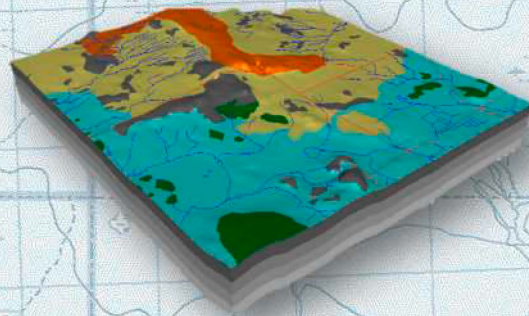


**SAYONA QUÉBEC INC. – PROPRIÉTÉ AUTHIER LITHIUM
PROJET D'EXPLOITATION D'UNE MINE À CIEL OUVERT
ÉTUDE HYDROGÉOLOGIQUE DE BASE
ET ÉVALUATION DES RÉPERCUSSIONS DU PROJET SUR L'ENVIRONNEMENT**



Remis à :

**Sayona Québec inc.
1155, boulevard René-Lévesque Ouest, bureau 2500
Montréal, QC, Canada
H3B 2K4**

Préparé par :

**Richelieu Hydrogéologie Inc.
219, 15^{ème} Avenue, Richelieu (Québec)
J3L 3V7**

Décembre 2018

Richelieu, le 12 décembre 2018

Sayona Québec inc.
1155, boulevard René-Lévesque Ouest, bureau 2500
Montréal, QC, Canada
H3B 2K4

À l'attention de M. Jonathan Gagné, Directeur du marché canadien

Objet : Projet de lithium Authier de Sayona Québec
Étude hydrogéologique et évaluation des effets du projet sur
l'environnement
Rapport final

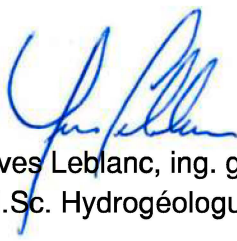
Monsieur,

J'ai le plaisir de vous transmettre les résultats de l'étude hydrogéologique réalisée dans le cadre du projet de lithium Authier de Sayona Québec, situé en Abitibi (Québec). L'objectif de l'étude est de dresser le portrait hydrogéologique de la propriété et d'évaluer les répercussions du projet sur le régime hydrogéologique du secteur.

Le document ci-joint décrit les résultats d'une revue de l'information disponible, les travaux de terrain effectués en 2017 et 2018, ainsi que les résultats d'interprétation des données et la modélisation de l'écoulement souterrain.

Si vous désirez obtenir des explications ou des informations supplémentaires, n'hésitez pas à me contacter.

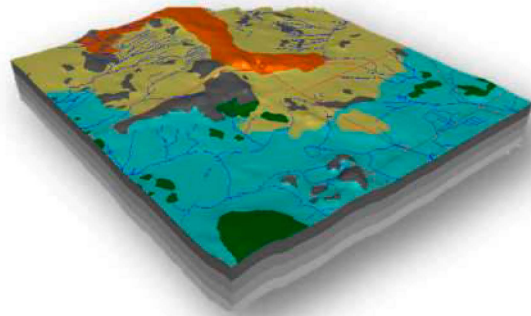
Veuillez agréer, monsieur Gagné, l'expression de mes sentiments les meilleurs.



Yves Leblanc, ing. géo.
M.Sc. Hydrogéologue

RICHELIEU HYDROGEOLOGIE INC.
219, 15^E AVENUE, RICHELIEU (QUEBEC) J3L 3V7
tél. : (450) 658-3233 courriel : yvesl@sympatico.ca

**SAYONA QUÉBEC INC. – PROJET AUTHIER LITHIUM
PROJET D'EXPLOITATION D'UNE MINE À CIEL OUVERT
ÉTUDE HYDROGÉOLOGIQUE DE BASE
ET ÉVALUATION DES RÉPERCUSSIONS DU PROJET SUR L'ENVIRONNEMENT**



Remis à :

Sayona Québec inc.

1155, boulevard René-Lévesque Ouest, bureau 2500

Montréal, QC, Canada

H3B 2K4

Réalisé par :

Véronique Fournier, géo.

M.Sc. Hydrogéologue

OGQ : 1471

Vérifié par :

Yves Leblanc, géo. Ing.

M.Sc. Hydrogéologue

OGQ : 333 OIQ : 123196

RÉSUMÉ DE L'ÉTUDE

La propriété Authier a été explorée pour la minéralisation de lithium en lien avec la découverte d'une intrusion importante de pegmatite contenant du spodumène lors de travaux antérieurs. Depuis juillet 2016, le projet Authier appartient à Sayona Québec, filiale à part entière de Sayona Mining. La société minière a complété une étude de faisabilité en 2018 et vise le dépôt des premières demandes d'autorisation ministérielles vers la fin 2018, la construction des infrastructures minières en 2019 et l'entrée en production de la mine en 2020. L'extraction du minerai serait réalisée à ciel ouvert.

L'objectif de la présente étude hydrogéologique est de dresser le portrait hydrogéologique de la propriété Authier et de faire l'évaluation des répercussions du projet sur l'environnement. L'étude hydrogéologique a débuté en décembre 2016 et a compris, jusqu'à présent, la mise en place de 24 puits d'observation, la réalisation de trois campagnes d'échantillonnage des eaux souterraines, d'essais de perméabilité à charge variable, d'essais de traçage par profil et de relevés de niveaux d'eau.

En termes hydrostratigraphiques, la propriété Authier est caractérisée par la présence des principales unités suivantes :

- Le socle rocheux, qui constitue un aquifère d'extension régionale de perméabilité moyenne à faible ;
- Le till glaciaire à matrice sablo-silteuse dont l'épaisseur varie de nulle à 6,25 m ;
- Une unité fluvio-glaciaire (esker) de sable et gravier est aussi présente à la limite nord-est du secteur et constitue un aquifère aux endroits où il est saturé d'eau ;
- Les sédiments glaciolacustres composés de sable (unité littorale) ou de silt (unité d'eau profonde), dont l'épaisseur maximale est de 14,9 m ;
- Un horizon de matière organique en surface dont l'épaisseur n'excède pas 80 cm.

La conductivité hydraulique des unités a été déterminée à l'aide d'essais de perméabilité à charge variable dans les puits d'observation et dans certains forages d'exploration minière, ainsi qu'à l'aide d'essais de traçage par profil dans quelques-uns des forages d'exploration minière réalisés pour définir le gisement. Dans l'ensemble, toutes méthodes confondues, la partie du socle rocheux qui contribue à l'écoulement se retrouve en général dans les 150 premiers mètres du socle rocheux. La conductivité hydraulique moyenne y est de l'ordre de 10^{-7} m/s. Par la suite, la

conductivité hydraulique diminue à des valeurs moyennes de l'ordre de 10^{-8} m/s à 200 mètres de profondeur et de 10^{-11} m/s à 250 mètres de profondeur. Dans les dépôts meubles, la conductivité hydraulique moyenne mesurée est de l'ordre de 10^{-6} m/s.

En termes d'écoulement souterrain, la surface piézométrique est généralement conforme à la surface topographique. En effet, la plupart des forages recoupent la surface piézométrique à environ 1,9 m de profondeur, sauf pour les puits d'observation aménagés dans l'esker, où le niveau de la nappe est à plus de 12 m de profondeur. L'interprétation des niveaux d'eau mesurés permet de déterminer qu'à l'endroit de la fosse projetée, l'écoulement souterrain s'effectue de façon générale en direction sud-ouest. Les zones de recharge sont localisées dans les secteurs occupés par les sédiments fluvio-glaciaires et les affleurements rocheux. La vidange de l'aquifère s'effectue par des suintements vers la surface aux abords et dans les cours d'eau qui drainent la propriété.

La recharge annuelle moyenne par unité de surface a été estimée entre 0 et 420 mm/an en fonction de la texture des sols et de la pente du terrain. Selon l'indice de vulnérabilité DRASTIC, l'aquifère régional est considéré comme faiblement à fortement vulnérable, avec des indices calculés dans le cadre de ce mandat qui varient de 60 à 200 sur la propriété Authier.

Par rapport au projet à l'étude, les utilisateurs d'eau souterraine les plus rapprochés sont situés sur le chemin de la Ligne à l'eau et sur le chemin Saint-Luc. La résidence la plus rapprochée est à 3,5 km de distance par rapport au centre de la fosse projetée. La profondeur moyenne des puits répertoriés est d'environ 75,8 m.

Les eaux souterraines échantillonnées sont généralement de type bicarbonaté calcique et sodique potassique, possèdent un pH neutre à alcalin et sont peu chargées en minéraux (conductivité électrique moyenne de 134 μ S/cm). Le profil géochimique de l'eau qui circule dans les dépôts meubles est semblable à celui de l'eau qui circule dans le réseau de fissures du socle rocheux.

Enfin, la qualité des eaux souterraines échantillonnée dans 24 puits d'observation, est affectée par quelques dépassements de critère de consommation de la PSRTC et/ou du RQEP, notamment pour les concentrations en aluminium (n=5), en arsenic (n=3), en manganèse (n=22), en mercure (n=6), en nickel (n=1) et en plomb (n=2). Le critère de résurgence dans les eaux de

surface est, quant à lui, dépassé pour le cuivre (n=6), le mercure (n=14), l'aluminium (n=1) et le zinc (n = 3).

Lorsque la fosse aura atteint sa profondeur maximale (de 200 m), l'aire d'influence de la mine pourrait atteindre, dans le pire des cas, une superficie de 7,8 km² (incluant la fosse) tandis que son rayon d'influence pourrait atteindre environ 1070 à 2330 m. À la fin de la vie de la mine, le remplissage de la fosse s'effectuera de façon naturelle par l'apport des eaux souterraines dans la fosse ainsi que par l'apport des eaux de ruissellement et des précipitations directes. La durée de la période de remplissage est estimée à environ 17 ans.

En phase d'exploitation, la migration d'eau souterraine à partir de la propriété Authier sera affectée par le cône de rabattement provoqué par le maintien à sec de la fosse. À l'extérieur de l'aire d'influence de la fosse, la migration d'eau souterraine s'effectuera en direction des exutoires naturels de l'aquifère (ruisseaux), ainsi que vers le lac Kapitagama situé au sud-ouest du site. En phase post-exploitation, le lac formé par la présence de la fosse agira encore comme piège hydraulique pour les eaux de la partie est de la halde.

Les essais statiques et les analyses réalisées sur des échantillons de stériles et de résidus n'indiquent pas de potentiel de génération d'acide. Au niveau de la lixiviation des métaux, seuls les échantillons de stériles ont montré un potentiel de lixiviation en nickel dans les essais de type TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure), tandis que dans les essais de type SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure), aucun métal n'est lixiviable.

Les utilisateurs d'eau souterraine les plus proches sont situés sur le chemin de la Ligne à l'eau et sur le chemin Saint-Luc, à une distance de plus du double de l'aire d'influence de la fosse. Le rendement de leur puits ne sera donc pas affecté par les activités de la mine. Par ailleurs, la qualité de l'eau des utilisateurs d'eau souterraine ne sera pas affectée par les activités puisque la mine agira comme un drain qui interceptera toutes les eaux s'infiltrant autour.

En termes d'effets sur l'environnement, selon le scénario le plus conservateur, les milieux humides et cours d'eau qui traversent l'aire d'influence de la fosse (~7.8 km²) pourraient subir une diminution de niveau d'eau ou de débit, voire un assèchement durant la période d'exploitation.

L'extrémité sud de l'esker St-Mathieu-Berry est localisée à l'intérieur de l'aire d'influence. Il est donc prévu que le niveau de l'eau dans cette partie de l'esker puisse subir un rabattement lors de la phase d'exploitation. Un secteur de l'esker d'une superficie de 1,9 km², pourrait être affecté par

un rabattement de 0,5 à 6,5 m. Cette portion de l'esker n'est pas connectée avec la principale portion de l'esker qui est exploitée notamment par la ville d'Amos et par la société Eska. En effet, une remontée du socle rocheux est observée entre le segment sud et le reste de l'esker.

Afin de faire le suivi des eaux souterraines en conformité avec la directive 019 sur l'industrie minière, il est recommandé de poursuivre de façon biannuelle le suivi sur la qualité et les niveaux d'eau entamé à l'automne 2017 sur le réseau de puits d'observation, et ce durant toute la durée de l'exploitation et pour une période minimale de 5 ans après l'arrêt des activités minières, jusqu'à l'atteinte des objectifs environnementaux de rejet.

Il est aussi recommandé de faire la mise en place de puits d'observation supplémentaires en aval de la fosse lorsque les trois nids de puits localisés dans l'empreinte de celle-ci seront détruits et de faire l'ajout de puits d'observation en aval de l'ancien dépôt en tranché (DET) de la municipalité de La Motte afin de faire le suivi sur la qualité de l'eau ayant transité sur le secteur du DET.

EXECUTIVE SUMMARY

The Authier property has been surveyed for lithium mineralization since the discovery of a pegmatite intrusion with spodumene minerals. Since July 2016, the property belongs to Sayona Québec, a subsidiary company of Sayona Mining. The society achieved the feasibility study in 2018, the permitting process will start late 2018, then the infrastructure construction will start in 2019 and the production, in 2020. The mine will be an open pit.

The objective of this hydrogeological study is to describe the hydrogeological context of the Authier property and to evaluate the effects of the project to the environment. The study has started in December 2016 and include the installation of 24 observation wells, three groundwater sampling campaign, the achievement of variable head permeability tests and tracer profile testing and groundwater level survey.

The hydrostratigraphic units identified at the Authier property are the following:

- Bedrock, a regional aquifer of a standard to low permeability;
- Glacial till, discontinuously covering the bedrock;
- Fluvio-glacial sand and gravel (esker), a highly permeable aquifer, covering the till;
- Glacio-lacustrine sand (aquifer) and silt (aquitard), covering the till unit and partly the fluvio-glacial unit;
- Organic layer, a thin and discontinuous aquitard.

The most permeable part of the bedrock is in its upper 150 m, then it gets impermeable. Its mean hydraulic conductivity is in the order of magnitude of 10^{-7} m/sec. Into the unconsolidated sediments, the mean hydraulic has been measured to the order of magnitude of 10^{-6} m/sec.

The piezometric surface conforms the topographic surface. Groundwater level is found at a mean depth of 1,9 m below ground surface, except for the esker where groundwater level is found at more than 12 m deep. The groundwater flow is in the SW direction through the property. Groundwater recharge is achieved into the esker and bedrock outcrops, while it discharges into local brooks and wetlands.

The recharge has been evaluated from 0 to 420 mm/year, as a function of the soil texture and ground slope. The DRASTIC index vulnerability was estimated between 60 and 200 at the Authier property, which represents low to high vulnerability to surface activities.

An inventory of the groundwater users revealed that the closest well is at a distance of 3,5 km from the center of the projected open pit. Residential wells are located on the Ligne à l'eau road and St-Luc road. The mean depth of these wells is 75,8 m.

The groundwater types are calcium-bicarbonate and sodium-potassium. The pH is neutral to alkaline and the mineral charge is quite low (electrical conductivity mean of 134 µs/cm). There is no difference between the groundwater from bedrock and from the unconsolidated deposits. Comparing to drinking water standards from PSTRC and/or RQEP, a few excesses are observed for aluminium (n=5), arsenic (n=3), manganese (n=22), mercury (n=6), nickel (n = 1) and lead (n = 2). Surface water standards is exceeded for copper (n = 6), mercury (n = 14), aluminium (n = 1) and zinc (n = 3).

When the open pit will reach its maximum depth (200 m), the area of influence would get 1070 to 2330 m. The filling of the open pit will be achieved in about 17 years by both surface and groundwater inflow.

During the mine life the groundwater flow from beneath the waste rock and tailings will be directed towards the pit. The static testings carried on waste rocks and tailings don't indicate an acid generation potential. On lixiviation testing, only waste rock samples showed a nickel lixiviation potential in TCLP testing (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) while no lixiviation occurred in SPLP testing (Synthetic Precipitation Leaching Procedure).

The effects of mine dewatering on residential wells are negligible since those wells are located at more than twice the radius of influence of the open pit. Their groundwater quality should neither be affected since the open pit will act like a drain, intercepting all possibly contaminated groundwater.

The effect of the project on the environment would be, in the worst-case scenario, a reduced groundwater outflow to the local surface water network and to the wetlands. A reduced flow of brooks or drying of wetlands could then occur into the area of influence (about 7.8 km²).

The southern part of the St-Mathieu-Berry esker is enclosed into the area of influence of the mine. This area would have a local drawdown of 0,5 to 6,5 m in a surface of about 1,9 km². This southern part of esker is not connected to the northern part which is being tapped by the drinking facilities of the city of Amos and also by the Eska water bottling society. Both portions of the esker are separated by a bedrock lump.

In order to follow up the groundwater in conformity to the government's directive 019 on the mining industry, it is recommended to proceed with the bi-annual groundwater quality and groundwater level survey started in 2017. Those surveys should last for the entire mine-life and five years after the mining activities ceases.

It is also recommended to proceed with the implementation of additional observation wells downstream of the open pit when the three well nests actually located in the footprint of the pit will be destroyed and the addition of observation wells downstream of the DET of the municipality of La Motte to monitor the water quality.

ÉQUIPE DE RÉALISATION

Richelieu Hydrogéologie

Yves Leblanc, ing. M.Sc. Hydrogéologue (OIQ 123196)

Véronique Fournier, géo. M.Sc. Hydrogéologue (OGQ 1471)

François Hardy, M.Sc, Quaternariste

Guillaume Légaré-Couture, M.Sc. Analyste en géomatique

Mathieu Dufour, B. ing., Stagiaire

Hydro-Ressources

Laboratoire H2Lab

Forages Technofor

Forages Giroux

Corriveau J.L. et associés

TABLE DES MATIÈRES

Liste des tableaux.....	xi
Liste des illustrations	xi
Liste des figures	xii
Liste des annexes.....	xii
1. Introduction	1
1.1 Mandat.....	1
1.2 Mise en situation.....	1
2. Contexte hydrogéologique.....	2
2.1 Localisation géographique du secteur à l'étude	2
2.2 Contexte physiographique, topographie et drainage	2
2.3 Milieu humain.....	3
2.4 Climatologie	7
2.5 Géologie	7
2.6 Hydrogéologie.....	8
2.6.1 Système d'information hydrogéologique (SIH).....	8
2.6.2 Réseau de suivi des eaux souterraines du Québec.....	9
2.6.3 Forages d'exploration minière	10
2.6.4 Étude hydrogéologique régionale.....	11
3. Description des travaux réalisés.....	15
3.1 Forage et aménagement de puits d'observation	15
3.2 Relevés piézométriques	17
3.3 Essais de perméabilité à charge variable.....	17
3.4 Essais de traçage en profil PTT	18
3.5 Échantillonnage d'eau souterraine	18
3.5.1 Méthodologie	18
3.5.2 Programme analytique	19
3.5.3 Puits échantillonnés.....	19
3.5.4 Laboratoire d'analyses	20
3.5.5 Contrôle de qualité	20
4. Résultats.....	21
4.1 Unités hydrostratigraphiques.....	21
4.2 Propriétés hydrogéologiques.....	23
4.2.1 Essais de perméabilité et granulométrie dans les puits d'observation.....	23
4.2.2 Essais de traçage par profil (PTT) dans les forages d'exploration.....	25

SAYONA QUÉBEC INC.– PROJET AUTHIER LITHIUM
PROJET D'EXPLOITATION D'UNE MINE À CIEL OUVERT
ÉTUDE HYDROGÉOLOGIQUE DE BASE
ET ÉVALUATION DES RÉPERCUSSIONS DU PROJET SUR L'ENVIRONNEMENT

4.3	Piézométrie	26
4.4	Recharge potentielle des eaux souterraines	28
4.4.1	Apports verticaux	28
4.4.2	Coefficient de ruissellement	28
4.4.3	Évapotranspiration.....	30
4.4.4	Calcul de la recharge distribuée	30
4.5	Vulnérabilité des eaux souterraines	31
4.6	Qualité de l'eau	32
4.6.1	Validation des analyses effectuées en laboratoire	32
4.6.2	Analyse des résultats	33
4.6.3	Teneur de fond locale	34
4.6.4	Types d'eau rencontrés	35
4.7	Classification des eaux souterraines	39
5.	modélisation de l'écoulement des eaux souterraines	44
5.1	Méthodologie	44
5.2	Description du modèle numérique d'écoulement	44
5.2.1	Logiciel utilisé	44
5.2.2	Hypothèses de travail	45
5.2.3	Maillage, conditions limites et propriétés hydrogéologiques	46
5.2.4	Calibrage et validation du modèle	47
5.2.5	Sensibilité des paramètres du modèle	50
5.3	Simulation d'écoulement souterrain en régime permanent.....	52
5.3.1	Condition naturelle d'écoulement avant l'exploitation de la fosse	52
5.3.2	Conditions d'écoulement avec la présence de la fosse	53
5.3.3	Flux potentiel d'eau à partir de la halde	57
5.3.4	Ennoiement de la fosse	58
5.4	Répercussions des activités du projet sur les eaux souterraines	60
5.4.1	Effets du projet sur les utilisateurs d'eau souterraine.....	60
5.4.2	Effets du projet sur les milieux hydriques	62
5.4.3	Effets du projet sur l'esker Saint-Mathieu-Berry	63
5.4.4	Effets du projet sur le DET	67
5.4.5	Accidents, défaillance et évènements majeurs	68
5.5	Mesures de suivi.....	68
6.	Conclusions et recommandations	71

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Statistiques sur les puits et forages inventoriés dans le SIH	9
Tableau 2 : Plages de propriétés hydrauliques typiques des formations de l'Abitibi	12
Tableau 3 : Calendrier de réalisation des travaux.....	15
Tableau 4 : Coordonnées et élévation des puits d'observation	16
Tableau 5: Résultats d'analyses granulométriques.....	22
Tableau 6: Résultats des essais de perméabilité dans les puits d'observation	24
Tableau 7: Résultats des calculs empiriques à partir des analyses granulométriques	24
Tableau 8: Élévations piézométriques mesurées dans les puits d'observation.....	27
Tableau 9: Classification hydrologique des dépôts de surface	29
Tableau 10: Coefficient hydrologique selon la pente et la classification des dépôts	29
Tableau 11: Résultats d'analyses en laboratoire des échantillons d'eau	40
Tableau 12 : Propriétés hydrogéologiques assignées au modèle calibré.....	48
Tableau 13 : Niveaux d'eau calculés et niveaux d'eau mesurés dans les piézomètres	49
Tableau 14 : Propriétés hydrogéologiques assignées au modèle du scénario 2.....	52
Tableau 15 : Bilan hydrique du modèle en condition d'écoulement « avant mine »	53
Tableau 16 : Résultats pour les cinq simulations de l'évolution de la fosse	54
Tableau 17 : Bilan hydrique du modèle en condition d'écoulement au stade final d'exploitation	56
Tableau 18 : Suivi recommandé des eaux souterraines	69

LISTE DES ILLUSTRATIONS

Illustration 1 : Affectation du territoire (MELCC, 2018).....	3
Illustration 2 : Aires protégées (MELCC, 2018).....	4
Illustration 3 : Localisation de l'ancien DET de la municipalité de La Motte	5
Illustration 4 : Anciennes cartes topographiques de 1976 et 1984	6
Illustration 5 : Photographies aériennes historiques	7
Illustration 6 : Graphique tiré du réseau du suivi du MELCC	10
Illustration 7 : Piézométrie extraite de la base de données du PACES AT1.....	12
Illustration 8 : Recharge extraite de la base de données du PACES AT1	13
Illustration 9 : Vulnérabilité DRASTIC extraite de la base de données du PACES AT1	14
Illustration 10 : Profils de conductivité hydraulique en fonction de la profondeur réelle	25
Illustration 11 : Suivi piézométrique de la nappe d'eau souterraine.....	28
Illustration 12 : Diagrammes de Piper pour le socle rocheux.....	36
Illustration 13 : Diagrammes de Piper pour les dépôts meubles.....	37
Illustration 14 : Diagrammes de Piper pour l'ensemble des unités	39
Illustration 15 : Justification de l'emploi de l'hypothèse d'un milieu poreux équivalent.....	45

Illustration 16 : Corrélation entre les niveaux d'eau calculés et les niveaux d'eau observés	49
Illustration 17 : Courbe d'ennoiement de la fosse en fonction du temps	59
Illustration 18 : Modèle stratigraphique simplifié de l'esker entre Sainte-Gertrude et La Motte.....	65
Illustration 19 : Vues transversales et longitudinales de l'esker entre Sainte-Gertrude et La Motte.....	66

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation de la propriété Authier
Figure 2 : Extrait de la carte topographique à l'échelle
Figure 3 : Modèle numérique d'altitude
Figure 4 : Extrait de la photographie aérienne
Figure 5 : Extrait de la carte géologique
Figure 6 : Extrait de la carte des formations superficielles
Figure 7 : Inventaire des puits et forages dans le SIH
Figure 8 : Localisation des travaux et essais
Figure 9 : Altitude du socle rocheux
Figure 10 : Épaisseur des dépôts meubles
Figure 11 : Profils hydrostratigraphiques
Figure 12 : Séquences hydrostratigraphiques
Figure 13 : Recharge potentielle calculée par bilan hydrique distribué
Figure 14 : Vulnérabilité des eaux souterraines selon l'indice DRASTIC
Figure 15 : Bloc diagramme montrant le modèle numérique MODFLOW
Figure 16 : Piézométrie en l'absence du projet minier déterminée par modélisation
Figure 17 : Piézométrie modélisée au terme de l'exploitation de la fosse
Figure 18 : Rabattement modélisé au terme de l'exploitation de la fosse
Figure 19 : Profil nord-sud des rabattements projetés
Figure 20 : Trajet potentiel d'écoulement souterrain à partir de la halde en phase d'exploitation
Figure 21 : Trajet potentiel d'écoulement souterrain à partir de la halde en phase post-exploitation

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Figures
Annexe 2 : Données météorologiques
Annexe 3 : Résultats d'inventaire dans le SIH
Annexe 4 : Dossier photographique
Annexe 5 : Rapports de forage
Annexe 6 : Analyses granulométriques
Annexe 7 : Interprétation des essais de perméabilité
Annexe 8 : Interprétation des essais PTT

**SAYONA QUÉBEC INC.– PROJET AUTHIER LITHIUM
PROJET D'EXPLOITATION D'UNE MINE À CIEL OUVERT
ÉTUDE HYDROGÉOLOGIQUE DE BASE
ET ÉVALUATION DES RÉPERCUSSIONS DU PROJET SUR L'ENVIRONNEMENT**

Annexe 9 : Certificats d'analyse (fichier électronique)

Annexe 10 : Cartes de l'indice DRASTIC

Annexe 11 : Analyse de sensibilité sur le modèle

LEXIQUE

Aire de protection : Portion de territoire protégée autour d'un puits afin de prévenir toute contamination.

Aire d'alimentation : Portion de territoire en amont d'un puits à l'intérieur de laquelle toute eau souterraine finira par être captée par ce puits.

Aquiclude et aquitard : Formation géologique imperméable ou très peu perméable où l'écoulement souterrain est très faible.

Aquifère : Formation géologique où l'eau souterraine peut être captée par un puits.

Conductivité hydraulique : Mesure de la facilité d'un aquifère à transmettre l'eau. Corresponds physiquement au débit pouvant circuler dans une surface de 1 m² sous un gradient hydraulique de 1.

Contaminant : Toute substance présente dans l'eau en concentration qui dépasse les concentrations naturelles et qui la rend impropre à la consommation.

Eau souterraine : Eau trouvée dans les espaces entre les particules de sol ou dans les fissures du socle rocheux.

Évapotranspiration : Perte d'une partie de l'eau infiltrée par évaporation et par la transpiration des plantes.

Gradient hydraulique : Pente de la surface piézométrique. Corresponds à la différence de niveau d'eau entre deux puits, divisé par la distance entre ces deux puits.

