

TECHNICAL NOTE

TO: Mr. Charles-Olivier Lapointe, Project Manager
Direction adjointe des projets industriels et miniers
Mr. Benjamin Jacob, Project Manager
Direction adjointe des projets industriels et miniers

FROM: Ms. Dominique Thiffault, WSP Canada Inc.
Ms. Christine Martineau, WSP Canada Inc.

COPY: Mr. Denis Couture, Executive Canada, Galaxy Lithium
Ms. Caroline Morissette, Director Environment and Permitting

SUBJECT: Complementary information following the answers to the 4th series of questions and comments

PROJECT NO.: 201-12362-00

DATE: May 24, 2022

As the project is continuously under development and engineering has continued to progress since the submission of the answers to the January 2022 Questions and Comments, Series QC4, on April 1st, we are providing you with this additional information regarding the Project:

- 1 Contrary to what was mentioned in the QC4-50 answer, Galaxy will resample, in the summer of 2022, the three sites within the Project footprint where the 2018 samples had presented CrVI concentrations above the criterion B (TR-11-PM1, TR-12-PM2 and TR 30-PM2). The analyses will be carried out by ion chromatography, in order to avoid any interference. If the results still prove to be above criterion B, the rehabilitation will be carried out before construction work, according to the applicable procedures of the *Guide d'intervention pour la protection des sols et réhabilitation des terrains contaminés* (May 2021)¹.
- 2 If the Ministry considers the use of leachable waste rock as construction materials in accordance with the guidelines of D019, Galaxy has committed itself to implement a QA/QC program during the construction of the road, including for the installation of the geomembrane. A second appraisal of the concept presented for the road was carried out by Groupe Alphard (report presented in Appendix A). This review maintains that the proposed road concept is strong enough to withstand the repeated passage of 100 t trucks and the James Bay climatic conditions, that the membrane will be resistant to chemical attack from waste rock leachate, and that its resistance to perforations depends on the quality of its installation. The Alphard Group engineers detail the installation criteria necessary to ensure the impermeability of the membrane.

This information will be incorporated into the road construction QA/QC program. This program as well as the other detailed engineering information will be submitted with the request for ministerial authorization for construction.

1 Beaulieu, M. 2021. Guide d'intervention – Protection des sols et réhabilitation des terrains contaminés. Ministère de l'Environnement et de la lutte contre les changements climatiques, Québec, mai 2021, 326 p.
[<https://www.environnement.gouv.qc.ca/sol/terrains/guide-intervention/guide-intervention-protection-rehab.pdf>]

During operations, a specific QA/QC program will be implemented for all repairs or non-routine operations. For routine operations, such as inspections and maintenance, the QA/QC program will be integrated into site operational procedures. Galaxy's management system will be continuously monitored; thus monitoring the implementation of procedures, verifying the effectiveness of the management system, and implementing corrective measures to ensure the continuous improvement of environmental performance will be an integral part of the activities on the mine site.

During the restoration work, at the time of the removal of materials from the road, a specific QA/QC program will also be put in place.

It should be noted that in the technical note prepared by WSP², dated March 31, 2022, presenting the alternative solution for the construction of the roads, it is mentioned that the installation of the geomembrane is considered over a length of 5.3 km . However, the calculation has been redone and the geomembrane will instead be installed on 2 km of roads, as indicated in the Alphard Group report. The road that will have a geomembrane is shown on Map 4-9 of the WSP technical note (2022) and included in Appendix 1 of the Alphard Group report.

The Alphard Group, in its report, mentions that the haul roads total more than 6 km. This total includes all of the haul roads, even the portions located on the waste rock and tailing storage facilities under development.

Finally, the quantities of materials presented by the Alphard Group were calculated for 2 km of road while in the technical note of WSP (2022), the quantities of materials were for a length of 5.3 km of road. There is reason to believe that the actual quantities needed will be in between, given the anticipated settlement. However, the volumes of material forecast in the WSP note demonstrate that there will be enough material on site to meet the construction needs of the haul roads.

- 3 As indicated in the technical note presenting the alternative solution for the construction of the roads (WSP, 2022), observation wells will be installed along the road for groundwater monitoring.

The PO28-2021, PO29-2021 and PO30-2021 wells were added to ensure that the network of groundwater quality monitoring wells on the site would be sufficient following the new design adopted for the roads. Some wells will have the dual function of monitoring the groundwater level while ensuring that no degradation of groundwater quality is observed. Thus, the PO2-2021 well will cover the explosives storage area and the road, the PO25-2021 well will cover the upstream of the overburden and peat storage facility and the road, the PO8-2021 well will cover the upstream of the west waste rock and tailings storage facility (WRTSF) and the road, wells BH-50 and WSP-MW2R will monitor the water level during pit dewatering and the quality of groundwater near the road, and well PO27- 2021 will cover the industrial zone and the road.

All of these wells will allow covering all road sections. It is important to specify that all new wells will be double wells when the thickness of surface deposits is sufficient. Thus, the water quality in the surface deposits and in the bedrock aquifer will be assessed.

² WSP. 2022. Note technique – Solution de recharge pour la construction des routes. Projet mine de lithium Baie James. 31 mars 2022. 15 pages et annexes.

The wells shown on the map of the technical note are observation wells for groundwater quality and groundwater level only. If a deterioration in water quality is observed during monitoring, measures will be taken to remedy this deterioration. The measures chosen will depend on the extent and intensity of a potential contamination. These measures may be one of the solutions proposed below or a combination of them:

- A drainage trench to collect surface water from the area and redirect it further downstream to a collection ditch or even pump it to the water management basin.
- A pumping well to collect groundwater by creating an area of hydrogeological depression to avoid the enlargement of the area affected by a deterioration in water quality. The pumped water will ultimately be redirected to the water management basin.
- An investigation by the dipole method and repair work if visual observations during periodic inspections make it possible to presume the location of the failure in the waterproofing of the road foundation (e.g. significant and rapid settlement, significant and localized erosion of the road structure and ditches, heaving of the embankment toe, etc.).

The sampling frequency has been revised in order to sample every season, i.e., four times a year, if the conditions are favourable. This will allow having more precise monitoring and to evaluate annual trends and seasonal trends for each parameter, in accordance with the technical guide for monitoring groundwater quality of the MELCC.

The parameters to be analysed were chosen according to the uses of the site and include those required under D019. The parameters of the analytical program will be:

- C10-C50 petroleum hydrocarbons;
- major ions (bicarbonates, calcium, carbonates, chlorides, fluoride, magnesium, potassium, sodium, sulphates);
- dissolved metals (Ag, Al, As, B, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Sb, Sn, Sr, Ta, Ti, U, V, Zn);
- nutrients (ammoniacal nitrogen, total Kjeldahl nitrogen, nitrates, nitrites, total phosphorus);
- other parameters (total cyanides, total dissolved solids, total sulfides);
- in situ measurements (pH, electrical conductivity, temperature, dissolved oxygen, ORP).

In order to confirm the validity of the measurement methods for the various parameters, a quality control program will be applied. Duplicate samples will be taken during monitoring, corresponding to at least 10% of the samples taken. These samples will be sent to the laboratory for analysis and to verify the consistency of their results with those of the original samples. Field blanks and transport blanks will also be taken at each campaign and sent to the laboratory.

- 4 As mentioned in answer QC4-10, a mine water treatment plant (MWTP) was added to the project during the construction phase. The GMining Services and GCM report (Appendix B) presents the preliminary design of this MWTP. For the construction period, the plant will treat total suspended solids (TSS), arsenic (As) and iron (Fe); it will have a maximum capacity of 125 m³/h. The discharge quality criteria for this phase are those of Directive 019 and the Metal and Diamond Mining Effluent Regulations (MDMER), whichever is stricter. Environmental Discharge Objectives (EDO) were not considered for this phase, as the load of contaminants of potential concern (CPC) is expected to be lower than the EDO concentrations during construction.

Based on these design criteria, Veolia's Actiflo treatment technology was selected as the most appropriate to meet the discharge criteria during construction. The process consists of a combination of pH adjustment with the addition of ferric sulphate and flocculant to precipitate the metals. Actiflo is a flocculation and sedimentation process used to increase floc density and facilitate settling; it uses patented micro-sand media. The required footprint is smaller than with conventional settling technologies. This modern and proven technology achieves a high suspended solid removal rate (99% according to the technical data sheet) and does not require a final polishing step. The treatment unit has been sized to meet the needs of the project during construction and beyond, up to year 3 of operation.

A water balance update will be undertaken during detailed engineering to refine water management throughout the mine life. The water quality prediction model will also be updated to reflect the revised water balance. These updated models will become the design criteria for the MWTP expansion for the operation phase. There are plans to increase the capacity of the Actiflo system for higher throughputs as the mine footprint expands. It is also planned to add a pH adjustment step downstream of the process to address ammonia nitrogen toxicity as well as to achieve the pH stipulated in the EDO, which is lower in the project area (4.3) than that of Directive 019.

If new CPC were to be identified in the updated water quality model, which cannot be removed using the existing treatment chain, such as lithium for example, additional modules of different treatment technologies could need to be added. The ability to achieve EDO will also be assessed at this stage. The additional resources needed to meet the EDO, and particularly that of arsenic which will be more difficult to achieve, will be quantified at this stage and the implementation will be evaluated according to the principles of the best available technology economically achievable (BATEA).

It is expected that the expansion of the MWTP will be carried out from the start of the operating period even if the preliminary treatment circuit can meet the needs until year 3.

- 5 In answer QC4-64, it is mentioned that an exemption request was initiated with Transport Canada. This request is made under the Canadian Navigable Waters Act (CNWA) for Kapisikama Lake and the watercourses CE-3 and CE-4, the water level of which will decrease to the point of making navigation impassable, thus contravening section 23 of the LENC. In fact, Kapisikama Lake and all the watercourses within the project area are considered navigable.
- 6 In addition to this request, a work authorization request, in accordance with section 35(2)b of the Fisheries Act (L.R.C. (1985), c. F-14), will be made to Fisheries and Oceans Canada because it is anticipated that mining activities will lead to the destruction of fish habitat in Kapisikama Lake around year 4 of operations. Because this authorization will probably be conditional on the implementation of a compensation project for the loss of fish habitat, Galaxy has already planned to include this compensation project in its mitigation measures (Table 7-5 of the EIA, Version 2³, NOR measure 16) to be implemented.

³ WSP, 2021. Étude d'impact sur l'environnement. Projet Mine de Lithium Baie James. Juillet 2021 (version 2).

- 6 In answer QC4-64, it is mentioned that compensation projects for the loss of wetlands are being developed with the participation of representatives of the Eastmain community. Given that building materials are rare on the territory of the JBNQA, in its search for sites to be developed to recreate wetlands, Galaxy undertakes to avoid using old sand pits or quarries as potential sites.
- 7 Since more than 10 years, Galaxy does work every year on the mining property. All the workers and consultants involved in this project, whether they were geologists, drillers, technicians or biologists, have stayed and still stay at the km 381 relay for their activities. Galaxy has rented space there where it has stored equipment and drill core for almost 10 years. SDBJ employees monitor and maintain these facilities in accordance with a contract between the two organizations.

Galaxy and the SDBJ regularly discuss the progress of the project and aspects that may have an impact on the activities of the SDBJ, in particular:

- The use of materials from the quarry at km 394, which is registered in the name of the SDBJ, for the manufacture of concrete. The SDBJ needs to keep a minimum of capacity for these future needs and Galaxy makes sure to minimize the material that will be used from this quarry so as not to harm the future activities of the SDBJ.
- The installation of the temporary camp with the use of electricity, drinking water, cafeteria services and waste management will take place on the site of the truck stop and discussions are progressing with the SDBJ on this subject.
- The entrance to the future mine site will be near the truck stop, and the design and layout of the entrance are critical. Galaxy and the SDBJ agree that the entrance to the mine site be arranged so as not to increase the risks for users. Also, since the SDBJ plans to repair the section where the future entrance would be located, in 2023, the design work for this entrance is being done in collaboration so that the work can be carried out efficiently.

The executive director of Galaxy, Mr. Denis Couture, discusses directly with the SDBJ director general, Mr. Alain Coulombe, on a regular basis, who puts forward the organization's concerns as they arise. Galaxy ensures, for its part, to take into account the concerns expressed by the SDBJ. The relationship between the two organizations is transparent and cordial.

- 8 Answer QC4-3 states that Galaxy *is currently studying a possible secondary processing in Quebec*. The secondary word should be removed from this sentence. The study aims to transform the spodumene concentrate into a lithium salt (sulphate, carbonate and/or hydroxide), and this, by an extractive metallurgy process combining pyrometallurgy and hydrometallurgy processes.

Prepared by:

Reviewed by:

Dominique Thiffault, Geogr., B.Sc.
Project Manager

Christine Martineau, Biol., M.Sc.
Project Director

DT/CM/cg



APPENDIX A
TECHNICAL OPINION
(GROUPE ALPHARD, MAY 2022)

Alphard

Montréal, le 11 mai 2022

Madame Gail Amyot
Environmental Science and Health and Safety
ALLKEM (Galaxy)
720-2000, rue Peel
Montréal (Québec) H3A 2W5

Objet: Avis technique
Route de halage avec géomembrane – Mine Galaxy Lithium Baie James
Dossier Alphard: GAL-002-RAP-R00

Madame,

Groupe Alphard inc. (Alphard) a le plaisir de vous soumettre son avis technique relativement au concept proposé pour la route de halage munie d'une géomembrane de la Mine Galaxy Lithium Baie James. Cet avis technique fait suite à notre offre de services transmise le 19 avril dernier et autorisée par ALLKEM le 20 avril 2022.

Cet avis technique comprend neuf (9) sections distinctes abordant les sujets suivants :

1. Contexte;
2. Mandat confié;
3. Concept de route de halage proposé par le promoteur;
4. Aspects géotechniques;
5. Choix de la géomembrane du système d'étanchéité;
6. Drainage des eaux de ruissellement et de percolation;
7. Mise en œuvre, construction et suivi de la route de halage;
8. Recommandations et bonification proposées au concept;
9. Conclusion.

1. CONTEXTE

Dans le cadre du processus d'approbation du projet de la Mine Galaxy Lithium Baie-James d'ALLKEM, l'Agence d'évaluation d'impact du Canada (AIEC) a évalué le concept alternatif de route de halage déposé dans une note technique datée du 31 mars 2022 par la firme WSP¹. Le concept de route repose sur l'utilisation de stériles à potentiel élevé de lixiviation comme structure de chaussée étant donné l'accès limité à des matériaux alternatifs sur le site. Afin de prévenir la contamination des eaux souterraines, le concept prévoit l'utilisation d'une géomembrane et un fossé étanche afin de diriger vers un bassin collecteur les eaux percolant à travers les stériles.

¹ Note technique, WSP, 31 mars 2022, no. 201-12362-00, 15 pages.

L'utilisation d'une géomembrane étant peu employée dans ce contexte, l'AIEC aimerait, avant de rendre une décision, être appuyée par un avis technique démontrant l'efficacité et la pérennité de cette solution.

2. MANDAT CONFIE

ALLKEM a requis les services d'Alphard afin de préparer l'avis technique pour démontrer que le concept alternatif de la route de halage avec géomembrane, proposé dans la note technique de WSP, est efficace, durable et acceptable en termes de protection contre la contamination des eaux souterraines. ALLKEM souhaite démontrer à l'AIEC que le choix et l'utilisation de la géomembrane tel que prévu au concept permettront de remplir cet objectif.

3. CONCEPT DE ROUTE DE HALAGE PROPOSÉ PAR LE PROMOTEUR

Les routes de halage prévues dans l'aménagement de la Mine Galaxy Lithium Baie James totalisent plus de 6 km de longueur. Seule une section d'environ 2 km dont l'emprise se situe hors des haldes à stériles fait l'objet d'une configuration requérant l'utilisation d'une géomembrane comme proposée par GMining dans la note technique de WSP du 31 mars 2022. La figure 1 ainsi que la figure 4.9 tirées de cette note technique sont reproduites à l'annexe I.

Elles présentent respectivement le plan d'aménagement général du site minier et, sous un trait clair, la section de la route où la configuration avec géomembrane est requise.

Le concept de la route de halage repose sur le principe de récupération des eaux des précipitations ruisselant en surface et percolant à travers la structure de la chaussée composée de stériles miniers à potentiel élevé de lixiviation. Pour y arriver, GMining suggère l'utilisation d'une géomembrane étanche sous les couches de stériles composant la chaussée ainsi que dans les fossés latéraux bordant la route afin de récupérer la totalité des eaux de ruissellement et de lixiviation et les acheminer vers un bassin d'accumulation pour y être éventuellement traitées. La coupe du concept proposé par GMining du chemin de halage étanche est reproduite à l'annexe II du présent document.

La structure de l'aire de circulation de la route de halage étanche proposée par GMining comprend de bas vers le haut les éléments suivants :

- Un remblai de fondation compacté composé de tout-venant constitué de sable, silt et gravier provenant du décapage des sols de surface lors de l'aménagement de la mine. Celui-ci sera déposé sur une épaisseur allant jusqu'à 1 500 mm sur le sol naturel principalement composé de tourbe dans l'horizon supérieur;
- Une couche de matériaux granulaires fins de 300 mm d'épaisseur servant d'assise à la géomembrane;
- Une géomembrane en PeBDL (polyéthylène basse densité linéaire) de 1,5 mm d'épaisseur;
- Une couche de matériaux granulaires fins de 300 mm d'épaisseur servant de protection à la géomembrane;
- Une couche d'infrastructure de 1000 mm d'épaisseur de stériles tout-venant de calibre 0-300 mm;
- Une couche de roulement de 400 mm d'épaisseur de stériles concassés de calibre 25-100 mm.

Des bermes latérales, constituées de stériles tout-venant, munies d'ouvertures pour le drainage ainsi que des fossés de drainage étanches dotés d'une géomembrane située de part et d'autre de la route complètent l'aménagement.

Les quantités de matériaux pour cette section de route de halage avec géomembrane, d'environ 2 km, sont évaluées approximativement à :

- un remblai de fondation de tout-venant : 310 000 m³ (épaisseur moyenne 1 500 mm, incluant bermes des fossés et tassements anticipés de l'ordre de 500 mm);
- des matériaux granulaires fins : 60 000 m³;
- une géomembrane PeBDL 1,5 mm : 120 000 m² (incluant fossés);
- des stériles tout-venant 0-300 mm : 135 000 m³ (incluant bermes);
- des stériles de calibre 25-100 mm : 21 000 m³.

Ces quantités ont été estimées en considérant une largeur hors-tout (emprise sur le terrain naturel du chemin, des bermes et des fossés) de 70 m. Une largeur d'environ 26 m est prévue uniquement pour la surface de circulation.

La durée de vie des opérations minières sur le chemin de halage est estimée à 20 ans. Cette donnée a été employée dans la discussion liée à la durabilité et la pérennité de la géomembrane.

Les principaux engins et camions qui circuleront sur le chemin de halage ont été identifiés dans la liste ci-dessous. Ces informations ont été utilisées dans la section concernant l'évaluation de la capacité portante du chemin de halage.

- Principalement des camions de halage de 100 t.m. de type CAT 777G;
- Occasionnellement des pelles hydrauliques (49 t.m.), des chargeurs frontaux et des camions citernes 10 roues de 40 t.m.

Le rapport géotechnique² produit par SNC Lavalin ainsi que l'étude d'impact en environnement³ préparé par WSP ont été consultés et certaines informations ont été utilisées dans le cadre de la préparation de cet avis technique.

Enfin, le rapport géochimique⁴ sur la qualité des eaux des installations minières de la Mine Galaxy Lithium Baie James produit par WSP pour Galaxy Lithium et contenant notamment les résultats d'essais de lixiviation sur différents types de stériles nous a été transmis pour consultation.

4. ASPECTS GÉOTECHNIQUES

Selon le Guide de construction et d'entretien des chaussées (Tessier, 1990)⁵, la route de halage projetée est une voie de circulation rurale locale de type chemin d'accès aux zones d'exploitation des ressources naturelles. Elle permettra la circulation de camions hors-norme 777G (100 tonnes), de camions 10 roues et de machinerie lourde au sein du site minier de lithium Baie James et desservira directement les haldes de résidus. La circulation pourra se faire dans les deux sens.

² James Bay Lithium Mine Project Detailed Geotechnical Investigation – Phases 2 and 3 (SNC Lavalin, 2021) Technical report 673356-EG-L02-01, 64 p.

³ Étude d'impact sur l'environnement, WSP, juillet 2021, no. 201-12362-00.

⁴ Galaxy Geochemistry Report, WSP, August 2018, no. 171-02562-00_CG.

⁵ Guide de construction et d'entretien des chaussées (Tessier, G.-R., 1990) Association québécoise du transport et des routes inc., ISBN 2-9801858-0-9, 393 p.

1. Structure de la chaussée de la route de halage :

La route de halage est une chaussée non revêtue (Tessier, 1990)². La figure 1 montre la coupe de la structure de la chaussée proposée dans la note technique de WSP¹. Cette structure doit conférer à la chaussée sa capacité portante, c'est-à-dire sa résistance et conséquemment sa durée de vie.

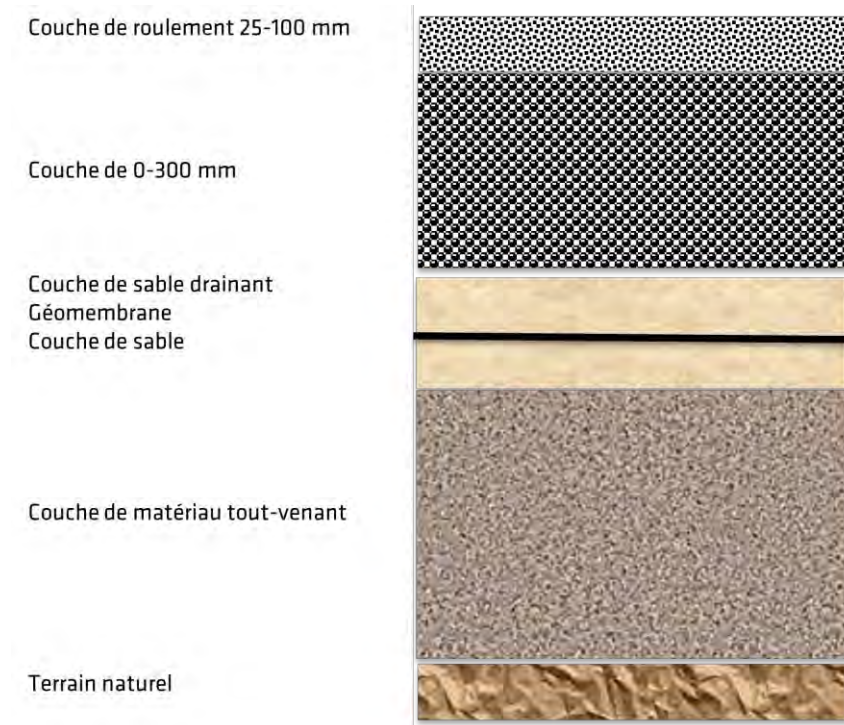


Figure 1 *Coupe transversale de la structure de la chaussée de la route de halage*

Les deux principales contraintes, qui sont susceptibles d'affecter le comportement et la durée de vie de la chaussée de la route de halage, sont le trafic de véhicules lourds et l'environnement.

Pour le trafic des véhicules lourds, ce sont les camions hors-norme 777G (100 tonnes) qui auront le plus d'influence.

L'environnement est le second facteur susceptible d'affecter la chaussée puisque la région dans laquelle elle est située sur le site minier possède un indice de gel très élevé, autour de 2 700 °C - jours (station météorologique de l'aéroport de La Grande) selon les données fournies dans l'étude géotechnique de SNC Lavalin.

Selon le logiciel Chaussée6, logiciel de dimensionnement des chaussées souples de la Direction du laboratoire des chaussées du ministère des Transports du Québec (MTQ), la station météorologique (49.82° N, 74.42° O, élévation 402 m) la plus près du site minier est celle de la Ville de Chibougamau et indique un indice de gel normal de 2 199 °C - jours et une température moyenne annuelle de -0,5 °C (figure 2). Pour le calcul structural de la chaussée, ces données sont pratiquement équivalentes à celles disponibles à la station de l'aéroport de La Grande.

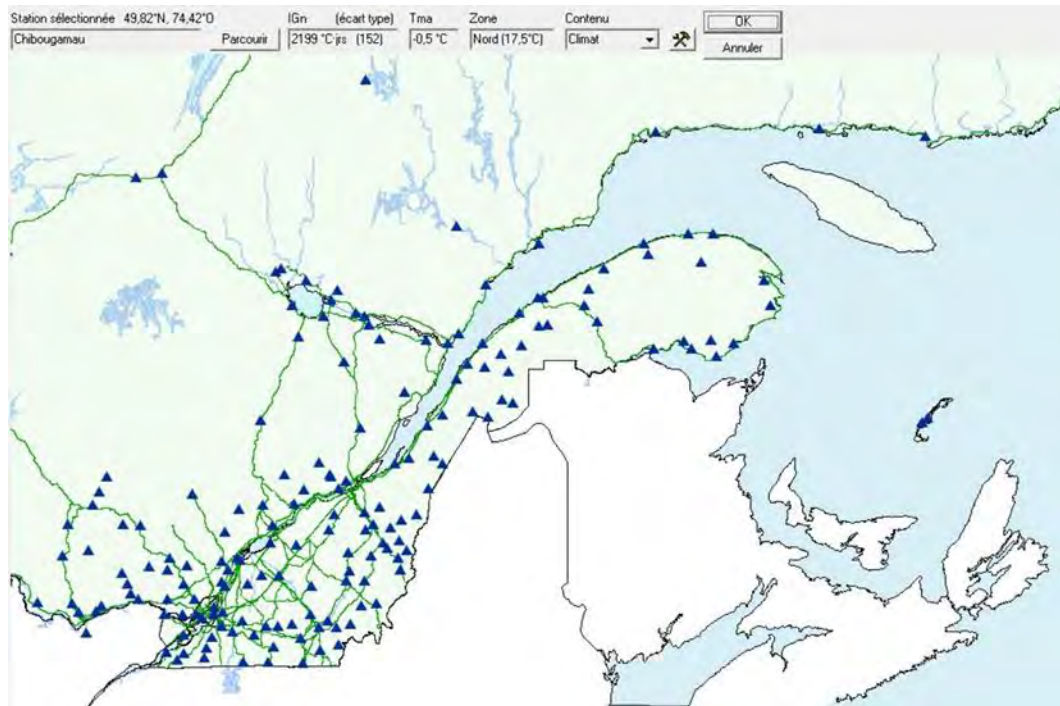


Figure 2 Informations de la station météorologique de la Ville de Chibougamau fournies par le logiciel Chaussée©

Pour vérifier le dimensionnement de la structure de chaussée proposée, il est possible de réaliser le calcul structural de la chaussée proposée, selon la méthode de conception empirique de l'American Association of State Highway Transportation Officials (AASHTO, 1993)⁷ ainsi que celui du soulèvement au gel, selon les critères de protection au gel de 1994 ainsi que le critère de soulèvement admissible selon la profondeur de gel.

L'analyse réalisée permet de vérifier que le dimensionnement de la structure de chaussée proposée peut reprendre les charges prévues aussi bien d'un point de vue structural ($W18 > \text{ÉCAS}$ pour chaque couche) qu'environnemental (soulèvement estimé de 29 mm et épaisseur totale prévue $>$ épaisseur requise pour la protection au gel).

Pour vérifier la réponse mécanique de la structure de chaussée proposée, le modèle de Boussinesq a été utilisé comme analyse de base et en première approximation.

⁶ Chaussée© version (MTQ, 2006) Logiciel de dimensionnement des chaussées : <https://www.transports.gouv.qc.ca/fr/entreprises-partenaires/entreprises-reseaux-routier/chaussees/Pages/logiciel-dimensionnement.aspx>

⁷ AASHTO (1986, 1993) Guide for Design of Pavement Structures. Washington DC.

À la profondeur $z = 1,7$ m, correspondant à l'interface entre la couche de sable et la géomembrane, les valeurs obtenues pour une charge correspondant à l'essieu arrière chargé d'un camion sont les suivantes :

- Contrainte verticale $s_z = 54$ kPa;
- Déformation verticale $e_z = 0,000233$ (233 me);
- Déflexion verticale non significative (de l'ordre du mm).

2. Tassement estimé du sol organique (tourbière) :

Du sol organique de type tourbière est présent sur une grande partie du site. Selon l'étude géotechnique de SNC-Lavalin de 2021⁸, les valeurs d'épaisseurs de sol organique sont variables (de 0,10 à 2,35 m). Majoritairement, les valeurs les plus élevées se trouvent dans la partie nord-ouest et les plus faibles dans la partie sud-est. Ces valeurs sont présentées au tableau 1 pour les tranchées d'exploration et les forages se trouvant à proximité de la route de halage proposée et au tableau 2 des tranchées d'exploration et des forages effectués directement dans l'empreinte de la route. De plus, en fonction des valeurs de résistance au cisaillement non drainée et des teneurs en eau mesurées (SNC-Lavalin, 2021) et selon la classification des sols organiques, la couche de sol organique présente une consistance de moyennement élevée à élevée et est peu décomposée ou pratiquement non décomposée (H2 et H3 selon l'échelle Von Post). Toutefois, il faut noter que pour des sols organiques peu décomposés, les valeurs de résistance sont beaucoup moins représentatives.

Tableau 1 Épaisseur de la couche de sol organique (tourbière) à proximité de la route de halage

Tranchée d'exploration / forage	Épaisseur (m)
TP20-P-07	2,20
TP20-P-06	0,10
TP20-P-22	0,90
TP20-P-23	0,10
BH21-P-01	1,00
TP20-P-35	0,10
TP21-N-01	0,70
TP21-N-06	0,20
TP21-N-02	0,20
TP21-SW-01	2,30
TP21-SW-06	1,90
TP21-O-06	1,60
BH21-O-05	2,30

⁸ James Bay Lithium Mine Project Detailed Geotechnical Investigation – Phases 2 and 3 (SNC_Lavalin, 2021) Technical report 673356-EG-L02-01, 64 p.

Tranchée d'exploration / forage	Épaisseur (m)
TP20-W-01	2,35
BH21-W-09	0,70

Tableau 2 Épaisseur de la couche de sol organique (tourbière) dans l'empreinte de la route de halage

Tranchée d'exploration / forage	Épaisseur (m)
TP21-R-04	1,90
BH21-R-01	0,70
TP21-R-03	0,50
TP21-R-02	2,30
TP21-R-01	0,20
TP21-R-05	0,50
TP21-R-06	0,30

Les tassements de la couche de sol organique ont été estimés à partir de l'indice de pénétration standard N mesuré pour les trois forages présentés au tableau 3. Le tassement moyen estimé de la couche de sol organique sous un remblai de 3,5 m correspondant à la hauteur totale de la structure de chaussée proposée est de 512 mm.

Tableau 3 Tassement estimé de la couche de sol organique

Forage	Tassement estimé (mm)
BH21-O-05	614
BH21-P-01	614
BH21-R-01	307

Le tassement moyen estimé a été vérifié à l'aide de la formule du calcul des tassements et de la courbe de tassement en fonction de l'épaisseur des sols organiques (figure 3) du Guide pour l'étude et la construction de remblais routiers sur tourbières (MTQ, 2012)⁹. Le tassement moyen calculé est de 440 mm.

⁹ Guide pour l'étude et la construction de remblais routiers sur tourbières (MTQ, 2012) Direction du laboratoire des chaussées, Service de la géotechnique et de la géologie, 44 p.

