Human Health Effects from Exposure to Nonasbestiform Tremolite, Actinolite and Anthophyllite and the Regulation of Occupational Exposures. For the American Mining Congress, (1988).
58. Morgan, W. K. C., MD.: Letter to Mr. John Martonik (OSHA Standards Group) critiquing OSHA draft of its revised asbestos standard, (August 23, 1983).
59. Stille, W. T., and Tabershaw, I.R.: The Mortality Experience of Upstate New York Talc Workers. *Journal of Occupational Medicine*, Vol. 24 #6, (1982).
60. Brown, D. P., Dement, J. M., and Beaumont, J. J. (NIOSH): Letter to the *Journal of Occupational Medicine* forwarded to Irving R. Tabershaw, MD, (August 13, 1982).
61. Lamm, S. H., Levine, M., Starr, J. A., and Tirey, S. L.: Analysis of Excess Lung Cancer Risk in Short-term Employees. *American Journal of Epidemiology*, Vol. 127 #6, (1988). Based on an expanded manuscript entitled, "Absence of Lung Cancer Risk From Exposure to Tremolitic Talc," (February 1986).
62. Brown, D. P. (NIOSH): Review of Analysis of R. T. Vanderbilt Talc Employees. Memorandum to Director DSDTT, (August 18, 1983).
63. Glenn, R. E. (NIOSH): Recommended Action on MHETA #86012 Gouverneur Talc. Memorandum to Director, NIOSH, (November 18, 1987).
64. McConnell, E., Rutter, H. A., Ulland, B. M., and Moore, J. A: Chronic Effects of Dietary Exposure to Amosite Asbestos and Tremolite in F344 Rats. *Environmental Health Perspectives*, Vol. 53, p. 27-44, (1983).

65. Wylie, A. G.: Letter to Rick Renninger of the National Stone Association regarding Addison/Davis Tremolite from Dornie, (July 1989).
66. Pott, F., Huth, F., and Friedrichs, K. H.: Tumorigenic Effects of Fibrous Dusts in Experimental Animals. *Environmental Health Perspectives*, 9:313-315, (1974).
67. Steenland, K., and Brown, D.: Mortality Study of Gold Miners Exposed to Silica and Nonasbestiform Amphibole Minerals: An Update with 14 More Years of Follow-up. *American Journal of Industrial Medicine*, 27:217-229, (1995).
68. Cooper, W. C., Wong, O., Trent, L. S., and Harris, F.: Mortality of Workers in Two Minnesota Taconite Mining and Milling Operations - An Update. *Journal of Occupational Medicine*, 34:1173-1180, (1992).
69. Van Orden, Drew (R. J. Lee Group, Inc.): Analytical Report to the R. T. Vanderbilt Company. Project AOH803000, (July 30, 1988).
70. Brown, D. P. et al. (NIOSH): Health Hazard Evaluation Report, HETS 90-390-2065, MHETA 86-012-2065, (1990).
71. Gamble, J.: A Nested Case Control Study of Lung Cancer Among New York Talc Workers. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 64:449-456, (1993).
72. Wylie, A. G., et al.: Mineralogical Features Associated with Cytotoxic and Proliferative Effects of Fibrous Talc and Asbestos on Rodent Tracheal Epithelial and Pleural Mesothelial Cells. *Toxicology and Applied Pharmacology* 147, p. 143-150, (1997).
73. Honda, Y., Beall, C., Delzell, E., Oestenstad, K., Brill, I., and Mathews, R.: Mortality Among Workers at a Talc Mining and Milling Facility. *Annals of Occupational Hygiene*, Vol. 46 #7, p. 575-585, (2002).
74. Wylie, A. G., and Verkouteren, J. R.: Amphibole Asbestos from Libby, Montana: Aspects of Nomenclature. *American Mineralogist*, 85:1540-1542, (2000).
75. Wylie, A. G., Bailey, K. F., Kelse, J. W., and Lee, R. J.: The Importance of Width in Asbestos Fiber Carcinogenicity and Its Implications for Public Policy. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 54:239-252, (1993).
76. Steel, E., and Wylie, A. G.: Mineral Characteristics of Asbestos. *Geology of Asbestos Deposits*, P. H. Riddon, ed., Society of Mining Engineers of AIME, p. 93-100, (1981).
77. Wylie, A. G.: Factors Affecting Risk from Biologically Active Minerals. *Metallurgy and Exploration Symposium: Mineral Dusts - Their Characteristics and Toxicology*, Washington, D.C., (September 1996).
78. Baris, Y.I.: Asbestos and Erionite Related Chest Diseases. Publication Somih Ofset Matbaackilik Limited Company, Ankara-Turkey, (1987).
79. Verkouteren, J. and Wylie, A.G.: Anomalous optical properties of fibrous tremolite, actinolite and ferro-actinolite. *American Mineralogist*, 87, p. 1090-1095, (2002).

Definition Contributors and Supporters (Partial List)

- * Ann G. Wylie, Ph.D. — Assoc. Prof. Dept. of Geology, University of Maryland
- * Malcom Ross Ph.D. — Mineral Scientist, U.S. Geological Survey (retired)
- Arthur Langer Ph.D. — Mineralogist, Brooklyn College, CUNY
- Richard Lee, Ph.D. — Mineral Scientist, RJ Lee Group, Inc.
- * Catherine Skinner, Ph.D. — Mineral Scientist, Yale University
- * C. S. Thompson, Ph.D. — Mineralogist, R. T. Vanderbilt Company, Inc. (retired)
- * William Campbell, Ph.D. — Mineral Scientist, Bureau of Mines (retired)
- * Robert Clifton — Mineral Scientist, Bureau of Mines (retired)
- Leroy E. Kissinger — Director, Department of Mines, State of Arizona
- Morris Leighton — Chief, Illinois State Geological Survey
- Dick Berg — Mineral Scientist, Montana Bureau of Mines and Geology
- Frank Kottowski — Director and State Geologist, New Mexico Bureau of Mines
- Larry Fellows, Ph.D. — State Geologist, Arizona Geological Survey
- William Kelly, Ph.D. — Mineral Scientist, State University of New York
- Donald Hoskins, Ph.D. — State Geologist, Commonwealth of Penn. Dept. Env. Resources
- David Stith — Head of Geochem Sec., Ohio Dept. of Natural Resources

* Direct Contributors

Analytical Issues

INTRODUCTION:

As shown in this pictorial presentation, the properties of asbestos are unique. These properties include very long, thin, fibrillar fiber bundles that are flexible and strong. The ability of excessive exposure to asbestos to cause serious pulmonary disease has been extensively studied and documented.

Analytical procedures designed to identify and quantify asbestos must incorporate the unique characteristics of asbestos as fully as possible if the method is to be as specific to asbestos as possible. Minimizing mischaracterization (false positives and negatives) defines the value of any analytical protocol and is a key element to meaningful measurement of risk.

The most common analytical approach used for airborne asbestos fiber quantification is phase contrast microscopy (PCM). PCM methods typically measure airborne elongated particulate with a length to width ratio of at least 3 to 1 and a length 5 μm or greater (e.g. NIOSH 7400). Since there is little reason to measure airborne elongated particulates other than for asbestos, this relatively cheap, simple to apply method, is most often used to collect and count asbestos fibers. Although PCM will count all asbestos fibers observable under light microscopy (400X), it unfortunately also counts elongated prismatic cleavage fragments, insect legs and any other elongated particulate collected on the air monitoring filter that meet the simple dimensional counting criteria. Consequently, the simple PCM method works well in an environment where commercial asbestos is known to be the predominate elongated particle in the air being sampled. In mixed dust environments, however, the PCM method must be enhanced to measure asbestos from the other particulate in the sample more selectively.

Fiber counting criteria employed in microscopy methods are often mistakenly viewed as the definition of an asbestos fiber. The fiber counting criteria employed in most PCM methods are, in fact, merely arbitrary parameters used to promote consistency in fiber counting. The 5 μm minimum length, and the 3:1 minimum aspect ratio criteria, originated in England's asbestos textile mills as a means to improve reproducibility of commercial asbestos fiber measurements. These counting parameters were **not** deemed to be the dimensions that corresponded to a specific health risk (Holmes, 1965).

The PCM method is unable to detect fibers below approximately 0.2 μm in width and has always been viewed as an **index of exposure** versus an absolute measure of all fibers present in a sample. It is also unable to characterize the mineral composition or crystal structure of the particles examined. Again, in an environment where it is known that the primary elongated particle present is commercial asbestos, these limitations become less important. In environments where there are mixed dusts and where asbestos may or may not be present, the PCM method, with its simple counting criteria, becomes wholly inadequate.

This inadequacy is clearly demonstrated in the 1986 OSHA asbestos standard preamble discussion of its quantitative risk analysis and its decision to exclude studies of Canadian asbestos miners. The asbestos miners were excluded because the fiber count dose-response relationship observed differed significantly from the fiber count dose-response observed for other asbestos exposed populations under review by OSHA.

OSHA found that the miners had been exposed to similar or higher "fiber" concentrations than textile or other commercial asbestos exposed populations but showed significantly less adverse health effects. The asbestos "fiber" exposure was based solely on 3 to 1 aspect ratio or greater, 5 μm or longer, light microscopy fiber counts.

In Canadian asbestos mines, asbestos often represents no more than 5% of the ore being mined with the remaining host rock predominantly being the prismatic serpentine mineral, antigorite. The apparent "asbestos" fiber count in this mixed mineral dust environment therefore included antigorite cleavage fragments as well as chrysotile fibers. Inclusion in the fiber count of elongated prismatic fragments which have never been shown to produce asbestos-like disease, significantly inflated the asbestos dose reported without a corresponding increase in response.

Had prismatic cleavage fragments been properly identified and excluded from the asbestos fiber count, the asbestos risk observed for the Canadian asbestos miners may well have been comparable to that observed among the commercial asbestos exposed groups that were used in the OSHA risk analysis. In this example, analytical methods that failed to address what is and is not asbestos clearly impacted risk assessment (Wylie and Bailey, 1992).

Sub-light microscopic methods such as transmission electron microscopy (TEM) and scanning electron microscopy (SEM) present another analytical confounder when improperly applied. In contrast to the limitations of PCM, electron microscopic analytical methods such as TEM are capable of detecting asbestos fibers well below the resolution limit of the light microscope, identifying mineral type and can address crystal growth distinctions important to proper asbestos identification.

Despite the elevated costs associated with electron microscopic analyses, the desire to identify and quantify lower and lower asbestos levels in building materials and in asbestos abatement projects has contributed significantly to the proliferation of TEM laboratories across the country. These types of samples are typically limited to chrysotile, undergo highly prescriptive analytical protocols and require little to no mineralogical expertise in the analysis. For all its sophistication and sensitivity, electron microscopy presents a different set of analytical variables that will affect risk assessments when its results are improperly interpreted or improperly compared to health exposure standards.

The health literature on asbestos exposed populations overwhelmingly involves exposure to commercial asbestos. Asbestos exposure levels reported in epidemiological studies used to establish exposure limits have been obtained through light microscopy methods. Permissible exposure standards for airborne asbestos are based upon this light microscopy **index of exposure**. Efforts to use electron microscopic analytical data for risk assessment purposes must include a means to correlate results to what would be observable under light microscopy.

Unfortunately, the difference between asbestos fibers observed under the light microscope and asbestos fibers observed by electron microscopy is highly variable. This variability is influenced by asbestos type, how the fibers become airborne and the nature of fiber bundle separation in each exposure setting. "One size fits all" correlations are difficult (if not impossible) to reliably establish. Electron microscopy views only a very tiny fraction of the sample being studied and is therefore a poor quantification tool. Unless coupled with other investigation techniques, electron microscopy does not adequately address populations of particles in a sample. In an unknown or mixed dust environment, this is an important indicator of the asbestiform or prismatic nature of a given exposure.

Electron microscopy methods are unquestionably the best analytical tool for asbestos identification, but not for quantification unless coupled with other methodologies. The health significance of asbestos fibers observed only through electron microscopy and not correlated to PCM-observable exposure levels, is unknown at this time. The authors are not aware of any studies of asbestos-related disease where the asbestos exposure was not readily observable under light microscopy.

SOLUTIONS:

While the strengths and weaknesses of every asbestos analytical approach has not been addressed, most analysts would agree that there is no perfect, single asbestos analytical methodology. Certainly each approach is made more reliable in the hands of experienced, knowledgeable analysts. Effectively combining different analytical tools in a tiered approach can overcome individual method weaknesses, control costs and yield highly reliable results.

The following analytical guides reflect asbestos analytical approaches considered most reliable for asbestos identification and quantification. In each case, the unique characteristics of asbestos fibers and asbestos fiber populations are used to the fullest extent possible.

In the case of PCM, for example, dimensional fiber counting criteria that are more specific to asbestos are recommended as a more sensitive screening technique if standard PCM counts exceed established asbestos fiber permissible exposure limits. This additional PCM step significantly improves PCM as an inexpensive, easy to apply asbestos screening tool and assists the investigator in deciding if more specific, more costly analysis is warranted.

A polarized light microscopy method for bulk analysis is also provided. This method is designed with more guidance into what is and is not asbestos and, in the hands of a skilled analyst with mineral expertise, can be more informative than electron microscopic analysis.

The effective utilization of any asbestos analytical methodology, used singularly or in combination with others, does require a clear understanding of what asbestos is and what it is not. Methodologies that do not or can not recognize these distinctions should not be used.

REFERENCES:

National Institute for Occupational Safety and Health
NIOSH Manual of Analytical Methods, 3rd Edition.
(DHHS/NIOSH Publication No. 84-100). Washington, D.C.:
Government Printing Office, 1984. Method #7400.

Holmes, S.: Developments in Dust Sampling and Counting Techniques in the Asbestos Industry.
Annals New York Academy of Sciences, p. 288-297, (1965).

Wylie, A. and Bailey, K.: The Mineralogy and Size of Airborne Chrysotile and Rock Fragments:
Ramifications of Using the NIOSH 7400 Method. American Industrial Hygiene Association Journal,
53(7): 442-447, (1992).

Differential PCM Fiber Counting Methodology for Air Samples

BACKGROUND:

In environments where the presence of asbestos is unknown or may be present as a mixed dust, the NIOSH 7400 PCM membrane analytical method must be supplemented with differential counting criteria to assist in determining what proportion of the dust is asbestiform and what part is not. This need for differential counting was recognized by the Occupational Safety and Health Administration (OSHA) in its final asbestos standard published in 1994 (Fed Reg. Vol. 59, No. 153, pp. 41073 - 41079 - Aug. 1994).

There is also concern among some researchers that abandonment of the traditional fiber counting criteria (fibers with a minimum length of 5 μm and a length to width aspect ratio of at least three to one) would forsake the historical database that has been created over many decades. The simplistic counting criteria alone, derived from an effort to improve analytical consistency in commercial asbestos textile exposure samples in the 1960s, is totally inappropriate for noncommercial asbestos exposure environments. Recognizing the fundamental morphological differences between asbestiform and prismatic particle populations, the method must address those differences.

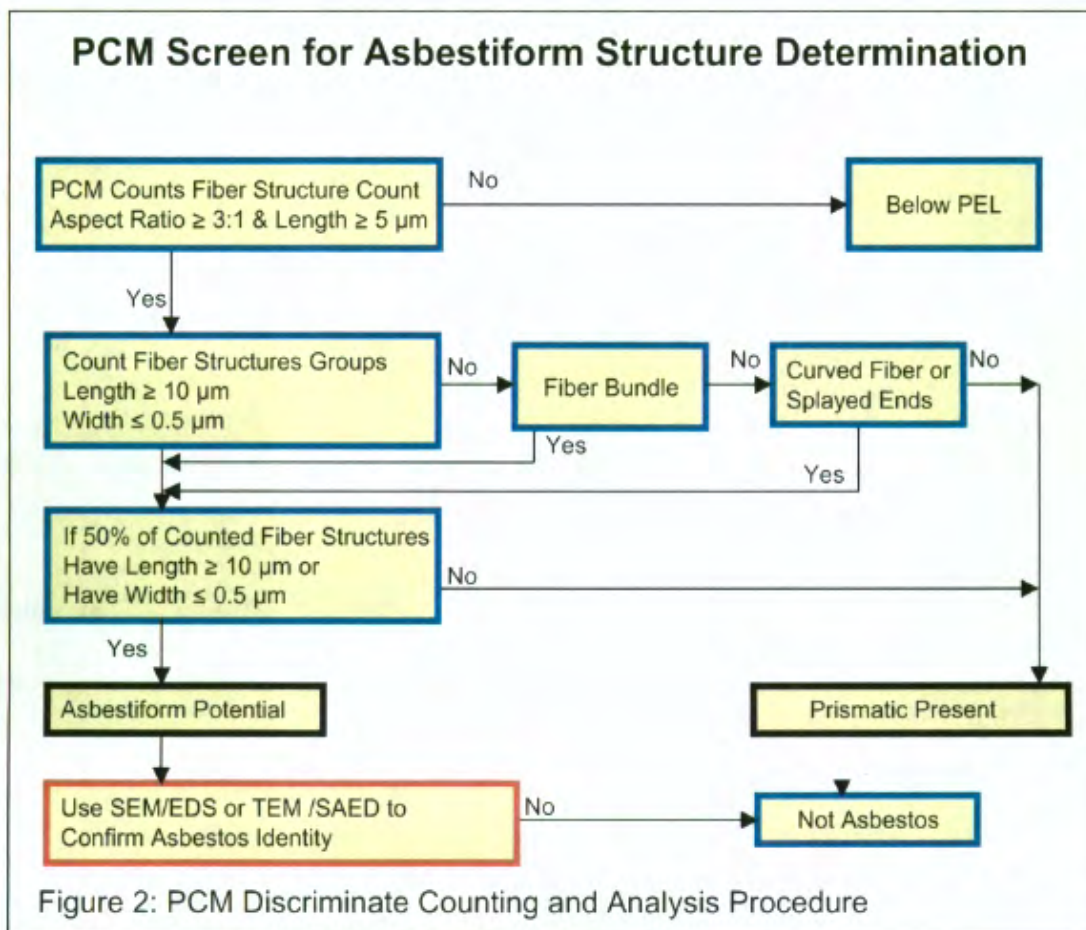
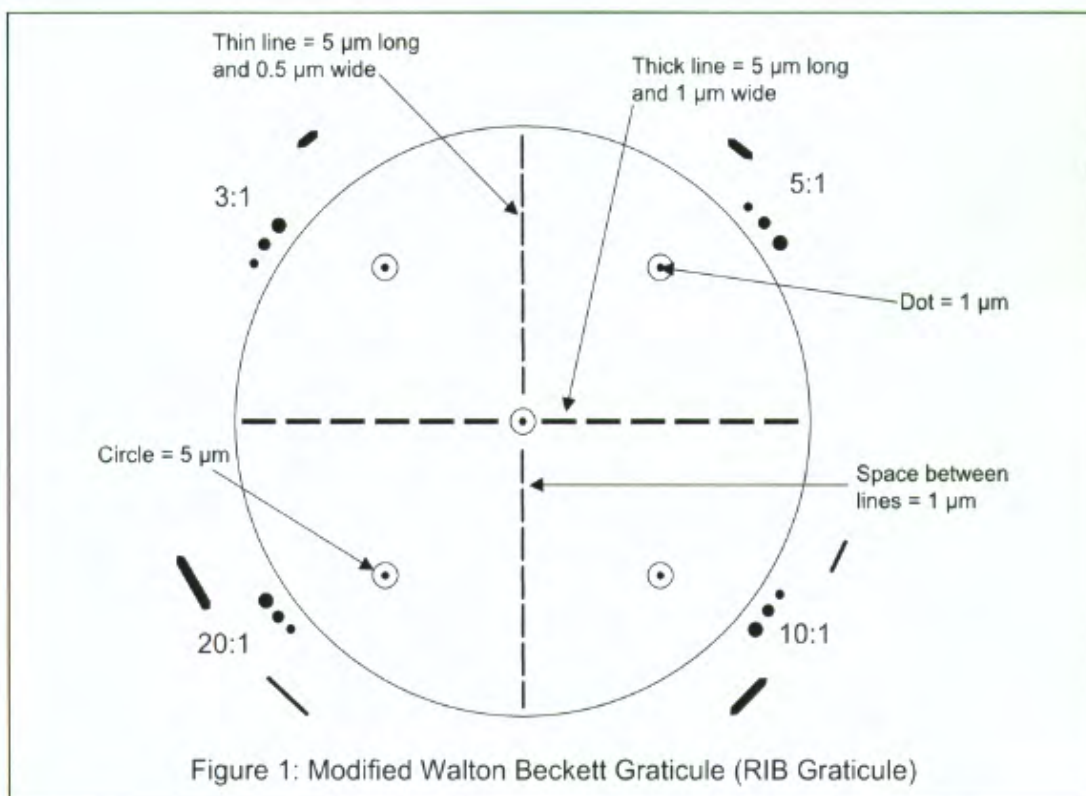
METHOD SUMMARY:

To satisfy historical preservation of exposure trends, the NIOSH 7400 method must be performed. Where the fiber count reaches or exceeds 0.1 fiber/cc (or the current exposure limit), supplemental measurements that allow a better characterization of the asbestiform nature of the sample must be done. These measurements will necessitate the use of a modified Walton Beckett graticule that assists in the measurement of those 3:1 or greater aspect ratio and 5 μm and longer particles that are equal to and longer than 10 μm and less than or equal to 0.5 μm in width. All fiber bundles need to be counted. This modified graticule is shown in Figure 1.

If the population of fibers has 50 % equal to or longer than 10 μm or if 50% of the fibers are equal to or less than 0.5 μm in width (unless a bundle), then the exposure can be considered to be asbestiform.

Samples that reflect an asbestiform nature must have PCM observable fibers (widths between 0.15 and 0.5 μm or bundles) analyzed by electron microscopy. Analysis by electron microscopy will evaluate morphology, chemistry and crystal structure if using TEM. The percentage PCM fibers that are regulated asbestiform fibers is then calculated and compared to the permissible exposure limit. The procedure is shown diagrammatically in Figure 2.

Mineralogical expertise is needed for those samples requiring electron microscopy and the standards for classifying amphibole minerals must conform to the International Mineralogical Association recommendations (Leake, B.E., Nomenclature of Amphiboles. American Mineralogist. Vol. 82, 1019 - 1037, 1997).



Standard Method of Testing for Asbestos Containing Materials by Polarized Light Microscopy

1. SCOPE

- 1.1 The method describes the procedures for the determination of the presence or absence of six types of asbestos: chrysotile-asbestos, grunerite-asbestos (amosite), crocidolite (riebeckite-asbestos), anthophyllite-asbestos, tremolite-asbestos and actinolite-asbestos and for the determination of a quantitative estimate of the percent of asbestos. This method may be applied to bulk materials other than building materials, but the accuracy of the method under these circumstances is not characterized. For non-building materials, there may be more interference with a greater possibility for false positives or fibers may be dispersed below the resolution of the light microscope, yielding a higher possibility of false negatives. When the content of asbestos in a sample is close to the 1% level, other more precise methods of quantification may be necessary if it is important to determine whether or not asbestos content is more or less than 1% by weight. This distinction may be important because the EPA defines asbestos-containing materials as those materials containing greater than 1% asbestos (Ref. 2 and 3).

2. APPLICABLE DOCUMENTS

- 2.1 U.S. Environmental Protection Agency, "Interim Method for the Determination of Asbestos in Bulk Insulation Samples," EPA 600/M4-82-020, Dec. 1982.
- 2.2 U.S. Environmental Protection Agency, "Guidance for Controlling Asbestos-Containing Materials in Buildings," EPA 560/5-85-024, 1985.
- 2.3 U.S. Environmental Protection Agency, "Asbestos-Containing Materials in School Buildings: Guidance for Asbestos-Analytical Programs," EPA 560/13-80-017A, 1980 (under revision).
- 2.4 ASTM STD 834, Definitions for Asbestos and Other Health-related Silicates, B. Levadie, ed., ASTM, 1916 Race Street, Philadelphia, PA 19103, 1984.

3. TERMINOLOGY

- 3.1 Asbestos: A commercial term applied to a group of highly fibrous silicate minerals that readily separate into long, thin, strong fibers of sufficient flexibility to be woven, are heat resistant and chemically inert, and possess a electric insulation properties, and therefore, are suitable for uses (as in yarn, cloth, paper, paint, brake linings, tiles, insulation, cement, fillers, and filters) where incombustible, nonconducting, or chemically resistant material is required. Federal regulation of asbestos is restricted to chrysotile-asbestos, grunerite-asbestos (amosite), crocidolite (riebeckite-asbestos), anthophyllite-asbestos, tremolite-asbestos and actinolite-asbestos.

- 3.2 Asbestiform: said of a mineral that is like asbestos, i.e., crystallizes with the habit of asbestos. Some asbestiform minerals may lack the properties which make asbestos commercially valuable such as long fiber length and high tensile strength. All asbestos exhibits a fibrillar structure, i.e., parallel growth of fibrils in bundles. Under the light microscope, the asbestiform habit is generally recognized by the following characteristics:
- 3.2.1. mean aspect ratios ranging from 20:1 to 100:1 or higher for fibers longer than 5 μm .
 - 3.2.2. very thin fibrils, usually less than 0.5 μm in width, and
 - 3.2.3. two or more of the following:
 - a. parallel fibers occurring in bundles
 - b. fiber bundles displaying splayed ends
 - c. matted masses of individual fibers, and
 - d. fibers showing curvature
- 3.3 Fiber: an elongated single crystal or similarly elongated polycrystalline aggregate.
- 3.4 Fibril: the smallest unit fiber in a bundle of fibers characteristic of the asbestiform habit.

4. SUMMARY OF THE METHOD

- 4.1 Bulk samples of building materials taken for asbestos identification are first examined with a low-power binocular microscope for homogeneity, the presence or absence of fibrous constituents, preliminary fiber identification, and an estimate of fiber content. Possible identification of fibers or the confirmation of the absence of fibers is made by analysis of subsamples with the polarized light microscope.

5. SIGNIFICANCE AND USE

- 5.1 This method of testing is applicable to building materials including insulation, ceiling tiles, surface coatings, asbestos board, pipe coverings, etc. It is not recommended for floor tiles. However, if fibers can be liberated from a non-friable matrix, they can be identified by this method.
- 5.2 If the estimate of the percentage of asbestos in a sample is close to the 1% by weight level, other methods of quantification may be necessary if it is important to determine whether or not asbestos content is more or less than 1% by weight. This distinction may be important because the EPA defines asbestos-containing materials as those materials containing greater than 1% by weight asbestos (Ref. 2 and 3).
- 5.3 The details of the methods used to determine the optical properties of minerals are not included in this method. The method assumes that the analyst is proficient in making these measurements.

6. INTERFERENCES

- 6.1 Cellulose may have approximately the same index of refraction as chrysotile-asbestos. For this reason, it is frequently confused with chrysotile. However, cellulose fibers frequently pinch and swell along their length, exhibit internal cellular structure, and lack splayed ends: they are not composed of bundles of smaller fibers.
- 6.2 Cleavage fragments of many natural minerals including amphiboles, talc, gypsum, wollastonite and vermiculite may appear as elongated anisotropic particles. The aspect ratio of these particles may be as great as 20:1. Therefore, aspect ratio alone is not sufficient for the identification of asbestos. Other properties of the asbestiform habit, such as curved fibers, fiber bundles exhibiting splayed ends, and fibers with aspect ratios in excess of 20:1 must be observed in order to be sure asbestiform material is present in the sample. However, these properties need not be characteristic of every fiber or fiber bundle in the sample. Therefore, once asbestos is known to be present, other properties such as index of refraction and aspect ratio can be used to identify asbestos and determine which particles will be counted in making a quantitative estimate of the amount of asbestos in the sample.
- 6.3 Sprayed-on binder materials may coat fibers and affect color or obscure optical characteristics. Fine particles of other materials may also adhere to fibers. Occasionally, procedures other than those described in this test method may be helpful if the analyst is unable to observe fibers clearly. Some of these are described in Reference 1.
- 6.4 Vermiculite may be confused with chrysotile because it has a similar index of refraction and, while it is not fibrous, its extinction characteristics under crossed polars may give the impression that the particles are composed of masses of matted fibers. The problem is compounded by the fact that chrysotile and vermiculite are a common mixture in sprayed-on coatings.
- 6.5 Certain materials may be found in construction materials, which are fibrous or asbestiform but which are not asbestos. Those include but are not limited to fibrous talc, fibrous brucite (nemalite), zeolites and dawsonite.
- 6.6 Man-made fibers such as carbon, aluminum oxide, polyamides (nylon), polyester (Dacron) and polyolefins (polyethylene), and rayon are occasionally encountered in building materials.
- 6.7 Fibrous glass including both mineral wool and fiberglass is very common in building materials. Its isotropic character makes it readily distinguishable from asbestos.
- 6.8 Animal hair is occasionally encountered.
- 6.9 Heat and acid treatment may alter the index of refraction of asbestos and change its color. Heat can cause chrysotile and amosite to turn brown and may raise the indices of refraction significantly.

- 6.10 Moisture can interfere with the determination of optical properties. Wet samples should be dried at a temperature less than 150°C before examination.

7. EQUIPMENT

- 7.1 A magnifying glass or a low power binocular microscope, approximately 10-45x, with built-in or separate light source
- 7.2 Forceps, dissecting needles and probes
- 7.3 Glassine paper or clean glass plate
- 7.4 Polarized light microscope complete with a port for wave retardation plate, 360 degree graduated rotating stage, substage condenser, lamp and lamp iris
- 7.5 Objective lenses: low power (10x); high power (40-50x). Medium power (20-25x) and very low power (2-4x) lenses are optional.
- 7.6 Dispersion staining objective lens (optional)
- 7.7 Ocular lens: 8x minimum
- 7.8 Eyepiece reticle: cross hair
- 7.9 Compensator (wave retardation plate): 550 nanometer (first-order red or gypsum)
- 7.10 Microscope slides
- 7.11 Coverslips
- 7.12 Mortar and pestle: agate or porcelain

8. REAGENTS

- 8.1 Index of refraction liquids: $N_D = 1.490$ - 1.720 in increments of 0.002 or 0.004.
- 8.2 Index of refraction liquids for dispersion staining: high dispersion series, $N_D = 1.550$, 1.605, and 1.680. (Optional. Required only if dispersion staining will be used to measure the index of refraction.)
- 8.3 Reference materials:
 - 8.3.1 Asbestos Materials
 - a. Commercial asbestos, including amosite, chrysotile, crocidolite, and anthophyllite asbestos. (UICC Asbestos Reference Sample Set available from UICC MRC Pneumoconiosis Unit, Llandough Hospital, Penarth, Glamorgan, CF6 1XW UX and commercial distributors.)

- b. Tremolite-asbestos: available from commercial distributors, such as Ward's Natural Science Establishment, Inc., P.O. Box 92912, Rochester, New York, 14692-9012.
- c. Actinolite-asbestos: source to be determined (very rare; not used commercially).

8.3.2 Suggested Matrix and Non-asbestos materials.

- a. Cellulose
- b. Vermiculite: source to be determined.
- c. Non-asbestiform amphiboles: available from commercial distributors, such as Ward's Natural Science Establishment, Inc., P.O. Box 92912, Rochester, New York 14692-9012.
- d. Other silicates, such as fibrous talc, wollastonite, gypsum, nemalite (brucite): available from commercial distributors, such as Ward's Natural Science Establishment, Inc., P.O. Box 92912, Rochester, New York 14692-9012.
- e. Synthetic fibers, such as fiberglass and mineral wool.

9. PRECAUTIONS

- 9.1 This method involves the analysis of material (asbestos), which may be hazardous if inhaled. It does not address the safety problems associated with its use. In addition, it should be noted that some immersion oils manufactured prior to 1978 might contain Polychlorinated Biphenols (PCB). PCB's have been identified as hazardous materials. It is the responsibility of whoever uses this method to establish appropriate safety and health practices to ensure that asbestos is not inhaled and exposure to PCB does not occur.

10. SAMPLING

- 10.1 Samples should be taken in the manner prescribed in Reference 2. Information on design of sampling and analysis programs may be found in Reference 3. If there are any questions about the representative nature of the sample, another sample should be requested before proceeding with the analysis.

11. GENERAL METHOD DESCRIPTION

- 11.1 Bulk samples of building materials are first examined with a low power binocular microscope or magnifying glass for homogeneity, the presence or absence of fibrous constituents, preliminary fiber identification and an estimate of fiber content.

- 11.2 Positive identification of fibers or the confirmation of the absence of fibers is made by analysis of subsamples with the polarized light microscope according to the outline presented in Table I. The optical properties of six types of asbestos are given in Table II. The use of plane polarized light allows the determination of index of refraction parallel to elongation. Morphology and color are observed. Orientation of the two polarizers such that their vibration directions are perpendicular (crossed polars) allows the distinction between anisotropic and isotropic materials to be made. It also allows observation of the birefringence and extinction characteristics of anisotropic particles. When a compensator is inserted into the optical path, the sign of elongation of the particle can be determined. Also, the fibrillar structure of asbestos is most evident under crossed polars.
- 11.3 Identification of the fibrous constituents is facilitated by comparison of the unknowns to materials in the reference collection.
- 11.4 A quantitative estimate of the amount of asbestos present is derived from the combination of the estimate made from slide preparations and the estimate of total fiber made from examination of the bulk sample.

12. SAMPLE PREPARATION

- 12.1 For initial observation, the sample should be placed on a clean glass plate or glassine paper and placed under the binocular microscope or examined with a magnifying glass. Color, the presence or absence of fibers, and homogeneity should be observed and recorded. If only an occasional fiber is observed, one or two should be isolated with forceps and prepared for examination by polarized light microscopy. A preliminary estimate of total fiber content can be made at this time.
- 12.2 Subsamples for polarized light microscopy are usually best prepared by using forceps to sample at several places from the bulk material. These subsamples are immersed in a refractive index liquid on a microscope slide, teased apart and covered with a cover glass. At a minimum, two slide preparations should be made.
- 12.3 If the material is obviously layered or comprised of two or more materials that differ in color or texture, slide preparations of each component should be made.
- 12.4 If the sample is not readily friable or if the sample consists of a coarse-grained matrix, a mortar and pestle can sometimes be used to crush the sample.
- 12.5 Other methods of sample preparation for homogenization and to remove interferences, such as milling, acid and sodium metaphosphate treatment and ashing, are not normally necessary. They are described in Reference 1.

13. IDENTIFICATION OF ASBESTOS

- 13.1 Positive identification of asbestos requires the determination of the following optical properties: morphology, color and pleochroism, index of refraction parallel to elongation, birefringence, extinction characteristics and sign of elongation. Techniques

for determining these properties are described in References 4 through 8. Characteristics of the asbestiform habit (morphology) are described in References 9 and 10. The sign of elongation is determined by use of a compensator and crossed polars. Index of refraction may be determined by the Becke line method (Reference 4) or by dispersion staining (Reference 8). The optical properties are given in Table II. General optical properties of silicates other than asbestos are found in References 4-7.

14. QUANTIFICATION OF ASBESTOS CONTENT

- 14.1 A quantitative estimate of the amount of asbestos present is most readily obtained by visual comparison of the bulk sample and slide preparations to other slide preparations and bulk samples with known amounts of asbestos present in them. Reference samples containing known amounts of asbestos will be available in the future from the National Institute of Standards and Technology, Office of Standard Reference Materials. Until these standards are available, laboratories should make their own standards for training and intra-laboratory comparison.
- 14.2 Point counting of slide preparations is not generally recommended. Point counting only produces accurate quantitative data when the material has uniform thickness. In practice, the thickness of asbestos-containing materials placed on a glass slide for petrographic analysis is often highly variable, rendering quantitative volume estimates inaccurate. However, the method recommended by the EPA for determining the amount of asbestos uses point counting techniques. It is described in Reference 1.
- 14.3 Estimates of the quantity of asbestos obtained by the method described in 14.1 above are neither volume nor weight-percent estimates. They are based on estimating the projected area from observation of the distribution of particles over the two-dimensional surface of the glass slide and on an observation of the bulk material. A basis for correcting to a weight or volume percent basis has not been established. However, the error introduced by assuming that the estimates are equivalent to weight percent is probably within the precision of the visual estimate techniques.

15. DATA PRESENTATION

- 15.1 The following information should be reported for each sample: color, presence or absence of asbestos, type or types of asbestos present, estimate of the area percentage of each type of asbestos present, area percentage of other fibrous materials present, and identity of other fibrous materials if known.
- 15.2 If the sample submitted for analysis is inhomogeneous and subsamples of the components were analyzed separately, the data for each subsample should be recorded separately. However, the separate components should be combined in proportion to their abundances and a single analysis should be provided for the sample as a whole.

15.3 Example Sample Analysis Sheet

Analysis of Asbestos in Bulk Materials

Sample Identification

Analyst:

Date:

Macroscopic Examination:

1. Size and Condition of Sample:
2. Texture: (occurrence of fibrous and other components)
3. Color:
4. Homogeneity:
5. Comments

Microscopic Examination:

1. Number and Size of Subsamples:
2. Preparation: (incl. Grinding, ashing, acid washing, ...)
3. Method of estimation if other than visual estimation:
4. Standards used for quantitation (if any):
5. Index of refraction of the immersion medium

Sample Identification:

Analysis of fibrous component:

- a. Morphology
- b. Color
- c. Birefringence
- d. Extinction characteristics
- e. Indices of refraction (dispersion characteristics)
- f. Sign of elongation
- g. Estimated range (percent area) of fibrous component

Component 1 Component 2

Comments: (Describe any unusual characteristics or problems with analysis and if possible, briefly describe non-fibrous matrix components.)

Sample Summary

Sample Identification:

Conclusions

1. Asbestos present: yes no
2. Fibrous-nonasbestos component present: yes no
3. Number of distinct fibrous components:
4. Types of fibers:
5. Estimated range (percent area) of each fiber type:
6. (Optional information on nonfibrous components).

16. QUALITY ASSURANCE

- 16.1 Laboratories performing this test method should have demonstrated proficiency in the method. This would include adequate training of the analyst, an internal quality assurance program and participation in the EPA's Bulk Sample Analysis Quality Assurance Program or the National Institute of Standards and Technology Laboratory Accreditation Program for the Analysis of Asbestos. The laboratory should have a complete set of reference materials.
- 16.2 In order to obtain the accuracy indicated in 17.3, it is suggested that the analyst have completed a college-level course in mineralogy, had formal training in polarized light microscopy and its application to crystalline materials including instruction in the measurement of the index of refraction by the immersion method through Becke line technique and/or dispersion staining, and have experience analyzing asbestos samples. If this training is lacking, two years of participation in the EPA's Bulk Sample Analysis Quality Assurance Program with a 100% success rate is a good indication of proficiency in the application of this method.
- 16.3 An internal quality assurance program should involve blind samples and replicate analyses. It is also necessary to analyze blank samples to check for contamination of immersion oils, probes, slides and general sample preparation.
- 16.4 A record of the sample analyses should be kept that includes all the sample and analysis data. An example analysis recording form can be found in section 15.3. While the format of the record is not required, all the information detailed in the sample should be recorded for each sample.

17. PRECISION AND BIAS

- 17.1 The upper detection limit is 100%. The lower detection limit is less than 1%.
- 17.2 A preliminary evaluation of a method similar to that outlined in this document is found in Reference 11.
- 17.3 If used by a properly trained and experienced analyst, the accuracy in the determination of the presence or absence of greater than 1% asbestos is greater than 99%. If the analyst does not have the training specified in 16.2, the accuracy may be considerably reduced.
- 17.4 The error associated with the quantitative estimate of weight or area percent asbestos may be quite large. When the percentage of asbestos in the bulk sample is small, the error in the estimate may exceed 100% relative. Relative errors are particularly large in estimates near 1%. When the percentage of asbestos is large, however, the error is significantly reduced and may be as low as 10% relative or less. The precision and accuracy of the quantitative estimate are highly dependent on the training and experience of the analyst.

REFERENCES

1. U.S. Environmental Protection Agency, "Interim Method for the Determination of Asbestos in Bulk Insulation Samples," EPA 600/M4-82-020, December 1982.
2. U.S. Environmental Protection Agency, "Guidance for Controlling Asbestos-Containing Materials in Buildings," EPA 560/5-85-024, 1985.
3. U.S. Environmental Protection Agency, "Asbestos-Containing Materials in School Buildings: Guidance for Asbestos Analytical Programs," EPA 560/13-80-017A, 1980 (or revisions).
4. Bloss, F. Donald, Introduction to the Methods of Optical Crystallography, Holt, Rinehart & Winston, 1961.
5. Kerr, Paul F., Optical Mineralogy, 4th edition, New York, McGraw-Hill, 1977.
6. Shelly, David, Optical Mineralogy, 2nd edition, Elsevier, New York, 1985.
7. Philips, W. R., and D. T. Griffen, Optical Mineralogy, W. H. Freeman & Co., 1981.
8. McCrone, Walter, The Asbestos Particle Atlas, Ann Arbor Science, Michigan, 1980.
9. Steel, E. and A. Wylie, "Mineralogical Characteristics of Asbestos," in Geology of Asbestos Deposits, P. H. Riordon, ed., SME-AIME, 1981, pp. 93-103.
10. Zussman, Jack, "The Mineralogy of Asbestos," in Asbestos: Properties, Applications, and Hazards, John Wiley and Sons, 1979, pp. 45-67.
11. U.S. Environmental Protection Agency, "Bulk Sample Analysis for Asbestos Content: Evaluation of the Tentative Method," EPA 600/4-82-021, May 1982.

TABLE I: Flow Chart for Qualitative Analysis of Bulk Samples by Polarized Light Microscopy

Polarized light microscopy qualitative analysis: For each type of material identified by examination of sample at low magnification, mount spatially dispersed sample in 1.550 RI liquid. (If using dispersion staining, mount in 1.550 ND.) View at approximately 100x with both plane polarized light and crossed polars. More than one fiber type may be present.

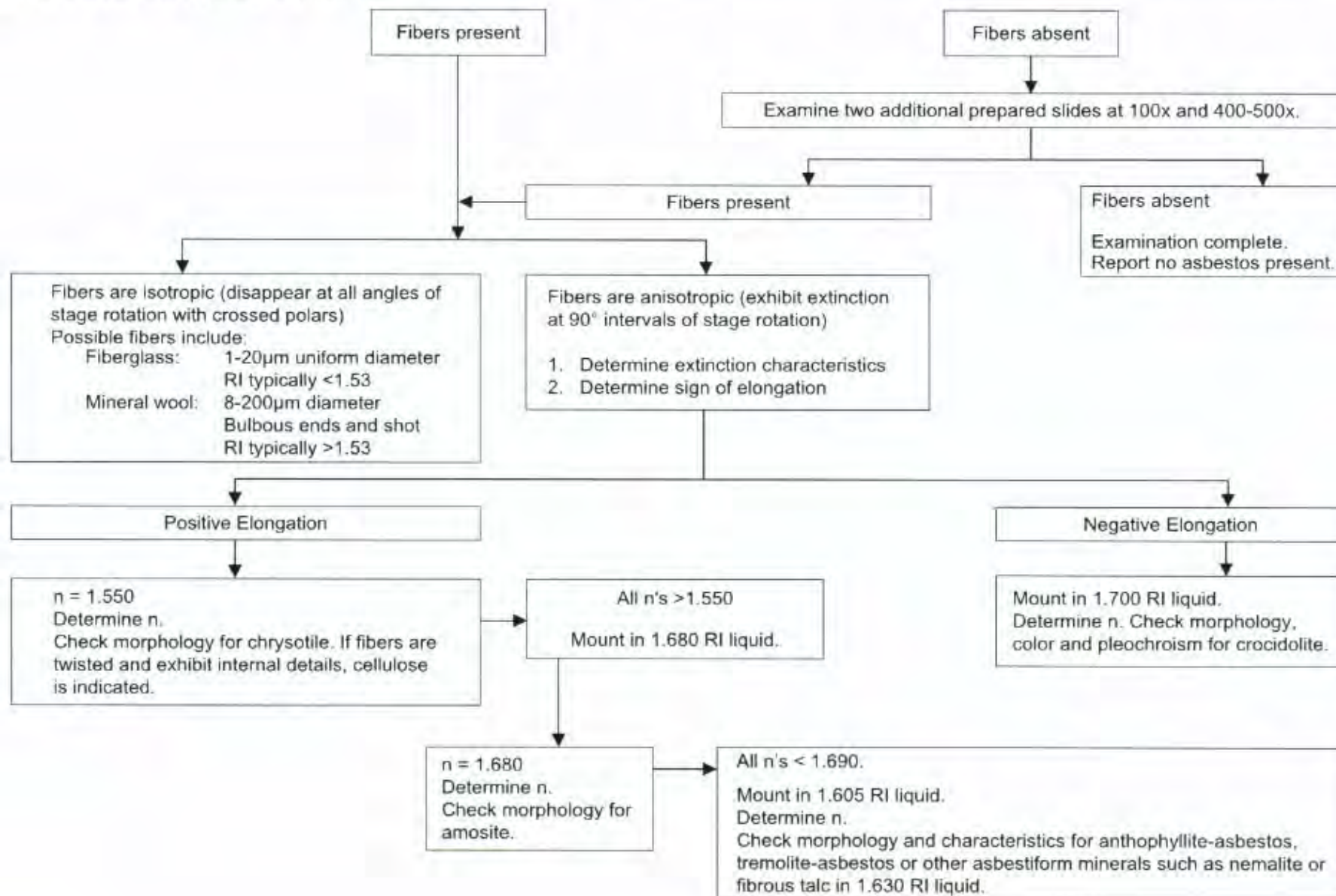


TABLE II

Mineral	Morphology and Color	Refractive Indices (Approximate Values)		Birefringence	Extinction	Sign of Elongation
		Parallel to Elongation	Perpendicular to Elongation			
Chrysotile-asbestos	Wavy fibers with "kinks" common. Large fiber bundles may show splayed ends. Colorless and nonpleochroic. Very common in building materials.	1.55	1.54	0.002-0.014	Parallel	Positive (length slow)
Cummingtonite-grunerite-asbestos (Amosite)	Straight fibers and fiber bundles. Only long fibers show curvature. Fiber bundles usually show splayed ends. Colorless to brown; may be weakly pleochroic. Common in building materials.	1.70	1.67	0.02-0.03	Parallel	Positive (length slow)
Crocidolite	Straight and curved fibers showing splayed ends are common. Blue color characteristic. Pleochroism marked. Uncommon in building materials.	1.70	1.71	0.014-0.016 Interference colors may be masked by blue color	Parallel	Negative (length fast)
Anthophyllite-Asbestos	Straight fibers and fiber bundles showing splayed ends. Colorless to light brown. Pleochroism absent. Rare in building materials.	1.63	1.61	0.013-0.028	Parallel	Positive (length slow)
Tremolite-asbestos and actinolite asbestos	Straight and curved fibers and fiber bundles. Large bundles show splayed ends. Tremolite is colorless. Actinolite is green and weakly to moderately pleochroic. Both actinolite and tremolite are extremely rare in building materials.	1.62-1.64 (tremolite) 1.64-1.68 (actinolite)	1.60-1.62 (tremolite) 1.62-1.67 (actinolite)	0.02-0.03	Parallel in most fibers. Narrow fibers may show oblique extinction (cAZ up to 20°) in some samples	Positive (length slow)

ECONOMIC GEOLOGY REPORT 35

**PETROLOGY AND ECONOMIC GEOLOGY
OF THE DUMONT SILL: AN ARCHEAN
INTRUSION OF KOMATIITIC AFFINITY
IN NORTHWESTERN QUEBEC**

J. M. DUKE

This document was produced
by scanning the original publication.

Ce document est le produit d'une
numérisation par balayage
de la publication originale.

1986



**GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA
ECONOMIC GEOLOGY REPORT 35**

**PETROLOGY AND ECONOMIC GEOLOGY
OF THE DUMONT SILL: AN ARCHEAN
INTRUSION OF KOMATIITIC AFFINITY
IN NORTHWESTERN QUEBEC**

J. M. DUKE

1986

© Minister of Supply and Services Canada 1986

Available in Canada through

authorized bookstore agents and other bookstores

or by mail from

Canadian Government Publishing Centre
Supply and Services Canada
Ottawa, Canada K1A 0S9

and from

Geological Survey of Canada offices:

601 Booth Street
Ottawa, Canada K1A 0E8

3303-33rd Street N.W.,
Calgary, Alberta T2L 2A7

A deposit copy of this publication is also available
for reference in public libraries across Canada

Cat. No. M43 35/1986E Canada: \$6.00
ISBN 0-660-12062-3 Other countries: \$7.20

Price subject to change without notice

Critical Reader

O.R. Eckstrand

Original manuscript received – 1983-06-24

Final version approved for publication 1983-08-11

Preface

The Dumont Sill, a differentiated ultramafic to mafic sill of Archean age in the Abitibi greenstone belt of the Superior Province, Canadian Shield, was first reported in 1925. Over the last 60 years the intrusion has been the focus of limited and largely unsuccessful prospecting for asbestos, base metals and precious metals. Exploration carried out between 1969 and 1972, however, resulted in the discovery of an extensive zone of low grade nickel mineralization within the sill. Although this mineralization has not yet proved to be an economically viable ore deposit, it is a significant nickel resource.

This report describes the mineralogy, petrology, and economic geology of the Dumont intrusion, with particular emphasis on the magmatic stage of its development. The study would not have been possible without the complete co-operation of industry. Less than 2 per cent of the bedrock surface of the intrusion outcrops, the remainder being covered by up to 45 m of overburden. Most of the material used in this study was derived from core samples from 57 holes drilled by industry.

An understanding of the petrogenesis of the sill and especially of the factors that controlled the distribution of nickel sulphides is of fundamental importance in guiding any further exploration of the body. Perhaps of greater significance is the likelihood that the Dumont intrusion is not unique and that knowledge acquired here will provide criteria for the identification and exploration of other similar bodies.

R.A. Price
Director General
Geological Survey of Canada

Préface

Le sill de Dumont, intrusion différenciée ultramafique à mafique d'âge archéen dans la zone de roches vertes d'Abitibi de la province du lac Supérieur du Bouclier canadien, a été identifié pour la première fois en 1925. Au cours des soixante dernières années, l'intrusion a fait l'objet de travaux de prospection limités et en grande partie infructueux visant à découvrir l'amiante, les métaux communs et les métaux précieux. Cependant, les travaux d'exploration effectués entre 1969 et 1972 ont abouti à la découverte, dans le sill, d'une vaste zone à faible teneur en nickel. Bien que ce gisement ne se soit pas encore avéré rentable, il représente une importante source de nickel.

Le présent rapport décrit la minéralogie, la pétrologie et la géologie économique de l'intrusion de Dumont, notamment la phase magmatique de son évolution. Cette étude n'aurait pas été possible sans l'entière collaboration de l'industrie. Moins de 2% de la surface rocheuse de l'intrusion affleure en surface, le reste étant caché par une couverture de dépôts meubles dont l'épaisseur peut atteindre 45 m. La plupart des données utilisées au cours de cette étude ont été prises à partir de carottes provenant de 57 trous forés par l'industrie.

Il est essentiel de connaître la pétrogénèse du sill et notamment les facteurs qui ont contrôlé la répartition des sulfures de nickel avant d'entreprendre d'autres travaux d'exploration de cette intrusion. En outre, l'intrusion de Dumont n'est vraisemblablement pas unique et les connaissances acquises lors de son étude permettront d'établir des critères pour l'identification et l'exploration d'autres masses similaires.

Le directeur général de la
Commission géologique du Canada
R.A. Price

CONTENTS

1	Abstract/Résumé
1	Summary/Sommaire
3	Introduction
3	Purpose of the investigation
3	Previous studies
4	Access, exposure, and sampling
4	Acknowledgments
4	General description of the Dumont Sill
4	Regional geological setting
6	Contact relations, areal extent, and age of the intrusion
8	Petrography of the intrusion
8	Magmatic textures and modal composition
8	Introduction
12	Ultramafic Zone
14	Mafic Zone
16	Secondary textures and modal composition
16	Ultramafic Zone
19	Mafic Zone
19	Mineral compositions
19	Analytical method
19	Primary minerals
22	Secondary minerals
24	Sulphides and alloys
26	Economic geology
26	Introduction
27	Intermineral distribution of nickel
28	Composition of magmatic sulphide grains
29	Assay data and resource estimation
30	Petrogenesis
30	Nature of the parent and derivative magmas
31	Emplacement and differentiation of the intrusion
40	Computer simulation of the differentiation of the intrusion
43	Nature of the alteration processes
44	Composition – volume relationships during serpentinization
45	Discussion
45	Comparison with other layered komatiitic intrusions
47	Nickel sulphide deposits associated with komatiitic rocks
47	Exploration guidelines
48	References
	Appendices
52	1. Diamond-drill hole data
53	2. Chemical analyses of whole-rocks
	Tables
5	1. Chemical compositions of volcanic host rocks of the Dumont and Landrienne (Amos) intrusions
18	2. Representative olivine analyses – arranged in order of increasing stratigraphic height
21	3. Representative average clinopyroxene compositions – arranged in order of increasing stratigraphic height
24	4. Representative chromite analyses – arranged in order of increasing stratigraphic height
25	5. Representative serpentine analyses
26	6. Representative analyses of secondary chlorite, diopside and actinolite
27	7. Representative analyses of sulphides and alloys
30	8. Magmatic sulphide grains: grain size, modal and chemical composition and distribution coefficient
31	9. Average grades and true thicknesses of upper, middle and lower nickel-enriched layers
32	10. Compositions of spinifex-textured peridotites and model parent magma of Dumont Sill
35	11. Composition of noncumulate rocks from the Dumont intrusion and overlying sills
35	12. Bulk composition of the Dumont Sill calculated from average compositions of subzones
37	13. Average composition of orthocumulate rocks from the basal Lower Peridotite Subzone
41	14. Compositions of silicate liquid, olivine and sulphide calculated using computer model

Figures

- 5 1. Location of the Dumont sill within the Abitibi greenstone belt
- 6 2. Magnetometer survey of the Dumont intrusion
- 7 3. Geological map of the Dumont intrusion
- 8 4. Cross-section showing positions of three nickel-enriched layers in the Dunite Subzone
- 9 5. Modal, cryptic, and grain size variation across the Dumont Sill
- 10 6. Photomicrographs showing primary igneous textures in the Dumont Sill
 - (a) Fine grained olivine-chromite orthocumulate, base of Lower Peridotite Subzone
 - (b) Fine grained olivine-chromite adcumulate, top of Lower Peridotite Subzone
 - (c) Medium grained olivine adcumulate, lowermost Dunite Subzone
 - (d) Clinopyroxene oikocryst enclosing partly serpentinized olivine, Dunite Subzone
 - (e) Medium grained olivine-chromite orthocumulate, Upper Peridotite Subzone
 - (f) Fine grained clinopyroxene adcumulate, Clinopyroxenite Subzone
 - (g) Subophitic texture, Gabbro Subzone
 - (h) Part of irregular plagioclase-rich layer, Gabbro Subzone
 - (i) Plagioclase-pyroxene cumulate, Quartz Gabbro Subzone
 - (j) Noncumulate texture, Quartz Gabbro Subzone
- 13 7. Opaque minerals in the Ultramafic Zone of the Dumont Sill
 - (a) Large chromite oikocryst enclosing serpentinized cumulus olivine, Dunite Subzone
 - (b) Cumulus chromite, Upper Peridotite Subzone
 - (c) Olivine + sulphide cumulate in Dunite Subzone
 - (d) Typical magmatic sulphide grain composed of pentlandite, magnetite and awaruite
 - (e) Magmatic sulphide grain composed of pentlandite, magnetite and awaruite
- 14 8. Variation of specific gravity with modal per cent of primary minerals (= olivine + clinopyroxene + chromite)
- 15 9. Distribution of specific gravities and serpentine textures in cross-section 36 + 00 West
- 16 10. Features related to serpentinization in the Ultramafic Zone
 - (a) Incipient serpentinization with development of lizardite
 - (b) Lizardite mesh texture, pseudomorphous after olivine
 - (c) Lizardite hourglass texture with brucite + magnetite veinlets
 - (d) Typical development of antigorite around rims of lizardite pseudomorphs after olivine
 - (e) Nonpseudomorphous ribbon texture of serpentinization
 - (f) Nonpseudomorphous interpenetrating texture
- 19 11. Variation of the forsterite content of olivine in drillholes E5, E16, E21, and W13
- 20 12. Compositions of Dumont clinopyroxenes plotted in the pyroxene quadrilateral
- 21 13. Analyses across a single clinopyroxene oikocryst illustrating crystal zoning
- 22 14. Correlation between chromium and aluminum of Dumont clinopyroxenes
- 23 15. Histograms showing frequency distribution of oxide concentrations in analyzed chromites
- 25 16. Composition of serpentine minerals in terms of the number of Si and Fe atoms in the structural formula
- 25 17. Variation of the chlorine concentration and specific gravity of whole-rock samples from the Ultramafic Zone. Ratios across the Ultramafic Zone in drillhole E21
- 26 18. Compositions of primary and secondary clinopyroxenes, Lower Peridotite Subzone
- 28 19. (a) Whole-rock nickel concentration, recalculated on an anhydrous basis plotted against nickel content of contained olivine in unmineralized samples
 (b) Concentration of nickel in primary olivine and secondary serpentine and magnetite
- 29 20. Nickel content of whole-rock and contained olivine and forsterite content of olivine in drillhole E16
- 33 21. Nickel assay profiles of sections along the length of the sill
- 36 22. Depiction of proposed model of intrusion, crystal settling, filter pressing, magma mixing, bottom crystallization and sulphide saturation
- 38 23. Possible thermal regimes in the zone of mixing at the onset of accumulation of the Dunite Subzone
- 42 24. Variation of Al_2O_3 and $FeO/FeO+MgO$ in the Dumont rocks
- 42 25. Variation of Zr and TiO_2 in the Dumont rocks
- 43 26. Variation of V and TiO_2 in the Dumont rocks
- 43 27. Variation of nickel and forsterite contents of olivines
- 44 28. Compositions of samples from the Ultramafic Zone plotted in a portion of the CaO-MgO-SiO₂ system
- 46 29. Synoptic histograms of zero change volume factors for each of two serpentinized dunites

PETROLOGY AND ECONOMIC GEOLOGY OF THE DUMONT SILL: AN ARCHEAN INTRUSION OF KOMATIITE AFFINITY IN NORTHWESTERN QUEBEC

Abstract

The komatiitic, synvolcanic Dumont Sill occurs within a sequence of iron-rich tholeiite lavas in the Abitibi greenstone belt. Its Ultramafic Zone comprises the Lower Peridotite Subzone, an olivine+chromite cumulate, the Dunite Subzone, an olivine±sulphide cumulate, and the Upper Peridotite Subzone, an olivine+chromite cumulate. The overlying Mafic Zone comprises the Clinopyroxenite Subzone, a clinopyroxene cumulate, the Gabbro Subzone, a clinopyroxene+plagioclase cumulate, and the Quartz Gabbro which includes plagioclase+pyroxene cumulates as well as noncumulate gabbros. The parent magma was a peridotitic komatiite liquid (27.5% MgO) that carried 12.5% olivine crystals in suspension. The Lower Peridotite formed by the settling and accumulation of these intratelluric phenocrysts whereas the overlying cumulates accumulated by a bottom crystallization process. Olivine+sulphide cumulate layers occur in the Dunite and formed by the accumulation of olivine and molten sulphide in their "cotectic" proportions. Sulphide saturation occurred when fractionated, sulphur-enriched intercumulus liquid was expelled upward by filter-pressing of the partially molten Lower Peridotite and mixed with less evolved liquid at the floor of the magma chamber. The intrusion is pervasively altered with the development of lizardite+brucite+magnetite+diopside+chlorite in the Ultramafic Zone and actinolite+epidote+chlorite assemblages in the Mafic Zone. The secondary textures and assemblages are indicative of nonequilibrium, retrograde, low-temperature alteration which probably resulted from an influx of water during initial cooling of the sill.

Résumé

Le sill komatiitique synvolcanique de Dumont se présente dans une séquence de laves tholéitiques riches en fer dans la zone de roches vertes d'Abitibi. La zone ultramafique se compose d'un cumulat à olivine+chromite, sous-zone inférieure de péridotite, d'un cumulat à olivine+sulfure, sous-zone de dunite, et d'un cumulat à olivine+chromite, sous-zone supérieure de péridotite. La zone mafique sus-jacente comprend un cumulat à clinopyroxène, sous-zone de clinopyroxénite, un cumulat à clinopyroxène+plagioclase, sous-zone de gabbro, ainsi que des cumulats à clinopyroxène+plagioclase et des gabbros sans cumulats, sous-zone de gabbro quartzique. Le magma originel était un liquide komatiitique péridotitique (27,5 % de MgO) comportant 12,5% de cristaux d'olivine en suspension. La péridotite inférieure a été formée par décantation et accumulation de ces phénocristaux intratelluriques, tandis que les cumulats sus-jacents se sont accumulés par cristallisation basale. Des couches de cumulats à olivine+sulfure trouvées dans la dunite ont été formées par accumulation, en proportions <<cotectiques>>, d'olivine et de sulfure en fusion. La saturation en sulfure a eu lieu lorsqu'un liquide intercumulus fractionné riche en soufre a été expulsé par l'effet de filtre-pressé de la péridotite inférieure partiellement fondue et mélangé à un liquide moins évolué au fond de la chambre magmatique. L'altération répandue de l'intrusion a produit un assemblage de lizardite+brucite+magnétite+diopside+chlorite dans la zone ultramafique et des assemblages d'actinote+épidote+chlorite dans la zone mafique. Les structures et assemblages secondaires indiquent qu'il y a eu altération régressive non équilibrée à faible température, vraisemblablement à la suite d'une entrée d'eau lors du refroidissement initial du sill.

Summary

The Dumont Sill, situated 62 km northeast of Rouyn in northwestern Quebec, is a synvolcanic, komatiitic intrusion of Archean age occurring within the Abitibi greenstone belt in the Superior Province of the Canadian Shield. The sill intrudes subaqueous, iron-rich tholeiite lavas which are approximately 2.7 Ga old. The sill is poorly exposed over a strike length of 6.5 km and comprises a lower Ultramafic Zone which averages 450 m in true thickness and an upper Mafic Zone about 250 m thick. The Ultramafic Zone is subdivided into the Lower Peridotite, Dunite and Upper Peridotite subzones. The Lower and Upper Peridotite subzones are olivine+chromite cumulates with variable amounts of intercumulus clinopyroxene. The Dunite Subzone is an extreme olivine adcumulate containing very small amounts of intercumulus chromite and clinopyroxene. Cumulus sulphide occurs in certain parts of the Dunite Subzone and also locally in the Lower Peridotite. The Mafic Zone comprises three subzones which are; from the base upwards, the Clinopyroxenite, the Gabbro and the

Sommaire

Le sill de Dumont, situé à 62 km au nord-est de Rouyn, dans le nord-ouest québécois, est une intrusion komatiitique synvolcanique d'âge archéen. Il se présente dans la zone de roches vertes d'Abitibi dans la province du lac Supérieur du Bouclier canadien. Le sill a pénétré des laves tholéitiques subaquatiques riches en fer qui datent d'environ 2,7 Ga. Il est mal exposé sur une distance de 6,5 km parallèlement à sa direction et comporte une zone ultramafique inférieure, dont l'épaisseur réelle moyenne est de 450 m, et une zone mafique supérieure d'environ 250 m d'épaisseur. La zone ultramafique se subdivise en trois sous-zones, la sous-zone inférieure de péridotite, la sous-zone de dunite et la sous-zone supérieure de péridotite. Les sous-zone inférieure et supérieure de péridotite se composent de cumulats à olivine-chromite et de quantités variables de clinopyroxène intercumulus. La sous-zone de dunite est un adcumulat très riche en olivine qui contient de très petites quantités de chromite et de clinopyroxène intercumulus. Du sulfure cumulus se présente dans certaines parties de la sous-zone de dunite et par endroits dans la sous-zone inférieure de péridotite. La zone

Quartz Gabbro. The Clinopyroxenite Subzone is an extreme clinopyroxene adcumulate at its base but grades into clinopyroxene+plagioclase cumulate rocks in the overlying Gabbro Subzone. The Quartz Gabbro Subzone includes both plagioclase+clinopyroxene cumulates and noncumulate gabbros that contain modal and normative quartz. Olivine and chromite are restricted to the Ultramafic Zone whereas plagioclase occurs only in the Mafic Zone.

The Mg/Mg+Fe ratios of the ferromagnesian cumulus phases increase gradually from the base of the sill upwards across the Lower Peridotite, undergo an abrupt increase at or just above the base of the Dunite, remain essentially constant through the upper part of the Dunite and into the base of the Upper Peridotite, and then follow a normal iron enrichment trend upward through the overlying part of the intrusion.

The parent magma of the intrusion was a peridotitic komatiite liquid containing about 27.5% MgO and carrying about 12.5% olivine (Fo₉₃) in suspension. The Lower Peridotite Subzone represents the accumulation of these intratelluric phenocrysts and variable proportions of trapped intercumulus liquid. The cumulus olivine in the Lower Peridotite may also have been carried into the magma chamber in suspension or may have crystallized during settling of the olivine. The increase of forsterite content of olivine upwards across the Lower Peridotite reflects the amount of reaction of the cumulus olivine with intercumulus liquid before and during expulsion of the liquid from the crystal mush by filter pressing. The Dunite, Upper Peridotite, Clinopyroxenite and Gabbro subzones accumulated by crystallization at or near the upward-migrating base of the convecting magma chamber. The base of the Mafic Zone represents a reaction relationship or distribution point whereby olivine and chromite are replaced as liquidus phases by clinopyroxene. Coarse grained, noncumulate gabbros and pegmatoidal gabbro schlieren within the Quartz Gabbro Subzone demonstrate that fractional crystallization of peridotitic komatiite magma can produce liquids containing as little as 5.5% MgO. Moreover, the presence of thin sills of similar evolved composition overlying the Dumont body indicates that these liquids were mobile and mass balance considerations suggest that an amount of differentiated liquid equivalent to about 10% of the initial mass of magma was tapped off the main chamber. Some of the noncumulate rocks are very iron-rich (about 15% FeO), and differ in this respect from typical extrusive basaltic komatiites.

Magmatic sulphides are restricted to the Lower Peridotite and Dunite subzones, although in the former they represent mainly a post cumulus phase. In the Dunite Subzone olivine and sulphide are present in approximately their "cotectic" proportions and molten sulphide was apparently a cumulus phase. Three olivine-sulphide cumulate layers occur within the Dunite Subzone but do not extend over the entire strike length of the sill.

mafique comporte les trois sous-zones suivantes, données par ordre ascendant: la sous-zone de clinopyroxénite, la sous-zone de gabbro et la sous-zone de gabbro quartzique. La base de la sous-zone de clinopyroxénite est un adcumulat très riche en clinopyroxène qui se transforme en roches à cumulats à clinopyroxène+orthopyroxène+plagioclase dans la sous-zone de gabbro sus-jacente. La sous-zone de gabbro quartzique comprend à la fois des cumulats à plagioclase+clinopyroxène et des gabbros sans cumulats contenant du quartz modal et normatif. L'olivine et la chromite se trouvent uniquement dans la zone ultramafique tandis que la plagioclase se présente seulement dans la zone mafique.

Les proportions Mg/Mg+Fe des phases cumulus ferromagnésiennes augmentent graduellement de la base du sill jusqu'au sommet de la sous-zone inférieure de péridotite. Elles s'accroissent brusquement à la base de la sous-zone de dunite ou immédiatement au-dessus de celle-ci, demeurent plus ou moins constantes dans la partie supérieure de la sous-zone de dunite et jusque dans la partie inférieure de la péridotite supérieure, puis suit la tendance normale à l'enrichissement en fer dans la partie sus-jacente de l'intrusion.

Le magma à l'origine de l'intrusion était un liquide komatiitique péridotitique contenant environ 27,5 % de MgO et environ 12,5 % d'olivine (Fo₉₃) en suspension. La sous-zone inférieure de péridotite représente l'accumulation de ces phénocristaux intratelluriques et de proportions variables de liquide intercumulus piégé. La chromite cumulus dans la sous-zone inférieure de péridotite a peut-être transportée en suspension dans la chambre magmatique ou cristallisée lors de la décantation de l'olivine. L'accroissement, dans l'olivine, de la teneur en forstérite vers le sommet de la sous-zone inférieure de péridotite reflète l'importance de la réaction entre l'olivine cumulus et le liquide intercumulus avant et durant l'expulsion, par l'effet de filtre-pressé, du liquide de la bouillie cristalline. La sous-zone supérieure de péridotite et les sous-zones de dunite, de clinopyroxénite et de gabbro se sont accumulées par cristallisation près de la base ascendante de la chambre magmatique en convection. La base de la zone mafique représente un lien réactionnel ou un point de distribution grâce auquel l'olivine et la chromite sont remplacées en tant que phases liquides par la clinopyroxène. La présence de gabbros fortement grenus et sans cumulats et de schlieren à gabbro pegmatoidique dans la sous-zone de gabbro quartzique indique que la cristallisation fractionnée d'un magma à komatiite péridotitique peut donner des liquides contenant aussi peu que 5,5 % de MgO. En outre, la présence de minces sills de matériau à évolution similaire au-dessus de l'intrusion de Dumont indique que ces liquides étaient mobiles, tandis que l'étude de l'équilibre des masses porte à croire qu'une quantité de liquide différenciée équivalant à environ 10 % de la masse initiale du magma a été enlevée de la chambre principale. Certaines roches sans cumulats ont une très forte teneur en fer (environ 15 % de FeO) et, à cet égard, diffèrent des komatiites basaltiques extrusives typiques.