Hydrogéologie : Science qui étudie les mouvements de l'eau souterraine dans les matériaux géologiques.

Krigeage : méthode géostatistique d'interpolation spatiale de données permettant de tracer une courbe à l'aide de plusieurs points de mesure.

Lieu de prélèvement : lieu physique pouvant être composé d'un ou plusieurs puits rapprochés l'un de l'autre, où il est possible d'effectuer des prélèvements d'eau.

Lithologie : nature des roches formant une couche géologique.

Nappe libre : Aquifère où l'eau souterraine n'est pas sous pression : elle est en équilibre avec la pression atmosphérique.

Nappe captive : Aquifère où l'eau souterraine est maintenue sous pression par une couche imperméable.

Niveau dynamique : Niveau piézométrique influencé — rabattu ou relevé — par opposition au niveau naturel au même point ; plus particulièrement, plan d'eau rabattu ou relevé, stabilisé ou non, dans un puits de pompage ou un ouvrage d'injection.

Niveau statique : Niveau piézométrique non influencé dans un puits, un piézomètre, auquel se réfère le rabattement ou le relèvement. S'oppose à un niveau dynamique influencé.

Porosité : Correspond au rapport entre le volume des vides sur le volume total d'un échantillon donné de matériau.

Porosité efficace : Correspond au rapport entre le volume d'eau pouvant se libérer de façon gravitaire sur le volume total d'un échantillon donné de matériau.

Porosité effective : Pores et interstices reliés à l'état saturé et qui permettent l'écoulement. Supérieure à la porosité efficace et inférieure à la porosité totale.

Puits : Un trou cylindrique foré ou excavé dont la profondeur est plus grande que son diamètre et dont l'objectif est de rejoindre un aquifère afin d'y extraire ou d'y injecter de l'eau.

Puits d'observation ou piézomètre : Puits non utilisé pour le pompage, généralement de petit diamètre, utilisé pour mesurer l'élévation de la nappe d'eau souterraine où pour y déterminer sa qualité.

Rabattement : Différence entre le niveau d'eau avant pompage (niveau statique) et en condition de pompage (niveau dynamique).

Recharge : Partie des précipitations qui pénètre sous la surface du sol.

Régime permanent d'écoulement : Écoulement souterrain à l'état d'équilibre. Indépendant du temps.

Régime d'écoulement transitoire : Écoulement souterrain à l'état de déséquilibre. Dépendant du temps, fait intervenir la notion d'emmagasinement.

Vulnérabilité : Aptitude de l'eau souterraine à se faire contaminer par les activités/usages de surface, en fonction des conditions hydrogéologiques locales.

1. INTRODUCTION

1.1 Mandat

Dans le cadre du projet d'exploitation d'une mine à ciel ouvert au site de la propriété Authier située à La Motte (Québec), les services de *Richelieu Hydrogéologie Inc.* ont été retenus par *Sayona Québec Inc.* afin de réaliser une étude pour dresser le portrait hydrogéologique de la propriété et évaluer les répercussions potentielles du projet sur les eaux souterraines.

L'objectif est de répondre aux exigences du *Ministère de l'Environnement et de la Lutte Contre les Changements Climatiques* (MELCC), dont sa directive 019 sur l'industrie minière (MELCC, 2012). Les objectifs spécifiques sont les suivants :

- ❑ Décrire le contexte hydrogéologique du site à l'étude ;
- ❑ Établir un réseau de suivi de la nappe d'eau souterraine ;
- ❑ Identifier et caractériser les puits des utilisateurs d'eau souterraine locaux ;
- ❑ Représenter les conditions actuelles d'écoulement par un modèle hydrogéologique conceptuel et numérique ;
- ❑ Simuler les conditions d'écoulement en phase d'exploitation et en mesurer les effets ;
- ❑ Proposer des mesures additionnelles de caractérisation et de suivi.

Ce document présente le contexte hydrogéologique régional et local, une description des travaux réalisés et l'interprétation des résultats obtenus.

1.2 Mise en situation

La propriété Authier a été explorée dans les années 1950 et 1960 pour la minéralisation de sulfures, nickel-cuivre et vers la fin des années 1960 pour la minéralisation de lithium en lien avec la découverte d'une intrusion importante de pegmatite contenant du spodumène. La propriété a fait l'objet de travaux d'exploration entre 1966 et 1980 avec des programmes de forage d'exploration de 1991 à 1999.

Depuis juillet 2016, le projet Authier appartient à *Sayona Québec* qui vise le dépôt des demandes d'autorisation pour la construction vers la fin de 2018, la construction des infrastructures en 2019 et l'entrée en production en 2020. L'extraction de spodumène contenant du lithium, présent dans une intrusion de pegmatite sera réalisée à partir d'une fosse à ciel ouvert.

2. CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE

2.1 Localisation géographique du secteur à l'étude

La propriété Authier est située à environ 45 km au nord-ouest de la ville de Val-d'Or (Québec) sur le territoire de la municipalité de La Motte, près la limite de la municipalité de Preissac. La propriété est accessible par le réseau routier rural reliant la route principale 109 à quelques kilomètres à l'est et qui relie au sud la route 117. Le secteur à l'étude comprend les lots 1 à 10 du rang IV du Canton de La Motte et les lots 1 à 4 et 57 et 58 du rang IIV des Cantons de La Motte et de Preissac, division d'enregistrement d'Abitibi.

Les coordonnées géographiques centrales approximatives de la propriété sont les suivantes :

- 78°12'10,33" ouest
- 48°21'40,37" nord

La figure 1 présente une localisation de la propriété à l'étude à l'échelle 1 : 100 000.

2.2 Contexte physiographique, topographie et drainage

La propriété à l'étude se situe dans la région physiographique du Bouclier Canadien, caractérisée dans le secteur du projet Authier par un relief généralement plat, à l'exception du secteur nord-est qui se compose de petites collines en raison de la présence de l'esker Saint-Mathieu-Berry. L'élévation au-dessus du niveau de la mer varie de 320 m au point le plus bas de la propriété à 380 m près du sommet de l'esker, avec une altitude moyenne de 350 m.

Deux bassins hydrographiques principaux divisent le secteur de la propriété de Sayona Québec : le bassin hydrographique de la rivière Kinojévis, qui se draine vers le fleuve Saint-Laurent et le bassin versant de la rivière Harricana, qui se draine vers la baie James. Les sous-bassins versants respectifs identifiés sur la propriété sont celui du lac Kapitagama et celui du lac Croteau. Le site est principalement localisé dans le sous-bassin hydrographique du lac Kapitagama.

Sur le futur site minier, l'eau de surface s'écoule vers le sud-ouest à travers un réseau de zones humides et de petits ruisseaux vers le lac Kapitagama, qui est un affluent du lac Preissac, situé à 5 km à l'ouest.

Les figures 2, 3 et 4 présentent, respectivement, un extrait de la carte topographique à l'échelle 1 : 20 000, le modèle numérique d'élévation du terrain, ainsi qu'un extrait d'imagerie satellitaire montrant le territoire à l'étude.

2.3 Milieu humain

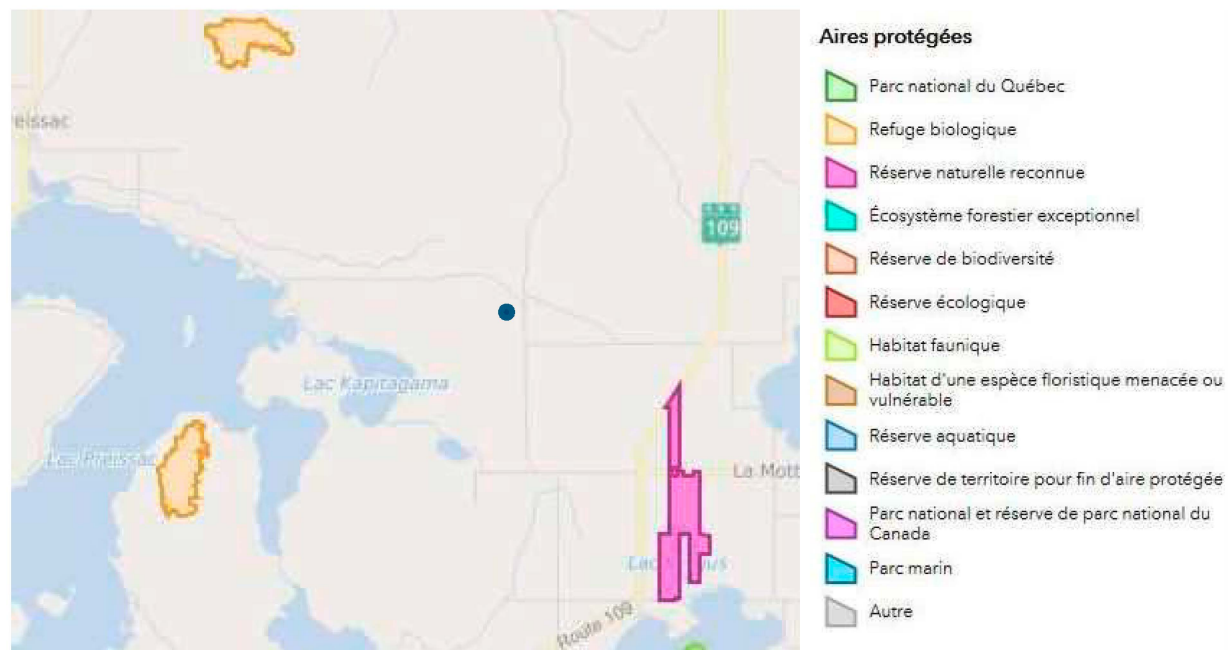
Le territoire environnant le site à l'étude est caractérisé par une affectation principalement forestière de type boréale (illustration 1). Les zones agricoles sont situées à plus de 2 km au sud de la fosse projetée.

Les aires protégées de type réserve naturelle sont le marais Kergus et le refuge biologique (illustration 2). Celles-ci sont situées à plus de 3 km du site à l'étude. De plus, la zone de l'esker à plus de 2 km au nord du site constitue une contrainte environnementale selon le Portrait provincial en aménagement du territoire (PPAT).

Illustration 1 : Affectation du territoire (MELCC, 2018)



Illustration 2 : Aires protégées (MELCC, 2018)



Le territoire environnant la propriété Authier est caractérisé par de nombreux titres miniers actifs (MERN, 2018). Les activités anthropiques répertoriées sont principalement les vestiges d'un ancien site minier avec zone de déchet de mine au sud de la propriété (ancienne mine Marbridge), ainsi que plusieurs sablières et un ancien site de dépôt en tranchées (DET) opéré par la municipalité de La Motte jusqu'en 2009 (Plan d'urbanisme de la municipalité de La Motte) dans la partie sud-est de l'esker (illustration 3). Aucun dépôt de sols et de résidus industriels, aucun déversement accidentel ayant fait appel à Urgence-Environnement et aucun puits pétrolier ou gazier n'est répertorié sur le territoire de La Motte dans les répertoires du MELCC, du MERN et du gouvernement du Canada. Le répertoire des terrains contaminés du MELCC fait état d'un seul terrain contaminé à la station-service de La Motte. Ce terrain est situé à 7 km du site à l'étude.

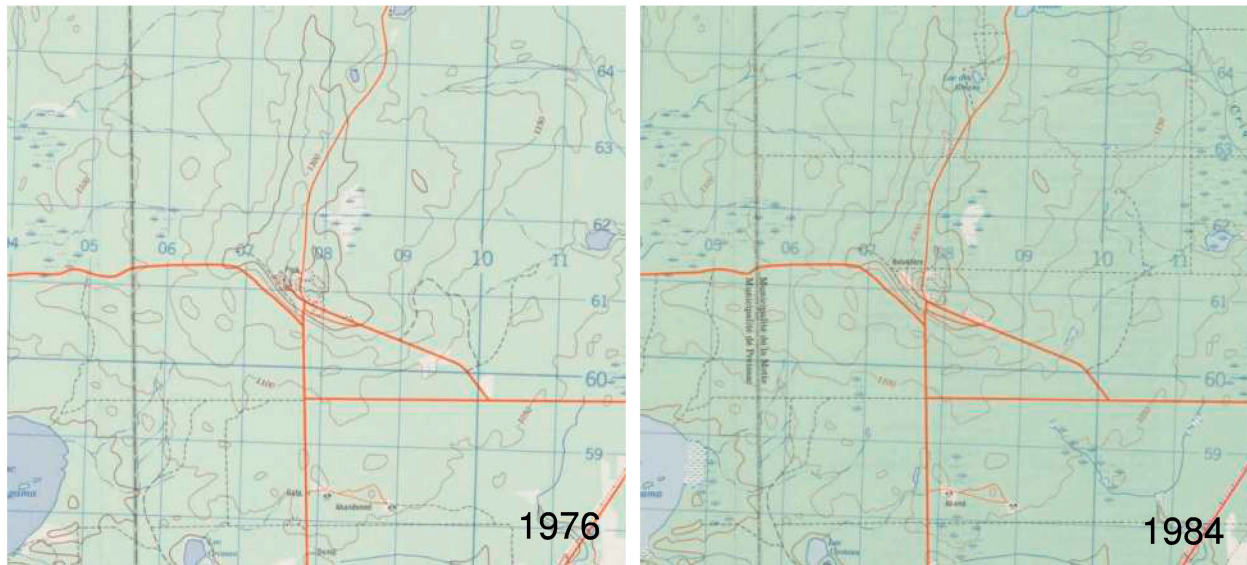
L'ancien dépôt en tranchée de la municipalité de La Motte a fait l'objet d'une demande de certificat d'autorisation pour un dépôt en tranchée de déchets solides en 1986. En 2007, le Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs effectuait une inspection du site au cours de laquelle des taches de sols contaminés aux hydrocarbures, ainsi que des traces de brûlage et des accumulations de pneus usagés ont été détectées. Après la fermeture du site en 2009, une inspection a été réalisée (Stavibel, 2009). Le rapport d'inspection concluait que l'ensemble des conditions prévues à la fermeture d'un DET étaient conformes. Cependant, le rapport d'inspection n'inclut pas d'étude hydrogéologique spécifique.

Illustration 3 : Localisation de l'ancien DET de la municipalité de La Motte



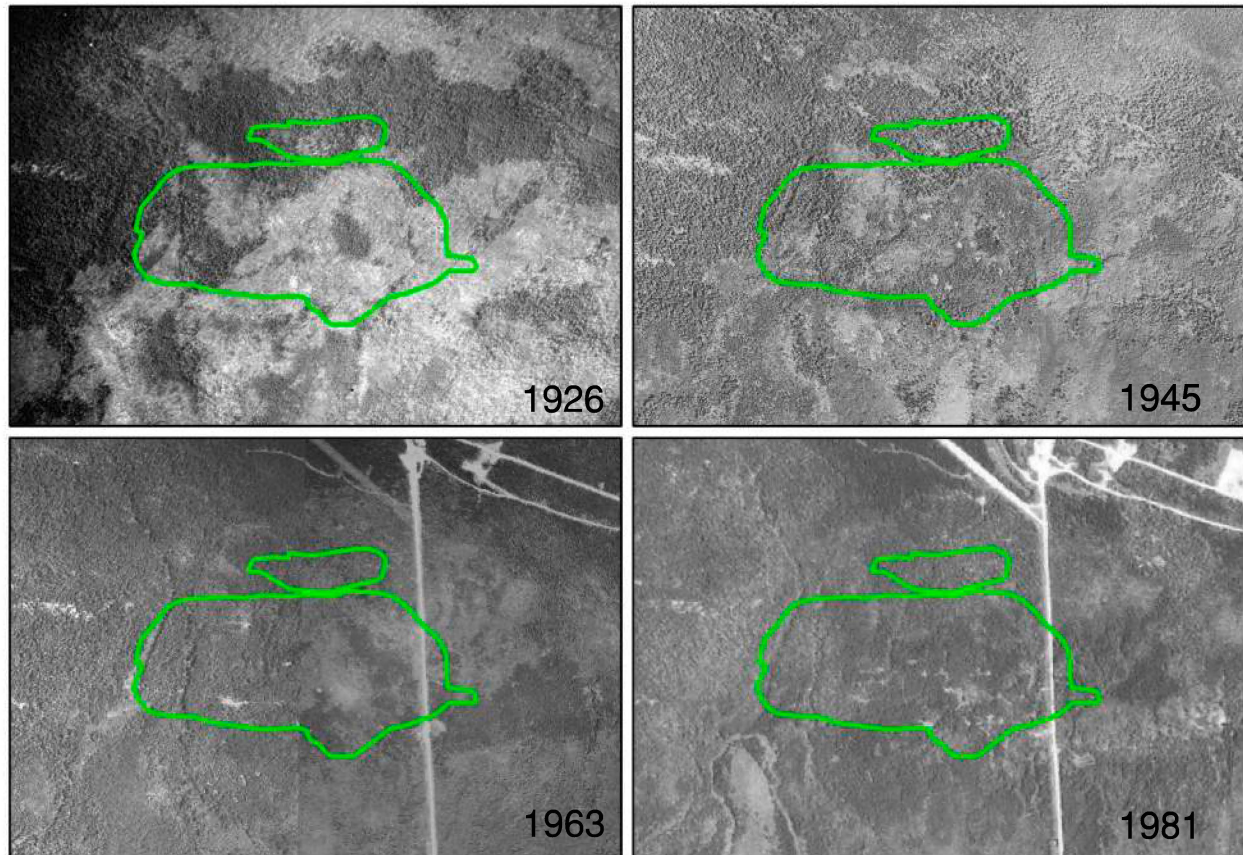
Les cartes topographiques datant de 1976 et 1984 ont été consultées afin d'observer l'évolution du territoire environnant (illustration 4). Celui-ci a très peu évolué pendant cette période. Il est possible d'observer que plusieurs exploitations de sables étaient déjà présentes en 1976 en bordure du chemin de la Sablière. On y observe également qu'un parc avec belvédère était présent à l'extrémité ouest de ce chemin.

Illustration 4 : Anciennes cartes topographiques de 1976 et 1984



Les photographies aériennes datant de 1926, 1945, 1963 et 1981 ont été consultées afin d'observer l'évolution du territoire environnant (illustration 5). Les photographies de 1923 et de 1945 indiquent une absence totale d'utilisation du territoire. La photographie aérienne de 1963 montre le tracé des routes selon leur configuration actuelle. Enfin, la photographie aérienne de 1981 montre la présence de ces routes, ainsi que la présence de bancs d'emprunt.

Illustration 5 : Photographies aériennes historiques



2.4 Climatologie

Les statistiques météorologiques mensuelles disponibles les plus rapprochées de la propriété à l'étude proviennent de la station Val-d'Or située à environ 45 kilomètres du site. Les précipitations totales annuelles sont de 914 mm par unité de surface. Les chutes de pluie totalisent 635,2 mm d'eau, tandis que les chutes de neige totalisent 300,4 cm. La moyenne annuelle des températures est de 1,2°C avec une moyenne mensuelle variant de 17,2°C en juillet à -17,2°C en janvier. Les données climatologiques de la station Val-d'Or entre 1971 et 2000 sont présentées à l'annexe 2.

2.5 Géologie

La propriété Authier est située dans la partie sud-est de la province du Supérieur du Bouclier canadien. Plus précisément, elle est située dans la zone volcanique méridionale de la ceinture de roches vertes de l'Abitibi. Les pegmatites à spodumène observées sur la propriété sont génétiquement apparentées au batholite de Preissac-Lacorne situé à 40 km au nord-est de la ville de Val-d'Or.

La géologie de la propriété comprend des unités intrusives du pluton de La Motte au nord et du pluton de Preissac au sud avec des lithologies volcano-sédimentaires du groupe de Malartic au centre. Les unités volcaniques comprennent principalement des coulées métavolcaniques ultramafiques (péridotitiques) avec des coulées métavolcaniques basaltiques moins abondantes. Plusieurs unités métasédimentaires hautement métamorphisées décrites sous forme de schistes hornblende-chlorite-biotite se trouvent sur la partie sud-centrale de la propriété. C'est dans le pluton de La Motte que de nombreuses petites pegmatites, composées généralement de monzonite de quartz, entrent en intrusion dans la stratigraphie volcanique. Cette unité comprend la pegmatite à spodumène qui est au centre de l'estimation actuelle des ressources minérales.

La figure 5 présente un extrait de la carte géologique à l'échelle 1 : 20 000 provenant du Système d'information géomineière du Québec (SIGÉOM).

Outre les nombreuses zones d'affleurement rocheux retrouvées sur la propriété Authier, la séquence stratigraphique des dépôts meubles qui reposent en discordance sur le socle rocheux est la suivante :

- ☐ Till glaciaire en couverture discontinue à continue ;
- ☐ Dépôt d'origine fluvio-glaciaire (esker) situé au nord-est de la propriété ;
- ☐ Sédiments glaciolacustres littoraux et d'eau profonde ;
- ☐ Sédiments organiques.

La figure 6 présente un extrait modifié de la carte des formations superficielles de la Commission Géologique du Canada (Veillette, 2010).

2.6 Hydrogéologie

2.6.1 Système d'information hydrogéologique (SIH)

L'inventaire des puits et forages du système d'information hydrogéologique (SIH) du MELCC a été effectué dans un rayon de 5 km du centre de la propriété. Dix (10) puits résidentiels ont été répertoriés dans cet inventaire. Les puits répertoriés concernent des résidences isolées, pour la plupart localisées le long du chemin de la Ligne à l'eau et du chemin Saint-Luc. Ces puits sont situés à plus de 3 km au sud du site. Un seul puits répertorié dans le SIH est situé à moins d'un kilomètre du site, sur la route du Nickel donnant accès au site. Une visite de terrain a toutefois permis de conclure en l'absence d'utilisateur d'eau à cet endroit.

La localisation des puits et forages inventoriés est présentée à la figure 7, tandis que les données d'inventaire sont présentées à l'annexe 3. Le tableau 1 présente quelques statistiques obtenues à partir de l'inventaire effectué.

Tableau 1 : Statistiques sur les puits et forages inventoriés dans le SIH

Caractéristiques	Données
Profondeur moyenne	75,8 m
Débit moyen	22,8 L/min
Niveau statique moyen	2,3
Épaisseur moyenne des dépôts meubles	8,8 m

Selon le SIH, l'ensemble des 10 puits sont aménagés dans le roc, ce qui confirme le caractère aquifère du socle rocheux régional. De plus, les stratigraphies rencontrées sont relativement similaires dans l'ensemble. La séquence stratigraphique est constituée d'une couche d'argile d'une épaisseur pouvant aller jusqu'à 12,2 m reposant sur des sables et graviers puis sur le socle rocheux ou directement sur le socle rocheux.

Il s'agit d'un inventaire non exhaustif puisqu'il est possible que d'autres puits ne soient pas répertoriés dans le système d'information du MELCC. De plus, la localisation des forages est approximative et leur description n'est pas effectuée par des professionnels du domaine de la géologie.

2.6.2 Réseau de suivi des eaux souterraines du Québec

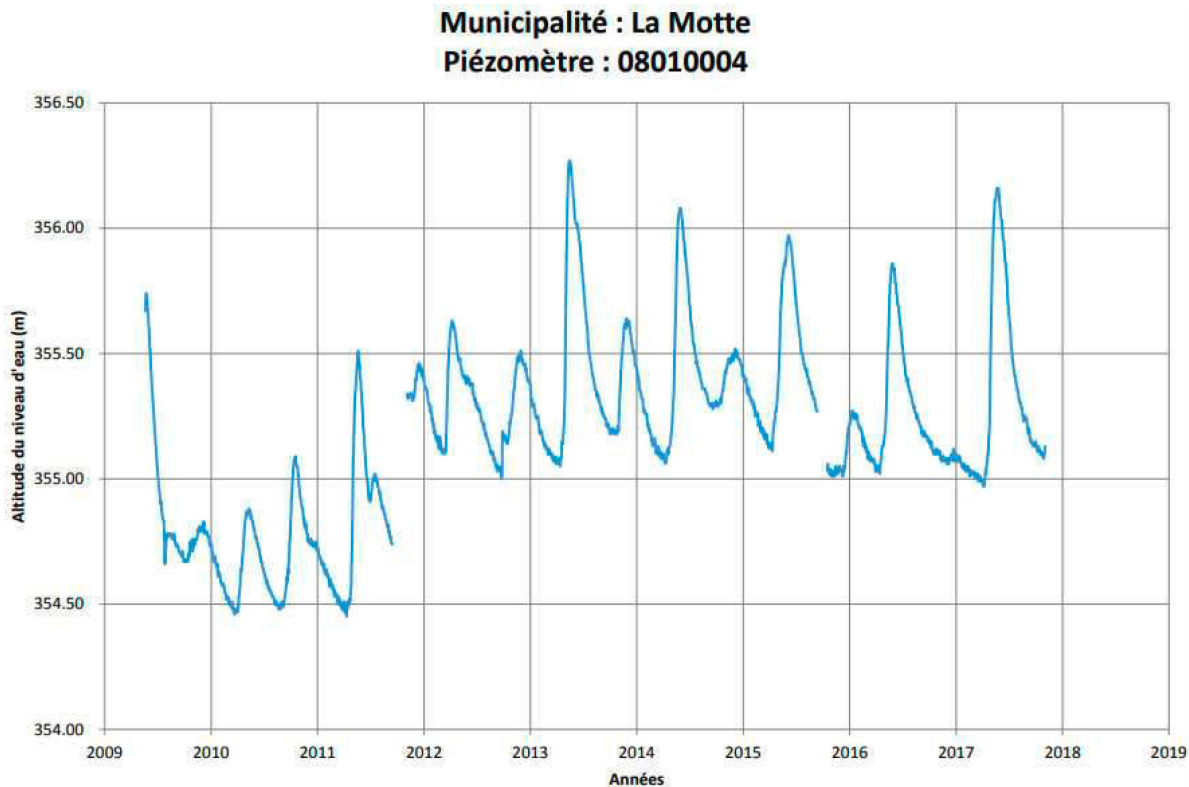
Le réseau de suivi des eaux souterraines du Québec, mis en place par le MELCC, a été examiné et un puits faisant partie de ce réseau a été identifié à l'intérieur de la zone d'étude. Il s'agit du piézomètre 08010004 dont les coordonnées sont les suivantes :

- Longitude = 78,19373° Ouest
- Latitude = 48,381124° Nord

La localisation de ce puits est montrée à la figure 7 du présent document. Le schéma de construction du puits indique qu'il s'agit d'un puits à paroi ouverte dans le socle rocheux. La coupe stratigraphique est composée de 13,4 m de sable et gravier avec cailloux et blocs, surmontant 3,05 m de sable fin, avec traces à un peu de gravier, surmontant le socle rocheux composé de roc granitique.

Le graphique de données de suivi disponibles jusqu'en novembre 2017, dont une copie est reproduite ci-dessous, indique que le niveau d'eau se situe à une altitude moyenne de 355,5 m, soit une altitude inférieure à celle du socle rocheux, ce qui indique qu'à cet endroit, les dépôts meubles ne sont pas saturés.

Illustration 6 : Graphique tiré du réseau du suivi du MELCC



2.6.3 Forages d'exploration minière

Selon une base de données fournie par Sayona Québec, 134 forages pour lesquels l'épaisseur du « mort-terrain » a été compilée permettent d'estimer l'épaisseur des dépôts meubles, sans toutefois connaître la stratigraphie recoupée. D'après les résultats obtenus, l'épaisseur de dépôts meubles varie 0,9 m à 19,7 m, avec une épaisseur moyenne 7,7 m. Des cartes d'interprétation de l'épaisseur des dépôts meubles et de la surface du socle rocheux, tirées de ces informations, sont présentées à la section 4 de ce document.

2.6.4 Étude hydrogéologique régionale

Le programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines du Québec (PACES) réalisé dans la région administrative de l'Abitibi-Témiscamingue a permis de dresser un portrait synthèse de la ressource en eau souterraine sur un territoire d'une superficie de 9 187 km² (Cloutier et coll. 2013). Cette étude a été consultée afin d'établir, de façon préliminaire, le contexte hydrogéologique du secteur à l'étude à partir de données publiques.