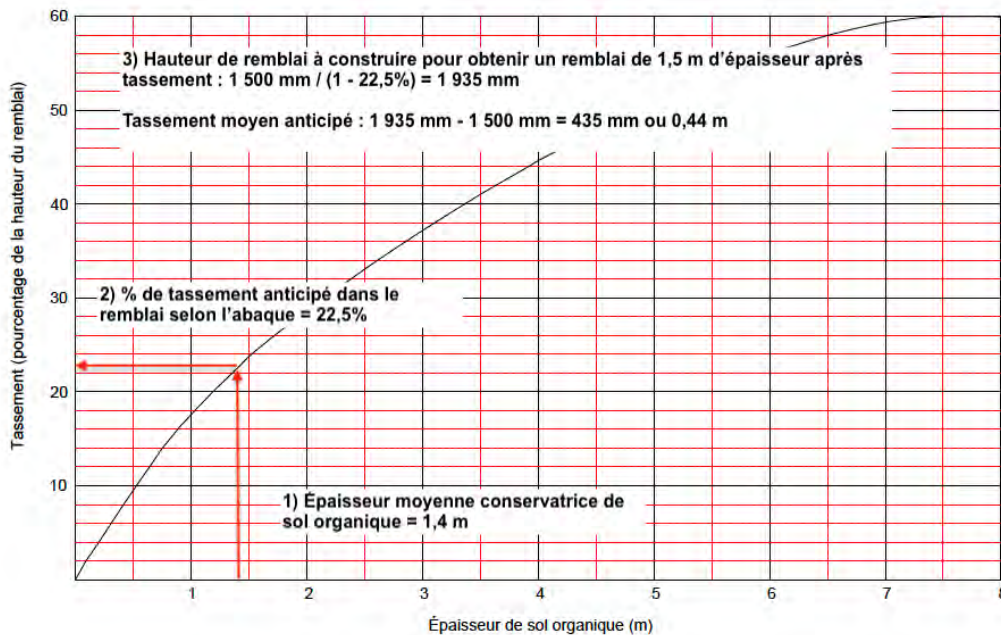


Figure 3 Courbe de tassement en fonction de l'épaisseur des sols organiques (source MTQ, 2012)⁶

Selon le Guide pour l'étude et la construction de remblais routiers sur tourbières (MTQ, 2012), « L'utilisation de la méthode de construction avec une surcharge de 600 mm dans le cadre de projets de développement du réseau routier du ministère des Transports du Québec a permis d'obtenir un comportement adéquat de la chaussée; c'est pourquoi une surcharge de cette ampleur est habituellement recommandée. Une surcharge plus importante, jusqu'à 1,2 m (double surcharge), est parfois recommandée dans des tourbières d'étendue limitée lorsque les épaisseurs de la couche organique varient trop rapidement, tant longitudinalement que transversalement.

Pour les constructions sur sols organiques, il est généralement admis que le tassement qui se produit en cours de construction est de l'ordre de 80 % du tassement total. Le 20 % résiduel provient de la consolidation secondaire ».

En utilisant le tassement estimé de 500 mm, le tassement qui se produira par l'application de la couche de 1,5 m de matériau tout-venant en cours de construction de la route sera d'environ 400 mm et le tassement secondaire sera d'environ 100 mm.

3. Recommandations :

Afin de conserver l'intégrité de la route de halage à long terme et selon le Guide pour l'étude et la construction de remblais routiers sur tourbières (MTQ, 2012), il est recommandé de :

- construire la chaussée par étape de façon à éviter toute rupture par cisaillement de la couche organique en raison de sa forte compressibilité (tassements très importants de l'ordre de 500 mm);
- Utiliser une méthode de construction par consolidation par surcharge en mettant en place, dans un premier temps, la couche de 1,5 m de matériau tout-venant (sable et gravier drainant) pour appliquer une charge sur la couche de sol organique;

- Prévoir une période d'attente (avant de mettre les autres couches de la structure de la chaussée) au minimum de 120 jours (après le dégel);
- Ajouter du matériau tout-venant et ajuster les profils après la période d'attente aux endroits où des tassements se sont produits; le volume réel de matériau tout-venant à mettre en place sera supérieur à celui estimé en raison des tassements non uniformes qui se produiront après la consolidation par surcharge;
- Construire la structure de la chaussée tel que proposé.

5. CHOIX DE LA GÉOMEMBRANE DU SYSTÈME D'ÉTANCHÉITÉ

Le choix de la géomembrane est essentiellement guidé par les considérations suivantes :

1. Imperméabilité;
2. Durabilité et compatibilité chimique;
3. Résistance aux contraintes climatiques;
4. Interaction avec la structure : capacité de résister aux contraintes mécaniques et aux déformations anticipées;
5. Facilité d'installation et d'assemblage dans les conditions anticipées;
6. Disponibilité de produits et de main d'œuvre qualifiée.

Ces éléments sont discutés dans les paragraphes ci-dessous.

1. Imperméabilité :

Pour des liquides aqueux exempts de solvants organiques comme ce qui est attendu sur le projet, on peut considérer l'imperméabilité de la géomembrane en considérant le niveau d'étanchéité conventionnel défini par la norme NF-P 84-500, qui doit être inférieur à $10^{-4} \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{j})$ lorsque mesuré dans les conditions opératoires de la norme EN ISO 14150, c'est-à-dire sous une différence de pression de 100 kPa et avec un facteur de sécurité de 10. Cette approche normative surévalue cependant les débits de fuites réels au travers des géomembranes intactes, qui sont contrôlés par un mécanisme de diffusion et non de perméation. Dans un environnement pour lequel le pourcentage d'humidité relative est similaire des deux côtés de la géomembrane, on peut considérer que le débit percolant au travers des géomembranes est à toutes fins pratiques nul.

Cependant, il est couramment admis dans l'industrie que les géomembranes peuvent fuir. Peggs et Giroud (2014) suggèrent qu'un débit de fuite q peut être estimé par l'équation $q = \sim 230aN\sqrt{h}$, où ' q ' est exprimé en litres par hectare par jour, ' a ' la surface de la perforation en mm^2 , ' N ' le nombre de perforations par hectare, et ' h ' la charge hydraulique en mètres. Pour des structures installées dans les règles de l'art, Giroud (2022) suggère $q = 1150\sqrt{h}$.

Pour assurer une performance maximale de l'étanchéité sur le long terme, il est recommandé de :

- assurer un drainage efficace au-dessus de la géomembrane, afin de limiter la hauteur de liquide susceptible d'exister au-dessus d'une éventuelle perforation. Un sable drainant à forte perméabilité ou un géocomposite de drainage doit être installé sur la géomembrane.
- maintenir des pentes suffisantes pour assurer l'écoulement rapide de tout liquide accumulé sur la géomembrane. On notera ici l'importance de limiter la profondeur d'orniérage dans le plan de la géomembrane, une ornière provoquant la rétention de liquide dans une zone particulièrement sollicitée mécaniquement et donc la plus susceptible de présenter des perforations.

- installer la géomembrane sur une assise de faible perméabilité afin de limiter l'infiltration au travers d'éventuelles perforations, et ainsi de bénéficier pleinement du drainage installé au-dessus de celle-ci.
- s'assurer que la profondeur des ornières se développant dans le plan de la géomembrane soit minimisée pour éviter la rétention d'eau dans les ornières, donc l'augmentation de la charge hydraulique au-dessus de la géomembrane dans la région qui est la plus exposée aux contraintes de trafic.

Cette approche n'est valable que dans la mesure où la géomembrane est adéquatement protégée contre la déchirure et le poinçonnement. La mise en œuvre d'un programme d'assurance qualité assurant la réparation de toute fuite accidentelle après installation de la couche granulaire, en utilisant la méthode du dipôle, permettra de supprimer les risques d'infiltration au travers de la géomembrane.

2. Durabilité et compatibilité chimique :

Des trois modes de dégradation des géomembranes de polyéthylène sont l'oxydation, la dissolution chimique, et la réorganisation moléculaire – et notamment la fissuration sous contrainte (« stress-cracking »).

Les essais de lixiviation fournis n'indiquent pas la possibilité d'avoir des composés organiques susceptibles de se trouver en contact avec la géomembrane. Les pH varient entre ~4 et ~10, suggérant un environnement chimique naturellement peu agressif. L'élément chimique analysé pour lequel une concentration supérieure à ce qui est normalement rencontrée dans l'environnement est l'arsenic. Dans l'éventualité où cet arsenic se transformerait en acide arsénique, ce dernier composé est considéré peu dommageable pour le polyéthylène.

En outre, la géomembrane de PeBDL sera potentiellement exposée aux sels de déglçage (essentiellement du sel chlorure de sodium NaCl), et à des abat-poussières chimiques (chlorure de calcium CaCl₂ ou chlorure de magnésium MgCl₂). Ces composés ne sont pas classés comme potentiellement incompatibles avec le polyéthylène. Ils pourraient affecter le rythme de déplétion de certains antioxydants, cependant, cet aspect est insignifiant pour des formulations conformes à la spécification GRI GM17, dans le contexte de cette application.

La durée de service anticipée est de moins de 25 ans et les températures de service seront toujours inférieures à 20 °C. Les problématiques de compatibilité chimique sont mineures en comparaison à d'autres environnements plus agressifs où des géomembranes de polyéthylène sont utilisées couramment, comme les plateformes de lixiviation ou les sites de confinement d'ordures ménagères, pour lesquels la température peut excéder 60 °C pendant plusieurs années.

Par conséquent, le mode de dégradation de la géomembrane de polyéthylène sera essentiellement limité à l'oxydation et à la fissuration liée à sa réorganisation moléculaire, ce dernier phénomène se produisant essentiellement sur le PeHD et non pas sur le PeBDL.

La cinétique de la réaction d'oxydation double pour chaque augmentation de température d'environ 10°C. Par conséquent, la durée pendant laquelle la géomembrane est exposée à une température élevée est la plus déterminante dans l'estimation de sa durée de vie. Pour ce projet, la géomembrane sera exposée ~3 mois par an à une température maximale de 20 °C, pour une durée de service de 20 ans. Cette exposition mènera à un niveau d'oxydation similaire à ce qui serait obtenu en quelques mois d'exposition à une température entre 60-70 °C pendant quelques heures par jour, comme ce qui peut être rencontré pour certaines applications de géomembrane exposée pour lesquelles les géomembranes de PeBDL sont fréquemment utilisées – et pour lesquelles elles sont exposées au rayonnement UV en sus de l'oxydation thermique.

Le PeBDL offre une durabilité typiquement inférieure à celle du PeHD, du fait notamment d'un coefficient de diffusion supérieur à celui du PeHD pour l'oxygène.

Cependant, pour une durée de service anticipée de l'ordre d'une vingtaine d'années dans des conditions de service limitant la température de service à un maximum de l'ordre de 20 °C, l'expérience existante montre que cette plus grande sensibilité à l'oxydation est sans conséquence dans le contexte de cette application et ne nécessite pas de considérations exceptionnelles.

La problématique de la durée de vie peut donc être écartée pour cette application pour laquelle la géomembrane est : 1- enfouie, 2- dans des conditions de service n'impliquant aucun produit chimique clairement incompatible, 3- exposée à une température de service n'excédant pas ~20 °C pendant au plus quelques mois par an.

Ce, à condition que la formulation du produit réponde aux exigences du standard GRI GM17 et pour une épaisseur d'au moins 1,0 mm, ces critères définissant un produit pour lequel une vaste expérience existe avec des conditions de service plus critiques. L'utilisation d'une épaisseur supérieure à 1,5 mm recommandée plus loin dans le texte augmente encore ce niveau de confort.

3. Résistance aux contraintes climatiques :

Le site est situé dans le Nord du Québec. On peut donc considérer que la géomembrane pourrait être exposée à des températures extrêmes inférieures à -30°, tout en étant exposée à des sollicitations mécaniques cycliques comme le passage de véhicules. Par conséquent, les géomembranes bitumineuses ou de PVC ne sont pas recommandées.

Une géomembrane de polyéthylène (PeHD ou PeBDL) est en effet préférable puisque la température de fragilisation des géomembranes de polyéthylène étant inférieure à -100 °C, comparativement aux géomembranes PVC (-29 °C à la livraison, plus élevée après vieillissement) ou bitumineuses (entre -10 °C et -25 °C pour les bitumes modifiés au SBS, supérieure à 0 °C pour les bitumes oxydés).

Certains grades de PeHD sont sensibles à la fissuration à froid (« cold-cracking ») et à la propagation rapide des fissures à basse température (Rapid Crack Propagation – RCP), tandis que les grades courants de PeBDL ne sont pas sujets à ces problèmes. Bien que ce mécanisme de rupture se produise essentiellement dans le cadre d'applications pour lesquelles la géomembrane reste exposée, ce qui n'est pas le cas de ce projet, le PeBDL reste préférable pour les applications en conditions nordiques non sujettes à ces contraintes chimiques significatives, dans la mesure où il offre une meilleure tolérance en cas d'exposition accidentelle à des impacts et autres risques de fracture.

Enfin, l'épaisseur du recouvrement granulaire dans les fossés devra être d'au moins 300 mm afin notamment d'assurer une contrainte de confinement minimale.

4. Interaction avec la structure : capacité de résister aux contraintes mécaniques et aux déformations anticipées, drainage :

Allongement

L'allongement dans le plan de la géomembrane issu des contraintes de trafic est de plusieurs ordres de grandeur inférieur à 0,1 % et à toutes fins pratiques insignifiant. N'importe quel type de géomembrane peut résister à de telles déformations. Cependant, du fait de la nature du substrat composé de tourbe, les risques d'allongement issus de tassements différentiels persistants : d'abord lors de la construction, suite à l'installation de la fondation par-dessus le remblai, puis au fil du temps sur une assise normalement consolidée.

Il est donc préférable de privilégier un matériau capable de résister à la déformation sans présenter de seuil d'écoulement, comme le PeBDL, auquel on prête parfois un allongement multiaxial admissible de plus de 10 % dans certaines conditions de service (Peggs, 2005).

Poinçonnement

La résistance au poinçonnement de la géomembrane a été vérifiée en considérant les éléments suivants :

- Substrat granulaire : sol fin de diamètre maximum < 10 mm;
- Matériau granulaire de recouvrement : sol fin de diamètre maximum < 10 mm;
- Contrainte normale de service calculée en considérant 1,7 m de remblai : 54 kPa incluant la charge vive (CAT 777G).

Afin d'assurer la résistance au poinçonnement de la géomembrane lors de l'installation des matériaux la recouvrant, les critères suivants devront être respectés :

- La pression au sol des équipements utilisés pour l'installation de la couche granulaire au-dessus de la géomembrane devra être inférieure à 70 kPa;
- L'épaisseur minimum de la première passe au-dessus de la géomembrane devra être de 300 mm.

En outre, l'épaisseur de la couche de matériau considéré comme étant en contact avec la géomembrane doit être supérieure ou égale au diamètre de la plus grosse particule (d_{100}) du matériau adjacent. Ce critère est respecté si les plus grosses particules du stériles 0-300 mm ne dépassent pas un diamètre de 300 mm, qui est l'épaisseur prévue de la couche de recouvrement de la géomembrane. De plus, le critère de filtre devra être vérifié pour ces matériaux adjacents afin d'éviter toute pénétration dans les couches de protection de la géomembrane.

Dans l'emprise de la route, le faible niveau des contraintes de service (54 kPa) et l'utilisation de matériaux granulaires fins (< 10 mm) en-dessous et au-dessus de la géomembrane permet de confirmer que l'utilisation d'une géomembrane PeBDL de 1,5 mm d'épaisseur nominale sans géotextile de protection est acceptable relativement à la protection contre le poinçonnement.

Quant à la protection contre le poinçonnement de la géomembrane placée dans les fossés latéraux, il est essentiel que celle-ci repose sur un géotextile de protection avant sa mise en place sur le remblai tout-venant. Un géotextile de protection devra également être posé au-dessus de la géomembrane avant la mise en œuvre de l'empierrement 100-200 mm dans ces fossés latéraux. Les propriétés physiques et mécaniques du géotextile de protection seront déterminées à l'étape de l'ingénierie détaillée.

Résistance au cisaillement

La résistance à l'orniérage, et donc la performance de la structure, pourrait être affectée par la présence d'un plan de glissement horizontal au sein de la structure. L'utilisation d'une géomembrane texturée devrait donc être privilégiée, afin d'assurer le transfert des contraintes de cisaillement du dessus de la géomembrane jusqu'au sol situé au-dessous. La hauteur minimale des aspérités de la texture devra être de 0,40 mm lorsque la texture est produite par coextrusion annulaire.

Drainage

La présence d'une couche de matériau imperméable (la géomembrane) au sein même de la structure de chaussée rend essentielle l'installation d'une couche drainante au-dessus de celle-ci, afin d'éviter l'atteinte de taux de saturation excessifs dans la structure, notamment au printemps. Ce drainage est aussi motivé par le contrôle du risque de percolation de contaminants au travers de la géomembrane, tel qu'indiqué plus haut.

5. Facilité d'assemblage dans les conditions anticipées :

La géomembrane sera installée au-dessus d'un remblai garantissant que celle-ci sera hors-eau lors de l'installation, et par conséquent qu'il sera possible de procéder à une soudure par double-fusion. Le soudage d'une géomembrane est plus facile et donc plus fiable avec un produit de 1,5 mm, il est donc préférable de privilégier un matériau de 1,5 mm d'épaisseur nominale quand bien même un géotextile serait installé sur la géomembrane (section poinçonnement).

On peut souligner que certains manufacturiers offrent la possibilité de préfabriquer les panneaux de géomembrane PeBDL. Cette option devrait être considérée lors de la commande, afin de limiter le nombre de soudures devant être réalisées sur site, selon le déroulement prévu pour les travaux et la problématique de mobilisation de l'équipe d'installation.

6. Disponibilité de produits et de main d'œuvre qualifiée :

Les géomembranes de polyéthylène – et autres géosynthétiques pertinents (géotextile, géocomposite de drainage) sont facilement disponibles et couramment utilisés au Québec.

Plusieurs équipes spécialisées dans l'installation et l'assemblage de tels matériaux offrent aussi leurs services au Québec.

7. Synthèse :

Compte tenu des éléments présentés ci-dessus, une géomembrane de PeBDL de 1,5 mm d'épaisseur nominale, présentant une texture minimale de 0,40 mm lorsque produite par coextrusion, et conforme aux exigences de la spécification GRI GM17 sera adéquate pour l'application visée.

Pour limiter les débits d'infiltration au travers de perforations accidentelles qu'il est raisonnable d'anticiper pour tout ouvrage de confinement par géosynthétiques, cette géomembrane devra :

- être installée sur une couche de sol fin, dont les caractéristiques restent à déterminer selon les disponibilités. L'épaisseur de cette couche sera au moins égale au diamètre de la plus grosse particule (d_{100}) du sol sur laquelle elle est installée. L'assise de sol devra être lisse au moment de l'installation.
- être recouverte d'un matériau drainant : un sable drainant ($k > 10^{-2}$ cm / s) ou un géocomposite de drainage. Les propriétés hydrauliques et l'épaisseur de la couche drainante devront être sélectionnées en considérant les débits d'infiltration anticipés et la pente, après le tassement final de la structure incluant la fondation.

Pour assurer l'absence de rétention de liquide au-dessus de la géomembrane, il sera essentiel d'assurer un écoulement de l'eau depuis le centre de la voie vers les fossés, après tassement de la structure, et de minimiser l'orniérage dans le plan de la géomembrane.

La géomembrane installée dans les fossés devra être recouverte d'au moins 300 mm de matériaux granulaires pour assurer un confinement adéquat.

Références

- Bürkle GmbH (2021): Chemical resistance of plastics, Version 3.9 (11.01.2021), https://www.buerkle.de/files_pdf/wissenswertes/chemical_resistance_en.pdf
- Cornellier, M, Tan D (2014): A case study on the installation of LLDPE geomembranes in cold weather, Proceedings of Geosynthetics Mining Solutions 2014.
- Dixon, N., Fowmes, G. and Frost, M. (2017). Global challenges, geosynthetic solutions and counting carbon. Geosynthetics International, 24, No. 5, 451-464.
- Giroud, J.P. (2016). Leakage Control using Geomembrane Liners. The Victor de Mello Lecture, Soils and Rocks, São Paulo, Brazil, 39, 3, September-December 2016, 213-235.
- Giroud J. P., Plusquellec H. (2022): Evaluation of concrete and geomembrane lining options for a canal in Egypt, Geosynthetics International (in press).
- Hsuan G, Koerner RM, Comer AI (2013): GSI White Paper #28: "Cold Temperature and Free-Thaw Cycling Behavior of Geomembranes and Their Seams", Geosynthetic Institute, 475 Kedron Avenue, Folsom, PA 19033-1208 USA.
- Iagi (2007): HDPE and LLDPE Geomembrane Installation Specification, International Association of Geosynthetic Installers, P.O. Box 18012, St. Paul, MN 55118, USA.
- Kay, D., Blond, E., Mlynarek, J. (2004): Geosynthetics Durability: A Polymer Chemistry Issue. Proceedings of the 57th annual conference of the Canadian Geotechnical Society, Québec, October 2004.
- Koerner (2012): Designing with Geosynthetics, 6th Edition, Volume 2, ISBN (Ebook) 978-1-4653-4526-4.
- Légère G. et Blond E. (2002) : Applicabilité des géosynthétiques de renforcement sur tourbière en voirie forestière, Revue Avantage, Vol.3, n°25, FERIC.
- Mills, A., Fraser, B., Gulati, D. (2015): The Practical Limits of Cold Temperature Geomembrane Installation in Northern Canada, Proceedings GeoQuebec 2015.
- Narejo D., Corcoran G. (2002): Geomembrane Protection Design Manual, First Edition, GSE Environmental.
- Peggs, I.D. & Giroud, J.P. (2014). Action leakage rate for reservoir geomembrane liners. Proceedings of the 10th International Conference on Geosynthetics, Berlin, 10 p.
- Peggs I.D., Schmucker B, Carey P (2005): Assessment of Maximum Allowable Strains In Polyethylene and Polypropylene Geomembranes. Proceedings of the 2005 GeoFrontiers Congress, January 24-26, Austin, Texas, United-States.
- Raja, J., Dixon, N., Fowmes, G., Frost, M. and Assinder, P. (2015). Obtaining reliable embodied carbon values for geosynthetics. Geosynthetics International, 22, No. 5, 393-401.
- Shenouda B., Pokharel S., Chatterjee A. (2021): High strength polymeric alloy geocell for road construction in muskeg. Proceedings of GeoNiagara, the Canadian Geotechnical Society Conference, Niagara, September 26-29, 2021.
- WRAP (Waste and Resources Action Programme) (2010). Sustainable Geosystems in Civil Engineering Applications, Project MRF116, Waste and Resources Action Programme, Banbury, UK.

6. DRAINAGE DES EAUX DE RUISSELLEMENT ET DE PERCOLATION

La majorité des eaux de précipitations et de fonte des neiges confinées dans l'emprise de la route ruissellera vers les fossés latéraux par l'entremise d'ouvertures créées dans les bermes de sécurité. Les pentes latérales de 2 % à partir du centre de la couche de roulement permettront d'évacuer rapidement ces eaux de la chaussée.

Comme mentionnée lors de la discussion sur l'étanchéité de la géomembrane au chapitre précédent, il est recommandé que les eaux qui réussissent à percoler à travers le remblai de stériles composant la structure de la route soient captées par une couche de drainage construite au-dessus de la géomembrane. Cette couche de drainage pourra être composée d'un sable drainant ou d'un autre matériau drainant (géocomposite de drainage) anti-poinçonnant pour la géomembrane. Cette couche de drainage, jumelée à une pente d'écoulement transversale adéquate (4 % minimum suggéré – devra être validé à l'étape de l'ingénierie), permettra non seulement d'éviter l'accumulation d'eau contaminée sur la géomembrane, mais également d'amoindrir la saturation du remblai composant la route. Un remblai saturé réduit généralement la capacité portante de la chaussée et augmente les risques d'orniérage et de déformation de la route.

Dans l'éventualité où une couche de sable drainant est utilisée au-dessus de la géomembrane, une précaution particulière devra être portée contre l'érosion latérale des parois de cette couche au niveau des fossés. La mise en place d'un géotextile de séparation est alors recommandée afin d'éviter le lessivage du sable dans le fossé.

Selon le profil de la route présenté au dossier, les fossés latéraux posséderont des pentes longitudinales d'au minimum 0,5 % et d'au plus 2 % et dirigeront les eaux accumulées directement vers le bassin d'accumulation situé au nord de la mine ou vers des stations de pompage intermédiaires. Les cartes de localisation des différents ouvrages sont présentées dans la note de technique de WSP.

Le dimensionnement des fossés et des points de pompage sera effectué ultérieurement lors de l'étape de l'ingénierie détaillée. La capacité des fossés latéraux devra toutefois répondre au pire des scénarios, soit des événements extrêmes de pluviométrie au même moment que la période de fonte des neiges. L'étude d'impact sur l'environnement produit par WSP¹⁰ indique que la hauteur de précipitation sur 24 heures de récurrence 1 sur 1 000 ans est de 101,6 mm et que celle de fonte (30 jours) de récurrence 1 sur 100 ans s'élève à 388,5 mm. Nous recommandons que les données de pluviométrie et de fonte de récurrence 1 : 100 ans soient utilisées pour le calcul de la capacité hydraulique des fossés en plus de tenir compte des variations anticipées des précipitations au cours des 20 prochaines années causées par les changements climatiques.

7. MISE EN ŒUVRE, CONSTRUCTION ET SUIVI DE LA ROUTE DE HALAGE

1. Mise en œuvre du dispositif d'étanchéité de la route de halage :

Les performances attendues pour tout dispositif d'étanchéité avec géomembrane sont généralement fixées à l'étape de la conception (choix des systèmes d'étanchéité, géométrie, matériaux naturels et géosynthétiques, etc.). Cependant, l'étape de la construction demeure la phase la plus critique qui contrôle la performance réelle de l'ouvrage.

¹⁰ Étude d'impact sur l'environnement, WSP, juillet 2021, no. 201-12362-00, page 6-5.

Afin d'assurer l'intégrité de la géomembrane PeBDL prévue pour garantir l'étanchéité de la route de halage y compris les fossés latéraux, les dispositions suivantes doivent être respectées et suivies rigoureusement durant les étapes de construction qui suivent :

Préparation des assises de la géomembrane

L'assise prévue pour recevoir la géomembrane est constituée d'une couche de sable fin de 300 mm d'épaisseur. Lors de sa mise en place, l'Entrepreneur chargé des travaux doit retirer de l'assise tout objet (tel que pierres, débris, objets contondants, etc.) dont le contact est susceptible d'endommager la géomembrane. Les surfaces exposées qui recevront la géomembrane doivent être parfaitement nivelées, la surface de l'assise ne doit pas présenter de dépressions, ornières ou renflements supérieurs à 50 mm. Les ornières laissées par la machinerie utilisée lors du déploiement de la géomembrane doivent être éliminées.

Après l'acceptation de l'assise par le responsable d'assurance qualité, l'installateur de la géomembrane est responsable de veiller à son intégrité. L'installateur doit prendre toutes les précautions nécessaires pour éviter d'endommager les surfaces synthétiques ou naturelles durant la mise en place des géosynthétiques.

Installation de la géomembrane

L'installation de la géomembrane fera l'objet d'un suivi rigoureux et permanent sur chantier par un spécialiste en assurance qualité. Un programme d'assurance et de contrôle qualité en lien avec les géosynthétiques qui seront utilisés dans le cadre du projet sera préparé par un tiers expert ayant l'expertise reconnue dans le domaine des géosynthétiques. Pour information, un programme d'assurance et de contrôle qualité des géosynthétiques type est joint à l'annexe IV du présent avis technique. Ce programme d'assurance et de contrôle qualité est fourni à titre indicatif, il sera ajusté lors de l'ingénierie détaillée et sera inclus aux plans et devis pour construction de la route de halage.

Le mandat d'installation des géosynthétiques sera confié à un installateur ayant l'expertise et les ressources qualifiées pour ce type de travaux. Avant de recommander son choix d'installateur, le tiers expert procédera à toutes les vérifications nécessaires, entres autres :

- l'expérience de l'installateur (projets réalisés, types de géomembrane et quantités installées);
- les ressources spécialisées et moyens matériels de l'installateur;
- l'expérience et les compétences du contremaître qui sera chargé des travaux d'installation (projets réalisés, types de géomembrane et quantités installées);
- l'expériences et les compétences des soudeurs (projets réalisés, types de géomembrane et quantités installées). Au minimum, un soudeur doit être certifié IAGI (International Association of Geosynthetic Installers) dans l'équipe de travail;
- l'expérience du responsable du contrôle de la qualité de l'installateur (projets réalisés, types de géomembrane et quantités installées).

Avant le début des travaux de terrain, l'installateur auquel le mandat d'installation de la géomembrane est octroyé doit fournir minimalement les documents suivants au tiers expert pour approbation :

- Un calendrier des travaux;
- Un plan de déploiement des panneaux de géomembrane;
- Les procédures d'installation de la géomembrane;
- Le programme de contrôle de la qualité;

- Le programme de santé et sécurité au travail;
- Une liste du personnel proposé et leurs compétences;
- Une liste des équipements à utiliser avec les certificats d'étalonnage si applicable;
- Le plan signé par un ingénieur démontrant la capacité de charge de palonnier qui sera utilisé pour le déploiement de la géomembrane.

Les travaux d'installation de la géomembrane seront coordonnés par les divers intervenants sur chantier (Entrepreneur, installateur et tiers expert) afin de permettre l'atteinte du niveau de qualité requis, les éléments suivants doivent être particulièrement suivis lors des travaux d'installation :

- L'Entrepreneur chargé de la construction de la route de halage doit préparer suffisamment de surfaces d'assise pour ne pas retarder l'installation de la géomembrane;
- Le déploiement de la géomembrane sera effectué de façon à ce que les panneaux de géomembrane soient tous soudés ou assemblés à la fin d'une journée de travail;
- La méthode de déploiement ne doit pas endommager l'assise de la géomembrane constituée d'une couche de sable fin;
- La méthode de déploiement doit minimiser la formation de plis dans la géomembrane;
- Lors de déploiement des panneaux de géomembrane, ceux-ci doivent être suffisamment chargés avec des sacs de sable pour permettre leur lestage et ainsi les protéger du soulèvement par le vent;
- L'installateur de la géomembrane doit prévoir l'expansion ou la contraction de la géomembrane selon les températures externes qui peuvent survenir lors de déploiement afin d'éviter les contraintes, les plis et les soulèvements;
- La géomembrane ne sera pas déployée lorsqu'il y a précipitations, présence de surface saturée d'eau ou de vent excessif;
- Les équipements thermiques ou les groupes électrogènes doivent être éteints lorsqu'il n'y a pas de surveillance par l'installateur;
- Une attention particulière doit être portée à l'utilisation de couteaux et outils afin d'éviter le poinçonnement ou la perforation de la géomembrane. Lors de la découpe de pièces de géomembrane pour fins de réparation ou autres, une pièce protectrice de géomembrane doit être placée sous la zone de travail afin d'éviter d'endommager les surfaces installées;
- Tous les équipements utilisés sur la géomembrane (génératrice, tensiomètre, etc.) devront être installés en tout temps sur une pièce de géomembrane protectrice contre le poinçonnement ou le déversement d'hydrocarbures;
- Le personnel travaillant sur la géomembrane ne doit pas fumer ni poser de gestes nuisibles qui peuvent affecter l'intégrité de la géomembrane. Il est interdit à toute personne ne travaillant pas à l'installation de la géomembrane de circuler sur ceux-ci, sans autorisation du responsable de l'assurance qualité;
- Aucune circulation avec des engins n'est permise directement sur la géomembrane, sauf les véhicules tout-terrain légers autorisés par le responsable de l'assurance qualité pour le déploiement de la géomembrane;
- Le ramassage des déchets doit être effectué quotidiennement afin de tenir les aires de travail exemptes de débris et éviter leur éparpillement lors de conditions venteuses.

Mise en place du matériau de recouvrement

Le matériau de recouvrement prévu par-dessus la géomembrane est constitué d'une couche de sable drainant de 300 mm d'épaisseur. La mise en place de cette couche de recouvrement est l'une des phases les plus critiques durant la construction.

L'intégrité et les performances d'étanchéité de la géomembrane peuvent être grandement affectées si les précautions nécessaires pour assurer une meilleure mise en place n'ont pas été prises par l'Entrepreneur chargé des travaux de construction.