Les sulfures magmatiques se présentent seulement dans la sous-zone inférieure de péridotite, où ils représentent surtout une phase cumulus, et dans la sous-zone de dunite. Dans cette dernière sous-zone, l'olivine et le sulfure sont présents plus ou moins dans leurs proportions «cotectiques», le sulfure en fusion représentant vraisemblablement une phase cumulus. Trois couches à cumulats à olivine-sulfure se présentent dans la sous-zone de dunite, mais non pas sur

The middle layer has the highest average nickel grade (0.50%) and is the most laterally extensive, persisting over a strike of 2400 m with an average true thickness of 24 m. A higher grade zone within the middle layer averages 0.71% Ni over a strike length of 730 m and has a true thickness of 14 m. Evidently the magma was somewhat undersaturated with sulphide at the time of emplacement but became saturated over part of the strike length of the sill during accumulation of the Dunite Subzone. Sulphide saturation occurred when fractionated, sulphur-enriched intercumulus liquid was expelled by filter pressing of the partially molten Lower Peridotite and mixed with more primitive liquid in the zone of crystallization at the base of the main body of magma.

The ultramafic rocks are pervasively serpentinized. Serpentinization is overprinted by talc-carbonate alteration in places along the basal contact of the sill. The predominant secondary assemblage is lizardite + magnetite + brucite + chlorite + diopside ± chrysotile ± pentlandite ± awaruite ± heazlewoodite. Antigorite is developed locally, particularly in the uppermost Ultramafic Zone. Native copper occurs in some samples but not in those containing awaruite. Millerite occurs in steatitized rocks. The Mafic Zone rocks are ubiquitously altered to the assemblage actinolite + epidote + chlorite ± quartz. Primary textures are pseudomorphously preserved throughout most of the intrusion. Serpentinization proceeded isovolumetrically on the microscopic scale. On the mesoscopic scale, serpentinization was isochemical aside from the addition of significant amounts of hydrogen and chlorine, and the loss of some calcium.

The textures and assemblages of the secondary minerals are indicative of nonequilibrium, retrograde, low temperature (<350°C) alteration which may well have occurred as a result of an influx of water during the initial cooling of the intrusion. The sill was faulted and tilted into a steeply inclined attitude during the Kenoran event but no penetrative deformational fabric is evident, and the effects of regional metamorphism are minimal.

toute la longueur du sill. La couche du milieu a la plus forte teneur moyenne en nickel (0,50 %), ainsi que la plus vaste étendue latérale, et se prolonge sur une distance de 2 400 m; son épaisseur réelle moyenne est de 24 m. Une zone plus riche dans la couche du milieu contient en moyenne 0,71 % de Ni sur une distance de 730 m; son épaisseur réelle est de 14 m. Le magma a dû être plutôt sous-saturé en sulfure au moment de sa mise en place, mais est devenu saturé sur une partie de la longueur du sill durant l'accumulation de la sous-zone de dunite. La saturation en sulfure s'est produite lorsqu'un intercumulus fractionné riche en soufre a été expulsé par l'effet de filtre-pressé de la péridotite inférieure partiellement fondue et mélangé à un liquide plus primitif dans la zone de cristallisation à la base de la masse magmatique principale.

Les roches ultramafiques sont partout serpentinisées; par endroits, le long du contact inférieur du sill, il y a eu altération avec formation de talc. L'assemblage secondaire principal se compose de lizardite + magnétique + brucite + chlorite ± diopside ± chrysotile ± pentlandite ± awaruite ± heazlewoodite. L'antigorite se présente par endroits, notamment dans la partie supérieure de la zone ultramafique. Du cuivre natif se trouve dans certains échantillons, mais non dans ceux qui contiennent de l'awaruite. La millérite se présente dans les roches altérées dans lesquelles il y a eu formation de talc. Les roches de la zone mafique ont partout été altérées à l'assemblage actinote + épidote + chlorite ± quartz. Les structures primaires sont conservées sous forme de pseudomorphes dans la plus grande partie de l'intrusion. La serpentinisation a procédé isovolumétriquement à l'échelle microscopique et isochimiquement à l'échelle mésoscopique sauf pour l'addition d'importantes quantités d'hydrogène et de chlore et pour la perte d'une certaine quantité de calcium.

Les structures et assemblages des minéraux secondaires indiquent qu'il y a eu altération régressive non équilibrée à faible température (<350°C), peut-être à cause de l'arrivée d'une quantité d'eau lors du refroidissement initial de l'intrusion. Le sill a été faillé et basculé et a adopté une attitude fortement inclinée lors de l'orogène du Kénorani. Il ne présente aucune structure de déformation par pénétration et les effets du métamorphisme régional sont minimes.

INTRODUCTION

Purpose of the investigation

The Dumont intrusion is a differentiated, ultramafic to mafic sill of Archean age in the Abitibi greenstone belt of the Superior Province, Canadian Shield. It is located in Launay and Trecesson townships (NTS 32 D/9) in north-western Quebec, about 62 km northeast of Rouyn and 26 km west of Amos. The body has been the focus of limited and largely unsuccessful prospecting for asbestos, base, and precious metals over the past 60 years. However, exploration carried out by the Dumont Nickel Corporation between 1969 and 1972 resulted in the discovery of an extensive zone of low grade nickel mineralization within the sill. Although the Dumont occurrence has not yet proved to be an economically viable ore deposit, it is nevertheless a significant nickel resource and is prototypical of a distinct class of nickel sulphide deposit. An understanding of the petrogenesis of the sill and especially of the factors that controlled the distribution of nickel sulphides is of fundamental importance in guiding any further exploration of the body. Perhaps of greater significance is the likelihood that the Dumont intrusion is not unique and that knowledge acquired here will provide criteria for the identification and exploration of other similar bodies. Finally, the intrusion presents an

opportunity to gain insight into some important aspects of Archean ultramafic magmatism and greenstone belt evolution. This paper describes the mineralogy, petrology, and economic geology of the intrusion with particular emphasis on the magmatic stage of its development.

Previous studies

The intrusion was first reported by James and Mawdsley (1925), and parts of it were mapped subsequently by Weeks (1935), Ross (1939), MacLaren (1953), and Vogel (1979). Besson and Capitant (1976), Besson (1979), and Duke (1980, 1982) have discussed aspects of the petrology and petrochemistry of the sill. Eckstrand (1975) and Bonneau (1977) have described the opaque minerals which occur in the ultramafic rocks, while Rucklidge (1972), Rucklidge and Patterson (1977), Miura et al. (1979, 1981), and Duke (1978) have reported on aspects of the serpentinization of the body. Jambor (1975), and Crook and Jambor (1979) have described the occurrence of some unusual secondary minerals in drill core samples. Harris and Nickel (1972) tabulated analyses of Dumont pentlandites as part of their study of the association-dependence of pentlandite composition. The distribution of iron and nickel between

olivine and sulphide in the Dumont body has been discussed by Thompson et al. (1984). Duke and Naldrett (1983) have discussed the nickel resources contained in intrusions of the Dumont type.

Access, exposure, and sampling

The Dumont Sill is situated immediately north of Quebec Highway 11 and the Canadian National railway line which run between Amos and La Sarre. The area is readily accessible by motor vehicle and no part of the body is more than about 4 km from a good quality road. The area is rather flat lying with elevations in the range of 300 to 365 m above sea level, and the maximum relief over the intrusion is about 30 m. Less than 2 per cent of the bedrock surface of the intrusion outcrops, and most of the exposure occurs at the extreme ends of the body. The remainder is covered by overburden which ranged in thickness from 12 to 45 m in those parts where drilling was carried out. None of the zones of nickel sulphide enrichment are exposed in outcrop.

Fifty-seven holes were drilled on behalf of Dumont Nickel Corporation and it is from these cores that most of the sample material used in this study was derived. The sampling was carried out by J.L. Jambor and O.R. Eckstrand prior to initiation of this project and the Dumont Nickel Corporation has retained only abbreviated cores. Consequently, I have not had the opportunity to examine complete drill core intersections. This limitation has meant that it has not been possible to locate with precision certain internal contacts or to observe structural and textural features which would only be apparent in uninterrupted sections of drill core. In this report, most samples are enumerated according to their location within a particular drillhole. For example, sample E16-1415 was recovered from drillhole E16 at a depth of 1415 ft (430 m). The locations and other details of the drillholes are tabulated in Appendix 1. The locations are referred to the co-ordinate system established by Dumont Nickel Corporation; that is, the distance (in feet) east or west of the Launay-Trecesson township boundary and the distance north of a given range line. The drillholes lie in essentially vertical north-south planes and it is important to note that since the sill has a northwesterly strike, except at the extreme southeast end, most of the holes intersect the plane of the body at an oblique angle.

Acknowledgments

This investigation could not have been carried out without the co-operation of the Dumont Nickel Corporation which allowed free access to diamond-drill core, drill logs, and other exploration records. Thorough sampling of the drill core was undertaken by J.L. Jambor and O.R. Eckstrand. A.G. Plant, M. Bonardi, and G.J. Pringle guided the author in electron microprobe analytical procedures. S. Green carried out mineral separations and X-ray diffractometry of the serpentine minerals and also assisted in fieldwork. F.J. Wicks kindly verified some of the serpentine mineral identifications using the microbeam camera technique. W. Petruk undertook some modal and grain size analyses using the Quantimet image analyzer. Whole-rock chemical analyses were carried out under the supervision of J.L. Bouvier and H. Champ. G.A. Lachance performed some of the trace element determinations using nonroutine X-ray fluorescence methods. J. Shaw, G. Wine, and Nguyen K. Kim assisted with petrography and drafting. E.C. Appleyard of the University of Waterloo provided a set of computer programs for the metasomatic mass balance calculations. R.I. Thorpe and O.R. Eckstrand offered constructive comments on the manuscript.

GENERAL DESCRIPTION OF THE DUMONT SILL

Regional geological setting

A thick supracrustal succession of volcanic and sedimentary rocks underlies about 65 per cent of the Abitibi belt as shown in Figure 1 (Goodwin and Ridler, 1970). A number of lines of evidence suggest that these supracrustal rocks lie unconformably upon a basement complex of sialic composition (Baragar and McGlynn, 1976). An implication of ongoing geochronological studies is that the entire supracrustal sequence may have been deposited in a relatively short period of time, perhaps as little as 50 Ma. Zircon U-Pb ages from the Timmins, Kirkland Lake and Noranda areas range from 2701 to 2725 Ma whereas a single determination from the Chibougamau area yielded a 2739 Ma age (Nunes and Pyke, 1980; Nunes and Jensen, 1980; Krogh and Davis, 1971). The volcanic rocks are mainly of mafic composition although ultramafic, intermediate and felsic types are also present. A number of volcanic centres have been identified. Within a given volcanic pile, the oldest lavas tend to be the most primitive and there is an upwards progression towards more felsic compositions. The abundance of pillowed and nonvesicular lavas together with the flyschoid character of much of the sedimentary component, demonstrate the prevalence of deep submarine conditions. However, the occurrence of some fluvial sedimentary rocks as well as airfall tuffs attest to occasional, local nonmarine conditions (Hyde and Walker, 1977). Numerous small to medium sized synvolcanic intrusions reflect the range of compositions of the lavas themselves.

The supracrustal rocks were deformed and intruded by granitic stocks and batholiths during the Kenoran event about 2680 to 2700 Ma ago. Folding about generally east-trending axes has commonly produced isoclinal structures. The greenschist and prehnite-pumpellyite facies of regional metamorphism predominate except in the contact aureoles of the Kenoran granites where amphibolite grade is usually attained (Jolly, 1978). The sedimentary rocks of the Pontiac Group are also in the amphibolite facies. Two main sets of diabase dykes occur in the Abitibi belt. The north-trending Matachewan swarm and northeast-trending Abitibi swarm have Rb-Sr ages of 2690 and 2147 Ma, respectively (Gates and Hurley, 1973). The latter are prominent in the vicinity of the Dumont intrusion although none are known to cut the body.

The Dumont Sill is hosted by lavas and volcanoclastic rocks that have been assigned to the Kinojevis Group by Latulippe (1972) and, more recently, to the Amos Group by Imreh (1980). The lavas may be traced eastwards through Amos and are part of what Goodwin and Ridler (1970) termed the Barraute volcanic complex. Three cycles of mafic to felsic volcanism are recognized and the Dumont intrusion is one of at least five ultramafic-mafic complexes in the Amos area which occur at approximately the same stratigraphic level within the mafic lavas of the middle cycle. The Amos (Landrienne) sill was recently described by Hébert (1982). The host rocks of the intrusion are for the most part basaltic lavas although some intermediate rocks were intersected in drilling of the footwall of the body at its eastern end. The basalts, as indicated by the chemical analyses in Table 1, are characterized by relatively high concentrations of $\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$ (>12%), TiO_2 (>1%), and V (>0.03%), and low values of SiO_2 (<52%) and Al_2O_3 (<14%). Therefore, they are similar to iron-rich tholeiites reported from elsewhere in the Abitibi belt (Pearce and Birkett, 1974; Arndt et al., 1977; Goodwin, 1979). Although the volcanic rocks have been folded and now dip rather steeply, a penetrative deformational fabric is only locally developed. In the vicinity

Table 1. Chemical compositions of volcanic host rocks of the Dumont and Landrienne (Amos) intrusions

	1.	2.	3.	4.	5.		6.	7.
	DBA-76 -109	DBA-76 -110	DBA-76 -30	DBA-77 -16	$\bar{X}$	σ	DBA-76 -28	DBA-76 -29
SiO ₂	50.3	48.9	44.7	49.8	49.3	1.9	37.1	40.7
TiO ₂	1.4	1.4	1.5	1.5	1.2	0.2	1.2	0.9
Al ₂ O ₃	12.2	13.4	13.0	13.1	13.2	0.8	10.9	12.7
Fe ₂ O ₃	1.3	2.3	nd	2.5	3.3	0.7	0.70	nd
FeO	11.1	12.5	12.9	10.4	10.0	0.6	11.2	16.9
MnO	0.23	0.23	0.28	0.18	0.25	0.04	0.45	0.21
MgO	5.9	6.5	5.9	7.2	5.9	0.5	6.3	10.0
CaO	8.9	7.9	9.5	7.4	9.5	0.8	9.8	5.9
Na ₂ O	2.0	1.9	2.3	3.2	2.4	0.9	3.6	0.36
K ₂ O	0.12	0.80	0.14	0.33	0.14	0.09	1.9	0.13
P ₂ O ₅	0.12	0.13	0.15	0.10	0.07	0.02	0.12	0.10
H ₂ O	5.0	3.0	4.6	4.3	3.3	0.3	1.7	7.5
CO ₂	2.2	nd	5.2	0.9	1.0	0.7	15.1	5.5
Ni	0.0080	0.0070	0.0060	0.0040	0.0066	0.0007	0.0070	0.0060
Cr	0.010	0.0080	0.0040	0.0040	0.0060	0.0020	0.0030	0.0030
V	0.039	0.040	0.044	0.036	0.034	0.0020	0.031	0.044
Co	0.0050	0.0060	0.0050	0.0050	0.0068	0.0004	0.0050	0.0060
Cu	0.011	0.011	0.013	0.0090	0.012	0.0020	nd	0.013
Total	100.84	99.03	100.24	100.97	99.62		100.11	100.97

1,2 Basalts from surface exposure, stratigraphic hangingwall, east end of Dumont intrusion
 3 Basalt from D.D.H. W-14, 1660 ft, stratigraphic footwall, west end of Dumont intrusion
 4 Basalt from surface exposure, stratigraphic footwall, west end of Dumont intrusion
 5 Means and standard deviations of 8 analyses of basalts collected in vicinity of the Landrienne (Amos) sill (Alsac, 1977)
 6,7 Highly altered and, in part, brecciated volcanic rocks from D.D.H. W-14
 1505 and 1575 ft, stratigraphic footwall, west end of Dumont intrusion
 nd - not detected

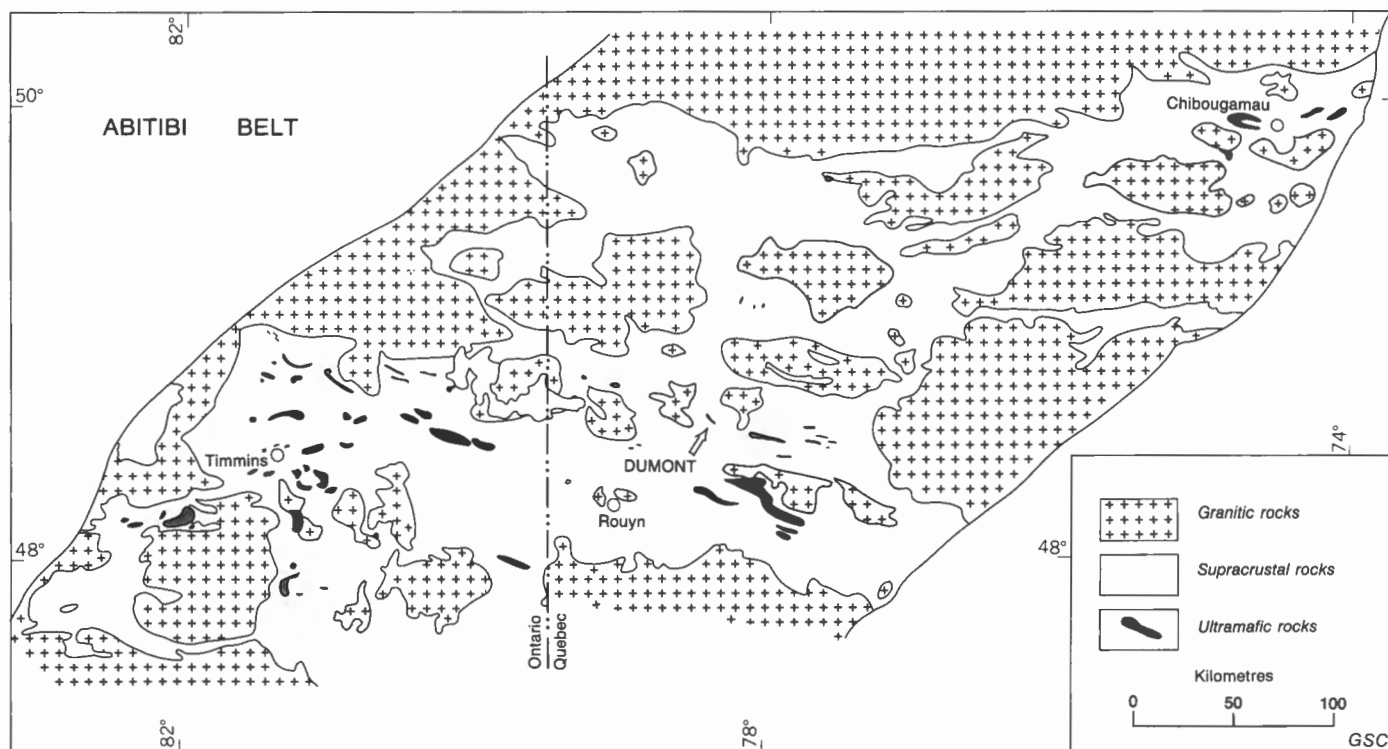


Figure 1. Location of the Dumont Sill within the Abitibi greenstone belt.

of the Dumont intrusion, pillows in the lavas are not greatly deformed and primary textures such as "swallow-tail" plagioclase microlites are preserved. However, the chemical compositions of many of the rocks are much altered, and many rocks contain significant levels of CO₂ (Table 1, analyses 6 and 7). Three main directions of faulting were recognized in the Amos area by Weber and Latulippe (1964). The earliest is the east-trending set of "bedding plane" faults which they believed developed during the major period of folding. The intrusion of the granitic rocks was accompanied by the development of steeply dipping faults that strike north to northwest. The most prominent faults strike northeast and probably postdate the granitic plutonism. The Dumont body is cut by a number of these northeast-trending faults (see below).

Contact relations, areal extent, and age of the intrusion

The contacts between the intrusion and its host rocks have not been observed in outcrop but in overall attitude the body appears to be conformable to the layering of the volcanic rocks and there is little doubt that it is a sill. Pillowed basalts exposed at the eastern end of the sill clearly indicate a northeast facing direction in contrast to the description by Vogel (1979). The sill comprises a lower Ultramafic Zone and an upper Mafic Zone. Although less than about 2 per cent of the bedrock surface of the intrusion is exposed in outcrop, the boundaries of the Ultramafic Zone can be drawn with some confidence on the basis of a ground magnetometer survey (Fig. 2) and diamond drilling (Fig. 3). The western end of the body has not been precisely outlined. Thus the Ultramafic Zone is a lenticular mass at least 6600 m

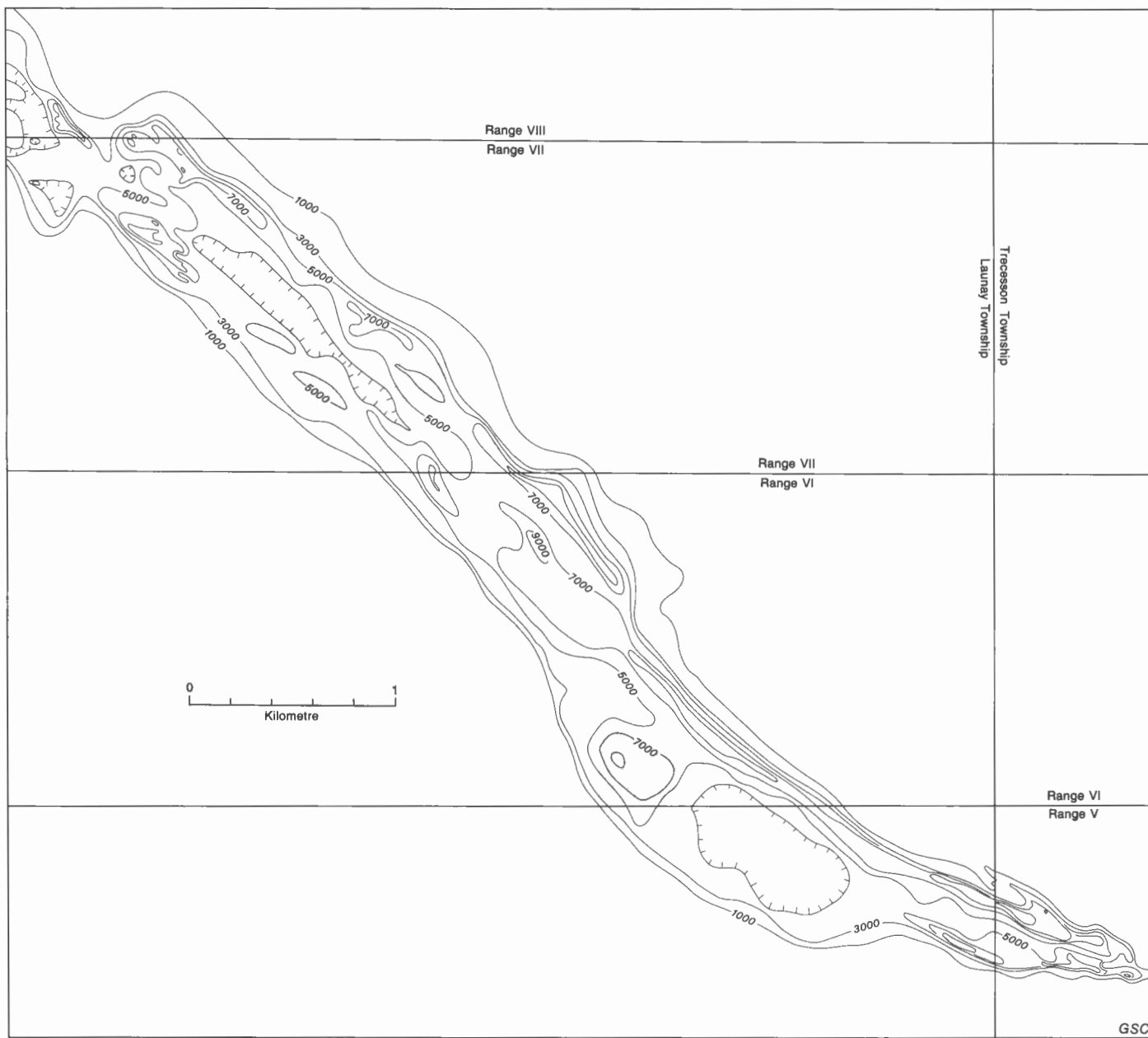


Figure 2. Magnetometer survey of the Dumont intrusion compiled from data provided by the Dumont Nickel Corporation. Contour interval = 2000 gammas.

in length with an average true thickness of 450 m. The true dip of the zone as determined in three cross-sections where either contact was intersected in two or more drillholes is 60 to 70° northeast (Fig. 4). The extent of the Mafic Zone is much less well defined and its top has not been observed in either outcrop or drill core. A drillhole near the middle of the sill intersected a true thickness of 175 m of the Mafic Zone, and outcrop constraints would allow a maximum of 400 m. I believe that 250 m is a reasonable estimate of the average true thickness of the Mafic Zone, and therefore the average true thickness of the sill as a whole would be 700 m. A number of faults at a high angle to the long axis of the sill are suggested by offsets in the magnetic contours and also by the internal stratigraphy of the Ultramafic Zone. However, the inferential nature of these faults is emphasized and there are undoubtedly other faults which have not been shown. A dyke-like apophysis of peridotite, 30 m wide, occurs between the Mafic Zone and the overlying lavas at the eastern end of the intrusion. The contact between the gabbro and peridotite

in this location is marked by a mylonite zone about a centimetre in width and it is believed that the apophysis is a fault slice from the top of the Ultramafic Zone. This interpretation is supported by the composition and petrography of the peridotite. Two poorly exposed sills of gabbro occur about 1 km to the northeast of the Dumont body (Vogel, 1979) and I will argue below that these are consanguineous with the main sill. No feeder to the Dumont Sill has been observed.

The age of the intrusion is not explicitly known. No radiometric age determination has yet been undertaken and there is little in the way of direct geological evidence. The conformable nature of the body together with the character of its differentiation documented below leave little doubt that it was emplaced as a virtually horizontal sill that was folded and faulted during the Kenoran event. It is reasonable to conclude that the Dumont Sill is of late Archean age but is only slightly younger than the enclosing lavas; that is, about 2.7 Ga.

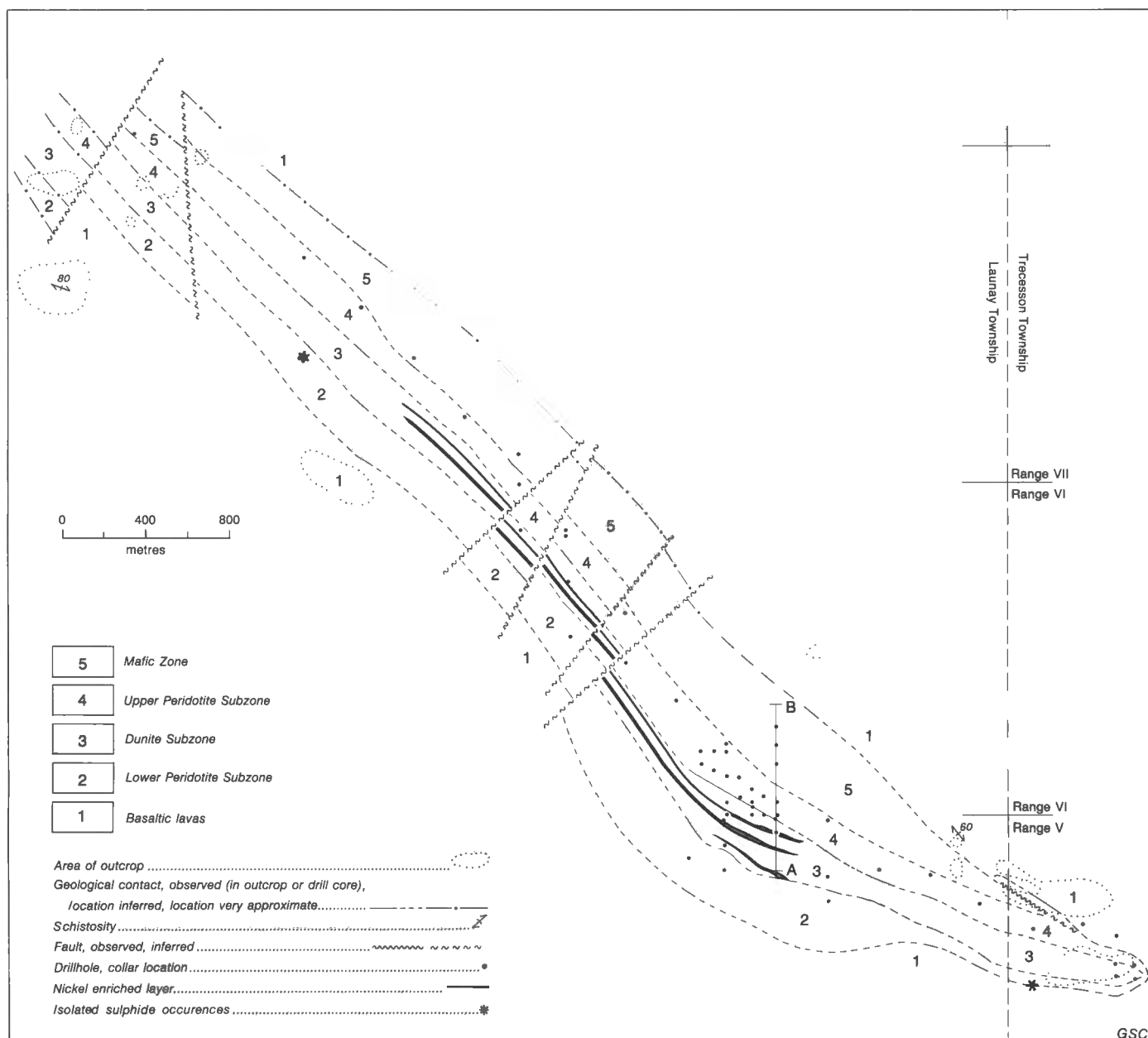


Figure 3. Geological map of the Dumont intrusion.

PETROGRAPHY OF THE INTRUSION

Magmatic textures and modal composition

Introduction

The Dumont intrusion has been pervasively altered. The rocks of the Ultramafic Zone have undergone variable amounts of serpentinization and local steatitization. Relict magmatic chromite occurs in most samples, and calcic clinopyroxene and olivine are preserved in many others. Even in completely serpentinized peridotite pseudomorphic textures are common and it is usually possible to discern the

constituent minerals and igneous texture of the unaltered precursor. The preservation of primary features in the Mafic Zone is less complete. Relict clinopyroxene occurs in a few samples but pyroxene has generally been altered to actinolite and it is not clear to what extent the amphibole mimics the primary grain boundaries of the pyroxene. Plagioclase has been almost completely saussuritized but the primary crystal shapes are preserved. The disposition of the plagioclase pseudomorphs gives the best indication of the nature of the igneous texture of the rocks of the Mafic Zone. The subsequent discussion deals with the magmatic minerals, but

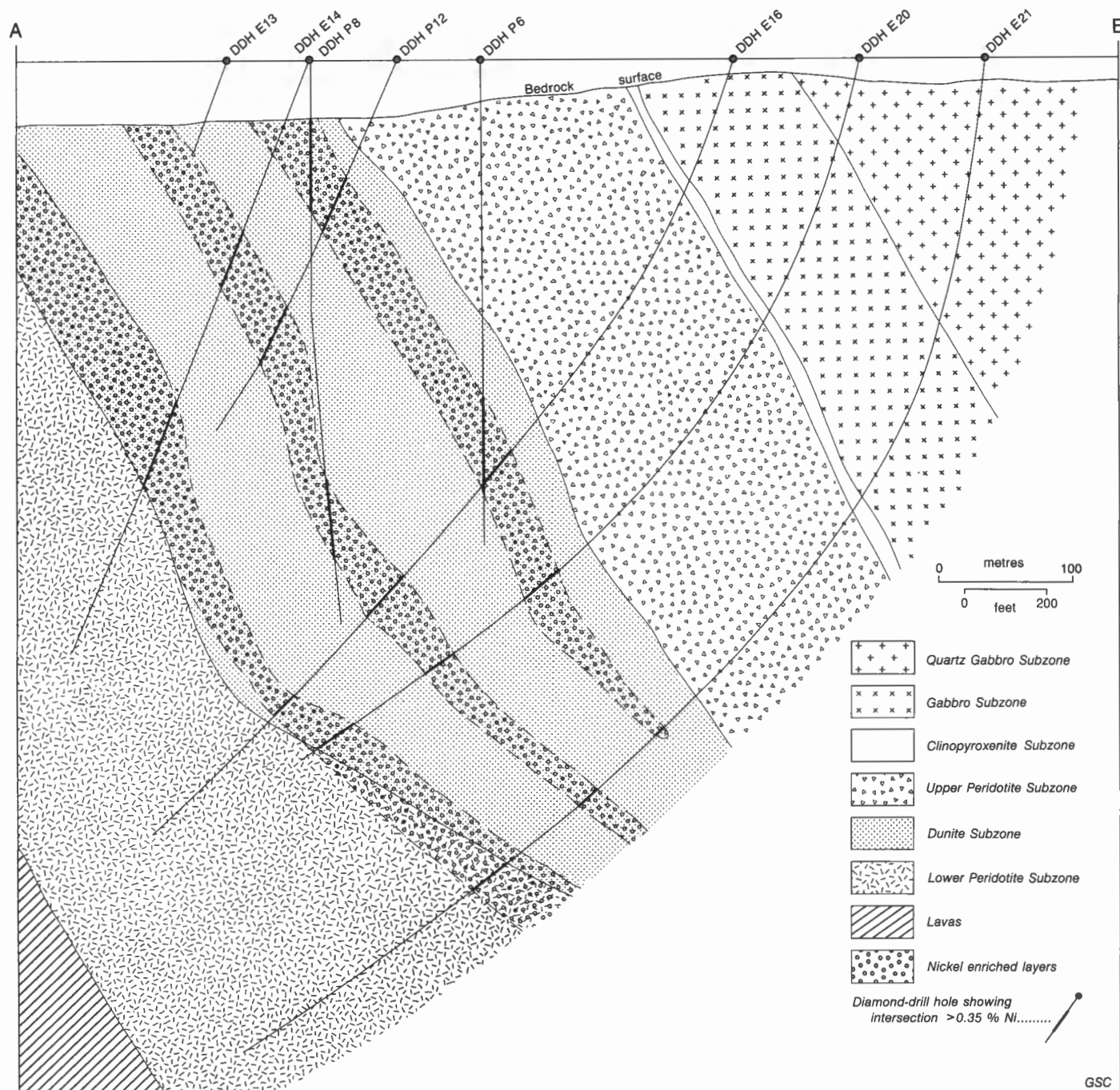


Figure 4. Cross-section 36+00 West showing positions of the three nickel-enriched layers in the Dunite Subzone. The position of the basal contact of the intrusion is projected from off-section. Note that the lowermost nickel enriched layer is not exactly conformable to the subzone boundary.

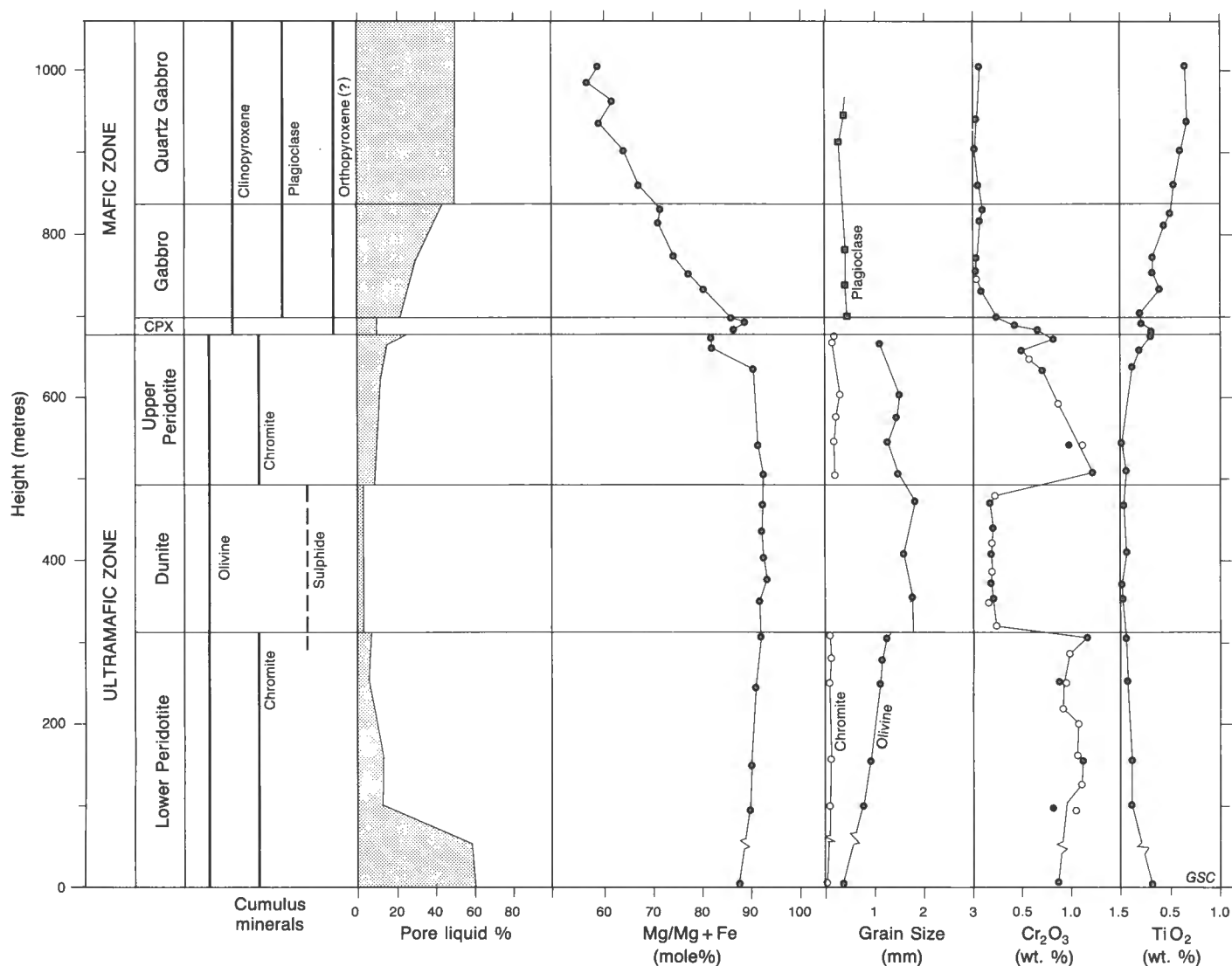


Figure 5. Modal, cryptic and grain size variation across the Dumont Sill. The chemical and grain size data were measured in samples from drillhole E21. The lowermost sample is from drillhole E8 and is included because drillhole E21 did not reach the basal contact of the intrusion. These drillholes were oblique to the plane of the Sill and so the total height represented on the vertical axis is greater than the true thickness. The cumulus range of sulphide is shown as a dashed line because its occurrence is not continuous along strike. The pore liquid % was calculated by dividing the concentrations of incompatible elements in the rocks by their inferred concentrations in the melt. The Mg/Mg+Fe ratio is the value for the whole rock: however, in the Ultramafic Zone this is normally equivalent to the forsterite content of the contained olivine. The whole rock Cr_2O_3 profile includes data from the present study as filled circles and that of Bonneau (1977) as open circles. In the Ultramafic Zone, the Cr_2O_3 concentrations reflect the modal amount of chromite whereas in the Mafic Zone, where chromite does not occur, chromium occurs mainly in clinopyroxene. The whole rock TiO_2 content generally reflects the amount of intercumulus material.

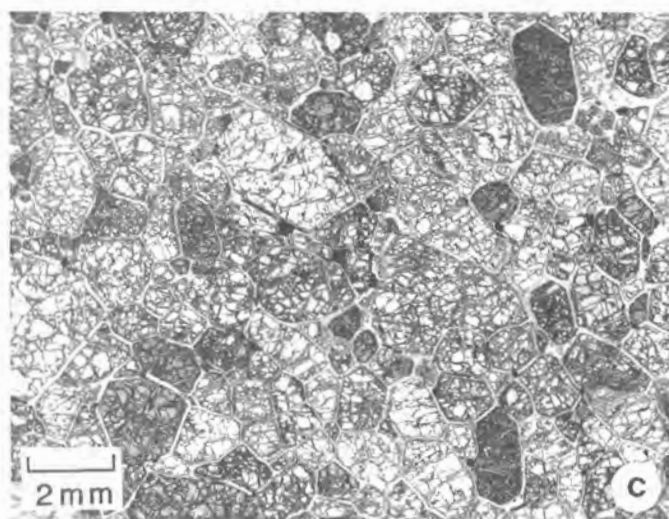
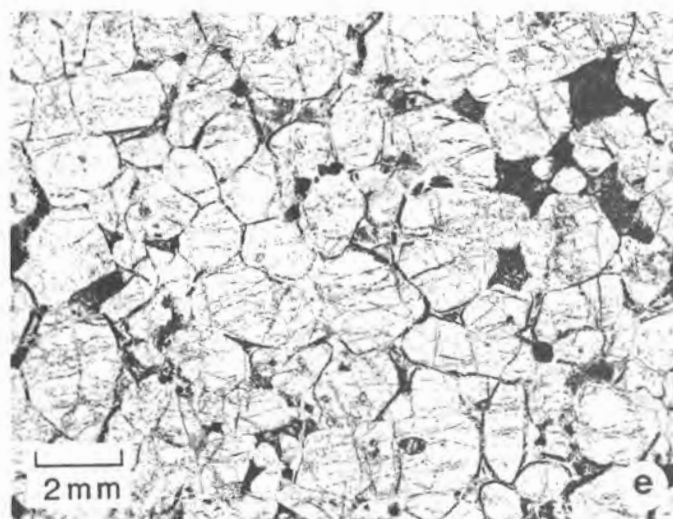
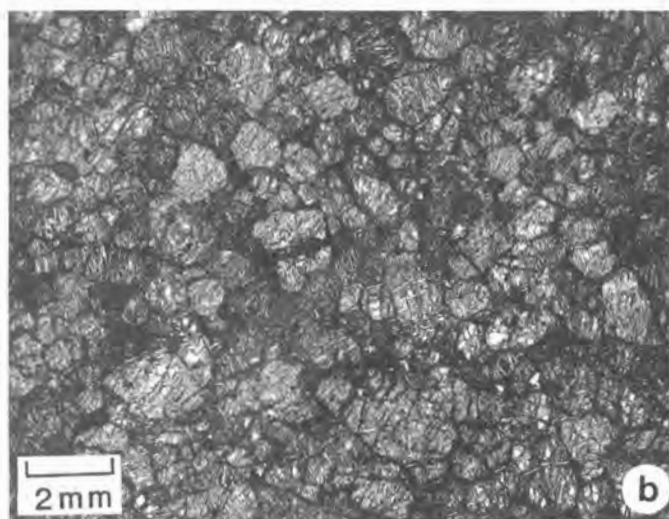
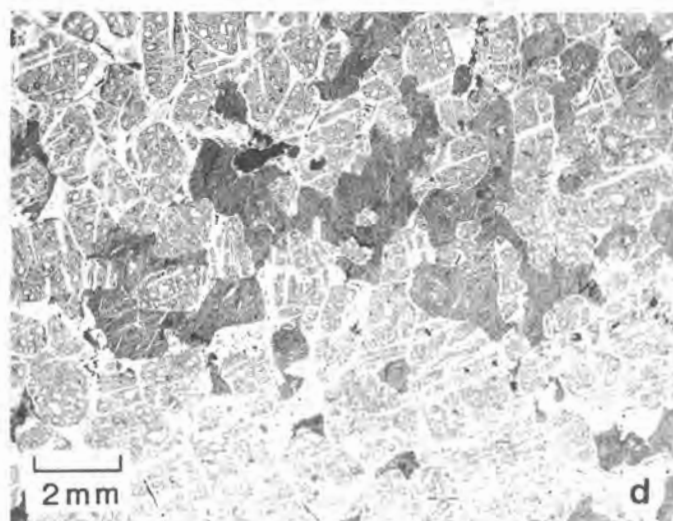
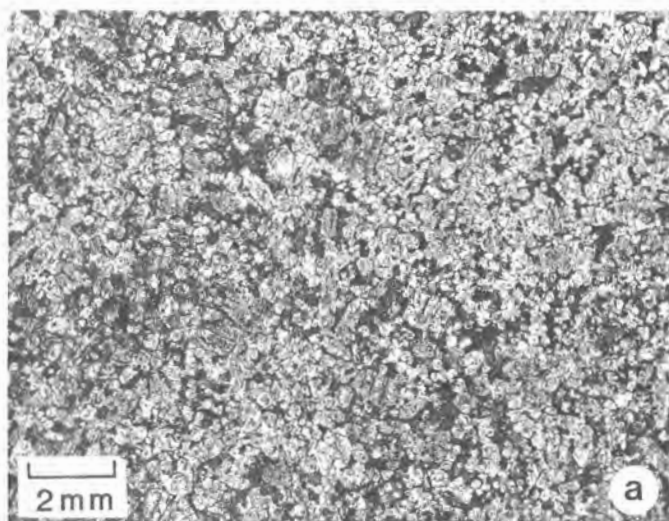


Figure 6. Primary igneous textures in the Dumont Sill. Photomicrographs are arranged in order of increasing stratigraphic height and are reproduced at the same scale.

- (a) Fine grained olivine-chromite orthocumulate (poikilitic wehrlite) from the base of the Lower Peridotite Subzone. Euhedral to subhedral olivine (serpentinized) and chromite are enclosed by oikocrysts of clinopyroxene. Sample W12-2010, transmitted polarized light.
- (b) Fine grained olivine-chromite adcumulate from the upper part of the Lower Peridotite Subzone. Anhedral olivine is serpentinized along grain boundaries. Sample E21-2886, transmitted partially polarized light.
- (c) Medium grained olivine adcumulate from lowermost Dunite Subzone. The opaque grain in the centre is intercumulus chromite. This is among the least altered specimens observed with only limited development of serpentine occurring along the boundaries between the olivine anhedral. Sample E16-1830, transmitted polarized light.
- (d) Clinopyroxene oikocryst enclosing partly serpentinized olivine in the Dunite Subzone. The opaque grain (top centre) is cumulus sulphide. Only rarely is this much intercumulus material observed in the Dunite. Sample E16-1245, transmitted plane light.
- (e) Medium grained olivine-chromite mesocumulate from the middle part of the Upper Peridotite Subzone. Subhedral olivine (completely serpentinized) and euhedral chromite poikilitically enclosed by clinopyroxene (largely altered). Sample W7-415, transmitted plane light.

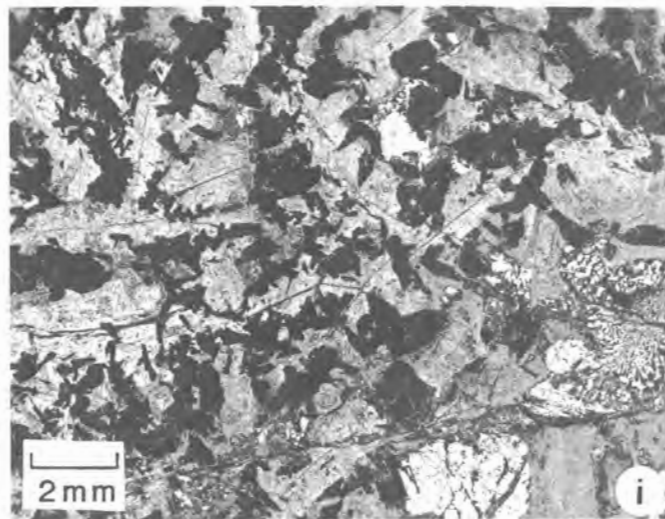
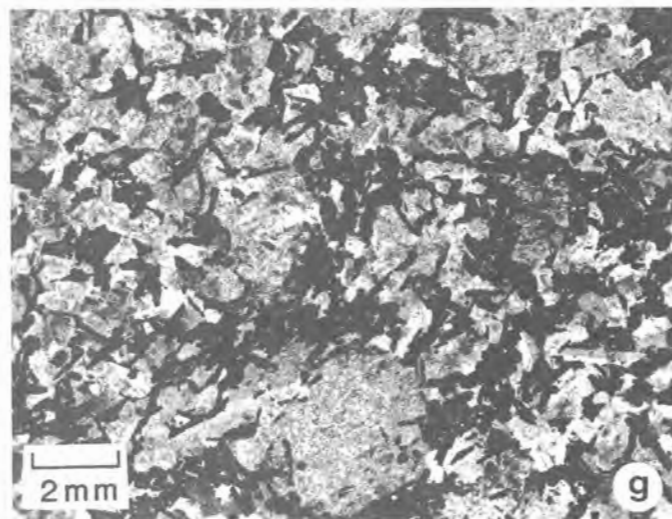
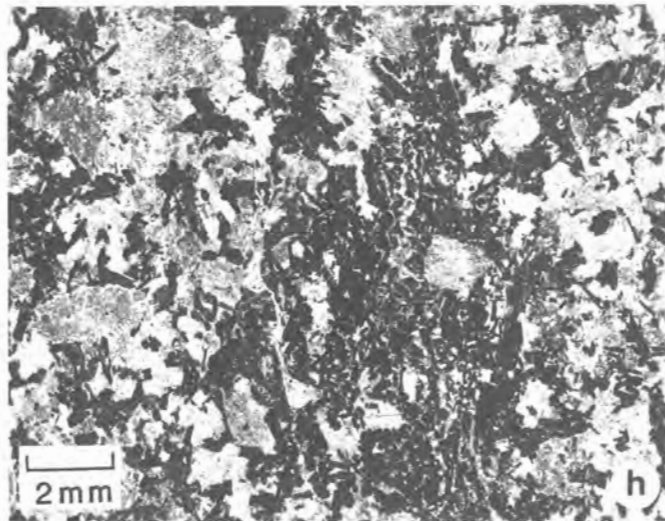
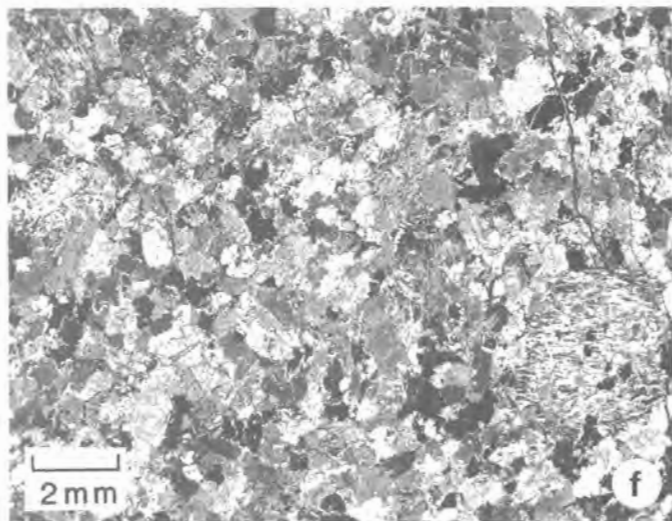
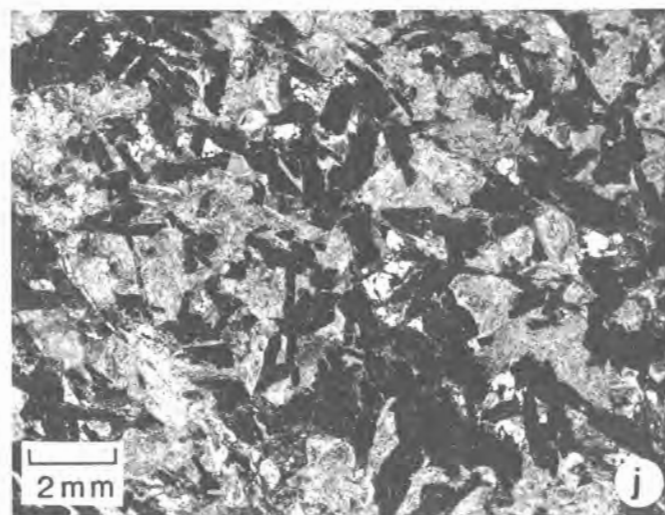


Figure 6 (cont.)

- (f) Fine grained clinopyroxene adcumulate from Clinopyroxenite Subzone. Note the sutured or interlocking nature of the grain boundaries between clinopyroxene anhedral. Sample E21-1135, transmitted polarized light.
- (g) Subophitic texture in Gabbro Subzone. Actinolite, presumed to be replacing primary clinopyroxene, is partially interstitial to, and partially encloses, euhedral to subhedral laths of plagioclase (nearly opaque due to saussuritization). Sample E21-830, transmitted polarized light.
- (h) Part of irregular plagioclase-rich layer in Gabbro Subzone. The large, square-shaped actinolite pseudomorph is probably after orthopyroxene. Sample E21-690, transmitted plane light.
- (i) Plagioclase-pyroxene cumulate from Quartz Gabbro Subzone. Plagioclase laths (saussuritized) occur in clusters and the disposition of actinolite pseudomorphs suggests a subophitic primary texture. Note the granophyric intergrowth at the right. Sample E21-290, transmitted plane light.
- (j) Noncumulate texture in Quartz Gabbro Subzone. Note the relatively coarse grain size of plagioclase laths (saussuritized) and abundance of interstitial quartz. Sample E21-160, transmitted plane light.



it is emphasized that the altered character of the rocks has necessitated a large degree of inference from relict textures and bulk chemical composition.

The rocks of the Ultramafic Zone and much of the Mafic Zone have cumulus textures and I have adopted the terminology of Irvine (1982). The descriptive connotations of this terminology are useful and widely understood, notwithstanding the fact that the genetic implications of such textures (Wager et al., 1960) have changed dramatically in light of recent studies (McBirney and Noyes, 1979; Irvine, 1980). The grain sizes of cumulus minerals discussed below are the averages of the maximum and minimum dimensions of 75 randomly selected grains in each thin section. These averages will be slightly less than the "true" values owing to the effects of sectioning.

Ultramafic Zone

Olivine, chromite and calcic clinopyroxene are the essential magmatic minerals throughout the Ultramafic Zone. The zone has been subdivided into the Lower Peridotite Subzone, the Dunite Subzone and the Upper Peridotite Subzone with the contacts between the units being defined by an abrupt change in the abundance and texture of chromite which is readily discernible in hand specimen. The variation in modal composition through the intrusion is illustrated in Figure 5: the change in the modal proportion of chromite is reflected in the cryptic variation of Cr_2O_3 .

The lowermost 30 to 50 m of the Lower Peridotite Subzone is an olivine-chromite orthocumulate made up of about 70% olivine, 28% clinopyroxene and 2% chromite. The olivine grains are generally euhedral, equant to moderately elongated and average 0.4 mm in size, although a few grains as large as 1 mm are present (Fig. 6a). Some very elongated crystals occur and there is a tendency for these to be rudely aligned. The chromite is also idiomorphic but is much finer grained, averaging only 0.04 mm. Clinopyroxene is the only apparent intercumulus phase, forming relatively large oikocrysts that enclose both olivine and chromite. The grain size of these oikocrysts is difficult to determine but probably falls in the range of 3 to 10 mm. Very fine lamellae of calcium-poor pyroxene occur in patches in the central portions of some clinopyroxene grains. Except at the narrow eastern end of the intrusion where the entire thickness of the Lower Peridotite is an orthocumulate, the texture grades upwards through mesocumulate to adcumulate textures at the top of the unit. The proportion of clinopyroxene decreases to about 2% and it is observed as small cusped grains in the interstices of the cumulus olivine. The average olivine grain size increases to 1.2 mm and the crystals become anhedral in outline (Fig. 6b). The proportion of chromite is virtually constant at 2% across the Lower Peridotite, and its grain size in the middle and upper parts of the subzone averages about 0.08 mm. The chromite grains occur individually or in clusters in the interstices of the olivine grains and there is a tendency for the larger crystals to be somewhat subhedral. Tiny (<0.025 mm), idiomorphic crystals of nearly transparent chromite occur as inclusions in olivine throughout the Ultramafic Zone but are nowhere abundant.

The Dunite Subzone is an extreme olivine adcumulate being composed on average of 98% cumulus olivine, 1.5% intercumulus clinopyroxene, and 0.5% intercumulus chromite. Cumulus sulphide occurs locally in the unit (see below).

Olivine forms equant, xenomorphic grains that average from 1.5 to 2 mm in size (Fig. 6c). Rare crystals as large as 10 mm across have been observed. The increase in average olivine grain size across the Lower Peridotite - Dunite contact is subtle but apparently abrupt. Both clinopyroxene and chromite are typically observed as small, cusped interstitial grains but an oikocrystic character is evident in thin sections where either mineral is particularly abundant (Fig. 6d). Spectacular chromite oikocrysts as large as 3 mm have been observed (Fig. 7a).

The Upper Peridotite Subzone is an olivine-chromite cumulate. The modal composition grades from 95% olivine, 2.5% chromite and 2.5% clinopyroxene at the base to 84% olivine, 15% clinopyroxene and 1% chromite at the top. The increase in the proportion of intercumulus clinopyroxene is accompanied by a decrease in olivine grain size from 2 to 1.1 mm and a gradation of olivine texture from xenomorphic towards idiomorphic. The olivine crystals appear slightly rounded against clinopyroxene at the top of the subzone which may be indicative of resorption (Fig. 6e). The average grain size of chromite, 0.16 mm, is virtually constant across the subzone. Chromite-rich layers occur in the upper parts of the ultramafic zones of similar sills in Réaume township, Ontario (Duke and Bonardi, 1982) and the Amos sill (Hébert, 1982). Some samples of chromite-rich olivine-chromite cumulate have been observed in the Upper Peridotite (Fig. 7b) but the existence of layers cannot be confirmed due to the limitations on sampling described above. At first inspection, the Upper Peridotite may appear to be a mirror image of the Lower Peridotite Subzone. However, the coarser grain size of the cumulus phases and the distinct upwards decrease in the proportion of chromite in the former unit are significant differences.

Magmatic sulphides occur in both the Dunite and Lower Peridotite subzones but are neither ubiquitous nor homogeneously distributed within these units. It is noteworthy that no unequivocal examples of magmatic sulphides have been observed in the Upper Peridotite or, for that matter, in the overlying Mafic Zone described below. Five zones of relative sulphide enrichment have been identified. Two of these zones occur within the Lower Peridotite but since they have each been intersected in only a single drillhole in areas where drillholes are rather widely spaced (250 m), very little may be concluded in respect to their lateral extent. One occurs immediately above the basal contact of the intrusion towards its eastern end (section 4+00 E) and has a true thickness of about 3 m. The sulphide textures in this zone, as described in the core logs and as observed in the single specimen available for study, are apparently of secondary origin, and the ultimate magmatic origin of this zone is uncertain. The other was intersected towards the western end of the sill (section 108+00 W) in the upper part of the Lower Peridotite, and because the hole was terminated within the zone, its thickness is unknown. There has been more complete exploration of three generally parallel and conformable layers occurring in the central part of the Ultramafic Zone (Fig. 3, 4). The abundance of magmatic sulphides within these three layers is variable but generally falls within the range of 1 to 3%. Magmatic sulphides also occur above and below the enriched layers but usually in amounts much less than 1 modal per cent.

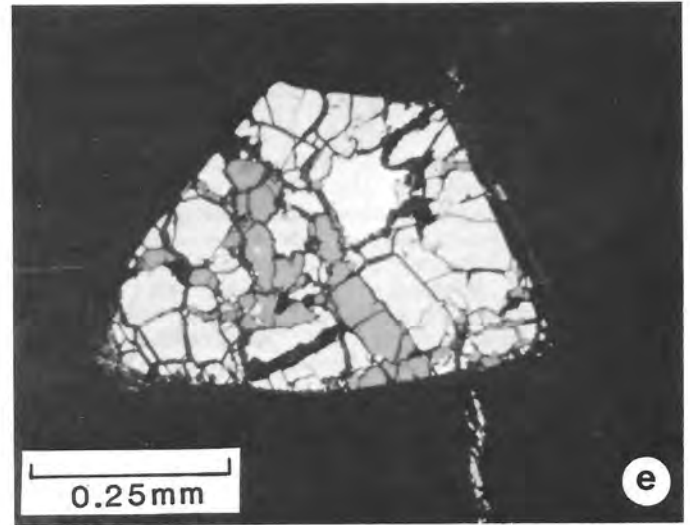
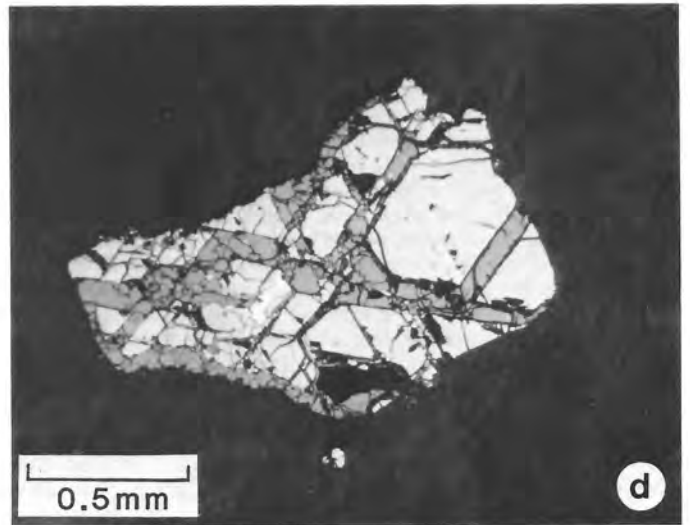
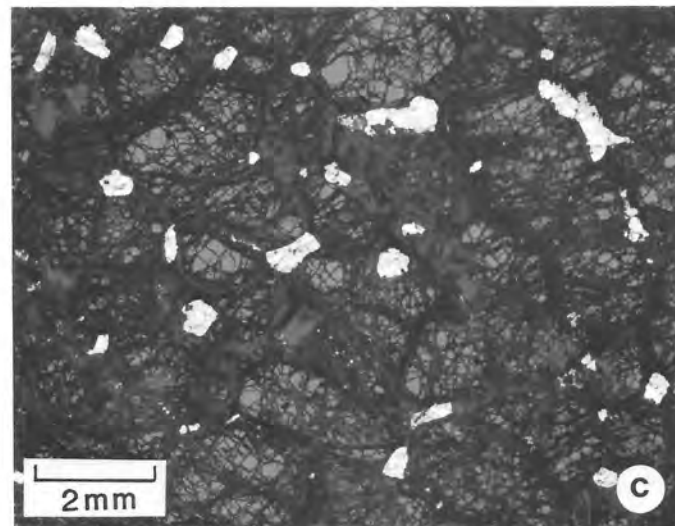
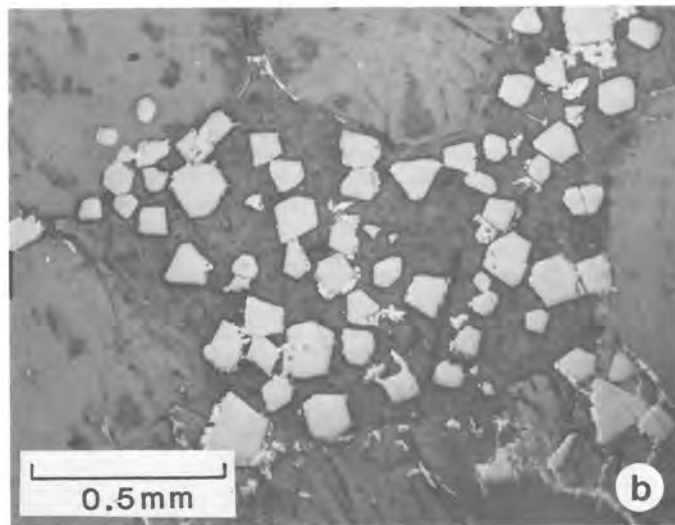
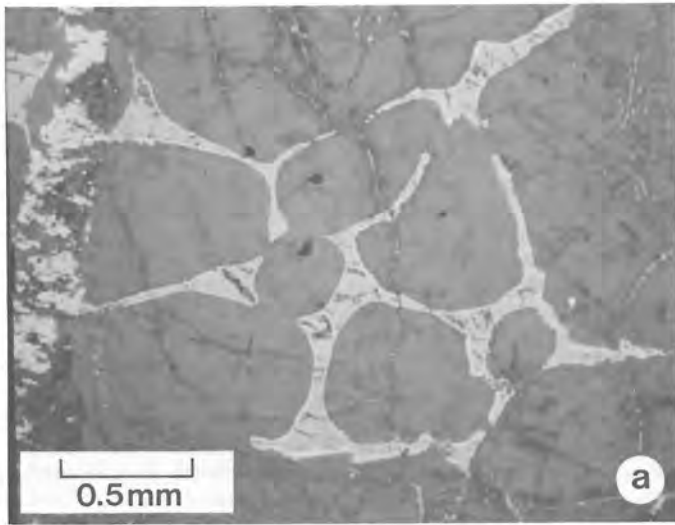


Figure 7. Opaque minerals in the Ultramafic Zone of the Dumont Sill.

- (a) Large chromite oikocryst (medium grey) enclosing serpentized cumulus olivine (dark grey), Dunite Subzone. The thin rim of magnetite (light grey) on the chromite and the magnetite "vein" on the left are typical secondary features. Sample W10-555, reflected plane light.
- (b) Cumulus chromite euhedra poikilitically enclosed by clinopyroxene, upper part of Upper Peridotite Subzone. Sample W7-300, reflected plane light.
- (c) Olivine + sulphide cumulate, Dunite Subzone. Magmatic sulphide grains retain their primary morphology but have been altered to the secondary assemblage pentlandite + magnetite + awaruite. Sample E20-2045, reflected plane light.
- (d) Typical magmatic sulphide grain with magnetite (dark grey) developed along {111} cleavage in pentlandite (medium grey), and a small grain of awaruite (white) near middle. Sample E20-1550, reflected plane light.
- (e) Magmatic sulphide grain with pentlandite (medium grey), magnetite (dark grey) and awaruite (white). The external morphology of the grain reflects its position interstitial to five olivine crystals. Sample P4-1029, reflected plane light.

Both magmatic and secondary sulphide grains are present in the ultramafic rocks. The relict magmatic grains are identified by their size and external morphology, their relationship to the primary silicates, and by the fact that they are typically polyminerally. The magmatic grains occur in the interstices of the cumulus olivine and exhibit a variety of shapes characteristic of liquid immiscibility (Fig. 7c-e). Some very small grains (<0.1 mm) are nearly spherical and in a few samples such spheres are included within cumulus olivine. However, the magmatic grains most typically have the appearance of droplets which have been deformed by the crystallization of the surrounding olivine, yielding a variety of ellipsoidal, bulbous, and subangular shapes and indicating that the silicate matrix crystallized at a higher temperature than the molten sulphide (e.g., Naldrett, 1969). A further characteristic is the tendency for the droplets to coalesce and to be concentrated within patches in a given specimen. These patches in some cases appear to be small domains of net-textured sulphide but do not satisfy the criterion of electrical conductivity (e.g. Kanehira, 1966). Within the zones of magmatic sulphide enrichment, the grains typically have mean sizes in the range of 0.4 to 0.7 mm, but elsewhere tend to be less than 0.2 mm. The modal composition of the magmatic sulphides is a result of conditions that prevailed during serpentinization (Eckstrand, 1975), and is therefore dealt with below.

Mafic Zone

The sharp transition between the Upper Peridotite Subzone and the overlying Mafic Zone is marked by the disappearance of modal olivine and chromite. The Mafic Zone has also been subdivided into three subzones: the Clinopyroxenite Subzone, the Gabbro Subzone, and the Quartz Gabbro Subzone. The basal part of the Clinopyroxenite Subzone is made up of about 85% cumulus clinopyroxene and possibly 15% intercumulus Ca-poor pyroxene (bronzite) which is completely altered to actinolite. Clinopyroxene is preserved in the unit although it is mostly altered to actinolite (Fig. 6f). It forms equant to slightly elongated, xenomorphic grains that average 0.5 mm in size. Very fine exsolution lamellae of what is presumably Ca-poor pyroxene occur in their central portions. No relict Ca-poor pyroxene grains have been observed but it is believed that the generally square patches of amphibole are pseudomorphs of bronzite oikocrysts. These patches are about 3 mm in size and include subhedral grains of unaltered calcic pyroxene.

The appearance of plagioclase marks the upward transition into the Gabbro Subzone which is interpreted to be a clinopyroxene-plagioclase-orthopyroxene cumulate. It is composed on average of about 40% clinopyroxene, 40% plagioclase and 20% orthopyroxene although individual samples are often heterogeneous with plagioclase-rich and pyroxene-rich domains. The nature of the domains is unclear owing to the sampling limitations described above; however, in some specimens they have the appearance of irregular layers 5 to 10 mm in thickness. Plagioclase occurs as lath-shaped crystals that range in average size from 0.45 mm at the base of the subzone to 0.30 mm at the top. Although clinopyroxene is almost completely altered, the disposition of

saussuritized pseudomorphs of plagioclase gives an indication of its shape. Thus it would have formed slightly to very elongated grains averaging about 2 mm in size (Fig. 6g). In one sample where clinopyroxene is preserved, cumulus clinopyroxene in the pyroxene-rich portion is optically continuous with intercumulus clinopyroxene infilling between cumulus plagioclase in the plagioclase-rich portion, suggesting substantial adcumulus growth of the pyroxene. The texture may be described as subophitic. Generally square patches of amphibole are common in the plagioclase-rich portions and are interpreted to be pseudomorphs of cumulus bronzite (Fig. 6g,h). There is a crude alignment of the elongated plagioclase and clinopyroxene grains in the Gabbro Subzone. Both the Clinopyroxenite and Gabbro subzones are olivine normative.