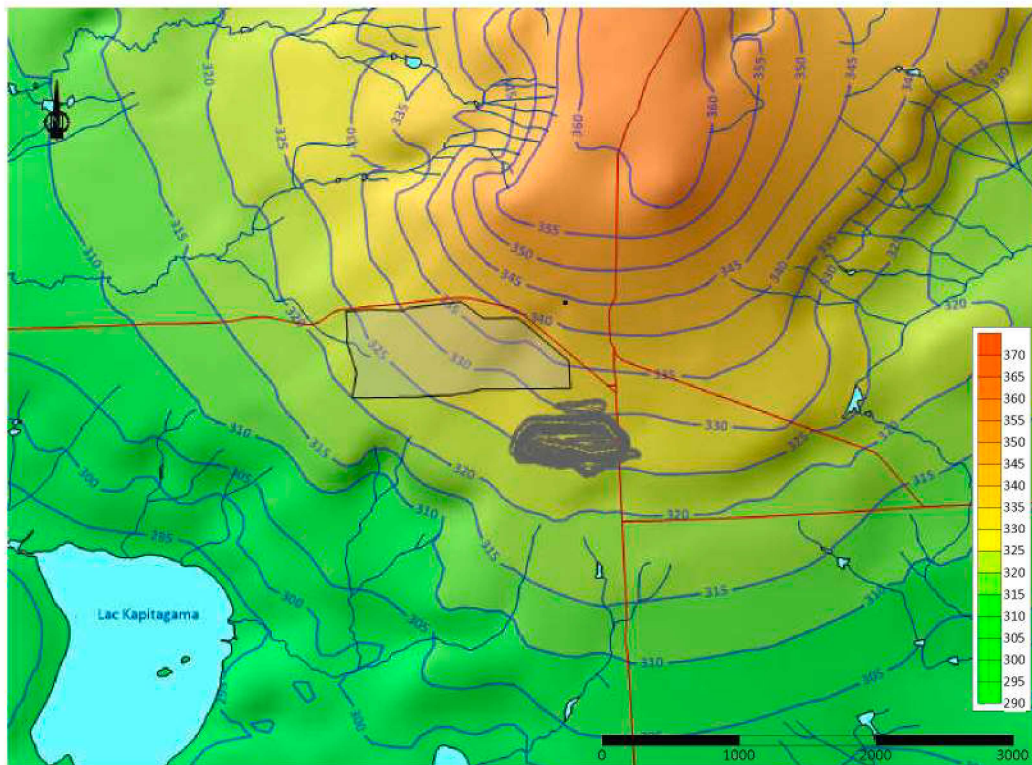
Ainsi, dans le secteur de la propriété à l'étude, la séquence stratigraphique simplifiée qui a été élaborée comprend, de la base au sommet : le socle rocheux, le till déposé en discordance, les sédiments fluvio-glaciaires (sable/gravier), les sédiments glaciolacustres d'eau profonde (argile et silt), les sédiments glaciolacustres d'eau peu profonde (sable/gravier) et les sédiments postglaciaires (organique). La propriété Authier renferme plusieurs types de séquence stratigraphique. On y retrouve notamment des séquences composées de socle rocheux affleurant, de socle surmonté de till ou de socle surmonté de till avec sable et gravier en surface.

Sur le territoire de l'Abitibi, les zones aquifères en condition de nappe libre occupent 37 % du territoire et correspondent aux eskers, à la moraine d'Harricana, aux dépôts sublittoraux sur les flancs des eskers et aux remontées du socle rocheux. Les zones aquifères captives occupent 63 % du territoire et sont constituées des unités géologiques enfouies sous la plaine argileuse et des unités enfouies sous les zones de transition aux abords des eskers.

Les unités aquifères à meilleur rendement sont par ordre décroissant : les eskers et la moraine d'Harricana ; les flancs des eskers et de la moraine d'Harricana ; les aquifères granulaires en conditions captives ; et finalement, le socle rocheux.

La carte piézométrique interprétée dans le cadre du PACES indique un écoulement général vers le sud et le sud-ouest à l'endroit de la propriété. L'élévation de la nappe d'eau souterraine varie entre 350 et 310 mètres d'altitude. Un extrait de la carte piézométrique élaborée à partir de la base de données de l'étude régionale est présenté ci-dessous.

Illustration 7 : Piézométrie extraite de la base de données du PACES AT1



Des plages de propriétés hydrauliques sont documentées dans l'étude régionale réalisée dans le cadre du PACES. Celles-ci sont présentées au tableau 2.

Tableau 2 : Plages de propriétés hydrauliques typiques des formations de l'Abitibi

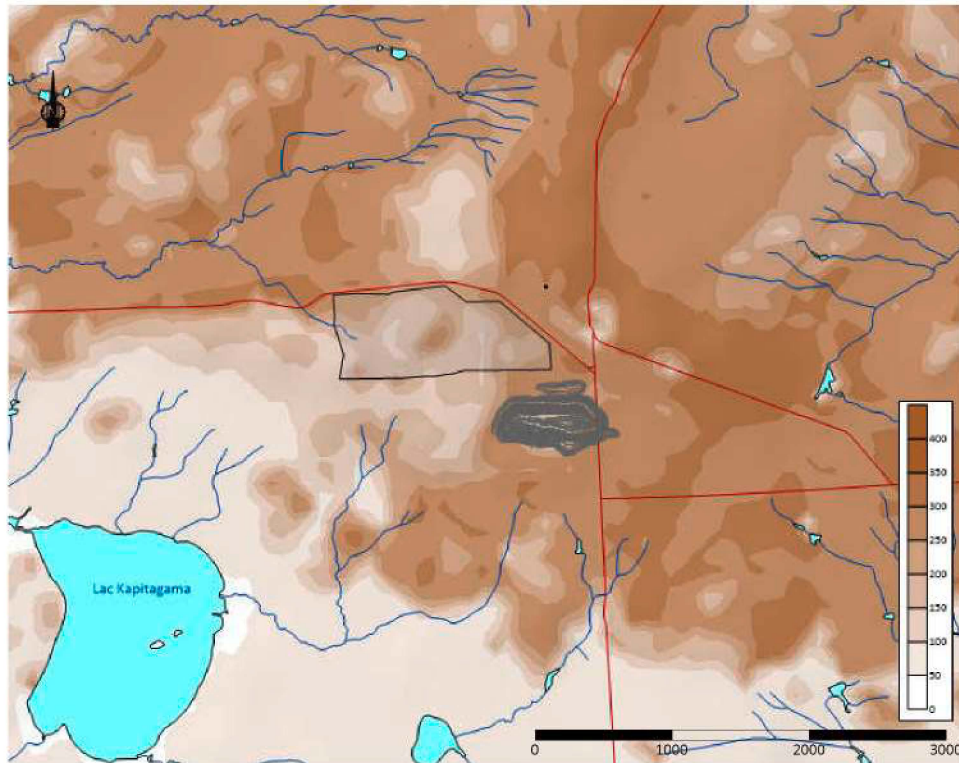
Unité	Conductivité hydraulique (m/s)	Porosité (%)
Roc fracturé	$5,0 \times 10^{-9} - 4,3 \times 10^{-5}$	<10
Fluvioglaciales et/ou till sous-jacents à une couche d'argile	$2,3 \times 10^{-7} - 7,2 \times 10^{-3}$	25-50
Till	$9,3 \times 10^{-7} - 1,4 \times 10^{-4}$	25-50
Eskers et moraine	$4,9 \times 10^{-6} - 3,2 \times 10^{-1}$	25-50
Sublittoraux, plages ou éoliens	$4,3 \times 10^{-7} - 3,1 \times 10^{-4}$	25-50
Tourbe	$6,6 \times 10^{-6}$	92
Rythmites, argile et silt	$2,5 \times 10^{-11} - 9,3 \times 10^{-7}$	35-70

En ce qui concerne la recharge des aquifères, les taux de recharge sont généralement plus élevés dans les secteurs à nappes libres que les nappes captives.

La propriété à l'étude se situe à l'intérieur d'une zone de recharge préférentielle dans sa partie nord-est, laquelle correspond à la présence des dépôts fluvioglaciale (esker Saint-Mathieu-

Berry). La recharge annuelle en millimètres varie entre 330 (au nord-est de la propriété) à moins de 100 (à l'ouest et au sud de la propriété) selon la carte de recharge présentée ci-dessous, laquelle a été élaborée à partir de la base de données de l'étude régionale.

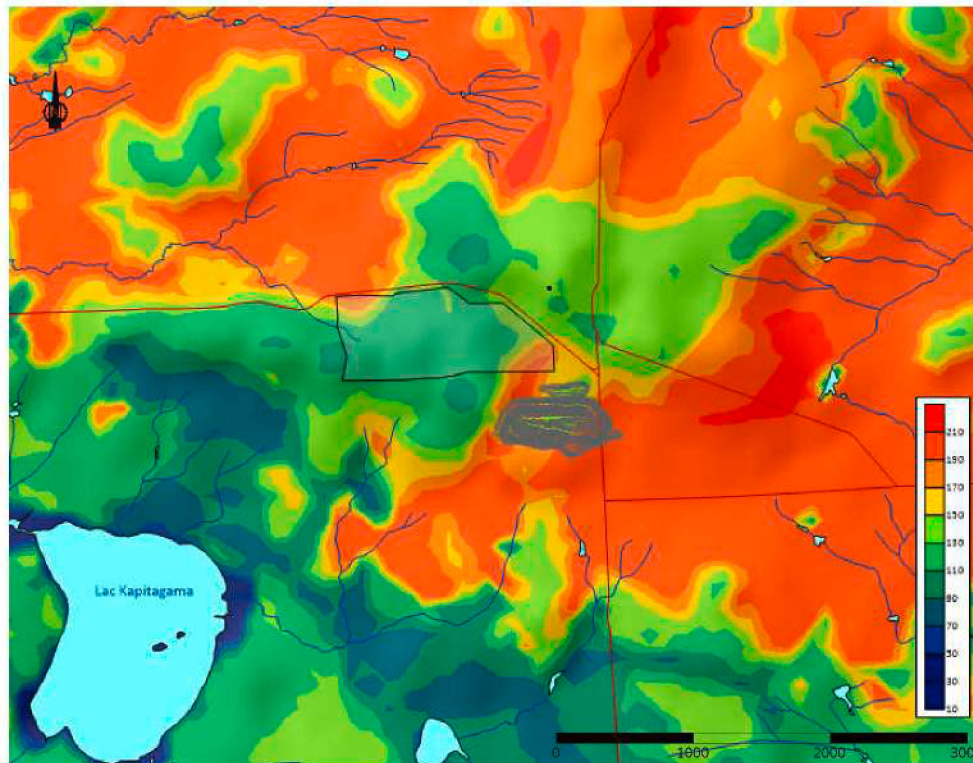
Illustration 8 : Recharge extraite de la base de données du PACES AT1



La vulnérabilité des aquifères a été évaluée de façon quantitative dans le cadre du projet PACES par la méthode de l'indice DRASTIC. Les aquifères vulnérables sont les eskers et moraines, tandis que les nappes captives de la plaine argileuse sont peu vulnérables. L'illustration 9 montre un extrait de la carte de vulnérabilité dans le secteur à l'étude, élaborée à partir de la base de données de l'étude régionale.

Il est à noter que l'indice DRASTIC a été évalué de façon spécifique pour le site dans le cadre de ce mandat selon une grille serrée et à l'aide de données provenant de travaux effectués sur le terrain. Les résultats sont présentés à la section 4.5.

Illustration 9 : Vulnérabilité DRASTIC extraite de la base de données du PACES AT1



Enfin, les problématiques de la qualité de l'eau souterraine en Abitibi concernent majoritairement des dépassements de critères d'ordre esthétique pour les paramètres suivants : manganèse, fer, dureté totale, pH et les matières dissoutes totales. Pour les paramètres ayant un critère de concentration maximale acceptable relié à la consommation de l'eau, des problématiques sont principalement détectées pour les concentrations d'arsenic, de baryum, de cadmium, de fluorures et d'uranium.

Le secteur de la propriété Authier n'a pas fait l'objet d'un échantillonnage dans le cadre du PACES. Toutefois, la distribution des problématiques de qualité des eaux souterraines semble reliée aux formations géologiques. En effet, la problématique du pH est associée aux formations granulaires, tandis que l'arsenic, la dureté, le fer, les matières dissoutes totales et le manganèse sont principalement associés aux aquifères de roc fracturé. Il y a également une relation avec les conditions d'écoulement, car les nappes captives présentent une tendance aux dépassements de normes en comparaison aux nappes libres.

3. DESCRIPTION DES TRAVAUX RÉALISÉS

Au cours de l'année 2017 et 2018, des travaux de forage ont été effectués, des nids de puits d'observation ont été aménagés, des relevés de niveaux d'eau, des analyses granulométriques et des essais hydrauliques ont été effectués, ainsi que trois campagnes d'échantillonnage des puits d'observation. Le tableau 3 présente le calendrier de réalisation des travaux. L'annexe 4 présente un dossier photographique montrant le déroulement des travaux effectués.

Tableau 3 : Calendrier de réalisation des travaux

Date	Évènement
Juillet-Août 2017	Forage et aménagement de 16 puits d'observation
Novembre 2017	Relevé piézométrique et échantillonnage des puits d'observation
Décembre 2017	Relevé piézométrique et essais de perméabilité
Décembre 2017	Essais de traçage en profil des trous de forage d'exploration
Avril 2018	Forage et aménagement de 8 puits d'observation
Mai-Juin 2018	Relevé piézométrique et échantillonnage des puits d'observation
Juin 2018	Essais de perméabilité dans le 8 nouveaux puits d'observation
Octobre 2018	Relevé piézométrique et échantillonnage des puits d'observation

3.1 Forage et aménagement de puits d'observation

Les travaux de forage et d'aménagement de 16 puits d'observation ont été effectués au cours des mois de juillet et août 2017 par l'entrepreneur *Technofor* sous la surveillance d'un technicien de *Richelieu Hydrogéologie*. Au printemps 2018, 8 nouveaux puits d'observation ont été aménagés par l'entrepreneur *Forage Giroux* sous la surveillance d'un technicien de *Richelieu Hydrogéologie*.

Les forages ont été réalisés avec une foreuse de type géotechnique (Geoprobe 7822 CDT et Sedi Drill), en employant des sections de tubages de calibre HW munis d'une couronne diamantée. Lors des forages, des essais de pénétration standard ont été réalisés pour fins de caractérisation géotechnique. Des échantillons de sol ont été prélevés à l'aide d'une cuillère fendue pour fins de description visuelle par le technicien de chantier et d'analyses granulométriques au laboratoire *Qualilab Inspection inc.*

Sur 24 emplacements de forage, 6 puits d'observation simples ont été installés (PZ-03MT, PZ-04R, PZ-05R, PZ-06R, PZ-14R et PZ-16R), ainsi que 9 nids de 2 puits d'observation (PZ-01, PZ-02, PZ-07, PZ-08, PZ-09, PZ-10, PZ-11, PZ-12 et PZ-13). Les nids de puits sont constitués de 2 puits distants de quelques mètres et dont les crépines recoupent des unités différentes, soit le roc et les dépôts meubles. Lorsque le nom des puits d'observation est suivi du suffixe « MT », la

crépine de ce puits est localisée dans le mort-terrain, lorsque le suffixe « R » est utilisé, cela signifie que la crépine de ce puits est localisée dans le socle rocheux.

Les puits sont constitués d'un tubage et d'une crépine de PVC de 50 mm de diamètre et d'une longueur, selon le puits, variant de 1,5 à 3 mètres. La crépine de chaque puits est enrobée d'un massif de sable de silice calibré, surmonté d'un bouchon de bentonite afin d'assurer l'étanchéité entre les horizons captés. Un second bouchon de bentonite est également installé près de la surface et autour du tubage protecteur, de façon à éviter toute infiltration des eaux de surface le long de la paroi du tubage. Les puits sont protégés en surface par un tubage protecteur et un couvercle cadénassé.

La localisation et le nivellement de l'ensemble des puits a été réalisée par la firme d'arpenteur-géomètre *Corriveau J.L. et Associés inc.* en juin 2018. Le tableau 4 présente les coordonnées et l'élévation des puits d'observation dont la localisation est montrée à la figure 8, tandis que la description stratigraphique et le schéma d'aménagement des puits d'observation sont présentés à l'annexe 5. Les résultats d'analyse granulométrique sont présentés à l'annexe 6.

Tableau 4 : Coordonnées et élévation des puits d'observation

Puits	UTM est (m)	UTM nord (m)	Élévation sol (m)	Élévation tubage (m)	Margelle (m)
PZ-01R	707 350,31	5 360 942,33	345,82	346,73	0,91
PZ-01MT	707 349,61	5 360 939,95	345,64	346,74	1,10
PZ-02R	707 630,31	5 360 980,12	351,89	353,05	1,16
PZ-02MT	707 631,91	5 360 981,82	352,14	353,16	1,02
PZ-03MT	707 421,89	5 361 209,77	359,87	360,94	1,07
PZ-04R	706 046,15	5 360 887,80	341,11	342,08	0,97
PZ-05R	706 118,73	5 361 317,28	341,85	342,74	0,89
PZ-06R	706 457,21	5 361 160,50	349,83	351,12	1,29
PZ-07R	707 035,77	5 361 173,47	352,63	353,50	0,87
PZ-07MT	707 033,93	5 361 173,65	352,59	353,51	0,92
PZ-08R	705 943,58	5 359 736,48	309,75	310,82	1,07
PZ-08MT	705 941,12	5 359 737,67	309,76	310,91	1,15
PZ-09R	706 534,94	5 359 707,51	312,98	314,01	1,03
PZ-09MT	706 537,97	5 359 706,96	313,00	314,11	1,11
PZ-10R	707 052,57	5 360 386,51	331,00	332,10	1,10
PZ-10MT	707 054,72	5 360 384,17	330,93	332,00	1,07
PZ-11R	707 410,29	5 360 224,47	330,08	331,16	1,08

Puits	UTM est (m)	UTM nord (m)	Élévation sol (m)	Élévation tubage (m)	Margelle (m)
PZ-11MT	707 412,42	5 360 221,12	330,28	331,37	1,09
PZ-12R	707 670,84	5 360 171,02	326,79	327,83	1,04
PZ-12MT	707 668,96	5 360 172,55	326,91	328,04	1,13
PZ-13R	706 885,97	5 360 431,15	337,11	338,19	1,08
PZ-13MT	706 885,31	5 360 432,99	337,41	338,45	1,04
PZ-14R	706 755,11	5 360 461,28	349,43	350,51	1,08
PZ-16R	706 594,37	5 360 433,81	343,42	344,52	1,10

3.2 Relevés piézométriques

Des relevés du niveau d'eau des puits d'observation ont été effectués par *Richelieu Hydrogéologie inc.*, en novembre et décembre 2017 en mai-juin 2018 ainsi qu'en octobre 2018. Le niveau d'eau a été mesuré à partir du sommet du tubage protecteur à l'aide d'une sonde électrique manuelle. Lors de la campagne de mai-juin 2018, quatre (4) puits d'observation ont été instrumentés d'une sonde pressiométrique de marque Solinst, modèle Levellogger. La mesure du niveau et de la température de l'eau est effectuée sur une fréquence horaire. Les puits instrumentés sont localisés dans le secteur de l'esker et à proximité (PZ-01MT, PZ-02MT, PZ-02R, PZ-03MT). Ces mesures ainsi que celles obtenues lors des campagnes d'échantillonnage sont présentées à la section 4 de ce document.

3.3 Essais de perméabilité à charge variable

Des essais de perméabilité à charge variable ont été réalisés par *Richelieu Hydrogéologie* en décembre 2017 dans 13 des 18 puits d'observation installés et en juin 2018 dans 8 puits d'observation supplémentaires. Les essais ont été réalisés en charge montante à l'aide d'un échantillonneur à inertie de type Waterra et d'une sonde pressiométrique de marque Solinst, modèle Levellogger, programmée pour faire un enregistrement à chaque seconde. Les essais ont été réalisés en effectuant une purge rapide d'environ 30 à 50 cm d'eau, puis en laissant remonter le niveau d'eau jusqu'au niveau statique.

L'interprétation des essais a été effectuée à l'aide du logiciel *Aquifer test 8.0*, selon la méthode d'analyse de Hvorslev (1951) et Bouwer/Rice (1976). Les résultats obtenus sont présentés à la section 4 de ce document. Les courbes d'interprétation des essais sont présentées à l'annexe 7.

3.4 Essais de traçage en profil PTT

Des essais de traçage en profil (PTT) ont été réalisés par *Hydro-Ressources inc.* le 7 décembre 2017 à l'intérieur de sept (7) forages d'exploration dont la profondeur varie de 85 m à 260 m. La localisation de ces forages est présentée à la figure 8. Les essais PTT consistent à mélanger un traceur composé de fluorescéine de sodium (un colorant fluorescent) dans un trou ouvert unique (par exemple, un trou de forage au diamant pour l'exploration). Une fois le traceur mélangé dans le trou, la concentration est mesurée à différentes périodes de temps dans le même trou de forage. Les profils de concentration sont créés et les variations de concentration indiquent l'emplacement de la zone active d'écoulement. Ces données sont par la suite interprétées de façon à créer un profil vertical de la conductivité hydraulique de la zone recoupée par le trou de forage.

Les résultats obtenus sont présentés à la section 4 de ce document. Les courbes d'interprétation sont présentées à l'annexe 8.

3.5 Échantillonnage d'eau souterraine

3.5.1 Méthodologie

Des travaux d'échantillonnage des puits d'observation ont été réalisés en novembre 2017, au mois de mai-juin 2018 ainsi qu'au mois d'octobre 2018.

Les échantillons d'eau ont été prélevés à l'aide d'une pompe submersible de faible débit reliée à une conduite de LDPE de 9,5 mm de diamètre. Préalablement à l'échantillonnage, des mesures de la qualité physico-chimique *in situ* de l'eau captée ont été réalisées à l'aide d'une sonde multiparamètres, immergée dans l'eau souterraine pompée dans un contenant en surface.

Lorsque l'eau captée était claire et libre de particules solides et que les paramètres physico-chimiques mesurés *in situ* étaient stables, alors l'échantillon était prélevé. Lorsque le rabattement du niveau d'eau ne pouvait être stabilisé en raison de la faible perméabilité de la formation, les échantillons étaient prélevés après une purge d'au moins trois fois le volume du puits. Par la suite, les échantillons étaient livrés dans une glacière dans le laboratoire accrédité *H₂Lab* de Rouyn-Noranda.

Les critères de stabilité des paramètres étaient les suivants :

- Température : $\pm 0,2$ °C

- pH : $\pm 0,2$ unités ;
- Conductivité électrique : ± 3 %

Les résultats d'analyses d'eau sont présentés à la section 4 de ce document, tandis que les certificats d'analyses originaux sont présentés à l'annexe 9 (fichier électronique).

3.5.2 Programme analytique

Les échantillons prélevés ont été soumis à des analyses pour une série de paramètres dont les métaux, les nutriments, les anions et cations (ions négatifs et positifs) majeurs, les composés organiques volatils, les hydrocarbures aromatiques polycycliques et les hydrocarbures pétroliers C10-C50.

3.5.3 Puits échantillonnés

Au cours de la campagne d'échantillonnage de novembre 2017, 13 puits sur les 16 aménagés à ce moment ont été échantillonnés. Seuls les puits PZ-02MT, PZ-2R et PZ-3MT n'ont pas été échantillonnés en raison des niveaux d'eau trop profonds pour l'équipement disponible à ce moment. Ces trois (3) puits, ainsi que les huit (8) puits supplémentaires aménagés au printemps 2018 ont cependant été échantillonnés au cours de la campagne d'échantillonnage de mai et juin 2018 et d'octobre 2018. Un point d'échantillonnage dans le dépôt tourbeux situés au site des puits PZ-09 (MT/R) a été ajouté au programme afin de connaître la qualité de l'eau de l'unité de matière organique. Le point d'échantillonnage est identifié T1-Tourb. Les stations échantillonnées sont présentées dans la liste ci-dessous :

Puits	Novembre 2017	Mai-Juin 2018	Octobre 2018
PZ-01MT	Absent	X	X
PZ-01R	Absent	X	X
PZ-02MT	Trop profond	X	X
PZ-02R	Trop profond	X	X
PZ-03MT	Trop profond	X	X
PZ-04R	Absent	X	X
PZ-05R	Absent	X	X
PZ-06R	Absent	X	X
PZ-07MT	Absent	X	X
PZ-07R	Absent	X	X
PZ-08MT	X	X	X
PZ-08R	X	X	X

Puits	Novembre 2017	Mai-Juin 2018	Octobre 2018
PZ-09MT	X	X	X
PZ-09R	X	X	X
PZ-10MT	X	X	X
PZ-10R	X	X	X
PZ-11MT	X	X	X
PZ-12MT	X	X	X
PZ-12R	X	X	X
PZ-13MT	X	X	X
PZ-13R	X	X	X
PZ-14R	X	X	X
PZ-16R	Absent	X	X
Ti-Tourb	X	X	X

3.5.4 Laboratoire d'analyses

L'ensemble des analyses d'eau a été effectué par le même laboratoire, soit le laboratoire *H2Lab*. Celui-ci détient toutes les accréditations nécessaires aux analyses réalisées. Dans les clauses de soumission, il est stipulé que *H2Lab* s'engage à faire ou à sous-traiter les analyses dans un laboratoire accrédité. La succursale de Val-d'Or est accréditée dans les domaines 109, 140, 124 (C₁₀-C₅₀, COV et HAP). La succursale de Rouyn-Noranda est accréditée dans les domaines 11, 12, 13, 14, 15, 17, 23, 28, 60 (métaux, NH₃-NH₄, Cl, F, NO₂-NO₃, SO₄, H₂S et Ptot).

3.5.5 Contrôle de qualité

Les méthodes d'échantillonnage, de transport et d'analyse ont été effectuées en conformité avec les recommandations du Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales, cahier 3. À titre d'exemple, les essais de perméabilité à charge variable ont été répétés à deux reprises dans la majorité des cas, des mesures de paramètres physico-chimiques étaient effectuées en continu et les échantillons n'étaient prélevés que lorsqu'une stabilisation des paramètres était observée et des échantillons ont été prélevés en duplicata lors des campagnes d'échantillonnage. Les duplicatas prélevés étaient alors nommés « dup » de façon à ce que le laboratoire ne puisse déterminer quels échantillons étaient dupliqués.

Après la campagne d'échantillonnage, le laboratoire a émis un certificat de contrôle de qualité à l'aide de blancs de laboratoire. Le laboratoire d'analyse a observé les fréquences suivantes d'insertion de blancs, duplicatas et de matériaux de références :

- La fréquence d'insertion pour tous les éléments de contrôle de la qualité, autres que les blancs de méthode analytique, doit respecter un pourcentage d'au moins 15 % du nombre d'échantillons à respecter ;
- Les éléments autres que les matériaux de référence (MRC et MR) tels que le duplicata et l'ajout dosé doivent être analysés en alternance ;
- La fréquence d'insertion pour le blanc de méthode analytique doit respecter un pourcentage d'au moins 4 % du nombre d'échantillons à analyser ;
- Les techniciens doivent respecter le ratio d'insertion des éléments de contrôle de la qualité. Ils doivent s'assurer que le nombre d'éléments de contrôle de la qualité ainsi que le type de contrôle est adéquat sur les feuilles de travail avant de procéder aux analyses. Ils doivent aussi s'assurer que la série d'échantillons se termine par un matériau de référence certifié (MRC) ou un matériau de référence (MR), dans le but d'assurer la fiabilité du début de l'analyse de la prochaine série.