La mise en place de la couche de recouvrement doit faire l'objet d'un suivi rigoureux permanent afin d'assurer une mise en place adéquate et ainsi préserver l'intégrité de la géomembrane, voici nos recommandations ainsi que les bonnes pratiques à suivre durant cette étape des travaux :

- La mise en place de la couche de recouvrement doit être réalisée en utilisant des équipements (bouteurs, excavatrices et autres) de type « basse pression »;
- Les équipements (bouteurs, excavatrices et autres) qui seront utilisés pour la mise en place et nivellement de la couche de recouvrement doivent circuler sur des épaisseurs de matériaux sécuritaires pour ne pas endommager la géomembrane (ces épaisseurs seront déterminées au moment opportun en fonction des équipements qui seront utilisés);
- Les virages brusques des équipements utilisés lors de ces travaux ne sont pas permis et sont strictement interdits (ne pas exercer des tensions sur la géomembrane et provoquer des déchirures);
- Les camions et autres équipements utilisés pour le transport du sable drainant doivent circuler sur des rampes d'accès et chemins provisoires ayant un minimum d'un mètre d'épaisseur au-dessus de la géomembrane (cette épaisseur sera validée ultérieurement en fonction des camions et équipements qui seront utilisés). Idéalement, le matériau transporté doit être déversé sur le chemin de circulation puis étalé avec un boteur, il ne doit pas être directement déversé de la benne de camion sur la géomembrane. Cette bonne pratique permettra de minimiser l'impact sur la géomembrane et ainsi préserver son intégrité;
- Une attention particulière doit être portée lors de la mise en place de la couche de recouvrement en utilisant un boteur, ce dernier ayant tendance à former des plis dans la géomembrane en poussant les matériaux. De ce fait, l'expérience du terrain démontre que la combinaison excavatrice-boteur est la méthodologie la mieux adaptée pour minimiser la formation des plis et ainsi préserver l'intégrité de la géomembrane;
- Lors de la mise en place de l'enrochement 100-200 mm sur les parois des fossés latéraux étanches longeant la route de halage, procéder tout le temps avec la mise en place des matériaux du bas vers le haut pour éviter de créer des tensions sur la géomembrane.

2. Contrôle-qualité – Remblais et structure de la route :

Les travaux de construction de la structure de la route de halage feront l'objet d'un suivi rigoureux durant toutes les étapes de construction. Un programme d'assurance et de contrôle qualité sera élaboré à cet effet par le tiers expert afin d'établir lors de la mise en place des matériaux granulaires, la marche à suivre assurant que le comportement anticipé de l'ouvrage soit obtenu. Le programme détaillera les contrôles de qualité qui doivent être effectués et les procédures afférentes du programme d'assurance qualité afin d'obtenir des résultats représentatifs de la qualité des travaux de mise en place des matériaux granulaires.

Caractérisation des matériaux granulaires et essais en chantier

Les matériaux granulaires prévus pour l'aménagement de la route de halage feront l'objet de vérifications continues de la source d'approvisionnement jusqu'à leur mise en place finale sur chantier. Les vérifications comprendront sans s'y limiter, les éléments suivants :

- Vérification de la conformité et approbation des matériaux granulaires qui seront utilisés avant leur mise en place;
- Suivi de la mise en place des matériaux granulaires utilisés pour l'infrastructure, la sous fondation et la couche de roulement de la route de halage;
- Réalisation des essais de vérification en chantier et en laboratoire;
- Préparation des rapports requis.

Le suivi de la mise en place des matériaux granulaires sur chantier comprendra, entre autres, les tâches suivantes :

- Essais *in situ* pour déterminer la teneur en eau et la densité des matériaux granulaires;
- Évaluation et contrôle de l'épaisseur des levées granulaires avant et après compactage;
- Observation et évaluation des effets du compactage et de la circulation des équipements sur les levées granulaires (ornières, pénétration, saturation, etc.);
- Enregistrement et contrôle du nombre de passes effectuées lors du compactage.

Avant le début des travaux d'aménagement de la route de halage, les matériaux granulaires seront prélevés à la source d'approvisionnement pour effectuer les essais de conformité dans un laboratoire accrédité afin de valider leur conformité aux exigences du cahier des charges de projet.

Durant l'étape de construction de la route de halage, les matériaux granulaires feront l'objet d'un contrôle lors de leur mise en place afin de valider la constance des propriétés des matériaux utilisés.

Les caractéristiques et les fréquences des essais de caractérisation à la source et de contrôle durant la construction seront déterminées ultérieurement et seront détaillées dans le cahier des charges de projet.

Le laboratoire géotechnique, pour les essais sur les matériaux granulaires, qui sera choisi pour effectuer les différents essais de conformité en laboratoire ou de contrôle en chantier doit être membre de l'Association des Consultants et Laboratoires Experts (ACLE) et doit d'être indépendant du maître de l'ouvrage, du maître d'œuvre, de l'Entrepreneur et de ses sous-traitants. Tous les essais qui seront effectués pour évaluer ou établir la conformité des matériaux mis en place ou à être mis en place doivent respecter les normes et procédures du Bureau de Normalisation du Québec (BNQ) ou toute autre norme applicable. Les normes les plus récentes seront appliquées lors de l'étape de construction.

Mise en place des matériaux granulaires

La mise en place des matériaux granulaires sera validée par le tiers expert au début des travaux de construction. La section du début de la route de halage servira comme planche d'essai afin de procéder aux vérifications des propriétés et du comportement des matériaux à mettre en place. Le but principal d'une planche d'essai est de permettre l'établissement des procédures de mise en place et de compactage qui doivent être utilisées lors de la construction et d'assurer ainsi la conformité des travaux de construction vis-à-vis du comportement anticipé lors de la conception de l'ouvrage.

Les matériaux qui seront utilisés lors de la construction de la planche d'essai doivent être approuvés par le tiers expert et il doit être établi qu'ils respectent les spécifications du cahier des charges. La réalisation de la planche

d'essai devra refléter les conditions réelles du terrain où la construction sera réalisée. La planche d'essai doit être réalisée pour vérifier les éléments suivants :

- Manutention et mise en place des matériaux granulaires;
- Équipements et procédures de compactage des matériaux granulaires;
- Nombre de passes requises et épaisseur de la couche granulaire pour rencontrer les spécifications;
- Procédures d'échantillonnage des matériaux granulaires pour les essais de laboratoire.

La planche d'essai sera construite avec les mêmes équipements et suivant les mêmes procédures qui seront utilisées lors de la construction des couches granulaires concernées de la route de halage.

La mise en place et la compaction des couches granulaires constituant la structure de la route de halage doivent rencontrer les exigences générales suivantes :

- Le stockage, le chargement, le transport, le déversement, l'épandage et le compactage des matériaux granulaires doivent être effectués de manière à prévenir toute ségrégation et de manière à les protéger contre toute contamination;
- Les surfaces d'assise doivent être bien nettoyées et préparées, la mise en place des matériaux granulaires ne peut être entamée avant que le surveillant des travaux ait inspecté les lieux et donné son autorisation;
- Les matériaux granulaires de remblai doivent être exempts de glace, de rebuts, de matières organiques et végétales et de tout autre débris. Aucun matériau granulaire totalement ou partiellement gelé ne doit être utilisé pour le remblayage et aucun matériau granulaire destiné au remblayage ne peut être déposé sur une surface gelée ou sur une surface couverte de neige et / ou de glace;
- Les conditions météorologiques doivent permettre la réalisation d'un travail de qualité afin d'atteindre les exigences spécifiées au cahier des charges du projet. Aucun matériau granulaire ne doit être placé lorsqu'un travail convenable ne peut être effectué en conformité avec les exigences des plans et des devis à cause de précipitations, de temps froid, du mauvais état des matériaux mis en place ou de toute autre indication du contrôle des travaux;
- Les couches granulaires doivent être construites suivant les cotes, profils, coupes, niveaux et dimensions qui seront indiqués sur les plans de construction, et ce, conformément aux spécifications techniques. Les procédures de contrôle de la qualité doivent être appliquées sur toutes les couches de matériaux granulaires à mettre en place lors de la construction de la route de halage;
- La mise en place et le compactage des matériaux granulaires doivent se faire à l'aide d'équipements adéquats afin de permettre l'atteinte des objectifs de compactage qui sont visés pour les matériaux granulaires de remblai;
- Les matériaux granulaires de remblai doivent être mis en place en couches continues et d'épaisseur uniforme. Les matériaux de remblai doivent être placés de telle façon que chaque zone soit homogène et libre de stratifications horizontales, lentilles, poches, ornières ou couches de matériaux de texture et de granulométrie ne satisfaisant pas aux exigences requises pour les matériaux de cette zone;
- Le remblayage doit s'effectuer en assurant le drainage de la surface. Les matériaux granulaires de remblai doivent être compactés en couches continues et uniformes. Chaque couche de remblai doit être compactée avant la mise en place d'une couche sus-jacente. Les procédures établies lors de la réalisation de la planche d'essai doivent être respectées lors du compactage;

- Le compactage des matériaux granulaires doit s'effectuer en utilisant des équipements de compactage appropriés approuvés lors de la réalisation de la planche d'essai. La circulation du matériel roulant n'est pas une méthode de compactage acceptable et ne peut en aucun cas se substituer au compactage des matériaux granulaires mis en place;
- L'arrosage ou l'assèchement des matériaux granulaires est à prévoir jusqu'à l'obtention d'une teneur en eau correspondant à l'humidité nécessaire avant de procéder au compactage. Le nucléodensimètre est recommandé pour déterminer la relation teneur en eau / masse volumique des matériaux granulaires mis en place.

3. Assurance-qualité – Installation des géomembranes :

La durabilité et l'étanchéité des géomembranes peuvent être grandement affectées durant les procédures d'assemblage sur chantier, il est essentiel de s'assurer que le produit installé est le même que celui produit en usine, condition que l'on peut atteindre aisément avec une surveillance planifiée, des équipements calibrés et des installateurs ayant l'expertise et les certifications requises.

Les géosynthétiques qui seront utilisés lors de l'aménagement de la route de halage comprenant les fossés latéraux feront l'objet d'un suivi rigoureux depuis leur sortie de l'usine jusqu'à l'acceptation finale une fois installés sur chantier. Toute inspection, tout contrôle et toutes les méthodes d'essais doivent respecter les pratiques reconnues. De plus, ils doivent respecter les normes, méthodes et procédures de l'American Society for Testing and Materials (ASTM), de l'Office des Normes Générales du Canada (ONGC) et du Geosynthetic Research Institute (GRI – plus particulièrement GRI GM17 en lien avec la géomembrane PeBDL), lesquelles doivent être utilisées selon le matériau géosynthétique spécifique.

Le programme assurance qualité qui sera appliqué lors de l'installation de la géomembrane vise à valider la conformité des caractéristiques ainsi que la qualité des matériaux avant et après leur mise en place. Il inclut sans s'y limiter ce qui suit :

- La gestion et vérification de la documentation soumise par le manufacturier et l'installateur de la géomembrane;
- Le suivi de l'installation de la géomembrane;
- La réalisation des essais de vérification en chantier et en laboratoire;
- La préparation des rapports requis.

Durant toute l'étendue des travaux, le responsable de l'assurance qualité peut réaliser ou faire réaliser des essais sur le travail accompli et sur tous les matériaux et équipements fournis ou utilisés par l'installateur. La conformité de la géomembrane sera ainsi vérifiée à chacune des étapes de son installation et ce, conformément aux exigences du cahier des charges du projet.

La fourniture et l'installation de la géomembrane sont sujettes aux procédures d'assurance qualité suivantes :

- Vérification des documents de contrôle de la qualité;
- Réalisation des essais de conformité des matériaux en laboratoire externe;
- Vérification des essais de calibrage des équipements de soudure;
- Inspection et acceptation conjointes des assises avec l'installateur;
- Vérification de l'installation et des soudures;
- Vérification des essais non destructifs;

- Vérification des essais destructifs;
- Inspection finale.

Assemblage des géomembranes

L'étanchéité étant la fonction première de toute géomembrane, leur assemblage par soudure est d'une importance majeure qui peut affecter sensiblement l'atteinte des performances anticipées.

La propriété principale d'une soudure est d'assurer l'étanchéité entre les feuilles de géomembrane pour empêcher tout liquide (lixiviats ou autres) de s'écouler dans le sol d'assise de l'ouvrage. Il faut donc s'assurer que la soudure soit continue et que l'adhésion entre les feuilles puisse résister aux efforts mécaniques qui seront transmis et appliqués.

L'assemblage des panneaux de la géomembrane ne sera permis que lorsque les procédures suivantes seront complétées :

- Alignement convenable des panneaux;
- Chevauchement approprié des panneaux;
- Propreté des surfaces à assembler;
- Assèchement des surfaces à assembler;
- Identification adéquate des panneaux;
- Calibrage des équipements d'assemblage;
- Personnel qualifié à l'assemblage.

Les essais de calibrages consistent à vérifier la résistance mécanique des soudures au pelage et au cisaillement d'un échantillon de géomembrane. Aucun équipement d'assemblage ne peut être utilisé sur le chantier sans un essai de calibrage préalable qui atteint les exigences du cahier des charges.

L'assemblage de la géomembrane PeBDL qui sera installée au droit de la route de halage et des fossés latéraux doit être effectué obligatoirement avec des soudures à double fusion sauf dans des situations particulières (réparation, espace restreint) auxquels cas, la soudure pourra être effectuée par extrusion.

Voici un survol des techniques autorisées pour l'assemblage de la géomembrane :

a) Soudure à double fusion :

Cette technique de soudure consiste à fournir une quantité d'énergie pouvant partiellement fusionner les deux surfaces de géomembrane qui seront en contact et d'appliquer une pression permettant d'obtenir une soudure homogène.

Partout où c'est possible, on doit privilégier l'utilisation d'une méthode automatisée à double fusion avec éléments chauffants. Ces appareils sont développés en incorporant un équipement électronique permettant de mesurer et d'ajuster en continu la température des feuilles, la température des éléments chauffants, la pression appliquée et la vitesse de soudure. La soudure à double fusion permet la réalisation d'essais non destructifs de continuité par pressurisation.

Les facteurs reliés à la procédure de soudure à double fusion pouvant influencer le niveau de fragilisation des feuilles sont les suivants : un gradient de température trop grand entre celle de la feuille et celle du médium chauffant, une température de fusion trop élevée, une vitesse de soudure trop lente (surchauffement) et une pression de soudure trop élevée.

Un procédé automatisé (double fusion) permet une meilleure uniformité des soudures et permet d'atteindre des résistances en pelage et au cisaillement plus élevées que le procédé manuel d'extrusion.

b) Soudure par extrusion :

Cette technique de soudure est utilisée seulement dans les endroits difficilement accessibles pour effectuer une soudure à double fusion et lors des réparations.

C'est un procédé manuel où l'appareil est un fusil à extrusion alimenté par un cordon de polymère (la même résine que la géomembrane utilisée). Sous l'action de la chaleur et la pression, le polymère se fusionne et est acheminé vers la buse du fusil. Un cordon de matière en fusion s'écoule de la buse. L'opérateur doit étaler le cordon sur le joint préalablement préparé. Comme il s'agit d'un procédé manuel, c'est l'opérateur qui contrôle l'épaisseur du cordon étalé sur le joint à souder ainsi que l'alignement de la soudure. D'où la nécessité d'un personnel expérimenté.

Essais non destructifs (étanchéité)

Utilisés afin de s'assurer de la continuité et de l'étanchéité de la totalité des soudures construites sur 100 % de leur longueur.

a) Essai de pressurisation des soudures :

Pour réaliser cet essai, il faut sceller les extrémités du canal de la soudure à double fusion. Une aiguille creuse munie d'un manomètre est alors insérée dans le canal central à une des extrémités de la soudure, et branchée à une pompe manuelle pour injecter de l'air.

L'essai de pressurisation est exécuté en appliquant une pression d'air d'environ 210 kPa (30 psi) dans le canal de la soudure pendant cinq (5) minutes. La perte de pression d'air admissible est de 20 kPa (3 psi) ou moins selon la norme ASTM D5820. Après la période d'observation, la soudure est ouverte à l'extrémité opposée de l'aiguille pour vérifier que l'air s'en échappe et que la pression descend jusqu'à zéro. Toutes les perforations créées pour réaliser l'essai de pressurisation seront réparées puis contrôlées à l'aide de l'essai par la boîte à vide.

b) Essai de la boîte à vide :

Cet essai est utilisé partout où l'essai de pressurisation ne peut pas être appliqué pour des raisons pratiques: soudures très courtes, absence de canal central entre soudures, soudures par extrusion, etc.

L'essai par la boîte à vide est exécuté en maintenant une pression négative d'environ 35 kPa (5 lbs / po²) sur le chevauchement de la soudure pendant une période d'au moins cinq (5) secondes selon la norme ASTM D5641. S'il y a une perforation ou une discontinuité dans la zone sous observation, des bulles se formeront à cet endroit et pourront être détectées visuellement par l'observateur.

Essais destructifs (résistances mécaniques)

Utilisés pour permettre de mesurer les résistances mécaniques des soudures construites au pelage et au cisaillement.

Les soudures doivent résister aux efforts de cisaillement et aux elongations transmises à la géomembrane durant les étapes de construction et de mise en service. Ces efforts, résultent entre autres du poids des matériaux de recouvrement et engins, des contractions chimiques, de la pression hydrostatique, et du tassement des assises.

- *Essai de pelage* : permet de mesurer le degré d'adhésion d'une soudure;
- *Essai de cisaillement* : permet de mesurer la résistance de la soudure aux efforts d'allongement (essai de simulation des sollicitations réelles sur les ouvrages).

L'installateur de la géomembrane sous la supervision du responsable de l'assurance qualité procède à la vérification de la résistance mécanique au pelage et au cisaillement des soudures à double fusion ou à l'extrusion réalisée en chantier à l'aide d'un tensiomètre portatif calibré. En parallèle, la résistance mécanique de ces soudures est vérifiée en laboratoire externe par le responsable de l'assurance qualité afin de valider les résultats obtenus sur chantier. L'emplacement des essais destructifs de contrôle de la qualité est déterminé par le responsable de l'assurance qualité.

Réparation de la géomembrane

Toutes les perforations et déchirures doivent être réparées avec une pièce du même type de géomembrane sur la totalité des surfaces installées. La pièce de forme arrondie doit dépasser la défektivité d'au moins 150 mm dans toutes les directions. L'installateur doit arrondir les extrémités des défauts afin d'éviter de créer des points de faiblesse.

Avantage du programme d'assurance qualité :

- Surveillance indépendante et partage des responsabilités avec l'expert chargé de l'application du programme d'assurance qualité lors des travaux de construction;
- Expertise sur les matériaux et leur mise en place permettant de solutionner les problèmes qui peuvent survenir durant la construction;
- Impact très élevé sur la qualité des travaux et l'atteinte des performances ciblées des ouvrages réalisés;
- Évaluation de la qualité réelle des matériaux et équipements utilisés;
- Validation de la conformité des travaux par rapport aux spécifications des cahiers des charges et exigences réglementaires;
- Assure une performance de haut niveau du dispositif d'étanchéité en appliquant les techniques de détection de fuites.

4. Vérification de l'intégrité de la géomembrane – Méthodes de détection des fuites :

Afin d'attester l'intégrité de la géomembrane PeBDL prévue pour assurer la fonction d'étanchéité de la route de halage comprenant les fossés latéraux, nous prévoyons l'application de la méthode géoélectrique de détection de fuites par dipôle sur la géomembrane recouverte de la couche de sable drainant de 300 mm d'épaisseur et de l'empierrement 100-200 mm de 300 mm d'épaisseur au droit des fossés latéraux.

L'application des méthodes de détection géoélectrique de fuites permettront :

- de vérifier l'intégrité des géomembranes installées recouvertes de sols de recouvrement sur toutes leurs surfaces;
- de détecter la présence de perforations aussi petites que 6 mm de diamètre;

- d'assurer et d'atteindre une performance hydraulique maximale des géomembranes étanches.

Notre retour d'expériences vécues sur une multitude de projets d'étanchéité avec géomembrane nous a permis d'affirmer avec certitude que la mise en place des couches de recouvrement sur les géomembranes constitue la phase la plus critique ou la performance de la géomembrane installée peut être grandement affectée. De ce fait, l'application de la méthode de dipôle une fois la couche drainante de 300 mm d'épaisseur mise en place par-dessus la géomembrane sera d'un apport considérable pour assurer l'intégrité du système d'étanchéité avant sa mise en service.

Les risques de perforation d'une géomembrane durant l'étape de construction sont nombreux et peuvent provenir des poinçonnements et déchirures lors de l'installation et du recouvrement, des mauvaises soudures, des coups de couteau et de la circulation des camions et engins lors des travaux de recouvrement.

Les défauts d'usine lors de la fabrication de la géomembrane peuvent constituer une source de fuites à travers la géomembrane, même si ce risque demeure minime comparativement aux risques de perforation qui peuvent survenir durant l'étape de construction, indiqué précédemment.

Méthode du jet d'eau – Géomembrane exposée

La méthode de détection de fuites par la technologie du jet d'eau (selon la norme ASTM D7002 – « *Standard Practice for Leak Location on Exposed Geomembranes Using Water Puddle System* ») est appliquée pour permettre de détecter les potentielles perforations causées essentiellement par les défauts de fabrication, les dommages qui peuvent survenir lors de transport et entreposage et durant l'installation et soudures de la géomembrane.

Comme indiqué précédemment, les géomembranes qui seront utilisées lors de l'aménagement de la route de halage comprenant les fossés latéraux feront l'objet d'un suivi rigoureux durant toutes les étapes de construction (transport, entreposage temporaire sur chantier et installation finale) en appliquant le programme de contrôle et d'assurance qualité qui sera élaboré par le tiers expert.

Considérant la présence continue sur chantier du responsable de l'assurance qualité durant toutes les étapes d'installation des géomembranes, nous ne jugeons pas nécessaire, pour ce cas précis, l'application de la méthode de détection de fuites par jet d'eau.

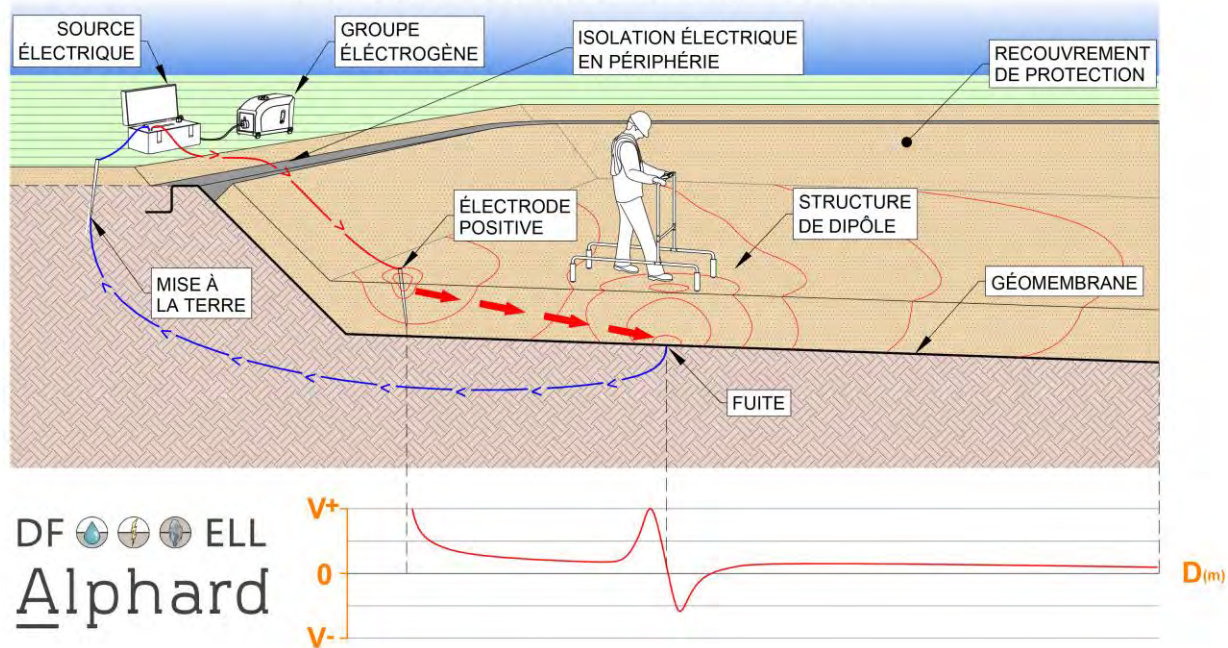
Méthode du dipôle – Géomembrane recouverte

Description :

La campagne de détection de fuites par la technique du dipôle (selon la norme ASTM D7007 – « *Standard Practices for Electrical Methods for Locating Leaks in Geomembranes Covered with Water or Earth Materials* ») permettrait de détecter les potentielles perforations causées par la mise en place des matériaux de recouvrement par-dessus la géomembrane.

La méthode géoélectrique du dipôle utilise la propriété d'isolation électrique de la géomembrane pour localiser des perforations (voir figure ci-après). Un voltage de l'ordre de 550 V continu est directement injecté dans le recouvrement de sable drainant, puis une mise à la terre est placée à l'extérieur du site afin d'obliger le courant électrique à passer par d'éventuelles fuites dans la géomembrane, générant ainsi un champ électrique typique identifiable en surface par le technicien qualifié. Cette technologie permet de détecter des perforations aussi petites que 6 mm de diamètre, et même moins lors de conditions de terrain idéales. La méthode de dipôle est applicable sur un recouvrement granulaire maximal de 1 m d'épaisseur.

ASTM-D7007 : DIPOLE



Limitations de la méthode du dipôle :

La méthode du dipôle requiert une humidité de surface sur le recouvrement pour permettre un bon contact entre l'appareil de lecture et le sol. Si la calibration sur le terrain démontre que le matériel est trop sec, une humidification de surface est requise. La méthode de dipôle n'est pas applicable lorsque le matériel au-dessus ou en dessous de la géomembrane est gelé, ou lorsque l'épaisseur du matériel de recouvrement est supérieure à 1 m. Afin d'assurer une meilleure qualité des ouvrages à réaliser, l'installation de la géomembrane et l'application de la méthode de dipôle doivent être planifiées avant le gel des sols.

Pour obtenir une qualité de signal optimale, le matériau de recouvrement mis en place sur la géomembrane doit être isolé électriquement du sol à l'extérieur du site, à l'aide d'une tranchée excavée (~ 0,5 m) sur toute la périphérie, qui expose la géomembrane et qui assure qu'il n'y ait aucun contact entre le matériau de recouvrement de la géomembrane et le matériel à l'extérieur. Si ce n'est pas le cas ou si ce n'est pas possible, la taille des fuites détectables sera plus grande en approchant les périphéries de la géomembrane (les petites fuites auront un signal trop faible par rapport aux pertes extérieures).

La géomembrane PeBDL prévue pour la route de halage comprenant les fossés latéraux sera exposée sur une largeur minimale de 0,5 m au droit de la crête de la berme externe longeant les fossés latéraux afin d'obtenir une qualité de signal optimale et ainsi permettre l'application de la méthode de dipôle une fois que la couche de drainage de 300 mm d'épaisseur sera mise en place sur la géomembrane.

Une brochure explicative détaillant les méthodes géoélectriques de détection de fuites et comprenant quelques statistiques et projets réalisés est jointe à l'annexe V du présent avis technique.

5. Suivi pendant l'exploitation :

Durant l'étape d'exploitation de la route de halage, un programme de suivi et d'entretien sera élaboré par le tiers expert et sera appliqué rigoureusement par l'exploitant du site. Le programme comprendra entre autres, les éléments suivants :

- Entretien préventif comprenant toutes activités à réaliser dont l'objectif est de prévenir la dégradation prématurée de la surface de roulement de la route de halage ou retarder sa détérioration (combler les dépressions mineures et maintenir les pentes latérales pour éviter toute accumulation d'eau sur la surface de roulement). Il vise à augmenter la durée de vie utile de la route de halage;
- Entretien correctif qui consiste à effectuer des interventions localisées à la suite de la découverte de défauts au droit de la route de halage (présence d'ornières sur la couche de roulement) qui nécessitent des travaux correctifs (apport de matériaux granulaires et recompressions des zones affectées);
- Campagnes d'arpentage périodiques de la couche de roulement le long de la route de halage pour vérifier les tassements qui pourraient survenir lors de l'exploitation du site;
- Bien qu'improbable, l'observation de tassements différentiels majeurs au droit de la route de halage pourrait affecter l'intégrité de la géomembrane. Dans ce cas précis, il est proposé de délimiter la zone affectée, procéder à l'enlèvement de la couche de roulement et d'une partie de la couche d'infrastructure afin de réduire l'épaisseur totale des matériaux granulaires au-dessus de la géomembrane d'au plus 1 000 mm d'épaisseur pour permettre l'utilisation de la méthode de détection de fuites par dipôle. La méthode du dipôle permettra de vérifier l'intégrité de la géomembrane et procéder à sa réparation dans le cas où une perforation est détectée;
- Suivi des niveaux et des paramètres chimiques de l'eau souterraine dans les puits d'observation localisés à proximité de la route de halage afin de détecter tout changement significatif pouvant indiquer une variation dans l'écoulement des eaux ou altération du système d'étanchéité de la route de halage.

8. RECOMMANDATIONS ET BONIFICATION PROPOSÉES AU CONCEPT

Constat et résumé des recommandations :

Comme décrit et discuté dans les sections précédentes, le concept de route de halage avec géomembrane proposé par le promoteur du projet est essentiellement acceptable. Toutefois, et afin de pallier certaines inquiétudes soulevées relativement au risque de rupture de la géomembrane dans les conditions rencontrées, Groupe Alphard recommande les mesures de mitigation ou actions suivantes :

Aspects géotechniques

Constat :

- La capacité structurale du chemin proposé est adéquate pour supporter les charges des camions lourds de type 777G. La contrainte verticale de 54 kPa calculée à 1,7 m de profondeur, soit au niveau de la géomembrane est relativement faible. La déflexion verticale anticipée au niveau de la géomembrane est non significative;
- L'effet du gel a peu d'influence sur le comportement de la chaussée. Le soulèvement global de la route est estimé à 29 mm;
- La compressibilité du sol organique (tourbe) que constitue le sol support de la route est importante, soit de l'ordre de 500 mm. La vitesse de tassement de la matière organique sous une charge élevée est réputée très rapide;

- En utilisant une consolidation par surcharge, plus de 80 % du tassement attendu pourrait être atteint au cours de la construction de la route. Le tassement secondaire ou résiduel de 20 % serait alors de l'ordre de 100 mm, ce qui est négligeable pour le fonctionnement et l'intégrité du système d'étanchéité.

Recommandations :

- Construire la route par étape. Utiliser une méthode de construction par consolidation par surcharge en mettant en place la couche de 1,5 m du remblai prévu pour l'infrastructure de la route. Prévoir une période d'attente minimale de 120 jours avant de poursuivre la construction de la route;
- Utiliser un remblai drainant directement sur la couche de sol organique afin d'assurer un drainage adéquat lors de la surcharge;
- Effectuer des essais géotechniques additionnels afin de valider les paramètres des matériaux et confirmer les hypothèses de tassement.

Géomembrane et drainage

Constat :

- D'un point de vue imperméabilité, durabilité, compatibilité chimique, résistance aux contraintes climatiques et mécaniques ainsi qu'aux déformations anticipées pour cet ouvrage, la géomembrane PeBDL de 1,5 mm d'épaisseur est adéquate pour cette application;
- Le drainage dans la couche au-dessus de la géomembrane est primordiale afin d'éviter la saturation de la structure de la chaussée et l'accumulation des liquides sur sa surface.

Recommandations :

- Mettre en place une couche drainante (sable drainant ou géocomposite de drainage) au-dessus de la géomembrane;
- Augmentation de la pente d'écoulement transversale du plan où sera installée la géomembrane;
- Utiliser une géomembrane PeBDL 1,5 mm texturée sur les 2 faces;
- S'assurer que les couches d'assise et de recouvrement de la géomembrane soient constituées de matériaux fins (< 10 mm). Une couche d'assise de faible perméabilité augmente de façon notable l'efficacité du système d'étanchéité;
- Déterminer la capacité hydraulique et dimensionner les fossés latéraux en considérant des événements de précipitations extrêmes de récurrences 1: 100 ans.

Mise en œuvre, construction et suivi

Constat :

- Le contrôle qualité des matériaux de remblai et des géosynthétiques utilisés pour la construction des ouvrages doit être rigoureusement appliqué;
- L'assurance-qualité par un tiers expert pendant l'installation des géosynthétiques et particulièrement celle des géomembranes est essentielle pour garantir la durabilité et l'étanchéité des produits géosynthétiques. Cette étape est cruciale pour le contrôle de la performance de l'ouvrage.