The Quartz Gabbro Subzone is defined by the presence of conspicuous modal quartz and the rocks are also quartz normative. Plagioclase makes up on average about 45 modal per cent of the rocks. There is no unaltered pyroxene but orthopyroxene is more abundant in the norm than is clinopyroxene. Two distinct rock textures occur in the Quartz Gabbro. The first is regarded as a plagioclase-pyroxene cumulate and the second as a noncumulate gabbro. The textures in the cumulus material are quite similar to those in the underlying Gabbro Subzone (Fig. 6i). The lath-shaped plagioclase averages 0.30 to 0.35 mm in size while the pyroxenes were probably on the order of 2 to 3 mm. The principal difference is the abundance of quartz, both as intercumulus material between the plagioclase crystals and as larger (2-3 mm) grains of quartz or patches of granophyric intergrowth. The noncumulate rocks of the Quartz Gabbro are much coarser grained than the cumulates (Fig. 6j). Plagioclase is more equant than in the cumulates and averages at least 1 mm in size, and the amphiboles are more

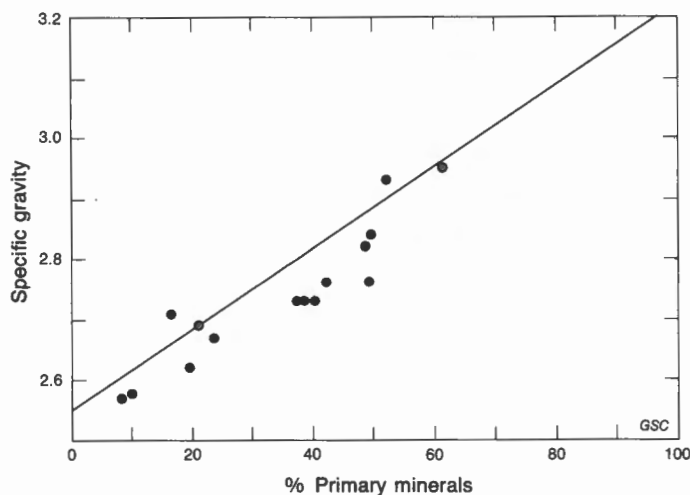


Figure 8. Variation of specific gravity with modal per cent of primary minerals (olivine+clinopyroxene+chromite). The solid line joins the specific gravities of olivine (Fo₉₀) and lizardite.

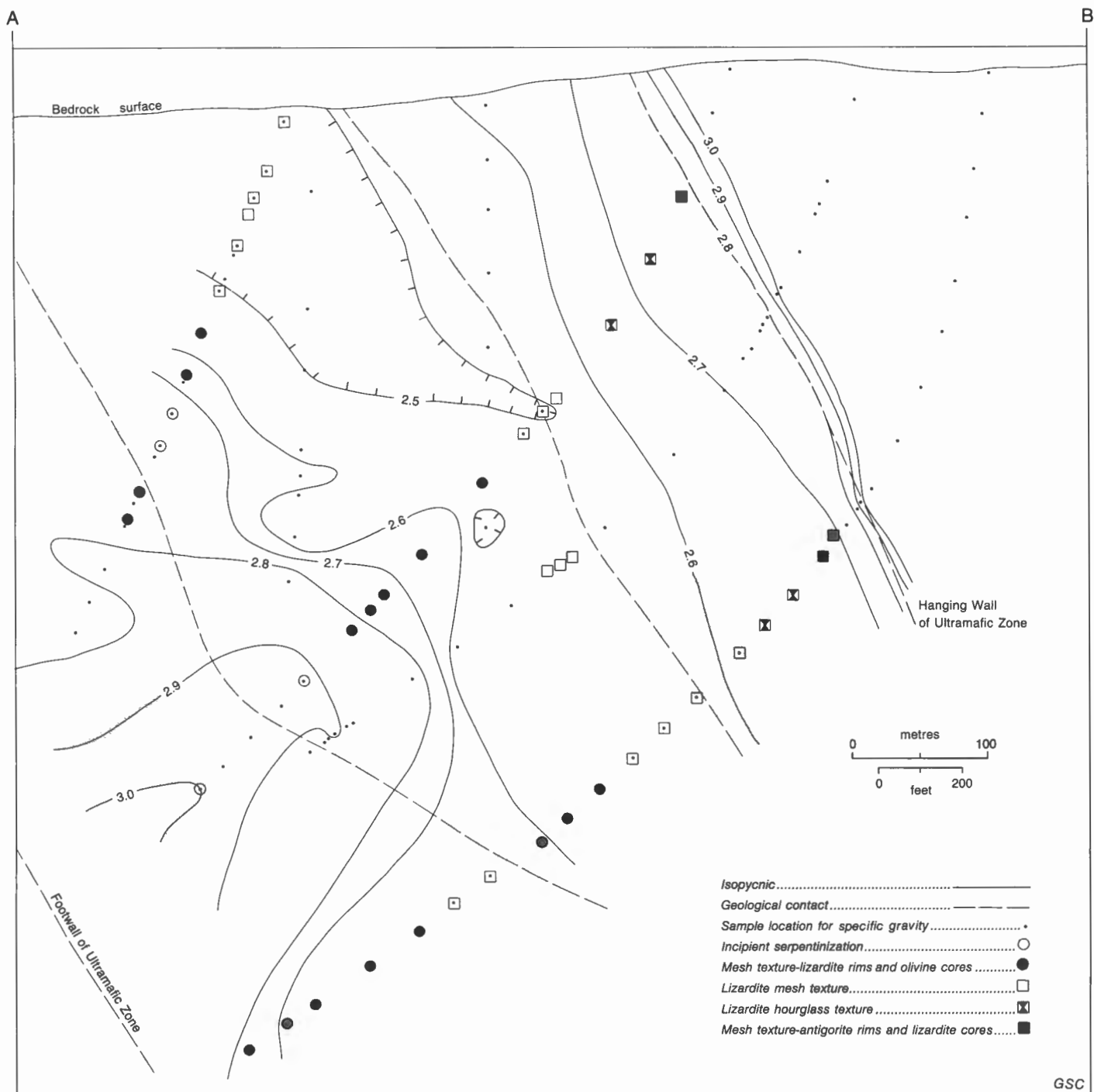


Figure 9. Distribution of specific gravities and serpentine textures in cross-section 36+00 West. The highest specific gravities indicate the least altered ultramafic rocks.

strongly coloured indicating their iron-rich composition (see below). The abundance of quartz, as well as the accessory minerals titanomagnetite (altered to leucoxene), apatite and sphene, also suggest that these rocks are enriched in residual constituents.

Secondary textures and modal composition

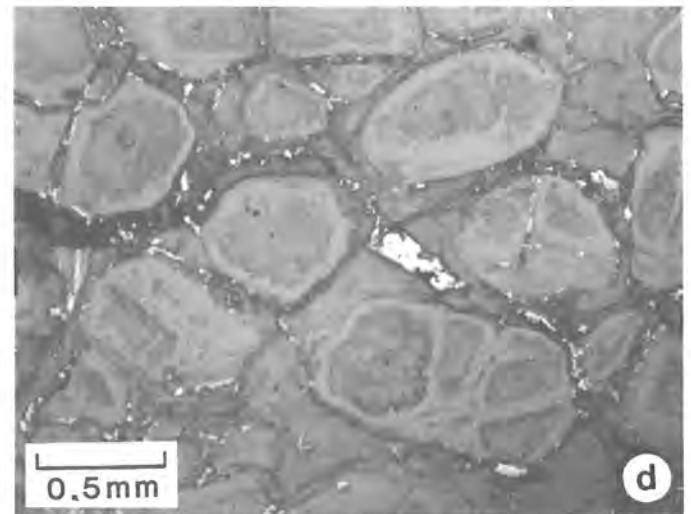
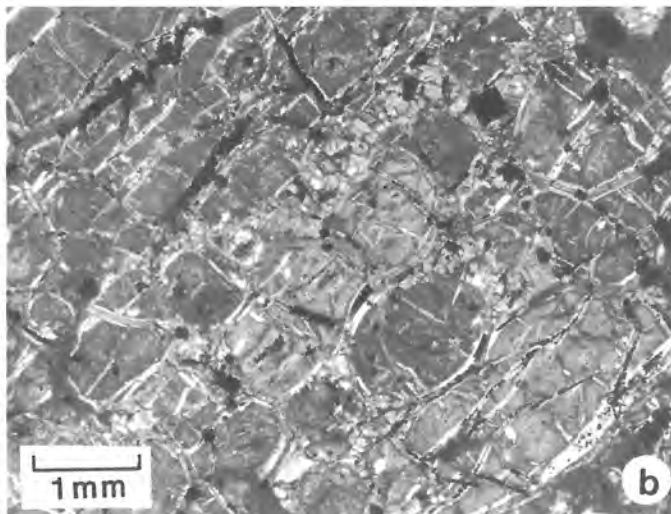
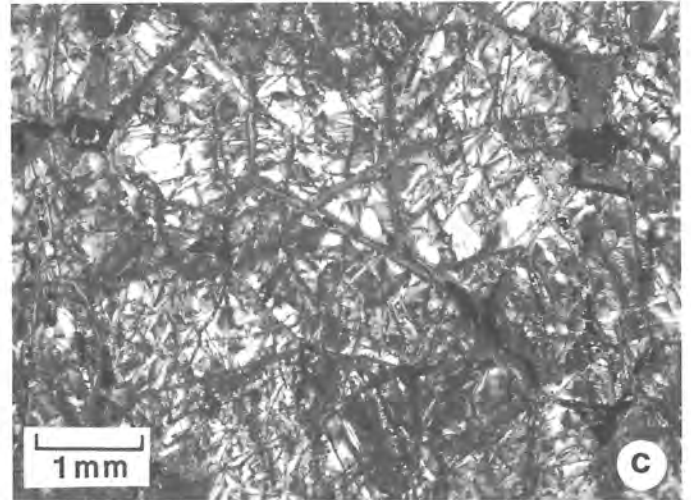
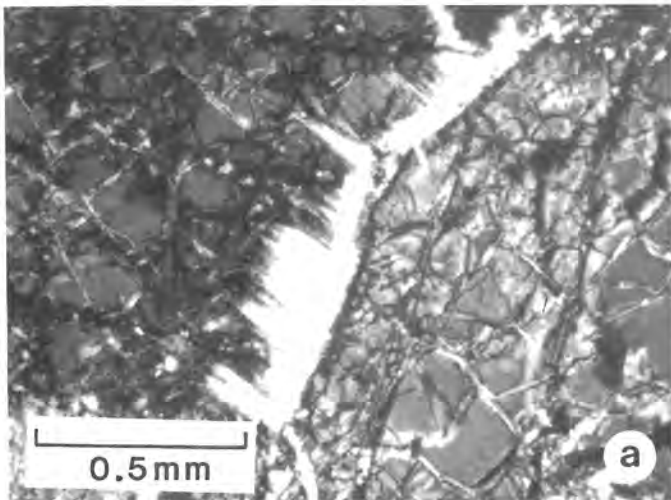
Ultramafic Zone

There are no completely unaltered rocks in the Ultramafic Zone. Most are serpentinites which contain less than about 25% relict primary minerals. Serpentinized peridotite or dunite having from 25 to 75% magmatic minerals is observed, however, and is concentrated in two main zones outlined by the magnetite depressions in Figure 2. The specific gravity of the serpentinized rock varies directly as the proportion of relict minerals as illustrated in Figure 8.

The distribution of specific gravities in cross-section 36+00W is shown in Figure 9 and, when considered in conjunction with the magnetic pattern, suggests that the least altered rocks form a rod-shaped zone displaced towards the lower margin of the intrusion.

The only significant development of steatite occurs in isolated locations at the basal contact of the Ultramafic Zone. The contact was penetrated by drilling in only nine places along the length of the intrusion and steatite was observed in two of these, sections 17+00E and 136+00W. These zones of talc-carbonate rocks were about 30 and 50 m in true thickness, respectively, and amount to about one-quarter of the total thickness of the Ultramafic Zone.

The identification of the various serpentine minerals is not an entirely straightforward procedure and it is appropriate to outline the criteria used here. The general approach and terminology described by Wicks et al. (1977),



and Wicks and Whittaker (1975, 1977) has been adopted. It was found that the three serpentine polytypes could be distinguished optically in polished thin section. In transmitted light, lizardite "apparent fibres" were length fast (α -serpentine) whereas both antigorite and chrysotile were length slow (γ -serpentine). In reflected light, lizardite and chrysotile were observed to have similar polishing hardness whereas antigorite is distinctly harder. Microbeam X-ray diffraction patterns were determined for a number of typical specimens by F.J. Wicks and these confirmed the optical observations. In addition, X-ray diffraction powder patterns were measured for light mineral separates of ten samples.

The most commonly observed secondary assemblage is lizardite + chrysotile + brucite + agnetite + diopside + chlorite. Lizardite is almost always more abundant than chrysotile, and the amount of diopside and chlorite is directly proportional to the quantity of calcic clinopyroxene in the protolith. A less frequently observed assemblage is

lizardite+antigorite+magnetite+diopside+chlorite. Chrysotile and brucite are only occasionally observed in the presence of antigorite and never in abundance. The assemblage present in steatite is talc+magnesite. It is noteworthy that magnetite is typically absent from steatite.

Most samples contain at least trace amounts of various secondary sulphide and alloy minerals, either as discrete grains intergrown with secondary oxide and silicate minerals or polyminerally pseudomorphs of magmatic sulphides. Pentlandite, heazlewoodite and awaruite are common in the serpentine-bearing rocks, and the intrusion may be divided longitudinally into three zones on the basis of the distribution of these minerals. In the central part of the intrusion, from section 28+00W to section 44+00W, pentlandite is the dominant phase but it is usually accompanied by a small amount of awaruite. Heazlewoodite is the most common mineral in the eastern part of the intrusion where it occurs either alone or together with pentlandite. A variety of sulphide-alloy assemblages occur in the western part of the

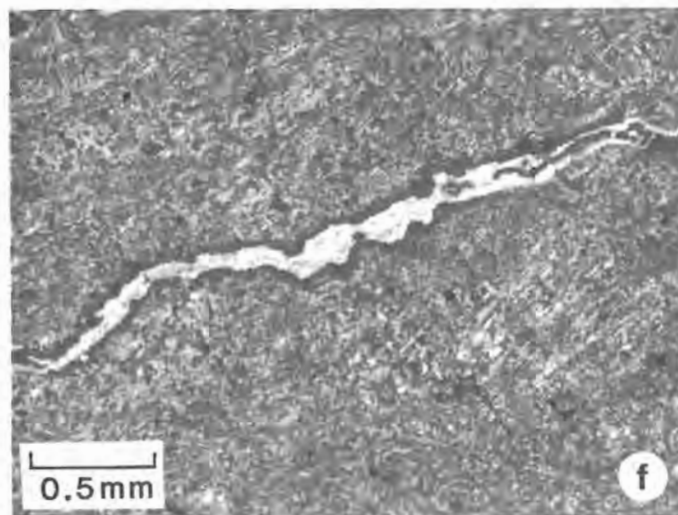
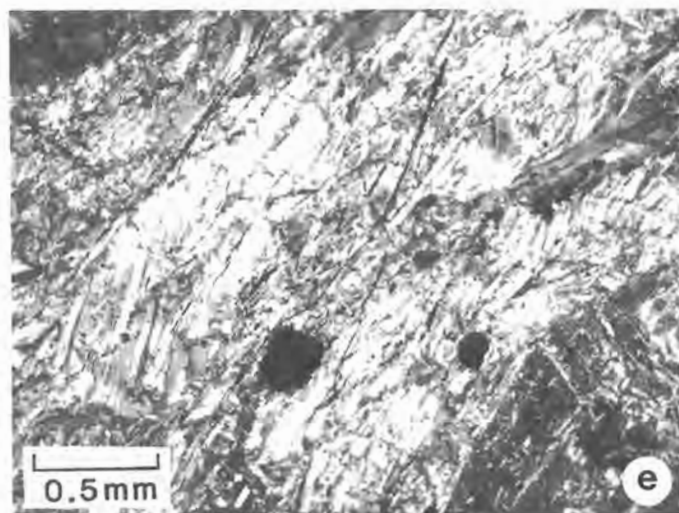
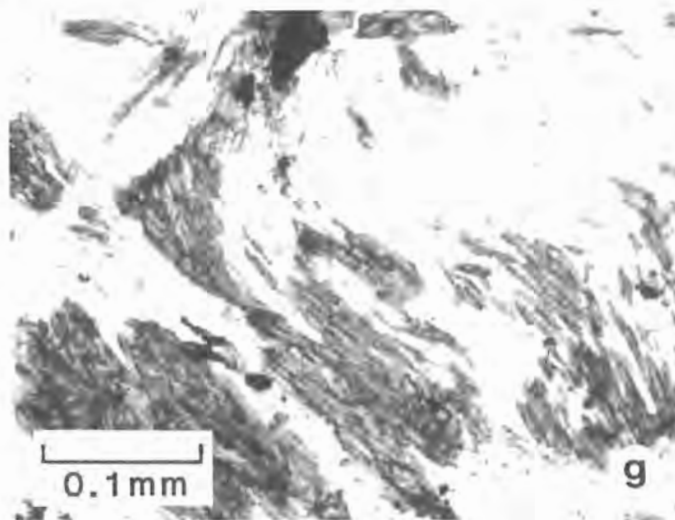


Figure 10. Textures related to serpentinization of the Ultramafic Zone.

- (a) Incipient serpentinization with development of lizardite along grain boundaries and fractures within olivine and "apparent fibres" of chrysotile at right angles to grain boundaries. Sample E16-1670, transmitted polarized light.
- (b) Pseudomorphic mesh texture with lizardite mesh cores and rims. Although olivine is completely serpentinized, relict clinopyroxene persists (upper right). Sample E9-1165, transmitted polarized light.
- (c) Lizardite hourglass texture with numerous veins of brucite + magnetite. Sample E16-725, transmitted polarized light.
- (d) Pseudomorphic mesh texture with lizardite mesh centres and antigorite apparently replacing lizardite in mesh rims. This photomicrograph is a good illustration of the contrasting polishing characteristics of lizardite and antigorite with the latter standing out in relief. Sample E21-1200, reflected plane light.
- (e) Nonpseudomorphic ribbon texture with lizardite "ribbons" apparently developed along subparallel fractures. The opaque grains are primary chromite. Sample W7-255, transmitted polarized light.
- (f) Nonpseudomorphic interpenetrating texture developed with blades or plumes of antigorite. The vein is composed of carbonate. Sample W12-1840, transmitted polarized light.
- (g) Poorly crystallized secondary diopside (high relief) intergrown with serpentine and chlorite. Sample W7-255, transmitted plane light.



intrusion including pentlandite, heazlewoodite, awaruite, pentlandite+heazlewoodite, and pentlandite+heazlewoodite+awaruite. Native copper has been observed in several samples from both the central and western zones but not in the presence of awaruite. Millerite is the sulphide phase in the talc-carbonate rocks at the basal contact of the intrusion. The assemblage pyrrhotite+pentlandite+chalcopryrite occurs in some serpentinite samples adjacent to the basal contact, notably in the sulphide-rich zone in section 4+00E described above. The assemblage pyrrhotite+pentlandite+mackinawite+valleriite was observed in two samples from the sulphide-rich layers in the central part of the intrusion (Chamberlain, unpublished notes).

The distribution of sulphide and alloy minerals is broadly consistent with the model proposed by Eckstrand (1975) whereby rocks containing relict olivine are characterized by the assemblage pentlandite+awaruite, completely serpentinized rocks commonly contain heazlewoodite with or without pentlandite and/or awaruite, and talc-carbonate rocks typically contain millerite. However, there are some apparent deviations from the model in that some completely serpentinized samples contain the assemblage pentlandite+awaruite and a few relict olivine-bearing specimens have pentlandite+heazlewoodite. Eckstrand (1975, Fig. 6) suggested an idealized footwall to hangingwall distribution of opaque mineral assemblages, but I have not found this to be strictly applicable in the Ultramafic Zone.

The textures observed in the serpentinized rocks fall into the five categories: incipient serpentinization (Fig. 10a), pseudomorphic mesh texture (Fig. 10b,d), pseudomorphic hourglass texture (Fig. 10c), nonpseudomorphic ribbon texture (Fig. 10e), and nonpseudomorphic interpenetrating texture (Fig. 10f). In the pseudomorphic textures, the outlines of primary olivine and pyroxene crystals may be discerned and some relict magmatic grains may even be present. Little or no trace of primary magmatic texture is found in the

nonpseudomorphic textural types. The pseudomorphic mesh texture is by far the most frequently observed type among the samples studied. Nonpseudomorphic textures are developed only locally.

Lizardite is the most common serpentine mineral in the Dumont intrusion, particularly in the partly serpentinized peridotites and pseudomorphic-textured serpentinites where it usually constitutes the mesh rims, mesh centres, and hourglass textures. Chrysotile occurs in some samples as mesh rims, as fibres bordering, and oriented perpendicular to, fractures that cut across the pseudomorphic texture, and as cross- or slip-fibres filling crosscutting fractures. Chrysotile also seems to be the most common serpentine in the nonpseudomorphic ribbon textures. In most cases, chrysotile appears to have grown at the expense of lizardite and only rarely can it be argued that it has formed directly from olivine. Antigorite most commonly occurs as rims replacing lizardite along original olivine grain margins and internal fractures (Fig. 10d). A few examples of antigorite rosettes replacing lizardite were also observed. Brucite and magnetite have similar textural relationships. Both are typically localized along original olivine grain boundaries and, less commonly, along intragranular cracks in the pseudomorphic-textured samples. They also occur sparsely intergrown with serpentine within pseudomorphs. Brucite, magnetite, and chrysotile are intergrown in veins (Fig. 10c). Magmatic chromite grains in the serpentinized rocks virtually always have rims of magnetite which are in sharp contact with the chromite but have ragged contacts with the silicate matrix. This type of rim is considered to be an overgrowth and contrasts with the ferritchromite reaction rims commonly observed on chromite in regionally metamorphosed rocks (e.g., Bliss and MacLean, 1975). Such rims indicate that the surface of the chromite grains provided a favourable nucleation site for magnetite. Chlorite and diopside form intergrowths with serpentine that pseudomorphically replace primary clinopyroxene (Fig. 10g). The diopside in these

Table 2. Representative olivine analyses – arranged in order of increasing stratigraphic height

Sample no. Subzone	E8-1160 LP	E21-3079 LP	E16-2185 LP	E16-1670 D	E21-2150 D	E21-1837 D	W13-520 UP	E21-1200 UP	W7-300 UP
SiO ₂	39.4	40.1	39.6	40.1	40.7	40.0	39.9	39.0	39.7
FeO	13.0	11.2	10.7	9.80	7.35	7.82	7.17	14.6	14.7
MnO	0.25	0.31	0.14	0.14	0.11	0.07	0.08	0.22	0.26
MgO	47.7	47.8	49.8	49.0	51.4	50.5	52.4	45.6	44.7
CaO	nd	0.04	nd	0.10	0.10	0.08	0.09	0.13	0.08
NiO	0.25	0.31	0.27	0.35	0.37	0.32	0.33	0.17	na
Total	100.6	99.8	100.6	99.5	100.0	98.8	100.0	99.8	99.4
Cations/4 oxygen									
Si	0.978	0.994	0.974	0.991	0.989	0.986	0.971	0.983	1.00
Fe	0.270	0.232	0.220	0.203	0.149	0.161	0.146	0.308	0.310
Mn	0.005	0.006	0.003	0.003	0.002	0.001	0.002	0.005	0.006
Mg	1.767	1.765	1.825	1.804	1.861	1.856	1.901	1.714	1.680
Ca	-	0.001	-	0.003	0.003	0.002	0.002	0.004	0.002
Ni	0.005	0.006	0.005	0.007	0.007	0.006	0.006	0.003	-
Fo (mole %)	86.8	88.4	89.3	89.9	92.6	92.0	92.9	84.8	84.4
nd - not detected; na - not analyzed									

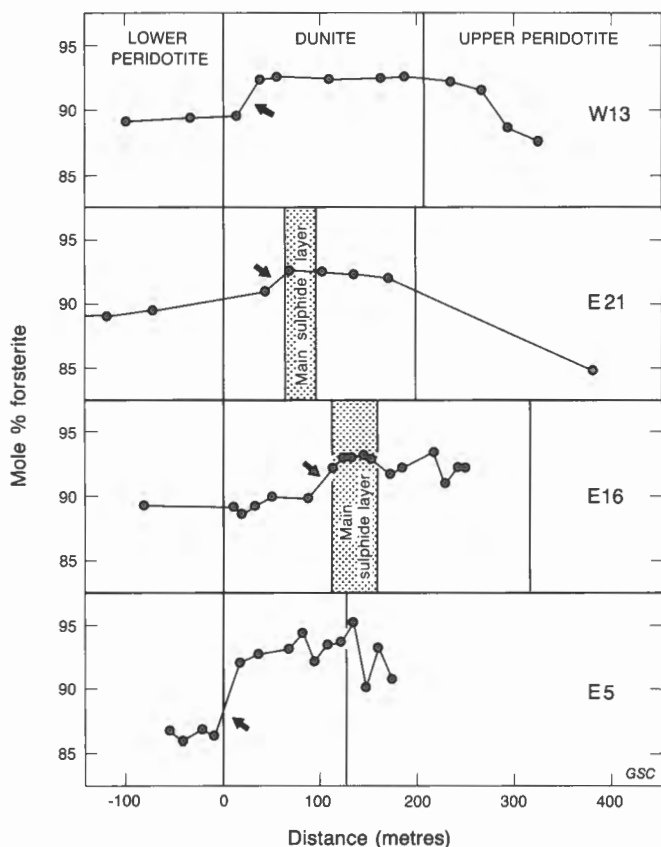


Figure 11. Variation of the forsterite content of olivine in drillholes E5 (section 17+30E), E16 (section 36+00W), E21 (section 36+00W) and W13 (section 108+00W). The horizontal scale gives the distance above (+) or below (-) the base of the Dunite subzone and thus stratigraphic top is to the right. The data for drillhole E5 are inferred from whole-rock analyses whereas those for the other drillholes are microprobe analyses of olivine. The abrupt increase in forsterite content in the lower part of the Dunite Subzone is indicated by arrows.

pseudomorphs tends to form minute crystals (>50 microns) whereas some coarser secondary diopside (about 0.5 mm) has been observed in nonpseudomorphic serpentine.

The olivines in partly serpentinized samples host a variety of inclusions of presumed secondary origin. These include planar arrays of minute fluid inclusions, acicular grains, possibly of serpentine, and tiny opaque dendrites, similar in appearance to the dendritic magnetite inclusions in olivine from the Gardiner intrusion, East Greenland, described by Frisch and Keusen (1977).

The distribution of secondary minerals and textures in cross-section 36 + 00W is depicted in Figure 9. There is a systematic progression from mesh texture with relict olivine mesh centres in the zone of least altered rocks, through mesh textures with lizardite mesh centres, pseudomorphic hourglass textures, and, near the upper contact of the Ultramafic Zone, mesh textures with lizardite cores and antigorite rims. The occurrence of antigorite within a few tens of metres of the upper contact is characteristic.

Mafic Zone

The essential secondary minerals in the Mafic Zone include actinolite, epidote and minor chlorite. Quartz, pyrite, calcite and leucoxene are accessories. As noted above, the texture preserves many features of the igneous precursor. The epidote occurs as very fine grained, opaque masses replacing plagioclase, and is intergrown with quartz in some pseudomorphs. Actinolite replaces both clinopyroxene and orthopyroxene and takes on a variety of habits. It most commonly forms anhedral blades after clinopyroxene which are 1 to 2 mm in size, have frayed or hackly terminations, have interlocking grain boundaries and are frequently twinned. Masses of subparallel acicular actinolite grains, 0.05 mm long, make up generally square pseudomorphs after orthopyroxene. Pale green, felted patches of very fine grained interlocking and radiating actinolite occur in areas once filled by intercumulus material. Chlorite occurs mainly as very fine grains making up irregular patches which bear no particular relationship to the primary texture. Magmatic quartz has recrystallized in some places to a finer grain size.

MINERAL COMPOSITIONS

Analytical method

The chemical compositions of the various minerals were determined using a Materials Analysis Company electron microprobe. The concentrations of Si, Ti, Al, Cr, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, and K in the silicate minerals were measured simultaneously with the instrument operated in the energy dispersive mode with an accelerating potential of 15 kilovolts. The concentrations of Cr, Ti, Al, Fe, Mn, and Mg in the oxide minerals, and of Ni, Co, Cu, Fe, and S in the sulphide and alloy minerals were determined with the instrument operated in the wavelength dispersive mode with an accelerating potential of 15 kilovolts. Nickel in the silicate and oxide minerals was determined using wavelength dispersive analysis with an accelerating potential of 25 kilovolts.

In each case, analytical standards for the principal constituents were chosen to match the composition and structure of the mineral being analyzed as closely as possible. Thus, the following standards were used as appropriate: synthetic olivine, synthetic diopside, synthetic Al-bearing enstatite, synthetic magnetite, natural chromite, natural serpentine, natural kaersutite, synthetic FeS₂, NiS, CoAs, nickel metal and copper metal. Minor elements in the silicate minerals were determined using kaersutite as a standard for Ti, Al, Ca, Na, and K, chromite for Cr, and biotite for Mn. The concentration of Ni in silicate and oxide minerals was determined using a synthetic magnetite standard containing 2% Ni.

Primary minerals

Olivine: Representative analyses of olivine are included in Table 2. No significant variation of olivine composition within individual samples was observed but it should be noted that since the olivine has been serpentinized along grain boundaries in even the least altered specimens, it is possible that thin zoned crystal margins would not be detected. The cryptic variation of olivine composition across the Ultramafic Zone is considerable and systematic as illustrated in Figure 11. It was found that the Mg/Mg+Fe ratio of the bulk rock was nearly equal to that of the contained olivine in almost all samples, and so the forsterite content of olivine may usually be inferred from the whole-rock analysis. The forsterite content of olivine is

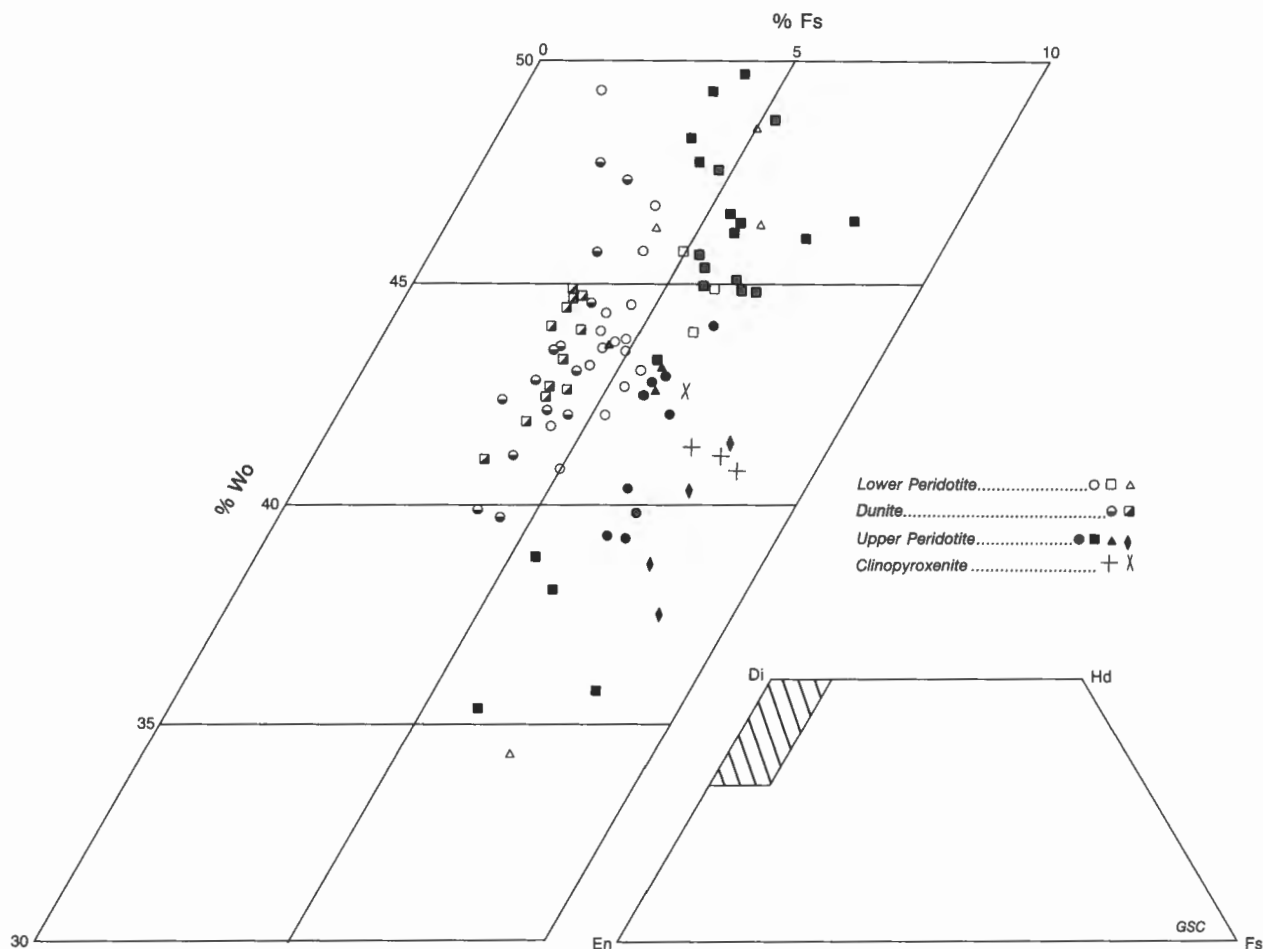


Figure 12. Compositions of Dumont clinopyroxenes plotted in the pyroxene quadrilateral. Each symbol type represents analyses from a single sample to indicate degree of inhomogeneity.

85 $\pm$ 2 mole per cent in the basal, orthocumulus part of the Lower Peridotite Subzone and increases gradually upwards to about 90% in the lower part of the Dunite Subzone. The forsterite content then increases abruptly to about 92.5 $\pm$ 1% and remains essentially constant across the upper part of the Dunite and into the lowermost Upper Peridotite Subzone. The forsterite content decreases upwards across the Upper Peridotite to about 84 to 85% at the top of the Ultramafic Zone. (The Mg/Mg+Fe ratio in the whole-rock at the top of the zone averages 0.82 which is lower than that of the contained olivine, and presumably reflects the relatively high proportion of retained intercumulus liquid.) The olivines were also analyzed for the minor elements Ni, Mn and Ca (Table 2). The concentrations of Ca and Mn approach the lower limits of detection of the analytical method but the data indicate that the concentrations of the latter element is significantly lower in the Dunite than in either the Lower Peridotite or Upper Peridotite subzones. The cryptic variation of the nickel content of olivine from unmineralized specimens correlates generally with the forsterite content. The concentration increases from about 0.2% at the base of the Ultramafic Zone to about 0.35% in the lower part of the Dunite Subzone, is essentially constant across the Dunite, and then decreases upwards across the Upper Peridotite to about 0.1% at the top of the Ultramafic Zone. The concentration

of nickel in olivine from magmatic sulphide-bearing samples is extremely variable and essentially independent of forsterite content: this phenomenon will be discussed in some detail below.

Clinopyroxene: The clinopyroxenes in the Ultramafic Zone are chrome-rich diopsides and endiopsides (Fig. 12). They contain up to 3% Al_2O_3 and 1.3% Cr_2O_3 but have very low concentrations of TiO_2 , MnO , and Na_2O (Table 3). The clinopyroxene crystals in any given sample from the Ultramafic Zone are compositionally zoned such that the cores are richer in MgO , FeO , Cr_2O_3 , and Al_2O_3 , but poorer in CaO than the margins (Fig. 13). In addition the $\text{Al}/\text{Al}+\text{Cr}$ and $\text{Mg}/\text{Mg}+\text{Fe}$ ratios are higher in the margins than in the cores of the crystals. The good correlation of Al_2O_3 and Cr_2O_3 contents of the clinopyroxenes (Fig. 14) reflects the fact that the altermvalent substitution of Cr^{3+} for a divalent cation is balanced by a coupled substitution of the Tschermak ($\text{Al}^{3+} \rightleftharpoons \text{Si}^{4+}$) rather than the kosmochlor ($\text{Na}^+ \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+}$) type. The cryptic variation of the average $\text{Mg}/\text{Mg}+\text{Fe}$ ratio of clinopyroxene across the zone parallels that in olivine although in any given sample the ratio is slightly lower in the latter mineral. There is no significant variation of the average CaO , Cr_2O_3 , or Al_2O_3 contents of clinopyroxene across the Ultramafic Zone, although the variation within

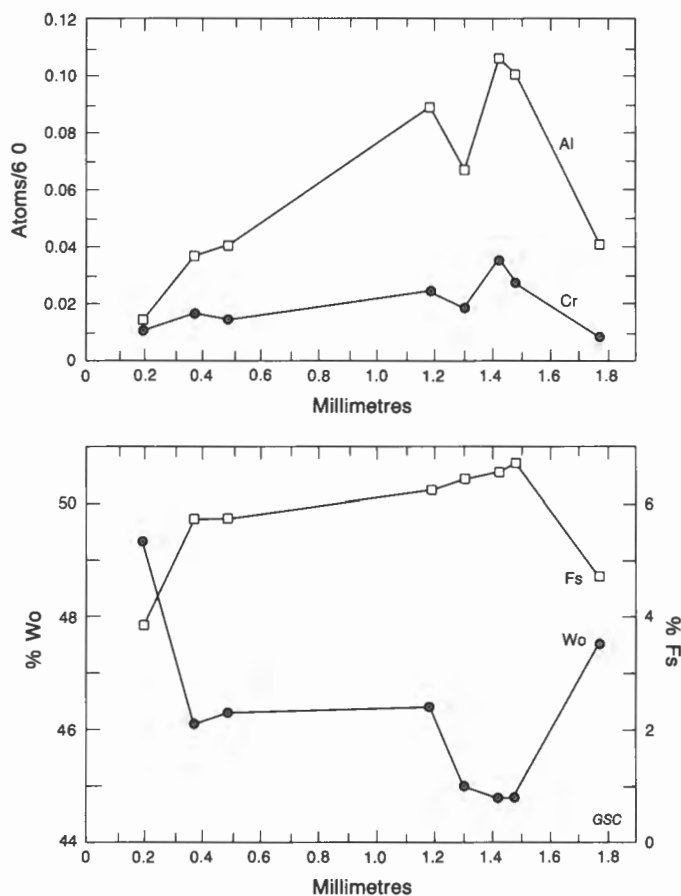


Figure 13. Analyses across a single clinopyroxene oikocryst illustrating crystal zoning with chromium, aluminum and iron enrichment in the cores and calcium enriched rims. Sample E21-1200 (Upper Peridotite Subzone).

individual samples is large. The zoning of clinopyroxene supports the conclusion that it represents orthocumulate as opposed to heteradcumulate crystallization.

Clinopyroxene has been preserved in only two samples from the Mafic Zone and these are from the Clinopyroxenite Subzone. Their compositions overlap with those from the immediately underlying Upper Peridotite Subzone but differ in that the crystals within each sample are homogeneous. The cryptic variation of clinopyroxene composition in the Mafic Zone must be inferred from whole-rock analyses owing to the pervasive alteration. Accordingly, there is a slight increase in the Mg/Mg+Fe ratio across the Clinopyroxenite from 0.86 at the base to 0.89, followed by a steady and precipitous decrease upwards across the Gabbro Subzone to 0.71 at the top of the unit (Fig. 5). The rocks in the Quartz Gabbro are thought to represent mixtures of cumulus crystals and intercumulus liquid in variable proportions and so the cryptic decrease of the whole-rock Mg/Mg+Fe ratio is not strictly representative of the contained clinopyroxene.

Chromite: The chromites display a range of chemical compositions, both as zoning within individual crystals and as cryptic variation across the Ultramafic Zone. The concentrations of the principal oxide constituents are illustrated in Figure 15, and representative analyses are given in Table 4. On average the chromites from the Dunite are richer in Cr₂O₃, Al₂O₃, and MgO, but poorer in FeO, Fe₂O₃, and TiO₂ than those from either the Lower Peridotite or Upper Peridotite subzones. The crystal cores are richer in Cr₂O₃ and MgO, but poorer in FeO, Fe₂O₃, Al₂O₃, and TiO₂ than the rims. Some of the chromite rims, particularly in samples from the orthocumulate rocks at the base of the Lower Peridotite, are extremely rich in TiO₂ in comparison with published analyses of chromites from other environments which rarely exceed 1.5% (e.g., Table 4, sample E8-1160). Crystal zoning is most pronounced in the chromites from near the top of the Upper Peridotite (Table 4, sample W13-245), and is indicative of the reaction of cumulus chromite with intercumulus liquid.

Table 3. Representative average clinopyroxene compositions – arranged in order of increasing stratigraphic height

Sample no. Subzone	E8-1160 LP	E21-3079 LP	W13-1530 LP	W13-1060 D	E16-1245 D	W13-245 UP	E21-1200 UP	W7-300 UP	E21-1135 C	E21-1100 C
n	4	3	15	12	14	9	23	4	5	1
SiO ₂	52.9	52.7	53.2	53.3	53.4	52.8	53.4	53.4	52.8	53.8
TiO ₂	0.11	0.34	0.12	0.17	0.20	0.21	0.10	0.15	0.12	0.11
Al ₂ O ₃	1.83	1.96	2.21	2.19	1.69	2.67	1.36	2.47	1.83	1.72
Cr ₂ O ₃	0.84	1.06	1.05	0.89	0.86	0.91	0.65	0.90	0.65	0.54
FeO	3.54	3.44	2.96	2.31	2.35	4.01	3.83	5.09	4.96	4.15
MnO	0.13	0.27	0.05	0.06	nd	0.10	0.11	0.12	0.12	0.17
MgO	18.0	17.08	18.6	18.9	19.1	18.3	18.0	18.6	17.9	18.5
CaO	21.5	21.6	21.7	21.6	21.6	20.2	22.3	19.6	20.4	21.3
Na ₂ O	0.34	0.55	0.11	0.14	nd	0.15	0.22	0.08	0.02	nd
Total	99.2	99.0	100.0	99.6	99.2	99.4	100.0	100.4	98.8	100.6
Cations / 6 oxygen										
Si	1.942	1.941	1.931	1.936	1.946	1.929	1.949	1.935	1.948	1.951
Ti	0.003	0.009	0.003	0.005	0.005	0.006	0.003	0.004	0.003	0.003
Al	0.079	0.085	0.095	0.094	0.073	0.115	0.059	0.106	0.080	0.074
Cr	0.024	0.031	0.030	0.026	0.025	0.026	0.019	0.026	0.019	0.015
Fe	0.109	0.106	0.090	0.070	0.072	0.123	0.117	0.154	0.153	0.126
Mn	0.004	0.008	0.002	0.002	-	0.003	0.003	0.004	0.004	0.005
Mg	0.985	0.938	1.006	1.023	1.037	0.997	0.979	1.004	0.985	1.000
Ca	0.845	0.852	0.844	0.840	0.843	0.791	0.872	0.761	0.806	0.827
Na	0.024	0.039	0.008	0.009	-	0.011	0.016	0.006	0.001	-
Mg/Mg + Fe	0.900	0.898	0.918	0.936	0.935	0.890	0.893	0.867	0.866	0.888
Wo	43.6	44.9	43.5	43.5	43.2	41.4	44.3	39.7	41.4	42.3
En	50.8	49.5	51.9	52.9	53.1	52.2	49.7	52.3	50.7	51.2
Fs	5.6	5.6	4.6	3.6	3.7	6.4	6.0	8.0	7.9	6.5

n - number of analyses used in computing average; nd - not detected

The composition of chrome spinel is to some extent indicative of the petrological-tectonic setting of the rock in which it occurs (Irvine, 1965, 1967; Thayer, 1970) with chromites from stratiform intrusions, ophiolitic peridotites, and peridotite nodules in basalts having distinctive compositions. The Dumont chromites have compositions generally similar to those from other stratiform intrusions, although some have relatively high Mg/Mg+Fe ratios.

Secondary minerals

Serpentine: Representative analyses and structural formulae of the serpentine minerals from the Ultramafic Zone are given in Table 5. Antigorite contains more silicon and aluminum than do either lizardite or chrysotile. In the structural formula on the basis of 14 oxygen [i.e., $10 \text{O}^{2-} + 8 (\text{OH})^-$], silicon and aluminum sum to 4 or slightly greater in antigorite but have a distinctly lower total in lizardite and chrysotile. The chemical analyses of antigorite have higher summations, implying a lower concentration of hydroxyl, and consistent with its slightly different stoichiometry. Where two or more serpentines occur in the same specimen, lizardite mesh cores tend to have the highest Mg/Mg+Fe ratios, lizardite mesh rims and chrysotile have similar but lower ratios, and antigorite has a significantly lower ratio. There is a rough inverse correlation between the amount of Si and Fe in the structural formulae for any

particular serpentine polytype (Fig. 16). This may reflect the substitution of Fe^{3+} for Si in tetrahedral sites or possibly the charge balancing of Fe^{3+} in octahedral sites by the substitution of Al for Si in tetrahedral sites. The Mg/Mg+Fe ratios of all the serpentine minerals, however, are very much higher than those of the precursor olivine or bulk rock. Chrysotile tends to contain more chromium than coexisting lizardite and antigorite. Bastite pseudomorphs after clinopyroxene are notable for their high concentrations of aluminum and chromium, and also contain small amounts of calcium. Rucklidge (1972) found chlorine contents as high as 0.8% in serpentine mesh rims in partially serpentinized dunite from the Dumont Sill. Rucklidge and Patterson (1977) suggested the chlorine is present in the form of the compound $\text{Fe}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$ rather than in solid solution in serpentine. This conclusion was subsequently shown to be incorrect by Muir et al. (1981) who confirmed the chlorine-rich nature of fine grained serpentine in mesh rims adjacent to relict olivine. I have determined whole-rock chlorine concentrations (Fig. 17) and found the mean of 28 samples to be $0.28 \pm 0.11\%$. The five antigorite-bearing samples which were analyzed contained significantly less than the average of chlorine ($0.12 \pm 0.06\%$), and thus support the view of Muir et al. (1981) that recrystallization of fine grained serpentine is accompanied by expulsion of chlorine. However, the fact that completely serpentinized samples,

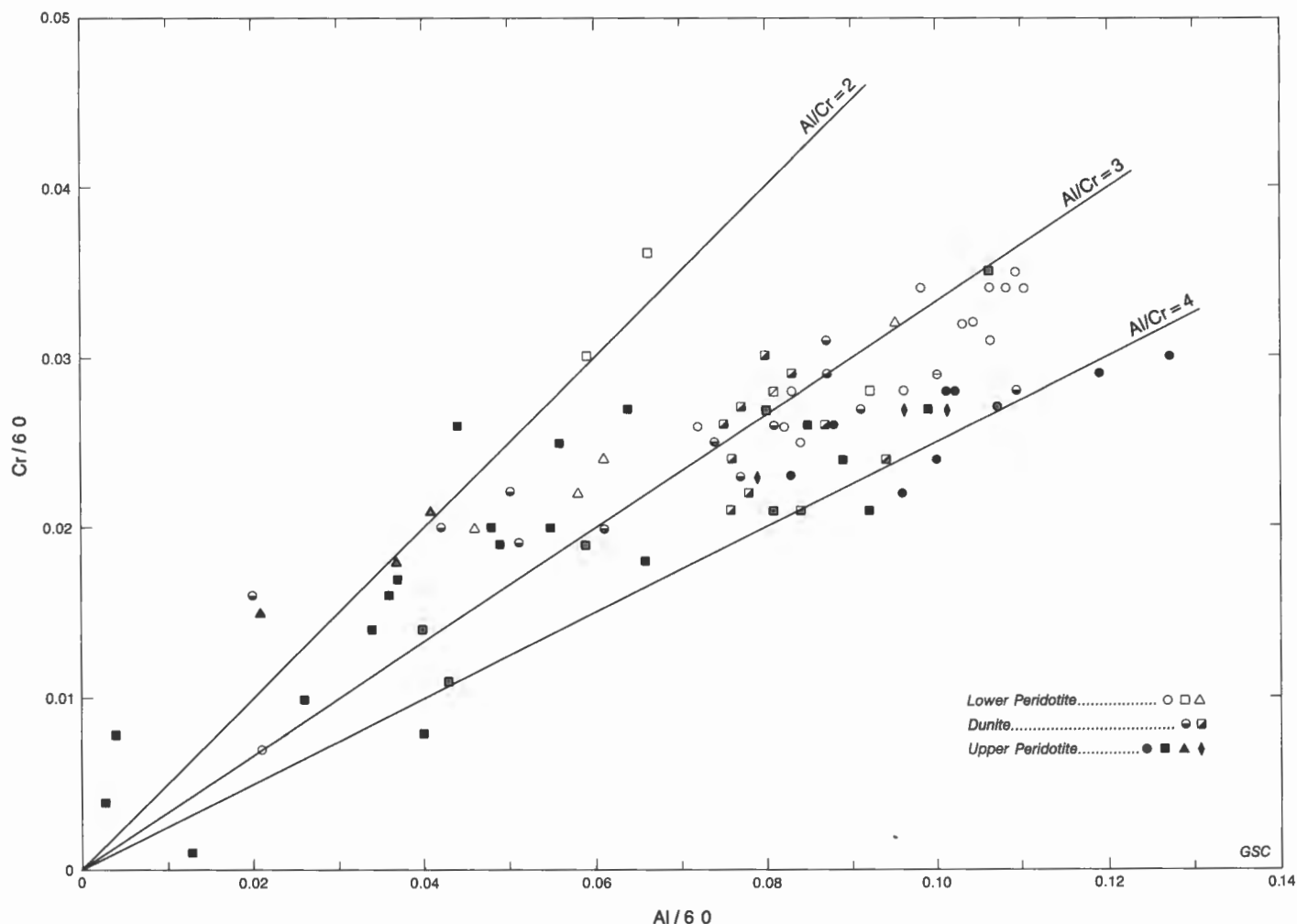


Figure 14. Correlation between chromium and aluminum contents of Dumont clinopyroxenes. Symbolism the same as Figure 12.

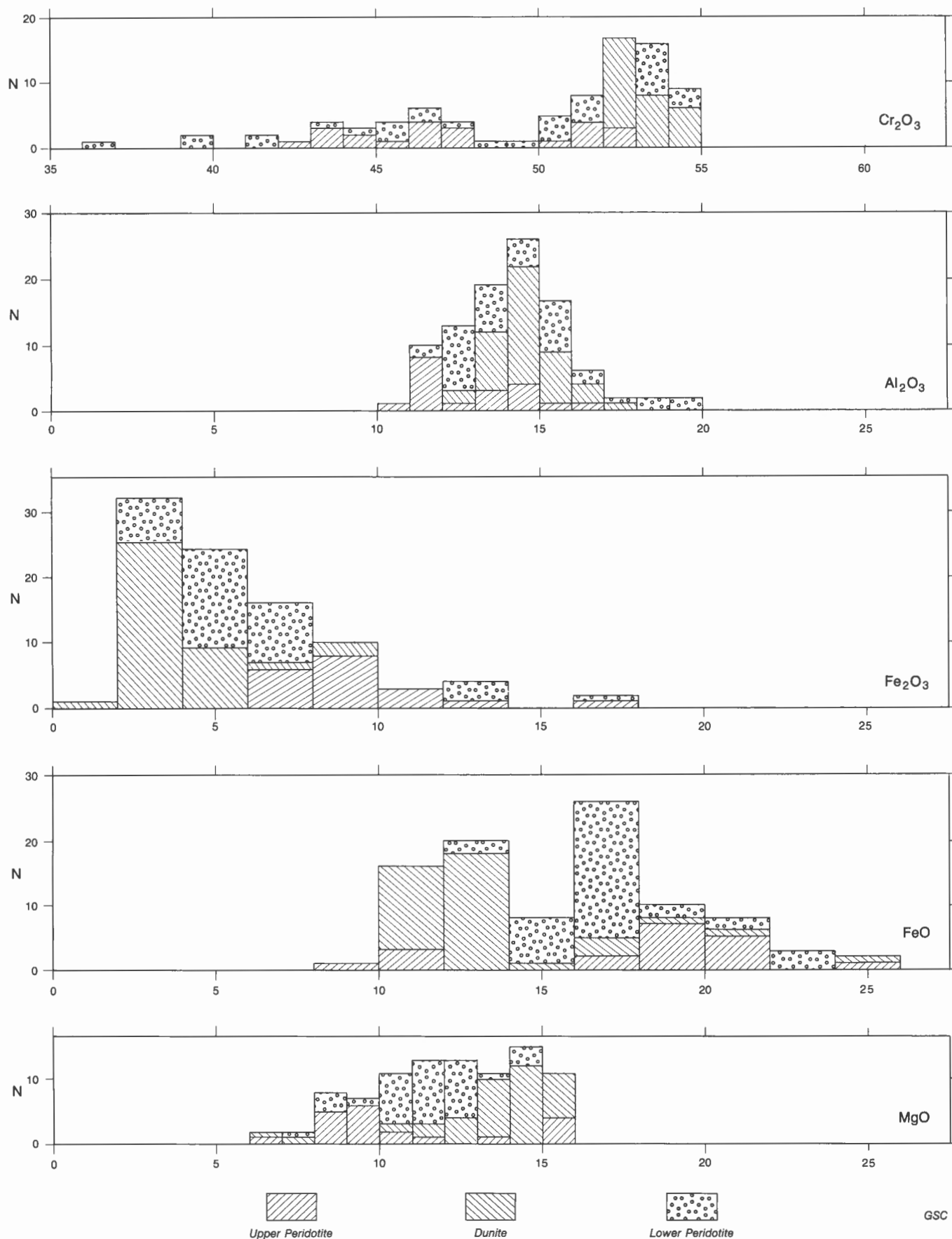


Figure 15. Histograms showing frequency distribution of oxide concentrations in analyzed chromites.

Table 4. Representative chromite analyses – arranged in order of increasing stratigraphic height

Sample no. Subzone	E8-1160 LP		E21-3079 LP		E16 2185 LP		E21 2150 D		E21 1837 D		W13 245 UP		E21 1200 UP	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
TiO ₂	1.72	3.91	0.60	0.72	0.39	0.41	0.20	0.23	0.21	0.23	0.33	2.43	0.54	1.19
Al ₂ O ₃	12.8	11.3	15.7	18.2	14.4	15.4	14.8	13.5	15.7	16.5	11.5	11.4	12.4	14.0
Cr ₂ O ₃	41.1	39.6	49.4	43.4	52.5	50.7	54.9	52.0	55.5	54.0	52.1	42.1	47.7	46.2
Fe ₂ O ₃	13.3	13.0	7.29	7.37	5.4	5.4	4.5	8.1	2.63	3.00	7.12	12.0	11.7	9.7
FeO	21.9	20.9	15.1	17.9	16.3	16.3	11.6	10.9	10.8	10.6	18.0	22.0	17.5	19.5
MgO	8.73	10.3	13.2	11.2	12.2	12.1	15.2	15.3	15.7	15.8	10.2	8.64	11.2	10.5
Total	99.7	99.7	101.3	98.8	101.2	100.3	101.0	100.0	100.6	100.2	99.3	98.6	101.0	101.1
Cations / 4 oxygens														
Ti	0.043	0.098	0.014	0.017	0.009	0.010	0.005	0.005	0.005	0.005	0.008	0.062	0.013	0.029
Al	0.502	0.440	0.578	0.687	0.538	0.577	0.539	0.500	0.573	0.600	0.448	0.452	0.472	0.533
Cr	1.079	1.040	1.223	1.101	1.315	1.275	1.347	1.296	1.356	1.320	1.359	1.120	1.218	1.176
Fe ³	0.333	0.325	0.171	0.178	0.129	0.129	0.104	0.193	0.061	0.069	0.177	0.305	0.283	0.234
Fe ²	0.609	0.581	0.396	0.481	0.432	0.435	0.301	0.287	0.280	0.275	0.498	0.619	0.472	0.525
Mg	0.432	0.511	0.617	0.535	0.576	0.575	0.703	0.717	0.724	0.730	0.503	0.434	0.541	0.503
A and B represent extreme compositions of several analyses from each sample; A is usually a crystal core and B a crystal rim. Total iron analyzed as FeO, proportions of FeO and Fe ₂ O ₃ recalculated on basis of charge balance.														

even those in which lizardite is partially recrystallized to antigorite, contain appreciable concentrations of chlorine suggests that serpentine retains some chlorine.

Diopside: Secondary diopside within any given serpentinite sample is nearly homogeneous. Average compositions of primary and secondary clinopyroxene from any given sample are similar with respect to the major constituents CaO, MgO, and FeO but the secondary grains are very much poorer in Al₂O₃ and Cr₂O₃ (Fig. 18). For example, compare column 7 in Table 3 to column 6 in Table 6.

Chlorite: The analyzed chlorites from the Ultramafic Zone have about 6 silicon and 1.5 iron atoms per 28 oxygens and therefore may be characterized as clinochlore (Table 6). Chlorite has the lowest Mg/Mg+Fe ratio of the nonmetallic secondary minerals, and the concentrations of Cr₂O₃ approach the analytical detection limit. The chlorites from the Mafic Zone rocks have 5.7 silicon and from 2.7 to 4.5 iron atoms per 28 oxygens and are thus classified as pynochlorite.

Amphibole: All the amphiboles analyzed are calcic, low in aluminum and may be described as tremolite or actinolite depending upon their Mg/Mg+Fe ratio (Table 6). There is some compositional variation within individual samples, particularly in respect to Al₂O₃ content, but this variation does not seem to correlate with the different textural habits present. The low TiO₂ and Al₂O₃ concentrations of the amphiboles support their secondary as opposed to igneous origin.

Other secondary minerals: Some of the other secondary minerals were analyzed on a reconnaissance basis. Brucite was difficult to analyze owing to its very fine grain size and instability under the electron beam, but semiquantitative results indicate that it has a lower Mg/Mg+Fe ratio than the coexisting serpentine. Similarly, magnesite is more iron-rich than the coexisting talc.

Sulphides and alloys

Two textural modes of occurrence of sulphide and alloy minerals have been described above: minute monomineralic grains which were generated during alteration of the intrusion and larger polyminerallc grains having textures indicative of magmatic origin. The minerals occurring in the magmatic grains appear to be essentially homogeneous within any given sample. The secondary grains are typically too small to allow detection of zoning but the grains in any given sample display a range of composition.

Pentlandite is the most common of these minerals and also shows the greatest range of composition (Table 7). The Ni/Fe ratio is distinctly higher in pentlandite that coexists with heazlewoodite than in that which coexists with awaruite, as would be expected from the work of Harris and Nickel (1972). Perhaps the most striking feature of the pentlandite compositions is the extreme range in cobalt concentration, from 0.5 to 37 weight per cent. In those samples in which pentlandite in both magmatic and secondary grains was analyzed, the latter have significantly higher cobalt content. In general, the cobalt content of pentlandite varies directly as the degree of serpentinization and inversely as the amount of sulphide in the rock. It would appear that the incorporation of cobalt into pentlandite occurs more at the expense of iron than of nickel. The cobalt-rich nature of many of the pentlandites is of interest in view of the fact that the rocks contain on average only about 0.01% cobalt. It is likely that the cobalt resided mainly in olivine prior to serpentinization but that it is extremely incompatible with respect to serpentine and the other nonmetallic secondary minerals.

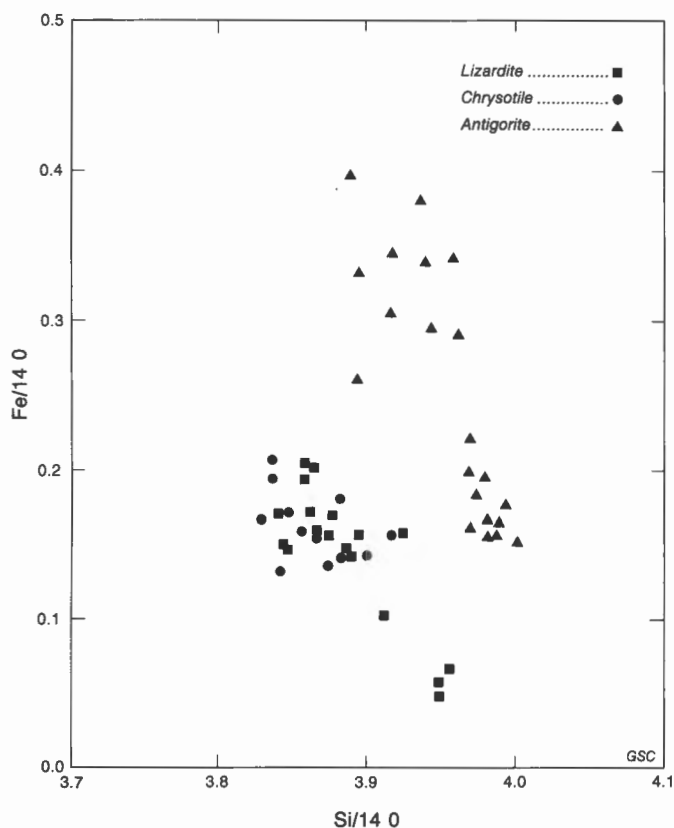


Figure 16. Composition of serpentine minerals in terms of the number of Si and Fe atoms in the structural formula. Note that for each of the polytypes there is a rough inverse correlation between Fe and Si (see text).

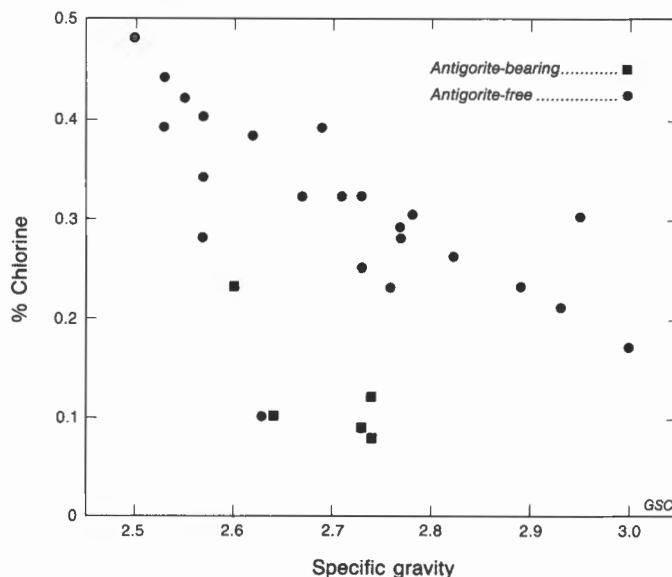


Figure 17. Variation of the chlorine concentration and specific gravity of whole-rock samples from the Ultramafic Zone. The chlorine concentration of antigorite-free samples varies inversely with specific gravity and thus directly with the degree of serpentinization.

Table 5. Representative serpentine analyses

Sample no.	E21-2378				E21-2150			E21-1200			
Subzone	LP				D			UP			
Mineral	Liz(c)	Liz (r)	Chrys	Ant	Liz(r)	Chrys	Ant	Liz(c)	Liz(r)	Ant	Bast
n	4	2	3	6	3	3	5	7	2	6	4
SiO ₂	42.9	41.0	41.0	43.3	40.2	41.1	43.4	41.6	41.5	43.9	38.5
Al ₂ O ₃	0.24	0.38	0.34	0.32	0.33	0.82	0.30	0.58	0.34	1.02	3.03
Cr ₂ O ₃	0.04	0.35	0.37	0.10	0.18	0.24	nd	0.10	0.06	0.04	0.73
FeO	0.77	2.18	1.92	2.11	2.44	2.48	2.52	1.97	3.16	4.62	3.48
MgO	43.6	42.6	41.9	42.3	41.9	42.7	42.5	43.1	42.3	42.3	39.6
Total	87.6	86.5	85.5	88.1	88.7	87.3	88.7	87.4	87.4	91.9	85.6
Cations / 14 oxygen											
Si	3.957	3.867	3.902	3.985	3.864	3.844	3.976	3.875	3.887	3.927	3.707
Al	0.026	0.042	0.038	0.035	0.037	0.090	0.033	0.064	0.038	0.108	0.344
Cr	0.003	0.026	0.028	0.007	0.014	0.018	-	0.007	0.004	0.003	0.056
Fe	0.059	0.172	0.153	0.162	0.196	0.194	0.193	0.153	0.248	0.346	0.280
Mg	5.984	5.991	5.945	5.804	6.000	5.956	5.807	5.990	5.915	5.634	5.678
Liz(c) – lizardite mesh centre, Liz(r) – lizardite mesh rim, Chrys – chrysotile, Ant – antigorite, Bast – bastite after clinopyroxene; Total iron analyzed as FeO; n – number of analyses used in computing average; nd – not detected											

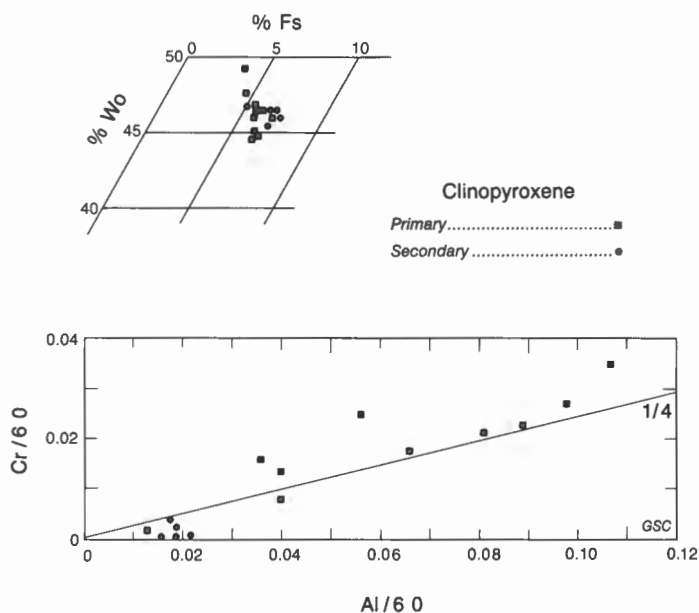


Figure 18. Compositions of primary and secondary clinopyroxenes in sample W13-1530 (Lower Peridotite Subzone).

The heazlewoodite specimens that were analyzed contained about 1% iron but no detectable cobalt or copper. The metal/sulphur ratio is close to the stoichiometric value of 1.5 [i.e. $(\text{Ni}, \text{Fe})_3\text{S}_2$]. The awaruite compositions consistently yield formulae of about $\text{Ni}_{2.95}\text{Fe}_{1.05}$ and are thus slightly more iron-rich than the Ni_3Fe stoichiometry. The limited number of secondary awaruite grains analyzed are apparently even more iron-rich but this may simply reflect fluorescence of the silicate matrix because many awaruite grains are of the same order of size as the electron beam of the microprobe. An important observation is that the awaruite typically contains on the order of 0.5 weight per cent copper and thus is the main copper-bearing mineral other than native copper. The awaruite also contains between 0.2 and 2.6 weight per cent cobalt.