4. RÉSULTATS

4.1 Unités hydrostratigraphiques

Les forages effectués dans le cadre de ce mandat ont permis de déterminer la séquence hydrostratigraphique à l'intérieur des limites de la propriété à l'étude. Ainsi, à l'échelle de la propriété Authier, les unités hydrogéologiques suivantes sont identifiées :

- ❑ Aquitard constitué d'un dépôt organiques saturés d'eau, en présence discontinue sur le territoire. L'épaisseur maximale du dépôt organique recoupée par les puits d'observation varie de 0,05 à 0,73 m ;
- ❑ Aquitard constitué de sédiments glaciolacustres d'eau profonde (silt et argile silteuse). L'épaisseur maximale de cette unité identifiée seulement dans les puits d'observation situés au sud-ouest de la propriété (PZ-08MT et PZ-08R) est d'environ 2,3 m ;
- ❑ Aquifère constitué de sédiments glaciolacustres littoraux (sable fin à grossier). L'épaisseur maximale de cette unité recoupée par les puits d'observation est d'environ 14,9 m ;
- ❑ Aquifère formé par le till glaciaire dont la matrice varie de silteuse à sablonneuse avec présence de blocs et cailloux. L'épaisseur maximale de cette unité recoupée par les puits d'observation est d'environ 6,25 m ;
- ❑ Socle rocheux : aquifère régional habituellement exploité par les ouvrages individuels de captage d'eau. Pour les fins de la présente étude, il est assumé que l'épaisseur maximale de cet aquifère est de 300 m, bien qu'il soit parfois possible de rencontrer des fissures à grandes profondeurs ;
- ❑ Présence, au nord-est de la propriété, de sédiments fluvio-glaciaires (esker) formant un aquifère d'extension limitée, puisqu'une remontée du socle rocheux fait en sorte que l'esker devient non-saturé dans le secteur du piézomètre qui fait partie du réseau de suivi du MELCC.

Le tableau 5 présente les caractéristiques granulométriques des échantillons soumis à l'analyse en laboratoire. Pour l'attribution des noms lorsque les analyses granulométriques ne permettaient pas de distinguer le silt de l'argile, la totalité des particules fines a été considérée comme du silt. Cela concerne tous les échantillons sauf celui provenant du PZ-08R. On y observe une plus grande présence de silt comparativement aux observations réalisées sur le terrain.

Tableau 5: Résultats d'analyses granulométriques

Puits	Profondeur (m)	d₁₀ (mm)	d₆₀ (mm)	Cu	Description
PZ-01R	0,6 – 1,2	0,13	0,36	2,8	Sable, trace de silt
	10,7 – 11,3	-	0,15	-	Sable silteux
PZ-02R	1,2 – 2,4	0,1	0,33	3,3	Sable, trace de silt
	9,8 – 11,0	0,07*	0,28	4,0	Sable, un peu de silt
PZ-03R	3,7 – 4,9	0,1	0,25	2,5	Sable, trace de silt
PZ-07R	3,0 – 3,7	-	0,093	-	Silt et sable
PZ-08R	0,6 – 1,2	-	0,0097	-	Silt et argile
	3,0 – 3,6	-	2,5	-	Sable graveleux, un peu de silt
PZ-09R	1,8 – 2,4	-	-	-	Silt sableux
PZ-10R	2,7 – 3,4	-	0,12	-	Sable et silt
	12,7 – 13,3	0,06*	0,5	8,3	Sable graveleux, un peu de silt
PZ-11R	2,2 – 2,8	-	0,315	-	Sable silteux
	5,5 – 6,1	-	0,42	-	Sable et silt
PZ-12R	0,6 – 1,2	-	0,085	-	Silt et sable
	3,0 – 3,7	-	0,5	-	Sable silteux, un peu de gravier
PZ-13R	1,5 – 2,1	-	0,08	-	Silt et sable
	3,4 – 4,0	-	1,4	-	Sable, silt et gravier
PZ-14R	0,6 – 0,9	-	3,2	-	Sable graveleux, un peu de silt

* Les valeurs marquées d'un astérisque ont été obtenues par extrapolations de la courbe granulométrique ou ont été calculées à l'aide d'une valeur extrapolée.

L'interprétation des données de forages réalisés au cours de ce mandat, conjointement avec les données de forages d'exploration minière existants et aux observations d'affleurements rocheux a permis de tracer de façon relativement précise une carte d'élévation du socle rocheux ainsi qu'une carte d'épaisseur des dépôts meubles.

Les figures 9 et 10 présentent respectivement une carte d'élévation de la surface du socle rocheux et une carte d'épaisseur de dépôts meubles. Ces cartes ont été élaborées à partir d'une base de données construite dans le logiciel Excel à partir des données disponibles et à partir d'interprétations (par exemple, dans les secteurs du territoire non couverts par des forages, une profondeur arbitraire du socle est interprétée en fonction du type de dépôt de surface) et dont la localisation est montrée sur la figure 9. La carte d'élévation du socle rocheux a été interpolée par krigeage des données d'élévation du roc, calculées en soustrayant la profondeur du roc de l'élévation du terrain, tandis que la carte d'épaisseur des dépôts meubles a été calculée en soustrayant la grille d'élévation du socle de la grille d'élévation du terrain. La figure 11 présente, quant à elle, deux profils hydrostratigraphiques élaborés à partir des surfaces définies précédemment. Enfin, la figure 12 présente une carte des séquences stratigraphiques sur le territoire à l'étude.

4.2 Propriétés hydrogéologiques

4.2.1 Essais de perméabilité et granulométrie dans les puits d'observation

L'interprétation des essais à charge variable réalisés sur les puits d'observation a été effectuée à l'aide du logiciel *Aquifer Test 8.0*, selon la méthode d'analyse de Hvorslev (1951) et Bouwer/Rice (1976). Les courbes d'interprétation des essais sont présentées à l'annexe 7. De plus, grâce aux analyses granulométriques réalisées sur certains puits (annexe 6), un calcul de la conductivité hydraulique à l'aide de la méthode empirique de Chapuis (Baudement, 2011) a été réalisé. Comme les analyses ne permettaient pas de connaître l'indice des vides, celui-ci a également été déterminé par une méthode empirique (Vukovic et Soro, 1992).

Le tableau 6 présente les résultats obtenus de l'interprétation des essais de perméabilité à charge variable réalisés dans les puits d'observation. Le tableau 7 présente les résultats du calcul empirique réalisé à partir des analyses granulométriques.

Toute méthode confondue, les résultats permettent de faire les observations suivantes :

- ❑ La conductivité hydraulique moyenne de l'unité fluvio-glaciaire rencontrée à l'endroit des puits PZ-02 et PZ-03 est de $8,86 \times 10^{-5}$ m/s avec des valeurs de $1,95 \times 10^{-7}$ et $1,97 \times 10^{-4}$ m/s ;
- ❑ La conductivité hydraulique moyenne de l'unité d'origine glaciolacustre est de $9,67 \times 10^{-5}$ m/s avec des valeurs variant de $2,91 \times 10^{-8}$ à $5,78 \times 10^{-4}$ m/s ;
- ❑ La conductivité hydraulique moyenne de l'unité de till est de $3,52 \times 10^{-6}$ m/s avec des valeurs variant de $2,26 \times 10^{-6}$ à $4,77 \times 10^{-6}$ m/s ;
- ❑ La conductivité hydraulique moyenne de la portion du socle rocheux recoupée par la crépine des puits d'observation est de $5,93 \times 10^{-6}$ m/s avec des valeurs de $1,80 \times 10^{-8}$ à $5,51 \times 10^{-5}$ m/s.

SAYONA QUÉBEC INC. – PROJET AUTHIER LITHIUM
PROJET D'EXPLOITATION D'UNE MINE À CIEL OUVERT
ÉTUDE HYDROGÉOLOGIQUE DE BASE
ET ÉVALUATION DES RÉPERCUSSIONS DU PROJET SUR L'ENVIRONNEMENT

Tableau 6: Résultats des essais de perméabilité dans les puits d'observation

Puits	MTM est (m)	MTM nord (m)	Conductivité hydraulique (m/sec)	Profondeur (m)	Unité recoupée
PZ-01MT	707 349,61	5 360 939,95	4,94E -05	11,60	Sable (littoraux)
PZ-01R	707 350,31	5 360 942,33	5,51E -05	18,89	Socle rocheux
PZ-02MT	707 631,91	5 360 981,82	1,95E -07	18,56	Sable et gravier (esker)
PZ-02R	707 630,31	5 360 980,12	3,81E -08	23,50	Socle rocheux
PZ-03MT	707 421,89	5 361 209,77	1,88E -06	26,79	Sable et gravier (esker)
PZ-04R	706 046,15	5 360 887,80	5,40E -07	9,14	Socle rocheux
PZ-05R	706 118,73	5 361 317,28	6,59E -06	8,23	Socle rocheux
PZ-06R	706 457,21	5 361 160,50	1,87E -06	8,23	Socle rocheux
PZ-07MT	707 033,93	5 361 173,65	7,36E -06	8,66	Sable (littoraux)
PZ-07R	707 035,77	5 361 173,47	1,69E -06	16,06	Socle rocheux
PZ-08MT	705 941,12	5 359 737,67	6,53E -06	6,21	Sable (littoraux)
PZ-08R	705 943,58	5 359 736,48	6,20E -07	10,41	Socle rocheux
PZ-10MT	707 054,72	5 360 384,17	1,47E -06	15,17	Sable (littoraux)
PZ-10R	707 052,57	5 360 386,51	1,80E -08	19,05	Socle rocheux
PZ-11MT	707 412,42	5 360 221,12	4,77E -06	5,27	Till
PZ-11R	707 410,29	5 360 224,47	2,27E -08	14,38	Socle rocheux
PZ-12MT	707 668,96	5 360 172,55	2,26E -06	3,81	Till
PZ-13MT	706 885,31	5 360 432,99	2,91E -08	6,06	Sable (littoraux)
PZ-13R	706 885,97	5 360 431,15	7,31E -07	10,75	Socle rocheux
PZ-14R	706 755,11	5 360 461,28	3,59E -06	6,98	Socle rocheux
PZ-16R	706 594,37	5 360 433,81	4,04E -07	14,97	Socle rocheux

Tableau 7: Résultats des calculs empiriques à partir des analyses granulométriques

Puits	MTM est (m)	MTM nord (m)	Conductivité hydraulique (m/sec)	Profondeur (m)	Unité recoupée
PZ-01R	707 350,31	5 360 942,33	5,78E -04	0,6-1,2	Sable, trace de silt
PZ-02R	707 630,31	5 360 980,12	1,63E -04	1,2-2,4	Sable, trace de silt
PZ-02R	707 630,31	5 360 980,12	8,08E -05*	9,8-11	Sable, un peu de silt
PZ-03MT	707 421,89	5 361 209,77	1,97E -04	3,7-4,9	Sable, trace de silt
PZ-10R	707 052,57	5 360 386,51	3,41E -05*	12,7-13,3	Sable graveleux, silt

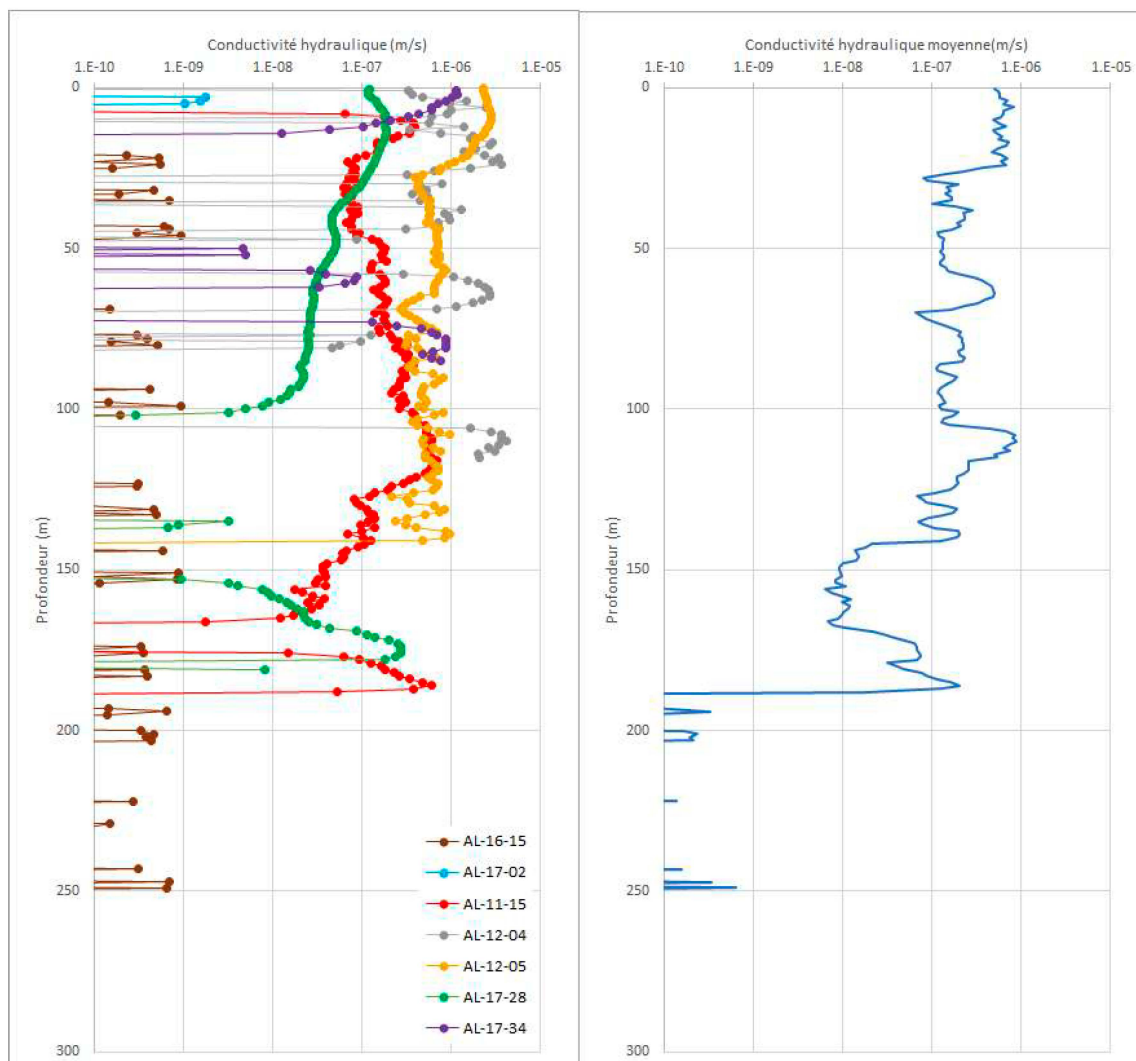
* Les valeurs marquées d'un astérisque ont été obtenues par extrapolations de la courbe granulométrique ou ont été calculées à l'aide d'une valeur extrapolée.

4.2.2 Essais de traçage par profil (PTT) dans les forages d'exploration

L'annexe 8 présente les résultats obtenus de l'interprétation des essais de traçage par profil réalisés dans les forages au diamant. Les graphiques ci-dessous présentent les résultats de conductivité hydraulique interprétée en fonction de la profondeur. Ces interprétations ont été effectuées par *Hydro-Ressources inc.*

- ❑ La partie du socle rocheux qui contribue à l'écoulement se retrouve en général dans les 150 premiers mètres du socle rocheux. La conductivité hydraulique moyenne y est de $3,7 \times 10^{-7}$ m/s avec des valeurs variant de $6,16 \times 10^{-7}$ à $1,70 \times 10^{-7}$ m/s.
- ❑ Par la suite, la conductivité hydraulique diminue à des valeurs moyennes de l'ordre de 10^{-8} m/s à 200 mètres de profondeur et de 10^{-11} m/s à 250 mètres ;
- ❑ La valeur minimum de 10^{-13} m/s a été attribuée lorsqu'aucun flux n'était mesuré.

Illustration 10 : Profils de conductivité hydraulique en fonction de la profondeur réelle



4.3 Piézométrie

Le tableau 8 présente les élévations piézométriques mesurées lors des relevés effectués en novembre 2017, en mai- juin 2018 et en octobre 2018, lors des campagnes d'échantillonnage réalisés sur les puits d'observation. Ces données permettent de faire les observations suivantes :

- ❑ L'élévation piézométrique dans le secteur de la mine projetée est de l'ordre de 333 m ;
- ❑ Sur l'ensemble de la propriété, elle varie de 308 m dans la partie sud-ouest, à 348 m, dans sa partie nord, ce qui confère une direction générale d'écoulement vers le sud-ouest, sous un gradient hydraulique horizontal de 0,02 ;
- ❑ Les gradients hydrauliques verticaux calculés indiquent en général une direction d'écoulement vers le bas à l'exception des nids de puits PZ-07 et PZ-12 qui montrent une direction d'écoulement vers le haut. De façon générale, le gradient vertical est en moyenne de 0,09 vers le bas ;
- ❑ Les niveaux d'eau sont très près de la surface avec une profondeur moyenne de 1,9 m à l'exception des puits d'observation localisés dans le dépôt fluvio-glaciaire dont la profondeur du niveau est de 12 m à 18 m ;
- ❑ Les variations piézométriques entre les trois relevés peuvent varier jusqu'à 3 m mais sont en général relativement faible. Les fluctuations observées sont de l'ordre de 0,9 m en moyenne ;
- ❑ En général, les niveaux d'eau sont légèrement plus haut en novembre qu'en mai-juin, ce qui permet de croire que la période de crue du printemps 2018 est arrivée plus tôt dans la saison, soit avant la campagne de mesure. Les niveaux mesurés en octobre 2018 sont dans la plupart des cas inférieurs aux deux périodes précédentes. Les fluctuations du niveau semblent plus importantes dans les piézomètres localisés au centre du site que dans les piézomètres situés dans le secteur de l'esker.

La carte piézométrique élaborée à l'aide du logiciel *Visual MODFLOW* est présentée à la figure 16 du présent document.

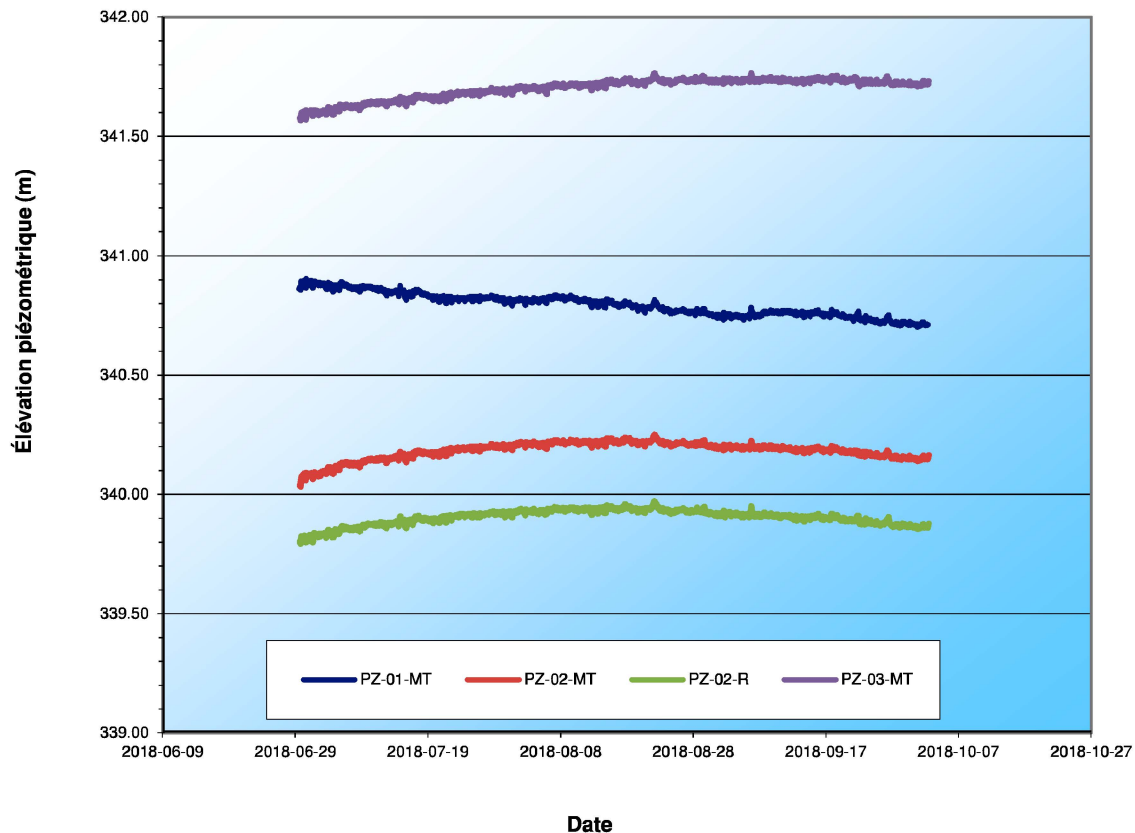
SAYONA QUÉBEC INC. – PROJET AUTHIER LITHIUM
PROJET D'EXPLOITATION D'UNE MINE À CIEL OUVERT
ÉTUDE HYDROGÉOLOGIQUE DE BASE
ET ÉVALUATION DES RÉPERCUSSIONS DU PROJET SUR L'ENVIRONNEMENT

Tableau 8: Élévations piézométriques mesurées dans les puits d'observation

Puits	MTM est (m)	MTM nord (m)	Élévation de l'eau (m) Nov 17	Élévation de l'eau (m) mai-juin 2018	Élévation de l'eau (m) oct 2018
PZ-01R	707 350,31	5 360 942,33	-	340,32	340,42
PZ-01MT	707 349,61	5 360 939,95	-	340,42	340,55
PZ-02R	707 630,31	5 360 980,12	339,89	339,87	339,88
PZ-02MT	707 631,91	5 360 981,82	340,16	339,98	340,16
PZ-03MT	707 421,89	5 361 209,77	341,57	-	341,61
PZ-04R	706 046,15	5 360 887,80	-	341,29	340,12
PZ-05R	706 118,73	5 361 317,28	-	338,36	338,07
PZ-06R	706 457,21	5 361 160,50	-	347,81	347,47
PZ-07R	707 035,77	5 361 173,47	-	348,69	349,10
PZ-07MT	707 033,93	5 361 173,65	-	347,57	347,90
PZ-08R	705 943,58	5 359 736,48	309,02	308,34	308,78
PZ-08MT	705 941,12	5 359 737,67	309,15	308,69	308,60
PZ-09R	706 534,94	5 359 707,51	313,05	312,84	313,12
PZ-09MT	706 537,97	5 359 706,96	313,20	312,93	312,00
PZ-10R	707 052,57	5 360 386,51	329,84	329,73	328,04
PZ-10MT	707 054,72	5 360 384,17	329,85	330,65	328,99
PZ-11R	707 410,29	5 360 224,47	329,38	329,34	327,53
PZ-11MT	707 412,42	5 360 221,12	329,94	329,57	329,28
PZ-12R	707 670,84	5 360 171,02	327,13	327,37	324,00
PZ-12MT	707 668,96	5 360 172,55	326,44	326,70	325,77
PZ-13R	706 885,97	5 360 431,15	334,70	335,04	332,57
PZ-13MT	706 885,31	5 360 432,99	335,21	335,40	333,67
PZ-14R	706 755,11	5 360 461,28	348,68	347,62	348,01
PZ-16R	706 594,37	5 360 433,81	-	340,30	339,71

Le suivi des niveaux d'eau en continu réalisé depuis le mois de juin 2018 à l'intérieur des piézomètres localisés dans l'esker (PZ-02MT, PZ-02R, PZ-03MT) et à proximité (PZ-01MT) montre que la variation des niveaux durant cette période est faible (<0,2 m). Le graphique présenté à l'illustration 11 montre les mesures réalisées entre juin et octobre 2018 dans les 4 puits d'observation.

Illustration 11 : Suivi piézométrique de la nappe d'eau souterraine



4.4 Recharge potentielle des eaux souterraines

La recharge du secteur a été évaluée à partir d'un bilan hydrique régional simplifié. Le calcul inclut trois paramètres : les apports verticaux (AV), le coefficient de ruissellement (Cp) et l'évapotranspiration (ETP).

4.4.1 Apports verticaux

Les précipitations sous forme de pluie et de neige constituent la plus grande portion de la contribution positive au bilan hydrique sur le territoire à l'étude. Pour le site du projet Authier, les apports verticaux moyens sont évalués à 914 mm/an, une estimation basée sur la moyenne des précipitations annuelles des années 1971 – 2000 à la station météorologique de Val-d'Or.

4.4.2 Coefficient de ruissellement

Le deuxième paramètre du calcul de la recharge spatialisée correspond au coefficient de ruissellement. Celui-ci sert à estimer la portion des précipitations qui ne s'infiltre pas, et qui ne contribuera donc pas au bilan hydrique localement. Le coefficient de ruissellement est estimé à

partir d'une méthode développée par le Ministère des Transports du Québec (MTQ). Il est calculé à partir de 2 sous-paramètres, soit la géologie des formations superficielles et la pente du terrain.

En premier lieu, la classification hydrologique des formations superficielles permet de leur attribuer une cote représentative de la perméabilité de chaque unité. Les cotes A, AB, B, BC, C, et CD représentent le niveau de perméabilité des dépôts, A étant le matériel le plus perméable (dépôts fluvioglaciaires, sables deltaïques grossiers, etc.) et CD le moins perméable (argiles, roc peu fracturé, etc.). Le tableau 9 liste les types de dépôts de surface rencontrés sur le territoire à l'étude, ainsi que leur classification hydrologique respective.

Tableau 9: Classification hydrologique des dépôts de surface

Dépôts de surface	Classification hydrologique
Dépôts fluvioglaciaires et juxtaglaciaires	A
Sédiments glaciolacustres littoraux, till (couverture discontinue)	B
Alluvions récentes, terrasses alluviales, Till (couverture continue)	BC
Sédiments glaciolacustres ; faciès d'eau profonde	C
Roc affleurant	CD

La deuxième composante du calcul correspond à la pente du terrain. Plus la pente du terrain est forte, moins l'eau sera retenue et infiltrée, et donc plus le coefficient de ruissellement sera élevé. Trois classes de pente sont ainsi reconnues : terrain plat (pente de moins de 3 %), terrain vallonné (pente de 3 % à 8 %) et terrain montagneux (pente de plus de 8 %).

Finalement, la méthode fait une dernière distinction au niveau de l'occupation du sol ; le terrain est reconnu comme un milieu boisé, un pâturage, ou une terre en culture. Le tableau 10 liste les coefficients utilisés pour ces deux paramètres en fonction de la pente et de la classification hydrologique des dépôts de surface rencontrés sur le territoire à l'étude.

Tableau 10: Coefficient hydrologique selon la pente et la classification des dépôts

Occupation du sol : Boisé		Classification hydrologique					
Type de terrain	Pente	A	AB	B	BC	C	CD
Plat	< 3 %	0,04	0,09	0,15	0,21	0,29	0,37
Vallonné	3 à 8 %	0,07	0,12	0,19	0,26	0,34	0,43
Montagneux	> 8 %	0,11	0,18	0,26	0,34	0,43	0,51

Occupation du sol : Pâturage		Classification hydrologique					
Type de terrain	Pente	A	AB	B	BC	C	CD
Plat	< 3 %	0,08	0,12	0,17	0,25	0,34	0,43
Vallonne	3 à 8 %	0,10	0,17	0,25	0,33	0,43	0,51
Montagneux	> 8 %	0,20	0,29	0,39	0,47	0,56	0,64
Lac et marécage	---	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05

Les lacs et marécages sont considérés dans le calcul du ruissellement ; un coefficient de ruissellement de 0,05 leur est assigné, sans regard à la pente ou à l'occupation du sol à proximité. Les zones résidentielles, commerciales, industrielles ainsi que les routes asphaltées (surfaces imperméables) ont été regroupées dans une même catégorie, à laquelle a été assigné un coefficient de ruissellement de 0,60 sans regard à la pente.