Recommandations :

- Préparer et appliquer un programme complet de contrôle et d'assurance qualité pour les matériaux de remblai et les géosynthétiques. S'assurer d'une présence continue d'un tiers expert pendant l'installation des matériaux;
- Vérifier l'intégrité de la géomembrane au moyen d'une campagne de détection de fuites par méthode géoélectrique sur la couche de recouvrement (dipôle);

- Pendant l'exploitation du chemin de halage, l'entretien préventif de la surface de roulement, la vérification périodique des profiles et élévations des ouvrages et le suivi des paramètres chimiques de l'eau souterraine des puits d'observation situés à proximité devraient faire partie intégrante du programme de suivi.

Coupe-type modifié du chemin de halage :

À partir des principales recommandations formulées dans ce document, Groupe Alphard propose une coupe type bonifiée du concept de route de halage présentée pour autorisation. L'aire de circulation de la route de halage étanche proposée par Alphard comprendrait de bas vers le haut les éléments suivants (cette coupe-type modifiée est présentée à l'annexe III) :

- Un remblai de fondation composé de tout-venant constitué de sable et gravier provenant du décapage des sols de surface lors de l'aménagement de la mine. Celui-ci sera déposé sur le sol naturel sur une épaisseur allant jusqu'à 1 500 mm. Le poids de ce remblai jumelé à sa capacité de drainage permettra d'induire le tassement de la couche de tourbe dans un délai rapide;
- Une couche de matériaux granulaires fins de 300 mm d'épaisseur servant d'assise à la géomembrane et comportant des pentes latérales d'au moins 4 %;
- Une géomembrane en PeBDL (polyéthylène basse densité linéaire) texturée sur les deux faces de 1,5 mm d'épaisseur;
- Une couche de sable drainant de 300 mm d'épaisseur servant de protection à la géomembrane, mais favorisant spécialement le drainage de la structure du chemin vers les fossés latéraux;
- Une couche d'infrastructure de 1 000 mm d'épaisseur de stériles tout-venant de calibre 0-300 mm;
- Une couche de roulement de 400 mm d'épaisseur de stériles concassés de calibre 25-100 mm.

Des bermes latérales du chemin de halage seront constituées de stériles tout-venant de calibre 0-300 mm munies d'ouvertures pour permettre le drainage vers les fossés latéraux de part et d'autre de la route de halage.

L'étanchéité des fossés de drainage serait constituée du prolongement de la géomembrane PeBDL située sous la structure de la route. Celle-ci serait ancrée dans la berme extérieure du fossé. Un géotextile de protection placé en-dessous et au-dessus de la géomembrane dans les fossés protégerait la géomembrane contre les risques de poinçonnement engendrés par la couche supérieure de protection en empierrement 100-200 mm. Enfin, un géotextile de séparation installé au niveau du radier du fossé viendrait réduire le risque de lessivage de la couche de sable drainant.

Quantités de matériaux :

Les quantités de matériaux évaluées pour cette section de route de halage proposée par Alphard sont évaluées approximativement à :

- un remblai de fondation de tout-venant : 310 000 m³ (épaisseur moyenne 1 500 mm, incluant bermes des fossés et tassements anticipés de l'ordre de 500 mm);
- des matériaux granulaires fins pour l'assise de la géomembrane: 30 000 m³;
- une géomembrane PeBDL 1,5 mm texturée : 120 000 m² (incluant fossés);
- du sable drainant de 300 mm au-dessus de la géomembrane : 30 000 m³;
- des stériles tout-venant 0-300 mm : 135 000 m³ (incluant bermes);
- des stériles calibre 25-100 mm : 21 000 m³;

- un géotextile de séparation (fossés latéraux) : 40 000 m²;
- un géotextile de protection (fossés latéraux) : 32 000 m².

Ces quantités ont été estimées en considérant une route de halage de 2 km de longueur et une largeur hors-tout (emprise sur le terrain naturel du chemin, des bermes et des fossés) de 70 m. Une largeur de 26 m est prévue uniquement pour la surface de circulation.

Exemple de routes avec géomembrane :

Une plateforme destinée à supporter la circulation de camions, stabilisée avec des géocellules et pour laquelle une section a été étanchée par géomembrane a été installée sur la station de compression de Blainville (Québec) opérée par TC Energy. La plateforme de 200 x 250 m est située sur une tourbière, et une route non pavée de 4,1 km a été construite pour en permettre l'accès. L'installation a été faite de novembre 2020 à février 2021 par Construction MACO avec le support de Paradox Access Solutions.

En outre, les géomembranes sont couramment utilisées dans les structures de chaussées asphaltées pour protéger les blocs de polystyrène utilisés pour la construction d'appuis de pont sur sols de faible portance.

Opportunités d'amélioration :

La création d'une structure de route constituée exclusivement de matériaux granulaires est une solution fiable et éprouvée, répondant précisément aux règles de l'art contemporaines. Cependant, dans un contexte moderne où la préservation de l'environnement est devenue une préoccupation de premier plan tant du point de vue de la qualité des eaux souterraines que de l'émission de gaz à effet de serre, l'utilisation de certains matériaux géosynthétiques devrait être considérée. En plus de réduire la consommation de matériaux granulaires, certains d'entre eux permettent de disposer de plus de flexibilité sur la qualité desdits matériaux granulaires, tout en permettant une réduction substantielle de la durée des travaux.

Dans le contexte spécifique de ce projet, on peut notamment souligner l'opportunité d'utiliser des géocellules dans la structure de l'ouvrage : d'une part à la base du remblai, et d'autre part au-dessus de la géomembrane. Cette technologie permettrait de réduire dans une proportion pouvant aller jusqu'à 50 % de l'épaisseur de matériaux granulaires requise, à performance équivalente, et ce pour toutes les couches de la structure : remblai, fondation et couche de roulement. De nombreuses études de cas supportant cette technologie ont été publiées, un bon nombre d'entre elles étant des applications minières dans le Nord Canadien, avec un produit constitué de Neoloy, un polyéthylène modifié.

En réduisant la surcharge de remblai, l'installation de géocellules permet aussi de réduire les risques de tassements différentiels, et augmente donc la performance de la structure sur toute sa durée de vie. Elles permettent en outre l'utilisation de matériaux de moindre qualité pour des applications structurales, limitant les besoins d'importation ou de préparation de granulats de qualité adéquate.

Une conséquence de la réduction de l'épaisseur de granulats issus de l'utilisation de géocellules est aussi la réduction substantielle des émissions de gaz à effet de serre associées à l'implantation de structures routières (WRAP, 2010; Raja *et al.*, 2015; Dixon *et al.*, 2017). Des réductions de l'ordre de 40 % ont été documentées pour des applications dans le Nord Canadien (Shenouda *et al.*, 2021).

Des bénéfices semblables sont aussi associés à l'utilisation de géocomposites de drainage, lesquels permettent d'éviter l'utilisation de matériaux granulaires de haute qualité pour remplir une fonction drainante. On notera tout particulièrement l'intérêt du géocomposite multilinéaire de type « Drintube », dont la structure constituée d'une série de tuyaux perforés de petit diamètre sécurisés entre deux géotextiles procure une capacité drainante élevée sans introduire de couche compressible dans la structure de chaussée.

9. CONCLUSION

À la lumière des différentes considérations abordées dans ce document, Groupe Alphard soutient que l'utilisation d'une géomembrane dans la conception de la route de halage pour la Mine Galaxy Lithium Baie James préviendra efficacement la contamination des eaux souterraines. L'ensemble des inquiétudes soulevées lors de l'analyse du dossier a été évalué et certaines mesures correctives et préventives ont été exposées.

En ce sens, Groupe Alphard émet quelques recommandations visant à bonifier le concept initial et à répondre à certains enjeux signalés; l'objectif ultime étant de réduire ou éliminer les différents risques pouvant compromettre l'intégrité de l'étanchéité de l'ouvrage au courant de sa construction et tout au long de son exploitation. Parmi les principales recommandations, notons :

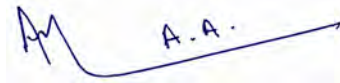
- afin d'engendrer la majorité des tassements dans la couche de tourbe à la surface du terrain naturel avant la construction de la fondation de la route et du système étanche, préconiser la mise en place d'un matériau drainant et du remblai de l'infrastructure de la route dans une première étape de construction;
- opter pour une géomembrane PeBDL de 1,5 mm d'épaisseur nominale texturée sur les 2 faces;
- mettre en place un matériau drainant et augmenter la pente transversale au-dessus de la géomembrane;
- appliquer un programme rigoureux de contrôle et d'assurance-qualité lors de l'installation des géosynthétiques;
- mettre en œuvre une campagne de détection des fuites sur la géomembrane recouverte au moyen d'une méthode géoélectrique normalisée par l'ASTM;
- valider les hypothèses d'évaluation des tassements sur l'horizon de tourbe au moyen d'essais géotechniques;
- calculer la capacité des fossés latéraux en fonction d'une récurrence de précipitation de 1 : 100 ans.

En espérant le tout conforme à vos attentes, nous vous remercions de la confiance témoignée.

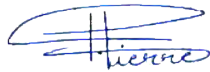
Veuillez agréer, Madame Amyot, l'expression de nos sentiments les meilleurs.



Jean-François Bélanger, ing.
Directeur de projets, Ingénierie environnementale



Ahcene Ait Mekourta, ing.
Directeur de projets, Construction

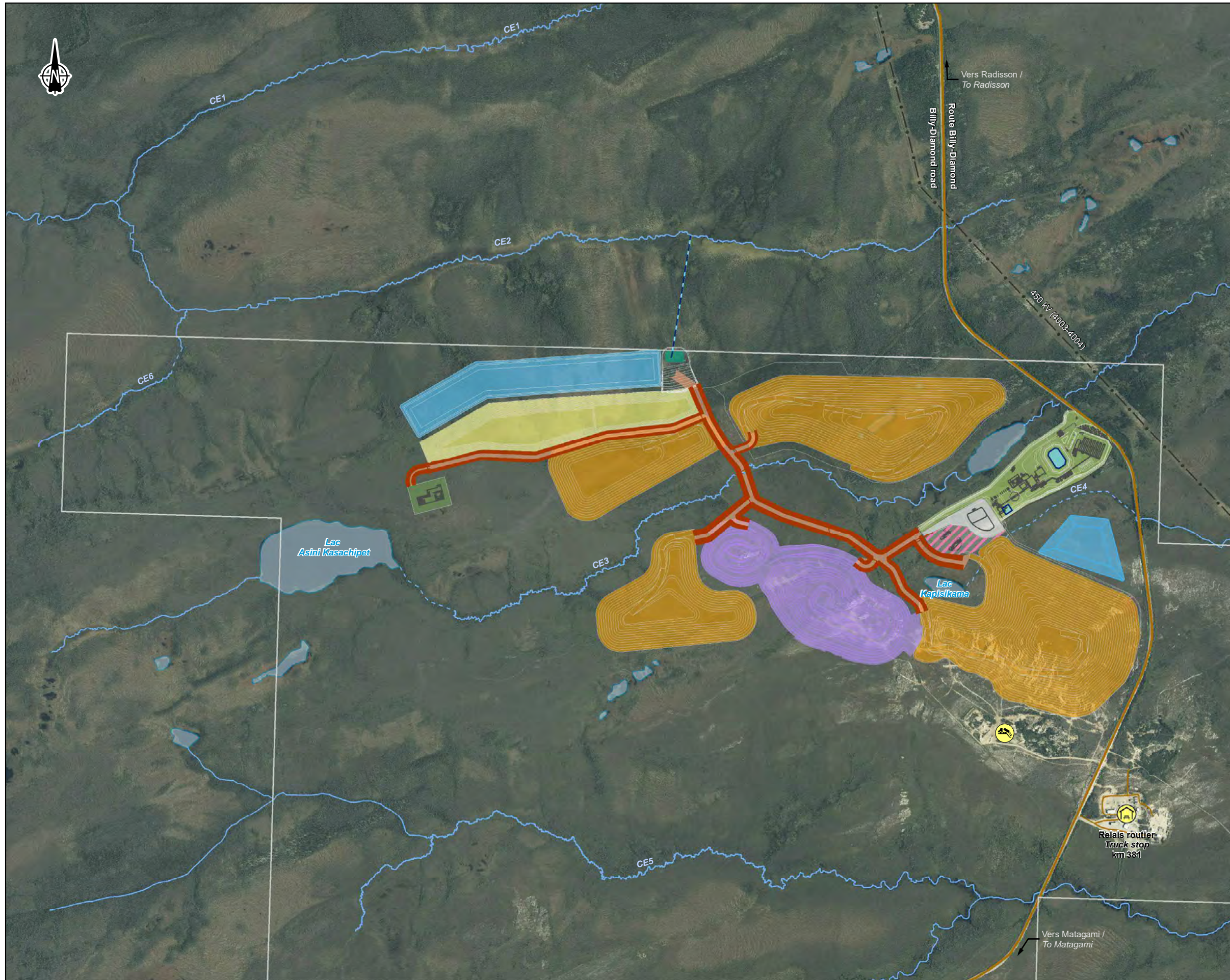


Pascale Pierre, ing., Ph.D.
Directrice de projets, Ingénierie environnementale



Éric Blond, ing., M. Sc. A.
Ingénieur sénior, Expert matériaux géosynthétiques

Annexe I Figures de localisation des installations minières et de
la route de halage avec géomembrane



- Limite de propriété / Property limit
- Composantes du projet / Project Component**
- Route / Road
- Effluent minier / Mine effluent
- Usine de traitement de l'eau / Water treatment plant
- Secteur administratif et industriel / Administrative and industrial sector
- Fosse / Pit
- Halde à minerai / ROM pad
- Halde à stériles / Waste rock stockpile
- Halde à matières organiques et dépôts meubles / Overburden and peat storage facility
- Entrepôt à explosifs / Explosives magazine
- Aire d'entreposage / Dry storage area
- Usine à béton (temporaire) / Concrete batch plant (temporary)
- Bassin de rétention d'eau / Water retention basin

- Infrastructures / Infrastructure**
- Route principale / Main road
- Route d'accès / Access road
- Ligne de transport d'énergie / Transmission line
- 🚚 Relais routier / Truck stop
- 🗑️ Lieu d'enfouissement technique isolé / Isolated technical landfill

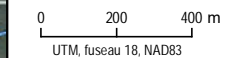
- Hydrographie / Hydrography**
- CE3 Numéro de cours d'eau / Stream number
- Cours d'eau permanent / Permanent stream
- Cours d'eau à écoulement diffus ou intermittent / Intermittent or diffused flow stream
- Plan d'eau / Waterbody



Mine de lithium Baie-James / James Bay Lithium Mine

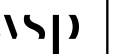
Carte / Map 1
Aménagement du site minier /
Mine Site General Arrangement

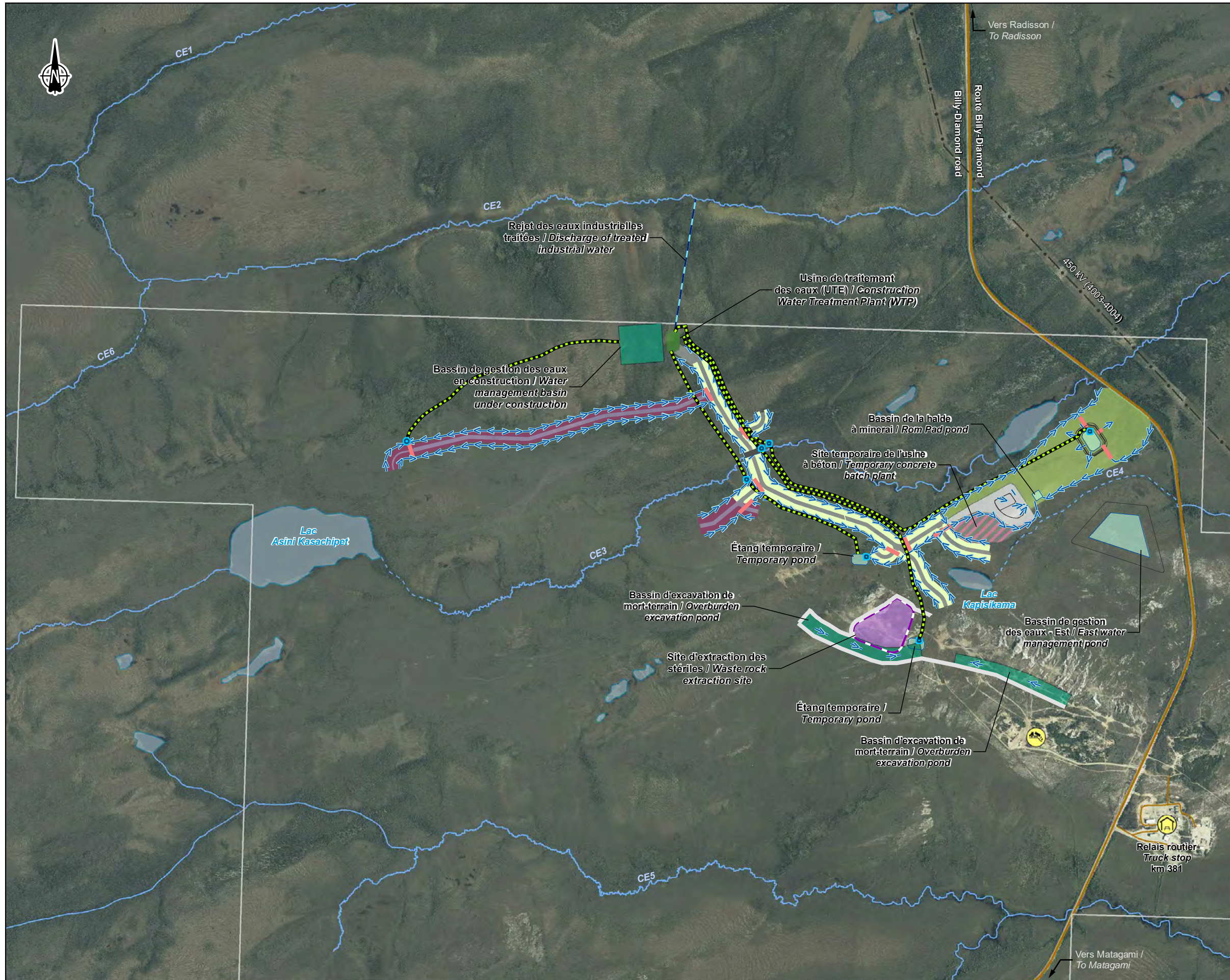
Sources :
 Othoimage : Microsoft Bing (ESRI, 2017)
 Gestim : MRNF Québec, 210315
 Données du projet / Project data : Galaxy 2020



Mars / March 2022

Dessin : A. Masson
 Approbation : C. Martineau
 201-12362-00_c1_wspT304mod_mine_GA_220308.mxd





Limite de propriété / Property limit

Composantes du projet / Project Component

- Assise de route / Road foundation
- Route (membrane installée) / Road (membrane installed)
- Secteur administratif et industriel / Administrative and industrial sector
- Halde à minéral / ROM pad
- Aire d'entreposage / Dry storage area
- Bassin / Basin
- Ponceau / Culvert
- Effluent minier / Mine effluent
- Tuyau de collecte des eaux de ruissellement / Stormwater collection pipe
- Station de pompage temporaire / Temporary pump station
- Sens d'écoulement des eaux / Direction of water flow

Infrastructures / Infrastructure

- Route principale / Main road
- Route d'accès / Access road
- Ligne de transport d'énergie / Transmission line
- Relais routier / Truck stop
- Lieu d'enfouissement technique isolé / Isolated technical landfill

Hydrographie / Hydrography

- CE3 Numéro de cours d'eau / Stream number
- Cours d'eau permanent / Permanent stream
- Cours d'eau à écoulement diffus ou intermittent / Intermittent or diffused flow stream
- Plan d'eau / Waterbody

GALAXY
 Mine de lithium Baie-James / James Bay Lithium Mine

Carte / Map 4-9 REV
Gestion des eaux en phase de construction – Mois 6 /
Water management during the construction phase – Month 6

Sources :
 Othoimage : Galaxy, août 2017
 Gestim : MRNF Québec, 210315
 Données du projet / Project data : Galaxy 2021

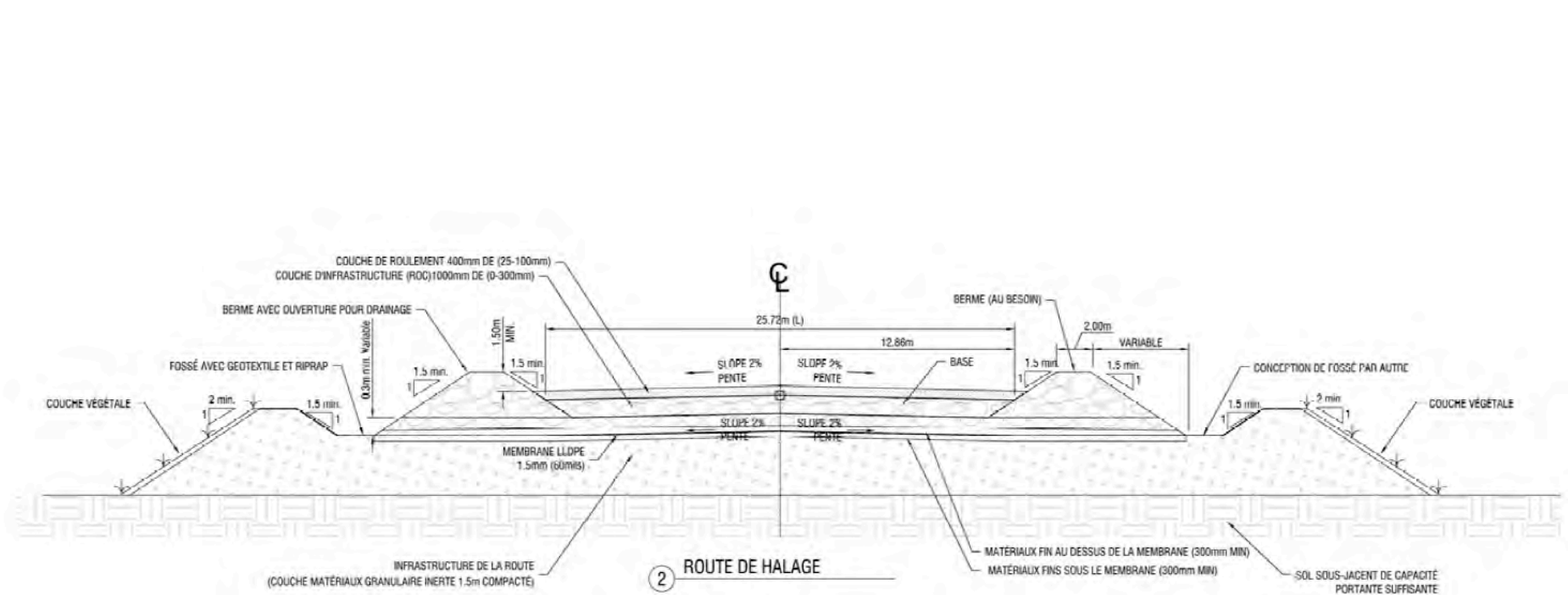
0 185 370 m
 UTM, fuseau 18, NAD83

Mars / March 2022

Dessin : A. Masson
 Approbation : D. Thiffault
 201-12362-00_c4-9_REV_wspT381_ges_eau_mois6_220331.mxd

wsp

Annexe II Coupe type du chemin de halage – Concept de GMining














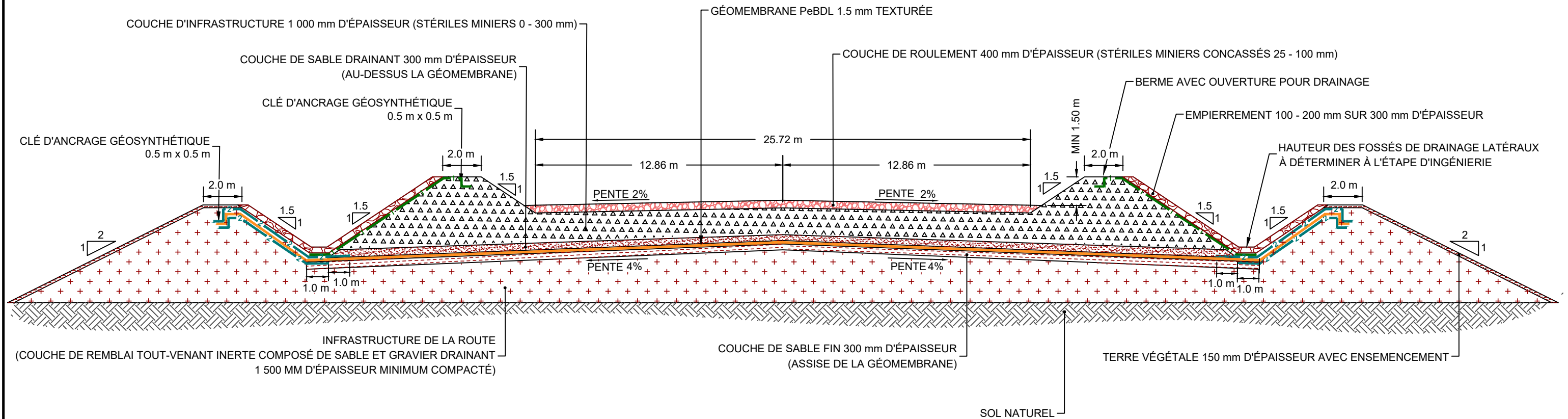
Source : GMining Services, 2022


COUPE-TYPE DE LA ROUTE DE HALAGE - CONCEPT GMining

Annexe III Coupe type du chemin de halage – Proposée par Alphard

LÉGENDE:

-  GÉOTEXTILE DE SÉPARATION TYPE 1
-  GÉOTEXTILE DE PROTECTION TYPE 2
-  GÉOMEMBRANE PeBDL 1.5 mm TEXTURÉE DES DEUX FACES
-  SABLE FIN
-  SABLE DRAINANT
-  EMPIERREMENT 100 - 200mm
-  TERRE VÉGÉTALE
-  COUCHE D'INFRASTRUCTURE (STÉRILES MINIERS 0 - 300 mm)
-  COUCHE DE ROULEMENT (STÉRILES MINIERS CONCASSÉS 25 - 100 mm)
-  REMBLAI TOUT-VENANT DRAINANT INERTE
-  SOL NATUREL



 Alphard alphard.com	PROJET: ROUTE DE HALAGE MINE LITHIUM BAIE-JAMES	COUPE TYPE ROUTE DE HALAGE PROPOSÉE	
	SOURCE: G MINING SERVICES, 2022	PAGE: FIGURE 1 DE 1	ANSI B

Annexe IV Programme type d'assurance et de contrôle qualité des géosynthétiques



Programme d'assurance
et de contrôle qualité
des géosynthétiques
ALLKEM (Galaxy)

N° de projet : GAL-002
Mai 2022
Version pour avis technique

Alphard

Alphard

ALLKEM (Galaxy)

Route de halage – Mine Galaxy Lithium Baie-James

Annexe 4 : Programme d'assurance et de contrôle qualité des géosynthétiques
N/Réf. : GAL-002-RAP-R00

Version pour : Avis technique

Préparé par :

Ahcene Ait Mekourta, ing.
Directeur de projets, construction
N° OIQ: 140952

Approuvé par :

Jean-François Bélanger, ing.
Directeur de projets, ingénierie environnementale
N° OIQ: 119098

Table de matières

1	Conditions générales	7
1.1	Définitions	7
1.1.1	Assurance qualité.....	7
1.1.2	Contrôle de la qualité	7
1.2	Intervenants	7
1.2.1	Maitre d'œuvre	7
1.2.2	Maitre de l'ouvrage ou propriétaire.....	7
1.2.3	Installateur	7
1.2.4	Entrepreneur général	7
1.2.5	Manufacturier.....	7
1.2.6	Concepteur.....	8
1.2.7	Responsable de l'assurance qualité	8
1.2.8	Laboratoire pour les essais sur les géosynthétiques	8
1.3	Étendue du programme	8
1.3.1	Contrôle de la qualité	8
1.3.2	Assurance qualité.....	9
1.3.2.1	<i>Géomembranes.....</i>	<i>9</i>
1.3.2.2	<i>Géotextiles, géofilets géocomposites de drainage et géocomposites bentonitiques.....</i>	<i>9</i>
1.4	Normes, méthodes et procédures	9
1.5	Réunions.....	10
1.5.1	Réunion préconstruction	10
1.5.2	Réunion de démarrage	10
1.5.3	Réunion hebdomadaire	10
2	Qualification des manufacturiers et de l'installateur des géosynthétiques	11
2.1	Manufacturier des géosynthétiques	11
2.2	Installateur des géosynthétiques	11
2.2.1	Contremaitre.....	11
2.2.2	Soudeurs.....	11
2.2.3	Responsable du contrôle de la qualité	12
3	Informations à fournir par l'installateur	13
3.1	Échéancier et plan de travail	13
3.2	Plan d'assemblage des géomembranes	14
3.3	Dessins d'atelier.....	14
3.4	Programme de contrôle de la qualité	14
3.5	Programme de santé et sécurité au travail.....	14

3.6	Compétences et organigramme du personnel	14
3.7	Documentation des manufacturiers de géosynthétiques	14
3.7.1	Échantillons préapprobation.....	14
3.7.2	Garantie du manufacturier.....	15
3.7.3	Liste des rouleaux de géosynthétiques et certificats de conformité.....	15
3.8	Certificat d'étalonnage du tensiomètre.....	15
3.9	Capacité de charge du palonnier	15
3.10	Acceptation des assises.....	15
3.11	Acceptation des assemblages de géosynthétiques	15
3.12	Rapport final de contrôle qualité en chantier	16
4	Informations fournies par le responsable de l'assurance qualité	17
5	Documentation de l'assurance qualité.....	18
5.1	Rapports en chantier.....	18
5.2	Rapport final	18
6	Essais de conformité (assurance qualité)	20
6.1	Essais sur les géomembranes	20
6.2	Essais sur les géotextiles.....	21
6.3	Essais sur les géofilets ou géocomposites de drainage	22
6.4	Essais sur les géocomposites bentonitiques.....	23
6.5	Vérification des résultats	24
6.6	Résultats non conformes et essais supplémentaires	24
7	Procédures générales.....	25
7.1	Documentation	25
7.2	Assemblage en usine	25
7.3	Transport et manutention	25
7.4	Réception au chantier.....	25
7.5	Aire d'entreposage	26
7.6	Procédures d'installation générales.....	26
7.6.1	Techniques acceptables	26
7.6.2	Inspection des équipements.....	27
7.6.3	Installation sur une pente	27
7.6.4	Assise	28
7.6.5	Circulation sur les géosynthétiques.....	28
7.6.6	Acceptation des couches de géosynthétiques.....	28
7.6.7	Conditions défavorables.....	29
7.6.8	Protection contre le vent	29
7.6.9	Méthodes de travail particulières	29

7.7	Visite de chantier du manufacturier	30
8	Géomembranes – Installation et contrôle	31
8.1	Installation des géomembranes	31
8.1.1	Acceptation des assemblages.....	31
8.1.2	Respect du plan d’assemblage	31
8.1.3	Procédure initiale d’assemblage.....	31
8.1.4	Restriction.....	31
8.1.5	Conditions météorologiques (normales)	32
8.1.6	Conditions particulières en période hivernale pour les géomembranes en polyéthylène (Pe)	32
	8.1.6.1 Essais de calibrage	33
	8.1.6.2 Essais de contrôle destructifs.....	33
8.1.7	Ancrage	33
8.1.8	Chevauchement.....	33
	8.1.8.1 Sens des chevauchements.....	33
	8.1.8.2 Largeur des chevauchements.....	34
	8.1.8.3 Propreté des chevauchements.....	34
8.1.9	Identification des panneaux (laizes)	34
8.1.10	Suivi des travaux de soudure.....	34
8.1.11	Documentation	35
8.2	Correction des déficiences.....	35
8.2.1	Réparation, réfection ou remplacement.....	35
8.2.2	Acceptation des réparations.....	36
8.2.3	Réparations supplémentaires	36
8.2.4	Documentation	36
8.3	Contrôle et essais de vérification de l’installation des géomembranes	37
8.3.1	Essais de calibrage.....	37
	8.3.1.1 Échantillons.....	37
	8.3.1.2 Fréquence	38
	8.3.1.3 Conditions	38
	8.3.1.4 Exigences.....	38
8.3.2	Essais de contrôle non destructifs	41
	8.3.2.1 Techniques acceptables.....	41
	8.3.2.2 Documentation.....	42
8.3.3	Essais de contrôle destructifs	42
	8.3.3.1 Fréquence	42
	8.3.3.2 Lieux des prélèvements.....	42
	8.3.3.3 Prélèvements.....	43
	8.3.3.4 Résultats acceptables.....	43
	8.3.3.5 Résultats inacceptables	44
	8.3.3.6 Résultats contradictoires lors des essais en laboratoire	44
	8.3.3.7 Documentation.....	44
8.3.4	Essais destructifs en laboratoire (assurance qualité)	45

9	Géotextiles – Installation et contrôle	46
9.1	Installation des géotextiles	46
9.1.1	Suivi du responsable de l'assurance qualité	46
9.1.2	Mise en place	46
9.1.3	Ancrage	46
9.1.4	Chevauchement	46
	9.1.4.1 Sens des chevauchements	46
	9.1.4.2 Largeur des chevauchements	46
9.1.5	Assemblage	47
	9.1.5.1 Coutures	47
	9.1.5.2 Autres méthodes	47
9.1.6	Inspection visuelle	47
9.1.7	Réparations	47
9.2	Essais destructifs de vérification au laboratoire externe	47
10	Géofilet et géocomposite de drainage – Installation et contrôle	49
10.1	Suivi du responsable de l'assurance qualité	49
10.2	Mise en place	49
10.3	Colmatage	49
10.4	Ancrage	49
10.5	Chevauchement	50
	10.5.1 Sens des chevauchements	50
	10.5.2 Largeur des chevauchements	50
10.6	Assemblage	50
	10.6.1 Géofilet	50
	10.6.2 Géotextile (pour le géocomposite de drainage seulement)	50
10.7	Inspection visuelle	50
10.8	Réparations	50
11	Géocomposite bentonitique – Installation et contrôle	52
11.1	Suivi du responsable de l'assurance qualité	52
11.2	Mise en place	52
11.3	Ancrage	52
11.4	Chevauchement	52
	11.4.1 Sens des chevauchements	52
	11.4.2 Largeur des chevauchements	52
11.5	Assemblage	53
	11.5.1 Bentonite en poudre	53
11.6	Inspection visuelle	53
11.7	Réparations	53

Liste des figures

Figure 1 :	Dimensions des échantillons de géomembrane PeHD ou PeBD pour les essais de conformité	21
Figure 2 :	Dimensions des échantillons de géotextile pour les essais de conformité	22
Figure 3 :	Dimensions des échantillons de géofilet ou géocomposite de drainage pour les essais de conformité.....	23
Figure 4 :	Dimensions des échantillons de géocomposite bentonitique pour les essais de conformité	24
Figure 5 :	Patron de déploiement acceptable des géosynthétiques dans les talus et au pied de talus	27
Figure 6 :	Patron de déploiement acceptable des géosynthétiques dans les talus et au pied de talus	28
Figure 7 :	Chevauchement des géomembranes et géosynthétiques selon le sens d'écoulement des eaux	34
Figure 8 :	Réparation-type d'une géomembrane	36
Figure 9 :	Méthode de prélèvement des éprouvettes de soudure pour les essais de calibrage	38
Figure 10 :	Types de ruptures d'une soudure à double fusion	39
Figure 11 :	Types de ruptures d'une soudure par extrusion.....	40
Figure 12 :	Méthode de prélèvement des éprouvettes de soudures pour les essais de contrôle destructifs.....	43

Liste des tableaux

Tableau 1 :	Fréquence des essais de calibrage selon la température de la géomembrane	32
-------------	--	----

PROPRIÉTÉ ET CONFIDENTIALITÉ

« Ce document d'ingénierie est la propriété de Groupe Alphard et est protégé par la loi. Ce rapport est destiné exclusivement aux fins qui y sont mentionnées. Toute reproduction ou adaptation, partielle ou totale, est strictement prohibée sans avoir préalablement obtenu l'autorisation écrite de Groupe Alphard et de son Client.