ECONOMIC GEOLOGY

Introduction

The potential economic significance of the Dumont intrusion derives from the presence of disseminated, nickel-rich sulphide and alloy minerals within the ultramafic rocks. Two textural modes of occurrence of such minerals have been described. The secondary type comprises minute and generally monomineralic grains that were generated during alteration of the body. These grains are present in such small quantities that they make a negligible contribution to the nickel content of the rock. In any event, their very fine grain size would militate against their recovery by conventional mineral dressing techniques. The magmatic type comprises relatively coarse polyminerallc grains which have textures

Table 6. Representative analyses of secondary chlorite, diopside and actinolite

Sample no. Subzone	Chlorite				Diopside			Actinolite		
	E21-1295 UP	E21-1200 UP	E21-1100 C	E21-830 G	E21-1275 UP	E21-1200 UP	W7-255 UP	E21-1135 C	E21-830 G	E21-290 QG
SiO ₂	32.9	30.9	29.1	28.1	53.9	53.0	53.1	56.0	54.3	52.7
TiO ₂	nd	nd	0.09	nd	nd	nd	nd	0.07	nd	0.12
Al ₂ O ₃	12.1	14.7	19.0	18.6	0.34	0.43	0.30	0.82	2.17	2.65
Cr ₂ O ₃	0.19	0.05	nd	nd	0.07	0.08	0.09	0.18	0.08	nd
FeO	4.56	9.44	8.20	16.3	0.94	4.67	2.37	6.23	8.82	16.9
MnO	nd	nd	0.17	0.22	nd	0.16	0.16	0.11	0.14	0.27
MgO	34.4	32.5	29.7	23.0	17.8	17.7	17.0	21.0	18.6	13.8
CaO	nd	nd	nd	nd	26.2	24.0	26.0	12.4	12.7	12.0
Total	84.7	87.6	86.2	86.2	99.3	99.8	98.9	96.9	97.0	98.4
Formula										
Si	6.464	6.000	5.689	5.734	1.974	2.074	1.964	7.870	7.735	7.669
Ti	-	-	0.013	-	-	-	-	0.007	-	0.013
Al	2.805	3.368	4.385	4.479	0.015	0.020	0.013	0.136	0.365	0.455
Cr	0.030	0.008	-	-	0.002	0.002	0.003	0.020	0.009	-
Fe	0.749	1.533	1.341	2.782	0.029	0.153	0.073	0.732	1.053	2.057
Ma	-	-	0.028	0.038	-	0.005	0.005	0.013	0.017	0.033
Mg	10.074	9.406	8.655	6.996	0.971	0.742	0.938	4.399	3.957	2.993
Ca	-	-	-	-	1.028	1.820	1.031	1.867	1.942	1.871
O	28	28	28	28	6	6	6	23	23	23
Total iron analyzed as FeO; nd - not detected										

Table 7. Representative analyses of sulphides and alloys

Sample no.	E21-2048				W13-1330				W4-690				W4-220				E5-860				W13-1530			
Texture	M	PN	M	AW	M	PN	M	HZ	M	PN	S	AW	M	PN	S	HZ	M	S	ML	M	S	AW	S	CU
Mineral	PN	PN	M	AW	M	PN	M	HZ	M	PN	S	AW	M	PN	S	HZ	M	S	ML	M	S	AW	S	CU
Ni	28.5	73.2	27.8	67.7	31.8	73.1	24.2	71.8	31.8	71.9	71.7	62.9	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
Fe	35.5	27.2	30.4	30.3	32.1	1.22	14.7	24.1	22.7	0.80	24.6	0.20	2.91	2.91	2.91	2.91	2.91	2.91	2.91	2.91	2.91	2.91	2.91	2.91
Co	1.96	0.50	5.56	0.50	2.12	nd	28.5	2.39	12.8	nd	0.66	0.10	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cu	nd	0.50	nd	0.57	nd	nd	nd	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na
S	33.7	na	33.2	99.3	32.6	25.8	32.7	na	32.6	26.1	na	35.6	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0
Total	99.7	101.4	97.0	99.3	98.6	100.1	100.1	98.3	99.9	98.8	97.0	99.3	101.2	101.2	101.2	101.2	101.2	101.2	101.2	101.2	101.2	101.2	101.2	101.2
Formula																								
Ni	3.70	0.712	3.66	0.594	4.27	3.10	3.24	0.721	4.27	3.10	3.24	0.721	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033
Fe	4.85	0.278	4.21	0.393	4.53	0.05	2.07	0.255	3.20	0.04	0.263	0.003	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033
Co	0.25	0.005	0.73	0.006	0.28	-	3.80	0.024	1.71	-	0.006	0.001	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033
Cu	-	0.004	-	0.006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S	8	-	8	-	8	2	8	-	8	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Texture: M - relict magmatic grains, S - secondary grains, nd - not detected, na - not analyzed;
Mineral: PN - pentlandite, AW - awaruite, HZ - heazlewoodite, ML - millerite, Cu - native copper

suggesting they originated as droplets of molten sulphide that were immiscible in the parent magma. It is this latter type that hosts the bulk of the nickel which would be recoverable by conventional methods. Magmatic sulphides are restricted to the Dunite and Lower Peridotite subzones of the intrusion with the most extensive sulphide-enriched layers occurring in the former unit. As noted above, two widely separated zones of magmatic sulphide enrichment are known to occur in the Lower Peridotite and, given that this unit has not been explored in any detail, I do not believe that one should discount the possibility that an undiscovered zone of sulphide enrichment might occur at the basal contact of the intrusion.

Intermineral distribution of nickel

The nickel contained in the ultramafic rocks is distributed among a variety of primary and secondary silicate, oxide, hydroxide, sulphide, and metallic minerals. Knowledge of the distribution of nickel among these constituent minerals is a prerequisite to the rational evaluation of the assay data presented below. In particular, the potential recoverability of the nickel will depend upon its partitioning between the sulphide/alloy and non-sulphide/alloy fractions.

Consider first the distribution of nickel prior to alteration. Except at its margins, the Ultramafic Zone was generally made up of at least 95% olivine. Given the very low concentrations in clinopyroxene and chromite, it follows that almost all of the nickel in the sulphide-free rocks resides in olivine. This is illustrated in Figure 19a where the microprobe analyses of nickel in olivine are plotted against the assay values for the corresponding rocks. For this purpose the assays have been recalculated on a volatile-free basis. The two quantities are essentially equivalent for the unmineralized specimens. This also indicates that nickel has been immobile during serpentinization, at least for those samples in which the olivine has not been completely destroyed. Moreover, the regularity of the cryptic variation of nickel content of olivine allows prediction of its concentration at given stratigraphic levels in the Ultramafic Zone, and comparison of the assays of completely serpentinized rocks suggest that nickel has been immobile in these as well. A further implication is that the nickel content of olivine has not changed during alteration. The nickel contents of olivines in the magmatic sulphide-bearing samples are significantly lower than the corrected assay values and the differences reflect the nickel content and modal proportion of the magmatic sulphide grains prior to serpentinization (Fig. 20).

The concentrations of nickel in serpentine and magnetite are compared to that in the precursor olivine in Figure 19b. In the sulphide-free samples, the magnetite contains more nickel than the olivine whereas the serpentine contains less. The serpentine and magnetite together may account for almost all of the nickel released upon breakdown of the olivine but the inhomogeneous nature of the secondary minerals precludes a precise statement to this effect. The serpentine and magnetite in the mineralized samples each contain much less nickel than the precursor olivine and their nickel contents in many samples approach the analytical detection limit. An implication of these data is that much of the nickel released from the olivine during serpentinization is taken up by the magmatic sulphide grains. This means that serpentinization may have increased the nickel tenor of the sulphide/alloy fraction and therefore greater recovery of nickel might be expected from the more altered rocks.

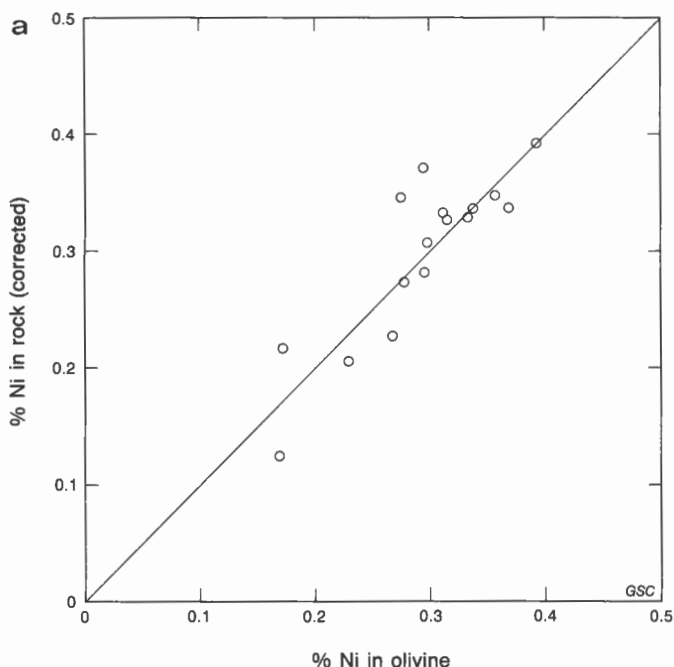
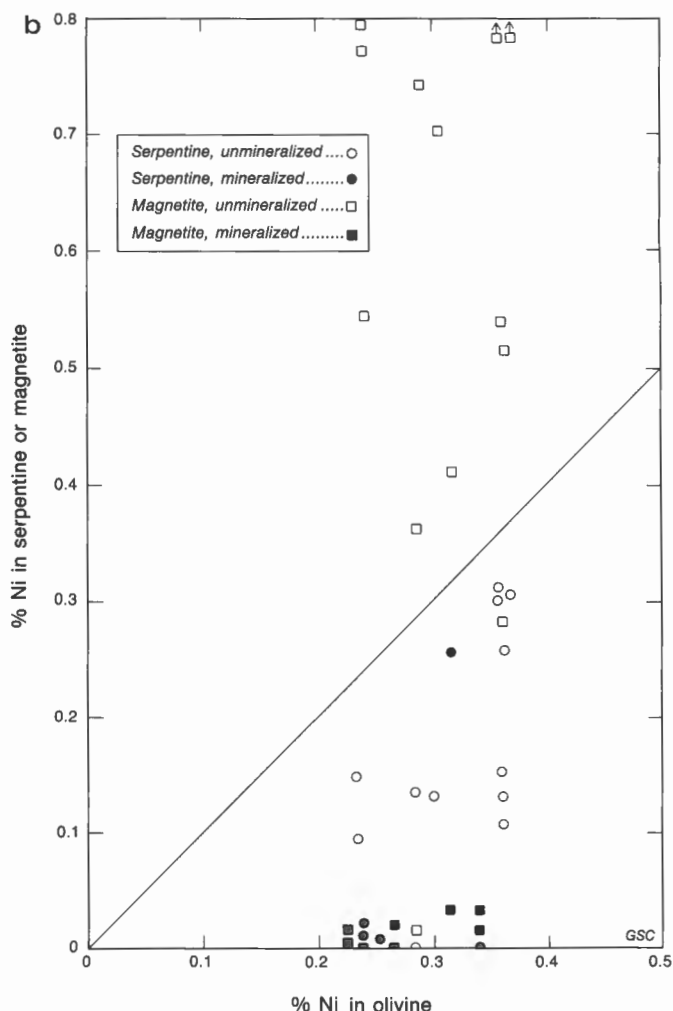


Figure 19. (a) Whole-rock nickel concentration, recalculated on an anhydrous basis plotted against nickel content of contained olivine in unmineralized samples. (b) Concentration of nickel in primary olivine and secondary serpentine and magnetite.

Composition of the magmatic sulphide grains

It has already been shown that the mineral assemblages of the composite sulphide-alloy-oxide grains were developed during alteration of the body (Eckstrand, 1975). It is appropriate to consider the extent to which their bulk chemical compositions reflect the primary compositions. The present compositions of the magmatic sulphide grains in a number of samples have been calculated from the microprobe analyses of the constituent minerals together with their modal proportions determined with the aid of a quantitative image analyzer, and the results are given in Table 8.

The sulphur and oxygen contents of magmatic sulphide liquids are determined by the fugacities of the two species which, in the case of sulphide droplets dispersed in a silicate magma, will likely be buffered by the latter (Naldrett, 1969). Consequently, the concentrations of sulphur and oxygen in unaltered magmatic sulphides tend to fall within a rather narrow range: about 38 to 40 weight per cent sulphur, and 0 to 4 weight per cent oxygen. Moreover, where the sulphides remain dispersed in the silicate matrix during crystallization and cooling, as would have been the case at Dumont, it is likely that any oxygen initially contained in the sulphide would be lost to the silicate host which effectively buffers the oxygen fugacity (Naldrett, 1969). The present sulphur and oxygen contents of the magmatic sulphide grains are therefore too low and too high, respectively, for them to represent primary concentrations, and it is clear that the two constituents have been exchanged with either the solid matrix or the migrating fluid phase during serpentinization. The total sulphur plus oxygen content of the grains averages only about 28 weight per cent and, as there is no evidence to suggest that the volume of the grains has changed significantly during alteration, it follows that the apparent increase in total metal content is an absolute as well as a relative change. The primary total metal content of the



magmatic sulphides was probably about 61 weight per cent. The mean metal concentrations normalized to this total are 40.4% Fe, 18.9% Ni, 1.0% Cu and 0.7% Co. These normalized values would reflect the primary compositions if the only effect of alteration on the grains had been the loss of sulphur and gain of oxygen. However, it was suggested above that nickel and cobalt were added to the sulphide/alloy fraction during serpentinization.

An indication of the relative importance of primary and secondary contributions to the sulphide compositions is given by the distribution coefficient

$$K_{D(\text{Ni-Fe})}^{\text{sulphide/olivine}} = \left(\frac{\text{Ni}}{\text{Fe}} \right)^{\text{sulphide}} \left(\frac{\text{Fe}}{\text{Ni}} \right)^{\text{olivine}}$$

Although the value of this coefficient has been debated recently (Fleet et al., 1977; Naldrett, 1979, 1981), there is a growing body of evidence to indicate that values in the range of 5 to 10 are typical of magmatic conditions (Thompson et al., 1984). I have calculated the apparent $K_{D(\text{Ni-Fe})}^{\text{sulphide/olivine}}$ for the samples containing relict olivines (Table 8). Note that these are not actual distribution coefficients because the primary olivine compositions are combined with the present sulphide values. It is interesting in this regard that there is a general inverse relationship

between the apparent distribution coefficient and the specific gravity of the sample. The distribution coefficient is 10 or less in the least altered samples having specific gravities of greater than 2.7, whereas coefficients of 11 or higher are characteristic of more altered samples with specific gravities of less than 2.7. Because the composition of relict olivine is primary, the increase of the distribution coefficient due to serpentinization implies a proportional increase in the Ni/Fe ratio of the sulphide fraction.

There are insufficient data to allow a quantitative treatment of the possible changes in the cobalt and copper tenors of the magmatic sulphides. Naldrett (1981) has reported that the cobalt contents of sulphides from most deposits of komatiitic affinity fall in the range of 0.22 to 0.34 weight per cent. All but one of the Dumont samples have significantly higher cobalt contents than this and it seems clear that cobalt has been greatly enriched in the sulphide fraction during alteration. Concentrations of 0.5 to 1.5 per cent copper are typical of komatiitic sulphides (Naldrett, 1981) and thus most of the Dumont sulphides appear depleted in copper whilst a few are abnormally rich. However, the overall average is in the middle of the komatiite range. The analytical data coupled with textural observations suggest considerable mobility of copper during serpentinization.

Assay data and resource estimation

An assay profile across the Upper Peridotite, Dunite, and part of the Lower Peridotite subzones in drillhole E16 is depicted in Figure 20. The variation in the nickel and forsterite contents of olivine are also shown. The positions of the three conformable nickel-enriched layers are indicated by distinct peaks in the assay values, and the area between the assay and olivine nickel curves reflects the amount of nickel resident in the sulphide fraction prior to serpentinization. The variability of the nickel content of olivine among samples means that it would be very difficult to infer the proportion of nickel residing in the sulphide/alloy fraction from the assay value alone. By contrast, the nickel content of olivine from sulphide-free samples of the Dunite is apparently much less variable. For example, the mean of 265 assays of variably serpentinized Dunite containing no significant magmatic sulphides is 0.292% nickel with a standard deviation of 0.0165%. From these data I would conclude that material assaying greater than about 0.35% nickel (i.e. mean plus 3 standard deviations) probably contains conspicuous amounts of magmatic sulphides. However, as illustrated by Figure 20, the converse is not necessarily true; some samples that do contain significant magmatic sulphides have assay values less than the "threshold" level.

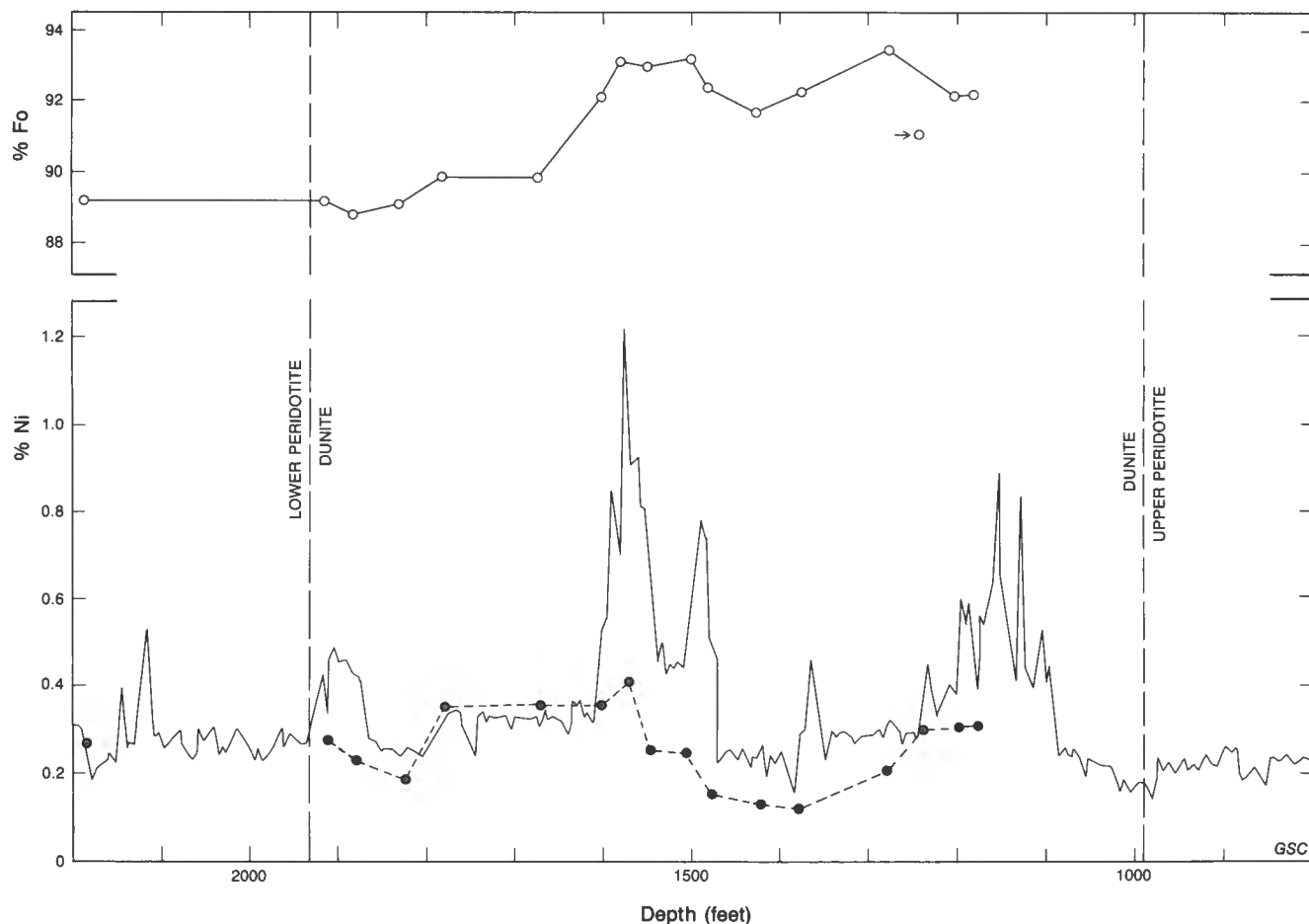


Figure 20. Nickel content of whole-rock (solid line) and contained olivine (filled circles), and forsterite content (open circles) of olivine in drillhole E16. The sample marked by the arrow contains an abnormally large amount of intercumulus material which accounts for the low forsterite content.

Table 8. Magmatic sulphide grains: grain size, modal and chemical composition, and distribution coefficient

Sample no.	Mean grain size mm	Modal % sulphide	Modal			Calculated concentrations (wt %)					Olivine					
			PN	MT	AW	CU	Fe	Ni	Cu	Co	S	O	Fo (mole %)	Ni (ppm)	KD	G
E16-1180	0.25	0.24	58	26	16	—	44.18	28.23	0.09	0.94	19.37	7.19	92.3	3070	12.2	2.55
E16-1380	0.26	0.10	73	22	5	—	43.88	24.49	0.03	1.13	24.39	6.08	92.3	1380	23.8	2.55
E16-1425	0.45	1.82	44	56	—	tr	56.59	12.56	—	0.67	14.70	15.48	91.8	1225	11.6	2.62
E16-1480	0.70	2.03	68	28	—	4	45.09	19.42	4.00	1.04	22.71	7.74	92.6	1570	15.4	2.64
E16-1500	0.70	1.68	77	15	—	8	38.96	21.99	8.00	1.18	25.72	4.15	93.2	2585	11.4	2.63
E16-1550	0.70	1.85	57	36	7	—	48.69	21.38	0.04	0.90	19.04	9.95	93.0	2500	9.4	2.73
E16-1575	0.55	2.29	55	17	26	—	39.99	35.37	0.15	0.95	18.74	4.80	93.1	4140	11.3	—
E16-1600	0.35	0.83	55	38	7	—	49.41	20.81	0.04	0.87	18.37	10.51	92.2	3550	7.0	2.77
E16-1670	0.28	0.66	16	57	27	—	54.16	24.25	0.16	0.34	5.34	15.76	90.0	3473	9.9	2.84
E16-1910	0.63	1.21	52	48	—	—	53.72	14.85	—	0.80	17.37	13.27	89.2	2356	8.8	2.95
Mean	0.49	1.27	56	34	9	1	47.5	22.3	1.2	0.88	18.6	9.5	92.0	2585	12.1	2.70
(Std. dev.)	(0.19)	(0.78)	(17)	(15)	(1)	(3)	(6.0)	(6.5)	(2.7)	(0.24)	(5.7)	(4.2)	(1.3)	(978)	(4.7)	(0.14)

Mineral: PN - pentlandite, MT - magnetite, AW - awaruite, CU - native copper. G - specific gravity; KD - distribution coefficient (see text)

Mineral: PN - pentlandite, MT - magnetite, AW - awaruite, CU - native copper. G - specific gravity; KD - distribution coefficient (see text)

Figure 20 also illustrates the position of the sulphide-enriched layers in relation to the primary layering of the sill. The base of the lower layer corresponds to that of the Dunite Subzone in this intersection although it locally transgresses this boundary (Fig. 4). The base of the middle layer corresponds to the discontinuity in the forsterite content of olivine and the base of the uppermost layer is approximately three-quarters of the way through the Dunite Subzone.

Assay profiles from a series of drillholes along the length of the intrusion are shown in Figure 21, and these give an indication of the apparent thickness, lateral extent and nickel content of the three nickel-enriched layers. The average grades, calculated on the basis of the 0.35% "cut-off", and true thicknesses in each cross-section are given in Table 9. These data may be used to make an order of magnitude estimation of the nickel resources contained in the intrusion. For this purpose, it has been assumed that the nickel-enriched layers extend to a vertical depth of 500 m below the bedrock surface, and that the average specific gravity of the rock is 2.6. The middle layer extends from section 36+00W to 84+00W, a strike length of 2430 m, with an average true thickness of 24 m and a weighted average grade of 0.50% nickel. The calculated mass is 82 million tonnes. The upper layer has the same apparent strike length as the middle layer, although it not present in one cross-section, and its average true thickness is also 24 m. It contains 80 million tonnes with an average grade of 0.45% nickel. The lower nickel-enriched layer extends from section 36+00W to 44+00W, and has a strike length of about 350 m. This layer was not intersected in sections 38+00W and 42+00W because drilling did not penetrate the lowermost Dunite Subzone. Its average true thickness is 26 m, its average grade is 0.41%, and its mass is 13 million tonnes. It is apparent from the assay profiles that a higher grade zone occurs in the lower part of the middle layer at its eastern end. This zone has a strike length of 730 m and an average true thickness of 14 m, and contains 14 million tonnes with a weighted average grade of 0.71% nickel.

PETROGENESIS

Nature of the parent and derivative magmas

With the exception of some rocks described from the Quartz Gabbro Subzone, all of the available samples from the Dumont Sill are cumulates and the nature of the magma from which they crystallized is known only by inference. The composition of olivine is very useful in this regard inasmuch as the distribution coefficient

$$K_{D(Mg-Fe)}^{Ol/L} = \left(\frac{Fe}{Mg} \right)^{Ol} \left(\frac{Mg}{Fe} \right)^L$$

is relatively insensitive to temperature, pressure and composition, and has a mean value of 0.30 ($\sigma = 0.03$) in experimental studies of basaltic systems (Roeder and Emslie, 1970). The most primitive rocks within the intrusion occur in the Dunite Subzone where the maximum forsterite content of olivine is about 93 mole per cent. This suggests a Mg/Mg+Fe ratio of 0.799 in the magma from which it crystallized. This is somewhat higher than the ratios typical of basaltic magmas but is within the range observed in peridotitic komatiite liquids. An average value of the distribution coefficient of 0.33 is preferred for such ultramafic magmas (Bickle et al., 1977; Arndt, personal communication, 1978) in which case a Mg/Mg+Fe ratio of 0.814 is indicated for the liquid in equilibrium with olivine of Fo₉₃ composition. I have compiled analyses of spinifex-textured peridotites having Mg/Mg+Fe ratios close to 0.814 and from these have derived the model magma composition given in Table 10. Thus, I am proposing that the parent magma of the Dumont Sill was a peridotitic komatiite containing about 27.5 weight per cent MgO.

The komatiitic affinity of the parent magma is supported by certain compositional characteristics described below. This conclusion differs from earlier workers who had postulated that the parent magma was a tholeiitic picrite (Besson and Capitant, 1976; Bonneau, 1977; Besson, 1979).

The compositions of the few samples of noncumulate rocks from the Quartz Gabbro (Table 11) are probably equivalent to those of the more evolved liquids of the intrusion. The feasibility of deriving such liquids by fractional crystallization of the postulated parent magma is demonstrated by calculations presented subsequently. It is significant that gabbros of virtually identical composition (Table 11) to that of the least primitive of the noncumulate Quartz Gabbro samples occur as sills about a kilometre to the north and stratigraphically above the Dumont body. Not only does this support the existence of a mobile, highly differentiated komatiite magma but also suggests that late magmatic liquids were tapped-off from the main magma chamber.

The average composition of the sill will be equivalent to that of the parent magma if the intrusion crystallized as a closed system. The average composition of the body cannot be precisely calculated owing to the uncertainty in the relative proportions of its various subdivisions, but the exercise is nevertheless instructive. The average compositions of the individual subzones of the sill have been weighted according to their mapped area (Fig. 3) and mean densities to yield the bulk composition of the sill given in Table 12. This average composition contains 32.2% MgO and is significantly more primitive than the model parent liquid. If the preceding calculations are not greatly in error, there are two reasonable explanations for the apparent discrepancy. Firstly, as discussed above, the gabbroic sills overlying the intrusion indicate that an unknown quantity of differentiated magma was tapped-off from the main body and, secondly, it is probable that the parent magma would have carried olivine phenocrysts in suspension at the time of intrusion. I will argue below that these intratelluric phenocrysts amounted to about 12.5% of the mass of the main body of the intrusion, and the bulk composition of the sill has been recalculated to show the effect of the removal of this amount of olivine. The resultant composition is still more magnesian than the model parent magma but a reasonable match is achieved if 10% gabbroic liquid is added (Table 12).

The most magnesian spinifex-textured peridotites normally found in komatiitic sequences contain in the order of 32 to 34% MgO. It is interesting that the bulk composition of the sill, including that component considered to represent intratelluric phenocrysts, is very similar to those of such lavas. A possible interpretation is that the bulk intrusion does represent a liquid composition but that the liquid partly crystallized prior to or during emplacement with little or no fractional crystallization (i.e., equilibrium crystallization).

Emplacement and differentiation of the intrusion

The cumulus textures, macroscale phase layering, cryptic variation of mineral compositions, and geological setting leave little doubt that the Dumont intrusion was emplaced as a virtually horizontal sill that fractionally crystallized in situ. The apparent rarity of features such as rhythmic and graded layering, cross-stratification, and scour channels may indicate that magmatic currents did not play an important role in crystal accumulation and, moreover, most other aspects of the sill are consistent with its emplacement as a single pulse of magma. Experimental and petrographic studies (Arndt, 1976; Arndt et al., 1979) indicate that olivine and minor chromite are the liquidus phases for komatiitic magmas containing more than about 15% MgO, whereas olivine and subordinate clinopyroxene are on the liquidus of magmas having between 12 and 15%, and clinopyroxene and plagioclase are liquidus phases for melts with 9 to 12% MgO. The sequence of rock types and cryptic variation upward from the base of the Dunite Subzone is generally consistent with these crystallization relations inasmuch as there is an olivine cumulate overlain in turn by an olivine-chromite cumulate, a clinopyroxene cumulate, a clinopyroxene-plagioclase cumulate, and a quartz gabbro. However, the nature of the Lower Peridotite Subzone is problematical in this context. The forsterite content of olivine increases upward across this unit which is the reverse of the normal cryptic trend produced by fractional crystallization, and the olivine is everywhere less magnesian than in the Dunite Subzone. Moreover, the rock is an olivine-chromite cumulate whereas chromite is not a cumulus mineral in the Dunite. On the latter two accounts, the Lower Peridotite would appear to have crystallized from a less primitive magma than did the overlying Dunite Subzone. These anomalous features may be

Table 9. Average grades and true thicknesses of upper, middle and lower nickel-enriched layers

Cross-section	Upper layer*		Middle layer*		Middle layer**		Lower layer*	
	Grade	True thickness	Grade	True thickness	Grade	True thickness	Grade	True thickness
36+00W	0.45	26	0.57	24	0.84	11	0.41	26
38+00W	0.46	30	0.62	24	0.75	16	—	—
40+00W	0.59	22	0.61	32	0.76	18	0.41	26
42+00W	0.40	17	0.66	32	0.75	20	—	—
44+00W	—	—	0.52	32	0.64	20	0.40	27
46+00W	0.43	13	0.56	38	0.68	21	—	—
48+00W	0.47	22	0.48	39	0.66	8	—	—
52+00W	0.52	25	0.48	25	0.64	8	—	—
60+00W	0.47	20	0.47	17	—	—	—	—
68+00W	0.44	19	0.38	14	—	—	—	—
76+00W	0.41	16	0.50	33	—	—	—	—
84+00W	0.38	23	0.50	19	—	—	—	—
Weighted Average	0.45	24	0.50	24	0.71	14	0.41	26
* Calculated on the basis of a 0.35% Ni cut-off grade								
** Calculated on the basis of a 0.60% Ni cut-off grade								

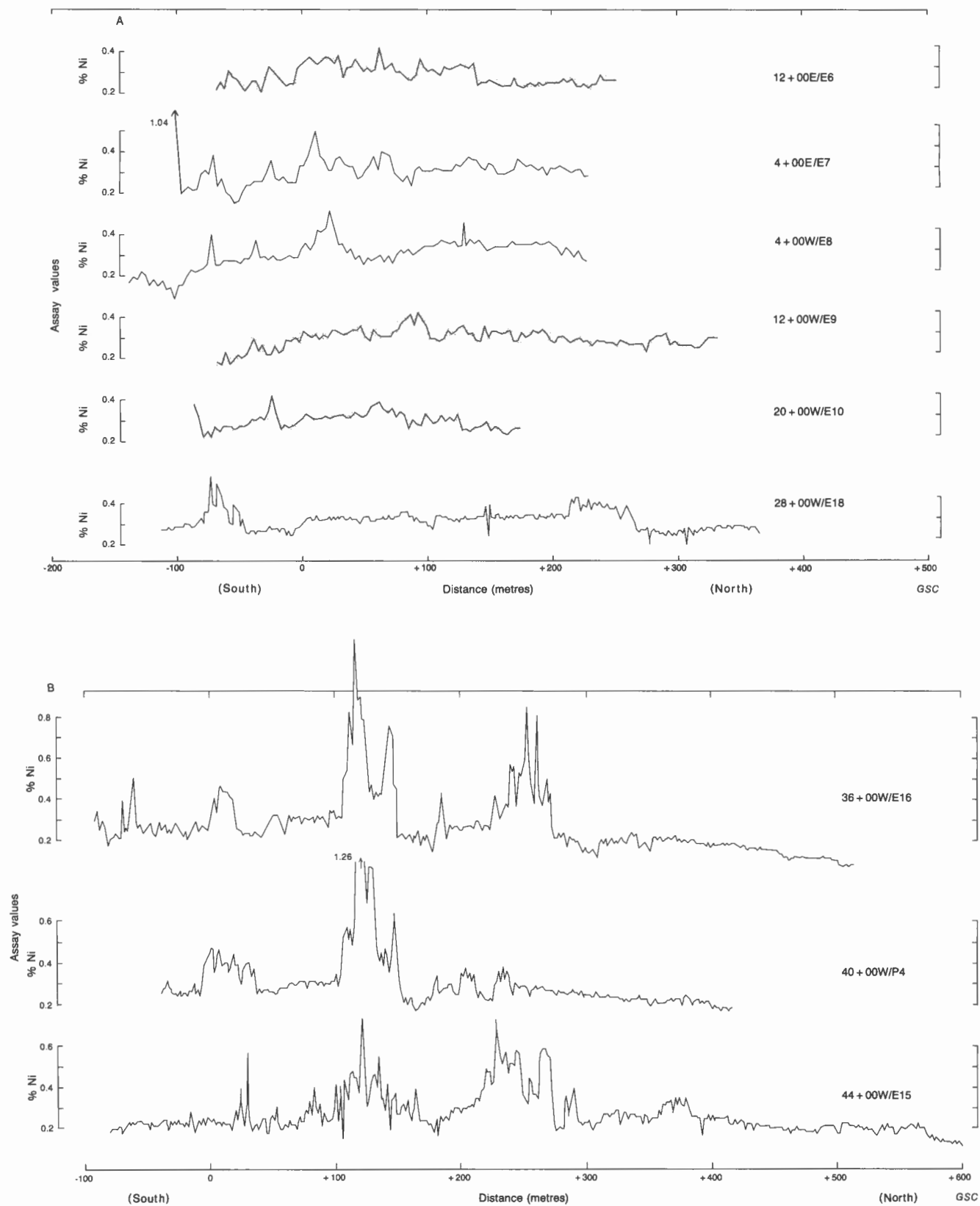


Figure 21. Nickel assay profiles of sections along the length of the sill compiled from data provided by Dumont Nickel Corporation. The profiles are labelled in terms of cross-section/drillhole number. The horizontal scale gives the distance above (+) or below (-) the base of the Dunite Subzone and thus stratigraphic top is to the right.

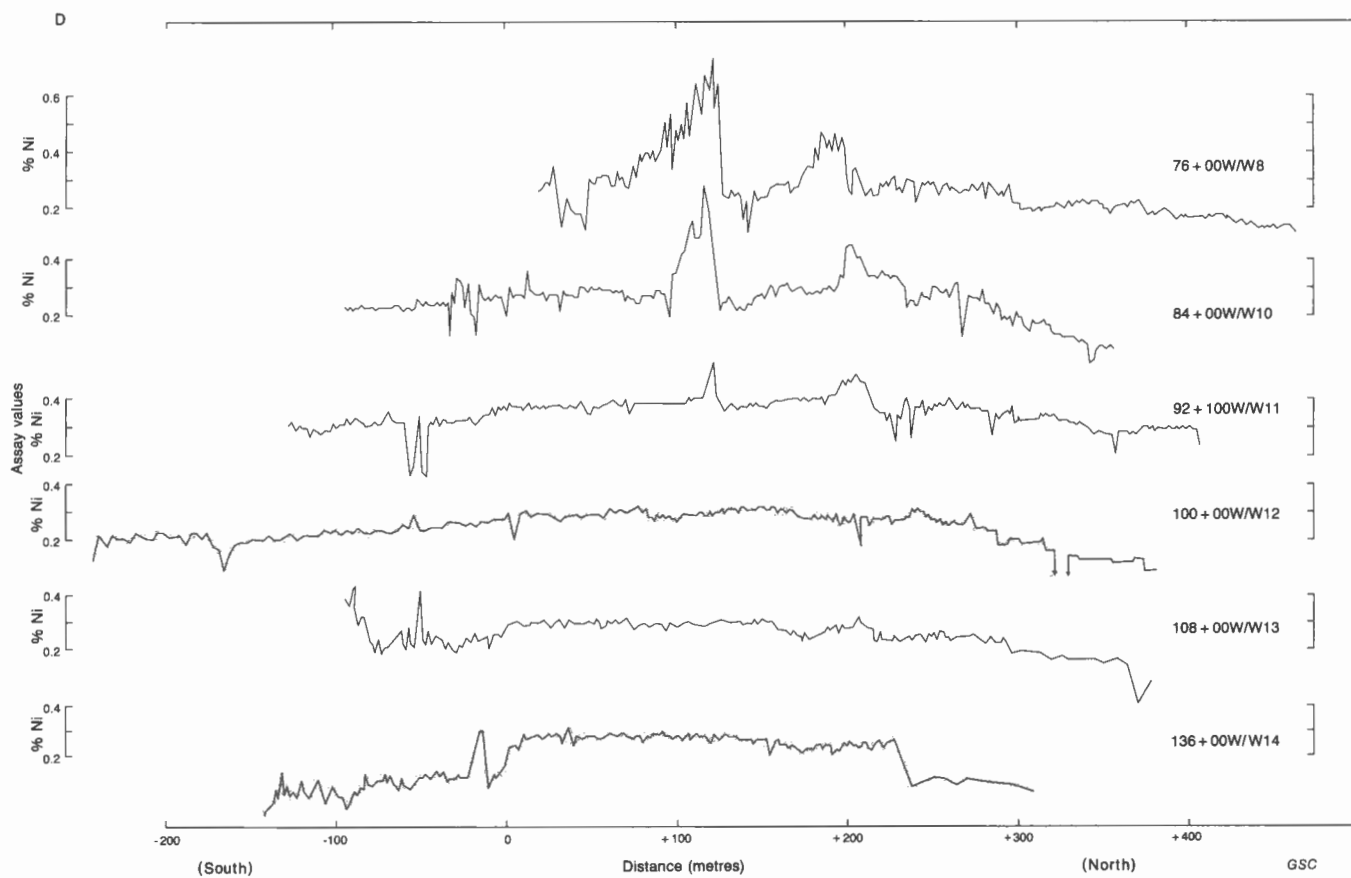
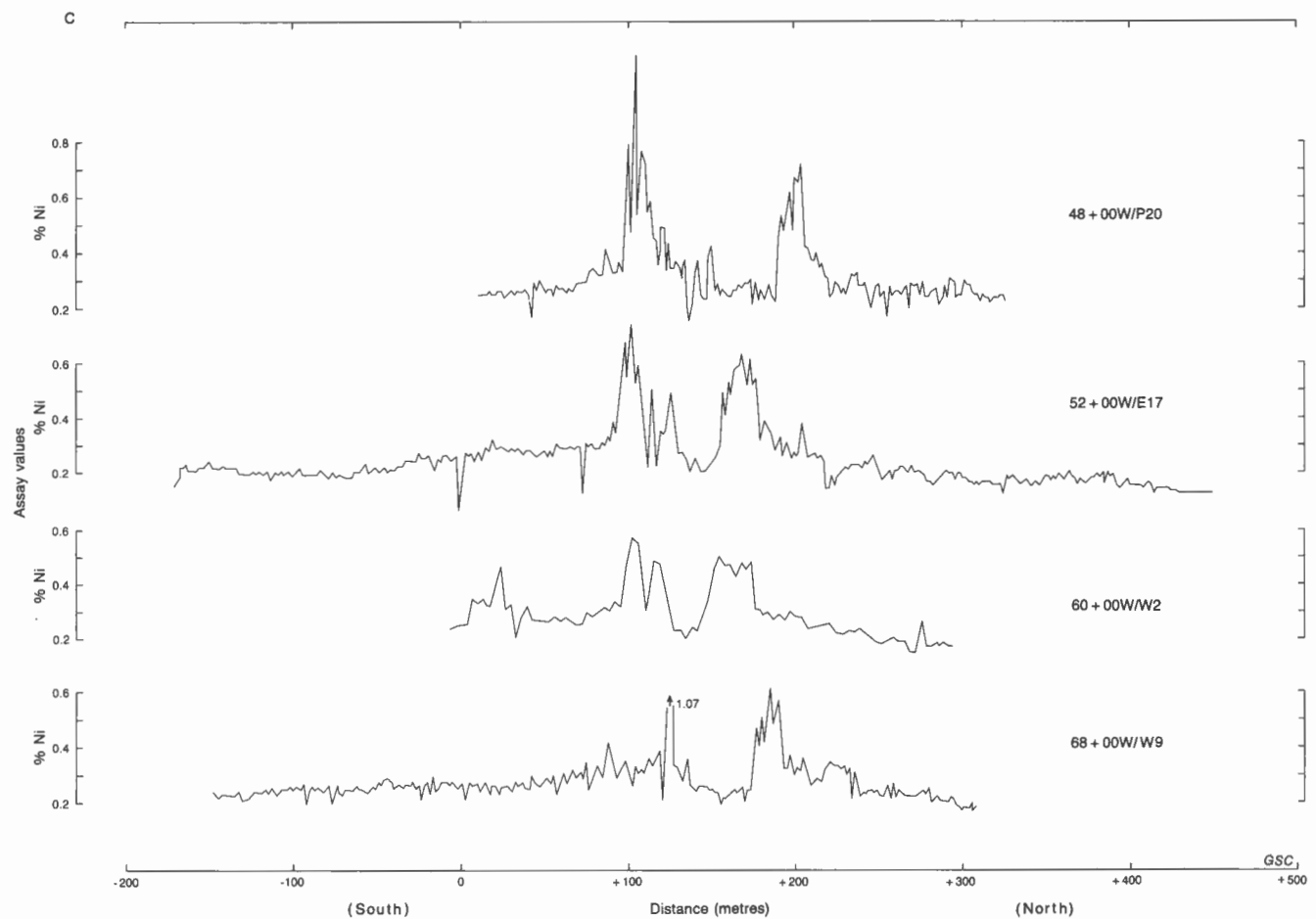


Table 10. Compositions of spinifex-textured peridotites and model parent magma of Dumont Sill

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Model composition
SiO ₂	46.7	45.6	46.7	45.8	46.6	47.8	47.4	48.6	45.2	47.6	47.7	47.2	45.6	47.5
TiO ₂	0.30	0.30	0.28	0.3	0.29	0.30	0.32	0.32	0.29	0.34	0.32	0.32	0.27	0.32
Al ₂ O ₃	5.65	6.34	6.00	7.06	6.25	6.50	6.49	6.28	6.17	6.37	6.37	6.56	7.35	6.50
Cr ₂ O ₃	0.37	0.50	0.38	0.33	0.38	0.40	0.33	0.20	0.45	0.40	0.46	0.37	0.41	0.30
FeO	10.8	10.7	10.9	10.8	10.8	10.7	11.1	11.0	11.5	11.2	11.0	11.1	11.7	11.1
MnO	0.25	0.23	0.24	0.14	0.23	0.17	0.16	0.17	0.21	0.19	0.17	0.18	0.21	0.18
MgO	29.4	29.1	29.4	28.2	28.1	27.8	27.9	27.7	28.6	27.7	27.3	27.4	25.9	27.5
CaO	5.58	6.10	5.22	6.75	5.79	5.86	5.96	6.01	5.89	5.75	6.19	5.92	7.62	6.00
Na ₂ O	0.11	0.58	0.22	0.19	0.22	0.02	0.22	0.06	0.60	0.18	0.14	0.18	0.80	0.15
K ₂ O	-	0.03	0.25	0.02	0.45	0.69	0.53	0.03	0.04	0.62	0.46	0.66	0.06	-
P ₂ O ₅	-	0.02	0.01	0.02	-	-	-	-	0.02	-	-	-	-	-
Co	-	0.010	-	0.008	-	0.012	0.012	0.008	0.011	0.012	0.013	0.012	-	0.0110
Cu	-	-	-	0.005	-	-	0.003	0.008	-	-	-	-	-	0.0050
Ni	-	-	-	0.156	-	0.145	0.141	0.110	0.149	0.163	0.140	0.132	0.134	0.1400
V	-	0.014	0.011	0.013	0.012	-	0.013	-	0.013	-	-	-	-	0.0125
Zr	-	0.0017	0.0021	0.0011	0.0012	-	-	-	0.0016	-	-	-	-	0.0020
Mg/Mg+Fe	.829	.829	.828	.824	0.822	0.822	0.817	0.817	0.816	0.815	0.815	0.814	0.800	0.813

Analyses recalculated to 100% on volatile-free basis and total iron reported as FeO. Data sources: 1 - Naldrett and Turner (1977), Yakabindie, Western Australia; 2, 9 - Nesbitt and Sun (1976), Mt. Burges, western Australia; 3, 5 - Nisbet et al. (1979), Belingwe, Zimbabwe; 4 - Duke (unpublished), Malartic, Quebec; 6, 10, 11, 12 - Nisbet et al. (1977), Belingwe, Zimbabwe; 7, 8 - Williams (1978), Belingwe and Lonely Mine, Zimbabwe; 13 - Arndt et al. (1977), Munro, Ontario.

largely explained if the Lower Peridotite Subzone formed by the accumulation of intratelluric phenocrysts carried in the magma at the time of intrusion.

Suppose that the Dumont Sill was emplaced instantaneously as a uniform suspension of olivine (Fo₉₃) and chromite in a liquid of the model composition (Fig. 22a). The initial grain sizes of the olivine and chromite phenocrysts would be close to those observed in the basal orthocumulate rocks, that is, about 0.5 and 0.05 mm respectively. Using the methods of Bottinga and Weill (1970, 1972), I calculate the density of the model liquid to be 2.77 gm/cm³ and the viscosity to be 9 poises at 1550°C, the estimated liquidus temperature at low pressure. The densities of olivine and chrome spinel at this temperature are 3.11 gm/cm³ and 4.64 gm/cm³, respectively, applying the thermal expansion factors tabulated by Skinner (1966). The Stokes' Law settling velocities derived from these data are 5.4×10^{-3} cm/sec for olivine and 3.2×10^{-4} cm/sec for chromite¹. Even allowing for the reduction of velocities in a suspension, the settling velocities are rapid by comparison, for example, with those calculated for basaltic magmas, and application of the equations of Gray and Crain (1969) indicates that the intratelluric phenocrysts would accumulate rather quickly on the floor of the magma chamber (Fig. 22b). Recent studies have suggested that mafic magmas are non-Newtonian fluids which have finite yield strengths, and therefore suspended crystals must exceed a minimum critical radius if they are to settle or rise through the magma (McBirney and Noyes, 1979). The yield strengths of peridotitic magmas have not been determined but the occurrence of komatiitic lavas as thin, extensive flows is indicative of rather low yield strengths. Moreover, crystal settling is well exemplified by the classic spinifex-bearing peridotitic komatiite flows (Pyke et al., 1973), and I believe that the Lower Peridotite is analogous to the B-zone in such lavas. The large difference between the settling velocities of olivine and chromite is a feature which has been documented in olivine-chromite cumulates in other intrusions (Jackson, 1961; Campbell, 1978) and, when viewed in conjunction with the homogeneous distribution of the two minerals in the Lower Peridotite, may suggest that the chromite did not settle as individual grains but aggregated with other cumulus crystals.

If the magma was intruded carrying a uniform suspension of olivine and chromite, it is not clear why chromite was not also a cumulus phase during accumulation of the Dunite. One explanation is that chromite was not part of the initial suspension but that crystal growth of olivine during accumulation of the crystal mush brought the liquid composition onto the olivine-chromite cotectic.

The rocks within 30 to 50 m of the base of the intrusion are regarded as orthocumulates. They contain about 70 weight per cent olivine (Fo₈₄₋₈₇) but a proportion of this presumably grew from the trapped intercumulus liquid. The amount of intercumulus liquid retained in an orthocumulate rock is given by the ratio of the concentration in the rock of an element excluded from the cumulus minerals to its concentration in the initial liquid. Among the elements for which analytical data are available, Al, Ti, V, Zr and Ca may be considered to be virtually incompatible with respect to olivine crystallization, and although the first three elements do enter chromite, the proportion of this phase is sufficiently small so as not to invalidate the following argument. Thus, comparison of the average orthocumulate composition in Table 13 with the model parent liquid in Table 10 indicates that the average rock contains about 50% trapped intercumulus liquid (i.e., TiO₂: 0.14/0.32 = 0.44, Al₂O₃: 2.7/6.5 = 0.42, V: 0.0076/0.013 = 0.58, Zr: 0.0009/0.0018 = 0.5, CaO: 3.7/6.0 = 0.62). This is very similar to the

¹ The velocity (v) of an isolated sphere of low particle Reynolds' number, radius r and density ρ_s moving in response to gravity in an infinite medium of density ρ_f and viscosity η is given by $v = 2gr^2(\rho_s - \rho_f)/9\eta$ where g is the gravitational acceleration constant and downwards is the positive direction. Velocities are reduced in a suspension and experimental studies suggest a reduction by a factor of 65% in a 20% suspension and a factor of 96% in a 50% suspension (Shaw, 1965). The velocities will be further reduced where the particles deviate from spherical shape.

proportions of retained intercumulus liquid observed in recent experimental and field studies of basaltic magmas (Campbell et al., 1978; Irvine, 1980, p. 351). The average Mg/Mg+Fe ratio of the basal rocks is 0.856 which is lower but similar to the weighted average of the Mg/Mg+Fe ratios of the initial olivine and model liquid (0.872). The model liquid contains about 40 normative per cent olivine which, when added to the initial proportion of cumulus olivine gives almost the same quantity of olivine as is observed in the rocks (i.e., $(0.40 \times 50) + 47 = 67\%$, as compared to 70 modal per cent).

The basal orthocumulate rocks grade upwards into meso- and adcumulates, and the proportion of trapped liquid indicated by the incompatible element concentrations decreases to about 4% at the top of the subzone. (At these levels, the quantities of incompatible elements in cumulus chromite become significant and have been accounted for.)

The olivine composition changes to $Fe_{89.5}$ over the same interval, and is thus much less magnesian than would have resulted simply from equilibration between cumulus olivine (Fe_{93}) and the small indicated amount of trapped liquid. According to one widely invoked mechanism, adcumulus growth is considered to occur at or just below the surface of the accumulating pile of crystals by downward diffusion of the components of the cumulus mineral(s) to the site of crystallization and mechanical displacement of intercumulus liquid upwards. When developed to the extreme, the resulting rock consists virtually entirely of cumulus minerals having the same composition as the initial crystals, and any postcumulus material would have the bulk composition of the initial trapped liquid (Wager and Brown, 1968, p. 64). Hess (1972) argued that such a mechanism of adcumulus growth was unlikely on the basis of heat flow calculations

Table 11. Composition of noncumulate rocks from the Dumont intrusion and overlying sills

Sample no.	Dumont Sill			Overlying sills			Average	
	E21-160	E21-335	E21-570	NIX-6	NIX-14B	NIX-16	$\bar{x}$	σ
SiO ₂	52.6	51.7	52.5	50.1	52.0	52.2	51.8	0.9
TiO ₂	0.65	0.89	0.92	1.02	1.30	1.17	0.99	0.23
Al ₂ O ₃	12.8	15.0	14.4	14.3	13.4	12.8	13.8	0.9
Cr ₂ O ₃	0.004	0.006	0.004	nd	nd	nd		
Fe ₂ O ₃	0.72	2.18	1.56	5.97	4.35	7.06	15.1	2.2
FeO	10.8	12.4	16.2	9.40	12.6	9.51		
MnO	0.24	0.21	0.25	0.20	0.23	0.25	0.23	0.02
MgO	9.49	7.87	5.40	5.55	5.41	5.69	6.57	1.7
CaO	11.85	10.9	8.30	11.4	8.59	7.21	9.7	1.9
Na ₂ O	1.13	1.35	1.29	1.96	1.88	3.61	1.87	0.91
K ₂ O	0.23	0.17	0.10	0.06	0.15	0.47	0.20	0.15
Co	0.0061	0.0056	0.0077	na	na	na	0.0065	-
Cu	0.0026	0.0027	0.0012	na	na	na	0.0022	-
Ni	0.0088	0.0064	0.0055	na	na	na	0.0069	-
V	0.0280	0.0320	0.0295	na	na	na	0.030	-
Zr	0.0042	0.0060	0.0078	na	na	na	0.0060	-
Analyses of overlying sills are from Vogel (1979); nd - not detected; na - not analyzed								

Table 12. Bulk composition of the Dumont Sill calculated from average compositions of subzones

	Lower Peridotite	Dunite	Upper Peridotite	Clino- pyroxenite	Gabbro	Quartz Gabbro	Intrusion phenocrysts*	Intrusion less phenocrysts*	Plus differentiated liquid**
SiO ₂	40.6	40.3	42.1	51.2	51.0	52.2	45.2	45.8	46.4
TiO ₂	0.07	0.004	0.04	0.11	0.20	0.40	0.15	0.17	0.25
Al ₂ O ₃	1.50	0.24	1.10	9.02	13.9	14.9	6.23	7.12	7.80
Cr ₂ O ₃	0.99	0.20	0.89	0.42	0.05	0.02	0.46	0.52	0.47
FeO	10.1	7.80	10.2	4.67	7.51	10.3	9.25	9.59	10.1
MnO	0.12	0.12	0.13	0.15	0.18	0.19	0.15	0.16	0.17
MgO	44.8	49.5	47.9	17.2	13.2	8.2	32.2	29.5	27.2
CaO	1.22	0.30	0.60	17.4	13.6	12.2	5.63	6.42	6.8
Na ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.65	1.13	1.31	0.50	0.56	0.69
K ₂ O	0.00	0.00	0.02	0.02	0.09	0.18	0.06	0.06	0.07
Ni	0.26	0.32	0.24	0.016	0.010	0.0080	0.165	0.141	0.128
V	0.0041	0.001	0.0023	0.012	0.016	0.020	0.0087	0.010	0.012
W.F.	0.236	0.172	0.192	0.029	0.127	0.244	1.000		
Total iron calculated as FeO; W.F. - weight fraction of total intrusion represented by subzone									
*Bulk composition less 12.5% olivine (Fo ₉₃). **Bulk composition of intrusion less 12.5% olivine plus 10% average noncumulate rock composition (see text).									

which showed that the rate of diffusion of mass was much too slow relative to the rate of diffusion of heat and of crystal accumulation. This objection would be particularly relevant in the case of the Lower Peridotite if the model of its formation by the rapid accumulation of intratelluric phenocrysts is correct. Irvine (1980) concurred with Hess' (1972) conclusion and suggested that adcumulus growth occurs at significant depths below the surface of the accumulating pile by a process of infiltration metasomatism whereby compaction of the pile under its own weight causes

an upward flow of intercumulus liquid which reacts with cumulus crystals along its path. I believe a similar "auto filter pressing" process was important in the formation of the Lower Peridotite.

During the initial stage of accumulation of intratelluric phenocrysts following intrusion, the magma would have been essentially stagnant and cooling would have been by conductive heat transfer across both the upper and lower contacts. Although some undercooling might have occurred

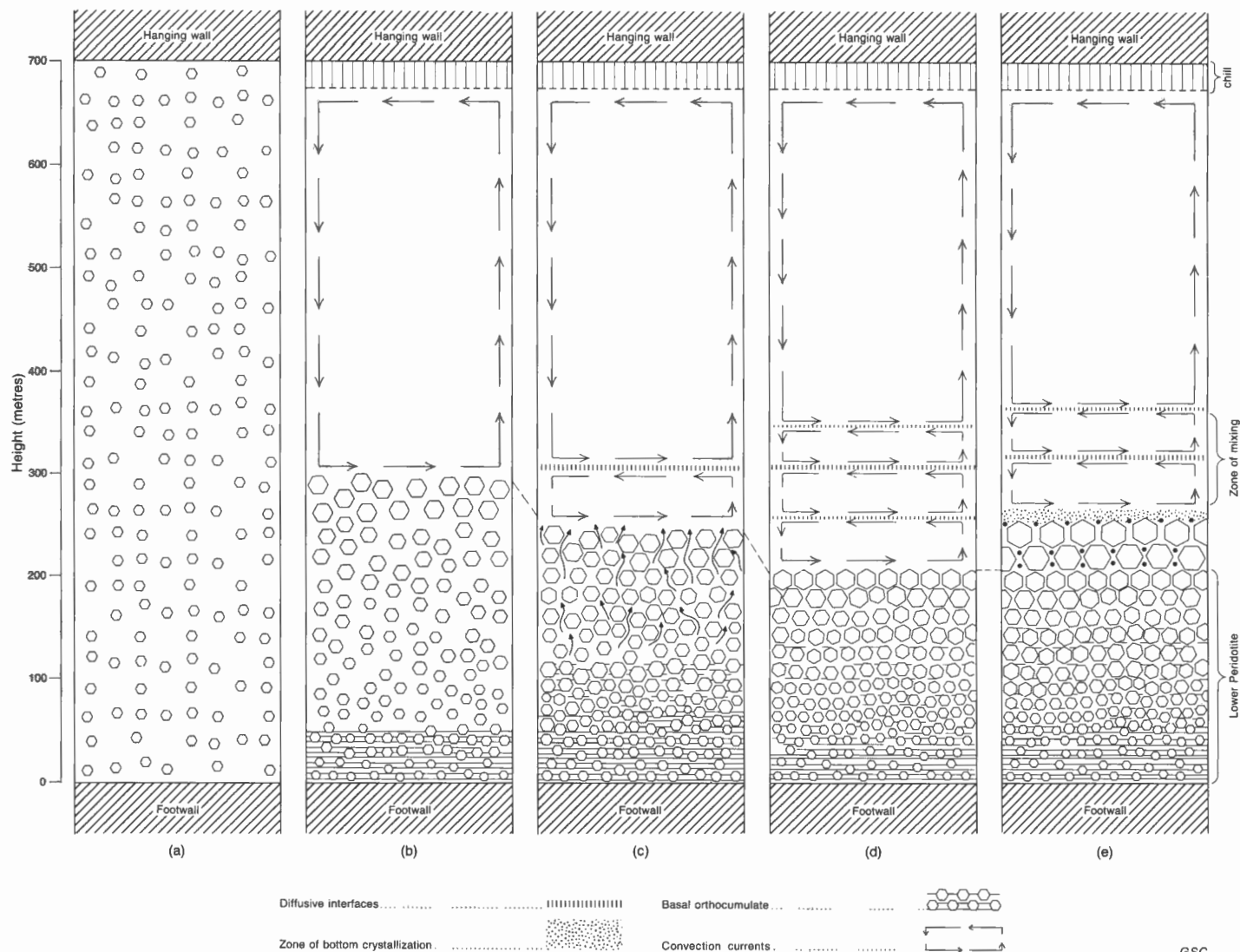


Figure 22. Schematic depiction of the proposed model for the accumulation of the Lower Peridotite and Dunite Subzones. (a) Intrusion of a peridotitic komatiite magma carrying 10% olivine and possibly minor chromite in suspension. (b) Rapid settling of the intratelluric phenocrysts which accumulate as a crystal mush (50% crystals – 50% liquid) in the lower part of the chamber. The supernatant magma begins to convect and heat loss through the roof of the chamber may have caused crystallization of an upper chilled margin. Heat loss through the floor of the intrusion caused orthocumulate crystallization of the lowermost crystal mush. (c) The crystal mush compacts under its own weight, causing the somewhat fractionated pore liquid to percolate upwards towards the main body of primitive magma. The introduction of this pore liquid at the floor of the main chamber leads to a compositional stratification of the magma whereby heat and matter are transferred by convection within liquid layers and by diffusion between layers. (d) The mixing of the fractionated pore liquid with primitive magma would depress the liquidus of olivine and the onset of crystallization at the floor of the chamber would be delayed. (e) In addition to depressing the liquidus of olivine, the mixing process would raise the solvus of sulphide. The magma cooled and became simultaneously saturated in olivine and sulphide which segregated from the magma at the floor of the chamber in their "cotectic" proportions to form the Dunite Subzone.

Table 13. Average composition of orthocumulate rocks from the basal Lower Peridotite Subzone

	Mean*	σ
SiO ₂	41.5	2.0
TiO ₂	0.14	0.05
Al ₂ O ₃	2.72	0.91
Cr ₂ O ₃	1.06	0.07
FeO	11.5	1.1
MnO	0.21	0.06
MgO	38.3	3.2
CaO	3.89	2.5
Na ₂ O	0.23	0.24
Ni	0.22	0.03
Co	0.012	0.003
V	0.0076	0.0023
Zr	0.0009	0.0003
Total	99.8	
Mg/Mg+Fe	0.856	0.016
* Mean and standard deviation of analyses of 10 samples: E5-860, E5-900, E5-960, E5-1000, E8-1160, E9-1165, E9-1215, E9-1255, E9-1275, E9-1285 (Appendix 2).		

at the margins, the main body of the crystal-liquid suspension would have been at the liquidus temperature. As a crystal mush built up on the floor of the magma chamber, a thermal gradient would have been established across the partially consolidated pile (for example, see Irvine, 1970a, Fig. 17). Cooling would promote crystallization of the trapped pore liquid, and reaction with the liquid would cause the cumulus olivine to become less forsteritic. The degree of reaction would reflect the temperature gradient, and so at any point in time the forsterite content of olivine would be expected to decrease with depth in the pile. Of course, if this process were to go to completion, a perfect orthocumulate rock would be produced. However, the pile would probably undergo compaction both during and after accumulation, and the resultant upward filter pressing of the residual pore liquid would prevent complete orthocumulus growth. Reaction with the migrating liquid would tend to reduce the forsterite content of the cumulus olivine but the effect would be slight within the Lower Peridotite. The marked increase of grain size upwards across the Lower Peridotite may reflect a greater degree of compaction at depth in the pile. Alternatively, it could have arisen in part from crystal growth during settling, inasmuch as the crystals at the top of the pile would have settled the greatest distance if the initial distribution of phenocrysts in the suspension was uniform. If the initial porosities of the meso- and adcumulates were similar to that inferred for the basal orthocumulate rocks (i.e., about 50% pore liquid by weight), then crystallization of about 68% of the intercumulus liquid is indicated to yield the average final olivine composition (Fo₈₉). This amount of crystallization would increase the concentration of incompatible elements in the residual pore liquid by a factor of 3.2 and the estimates of the final amount of trapped liquid given above should be reduced accordingly. Therefore, I am proposing that the rock ultimately contained about 4% residual liquid and that an amount of liquid equivalent to 12% of the initial crystal mush was expelled from the pile. This would mean that the intratelluric olivine phenocrysts made up about 12.5% of the magma at the time of intrusion.

The contact between the Lower Peridotite and Dunite subzones has been defined by the disappearance of chromite as a cumulus phase, but it is also marked by a sharp increase in the grain size of olivine and a decrease in the proportion of intercumulus material (Fig. 5). This contact very probably reflects a change in the thermal regime of the intrusion and a different mechanism of accumulation of olivine. Once accumulation of the intratelluric phenocrysts had progressed to a certain point, the essentially crystal-free supernatant liquid would have begun to convect, thereby establishing an adiabatic temperature gradient across the magma (Fig. 22b). An important property of convecting magmas is that the liquidus temperature gradient is expected to be greater than the adiabatic gradient, and crystallization is therefore likely to occur in a stable, nonconvecting layer adjacent to the floor of the magma chamber rather than at the upper contact where the maximum heat loss takes place. Lucid explanations of this phenomenon have been offered by Jackson (1961, p. 93-99) and Irvine (1970a, p. 1034-1036). Alternatively, bottom crystallization might have resulted from a compositionally controlled liquidus temperature gradient as described by Irvine (1980). This would have required a compositional gradient in the magma which could have resulted from an influx of primitive magma at the floor of the chamber, from melting of roof rocks, or from fractional crystallization at the roof of the chamber.

The Dunite Subzone is an extreme olivine adcumulate with only a fraction of a per cent intercumulus material in all but a few samples. It is unlikely that rocks with virtually no residual porosity (e.g., Fig. 6c) could have developed by the infiltration mechanism adopted for the Lower Peridotite. Indeed, Irvine (1980, p. 371) notes that there is probably a lower limit of a few per cent below which compaction cannot reduce the amount of intercumulus liquid. Therefore, I believe that the Dunite Subzone accumulated by in situ crystallization at the floor of the magma chamber. As noted above, the development of such an adcumulate texture at or near the top of the crystal pile implies a relatively slow rate of crystal accumulation.

The upward displacement of the abrupt increase in the forsterite content of olivine from the base of the Dunite Subzone is an important clue to the mechanism of cumulate formation and to the origin of the magmatic sulphide layers in the Dunite. The displacement is similar to the "uncoupling" of phase layering and cryptic variation resulting from the infiltration metasomatism process modelled by Irvine (1980). Irvine predicted that reaction between cumulus crystals at the base of one layer and fractionated liquid percolating upward from the underlying layers would cause an upward displacement of the discontinuity in cryptic variation.

The observation that the amount of upward displacement of the abrupt increase of forsterite content reflects the thickness of meso- and adcumulate rocks in the underlying Lower Peridotite supports the notion that the displacement is related to such a filter-pressing mechanism. At the eastern end of the intrusion, where the Lower Peridotite is thin and is an orthocumulate through its entire thickness, the increase in forsterite content corresponds to the base of the Dunite Subzone (Fig. 11, DDH E5). In the thick central part of the sill, the displacement is about one-third the thickness of the Dunite (Fig. 11, DDH E16 & DDH E21), whereas at the western end, where the Lower Peridotite is of intermediate thickness, there is a small upward displacement (Fig. 11, DDH W13).

It is significant that the magmatic sulphide mineralization occurs in that part of the Dunite Subzone where the evidence suggests the greatest amount of filter-pressing of the underlying Lower Peridotite. Irvine (1980) proposed that

infiltration metasomatism led to the formation of magmatic sulphides in the Muskox Intrusion. Specifically, he suggested that intercumulus liquid became sulphide-saturated as it migrated upward and "precipitated" a relatively large proportion of sulphide as it crossed the compositional discontinuity marking the boundary between two layers. A striking feature of the olivine compositions plotted in Figure 20 is the decrease in the nickel content upward across the sulphide layers with a much smaller corresponding change in forsterite content. This type of depletion in nickel was predicted by the calculations of Duke and Naldrett (1978) for the fractionation of olivine and molten sulphide from a sulphide-saturated peridotitic komatiite magma. This observation, together with the conclusion reached below that olivine and sulphide are present in their "cotectic" proportions, is compelling evidence for the simultaneous accumulation of sulphide and olivine. Therefore, I am proposing a model that differs from that of Irvine (1980) in one fundamental respect. Rather than the discontinuity in cryptic variation and occurrence of magmatic sulphides reflecting reaction of migrating pore liquid with cumulus

crystals, I believe that these features result from the mixing of this liquid with more primitive liquid at the floor of the magma chamber.

Compaction of the crystal mush that formed the Lower Peridotite would have expelled fractionated liquid from the top of the pile which, upon mixing with the overlying primitive magma, would have resulted in compositional gradients in the magma perpendicular to the floor of the magma chamber. The diffusivity of heat is greater than that of matter in magmas, and such mixing would probably have led to stratification of the magma whereby composition and temperature changed in a stepwise rather than in a continuous fashion, with heat and mass transfer occurring by convection within the layers and by diffusion between the layers (Fig. 22c, d). This phenomenon has been discussed in a number of recent papers including those by Turner and Gustafson (1978), McBirney and Noyes (1979), Irvine (1980), and Rice (1981). Addition of fractionated liquid to the primitive magma would have lowered the olivine liquidus temperature (Fig. 23b), prolonging the pause in olivine accumulation, and would have produced a stepwise trend of

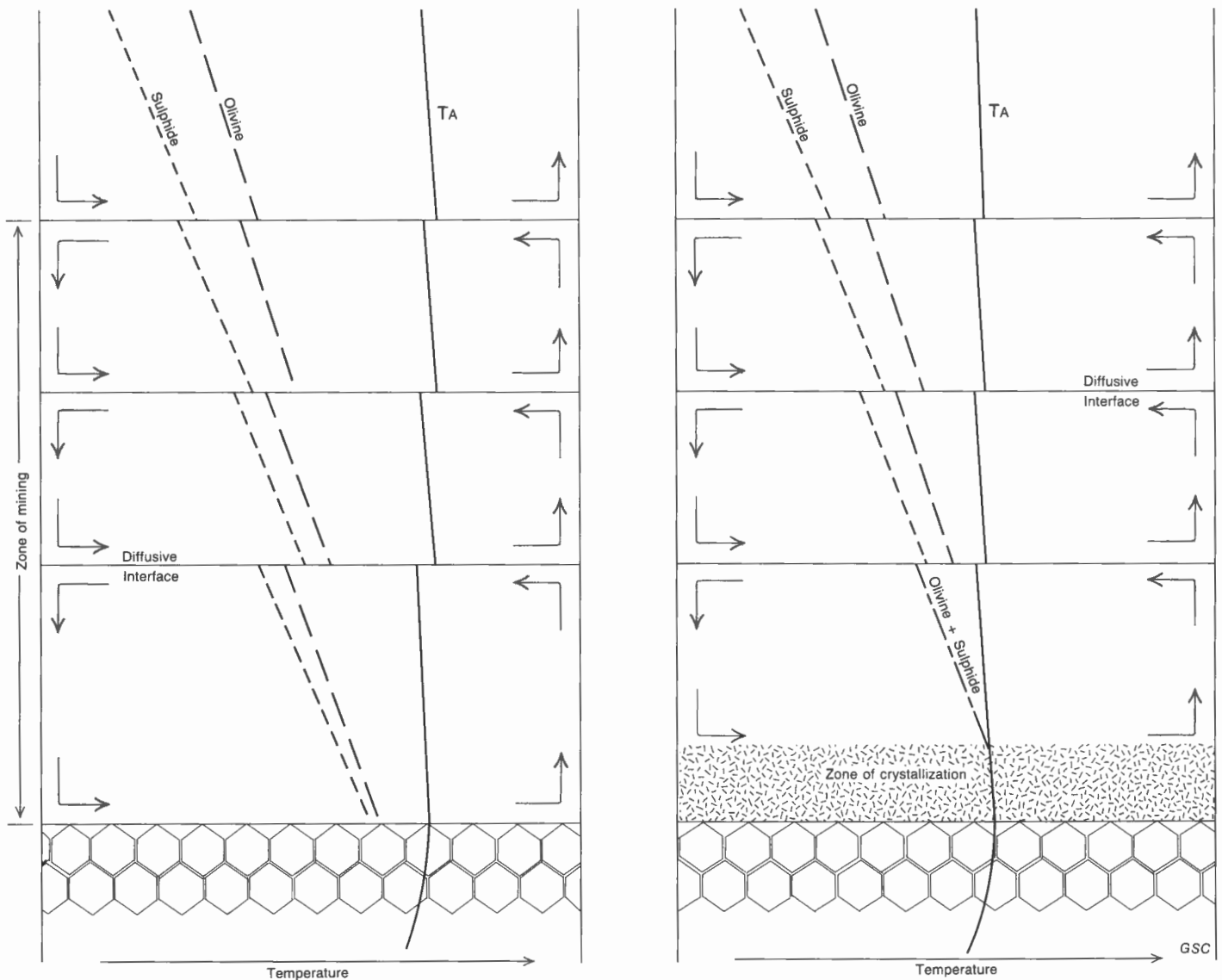


Figure 23. Possible thermal regimes in the zone of mixing at the onset of the accumulation of the Dunite Subzone. The left and right diagrams correspond to stages (d) and (e) in Figure 22.

increasing Mg/Mg+Fe ratio in the magma upward from the floor of the chamber. The evolution of the filter-pressed liquid to more fractionated composition with time, coupled with the slow rate of mass transfer, would mean that the compositional gradient would be greatest near the floor. Accumulation of the Dunite Subzone would have commenced with the onset of crystallization in a thin zone at the floor of the chamber (Fig. 22e, 23), and the gradient in magma composition would have promoted a "reverse" cryptic trend in olivine composition. A characteristic of stratified convecting systems is a sudden mixing of adjacent layers, or "rollover", for any one of a number of reasons (Rice, 1981). Extraction of a dense component and release of latent heat attending the crystallization of olivine at the floor would have decreased the density of the lowermost liquid layer and could have promoted rollover due to gravitational instability. The abrupt increase in the forsterite content of olivine may well reflect such a rollover in the stratified liquid.