4.4.3 Évapotranspiration

Le dernier paramètre de l'estimation de la recharge correspond à l'évapotranspiration (ETP), un paramètre difficile à estimer localement. Les modèles hydrologiques de plusieurs bassins versants du Québec ont été calibrés avec une évapotranspiration pouvant varier entre 350 mm/an et 450 mm/an. Dans le cas du secteur de La Motte, une évapotranspiration de 450 mm/an a été utilisée pour les besoins du calcul de la recharge. Ce taux d'évapotranspiration a été estimé selon la formule de Thorntwaite (1948), soit la même méthodologie que l'équipe de l'UQAT dans le cadre du PACES AT-1.

4.4.4 Calcul de la recharge distribuée

Le calcul de l'estimation de la recharge s'effectue en discrétisant la zone d'étude en une grille dont les mailles ont des dimensions de 10 m par 10 m. À l'intérieur de chaque maille, un bilan hydrique de la recharge est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$RECH = AV - (AV * Cp) - ETP$$

Afin d'effectuer le calcul spatialisé final de la recharge, le coefficient de ruissellement calculé auparavant est mis en grille et évalué en tout point sur le territoire à l'étude. Puisqu'à cette échelle les apports verticaux (AV) et l'évapotranspiration (ETP) ne devraient pas varier spatialement de manière significative, ils sont fixés respectivement à 914 et 400. Ainsi, pour chaque maille de la grille, la recharge potentielle est évaluée par la formule :

$$RECH = 914 - (914 * Cp) - 400$$

où Cp correspond au coefficient de ruissellement spatialisé.

Il en résulte une grille de la recharge spatialisée pour toutes les mailles du modèle, en lame d'eau équivalente par année. La figure 13 de l'annexe 1 présente les résultats de la recharge potentielle distribuée. Celle-ci varie de nulle dans les zones occupées par des sédiments fins d'origine glaciolacustre à près de 420 mm/an dans le périmètre de l'esker Saint-Mathieu-Berry.

4.5 Vulnérabilité des eaux souterraines

L'indice de vulnérabilité des eaux souterraines reflète le niveau de risque de contamination de l'eau souterraine causé par l'activité humaine. Le MELCC se réfère à la méthode DRASTIC comme moyen d'évaluation de cet indice. Il s'agit d'une méthode ou d'un système normalisé qui permet une évaluation quantitative du potentiel de contamination des nappes d'eau souterraine à l'aide des conditions hydrogéologiques qui prévalent dans la région concernée. La méthode DRASTIC est décrite en détail dans le document EPA/600 2-87-035 (Aller et al., 1987).

Cette méthode tient compte de sept paramètres hydrogéologiques, soit la profondeur de l'aquifère, le taux de recharge, la nature de l'aquifère, le type de sol superficiel, la pente du terrain, la nature de la zone comprise entre la surface et le toit de l'aquifère et enfin, la conductivité hydraulique. Chacun de ces paramètres est quantifié en lui attribuant une valeur numérique, laquelle est à son tour multipliée par un facteur pondérateur. L'indice DRASTIC résultant est la somme des produits obtenus pour chacun des paramètres considérés. Plus l'indice est élevé, plus le potentiel de contamination de la nappe d'eau souterraine est élevé. L'indice DRASTIC d'un aquifère peut être évalué au minimum à 23 et, au maximum, à 226. Pour fins de cartographie, un code de couleur de l'indigo au rouge est attribué à cette plage de valeurs de vulnérabilité.

Une carte d'indice DRASTIC a été réalisée pour le territoire à l'étude. Chacun des paramètres a d'abord été spatialisé en format matriciel dans une grille de dimensions identique à la grille de recharge. Ensuite, les mailles de chacune des grilles ont été multipliées par leur facteur pondérateur respectif, puis les sept grilles ont été additionnées de façon à obtenir un indice DRASTIC pour chaque maille du fichier matriciel. Un travail de classification par couleur, selon la méthodologie décrite dans le document original de l'EPA, a ensuite été fait pour compléter la cartographie. Il est à noter que la recharge utilisée est celle qui parvient à l'aquifère considéré, soit le socle rocheux, et non la recharge potentielle de la première unité rencontrée à la surface du terrain.

La figure 14 illustre le résultat obtenu, tandis que les cartes de chacun des paramètres de l'indice DRASTIC sont présentées à l'annexe 10. Il est possible d'y observer certaines différences en

comparaison avec la carte préparée à l'échelle régionale dans le cadre du projet PACES. Ceci est dû essentiellement au maillage plus serré, ainsi qu'aux résultats de travaux de terrain. Néanmoins, comme la carte à l'échelle régionale, les zones les plus vulnérables sont localisées au niveau des sédiments fluvio-glaciaires et en haut topographique tandis que les zones de vulnérabilité moins élevée sont situées au niveau des sédiments glaciolacustres d'eau profonde localisés en bas topographique.

4.6 Qualité de l'eau

4.6.1 Validation des analyses effectuées en laboratoire

La validation des analyses effectuées en laboratoire a été effectuée à l'aide des méthodes suivantes :

- Balance ionique
- Comparaison avec la conductivité électrique
- Comparaison de la dureté rapportée avec la dureté calculée

Balance ionique

La balance ionique des ions majeurs a été faite en comparant la somme des cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ et K^+) à la somme des anions (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- et NO_3^-) selon la formule suivante :

$$\text{Électroneutralité (\%)} = \frac{(\sum \text{cations} + \sum \text{anions}) * 100}{(\sum \text{cations} - \sum \text{anions})}$$

Où les concentrations sont exprimées en meq/l. Puisque les nitrites et les nitrates ont été quantifiés ensemble, l'hypothèse a été posée que les faibles concentrations observées étaient majoritairement composées de nitrates. Sur les 69 échantillons disponibles (incluant les duplicatas), l'erreur moyenne est de 4 %. Toutefois, les erreurs varient de -42 % à 43%. Au total, ce sont 68 % des analyses dont l'erreur absolue excède 5 %.

L'explication du taux élevé d'erreurs dans le calcul de la balance ionique pourrait être expliquée par une mauvaise procédure d'analyses par le laboratoire. Il est toutefois plus probable que ces débalancements soient causés par les très faibles concentrations des ions majeurs, parfois sous les limites de détection. Enfin, la présence d'ions mineurs en grande concentration ou encore la

présence d'ions organiques peuvent également être la cause des débalancements calculés (Hounslow, 1995).

Comparaison avec la conductivité électrique

La conductivité électrique mesurée sur le terrain des échantillons a été comparée aux sommes des cations et anions selon la formule suivante :

$$\Sigma \text{ anions} = \Sigma \text{ cations (meq/l)} = \text{CE}/100 (\mu\text{S/cm})$$

Les vérifications, faites d'abord avec les cations indiquent une erreur moyenne de -9 %, tandis que l'erreur moyenne avec la somme des anions est de -13 %. On observe par ailleurs que ce ne sont pas systématiquement les mêmes échantillons possédant une erreur élevée que ceux identifiés par balance ionique.

Comparaison de la dureté

La dureté totale, rapportée par le laboratoire a été comparée avec la dureté calculée en faisant la somme de la dureté calcium et la dureté magnésium selon la formule suivante :

$$\frac{\text{Dureté} - \text{dureté calculée}}{\text{Dureté}}$$

Les vérifications pour l'ensemble des échantillons indiquent que la différence moyenne est de 3 %. Sur les 69 échantillons, seulement 11 présente une différence entre la dureté rapportée et la dureté calculée supérieure à 5 %.

Conclusions sur la validité des échantillons

Si l'on se base sur les vérifications effectuées, la balance ionique est peu fiable en raison des faibles concentrations dans les ions majeurs. Cependant, la comparaison des résultats avec la dureté et avec la conductivité électrique indique que les résultats obtenus en laboratoire sont fiables.

4.6.2 Analyse des résultats

Le tableau 11 présente les résultats d'analyse d'eau souterraine dans les puits d'observation lors de la campagne d'échantillonnage de novembre 2017, de mai-juin 2018 et d'octobre 2018. Les résultats sont comparés aux critères de qualité des eaux souterraines pour l'eau de consommation (concentration maximale acceptable) et de résurgence dans les eaux de surface du *Guide de*

protection des sols et réhabilitation des terrains contaminés (PSRTC) du MELCC. Lorsqu'un critère n'était pas disponible dans le PSRTC, les critères du *Règlement sur la qualité de l'eau potable* (RQEP) exprimés en concentration maximale acceptable (CMA) ont été utilisés. Les résultats permettent de faire les observations suivantes :

- ❑ Les eaux souterraines sont relativement peu chargées en minéraux. En effet, la conductivité électrique de l'eau varie de 21 à 362 $\mu\text{S/cm}$, avec une moyenne de 134 $\mu\text{S/cm}$;
- ❑ Le pH des eaux souterraines varie de neutre à alcalin, et ne semble pas relié au contexte hydrogéologique où se situe le puits (dépôts meubles ou socle rocheux) ;
- ❑ Des excès des critères pour l'eau de consommation sont observés dans cinq (5) puits pour l'aluminium, trois (3) puits pour l'arsenic, 22 puits pour le manganèse, six (6) puits pour le mercure, un (1) puits pour le nickel et deux (2) puits pour le plomb ;
- ❑ Des excès des critères de résurgence dans les égouts ou les eaux de surface sont observés dans six (6) puits pour le cuivre, dans un (1) puits pour l'aluminium, dans 14 puits pour le mercure et dans trois (3) puits pour le zinc ;
- ❑ Les paramètres organiques de type hydrocarbures pétroliers C10-C50, hydrocarbures aromatiques monocycliques (HAM) ou polycycliques (HAP) sont généralement sous les limites de détection ou très près de celles-ci.

La présence de métaux parfois en forte concentration est une problématique observée dans les eaux souterraines du Québec. Leur présence est principalement causée par la dissolution des minéraux naturels présents dans le sol. C'est probablement le cas en ce qui concerne plusieurs métaux comme l'arsenic, le manganèse et le mercure qui ont été retrouvés dans les échantillons d'eau souterraine. En effet, ces mêmes paramètres se retrouvent dans plusieurs secteurs de l'Abitibi où les conditions géologiques sont favorables à la présence de gisements miniers.

4.6.3 Teneur de fond locale

Pour le suivi lors des activités d'exploitation projetées, nous sommes d'avis que la détection d'indices de contamination devrait être basée sur la détection d'une tendance à la hausse d'un paramètre. Ce type de méthode ne tient pas compte de concentrations extrêmes ponctuelles, mais plutôt sur l'analyse statistique d'une base de données qui doit être suffisamment complète avant le début des activités à risque pour pouvoir être utilisée correctement.

Le meilleur outil pour ce type d'analyse serait, à notre avis, la méthode décrite dans le « Guide technique de suivi de la qualité des eaux souterraines » (2017) du MELCC. La détermination de tendance présentée dans le GTSQES est basée sur une méthode statistique non paramétrique. Cette méthode d'analyse permet d'identifier une modification de la qualité des eaux souterraines dans le temps, indépendante d'un quelconque critère de concentration maximale. Cette méthode est donc un outil supplémentaire permettant de détecter une contamination potentielle avant le dépassement d'éventuels critères de qualité.

Cette méthode pourra être mise en place à la suite du début des activités de construction des infrastructures en continuant le suivi de la qualité de l'eau dans les puits d'observation présents sur le site. La base de données obtenue à partir du suivi effectué depuis l'automne 2017 jusqu'au début des activités industrielles sera représentative des conditions géochimiques en condition naturelle et pourra servir de base à la détection de tendance. Nous recommandons donc de poursuivre le programme d'échantillonnage de façon biannuel (printemps/automne) afin d'augmenter la base de données et de faire l'analyse de tendance décrite dans la méthode du GTSQES lorsque les activités industrielles auront débuté sur le site.

4.6.4 Types d'eau rencontrés

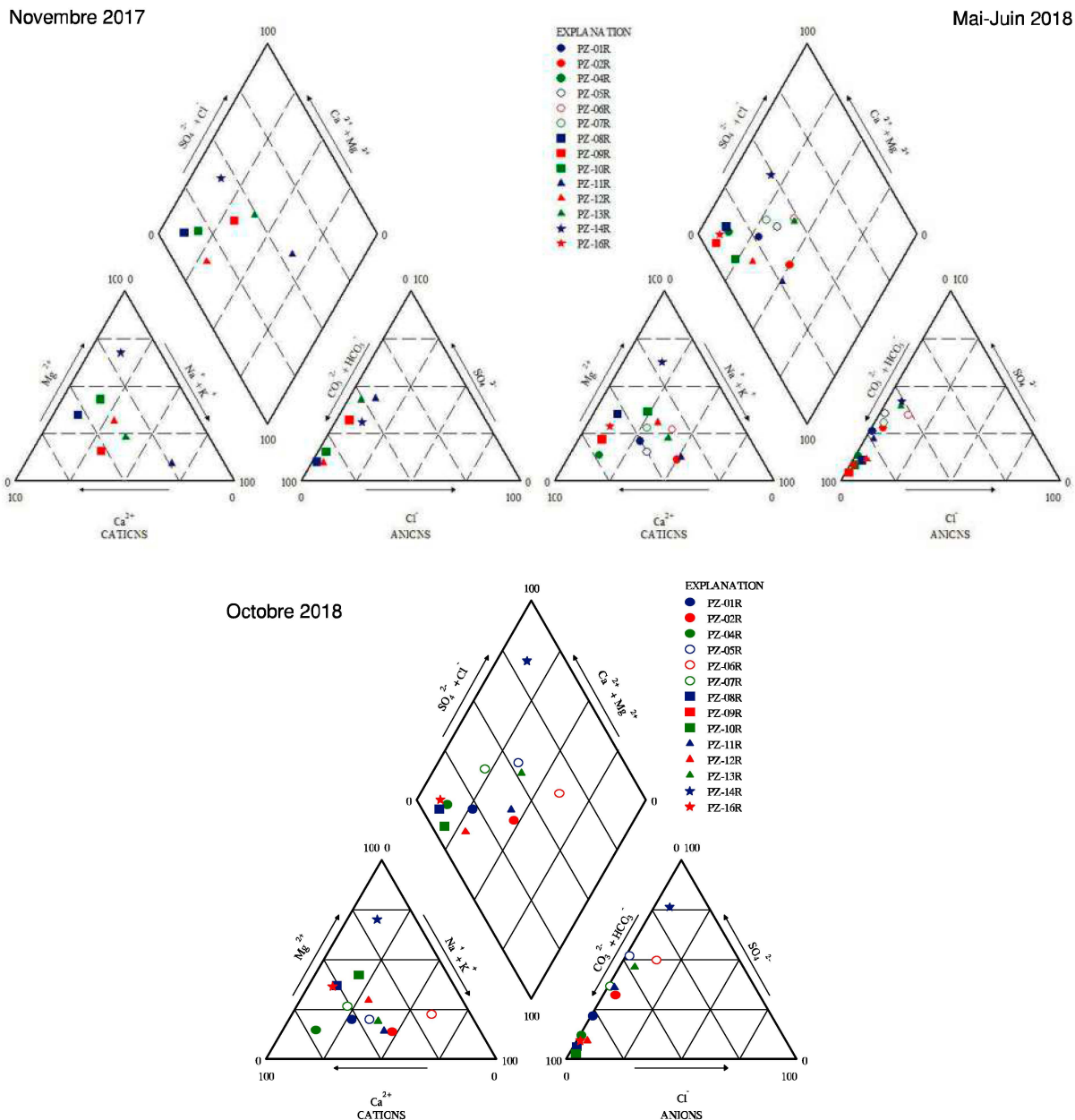
Afin de caractériser les types d'eau rencontrés sur la propriété Authier, les résultats ont été séparés en fonction des unités hydrostratigraphiques en séparant le roc des unités de dépôts meubles. Les résultats proviennent de trois campagnes d'échantillonnage réalisés jusqu'à présent. D'après le suivi piézométrique réalisé sur le puits d'observation du MELCC (illustration 6), la période d'échantillonnage de novembre 2017 correspond à une période de basses eaux. Pour l'année 2018, les données hydrométriques de la rivière Kinojévis provenant du *Centre d'expertise hydrique du Québec* (CEHQ, 2018) ont été consultées. Les données montrent que la crue printanière s'est produite dans les deux premières semaines du mois de mai. Les campagnes d'échantillonnages de mai-juin et d'octobre 2018 correspondent donc aussi à des périodes de moyennes ou de basses eaux. Les paragraphes qui suivent décrivent les résultats obtenus pour chacune d'entre elles.

Types d'eau dans le socle rocheux

Les diagrammes de Piper réalisés à partir des échantillons d'eau prélevés dans les puits installés dans le socle rocheux pour les trois campagnes d'échantillonnage sont présentés à l'illustration 12. Il est possible d'y observer que pour l'échantillonnage de novembre 2017, 6 puits sur 7 sont du type d'eau bicarbonatée calcique, représentatifs d'une eau peu évoluée et près d'une zone de

recharge. Un seul puits (PZ-11R) possède un profil de type carbonaté sodique, indiquant une eau plus évoluée. Pour la campagne de mai-juin 2018 et octobre 2018, deux puits (PZ-11R et PZ-06R) sont aussi à la limite d'un profil carbonaté sodique. Pour la campagne d'octobre 2018, le puits PZ-14R présente une eau plus évoluée avec un profil sulfaté et le puits PZ-06R présente un profil sodique potassique. Pour la majorité des puits échantillonnés lors des trois campagnes, la qualité de l'eau est relativement stable entre les périodes, puisque les nuages de points sont situés dans les mêmes zones.

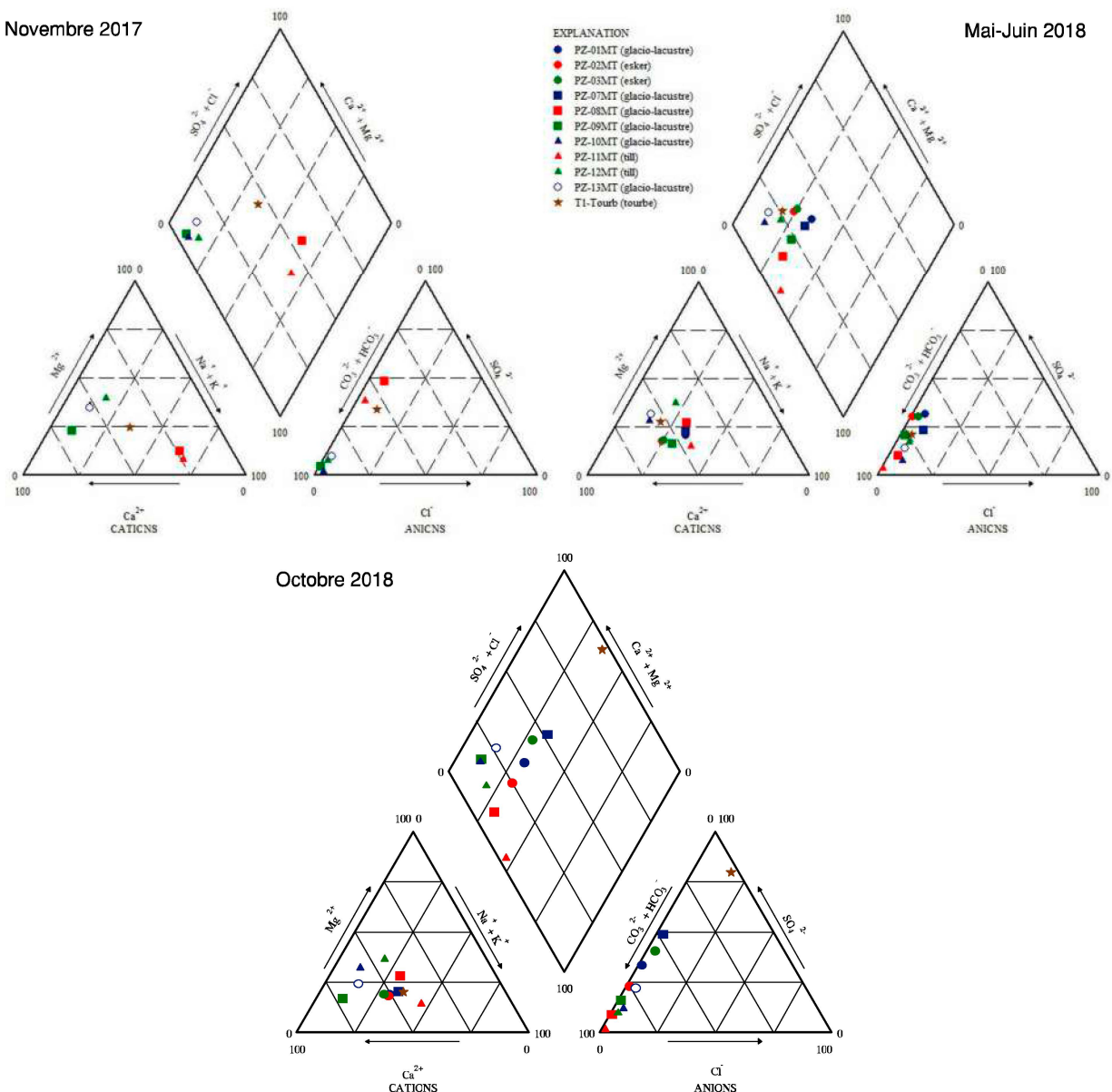
Illustration 12 : Diagrammes de Piper pour le socle rocheux pour les trois périodes d'échantillonnage



Types d'eau dans les dépôts meubles

Les diagrammes de Piper réalisés pour les puits installés dans les dépôts meubles pour les trois campagnes d'échantillonnage sont présentés à l'illustration 13. Il est possible d'observer que la majorité des échantillons possèdent un profil bicarbonaté calcique, représentatif d'une eau en zone de recharge à l'exception des puits PZ-08MT et PZ-11MT pour la campagne de novembre 2017 qui montrent un profil carbonaté sodique potassique représentant une eau plus évoluée. Pour la campagne de mai-juin 2018 et d'octobre 2018, ces deux puits montrent un retour vers un profil de type bicarbonaté calcique.

Illustration 13 : Diagrammes de Piper pour les dépôts meubles pour les trois périodes d'échantillonnage



L'échantillon provenant des dépôts tourbeux (T1-Tourb) montre aussi une variation entre les campagnes d'échantillonnage, passant d'un profil bicarbonaté calcique à un profil sulfaté pour l'échantillon d'octobre 2018. Ces variations indiquent que ces puits sont plus influencés par les variations saisonnières. Il ne semble pas y avoir de signature en fonction de l'unité étudiée (glaciolacustre, till, esker). Par ailleurs, la qualité de l'eau varie légèrement entre les campagnes, puisque les nuages de points sont situés dans les mêmes zones. Ces nuages de points sont également dans les mêmes zones (bicarbonaté calcique) que les eaux souterraines provenant du socle rocheux, ce qui indique que ces unités sont en lien hydraulique.

Types d'eau dans l'ensemble des unités

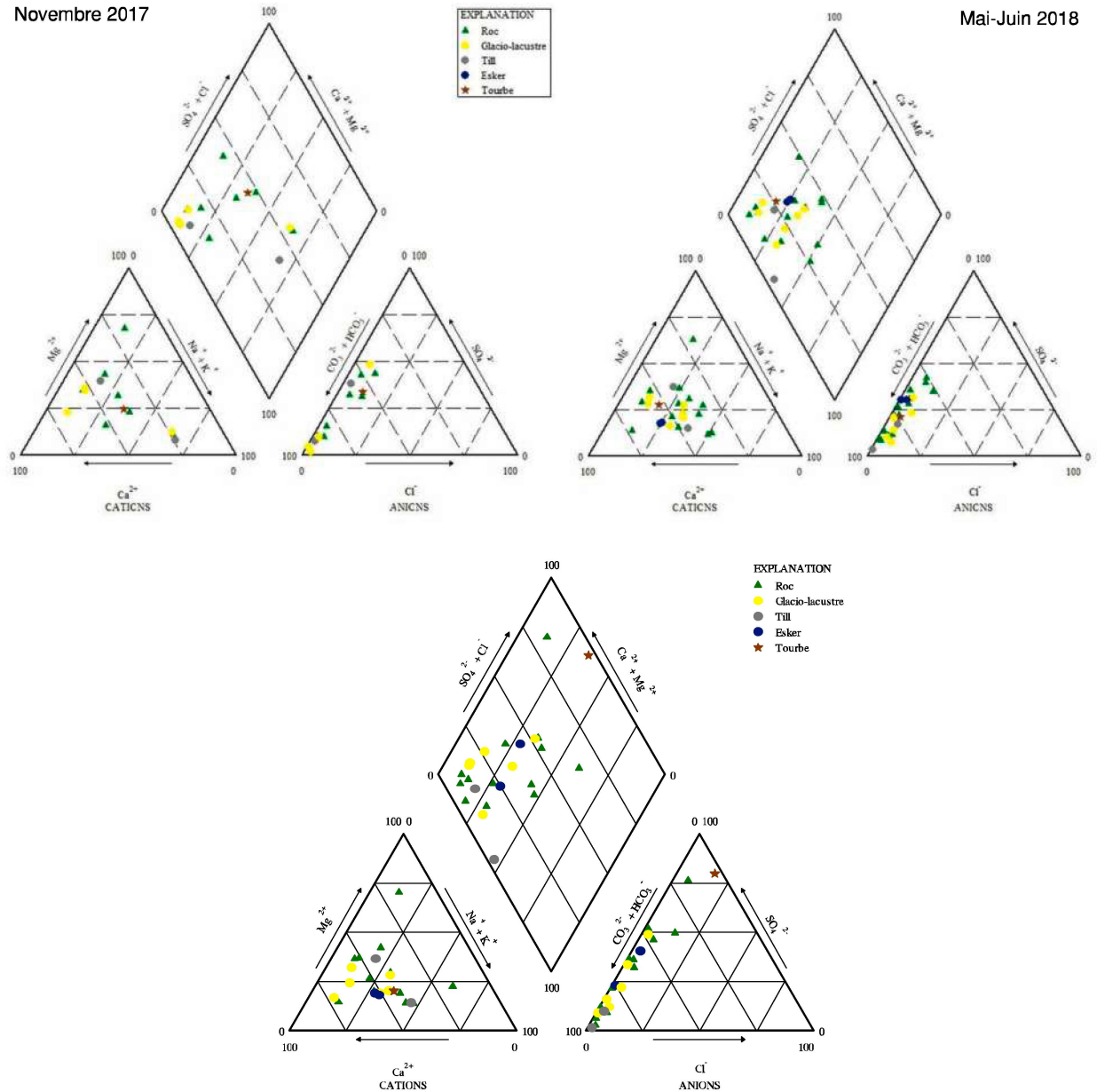
L'ensemble des résultats, provenant des différentes unités, a été intégré aux mêmes diagrammes de Piper afin de faire ressortir les rapports entre celles-ci. Les résultats présentés à l'illustration 14 montrent que la majorité des échantillons provenant des puits de l'unité de roc et des dépôts meubles, présente les propriétés d'une eau bicarbonatée calcique et sodique potassique. Les propriétés chimiques sont par contre différentes à l'intérieur des puits PZ-08MT et PZ-11MT qui se situent, respectivement, dans l'unité glaciolacustre et de till et à l'intérieur du puits PZ-08R situé dans le roc. C'est notamment la plus grande concentration de sodium-potassium qui les différencie du reste de la population.

L'augmentation de la base de données analytique notamment en période de crue printanière permettra dans l'avenir de mieux caractériser les différentes populations d'eau rencontrées sur le site, leur évolution dans le temps (basses eaux/hautes eaux) et les liens hydriques entre celles-ci.