Si des essais ont été effectués, les résultats de ces essais ne sont valides que pour l'échantillon décrit dans le présent rapport.

Les sous-traitants de Groupe Alphard qui auraient réalisé des travaux au chantier ou en laboratoire sont dûment qualifiés. Pour toute information complémentaire ou de plus amples renseignements, veuillez communiquer avec votre chargé de projet. »

REGISTRE DES RÉVISIONS ET ÉMISSIONS

Date	Révision n°	Description de la modification et/ou de l'émission
2022-05-06	00	Avis technique – Route de halage

1 Conditions générales

1.1 Définitions

1.1.1 Assurance qualité

L'ensemble des actions et moyens pris pour assurer la conformité des méthodes de construction et des matériaux. Ces services sont rendus généralement par le consultant (responsable) en assurance qualité.

1.1.2 Contrôle de la qualité

L'ensemble des actions et moyens pris pour mesurer les caractéristiques d'un élément de manière à ce qu'il réponde aux exigences du cahier des charges. Ces services sont rendus généralement par l'installateur des matériaux géosynthétiques.

1.2 Intervenants

1.2.1 Maître d'œuvre

Personne physique ou morale qui, pour sa compétence technique, est chargée par le maître de l'ouvrage de contrôler l'exécution des travaux et proposer leur réception et leur règlement. Le maître de l'ouvrage peut parfois agir en tant que maître d'œuvre.

1.2.2 Maître de l'ouvrage ou propriétaire

Personne physique ou morale pour le compte de laquelle les travaux ou les ouvrages sont exécutés.

1.2.3 Installateur

Entreprise retenue ou ses représentants, comme partie contractante avec le maître de l'ouvrage ou l'entrepreneur, et qui a la responsabilité de l'exécution des travaux relatifs à la pose des géosynthétiques.

1.2.4 Entrepreneur général

Entreprise retenue ou ses représentants, comme partie contractante avec le maître de l'ouvrage, et qui a la responsabilité de l'exécution et de la sécurité de l'ensemble des travaux. L'entrepreneur général est habituellement responsable de la préparation des surfaces sur lesquelles les géosynthétiques sont posés ainsi que la mise en place des matériaux granulaires constituant les couches de drainage et de protection du système d'imperméabilisation.

1.2.5 Manufacturier

Le manufacturier est l'intervenant responsable de la production en usine des géosynthétiques.

1.2.6 Concepteur

Le concepteur est l'intervenant responsable de la conception de l'ouvrage impliquant l'utilisation de géosynthétiques et de la préparation des plans et des cahiers des charges.

1.2.7 Responsable de l'assurance qualité

Entreprise qui a la responsabilité de l'application du programme d'assurance qualité sur les géosynthétiques et de la surveillance des travaux lors de leur installation. Le responsable de l'assurance qualité peut être le maître d'œuvre, l'entrepreneur ou une entreprise externe. Il se doit d'être indépendant de l'installateur, de ses sous-traitants et des manufacturiers.

1.2.8 Laboratoire pour les essais sur les géosynthétiques

Le laboratoire pour les essais sur les géosynthétiques est l'intervenant (indépendant du maître de l'ouvrage, du maître d'œuvre, du manufacturier et de l'installateur) responsable des différents essais de conformité en laboratoire sur les échantillons de géosynthétiques prélevés en chantier.

1.3 Étendue du programme

1.3.1 Contrôle de la qualité

Le programme de contrôle de la qualité de l'installateur de géosynthétiques doit se conformer aux exigences du présent document.

Dans les limites du présent document et durant toute la période de construction, l'installateur sera tenu de réaliser ou de faire réaliser certains essais sur le travail accompli et sur tous les matériaux et équipements fournis ou utilisés afin de compléter l'ouvrage, conformément au cahier des charges.

Le programme de contrôle de la qualité s'applique à la fourniture et l'installation des géosynthétiques, qui sont soumises aux exigences minimales des contrôles de qualité suivantes :

- Fourniture des certificats de conformité des matériaux géosynthétiques (en usine);
- Fourniture des certificats d'étalonnage du tensiomètre;
- Inspection et acceptation des assises avec le responsable de l'assurance qualité;
- Réalisation des essais de calibrage des équipements de soudure;
- Inspection de la mise en place des matériaux géosynthétiques;
- Inspection visuelle des soudures des géomembranes et autres assemblages des géosynthétiques;
- Essais non destructifs de vérification des soudures;
- Essais destructifs de résistance mécanique des soudures;
- Inspection finale.

1.3.2 Assurance qualité

Les travaux concernant le programme d'assurance qualité incluent, sans s'y limiter, les éléments suivants :

- Gestion et vérification de la documentation soumise par le manufacturier et l'installateur;
- Suivi de l'installation des matériaux géosynthétiques;
- Réalisation d'essais de vérification en chantier et en laboratoire;
- Préparation et soumission des rapports requis.

Durant toute l'étendue des travaux, le responsable de l'assurance qualité peut réaliser ou faire réaliser des essais sur le travail accompli et sur tous les matériaux et équipements fournis ou utilisés par l'installateur, et ce, conformément aux exigences du présent document ou du cahier des charges.

La fourniture et l'installation des géosynthétiques sont sujettes aux procédures d'assurance qualité suivantes :

1.3.2.1 Géomembranes

- Vérification des documents de contrôle de la qualité;
- Réalisation des essais de conformité des matériaux en laboratoire externe;
- Vérification des essais de calibrage des équipements de soudure;
- Inspection et acceptation conjointe des assises avec l'installateur;
- Vérification de l'installation et des soudures;
- Vérification des essais non destructifs;
- Vérification des essais destructifs;
- Inspection finale.

1.3.2.2 Géotextiles, géofilets géocomposites de drainage et géocomposites bentonitiques

- Vérification des documents de contrôle de la qualité;
- Essais de conformité des matériaux en laboratoire externe;
- Vérification de l'installation et des assemblages;
- Inspection finale.

1.4 Normes, méthodes et procédures

Toute inspection, tout contrôle et toutes les méthodes d'essais doivent respecter les pratiques reconnues. De plus, ils doivent respecter les normes, méthodes et procédures de l'American Society for Testing and Materials (ASTM), de l'Office des Normes Générales du Canada (ONGC) et du Geosynthetic Research Institute (GRI), lesquelles doivent être utilisées selon le matériau spécifique.

1.5 Réunions

1.5.1 Réunion préconstruction

Une réunion de préconstruction doit être tenue avant le début des travaux de construction. L'installateur, le responsable de l'assurance qualité, le concepteur et le maitre d'œuvre doivent être présents à cette réunion.

L'objectif de cette réunion est de planifier les différentes étapes et méthodes de construction et d'installation des géosynthétiques, de valider l'échéancier, de réviser les responsabilités de chaque intervenant, de présenter le programme d'assurance qualité et d'effectuer une visite du chantier.

Un procès-verbal de cette réunion est produit par le maitre d'œuvre et distribué à tous les participants.

1.5.2 Réunion de démarrage

La réunion de démarrage doit être tenue avant les travaux d'installation des géosynthétiques et pourra être combinée au besoin avec la réunion préconstruction. L'installateur, le responsable de l'assurance qualité, le concepteur, ainsi que l'entrepreneur général devront être présents à cette réunion. Les points de discussion devront comprendre, sans s'y limiter, la révision des responsabilités de chaque intervenant, les lignes de communication et les différents éléments nécessaires à la bonne exécution des travaux d'installation des géosynthétiques.

Un procès-verbal de cette réunion sera produit par le maitre d'œuvre et distribué à tous les participants.

1.5.3 Réunion hebdomadaire

Une réunion hebdomadaire doit être tenue en la présence de l'installateur, du responsable de l'assurance qualité, du concepteur, du maitre d'œuvre, de l'entrepreneur général et de tous les autres intervenants concernés.

Durant cette réunion, des discussions sur les problèmes rencontrés en chantier ou sur la révision des procédures de travail ou autre pourront être soulevées.

Un procès-verbal de cette réunion est produit par le maitre d'œuvre et distribué à tous les participants.

Par ailleurs, le responsable de l'assurance qualité peut décider de tenir des réunions supplémentaires ou des discussions auxquelles toutes les autres personnes concernées doivent assister.

2 Qualification des manufacturiers et de l'installateur des géosynthétiques

2.1 Manufacturier des géosynthétiques

Le (les) manufacturier(s) des matériaux doit (doivent) avoir fabriqué un minimum de 500 000 m² du (des) produit(s) géosynthétique(s) qu'il entend (entendent) fournir à moins d'une dérogation spéciale autorisée par le concepteur de l'ouvrage. L'usine aura une capacité de production de géomembranes suffisante pour fournir les quantités nécessaires au projet sans causer de délai de livraison.

2.2 Installateur des géosynthétiques

L'entreprise responsable de l'installation des géosynthétiques doit démontrer qu'elle possède l'expérience et les ressources nécessaires pour la réalisation du projet en soumettant une liste de projets réalisés au cours des trois dernières années. Cette liste doit inclure l'identification du projet, le lieu du projet, la date d'installation, le nom du client, les types de géosynthétiques installés et leur quantité respective.

2.2.1 Contremaitre

L'installateur doit désigner un contremaitre qui, nonobstant d'autres responsabilités, doit avoir une autorité et des responsabilités définies de façon à assurer que les exigences du programme de contrôle de qualité sont systématiquement mises en œuvre durant l'installation.

Le contremaitre doit posséder une expérience d'un minimum de 500 000 m² d'installation de géomembrane en polyéthylène haute et basse densité, à moins d'indications contraires. Le détail des projets (identification du projet, le lieu du projet, la date d'installation, le nom du client, les types de géosynthétiques installés et leur quantité respective) sur lesquels il a travaillé doit apparaître dans les informations devant être fournies par l'installateur.

2.2.2 Soudeurs

Les soudeurs doivent démontrer qu'ils ont les compétences et l'expérience nécessaires pour opérer les équipements de soudures. Un minimum de 300 000 m² de géomembrane en polyéthylène haute et basse densité (à moins d'indications contraires) installée est requis pour chaque soudeur. Le détail des projets (identification du projet, le lieu du projet, la date d'installation, le nom du client, les types de géosynthétiques installés et leur quantité respective) sur lesquels un soudeur a travaillé doit apparaître dans les informations devant être fournies par l'installateur.

Au minimum, un soudeur doit être certifié IAGI (International Association of Geosynthetics Installers) dans l'équipe de travail.

Si nécessaire, l'installateur peut proposer du personnel additionnel; celui-ci doit se soumettre à une vérification de ses compétences à la satisfaction du responsable de l'assurance qualité avant d'être admis au chantier.

2.2.3 Responsable du contrôle de la qualité

Le responsable du contrôle de la qualité doit posséder une expérience suffisante et être en mesure de suivre la cadence d'installation. Le détail des projets (identification du projet, le lieu du projet, la date d'installation, le nom du client, les types de géosynthétiques installés et leur quantité respective) sur lesquels il a travaillé doit apparaître dans les informations devant être fournies par l'installateur.

L'installateur doit désigner un responsable du contrôle de la qualité qui devra être présent sur le chantier en tout temps. Ce responsable du contrôle de la qualité conduira tous les essais de calibrage, destructifs et non destructifs des soudures sous la supervision du responsable de l'assurance qualité, en plus de l'inspection des matériaux installés. Il rédigera aussi les rapports requis au contrôle qualité.

3 Informations à fournir par l'installateur

L'installateur doit fournir au responsable de l'assurance qualité les documents ou informations décrits dans le présent programme.

Deux (2) semaines avant le début des travaux de l'installateur :

1. Un échéancier et un plan de travail	
2. Le plan d'assemblage des géomembranes	
3. Les dessins d'atelier	
4. Le programme de contrôle de la qualité	
5. Le programme de santé et sécurité du travail	
6. Les compétences et l'organigramme du personnel proposé	
7. La documentation des manufacturiers des géosynthétiques (garanties, liste des rouleaux livrés et certificats de conformité)	
8. Le certificat d'étalonnage du tensiomètre	
9. Le plan signé par un ingénieur démontrant la capacité de charge du palonnier	

Durant les travaux de chantier :

1. Les acceptations des assises	
2. Les acceptations des assemblages de géosynthétiques	

Deux (2) semaines après la fin des travaux de l'installateur :

1. Le rapport final du contrôle qualité en chantier	
---	--

En tout temps, les résultats des essais de contrôle de qualité doivent être disponibles pour inspection sur demande du responsable de l'assurance qualité.

3.1 Échéancier et plan de travail

L'installateur doit soumettre au responsable de l'assurance qualité une description détaillée de son plan de travail, y incluant les équipements, les méthodes et l'échéancier permettant de réaliser l'ouvrage, conformément aux exigences de ce programme et du cahier des charges.

L'installateur doit faire connaître sa méthode de déploiement des géosynthétiques avant de l'utiliser. Sa procédure pourra être discutée lors de la réunion de préconstruction.

3.2 Plan d'assemblage des géomembranes

L'installateur doit soumettre au responsable de l'assurance qualité un plan d'assemblage pour chaque type et chaque surface de géomembrane prévus au projet en indiquant clairement l'ordre chronologique et l'agencement des géomembranes.

La mise en place des panneaux (laizes) doit, dans la mesure du possible, respecter le plan d'assemblage initialement soumis. Dans le cas contraire, les modifications proposées doivent être présentées au responsable de l'assurance qualité pour acceptation avant l'installation.

3.3 Dessins d'atelier

L'installateur doit soumettre au responsable de l'assurance qualité les dessins d'atelier détaillant au minimum les éléments suivants : l'étanchéité autour des conduites et autres points singuliers (plaques de tassements, événements), les ancrages mécaniques ou chimiques, ou autres éléments le cas échéant.

3.4 Programme de contrôle de la qualité

L'installateur doit soumettre au responsable de l'assurance qualité une description détaillée des procédures, essais et mesures de contrôle qu'il compte utiliser afin de vérifier la qualité de son travail, conformément aux exigences de ce document ou du cahier des charges.

3.5 Programme de santé et sécurité au travail

L'installateur doit soumettre au responsable de l'assurance qualité un programme de santé et sécurité au travail conforme aux exigences de la CNESST.

3.6 Compétences et organigramme du personnel

L'installateur doit soumettre au responsable de l'assurance qualité la liste des effectifs, leur fonction et leurs compétences, aux fins d'approbation.

3.7 Documentation des manufacturiers de géosynthétiques

3.7.1 Échantillons préapprobation

Au besoin, avant le début des travaux de chantier et conformément aux exigences et quantités spécifiques du cahier des charges, l'installateur doit présenter des échantillons de chaque type de matériau devant être apporté et utilisé sur le chantier pour l'ouvrage, aux fins d'analyse et d'évaluation.

3.7.2 Garantie du manufacturier

Une garantie écrite du manufacturier contre tout défaut de fabrication doit être fournie au responsable de l'assurance qualité avant le début des travaux. À la fin des travaux, une garantie couvrant la fourniture des rouleaux de géosynthétiques et offrant au maître d'ouvrage une protection intégrale, sans clause exceptionnelle, lui sera remise. Cette garantie doit entièrement indemniser le maître d'ouvrage de tout coût direct ou indirect occasionné par la découverte ou la présomption de défauts de fabrication.

3.7.3 Liste des rouleaux de géosynthétiques et certificats de conformité

L'installateur doit fournir au responsable de l'assurance qualité avant le début des travaux la liste d'identification des rouleaux de géosynthétiques qui seront livrés au chantier et leur certificat de conformité correspondant.

3.8 Certificat d'étalonnage du tensiomètre

L'installateur doit maîtriser et maintenir en condition les équipements de soudure, de contrôle, et de mesure (tensiomètre). La vitesse d'étirement du tensiomètre doit atteindre 50 mm/min pour le PeHD et 500 mm/min pour le PeBD. Les appareils doivent être clairement identifiés.

L'installateur doit transmettre au responsable de l'assurance qualité les enregistrements d'étalonnage du tensiomètre, deux semaines avant le début des travaux. Le certificat d'étalonnage doit être daté de l'année courante.

3.9 Capacité de charge du palonnier

Avant le début des travaux, l'installateur doit s'assurer que le palonnier prévu pour déployer les rouleaux de géosynthétiques est sécuritaire pour leur transport et peut supporter la charge de ceux-ci. La capacité de levage maximale (en kg ou tm) doit être indiquée sur le palonnier. L'installateur doit également fournir le plan de conception du palonnier signé par un ingénieur.

3.10 Acceptation des assises

L'installateur doit effectuer l'acceptation des assises de l'ouvrage, en compagnie du responsable de l'assurance qualité, avant l'installation des géosynthétiques. Cette acceptation peut être subdivisée afin de ne couvrir qu'une partie des surfaces à la fois. Après cette acceptation, l'installateur est responsable de veiller à l'intégrité de la surface et éviter tout dommage à celle-ci avant le déploiement des géosynthétiques.

3.11 Acceptation des assemblages de géosynthétiques

L'installateur doit effectuer l'acceptation des assemblages de géosynthétiques, en compagnie du responsable de l'assurance qualité, avant d'installer toute couche de recouvrement (matériaux

géosynthétiques ou naturels). Cette acceptation peut être subdivisée afin de ne couvrir qu'une partie des surfaces à la fois. Après cette acceptation, l'installateur est responsable de veiller à l'intégrité de la surface et éviter tout dommage à celle-ci avant le recouvrement.

3.12 Rapport final de contrôle qualité en chantier

Deux semaines après la fin de ses travaux, l'installateur doit présenter au responsable de l'assurance qualité un rapport final incluant minimalement les éléments suivants :

- La description de toutes les activités d'installation des géosynthétiques;
- La description des activités de contrôle de la qualité;
- Les fiches techniques et les certificats de conformité des géosynthétiques;
- La liste des rouleaux de géosynthétiques livrés en chantier
- Le contrôle de la qualité du préassemblage (le cas échéant);
- Le bilan des quantités de géosynthétiques installées;
- Les résultats des essais de contrôle de la qualité en chantier;
- Le certificat de conformité de l'ouvrage;
- La signature du responsable de l'installateur;
- Le plan conforme à l'installation des géomembranes, à l'échelle;
- Le plan conforme à l'installation des géomembranes accompagnant le rapport final doit contenir et montrer les informations suivantes :
 - L'identification des panneaux (laizes) de géomembrane;
 - La numérotation des soudures des géomembranes;
 - La localisation des échantillons prélevés pour les essais destructifs;
 - La localisation des empiècements et réparations des géomembranes;
 - La numérotation des soudures reconstruites des géomembranes;
 - Les traverses pour les conduites et autres éléments;
 - Les ancrages mécaniques.

4 Informations fournies par le responsable de l'assurance qualité

Le responsable de l'assurance qualité fournit à l'installateur les documents ou informations suivants :

Avant le début des travaux :

1. Acceptation des compétences de l'installateur	
2. Acceptation des effectifs proposés par l'installateur	
3. Copies des plans et documents pour les travaux	
4. Acceptation des matériaux proposés	
5. Acceptation de l'échéancier et plan de travail	
6. Acceptation des dessins d'atelier	
7. Acceptation du plan d'assemblage	
8. Acceptation du programme de contrôle de la qualité	
9. Accusé de réception du programme de santé et sécurité au travail	
10. Acceptation de l'appareil de mesure (tensiomètre)	

Durant les travaux de chantier :

1. Acceptation conjointe des assises	
2. Acceptation conjointe des assemblages de géosynthétiques avant le recouvrement	

À la fin des travaux d'installation des géosynthétiques :

1. Acceptation finale des travaux d'installation	
--	--

5 Documentation de l'assurance qualité

Le responsable de l'assurance qualité est la personne désignée pour assurer la gestion du programme d'assurance qualité requis par le présent document.

5.1 Rapports en chantier

Sur une base quotidienne, le responsable de l'assurance qualité documente les éléments suivants :

- Projet et date;
- Conditions climatiques;
- Étendue des travaux effectués dans la journée;
- Type et quantité de matériaux installés dans la journée;
- Croquis de l'étendue de l'installation de la géomembrane;
- Personnel sur place;
- Rapport de calibrage des équipements d'assemblage des géomembranes;
- Rapport de mise en place et d'assemblage (soudures);
- Rapport des essais effectués dans la journée;
- Rapport des réparations effectuées.

5.2 Rapport final

Le responsable de l'assurance qualité, lors de l'achèvement de l'ouvrage, présente un rapport final incluant au moins les éléments suivants :

- Description des activités de construction;
- Description des activités de l'assurance qualité;
- Attestation de conformité des travaux;
- Résultats des essais en chantier et observations;
- Photographies prises durant les travaux;
- Liste des amendements au plan original;
- Liste des amendements au cahier des charges;
- Certificat de conformité des matériaux;
- Résultats des essais de conformité des matériaux à la livraison;
- Signature du responsable de l'assurance qualité;

- Rapport de contrôle qualité de l'installateur;
- Plan final de l'étendue de l'installation de la géomembrane :
 - Panneaux (laizes);
 - Soudures;
 - Soudures reconstruites;
 - Essais destructifs;
 - Réparations (pièce, perle d'extrusion);
 - Traverses pour les conduites et autres éléments;
 - Ancrages mécaniques.

6 Essais de conformité (assurance qualité)

Les matériaux géosynthétiques doivent se conformer aux exigences minimales des spécifications techniques présentées dans le cahier des charges. Les échantillons pour les essais de conformité sont prélevés à la livraison des géosynthétiques sur le chantier par le responsable de l'assurance qualité. L'entrepreneur ou l'installateur doit fournir les équipements et les moyens de manutention nécessaires pour effectuer l'échantillonnage en chantier. Les essais de conformité sont aux frais du maître d'œuvre. Les échantillons pour les essais de conformité peuvent aussi être prélevés directement de l'usine si approuvé par le concepteur de projet.

La fréquence d'échantillonnage des géosynthétiques est spécifiée au cahier des charges. Si des échantillons et essais supplémentaires sont nécessaires en raison du trop grand nombre de lots soumis, ceux-ci sont effectués aux frais de l'installateur. Un lot est constitué d'un groupe de rouleaux numérotés de façon successive et provenant d'une même formulation de fabrication.

Le laboratoire d'essais et d'analyses sur les géosynthétiques est désigné par le responsable de l'assurance qualité avant le début des travaux. Il se doit d'être indépendant de l'installateur, de ses sous-traitants et des manufacturiers.

Aucun matériau ne peut être mis en place avant la vérification par le responsable de l'assurance qualité des résultats des essais de conformité.

À la fin des travaux, le laboratoire présente un rapport incluant les éléments suivants :

- Description des matériaux soumis aux essais;
- Propriétés évaluées;
- Méthodes d'essais utilisées;
- Résultats obtenus;
- Commentaires pertinents;
- Graphique des essais;
- Signature du responsable du laboratoire.

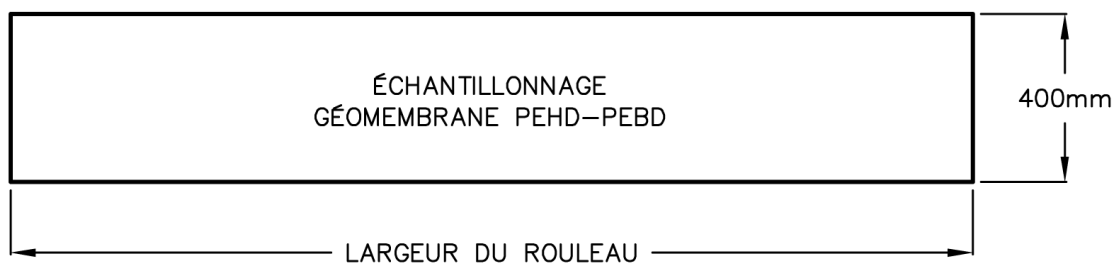
6.1 Essais sur les géomembranes

Les essais de conformité en laboratoire sur les géomembranes (lisses ou texturées) doivent respecter les fréquences d'échantillonnage et le type d'essais spécifiés au cahier des charges version pour construction. **À titre informatif**, les essais suivants sont généralement demandés :

- Épaisseur;
- Densité;
- Contenu du noir de carbone;

- Dispersion du noir de carbone;
- Propriétés en tension;
- Temps d'induction d'oxydation (OIT);
- Résistance à la fissuration sous contrainte.

Figure 1 : Dimensions des échantillons de géomembrane PeHD ou PeBD pour les essais de conformité



6.2 Essais sur les géotextiles

Les essais de conformité en laboratoire sur les géotextiles doivent respecter les fréquences d'échantillonnage et le type d'essais spécifiés au cahier des charges version pour construction. **À titre informatif**, les essais suivants sont généralement demandés :

- Épaisseur;
- Masse surfacique;
- Résistance à la rupture;
- Résistance au poinçonnement;
- Résistance à la déchirure;
- Ouverture de filtration.

Figure 2 : Dimensions des échantillons de géotextile pour les essais de conformité



6.3 Essais sur les géofilettes ou géocomposites de drainage

Les essais de conformité en laboratoire sur les géofilettes ou les géocomposites de drainage doivent respecter les fréquences d'échantillonnage et le type d'essais spécifiés au cahier des charges version pour construction. **À titre informatif**, les essais suivants sont généralement demandés :

- Épaisseur;
- Masse surfacique;
- Densité;
- Contenu en noir de carbone;
- Résistance à l'écrasement;
- Résistance à la tension;
- Résistance au poinçonnement;
- Ouverture de filtration;
- Transmissivité hydraulique.

Figure 3 : Dimensions des échantillons de géofilet ou géocomposite de drainage pour les essais de conformité.



6.4 Essais sur les géocomposites bentonitiques

Les essais de conformité en laboratoire sur les géocomposites bentonitiques doivent respecter les fréquences d'échantillonnage et le type d'essais spécifiés au cahier des charges version pour construction. **À titre informatif**, les essais suivants sont généralement demandés :

- Épaisseur;
- Masse surfacique;
- Résistance à la traction;
- Résistance au pelage;
- Conductivité hydraulique;
- Contenu en bentonite.

Figure 4 : Dimensions des échantillons de géocomposite bentonitique pour les essais de conformité



6.5 Vérification des résultats

Tous les résultats obtenus lors des essais de conformité sont comparés par le responsable de l'assurance qualité aux essais de contrôle fournis par le fabricant des géosynthétiques et aux exigences du cahier des charges.

La conformité ou non-conformité des matériaux est ainsi confirmée par le responsable de l'assurance qualité.

6.6 Résultats non conformes et essais supplémentaires

Si les résultats des essais en laboratoire se révèlent non conformes aux exigences du cahier des charges, tous les rouleaux associés au lot de l'échantillon non conforme dont les numéros de production sont situés entre deux résultats conformes sont refusés.

L'installateur peut toutefois demander au responsable de l'assurance qualité de prélever des échantillons dans les rouleaux précédant et suivant l'échantillon déclaré non conforme pour effectuer des essais supplémentaires en laboratoire.

Si les résultats démontrent des résultats conformes pour chacun de ces deux rouleaux, ceux-ci sont acceptés et le rouleau associé au résultat non conforme est rejeté.

Si un des résultats est positif et l'autre négatif, les rouleaux dont les numéros de production suivent ou précèdent le résultat négatif sont rejetés jusqu'au dernier rouleau présentant un résultat conforme. Les rouleaux dont les numéros de production suivent ou précèdent le résultat positif sont acceptés et peuvent être installés.

Tous les essais supplémentaires demandés au responsable de l'assurance qualité et effectués par le laboratoire sont réalisés aux frais de l'installateur.

7 Procédures générales

7.1 Documentation

La documentation offerte par le manufacturier d'un matériau géosynthétique doit permettre d'établir l'historique de chaque matériau importé sur le chantier et l'identification des résines utilisées dans la fabrication des rouleaux. Cette documentation doit inclure au moins les éléments suivants :

- Identification de la résine;
- Identification du producteur;
- Identification des rouleaux;
- Résultats du contrôle de la qualité de production.

7.2 Assemblage en usine

Le préassemblage des rouleaux de géosynthétiques est défini comme toute assemblée accomplie à l'extérieur du chantier, dans une usine ou ailleurs; le préassemblage peut être nécessaire à la fabrication de certaines pièces de forme spécifique, ou de panneaux de dimensions supérieures à celles des panneaux d'origine (rouleaux). Seules les techniques de préassemblage préalablement approuvées par le responsable de l'assurance qualité au moment de la soumission sont acceptées.