Infusion of fractionated liquid from the underlying cumulates would have had the effect of bringing the magma closer to sulphide saturation since the fractionated liquid is expected to have had a lower sulphide solubility and a higher sulphur content than the primitive magma. The possibility that magma mixing might induce sulphide saturation was discussed by Irvine (1977). Magmatic sulphides occur erratically in the Lower Peridotite Subzone, but their generally very fine grain size and low abundance indicates that they formed after accumulation when crystallization of the trapped pore liquid had raised the sulphur concentration in the residual liquid to the saturation point. These observations suggest that the magma was somewhat undersaturated in sulphide at the time of emplacement but that sufficient filter pressing occurred in the thick, central part of the intrusion to cause the blended magma to be sulphide-saturated when the Dunite Subzone began to accumulate. That the magma was mutually saturated with olivine and sulphide is indicated not only by the marked decrease in the nickel content upward across the sulphide-rich layers, as described above, but also by the relative proportions of olivine and sulphide present in the rocks.

The relative proportion of sulphide that separates from a crystallizing magma is related to the sulphide solubility and the rate of change of solubility as crystallization proceeds. If the solubility (S) is essentially constant, the olivine/sulphide ratio is given by

$$R = \frac{(1-S)}{S}$$

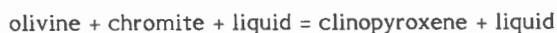
The average modal proportion of magmatic sulphide in the Dunite in the drill intersection depicted in Figure 20 is 1.3 volume per cent (Table 8), which suggests that the olivine and sulphide exsolved from the magma in a 60:1 ratio by weight. This in turn would indicate that the maximum sulphide solubility was about 1.6 weight per cent (= 0.64 weight per cent sulphur). Shima and Naldrett (1975) reported that the experimentally determined solubility in a peridotitic komatiite containing 23 weight per cent MgO was between 0.33 and 0.47 weight per cent sulphur at 1450°C and $10^{-9.2}$ bars oxygen pressure. The proposed parent magma for the Dumont Sill is significantly more magnesian than the experimental liquid and would have a liquidus temperature of about 1550°C. Therefore, the sulphide solubility inferred for the Dumont magma from the modal proportion of sulphide is in qualitative agreement with the limited experimental data. It seems reasonable to conclude that the mineralized Dunite represents accumulation of olivine and sulphide in the proportions required by a liquid fractionation path that followed the intersection of the olivine liquidus and the sulphide-silicate liquid solvus in a peridotitic komatiite system.

Although olivine crystallization and sulphide liquation are believed to have occurred in a very narrow zone at the floor of the magma chamber, it is interesting that the two phases appear to be close to hydraulic equivalence. The average grain sizes of olivine and sulphide in the Dunite are 1.7 and 0.48 mm respectively. Taking the density of molten sulphide to be 4.0 gm/cm³ (Barrett et al., 1977) and the other parameters as above, the Stokes' Law settling velocities are 6.5×10^{-2} cm/s for olivine and 1.9×10^{-2} cm/s for sulphide. Unlike the olivine crystals, the sulphide droplets were probably very nearly spherical initially and therefore the actual settling velocities of the phases could have been quite similar.

The degree of nickel depletion in olivine across the middle sulphide-rich layer evident in Figure 20 suggests that the olivine and sulphide fractionated from a volume of magma much smaller than the total available. For example, from the calculations of Duke and Naldrett (1978) and those outlined below, the amount of depletion observed would require fractionation of a mass of olivine and sulphide equivalent to about one-quarter that of the magma. An implication of this observation is that the nickel-depletion cycle represents fractionation within a layer of magma which was about four times the thickness of the cycle and which did not exchange constituents rapidly with the overlying layer. Thus the occurrence of three nickel-enriched layers in the central part of the intrusion may indicate three successive rollover events.

The base of the Upper Peridotite Subzone is marked by the appearance of cumulus chromite. The relative proportions of olivine and chromite in the Upper Peridotite Subzone are in agreement with those produced by cotectic crystallization in the MgO-Cr₂O₃-SiO₂ system, and the decrease in the relative proportion of chromite upwards may reflect a curved olivine-chromite cotectic as suggested by Irvine (1975). Although the Upper Peridotite is coarser grained than the Lower Peridotite, the ratios between the sizes of olivine and chromite are similar, indicating that the two minerals are not hydraulically equivalent in either unit. In the case of the Lower Peridotite, it was suggested that the chromite settling velocities were increased due to aggregation or chain formation. An alternative explanation is available in the case of the Upper Peridotite inasmuch as crystallization occurred at or near the rising floor of the magma chamber and relative settling velocities were not important.

The transition between the Upper Peridotite and Clinopyroxenite subzones would appear to mark a reaction relationship of the type



This precise reaction relationship has not been demonstrated experimentally and the data for related systems are ambiguous. Schairer and Yoder (1962) found that part of the clinopyroxene-olivine boundary curve in the system forsterite-diopside-silica was a reaction (forsterite + liquid = diopside). Kushiro and Schairer (1963) tended to discount this reaction but observed that clinopyroxene and orthopyroxene could be produced simultaneously by reaction of forsterite with the liquid. Kushiro (1969) reported that this latter reaction occurs only at pressures less than about 6 to 7 kilobars. Dickey et al. (1971) found that chrome diopside melts incongruently in the system CaO-MgO-Cr₂O₃-Al₂O₃-SiO₂ at 1 bar but not at 10 kilobars. Irvine (1970b) observed that reaction of olivine with liquid to form clinopyroxene seems to have occurred in certain ultramafic bodies in the Abitibi belt described by Naldrett and Mason (1968) and MacRae (1969).

It is argued below that the top of the Upper Peridotite represents the point at which approximately 42% of the original body of magma had crystallized, and therefore the concentrations of incompatible elements would have been 1.7 times those in the parent magma. Three analyzed samples from the uppermost Upper Peridotite average 3.0% CaO, 3.4% Al₂O₃, 0.15% TiO₂, 0.0063% V, and 0.0008% Zr. Dividing these by 1.7 times their concentrations in the model parent liquid (Table 10) gives consistent estimates of the amount of intercumulus liquid trapped in the rock of from 23 to 30%. This relatively high proportion may reflect a lack of compaction of the pile owing to a hiatus in crystallization because of the reaction relationship described above, and also the fact that clinopyroxene is close to the liquidus.

The discontinuity in the variation of the Mg/Mg+Fe ratio at the Upper Peridotite-Clinopyroxenite contact probably reflects the fact that the distribution coefficient $K_{D(Mg-Fe)}^{Cpx/L}$ is lower than the corresponding coefficient for olivine, that is, about 0.23 as compared with 0.30 (Grove, 1978; Roeder and Emslie, 1970), and therefore clinopyroxene is more magnesian than olivine that crystallizes from a given liquid. The lowermost Clinopyroxenite Subzone is virtually monomineralic but it is apparent that clinopyroxene (possibly accompanied by orthopyroxene) was not alone on the liquidus for very long before being joined by plagioclase. The cryptic variation of Mg/Mg+Fe and TiO₂ in the cumulate rocks upwards through the Gabbro Subzone and into the Quartz Gabbro Subzone form continuous trends (Fig. 5) that presumably reflect relatively simple fractional crystallization. The noncumulate rocks are more differentiated than the cumulates, but little is known about their field relationships. For example, the noncumulates may occur as dykes or may represent pockets of late liquid. The noncumulate material that occurs at the base of the Quartz Gabbro is instructive in this respect. The Mg/Mg+Fe ratio in this rock is 0.35 whereas that in the underlying cumulate is 0.71. If the ratio in the cumulate rock is essentially equivalent to that in the contained clinopyroxene and that in the noncumulate represents a liquid, then a distribution coefficient of 0.22 is indicated. This is close to experimentally determined values of $K_{D(Mg-Fe)}^{Cpx/L}$ (Grove, 1978; Duke, 1976) and therefore it is possible that the noncumulate rock at the base of the Quartz Gabbro represents the liquid from which the cumulates at the top of the Gabbro Subzone crystallized. This "liquid" composition was compared in Table 11 to those of gabbroic sills overlying the Dumont intrusion, and it was argued that a mobile magma of this extremely differentiated composition was produced by fractional crystallization. Applying similar logic, it might be concluded that the cumulate rocks of the Quartz Gabbro imply the existence of an even more evolved liquid. However, the cumulates of the Quartz Gabbro tend to contain a greater proportion of intercumulus material than those of the Gabbro Subzone and, inasmuch as the compositions plotted in Figure 5 are whole-rock values which represent the average of cumulus and intercumulus material, the degree of differentiation in the Quartz Gabbro may be somewhat exaggerated.

It is unfortunate that the top of the Dumont Sill has not been observed. I believe that I have demonstrated that liquids containing as little as 5.5% MgO have been derived from a peridotitic parent magma having at least 27.5% MgO by a relatively simple fractional crystallization process. However, the final stages of this differentiation process remain obscure due to a lack of exposure and limited sampling.

Computer simulation of the differentiation of the intrusion

Certain aspects of the differentiation process outlined above may be tested and augmented with the aid of the computer model of fractional crystallization developed by Duke and Naldrett (1978) and Duke (1979). Given a specified initial magma composition and the relative proportions of olivine, clinopyroxene, orthopyroxene, plagioclase and sulphide removed from the magma, the program calculates the compositions of the residual liquid and the subtracted phases as a function of the amount of fractional crystallization. It has been proposed that the Lower Peridotite formed by the accumulation of intratelluric phenocrysts and I have therefore attempted to model the differentiation of the intrusion upward from the base of the Dunite Subzone. The shortcomings of the computer model in this context are that it does not simulate the fractional crystallization of chromite and that no allowance is made for the trapping or migration of intercumulus liquid. However, I do not believe that these limitations substantially affect the results discussed below. The initial magma composition used was that of the model peridotitic komatiite parent liquid in Table 10, and the differentiation was simulated in the following stages corresponding to the subdivisions of the sill:

1. Dunite Subzone: olivine and sulphide were removed from the liquid in a 60:1 ratio until an amount equivalent to 20% of the initial mass of the magma had been removed.
2. Upper Peridotite Subzone: olivine alone was removed from the liquid until 42% of the initial mass of the magma had been removed.
3. Clinopyroxenite Subzone: clinopyroxene and orthopyroxene were removed from the remaining liquid in a 2:1 ratio until the cumulative amount removed was equivalent to 45% of the initial mass of the magma.
4. Gabbro Subzone: clinopyroxene, orthopyroxene and plagioclase were removed from the remaining liquid in a 4:4:2 ratio; these proportions were established after some experimentation with the model and are consistent with the normative composition of the Gabbro once adjustments are made for the estimated amount of trapped intercumulus liquid.

The computer model appears to provide a reasonable simulation of the differentiation of the Dumont Sill. However, it is emphasized that these calculations do not prove that the process of differentiation which I have suggested did in fact occur, but simply that it is a viable explanation. Moreover, the computations deal with the composition, proportions and sequence in which phases are removed from the magma, but the actual physical process by which removal occurs is not stipulated.

The calculations indicate that the MgO content of the liquid decreased from 27.5% at the onset of crystallization to 22.2% at the top of the Dunite Subzone and to 12.3% at the top of the Upper Peridotite Subzone; that is, the points where chromite and clinopyroxene, respectively, became liquidus phases (Table 14). Arndt (1976) found in melting studies of a peridotitic komatiite having a bulk MgO content of 25.1% that these minerals appeared on the liquidus when the MgO content of the liquid had decreased to about 15% and 9%, respectively, at 1 atmosphere pressure. The late appearance of chromite in Arndt's experiments is probably attributable to the relatively low partial pressure of oxygen in his runs (i.e., within the stability field of wustite). Arndt noted that variation diagrams of natural spinifex-textured rocks indicate that the fractional crystallization of clinopyroxene becomes apparent when the MgO content of the liquid had decreased to about 14%, which is significantly

more magnesian than the level he observed in his experiments, and he suggested that the rock used as a starting material in his experiments had been depleted in calcium during alteration. The MgO content of the magma upon the cumulus appearance of clinopyroxene suggested by the computer model is thus intermediate to the extremes indicated by Arndt's field and experimental data. I believe that the differences in the timing of the cumulus appearance of clinopyroxene could also reflect the influence of total pressure, inasmuch as the liquidus of pyroxene increases more rapidly with increasing pressure than that of olivine. Thus the differentiation trends typical of basaltic komatiite suites would represent fractional crystallization in magma chambers at deeper levels than the Dumont body, whereas the 1 atmosphere experiments were at rather lower pressures than would have prevailed in the Dumont magma.

According to the computer model, fractional segregation of an amount of material equivalent to 42% of the initial mass of the liquid would reduce the forsterite content of the precipitating olivine to 84.6%, corresponding to its composition at the top of the Ultramafic Zone. The calculated composition of the liquid remaining after 72% fractionation of the initial mass of the melt (Table 14) matches the composition of the most evolved noncumulate rocks (Table 11) reasonably well. The calculation of the bulk composition of the intrusion suggested that the sequence from the base of the Dunite to the top of the Gabbro Subzone should account for 60% of the mass of the magma implying that these most evolved liquids, including the overlying sills, were generated during accumulation of the Quartz Gabbro Subzone. The calculated composition of the liquid remaining after 60% fractionation is similar to that of two of the noncumulate rocks from the Quartz Gabbro (Table 11).

The Al_2O_3 vs. $FeO/FeO+MgO$ variation diagram has been widely used since Arndt et al. (1977) demonstrated that the komatiitic and iron-rich tholeiitic rocks from Munro Township, Ontario defined distinctive fields on the diagram. Unfortunately, some other workers have used this diagram as a universal discriminator of komatiitic rocks, a purpose for which it was never intended. The model trend and analyses of the Dumont rocks have been plotted in this diagram in Figure 24. The model liquid trend parallels the line dividing the tholeiite and komatiite fields for much of its length and thus mimics the trend defined by spinifex-textured rocks from many localities. However, as a consequence of plagioclase separation, the liquid trend bends and crosses into the tholeiite field at a point where its MgO content has been reduced to about 9%. The noncumulate rocks from the Dumont Sill as well as the overlying sills plot very close to the model liquid trend. These noncumulate rocks contain slightly less Al_2O_3 for a given $FeO/FeO+MgO$ ratio than most "typical" basaltic komatiite lavas that have been described and the extreme iron enrichment observed in the Dumont rocks contrasts with most basaltic komatiites.

The olivine cumulates from the Ultramafic Zone plot in the appropriate part of the diagram; that is, on lines joining points on the liquid trend to the olivine compositions which fall on the abscissa. It is interesting to note that because olivine containing less than about 91 mole per cent forsterite plots in the tholeiite field of the Al_2O_3 vs. $FeO/FeO+MgO$ diagram, extreme olivine adcumulates that crystallized from a komatiitic magma may also plot as tholeiites, depending upon the relative amount of retained intercumulus liquid. The samples from the Gabbro Subzone define a large field in the diagram indicative of variable proportions of cumulus pyroxene and plagioclase and intercumulus liquid.

Table 14. Compositions of silicate liquid, olivine and sulphide calculated using computer model

Silicate liquid						
F	1	20	42	60	72	
SiO ₂	47.7	49.3	52.6	52.7	53.1	
TiO ₂	0.32	0.40	0.56	0.75	0.98	
Al ₂ O ₃	6.58	8.10	11.2	13.0	14.8	
FeO	11.2	11.76	12.0	14.4	16.3	
MnO	0.18	0.19	0.20	0.23	0.25	
MgO	27.4	22.2	12.3	8.83	5.64	
CaO	6.07	7.41	10.1	8.87	7.26	
Na ₂ O	0.15	0.19	0.26	0.38	0.53	
Zr	0.0020	0.0025	0.0034	0.0051	0.0071	
V	0.0126	0.0156	0.0218	0.0274	0.0340	
Ni	0.1365	0.0631	0.0177	0.0150	0.0097	
Co	0.0109	0.0082	0.0060	0.0064	0.0634	
Cu	0.0049	0.0031	0.0043	0.0062	0.0088	
Sulphide			Olivine			
F	1	20		1	20	42
Fe	44.2	50.6	SiO ₂	41.3	41.0	39.8
Ni	15.2	8.6	FeO	6.88	8.68	14.5
Co	0.62	0.49	MnO	0.12	0.19	0.2
Cu	0.99	0.65	MgO	51.1	49.6	44.9
S	38.9	39.7	CaO	0.24	0.30	0.4
			Ni	0.33	0.20	0.13
			Fo (mole %)	93.0	91.1	84.6
F = Per cent of initial mass of magma fractionally segregated.						

The Quartz Gabbro analyses are more tightly clustered and fall closer to the liquid trend, supporting the conclusion that a greater proportion of intercumulus liquid has been retained.

The noncumulate rocks of the Quartz Gabbro and the overlying sills are compositionally similar in many respects to the iron-rich tholeiite host rocks of the intrusion and would indeed plot in overlapping fields on the Al_2O_3 vs. $\text{FeO}/\text{MgO}+\text{FeO}$ variation diagram. However, there are subtle but significant differences in chemistry which demonstrate to my satisfaction that the two groups of rocks are not comagmatic. In particular, the tholeiite lavas have distinctly higher concentrations of TiO_2 , Zr and V for a given MgO content than the Dumont rocks. Variation diagrams involving these three components are quite instructive (Fig. 25, 26). Zirconium may be regarded as an incompatible element throughout the crystallization of the Dumont magma and therefore is a useful index of the degree of fractional crystallization required to yield a given liquid composition, provided that an accurate estimate of its concentration in the parent liquid can be made. Titanium and vanadium are incompatible with respect to olivine crystallization and, although they are incorporated to a certain extent in the pyroxenes, they are nevertheless concentrated in the residual liquid (Duke, 1976). Moreover, since they are accepted to different degrees by the pyroxenes, pyroxene fractionation will produce a different slope than olivine fractionation on a TiO_2 vs. V variation diagram.

There is reasonable agreement between the model trend and the measured concentrations of Ti and Zr in the Dumont rocks (Fig. 25). The olivine cumulates from the Ultramafic Zone plot as expected between the origin and the liquid trend; the scatter in the data largely reflect the uncertainty in the analysis of Zr at such low levels. The rocks with cumulus pyroxene would be expected to plot slightly to the TiO_2 -rich side of the olivine cumulate trend owing to the small amount of Ti taken up by the pyroxenes, and most of

the samples of the Clinopyroxenite and Gabbro subzones conform to this prediction. The Quartz Gabbro samples appear to be somewhat depleted in TiO_2 .

The Ti and V concentrations of the rocks also agree well with those predicted by the computer program (Fig. 26). The olivine $\pm$ chromite cumulates are depleted in these elements but have similar Ti/V ratios as the postulated parent magma. Some of these cumulates have lower Ti/V ratios than the modal liquid which may reflect preferential partitioning of V into cumulus chromite or may merely result from analytical error at low concentrations. Rocks from the Clinopyroxenite and Gabbro subzones plot along lines joining the clinopyroxene trend to plagioclase (i.e., the origin). The cumulates from the Quartz Gabbro plot in a field limited by lines joining points on the model clinopyroxene and liquid trends with plagioclase, and these results support my contention that the Quartz Gabbro cumulates contain a large proportion of retained pore liquid. The noncumulate rocks from the Quartz Gabbro plot close to the model liquid trend. It is significant that none of the rocks have Ti/V ratios in excess of 20, a feature which distinguishes them from most tholeiitic rocks.

The variation of nickel content in the intrusion is of particular interest since it is sensitive to the amount and nature of sulphide segregation. This is illustrated by the calculated variation of olivine composition for the fractional crystallization of olivine alone as compared to the removal of both olivine and sulphide in Figure 27. Although the analytical data for the Dumont olivines are scattered with respect to the Dumont model trend, the majority of olivines are unquestionably significantly depleted in nickel in comparison with the olivine fractionation trend. Much of the scatter in the compositions of the olivines from the Dunite Subzone may reflect the unevenness of sulphide distribution in the unit described above. Separation of a greater proportion of sulphide at any point would lead to greater nickel depletion in the coprecipitating olivine. Moreover, nickel is expected to be redistributed during subsolidus cooling, partitioning preferentially into the sulphide fraction; hence the samples with the greatest proportion of sulphide would exhibit the most additional depletion of nickel in the olivine. With a few exceptions, the olivines from the Upper Peridotite

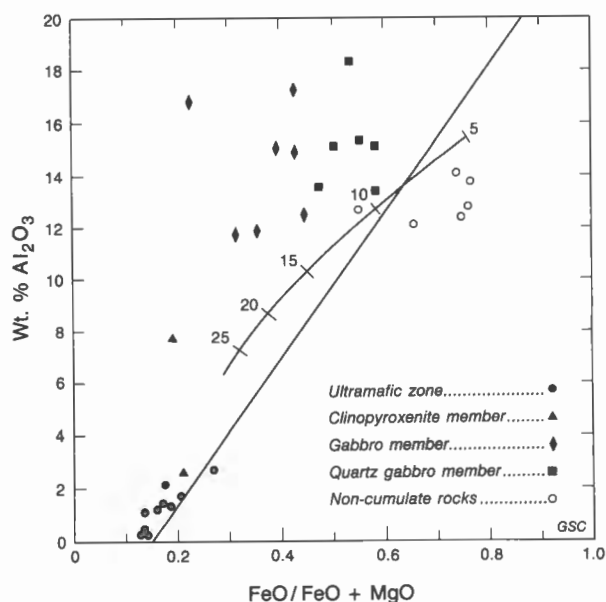


Figure 24. Variation of Al_2O_3 and $\text{FeO}/\text{FeO}+\text{MgO}$ in the Dumont rocks (FeO is total iron expressed as FeO). The solid line separates the upper komatiite field from the lower iron-rich tholeiite field of Arndt et al. (1977). The hatched line is the calculated liquid differentiation trend with the liquid's MgO content marked at points along the trend.

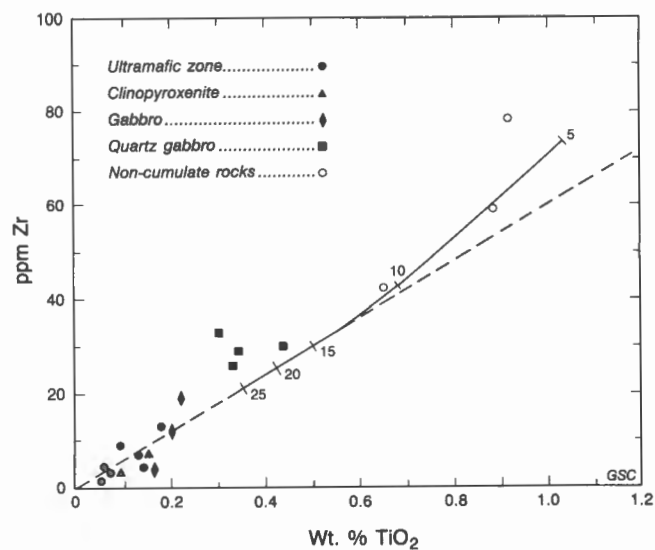


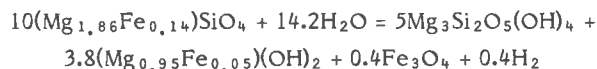
Figure 25. Variation of Zr and TiO_2 in the Dumont rocks. The dashed line indicates the chondritic ratio. The solid line is the calculated liquid differentiation trend with the MgO content of the liquid marked at points along the trend.

have similar compositions to the model trend. The compositions of the rocks from the Lower Peridotite Subzone are thought to have been modified by reaction with migrating intercumulus liquid and therefore their olivines are not necessarily expected to match the model trend. It is significant that the fractionation of sulphide during the earliest stages of fractional crystallization of the magma is manifested in the depleted nickel concentrations in subsequent rocks in the intrusion, even in the most evolved samples.

Nature of the alteration processes

The textures and mineral assemblages of the rocks of the Ultramafic Zone are for the most part typical of what Wicks and Whittaker (1977) termed Type 3 serpentinization; that is, the process took place in a regime of falling or constant temperature without significant shearing or the nucleation of antigorite. It is likely that the main episode of serpentinization took place during or immediately following cooling of the intrusion after its crystallization from the magma. I have argued that the sill was emplaced into submarine lavas at a relatively high level in the crust, and the elevated concentrations of chlorine and boron (up to 0.5 and 0.01%, respectively) may indicate that seawater, either

connate or circulating, was the serpentinizing fluid. The retrograde serpentinization of iron-bearing olivine may be represented by the reaction



which was reversed by Moody (1976) at temperatures in the range of 330 to 360°C at pressures of 0.5 to 2.0 kilobars. This defines the maximum temperature at which the retrograde serpentinization of the Ultramafic Zone is likely to have taken place, inasmuch as such alteration may be expected to proceed by nonequilibrium processes at temperatures well below the minimum stability of olivine (Nesbitt and Bricker, 1978). The inhomogeneity of the nickel contents of secondary minerals within any given sample is indicative of disequilibrium.

Antigorite is virtually restricted to the upper margin of the Ultramafic Zone where it appears to have formed by the recrystallization of lizardite. Although the phase relations among the serpentine minerals are not yet entirely understood, it is widely agreed that antigorite is stable with respect to lizardite and chrysotile at higher temperatures (e.g., Evans, 1977), except possibly where the lizardite is aluminous (Caruso and Chernosky, 1979). It seems reasonable to conclude that the antigorite in the Dumont Sill was a product of incipient regional metamorphism, presumably during the Kenoran Orogeny. The fact that there has not been reaction between the relict chromite grains and their magnetite rims also suggests that the effects of regional metamorphism were limited. Evans and Frost (1975, p. 959) reported that "the stable spinel in antigorite-serpentinites is Al-poor magnetite, Cr-magnetite, or ferrite-chromite, depending on the local Cr/Fe³⁺ ratio in the rock."

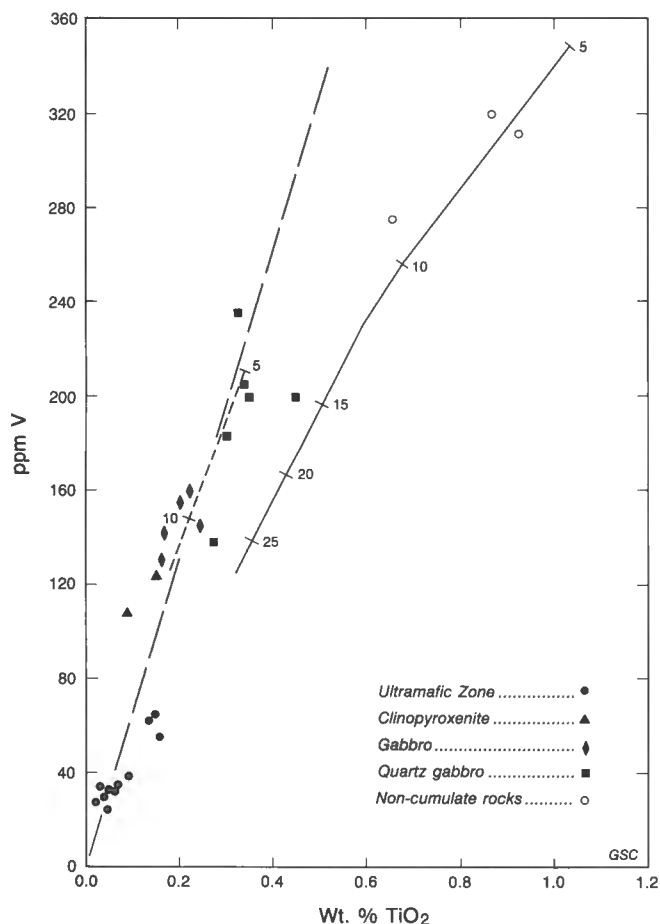


Figure 26. Variation of V and TiO₂ in the Dumont rocks. The long-dashed line is the chondritic ratio. The solid and short-dashed lines are the calculated liquid and clinopyroxene trends respectively, with the MgO content of the liquid marked at points along the trends.

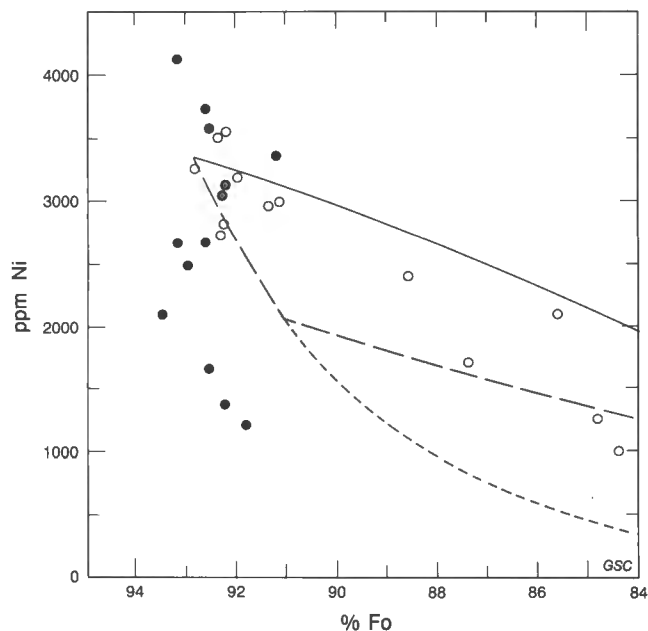


Figure 27. Variation of nickel and forsterite contents of olivines from the Dunite and Upper Peridotite Subzones. The solid and short-dashed lines are the sulphide-undersaturated and sulphide-saturated trends respectively (Duke and Naldrett, 1978). The long-dashed line is the Dumont model trend. Filled circles represent samples containing magmatic sulphides, open circles are sulphide-free samples.

The compositions of the ultramafic rocks are plotted in the $\text{CaO}-(\text{MgO}+\text{FeO})-\text{SiO}_2$ ternary system in Figure 28. The rocks plot close to the olivine-calcic pyroxene tie line as would be expected if their alteration involved essentially an addition of volatile constituents. The secondary mineral assemblages in serpentinites corresponding to the lower greenschist and subgreenschist facies of metamorphism are also depicted. The most commonly observed assemblage, that is, lizardite+brucite+magnetite+diopside+chlorite $\pm$ chrysotile, would be consistent with the lowest grades of metamorphism.

The alteration of the Mafic Zone rocks is also considered to have occurred during or shortly after the initial cooling of the body, rather than during regional metamorphism. The evidence for this is the pseudomorphic nature of the secondary mineral textures and the fact that albite, an expected phase in low grade regional metamorphic assemblages in such rocks, is absent.

Composition – volume relationships during serpentinization

Serpentinization of the dunitic rocks was accompanied by reduction of their densities by as much as 25% (Fig. 8). This implies that either the volume of the rocks increased or their mass decreased. The problem of conservation of

volume as opposed to conservation of mass during serpentinization has been the subject of much discussion in the literature (e.g. Thayer, 1966; Hostetler et al., 1966). The Dumont serpentinites typify the apparent dilemma very well. On the one hand, there is excellent preservation of magmatic textures with, for example, completely serpentinized olivine grains enclosed in pristine oikocrysts of chromite or clinopyroxene, which seems to preclude a substantial volume increase. On the other hand, the fact that ratios among the major elements ($\text{Si}/\text{Mg}+\text{Fe}$, Mg/Fe , Mg/Ni , etc.) can be shown to be equivalent to those in the unaltered precursor indicates that the only changes in composition involved the addition of volatile components such as water, carbon dioxide, and chlorine.

I believe the rationalization of this problem by Wicks and Whittaker (1977) is applicable in the case of the Dumont body. That is, that the serpentinization proceeds by essentially isovolumetric replacement on a grain-for-grain basis, but that the excess matter may only migrate a very short distance before precipitation in one of the ubiquitous serpentine $\pm$ brucite $\pm$ magnetite veins. Thus, in practical terms, the process may appear isovolumetric on the scale of a thin section but mass is preserved on the scale of the hand specimen used for chemical analysis.

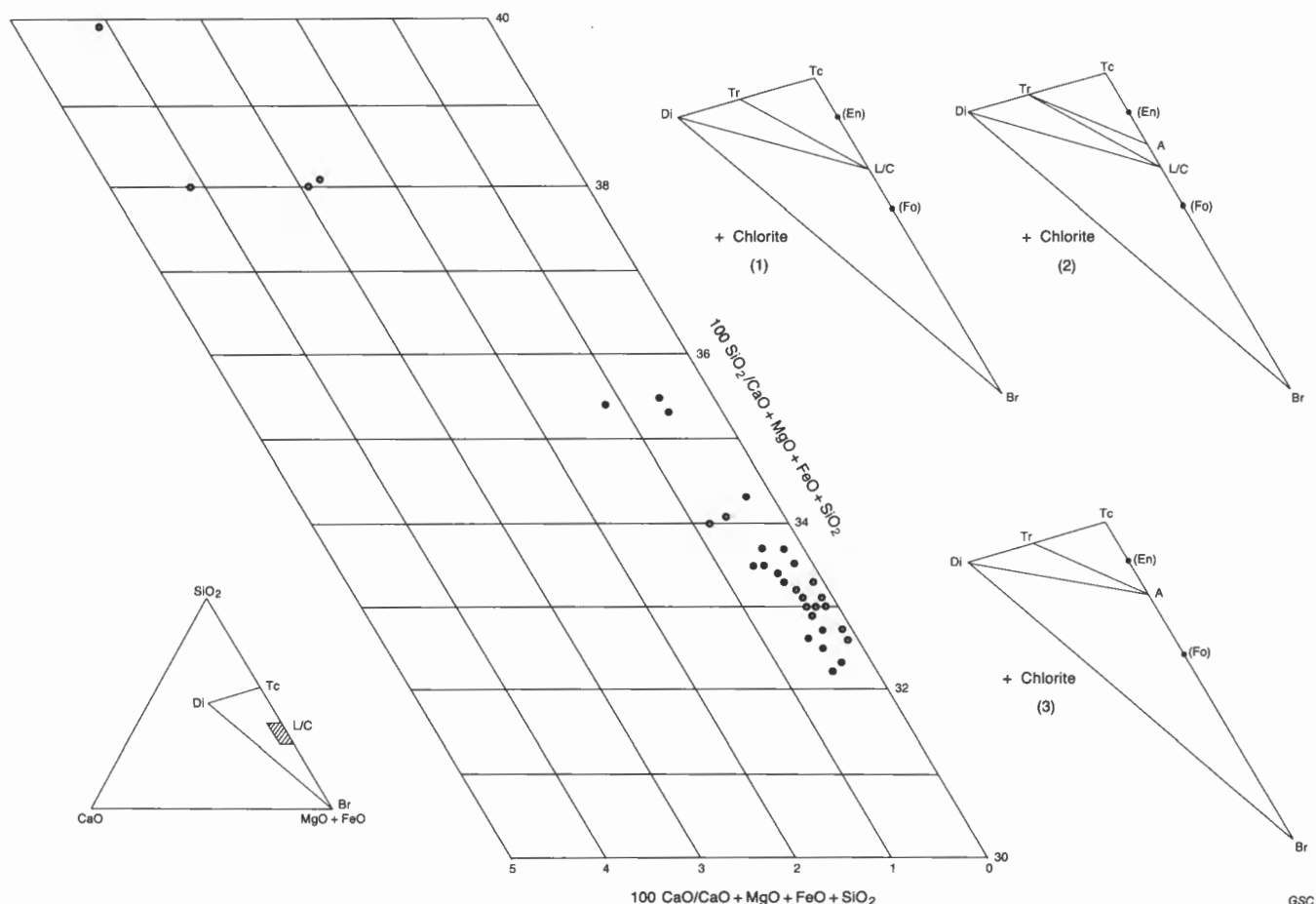


Figure 28. Compositions of samples from the Ultramafic Zone plotted in a portion of the $\text{CaO}-\text{MgO}-\text{SiO}_2$ system. The sequence of assemblages in this system generated during progressive subgreenschist to lower greenschist metamorphism is represented in parts 1 through 3 (after Evans, 1977). Abbreviations: A – antigorite, Br – brucite, Di – diopside, En – enstatite, Fo – forsterite, L/C – lizardite/chrysotile, Tc – talc, Tr – tremolite.

Gresens (1967) outlined a quantitative approach to the analysis of metasomatic changes which has been incorporated in a series of computer programs by Appleyard (1980). The Gresens equation relating changes in the mass of the individual components and in the volume of the rock is

$$\Delta C_i = M \left[F_V C_i^b \frac{\rho^b}{\rho^a} - C_i^a \right]$$

where C_i^a and C_i^b are the concentrations of the subscript component in the initial and final rocks, respectively, ΔC_i is the change in the mass of the subscript component in producing the final rock from the initial rock, F_V is the ratio of the final to the initial volumes, M is the initial mass of the rock, and ρ^a and ρ^b are the initial and final specific gravities. Given the compositions and specific gravities of the initial and final rocks, one arrives at a series of linear equations describing all possible combinations of changes in mass and volume.

Although there are no completely unaltered rocks in the Ultramafic Zone, a calculation may be carried out using a number of the least altered samples as the initial compositions. This has been done with a group of samples from that part of the Dunite Subzone where the initial olivine composition was $\text{Fo}_{92.5} \pm 0.5$. Sample E21-1837, which is about 90% serpentinized, and sample W13-520, which is 99% serpentinized, were each compared to four less altered samples. These included samples E16-1550, E16-1600 and W13-905, which are each about 60% altered and sample W13-1060 which is about 50% altered. Synoptic histograms of the values of F_V where $\Delta C_i = 0$ ("zero change volume factors") are given in Figure 29. In each case there is a distinct peak including the factors for Si, Mg, total Fe, Mn and O, indicating that these elements have been essentially immobile and that their volume factors reflect the actual change in volume during serpentinization. The average volume factor for sample E21-1837 is 1.13, indicating a 13% increase in volume in going from about 57 to 90% alteration. The average factor for sample W13-905 is 1.21, which indicates a 21% volume increase in going from 57% to virtually complete serpentinization. The volume factors for H, Cl, Fe^{3+} fall to the left of the main peak indicating that these elements have been added to the rock during serpentinization, whereas those for Fe^{2+} and Ca fall to the right indicating their removal. Of course the apparent addition of Fe^{3+} and removal of Fe^{2+} is simply an oxidation effect; the total amount of iron in the rock is unchanged. The loss of calcium is not surprising given its well known mobility in a variety of alteration processes. However, it was not apparent from a casual inspection of the analytical data and was only brought to light by means of the Gresens' calculations.

It is interesting that serpentinization resulted in an addition of hydrogen but not oxygen. Thus, although the reaction given above to describe serpentinization is one of hydration, it would appear that the process is actually a hydrogenation reaction. This is consistent with the observation by Barnes and O'Neil (1969) that waters emanating from modern serpentinites have very high pH values (>10). Thus extraction of hydrogen ions from the aqueous serpentinization fluid would enrich it in $(\text{OH})^-$, thereby increasing the pH.

DISCUSSION

Comparison with other layered komatiitic intrusions

Layered intrusions of probable komatiitic affinity have been described from other localities and it is interesting to compare some of these to the Dumont Sill. A number of such bodies occur within the Abitibi greenstone belt. I have already noted that at least four other ultramafic-mafic

bodies occur at approximately the same stratigraphic level as the Dumont intrusion in the area to the east of Amos (Weber and Latulippe, 1964) and it is likely that the five intrusions are part of a comagmatic suite. I have examined one of the other bodies, the Landrienne (Amos) sill, and have found the textures and compositions to be very similar to those of the corresponding Dumont rocks. The sequence, which is repeated, possibly by faulting, is peridotite (poikilitic wehrlite) overlain in turn by clinopyroxenite and gabbro. The exposed part of the Landrienne sill is much less magnesian than the most primitive rocks of the Dumont body with Mg/Mg+Fe ratios averaging about 0.84 in the peridotite, and thus resembles the upper part of the Dumont Sill.

Several ultramafic-mafic complexes occur in Ontario to the south and west of Lake Abitibi (Naldrett and Mason, 1968; MacRae, 1969), and Arndt et al. (1977) have pointed out that these include intrusions of both tholeiitic affinity (e.g., Dundonald sill, Centre Hill complex, Munro-Warden sill) and komatiitic affinity (e.g., Munro-Beatty sill, Ghost Range intrusion). Like the Dumont Sill, the layered komatiitic intrusions and thick, differentiated flows are characterized by rather thin clinopyroxenite units overlying the peridotites, whereas the tholeiitic bodies have a greater proportion of clinopyroxene cumulates relative to olivine cumulates (Arndt et al., 1977; Arndt, 1977). The komatiitic Munro-Beatty sill has associated basal nickel sulphide mineralization.

Nisbet et al. (1977) have described a differentiated sill from the base of the Reliance Formation in the circa 2.7 Ga old Bulawayan Group of Zimbabwe. The body has a similar lithological sequence to the Dumont Sill, with a basal dunite overlain in turn by poikilitic wehrlite, a thin clinopyroxenite layer, and quartz gabbro. The sill is smaller than the Dumont intrusion, measuring only about 70 m thick and 5 km in strike length. The Mashaba Ultramafic Suite of Zimbabwe includes numerous intrusions that are considered to be time equivalents of the ultramafic lavas in the Bulawayan Group (Wilson, 1979). The Mashaba igneous complex itself (Wilson, 1968) is a very large, irregular intrusion including both sheeted and dyke portions that outcrop over an area of about 75 by 30 km. It is believed to have been emplaced in at least four distinct pulses of peridotitic magma that differentiated to give dunite, chromitite, poikilitic and lesser granular harzburgite, orthopyroxenite, gabbro and norite. Thus the Mashaba complex may have crystallized from a similar parent magma to that of the Dumont Sill, but it differs considerably in lithology, size and complexity.

The Kaapmuiden bodies in the Barberton Mountainland of South Africa intrude tholeiitic basalts of the Komati Formation (Viljoen and Viljoen, 1970). They comprise a basal peridotite chill zone overlain in turn by a main dunite-peridotite zone, an orthopyroxenite zone, a websterite zone, an anorthositic gabbro zone, and an upper dunite-peridotite zone. Numerous intrusive pods of gabbroic pegmatoid occur, particularly in the latter zone. The Kaapmuiden bodies are sills ranging from 5 to 9 km in length and from 0.8 to 1.5 km in width, and thus are similar in size to the Dumont intrusion. However, like the Mashaba complex, they contrast with the Dumont Sill in the prominence of orthopyroxene. The late-stage gabbroic pegmatoids are an interesting parallel to the coarse grained, noncumulate rocks and pegmatitic schlieren that I have described from the Quartz Gabbro Subzone at Dumont.

Numerous intrusions of komatiitic affinity occur in the Archean Yilgarn Block in Western Australia. Few detailed studies have been published but these bodies are described as typically comprising a central core of dunite within an envelope of peridotite (Naldrett and Turner, 1977). In this respect they are at least superficially similar to the Dumont Ultramafic Zone but differ in that they generally lack

significant amounts of gabbroic differentiates. Rhythmic cryptic layering, which is not observed at Dumont, is well developed in the upper peridotitic part of the Six Mile Well intrusion (Naldrett and Turner, 1977). Several of the Australian bodies contain centrally disposed zones of disseminated magmatic sulphides, a parallel with the Dumont Sill which will be examined in more detail below.

Layered sills of komatiitic affinity also occur in Proterozoic terranes. However, their parent magmas probably contained no more than about 20% MgO and they

are thus somewhat less magnesian than their Archean analogues. The prime Canadian examples occur in the Ungava region of Quebec and in the Thompson nickel belt of Manitoba. Francis and Hynes (1979) have described sills from the Chukotat Group in Ungava which display an upward sequence of layering beginning with a melanogabbro basal chilled margin, overlain in turn by pyroxene peridotite, oikocrystic peridotite, an upper pyroxene-rich unit, a main gabbro unit, a heterogeneous gabbro unit, and a dark, fine grained gabbroic to quartz dioritic chilled margin. The sills

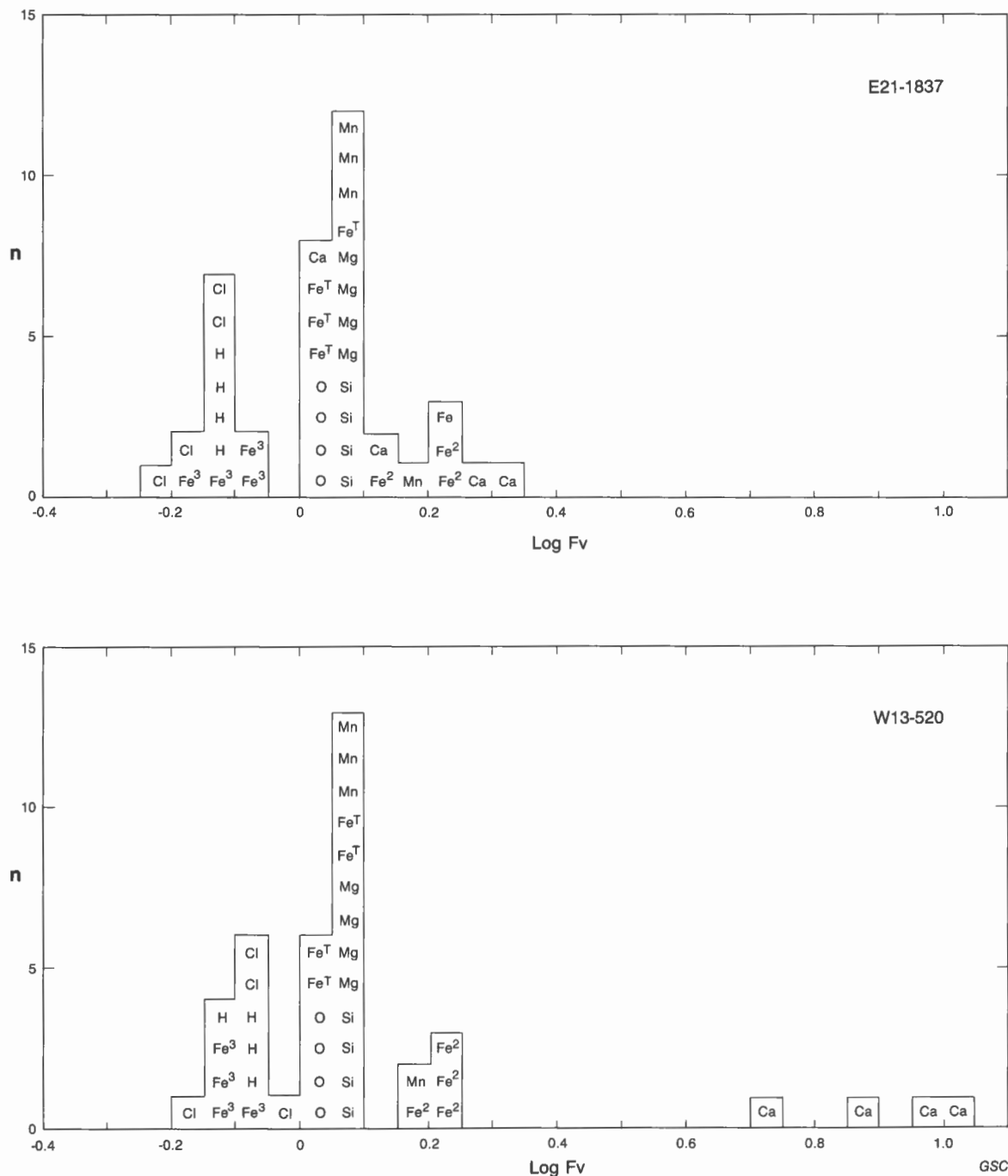


Figure 29. Changes in volume and major element concentrations during serpentinization of dunite as indicated by the Gresens metasomatic equation. Synoptic histograms of zero change volume factors for each of two dunites. Sample E21-1837 is about 90% serpentinized whereas sample W13-520 is about 99% serpentinized. The histograms are derived by comparison of each of these samples to four less altered dunites (i.e., about 60% serpentinized). See text for details.

which host the rich nickel-copper sulphide ores are relatively thin (100 to 200 m) and consist of a dunite or wehrlite core that grades outward through poikilitic wehrlite to clinopyroxenite margins at both the top and bottom of the intrusions (Miller, 1977; Barnes, 1980). These ore-bearing sills do not have gabbroic differentiates and their differentiation has been attributed to segregation of phenocrysts during flow of the magma. The ultramafic bodies in the Thompson belt are for the most part concordant and in some cases have pyroxenite zones at their upper margin (Peredery, 1979). The dominance of orthopyroxene over calcic clinopyroxene in the Thompson bodies is a notable difference from the Ungava sills and also from Dumont. A layered sill of late Precambrian age occurs at Gebel Dahanib in southeastern Egypt (Dixon, 1981). It grades upward from dunite and harzburgite at the base through orthopyroxenite to gabbro and anorthosite.

The predominance of clinopyroxene in some komatiitic intrusions and orthopyroxene in others probably reflects differences in either depth of crystallization or bulk composition. There have been only a few experimental studies of the crystallization of komatiitic liquids, but it would appear that the primary liquidus field of orthopyroxene expands with increasing pressure at the expense of those of olivine and clinopyroxene. For a peridotitic komatiite composition with about 33% MgO, Green et al. (1975) found that the olivine liquidus was between 1680 and 1700°C at 10 kilobars and that olivine crystallized alone down to 1450°C at which point it was joined by orthopyroxene. However, at 2 kilobars pressure, the olivine liquidus was about 1650°C and it was the only liquidus phase until it was joined by clinopyroxene at 1300 ± 40°C. Arndt (1976), using a komatiite with 25.1% MgO, observed that calcic pyroxene crystallized in experiments at 1 bar and 10 kilobars but that pyroxene was calcium-poor at pressures of 15 kilobars and above. Arndt also found that while plagioclase crystallized at 1 bar, it did not occur in runs at 10 kilobars or above.

An interesting characteristic of most of the komatiitic intrusions that I have listed here is that they tend to occur as groups of bodies localized at a particular stratigraphic horizon within each terrane.

Nickel sulphide deposits associated with komatiitic rocks

Three principal types of magmatic nickel sulphide deposits are found in association with ultramafic rocks of komatiitic affinity. Most numerous are small (about 10⁶ tonnes) but high grade (1 to 5% Ni) deposits occurring as basal accumulations in peridotitic lava flows or in the feeders to such flows. The Kambalda ores of Western Australia are the most important of this type but significant examples are known in Canada (e.g., the Marbridge and Langmuir deposits in the Abitibi belt) and in Zimbabwe (e.g., Damba). Much larger (about 10⁷ tonnes) high grade deposits form as basal accumulations in intrusive komatiite bodies. The Agnew deposit in Western Australia is the prime example from an Archean terrane, but the Proterozoic deposits of the Thompson and Ungava belts in Canada probably belong in this category. The third type is the one of interest here and includes deposits consisting of extensive zones of disseminated magmatic sulphides within the central portions of synvolcanic dunite-peridotite bodies which represent shallow level intrusive members of the komatiite suite. The prototype of this group is the Mt. Keith deposit, which is one of a number of similar occurrences within a series of ultramafic lenses that lie along a 200 km belt between Wiluna and Leonora in the Yilgarn Block in Western Australia. The individual lenses are as much as 20 km in length and 1 km in width, and are characterized by virtually monomineralic dunite cores that grade outward to more pyroxene-rich peridotite margins (Binns et al., 1977; Naldrett and Turner, 1977). Disseminated sulphides make up 2 to 3% of

the rock in crudely conformable zones within the dunite core. The Mt. Keith deposit is reported to contain about 290 million tonnes grading 0.6% nickel (Burt and Sheppy, 1975), while the deposit at Six Mile Well, about 20 km to the south, contains about 54 million tonnes of 0.6% nickel (Naldrett and Turner, 1977). A number of similar deposits also occur in the Forrester area of Western Australia (Porter and McKay, 1981).

The Dumont deposit may be considered to be a variant of the Mt. Keith type: the Ultramafic Zone at Dumont is dimensionally and petrographically similar to the bodies that host the Australian deposits, and the primary characteristics and grade of mineralization are essentially identical. The presence of a significant proportion of mafic differentiates in the Dumont Sill is the principal contrasting feature. The Epoch deposit in Zimbabwe (Clutten et al., 1981), which contains 5 million tonnes grading 0.64% nickel, is similar in this respect. I have argued that the Dumont mineralization represents the accumulation of olivine and molten sulphide in the proportions required by a fractionation path that followed the intersection of the olivine liquidus with the sulphide-silicate liquid solvus in a peridotitic komatiite magma. The relatively large proportion of olivine which precipitates under such conditions would have impeded the coalescence of the sulphide droplets and militated against their accumulation in high grade pools. It follows that the rather restricted range of grades of deposits of the Mt. Keith type is not accidental but is a direct consequence of the particular process of sulphide segregation and largely reflects the composition of the parent magmas and the solubility of sulphide. Insufficient data are available on the other deposits to allow me to conclude whether the filter-pressing/magma-mixing model proposed to explain the disposition of magmatic sulphides in the Dumont intrusion is generally applicable to deposits of this type.

Exploration guidelines

The geological setting of the nickel sulphide mineralization associated with the Dumont Sill, and the model proposed for its origin, suggest a number of exploration guidelines for deposits of the Dumont or Mt. Keith type.

1. The first stage in the exploration for such deposits should be the identification of ultramafic, synvolcanic, sill-like intrusions of komatiitic affinity. The average composition of these bodies is ultramafic, there is an abundance of olivine cumulates, and mafic differentiates may or may not be present. Although the bulk composition of an intrusion is usually difficult to determine with any certainty, the composition of the most magnesian olivine is generally indicative of the nature of the parent magma. There are a variety of geochemical and mineralogical indicators of komatiitic affinity.
2. Evidence of sulphide-saturation should be sought in any intrusions which satisfy the criteria outlined in (1). The presence of even trace amounts of magmatic sulphides may be significant. Sparse, erratically distributed and mainly postcumulus sulphides occur in the Lower Peridotite in the Dumont intrusion, indicating that although the magma was not saturated when emplaced, its sulphur content was not negligible. The depletion of nickel in olivine documented in the Dumont rocks is also considered to be diagnostic of sulphide segregation. Olivine in the Dunite Subzone immediately overlying the main sulphide layer is strongly depleted in nickel. What is of more interest in the context of exploration is the moderate depletion apparent in olivine at some distance from the mineralization, both in the Dunite Subzone and in the overlying Upper Peridotite. It will seldom be possible to carry out microprobe analyses of olivine as a routine exploration technique, however, I have

demonstrated that whole-rock analyses of olivine-rich rocks give a reasonable approximation of the composition of the contained olivine.

3. The sulphide-enriched zones which comprise these deposits are centrally disposed within their ultramafic host rocks, and the filter-pressing/magma-mixing hypothesis suggests a reason why this is the case. In any event, both empirical and theoretical considerations indicate that the thick, central portions of the intrusions are most likely to host disseminated magmatic sulphides of the Dumont type. At a more detailed level of examination, evidence of circumstances that favour filter pressing should be sought. In the case of the Dumont deposit, the sulphide layers overlie the thickest part of a unit that is believed to represent an accumulation of intratelluric phenocrysts. An "uncoupling" of phase layering and cryptic layering may be indicative of filter pressing as suggested by Irvine (1980). In the Dumont intrusion, the zone of sulphide enrichment overlies the greatest upward displacement of the discontinuity in the cryptic variation of Mg/Mg+Fe in olivine from the modal discontinuity marking the base of the Dunite Subzone.
4. Finally, the possibility that intrusions that host centrally disposed zones of disseminated magmatic sulphides may also contain rich, basal sulphide accumulations should not be discounted. The Cliffs Mt. Keith prospect in the Wiluna area of Western Australia is such a high grade deposit which occurs at the base of a sill in proximity to the Mt. Keith deposit described above (Groves and Leshner, 1982). It is noteworthy that the basal contact of the Dumont intrusion has not been explored in detail.

REFERENCES

- Alsac, C.
1977: *Pédrographie et géochimie de formations volcaniques minéralisées de l'Abitibi et de l'Estrie*; Ministère des Richesses Naturelles du Québec, DPV-519, 93 p.
- Appleyard, E.C.
1980: Mass balance computations in metasomatism: metagabbro/nepheline syenite pegmatite interaction in northern Norway; *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 73, p. 131-144.
- Arndt, N.T.
1976: Melting relations of ultramafic lavas (komatiites) at 1 atm and high pressure; *Carnegie Institute of Washington Yearbook*, v. 75, p. 555-562.
1977: Thick, layered peridotite-gabbro lava flows in Munro Township; *Canadian Journal of Earth Sciences*, v. 14, p. 2620-2637.
- Arndt, N.T., Francis, D., and Hynes, A.J.
1979: The field characteristics and petrology of Archean and Proterozoic komatiites; *Canadian Mineralogist*, v. 17, p. 147-164.
- Arndt, N.T., Naldrett, A.J., and Pyke, D.R.
1977: Komatiitic and iron-rich tholeiitic lavas of Munro Township, northeast Ontario; *Journal of Petrology*, v. 18, p. 319-369.
- Baragar, W.R.A. and McGlynn, J.C.
1976: Early Archean basement in the Canadian Shield: a review of the evidence; *Geological Survey of Canada, Paper 76-14*, 20 p.
- Barnes, I. and O'Neil, J.R.
1969: The relationship between fluids in some fresh Alpine-type ultramafics and possible modern serpentinization, Western U.S.; *Geological Society of America, Bulletin*, v. 80, p. 1947-1960.
- Barnes, S.J.
1980: Petrology and geochemistry of the Katiniq nickel deposit and related rocks, Ungava, northern Quebec; unpublished M.Sc. thesis, University of Toronto.
- Barrett, F.M., Binns, R.A., Groves, D.I., Marston, R.J., and McQueen, K.G.
1977: Structural history and metamorphic modification of Archean volcanic-type nickel deposits, Yilgarn Block, Western Australia; *Economic Geology*, v. 72, p. 1195-1224.
- Besson, M.
1979: Les roches encaissantes des gisements sulfurés de nickel: pétrochimie des séries magmatiques hôtes; *Canadian Mineralogist*, v. 17, p. 201-216.
- Besson, M. and Capitant, B.
1976: Note sur le chimisme de roches ultrabasiques minéralisées en sulfures de nickel dans l'Abitibi (Province Supérieure archéenne, Canada); *Bulletin du Bureau de Recherches géologiques et Minières, France* (2), sect. II, v. 4, p. 349-378.
- Bickle, M.J., Ford, C.E., and Nisbet, E.G.
1977: The petrogenesis of peridotitic komatiites: evidence from high pressure melting experiments; *Earth and Planetary Science Letters*, v. 37, p. 97-106.
- Binns, R.A., Groves, D.I., and Gunthorpe, R.A.
1977: Nickel sulphides in Archean ultramafic rocks of Western Australia; in *Correlation of the Precambrian*, v. 2, ed. A.V. Siderenko; Nauka, Moscow, p. 349-380.
- Bliss, N.W. and MacLean, W.H.
1975: The paragenesis of zoned chromite from central Manitoba; *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 39, p. 973-990.
- Bonneau, J.
1977: Minéralisations nickélicifères et petrogenese du filon-couche Dumont Nickel; unpublished M.Sc. thesis, Laval University.
- Bottinga, Y. and Weill, D.F.
1970: Densities of liquid silicate systems calculated from partial molar volumes of oxide components; *American Journal of Science*, v. 269, p. 169-182.
1972: The viscosity of magmatic silicate liquids: a model for calculation; *American Journal of Science*, v. 272, p. 438-475.
- Burt, D.R.L. and Sheppy, N.R.
1975: Mount Keith Nickel Sulphide Deposit; in *Economic Geology of Australia and Papua-New Guinea*, v. 1, ed. C.L. Knight; Australian Institute of Mining and Metallurgy, p. 159-168.
- Campbell, I.H.
1978: Some problems with cumulus theory; *Lithos*, v. 11, p. 311-323.
- Campbell, I.H., Roeder, P.L., and Dixon, J.M.
1978: Plagioclase buoyancy in basaltic liquids as determined with a centrifuge furnace; *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 67, p. 369-377.
- Caruso, L.J. and Chernosky, J.V., Jr.
1979: The stability of lizardite; *Canadian Mineralogist*, v. 17, p. 757-770.
- Clutten, J.M., Foster, R.P., and Martin, A.
1981: Nickel Mineralization in Zimbabwe; *Episodes*, v. 1981, p. 10-15.

- Crook, W.W. and Jambor, J.L.
1979: Nickelbischoffite, a new nickel chloride hydrate; *Canadian Mineralogist*, v. 17, p. 107-109.
- Dickey, J.S., Jr., Yoder, H.S., Jr., and Schairer, J.F.
1971: Chromium in silicate-oxide systems; *Carnegie Institute of Washington Yearbook*, v. 70, p. 118-125.
- Dixon, T.H.
1981: Gebel Dahanib, Egypt: late Precambrian layered sill of komatiitic composition; *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 76, p. 42-52.
- Duke, J.M.
1976: Distribution of the period four transition elements among olivine, calcic clinopyroxene and mafic silicate liquid: Experimental results; *Journal of Petrology*, v. 17, p. 499-521.
1978: Serpentinization of the Dumont ultramafic intrusion, N.W. Quebec; Geological Association of Canada - Mineralogical Association of Canada, Abstracts with Program, v. 3, p. 392.
1979: Computer simulation of the fractionation of olivine and sulfide from mafic and ultramafic magmas; *Canadian Mineralogist*, v. 17, p. 507-514.
1980: Petrology and economic geology of the Dumont sill, N.W. Quebec; Geological Association of Canada - Mineralogical Association of Canada, Program with Abstracts, v. 5, p. 50.
1982: Origin of disseminated magmatic sulphide deposits of the Dumont type; Geological Association of Canada - Mineralogical Association of Canada, Program with Abstracts, v. 7, p. 46.
- Duke, J.M. and Bonardi, M.
1982: Chromian andradite from Réaume township, Ontario; *The Canadian Mineralogist*, v. 20, p. 49-53.
- Duke, J.M. and Naldrett, A.J.
1978: A numerical model of the fractionation of olivine and molten sulfide from komatiite magma; *Earth and Planetary Science Letters*, v. 39, p. 256-266.
1983: Lower grade nickel sulfide resources, in *The Cameron Volume on Unconventional Mineral Deposits*, ed. W.D. Shanks, American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, p. 23-34.
- Eckstrand, O.R.
1975: The Dumont serpentinite: a model for control of nickeliferous opaque mineral assemblages by alteration reactions in ultramafic rocks; *Economic Geology*, v. 70, p. 183-201.
- Evans, B.W.
1977: Metamorphism of Alpine peridotite and serpentinite; *Annual Review of Earth and Planetary Science*, v. 5, p. 397-447.
- Evans, B.W. and Frost, B.R.
1975: Chrome-spinel in progressive metamorphism - a preliminary analysis; *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 39, p. 959-972.
- Fleet, M.E., MacRae, N.D., and Herzberg, C.T.
1977: Partition of nickel between olivine and sulfide: a test for immiscible sulfide liquids; *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 65, p. 191-197.
- Francis, D.M. and Hynes, A.J.
1979: Komatiite-derived tholeiites in the Proterozoic of New Quebec; *Earth and Planetary Science Letters*, v. 44, p. 473-481.
- Frisch, W. and Keusen, H.
1977: Gardiner intrusion, an ultramafic complex at Kangerlugssuaq, East Greenland; *Grønlands Geologiske Undersøgelse Bulletin* 122, 62 p.
- Gates, T.M. and Hurley, P.M.
1973: Evaluation of Rb-Sr dating methods applied to the Matachewan, Abitibi, Mackenzie, and Sudbury dike swarms in Canada; *Canadian Journal of Earth Sciences*, v. 10, p. 900-919.
- Goodwin, A.M.
1979: Archean volcanic studies in the Timmins-Kirkland Lake-Noranda region of Ontario and Québec; Geological Survey of Canada, Bulletin 278, 51 p.
- Goodwin, A.M. and Ridler, R.H.
1970: Abitibi orogenic belt; Geological Survey of Canada, Paper 70-40, p. 1-24.
- Gray, N.H. and Crain, I.K.
1969: Crystal settling in sills: model for suspension settling; *Canadian Journal of Earth Sciences*, v. 6, p. 1211-1216.
- Green, D.H., Nicholls, I.A., Viljoen, M., and Viljoen, R.
1975: Experimental demonstration of the existence of peridotitic liquids in earliest Archean magmatism; *Geology*, v. 3, p. 11-14.
- Gresens, R.L.
1967: Composition-volume relationships in metasomatism; *Chemical Geology*, v. 2, p. 47-65.
- Grove, T.L.
1978: Experimentally determined FeO-MgO-CaO partitioning between pyroxene and liquid in lunar basalts; *EOS*, v. 59, p. 401.
- Groves, D.I. and Leshner, C.M.
1982: Regional geology and nickel deposits of the Norseman-Wiluna belt, Western Australia; University of Western Australia, Geology Department, Publication 7.
- Harris, D.C. and Nickel, E.H.
1972: Pentlandite compositions and associations in some mineral deposits; *Canadian Mineralogist*, v. 11, p. 861-878.
- Hébert, R.
1982: Géologie du complexe de filons-couches d'Amos, Québec; Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec, DPV-786, 28 p.
- Hess, G.B.
1972: Heat and mass transport during crystallization of the Stillwater igneous complex; Geological Society of America, Memoir 132, p. 503-520.
- Hostetler, P.B., Coleman, R.G., Mumpton, F.A., and Evans, B.W.
1966: Brucite in Alpine serpentinites; *American Mineralogist*, v. 51, p. 75-98.
- Hyde, R. and Walker, R.G.
1977: Sedimentary environments and the evolution of the Archean greenstone belt in the Kirkland Lake area, Ontario; in *Report of Activities, Part A*, Geological Survey of Canada, Paper 77-1A, p. 185-190.

- Imreh, L.
1980: Variations morphologiques des coulées méta-ultramafiques komatiitiques du sillon Archéen de La Motte-Vassan, Abitibi-est, Québec; *Precambrian Research*, v.12, p. 3-30.
- Irvine, T.N.
1965: Chromian spinel as a petrogenetic indicator. Part 1, theory; *Canadian Journal of Earth Sciences*, v. 2, p. 648-672.
1967: Chromian spinel as a petrogenetic indicator. Part 2, petrologic applications; *Canadian Journal of Earth Sciences*, v. 4, p. 71-103.
1970a: Heat transfer during solidification of layered intrusions, I. sheets and sills; *Canadian Journal of Earth Sciences*, v. 7, p. 1031-1061.
1970b: Crystallization sequences in the Muskox intrusion and other layered intrusions, I. Olivine-pyroxene-plagioclase relations; *Geological Society of South Africa, Special Publication 1*, p. 441-476.
1975: Crystallization sequences in the Muskox intrusion and other layered intrusions - II. Origin of chromitite layers and similar deposits of other magmatic ores; *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 39, p. 991-1020.
1977: Origin of chromitite layers in the Muskox intrusion and other stratiform intrusions: a new interpretation; *Geology*, v. 5, p. 273-277.
1980: Magmatic infiltration metasomatism, double diffusive fractional crystallization, and adcumulus growth in the Muskox intrusion and other layered intrusions; in *Physics of Magmatic Processes*, ed. R.B. Hargraves; Princeton University Press, Princeton, p. 325-384.
1982: Terminology for layered intrusions; *Journal of Petrology*, v. 23, p. 127-162.
- Jackson, E.D.
1961: Primary textures and mineral associations in the Ultramafic Zone of the Stillwater complex, Montana; *United States Geological Survey, Professional Paper 358*, 106 p.
- Jambor, J.L.
1975: Secondary minerals in an ultramafic intrusion, Amos Area, Quebec; in *Report of Activities, Part A, Geological Survey of Canada, Paper 75-1A*, p. 261-263.
- James, N.F. and Mawdsley, J.B.
1925: Mineral deposits in Desmeloizes and Trécesson townships, Quebec; *Geological Survey of Canada, Summary Report, 1925, Part C*, p. 78-81.
- Jolly, W.T.
1978: Metamorphic history of the Archean Abitibi belt; *Geological Survey of Canada, Paper 78-10*, p. 63-77.
- Kanehira, K.
1966: A note on the texture of pyrrhotite in some rocks of the Muskox intrusion; *Canadian Mineralogist*, v. 8, p. 531-536.
- Krogh, T.E. and Davis, G.L.
1971: Zircon U-Pb ages of Archean meta-volcanic rocks in the Canadian Shield; *Carnegie Institute of Washington Yearbook*, v. 70, p. 241-242.
- Kushiro, I.
1969: The system forsterite-diopside-silica; *American Journal of Science*, v. 267-A, p. 269-294.
- Kushiro, I. and Schairer, J.F.
1963: New data on the system diopside-forsterite-silica; *Carnegie Institute of Washington Yearbook*, v. 62, p. 95-103.
- Latulippe, M.
1972: Val d'Or-Malartic Area; XXIV International Geological Congress Guidebook, Excursion A41-C41, p. 33-41.
- McBirney, A.R. and Noyes, R.M.
1979: Crystallization and layering of the Skaergaard Intrusion; *Journal of Petrology*, v. 20, p. 487-554.
- MacLaren, A.S.
1953: Peridotites of northwestern Quebec; unpublished Ph.D. thesis, McGill University, 113 p.
- MacRae, N.D.
1969: Ultramafic intrusions of the Abitibi area, Ontario; *Canadian Journal of Earth Sciences*, v. 6, p. 281-303.
- Miller, A.R.
1977: Petrology and Geochemistry of the 2-3 ultramafic sill and related rocks, Cape Smith-Wakeham Bay Fold Belt, Quebec; unpublished Ph.D. thesis, University of Western Ontario.
- Miura, Y., Rucklidge, J.C., and Nord, G.
1979: The structural occurrence of chlorine in serpentine; *Geological Association of Canada - Mineralogical Association of Canada, Program with Abstracts*, v. 4, p. 67.
1981: The occurrence of chlorine in serpentine minerals; *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 76, p. 17-23.
- Moody, J.B.
1976: An experimental study on the serpentinization of iron-bearing olivines; *Canadian Mineralogist*, v. 14, p. 462-478.
- Naldrett, A.J.
1969: A portion of the system Fe-S-O between 900 and 1080°C and its application to sulfide ore magmas; *Journal of Petrology*, v. 10, p. 171-201.
1979: Partitioning of Fe, Co, Ni and Cu between sulfide liquid and basaltic melts and composition of Ni-Cu sulfide deposits - a reply and further discussion; *Economic Geology*, v. 74, p. 1520-1528.
1981: Nickel sulfide deposits: classification, composition and genesis; in Skinner, B.J., ed., *Economic Geology, Seventy-fifth Annual Volume*, p. 628-685.
- Naldrett, A.J. and Mason, G.D.
1968: Contrasting Archean ultramafic igneous bodies in Dundonald and Clergue townships, Ontario; *Canadian Journal of Earth Sciences*, v. 5, p. 111-143.
- Naldrett, A.J. and Turner, A.R.
1977: The geology and petrogenesis of a greenstone belt and related nickel sulphide mineralization at Yakabindie, Western Australia; *Precambrian Research*, v. 5, p. 43-103.
- Nesbitt, H.W. and Bricker, O.P.
1978: Low temperature alteration processes affecting ultramafic bodies; *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 42, p. 403-409.
- Nesbitt, R.W. and Sun, S.S.
1976: Geochemistry of Archean spinifex-textured peridotites and magnesian and low-magnesian tholeiites; *Earth and Planetary Science Letters*, v. 31, p. 433-453.
- Nesbitt, R.W., Sun, S.S., and Purvis, A.C.
1979: Komatiites: geochemistry and genesis; *Canadian Mineralogist*, v. 17, p. 165-186.