Illustration 14 : Diagrammes de Piper pour l'ensemble des unités pour les trois périodes d'échantillonnage

Novembre 2017

Mai-Juin 2018



4.7 Classification des eaux souterraines

Selon la grille de procédure de classification présentée dans la directive 019, les eaux souterraines des unités de dépôts meubles et du socle rocheux seraient de classe II, car elles peuvent satisfaire à un besoin domestique ou industriel et les méthodes de traitement usuelles peuvent permettre d'atteindre les critères de potabilité. La portion d'esker qui est située à proximité du projet Authier a également été considérée comme de classe II puisque cette portion de l'esker n'est pas en lien hydraulique avec la portion de l'esker qui réalimente la société Eska, ainsi que le puits de la ville d'Amos.

SAYONA QUÉBEC INC.– PROJET AUTHIER LITHIUM
PROJET D'EXPLOITATION D'UNE MINE À CIEL OUVERT
ÉTUDE HYDROGÉOLOGIQUE DE BASE
ET ÉVALUATION DES RÉPERCUSSIONS DU PROJET SUR L'ENVIRONNEMENT

Tableau 11: Résultats d'analyses en laboratoire des échantillons d'eau souterraine prélevés dans les puits d'observation

Substance analysée (mg/L ou mention)	Critère de consommation*	Critère résurgence	PZ-01MT		PZ-01R			PZ-02MT		PZ-02R			PZ-03MT		PZ-04R		PZ-05R		PZ-06R		PZ-07MT		PZ-07R		PZ-08MT			PZ-08R		
Date d'échantillonnage			02-05-2018	02-10-2018	02-05-2018	02-10-2018	02-10-2018	20-06-2018	03-10-2018	20-06-2018	03-10-2018	03-10-2018	21-06-2018	03-10-2018	19-06-2018	03-10-2018	19-06-2018	02-10-2018	27-06-2018	02-10-2018	02-05-2018	02-10-2018	02-05-2018	02-10-2018	16-11-2017	28-06-2018	03-10-2018	16-11-2017	28-06-2018	03-10-2018
Métaux dissous (mg/L)							DUP-1					DUP-2																		
Aluminium (Al)	0.1	-	0.013	<0.005	0.014	<0.005	<0.005	<0.006	<0.005	<0.006	0.037	0.015	<0.006	<0.005	<0.006	0.012	0.012	0.097	0.188	0.432	0.015	<0.005	<0.006	<0.005	0.017	0.029	0.018	<0.006	<0.006	<0.0005
Antimoine (Sb)	0.006	1.1	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0001	0.0003	<0.0001	<0.0001	0.0002	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0003	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0001	<0.0001	<0.0001
Argent (Ag)	0.100	0.00062	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Arsenic (As)	0.0003	0.340	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.001	0.0011	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005
Azote ammoniacal (NH3-NH4)	-	-	0.05	0.04	0.01	0.07	0.06	0.03	0.05	0.23	0.22	0.24	0.01	0.04	<0.01	0.06	<0.01	0.06	0.05	0.04	<0.01	0.04	<0.01	0.06	0.02	0.03	0.05	0.05	0.04	0.05
Baryum (Ba)	1	0.6	0.0013	<0.0005	0.0069	0.0045	0.0049	0.006	0.0097	0.0148	0.0131	0.0115	0.002	<0.0005	0.007	0.0065	0.0129	0.0223	0.0368	0.0398	0.002	<0.0005	0.0078	0.0136	0.0122	0.0086	0.0085	0.0173	0.0168	0.0126
Béryllium (Be)	-	-	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005
Bicarbonates (HCO3)	-	-	24	17	25	35	33	26	21	80	58	57	23	14	93	75	29	11	14	7	29	7	29	25	64	46	47	73	27	57
Bismuth (Bi)	-	-	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005
Bore (B)	5	28	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Cadmium (Cd)	0.005	0.0011	0.00011	<0.00002	0.00015	<0.00002	<0.00002	<0.00002	<0.00002	<0.00002	<0.00002	<0.00002	<0.00002	<0.00002	<0.00002	<0.00002	<0.00002	0.00023	0.00041	0.00014	0.00004	<0.00002	0.00015	0.00003	<0.00002	<0.00002	<0.00002	<0.00002	<0.00002	<0.00002
Calcium (Ca)	-	-	4.67	3.75	6.06	6.85	7.35	5.4	4.44	16.5	12.3	11.9	4.7	3.37	28.8	27.8	7.0	2.99	1.8	0.66	5.1	1.53	5.9	6.34	9.17	6.56	7.21	14.0	13.2	10.1
Carbonates (CO2)	-	-	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Chlorures (Cl)	250	860	1.3	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	3.9	2.7	2.4	0.7	0.5	0.9	<0.5	0.7	<0.5	2.1	1.6	2.3	<0.5	1.1	<0.5	6.1	1.5	<0.5	1.2	0.8	0.6
Chrome (Cr)	0.050	-	0.0011	<0.0006	0.0008	<0.0006	<0.0006	0.001	<0.0006	0.001	<0.0006	<0.0006	<0.0006	<0.0006	0.001	<0.0006	0.0013	<0.0006	<0.0006	<0.0006	0.0008	<0.0006	0.0008	<0.0006	<0.0006	<0.0006	<0.0006	<0.0006	<0.0006	<0.0006
Cobalt (Co)	-	0.370	0.0006	<0.0005	0.0009	0.0012	0.0014	0.0006	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0011	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0022	0.003	0.0039	0.0032	0.0017	<0.0005	0.0013	0.0012	0.002	0.004	0.0046	<0.0005	<0.0005	<0.0005
Cuivre (Cu)	1.000	0.0073	0.0148	0.0011	0.0008	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0006	<0.0005	<0.0005	0.0026	0.001	<0.0005	0.0194	0.005	0.0123	0.0173	0.041	<0.0005	0.0027	<0.0005	0.0008	0.0055	0.003	0.0012	<0.0005	0.0006	<0.0005
Cyanure totaux	0.200	0.022	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	-	<0.001	-	<0.001	<0.001	-	<0.001	-	<0.001	-	<0.001	<0.001	<0.001	-	<0.001	-	<0.001	-	<0.001	<0.001	-	<0.001	<0.001
Durété (CaCO3)	-	-	16	12	21	23	25	17	14	53	41	40	11	85	83	22	10	8	3	19	5	24	23	35	27	30	57	54	43	
Fer (Fe)	-	-	0.06	<0.01	0.14	0.2	0.2	0.26	0.2	0.01	0.05	0.04	0.01	<0.01	0.01	<0.01	0.01	<0.01	0.63	0.38	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	5.44	4.71	9	0.28	2.36	2.61
Fluorures (F)	1.5	-	0.05	0.04	0.05	0.04	0.05	0.04	0.03	0.26	0.23	0.23	0.04	0.2	0.18	0.13	0.09	0.07	0.06	0.05	0.03	0.1	0.09	0.14	0.13	0.09	0.08	0.08	0.05	
Lithium (Li)	-	-	0.018	<0.005	0.013	0.006	0.006	0.015	0.007	0.007	<0.005	<0.005	<0.0																	

SAYONA QUÉBEC INC.– PROJET AUTHIER LITHIUM
PROJET D'EXPLOITATION D'UNE MINE À CIEL OUVERT
ÉTUDE HYDROGÉOLOGIQUE DE BASE
ET ÉVALUATION DES RÉPERCUSSIONS DU PROJET SUR L'ENVIRONNEMENT

Substance analysée (mg/L ou mention)	Critère de consommation*	Critère résurgence	PZ-01MT		PZ-01R			PZ-02MT		PZ-02R			PZ-03MT		PZ-04R		PZ-05R		PZ-06R		PZ-07MT		PZ-07R		PZ-08MT			PZ-08R		
Date d'échantillonnage			02-05-2018	02-10-2018	02-05-2018	02-10-2018	02-10-2018	20-06-2018	03-10-2018	20-06-2018	03-10-2018	03-10-2018	21-06-2018	03-10-2018	19-06-2018	03-10-2018	19-06-2018	02-10-2018	27-06-2018	02-10-2018	02-05-2018	02-10-2018	02-05-2018	02-10-2018	16-11-2017	28-06-2018	03-10-2018	16-11-2017	28-06-2018	03-10-2018
Dibenzo (a,l) pyrène	-	-	<0.03	-	<0.03	-	-	<0.03	-	<0.03	-	-	<0.03	-	<0.03	-	<0.03	-	<0.03	-	<0.03	-	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-
7,12-diméthylbenzanthracène	-	-	<0.03	-	<0.03	-	-	<0.03	-	<0.03	-	-	<0.03	-	<0.03	-	<0.03	-	<0.03	-	<0.03	-	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-
Fluoranthène	-	14	<0.03	-	<0.03	-	-	<0.03	-	<0.03	-	-	<0.03	-	<0.03	-	<0.03	-	<0.03	-	<0.03	-	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-
Fluorène	-	110	<0.03	-	<0.03	-	-	<0.03	-	<0.03	-	-	<0.03	-	<0.03	-	<0.03	-	<0.03	-	<0.03	-	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-
Indeno (1,2,3-cd) pyrène	-	1.8	<0.03	-	<0.03	-	-	<0.03	-	<0.03	-	-	<0.03	-	<0.03	-	<0.03	-	<0.03	-	<0.03	-	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-
3-méthylcholanthrène	-	-	<0.03	-	<0.03	-	-	<0.03	-	<0.03	-	-	<0.03	-	<0.03	-	<0.03	-	<0.03	-	<0.03	-	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-
Naphtalène	100	100	<0.03	-	<0.03	-	-	<0.03	-	0.035	-	-	<0.03	-	<0.03	-	<0.03	-	<0.03	-	<0.03	-	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-
Phénanthrène	-	4.7	<0.03	-	<0.03	-	-	<0.03	-	<0.03	-	-	<0.03	-	<0.03	-	<0.03	-	<0.03	-	<0.03	-	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-
Pyrène	-	-	<0.03	-	<0.03	-	-	<0.03	-	<0.03	-	-	<0.03	-	<0.03	-	<0.03	-	<0.03	-	<0.03	-	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-
Mesures in situ																														
pH	-	-	7.92	6.49	7.9	7.72	7.72	7.22	6.32	7.76	7.23	7.23	6.99	5.95	7.7	7.75	6.57	5.11	6.06	4.57	6.89	6.06	7.88	6.77	7.28	6.74	5.77	7.28	7.47	6.4
Conductivité électrique (µS/cm)	-	-	60	43	71	109	109	59	50	247	335	335	45	39	155	173	75	45	37	32	94	21	172	68	259	120	103	161	120	141
Température (°C)	-	-	7.2	5.5	6.3	5.6	5.6	6.8	6.3	9.7	6.1	6.1	6.4	5.7	6	8.8	9	9.2	5.8	9	6.9	6.3	6.8	5.5	6.5	12.1	8.3	6.2	6.7	7.3
Potentiel d'oxydoréduction (mV)	-	-	-	113	-	-101	-101	-	-	-	-111	-111	-	213	-	42	-	226	-	250	-	213	-	-	-59	-	-25	-76	-	-45
Profondeur puits (m)	-	-	11.6	11.6	15.5	15.5	15.5	18.6	18.6	23.5	23.5	23.5	26.8	26.8	9.1	9.1	8.2	8.2	8.2	8.2	8.7	8.7	16.1	16.1	6.2	6.2	6.2	10.4	10.4	10.4
Niveau d'eau margelle (m)	-	-	6.32	6.19	6.41	6.31	6.31	13.18	13.00	13.18	13.17	13.17	13.18	19.33	0.79	1.96	4.38	4.67	3.31	3.65	5.94	5.61	4.81	4.40	1.76	2.22	2.31		2.48	2.04
Unité recoupée	-	-	Sable	Sable	Roc	Roc	Roc	Sable	Sable	Roc	Roc	Roc	Sable	Sable	Roc	Roc	Roc	Roc	Roc	Roc	Sable	Sable	Roc	Roc	Sable	Sable	Sable	Roc	Roc	Roc

Substance analysée (mg/L ou mention)	Critère de consommation*	Critère résurgence	PZ-09MT			PZ-09R			PZ-10MT			PZ-10R			PZ-11MT			PZ-11R				PZ12-MT				PZ-12R			
Date d'échantillonnage			16-11-2017	28-06-2018	04-10-2018	16-11-2017	28-06-2018	04-10-2018	13-11-2017	21-06-2018	03-10-2018	13-11-2017	21-06-2018	03-10-2018	13-11-2017	20-06-2018	01-10-2018	13-11-2017	20-06-2018	Dup	01-10-2018	13-11-2017	02-05-2018	01-10-2018	13-11-2017	13-11-2017	02-05-2018	01-10-2018	
Métaux dissous (mg/L)																										DUP			
Aluminium (Al)	0.1	-	0.006	<0.006	<0.005	0.025	0.039	<0.005	0.03	0.006	0.007	0.177	0.007	0.006	<0.006	<0.006	<0.0005	0.347	<0.006	<0.006	<0.0005	<0.006	<0.006	<0.0005	0.010	0.006	<0.006	<0.0005	
Antimoine (Sb)	0.006	1.1	0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0003	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0004	<0.0001	<0.0001	0.0004	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	
Argent (Ag)	0.100	0.00062	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	
Arsenic (As)	0.0003	0.340	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0016	
Azote ammoniacal (NH3-NH4)	-	-	0.09	0.19	0.12	0.17	0.15	0.2	0.06	0.19	0.12	<0.005	0.12	0.09	<0.01	0.03	0.01	0.04	0.21	0.04	0.04	<0.01	0.09	0.01	0.01	0.03	0.51	0.06	
Baryum (Ba)	1	0.6	0.0069	0.0269	0.014	0.0308	0.0148	0.032	0.0049	0.0108	0.008	<0.0005	0.0054	0.0042	0.0095	0.0096	0.0102	0.0042	0.008	0.0089	0.0148	0.0073	0.0025	0.0051	0.0086	0.0082	0.005	0.0073	
Béryllium (Be)	-	-	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	
Bicarbonates (HCO3)	-	-	79	95	63	96	91	88	82	72	54	33	111	102	50	47	78	43	59	41	46	68	43	44	68	68	77	81	
Bismuth (Bi)	-	-	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	
Bore (B)	5	28	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.03	<0.01	<0.01	0.02	0.02	
Cadmium (Cd)	0.005	0.0011	<0.00002	<0.00002	<0.00002	<0.00002	<0.00002	<0.00002	<0.00002	<0.00002	<0.00002	0.00009	<0.00002	<0.00002	<0.00002	<0.00002	<0.00002	0.00006	<0.00002	<0.00002	<0.00002	0.00007	0.00008	<0.00002	0.00015	0.00015	0.00018	<0.00002	
Calcium (Ca)	-	-	20.3	22.4	19.3	26.8	19.3	25.0	18.5	19.3	13	7.7	20.2	14.5	6.7	4.2	4.17	7.97	9.51	4.61	9.82	11.9	6.69	6.49	13.9	13.2	12.1	13.1	
Carbonates (CO2)	-	-	<2	<2	<2	<2		<2	<2	<2	<2	12.0	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	9	8	<2	<2	
Chlorures (Cl)	250	860	0.5	1.8	0.6	5.7	0.8	2.1	1.6	3.7	1.6	0.9	1.8	1.8	1.9	<0.5	0.9	7	1.8	<0.5	1.2	1	2	0.9	2.5	2.4	3.1	2.3	
Chrome (Cr)	0.050	-	<0.0006	<0.0006	<0.0006	<0.0006	<0.0006	<0.0006	0.0043	0.0018	0.0024	0.0053	<0.0006	<0.0006	0.0014	0.001	<0.0006	0.0012	0.0008	0.0009	<0.0006	0.0008	0.0009	<0.0006	0.0009	<0.0006	0.0011	<0.0006	
Cobalt (Co)	-	0.370	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0011	0.0031	0.0044	0.0018	0.0037	0.0043	0.0032	0.0022	0.0017	0.0034	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	
Cuivre (Cu)	1.000	0.0073	0.0017	<0.0005	0.0043	<0.0005	0.0011	<0.0005	<0.0005	0.0014	0.0013	0.0024	0.0007	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0026	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0921	
Cyanure totaux	0.200	0.022	-	<0.001	0.003	-	<0.001	0.0009	-		<0.001	-		<0.001	-		<0.001	-			<0.001	-	<0.001	<0.001	-	-	<0.001	<0.001	
Durété (CaCO3)	-	-	68	72	59	86	63	76	77		50	40	75	22	13	14	27	31	15	32	57	31	29	62	60	54	56		
Fer (Fe)	-	-	0.63	0.01	2.95	0.1	0.03	<0.01	0.3	2.83	5.89	0.37	<0.01	0.03	4.89	28.3	0.98	0.29	0.03	22	0.13	0.5	0.16	0.42	0.02	0.01	<0.01	0.11	
Fluorures (F)	1.5	4.0	0.14	0.41	0.33	0.39	0.14	0.09	0.1		0.04	0.14		0.18	0.12	0.05	0.08	0.04	0.09	0.04	0.08	0.19	0.12	0.11	0.34	0.34	0.31	0.31	
Lithium (Li)	-	-	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.011		<0.005	<0.005		0.03	<0.005	0.019	0.021	0.033	0.126		0.111	0.08	0.084	0.048	0.172	0.229	0.298	0.197	
Magnésium (Mg)	-	-	4.23	4.09	2.76	4.87	3.77	3.48	7.64	5.73	4.5	5.09	11.3	9.6	1.34	0.83	0.9	1.86	1.92	0.89	2.03	6.68	3.62	3.31	6.85	6.78	5.98	5.71	
Manganèse	0.05	2.3	0.3958	0.1342	0.2687	0.1403	0.2552	0.1209	0.167	0.4078	0.3197	0.0084	0.0322	0.0318	1.426	0.8002	0.8016	0.2682	0.4694	0.9069	0.8187	0.3608	0.1404	0.1356	0.0538	0.051	0.0554	0.0619	
Mercure (Hg)	0.001	0.0000013	0.00032	<0.00001	<0.00001	0.00010	0.00018	<0.00001	0.00362		<0.00001	0.00716		<0.00001	0.00002	<0.00001	<0.00001	0.002	<0.00001	<0.00001	<0.00001	0.00208	0.00037	0.00001	0.00077	0.00078	0.00082	0.00002	
Molybdène (Mo)	0.070	29.000	0.0010	0.0024	<0.0005	0.0037	0.0014	0.002	0.0011	<0.0005	<0.0005	0.0249	0.0137	0.0054	0.0015	<0.0005	<0.0005	0.0132	0.017	<0.0005	0.0078	0.0186	0.0117	0.0081	0.0349	0.034	0.0355	0.044	
Nickel (Ni)	0.070	0.260	0.001	0.0016	<0.0005	0.0046	0.0045	<0.0005	0.002	0.0011	<0.0005	0.0128	0.0062	0.001	0.0077	0.017	0.03	0.0073	0.0107	0.0089	0.0076	0.0111	0.0302	0.0497	0.0092	0.0055	0.0051	0.0041	
Nitrites-Nitrates (NO2- NO3)	10.000	-	<0.01	0.03	0.07	0.03	0.09	0.07	0.09	0.01	0.05	0.09	0.01	0.04	0.05	0.04	0.09	0.08	0.02	0.03	0.08	0.02	0.2	0.1	<0.01	0.07	0.03	0.22	
Plomb (Pb)	0.010	0.034	<0.0003	0.0008	0.0009	<0.0003	0.0016	0.001	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	0.0019	0.0008	<0.0003	0.0062	0.0027	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	0.05	
Phosphore total (P)	-	-	0.1	<0.01	0.03	0.1400	4.2500	0.04	0.33	0.04	<0.01	0.22	0.07	0.03	0.01	0.07	<0.01	0.04	0.41	0.06	<0.01	0.03	0.77	<0.01	0.17	0.19	0.05	0.02	
Potassium (K)	-	-	0.93	1.99	0.56	2.28	0.81	2.08	1.72	0.85	0.59	0.44	1.63	1.19	1.17	0.41	0.46	8.01	3.11	0.46	1.79	0.93	0.55	0.54	1.64	1.54	1.34	1.31	
Sélénium (Se)	0.01	0.062	0.001	<0.001	<0.0005	0.001	<0.001	<0.0005	<0.001	<0.001	<0.0005	<0.001	<0.001	<0.0005	<0.001	<0.001	<0.0005	<0.001	<0.001	0.001	<0.0005	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.0005	
Silice (Si)	-	-	22.8	9.23	12.8	20.8	10.6	11.5	9.24	12.2	13.3	9.8	6.3	7.19	12.9	10.8	6.98	14.8	8.76	11	7.27	15.4	16.4	8.33	22.2	22.1	23.7	10.3	
Sodium (Na)	200.000	-	3.33	13.6	3.23	17.1	3.05	15.4	3.99	4.89	2.68	3.7	13.2	7.61	20.8	3.93	5.44	20.7	13.6	2.37	10.8	5.01	3.58	3.14	11.2	11	11.1	10.1	
Strontium (Sr)	-	-	0.047	0.117	0.046	0.103	0.056	0.113	0.062	0.037	0.015	0.063	0.015	0.034	0.034	0.032	0.034	0.039	0.036	0.037	0.038	0.045	0.029	0.023	0.05	0.067	0.045		
Sulfates (SO4)	-	-	2.9	19.8	9.4	39.2	3.6	23.1	1.2	5.1	5.9	4.9	8.1	2.3	25.8	1.4	0.9	33	13.8	0.6	21.2	4.3	7.5	3.9	6.1	6.2	8.5	6.9	
Sulfures (S2)	-	-	0.03	0.14	0.04	0.1	<0.03	0.12	<0.03		0.12	<0.03		0.43	<0.03	<0.03	0.03	3.96	0.04	<0.03	0.39	0.03	<0.03	<0.03	0.15	0.11	<0.03	0.09	
Tellure (Te)	-	-	<0.0005	0.0006	<0.0005	<0.0005	0.0023	<0.0005	<0.0005	0.0019	<0.0005	<0.0005	0.0027	<0.0005	<0.0005	0.0093	<0.0005	<0.0005	0.0103	0.0094	0.0006	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	
Thallium (Tl)	-	-	<0.0008	<0.0008	<0.0002	<0.0008	<0.0008	<0.0002	<0.0008		<0.0002	<0.0008		<0.0002	<0.0008	<0.0008	<0.0002	<0.0008	<0.0008	<0.0002	<0.0008	<0.0008	<0.0002	<0.0008	<0.0008	<0.0008	<0.0008	<0.0002	
Titane (Ti)	-	-	0.01	0.01	0.02	0.01</																							

SAYONA QUÉBEC INC.– PROJET AUTHIER LITHIUM
PROJET D'EXPLOITATION D'UNE MINE À CIEL OUVERT
ÉTUDE HYDROGÉOLOGIQUE DE BASE
ET ÉVALUATION DES RÉPERCUSSIONS DU PROJET SUR L'ENVIRONNEMENT

Substance analysée (mg/L, ou mention)	Critère de consommation*	Critère résurgence	PZ-09MT			PZ-09R			PZ-10MT			PZ-10R			PZ-11MT			PZ-11R				PZ12-MT			PZ-12R			
Date d'échantillonnage			16-11-2017	28-06-2018	04-10-2018	16-11-2017	28-06-2018	04-10-2018	13-11-2017	21-06-2018	03-10-2018	13-11-2017	21-06-2018	03-10-2018	13-11-2017	20-06-2018	01-10-2018	13-11-2017	20-06-2018	20-06-2018	01-10-2018	13-11-2017	02-05-2018	01-10-2018	13-11-2017	13-11-2017	02-05-2018	01-10-2018
1,2-dichlorobenzène	150	70	<0.3	<0.2	-	<0.3	<0.2	-	<0.3	<0.2	-	<0.3	<0.2	-	<0.3	<0.2	-	<0.3	<0.2	<0.2	-	<0.3	<0.3	-	<0.3	<0.3	<0.3	-
1,3-dichlorobenzène	-	100	<0.3	<0.1	-	<0.3	<0.1	-	<0.3	<0.1	-	<0.3	<0.1	-	<0.3	<0.1	-	<0.3	<0.1	<0.1	-	<0.3	<0.3	-	<0.3	<0.3	<0.3	-
1,4-dichlorobenzène	5	100	<0.3	<0.2	-	<0.3	<0.2	-	<0.3	<0.2	-	<0.3	<0.2	-	<0.3	<0.2	-	<0.3	<0.2	<0.2	-	<0.3	<0.3	-	<0.3	<0.3	<0.3	-
Éthylbenzène	2.4	160	<0.3	<0.1	<0.3	<0.3	<0.1	<0.3	<0.3	<0.1	<0.3	<0.3	<0.1	-	<0.3	<0.1	<0.3	<0.3	<0.1	<0.1	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
Styrène	20	800	<0.3	<0.1	-	<0.3	<0.1	-	<0.3	<0.1	-	<0.3	<0.1	-	<0.3	<0.1	-	<0.3	<0.1	<0.1	-	<0.3	<0.3	-	<0.3	<0.3	<0.3	-
Toluène	24	200	<0.3	<0.1	<0.3	<0.3	0.16	<0.3	0.4	0.19	<0.3	1.3	0.31	-	0.7	0.24	<0.3	0.6	0.2	0.27	<0.3	0.5	0.3	<0.3	<0.3	<0.3	6.3	<0.3
Xylènes totaux	300	370	<0.3	<0.4	<0.3	<0.3	<0.4	<0.3	<0.3	<0.4	<0.3	<0.3	<0.4	-	<0.3	<0.4	<0.3	<0.3	<0.4	<0.4	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
HAP (µg/L)																												
Acénaphthène	-	100	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	<0.03	-
Acénaphthylène	-	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	<0.03	-
Anthracène	-	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	<0.03	-
Benzo (a) anthracène	-	1.8	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	<0.03	-
Benzo (a) pyrène	0.01	1.8	<0.003	<0.008	<0.008	<0.003	<0.008	<0.008	<0.003	<0.008	<0.008	<0.003	<0.008	<0.008	<0.003	<0.008	<0.003	<0.003	<0.008	<0.008	<0.003	<0.003	<0.008	<0.003	<0.003	<0.003	<0.008	<0.003
Benzo (e) pyrène	-	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	<0.03	-
Benzo (b,j,k) fluoranthène	-	1.8	<0.03	<0.06	-	<0.03	<0.06	-	<0.03	<0.06	-	<0.03	<0.06	-	<0.03	<0.06	-	<0.03	<0.06	<0.06	-	<0.03	<0.06	-	<0.03	<0.03	<0.06	-
Benzo (c) phénanthrène	-	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	<0.03	-
Benzo (g,h,i) pérylène	-	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	<0.03	-
Chrysène	-	1.8	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	<0.03	-
Dibenzo (a,h) anthracène	-	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	<0.03	-
Dibenzo (a,i) pyrène	-	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	<0.03	-
Dibenzo (a,h) pyrène	-	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	<0.03	-
Dibenzo (a,i) pyrène	-	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	<0.03	-
7,12-diméthylbenzoanthracène	-	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	<0.03	-
Fluoranthène	-	14	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	<0.03	-
Fluorène	-	110	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	<0.03	-
Indeno (1,2,3-cd) pyrène	-	1.8	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	<0.03	-
3-méthylcholanthrène	-	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	<0.03	-
Naphtalène	100	100	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	<0.03	-
Phénanthrène	-	4.7	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	<0.03	-
Pyrène	-	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	<0.03	-
Mesures in situ																												
pH	-	-	8.33	7.38	7.14	8.99	8.2	7.22	9.48	7.25	7.14	9.22	8.84	8.61	7.99	6.59	6.42	9.56	7.08	7.08	6.55	8.21	8.24	6.35	9.43	9.43	8.31	7.22
Conductivité électrique (µS/cm)	-	-	139	145	141	240	206	208	150	151	140	80	190	182	185	147	169	98	127	127	169	180	106	96	151	151	210	170
Température (°C)	-	-	2.4	7.8	6.1	2.7	8.4	6.8	4.7	6.3	7.5	4.5	13.4	8.1	6.5	11.8	9	6.1	12.8	12.8	-7.6	6.1	6.4	9	5.1	5.1	7.2	6.5
Potentiel d'oxydoréduction (mV)	-	-	-14	-	-131	-72	-	-98	-391	-	-	-400	-	-130	-109	-	-51	-188	-	-	-40	-83	-	-2	-148	-148	-	-55
Profondeur puits (m)	-	-	7.6	7.6	7.6	13.2	13.2	13.2	15.2	15.2	15.2	19.1	19.1	19.1	5.3	5.3	5.3	14.4	14.4	14.4	14.4	3.8	3.8	3.8	13.2	13.2	13.2	13.2
Niveau d'eau margelle (m)	-	-	0.91	1.18	2.11	0.96	1.17	0.89	2.15	1.35	3.01	2.26	2.37	4.06	1.43	1.80	2.09	1.78	1.82	1.82	3.63	1.60	1.34	2.27	0.70	0.70	0.46	3.83
Unité recoupée	-	-	Sable	Sable	Sable	Roc	Roc	Roc	Sable	Sable	Sable	Roc	Roc	Roc	Till	Till	Till	Roc	Roc	Roc	Roc	Till	Till	Till	Roc	Roc	Roc	Roc