7.3 Transport et manutention

L'installateur est responsable du transport, de la réception au chantier, du déchargement et de l'entreposage au chantier des géosynthétiques. Advenant le cas où les géosynthétiques sont livrés avant l'arrivée du personnel de l'installateur, l'entrepreneur général doit avoir obtenu l'autorisation de l'installateur avant de procéder au déchargement. L'entrepreneur général devient alors responsable de tout dommage occasionné aux géosynthétiques lors de leur manipulation.

Le déchargement et les techniques de manutention utilisées doivent assurer l'intégrité des matériaux en tout temps.

Toute section de géosynthétique endommagée lors du transport ou de l'entreposage doit être réparée ou remplacée par l'installateur, et ce à ses frais et à la satisfaction du responsable de l'assurance qualité.

7.4 Réception au chantier

Sur le chantier, durant le déchargement des rouleaux ou des panneaux, l'installateur doit faire une inspection visuelle et s'assurer que tous les articles sont intacts et correctement identifiés par les données suivantes :

- Nom du projet;

- Manufacturier du rouleau ou panneau;
- Type de produit et épaisseur;
- Dimensions et poids;
- Numéro du lot;
- Numéro du rouleau ou panneau;
- Références aux contrôles de qualité.

7.5 Aire d'entreposage

Les aires d'entreposage temporaire des géosynthétiques doivent posséder une faible pente pour favoriser l'écoulement d'eau et être munies en surface d'une couche de sable dépourvue de roches et de débris. Leur aménagement doit être approuvé par le responsable de l'assurance qualité et mis à la disposition de l'installateur avant toute livraison de matériaux sur le chantier. Les aires d'entreposage doivent être choisies de manière à minimiser le transport et les manipulations des géosynthétiques sur le chantier.

L'installateur est responsable de l'aménagement, de la gestion et de l'entretien de ces aires d'entreposage et doit s'assurer de la protection des matériaux contre tout dommage mécanique, exposition prolongée aux rayons ultraviolets, précipitations ou inondations, boue, poussière, poinçonnement, déchirures, vandalisme ou tout autre agent pouvant affecter leur comportement.

L'installateur doit limiter l'empilement des rouleaux de géosynthétiques. À moins de recommandations plus sévères de la part des manufacturiers, la hauteur d'empilement des rouleaux de géosynthétiques est limitée à trois (3) rouleaux.

Dans le cas particulier des rouleaux de géocomposites bentonitiques, ceux-ci doivent être couverts d'une bâche de plastique en tout temps pour les protéger des intempéries.

7.6 Procédures d'installation générales

7.6.1 Techniques acceptables

Les techniques d'installation utilisées par l'installateur doivent assurer le contact continu des géosynthétiques avec la surface à couvrir, sans tension ou pli, afin d'éviter tout dommage ou tension résiduelle. L'installateur doit tenir compte de l'expansion et/ou de la contraction des géomembranes lors de l'installation sous différentes températures durant la journée.

Aucun autre matériau ne doit être laissé en contact avec la surface à couvrir, y compris, mais sans s'y limiter, les bandes de géosynthétiques sacrificielles non soudées. Ces matériaux doivent donc être enlevés avant l'installation de toute couche sus-jacente. Cependant, sous réserve de l'approbation du maître d'œuvre, des bandes de matériaux biodégradables pourraient être laissées en place.

7.6.2 Inspection des équipements

Le responsable de l'assurance qualité se réserve le droit d'inspecter ou de faire inspecter, à tout moment, les équipements utilisés pour souder les géosynthétiques et de refuser, s'il y a lieu, l'utilisation d'une pièce d'équipement jugée inadéquate ou non conforme aux exigences de ce document.

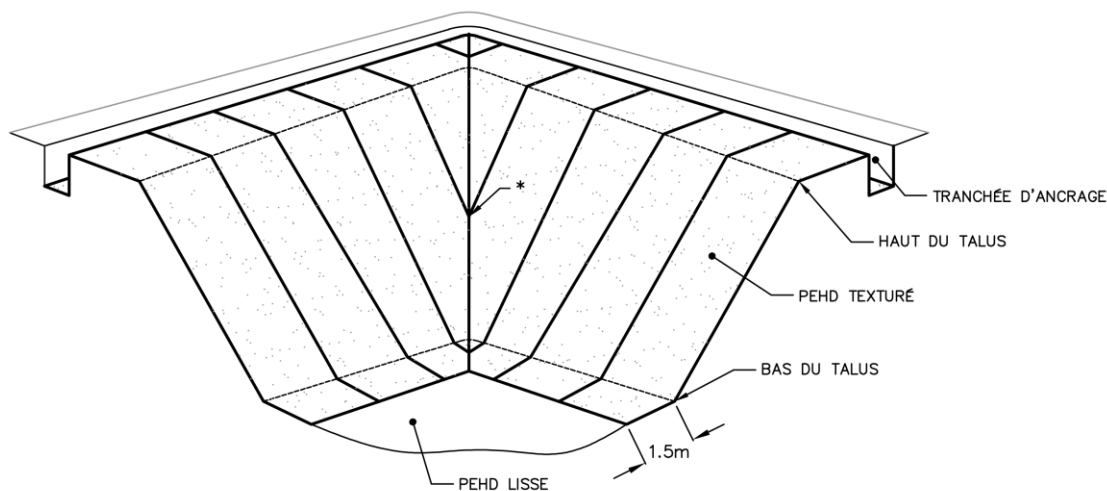
Le palonnier doit être inspecté par l'installateur avant le début des travaux et quotidiennement pendant les travaux, pour s'assurer qu'il est sécuritaire pour transporter et supporter la charge des rouleaux. Il doit être marqué d'un tampon précisant sa capacité de levage maximale et l'installateur doit fournir un plan signé par un ingénieur lors de la conception.

7.6.3 Installation sur une pente

Aucun rouleau de géosynthétique ne peut être déployé perpendiculairement au sens d'une pente. Aucune soudure, aucune couture ou aucun chevauchement longitudinal orienté perpendiculairement au sens d'une pente n'est autorisé, à moins d'une dérogation du concepteur de l'ouvrage et du responsable de l'assurance qualité. Les pentes ayant moins de 10 % d'inclinaison sont considérées comme une surface plane.

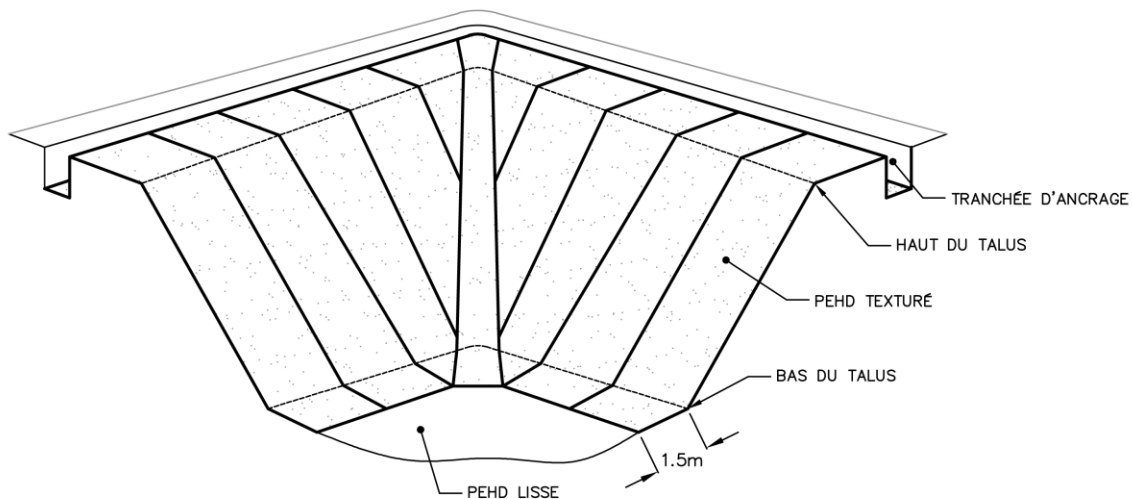
Tous les géosynthétiques mis en place sur une pente (incluant les soudures et assemblages) doivent se déployer, au minimum, à 1,5 m au-delà du bas de talus (voir figures 5 et 6).

Figure 5 : Patron de déploiement acceptable des géosynthétiques dans les talus et au pied de talus



* LA SOUDURE DES PANNEAUX NE COÏNCIDE PAS OBLIGATOIREMENT AU MÊME ENDROIT.

Figure 6 : Patron de déploiement acceptable des géosynthétiques dans les talus et au pied de talus



7.6.4 Assise

L'installateur doit retirer de l'assise tout objet (tel que pierres, débris, objets contondants, etc.) dont le contact est susceptible d'endommager le géosynthétique. La surface de l'assise ne doit pas présenter de dépressions, ornières ou renflements supérieurs à 50 mm. Les ornières laissées par la machinerie utilisée lors du déploiement des géosynthétiques doivent être éliminées.

L'installateur devra respecter toutes les exigences de ce document, particulièrement celles concernant les points de pression sous les pièces d'équipement mobile utilisées à proximité des géosynthétiques, afin d'éviter toute perforation ou tout poinçonnement.

Après l'acceptation de l'assise, l'installateur est responsable de veiller à son intégrité. L'installateur doit prendre toutes les précautions nécessaires pour éviter d'endommager les surfaces synthétiques ou naturelles durant la mise en place des géosynthétiques.

7.6.5 Circulation sur les géosynthétiques

Aucune circulation avec des engins n'est permise directement sur les géosynthétiques, sauf les véhicules tout-terrain légers autorisés par le responsable de l'assurance qualité. Un recouvrement minimal de 1 mètre d'épaisseur (ou selon les exigences du cahier des charges) de matériaux naturels est requis au-dessus des géosynthétiques afin de permettre la circulation des véhicules de transport.

7.6.6 Acceptation des couches de géosynthétiques

Chaque couche de géosynthétiques doit être assemblée, vérifiée et enregistrée comme complétée avant la mise en place d'un autre géosynthétique ou d'un matériau de recouvrement. L'installateur

doit inspecter les surfaces de recouvrement et retirer tous les éléments tranchants ou poinçonnant pouvant endommager les géosynthétiques.

Pour chaque couche de géosynthétiques, une autorisation écrite approuvée par le responsable de l'assurance qualité certifie que la surface préparée est adéquate avant son recouvrement. Cette acceptation peut être fragmentée pour n'inclure qu'une section à la fois.

7.6.7 Conditions défavorables

Aucun matériau ne peut être mis en place si un travail de qualité ne peut être exécuté conformément aux exigences de ce programme ou du cahier des charges pour des raisons liées à la pluie, à la neige, au temps froid, au vent, au mauvais état des matériaux ou à toute autre condition défavorable.

7.6.8 Protection contre le vent

Les panneaux (laizes) de géosynthétiques doivent être maintenus en place (lestage) à l'aide de sacs de sable ou de toute autre charge autorisée en attendant leur assemblage et leur recouvrement.

Il est de la responsabilité de l'installateur de protéger en tout temps les surfaces exposées au vent durant toute la période d'installation.

Les poids utilisés (sacs de sable ou autres) pour lester les géosynthétiques ne doivent pas être de nature à endommager ou à affecter les matériaux géosynthétiques. Les sacs de sable ne doivent pas contenir de roches et doivent être fermés hermétiquement afin de ne pas contaminer les surfaces de géosynthétique. À des températures inférieures à 0 °C, une attention particulière doit être accordée si des sacs qui contiennent des matériaux congelés sont mis en place afin de ne pas endommager les géosynthétiques.

7.6.9 Méthodes de travail particulières

Les méthodes de travail doivent permettre d'atteindre le niveau de qualité requis. Les éléments suivants doivent être particulièrement suivis :

- Le déploiement des géosynthétiques est effectué de façon à ce que ces derniers soient tous soudés ou assemblés à la fin d'une journée de travail;
- Les équipements thermiques ou les groupes électrogènes doivent être éteints lorsqu'il n'y a pas de surveillance par l'installateur;
- Une attention particulière doit être portée à l'utilisation de couteaux et outils afin d'éviter le poinçonnement ou la perforation des géosynthétiques. Lors de la découpe de pièces de géosynthétique pour fins de réparation ou autres, une pièce protectrice de géomembrane doit être placée sous la zone de travail afin d'éviter d'endommager les surfaces installées.
- Tous les équipements utilisés sur les géosynthétiques (génératrice, tensiomètre, etc.) devront être installés en tout temps sur une pièce de géomembrane protectrice contre le poinçonnement ou le déversement d'hydrocarbures;
- Il est interdit de fumer au-dessus des géosynthétiques;

- Il est interdit à toute personne ne travaillant pas à l'installation des géosynthétiques de circuler sur ceux-ci, sans autorisation du responsable de l'assurance qualité;
- Le ramassage des déchets doit être effectué quotidiennement afin de tenir les aires de travail exemptes de débris et éviter leur éparpillement lors de conditions venteuses.

7.7 Visite de chantier du manufacturier

Si le responsable de l'assurance qualité le juge nécessaire, il peut exiger que le manufacturier des géosynthétiques ou des équipements d'assemblage se déplace sur le chantier afin de lui permettre d'observer les conditions et méthodes de mise en place ou d'utilisation des matériaux ou équipements sur le site. Si le manufacturier juge satisfaisantes les conditions et méthodes de mise en place ou d'utilisation de l'installateur, les frais de déplacement sont assumés par le maître d'ouvrage. Si le manufacturier juge inadéquates les conditions et méthodes de mise en place ou d'utilisation de l'installateur, sa visite est effectuée aux frais de l'installateur et celui-ci doit corriger immédiatement ses méthodes conséquemment.

8 Géomembranes – Installation et contrôle

8.1 Installation des géomembranes

8.1.1 Acceptation des assemblages

Aucun recouvrement ou remblayage de géomembrane par des matériaux naturels ou géosynthétiques ne doit être autorisé avant l'acceptation écrite des assemblages par le responsable de l'assurance qualité.

L'acceptation des travaux peut être segmentée de façon à ne couvrir qu'une partie de la surface des travaux complétés.

À la suite d'une inspection des travaux, le responsable de l'assurance qualité dresse une liste des ajouts, corrections ou réparations à effectuer. L'installateur procède à ces corrections ou réparations et une acceptation finale lui est transmise après inspection du responsable de l'assurance qualité.

8.1.2 Respect du plan d'assemblage

L'installation en chantier doit, autant que possible, respecter le plan d'assemblage tel que soumis par l'installateur et approuvé par le responsable de l'assurance qualité.

Toute modification à ce plan d'assemblage doit être approuvée au préalable par le responsable de l'assurance qualité.

8.1.3 Procédure initiale d'assemblage

L'assemblage des panneaux (laizes) n'est permis que lorsque les procédures suivantes sont complétées :

- Alignement convenable des panneaux (laizes);
- Chevauchement approprié des panneaux (laizes);
- Propreté des surfaces à assembler;
- Assèchement des surfaces à assembler;
- Identification adéquate des panneaux (laizes);
- Calibrage des équipements d'assemblage;
- Personnel qualifié à l'assemblage.

8.1.4 Restriction

Les techniques d'installation utilisées par l'installateur doivent prévenir tout dommage et précontrainte sur les panneaux (laizes). Toute technique jugée inacceptable par le responsable de l'assurance qualité doit être immédiatement corrigée par l'installateur.

8.1.5 Conditions météorologiques (normales)

Sauf indication contraire, les soudures des géomembranes sont interdites lorsque la température de la géomembrane est inférieure à 0 °C ou au-dessus de 50 °C. La température de la géomembrane doit être mesurée au moyen d'un thermomètre portatif à infrarouge.

Aucune géomembrane ne doit être déployée lorsqu'il y a précipitations, présence d'humidité excessive, présence de surface saturée d'eau ou de vent excessif pouvant affecter la sécurité du personnel au chantier et l'intégrité de l'ouvrage.

8.1.6 Conditions particulières en période hivernale pour les géomembranes en polyéthylène (Pe)

Selon le GRI GM9¹, les soudures de géomembranes en polyéthylène peuvent être réalisées en période hivernale si la température de la géomembrane se situe entre 0 °C et -15 °C. Pour des températures de géomembrane inférieures à -15 °C, les soudures ne sont généralement pas recommandées. La température de la géomembrane doit être mesurée au moyen d'un thermomètre portatif à infrarouge.

Aucune géomembrane ne doit être déployée lorsqu'il y a précipitations, présence d'humidité excessive, présence de surface saturée d'eau ou de vent excessif pouvant affecter la sécurité du personnel au chantier et l'intégrité de l'ouvrage.

L'installateur doit démontrer qu'il est en mesure de dégivrer les deux parois internes de la soudure et d'éliminer toute présence d'humidité sur celles-ci. Une attention particulière doit être portée à la géomembrane texturée, car il est plus difficile d'en retirer le givre et l'humidité. L'utilisation d'une bande de géomembranes sous la soudure est recommandée afin de garder l'appareil de soudure propre et exempt de glace ou de givre.

Pour ces conditions particulières, la fréquence pour les essais de calibrage et les essais de contrôle destructifs est augmentée.

Tableau 1 : Fréquence des essais de calibrage selon la température de la géomembrane

Température de la géomembrane	Fréquence minimale des essais de calibrage	Conditions particulières
> 50 °C	Soudure non recommandée	
0 °C à 50 °C	1 essai à tous les quarts de travail (max. 5 heures)	Minimum d'un essai de calibrage à tous les quarts de travail pour une durée maximale de cinq (5) heures.
0 °C à -7,5 °C	1 essai aux 3 heures	Minimum d'un essai à toutes les trois (3) heures.

¹ GRI Practices (www.geosynthetic-institute.org)

-7,5 °C à -15 °C	1 essai aux 2 heures	Minimum d'un essai à toutes les deux (2) heures.
< -15 °C	Soudure non recommandée	

8.1.6.1 Essais de calibrage

En conditions normales, la fréquence d'essais de calibrage est d'un essai au début de chaque quart de travail, pour une durée maximale de cinq (5) heures.

En condition hivernale, la fréquence des essais de calibrage est modifiée selon la température de la géomembrane (voir tableau 1). Cette fréquence pourra être augmentée à la discrétion du responsable de l'assurance qualité si les résultats obtenus lors des essais de calibrage se révèlent non conformes.

8.1.6.2 Essais de contrôle destructifs

En conditions normales, la fréquence des essais destructifs est d'un (1) essai à tous les 150 mètres linéaires de soudure. En conditions hivernales (température de la géomembrane entre 0 °C et -15 °C), la fréquence augmentera à un (1) essai à tous les 100 mètres linéaires de soudure. Cette fréquence pourra être augmentée à la discrétion du responsable de l'assurance qualité si les résultats obtenus lors des essais destructifs se révèlent non conformes.

8.1.7 Ancrage

Les ancrages des géomembranes doivent respecter les dimensions montrées sur les plans. Les soudures des panneaux (laizes) de géomembranes doivent se prolonger dans la tranchée d'ancrage. Aucune fixation à l'aide de piquets n'est tolérée dans la tranchée d'ancrage. Il est de la responsabilité de l'installateur d'assurer la stabilité des géosynthétiques avant le remblayage de la tranchée d'ancrage.

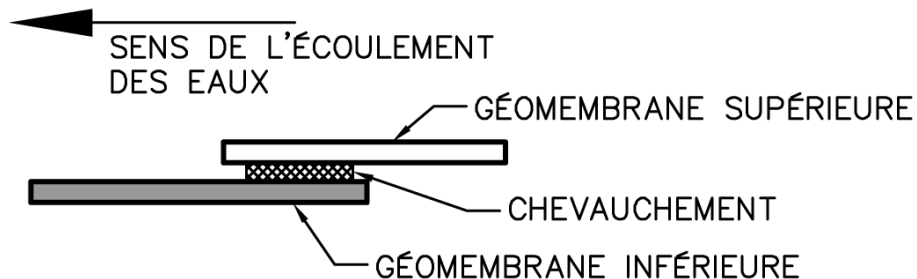
Le responsable de l'assurance qualité et l'installateur doivent donner leur accord avant le remblaiement final des tranchées d'ancrage.

8.1.8 Chevauchement

8.1.8.1 Sens des chevauchements

Sauf indication contraire, tous les chevauchements doivent respecter le sens d'écoulement des eaux de l'amont vers l'aval (voir figure 7).

Figure 7 : Chevauchement des géomembranes et géosynthétiques selon le sens d'écoulement des eaux



8.1.8.2 Largeur des chevauchements

La largeur des chevauchements après la soudure doit être suffisante pour effectuer les essais destructifs de résistance mécanique (pelage et cisaillement) de part et d'autre de la soudure. Dans le cas contraire, la soudure est refusée et reprise aux frais de l'installateur.

8.1.8.3 Propreté des chevauchements

La propreté des chevauchements doit être irréprochable; aucune substance, corps étranger, poussière, film liquide ou saleté ne doit souiller la surface.

8.1.9 Identification des panneaux (laizes)

Suivant son installation, chaque panneau (laize) et le numéro du rouleau associé doivent être clairement identifiés par l'installateur. La séquence de numérotation utilisée par l'installateur doit permettre de retracer rapidement l'historique de chaque panneau (laize).

Pour éviter toute confusion, l'installateur et le responsable de l'assurance qualité doivent utiliser des couleurs différentes d'inscription.

8.1.10 Suivi des travaux de soudure

Le suivi des travaux de soudure des géomembranes lors de l'installation comprend les tâches suivantes :

- Essais non destructifs (contrôle qualité);
- Essais destructifs (contrôle qualité);
- Vérification des essais non destructifs (assurance qualité);
- Vérification des essais destructifs (assurance qualité).

8.1.11 Documentation

L'installateur doit documenter la soudure des panneaux (laizes) de géomembrane en relevant pour chaque soudure effectuée les informations suivantes :

- Date et heure;
- Identification des équipements de soudure employés;
- Essai de calibrage associé;
- Identification de la soudure;
- Numéro d'identification des panneaux (laizes) soudés (numéros des panneaux et numéros des rouleaux);
- Type de matériel;
- Longueur de la soudure et les dimensions des panneaux (laizes);
- Identification de l'opérateur;
- Identification du technicien de contrôle de la qualité.

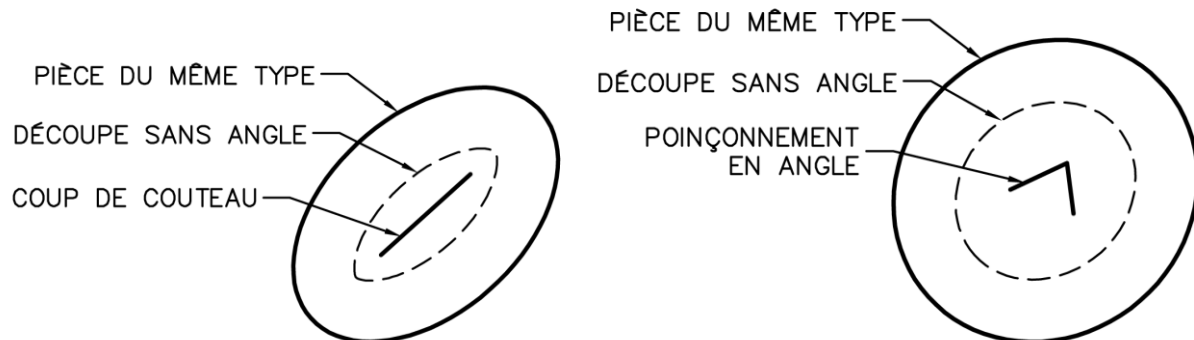
8.2 Correction des déficiences

À la suite de la découverte d'un défaut ou d'une malfaçon, l'installateur doit évaluer l'ampleur de la surface affectée. Si le défaut provient de résultats d'essais inacceptables, la surface concernée devra être délimitée par des essais supplémentaires tels que décrits à la section 8.3.3. Si le défaut est relié à des conditions climatiques adverses, le travail est interrompu et la surface affectée est circonscrite et ultérieurement réparée.

8.2.1 Réparation, réfection ou remplacement

Toutes les perforations et déchirures doivent être réparées avec une pièce du même type de matériau sur la totalité des surfaces installées y compris celles comprises dans la tranchée d'ancrage. La pièce de forme arrondie doit dépasser la déféctuosité d'au moins 150 mm dans toutes les directions. L'installateur doit arrondir les extrémités des défauts afin d'éviter de créer des points de faiblesse (voir figure 8).

Figure 8 : Réparation type d'une géomembrane



Le responsable de l'assurance qualité détermine la méthode de réparation utilisée.

Avant l'application d'un cordon d'extrusion, le meulage de la géomembrane est exigé. La zone meulée ne doit pas dépasser d'au plus 5 mm la soudure finale et ne doit pas réduire de plus de 10 % l'épaisseur de la feuille de géomembrane.

Toutes les égratignures et tous les poinçonnements superficiels doivent être réparés au moyen d'un cordon d'extrusion.

Une soudure reconstruite intégralement qui respecte les exigences de contrôle et d'assurance qualité est considérée comme une soudure sans déficience.

L'installateur doit annoter le plan final d'exécution de façon à refléter les réparations, réfections ou remplacement.

8.2.2 Acceptation des réparations

Les réparations doivent répondre aux exigences du cahier des charges et être effectuées à la satisfaction du responsable de l'assurance qualité. Elles doivent être vérifiées par un essai non destructif et acceptées par le responsable de l'assurance qualité.

8.2.3 Réparations supplémentaires

Le responsable de l'assurance qualité se réserve le droit d'exiger de l'installateur la réalisation de réparations supplémentaires s'il le juge nécessaire.

8.2.4 Documentation

L'installateur identifie chaque réparation à l'aide de l'information suivante :

- Date et heure de la réparation;
- Identification de la réparation;

- Identification de l'essai de calibrage correspondant;
- Type de réparation (pièce ou cordon d'extrusion);
- Type de matériel;
- Dimension de la pièce;
- Emplacement (panneaux correspondants);
- Soudures correspondantes (s'il y a lieu);
- Diamètre du manchon d'étanchéité (s'il y a lieu);
- Localisation de la réparation sur le plan final;
- Date et heure de l'essai de contrôle non destructif;
- Mesures correctives appliquées et date (s'il y a lieu);
- Résultats des nouveaux essais et date (s'il y a lieu);
- Identification du technicien de contrôle de la qualité.

8.3 Contrôle et essais de vérification de l'installation des géomembranes

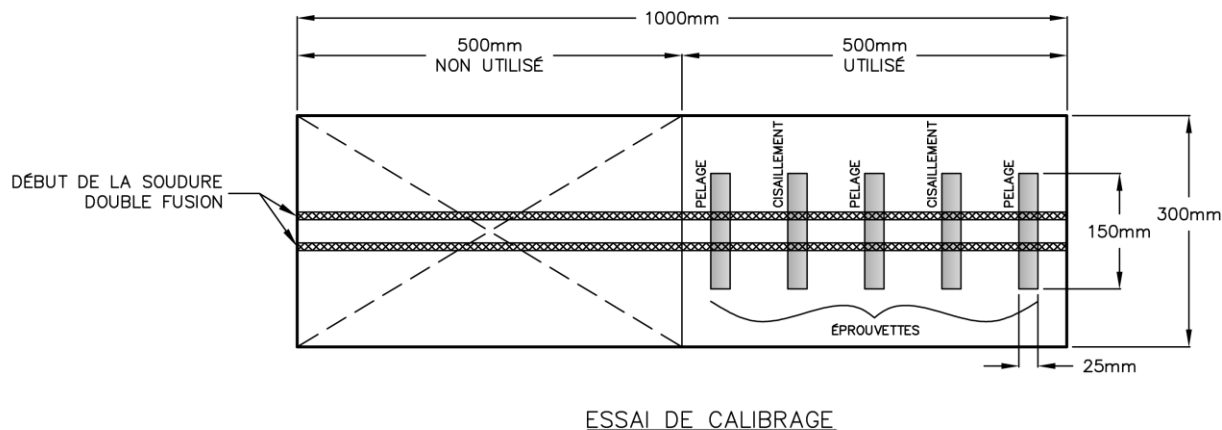
8.3.1 Essais de calibrage

Ces essais consistent à vérifier la résistance mécanique des soudures au pelage et au cisaillement d'un échantillon de géomembrane. Aucun équipement d'assemblage ne peut être utilisé sur le chantier sans un essai de calibrage préalable qui atteint les exigences du cahier des charges.

8.3.1.1 Échantillons

L'installateur doit préparer un échantillon d'au moins 1 000 mm de longueur par 300 mm de largeur ayant la soudure centrée sur la largeur de l'échantillon. Cinq (5) éprouvettes sont prélevées à l'aide d'un emporte-pièce en alternance (pelage, cisaillement) sur la totalité de l'échantillon. Trois (3) éprouvettes sont testées en pelage et les deux (2) autres en cisaillement. Pour chaque éprouvette testée en pelage, on obtient deux (2) résultats pour une soudure par double fusion et un (1) résultat pour une soudure par extrusion. Pour chaque éprouvette testée au cisaillement, on obtient un (1) résultat pour les deux types de soudures. Les éprouvettes mesurant 25 mm de largeur et 150 mm de long doivent être taillées uniformément à l'aide de l'emporte-pièce (voir figure 9).

Figure 9 : Méthode de prélèvement des éprouvettes de soudure pour les essais de calibrage



8.3.1.2 Fréquence

En condition normale, le calibrage de tous les équipements de soudure doit s'effectuer et être documenté par l'installateur pour chaque appareil de soudure utilisé, au début de chaque quart de travail, pour une durée maximale de cinq (5) heures. Pour les conditions particulières en période hivernale, se référer à la section 8.1.6.

Le responsable de l'assurance qualité se réserve le droit d'exiger des essais de calibrage supplémentaires à la suite des changements de conditions climatiques et en cas de panne ou mauvais fonctionnement de l'appareil de soudure.

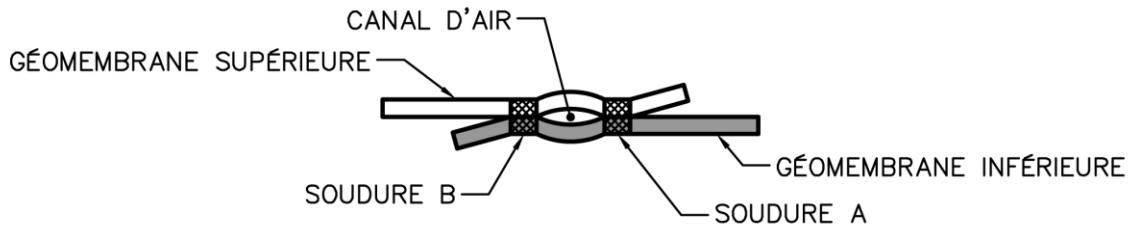
8.3.1.3 Conditions

Le calibrage des équipements doit être réalisé par des essais sur des échantillons de géomembranes sous les mêmes conditions atmosphériques que celles anticipées lors de l'assemblage des panneaux (laizes) et avec les mêmes matériaux.

8.3.1.4 Exigences

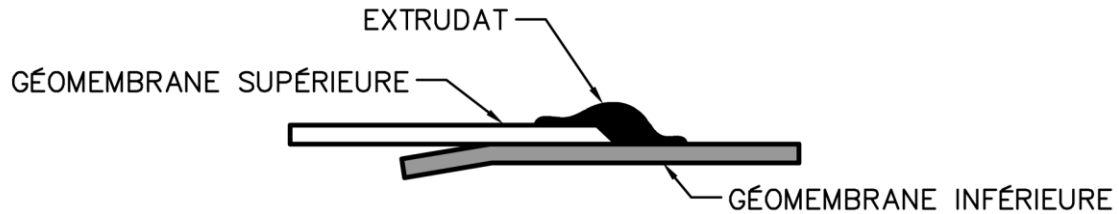
Une fois prélevés, les échantillons doivent être testés au chantier à l'aide d'un tensiomètre portatif calibré et tous doivent remplir les exigences de résistance des soudures au pelage et au cisaillement décrites au cahier des charges ainsi que respecter les types de ruptures indiqués aux figures 10 et 11 présentées ci-dessous. En présence d'un résultat non conforme, l'essai de calibrage doit être repris avec un nouvel échantillon.