- Nisbet, E.G., Bickle, M.J., and Martin, A.
1977: The mafic and ultramafic lavas of the Belingwe greenstone belt, Rhodesia; *Journal of Petrology*, v. 18, p. 521-566.
- Nunes, P.D. and Jensen, L.S.
1980: Geochronology of the Abitibi Metavolcanic Belt, Kirkland Lake area - progress report; in *Summary of Geochronology Studies 1977-1979*, ed. E.G. Pye; Ontario Geological Survey, Miscellaneous Paper 92, p. 40-45.
- Nunes, P.D. and Pyke, D.R.
1980: Geochronology of the Abitibi Metavolcanic Belt, Timmins-Matachewan area - progress report; in *Summary of Geochronology Studies 1977-1979*, ed. E.G. Pye; Ontario Geological Survey, Miscellaneous Paper 92, p. 34-39.
- Pearce, T.H. and Birkett, T.C.
1974: Archean metavolcanic rocks from Thackeray Township, Ontario; *Canadian Mineralogist*, v. 12, p. 509-519.
- Peredery, W.V.
1979: Relationship of ultramafic amphibolites to metavolcanic rocks and serpentinites in the Thompson belt, Manitoba; *Canadian Mineralogist*, v. 17, p. 187-200.
- Porter, D.J. and McKay, K.G.
1981: The nickel sulfide mineralization and metamorphic setting of the Forrestania area, Western Australia; *Economic Geology*, v. 76, p. 1524-1549.
- Pyke, D.R., Naldrett, A.J., and Eckstrand, O.R.
1973: Archean ultramafic flows in Munro Township, Ontario; *Geological Society of America Bulletin*, v. 84, p. 955-978.
- Rice, A.
1981: Convective fractionation: A mechanism to provide cryptic zoning (macrosegregation), layering, crescumulates, banded tuffs and explosive volcanism in igneous processes; *Journal of Geophysical Research*, v. 86, p. 405-417.
- Roeder, P.L. and Emslie, R.F.
1970: Olivine-liquid equilibrium; *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 29, p. 275-289.
- Ross, S.H.
1939: Launay Township, Abitibi County; Quebec Department of Mines, Geological Report 1, 26 p.
- Rucklidge, J.C.
1972: Chlorine in partially serpentinized dunite; *Economic Geology*, v. 67, p. 38-40.
- Rucklidge, J.C. and Patterson, G.C.
1977: The role of chlorine in serpentinization; *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 65, p. 39-44.
- Schairer, J.F. and Yoder, H.S. Jr.
1962: The system diopside-enstatite-silica; *Carnegie Institute of Washington Yearbook*, v. 61, p. 75-82.
- Shaw, H.R.
1965: Comments on viscosity, crystal settling, and convection in granitic magmas; *American Journal of Science*, v. 263, p. 120-152.
- Shima, H. and Naldrett, A.J.
1975: Solubility of sulfur in an ultramafic melt and the relevance of the system Fe-S-O; *Economic Geology*, v. 70, p. 960-967.
- Skinner, B.J.
1966: Thermal expansion; in *Handbook of Physical Constants*, ed. S.P. Clark; Geological Society of America Memoir 97, p. 75-96.
- Thayer, T.
1966: Serpentinization considered as a constant volume metasomatic process; *American Mineralogist*, v. 51, p. 685-710.
- 1970: Chromite segregations as petrogenetic indicators; *Geological Society of South Africa, Special Publication*, no. 1, p. 380-390.
- Thompson, J.F.H., Barnes, S.J., and Duke, J.M.
1984: The distribution of nickel and iron between olivine and magmatic sulphides in some natural assemblages; *Canadian Mineralogist*, v. 22, p. 55-66.
- Turner, J.S. and Gustafson, L.B.
1978: The flow of hot saline solutions from vents in the seafloor - some implications for exhalative massive sulfide and other ore deposits; *Economic Geology*, v. 73, p. 1082-1100.
- Viljoen, R.P. and Viljoen, M.J.
1970: The geology and geochemistry of the layered ultramafic bodies of the Kaapmuiden area, Barberton Mountain Land; in *Symposium on the Bushveld Igneous Complex and Other Layered Intrusions*, ed. D.J.L. Visser and G. von Gruenewaldt; Geological Society of South Africa, Special Publication 1, p. 661-688.
- Vogel, D.E.
1979: Canton de Trécesson; ministère de l'Energie et des Ressources du Québec, Rapport géologique 194, 42 p.
- Wager, L.R. and Brown, G.M.
1968: *Layered Igneous Rocks*; Oliver and Boyd, Edinburgh and London, 588 p.
- Wager, L.R., Brown, G.M., and Wadsworth, W.J.
1960: Types of igneous cumulates; *Journal of Petrology*, v. 1, p. 73-85.
- Weber, W.W. and Latulippe, M.
1964: Amos-Barraute Area, Abitibi-East County; Quebec Department of Natural Resources, Geological Report 109, 69 p.
- Weeks, L.J.
1935: Amos Sheet, Abitibi County, Quebec; Geological Survey of Canada, Map 327A.
- Wicks, F.J. and Whittaker, E.J.W.
1975: A reappraisal of the structures of the serpentine minerals; *Canadian Mineralogist*, v. 13, p. 227-243.
- 1977: Serpentine textures and serpentinization; *Canadian Mineralogist*, v. 15, p. 459-488.
- Wicks, F.J., Whittaker, E.J.W., and Zussman, J.
1977: An idealized model for serpentine textures after olivine; *Canadian Mineralogist*, v. 15, p. 446-458.
- Williams, D.A.C.
1978: Some geological and geochemical aspects of Archean komatiitic and tholeiitic volcanism in Rhodesia; Unpublished manuscript.
- Wilson, J.F.
1968: The Mashaba Igneous Complex and its subsequent deformation; *Geological Society of South Africa, Transactions*, v. 71, Annex, p. 175-188.
- 1979: A preliminary reappraisal of the Rhodesian Basement Complex; *Geological Society of South Africa, Special Publication*, v. 5, p. 1-23.

Appendix I – Diamond-drill hole data

D.D.H. No.	Township	Range	Lot	Longitude	Latitude	L.O.H. (ft)	Inclination
DT-1	Trecesson	V	3	17+30E	1+00N	300	45°/0, 43°/300
DT-2	Trecesson	V	3	20+30E	1+00N	300	45°/0, 45°/300
DT-3	Trecesson	V	3	17++30E	3+50N	601	60°/0, 53°/200, 62°/400, 48°/600
DT-4	Trecesson	V	3	20+30E	3+50N	600	60°/0, 58°/200, 54°/400, 48°/600
E-5	Trecesson	V	2	17+30E	8+00N	1075	60°/0, 42°/300, 40°/600, 39°/900
E-6	Trecesson	V	2	12+00E	35+50N	1085	55°/0, 42°/300, 41°/600, 40°/900
E-7	Trecesson	V	1	4+00E	35+00N	1069	60°/0, 52°/300, 52°/600, 52°/900
E-8	Launay	V	62	4+00W	39+00N	1239	60°/0, 58°/200, 57°/600, 56°/900, 52°/1200
E-9	Launay	V	61	12+00W	43+50N	1306	60°/0, 54°/200, 54°/600, 55°/900
E-10	Launay	V	60	20+00W	44+00N	912	60°/0, 64°/300, 64°/600
E-11	Launay	V	59	28+00W	43+50N	521	70°/0, 73°/300
E-12	Launay	V	58	28+00W	39+00N	830	70°/0, 73°/300, 68°/600, 70°/800
E-13	Launay	V	58	36+00W	50+00N	225	70°/0
E-14	Launay	V	58	36+00W	52+00N	1498	70°/0, 70°/300, 67°/600, 69°/900, 65°/1200
E-15	Launay	VI	57	44+00W	10+00N	2136	70°/0, 61°/300, 60°/600, 58°/900, 54°/1500, 52°/1800
E-16	Launay	VI	58	36+00W	8+00N	2216	70°/0, 68°/300, 58°/600, 49°/900, 50°/1200, 47°/1500, 47°/1800, 44°/2100
E-17	Launay	VI	57	52+00W	18+00N	2004	65°/0, 61°/300, 60°/600, 57°/1200, 54°/1500, 49°/1800
E-18	Launay	V	59	28+00W	52+00N	1545	65°/0, 65°/300, 65°/600, 63°/900, 65°/1200, 63°/1545
E-19	Launay	VI	57	44+00W	11+00N	2759	80°/0, 75°/300, 77°/600, 77°/900, 77°/1200, 79°/1500, 76°/1800, 81°/2100, 76°/2400, 85°/2700
E-20	Launay	VI	58	36+00W	11+00N	2203	75°/0, 72°/300, 62°/600, 56°/900, 48°/1150, 44°/1200, 39°/1500, 34°/1800
E-21	Launay	VI	58	36+00W	14+00N	3105	82°/0, 80°/300, 77°/600, 65°/900, 54°/1250, 48°/1500, 45°/1800, 41°/2100, 38°/2400, 35°/2700
M-1	Launay	V	57	50+00W	46+10N	800	70°/0, 73°/200, 66°/600
W-1	Launay	VI	56	60+00W	32+00N	925	60°/0, 46°/300, 44°/600
W-2	Launay	VI	56	60+00W	24+00N	1020	70°/0, 66°/300, 66°/600, 68°/900
W-3	Launay	VI	54	68+00W	28+00N	1079	70°/0, 68°/300, 63°/600
W-4	Launay	VI	54	68+00W	37+00N	1416	70°/0, 64°/300, 64°/600, 64°/900, 66°/1200
W-5	Launay	VI	54	68+00W	44+00N	421	70°/0, 69°/300
W-6	Launay	VI	54	76+00W	45+00N	1265	70°/0, 70°/300, 69°/600, 69°/900, 69°/1200
W-7	Launay	VII	54	76+00W	4+00N	1107	70°/0, 70°/300, 64°/600, 62°/900, 57°/1100
W-8	Launay	VI	54	76+00W	52+00N	1431	65°/0, 62°/300, 62°/600, 62°/900, 61°/1200
W-9	Launay	VI	54	68+00W	45+00N	1498	70°/0, 67°/300, 66°/600, 64°/900, 60°/1200, 53°/1498
W-10	Launay	VII	53	84+00W	10+00N	1490	65°/0, 65°/300, 62°/600, 59°/900, 45°/1200, 45°/1485
W-11	Launay	VII	52	92+00W	19+00N	1795	65°/0, 66°/300, 64°/600, 58°/900, 53°/1500, 49°/1795
W-12	Launay	VII	51	100+00W	27+00N	2064	65°/0, 47°/300, 44°/600, 41°/1000, 42°/1200, 40°/1500, 37°/1900
W-13	Launay	VII	50	108+00W	35+00N	1551	65°/0, 62°/300, 61°/600, 54°/900, 55°/1200, 54°/1540
W-14	Launay	VIII	47	136+00W	1+20N	1758	65°/0, 61°/300, 58°/600, 57°/900, 56°/1200, 53°/1500
P-1	Launay	VI	57	44+00W	2+00N	1202	90°/0, 90°/300, 88°/600, 89°/900, 87°/1200
P-2	Launay	V	57	44+00W	52+00N	1000	90°/0, 90°/300, 85°/600, 80°/900
P-3	Launay	V	57	44+00W	48+00N	628	90°/0, 86°/300, 85°/600
P-4	Launay	VI	58	40+00W	5+00N	1501	65°/0, 63°/300, 61°/600, 57°/900, 59°/1200, 53°/1500
P-5	Launay	VI	57	44+00W	6+00N	700	90°/0, 90°/300, 90°/600
P-6	Launay	VI	58	36+00W	2+00N	1152	90°/0, 90°/300, 87°/600, 88°/900, 89°/1152
P-7	Launay	V	57	44+00W	44+00N	600	90°/0, 89°/300, 88°/600
P-8	Launay	V	58	36+00W	52+10N	1352	90°/0, 89°/300, 87°/600, 86°/900, 84°/1200
P-9	Launay	VI	58	40+00W	4+00N	1430	90°/0, 89°/300, 89°/600, 89°/900, 86°/1200, 87°/1430
P-10	Launay	VI	57	48+00W	10+00N	1646	90°/0, 88°/300, 86°/600, 89°/900, 38°/1200, 89°/1500
P-11	Launay	VI	58	40+00W	2+00N	1181	65°/0, 65°/300, 64°/600, 62°/900, 62°/1150
P-12	Launay	VI	58	36+00W	0+00N	980	70°/0, 65°/300, 63°/600, 58°/900
P-13	Launay	VI	58	40+00W	0+00N	758	65°/0, 60°/300, 58°/600
P-14	Launay	V	58	38+00W	0+00N	846	70°/0, 69°/300, 63°/600, 61°/846
P-15	Launay	VI	58	38+00W	3+00N	1054	65°/0, 60°/300, 57°/600, 52°/900
P-16	Launay	VI	58	42+00W	6+00N	1160	65°/0, 62°/300, 61°/600, 56°/900
P-17	Launay	VI	57	44+00W	0+00N	706	90°/0, 87°/300, 85°/600
P-18	Launay	VI	57	46+00W	10+00N	1201	65°/0, 66°/300, 65°/600, 64°/900, 60°/1200
P-19	Launay	VI	58	42+00W	3+00N	725	65°/0, 61°/300, 58°/600
P-20	Launay	VI	57	48+00W	8+00N	1100	65°/0, 60°/300, 59°/600, 54°/900, 53°/1100
P-21	Launay	VI	57	46+00W	7+00N	1000	65°/0, 63°/300, 62°/600, 57°/1000

Longitude is given in feet east or west of north-south boundary between Launay and Trecesson townships. Latitude is given in feet north of range line. L.O.H. is the length of the hole in feet. The trend (at the collar) of all inclined holes is 180°. The trend of initially vertical holes is unknown in those segments that deviate from the vertical. The inclination is given in terms of the angle of plunge/depth in the hole at which the measurement was taken. Thus hole P-21 plunged 65° at the collar, 63° at 300 feet, and so on.

Appendix 2 – Chemical analyses of whole rocks

Sample Numbers

Analyses are arranged in order of ascending sample number. Sample numbers prefixed by "DBA" are hand specimens collected from surface exposures. All others refer to drill hole number and intersection depth (in feet) as described in text.

Unit

The following abbreviations are used: C – Clinopyroxenite Subzone, D – Dunite Subzone, G – Gabbro Subzone, LP – Lower Peridotite Subzone, OG – Quartz Gabbro Subzone, UP – Upper Peridotite Subzone, V – volcanic host rocks.

Analytical Methods

SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, total Fe, MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, and P₂O₅ were determined by standard x-ray fluorescence techniques. Where TiO₂, MnO or CaO are less than 0.5%, optical emission spectroscopy data were used. V, Cr, Co and Cu were also determined by optical emission. Rb, Zr, and Sr analyses were carried out by an energy dispersive x-ray fluorescence method. FeO was determined chemically by a modified Wilson method and Fe₂O₃ was obtained by difference. Cl was determined colorimetrically whereas H₂O, CO₂ and S were measured by infrared spectrometry. Ni analyses of 5 or 10 foot drill core intersections provided by the Dumont Nickel Corporation were used for samples from the Ultramafic Zone. Ni analyses for other samples were obtained by optical emission spectroscopy.

The concentrations of all constituents are tabulated as weight percent except those marked ppm which are in parts per million. The concentrations of V, Cr, Co, Ni, Cu, Rb, Sr and Zr were converted to the oxides for calculation of the totals.

Sample Unit	DBA76109 QG	DBA76110 G	DBA76114 UP	DBA76115 UP	DBA76117 V	DBA77016 V	DBA77017 V	DBA77018 V	E05-0300 UP	E05-0340 UP	E05-0380 UP	E05-0420 UP
SiO2	50.300	48.900	38.300	41.100	50.100	49.870	51.270	48.000	35.300	35.500	34.800	37.200
TiO2	1.370	1.380	0.158	0.121	0.344	1.470	0.488	1.000	0.033	0.037	0.038	0.038
Al2O3	12.200	13.400	3.300	2.500	12.400	13.160	12.860	14.000	0.660	0.900	0.870	1.150
Fe2O3	1.300	2.300	7.600	6.700	1.300	2.510	0.981	3.000	5.500	3.900	6.000	2.900
FeO	11.100	12.500	6.700	5.600	7.400	10.400	4.740	9.100	2.300	1.700	2.400	0.900
MnO	0.234	0.226	0.174	0.176	0.164	0.178	0.124	0.253	0.130	0.140	0.140	0.110
MgO	5.900	6.500	31.300	31.400	10.800	7.220	5.470	5.000	41.100	41.300	40.000	41.600
CaO	8.950	7.900	2.700	3.880	12.400	7.390	9.620	14.000	0.060	0.050	0.060	0.050
Na2O	2.000	1.900	0.054	0.036	1.512	3.180	1.630	1.280	0.200	nd	nd	nd
K2O	0.120	0.800	nd	nd	0.200	0.330	1.300	1.000	nd	nd	nd	nd
P2O5	0.120	0.130	0.030	nd	0.060	0.100	0.150	0.060	0.030	0.040	0.020	0.020
H2O	5.000	3.000	9.500	8.300	1.700	4.300	4.300	3.500	14.300	13.900	12.500	14.000
CO2	2.200	nd	nd	nd	nd	0.900	7.800	0.100	0.300	0.500	0.300	0.300
S	0.200	0.300	0.100	nd	0.200	nd	nd	nd	0.090	0.090	0.070	0.080
Cl	0.010	0.410	0.020	na	0.020	na	na	na	na	na	na	na
V ppm	393.	404.	62.	56.	208.	355.	93.	259.	25.	36.	40.	32.
Cr ppm	96.	75.	2060.	3570.	533.	45.	319.	82.	1500.	8100.	6700.	7200.
Co ppm	51.	56.	142.	145.	53.	50.	22.	42.	110.	110.	140.	110.
Ni ppm	77.	74.	788.	662.	123.	43.	80.	43.	2550.	2400.	2300.	2200.
Cu ppm	111.	106.	35.	7.	257.	88.	11.	128.	5.	5.	nd	nd
Rb ppm	na	na	3.	2.	na	na	na	na	1.	2.	1.	1.
Sr ppm	na	na	5.	4.	na	na	na	na	2.	1.	1.	2.
Zr ppm	na	na	8.	7.	na	na	na	na	4.	4.	5.	4.
TOTAL	101.106	99.746	100.370	100.447	98.763	101.090	100.808	100.370	100.565	99.565	98.493	99.698
Sample Unit	E05-0460 D	E05-0500 D	E05-0540 D	E05-0580 D	E05-0620 D	E05-0660 D	E05-0720 D	E05-0780 D	E05-0860 LP	E05-0900 LP	E05-0960 LP	E05-1000 LP
SiO2	35.600	36.100	35.900	36.500	35.900	34.400	34.000	36.800	31.400	30.500	36.400	35.700
TiO2	0.027	0.033	0.032	0.023	0.030	0.027	0.018	0.032	0.050	0.100	0.082	0.092
Al2O3	0.560	0.680	0.680	0.420	0.700	0.420	0.400	0.580	1.140	1.760	1.660	2.050
Fe2O3	3.600	4.000	5.100	3.400	4.800	7.800	5.000	5.200	6.700	2.700	7.900	2.100
FeO	1.600	1.600	1.700	1.200	1.200	2.900	1.700	1.400	3.300	5.900	3.500	6.300
MnO	0.110	0.130	0.110	0.121	0.110	0.120	0.120	0.090	0.240	0.170	0.120	0.110
MgO	42.100	41.500	41.000	41.400	41.700	40.200	43.600	39.700	33.100	30.700	36.000	30.000
CaO	0.140	0.060	0.050	0.860	0.220	0.290	0.070	0.170	5.850	4.070	0.930	2.730
Na2O	nd	0.300	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
K2O	nd	0.010	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
P2O5	0.030	0.040	0.020	0.040	0.040	0.040	0.030	0.010	0.030	0.030	0.020	0.040
H2O	14.400	14.400	13.900	14.300	14.200	13.400	14.800	14.200	10.200	4.400	11.700	5.500
CO2	0.400	0.300	0.300	1.000	0.400	0.400	0.200	0.900	7.200	18.700	1.600	15.000
S	0.090	0.080	0.040	0.040	0.030	0.040	0.060	0.090	0.070	0.060	0.040	0.070
Cl	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na
V ppm	21.	27.	23.	23.	25.	31.	27.	28.	27.	63.	53.	63.
Cr ppm	980.	1700.	1500.	1700.	1400.	1700.	1500.	1900.	9200.	6700.	5300.	6500.
Co ppm	110.	100.	120.	110.	100.	160.	110.	120.	140.	100.	100.	99.
Ni ppm	2800.	5300.	2600.	2600.	3600.	3100.	3800.	2600.	1700.	2100.	2200.	1600.
Cu ppm	50.	48.	nd	8.	nd	nd	nd	5.	8.	12.	8.	8.
Rb ppm	3.	1.	1.	1.	1.	2.	1.	1.	2.	2.	2.	4.
Sr ppm	1.	2.	1.	5.	2.	4.	1.	3.	130.	270.	22.	120.
Zr ppm	4.	4.	4.	2.	4.	3.	3.	3.	3.	3.	8.	6.
TOTAL	99.180	100.178	99.401	99.902	100.009	100.705	100.718	99.800	100.878	100.391	101.031	100.882
Sample Unit	E08-1160 LP	E09-1165 LP	E09-1215 LP	E09-1255 LP	E09-1275 LP	E09-1285 LP	E16-1425 D	E16-1550 D	E16-1600 D	E16-1830 D	E16-2185 LP	E21-0060 QG
SiO2	39.000	35.300	35.700	37.500	38.100	38.400	33.200	35.800	35.700	36.700	37.300	50.400
TiO2	0.142	0.085	0.108	0.162	0.200	0.153	nd	nd	nd	0.018	0.028	0.324
Al2O3	3.000	1.540	2.430	2.870	3.680	3.520	0.126	0.184	0.151	0.221	0.516	13.000
Fe2O3	5.500	7.500	9.100	8.000	6.500	7.200	6.000	3.200	2.700	3.500	3.000	2.300
FeO	4.100	3.000	3.700	3.300	3.800	4.700	3.300	3.300	3.900	6.000	6.500	8.700
MnO	0.115	0.160	0.200	0.220	0.220	0.250	0.091	0.105	0.108	0.134	0.175	0.181
MgO	34.000	37.300	35.700	33.200	30.700	29.000	41.700	44.100	45.100	43.900	44.200	8.440
CaO	4.160	1.030	0.220	2.650	5.110	6.690	0.403	0.427	0.307	0.389	0.505	12.100
Na2O	0.021	0.500	nd	0.100	0.200	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1.100
K2O	nd	nd	nd	0.020	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.030
P2O5	nd	0.030	0.020	0.040	0.050	0.040	0.010	0.050	0.010	0.010	0.040	nd
H2O	9.600	12.300	11.700	10.400	9.600	9.800	14.400	11.500	11.600	7.900	6.200	3.000
CO2	nd	0.300	0.200	0.100	0.100	0.100	0.300	0.200	0.200	0.100	0.100	0.100
S	nd	0.060	0.100	0.160	0.090	0.170	0.400	0.300	0.100	0.100	0.100	nd
Cl	na	na	na	na	na	na	0.380	0.320	0.290	0.300	0.170	na
V ppm	50.	61.	66.	90.	100.	82.	nd	nd	nd	nd	30.	212.
Cr ppm	5260.	7800.	6500.	5200.	5900.	3100.	1130.	890.	1030.	925.	7210.	401.
Co ppm	71.	120.	110.	150.	100.	55.	214.	101.	103.	136.	131.	50.
Ni ppm	2200.	2000.	2200.	1700.	1900.	1650.	2350.	7300.	4600.	2450.	2700.	60.
Cu ppm	7.	9.	10.	12.	5.	270.	187.	38.	14.	15.	12.	102.
Rb ppm	6.	1.	2.	3.	2.	1.	nd	na	nd	1.	nd	3.
Sr ppm	5.	2.	2.	3.	2.	3.	6.	na	17.	12.	12.	80.
Zr ppm	13.	6.	7.	10.	10.	9.	nd	na	1.	nd	3.	25.
TOTAL	100.706	100.524	100.433	99.733	99.483	100.740	100.825	100.561	100.918	99.739	100.254	99.805

Concentrations of constituents quoted as ppm of the element were converted to the oxide for calculation of the total.
nd - not detected; na - not determined

Sample Unit	E21-0120 QG	E21-0160 QG	E21-0200 QG	E21-0290 QG	E21-0400 QG	E21-0540 QG	E21-0570 QG	E21-0645 G	E21-0690 G	E21-0830 G	E21-0900 G	E21-0970 G
SiO2	50.200	51.000	50.500	49.600	51.400	50.930	50.600	48.900	48.000	49.800	48.310	49.600
TiO2	0.429	0.630	0.332	0.317	0.289	0.260	0.890	0.234	0.214	0.162	0.157	0.194
Al2O3	15.200	12.400	16.900	15.400	14.700	13.250	13.900	14.000	16.600	14.700	11.430	11.300
Fe2O3	1.800	0.700	2.000	2.300	1.800	1.650	1.500	1.280	2.100	1.600	1.210	0.500
FeO	8.000	10.500	5.900	7.100	7.000	7.600	15.600	7.400	6.000	5.200	6.900	6.000
MnO	0.191	0.230	0.159	0.181	0.164	0.175	0.237	0.205	0.160	0.138	0.190	0.187
MgO	7.010	9.200	6.900	7.430	8.520	10.270	5.200	11.870	10.800	10.500	15.080	14.500
CaO	12.300	11.400	12.500	14.300	11.300	11.600	8.000	12.040	12.800	14.600	11.770	13.200
Na2O	1.400	1.100	1.600	1.200	1.300	1.320	1.240	1.680	1.100	1.030	0.730	1.060
K2O	0.060	0.220	0.100	0.040	0.430	0.160	0.100	0.050	0.160	0.060	0.090	0.080
P2O5	0.020	0.120	nd	nd	0.010	0.030	0.130	nd	nd	nd	nd	nd
H2O	2.900	2.600	2.500	2.400	3.100	2.300	3.500	2.800	3.700	2.700	3.700	3.800
CO2	nd	0.300	0.100	nd	nd	0.600	0.100	0.500	0.100	nd	0.800	0.600
S	nd	0.100	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.100
Cl	0.020	0.030	na	na	na	na	0.040	na	na	na	na	na
V ppm	193.	272.	194.	185.	178.	134.	300.	141.	149.	138.	125.	147.
Cr ppm	16.	27.	33.	48.	75.	274.	30.	548.	427.	85.	177.	426.
Co ppm	48.	59.	36.	49.	34.	44.	75.	51.	36.	33.	53.	40.
Ni ppm	68.	75.	90.	81.	53.	108.	53.	133.	95.	75.	99.	99.
Cu ppm	87.	26.	95.	11.	63.	78.	11.	39.	59.	109.	78.	260.
Rb ppm	2.	6.	4.	5.	14.	na	6.	na	5.	nd	na	6.
Sr ppm	92.	65.	94.	121.	77.	na	66.	na	100.	82.	na	66.
Zr ppm	28.	40.	22.	28.	32.	na	82.	na	19.	4.	na	12.
TOTAL	99.601	100.608	99.567	100.339	100.084	100.234	101.123	101.088	101.857	100.560	100.440	101.265

Sample Unit	E21-1075 G	E21-1100 G	E21-1135 C	E21-1155 UP	E21-1200 UP	E21-1295 UP	E21-1599 UP	E21-1734 UP	E21-1837 D	E21-1947 D	E21-2048 D	E21-2150 D
SiO2	46.470	49.600	53.500	38.360	35.600	35.400	34.000	37.000	34.100	33.100	34.000	33.500
TiO2	0.097	0.092	0.147	0.134	0.082	0.041	0.300	0.024	nd	nd	0.022	na
Al2O3	16.160	7.630	2.400	2.380	1.700	1.300	0.806	0.544	0.153	0.217	0.304	0.132
Fe2O3	0.511	0.250	0.800	8.860	10.000	5.200	4.600	3.000	4.400	4.400	4.700	3.800
FeO	3.000	4.300	5.000	5.100	5.200	3.400	3.700	2.600	2.600	2.600	2.300	2.500
MnO	0.112	0.142	0.177	0.209	0.113	0.114	0.090	0.088	0.096	0.098	0.100	0.096
MgO	11.380	19.200	19.700	32.060	34.800	40.200	41.700	43.000	42.000	41.300	42.000	41.700
CaO	16.880	17.000	16.800	2.780	1.100	0.560	0.137	0.144	0.329	0.242	0.242	0.260
Na2O	1.450	0.254	0.178	nd	0.014	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
K2O	0.060	nd	nd	0.010	nd	0.050	nd	nd	nd	nd	0.030	nd
P2O5	nd	0.040	nd	nd	0.030	0.050	0.040	nd	0.050	0.050	0.060	0.020
H2O	3.600	2.000	1.700	6.700	10.800	13.800	14.900	10.300	15.100	16.100	14.800	15.100
CO2	0.600	nd	0.100	0.800	nd	0.100	0.100	1.100	0.200	0.200	0.100	0.200
S	nd	nd	nd	nd	0.200	0.100	nd	nd	nd	nd	0.200	0.200
Cl	na	0.010	na	na	0.080	0.100	0.100	na	0.400	0.440	0.420	0.480
V ppm	97.	117.	115.	59.	34.	28.	nd	nd	8.	nd	21.	nd
Cr ppm	1500.	2700.	4270.	5470.	3100.	4000.	5520.	8180.	1040.	1170.	1140.	1050.
Co ppm	17.	31.	39.	147.	127.	68.	101.	82.	74.	74.	141.	53.
Ni ppm	72.	238.	149.	530.	1100.	2300.	2700.	2700.	3200.	3000.	3300.	3700.
Cu ppm	48.	381.	8.	8.	21.	15.	12.	12.	9.	8.	21.	10.
Rb ppm	na	2.	nd	4.	5.	na	na	na	1.	na	nd	2.
Sr ppm	na	62.	11.	4.	4.	na	na	na	3.	na	2.	5.
Zr ppm	na	3.	7.	4.	8.	na	na	na	4.	na	4.	4.
TOTAL	100.571	101.020	101.169	98.289	100.337	101.306	101.636	99.349	99.999	99.309	99.888	98.621

Sample Unit	E21-2234 D	E21-2378 LP	E21-2583 LP	E21-2886 LP	E21-3079 LP	W04-0140 D	W04-0220 D	W04-0280 D	W04-0370 LP	W04-0400 LP	W04-0440 LP	W04-0530 LP
SiO2	35.350	35.100	35.000	35.000	36.400	34.500	35.800	35.800	33.700	38.900	36.600	35.200
TiO2	na	0.020	0.018	0.033	0.037	0.017	0.011	0.008	0.013	0.042	0.048	0.023
Al2O3	0.206	0.361	0.319	0.620	0.714	0.350	0.250	0.470	1.430	0.620	0.910	0.680
Fe2O3	4.590	4.900	4.600	5.500	4.700	4.200	4.000	4.800	9.500	2.400	6.900	4.200
FeO	3.000	2.300	4.000	3.700	4.600	3.200	3.200	3.500	5.300	2.100	3.800	3.100
MnO	0.128	0.080	0.102	0.129	0.111	0.150	0.100	0.100	0.120	0.130	0.140	0.150
MgO	42.410	41.000	42.000	41.000	41.800	41.900	42.100	39.800	36.400	39.900	38.100	41.100
CaO	0.216	0.309	0.165	0.381	0.759	0.180	0.090	0.090	0.040	0.060	0.080	0.060
Na2O	nd	nd	nd	nd	0.011	0.100	0.300	0.200	nd	nd	nd	0.200
K2O	0.010	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
P2O5	nd	0.020	0.050	0.060	0.040	0.020	0.030	0.040	0.020	0.030	0.020	0.030
H2O	13.200	14.100	12.800	12.800	9.200	13.800	12.400	13.100	12.200	13.200	12.400	14.100
CO2	1.300	0.100	nd	0.100	nd	0.400	0.200	0.300	0.400	0.300	0.200	0.300
S	nd	0.400	0.200	0.100	nd	0.060	0.130	0.070	0.050	nd	nd	nd
Cl	na	0.230	0.320	0.390	0.300	na	na	na	na	na	na	na
V ppm	nd	24.	25.	30.	27.	nd	nd	nd	nd	32.	58.	36.
Cr ppm	1360.	6650.	5170.	6660.	4930.	1100.	1100.	1400.	2800.	6100.	7300.	5800.
Co ppm	88.	148.	160.	102.	96.	90.	130.	87.	150.	66.	95.	140.
Ni ppm	2800.	2900.	2700.	2300.	2900.	3700.	4000.	3000.	2700.	2600.	2750.	3000.
Cu ppm	9.	77.	15.	11.	12.	17.	97.	33.	12.	10.	17.	13.
Rb ppm	na	nd	nd	2.	2.	2.	nd	2.	1.	2.	2.	1.
Sr ppm	na	4.	1.	2.	1.	2.	1.	1.	nd	2.	2.	2.
Zr ppm	na	4.	2.	3.	4.	2.	1.	2.	nd	7.	3.	2.
TOTAL	100.976	100.292	100.698	101.097	99.779	99.522	99.309	98.879	99.945	98.919	100.637	100.396

Concentrations of constituents quoted as ppm of the element were converted to the oxide for calculation of the total.
nd - not detected; na - not determined

Sample Unit	W04-0690 LP	W04-0935 LP	W04-1175 LP	W04-1215 LP	W04-1271 LP	W13-0245 UP	W13-0345 UP	W13-0425 UP	W13-0520 UP	W13-0665 D	W13-0765 D	W13-0905 D
SiO2	32.200	34.600	26.700	36.700	35.400	35.800	37.000	35.400	33.100	34.400	34.300	36.100
TiO2	0.030	0.115	0.058	0.045	0.050	0.054	0.060	0.037	na	0.018	nd	nd
Al2O3	0.700	0.950	0.840	0.870	1.050	1.500	1.900	1.100	0.350	0.240	0.180	0.170
Fe2O3	10.700	8.400	24.400	4.400	6.500	6.300	5.200	4.800	4.500	4.100	4.400	3.200
FeO	5.400	3.900	10.600	2.700	2.900	4.100	3.700	3.400	2.400	2.600	2.900	3.800
MnO	0.170	0.200	0.180	0.180	0.160	0.170	0.120	0.130	0.097	0.088	0.098	0.110
MgO	37.000	38.200	27.700	40.100	38.900	38.000	40.000	41.200	41.200	42.500	43.400	45.200
CaO	0.050	0.130	0.070	0.110	0.150	0.570	0.640	0.630	0.047	0.097	0.112	0.230
Na2O	nd	0.200	nd	nd	0.100	0.100	0.010	0.010	na	nd	nd	0.007
K2O	0.010	nd	nd	nd	nd	0.040	0.060	nd	na	nd	nd	0.050
P2O5	0.030	0.050	0.010	0.020	0.020	0.050	0.070	0.040	0.050	0.010	0.020	0.060
H2O	12.900	12.000	8.600	12.900	13.700	11.400	10.400	12.300	15.400	15.200	14.100	11.000
CO2	0.300	0.200	0.200	0.300	0.300	0.100	0.100	0.100	0.200	0.100	0.200	0.100
S	nd	nd	nd	nd	nd	0.100	0.010	nd	nd	0.100	0.100	0.100
Cl	na	na	na	na	na	0.090	0.120	0.320	0.390	0.340	0.280	0.230
V ppm	nd	70.	48.	45.	52.	28.	35.	21.	nd	nd	nd	nd
Cr ppm	4800.	6300.	3700.	8800.	7500.	2660.	4500.	6750.	5950.	684.	1250.	1170.
Co ppm	150.	170.	160.	120.	130.	94.	94.	90.	69.	67.	76.	88.
Ni ppm	2200.	2500.	1900.	2100.	2100.	1900.	2050.	2600.	2650.	2900.	2850.	2950.
Cu ppm	8.	8.	11.	14.	11.	8.	7.	8.	8.	nd	nd	nd
Rb ppm	1.	3.	4.	nd	2.	nd	1.	na	1.	na	1.	nd
Sr ppm	nd	1.	5.	2.	2.	1.	nd	na	2.	na	3.	2.
Zr ppm	2.	4.	3.	5.	3.	4.	4.	na	4.	na	4.	3.
TOTAL	100.491	100.216	100.170	99.901	100.618	99.021	100.326	100.798	98.950	100.270	100.645	100.914

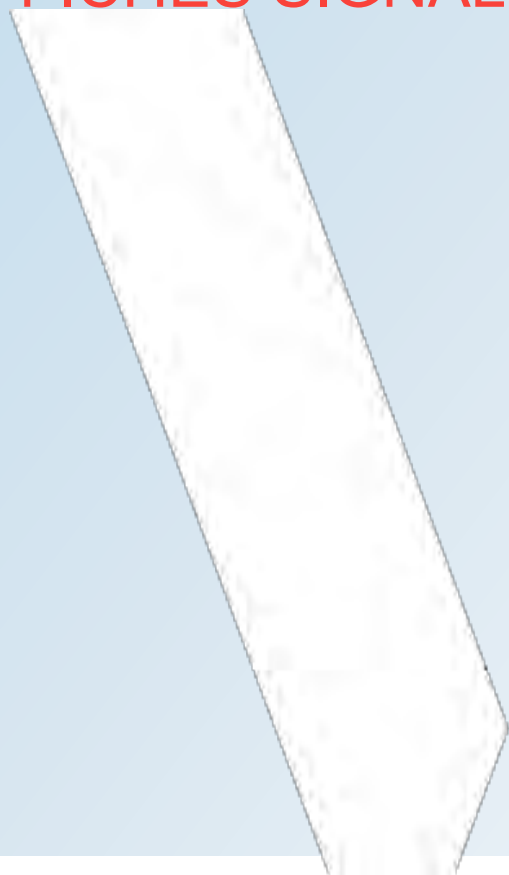
Sample Unit	W13-1060 D	W13-1190 D	W13-1265 LP	W13-1330 LP	W13-1530 LP	W14-0955 D	W14-1505 V	W14-1575 V	W14-1660 V
SiO2	35.200	37.000	34.600	35.000	34.700	34.100	37.100	40.700	44.700
TiO2	0.019	0.018	0.020	0.017	0.028	0.027	1.240	0.940	1.500
Al2O3	0.290	0.280	0.493	1.200	0.620	0.433	10.900	12.700	13.000
Fe2O3	3.300	3.300	5.000	5.300	4.600	6.500	0.700	nd	nd
FeO	3.900	5.800	4.500	4.700	6.300	1.000	11.200	16.900	12.900
MnO	0.126	0.168	0.156	0.133	0.166	0.085	0.452	0.209	0.280
MgO	44.600	44.900	42.400	42.200	42.100	40.600	6.300	10.000	5.900
CaO	0.456	0.314	0.326	0.235	0.388	0.119	9.800	5.900	9.500
Na2O	0.008	0.007	nd	na	nd	nd	3.600	0.036	2.300
K2O	nd	nd	nd	na	nd	nd	1.900	0.130	0.140
P2O5	0.040	0.020	0.030	0.030	0.020	0.050	0.120	0.100	0.150
H2O	11.400	7.800	10.700	10.400	8.800	14.300	1.700	7.500	4.600
CO2	0.100	0.100	0.100	0.110	nd	3.000	15.100	5.500	5.200
S	nd	0.100	na	0.100	0.500	nd	0.300	0.300	0.400
Cl	0.280	0.210	0.250	0.260	0.230	0.040	0.040	0.020	0.010
V ppm	nd	nd	nd	na	35.	21.	313.	441.	441.
Cr ppm	777.	1110.	8990.	7960.	7530.	624.	28.	27.	42.
Co ppm	74.	97.	104.	98.	165.	85.	49.	61.	50.
Ni ppm	3050.	3100.	2550.	2450.	4200.	2900.	68.	57.	57.
Cu ppm	7.	7.	7.	12.	774.	15.	nd	131.	130.
Rb ppm	na	na	nd	1.	nd	na	na	na	na
Sr ppm	na	na	nd	1.	nd	na	na	na	na
Zr ppm	na	na	nd	nd	nd	na	na	na	na
TOTAL	100.230	100.586	100.225	101.172	100.208	100.729	100.517	101.035	100.681

Concentrations of constituents quoted as ppm of the element were converted to the oxide for calculation of the total.
nd - not detected; na - not determined

ANNEXE

R-19

FICHES SIGNALÉTIQUES



SULFURIC ACID MATERIAL SAFETY DATA SHEET

SECTION 1. PRODUCT AND COMPANY IDENTIFICATION

Product Identity: Sulfuric Acid (93 percent)

Manufacturer:

Teck Cominco Metals Ltd.
Trail Operations
Trail, British Columbia
V1R 4L8
Emergency Telephone: 250-364-4214

Supplier:

Teck Cominco American Incorporated
Industrial Chemicals
15918 East Euclid Avenue
P.O. Box 3087
Spokane, WA 99216-1815

MSDS Preparer:

Teck Cominco Metals Ltd.
600 - 200 Burrard Street
Vancouver, British Columbia
V6C 3L9

Date of Last Review/Edit: December 15, 2003.

Product Use: Used in the manufacturing of chlorine dioxide (a pulp and paper bleaching chemical), in the manufacturing of phosphate and sulphate fertilizers, in the manufacturing of metal sulfates, as a metal pickling chemical and as a component of lead storage batteries.

SECTION 2. COMPOSITION / INFORMATION ON INGREDIENTS

Hazardous Ingredient	Approximate Percent by Weight	C.A.S. Number	Occupational Exposure Limits (OELs)	LD ₅₀ / LC ₅₀ Species and Route
Sulfuric Acid	93	7664-93-9	OSHA PEL 1 mg/m ³ ACGIH TLV 1 mg/m ³ NIOSH REL 1 mg/m ³	LD ₅₀ orl-rat 2140 mg/kg LC ₅₀ ihl-rat 510 mg/m ³ /2H LC ₅₀ ihl-mouse 320 mg/m ³ /2H

NOTE: OELs for individual jurisdictions may differ from OSHA PELs. Check with local authorities for the applicable OELs in your jurisdiction. OSHA - Occupational Safety and Health Administration; ACGIH - American Conference of Governmental Industrial Hygienists; NIOSH - National Institute for Occupational Safety and Health. OEL - Occupational Exposure Limit, PEL - Permissible Exposure Limit, TLV - Threshold Limit Value, REL - Recommended Exposure Limit.

Trade Names and Synonyms: Oil of vitriol, electrolyte acid, battery acid, matting acid, H₂SO₄.

SECTION 3. HAZARDS IDENTIFICATION

Emergency Overview: A strong mineral acid present as a colorless and odorless oily liquid when pure but may appear yellow to dark brown when impure. Extremely corrosive to all body tissues, causing rapid tissue destruction and serious chemical burns. Skin or eye contact requires immediate first aid. Can decompose at high temperatures forming toxic gases such as sulfur oxides. Non-flammable but reacts violently with water generating large amounts of heat with potential for spattering of the acid. Can react with combustible materials to generate heat and ignition. Reacts with most metals, particularly when diluted with water, to form flammable hydrogen gas which may create an explosion hazard. It is highly toxic to aquatic organisms and plant life.

Potential Health Effects: Sulfuric acid is not very volatile and workplace exposures are therefore primarily due to accidental splashes or to processes or actions that generate an acid mist. It is extremely corrosive to all body tissues, causing rapid tissue destruction and serious chemical burns on contact with the skin or eyes. Skin or eye contact requires immediate first aid. Inhalation of sulfuric acid mist or fumes may produce irritation of the nose, throat and respiratory tract. High levels of acid mist are also irritating to the skin and eyes. Chronic inhalation of acid mist may cause pitting and erosion of tooth enamel. Sulfuric acid is not listed as a carcinogen by OSHA, NTP, IARC, ACGIH or the EU. IARC, the ACGIH and the NTP have concluded there is sufficient evidence that occupational exposure to strong inorganic acid mists containing sulfuric acid is carcinogenic or potentially carcinogenic to humans. (see Toxicological Information, Section 11)

Potential Ecological Effects: It is highly toxic to aquatic organisms and plant life but does not bioaccumulate or concentrate in the food chain. (see Ecological Information, Section 12)

EU Risk Phrase: R35 - Causes severe burns.

SECTION 4. FIRST AID MEASURES

Eye Contact: Immediately flush with warm, running water, including under the eyelids, for at least 15 minutes. Seek medical attention immediately. Flushing must begin immediately if permanent eye tissue damage is to be avoided.

Skin Contact: Immediately remove contaminated clothing and footwear under shower and thoroughly flush affected area. Seek immediate medical attention. Discard contaminated clothing, shoes and leather goods (e.g. watch bands, belts, etc.).

Inhalation: Remove victim from exposure area to fresh air immediately. If breathing has stopped, give artificial respiration. Medical oxygen may be administered, if available, where breathing is difficult. Seek medical attention immediately.

Ingestion: If victim is conscious and can swallow, dilute stomach contents with 2 to 4 cupfuls of water or milk. Do not induce vomiting. Seek medical attention immediately and bring a copy of this MSDS. Never give anything by mouth to an unconscious person.

SECTION 5. FIRE FIGHTING MEASURES

Fire and Explosion Hazards: Sulfuric acid is not flammable or combustible. However, fires may result from the heat generated by contact of concentrated sulfuric acid with combustible materials. Sulfuric acid reacts with most metals, especially when diluted with water, to produce hydrogen gas which can accumulate to explosive concentrations inside confined spaces. It reacts violently with water and organic materials evolving a considerable amount of heat and is very hazardous when in contact with carbides, cyanides, and sulfides.

Extinguishing Media: Use dry chemical or carbon dioxide extinguishers. Use water spray to cool fire-exposed containers. Use water only if absolutely necessary and DO NOT USE WATER DIRECTLY ON ACID as a violent reaction may occur resulting in spattering of the acid.

Fire Fighting: Fire fighters must be fully trained and wear full protective clothing including an approved, self-contained breathing apparatus which supplies a positive air pressure within a full face-piece mask. For fires close to a spill or where vapors are present, use acid-resistant personal protective equipment.

Flashpoint and Method: Not Applicable.

Upper and Lower Flammable Limit: Not Applicable.

Autoignition Temperature: Not Applicable.

SECTION 6. ACCIDENTAL RELEASE MEASURES

Procedures for Cleanup: Control source of release if possible to do safely. Contain spill, isolate hazard area, and deny entry to unauthorized personnel. Dike area around spill and pump uncontaminated acid back to process if possible. Neutralize spilled material with alkali such as sodium carbonate or sodium bicarbonate, soda ash, lime or limestone granules. If neutralized with lime rock or soda ash, good ventilation is required during neutralization because of the release of carbon dioxide gas. Allow to stand for 1-2 hours to complete neutralization, then absorb any liquid in solid absorbent such as vermiculite or clay absorbents. Place spilled material in suitable labeled containers for final disposal. Treat or dispose of waste spilled material and/or contaminated absorbent material in accordance with all local, regional and national regulations.

Personal Precautions: Acid resistant protective clothing and gloves. Sleeves and pant legs should be worn outside, not tucked into gloves and rubber boots. Use close-fitting safety goggles or a combination of safety goggles and a face shield where splashing is a possibility. Respiratory protection equipment should be worn where exposure to hazardous levels of mist or fume is possible.

Environmental Precautions: This product can pose a threat to the environment. Contamination of soil and water should be prevented. Keep spillage from entering ground, streams or sewers.

SECTION 7. HANDLING AND STORAGE

Store in a dry, cool, well-ventilated area away from incompatible substances. Keep in tightly closed containers which are appropriately labeled. Do not allow contact with water. Do not store near alkaline substances. Always practice good personal hygiene. Refrain from eating, drinking, or smoking in work areas. Thoroughly wash hands before eating, drinking, or smoking.

EU Safety Phrase(s): S26 - in case of contact with eyes, rinse immediately with plenty of water and seek medical advice; S30 - never add water to this product; S45 - In case of accident or if you feel unwell seek medical advice immediately (show the label where possible).

SECTION 8. EXPOSURE CONTROLS / PERSONAL PROTECTION

Protective Clothing: Protective clothing and gloves as well as glasses, goggles or face shield. Appropriate protective clothing should be worn where any possibility exists that skin contact can occur. Use close-fitting safety goggles or a combination of safety goggles and a face shield where any possibility exists that eye contact can occur. An eyewash and quick drench should be provided. Workers should wash immediately when skin becomes contaminated and at the end of each work shift.

Ventilation: Use adequate local or general ventilation to maintain the concentration of sulfuric acid aerosol mists below recommended occupational exposure limits.

Respiratory Protection: Where sulfuric acid mists are generated and cannot be controlled to within acceptable levels, use appropriate NIOSH-approved respiratory protection equipment (a combination of a 42CFR84 Class N, R or P-100 particulate filter and an acid gas cartridge). Note: sulfuric acid mist also causes eye irritation at high concentrations and a full face respirator or supplied air respirator may be necessary in some cases.

SECTION 9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

Appearance: Clear, Colorless, Oily Liquid	Odor: Odorless when cold	Physical State: Liquid	pH: Concentration dependant <0.1 (93% Sol'n), 0.3 (5% or 1N Sol'n)
Vapor Pressure: <0.04 kPa (<0.3 mm Hg) @ 25°C	Vapor Density: 3.4 (air = 1)	Boiling Point/Range: 280°C	Freezing/Melting Point/Range: -35°C
Specific Gravity: 1.84	Evaporation Rate: Not Applicable	Coefficient of Water/Oil Distribution: No Data Available	Odor Threshold: > 1 mg/m ³
Solubility in Water: Completely soluble with generation of heat			

SECTION 10. STABILITY AND REACTIVITY

Stability & Reactivity: Stable under normal temperatures and pressures. Decomposes at 340°C into sulfur trioxide and water. Extremely reactive with metals, alkalis and many other organic and inorganic chemicals. Hazardous gases such as hydrogen cyanide, hydrogen sulfide and acetylene are evolved on contact with chemicals such as cyanides, sulfides and carbides. Contact with combustible organic matter may cause fire or explosion. Dilution with water generates excessive heat and spattering or boiling may occur. Always add acid to water, NEVER ADD WATER TO ACID.

Incompatibilities: Combustible materials, organic materials, oxidizers, amines, bases, water, excess heat, and metals.

Hazardous Decomposition Products: Sulfur dioxide, sulfur trioxide.

SECTION 11. TOXICOLOGICAL INFORMATION

General: Concentrated sulfuric acid exerts a strong corrosive action on all tissues due to its severe dehydration action (removing water from tissues). The severity of the chemical burn produced by the concentrated acid is proportional to the strength of the acid and the duration of contact. Burns are deep but typically not severely painful. Prolonged exposure to dilute solutions or acid mists may lead to irritation of the eyes and skin causing chronic conjunctivitis and dermatitis. Inhalation of sulfuric acid mist or fumes may result in irritation of the respiratory tract possibly leading to laryngeal spasm. Asthmatics may be more sensitive to inhaling sulfuric acid mists. IARC and the ACGIH have concluded there is sufficient evidence that occupational exposure to strong inorganic acid mists containing sulfuric acid is carcinogenic or potentially carcinogenic to humans.

Acute:

Skin/Eye: Splashes can cause severe eye burns and may cause irreversible eye injury and possible blindness. Skin contact results in severe burns and may result in permanent scarring. High levels of sulfuric acid mists and aerosols are also irritating to the eyes and skin.

Inhalation: Inhalation may cause severe irritation of the respiratory tract with sore throat, coughing, shortness of breath, laryngeal spasm and delayed lung edema. These symptoms may be aggravated by physical exertion.

Ingestion: Ingestion is unlikely in industrial use but will result in severe burns to the mouth, throat, esophagus and stomach which could lead to permanent damage to the digestive tract. Small amounts of acid can also enter the lungs during ingestion or subsequent vomiting and cause serious lung injury.

Chronic: Prolonged exposure to dilute solutions or mists may result in eye irritation (chronic conjunctivitis) and produce skin dermatitis. Exposure to high concentrations of acid mist has caused erosion and discoloration of the anterior teeth. Sulfuric acid is not listed as a carcinogen by OSHA, National Toxicology Program (NTP), International Agency for Research on Cancer (IARC), ACGIH or the EU. IARC has concluded that there is sufficient evidence that occupational exposure to strong inorganic acid mists containing sulfuric acid is carcinogenic to humans, resulting in an increased incidence of primarily laryngeal cancers. The ACGIH lists strong inorganic acid mists containing sulfuric acid as a suspect human carcinogen (A2) and the NTP have recently re-classified strong inorganic acid mists containing sulfuric acid to a known human carcinogen. OSHA and the EU do not list sulfuric acid mist as a carcinogen.

SECTION 12. ECOLOGICAL INFORMATION

Sulfuric acid is very corrosive and is highly toxic to aquatic and terrestrial life at low concentrations.

SECTION 13. DISPOSAL CONSIDERATIONS

Do not wash down drain or allow to reach natural watercourses. Dispose of neutralized waste consistent with regulatory requirements. If neutralized with lime rock or soda ash, good ventilation is required during neutralization because of the release of carbon dioxide gas.

SECTION 14. TRANSPORT INFORMATION

Proper Shipping Name Transport Canada and U.S. DOT.....Sulfuric Acid
Transport Canada and U.S. DOT Hazard Classification.....Class 8, Packing Group II
Transport Canada and U.S. DOT Product Identification Number.....UN1830
Marine Pollutant.....No
IMO Classification.....Class 8

SECTION 15. REGULATORY INFORMATION

U.S.

Listed on TSCA Inventory.....Yes
Hazardous Under Hazard Communication Standard.....Yes
CERCLA Section 103 Hazardous Substances.....Sulfuric Acid Yes RQ: 1000 lbs. (454 kg.)
EPCRA Section 302 Extremely Hazardous Substance.....Yes RQ: 1000 lbs. (454 kg.)
Threshold Planning Quantity: 1000 lbs.
EPCRA Section 311/312 Hazard Categories.....Immediate (Acute) Health Hazard - Corrosive
Immediate (Acute) Health Hazard - Highly Toxic
EPCRA Section 313 Toxic Release Inventory.....Sulfuric Acid CAS NO. 7664-93-9
Percent by Weight: 93

CANADIAN:

Listed on Domestic Substances List:.....Yes
WHMIS Classification.....Controlled Product, Classification D1A (Immediate & Serious Toxic Effects), E (Corrosive Material)

EUROPEAN UNION:

Listed on the European Inventory of Existing
Commercial Chemical Substances (EINECS).....Yes
EU Classification:.....Corrosive

SECTION 16. OTHER INFORMATION

The information in this Material Safety Data Sheet is based on the following references:

- American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 1991, Documentation of the Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices, 6th Edition plus updates.
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 2002, Guide to Occupational Exposure Values.
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 2003, Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices.
- Canadian Centre for Occupational Health & Safety CHEMINFO Record No. 122 - Sulfuric Acid, 2003-04.
- Commission de la santé et la sécurité du travail, Service du Répertoire toxicologique, Acide Sulfurique, 2000-03.
- European Economic Community, Commission Directives 91/155/EEC, 93/21/EEC, and 67/548/EEC.
- Industry Canada, Controlled Products Regulations SOR/88-66, as amended.
- International Chemical Safety Cards (WHO/IPCS/ILO), ICSC:0362 – Sulfuric Acid (Revised Oct 2000).
- Merck & Co., Inc., 2001, The Merck Index, An Encyclopedia of Chemicals, Drugs, and Biologicals, Thirteenth Edition.
- National Library of Medicine, National Toxicology Information Program, 2003, Hazardous Substance Data Bank.
- Patty's Toxicology, Fifth Edition, 2001: E. Bingham, B. Cohnsen & C.H. Powell, Ed.
- Sax, N. Irving, 1989, Dangerous Properties of Industrial Materials, Seventh Edition.
- U.S. Department of Health and Human Services, National Institute for Occupational Safety and Health. NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards. CD-ROM Edition DHHS (NIOSH) Publication No. 2001-145, August 2001.
- U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Toxicological Profile for Sulfur Trioxide and Sulfuric Acid, December 1998.
- U.S. Occupational Safety and Health Administration, 1989, Code of Federal Regulations, Title 29, Part 1910.
- Urben, P.G., 1995, Bretherick's Handbook of Reactive Chemical Hazards, Fifth Edition.

Notice to Reader

Although reasonable precautions have been taken in the preparation of the data contained herein, it is offered solely for your information, consideration and investigation. Teck Cominco American Incorporated extends no warranty and assumes no responsibility for the accuracy of the content and expressly disclaims all liability for reliance thereon. This material safety data sheet provides guidelines for the safe handling and processing of this product; it does not and cannot advise on all possible situations. Therefore, your specific use of this product should be evaluated to determine if additional precautions are required. Individuals exposed to this product should read and understand this information and be provided pertinent training prior to working with this product.

AEROFROTH® 65 FROTHER

Date de révision 04/24/2020

SECTION 1: Identification de la substance/mélange et de la société/entreprise**1.1 Identificateur de produit**

- Nom commercial AEROFROTH® 65 FROTHER

1.2 Utilisations pertinentes de la substance ou du mélange et utilisations contre-indiquéesUtilisations de la substance/du mélange

- Agent moussant

1.3 Renseignements sur le fournisseur de la fiche signalétiqueSociété

CYTEC CANADA INC.
9061 Garner Road, Niagara Falls
Ontario, Canada L2H 0Y2
Tel: +1-905-356-9000

1.4 Numéro de téléphone en cas d'urgence

EN CAS D'URGENCE CONCERNANT UN FUITE, INCENDIE, D'EXPOSITION OU D'ACCIDENT, APPELER LE NUMERO CHEMTREC (disponible 24h/24): 800-424-9300 aux États-Unis et au Canada, ou 703-527-3887 pour l'international appels à frais virés.

Avis de non-responsabilité

Le symbole ® indique une marque déposée aux États-Unis et le symbole ™ une marque commerciale aux États-Unis. La marque peut également être déposée, faire l'objet d'une demande de dépôt ou être une marque commerciale dans d'autres pays.

SECTION 2: Identification des dangers

Bien que le SIMDUT n'ait pas adopté la partie environnementale des réglementations SGH, le présent document peut comprendre des informations sur les effets environnementaux.

2.1 Classification de la substance ou du mélange

Toxicité aiguë, Catégorie 4

H302: Nocif en cas d'ingestion.

2.2 Éléments pour les étiquettesRèglement sur les produits dangereux (WHMIS 2015)PictogrammeMot indicateur

- Attention

Déclarations sur les risques

- H302 Nocif en cas d'ingestion.

AEROFROTH® 65 FROTHER

Date de révision 04/24/2020

Déclarations sur la sécuritéPrévention

- P264 Se laver à fond la peau après avoir manipulé.
- P270 Ne pas manger, boire ou fumer en manipulant ce produit.

Intervention

- P301 + P312 + P330 EN CAS D'INGESTION: Appeler un CENTRE ANTIPOISON ou un médecin en cas de malaise. Rincer la bouche.

Élimination

- P501 Éliminer le contenu/ récipient dans une installation d'élimination des déchets agréée.

2.3 D'autres dangers qui n'entraînent pas de classification

Aucun identifié

SECTION 3: Composition/Information sur les composants**3.1 Substance**

- Non applicable, le produit est un mélange.

3.2 Mélange

- Nature chimique agent minéral de traitement

WHMIS Ingrédients et impuretés dangereux

Nom Chimique	Numéro d'identification No. CAS	Concentration [% wt/wt or V/V]
α -Hydro- ω -hydroxypoly[oxy(méthyléthylène)]	25322-69-4	<= 100

SECTION 4: Premiers soins**4.1 Description des mesures pour les premiers secours****En cas d'inhalation**

- Éloignez rapidement la personne de la zone contaminée. Indiquez à la victime qu'elle doit se reposer.
- Appeler un médecin.
- Présentez cette feuille au médecin.
- Soyez prêt à fournir, si nécessaire, les premiers secours ou une assistance médicale.

En cas de contact avec la peau

- Laver immédiatement et abondamment à l'eau pendant au moins 15 minutes.
- Utilisez l'équipement de protection approprié lors du traitement d'une personne contaminée.
- Appeler un médecin.
- Présentez cette feuille au médecin.
- Soyez prêt à fournir, si nécessaire, les premiers secours ou une assistance médicale.

En cas de contact avec les yeux

- Rincer immédiatement avec de grandes quantités d'eau, aussi sous les paupières, pendant au moins 15 minutes.
- Maintenir l'oeil bien ouvert pendant le rinçage.
- Présentez cette feuille au médecin.
- Consultez toujours un médecin, même en l'absence de symptômes.
- Soyez prêt à fournir, si nécessaire, les premiers secours ou une assistance médicale.

PRCO90072767

Version : 2.01 / CA (3F)

www.solvay.com



AEROFROTH® 65 FROTHER

Date de révision 04/24/2020

En cas d'ingestion

- NE PAS faire vomir.
- Appeler un médecin.
- Présentez cette feuille au médecin.
- Ne rien donner à boire.
- Soyez prêt à fournir, si nécessaire, les premiers secours ou une assistance médicale.

4.2 Symptômes et effets les plus importants, aigus et différés**Effets**

- Des effets sur la santé peuvent survenir à la suite d'une exposition.
- Les effets dépendront des organes cibles.
- L'ingestion peut provoquer une irritation de l'appareil digestif, des nausées, des vomissements et des diarrhées.
- Risque de troubles respiratoires
- Une exposition chronique peut provoquer une dermatite.

Symptômes

- Les symptômes dépendront des organes cibles.
- L'inhalation peut provoquer les symptômes suivants :
 - Toux
 - Difficultés respiratoires
- L'ingestion peut provoquer les symptômes suivants :
 - Nausée
 - Diarrhée
 - Douleur abdominale
 - Dermatite

4.3 Indication de consultation médicale immédiate et du traitement spécial requis**Avis aux médecins**

- Veillez à poursuivre la respiration artificielle, si nécessaire.
- Emmener la victime à l'hôpital si les symptômes persistent.
- Consulter un médecin.
- Traiter de façon symptomatique.
- Contacter un centre de contrôle anti-poison.
- Garder sous suivi médical pendant au moins 48 heures.

SECTION 5: Mesures de lutte contre l'incendie**5.1 Produit d'extinction****Moyen d'extinction approprié**

- Eau pulvérisée
- Mousse
- Dioxyde de carbone (CO₂)
- Poudres polyvalentes.

Moyens d'extinction inadéquats

- Jet d'eau à grand débit

5.2 Dangers particuliers relatifs à la substance ou au mélange

- En cas d'incendie :
 - brûle
- Par combustion, libère des gaz toxiques.

AEROFROTH® 65 FROTHER

Date de révision 04/24/2020

5.3 Précautions à prendre par les pompiers**Équipement de protection spécial pour les pompiers**

- En cas d'incendie, porter un appareil respiratoire autonome.
- Équipements de protection individuelle comprenant: gants, lunettes protectrices et vêtements de protection appropriés
- Pour plus d'informations, se reporter au § 8 : « Contrôle de l'exposition-protection individuelle ».

Méthodes spécifiques de lutte contre le feu

- Refroidir les récipients/réservoirs par pulvérisation d'eau.
- Ne pas utiliser un jet d'eau concentré, qui pourrait s'éparpiller et répandre l'incendie.

Autres informations

- Procédure usuelle pour feux d'origine chimique.
- Recueillir séparément l'eau d'extinction contaminée, ne pas la rejeter dans les canalisations.
- Les résidus d'incendie et l'eau d'extinction contaminée doivent être éliminés conformément à la réglementation locale en vigueur.

SECTION 6: Mesures à prendre en cas de déversement accidentel**6.1 Précautions individuelles, équipement de protection et procédures d'urgence**

- Si le niveau d'exposition n'est pas connu, porter un appareil respiratoire autonome à surpression approuvé pour le niveau d'exposition.
- Si le niveau d'exposition est connu, porter un appareil respiratoire adéquat pour le niveau d'exposition.
- En plus des vêtements et de l'équipement de protection décrits à la Section 8 (Contrôle de la contamination / Protection personnelle), porter des bottes imperméables.

6.2 Précautions pour la protection de l'environnement

- Arrêter la fuite. Redresser les emballages endommagés (fuite en haut) pour stopper l'écoulement du liquide.
- Endiguer et contenir l'épandage.
- Empêcher le produit de pénétrer dans les égouts.
- Ne pas laisser le produit se déverser de façon non réglementée dans l'environnement.

6.3 Méthodes et matières pour le confinement et le nettoyage

- Obturer la fuite si cela peut se faire sans danger.
- Garder dans des contenants proprement étiquetés.
- Conserver dans des récipients adaptés et fermés pour l'élimination.
- Laver le reliquat non récupérable à grande eau.
- Absorber avec un matériau inerte et éliminer comme déchet dangereux.
- Décontaminer les outils, l'équipement et l'équipement de protection personnel dans une zone réservée.
- Éliminer le produit conformément avec la réglementation locale en vigueur.
- Ne jamais réintroduire le produit déversé dans son récipient d'origine en vue d'une réutilisation.

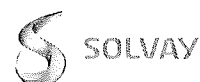
6.4 Référence à d'autres sections

- 7. MANIPULATION ET ENTREPOSAGE
- 8. MESURES DE CONTRÔLE DE L'EXPOSITION/PROTECTION INDIVIDUELLE
- 13. CONSIDÉRATIONS RELATIVES À L'ÉLIMINATION

SECTION 7: Manipulation et entreposage**7.1 Précautions pour une manipulation sécuritaire**

PRCO90072767

Version : 2.01 / CA (3F)

www.solvay.com

AEROFROTH® 65 FROTHER

Date de révision 04/24/2020

Mesures d'hygiène

- A manipuler conformément aux normes d'hygiène industrielle et aux consignes de sécurité.
- Se laver les mains avant les pauses et à la fin de la journée.
- Ne pas manger, ne pas boire et ne pas fumer pendant l'utilisation.
- Bouteilles de lavage des yeux ou des douches oculaires dans le respect des normes applicables.

7.2 Condition d'entreposage sécuritaire, incluant toute incompatibilité**Exigences pour les salles et les récipients de stockage****Température d'entreposage recommandée: 68 °F (20 °C)**

- Afin de garantir la qualité et les propriétés du produit, conserver conformément à la température et aux conditions de stockage.

7.3 Types d'utilisation particuliers

- donnée non disponible

SECTION 8: Mesures de contrôle de l'exposition/protection individuelle

Remarques préliminaires : Ces recommandations fournissent des consignes générales à suivre lors de la manipulation de ce produit. Étant donné que les environnements de travail et les pratiques de manipulation sont sujets à variations, des procédures doivent être mises en place pour chaque application visée afin d'assurer la sécurité. Les fabricants d'équipements de protection sauront généralement vous aider à choisir, utiliser et entretenir les équipements de protection adéquats.

8.1 Paramètres de contrôle

Ne contient pas de substances ayant des valeurs limites d'exposition professionnelle.