Substance analysée (mg/L, ou mention)	Critère de consommation*	Critère résurgence	PZ-13MT			PZ-13R			PZ-14R				PZ-16R		T1-Tourb		
Date d'échantillonnage			13-11-2017	27-06-2018	04-10-2018	13-11-2017	27-06-2018	04-10-2018	16-11-2017	27-06-2018	04-10-2018	04-10-2019	28-06-2018	03-10-2018	16-11-2017	28-06-2018	04-10-2018
Métaux dissous (mg/L)												DUP-3					
Aluminium (Al)	0.1	-	0.034	<0.006	0.005	0.025	<0.006	<0.005	1.16	0.77	0.774	0.785	0.072	0.017	0.368	0.186	0.484
Antimoine (Sb)	0.006	1.1	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0001	<0.0001	0.0003	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0003	<0.0001	0.0001
Argent (Ag)	0.100	0.00062	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Arsenic (As)	0.0003	0.340	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0007	<0.0005	<0.0005	<0.0005
Azote ammoniacal (NH3-NH4)	-	-	0.09	0.06	0.07	0.17	0.27	0.07	0.24	0.04	0.07	0.09	0.08	0.1	0.15	0.16	0.06
Baryum (Ba)	1	0.6	0.015	0.0081	0.0077	0.048	0.0359	0.0446	0.0099	0.0086	0.0124	0.0118	0.0097	0.0051	0.0072	0.0078	0.0077
Béryllium (Be)	-	-	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005
Bicarbonates (HCO3)	-	-	60	47	45	84	118	86	34	15	5	5	106	82	18	17	<2
Bismuth (Bi)	-	-	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005
Bore (B)	5	28	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Cadmium (Cd)	0.005	0.0011	<0.00002	<0.00002	<0.00002	<0.00002	<0.00002	<0.00002	<0.00002	<0.00002	<0.00002	<0.00002	<0.00002	<0.00002	<0.00002	<0.00002	<0.00002
Calcium (Ca)	-	-	14.1	9.03	13.2	23.6	26.5	31.4	1.48	1.3	1.21	1.14	24.2	17.1	2.17	2.86	2.68
Carbonates (CO2)	-	-	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Chlorures (Cl)	250	860	1.3	1.9	1.5	6	10.1	7	4.3	1.1	1.1	1.1	0.9	0.8	2.2	0.7	2.8
Chrome (Cr)	0.050	-	0.0006	<0.0006	<0.0006	0.0017	<0.0006	<0.0006	0.0301	0.0234	0.0161	0.0165	<0.0006	0.0009	0.0006	<0.0006	<0.0006
Cobalt (Co)	-	0.370	<0.0005	0.0009	<0.0005	0.0012	0.0007	0.0008	0.0033	0.0025	0.0027	0.0027	<0.0005	<0.0005	0.001	0.0019	0.0008
Cuivre (Cu)	1.000	0.0073	<0.0005	0.003	0.0007	0.0024	0.0008	0.0015	0.0136	0.0157	0.0121	0.012	0.001	<0.0005	0.0013	0.0031	0.0164
Cyanure totaux	0.200	0.022	-	<0.001	<0.001	-	<0.001	<0.001	-	<0.001	0.001	0.002	<0.001	<0.001	-	0.001	0.011
Durété (CaCO3)	-	-	58	35	45	94	105	113	17	13	15	15	89	71	8	10	9
Fer (Fe)	-	-	2.39	0.06	1.57	0.84	0.02	0.2	0.66	0.48	0.42	0.41	0.02	0.31	2.2	2.77	3.77
Fluorures (F)	1.5	4.0	0.1	0.08	0.04	0.15	0.17	0.1	0.04	0.05	0.02	0.02	0.15	0.1	0.04	0.06	0.04
Lithium (Li)	-	-	<0.005	<0.005	0.007	<0.005	0.005	0.006	0.008	0.011	0.011	0.011	0.021	0.018	<0.005	<0.005	<0.005
Magnésium (Mg)	-	-	5.61	3.13	3.13	8.64	9.62	8.55	3.34	2.53	3.11	3.08	7.01	7.1	0.82	0.91	0.76
Manganèse	0.05	2.3	0.5299	0.2282	0.2403	0.4396	0.3179	0.3431	0.0211	0.0285	0.0181	0.018	7.707	0.449	0.2607	0.6889	0.1832
Mercure (Hg)	0.001	0.0000013	0.00031	<0.00001	<0.00001	0.00222	0.00006	<0.00001	0.00009	<0.00001	<0.00001	<0.00001	<0.00001	<0.00001	<0.00001	<0.00001	<0.00001
Molybdène (Mo)	0.070	29.000	0.0008	0.0017	<0.0005	0.0053	0.0043	0.0028	0.0006	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0014	0.0007	<0.0005	<0.0005	<0.0005
Nickel (Ni)	0.070	0.260	0.0018	0.0043	<0.0005	0.0213	0.0193	0.0789	0.0622	0.0666	0.0659	0.0031	0.0013	0.0016	0.0015	<0.0005	<0.0005
Nitrates-Nitrates (NO2- NO3)	10.000	-	0.01	0.04	0.08	0.07	0.07	0.07	0.06	0.04	0.87	0.82	0.02	0.05	0.1	0.08	0.59

SAYONA QUÉBEC INC.– PROJET AUTHIER LITHIUM
PROJET D'EXPLOITATION D'UNE MINE À CIEL OUVERT
ÉTUDE HYDROGÉOLOGIQUE DE BASE
ET ÉVALUATION DES RÉPERCUSSIONS DU PROJET SUR L'ENVIRONNEMENT

Substance analysée (mg/L, ou mention)	Critère de consommation*	Critère résurgence	PZ-13MT			PZ-13R			PZ-14R				PZ-16R		T1-Tourb		
Date d'échantillonnage			13-11-2017	27-06-2018	04-10-2018	13-11-2017	27-06-2018	04-10-2018	16-11-2017	27-06-2018	04-10-2018	04-10-2019	28-06-2018	03-10-2018	16-11-2017	28-06-2018	04-10-2018
Plomb (Pb)	0.010	0.034	<0.0003	<0.0003	0.0011	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	0.0007	<0.0003	0.0019	<0.0003	<0.0003	0.0017	0.0032
Phosphore total (P)	-	-	0.04	0.27	0.02	0.47	0.11	0.04	0.13	0.53	0.05	0.01	<0.01	<0.01	0.52	0.09	0.43
Potassium (K)	-	-	0.89	0.55	0.73	1.49	1.79	1.52	0.3	0.22	0.26	0.28	0.86	0.74	1.65	0.09	1.13
Sélénium (Se)	0.01	0.062	<0.001	<0.001	<0.0005	<0.001	<0.001	<0.0005	0.003	<0.001	<0.0005	<0.0005	<0.001	<0.0005	0.001	<0.001	<0.0005
Silice (Si)	-	-	12.5	6.67	9.6	16.4	8.7	12.2	16.3	6.36	9.96	9.9	10.4	11.9	13.2	3.62	8.6
Sodium (Na)	200.000	-	3.42	2.14	3.18	27	32.2	32.8	1.17	1.22	0.96	0.95	4.21	3.47	1.26	1.15	1.88
Strontium (Sr)	-	-	0.036	0.03	0.038	0.082	0.14	0.146	0.009	0.023	0.01	0.01	0.087	0.055	0.009	0.014	0.013
Sulfates (SO4)	-	-	5.3	6.4	10.6	54.5	69.2	65.5	14.6	9.7	17.5	15.8	8	6.7	8.7	3.8	18.2
Sulfures (S2)	-	-	<0.03	<0.03	<0.03	0.17	0.05	0.1	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	0.03	0.03	0.03	0.05
Tellure (Te)	-	-	<0.0005	0.0012	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0009	<0.0005	<0.0005	0.0044	<0.0005	<0.0005	0.0046	<0.0005
Thallium (Tl)	-	-	<0.0008	<0.0008	<0.0002	<0.0008	<0.0008	<0.0002	<0.0008	<0.0008	<0.0002	<0.0002	<0.0008	<0.0002	<0.0008	<0.0008	<0.0002
Titane (Ti)	-	-	0.01	<0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01
Uranium (U)	0.02	0.32	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Vanadium (V)	-	-	0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0015	<0.0005	<0.0005	0.0011	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0005	0.0016	0.0009	<0.0005	0.0008
Zinc (Zn)	5.000	0.067	0.002	0.006	0.004	0.008	0.009	0.007	0.02	0.01	0.019	0.018	0.002	0.004	0.006	<0.001	0.011
Radium (RA 226) Bq/L	-	-	-	0.036	0.002	-	0.003	0.003	-	0.028	0.002	<0.002	0.01	0.005	-	0.022	0.004
Hydrocarbures pétroliers (C10-C30)	-	2.800	0.1	<0.1	-	<0.1	<0.1	-	<0.1	<0.1	-	-	<0.1	-	0.5	<0.1	-
HMA (µg/L)																	
Benzène	0.5	950	<0.3	<0.2	<0.3	<0.3	<0.2	<0.3	<0.3	<0.2	<0.3	<0.3	<0.2	<0.3	<0.3	<0.2	<0.3
Chlorobenzène	30	130	<0.3	<0.2	-	<0.3	<0.2	-	<0.3	<0.2	-	-	<0.2	-	<0.3	<0.2	-
1,2-dichlorobenzène	150	70	<0.3	<0.2	-	<0.3	<0.2	-	<0.3	<0.2	-	-	<0.2	-	<0.3	<0.2	-
1,3-dichlorobenzène	-	100	<0.3	<0.1	-	<0.3	<0.1	-	<0.3	<0.1	-	-	<0.1	-	<0.3	<0.1	-
1,4-dichlorobenzène	5	100	<0.3	<0.2	-	<0.3	<0.2	-	<0.3	<0.2	-	-	<0.2	-	<0.3	<0.2	-
Éthylbenzène	2.4	160	<0.3	<0.1	<0.3	<0.3	<0.1	<0.3	<0.3	<0.1	<0.3	<0.3	<0.1	<0.3	<0.3	<0.1	<0.3
Styrène	20	800	<0.3	<0.1	-	<0.3	<0.1	-	<0.3	<0.1	-	-	<0.1	-	<0.3	<0.1	-
Toluène	24	200	0.6	0.18	<0.3	<0.3	<0.1	<0.3	<0.3	0.17	<0.3	<0.3	0.2	<0.3	<0.3	0.17	<0.3
Xylènes totaux	300	370	<0.3	<0.4	<0.3	<0.3	<0.4	<0.3	<0.3	<0.4	<0.3	<0.3	<0.4	<0.3	<0.3	<0.4	<0.3
HAP (µg/L)																	
Acénaphthène	-	100	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	-	<0.03	-	<0.03	<0.03	-
Acénaphthylène	-	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	-	<0.03	-	<0.03	<0.03	-
Anthracène	-	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	-	<0.03	-	<0.03	<0.03	-
Benzo (a) anthracène	-	1.8	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	-	<0.03	-	<0.03	<0.03	-
Benzo (a) pyrène	0.01	1.8	<0.003	<0.008	<0.008	<0.003	<0.008	<0.008	<0.003	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008	<0.003	<0.008	<0.008
Benzo (e) pyrène	-	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	-	<0.03	-	<0.03	<0.03	-
Benzo (b,j,k) fluoranthène	-	1.8	<0.03	<0.06	-	<0.03	<0.06	-	<0.03	<0.06	-	-	<0.06	-	<0.03	<0.06	-
Benzo (c) phénanthrène	-	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	-	<0.03	-	<0.03	<0.03	-
Benzo (g,h,i) pérylène	-	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	-	<0.03	-	<0.03	<0.03	-
Chrysène	-	1.8	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	-	<0.03	-	<0.03	<0.03	-
Dibenzo (a,h) anthracène	-	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	-	<0.03	-	<0.03	<0.03	-
Dibenzo (a,i) pyrène	-	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	-	<0.03	-	<0.03	<0.03	-
Dibenzo (a,h) pyrène	-	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	-	<0.03	-	<0.03	<0.03	-
Dibenzo (a,i) pyrène	-	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	-	<0.03	-	<0.03	<0.03	-
7,12-diméthylbenzoanthracène	-	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	-	<0.03	-	<0.03	<0.03	-
Fluoranthène	-	14	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	-	<0.03	-	<0.03	<0.03	-
Fluorène	-	110	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	-	<0.03	-	<0.03	<0.03	-
Indeno (1,2,3-cd) pyrène	-	1.8	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	-	<0.03	-	<0.03	<0.03	-
3-méthylcholanthrène	-	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	-	<0.03	-	<0.03	<0.03	-
Naphtalène	100	100	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	-	<0.03	-	<0.03	<0.03	-
Phénanthrène	-	4.7	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	-	<0.03	-	<0.03	<0.03	-
Pyrène	-	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	<0.03	<0.03	-	-	<0.03	-	<0.03	<0.03	-
Mesures in situ																	
pH	-	-	8.11	7.51	7.09	8.17	7.95	7.1	6.14	5.99	4.9	4.9	7.94	6.94	7.39	6.76	7.06
Conductivité électrique (µS/cm)	-	-	137	130	117	215	362	343	34	34	39	39	184	159	36	144	30
Température (°C)	-	-	6	14.3	8.4	5.7	15.5	7.3	6.2	7.3	8.8	8.8	6.1	6.1	0.4	17.1	8.2
Potentiel d'oxydoréduction (mV)	-	-	-118	-	-69	-133	-	-87	177	-	210	210	-	-41	49	-	-
Profondeur puits (m)	-	-	6.1	6.1	6.1	10.8	10.8	10.8	7.0	7.0	7.0	7.0	15.0	15.0			-
Niveau d'eau margelle (m)	-	-	3.24	3.05	4.78	3.49	3.15	5.62	2.74	2.89	2.50	2.50	4.22	4.81	0.20	0.00	0.00
Unité recoupée	-	-	Sable	Sable	Sable	Roc	Roc	Roc	Roc	Roc	Roc	Roc	Roc	Roc	Tourbe	Tourbe	Tourbe

*Les critères de qualité pour l'eau de consommation sont exprimés en concentrations maximales acceptables (CMA).

5. MODÉLISATION DE L'ÉCOULEMENT DES EAUX SOUTERRAINES

5.1 Méthodologie

Afin de tracer une carte de la piézométrie du site qui tient compte de la nature des sols et de la recharge potentielle, ainsi que pour évaluer les effets des activités futures d'exploitation de la mine sur la nappe d'eau souterraine, un modèle numérique a été élaboré à l'aide du logiciel *Visual MODFLOW*.

Le principe de la modélisation consiste à élaborer un modèle conceptuel basé sur les informations disponibles et sur les travaux de terrain ; à représenter ce modèle conceptuel par un modèle numérique ; à ajuster les paramètres de ce modèle afin qu'il puisse représenter, avec un bon degré de confiance, les observations effectuées sur le terrain ; pour ensuite l'utiliser à des fins prédictives en conservant tout autre paramètre identique.

Une fois les simulations prédictives réalisées, une analyse de sensibilité est réalisée. L'objectif de cette analyse est de vérifier l'impact de changements dans la valeur des paramètres d'entrée (conductivité hydraulique, recharge, conditions limites) sur, d'une part, la capacité du modèle à reproduire les conditions actuelles et, d'autre part, l'impact de ce changement sur la prédiction (par exemple, l'aire d'influence de la mine ou le débit de dénoyage de celle-ci). Enfin, le pire scénario obtenu à partir de paramètres permettant d'obtenir un calibrage satisfaisant est retenu pour évaluer les impacts du projet.

Le modèle numérique d'écoulement a été élaboré en y intégrant les propriétés hydrogéologiques tirées des travaux de terrain présentés dans ce document. Il a été calibré en condition normale d'écoulement d'après les mesures de niveau d'eau effectuées lors des campagnes de relevé piézométrique de l'automne 2017, du printemps et de l'automne 2018. Le calibrage a été effectué en ajustant les conditions limites et paramètres hydrogéologiques jusqu'à la meilleure représentation possible de l'écoulement, de façon à permettre de faire des projections en fonction des contraintes d'écoulement projetées.

5.2 Description du modèle numérique d'écoulement

5.2.1 Logiciel utilisé

Le logiciel *Visual MODFLOW 2017* a été utilisé pour modéliser l'écoulement souterrain afin d'atteindre les objectifs de l'étude. Ce logiciel utilise le code *MODFLOW 2000* qui permet de

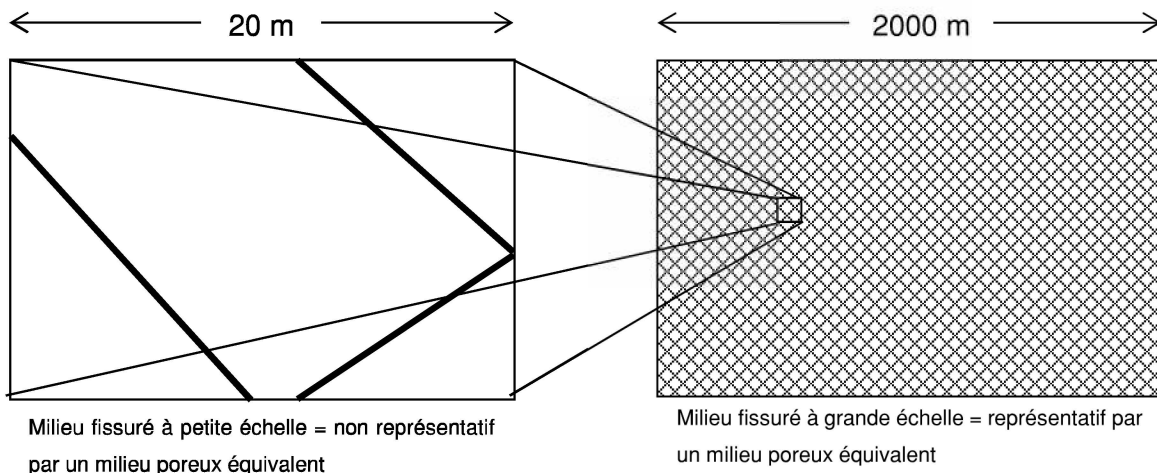
représenter de façon simplifiée l'écoulement des eaux souterraines. Ce code a été développé par la Commission Géologique des États-Unis (USGS) et son utilisation est largement répandue au Canada et aux États-Unis. De plus, il est reconnu par les instances gouvernementales québécoises et canadiennes. Les équations qui gouvernent le modèle sont présentées dans le manuel de référence du modèle (Harbaugh et Mc Donald, 1998).

5.2.2 Hypothèses de travail

L'aquifère fracturé est considéré comme une unité hydrogéologique homogène assimilable, à l'échelle kilométrique, à un milieu poreux équivalent (Illustration 15). En effet, les fissures, joints et failles du massif rocheux qui constitue l'aquifère possèdent, à petite échelle, des propriétés hydrogéologiques hétérogènes. Cependant, à l'échelle de la mine et du secteur environnant, le réseau de fissures devient assimilable à un milieu poreux équivalent. Ainsi, le débit capté par la mine est représentatif des propriétés hydrogéologiques moyennes de l'ensemble de la masse rocheuse du secteur.

En effet, à l'échelle locale (0 – 20 m), l'influence des prélèvements d'eau souterraine est directement reliée aux caractéristiques spécifiques de la fissuration reliant deux points. Ce phénomène d'échelle expliquerait pourquoi il existe des différences de productivités dans les piézomètres et puits résidentiels qui recoupent l'aquifère, tout en étant, en termes hydrauliques, interreliés. Lorsque l'aire modélisée est remise à une échelle régionale, le maillage du réseau de fractures se resserre et l'hypothèse du milieu poreux équivalent se trouve validée. De la même manière, les dimensions de la mine sont suffisamment grandes pour permettre de poser l'hypothèse qu'elle est située dans un milieu poreux équivalent.

Illustration 15 : Justification de l'emploi de l'hypothèse d'un milieu poreux équivalent



5.2.3 Maillage, conditions limites et propriétés hydrogéologiques

Le domaine modélisé couvre une superficie de 90 km². Les dimensions du domaine modélisé sont de 10 000 m par 9 000 m par 200 m. Le maillage est orienté parallèlement à l'axe du système de coordonnées géodésiques UTM nad 83, zone 17. L'origine du système de maillage est située aux coordonnées suivantes : 703 000 m est et 5 356 000 m nord.

Le domaine modélisé est subdivisé en 360 colonnes, 400 rangées et 6 couches. Les mailles possèdent la forme d'un carré dont l'arête est de 25 mètres. La surface délimitant la couche supérieure du modèle a été obtenue en intégrant le modèle numérique d'élévation (DEM) avec le modèle numérique d'élévation de la base de données topographiques du Québec (BDTQ).

Les surfaces qui délimitent les contacts entre les unités hydrogéologiques ont été interpolées d'après les données de forage et autres informations existantes. La surface délimitant la couche inférieure du modèle est située à une élévation qui varie entre l'élévation 90 m et 100 m, et l'hypothèse est faite que le socle rocheux est imperméable à des profondeurs plus grandes. La figure 15 A présente une image tridimensionnelle de la grille du modèle.

Les mailles qui composent chaque couche du modèle se sont fait attribuer des propriétés hydrogéologiques initiales correspondant aux moyennes des résultats des essais de perméabilité effectués sur le terrain. Ces valeurs ont été raffinées lors du processus de calibrage du modèle (voir section 5.2.4). La figure 15 B présente les unités hydrogéologiques assignées au modèle.

Afin de simuler les apports et pertes d'eau entre le modèle et l'extérieur, des conditions limites ont été assignées à certaines mailles du modèle. Sur le pourtour du modèle, des conditions limites à charge imposée de type « charge constante » ont été assignées en concordance avec la surface topographique, moins 1,5 m à l'exception de la limite nord de l'esker où les charges constantes ont été assignées à la couche de roc sous-jacent seulement, afin de ne pas imposer un niveau d'eau à l'intérieur de l'esker et ainsi contraindre le modèle.

À l'intérieur du territoire, des limites à charge imposée de type « drain » sont assignées avec des charges imposées situées à 0,3 m sous la surface du terrain, afin de représenter le réseau de drainage superficiel. Ce type de condition limite permet d'évacuer l'eau du modèle lorsque les charges hydrauliques s'élèvent au-dessus de la charge imposée, mais aucun transfert d'eau ne s'effectue lorsque la charge hydraulique est inférieure à la charge imposée. Ce transfert d'eau

s'effectue en fonction d'un coefficient de conductance verticale représentatif de la perméabilité et de l'épaisseur des sédiments de la masse d'eau simulée.

Enfin, les lacs présents sur l'ensemble de la zone modélisée sont représentés à l'aide de limite à charge imposée de type « river ». Cette condition permet de simuler la présence d'un plan d'eau et de son interaction avec l'eau souterraine via une couche d'infiltration séparant le plan d'eau de surface du système d'eau souterraine. La figure 15 C présente les conditions limites assignées au modèle.

Enfin, la recharge potentielle est représentée par une condition limite à flux constant de type « recharge » appliquée sur l'ensemble des mailles de la première couche du modèle. Celle-ci provient des résultats du PACES et est distribuée sur le territoire en fonction des types de dépôts et de la topographie du terrain. Des conditions limites à charge imposée de type « EVP » ont été imposées sur l'ensemble de la surface du modèle afin d'éviter que les niveaux d'eau s'élèvent au-dessus du niveau du sol.

5.2.4 Calibrage et validation du modèle

Le calibrage du modèle a été effectué de façon à reproduire la piézométrie mesurée en condition statique dans l'ensemble des piézomètres lors des campagnes d'échantillonnage de 2017 et 2018. La conductivité hydraulique de chacune des unités a d'abord été ajustée, en prenant soin de rester dans l'intervalle des valeurs mesurées sur le terrain. La recharge a ensuite été légèrement ajustée afin d'améliorer la calibration.

Tel que discuté précédemment, la combinaison conductivité hydraulique-recharge est étroitement liée : plus la conductivité hydraulique est élevée et plus la recharge doit être élevée pour obtenir une solution de calibrage satisfaisante.

Dans cette optique, le calibrage a été effectué de façon à représenter les propriétés hydrauliques réelles mesurées sur le terrain sans modifier de façon importante les valeurs de recharge provenant du PACES.

Le calibrage a été considéré satisfaisant lorsqu'il n'a plus été possible de diminuer les écarts entre les données mesurées et les données calculées sans recourir à des conditions limites non identifiables physiquement ou par interprétation.

Le tableau 12 présente la répartition des conductivités hydrauliques de chacune des couches du modèle calibré. La recharge provenant du PACES a été ajustée en regroupant certaines zones et en ajustant certaine valeur de recharge tout en restant dans l'intervalle de valeur initiale qui se situe entre 25 et 325 mm/an à l'intérieur des limites du modèle. Par ailleurs, bien que la conductivité hydraulique maximale mesurée dans les puits d'observation situés dans l'esker ait été de 2×10^{-6} m/s, la propriété utilisée dans le modèle a été de 4×10^{-4} m/s, soit une conductivité hydraulique supérieure. Ce choix a été fait de façon à améliorer la représentation des niveaux piézométriques dans l'esker.

Tableau 12 : Propriétés hydrogéologiques assignées au modèle calibré

Unité	Kh (m/s)	Kv (m/s)
Sédiments glaciolacustres (littoraux)	$1,00 \times 10^{-5}$	$1,00 \times 10^{-5}$
Sédiments glaciolacustres (eau profonde)	$3,15 \times 10^{-8}$	$3,15 \times 10^{-8}$
Till	$5,00 \times 10^{-6}$	$5,00 \times 10^{-6}$
Sédiment fluvio-glaciaire (Esker)	$4,00 \times 10^{-4}$	$4,00 \times 10^{-4}$
Premiers 20 m du socle	$4,00 \times 10^{-6}$	$4,00 \times 10^{-6}$
2 ^e tranche de 30 m du socle	$1,00 \times 10^{-6}$	$1,00 \times 10^{-6}$
3 ^e tranche de 50 m de socle	$1,00 \times 10^{-7}$	$1,00 \times 10^{-7}$
4 ^e tranche de 50 m du socle	$3,00 \times 10^{-8}$	$3,00 \times 10^{-8}$
5 ^e tranche de 50 m du socle	$1,00 \times 10^{-9}$	$1,00 \times 10^{-9}$

Note 1 : Kh et Kv : conductivité hydraulique horizontale et verticale,

L'illustration 16 et le tableau 13 présentent la corrélation entre les charges mesurées (moyenne des trois campagnes) et les charges calculées par le modèle pour les nids de puits d'observation ainsi que pour le puits du réseau de suivi du MELCC situé au nord du secteur.

Il est normal d'observer des écarts entre les charges calculées par le modèle et les charges observées, car le système géologique réel est beaucoup plus complexe que l'idéalisation représentée par le modèle. De plus, les charges hydrauliques sont en mouvement constant, ce qui n'est pas le cas du modèle numérique.