Figure 10 : Types de ruptures d'une soudure à double fusion





	BRK	Rupture dans la feuille. (feuille supérieure ou inférieure)	Acceptée
	SE1	Rupture dans la feuille au bord de la soudure. (feuille supérieure ou inférieure)	Acceptée
	SE2	Rupture au bord intérieur de la soudure dans les deux feuilles.	Acceptée
	SIP	Délamination de la feuille. (feuille supérieure ou inférieure)	Acceptée
	AD	Décollement de la soudure.	Refusée
	AD-BRK	Rupture et décollement de la soudure. (feuille supérieure ou inférieure)	Refusée

Figure 11 : Types de ruptures d'une soudure par extrusion



	<p>SE1 SE2</p>	<p>Rupture au bord de la soudure, dans la feuille inférieure (1) ou supérieure (2). (applicable au cisaillement seulement)</p>	<p>Acceptée</p>
	<p>SE3</p>	<p>Rupture au bord de la soudure, dans la feuille inférieure. (applicable au pelage seulement)</p>	<p>Acceptée</p>
	<p>BRK1 BRK2</p>	<p>Rupture dans la feuille inférieure (1) ou supérieure (2). La lettre « B » dans le code BRK1 ou BRK2 indique que la rupture est localisée dans la zone meulée.</p>	<p>Acceptée</p>
	<p>SIP</p>	<p>Délamination de la feuille.</p>	<p>Acceptée</p>
	<p>AD1</p>	<p>L'extrusion n'adhère pas. (décollement)</p>	<p>Refusée</p>
	<p>AD2</p>	<p>L'extrusion n'adhère pas. (décollement)</p>	<p>Refusée</p>
	<p>AD-WLD ⁽¹⁾</p>	<p>Rupture dans l'extrusion. L'extrusion n'est pas centrée sur les deux feuilles. ⁽¹⁾ Si les valeurs sont atteintes</p>	<p>Refusée</p>

		avant le décollement le test est accepté.	
	AD-BRK	Rupture dans la feuille inférieure avec décollement de l'extrusion.	Refusée

L'installateur identifie chaque essai de calibrage à l'aide de l'information suivante :

- Date et heure de l'essai;
- Identification de l'essai;
- Température extérieure;
- Identification de l'opérateur;
- Identification de l'équipement;
- Température de l'équipement;
- Température de préchauffe (s'il y a lieu);
- Vitesse de l'équipement (s'il y a lieu);
- Type de matériel;
- Résultats des essais de résistance mécanique en pelage et en cisaillement;
- Identification du type de ruptures (voir figures 10 et 11);
- Identification du technicien responsable du contrôle de la qualité.

8.3.2 Essais de contrôle non destructifs

Chaque soudure ou réparation doit faire l'objet d'essais non destructifs sur 100 % de leur longueur pour en assurer la continuité.

8.3.2.1 Techniques acceptables

Les seules techniques approuvées pour les essais non destructifs sont les suivantes :

- Essai de pressurisation de soudure : l'essai de pressurisation est exécuté en appliquant une pression d'air de 210 kPa (30 psi) dans le canal de la soudure pendant cinq (5) minutes. La perte de pression d'air admissible est de 20 kPa (3 psi) ou moins selon la norme ASTM D5820. Toutes les perforations créées pour réaliser l'essai de pressurisation sont réparées puis contrôlées à l'aide de l'essai par la boîte à vide.
- Essai par la boîte à vide : l'essai par la boîte à vide est exécuté en maintenant une pression négative de 35 kPa (5 lbs/po²) sur le chevauchement de la soudure pendant une période d'au moins cinq (5) secondes selon la norme ASTM D5641.

8.3.2.2 Documentation

L'installateur doit documenter les essais non destructifs en notant les informations suivantes pour chaque soudure vérifiée :

- Date et heure;
- Identification de l'essai non destructif;
- Identification de la soudure (s'il y a lieu);
- Identification de la réparation (s'il y a lieu);
- Identification du (ou des) panneau(x) (laizes);
- Identification de l'équipement utilisé;
- Résultats de l'essai;
- Identification des non-conformités;
- Mesures correctives appliquées et date (s'il y a lieu);
- Résultats des nouveaux essais et date (s'il y a lieu);
- Identification du technicien responsable du contrôle de la qualité.

8.3.3 Essais de contrôle destructifs

L'installateur procède à la vérification de la résistance mécanique au pelage et au cisaillement des soudures à double fusion ou à l'extrusion réalisées en chantier à l'aide d'un tensiomètre portatif calibré. En parallèle, la résistance mécanique de ces soudures est vérifiée en laboratoire par le responsable de l'assurance qualité.

8.3.3.1 Fréquence

Au début des travaux, les essais destructifs comme essais de contrôle de l'installateur sont effectués à une fréquence d'un essai par 150 m de soudure effectuée. Cette fréquence peut être par la suite modifiée en fonction de la performance de l'équipe d'installation en termes de résultats obtenus lors des essais destructifs.

Lorsque les conditions le justifient, à l'obtention de dix (10) essais destructifs conformes consécutifs, la distance entre les prélèvements pourra être augmentée de 50 m de soudure, jusqu'à une fréquence maximale d'un essai par 300 m de soudure. Cependant, à l'obtention d'un seul résultat inacceptable, la distance entre les prélèvements sera reconduite à une fréquence d'un essai par 150 m de soudure.

Pour les essais destructifs sur les soudures à l'extrusion, la fréquence est d'un (1) essai destructif par couche (primaire ou secondaire ou tel que demandé par le responsable de l'assurance qualité).

8.3.3.2 Lieux des prélèvements

L'emplacement des essais destructifs de contrôle de la qualité est déterminé par le responsable de l'assurance qualité.

8.3.3.3 Prélèvements

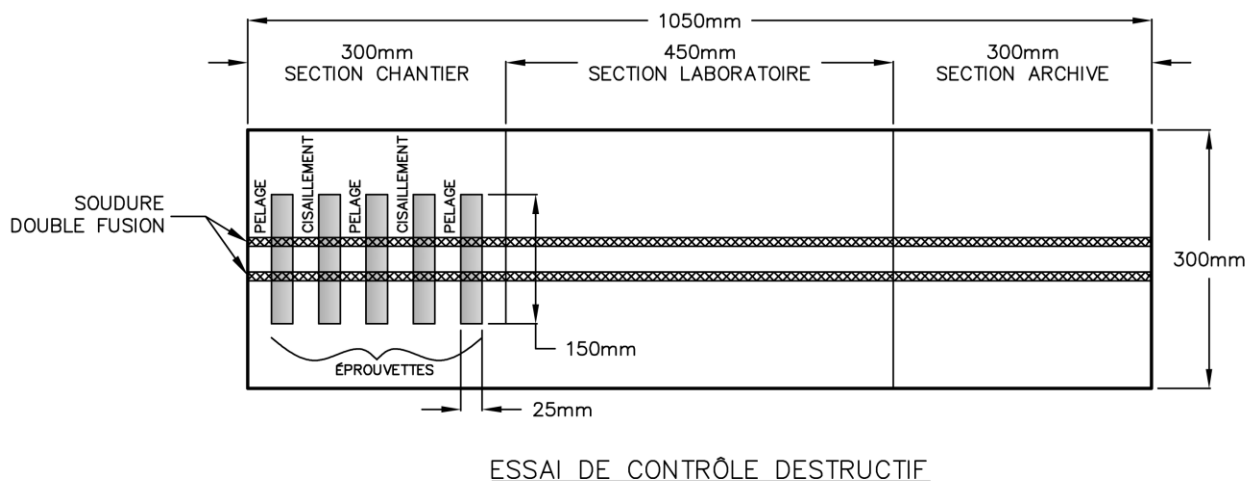
L'installateur doit recueillir pour chaque position indiquée un échantillon d'une longueur minimale de 1 050 mm par 300 mm de largeur au milieu duquel la soudure est centrée. L'échantillon est coupé en trois sections : 300 mm pour l'essai au chantier, 450 mm pour l'essai effectué par le laboratoire externe (assurance qualité) et 300 mm pour être conservé par le responsable de l'assurance qualité.

Cinq (5) éprouvettes sont prélevées de la section prévue pour l'essai au chantier en alternance (pelage-cisaillement-pelage). De ces éprouvettes, trois (3) sont testées en pelage et les deux (2) autres en cisaillement. Les éprouvettes mesurant 25 mm de largeur et 150 mm de long doivent être taillées uniformément à l'aide d'un emporte-pièce.

Pour chaque éprouvette testée au pelage, deux (2) résultats seront obtenus pour une soudure par double fusion et un (1) résultat pour une soudure par extrusion.

Pour chaque éprouvette testée au cisaillement, un (1) résultat pour les deux types de soudures sera rapporté.

Figure 12 : Méthode de prélèvement des éprouvettes de soudures pour les essais de contrôle destructifs



8.3.3.4 Résultats acceptables

À l'obtention de résultats conformes aux valeurs et aux types de ruptures prescrits au cahier des charges et dans le présent document pour toutes les éprouvettes, l'installateur remet les deux sections de soudures restantes au responsable de l'assurance qualité. Celui-ci achemine la section de 450 mm au laboratoire externe pour procéder à l'essai de résistance mécanique à la fréquence spécifiée au cahier des charges et conserve la section de 300 mm.

8.3.3.5 Résultats inacceptables

Dès qu'un résultat non conforme est obtenu, l'installateur doit procéder, avec l'accord du responsable de l'assurance qualité, à l'identification de l'étendue de la soudure défectueuse en prélevant un échantillon à un minimum de 3 m de part et d'autre de l'échantillon non conforme et en y effectuant de nouveau les essais de contrôle destructifs.

Si un et/ou l'autre essai de reprise est (sont) également non conforme(s), un (deux) autre(s) échantillon(s) est (sont) prélevé(s) à un minimum de 3 m additionnels pour y effectuer de nouveau un (ou des) essai de contrôle destructif. Cette procédure est répétée jusqu'à ce que des essais destructifs conformes soient obtenus sur des échantillons de part et d'autre de l'essai de contrôle destructif initial non conforme.

La (ou les) soudure(s) non conforme(s) doit (doivent) être reconstruite(s) intégralement par double fusion, soit en découpant et retirant la (ou les) portion(s) de soudures non conforme(s) et en mettant en place une pièce de géomembrane suffisamment large pour permettre une soudure par double fusion de part et d'autre. Aucune autre méthode de réparation n'est acceptée.

Une soudure acceptable est une soudure qui est délimitée à chaque extrémité par un test destructif en chantier et en laboratoire (assurance qualité) positif.

Les essais supplémentaires en chantier et en laboratoire qui doivent être réalisés à la suite d'une non-conformité des soudures sont effectués aux frais de l'installateur.

8.3.3.6 Résultats contradictoires lors des essais en laboratoire

Si les résultats des essais en laboratoire s'avèrent non conformes, en contradiction avec les résultats obtenus en chantier, les soudures concernées seront considérées comme non conformes jusqu'à preuve du contraire.

8.3.3.7 Documentation

L'installateur documente toutes les procédures d'essais destructifs à l'aide des informations suivantes :

- Date et heure du prélèvement;
- Date et heure de l'essai;
- Température extérieure;
- Identification du test destructif;
- Identification de la soudure et essai de calibrage correspondant;
- Identification des panneaux (laizes) concernés;
- Type de matériel;
- Résultats des essais mécaniques de pelage et de cisaillement;
- Identification du type de ruptures (voir figures 10 et 11);
- Mesures correctives appliquées et date (s'il y a lieu);

- Résultats des nouveaux essais et date (s'il y a lieu);
- Identification du technicien du contrôle de la qualité;
- Localisation sur le plan final.

8.3.4 Essais destructifs en laboratoire (assurance qualité)

Le responsable de l'assurance qualité fait effectuer des essais destructifs en laboratoire sur tous les prélèvements effectués en chantier. Comme indiqué précédemment, l'échantillon envoyé au laboratoire sert à vérifier les résultats obtenus au chantier et est sujet aux mêmes tests et aux mêmes critères d'acceptation ou de rejet.

Dix (10) éprouvettes sont prélevées de la section prévue pour l'essai au laboratoire en alternance (pelage-cisaillement-pelage). Cinq (5) de ces éprouvettes sont testées en pelage et les cinq (5) autres en cisaillement.

Pour chaque éprouvette testée au pelage, deux (2) résultats sont obtenus pour une soudure par double fusion et un (1) résultat pour une soudure par extrusion.

Pour chaque éprouvette testée au cisaillement, un (1) résultat pour les deux types de soudures est rapporté.

À l'obtention de résultats conformes aux valeurs prescrites au cahier des charges et aux types de ruptures prescrits dans ce document pour toutes les éprouvettes, l'essai destructif est considéré conforme.

À l'obtention de résultats non conformes aux valeurs prescrites au cahier des charges et/ou aux types de ruptures prescrits dans ce document pour l'une des éprouvettes, l'essai destructif est considéré insatisfaisant et la procédure en cas de résultats inacceptables devra s'appliquer.

9 Géotextiles – Installation et contrôle

9.1 Installation des géotextiles

9.1.1 Suivi du responsable de l'assurance qualité

Le suivi de la mise en place des géotextiles par le responsable de l'assurance qualité inclut :

- La vérification du déploiement des rouleaux de géotextiles;
- La vérification des assemblages de chaque panneau (laize);
- L'inspection visuelle du produit installé.

9.1.2 Mise en place

Aucun rouleau de géotextile ne peut être déployé sans l'approbation préalable du responsable de l'assurance qualité. Cette approbation ne peut être obtenue qu'à la suite de l'acceptation des travaux d'installation ou d'aménagement des matériaux (ou de l'assise) sous-jacents.

Les techniques d'installation recommandées doivent prévenir tout dommage aux géotextiles. L'installateur doit assembler les panneaux (laizes) au fur et à mesure du déploiement des rouleaux.

9.1.3 Ancrage

Les assemblages des panneaux (laizes) de géotextiles doivent se prolonger dans la tranchée d'ancrage. Aucune fixation à l'aide de piquets n'est tolérée dans la tranchée d'ancrage. Il est de la responsabilité de l'installateur d'assurer la stabilité des géotextiles avant le remblayage de la tranchée d'ancrage.

Le responsable de l'assurance qualité et l'installateur doivent donner leur accord avant le remblaiement final des tranchées d'ancrage.

9.1.4 Chevauchement

9.1.4.1 Sens des chevauchements

Les rouleaux adjacents de géotextiles sont chevauchés dans le sens de l'écoulement des eaux (du point haut vers le point bas) (voir figure 7).

9.1.4.2 Largeur des chevauchements

La largeur des chevauchements doit être conforme aux recommandations du fabricant.

Les géotextiles devant être soudés à l'air chaud ont un chevauchement minimum de 300 mm et de 600 mm lorsqu'ils sont joints bout à bout.

Pour les géotextiles qui doivent être soudés au moyen d'un appareil de soudure ou cousus, la largeur de chevauchement correspond aux spécifications de la machine utilisée.

Avant le début des travaux, l'installateur doit faire approuver sa méthode de travail par le responsable de l'assurance qualité.

9.1.5 Assemblage

9.1.5.1 Coutures

Toutes les coutures exécutées en usine ou en chantier doivent être réalisées au moyen de fils dont les propriétés chimiques et mécaniques sont égales ou supérieures à celles du géotextile. Les joints cousus doivent être espacés d'au plus 5 mm. Les coutures autobloquantes sont recommandées. Les coutures de types différents peuvent être utilisées, mais doivent être doublées et respecter l'espacement exigé.

9.1.5.2 Autres méthodes

D'autres méthodes d'assemblage pourront être présentées au responsable de l'assurance qualité par l'installateur avant le début des travaux d'installation. Le responsable de l'assurance qualité se réserve le droit de refuser ou d'accepter la méthode proposée.

9.1.6 Inspection visuelle

À la suite de sa mise en place, chaque panneau de géotextile est inspecté visuellement par le responsable de l'assurance qualité afin d'identifier toute surface endommagée, susceptible de l'être ou paraissant anormale. L'installateur répare à ses frais tout dommage, à la satisfaction du responsable de l'assurance qualité.

9.1.7 Réparations

Toutes les perforations et déchirures doivent être réparées avec une pièce du même produit. La pièce doit dépasser la déféctuosité d'au moins 300 mm dans toutes les directions.

Les réparations effectuées doivent être acceptées par le responsable de l'assurance qualité en conformité avec les exigences du présent document et/ou du cahier des charges. Le responsable de l'assurance qualité se réserve le droit d'exiger de l'installateur des réparations supplémentaires.

9.2 Essais destructifs de vérification au laboratoire externe

Si requis au cahier des charges, le responsable de l'assurance qualité peut effectuer des essais destructifs de vérification de la résistance des coutures.

Nonobstant la fréquence d'essais prévue au cahier des charges, une fréquence spéciale d'essais peut être utilisée à la discrétion du responsable de l'assurance qualité lorsque des observations visuelles indiquent la présence de non-conformités potentielles telles que :

- Variation des coutures;
- Variation visible de la qualité des matériaux;
- Ajustement incorrect des appareils;

- Équipements sales ou en mauvais ordre;
- Bris de l'équipement;
- Personnel différent de celui autorisé;
- Conditions climatiques adverses;
- Sur demande du responsable de l'assurance qualité.

10 Géofilet et géocomposite de drainage – Installation et contrôle

10.1 Suivi du responsable de l'assurance qualité

Le suivi par le responsable de l'assurance qualité des travaux de mise en place du géofilet ou du géocomposite de drainage comprend les tâches suivantes :

- La vérification du déploiement des rouleaux;
- La vérification des assemblages de chaque panneau (laize);
- L'inspection visuelle du produit installé.

10.2 Mise en place

Aucun rouleau de géofilet ou de géocomposite de drainage ne peut être mis en place sans l'approbation préalable du responsable de l'assurance qualité. Cette approbation ne peut être obtenue qu'à la suite de la révision par le responsable de l'assurance qualité des vérifications exigées et à l'acceptation des travaux de mise en place des éléments sous-jacents.

Les techniques de mise en place préconisées doivent prévenir tout dommage.

L'installateur doit s'assurer qu'aucune roche, boue ou autre débris n'est présent entre la couche géosynthétique (géomembrane, géotextile ou autre) et celle du géofilet ou du géocomposite de drainage. Le géofilet ou le géocomposite de drainage est conservé aussi propre que possible jusqu'au moment du recouvrement de celui-ci.

10.3 Colmatage

Une attention particulière doit être portée par l'installateur à retirer tout objet ou matériau (tel que matériaux naturels, mottes d'argile, etc.) susceptible d'endommager les géosynthétiques ou de colmater le géofilet.

10.4 Ancrage

Les assemblages des panneaux (laizes) de géofilet et/ou de géocomposite de drainage doivent se prolonger dans la tranchée d'ancrage. Aucune fixation à l'aide de piquets n'est tolérée dans la tranchée d'ancrage. Il est de la responsabilité de l'installateur d'assurer la stabilité des géofilets et/ou des géocomposites de drainage avant le remblayage de la tranchée d'ancrage.

Le responsable de l'assurance qualité et l'installateur doivent donner leur accord avant le remblaiement final des tranchées d'ancrage.

10.5 Chevauchement

10.5.1 Sens des chevauchements

Les rouleaux adjacents de géofilet et de géocomposite de drainage sont chevauchés dans le sens de l'écoulement des eaux (de l'amont vers l'aval) pour toutes les composantes (voir figure 7).

10.5.2 Largeur des chevauchements

Un chevauchement minimum de 150 mm doit être assuré lors de la mise en place des rouleaux adjacents.

Un chevauchement minimum de 600 mm doit être assuré lors de la mise en place des rouleaux bout à bout.

10.6 Assemblage

10.6.1 Géofilet

Afin d'empêcher la séparation des chevauchements des rouleaux adjacents, des attaches de plastique (ty-rap) doivent être disposées au minimum à tous les 600 mm dans les pentes et à tous les 1,5 m sur les plats (pentes inférieures à 10 %) entre les géofilets (géofilet seul ou géofilet du géocomposite de drainage). La superposition des géofilets doit être effectuée de manière à éviter que les rainures s'imbriquent les unes aux autres et diminuent la capacité de drainage du produit.

Pour les joints bout à bout des géofilets, un minimum de trois (3) attaches de plastique n'excédant pas entre elles un espacement de plus de 600 mm doivent être utilisés.

10.6.2 Géotextile (pour le géocomposite de drainage seulement)

Une fois le géofilet sécurisé, le géotextile supérieur du géocomposite de drainage doit être scellé par thermofusion (appareil Leister) ou cousu afin d'assurer qu'aucune particule ne puisse pénétrer entre les couches. Le géotextile inférieur est uniquement chevauché de 150 mm.

10.7 Inspection visuelle

À la suite de sa mise en place, chaque panneau de géofilet et/ou géocomposite de drainage est inspecté visuellement par le responsable de l'assurance qualité afin d'identifier toute surface endommagée, susceptible de l'être ou paraissant anormale. L'installateur répare à ses frais tout dommage, à la satisfaction du responsable de l'assurance qualité.

10.8 Réparations

Toutes les perforations et déchirures doivent être réparées avec une pièce du même produit. La pièce doit dépasser la défektivité d'au moins 300 mm dans toutes les directions.

Pour le géofilet, la réparation doit être sécurisée avec un minimum de quatre (4) attaches de plastique n'excédant pas entre elles un espacement de plus de 600 mm. Pour les géotextiles, la réparation doit être complètement scellée par thermofusion (appareil Leister). Aucune ouverture dans le géotextile ne doit être visible.

Les réparations effectuées doivent être acceptées par le responsable de l'assurance qualité en conformité avec les exigences du présent document et/ou du cahier des charges. Le responsable de l'assurance qualité se réserve le droit d'exiger de l'installateur des réparations supplémentaires.

11 Géocomposite bentonitique – Installation et contrôle

11.1 Suivi du responsable de l'assurance qualité

Le suivi des travaux de mise en place des géocomposites bentonitiques comprend les tâches suivantes :

- La vérification du déploiement des rouleaux;
- La vérification des assemblages de chaque panneau (laize);
- L'inspection visuelle du produit installé.

11.2 Mise en place

Aucun rouleau de géocomposite bentonitique ne peut être mis en place sans l'approbation préalable du responsable de l'assurance qualité. Cette approbation ne peut être obtenue qu'à la suite de la révision par le responsable de l'assurance qualité des vérifications exigées et à l'acceptation des travaux de mise en place des éléments sous-jacents.

Les techniques de mise en place préconisées doivent prévenir tout dommage aux rouleaux de géocomposite bentonitique. Celui-ci doit être coupé avec des instruments appropriés (tels que couteaux à tapis). Il doit être gardé aussi propre que possible et protégé d'une exposition à l'eau tant et aussi longtemps qu'il n'est pas complètement recouvert par une géomembrane.

11.3 Ancrage

Les assemblages des panneaux (laizes) de géocomposite bentonitique doivent se prolonger dans la tranchée d'ancrage. Aucune fixation à l'aide de piquets n'est tolérée dans la tranchée d'ancrage. Il est de la responsabilité de l'installateur d'assurer la stabilité des géocomposites bentonitiques avant le remblayage de la tranchée d'ancrage.

Le responsable de l'assurance qualité et l'installateur doivent donner leur accord avant le remblaiement final des tranchées d'ancrage.

11.4 Chevauchement

11.4.1 Sens des chevauchements

Tous les chevauchements doivent respecter le sens d'écoulement des eaux (du point haut vers le point bas) (voir figure 7).

11.4.2 Largeur des chevauchements

Un chevauchement minimum de 300 mm, ou tel que recommandé par le manufacturier, doit être assuré lors de la mise en place des rouleaux adjacents.

Un chevauchement minimum de 600 mm, ou tel que recommandé par le manufacturier, doit être assuré lors de la mise en place des rouleaux bout à bout.

11.5 Assemblage

11.5.1 Bentonite en poudre

Selon les spécifications du fabricant pour le produit retenu, de la bentonite en poudre doit être utilisée entre tous les joints. L'installateur doit prendre toutes les précautions nécessaires afin de ne pas disséminer de la bentonite en poudre dans l'air, sur les assises ou dans les réseaux de collecte.

11.6 Inspection visuelle

À la suite de sa mise en place, chaque panneau de géocomposite bentonitique est inspecté visuellement par le responsable de l'assurance qualité afin d'identifier toute surface endommagée, susceptible de l'être ou paraissant anormale. L'installateur répare à ses frais tout dommage, à la satisfaction du responsable de l'assurance qualité.

11.7 Réparations

Toute perforation ou déchirure devra être réparée avec une pièce du même produit. La pièce doit dépasser la déféctuosité d'au moins 300 mm dans toutes les directions. De plus, de la bentonite en poudre doit être insérée entre tous les joints.

Toute superficie hydratée ou altérée par l'eau avant le recouvrement doit être doublée.

Les réparations effectuées doivent être acceptées par le responsable de l'assurance qualité en conformité avec les exigences du présent document et/ou du cahier des charges. Le responsable de l'assurance qualité se réserve le droit d'exiger de l'installateur des réparations supplémentaires.

Annexe V Brochure explicative - Méthodes de détection de fuites



DÉTECTION
GÉOÉLECTRIQUE
DE FUITES

Alphard

l'ingénierie repensée

Nous nous surpassons pour nos clients

Nous sommes une firme d'ingénierie et de services professionnels centrée sur l'être humain. Notre équipe pluridisciplinaire de haute expertise offre des solutions innovantes et fiables qui répondent aux besoins spécifiques de chaque projet. Pragmatiques, agiles et fortement engagés, nous tirons notre fierté de la performance et de la réussite de nos clients.

TABLE DES MATIÈRES

1 LA DÉTECTION GÉOÉLECTRIQUE DE FUITE
3 LA MÉTHODE DE L'ARC ÉLECTRIQUE
4 LA MÉTHODE DU JET D'EAU
5 LA MÉTHODE DU DIPÔLE
6 NOS SCHÉMAS
7 NOS PROJETS





LA DÉTECTION GÉOÉLECTRIQUE DE FUITE

GROUPE ALPHARD

LES GÉOSYNTHÉTIQUES JOUENT UN RÔLE CLÉ DANS LA MAJORITÉ
DES OUVRAGES DE CONFINEMENT.

L'utilisation des géosynthétiques ne cesse de croître dans plusieurs secteurs d'activités tels que les matières résiduelles, les ouvrages miniers et industriels, la gestion des sols et sédiments contaminés, etc.

TYPES D'OUVRAGES

- ✓ Lieux d'enfouissement techniques
- ✓ Ouvrages de confinement industriels
- ✓ Parcs à résidus miniers
- ✓ Piles de lixiviation
- ✓ Fermetures de sites
- ✓ Bassins de traitement d'eau
- ✓ Barrages, digues
- ✓ Barrières de biogaz
- ✓ Plateformes de traitement des sols et sédiments contaminés
- ✓ Retenues collinaires

La performance d'un ouvrage de confinement par géosynthétiques est directement affectée par la présence de perforations dans la géomembrane. Les risques de perforation d'une géomembrane lors de la construction de l'ouvrage sont nombreux : poinçonnement, mauvaise soudure (fusion, extrusion), déchirure, coup de couteau, fausse manœuvre d'un engin, défauts d'usine, etc. Les techniques mobiles de localisation de fuites peuvent assurer l'intégrité des systèmes d'étanchéité avant leur mise en exploitation. Ces techniques peuvent également être utilisées pour effectuer un diagnostic de l'intégrité de bassins existants.

Les professionnels de Groupe Alphard ont plus de 15 ans d'expérience dans le domaine de la localisation géoélectrique de fuites. Leur expertise ne se limite pas seulement à effectuer des enquêtes sur des géomembranes couvertes et exposées, mais s'étend également dans le développement de nouvelles technologies et dans la standardisation des méthodes et technologies déjà existantes.

Les pages suivantes détaillent les méthodes actuellement utilisées par Groupe Alphard dans leurs projets de localisation de fuites.



Quelques statistiques

4 M

Groupe Alphard a effectué de la détection de fuites sur plus de 4 millions de mètres carrés de géomembrane, pour près de 129 projets différents.

396

Le plus grand nombre de fuites détectées pour un seul projet de réservoir d'eau potable est de 203 fuites par la technique du jet d'eau et 396 fuites par la méthode du dipôle.

12 m

La fuite la plus longue découverte à ce jour mesurait plus de 12 mètres de long. Elle a été détectée grâce à la technique du dipôle sous une couche de matériaux naturels.

21 %

En 2014, moins de 22 % de toutes les géomembranes installées dans la province de Québec ont été testées par une des méthodes de détection géoélectrique de fuites.

-13°C

Une campagne de détection de fuites par la technique du dipôle a été effectuée avec succès lors d'une température ambiante de -13 °C, conditions les plus froides à ce jour, exigeant des efforts importants pour réchauffer le sol environnant.

1,1 m

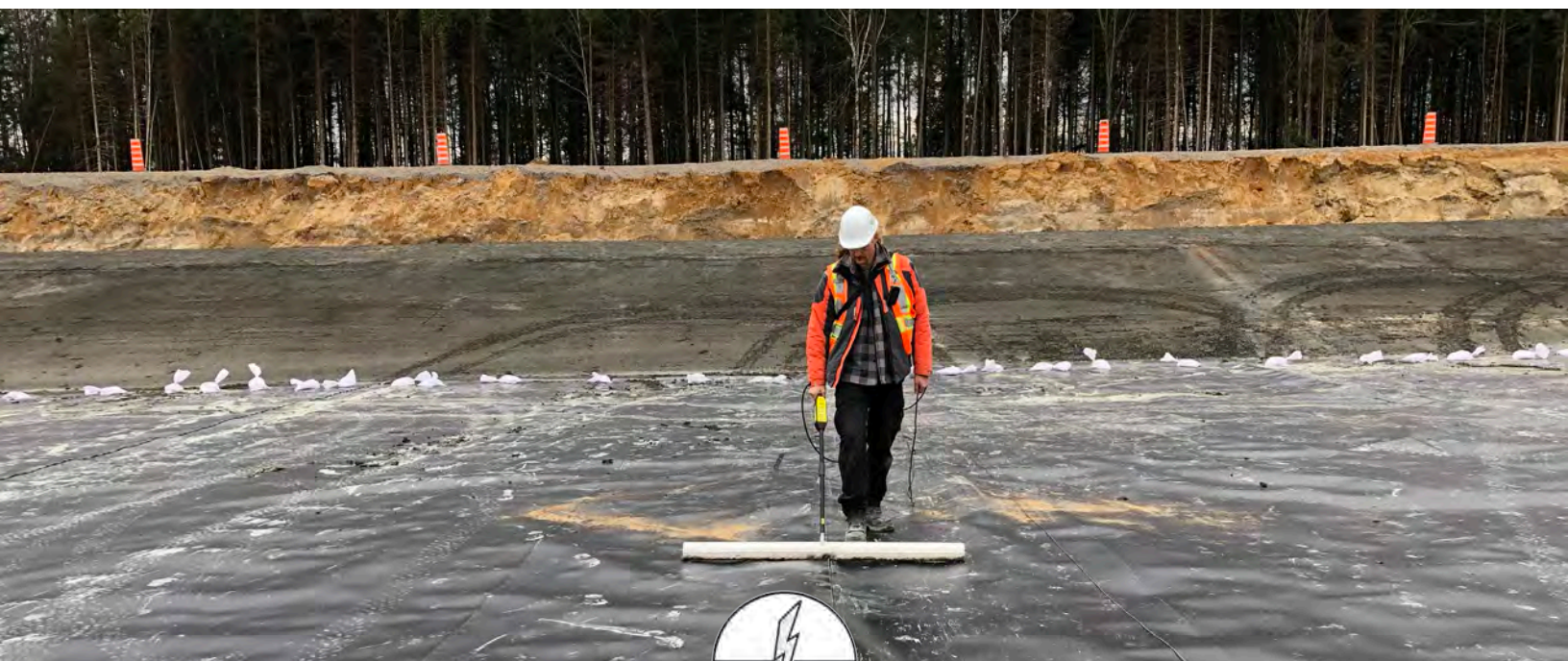
Le recouvrement le plus épais testé était une couche de 1,1 m d'épaisseur de terre de remplissage, de pierres et de rochers. Plusieurs fuites ont été détectées dans la géomembrane sous-jacente.

6 mm²

Les fuites détectées et excavées dans un bassin d'évaporation situé au Chili variaient entre 6 mm² et 30 m².