8.2 Contrôles de l'exposition**Mesures de contrôle****Mesures d'ordre technique**

- Assurer une ventilation adéquate.
- Appliquer les mesures techniques nécessaires pour respecter les valeurs limites d'exposition professionnelle.

Mesures de protection individuelle**Protection respiratoire**

- Conserver dans un endroit bien ventilé.

Protection des mains

- Prenez en compte l'information donnée par le fournisseur concernant la perméabilité et les temps de pénétration, et les conditions particulières du lieu de travail (contraintes mécaniques, temps de contact).
- Gants imperméables

Protection des yeux

- S'il y a un risque d'éclaboussures, porter :
- Des lunettes de protection résistant aux produits chimiques doivent être portées.

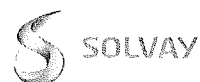
Protection de la peau et du corps

- S'il y a un risque d'éclaboussures, porter :
- Vêtement de protection

Mesures d'hygiène

PRCO90072767

Version : 2.01 / CA (3F)

www.solvay.com

AEROFROTH® 65 FROTHER

Date de révision 04/24/2020

- A manipuler conformément aux normes d'hygiène industrielle et aux consignes de sécurité.
- Se laver les mains avant les pauses et à la fin de la journée.
- Ne pas manger, ne pas boire et ne pas fumer pendant l'utilisation.
- Bouteilles de lavage des yeux ou des douches oculaires dans le respect des normes applicables.

SECTION 9: Propriétés physiques et chimiques

Les propriétés physiques et chimiques dans les présentes représentent les propriétés types de ce produit. Contactez l'unité opérationnelle en utilisant le numéro de téléphone pour l'information sur le produit dans la Section 1 afin de connaître ses spécifications exactes.

9.1 Renseignements sur les propriétés physiques et chimiques de base

<u>Aspect</u>	<u>État physique:</u> liquide
	<u>Couleur:</u> ambre à foncé
<u>Odeur</u>	polyglycol
<u>Seuil de l'odeur</u>	Donnée non disponible
<u>poids moléculaire</u>	Mélange
<u>pH</u>	Sans objet
<u>Point de fusion/congélation</u>	<u>Point de congélation:</u> <= -9.9 °F (<= -23.3 °C)
<u>Point d'ébullition initial et intervalle d'ébullition</u>	Donnée non disponible
<u>Point d'éclair</u>	> 200 °F (> 93 °C) Vase clos Pensky-Martens Solvant, Le produit lui-même n'a pas été testé.
<u>Taux d'évaporation (acétate de butyle = 1)</u>	Sans objet
<u>Inflammabilité (solide, gaz)</u>	Donnée non disponible
<u>Inflammabilité (liquides)</u>	Donnée non disponible
<u>Limite d'inflammabilité/d'explosivité</u>	Donnée non disponible
<u>Température d'auto-inflammation</u>	Donnée non disponible
<u>Pression de vapeur</u>	Donnée non disponible
<u>Densité de vapeur</u>	Donnée non disponible
<u>Masse volumique</u>	0.99 - 1.08 g/cm ³ (77 °F (25 °C))
<u>Densité relative</u>	Donnée non disponible
<u>Solubilité</u>	<u>Solubilité dans l'eau:</u> complètement soluble

AEROFROTH® 65 FROTHER

Date de révision 04/24/2020

<u>Coefficient de partage (n-octanol/eau)</u>	Donnée non disponible
<u>Température de décomposition</u>	Donnée non disponible
<u>Viscosité</u>	<u>Viscosité</u> , Sans objet <u>cinématique</u> :
<u>Propriétés explosives</u>	Donnée non disponible
<u>Propriétés comburantes</u>	N'est pas considéré comme comburant.

9.2 Autres informations

<u>Corrosion des métaux</u>	Ne corrode pas les métaux
<u>Peroxydes</u>	La substance ou le mélange n'est pas classé(e) comme peroxyde organique.

SECTION 10: Stabilité et réactivité**10.1 Réactivité**

- donnée non disponible

10.2 Stabilité chimique

- Stable

10.3 Possibilité de réactions dangereuses

- donnée non disponible

10.4 Conditions à éviter

- donnée non disponible

10.5 Produits incompatibles

- Acides forts
- Acides forts et bases fortes
- Oxydants forts

10.6 Produits de décomposition dangereux**Produits de décomposition dangereux**

- Alcools
- Acides organiques
- Aldéhydes
- Cétones
- Ether
- fragments de polymères
- Hydrocarbures

SECTION 11: Informations toxicologiques**11.1 Renseignements sur les effets toxicologiques****Toxicité aiguë****Toxicité aiguë par voie orale**

α -Hydro- ω -
hydroxypoly[oxy(méthyléthylène)]

DL50 : > 500 - < 2,000 mg/kg - Rat

Ce produit est classé dans la catégorie 4 de toxicité aiguë

PRCO90072767

Version : 2.01 / CA (3F)

www.solvay.com



AEROFROTH® 65 FROTHER

Date de révision 04/24/2020

Toxicité aiguë par inhalation	Donnée non disponible
Toxicité cutanée aiguë	Donnée non disponible
Toxicité aiguë (autres voies d'administration)	Donnée non disponible
<u>Corrosion et/ou irritation de la peau</u>	
α-Hydro-ω-hydroxypoly[oxy(méthyléthylène)]	Lapin Pas d'irritation de la peau Méthode: Directives du test 404 de l'OECD
<u>Lésion/irritation grave des yeux</u>	
α-Hydro-ω-hydroxypoly[oxy(méthyléthylène)]	Lapin Pas d'irritation des yeux Méthode: Directives du test 405 de l'OECD
<u>Sensibilisation cutanée ou respiratoire</u>	
α-Hydro-ω-hydroxypoly[oxy(méthyléthylène)]	Souris Non classé comme sensibilisant par contact avec la peau selon les critères SGH Méthode: OCDE Ligne directrice 429
<u>Mutagénicité</u>	
Génotoxicité in vitro	
α-Hydro-ω-hydroxypoly[oxy(méthyléthylène)]	Test de Ames négatif Méthode: Directives du test 471 de l'OECD
Génotoxicité in vivo	Donnée non disponible
<u>Cancérogénicité</u>	Donnée non disponible
<u>Toxicité pour la reproduction et le développement</u>	
Toxicité pour la reproduction/Fertilité	Donnée non disponible
Toxicité pour le développement/Tératogénicité	Donnée non disponible
<u>STOT</u>	
STOT - exposition unique	
α-Hydro-ω-hydroxypoly[oxy(méthyléthylène)]	La substance ou le mélange n'est pas classé comme matière toxique pour certains organes cibles (exposition unique) selon les critères SGH.
STOT - exposition répétée	
α-Hydro-ω-hydroxypoly[oxy(méthyléthylène)]	La substance ou le mélange n'est pas classé comme matière toxique pour certains organes cibles (exposition répétée) selon les critères SGH.
<u>Évaluation de l'exposition humaine</u>	Donnée non disponible
<u>Toxicité par aspiration</u>	
α-Hydro-ω-hydroxypoly[oxy(méthyléthylène)]	Non classé pour la toxicité par aspiration selon les critères du SGH

AEROFROTH® 65 FROTHER

Date de révision 04/24/2020

SECTION 12: Informations écologiques**12.1 Toxicité**Compartiment aquatique**Toxicité aiguë pour les poissons**

α-Hydro-ω-
hydroxypoly[oxy(méthyléthylène)]

CL50 - 96 h : > 100 mg/l - *Poecilia reticulata* (Guppy)

Méthode: Directives du test 203 de l'OECD

Non nocif pour les poissons (LC/LL50 > 100 mg/L)

Toxicité aiguë pour les daphnies et autres invertébrés aquatiques

α-Hydro-ω-
hydroxypoly[oxy(méthyléthylène)]

CE50 - 48 h : > 100 mg/l - *Daphnia magna* (Puce d'eau)

Méthode: OCDE Ligne directrice 202

Non nocif pour les invertébrés aquatiques. (EC/EL50 > 100 mg/L)

**Toxicité envers les plantes
aquatiques**

Donnée non disponible

Toxicité pour les microorganismes

Donnée non disponible

**Toxicité chronique pour les
poissons**

Donnée non disponible

**Toxicité chronique pour les
daphnies et autres invertébrés
aquatiques**

Donnée non disponible

12.2 Persistance et dégradabilitéDégradation abiotique

Donnée non disponible

Éliminations photochimique et physique

Donnée non disponible

Biodégradation**Biodégradabilité**

α-Hydro-ω-
hydroxypoly[oxy(méthyléthylène)]

Méthode: OCDE Ligne directrice 301 F

> 60 % - 28 jours

La substance remplit les critères de biodégradabilité aérobie finale et de biodégradabilité facile

Évaluation de la dégradabilité

α-Hydro-ω-
hydroxypoly[oxy(méthyléthylène)]

Le produit est considéré comme rapidement dégradable dans l'environnement

12.3 Potentiel bioaccumulatif**Coefficient de partage (n-
octanol/eau)**

Donnée non disponible

**Coefficient de bioconcentration
(BCF)**

Donnée non disponible

12.4 Mobilité dans le sol**Potentiel d'adsorption (Koc)**

Donnée non disponible

**Distribution connue en
compartiments environnementaux**

Donnée non disponible

PRCO90072767

Version : 2.01 / CA (3F)

www.solvay.com



AEROFROTH® 65 FROTHER

Date de révision 04/24/2020

12.5 Résultats de l'évaluation PBT et vPvB

α-Hydro-ω-
hydroxypoly[oxy(méthyléthylène)] Non classée comme substance PBT.

12.6 Autres effets néfastes

Évaluation de l'écotoxicité

Danger à court terme (aigu) pour le milieu aquatique

α-Hydro-ω-
hydroxypoly[oxy(méthyléthylène)] Non nocif pour les organismes aquatiques (LC/LL50, EC/EL50 > 100 mg/L)

Danger à long terme (chronique) pour le milieu aquatique

α-Hydro-ω-
hydroxypoly[oxy(méthyléthylène)] Ne présente pas d'effet néfaste connu à long terme sur les organismes aquatiques analysés

SECTION 13: Considérations relatives à l'élimination

13.1 Méthodes de traitement des déchets

Destruction/Élimination

- La compagnie encourage le recyclage, la récupération et la réutilisation des matières lorsque permis. Si la destruction est nécessaire, la compagnie recommande que les matières organiques, particulièrement une fois classées comme déchets dangereux, soient éliminées par traitement thermique ou incinération avec des équipements approuvés. Tous les règlements locaux et nationaux devraient être observés.

SECTION 14: Informations relatives au transportTDG

non réglementé

DOT

non réglementé

NOM

non réglementé

IMDG

non réglementé

IATA

non réglementé

Note: Les prescriptions réglementaires reprises ci-dessus sont celles en vigueur le jour de l'actualisation de la fiche. Mais, compte-tenu d'une évolution toujours possible des réglementations régissant le transport des matières dangereuses, il est conseillé de s'assurer de leur validité auprès de votre agence commerciale.

AEROFROTH® 65 FROTHER

Date de révision 04/24/2020

SECTION 15: Informations réglementaires**15.1 État actuel de notification**

Informations sur les inventaires	Statut
United States TSCA Inventory	- Toutes les substances sont répertoriées comme actives sur l'inventaire de la TSCA
EU. European Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemical (REACH)	- En cas d'achat auprès d'une entité juridique européenne Solvay, il est établi que ce produit est conforme aux dispositions d'enregistrement du règlement REACH (CE) n°1907/2006, étant donné que l'ensemble de ses composants sont exclus, exemptés, préenregistrés et/ou enregistrés. En cas d'achat auprès d'une entité juridique non européenne, veuillez contacter votre représentant local pour plus d'informations.
Canadian Domestic Substances List (DSL)	- Répertorié à l'inventaire
Australia Inventory of Chemical Substances (AICS)	- Répertorié à l'inventaire
Japan. CSCL - Inventory of Existing and New Chemical Substances	- Répertorié à l'inventaire
Korea. Korean Existing Chemicals Inventory (KECI)	- Répertorié à l'inventaire
China. Inventory of Existing Chemical Substances in China (IECSC)	- Répertorié à l'inventaire
Philippines Inventory of Chemicals and Chemical Substances (PICCS)	- Répertorié à l'inventaire
Taiwan Chemical Substance Inventory (TCSI)	- Répertorié à l'inventaire
New Zealand. Inventory of Chemical Substances	- Tous les composants sont répertoriés dans l'inventaire NZIOC. Le statut HSNO du produit n'a pas été évalué.

15.2 Réglementations nationales**Canada. LCPE 1999 Liste des avis de nouvelle activité (NAc):**

- Aucune substance n'est assujettie à une déclaration de nouvelle activité importante.

AEROFROTH® 65 FROTHER

Date de révision 04/24/2020

SECTION 16: Autres informations**Date de révision:**

04/24/2020

Classification NFPA (National Fire Protection Association)

Santé	1 léger
Inflammabilité	1 léger
Instabilité ou réactivité	0 minime

Clé ou légende des abréviations et acronymes

- ACGIH American Conference of Governmental Industrial Hygienists
- OSHA Occupational Safety and Health Administration
- NTP National Toxicology Program
- IARC International Agency for Research on Cancer
- NIOSH National Institute for Occupational Safety and Health
- ADR : Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route.
- ADN : Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par cours d'eau intérieurs.
- RID : Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par rail.
- IATA : Association du transport aérien international
- ICAO-TI : Instructions techniques relatives au transport en toute sécurité des marchandises dangereuses par air.
- IMDG : Code maritime international des marchandises dangereuses. MPT : Moyenne pondérée dans le temps
- ATE : Valeur estimée de toxicité aiguë
- EC : Numéro de référence dans l'UE
- CAS : Numéro « Chemical Abstracts Service ».
- LD50 : Substance causant 50 % (la moitié) de décès dans le groupe des animaux de test (dose létale médiane).
- LC50 : Concentration de la substance causant 50 % (la moitié) de décès dans le groupe des animaux de test.
- EC50 : Concentration effective de la substance causant le maximum de 50 %.
- PBT : Substance persistante, bioaccumulable et toxique.
- vPvB : Substance fortement persistante et fortement bioaccumulable.
- GHS/CLP/SEA : Réglementation en matière de classification, d'étiquetage et d'emballage
- DNEL : Dose dérivée sans effet
- PNEC : Concentration prédite sans effet
- STOT : Toxicité pour certains organes cibles

Les acronymes cités ci-dessus ne sont pas tous référencés dans la présente fiche de données de sécurité (FDS).

Les informations contenues dans la présente fiche de sécurité ont été établies sur la base de nos connaissances à la date de publication de ce document. Ces informations ne sont données qu'à titre indicatif en vue d'aider l'utilisateur à mettre en œuvre les opérations de manipulation, fabrication, stockage, transport, distribution, mise à disposition, utilisation et élimination du produit dans des conditions satisfaisantes de sécurité, et ne sauraient donc être interprétées comme une garantie ou considérées comme des spécifications de qualité. Elles complètent les notices techniques d'utilisation mais ne les remplacent pas. Ces informations ne concernent en outre que le produit nommément désigné et, sauf indication contraire spécifique, peuvent ne pas être applicables en cas de mélange dudit produit avec d'autres substances ou utilisables pour tout procédé de fabrication. Elles ne dispensent en aucun cas l'utilisateur de s'assurer qu'il est en conformité avec l'ensemble des textes réglementant son activité.

SAFETY DATA SHEET

1. PRODUCT AND COMPANY IDENTIFICATION

Product Name

AN913VHM

Supplier **SNF INC**

PO BOX 250,

RICEBORO, GA 31323

Tel : (912) 884 3366 - Fax : (912) 884 5031

2. COMPOSITION / INFORMATION ON INGREDIENTS

Identification of the preparation

Soluble anionic polymer.

3. RISK IDENTIFICATION

Spills produce extremely slippery surfaces.

4. FIRST AID MEASURES

Inhalation

Move to fresh air.

Skin contact

Wash with soap and water as a precaution. In case of if skin or eye irritation persists, consult your doctor.

Eye contact

Rinse thoroughly with water, also under the eyes. eyelids. If irritation persists, consult your doctor.

Ingestion

The product is not considered toxic based on animal studies.

5. FIRE PROTECTION MEASURES

Extinguishing media

Water, water spray, foam, carbon dioxide, dry powder.

Special precautions

Spills produce extremely rough surfaces slippery.

**Protective Equipment
for firefighters**

No special protective equipment is required.

6. MEASURES AGAINST ACCIDENTAL USE.

Personal precautions	Not required.
Environmental precautions	Does not contaminate water.
Cleaning Methods	Do not flush with water. Clean up spill by sweeping or vacuuming and keep the material in containers for disposal. Rinse traces of uncollected material with plenty of water.

7. HANDLING AND STORAGE

Handling	Avoid contact with skin, eyes. Avoid dust formation and do not breathe it. Always wash hands after contact with the material.
Storage	Keep in a cool, dry place (0-30 degrees Celsius).

8. EXPOSURE CONTROLS / PERSONAL PROTECTION

Engineering Controls	Use existing ventilation in case of fog. Natural ventilation is adequate in the absence of fog.
-----------------------------	--

Personal protective equipment

- Breathing equipment	The use of a respirator is recommended when the dust concentration is greater than 10mg/m ³
- Hand protection	Rubber gloves.
- Eye protection	Safety glasses with side barriers. No use contact lenses.
- Skin protection	No special clothing is required.
- Hygiene	Wash hands before breaks and at the end of the work day. Handle according to good hygiene and safety practices.

9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

Form	white powder
Color	white
Odor	none
pH	4-9 to 5g/l
Melting point (°C)	Not applicable
Flash point (°C)	Not applicable
Temperature of Autoignition (°C)	Not applicable
Vapor pressure (mm Hg)	Not applicable
Density	See technical
Water solubility	See technical bulletin
Viscosity (mPa s)	See technical bulletin

10. STABILITY AND REACTIVITY

Stability	The product is stable, hazardous polymerization will not occur.
Avoid materials	Oxidizing materials may cause reactions exothermic.
Hazardous products of Decomposition	No decomposition if stored and applied to the product. as it is. Combustion of dry materials can produce gaseous hydrochloric acid, nitrogen oxides (NO _x), carbon oxides.

11. TOXICOLOGICAL INFORMATION

Acute toxicity	
- Oral	LD50/ORAL/rat>5000 mg/Kg
- Dermatological	The product is not considered toxic based on laboratory studies on animals.
- Inhalation	The product is not expected to be toxic by inhalation.

Irritation

- **Skin** Test results in rabbits show that the product does not irritate the skin.
- **Eyes** Tests performed according to the Draize technique showed that the material produces no effects on the cornea or iris, only slight conjunctival effects similar to those caused by any granular material.
- **Sensitization** The product is not expected to produce sensitization.

Chronic **toxicity** Two years of feeding studies in rats and dogs revealed no adverse health effects.

12. ECOLOGICAL INFORMATION

- **FISH** LC50/Danio rerio/96hr >100mg/L (OECD203) (based on Results obtained in tests with analogous products)
- **ALGA** EC50 /Selenastrum capricornutum/72h > 100 mg/L (OECD201) (based on results obtained in tests with analogous products)

Environmental Destination

Log Pow = 0

Bioaccumulation The product is not expected to bioaccumulate.

Persistence / degradability Not bio-degradable

13. DISPOSITION CONSIDERATIONS

Waste disposal / unused products In accordance with federal regulations, and local products.

Contaminated packaging: They can be used in landfills or incinerated at accordance with local legislation.

14. TRANSPORTATION INFORMATION

Not regulated by DOT.

SNF

FLOERGER

SNF FLOERGER DE MEXICO, S.A. DE C.V.
WORLD TRADE CENTER CD DE MEXICO
MONTECITO 38 PISO 36 OFICINA 4
COL. NÁPOLES C.P. 03810 MEXICO D.F.
TEL. (525) 488 08 82
FAX (525) 488 08 97

15. REGULATORY INFORMATION

RCRA Status	Not a hazardous waste
Hazardous waste number	Not applicable
Reportable Quantity (40 CFR 302)	Not Applicable
Threshold Planned Quantity (40 CFR 335)	Not Applicable

California Proposition 65 Information

The following statement is made to comply with the *California Safe Drinking Water and Toxic Enforcement Act of 1986*: This product contains a chemical known to the State of California to cause cancer: acrylamide.

Qualifications	HMIS&	NFPA
Health	1	1
Flammability	1	1
Reactivity	0	0

16. OTHER INFORMATION

Contact personRichard Rosenkoetter,
Regulatory Manager

The information provided in this MSDS is correct to the best of our knowledge and belief at the date of publication. The information given is intended only as a guide for safe handling, use, processing, storage, transportation, disposal and use, and is not considered a warranty or quality specification. The information relates only to the specific material designated and may not be contemplated in combinations with other materials or in any process unless specified in the text.

SAFETY DATA SHEET

Creation Date 23-September-2010

Revision Date 28-December-2021

Revision Number 5

1. Identification

Product Name Sodium hexametaphosphate

Cat No. : AC612170000; AC612175000

CAS-No 68915-31-1

Synonyms No information available

Recommended Use Laboratory chemicals.

Uses advised against Food, drug, pesticide or biocidal product use.

Details of the supplier of the safety data sheet

Company

Importer/Distributor
Fisher Scientific
112 Colonnade Road,
Ottawa, ON K2E 7L6,
Canada
Tel: 1-800-234-7437

Acros Organics
One Reagent Lane
Fair Lawn, NJ 07410

Manufacturer
Fisher Scientific Company
One Reagent Lane
Fair Lawn, NJ 07410
Tel: (201) 796-7100

Emergency Telephone Number For information **US** call: 001-800-ACROS-01 / **Europe** call: +32 14 57 52 11
Emergency Number **US**:001-201-796-7100 / **Europe**: +32 14 57 52 99
CHEMTREC Tel. No.**US**:001-800-424-9300 / **Europe**:001-703-527-3887

2. Hazard(s) identification

Classification

WHMIS 2015 Classification Not classified under the Hazardous Products Regulations (SOR/2015-17)

Based on available data, the classification criteria are not met

Label Elements

None required

3. Composition/Information on Ingredients

Component	CAS-No	Weight %
Polyphosphoric acids, sodium salts	68915-31-1	>95

4. First-aid measures

Eye Contact	Rinse immediately with plenty of water, also under the eyelids, for at least 15 minutes. Get medical attention.
Skin Contact	Wash off immediately with plenty of water for at least 15 minutes. Get medical attention immediately if symptoms occur.
Inhalation	Remove to fresh air. Get medical attention immediately if symptoms occur.
Ingestion	Clean mouth with water and drink afterwards plenty of water. Get medical attention if symptoms occur.
Most important symptoms/effects Notes to Physician	None reasonably foreseeable. Treat symptomatically

5. Fire-fighting measures

Unsuitable Extinguishing Media	No information available
Flash Point	Not applicable
Method -	No information available
Autoignition Temperature	No information available
Explosion Limits	
Upper	No data available
Lower	No data available
Sensitivity to Mechanical Impact	No information available
Sensitivity to Static Discharge	No information available

Specific Hazards Arising from the Chemical

Keep product and empty container away from heat and sources of ignition.

Hazardous Combustion Products

Oxides of phosphorus. Sodium oxides.

Protective Equipment and Precautions for Firefighters

As in any fire, wear self-contained breathing apparatus pressure-demand, MSHA/NIOSH (approved or equivalent) and full protective gear.

NFPA

Health
1

Flammability
1

Instability
0

Physical hazards
N/A

6. Accidental release measures

Personal Precautions	Ensure adequate ventilation. Use personal protective equipment as required. Avoid dust formation.
Environmental Precautions	Should not be released into the environment.

Methods for Containment and Clean Up Sweep up and shovel into suitable containers for disposal. Avoid dust formation.

7. Handling and storage

Handling	Wear personal protective equipment/face protection. Ensure adequate ventilation. Avoid contact with skin, eyes or clothing. Avoid ingestion and inhalation. Avoid dust formation.
Storage.	Keep containers tightly closed in a dry, cool and well-ventilated place.

8. Exposure controls / personal protection

Exposure Guidelines

This product does not contain any hazardous materials with occupational exposure limits established by the region specific regulatory bodies.

Engineering Measures

None under normal use conditions.

Personal protective equipment

Eye Protection

Wear appropriate protective eyeglasses or chemical safety goggles as described by OSHA's eye and face protection regulations in 29 CFR 1910.133 or European Standard EN166.

Hand Protection

Wear appropriate protective gloves and clothing to prevent skin exposure.

Glove material	Breakthrough time	Glove thickness	Glove comments
Natural rubber Nitrile rubber Neoprene PVC	See manufacturers recommendations	-	Splash protection only

Inspect gloves before use. observe the instructions regarding permeability and breakthrough time which are provided by the supplier of the gloves. (Refer to manufacturer/supplier for information) gloves are suitable for the task: Chemical compatibility, Dexterity, Operational conditions, User susceptibility, e.g. sensitisation effects, also take into consideration the specific local conditions under which the product is used, such as the danger of cuts, abrasion. gloves with care avoiding skin contamination.

Respiratory Protection

No protective equipment is needed under normal use conditions.

Recommended Filter type: Particle filter

Environmental exposure controls

No information available.

Hygiene Measures

Handle in accordance with good industrial hygiene and safety practice. Keep away from food, drink and animal feeding stuffs. Do not eat, drink or smoke when using this product. Remove and wash contaminated clothing and gloves, including the inside, before re-use. Wash hands before breaks and after work.

9. Physical and chemical properties

Physical State	Solid
Appearance	White
Odor	Odorless
Odor Threshold	No information available
pH	6.0-7.7
Melting Point/Range	600 - 640 °C / 1112 - 1184 °F
Boiling Point/Range	No information available
Flash Point	Not applicable
Evaporation Rate	Not applicable
Flammability (solid,gas)	No information available
Flammability or explosive limits	
Upper	No data available
Lower	No data available
Vapor Pressure	No information available

Vapor Density	Not applicable
Specific Gravity	No information available
Bulk Density	0.8 - 1.5 Kg/L
Solubility	Soluble
Partition coefficient; n-octanol/water	No data available
Autoignition Temperature	No information available
Decomposition Temperature	No information available
Viscosity	Not applicable
Molecular Formula	Na ₆ P ₆ O ₁₈
Molecular Weight	611.77
VOC Content(%)	0

10. Stability and reactivity

Reactive Hazard	None known, based on information available
Stability	Stable under normal conditions.
Conditions to Avoid	Incompatible products. Excess heat. Avoid dust formation.
Incompatible Materials	Strong oxidizing agents
Hazardous Decomposition Products	Oxides of phosphorus, Sodium oxides
Hazardous Polymerization	Hazardous polymerization does not occur.
Hazardous Reactions	None under normal processing.

11. Toxicological information

Acute Toxicity

Product Information Component Information

Component	LD50 Oral	LD50 Dermal	LC50 Inhalation
Polyphosphoric acids, sodium salts	LD50 = 3053 mg/kg (Rat)	Not listed	Not listed

Toxicologically Synergistic Products No information available

Delayed and immediate effects as well as chronic effects from short and long-term exposure

Irritation	No information available
Sensitization	No information available
Carcinogenicity	The table below indicates whether each agency has listed any ingredient as a carcinogen.

Component	CAS-No	IARC	NTP	ACGIH	OSHA	Mexico
Polyphosphoric acids, sodium salts	68915-31-1	Not listed	Not listed	Not listed	Not listed	Not listed

Mutagenic Effects	No information available
Reproductive Effects	No information available.
Developmental Effects	No information available.
Teratogenicity	No information available.
STOT - single exposure	None known
STOT - repeated exposure	None known

Aspiration hazard	No information available
Symptoms / effects, both acute and delayed	No information available
Endocrine Disruptor Information	No information available
Other Adverse Effects	The toxicological properties have not been fully investigated.

12. Ecological information

Ecotoxicity

Do not empty into drains. .

Persistence and Degradability	Soluble in water Persistence is unlikely based on information available.
Bioaccumulation/ Accumulation	No information available.
Mobility	Will likely be mobile in the environment due to its water solubility.

13. Disposal considerations

Waste Disposal Methods	Chemical waste generators must determine whether a discarded chemical is classified as a hazardous waste. Chemical waste generators must also consult local, regional, and national hazardous waste regulations to ensure complete and accurate classification.
-------------------------------	---

14. Transport information

DOT	Not regulated
TDG	Not regulated
IATA	Not regulated
IMDG/IMO	Not regulated

15. Regulatory information

All of the components in the product are on the following Inventory lists: China X = listed Australia U.S.A. (TSCA) Canada (DSL/NDL) Europe (EINECS/ELINCS/NLP) Australia (AICS) Korea (KECL) China (IECSC) Japan (ENCS) Philippines (PICCS)

International Inventories

Component	CAS-No	DSL	NDL	TSCA	TSCA Inventory notification - Active-Inactive	EINECS	ELINCS	NLP
Polyphosphoric acids, sodium salts	68915-31-1	X	-	X	ACTIVE	272-808-3	-	-

Component	CAS-No	IECSC	KECL	ENCS	ISHL	TCSI	AICS	NZIoC	PICCS
Polyphosphoric acids, sodium salts	68915-31-1	X	KE-29044	X	X	X	X	X	X

Legend:

X - Listed '-' - Not Listed

KECL - NIER number or KE number (<http://ncis.nier.go.kr/en/main.do>)

DSL/NDL - Canadian Domestic Substances List/Non-Domestic Substances List

TSCA - United States Toxic Substances Control Act Section 8(b) Inventory

EINECS/ELINCS - European Inventory of Existing Commercial Chemical Substances/EU List of Notified Chemical Substances

IECSC - Chinese Inventory of Existing Chemical Substances

KECL - Korean Existing and Evaluated Chemical Substances

ENCS - Japanese Existing and New Chemical Substances

AICS - Australian Inventory of Chemical Substances

PICCS - Philippines Inventory of Chemicals and Chemical Substances

Canada

SDS in compliance with provisions of information as set out in Canadian Standard - Part 4, Schedule 1 and 2 of the Hazardous Products Regulations (HPR) and meets the requirements of the HPR (Paragraph 13(1)(a) of the Hazardous Products Act (HPA)).

Other International Regulations

Authorisation/Restrictions according to EU REACH

Safety, health and environmental regulations/legislation specific for the substance or mixture

Component	CAS-No	OECD HPV	Persistent Organic Pollutant	Ozone Depletion Potential	Restriction of Hazardous Substances (RoHS)
Polyphosphoric acids, sodium salts	68915-31-1	Listed	Not applicable	Not applicable	Not applicable

Component	CAS-No	Seveso III Directive (2012/18/EC) - Qualifying Quantities for Major Accident Notification	Seveso III Directive (2012/18/EC) - Qualifying Quantities for Safety Report Requirements	Rotterdam Convention (PIC)	Basel Convention (Hazardous Waste)
Polyphosphoric acids, sodium salts	68915-31-1	Not applicable	Not applicable	Not applicable	Not applicable

16. Other information

Prepared By

Regulatory Affairs
Thermo Fisher Scientific
Email: EMSDS.RA@thermofisher.com

Creation Date

23-September-2010

Revision Date

28-December-2021

Print Date

28-December-2021

Revision Summary

This document has been updated to comply with the requirements of WHMIS 2015 to align with the Globally Harmonised System (GHS) for the Classification and Labelling of Chemicals.

Disclaimer

The information provided in this Safety Data Sheet is correct to the best of our knowledge, information and belief at the date of its publication. The information given is designed only as a guidance for safe handling, use, processing, storage, transportation, disposal and release and is not to be considered a warranty or quality specification. The information relates only to the specific material designated and may not be valid for such material used in combination with any other materials or in any process, unless specified in the text

End of SDS

SECTION I: IDENTIFICATION OF PRODUCT

COMPANY: **Diversity Technologies Corp.** DATE: **August 5, 2012**
8750 – 53rd Ave. PHONE: **780-440-4923**
Edmonton, AB T6E 5G2 FAX: **780-469-1899**

PRODUCT NAME: **Depramin**
(C, 96, 158, 170, 267, & 347)

PRODUCT USE: Depressant
CHEMICAL FAMILY: Sodium CAS #: 9004-32-4
carboxymethylcellulose

WORKPLACE HAZARDOUS MATERIALS INFORMATION SYSTEM (WHMIS)

WHMIS CLASSIFICATION: Not a controlled product under WHMIS
WORKPLACE HAZARD: Treat as a nuisance dust: Risk of dust explosion.

TRANSPORTATION OF DANGEROUS GOODS (TDG)

PROPER SHIPPING NAME: Not regulated under TDG.
TDG CLASSIFICATION: Not applicable.
UN NUMBER (PIN): Not applicable.
PACKING GROUP: Not applicable.

SECTION II: HAZARDOUS INGREDIENTS

INGREDIENT	% (w/w)	CAS NUMBER	LD ₅₀ Oral-Rat	LC ₅₀ Inhal-Rat	ACGIH-TLV
Contains no WHMIS controlled ingredients					

SECTION III: HEALTH HAZARDS

ROUTE OF ENTRY: ☐ EYE CONTACT ☐ SKIN CONTACT ☐ INHALATION ☐ INGESTION
EYE CONTACT: May cause irritation with tearing and reddening of eyes.
SKIN CONTACT: Prolonged or repeated contact may cause irritation with itching and reddening.
INGESTION: This product is expected to have a low order of oral toxicity. However, overexposure may cause gastrointestinal tract irritation.
INHALATION: Inhaling dust may cause irritation of upper respiratory tract.
CARCINOGENICITY: This product and its ingredients are not listed by IARC, ACGIH, OSHO and EPA.
TERATOGENICITY: No information available.
REPRODUCTIVE TOXICITY: No information available.
MUTAGENICITY: No information available.
SYNERGISTIC PRODUCTS: No information available.

SECTION IV: FIRST AID MEASURES

SKIN CONTACT:	Remove contaminated clothing, shoes and equipment. Wash all affected areas with soap and water. Get medical attention if irritation occurs and persists.
EYE CONTACT:	Flush with gently flowing warm water for 15 minutes or until irritation ceases. Remove contact lenses, if present. Hold eyelids open to ensure thorough flushing. If irritation persists obtain medical attention.
INGESTION:	Do not induce vomiting unless directed to do so by medical personnel. If victim is fully conscious, rinse mouth and give one to two glasses of water to dilute material in stomach. Never give anything by mouth if patient is unconscious, rapidly losing consciousness or convulsing. Obtain medical attention if health effects occur or if large quantity of product has been swallowed.
INHALATION:	Move to fresh air. Apply oxygen or artificial respiration if required. If breathing difficulties, or distress, continue obtain medical attention.

SECTION V: PHYSICAL DATA

APPEARANCE AND ODOUR:	Off-white hygroscopic powder; odourless
SPECIFIC GRAVITY:	No data
BOILING POINT (°C):	Not applicable
MELTING POINT (°C):	Not applicable
SOLUBILITY IN WATER:	Limited by viscosity pH: 7-10 (1% solution)
PERCENT VOLATILE BY VOLUME:	Not applicable
EVAPORATION RATE:	Not applicable
VAPOUR PRESSURE (mmHg):	Not applicable
VAPOUR DENSITY (air = 1):	Not applicable
BULK DENSITY:	450-900 kg/m ³

SECTION VI: FIRE AND EXPLOSION HAZARD DATA

FLASH POINT:	Not applicable
FLAMMABLE LIMITS:	Upper = 0.8% (200 mesh) Lower = 0.6% (200 mesh)
EXTINGUISHING MEDIA:	Water spray, foam, dry chemical or CO ₂ .
SPECIAL FIRE FIGHTING PROCEDURES:	Self-contained breathing apparatus required for fire fighting personnel. Move containers from fire area, or cool with water spray, if possible.
UNUSUAL FIRE AND EXPLOSION HAZARDS:	Material becomes very slippery when contacted with water. May form explosive dust-air mixtures. In all cases storage systems should be electrically grounded and attention paid to eliminating likely sources of ignition.

HAZARDOUS COMBUSTION PRODUCTS: No information available.

SECTION VII: REACTIVITY DATA

STABILITY:	☒ STABLE	☐ UNSTABLE
INCOMPATIBILITY (CONDITIONS TO AVOID):	Avoid creating dust clouds.	
CONDITIONS OF REACTIVITY:	Not known.	
HAZARDOUS DECOMPOSITION PRODUCTS:	Oxides of carbon on combustion.	
HAZARDOUS POLYMERIZATION:	☒ WILL NOT OCCUR	☐ MAY OCCUR

SECTION VIII: PREVENTIVE MEASURES

SPECIAL PROTECTION INFORMATION

RESPIRATORY PROTECTION:	Suggest dust mask; nuisance dust.
VENTILATION:	Local exhaust ventilation required if dust clouds generated during handling.
PROTECTIVE GLOVES:	Not required.
EYE PROTECTION:	Suggest safety glasses with side shields or goggles.
OTHER PROTECTIVE EQUIPMENT (SPECIFY):	Ensure eyewash station and emergency shower are available.

PRECAUTIONS TO BE TAKEN IN HANDLING AND STORING

WARNING: Static charges generated by emptying package in or near flammable vapours may cause flash fire. May form flammable dust-air mixture. Avoid ignition sources such as sparks and flame. Ground all equipment. In addition, when emptying bags where flammable vapours may be present, blanket vessel with inert gas, ground operator, and pour material slowly into conductive, grounded chute. Dust mask and safety goggles are recommended as airborne powder may be irritating to eyes and nose. Launder contaminated clothing before reuse. Store in a dry place and prevent tearing as product will pick-up ambient moisture. Do not store with oxidizing agents.

STEPS TO BE TAKEN IN CASE THE MATERIAL IS SPILLED OR RELEASED

Use appropriate safety equipment. Eliminate ignition sources. Use non-sparking tools. Use vacuum, if possible, to reduce dust generation during clean-up. Collect uncontaminated material for repackaging. Collect contaminated material in an approved container for disposal.

WASTE DISPOSAL METHOD

Dispose of material in accordance with federal, provincial and local regulations. It may be possible to landfill this material in some areas; check with local operator. It is the responsibility of the end user to determine if material meets the criteria of hazardous waste at the time of disposal.

SECTION IX: PREPARATION

The information contains herein is given in good faith, but no warranty, expressed or implied, is made.

DATE ISSUED: **August 5, 2012**
SUPERSEDES: August 3, 2009
BY: Regulatory Affairs
PHONE: 780-440-4923

Material Safety Data Sheet



1. IDENTIFICATION OF THE MATERIAL AND SUPPLIER

Product Name: FLOCCULANT CAKE ALSO KNOWN AS FLOCCULANT WASTE

Recommended Use: Waste material.

Supplier: Orica Australia Pty Ltd
ABN: 99 004 117 828
Street Address: 1 Nicholson Street,
Melbourne 3000
Australia
Telephone Number: +61 3 9665 7111
Facsimile: +61 3 9665 7937
Emergency Telephone: **1 800 033 111 (ALL HOURS)**

2. HAZARDS IDENTIFICATION

Based on available information, not classified as hazardous according to criteria of Safe Work Australia; NON-HAZARDOUS SUBSTANCE.

Not classified as Dangerous Goods by the criteria of the Australian Dangerous Goods Code (ADG Code) for transport by Road and Rail; NON-DANGEROUS GOODS.

Poisons Schedule: None allocated.

3. COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENTS

Components	CAS Number	Proportion	Risk Phrases
Water	7732-18-5	20-40%	-
Other non-hazardous components	-	>40%	-
Ammonium nitrate	6484-52-2	5-10%	-

4. FIRST AID MEASURES

Inhalation:

Remove victim from area of exposure - avoid becoming a casualty. Remove contaminated clothing and loosen remaining clothing. Allow patient to assume most comfortable position and keep warm. Keep at rest until fully recovered. Seek medical advice if effects persist.

Skin Contact:

If skin contact occurs, remove contaminated clothing and wash skin with running water. If irritation occurs seek medical advice. Launder contaminated clothing before reuse. Nitrates can be absorbed through cut, burnt or broken skin.

Eye Contact:

If in eyes, wash out immediately with water. In all cases of eye contamination it is a sensible precaution to seek medical advice.

Ingestion:

Rinse mouth with water. If swallowed, do NOT induce vomiting. Give a glass of water. Seek medical advice.

Product Name: FLOCCULANT CAKE ALSO KNOWN AS
FLOCCULANT WASTE
Substance No: 000000009316

Issued: 04/03/2010

Version: 3

Material Safety Data Sheet



Medical attention and special treatment:

Treat symptomatically. May cause methemoglobinemia. Nitrates can have a smooth muscle relaxant effect which can result in hypotension.

5. FIRE FIGHTING MEASURES

Hazards from combustion products:

Decomposes on heating emitting toxic fumes.

Precautions for fire fighters and special protective equipment:

Fire fighters to wear self-contained breathing apparatus and suitable protective clothing if risk of exposure to products of decomposition. If safe to do so, remove containers from path of fire.

Suitable Extinguishing Media:

Normal foam, dry agent (carbon dioxide, dry chemical powder).

6. ACCIDENTAL RELEASE MEASURES

Emergency procedures:

Clear area of all unprotected personnel. Work up wind or increase ventilation. Wear protective equipment to prevent skin and eye contact. If contamination of sewers or waterways has occurred advise local emergency services.

Methods and materials for containment and clean up:

Wear protective equipment to prevent skin and eye contact. Cover with damp absorbent (inert material, sand or soil). Sweep or scoop up. Collect in properly labelled containers for disposal. Wash area down with excess water.

7. HANDLING AND STORAGE

Conditions for safe storage:

Keep containers in banded areas. Check bands regularly for leaks.

Precautions for safe handling:

Avoid skin and eye contact.

8. EXPOSURE CONTROLS/PERSONAL PROTECTION

Occupational Exposure Limits: No value assigned for this specific material by the National Occupational Health and Safety Commission.

Engineering controls:

Use in well ventilated areas.

Personal Protective Equipment:

The selection of PPE is dependant on a detailed risk assessment. The risk assessment should consider the work situation, the physical form of the chemical, the handling methods, and environmental factors.

Orica Personal Protection Guide No. 1, 1998: B - OVERALLS, SAFETY SHOES, SAFETY GLASSES, GLOVES.

Material Safety Data Sheet



Wear overalls, safety glasses and impervious gloves. Always wash hands before smoking, eating, drinking or using the toilet.

9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

Physical state:	Watery sludge to waxy solid cake.
Colour:	Brownish
Odour:	Slight Ammonia
Solubility:	Insoluble in water.
Specific Gravity:	0.8 - 1.1
Flash Point (°C):	N App
pH:	4 - 5

10. STABILITY AND REACTIVITY

Chemical stability:	Stable under normal conditions.
Conditions to avoid:	None known.
Incompatible materials:	Incompatible with strong alkalis.
Hazardous decomposition products:	Oxides of carbon. Oxides of nitrogen. Oxides of sulfur. Oxides of aluminium. Oxides of sodium.
Hazardous reactions:	Hazardous polymerisation will not occur.

11. TOXICOLOGICAL INFORMATION

No adverse health effects expected if the product is handled in accordance with this Safety Data Sheet and the product label. Symptoms or effects that may arise if the product is mishandled and overexposure occurs are:

Ingestion:	Swallowing can result in nausea, vomiting, diarrhoea, and abdominal pain. Swallowing large amounts may result in headaches, dizziness and a reduction in blood pressure (hypotension).
Eye contact:	May be an eye irritant.
Skin contact:	Contact with skin may result in irritation. The ammonium nitrate component of this material can be absorbed through burnt, cut or broken skin with resultant adverse effects.
Inhalation:	Material may be irritant to the mucous membranes of the respiratory tract (airways). Absorption of nitrates by inhalation, ingestion or through burnt or broken skin may cause dilation of blood vessels by direct smooth muscle relaxation and may also cause methaemoglobinaemia.

Product Name: FLOCCULANT CAKE ALSO KNOWN AS
FLOCCULANT WASTE
Substance No: 000000009316

Issued: 04/03/2010

Version: 3

Material Safety Data Sheet

**Long Term Effects:**

No information available for the product.

Toxicological Data: For the constituent AMMONIUM NITRATE:

Oral LD50 (rat): 2217 mg/kg

Following the ingestion of nitrates in humans and animals methaemoglobinaemia has occurred.

12. ECOLOGICAL INFORMATION

Ecotoxicity

Avoid contaminating waterways.

13. DISPOSAL CONSIDERATIONS

Disposal methods:

Suitable for disposal at appropriate mine site waste or dump location. Refer to Orica site management for further details/recommendations.

14. TRANSPORT INFORMATION

Road and Rail Transport

Not classified as Dangerous Goods by the criteria of the Australian Dangerous Goods Code (ADG Code) for transport by Road and Rail; NON-DANGEROUS GOODS.

Marine Transport

Not classified as Dangerous Goods by the criteria of the International Maritime Dangerous Goods Code (IMDG Code) for transport by sea; NON-DANGEROUS GOODS.

Air Transport

Not classified as Dangerous Goods by the criteria of the International Air Transport Association (IATA) Dangerous Goods Regulations for transport by air; NON-DANGEROUS GOODS.

15. REGULATORY INFORMATION

Classification:

Based on available information, not classified as hazardous according to criteria of Safe Work Australia; NON-HAZARDOUS SUBSTANCE.

Poisons Schedule:

None allocated.

16. OTHER INFORMATION

'Registry of Toxic Effects of Chemical Substances'. Ed. D. Sweet, US Dept. of Health & Human Services: Cincinnati, 2009.

This material safety data sheet has been prepared by SH&E Shared Services, Orica.

Reason(s) for Issue:

Revised Primary MSDS

Product Name: FLOCCULANT CAKE ALSO KNOWN AS
FLOCCULANT WASTE
Substance No: 000000009316

Issued: 04/03/2010

Version: 3

Material Safety Data Sheet



This MSDS summarises to our best knowledge at the date of issue, the chemical health and safety hazards of the material and general guidance on how to safely handle the material in the workplace. Since Orica Limited cannot anticipate or control the conditions under which the product may be used, each user must, prior to usage, assess and control the risks arising from its use of the material.

If clarification or further information is needed, the user should contact their Orica representative or Orica Limited at the contact details on page 1.

Orica Limited's responsibility for the material as sold is subject to the terms and conditions of sale, a copy of which is available upon request.

Product Name: FLOCCULANT CAKE ALSO KNOWN AS
FLOCCULANT WASTE
Substance No: 000000009316

Issued: 04/03/2010

Version: 3

MATERIAL SAFETY DATA SHEET

POTASSIUM AMYL XANTHATE, SOLID

1. CHEMICAL PRODUCT AND COMPANY IDENTIFICATION

Brenntag Canada Inc.
43 Jutland Rd.
Toronto, ON
M8Z 2G6
(416) 259-8231

WHMIS#: 00060600
Index: HCl0065/09B
Effective Date: 2009 June 17
Date of Revision: 2009 June 17

Website: <http://www.brenntag.ca>

EMERGENCY TELEPHONE NUMBERS (FOR EMERGENCIES INVOLVING CHEMICAL SPILLS OR RELEASE)

Toronto, ON (416) 226-6117
Edmonton, AB (780) 424-1754

Montreal, QC (514) 861-1211
Calgary, AB (403) 263-8660

Winnipeg, MB (204) 943-8827
Vancouver, BC (604) 685-5036

PRODUCT IDENTIFICATION

Product Name: Potassium Amyl Xanthate, Solid.
Chemical Name: Dithiocarbonic Acid, Amyl Ester, Potassium Salt.
Synonyms: Potassium Amyl Xanthate; KAX 51; Potassium Pentyl Xanthate; Potassium Pentyl Xanthogenate.
Chemical Family: Salts of carbonic acid dithio esters.
Molecular Formula: C₆H₁₁OS₂. K.
Product Use: Flotation agent.

WHMIS Classification / Symbol:

B-6: Reactive Flammable Material
D-1B: Toxic (acute effects)
D-2B: Toxic (skin and eye irritant)



READ THE ENTIRE MSDS FOR THE COMPLETE HAZARD EVALUATION OF THIS PRODUCT.

2. COMPOSITION, INFORMATION ON INGREDIENTS (Not Intended As Specifications)

<i>Ingredient</i>	<i>CAS#</i>	<i>ACGIH TLV</i>	<i>% Concentration</i>
Potassium Amyl Xanthate	2720-73-2	---	60 - 100
Potassium Hydroxide	1310-58-3	—	1 - 5
Isoamyl alcohol	123-51-3	100 ppm	1 - 5

Decomposition Product: Carbon disulfide 75-15-0 10 ppm (Skin)

Skin Notation: Contact with skin, eyes and mucous membranes can contribute to the overall exposure and may invalidate the TLV. Consider measures to prevent absorption by these routes.

3. HAZARDS IDENTIFICATION

EMERGENCY OVERVIEW:

May be fatal if swallowed. Harmful if inhaled. Causes skin and eye irritation. Dust is irritating to respiratory tract. See "Other Health Effects" Section. Heating of solid xanthate or aging or heating of solutions will cause formation of Carbon Bisulfide. Upon exposure of solid xanthates to moisture and/or heat, decomposition results and spontaneous combustion can occur. Contact of solid xanthate with moist air has resulted in ignition. (4) Emits a flammable gas upon contact with water or water vapour. Can decompose at high temperatures forming toxic gases. Powdered material may form explosive dust-air mixtures. Contents may develop pressure on prolonged exposure to heat.

POTENTIAL HEALTH EFFECTS

Inhalation:	Excessive contact with powder may cause drying of mucous membranes of nose and throat due to absorption of moisture and oils. Product may cause severe irritation of the nose, throat and respiratory tract. Repeated and/or prolonged exposures may cause productive cough, running nose, bronchopneumonia, pulmonary oedema (fluid build-up in lungs), and reduction of pulmonary function. Irritation of mucous membranes and respiratory tract is possible following exposure to the decomposition product. (3) See "Other Health Effects" Section.
Skin Contact:	Brief contact with the dust causes irritation. Greater exposure causes severe burns. In the presence of moisture (perspiration, humidity, tears), the dust dissolves to form a corrosive solution which may cause burns. (3) Potassium Amyl Xanthate may cause symptoms of skin irritation such as reddening, swelling, rash, scaling, or blistering. May cause defatting, drying and cracking of the skin.
Skin Absorption:	May be absorbed through intact skin. See Section 11, "Other Studies Relevant to Material".
Eye Contact:	This product may cause irritation, redness and possible damage due to abrasiveness. Brief contact with the dust causes irritation. Greater exposure causes severe burns. In the presence of moisture (perspiration, humidity, tears), the dust dissolves to form a corrosive solution which may cause burns. (3) Irritation of the eyes is possible following exposure to the decomposition product. (3)
Ingestion:	Ingestion is not a likely route of exposure. This product causes irritation, a burning sensation of the mouth and throat and abdominal pain.
Other Health Effects:	Effects (irritancy) on the skin and eyes may be delayed, and damage may occur without the sensation or onset of pain. Strict adherence to first aid measures following any exposure is essential. May cause cardiovascular effects, liver damage, peripheral nervous system (PNS) effects or central nervous system (CNS) depression. CNS depression is characterized by headache, dizziness, drowsiness, nausea, vomiting and incoordination. Severe overexposures may lead to coma and possible death due to respiratory failure. Peripheral Neuropathy is a progressive disorder of the nervous system characterized by sensory and motor abnormalities, muscle spasms, weakness and pain in the arms and legs, numbness and tingling of the fingers and toes and paralysis. Liver damage is characterized by the loss of appetite, jaundice (yellowish skin colour), and occasional pain in the upper left-hand side of the abdomen. Potassium Amyl Xanthate: Symptoms of potassium poisoning may occur. These include slow heartbeat, accelerated breathing, muscle weakness and, in severe cases, paralysis. Vapours of the decomposition products of Xanthates (Carbon Bisulphide) can cause severe disturbances of mood and behaviour, including excitation, anger and violent dreams. High concentrations of vapours can cause death. (4) Carbon Bisulphide: Contact with moisture in the body by inhalation may yield sodium hydroxide (corrosive) and 2-mercaptobenzothiazole, an irritant. (4) Contact with acids will liberate carbon disulphide. (3) Exposure to carbon disulphide (500 to 1000 ppm) may cause severe mood and personality disturbances, including excitability, confusion, irritability, uncontrollable anger, bizarre dreams, insomnia, psychosis and suicide. Exposure to carbon disulphide at 4800 ppm for thirty minutes results in coma and may be fatal. Carbon disulphide is readily absorbed through intact skin. Chronic exposure to carbon disulphide produces central and peripheral nervous system, cardiovascular, gastrointestinal, kidney, endocrine and eye disorders. (4) Potassium Hydroxide: Exposure to very low doses, even for a short period of time, has produced extensive damage to the esophagus, stomach and intestine extending into surrounding tissues, as well as hyperexcitability followed by apathy and weakness. In some cases, death has resulted from hemorrhage, adhesions or perforation. Following esophageal damage, strictures have frequently developed in surviving animals. (4)

4. FIRST AID MEASURES

FIRST AID PROCEDURES

Inhalation:	Move victim to fresh air. Give artificial respiration ONLY if breathing has stopped. Give cardiopulmonary resuscitation (CPR) if there is no breathing AND no pulse. Obtain medical advice IMMEDIATELY.
Skin Contact:	Prompt removal of the material from the skin is essential. Remove all contaminated clothing and immediately wash the exposed areas with copious amounts of soap and water for a minimum of 30 minutes or up to 60 minutes for critical body areas. Immerse the exposed part immediately in ice water to relieve pain and to prevent swelling and blistering. Place cold packs, ice or wet cloths on the burned area if immersion is not possible. Cover the exposed part with a clean, preferably sterile, lint-free dressing. Obtain medical attention IMMEDIATELY and monitor breathing and treat for shock for severe exposure.
Eye Contact:	Immediately flush eyes with running water for a minimum of 20 minutes. Hold eyelids open during flushing. If irritation persists, repeat flushing. Obtain medical attention IMMEDIATELY.

Ingestion:	Do not attempt to give anything by mouth to an unconscious person. If victim is alert and not convulsing, rinse mouth out and give 1/2 to 1 glass of water to dilute material. IMMEDIATELY contact local Poison Control Centre. Vomiting should only be induced under the direction of a physician or a poison control centre. If spontaneous vomiting occurs, have victim lean forward with head down to avoid breathing in of vomitus, rinse mouth and administer more water. IMMEDIATELY transport victim to an emergency facility.
Note to Physicians:	Treat symptomatically. Medical conditions that may be aggravated by exposure to this product include neurological and cardiovascular disorders, diseases of the skin, eyes or respiratory tract, preexisting liver and kidney disorders.

5. FIRE-FIGHTING MEASURES

<i>Flashpoint (°C)</i>	<i>Autolgnition Temperature (°C)</i>	<i>Flammability Limits in Air (%):</i>	
		<i>LEL</i>	<i>UEL</i>
-30. (Carbon Disulphide)	90.1 (Carbon Disulphide)	1.25. (Carbon Disulphide)	50. (Carbon Disulphide)
Flammability Class (WHMIS):	B-6: Reactive Flammable Material		
Hazardous Combustion Products:	Thermal decomposition products are toxic and may include Carbon Disulphide, Potassium sulphide, carbonyl sulphide, Amyl Alcohols, oxides of carbon, sulphur, potassium and irritating gases.		
Unusual Fire or Explosion Hazards:	This product may be capable of forming flammable dust clouds in air. Avoid accumulation and dispersion of dust to reduce explosion potential. Spilled material may cause floors and contact surfaces to become slippery. Heating of solid xanthate or aging or heating of solutions will cause formation of Carbon Bisulfide. Upon exposure of solid xanthates to moisture and/or heat, decomposition results and spontaneous combustion can occur. Contact of solid xanthate with moist air has resulted in ignition. (4) Vapours from this product are heavier than air, and may "travel" to a source of ignition (eg. pilot lights, heaters, electric motors) some distance away, and then "flash back" to the point of product discharge causing an explosion and fire. Enforce NO SMOKING rules.		
Sensitivity to Mechanical Impact:	Not expected to be sensitive to mechanical impact.		
Rate of Burning:	Not available.		
Explosive Power:	Not available.		
Sensitivity to Static Discharge:	If product has come into contact with moisture and Carbon Bisulphide gas has evolved, then Carbon Bisulphide is expected to be sensitive to static discharge if vapours are present between the lower and upper explosive limits. (3) High voltage static electricity build-up is possible when significant quantities of dust are present.		
EXTINGUISHING MEDIA			
Fire Extinguishing Media:	Use carbon dioxide or dry chemical media for small fires. If only water is available, use it in the form of a fog. Cool containers with flooding quantities of water until well after the fire is out. Exposure to heat and moisture may cause the decomposition of xanthates to release flammable, explosive and poisonous Carbon Bisulphide vapours. (3)		
FIRE FIGHTING INSTRUCTIONS			
Instructions to the Fire Fighters:	Use water spray to cool fire-exposed containers or structures. Use water spray to disperse vapours; re-ignition is possible. Clean up immediately to eliminate slipping hazard. Do not allow to enter sewers or watercourses. Avoid accumulation and dispersion of dust to reduce explosion potential.		
Fire Fighting Protective Equipment:	Use self-contained breathing apparatus and protective clothing.		

6. ACCIDENTAL RELEASE MEASURES

Information in this section is for responding to spills, leaks or releases in order to prevent or minimize the adverse effects on persons, property and the environment. There may be specific reporting requirements associated with spills, leaks or releases, which change from region to region.

Containment and Clean-Up Procedures:	In all cases of leak or spill contact vendor at Emergency Number shown on the front page of this MSDS. Avoid accumulation and dispersion of dust to reduce explosion potential. Wear respirator, protective clothing and gloves. Spilled material may cause floors and contact surfaces to become slippery. Any recovered product can be used for the usual purpose, depending on the extent and kind of contamination. Where a package (drum or bag) is damaged and / or leaking, repair it, or place it into an over-pack drum immediately so as to avoid or minimize material loss and contamination of surrounding environment. Replace damaged containers immediately to avoid loss of material and contamination of surrounding atmosphere. Avoid dry sweeping. Do not use compressed air to clean surfaces. Vacuuming or wet sweeping is preferred. Return all material possible to container for proper disposal. Do not flush with water as aqueous solutions or powders that become wet render surfaces extremely slippery. Eliminate all sources of ignition. Collect product for recovery or disposal. For release to land, or storm water runoff, contain discharge by constructing dykes or applying inert absorbent; for release to water, utilize damming and/or water diversion to minimize the spread of contamination. Ventilate enclosed spaces. Notify applicable government authority if release is reportable or could adversely affect the environment.
--------------------------------------	---

7. HANDLING AND STORAGE

HANDLING

Handling Practices:	Avoid accumulation and dispersion of dust to reduce explosion potential. Ground and bond equipment and containers to prevent a static charge buildup. Use spark-resistant tools. Use normal "good" industrial hygiene and housekeeping practices. Clean up immediately to eliminate slipping hazard. Enforce NO SMOKING rules in area of use.
Ventilation Requirements:	See Section 8, "Engineering Controls".
Other Precautions:	Use only with adequate ventilation and avoid breathing dusts (aerosols, vapours or mists). Avoid contact with eyes, skin or clothing. Wash thoroughly with soap and water after handling. Wash contaminated clothing thoroughly before re-use. Do not use cutting or welding torches on empty drums that contained this material/product. Absorption via contact with skin, eyes and mucous membranes can contribute to the overall exposure. Consider measures to prevent absorption by these routes.

STORAGE

Storage Temperature (°C):	See below.
Ventilation Requirements:	Ventilation should be explosion proof.
Storage Requirements:	Store solid Xanthates under cool, dark, dry conditions. Liquid products must be kept cool and used as quickly as possible. (3) Store in a cool, well-ventilated area. Keep away from heat, sparks and flames. Keep containers closed. Do not expose sealed containers to temperatures above 40° C. Avoid moisture contamination. Prolonged storage may result in lumping or caking.
Special Materials to be Used for Packaging or Containers:	Materials of construction for storing the product include: carbon steel. Copper and its alloys should not be used in equipment for storage, handling or transportation. Attacks some types of rubber, plastics and coatings. Confirm suitability of any material before using.

8. EXPOSURE CONTROLS / PERSONAL PROTECTION

Recommendations listed in this section indicate the type of equipment, which will provide protection against overexposure to this product. Conditions of use, adequacy of engineering or other control measures, and actual exposures will dictate the need for specific protective devices at your workplace.

ENGINEERING CONTROLS

Engineering Controls:	Local exhaust ventilation required. Ventilation should be explosion proof. Make up air should be supplied to balance air that is removed by local or general exhaust ventilation. Avoid accumulation and dispersion of dust to reduce explosion potential. Ventilate low lying areas such as sumps or pits where dense dust may collect. Enforce NO SMOKING rules.
-----------------------	--

PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT (PPE)

Eye Protection:	Use chemical safety goggles when there is potential for eye contact. Use full face-shield and chemical safety goggles when there is potential for contact.
Skin Protection:	Gloves and protective clothing made from neoprene, PVC, polyethylene, rubber or plastic should be impervious under conditions of use. Attacks some types of rubber, plastics and coatings. Prior to use, user should confirm impermeability. Discard contaminated gloves.
Respiratory Protection:	No specific guidelines available. A NIOSH/MSHA-approved air-purifying respirator equipped with dust, mist, fume cartridges for concentrations up to 2 mg/m ³ Potassium Hydroxide. An air-supplied respirator if concentrations are higher or unknown.

Other Personal Protective Equipment:

Avoid accumulation and dispersion of dust to reduce explosion potential. Wear an impermeable apron and boots. Locate safety shower and eyewash station close to chemical handling area. Take all precautions to avoid personal contact. Clothing and footwear that is fire retardant and dissipates static electrical charges should be worn when handling flammable materials. Natural fibers (cotton, wool, leather and linen) should be selected in favour of synthetic materials (rayon, nylon and polyester).

Skin Notation: Contact with skin, eyes and mucous membranes can contribute to the overall exposure and may invalidate the TLV. Consider measures to prevent absorption by these routes.

EXPOSURE GUIDELINES

SUBSTANCE	ACGIH TLV (STEL)	OSHA PEL (TWA)	(STEL)	NIOSH REL (TWA)	(STEL)
Potassium Hydroxide	2 mg/m ³ (Ceiling)	---	---	---	2 mg/m ³ (Ceiling)
Isoamyl alcohol	125 ppm	100 ppm	---	100 ppm	125 ppm
Decomposition Product: Carbon disulfide	—	20 ppm (Skin)	30 ppm (Skin)	1 ppm (Skin)	3 ppm (Skin)

9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES (Not intended as Specifications)

Physical State:	Solid.
Appearance:	Yellow to yellow-green pellets.
Odour:	Strong, disagreeable sulphur odour.
Odour Threshold (ppm):	0.02 - 0.21(Carbon Disulphide)
Boiling Range (°C):	Not available.
Melting/Freezing Point (°C):	255 - 280 (decomposes). (3)
Vapour Pressure (mm Hg at 20° C):	Not applicable.
Vapour Density (Air = 1.0):	Not applicable.
Relative Density (g/cc):	0.7. (4)
Bulk Density:	Not applicable.
Viscosity:	Not applicable.
Evaporation Rate (Butyl Acetate = 1.0):	Not applicable.
Solubility:	Soluble in water. Hygroscopic (readily absorbs water).
% Volatile by Volume:	< 20. (3)
pH:	10.5 (10 % solution). (3)
Coefficient of Water/Oil Distribution:	Not available.
Volatile Organic Compounds (VOC):	Not applicable.
Flashpoint (°C):	-30. (Carbon Disulphide)

10. STABILITY AND REACTIVITY

CHEMICAL STABILITY

Under Normal Conditions:	Unstable. Solid Xanthates are stable when kept cool and dry. Exposure to heat causes decomposition. Acids and oxidizing agents accelerate aging. In solution, Xanthates will decompose slowly even at room temperature. (3)
Under Fire Conditions:	Flammable. This product may be capable of forming flammable dust clouds in air.
Hazardous Polymerization:	Will not occur.
Conditions to Avoid:	High temperatures, sparks, open flames and all other sources of ignition. Avoid accumulation and dispersion of dust to reduce explosion potential. Exposure to heat and moisture may cause the decomposition of xanthates to release flammable, explosive and poisonous Carbon Bisulphide vapours. (3)
Materials to Avoid:	Strong oxidizers. Lewis or mineral acids. Metal Salts. Copper and its alloys.. Contact with acids will liberate Carbon Bisulphide. Avoid moisture contamination. Contact with water or moisture will liberate Carbon Bisulphide. Mixtures or reactions of alcohols with the following materials may cause explosions: barium perchlorate, chlorine, hypochlorous acid, ethylene oxide, hexamethylene diisocyanate and other isocyanates, nitrogen tetroxide, permonosulfuric acid and tri-isobutyl aluminum. (4) Attacks some types of rubber, plastics and coatings.

Decomposition or Combustion Products: Thermal decomposition products are toxic and may include Carbon Bisulphide, Potassium sulphide, carbonyl sulphide, Amyl Alcohols, oxides of carbon, sulphur, potassium and irritating gases.

11. TOXICOLOGICAL INFORMATION

TOXICOLOGICAL DATA:

SUBSTANCE	LD50 (Oral, Rat)	LD50 (Dermal, Rabbit)	LC50 (Inhalation, Rat, 4h)
Potassium Amyl Xanthate	1 000 mg/kg (3)	---	---
Potassium Hydroxide	214 - 365 mg/kg (1,3)	1 260 mg/kg (3)	---
Isoamyl alcohol	1 300 mg/kg (1)	3 216 mg/kg (1)	---
Decomposition Product: Carbon disulfide	1 200 mg/kg (1)	---	12 500 mg/m3 (1)
Carcinogenicity Data:	The ingredient(s) of this product is (are) not classed as carcinogenic by ACGIH, IARC, OSHA or NTP.		
Reproductive Data:	This product: No adverse reproductive effects are anticipated.		
Mutagenicity Data:	No adverse mutagenic effects are anticipated.		
Teratogenicity Data:	No adverse teratogenic effects are anticipated.		
Respiratory / Skin Sensitization Data:	None known.		
Synergistic Materials:	Alcohols may interact synergistically with chlorinated solvents (example - carbon tetrachloride, chloroform, bromotrichloromethane), dithiocarbamates (example - disulfiram), dimethylnitrosamine and thioacetamide. (4) Carbon Bisulphide: The toxic effects of Carbon Bisulphide, particularly on the nervous system, can be intensified by consumption of alcohol, alcoholism, treatment with disulfiram (Antibuse), and exposure to Hydrogen Sulphide. (4) In animal studies the toxicity of Carbon Bisulphide was intensified by chemicals such as reserpine and amphetamine which act on the nervous system. (4)		
Other Studies Relevant to Material:	None known.		

12. ECOLOGICAL INFORMATION

Ecotoxicity:	Not available. May be harmful to aquatic life.
Environmental Fate:	Not available. Product has an unaesthetic appearance and can be a nuisance. Can be dangerous if allowed to enter drinking water intakes. Do not contaminate domestic or irrigation water supplies, lakes, streams, ponds, or rivers.

13. DISPOSAL CONSIDERATIONS

Deactivating Chemicals:	Not available.
Waste Disposal Methods:	This information applies to the material as manufactured. Reevaluation of the product may be required by the user at the time of disposal since the product uses, transformations, mixtures and processes may influence waste classification. Dispose of waste material at an approved (hazardous) waste treatment/disposal facility in accordance with applicable local, provincial and federal regulations. Do not dispose of waste with normal garbage, or to sewer systems.
Safe Handling of Residues:	See "Waste Disposal Methods".
Disposal of Packaging:	Empty containers retain product residue and can be dangerous. Treat package in the same manner as the product.

14. TRANSPORTATION INFORMATION

CANADIAN TDG ACT SHIPPING DESCRIPTION:

XANTHATES, Class 4.2, UN3342, PG III.

Label(s): Substances Liable To Spontaneous Combustion.

Placard: Substances Liable To Spontaneous Combustion.

ERAP Index: ----- Exemptions: None known.

US DOT CLASSIFICATION (49CFR 172.101, 172.102):

XANTHATES, Class 4.2, UN3342, PG III.

Label(s): Spontaneously Combustible. Placard: Spontaneously Combustible.

CERCLA-RQ: Not available. Exemptions: None known.

15. REGULATORY INFORMATION

CANADA

CEPA - NSNR: All constituents of this product are included on the DSL.

CEPA - NPRI: Not included.

Controlled Products Regulations Classification (WHMIS):

B-6: Reactive Flammable Material

D-1B: Toxic (acute effects)

D-2B: Toxic (skin and eye irritant)

USA

Environmental Protection Act: All constituents of this product are included on the TSCA inventory.

OSHA HCS (29CFR 1910.1200): Flammable Solid. Toxic. Skin and Eye Irritant.

NFPA: 3 Health, 4 Fire, 0 Reactivity (6)

HMIS: Health, Fire, Reactivity (Not available.)

INTERNATIONAL

Not available.

16. OTHER INFORMATION

REFERENCES

1. RTECS-Registry of Toxic Effects of Chemical Substances, Canadian Centre for Occupational Health and Safety RTECS database.
2. Clayton, G.D. and Clayton, F.E., Eds., Patty's Industrial Hygiene and Toxicology, 3rd ed., Vol. IIA,B,C, John Wiley and Sons, New York, 1981.
3. Supplier's Material Safety Data Sheet(s).
4. CHEMINFO, through "CCINFOdisc", Canadian Centre for Occupational Health and Safety, Hamilton, Ontario, Canada.
5. Guide to Occupational Exposure Values, 2007, American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, 2007.
6. Regulatory Affairs Group, Brenntag Canada Inc.
7. The British Columbia Drug and Poison Information Centre, Poison Managements Manual, Canadian Pharmaceutical Association, Ottawa, 1981.