Il est possible d'observer sur le graphique ci-dessous que les charges simulées sont légèrement supérieures aux charges mesurées avec une erreur moyenne de 0,873 m. Néanmoins, la racine

normalisée du carré des écarts (*normalized root mean square* ou NRMS) de 3,795 % montre que le modèle représente de façon adéquate le système et peut être considéré comme calibré pour les simulations qui font l'objet de ce rapport.

Illustration 16 : Corrélation entre les niveaux d'eau calculés et les niveaux d'eau observés

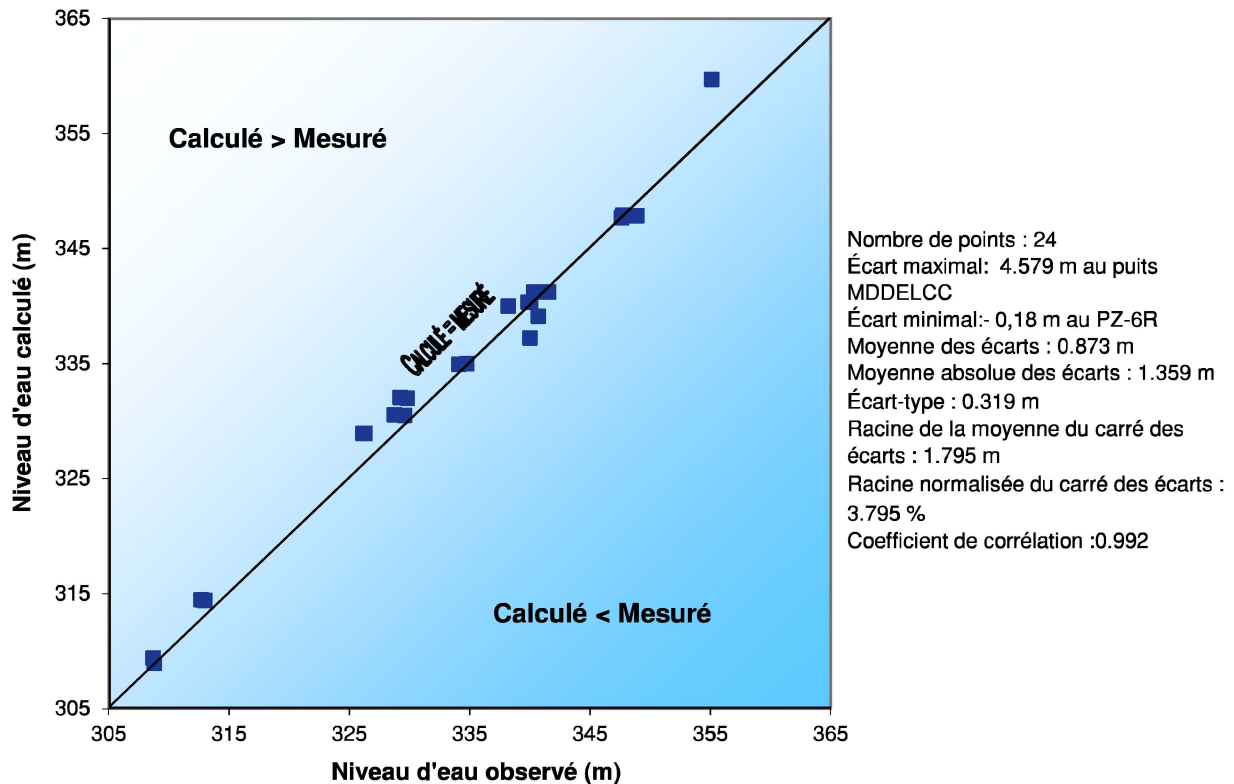


Tableau 13 : Niveaux d'eau calculés et niveaux d'eau mesurés dans les piézomètres

Piézomètres	Niveau mesuré	Niveau calculé
MELCC*	355,13	359,71
PZ-01R	340,37	341,20
PZ-01MT	340,49	341,20
PZ-02R	339,88	340,34
PZ-02MT	340,10	340,34
PZ-03MT	341,59	341,20
PZ-04R	340,71	339,10
PZ-05R	338,22	339,97
PZ-06R	347,64	347,66
PZ-07R	348,90	347,86
PZ-07MT	347,74	347,88
PZ-08R	308,71	309,39

Piézomètres	Niveau mesuré	Niveau calculé
PZ-08MT	308,81	308,97
PZ-09R	313,00	314,41
PZ-09MT	312,71	314,45
PZ-10R	329,20	332,06
PZ-10MT	329,83	331,99
PZ-11R	328,75	330,53
PZ-11MT	329,60	330,49
PZ-12R	326,17	328,91
PZ-12MT	326,30	328,92
PZ-13R	334,10	334,90
PZ-13MT	334,76	334,98
PZ-16R	340,01	337,21

*Dernière mesure disponible nov-2017

5.2.5 Sensibilité des paramètres du modèle

L'évaluation de la sensibilité des paramètres utilisés pour la conception du modèle numérique a été effectuée pendant le processus de calibrage en notant l'effet des changements dans les paramètres sur le résultat obtenu. Ainsi les observations suivantes ont été réalisées :

- ❑ La conductivité hydraulique au niveau du socle rocheux de surface et de la deuxième couche du socle rocheux (<70 m) ainsi que la recharge sont les paramètres les plus sensibles du modèle. Cependant, la combinaison conductivité hydraulique-recharge est étroitement liée : plus la conductivité hydraulique est élevée et plus la recharge doit être élevée pour obtenir une solution de calibrage satisfaisante ;
- ❑ Les conditions limites de type « charge constante » sont relativement peu sensibles pour des variations de quelques mètres d'élévation, en raison du fait qu'elles sont éloignées des piézomètres. Par ailleurs, les conditions limites de type « drain » sont sensibles puisque ce sont elles qui permettent de créer le champ d'écoulement dans lequel le site à l'étude est situé. Elles ont toutefois été fixées par rapport à l'élévation du modèle numérique d'élévation et sont tributaires de la précision de ce dernier.

À cette étape, plusieurs simulations ont été réalisées en faisant varier les propriétés les plus sensibles, soit la conductivité hydraulique ainsi que la recharge. Des essais ont d'abord été réalisés sur la conductivité hydraulique du socle rocheux de surface (<70 m) et de l'esker et ensuite sur l'ensemble des couches du modèle. Les variations sur les propriétés ont été réalisées en 3 étapes. D'abord, la variation a été appliquée sur les conductivités hydrauliques en gardant

les valeurs de recharge obtenues du modèle calibré, ensuite les variations ont été appliquées sur la recharge en maintenant les conductivités hydrauliques du modèle calibré et enfin les variations ont été apportées sur le couple conductivité hydraulique/recharge simultanément.

Les scénarios permettant de représenter les niveaux piézométriques mesurés à l'intérieur de valeurs normalisées de la racine normalisée du carré des écarts (*normalized root mean square* ou NRMS) inférieures à 10% ont ensuite été utilisées pour réaliser des simulations avec la présence de la fosse à son extension maximale, soit après 19 ans d'opération. L'objectif étant de vérifier la sensibilité du modèle sur le rabattement occasionné par la présence de la fosse.

L'annexe 11 présente les résultats de ces simulations en termes d'écart sur les niveaux mesurés (NRMS), de débit d'infiltration dans la fosse, de piézométrie en condition naturelle et de rabattement en condition de pompage de la fosse. Les résultats montrent que les scénarios permettant d'obtenir un rabattement plus important avec la présence de la fosse sont représentés par des conductivités hydraulique plus élevées (scénarios 2, 3, 4 et 5) ou de recharge plus faible (scénarios 10 et 11). L'application simultanée de ces deux conditions (scénario 14) permet donc de représenter les conditions de rabattement les plus importantes mais provoque aussi un décalibrage du modèle avec un NRMS de 15,07%.

Pour l'ensemble des scénarios, la distance maximale de l'effet du rabattement par rapport au centre de la fosse varie de 995 m (scénario 9) à 2 575 m (scénario 14). Le débit d'infiltration de l'eau souterraine vers la fosse varie quant à lui de 887 m³/j (scénario 13) à 5 069 m³/j (scénario 12).

Enfin, un dernier scénario (scénario 16) a aussi été réalisé dans l'objectif de générer un rabattement atteignant la section nord de l'esker. Pour ce faire, une variation importante et simultanée sur la conductivité hydraulique et la recharge a été appliquée. En multipliant par 3 la conductivité hydraulique dans l'ensemble des couches du modèle et en divisant par 3 la recharge, le rabattement atteint l'endroit du puits du MELCC situé à environ 2300 m du centre de la fosse. L'extension maximale du rabattement se produit plutôt en direction sud à 3450 m du centre de la fosse mais n'atteint pas les puits résidentiels situés sur les chemins St-Luc et de la Ligne à l'eau. Par contre, l'utilisation de ces paramètres ne permet pas de représenter les conditions naturelles d'écoulement. En effet, l'erreur sur les niveaux mesurés passe à 23,55%. De plus, les valeurs de

conductivités hydrauliques et de recharges appliquées à ce modèle ne sont pas cohérentes avec les observations et avec les informations disponibles. Ce scénario n'est donc pas réaliste.

Dans l'objectif de réaliser des simulations à partir d'un modèle représentatif des conditions actuelles d'écoulement tout en générant une simulation pessimiste par rapport à l'influence de la fosse, le scénario 2 a été retenu. Celui-ci a été obtenu à partir du modèle calibré en augmentant la conductivité hydraulique du socle rocheux de surface (<70 m) et de l'esker par 2 (tableau 14) et en gardant intacte la recharge calibrée à partir des données du PACES. Avec une erreur sur les niveaux mesurée de 7,43%, ce scénario rencontre selon nous les conditions établies ci-dessus. Ce scénario sera utilisé comme modèle de base pour les simulations présentées dans les sections suivantes.

Tableau 14 : Propriétés hydrogéologiques assignées au modèle du scénario 2

Unité	Kh (m/s)	Kv (m/s)
Sédiments glaciolacustres (littoraux)	$1,00 \times 10^{-5}$	$1,00 \times 10^{-5}$
Sédiments glaciolacustres (eau profonde)	$3,15 \times 10^{-8}$	$3,15 \times 10^{-8}$
Till	$5,00 \times 10^{-6}$	$5,00 \times 10^{-6}$
Sédiment fluvio-glaciaire (Esker)	$8,00 \times 10^{-4}$	$8,00 \times 10^{-4}$
Premiers 20 m du socle	$8,00 \times 10^{-6}$	$8,00 \times 10^{-6}$
2 ^e tranche de 30 m du socle	$2,00 \times 10^{-6}$	$2,00 \times 10^{-6}$
3 ^e tranche de 50 m de socle	$1,00 \times 10^{-7}$	$1,00 \times 10^{-7}$
4 ^e tranche de 50 m du socle	$3,00 \times 10^{-8}$	$3,00 \times 10^{-8}$
5 ^e tranche de 50 m du socle	$1,00 \times 10^{-9}$	$1,00 \times 10^{-9}$

Note 1 : Kh et Kv : conductivité hydraulique horizontale et verticale,

5.3 Simulation d'écoulement souterrain en régime permanent

5.3.1 Condition naturelle d'écoulement avant l'exploitation de la fosse

La simulation effectuée en régime permanent sur le scénario 2 visait à reproduire les conditions actuelles d'écoulement, soit avant les travaux d'excavation de la fosse. La figure 16 montre une carte piézométrique représentative des conditions actuelles d'écoulement souterrain.

Sur cette carte, il est possible d'observer que l'écoulement régional est semblable à la topographie du terrain, tandis que sur la propriété du projet Authier, l'écoulement s'effectue en direction sud et sud-ouest, tel que mesuré sur le terrain.

Le tableau 15 présente le bilan hydrique de cette simulation, calculé avec Visual MODFLOW. Il est possible d'y observer que les apports en eau s'effectuent principalement par la recharge et aussi par les limites latérales du modèle (charges constantes). Les sorties d'eau s'effectuent principalement par les exfiltrations d'eau à la surface (limites de type EVP), aussi par les limites latérales du modèle, par les cours d'eau (limites de type rivière) et par les réseaux de drainage superficiels (limites de type drain). Le bilan est bien balancé, ce qui démontre que le modèle numérique est valide.

Tableau 15 : Bilan hydrique du modèle en condition d'écoulement « avant mine »

Item	Entrées (m ³ /jour)	Sorties (m ³ /jour)
Limites latérales	5 256,2	8 651,6
Drainage superficiel	0	8 677,4
Recharge	38 844,3	0
EVP	0	26 782,2
Rivières	16,5	6,1
Totaux	44 116,9	44 117,3

L'examen du bilan hydrique permet également de quantifier les échanges d'eau entre la portion d'esker située à l'intérieur des limites du modèle et le milieu environnant. Ainsi, le bilan net des échanges entre l'esker et le socle rocheux sous-jacent est de 4743 m³/jour, entre l'esker et l'unité glaciolacustre (sable littoral) de 673 m³/j et entre l'esker et les ruisseaux de 825 m³/j, ce qui confirme le fait que l'esker est considéré comme une zone de recharge préférentielle.

5.3.2 Conditions d'écoulement avec la présence de la fosse

Les conditions d'écoulement au cours de l'évolution de la fosse ont été projetées à l'aide de cinq simulations successives représentant 1 an, 5 ans, 10 ans, 15 ans et 19 ans d'exploitation. Ces simulations ont été effectuées en régime permanent d'écoulement. Elles ont été réalisées à partir du plan de minage de la fosse fourni par Sayona Québec. Pour chaque étape d'exploitation, le fond de la fosse évolue de la façon suivante :

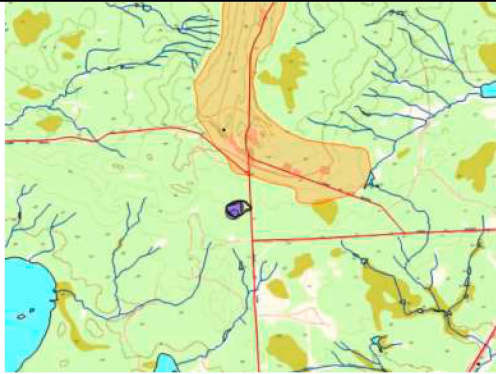
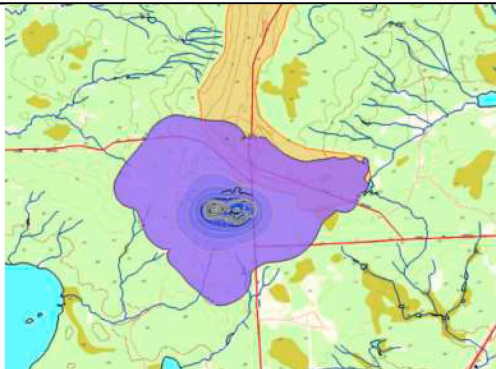
- ❑ 1 an : Fond de la fosse à 302,5 m d'élévation;
- ❑ 5 ans : Fond de la fosse à 236,5 m d'élévation;
- ❑ 10 ans : Fond de la fosse à 164,5 m d'élévation;
- ❑ 15 ans : Fond de la fosse à 164,5 m d'élévation;
- ❑ 19 ans : Fond de la fosse à 116,5 m d'élévation.

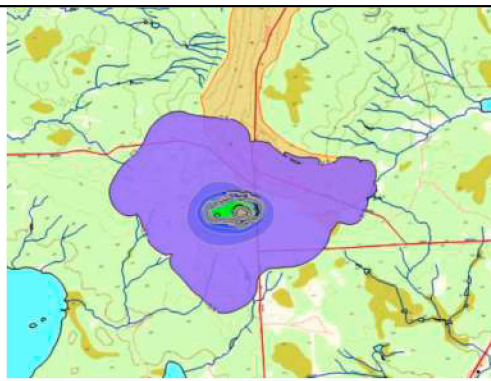
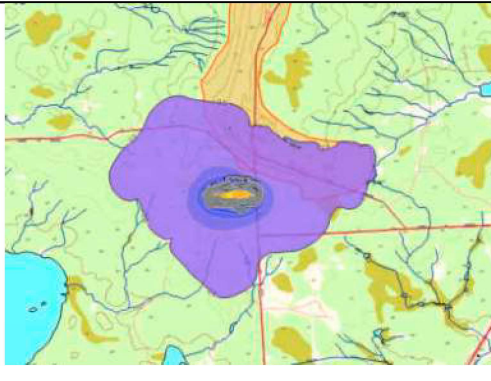
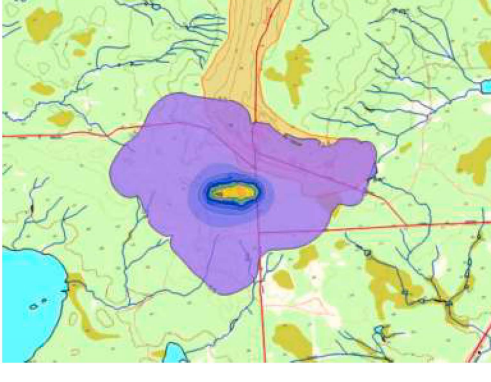
Ces simulations ont été effectuées en régime permanent d'écoulement en y intégrant des conditions limites de type « drain » représentant des surfaces de suintement sur les parois de la mine à ciel ouvert pour simuler l'exfiltration d'eau souterraine de l'aquifère vers la fosse. Les charges imposées à ces conditions limites correspondent à l'élévation des parois de la fosse.

Pour chacune des simulations réalisées, le bilan hydrique calculé par le module *Zone Budget* a été examiné, afin de s'assurer que les conditions limites en bordure du modèle n'influencent pas les résultats et afin de déterminer quel sera le débit des exfiltrations souterraines dans la fosse.

Le tableau 16 présente l'évolution de l'aire d'influence de la fosse ainsi que le débit soutiré par les conditions limites de type drain qui représente la fosse. La figure 17 présente la piézométrie résultante dans le socle rocheux à la fin de l'exploitation, soit après 19 ans, tandis que la figure 18 présente les rabattements correspondants. Il est possible d'observer sur cette dernière figure que l'aire d'influence de la fosse, caractérisée par des rabattements supérieurs à 0,5 m, s'étend jusqu'à des distances de l'ordre de 1070 à 2330 mètres du centre de la fosse. La figure 19 présente, quant à elle, une vue en coupe nord-sud des rabattements dans le socle rocheux.

Tableau 16 : Résultats pour les cinq simulations de l'évolution de la fosse

Résultats	Schéma
<p>Année 1</p> <p>Rayon d'influence* : 280-420 m</p> <p>Débit d'infiltration dans la fosse : 223 m³/j</p>	
<p>Année 5</p> <p>Rayon d'influence* : 1050-2290 m</p> <p>Débit d'infiltration dans la fosse : 2028 m³/j</p>	

Résultats	Schéma
<p>Année 10</p> <p>Rayon d'influence* : 1070-2330 m Débit d'infiltration dans la fosse : 2483 m³/j</p>	
<p>Année 15</p> <p>Rayon d'influence* : 1070-2330 m Débit d'infiltration dans la fosse : 2510 m³/j</p>	
<p>Année 19</p> <p>Rayon d'influence* : 1070-2330 m Débit d'infiltration dans la fosse : 2583 m³/j</p>	

*Par rapport au centre de la fosse

La figure 18 présente la position des différents éléments sensibles du système hydrologique (esker, ruisseaux) par rapport aux rabattements induits par la présence de la fosse à son extension maximale. Les effets appréhendés sur ceux-ci sont présentés et discutés à la section 5.5.

Par ailleurs, toujours sur la base du scénario 2, l'examen du bilan hydrique calculé avec Visual MODFLOW (tableau 17) permet de valider les calculs numériques en faisant le bilan des intrants et des extrants du modèle. Ce bilan permet également d'estimer le débit d'infiltration dans la mine,

ainsi que les contributions des cours d'eau superficiels et des limites du modèle. Les résultats obtenus sont les suivants :

- ❑ Tous les calculs effectués balancent à l'intérieur d'une enveloppe de ± 1 %, ce qui indique que les calculs numériques sont valides ;
- ❑ Dans tous les calculs, les charges constantes imposées aux limites latérales du modèle ne contraignent pas celui-ci puisque les flux calculés balancent à l'intérieur d'une enveloppe de 0,02 %. En d'autres termes, elles n'introduisent pas « artificiellement » de l'eau dans le système hydrogéologique modélisé ;
- ❑ Après 5 ans d'exploitation le débit d'infiltration des eaux souterraines vers la fosse serait de l'ordre de 2 028 m³/jour ;
- ❑ Après 10 ans d'exploitation le débit d'infiltration des eaux souterraines vers la fosse serait de l'ordre de 2 483 m³/jour ;
- ❑ Après 15 ans d'exploitation le débit d'infiltration des eaux souterraines vers la fosse serait de l'ordre de 2 510 m³/jour ;
- ❑ Après 19 ans d'exploitation, lorsque la fosse aura atteint son extension finale, le débit d'infiltration des eaux souterraines vers la fosse serait de l'ordre de 2 583 m³/jour ;
- ❑ Sous ces mêmes conditions finales d'écoulement, le bilan net des échanges entre l'esker et le socle rocheux sous-jacent serait de 5 147 m³/jour et entre l'esker et les dépôts glaciolacustres (littoral), ce bilan est de 826 m³/jour. Cette augmentation par rapport à la condition naturelle d'écoulement est due à l'augmentation du gradient hydraulique entre l'esker et le socle rocheux dans l'aire d'influence de la fosse. L'apport en eau de l'esker vers les ruisseaux est pour sa part inférieur aux conditions naturelles d'écoulement avec un débit de 351 m³/j. Cette diminution est attribuable à la baisse du niveau d'eau dans la section sud de l'esker située dans l'aire d'influence de la fosse.

Tableau 17 : Bilan hydrique du modèle en condition d'écoulement au stade final d'exploitation

Item	Entrées (m³/jour)	Sorties (m³/jour)
Limites latérales	5 257,5	8 650,6
Drainage superficiel	0	7 671,3
Recharge	38 708,7	0
EVP	0	25 072,3
Rivières	16,6	6,0
Fosse		2 583
Totaux	43 982,9	43 983,2

Le débit d'infiltration dans la fosse a été comparé avec le modèle analytique de Marinelli and Niccoli (2000) pour un taux de recharge moyen de 200 mm/an et une conductivité hydraulique moyenne du socle rocheux de $1,0 \times 10^{-7}$ m/s posée uniformément sur l'ensemble de la masse rocheuse. Le résultat obtenu a été de 2 453 m³/jour, ce qui correspond à l'ordre de grandeur obtenu avec les résultats de la modélisation.

5.3.3 Flux potentiel d'eau à partir de la halde

Le flux potentiel d'eau s'écoulant à partir de la halde contenant les stériles et les résidus, ainsi que le trajet potentiel de ces eaux ont été simulés pour deux conditions d'écoulement, soit lorsque la fosse sera à sa profondeur maximale, puis lorsqu'elle sera remplie en mode post-exploitation.

Ces simulations ont été réalisées en ajustant le taux de recharge à l'endroit de la halde. Celui-ci a été ajusté à une valeur uniforme de 350 mm/an posée par hypothèse afin de représenter un grand taux d'infiltration dans des rejets composés principalement de blocs et de graviers. Cette approche a été privilégiée plutôt que d'utiliser des charges constantes. En effet, ce type d'empilement s'effectue par camionnage sans ajout d'eau. Par conséquent, seule l'infiltration des précipitations peut contribuer au flux vers les eaux souterraines.

La figure 20 présente les résultats de la simulation de percolation des eaux souterraines à partir de la halde, effectuée au terme de l'exploitation de la mine, lorsque celle-ci aura atteint sa profondeur maximale. Cette figure montre les lignes d'écoulement de particules virtuelles d'eau à partir de ces aires. On peut y observer que les eaux souterraines infiltrées sous la halde s'écouleraient en partie en direction de la fosse et en partie en direction sud-ouest et nord-ouest. En effet, pendant la période de rabattement de la nappe phréatique, la fosse agirait à la manière d'un piège hydraulique pour la portion est de la halde. L'eau transitant sur le secteur ouest de la halde s'écoulera quant à elle en partie vers les cours d'eau situés au nord-ouest et au sud-ouest et vers le lac Kapitagama.

Par ailleurs, le flux d'eau calculé sous ces conditions est d'environ 0,96 L/jour/m² sur la majorité de la superficie occupée par la halde. Le flux calculé représente une estimation préliminaire et devra faire l'objet d'une étude exhaustive, si les stériles et résidus miniers entreposés sont reconnues comme étant lixiviable et/ou acidogène.

La figure 21 présente les résultats de la simulation effectuée en condition post-exploitation, lorsque la fosse aura complètement été ennoyée, jusqu'à l'élévation 323,9 m, à partir de laquelle un seuil déversoir permettra à l'eau de rejoindre le réseau hydrographique local. Cette simulation est faite en posant l'hypothèse qu'aucun recouvrement n'empêche l'infiltration d'eau au travers la halde. On peut observer que la même portion des eaux infiltrées dans la partie est de la halde se dirigera vers le lac formé dans la fosse qui agira comme piège hydraulique. Les lignes d'écoulement d'eau dans la portion ouest de la halde indiquent que l'écoulement de ce secteur s'effectuera en partie vers les cours d'eau situés au nord-ouest et au sud-ouest et vers le lac Kapitagama.

5.3.4 Ennoiment de la fosse

L'évaluation du temps requis pour l'ennoiment de la fosse constitue l'un des intrants permettant d'évaluer l'impact du projet en phase post-exploitation sur la qualité des eaux de surface. En effet, lorsque les activités d'exploitation cesseront et que le maintien à sec de la fosse ne sera plus requis, les précipitations, le ruissellement et les exfiltrations souterraines contribueront à ennoyer graduellement l'excavation, jusqu'à la formation d'un lac dont l'élévation est estimée à 323,9 m et qui se déversera dans le réseau hydrographique local.

Pendant le processus d'ennoiment, selon la réactivité de la roche en place, il est possible que des réactions d'oxydoréduction se produisent sur les parois de la fosse exposées à l'air libre, contaminant ainsi l'eau du lac en processus de formation. Ainsi, plus l'ennoiment s'effectue lentement et plus le risque de contamination est grand, comparativement à un ennoiment rapide. Le rapport de géochimie effectué par Lamont inc (2017) détermine toutefois que ce risque de contamination est très peu probable.

Afin de simuler le comportement hydrogéologique après la durée de vie utile de l'exploitation, la remontée de l'eau à l'intérieur de la fosse a été simulée à l'aide de 6 simulations en régime permanent au cours desquelles l'élévation minimale des charges imposées simulant la fosse a été ajustée successivement par incréments de 40 m de la cote 116,5 à la cote 323,9 (cette dernière élévation correspond à la hauteur maximale que pourra atteindre le lac qui sera formé dans la fosse à la suite de son ennoiment).

Pour chacun des intervalles simulés, les débits d'exfiltration ont été calculés dans Visual MODFLOW, puis additionnés au débit correspondant aux précipitations qui s'effectuent directement sur la surface de la fosse ainsi que le ruissellement provenant des environs immédiats de la fosse.

Finalement, le temps requis pour le remplissage de chaque intervalle a été calculé en divisant leur volume respectif par la somme des exfiltrations souterraines, des précipitations et du ruissellement.

Pour fins de calcul, les données suivantes ont été considérées :

- ❑ précipitation de 914 mm/an ;
- ❑ évaporation potentielle de 400 mm/an sur la surface de l'eau ;
- ❑ surface réceptrice de 1 588 376 m² (incluant la fosse) ;
- ❑ coefficient de ruissellement moyen sur la surface : 0,7.

L'illustration 17 présente la courbe de remontée de l'eau en fonction du temps dans la fosse. Il est possible d'y observer que le taux de remplissage est initialement rapide, puis décroît graduellement pour atteindre l'élévation maximale de 323,9. Ainsi, la durée de l'ennoiement de la fosse serait de l'ordre de 17 ans selon les calculs effectués.

Illustration 17 : Courbe d'ennoiement de la fosse en fonction du temps