The information contained herein is offered only as a guide to the handling of this specific material and has been prepared in good faith by technically knowledgeable personnel. It is not intended to be all-inclusive and the manner and conditions of use and handling may involve other and additional considerations. No warranty of any kind is given or implied and Brenntag Canada Inc. will not be liable for any damages, losses, injuries or consequential damages which may result from the use of or reliance on any information contained herein. This Material Safety Data Sheet is valid for three years.

To obtain revised copies of this or other Material Safety Data Sheets, contact your nearest Brenntag Canada Regional office.

British Columbia: 20333-102B Avenue, Langley, BC, V1M 3H1
Phone: (604) 513-9009 Facsimile: (604) 513-9010

Alberta: 6628 - 45 th. Street, Leduc, AB, T9E 7C9
Phone: (780) 986-4544 Facsimile: (780) 986-1070

Manitoba: 681 Plinquet Street, Winnipeg, MB, R2J 2X2
Phone: (204) 233-3416 Facsimile: (204) 233-7005

Potassium Amyl Xanthate, Solid

WHMIS Number : 00060600

Page 8 of 8

Brenntag Canada Inc.

Date of Revision: 2009 June 17

Ontario: 43 Jutland Road, Toronto, ON, M8Z 2G6

Phone: (416) 259-8231 Facsimile: (416) 259-5333

Quebec: 2900 Jean Baptiste Des., Lachine, PQ, H8T 1C8

Phone: (514) 636-9230 Facsimile: (514) 636-0877

Atlantic: A-105 Akerley Boulevard, Dartmouth, NS, B3B 1R7

Phone: (902) 468-9690 Facsimile: (902) 468-3085

Prepared By: Regulatory Affairs Group, Brenntag Canada Inc., (416) 259-8231.

Safety data sheet

Page: 1/7

BASF Safety data sheet
Date / Revised: 08.08.2011
Product: **MAGNAFLOC® 333**

Version: 2.0

(30482981/SDS_GEN_AU/EN)

Date of print 09.08.2011

1. Substance/preparation and company identification

MAGNAFLOC® 333

Use: flocculation agent

Company:

BASF Australia Limited (ABN 62 008 437 867)
Level 12, 28 Freshwater Place Southbank
Victoria 3006, AUSTRALIA
Telephone: +61 3 8855-6600
Telefax number: +61 3 8855-6511

Emergency information:

BASF Emergency Advice Number: 1800 803 440 (24h) [within Australia]
BASF Emergency Advice Number: + 61 3 8855 6666 [outside Australia]

2. Hazard identification

May cause some eye irritation which should cease after removal of the product.
May cause some irritation to the respiratory system if dust is inhaled.
Prolonged contact with the product can result in skin irritation.
This type of product has a tendency to create dust if roughly handled. It does not burn readily but as with many organic powders, flammable dust clouds may be formed in air.
Very slippery when wet.

NON-HAZARDOUS SUBSTANCE, NON-DANGEROUS GOODS

BASF Safety data sheet
Date / Revised: 08.08.2011
Product: **MAGNAFLOC® 333**

Version: 2.0

(30482981/SDS_GEN_AU/EN)

Date of print 09.08.2011

3. Composition/information on ingredients

Chemical nature

polyacrylamide

4. First-Aid Measures

General advice:

Remove contaminated clothing.

If inhaled:

If difficulties occur after dust has been inhaled, remove to fresh air and seek medical attention.

On skin contact:

Wash thoroughly with soap and water.

On contact with eyes:

Wash affected eyes for at least 15 minutes under running water with eyelids held open.

On ingestion:

Rinse mouth and then drink plenty of water. Check breathing and pulse. Place victim in the recovery position, cover and keep warm. Loosen tight clothing such as a collar, tie, belt or waistband. Seek medical attention. Never induce vomiting or give anything by mouth if the victim is unconscious or having convulsions.

Note to physician:

Symptoms: No significant symptoms are expected due to the non-classification of the product.
Treatment: Treat according to symptoms (decontamination, vital functions), no known specific antidote.

5. Fire-Fighting Measures

Suitable extinguishing media:

dry powder, foam

Unsuitable extinguishing media for safety reasons:

water jet

Additional information:

If water is used, restrict pedestrian and vehicular traffic in areas where slip hazard may exist.

Specific hazards:

carbon oxides, nitrogen oxides

The substances/groups of substances mentioned can be released in case of fire. Very slippery when wet.

Special protective equipment:

Wear a self-contained breathing apparatus.

BASF Safety data sheet
Date / Revised: 08.08.2011
Product: **MAGNAFLOC® 333**

Version: 2.0

(30482981/SDS_GEN_AU/EN)

Date of print 09.08.2011

Further information:

The degree of risk is governed by the burning substance and the fire conditions. Contaminated extinguishing water must be disposed of in accordance with official regulations.

6. Accidental Release Measures

Personal precautions:

Use personal protective clothing.

Environmental precautions:

Do not discharge into drains/surface waters/groundwater.

Methods for cleaning up or taking up:

For small amounts: Pick up with suitable appliance and dispose of.

For large amounts: Contain with dust binding material and dispose of.

Spilled product which becomes wet or spilled aqueous solution create a hazard because of their slippery nature. Avoid raising dust.

7. Handling and Storage

Handling

Breathing must be protected when large quantities are decanted without local exhaust ventilation.

Handle in accordance with good industrial hygiene and safety practice. Forms slippery surfaces with water.

Storage

Further information on storage conditions: Store in unopened original containers in a cool and dry place. Avoid wet, damp or humid conditions, temperature extremes and ignition sources.

Storage stability:

Avoid extreme heat.

The packed product is not damaged by low temperatures or by frost.

8. Exposure controls and personal protection

Components with workplace control parameters

Particles, not otherwise specified, respirable

Particles, not otherwise specified, inhalable

TWA value 10 mg/m³ (ACGIHTLV), Inhalable particles

BASF Safety data sheet
Date / Revised: 08.08.2011
Product: **MAGNAFLOC® 333**

Version: 2.0

(30482981/SDS_GEN_AU/EN)

Date of print 09.08.2011

Personal protective equipment

Respiratory protection:

Suitable respiratory protection for lower concentrations or short-term effect: Particle filter with medium efficiency for solid and liquid particles (e.g. EN 143 or 149, Type P2 or FFP2)

Hand protection:

Chemical resistant protective gloves

Suitable materials also with prolonged, direct contact (Recommended: Protective index 6, corresponding > 480 minutes of permeation time according to EN 374):

e.g. nitrile rubber (0.4 mm), chloroprene rubber (0.5 mm), polyvinylchloride (0.7 mm) and other

Supplementary note: The specifications are based on tests, literature data and information of glove manufacturers or are derived from similar substances by analogy. Due to many conditions (e.g. temperature) it must be considered, that the practical usage of a chemical-protective glove in practice may be much shorter than the permeation time determined through testing.

Manufacturer's directions for use should be observed because of great diversity of types.

Eye protection:

Safety glasses with side-shields.

Body protection:

light protective clothing

General safety and hygiene measures:

Handle in accordance with good industrial hygiene and safety practice. Ensure adequate ventilation.

Wearing of closed work clothing is recommended.

9. Physical and Chemical Properties

Form: powder
Colour: off-white
Odour: odourless

Melting point:

The substance / product decomposes
therefore not determined.

Flash point:

not applicable

Ignition temperature:

350 °C
> 530 °C

Explosion hazard:

not explosive

Fire promoting properties: not fire-propagating

Bulk density:

approx. 750 kg/m³

Solubility in water:

Forms a viscous solution.

Other Information:

If necessary, information on other physical and chemical parameters is indicated in this section.

BASF Safety data sheet
Date / Revised: 08.08.2011
Product: **MAGNAFLOC® 333**

Version: 2.0

(30482981/SDS_GEN_AU/EN)

Date of print 09.08.2011

10. Stability and Reactivity

Conditions to avoid:
Avoid extreme temperatures. Avoid humidity.

Substances to avoid:
strong acids, strong bases, strong oxidizing agents

Corrosion to metals: No corrosive effect on metal.

Hazardous reactions:
The product is not a dust explosion risk as supplied; however the build-up of fine dust can lead to a risk of dust explosions.

No hazardous decomposition products if stored and handled as prescribed/indicated.

11. Toxicological Information

Acute toxicity

LD50 rat (oral): > 2,000 mg/kg (OECD Guideline 401)

Irritation

Primary skin irritation rabbit: non-irritant (OECD Guideline 404)

Primary irritations of the mucous membrane rabbit: non-irritant

Sensitization

Non-sensitizing.

Other relevant toxicity information

The product has not been tested. The statements on toxicology have been derived from products of a similar structure and composition.

12. Ecological Information

Ecotoxicity

Toxicity to fish:
LC50 (96 h) > 100 mg/l, *Oncorhynchus mykiss* (static)
(under static conditions in the presence of 10 mg/L humic acid)

Aquatic invertebrates:
LC50 (48 h) > 100 mg/l, *Arcatia tonsa*

BASF Safety data sheet
Date / Revised: 08.08.2011
Product: **MAGNAFLOC® 333**

Version: 2.0

(30482981/SDS_GEN_AU/EN)

Date of print 09.08.2011

Mobility

| Information on: Polyacrylamide

Assessment transport between environmental compartments:

| Adsorption to solid soil phase is expected.
-----**Persistence and degradability**

| Information on: Polyacrylamide

Elimination information:

| Not readily biodegradable (by OECD criteria).
-----**Bioaccumulation potential**

Assessment bioaccumulation potential:

Based on its structural properties, the polymer is not biologically available. Accumulation in organisms is not to be expected.

Additional information

Other ecotoxicological advice:

The product has not been tested. The statements on ecotoxicology have been derived from products of a similar structure and composition.

13. Disposal Considerations

Dispose of in accordance with national, state and local regulations.

Contaminated packaging:

Packs that cannot be cleaned should be disposed of in the same manner as the contents.

Uncontaminated packaging can be re-used.

14. Transport Information**Domestic transport:**

Not classified as a dangerous good under transport regulations

Sea transport

IMDG

Not classified as a dangerous good under transport regulations

Air transport

IATA/ICAO

Not classified as a dangerous good under transport regulations

BASF Safety data sheet
Date / Revised: 08.08.2011
Product: **MAGNAFLOC® 333**

Version: 2.0

(30482981/SDS_GEN_AU/EN)

Date of print 09.08.2011

15. Regulatory Information

Poisons Schedule: Not scheduled

Regulations of the European union (Labelling)

Directive 1999/45/EC ('Preparation Directive'):

The product does not require a hazard warning label in accordance with EC Directives.

Other regulations

Registration status:

AICS, AU released / listed

16. Other Information

Due to the merger of CIBA and BASF Group all Material Safety Data Sheets have been reassessed on the basis of consolidated information. This may have resulted in changes of the Material Safety Data Sheets. In case you have questions concerning such changes please contact us at the address mentioned in Section I.

Vertical lines in the left hand margin indicate an amendment from the previous version.

The data contained in this safety data sheet are based on our current knowledge and experience and describe the product only with regard to safety requirements. The data do not describe the product's properties (product specification). Neither should any agreed property nor the suitability of the product for any specific purpose be deduced from the data contained in the safety data sheet. It is the responsibility of the recipient of the product to ensure any proprietary rights and existing laws and legislation are observed.



Material Safety Data Sheet

OSHA / ANSI Z400.1-2004 Compliant

MSDS date: 07-Oct-2005

NFPA Rating: Health: 0 Flammability: 1 Instability: 0
HMS Rating: Health: 0 Flammability: 1 Physical Hazard: 0 Personal Protection: X

1. PRODUCT AND COMPANY IDENTIFICATION

Product Name: MAGNAFLOC 342
Product Number: 2506405
Chemical Family: Copolymer of sodium acrylate and acrylamide.
Manufacturer/Supplier: Ciba Specialty Chemicals Corporation
2301 Wilroy Road
Suffolk, VA 23434
8:30am - 5pm Phone Number: 1-757-538-3700
MSDS Request Line (voicemail): 1-800-431-2360
Customer Service/Product Information 1-800-322-3885

Emergency 24-Hour Health/Environmental Phone: 1-800-873-1138

2. HAZARDS IDENTIFICATION

EMERGENCY OVERVIEW

Physical Form: Granular powder
Color: White
Odor: Little or no
Health: This product has no known adverse effect on human health.
Physical Hazards: Organic powders may be capable of generating static discharges and creating explosive mixtures in air. Handle with caution., Slip hazard when wet, Refer to MSDS Section 7 for Dust Explosion information. .

OSHA Hazardous Substance: This material is classified as not hazardous under OSHA regulations.
Primary Route(s) of Entry: Ingestion, Skin, Inhalation, Eyes.

3. COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENTS

NON-HAZARDOUS COMPONENTS

Components	CAS Number	Weight %
Urea	67-13-6	4-6
Water	7732-18-5	4-6
2-Propenoic acid, sodium salt, polymer with 2-propenamide	25085-02-3	88-92

4. FIRST AID MEASURES

- Eyes:** Flush the eye(s) with lukewarm, gently flowing water for 5-10 minutes or until the chemical is removed. Get medical attention if irritation persists.
- Skin:** Wash off immediately with soap and plenty of water. Get medical attention if irritation occurs. If clothing is contaminated, remove and launder before reuse.
- Inhalation:** Remove to fresh air, if not breathing give artificial respiration. If breathing is difficult, give oxygen and get immediate medical attention.
- Ingestion:** Do not induce vomiting. If vomiting occurs naturally, have casualty lean forward to reduce the risk of aspiration. Seek medical attention immediately.

5. FIRE FIGHTING MEASURES

- Fire Fighting Measures:** Standard procedure for chemical fires. The product becomes slippery when wet. Restrict pedestrian and vehicular traffic in areas where slip hazard may exist.
- Suitable Extinguishing Media:** Carbon dioxide, dry chemical or foam.
- Unsuitable Extinguishing Media:** If water is used, restrict pedestrian and vehicular traffic in areas where slip hazard may exist.
- Fire Fighting Equipment:** Wear self-contained breathing apparatus and protective suit.
- Unusual hazards:** Dust in sufficient concentration can result in an explosive mixture in air. Handle to minimize dusting and eliminate open flame and other sources of ignition.
- Hazardous Combustion Products:** Burning may produce oxides of carbon, nitrogen.

6. ACCIDENTAL RELEASE MEASURES

- Cleanup Instructions:** Sweep up and shovel into suitable containers for disposal. Avoid dust formation. Wear suitable protective equipment. Should not be released into the environment.

7. HANDLING AND STORAGE

- Handling:** As with all industrial chemicals, use good industrial practices when handling. Avoid eye, skin, and clothing contact. Do not inhale. Do not taste or swallow. Use only with adequate ventilation.
- Storage:** Keep containers tightly closed in a cool, well-ventilated place.
- Explosion Hazards:** Avoid creating dusty conditions. Risk of explosion if an air-dust mixture forms.

For Industrial Use Only

8. EXPOSURE CONTROLS / PERSONAL PROTECTION

Exposure Guidelines:

There are no OSHA or ACGIH exposure guidelines available for component(s) in this product.

Personal Protective Equipment

Eye/Face Protection:	Wear safety glasses or goggles to protect against dust particles.
Skin Protection:	Wear chemical resistant gloves and protective clothing.
Respiratory Protection:	Use NIOSH approved respirator as needed to mitigate exposure.
Engineering Controls:	Work in well ventilated areas. Do not breathe dust. Local exhaust/ventilation recommended.

9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

Physical Form:	Granular powder
Color:	White
Odor:	Little or no.
Freezing/Melting Point:	Not determined
Solubility in water:	Soluble, solubility limited by viscosity
Vapor Density:	Not applicable
Vapor Pressure:	Not applicable
Density:	Not determined
Specific Gravity:	~ 0.75
pH:	5 - 7 (1 % solution)
Percent Volatile:	None expected above trace levels.
VOC:	Not determined
Partition Coefficient (Octanol/Water):	Not determined
Decomposition Temperature:	Not determined
Flammability Limits in Air:	
Upper	Not determined
Lower	Not determined
Flash point:	Not applicable
Test Method (for Flash Point):	Not applicable

10. STABILITY AND REACTIVITY

Stability:	Stable.
Conditions to Avoid:	Avoid temperature extremes. Avoid wet and humid conditions.
Incompatibility:	Strong oxidizing agents. (may degrade polymer)
Hazardous Decomposition Products:	No decomposition expected under normal storage conditions.
Possibility of Hazardous Reactions:	None expected.

11. TOXICOLOGICAL INFORMATION

Acute Oral Toxicity:	Not determined.
Acute Dermal Toxicity:	Not determined
Acute Inhalation Toxicity:	Not determined.
Eye Irritation:	Not determined.
Skin Irritation:	Not determined.
Skin Sensitization:	Not determined
Carcinogenicity (IARC; NTP; OSHA; ACGIH):	None of the components in this product at concentrations greater than 0.1% are listed by IARC; NTP, OSHA or ACGIH as a carcinogen.
Carcinogenicity Studies:	Not listed as a carcinogen by IARC, NTP, OSHA, or ACGIH.
Mutagenicity:	No data for product. No effects anticipated.
Reproductive Toxicity:	No data for product. No effects anticipated.
Teratogenicity:	Not determined. No effects anticipated.
Neurotoxicity:	Not determined
Subacute Toxicity:	Not determined
Subchronic Toxicity:	Not determined
Chronic toxicity:	Not determined
Absorption / Distribution / Excretion / Metabolism:	Not determined
Additional Information:	Not determined

12. ECOLOGICAL INFORMATION

Toxicity to Fish:	LC50 18 mg/L 96 hour (Rainbow trout) (under static conditions in the presence of humic acid)
Toxicity to Invertebrates:	EC50 > 50 mg/L 48 hour (Daphnia magna) (under static conditions in the presence of humic acid)
Toxicity to Algae:	Not determined
Toxicity to Sewage Bacteria:	Not determined
Activated Sludge Respiration Inhibition Test:	Not determined

MSDS date: 07-Oct-2005

Product Name: MAGNAFLOC 342

Biochemical Oxygen Demand (BOD): Not determined

Chemical Oxygen Demand (COD): Not determined

Total Oxygen Demand (TOD): Not determined

Biodegradability: Not determined

Bioaccumulation: Not determined

Additional Environmental Data: Not determined

13. DISPOSAL CONSIDERATIONS

Waste Disposal: Dispose in accordance with local, state, provincial and federal regulations.

14. TRANSPORT INFORMATION

U.S. Department of Transportation (DOT):

Not regulated for this mode of transport.

International Maritime Dangerous Goods (IMDG):

Not regulated for this mode of transport.

International Air Transportation Authority (IATA):

Not regulated for this mode of transport.

15. REGULATORY INFORMATION

Federal Regulations

OSHA Hazardous Substance: This material is classified as not hazardous under OSHA regulations

Clean Air Act - Hazardous Air Pollutants (HAP): This product contains the following Hazardous Air Pollutants (HAP), as defined by the U.S. Clean Air Act Section 112 (40 CFR 61).

Components	CAA Section 112 Statutory Hazardous Air Pollutants
2-propenamide 79-06-1 (0-0.09999 %)	Listed.

Clean Air Act - Volatile Organic Compounds (VOC): This product contains the following SOCMI Intermediate or Final Volatile Organic Compounds (VOC), as defined by the U.S. Clean Air Act Section 111 (40 CFR 60.489).

Components	CAA Section 111 Volatile Organic Compounds
Urea 57-13-6	Listed.
2-propenamide 79-06-1	Listed.

Clean Air Act - Ozone Depleting Substances (ODS): This product neither contains, nor was manufactured with, a Class I or Class II ozone depleting substance (ODS), as defined by the U.S. Clean Air Act Section 602 (40 CFR 82, Subpt. A, App. A+B).

Clean Water Act - Priority Pollutants (PP): This product does not contain any priority pollutants listed under the U.S. Clean Water Act Section 307 (2)(1) Priority Pollutant List (40 CFR 401.15).

Resource Conservation and Recovery Act (RCRA): Not a hazardous waste under RCRA (40 CFR 261.21).

SARA Section 302 Extremely Hazardous Substances (EHS): This product contains the following component(s) regulated under Section 302 (40 CFR 355) as Extremely Hazardous Substances.

Components	Section 302 Extremely Hazardous Substances (EHS)
2-propenamide 79-06-1 (0-0.09999 %)	Listed.

SARA Section 304 CERCLA Hazardous Substances: This product contains the following component(s) regulated under Section 304 (40 CFR 302) as hazardous chemicals for emergency release notification ("CERCLA" List).

Components	Section 304 CERCLA Hazardous Substances	CERCLA Reportable Quantity
2-propenamide 79-06-1 (0-0.09999 %)	Listed.	5000 LBS

SARA Section 311/312 Hazard Communication Standard (HCS): This product is not regulated under Section 311/312 HCS (40 CFR 370).

SARA Section 313 Toxic Chemical List (TCL): This product does not contain any component(s) listed on the Section 313 Toxic Chemical List.

TSCA Section 8(b) Inventory Status: All component(s) comprising this product are either exempt or listed on the TSCA Inventory.

TSCA Section 5(e) Consent Orders: This product is not subject to a Section 5(e) Consent Order.

TSCA Significant New Use Rule (SNUR): This product is not subject to a Significant New Use Rule (SNUR).

TSCA Section 5(f): This product is not subject to a Section 5(f)(6)(a) rule.

TSCA Section 12(b) Export Notification: This product does not contain any component(s) that are subject to a Section 12(b) Export Notification.

State Regulations

California Proposition 65: This product contains the following component(s) currently on the California list of Known Carcinogens and Reproductive Toxins.

Components	California Proposition 65
------------	---------------------------

MSDS date: 07-Oct-2005

Product Name: MAGNAFLOC 342

2-propenamide 79-06-1	Carcinogenic.
--------------------------	---------------

Pennsylvania Right-To-Know: This product contains the following component(s) which are subject to Pennsylvania Right-to-Know disclosure requirement.

Components	CAS Number	Pennsylvania Right-to-Know
Urea	57-13-6	Not Listed.
2-Propenoic acid, sodium salt, polymer with 2-propenamide	25085-02-3	Not Listed.
Water	7732-18-5	Not Listed.
2-propenamide	79-06-1	Listed. Environmental hazard.

International Regulations

Chemical Weapons Convention (CWC): This product does not contain any component(s) listed under the Chemical Weapons Convention Schedule of Chemicals.

Domestic Substance List (DSL) Status: All components either exempt or listed on the DSL.

16. OTHER INFORMATION

Reason for revision: Formulation revision.

Disclaimer: The information contained herein is based upon data believed to be correct. However, no guarantee or warranty of any kind, expressed or implied, is made with respect to such data or information. The user is responsible for determining whether the product is suitable for its intended conditions of use.

Material Safety Data Sheet



1. IDENTIFICATION OF THE MATERIAL AND SUPPLIER

Product Name: METHYL ISOBUTYL CARBINOL

Other name(s): Methyl amyl alcohol; 4-Methyl-2-pentanol; Isobutyl methyl carbinol; MIBC.

Recommended Use: Solvent; mineral floatation agent.

Supplier: Orica Australia Pty Ltd

ABN: 004 117 828

Street Address: 1 Nicholson Street,
Melbourne 3000
Australia

Telephone Number: +61 3 9665 7111

Facsimile: +61 3 9665 7937

Emergency Telephone: 1 800 033 111 (ALL HOURS)

2. HAZARDS IDENTIFICATION

This material is hazardous according to criteria of NOHSC; HAZARDOUS SUBSTANCE.

Classified as Dangerous Goods by the criteria of the Australian Dangerous Goods Code (ADG Code) for Transport by Road and Rail; DANGEROUS GOODS.

Risk Phrases: Flammable. Irritating to respiratory system.

Safety Phrases: Do not breathe vapour. Avoid contact with skin and eyes.

Poisons None allocated.

Schedule:

3. COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENTS

Components / CAS Number	Proportion	Risk Phrases
Methyl isobutyl carbinol 108-11-2	99%	R10, R37

4. FIRST AID MEASURES

Inhalation: Remove victim from area of exposure - avoid becoming a casualty. Remove contaminated clothing and loosen remaining clothing. Allow patient to assume most comfortable position and keep warm. Keep at rest until fully recovered. If patient finds breathing difficult and develops a bluish discolouration of the skin (which suggests a lack of oxygen in the blood - cyanosis), ensure airways are clear of any obstruction and have a qualified person give oxygen through a face mask. Apply

Product Name: METHYL ISOBUTYL CARBINOL
Substance No: 000031314201

Issued: 13/07/2006

Version: 3

Material Safety Data Sheet



artificial respiration if patient is not breathing. Seek immediate medical advice.

Skin Contact: If skin contact occurs, remove contaminated clothing and wash skin with running water. If irritation occurs seek medical advice.

Eye Contact: If in eyes, wash out immediately with water. In all cases of eye contamination it is a sensible precaution to seek medical advice.

Ingestion: Rinse mouth with water. If swallowed, do NOT induce vomiting. Give a glass of water. Seek immediate medical assistance.

Medical attention and special treatment: Treat symptomatically.

5. FIRE FIGHTING MEASURES

Hazards from combustion products: Flammable liquid. May form flammable vapour mixtures with air. Vapour may travel a considerable distance to source of ignition and flash back.

Precautions for fire fighters and special protective equipment: On burning will emit toxic fumes, including those of oxides of carbon. Heating can cause expansion or decomposition of the material, which can lead to the containers exploding. If safe to do so, remove containers from the path of fire. Keep containers cool with water spray. Fire fighters to wear self-contained breathing apparatus and suitable protective clothing if risk of exposure to vapour or products of combustion.

Suitable Extinguishing Media: Foam, dry agent (carbon dioxide, dry chemical powder).

Hazchem Code: 3[Y]

6. ACCIDENTAL RELEASE MEASURES

Emergency procedures: Shut off all possible sources of ignition. Clear area of all unprotected personnel. If contamination of sewers or waterways has occurred advise local emergency services.

Methods and materials for containment and clean up: Slippery when spilt. Avoid accidents, clean up immediately. Wear protective equipment to prevent skin and eye contact and breathing in vapours. Work up wind or increase ventilation. Contain - prevent run off into drains and waterways. Use absorbent (soil, sand or other inert material). Use a spark-free shovel. Collect and seal in properly labelled containers or drums for disposal.

7. HANDLING AND STORAGE

Conditions for safe storage: Store in a cool, dry, well ventilated place and out of direct sunlight. Store away from sources of heat or ignition. Store away from incompatible materials described in Section 10. Keep containers closed when not in use - check regularly for leaks.

Product Name: METHYL ISOBUTYL CARBINOL
Substance No: 000031314201

Issued: 13/07/2006 **Version:** 3

Material Safety Data Sheet



Precautions for safe handling: Avoid skin and eye contact and breathing in vapour. All potential sources of ignition (open flames, pilot lights, furnaces, spark producing switches and electrical equipment etc) must be eliminated both in and near the work area. Do NOT smoke.

8. EXPOSURE CONTROLS/PERSONAL PROTECTION

Methyl isobutyl carbinol: 8hr TWA = 104 mg/m³ (25 ppm), 15 min STEL = 167 mg/m³ (40 ppm), Sk

As published by the National Occupational Health and Safety Commission.

TWA - The time-weighted average airborne concentration over an eight-hour working day, for a five-day working week over an entire working life.

STEL (Short Term Exposure Limit) - the average airborne concentration over a 15 minute period which should not be exceeded at any time during a normal eight hour work day. According to current knowledge this concentration should neither impair the health of, nor cause undue discomfort to, nearly all workers.

'Sk' Notice - absorption through the skin may be a significant source of exposure. The exposure standard is invalidated if such contact should occur.

These Exposure Standards are guides to be used in the control of occupational health hazards. All atmospheric contamination should be kept to as low a level as is workable. These exposure standards should not be used as fine dividing lines between safe and dangerous concentrations of chemicals. They are not a measure of relative toxicity.

Engineering controls:

Ensure ventilation is adequate and that air concentrations of components are controlled below quoted Exposure Standards. Vapour heavier than air - prevent concentration in hollows or sumps. DO NOT enter confined spaces where vapour may have collected. If inhalation risk exists: Use with local exhaust ventilation or while wearing organic vapour respirator. Keep containers closed when not in use.

Personal Protective Equipment:

The selection of PPE is dependant on a detailed risk assessment. The risk assessment should consider the work situation, the physical form of the chemical, the handling methods, and environmental factors.

Orica Personal Protection Guide No. 1, 1998: G - OVERALLS, SAFETY SHOES, SAFETY GLASSES, GLOVES, RESPIRATOR.

Wear overalls, safety glasses and impervious gloves. Use with adequate ventilation. If inhalation risk exists wear organic vapour respirator meeting the requirements of AS/NZS 1715 and AS/NZS 1716. Always wash hands before smoking, eating, drinking or using the toilet. Wash contaminated clothing and other protective equipment before storage or re-use.

9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

Physical state: Clear Liquid

Product Name: METHYL ISOBUTYL CARBINOL
Substance No: 000031314201

Issued: 13/07/2006 **Version:** 3

Material Safety Data Sheet



Colour: Colourless
Odour: Slightly Irritating , Alcohol
Molecular Formula: $(CH_3)_2CHCH_2CH(OH)CH_3$
Specific Gravity: 0.808 @20°C
Relative Vapour Density (air=1): 3.53
Vapour Pressure (20 °C): 4.7 mm Hg
Flash Point (°C): 42.4
Flammability Limits (%): 1 - 5.5
Autoignition Temperature (°C): 360.3
Solubility in water (g/L): 18.2
Boiling Point/Range (°C): 132
pH: Not available

Freezing Point/Range (°C): < -50

10. STABILITY AND REACTIVITY

Chemical stability: Stable.

Conditions to avoid: Avoid exposure to heat, sources of ignition, and open flame.

Incompatible materials: Incompatible with strong inorganic acids , and oxidising agents .

Hazardous decomposition products: Oxides of carbon.

Hazardous reactions: Hazardous polymerisation will not occur.

11. TOXICOLOGICAL INFORMATION

No adverse health effects expected if the product is handled in accordance with this Safety Data Sheet and the product label. Symptoms or effects that may arise if the product is mishandled and overexposure occurs are:

Ingestion: Swallowing can result in nausea, vomiting and central nervous system depression. If the victim is showing signs of central system depression (like those of drunkenness) there is greater likelihood of the patient breathing in vomit and causing damage to the lungs.

Eye contact: May be an eye irritant.

Skin contact: Contact with skin may result in irritation. Will have a degreasing action on the skin. Repeated or prolonged skin contact may lead to irritant contact dermatitis. Can be absorbed through the skin with resultant adverse effects.

Inhalation: Material is irritant to the mucous membranes of the respiratory tract (airways). Breathing in vapour can result in headaches, dizziness, drowsiness, and possible nausea. Breathing in high concentrations can produce central nervous system depression, which can lead to loss of co-ordination, impaired judgement and if exposure is prolonged, unconsciousness.

Long Term Effects:

Product Name: METHYL ISOBUTYL CARBINOL
Substance No: 000031314201

Issued: 13/07/2006

Version: 3

Material Safety Data Sheet



No information available for the product.

Toxicological Data:

Oral LD50 (rat): 2600 mg/kg.
Dermal LD50 (rabbit): 2900 mg/kg.
Inhalation LC50 (rat): >3776 ppm/4hr

12. ECOLOGICAL INFORMATION

Ecotoxicity Avoid contaminating waterways.

13. DISPOSAL CONSIDERATIONS

Disposal methods: Refer to Waste Management Authority. Dispose of material through a licensed waste contractor. Advise flammable nature. Normally suitable for incineration by an approved agent.

14. TRANSPORT INFORMATION

Road and Rail Transport

Classified as Dangerous Goods by the criteria of the Australian Dangerous Goods Code (ADG Code) for Transport by Road and Rail; DANGEROUS GOODS.

UN No: 2053
Class-primary: 3 Flammable Liquid
Packing Group: III
Proper Shipping Name: METHYL ISOBUTYL CARBINOL

Hazchem Code: 3[Y]

Marine Transport

Classified as Dangerous Goods by the criteria of the International Maritime Dangerous Goods Code (IMDG Code) for transport by sea; DANGEROUS GOODS.

UN No: 2053
Class-primary: 3 Flammable Liquid
Packing Group: III
Proper Shipping Name: METHYL ISOBUTYL CARBINOL

Air Transport

Classified as Dangerous Goods by the criteria of the International Air Transport Association (IATA) Dangerous Goods Regulations for transport by air; DANGEROUS GOODS.

Product Name: METHYL ISOBUTYL CARBINOL
Substance No: 000031314201

Issued: 13/07/2006 **Version:** 3

Material Safety Data Sheet



UN No: 2053
Class-primary: 3 Flammable Liquid
Packing Group: III
Proper Shipping Name: METHYL ISOBUTYL CARBINOL

15. REGULATORY INFORMATION

Classification: This material is hazardous according to criteria of NOHSC; HAZARDOUS SUBSTANCE.

Hazard Category: Xi: Irritant

Risk Phrase(s): R10: Flammable.
R37: Irritating to respiratory system.

Safety Phrase(s): S23: Do not breathe vapour/mist/aerosol.
S24/25: Avoid contact with skin and eyes.
S36/37: Wear suitable protective clothing and gloves.

Poisons Schedule: None allocated.

This material is listed on the Australian Inventory of Chemical Substances (AICS).

16. OTHER INFORMATION

Supplier Material Safety Data Sheet; 02/ 2006.

This material safety data sheet has been prepared by SH&E Shared Services, Orica.

Reason(s) for Issue:
Revised Primary MSDS

This MSDS summarises to our best knowledge at the date of issue, the chemical health and safety hazards of the material and general guidance on how to safely handle the material in the workplace. Since Orica Limited cannot anticipate or control the conditions under which the product may be used, each user must, prior to usage, assess and control the risks arising from its use of the material.

If clarification or further information is needed, the user should contact their Orica representative or Orica Limited at the contact details on page 1.

Orica Limited's responsibility for the material as sold is subject to the terms and conditions of sale, a copy of which is available upon request.

Product Name: METHYL ISOBUTYL CARBINOL
Substance No: 000031314201

Issued: 13/07/2006 **Version:** 3

ANNEXE

R-23

EXEMPLES DE CALCULS ET TAUX
D'ÉMISSION UTILISÉS POUR LA
MODÉLISATION DE LA DISPERSION
ATMOSPHERIQUE

R-23-1 *EXEMPLE DE CALCUL DES TAUX D'ÉMISSION ET TAUX D'ÉMISSION DE LA MODÉLISATION*



NOTE TECHNIQUE

Client :	Dumont Nickel	
Projet :	DEMANDE DE MODIFICATION DU DÉCRET 526-2015 Modélisation de la dispersion atmosphérique	Référence WSP : CA0033380.1817 Référence Client :
Objet :	Exemple de calcul des taux d'émission et taux d'émission de la modélisation	Date : 30 novembre 2024
Destinataire :	Stanislas Keleters (Dumont Nickel)	

Liste des tableaux :

Tableau 1	Facteurs de conversion
Tableau 2	Dépoussiéreur (pt01)
Tableau 3	Activité de routage sur route non-pavée (Segment P10_HWN)
Tableau 4	Activité de chargement/déchargement (ldxfno)
Tableau 5	Concasseur (crushj)
Tableau 6	Activité de boutage (wdoz01)
Tableau 7	Forage (drill1)
Tableau 8	Sautage (sauto15s)
Tableau 9	Gaz d'échappement (véhicule hors route) (Komatsu 930E-5)
Tableau 10	Gaz d'échappement (véhicule hors route) – Valeurs sélectionnées pour chaque équipement
Tableau 11	Locomotive (loco)
Tableau 12	Érosion éolienne (pwd2)
Tableau 13	Émissions de métaux à partir d'une lithologie – Silice cristalline – Sautage (sauto15s)
Tableau 14	Définitions des substances modélisées
Tableau 15	Taux d'émission

Tableau 1 Facteurs de conversion

Paramètres			
Item	Unité	Variable	Valeur
Conversion j - h	h/j	Cj-h	24
Conversion h - s	s/h	Ch-s	3600
Conversion km - m	m/km	Ckm-m	1000
Conversion Mg - kg	kg/Mg	CMg-kg	1000
Conversion kg - g	g/kg	Ckg-g	1000
Conversion mg - g	g/mg	Cmg-g	0.001
Conversion Mg - short ton	short tons/Mg	CMg-ton	1.10
Conversion ktm - Mg	Mg/ktm	Cktm-Mg	1000
Conversion lb - kg	kg/lb	Clb-kg	0.4536
Conversion lb - g	g/lb	Clb-g	453.5924
Conversion gal - L	L/gal	Cgal-L	3.7854
Conversion 10 ³ gal - L	L/10 ³ gal	Ckgal-L	3785.4
Conversion 10 ⁶ pi ³ - m ³	m ³ /10 ⁶ pi ³	C10 ⁶ pi ³ -m ³	28316.8

Tableau 2 Dépoussiéreur (pt01)

Intrants				
Item	Unité	Variable	Valeur	Références
Débit des gaz à la sortie	Am ³ /h	D	21917	Description d'équipement, 12 900 cfm, T=20°C
Facteur d'émission (PMT)	mg/Nm ³	E _{PMT}	30	Émission maximale, article 10 du RAA
A - Matières particulaires totales (PMT)				
Taux d'émission	g/s	TE _{PMT}	1.83E-01	$E_{PMT} \times D / (Ckg-g \times Ch-s)$
B - Matières particulaires 10 µm (PM₁₀)				
Facteur d'échelle (PM ₁₀)	-	F ₁₀	0.84	US EPA AP 42, table 11.19.2-3 (Grinding with Fabric Filter); ratio PM10 / PMT
Taux d'émission	g/s	TE _{PM10}	1.53E-01	$TE_{PMT} \times F_{10}$
C - Matières particulaires 2.5 µm (PM_{2.5})				
Facteur d'échelle (PM _{2.5})	-	F _{2.5}	0.30	US EPA AP 42, table 11.19.2-3 (Grinding with Fabric Filter); ratio PM25 / PMT
Taux d'émission	g/s	TE _{PM2.5}	5.43E-02	$TE_{PMT} \times F_{2.5}$

Tableau 3 Activité de routage sur route non-pavée (Segment P10_HWN)

Intrants				
Item	Unité	Variable	Valeur	Références
Contenu en silt de la route	%	s	3.0	Ausenco, 2012
Nb. déplacements par jour	l/jour	nv	1333	Description des opérations fournie par Magneto
Poids moyen des véhicules	tons	W	319.3	Pondéré en fonction du nombre de déplacement
Longueur de la route	m	L	199.0	Description des opérations fournie par Magneto
Temps d'opération par jour par segment	h/jour	t	24	Description des opérations fournie par Magneto
Atténuation	%	TAtt	75	Arrosage à l'eau (sauf pendant la période hivernale)
Véhicule - kilomètre parcouru	VKT/jour	A	265.21	$nv \times L / \text{Ckm-m}$
Conversion	(g/VKT)/(lb/VMT)	CVKT	281.9	1 lb/VMT = 281.9 g/VKT
A - Matières particulaires totales (PMT)				
k (PM ₃₀)	lb/VMT	k	4.9	AP-42, sect. 13.2.2, tableau 2
a (PM ₃₀)	-	a	0.7	
b (PM ₃₀)	-	b	0.45	
Facteur d'émission	lb/VMT	EF _{PMT}	15.168	AP-42, sect. 13.2.2, équ. 1a
Taux d'émission PMT	g/s	TE _{PMT}	1.31E+01	$EF_{PMT} \times CVKT \times A / (t \times \text{Ch-s})$
Taux d'émission atténué PMT	g/s	TE* _{PMT}	3.28E+00	$TE_{PMT} \times (1 - TAtt)$
B - Matières particulaires 10 µm (PM₁₀)				
k (PM ₁₀)	lb/VMT	k	1.5	AP-42, sect. 13.2.2, tableau 2
a (PM ₁₀)	-	a	0.9	
b (PM ₁₀)	-	b	0.45	
Facteur d'émission	lb/VMT	EF _{PM10}	3.519	AP-42, sect. 13.2.2, équ. 1a
Taux d'émission PM ₁₀	g/s	TE _{PM10}	3.05E+00	$EF_{PM10} \times CVKT \times A / (t \times \text{Ch-s})$
Taux d'émission atténué PM ₁₀	g/s	TE* _{PM10}	7.61E-01	$TE_{PM10} \times (1 - TAtt)$
C - Matières particulaires 2,5 µm (PM_{2,5})				
k (PM _{2,5})	lb/VMT	k	0.15	AP-42, sect. 13.2.2, tableau 2
a (PM _{2,5})	-	a	0.9	
b (PM _{2,5})	-	b	0.45	
Facteur d'émission	lb/VMT	EF _{PM2,5}	0.352	AP-42, sect. 13.2.2, équ. 1a
Taux d'émission PM _{2,5}	g/s	TE _{PM2,5}	3.05E-01	$EF_{PM2,5} \times CVKT \times A / (t \times \text{Ch-s})$
Taux d'émission atténué PM _{2,5}	g/s	TE* _{PM2,5}	7.61E-02	$TE_{PM2,5} \times (1 - TAtt)$

Tableau 4 Activité de chargement/déchargement (ldxfno)

Intrants				
Item	Unité	Variable	Valeur	Références
Tonnage journalier chargé/déchargé	ktm/jour	T	28.45	Description des opérations fournie par Magneto
Nb. d'heures de travail prévu par jour	h/jour	Hj	24	Description des opérations fournie par Magneto
U (vitesse moyenne du vent)	m/s	U	3.00	Variable pour chaque heure, exemple présenté à 3 m/s
% d'humidité matière chargée	%	M	5.4	AP-42, section 13.2.4 Aggregate Handling.
A - Matières particulaires totales (PMT)				
k	-	k	0.74	AP 42, sect. 13.2.4.3
Facteur d'émission	kg/Mg	E	0.000441	AP 42, sect. 13.2.4.3
Taux d'émission	g/s	TE _{PMT}	1.45E-01	$E \times T \times C_{ktm-Mg} \times C_{kg-g} / (H_j \times Ch-s)$
B - Matières particulaires 10 µm (PM₁₀)				
k (< 10 µm)	-	k	0.35	AP 42, sect. 13.2.4.3
Facteur d'émission	kg/Mg	E	0.000209	AP 42, sect. 13.2.4.3
Taux d'émission	g/s	TE _{PM10}	6.87E-02	$E \times T \times C_{ktm-Mg} \times C_{kg-g} / (H_j \times Ch-s)$
C - Matières particulaires 2,5 µm (PM_{2,5})				
k (< 2,5 µm)	-	k	0.053	AP 42, sect. 13.2.4.3
Facteur d'émission	kg/Mg	E	0.000032	AP 42, sect. 13.2.4.3
Taux d'émission	g/s	TE _{PM2.5}	1.04E-02	$E \times T \times C_{ktm-Mg} \times C_{kg-g} / (H_j \times Ch-s)$

Tableau 5 Concasseur (crushj)

Intrants				
Item	Unité	Variable	Valeur	Références
Taux d'alimentation	t/h	T	253	Description des opérations fournie par Magneto
A - Matières particulaires totales (PMT)				
Facteur d'émission PMT	kg/Mg	EF _{PMT}	0.0027	AP-42 11.19.2 - Tertiary Crushing
Taux d'émission	g/s	ER_{PMT}	1.90E-01	EF _{PMT} × T × Ckg-g / Ch-s
B - Matières particulaires 10 µm (PM₁₀)				
Facteur d'émission PM10	kg/Mg	EF ₁₀	0.0012	AP-42 11.19.2 - Tertiary Crushing
Taux d'émission	g/s	ER_{PM10}	8.43E-02	EF ₁₀ × T × Ckg-g / Ch-s
C - Matières particulaires 2,5 µm (PM_{2,5})				
Facteur d'émission PM2,5	kg/Mg	EF _{2,5}	0.00035294	AP-42 11.19.2 - Tertiary Crushing PM10; ratio PM10/PM2.5 AP-42 Appendix B.2, Cat. 3
Taux d'émission	g/s	ER_{PM2.5}	2.48E-02	EF _{2,5} × T × Ckg-g / Ch-s

Tableau 6 Activité de boutage (wdoz01)

Intrants				
Item	Unité	Variable	Valeur	Références
Teneur moyenne en silt	%	s	7.5	AP42 Table 13.2.4-1, lump ore
% d'humidité matière chargée	%	M	5.4	AP-42, section 13.2.4 Aggregate Handling
Atténuation	%	TAtt	50	Taux d'atténuation basé sur le taux d'utilisation et le caractère intermittent de ce type d'opération.
A - Matières particulaires totales (PMT)				
Facteur d'émission	kg/hr	E_{tot}	3.26	AP42 11.9 Western surface coal mine; Table 11.9-2
Taux d'émission	g/s	TE_{PMT}	4.52E-01	$E_{tot} \times (1 - TAtt) \times Ckg-g / Ch-s$
B - Matières particulaires 10 µm (PM₁₀)				
Facteur d'émission	kg/hr	E_{15}	0.87	AP42 11.9 Western surface coal mine; Table 11.9-2
Facteur d'échelle	-	F_{10}	0.75	AP42 11.9 Western surface coal mine; Table 11.9-2
Taux d'émission	g/s	ER_{PM10}	9.08E-02	$E_{15} \times F_{10} \times (1 - TAtt) \times Ckg-g / Ch-s$
C - Matières particulaires 2,5 µm (PM_{2,5})				
Facteur d'échelle	-	$F_{2,5}$	0.105	AP42 11.9 Western surface coal mine; Table 11.9-2
Taux d'émission	g/s	ER_{PM2.5}	4.75E-02	$E_{tot} \times F_{2,5} \times (1 - TAtt) \times Ckg-g / Ch-s$

Tableau 7 Forage (drill1)

Intrants				
Item	Unité	Variable	Valeur	Références
Nb. forages par jour	forages/jour	ntr	20.36	Description des opérations fournie par Magneto
Durée de forage par jour	heures/jour	t	24	Description des opérations fournie par Magneto
Nb. zones de forage	-	nZones	1	Assumer 1 zone par secteur de sautage
Atténuation	%	Att	99%	Fabric filters (selon spécifications du foreuse)
A - Matières particulaires totales (PMT)				
Facteur d'émission (par forage)	kg/forage	E	0.59	AP-42; Tableau 11.9-4
Taux d'émission, sans atténuation	g/s	ER_{PMT-sa}	1.39E-01	$E \times ntr \times C_{kg-g} / (t \times Ch-s \times nZones)$
Taux d'émission	g/s	ER_{PMT}	1.39E-03	$ER_{PMT-sa} \times (1 - Att)$
B - Matières particulaires 10 µm (PM₁₀)				
Facteur d'échelle	-	F ₁₀	0.9	Hypothèse
Taux d'émission	g/s	ER_{PM10}	1.25E-03	$ER_{PMT-sa} \times (1 - Att) \times F_{10}$
C - Matières particulaires 2,5 µm (PM_{2,5})				
Facteur d'échelle	-	F _{2,5}	0.5	Hypothèse
Taux d'émission	g/s	$ER_{PM2.5}$	6.95E-04	$ER_{PMT-sa} \times (1 - Att) \times F_{2.5}$

Tableau 8 Sautage (sauto15s)

Intrants				
Item	Unité	Variable	Valeur	Références
Aire horizontale sautée par charge	m ² /hole	S	92.2	Description des opérations fournie par Magneto
Nombre de trous par sautage	hole/blast	NHb	157	Description des opérations fournie par Magneto
Nombre de tirs par sautage	fire/blast	NF	1.0	Description des opérations fournie par Magneto
Quantité d'explosif par trou	tonne/hole	EQh	1.030	Description des opérations fournie par Magneto
Ratio ANFO dans le mélange d'explosifs	%	Ra	0%	Description des opérations fournie par Magneto
Ratio Émulsion dans le mélange d'explosifs	%	Re	100%	Description des opérations fournie par Magneto
Conversions				
Nombre de trous par tir	holes/fire	NHf	157	NHb / NF
Aire horizontale sautée par tir	m ² /fire	Sf	14469	S × NHf
Période d'émission par tir	h/fire	t	1	Pas de temps minimal du modèle
Quantité d'explosif par tir	tonne/blast	EQf	161.71	EQh × NHf
A - Matières particulaires totales (PMT)				
Facteur d'émission par tir	kg/fire	E	382.90	AP-42 Tableau 11.9-2
Taux d'émission par tir	g/s	TE _{PMT}	1.06E+02	E × Ckg-g / (t × Ch-s)
B - Matières particulaires 10 µm (PM ₁₀)				
Facteur d'échelle	-	F ₁₀	0.52	AP-42 Tableau 11.9-2
Taux d'émission par tir	g/s	TE _{PM10}	5.53E+01	TE _{PMT} × F ₁₀
C - Matières particulaires 2.5 µm (PM _{2.5})				
Facteur d'échelle	-	F _{2.5}	0.03	AP-42 Tableau 11.9-2
Taux d'émission par tir	g/s	TE _{PM2.5}	3.19E+00	TE _{PMT} × F _{2.5}
D - Monoxyde de carbone (CO)				
Facteur d'émission - ANFO	kg/tonne	Eca	34.0	NPI ^[1]
Facteur d'émission - Émulsion	kg/tonne	Ece	2.3	NPI ^[1]
Facteur d'émission par tir	kg/fire	ECO	371.93	EQf × (Eca × Ra + Ece × Re)
Taux d'émission par tir	g/s	TCO	1.03E+02	ECO × Ckg-g / (t × Ch-s)
E - Oxydes d'azote (NOx)				
Facteur d'émission - ANFO	kg/tonne	Ena	8.0	NPI ^[1]
Facteur d'émission - Émulsion	kg/tonne	Ene	0.2	NPI ^[1]
Facteur d'émission par tir	kg/fire	ENox	32.34	EQf × (Ena × Ra + Ene × Re)
Taux d'émission par tir	g/s	TNOx	8.98E+00	ENox × Ckg-g / (t × Ch-s)



F - Dioxyde de soufre (SO ₂)				
Facteur d'émission - ANFO	kg/tonne	Esa	0.06	NPI ^[1]
Facteur d'émission - Émulsion	kg/tonne	Ese	0.06	Hypothèse (égal à l'ANFO)
Facteur d'émission par tir	kg/fire	ESO2	9.70	$EQf \times (Esa \times Ra + Ese \times Re)$
Taux d'émission par tir	g/s	TSO2	2.70E+00	$ESO2 \times Ckg-g / (t \times Ch-s)$
[1] National Pollutant Inventory. Emission Estimation Technique Manual for Explosives Detonation and Firing Ranges. Version 3.0. January 2012.				

Tableau 9 Gaz d'échappement (véhicule hors route) (Komatsu 930E-5)

Intrants				
Item	Unité	Variable	Valeur	Références
Nombre de hp du véhicule	hp	veh_{hp}	2588	Fiche technique (Komatsu 930E-5)
Tier	-	-	T4N	Fiche technique (Komatsu 930E-5)
Zero-hour, steady-state emission factor (PM)	g/hp-hr	EF_{ss-PM}	0.0276	[1], Table A4
Zero-hour, steady-state emission factor (CO)	g/hp-hr	EF_{ss-CO}	0.0760	[1], Table A4
Zero-hour, steady-state emission factor (NO _x)	g/hp-hr	EF_{ss-NOx}	2.3920	[1], Table A4
Zero-hour, steady-state emission factor (HC)	g/hp-hr	EF_{ss-HC}	0.1314	[1], Table A4
Facteur d'ajustement transitoire (PM)	-	TAF_{PM}	1.00	[1], Table A5
Facteur d'ajustement transitoire (CO)	-	TAF_{CO}	1.00	[1], Table A5
Facteur d'ajustement transitoire (NO _x)	-	TAF_{NOx}	1.00	[1], Table A5
Facteur d'ajustement transitoire (HC)	-	TAF_{HC}	1.00	[1], Table A5
Constante de détérioration (PM)	-	A_{PM}	0.473	[1], Table A6
Constante de détérioration (CO)	-	A_{CO}	0.151	[1], Table A6
Constante de détérioration (NO _x)	-	A_{NOx}	0.008	[1], Table A6
Constante de détérioration (HC)	-	A_{HC}	0.027	[1], Table A6
Fraction de vie médiane utilisée	-	age_{fact}	1.000	Hypothèse conservatrice
Brake Specific Fuel Consumption	lb/hp-hr	$EF_{ss-BSFC}$	0.367	[1], Table A4
Facteur d'ajustement transitoire (BSFC)	-	TAF_{BSFC}	1	[1], Table A5
soxcnv ^[2]	-	soxcnv	0.3	[2], grams PM sulfur/grams fuel sulfur consumed
soxbas	-	soxbas	0.0015	default certification fuel sulfur weight percent
soxdsl ^[3]	-	soxdsl	0.0015	[3] episodic fuel sulfur weight percent
Facteur de chargement	-	$load_{fact}$	0.59	[4], Appendix A, Diesel Off-highway Trucks
Densité du diesel	lb/gal	D	7.00095979	Constante
A - Matières particulaires totales (PMT)				
Brake Specific Fuel Consumption	lb/hp-hr	$EF_{adj-BSFC}$	0.367	[1], eq. 3, $EF_{adj-BSFC} = EF_{ss-BSFC} \times TAF_{BSFC}$
Facteur de détérioration (PM)	-	DF_{PM}	1.473	[1], eq. 4, $DF_{PM} = 1 + A_{PM} \times age_{fact}$
Facteur d'ajustement (sulfur content)	g/hp-hr	S_{PMadj}	0.0000	[1], eq. 5, $S_{PMadj} = EF_{adj-BSFC} \times 453.6 \times 7.0 \times soxcnv \times 0.01 \times (soxbas - soxdsl)$
Facteur d'émission ajusté PM ₁₀	g/hp-hr	$EF_{adj-PM10}$	0.041	[1], eq. 2, $EF_{adj-PM10} = (EF_{ss-PM} \times TAF_{PM} \times DF_{PM}) - S_{PMadj}$
Taux d'émission PM ₁₀ = PMT	g/s	TE_{PM10}	1.72E-02	$EF_{adj-PM10} \times veh_{hp} \times load_{fact} / Ch-s$

B - Matières particulaires 2.5 µm (PM_{2.5})				
Facteur d'échelle	-	F _{2.5}	0.97	[1], p.25
Taux d'émission PM _{2.5}	g/s	TE _{PM2.5}	1.67E-02	$TE_{PM10} \times F_{2.5}$
C - Monoxyde de carbone (CO)				
Facteur de détérioration (CO)	-	DF _{CO}	1.151	[1], eq. 4, $DF_{CO} = 1 + A_{CO} \times age_{fact}$
Facteur d'émission ajusté CO	g/hp-hr	EF _{adj-CO}	0.087	[1], eq. 1, $EF_{adj-CO} = EF_{ss-CO} \times TAF_{CO} \times DF_{CO}$
Taux d'émission CO	g/s	TE _{CO}	3.71E-02	$EF_{adj-CO} \times veh_{hp} \times load_{fact} / Ch-s$
D - Oxydes d'azote (NO_x)				
Facteur de détérioration (NO _x)	-	DF _{NOx}	1.008	[1], eq. 4, $DF_{NOx} = 1 + A_{NOx} \times age_{fact}$
Facteur d'émission ajusté NO _x	g/hp-hr	EF _{adj-NOx}	2.411	[1], eq. 1, $EF_{adj-NOx} = EF_{ss-NOx} \times TAF_{NOx} \times DF_{NOx}$
Taux d'émission NO _x	g/s	TE _{NOx}	1.02E+00	$EF_{adj-NOx} \times veh_{hp} \times load_{fact} / Ch-s$
E - Dioxyde de soufre (SO₂)				
Facteur d'émission ajusté SO ₂	g/hp-hr	EF _{adj-SO2}	3.49E-03	[1], eq. 7, $EF_{adj-SO2} = (EF_{adj-BSFC} \times 453.6 \times [1-soxcnv] - EF_{adj-HC}) \times 0.01 \times soxdsI \times 2$
Taux d'émission SO ₂	g/s	TE _{SO2}	1.48E-03	$EF_{adj-SO2} \times veh_{hp} \times load_{fact} / Ch-s$
F - Métaux				
Consommation de carburant	gal/h	cons	135.666541	EF _{ss-BSFC} x veh _{hp} / D
Facteur d'émission				
Chromium 6	g/gal	FE _{metal-1}	7.78E-08	[6] Table 3-6; Tier 4; no DPF; Sum of all form (gas or PM)
Manganese	g/gal	FE _{metal-2}	3.46E-05	
Nickel	g/gal	FE _{metal-3}	6.05E-05	
Arsenic	g/gal	FE _{metal-4}	1.61E-05	
Mercury	g/gal	FE _{metal-5}	2.14E-07	
Taux d'émissions Metal				
Chromium 6	g/s	TE _{metal-1}	1.73E-09	FE _{metal-x} x cons / 3600 x load _{fact}
Manganese	g/s	TE _{metal-2}	7.69E-07	
Nickel	g/s	TE _{metal-3}	1.35E-06	
Arsenic	g/s	TE _{metal-4}	3.58E-07	
Mercury	g/s	TE _{metal-5}	4.76E-09	

[1] Exhaust and Crankcase emission factors for Nonroad engine modeling - Compression-Ignition, US-EPA, Report No. NR-009d, July 2010; [2] Voir dans [1], page 22. The soxcnv term represents the fraction of diesel fuel sulfur converted to PM. This varies by technology type. Soxcnv is equal to 0.02247 for the Base, T0, T1, T2, T3, T3B, T4A, and T4B technology types. For Tier 4 engines meeting stringent PM standards below 0.1 g/hp-hr, soxcnv is equal to 0.30. This applies to the T4 and T4N technology types.; [3] Voir dans [1], page 7. Fuel sulfur levels affect PM emissions. NONROAD users can adjust for local (episodic) fuel sulfur levels. In the absence of local information, suggested nationwide average fuel properties are provided in Table 2.; [4] Median life, annual activity and load factor values for nonroad engine emissions modeling, US-EPA, Report No. NR-005c, April 2004; [5] Conversion factors for hydrocarbon emission components, US-EPA, Report No. NR-002d, July 2010; [6] Speciation Profiles and Toxic Emission Factors for Nonroad Engines in MOVES2014b

Tableau 10 Gaz d'échappement (véhicule hors route) – Valeurs sélectionnées pour chaque équipement

Équipements	soxcnv	soxbas	EF _{ss-BSFC}	TAF _{BSFC}	A _{HC}	A _{CO}	A _{NOx}	A _{PM}	TAF _{HC}	TAF _{CO}	TAF _{NOx}	TAF _{PM}	EF _{ss-HC}	EF _{ss-CO}	EF _{ss-NOx}	EF _{ss-PM}
Caterpillar MD6310	0.3	0.0015	0.367	1	0.027	0.151	0.008	0.473	1	1	1	1	0.1314	0.076	2.392	0.0276
Sandvik DI550	0.3	0.0015	0.367	1	0.027	0.151	0.008	0.473	1	1	1	1	0.1314	0.084	2.5	0.0092
Caterpillar 390D	0.02247	0.2	0.367	1.01	0.027	0.151	0.008	0.473	1.05	1.53	1.04	1.47	0.1669	0.8425	2.5	0.15
Caterpillar 6015B	0.3	0.0015	0.367	1	0.027	0.151	0.008	0.473	1	1	1	1	0.1314	0.133	0.276	0.0092
Caterpillar 6060	0.3	0.0015	0.367	1	0.027	0.151	0.008	0.473	1	1	1	1	0.2815	0.7642	2.392	0.069
Caterpillar 745C	0.3	0.0015	0.367	1	0.027	0.151	0.008	0.473	1	1	1	1	0.1314	0.084	0.276	0.0092
Caterpillar 777G	0.3	0.0015	0.367	1	0.027	0.151	0.008	0.473	1	1	1	1	0.1314	0.076	2.392	0.0276
Komatsu 930E-5	0.3	0.0015	0.367	1	0.027	0.151	0.008	0.473	1	1	1	1	0.1314	0.076	2.392	0.0276
Caterpillar D8	0.3	0.0015	0.367	1	0.027	0.151	0.008	0.473	1	1	1	1	0.1314	0.084	0.276	0.0092
Caterpillar D11T (T4N)	0.3	0.0015	0.367	1	0.027	0.151	0.008	0.473	1	1	1	1	0.1314	0.076	2.392	0.0276
Caterpillar 844K	0.3	0.0015	0.367	1	0.027	0.151	0.008	0.473	1	1	1	1	0.1314	0.133	0.276	0.0092
Caterpillar 16M3	0.3	0.0015	0.367	1	0.027	0.151	0.008	0.473	1	1	1	1	0.1314	0.084	0.276	0.0092
Komatsu HD785-8	0.3	0.0015	0.367	1	0.027	0.151	0.008	0.473	1	1	1	1	0.1314	0.076	2.392	0.0276
Caterpillar 992K (T4N)	0.3	0.0015	0.367	1	0.027	0.151	0.008	0.473	1	1	1	1	0.1314	0.076	2.392	0.0276
Kpiji 3055	0.02247	0.2	0.367	1	0.027	0.151	0.008	0.473	1	1	1	1	0.1669	0.8425	2.5	0.15
Kpiji K400	0.02247	0.2	0.367	1	0.027	0.151	0.008	0.473	1	1	1	1	0.1669	0.8425	2.5	0.15

Tableau 11 Locomotive (loco)

Intrants				
Item	Unité	Variable	Valeur	Références
Modèle locomotive	-	-	EMD SD70 (Tier 2)	Hypothèse - locomotive commun dans la flotte de CN
Catégorie d'utilisation	-	-	Large Line-Haul	Description des opérations
Efficacité énergétique du moteur	bhp-hr/gal	EE	20.8	EPA, Emission Factors for Locomotives, Table 3: Conversion Factors (bhp-hr/gal)
Consommation de carburant	L/h	Q	87	Consommation notch 2
Densité du diesel	g/L	ρ	849.62	Eggleton, Peter et Robert Dunn (RAC). 2009. Emissions Factors Dataset of 2007 Canadian Diesel Locomotive Fleet. Prepared for the Railway Association of Canada.
Teneur en soufre du carburant	ppm	S	15	Limite canadienne pour le carburant diesel
Facteur d'émission PMT/PM10	g/bhp-hr	EF _{PMT}	0.18	EPA, Emission Factors for Locomotives, Table 1: Line-Haul Emission Factors (g/bhp-hr)
Facteur d'émission CO	g/bhp-hr	EF _{CO}	1.28	EPA, Emission Factors for Locomotives, Table 1: Line-Haul Emission Factors (g/bhp-hr)
Facteur d'émission NOx	g/bhp-hr	EF _{NOx}	4.95	
Facteur d'émission CrVI (PMT)	g/gal	FE _{metal-1}	7.78E-08	
Facteur d'émission Mn (PM10)	g/gal	FE _{metal-2}	3.46E-05	Speciation Profiles and Toxic Emission Factors for Nonroad Engines in MOVES2014b Table 3-6; Tier 4; no DPF; Sum of all form (gas or PM)
Facteur d'émission Ni (PM10)	g/gal	FE _{metal-3}	6.05E-05	
Facteur d'émission Hg (PMT)	g/gal	FE _{metal-4}	1.61E-05	
Facteur d'émission As (PMT)	g/gal	FE _{metal-5}	2.14E-07	
Calcul				
Taux d'émission PMT/PM10	g/s	ER _{PMT}	2.39E-02	Q × EE × EF _x / (Ch-s × Cgal-L) Note : PM2.5 = 0,97 × PMT
Taux d'émission PM2.5	g/s	ER _{PM2.5}	2.32E-02	
Taux d'émission CO	g/s	ER _{CO}	1.70E-01	
Taux d'émission NOx	g/s	ER _{NOx}	6.58E-01	
Taux d'émission SO2	g/s	ER _{SO2}	6.16E-04	ρ × 2 × S / 10 ⁶ × Q / Ch-s
Taux d'émission CrVI (PMT)	g/s	ER _{metal-1}	4.97E-10	Q × EE × EF _{metal-x} / Ch-s
Taux d'émission Mn (PM10)	g/s	ER _{metal-2}	2.21E-07	
Taux d'émission Ni (PM10)	g/s	ER _{metal-3}	3.87E-07	
Taux d'émission Hg (PMT)	g/s	ER _{metal-4}	1.03E-07	
Taux d'émission As (PMT)	g/s	ER _{metal-5}	1.37E-09	

Tableau 12 Érosion éolienne (pwd2)

Intrants				
Item	Unité	Variable	Valeur	Références
Teneur moyenne en silt	%	s	7.5	AP42 Table 13.2.4-1, overburden
Nb de jours avec précipitation	-	P	0	Paramètre pour la version horaire de l'éq. de l'INRP
Pourcentage du temps avec vitesse de vent > 19.3km/h	-	I	100	Paramètre pour la version horaire de l'éq. de l'INRP
A - Matières particulaires totales (PMT)				
Facteur aérodynamique PMT	-	J_{PMT}	1	Guide d'instructions Projets miniers, (MDDELCC, 2017)
Taux d'émission	g/s.m ²	TE_{PMT}	1.14E-04	INRP : $1.12E^{-4} \times J_{PMT} \times 1.7 \times (s / 1.5) \times (365 - P) / 235 \times (I / 15) \times C_{kg-g} / (C_j-h \times Ch-s)$
B - Matières particulaires 10 µm (PM₁₀)				
Facteur aérodynamique PM ₁₀	-	J_{PM10}	0.5	Guide d'instructions Projets miniers, (MDDELCC, 2017)
Taux d'émission	g/s.m ²	TE_{PM10}	5.70E-05	INRP : $1.12E^{-4} \times J_{PM10} \times 1.7 \times (s / 1.5) \times (365 - P) / 235 \times (I / 15) \times C_{kg-g} / (C_j-h \times Ch-s)$
C - Matières particulaires 2.5 µm (PM_{2.5})				
Facteur aérodynamique PM _{2.5}	-	$J_{PM2.5}$	0.075	Guide d'instructions Projets miniers, (MDDELCC, 2017)
Taux d'émission	g/s.m ²	$TE_{PM2.5}$	8.56E-06	INRP : $1.12E^{-4} \times J_{PM2.5} \times 1.7 \times (s / 1.5) \times (365 - P) / 235 \times (I / 15) \times C_{kg-g} / (C_j-h \times Ch-s)$
Références : MDDELCC. Guide d'instructions - Préparation et réalisation d'une modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques - Projets miniers. Janvier 2017.				

Tableau 13 Émissions de métaux à partir d'une lithologie – Silice cristalline – Sautage (sauto15s)

Intrants				
Item	Unité	Variable	Valeur	Références
Taux d'émissions de PMT	g/s	TE_PMT	1.06E+02	Taux d'émissions de particules calculé pour la source sauto15s
Taux d'émissions de PM10	g/s	TE_PM10	5.53E+01	Taux d'émissions de particules calculé pour la source sauto15s
Taux d'émissions de PM2.5	g/s	TE_PM2.5	3.19E+00	Taux d'émissions de particules calculé pour la source sauto15s
Proportion de la lithologie #1 (peridotite)	%	R1	26.4	Plan minier, Magneto
Proportion de la lithologie #2 (dunite)	%	R2	73.6	Plan minier, Magneto
Teneur en SiO2 - Lithologie #1	kg/kg	T1	5.00E-04	Analyses géochimiques, Magneto
Teneur en SiO2 - Lithologie #2	kg/kg	T2	4.00E-04	Analyses géochimiques, Magneto
A - Taux d'émission de SiO2 1hr dans les PM10				
Taux d'émissions de SiO2 1hr dans les PM10	g/s	TE_SiO2-PM10-1hr	2.77E-02	$TE_{PM10} \times \text{MAX}(T1, T2)$
B - Taux d'émission de SiO2 1an dans les PM4				
Taux d'émissions de PM4	g/s	TE_PM4	1.36E+01	$0.8 \times TE_{PM2.5} + 0.2 \times TE_{PM10}$
Taux d'émissions de SiO2 1an dans les PM4	g/s	TE_SiO2-PM4-1yr	5.81E-03	$TE_{PM4} \times (R1 \times T1 + R2 \times T2)/100$

Tableau 14 Définitions des substances modélisées

Substance	Acronyme	Taille des particules	Acronyme modélisé
Particules totales	PMT	-	pmt
Particules fines	PM2.5	-	pm2.5
Monoxyde de carbone	CO	-	co
Dioxyde d'azote	NO2	-	nox
Dioxyde de soufre	SO2	-	so2
Argent	Ag	PMT	ag-pmt
Arsenic	As	PMT	as-pmt
Baryum	Ba	PMT	ba-pmt
Béryllium	Be	PMT	be-pmt
Cadmium	Cd	PMT	cd-pmt
Cobalt	Co	PMT	cob-pmt
Chrome (composés de chrome hexavalent)	Cr(VI)	PMT	crh-pmt
Chrome (composés de chrome trivalent)	Cr(III)	PMT	crt-pmt
Cuivre	Cu	PMT	cu-pmt
Mercuré	Hg	PMT	hg-pmt
Manganèse	Mn	PM10	mn-pm10
Nickel	Ni	PM10	ni-pm10
Plomb	Pb	PMT	pb-pmt
Antimoine	Sb	PMT	sb-pmt
Sélénium	Se	PMT	se-pmt
Silice cristalline	SiO2	PM10	sio2-pm10
Silice cristalline	SiO2	PM4	sio2-pm4
Titane	Ti	PM10	ti-pm10
Thallium	Tl	PMT	tl-pmt
Vanadium	V	PMT	v-pmt
Zinc	Zn	PMT	zn-pmt
Chrysotile	Chrys	PMT	chrys-pmt

R-23-2 *FICHIERS DES TAUX
D'ÉMISSIONS SUR CLÉ
USB*