LA MÉTHODE DE L'ARC ÉLECTRIQUE

NORME ASTM D7240



La campagne de détection de fuites par la technologie de l'arc électrique (selon la norme ASTM D7240 – « Standard Practice for Leak Location Using Geomembranes with an Insulating Layer in Intimate Contact with a Conductive Layer via Electrical Capacitance Technique [Conductive Geomembrane Spark Test] ») permet de détecter les défauts apparus durant la pose de la géomembrane conductrice.

Grâce aux méthodes de fabrication de géomembranes co-extrudées, il est désormais possible de produire des géomembranes avec un noyau isolant et une couche conductrice sur une de ses faces. Cela permet d'utiliser la méthode de détection de fuites par arc électrique.

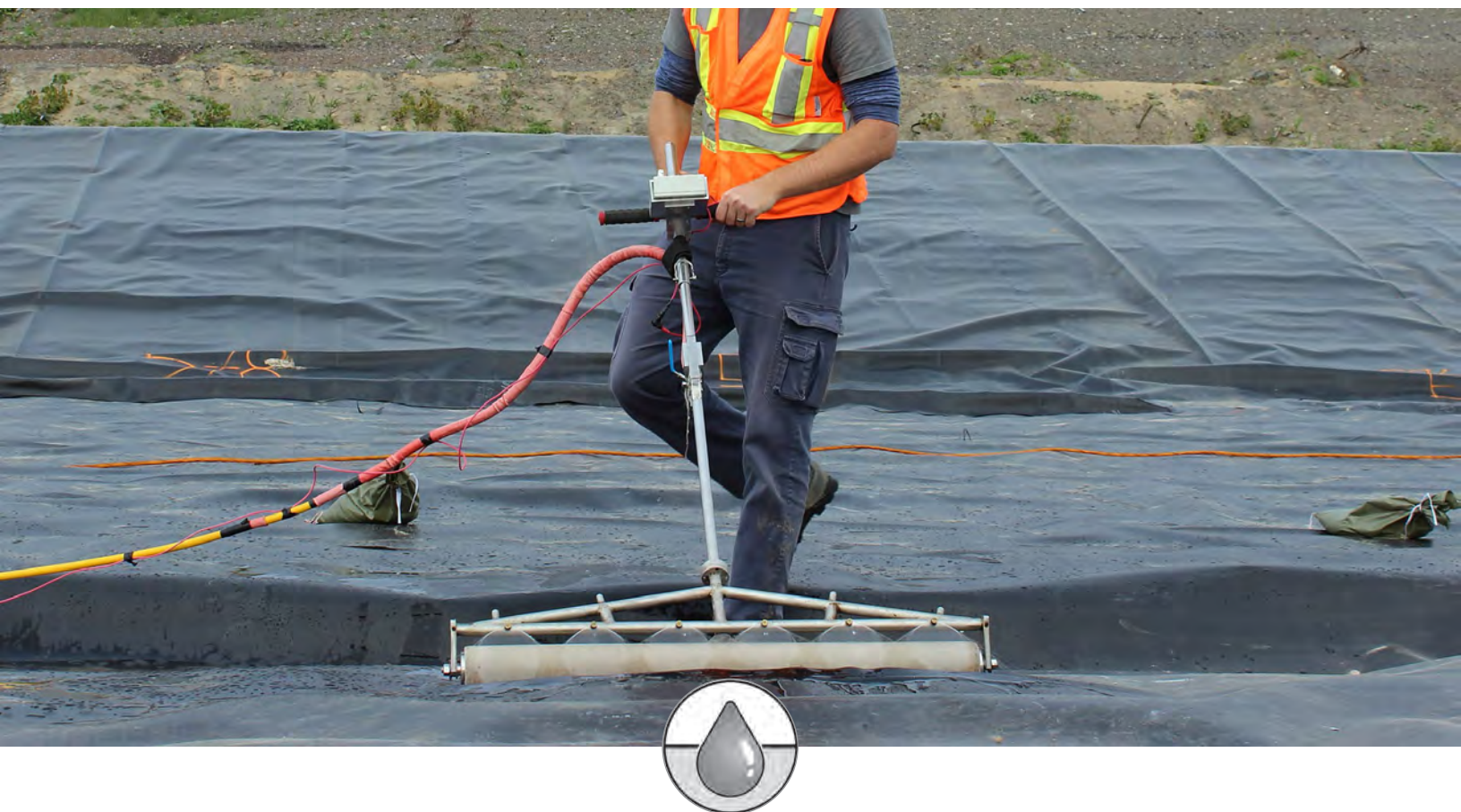
Pour ce faire, le côté conducteur de la membrane doit être installé face vers le dessous. Une source électrique

portable est utilisée pour charger la géomembrane en utilisant un élément plat conducteur, comme un disque en néoprène conducteur. La charge électrique est transmise dans la géomembrane par capacitance (champ magnétique), et lorsque le balai métallique passe à proximité d'un défaut, elle se décharge à la manière d'un arc électrique dans le balai, générant une alarme sonore provenant du détecteur électronique.

Selon la zone à tester, différents équipements peuvent être utilisés. Par exemple, de petits détecteurs à main sont utilisés dans les espaces plus étroits (confinés), tandis que de grands détecteurs seront généralement utilisés sur de grandes surfaces à aire ouverte. Avec cette méthode, des fuites aussi petites que 1 mm², même moins, peuvent être détectées.

LA MÉTHODE DU JET D'EAU

NORME ASTM D7002



La campagne de détection de fuites par la technologie du jet d'eau (selon la norme ASTM D7002 – « Standard Practice for Leak Location on Exposed Geomembranes Using Water Puddle Method ») permet de détecter les perforations qui peuvent apparaître durant la pose de la géomembrane.

La technique du jet d'eau est une méthode géoélectrique qui utilise la propriété d'isolation électrique de la géomembrane pour localiser des perforations (voir le schéma à la page 6). Une tension électrique continue (DC) est appliquée dans une lance métallique. Ensuite, une mise à la terre est placée à l'extérieur du site

afin de provoquer une différence de potentiel entre l'eau de la lance et l'assise de la géomembrane.

Dès qu'une perforation suffisamment large pour laisser passer l'eau est atteinte, un film d'eau traverse cette fuite et crée un pont électrique entre la tension positive et la mise à la terre. Un signal sonore est émis pour avertir le technicien spécialisé de la présence d'une fuite. La lance de jet d'eau humidifie 100 % de la surface à vérifier et valide donc entièrement la surface. Cette technologie permet de détecter des perforations de taille inférieure à 1 mm².

LA MÉTHODE DU DIPÔLE

NORME ASTM D7007



La campagne de détection de fuites par la technique du dipôle (selon la norme ASTM D7007 – « Standard Practices for Electrical Methods for Locating Leaks in Geomembranes Covered with Water or Earth Materials ») permet, quant à elle, de détecter les perforations pouvant être causées par la mise en place des matériaux de recouvrement.

La méthode géoélectrique du dipôle utilise la propriété d'isolation électrique de la géomembrane pour localiser des perforations (voir la figure à la page 6). Une tension électrique de l'ordre de

550 volts continus est directement injectée dans le recouvrement de sable. Puis, une mise à la terre est placée à l'extérieur du site afin d'obliger le courant électrique à passer par les éventuelles fuites dans la géomembrane, générant ainsi un champ électrique typique identifiable en surface par le technicien qualifié.

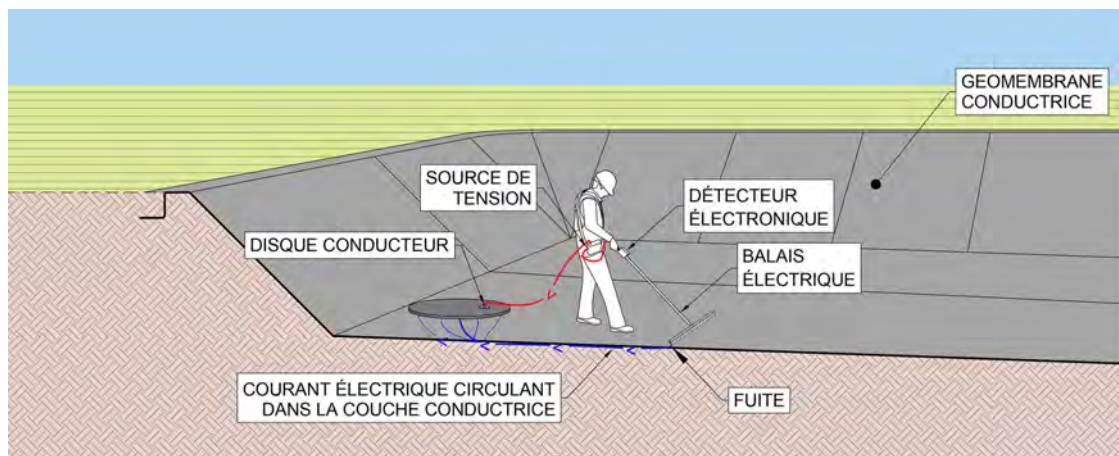
Cette technologie permet de détecter des fuites aussi petites que 6 mm de diamètre, et même moins lors de conditions de terrain idéales, et ce, même après un recouvrement granulaire maximal de 1 m d'épaisseur.

NOS SCHÉMAS



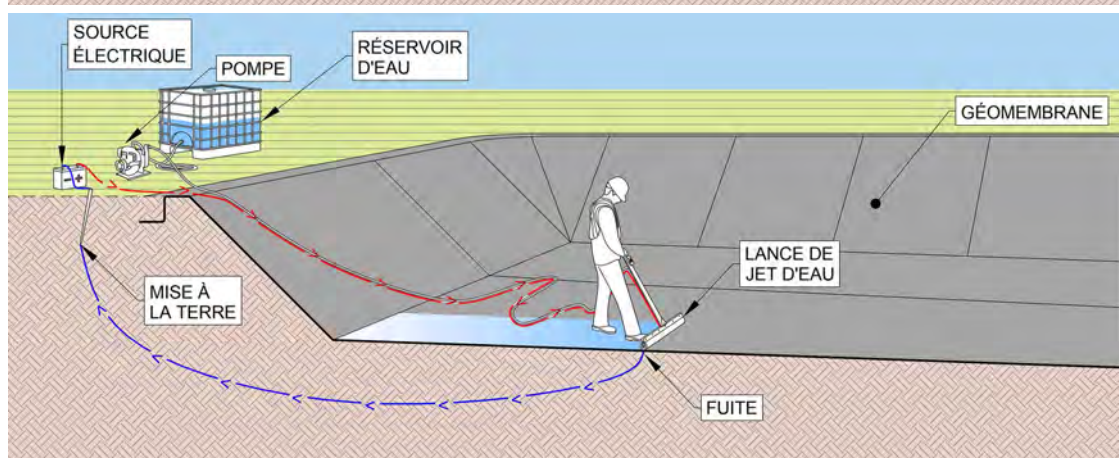
ARC ÉLECTRIQUE

ASTM D7240



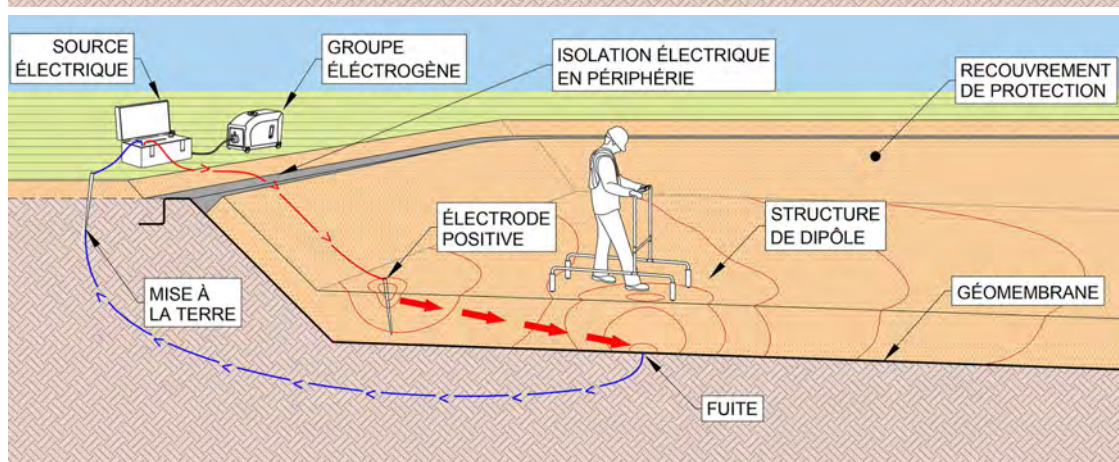
JET D'EAU

ASTM D7002



DIPÔLE

ASTM D7007



NOS PROJETS

Les professionnels de Groupe Alhard ont plus de 15 ans d'expérience dans le domaine de la localisation géoélectrique de fuites. Plusieurs clients nous font confiance.

QUELQUES-UNS DE NOS PROJETS :

- Base militaire de Borden (Ontario), Sanexen Environmental Services Inc. : 47 000 m² de jet d'eau (2021)
- Validation d'un secteur d'un bassin pour ArcelorMittal, Fournier & Fils (entrepreneur) demandé par BBA (ingénieur), Fermont (2021)
- Nouvelle cellule de sols contaminés à Signaterre, CAP Excavation (entrepreneur) pour AECOM (ingénieur) (2021)
- SQM Salar, Chili : 230 000 m² de dipôle (2020)
- Nouvelle cellule de déchets, Big Time Operation, Alberta : 44 000 m² de dipôle (2020)
- Vérification de bassin, Portugal (Lundin Mining) : 12 000 m² de jet d'eau (2020)
- Nouveau parc à résidus, Agnico Eagle, Rouyn-Noranda : approximativement 600 000 m² de jet d'eau sur 3 ans (2020)
- Bassin d'accumulation dans une mine de zinc, Portugal (Lundin Mining) : 12 900 m² de jet d'eau (2019)
- Lieu d'enfouissement technique, Colombie-Britannique (Belcorp Environmental Services Inc.) : 63 900 m² de jet d'eau et dipôle (2019)
- Extension de site d'enfouissement, usine de pâtes et papiers, Colombie-Britannique (Harmac) : 32 000 m² de dipôle (2018)

- Recouvrement de déchets miniers permanent à Val-d'Or, Québec (Teck Resources Ltd) : 122 800 m² de jet d'eau et dipôle (2018)
- Bassin de stockage d'eau de pluie, Washington : 171 000 m² de jet d'eau (2017)
- Site d'enfouissement de déchets radioactifs à Port Hope, Ontario : 92 000 m² de dipôle (2017)
- Site d'enfouissement de Comox Valley, cellule 1, Colombie-Britannique : 78 750 m² de jet d'eau et 46 700 m² de dipôle (2016-2017)
- Extension de lieu d'enfouissement technique, Calgary (East Calgary Landfill) : 64 940 m² de dipôle (2016-2017)
- Couverture permanente de poussières d'aciérage – Cellule B, Contrecœur (ArcelorMittal) : 29 545 m² de jet d'eau, 28 675 m² de dipôle (2016)
- Décontamination des cellules de sol 1 à 4, Mascouche (Signaterre) : 79 352 m² de jet d'eau et 60 523 m² de dipôle (2015)
- Décharge Spyhill Stage 3 (décharge municipale), décharge de la ville de Calgary (AECOM) : 55 625 m² de dipôle (2015)
- Fermeture Mine Barvue, Barraute (Québec) : 250 000 m² de jet d'eau, 253 000 m² de dipôle (2014)
- Couverture permanente de déchets miniers (Territoires du Nord-Ouest), Tundra Mines : 132 500 m² de jet d'eau (2014)
- Cellule d'enfouissement de sols contaminés, L'Épiphanie (Biogénie) : 156 000 m² de jet d'eau et dipôle (2012-2013)
- Bassin de traitement des eaux usées, Murdochville (Xtrata) : 17 000 m² de jet d'eau (2012)





Siège social

5570, avenue Casgrain,
bureau 101
Montréal (QC) H2T 1X9

Rive-Sud de Montréal

5005, boul. Lapinière,
bureau 3070
Brossard (QC) J4Z 3H8

Québec

1255, boul. Lebourgneuf,
bureau 480
Québec (QC) G2K 0M6

Saguenay

260, rue Racine,
bureau 101
Saguenay (QC) G7H 1R9

www.alphard.com

Annexe VI CV des auteurs

Alphard

Pascale Pierre, ing., Ph.D.

Profession

Ingénieure civile

Domaines d'expertise

Génie civil, Matériaux
Génie routier, Gestion de
projets

Années d'expérience

25 ans

Formation

Postdoctorat, Université Laval,
Québec et Service d'ingénierie,
Ville de Québec – 2000

D., Université Laval (Québec) et
École Nationale des Ponts et
Chaussées (France) – 1999

Diplôme d'ing., France – 1994

Associations professionnelles

Ordre des ingénieurs du
Québec, n° 123771 – 2004

AIPCR *World Road Association*
– 2012

Langue(s)

Français, anglais et espagnol

Madame Pascale Pierre a obtenu un diplôme d'ingénieure en 1994, un doctorat en génie civil en 1999 et un postdoctorat en génie civil en 2000.

De 2000 à 2013, au sein de l'Université Laval, ses principales fonctions ont consisté à réaliser des projets de recherche d'envergure avec des partenaires industriels portant sur les infrastructures de transport durables en région nordique ainsi que les matériaux utilisés en construction (matériaux cimentaires, granulaires, bitumineux et recyclés).

En 2013, Madame Pierre a apporté ses connaissances en génie civil aux projets spéciaux à valeur ajoutée et majeurs de l'entreprise en tant que directrice du Service d'ingénierie, au département Innovation et Développement de Englobe. Elle a notamment développé des matériaux de construction utilisant des sols contaminés en se basant sur le modèle des mélanges et les effets des interactions granulaires.

Depuis janvier 2017, Pascale Pierre s'est jointe à Groupe Alphard à titre de directrice de projets en ingénierie environnementale. Elle a, entre autres, réalisé plusieurs mandats en stabilité incluant les causes de l'instabilité, l'étude de stabilité, les recommandations de stabilisation, le concept jusqu'à l'ingénierie détaillée des solutions préconisées (plans et devis) ainsi que la surveillance des travaux.

PARCOURS PROFESSIONNEL

Groupe Alphard inc. (depuis 2017)
Directrice de projets, Innovations

Englobe corp. (2013-2016)
Directrice – Service d'ingénierie, Innovation et Développement

École d'architecture – Université Laval
Chercheure (2011-2013) Chargée de cours (2006-2012)

Département de génie civil – Université Laval
Attachée de recherche (2002-2008) Chargée de cours (2000-2002)

Lafarge, France (1999)
Chargée de recherche

PRINCIPALES RÉALISATIONS

Groupe Alphard inc. (janvier 2017 à aujourd'hui)

Directrice de projets, Innovation et Développement. Soutien à divers projets nécessitant des connaissances particulières en génie civil. Développement, participation et soutien à des projets spéciaux et innovants.

Réalisations :

- Évaluation de la stabilité et du tassement de matières résiduelles dans une régie intermunicipale;
- Projet d'expertise pour la stabilité d'une digue à Cap-Chat en fonction des mesures correctives en vertu de la *Loi sur les pêches*;
- Projets de stabilisation de berges (rivière Cascapédia, rivière Nouvelle, Percé) en Gaspésie;
- Plans et devis et documents de vulgarisation pour un site de compostage à Wemindji;
- Expertise dans un litige dans la construction d'une chaussée municipale à Malartic;
- Documents (administratifs, plans et devis techniques) d'un appel d'offres pour le recouvrement d'une fosse d'une mine à Louvicourt;
- Modèles numériques d'élévation à partir de levés aéroportés de plusieurs carrières et sablières;
- Étude de faisabilité pour un site de compostage au Saguenay;
- Plans et devis et surveillance de bureau pour un site de compostage à Amos.

Englobe corp. (2013-2016)

Directrice, Service d'ingénierie, département Innovation et Développement.

Réalisations :

- Participation au soutien aux ventes pour les projets spéciaux, à valeur ajoutée et majeurs avec une complexité technique et / ou un impact financier important;
- Optimisation du squelette granulaire et développement de matériaux cimentaires utilisant des sols biotraités comme matière première;
- Conception et dimensionnement de plusieurs aires de traitement, d'entreposage, de voies de circulation et de bassins pour la construction ou l'agrandissement de centres de traitement de sols (régions de Québec, de l'Estrie, de Montréal et de la Côte-Nord);
- Scénarios d'aménagement et terrassement incluant des études de stabilité ainsi que la conception et construction de routes d'accès vers les sites d'entreposage situés à Mine Jeffrey, Black Lake et à Carey, Québec;
- Étude de stabilité par l'optimisation et des proportions résidus / stériles à partir de leurs granulométries (et à la possibilité de les modifier) ainsi que leurs propriétés hydro-géotechniques.

Alphard

Pascale Pierre, ing., Ph.D.

École d'architecture – Université Laval (2006-2013)

Chercheure.

Réalisations :

- Traitement et stabilisation des routes non revêtues;
- Prolongement de l'Autoroute 30 – relevés et suivi d'anciennes chaussées à réhabiliter;
- Problématique de chaussée sur Honoré-Mercier (Québec);
- Essais expérimentaux aux arrêts d'autobus (Québec et Montréal).

Chargée de cours.

Réalisations :

- Conception de structures;
- Construction et design;
- Conception avancée de structures.

Département de génie civil – Université Laval (2000-2008)

Attachée de recherche.

Réalisations :

- Développement de matériaux pour des infrastructures de transport;
- Étude analytique et expérimentale du comportement des matériaux cimentaires fibrés pour la réparation de chaussée;
- Étude du comportement de matériaux au développement de méthodes de caractérisation;
- Critères de conception pour le dimensionnement des chaussées urbaines revêtues de pavés de béton;
- Construction, réhabilitation et entretien des routes à faible volume;
- Mise en place et suivi de techniques expérimentales sur les pistes d'aéroport au Nunavik.

Lafarge (1999)

Chargée de recherche. Direction de recherche et développement.

Réalisations :

- Matériaux cimentaires autoplaçants et armés de microfibres;
- Chapes autonivelantes.

PARTICIPATION À DES COMITÉS, DES COMMISSIONS OU DES ORGANISMES DÉCISIONNAIRES

2018-	Membre du Comité Développement Durable de l'Ordre des ingénieurs du Québec
2020-2023	Membre du Comité technique Infrastructures et transport routiers plus durables pour l'environnement de l'Association mondiale de la route (AIPCR) pour le cycle 2020-2023
2016-2019	Membre du Comité technique Changement climatique, environnement et catastrophes de l'Association mondiale de la route (AIPCR) pour le cycle 2016-2019
2012-2015	Membre du Comité technique Routes rurales et terrassements de l'Association mondiale de la route (AIPCR) pour le cycle 2012-2015
2002-2006	Membre du Comité organisateur de la 10 ^e conférence internationale sur les chaussées souples (ICAP, International Conference on Asphalt Pavements 2006), Québec, Canada

PUBLICATIONS (10 DERNIÈRES ANNÉES)

Beaulieu, L., Pierre, P., Lebel, L., Poulin, P. and Juneau, S. (2014) *Mechanical performance in field conditions of treated and stabilized granular materials used in unpaved roads: a longitudinal study*, Canadian Journal of Civil Engineering, 10.1139/cjce-2012-0423, pp. 97-105, Ottawa, Canada.

Moniz, C. et Pierre, P. (2012) *Performance des matériaux granulaires recyclés : MR2 À MR6*, ViaBITUME, vol. 7, n° 2, pp. 54-55, Québec, Canada.

Moniz, C. et Pierre, P. (2011) *Caractérisation des matériaux granulaires recyclés : MR2 À MR6*, ViaBITUME, vol. 6, n° 3, pp. 32-35, Québec, Canada.

Beaulieu, L., Pierre, P., Juneau, S. et Légère, G. (2011) *Guide pour l'entretien des routes non revêtues – Une méthode de sélection des abat-poussières et stabilisants*, FPInnovations, ISBN 978-0-86488-549-4, 51 p.

Bilodeau, J.P., Doré, G. et Pierre, P. (2010) *Optimisation de la granulométrie des matériaux granulaires de fondation des chaussées*, Canadian Journal of Civil Engineering, vol. 37, n° 10, pp. 1350-1362.

Doré, G., Drouin, P., Pierre, P., Desrochers, P., and Ullidtz P. (2006) *Estimation of the Relationships of Road Deterioration to Traffic and Weather in Canada*, 10th International Conference on Asphalt Pavements, Québec, Canada, International Society for Asphalt Pavements.

Alphard

Jean-François Bélanger, ing.

Profession

Ingénieur civil

Domaines d'expertise

Environnement
Ouvrages de confinement
Génie civil
Gestion de projets et de construction

Années d'expérience

24 ans

Formation

B. Ing., Génie civil,
concentration environnement
Université de Sherbrooke,
Sherbrooke (Québec) Canada –
1997

Associations professionnelles

Ordre des ingénieurs du
Québec, Canada, n° 119098,
depuis 2002

Langue(s)

Français, anglais et espagnol

Monsieur Jean-François Bélanger possède plus de 20 ans d'expérience professionnelle dans le milieu de l'environnement, du génie civil, de l'ingénierie du confinement et des projets miniers et industriels. Il a assumé la gestion de plusieurs projets de caractérisation et de réhabilitation environnementale de site, de conception d'ouvrages de confinement, incluant la préparation des offres de service, des plans et devis de soumission de construction, ainsi que la gestion et la supervision des travaux de chantier. Monsieur Bélanger a participé à de nombreuses missions internationales sur les cinq continents et parle le français, l'anglais et l'espagnol.

PARCOURS PROFESSIONNEL

Groupe Alphard inc. (depuis 2011)
Ingénieur sénior, ingénierie environnementale

Dessau inc. (2007-2011)
Chargé de projets, géo-environnement

Solmers inc. (2000-2007)
Chargé de projets, ingénierie du confinement

CECI (Bolivie. 1999-2000)
Coopérant volontaire, renforcement organisationnel et infrastructures sanitaires

Groupe HBA (1998)
Inspecteur d'ouvrages d'art, génie civil

China State Construction Engineering Corporation (Vietnam. 1997)
Conseiller technique, génie civil

Alphard

Jean-François Bélanger, ing.

PRINCIPALES RÉALISATIONS

Ingénierie du confinement

Ville de Québec, LEVQ, Aménagement de la Cellule 6 et ouvrages connexes (2021-2022)

Directeur du projet d'aménagement de la cellule no.6 au lieu d'enfouissement de la Ville de Québec à Saint-Joachim. Ingénierie détaillée et plans et devis pour l'aménagement de la cellule d'enfouissement no.6 et des ouvrages connexes (voirie, réseau de lixiviat, poste de pompage, etc.) ainsi que la gestion des équipes multidisciplinaires.

Gestion 3LB, Nouveau LESC à Bécancour (2018 à 2021)

Ingénieur de projet pour la demande de certificat d'autorisation pour l'aménagement d'un nouveau lieu d'enfouissement de sols contaminés (LESC). Études géotechniques et hydrogéologiques pour le développement du site. Ingénierie détaillée, plans et devis et supervision des travaux au chantier de la Phase I.

Gestion 3LB, Nouvelles cellules au LET de Bécancour (2019 à 2021)

Ingénieur concepteur et de projet pour le projet d'aménagement des nouvelles cellules d'enfouissement 2-1 à 2-4 au lieu d'enfouissement technique (LET) de Gestion 3LB à Bécancour. Ingénierie détaillée incluant les aspects géotechniques et hydraulique des ouvrages, plans et devis pour soumission et surveillance de chantier.

Régie Intermunicipale Argenteuil Deux-Montagnes, plateforme de compostage (2020-2022)

Directeur de projet. Préparation de la demande de certificat d'autorisation pour l'aménagement d'une plateforme de compostage muni d'un réseau de collecte du lixiviat sur le recouvrement final du LET de Lachute. Concept préliminaire et ingénierie détaillée comprenant les documents d'appel d'offres pour la construction de l'ouvrage. Soutien technique pendant la construction.

Enfouibec, recouvrement final d'un LEDCD à Bécancour (2019 à 2021)

Responsable du projet d'aménagement du recouvrement final au lieu d'enfouissement de débris de construction et de démolition (LEDCCD) d'Enfouibec à Bécancour. Ingénierie détaillée incluant les aspects géotechniques et hydrauliques des ouvrages. Plans et devis pour l'aménagement du recouvrement des phases I et II ainsi que la préparation d'un plan d'aménagement des phases subséquentes du recouvrement final.

Waptum, Wemindji, Nouveau LET (2019-2021)

Responsable du projet de développement d'un nouveau lieu d'enfouissement technique pour la communauté de Wemindji. Étudier, analyser et recommander des options de gestion des matières

Alphard

Jean-François Bélanger, ing.

résiduelles pour la communauté. Évaluation technique (géotechnique, hydrogéologie, règlementaire) des sites potentiels. Matrice décisionnelle et estimation préliminaire des coûts des options.

Ville de Québec, LEQ, recouvrement final (2019-2020)

Responsable du projet d'aménagement de la phase 4 de recouvrement final au lieu d'enfouissement de la Ville de Québec à Saint-Joachim. Ingénierie détaillée et plans et devis pour l'aménagement du recouvrement de la phase 4 ainsi que la préparation d'un plan d'aménagement des phases subséquentes de recouvrement final.

Ville de Chibougamau, lieu d'enfouissement technique, (2018-2019)

Chargé de projet pour le projet d'aménagement de quatre nouvelles cellules (cellules 13 à 16) et du recouvrement final des cellules 9 et 11 au lieu d'enfouissement technique de la Ville de Chibougamau. Ingénierie détaillée, plans et devis pour soumission et supervision des équipes de surveillance et d'assurance-qualité.

MRC de la Vallée-de-l'Or, lieu d'enfouissement technique, recouvrement final (2018)

Ingénieur concepteur et chargé de projet pour le projet d'aménagement du recouvrement final de la cellule 8 au lieu d'enfouissement technique de la MRC de la Vallée-de-l'Or à Val-d'Or. Ingénierie détaillée, plans et devis pour soumission.

Ville de Rimouski, lieu d'enfouissement technique (2018)

Chargé de projet pour le projet d'aménagement des cellules 10 et 11 et d'un recouvrement final au lieu d'enfouissement technique de la Ville de Rimouski. Ingénierie détaillée, plans et devis pour soumission.

Communauté atikamekw de Manawan, lieu d'enfouissement en tranchée (2018)

Assistance technique pour le développement d'un lieu d'enfouissement en tranchée pour la communauté de Manawan. Appui dans l'élaboration des concepts d'aménagement des ouvrages de confinement des matières résiduelles et dans la création d'un écocentre.

MDDELCC, étude de faisabilité technique et économique, Bécancour (2017)

Ingénieur de projet responsable de la réalisation d'une étude de faisabilité technico-économique pour l'excavation et l'enfouissement de résidus d'écume d'aluminium dans une nouvelle cellule de confinement à sécurité maximale à Bécancour.

Alphard

Jean-François Bélanger, ing.

FILMTEX, expertise sur des géomembranes en PVC utilisées pour des lagunes d'évaporation, Chili (2017)

Expertise technique dans le cadre d'un litige sur la performance d'une géomembrane en PVC utilisée dans des lagunes d'évaporation au Salar d'Atacama dédiées à la production de lithium.

Séché Environnement, Pérou et Chili (2016)

Audit technique dans le cadre d'un processus d'acquisition de deux centres de traitement et d'élimination de résidus industriels au Pérou et au Chili pour un client européen. Collecte des informations techniques et réglementaires pertinentes sur les sites et rencontres avec les dirigeants des entreprises exploitant les centres. Compte-rendu et rapport synthèse relativement à la conformité technique et réglementaire des ouvrages de traitement et d'élimination.

Afitex-Texel, guide technique, drainage des gaz sous dalle (2015-2016)

À la demande d'un fabricant de géosynthétiques, rédaction d'un guide de conception et de dimensionnement d'un système de drainage des gaz souterrains sous dalle au moyen d'un géocomposite de drainage.

Englobe, Manicouagan (2015-2017)

Étude de faisabilité technico-économique pour l'implantation d'un lieu d'enfouissement de sols faiblement contaminés et de résidus industriels selon les exigences du REIMR et du RESC dans la région de Manicouagan. Coordination et gestion des études géotechniques, hydrogéologiques et conception préliminaire des cellules d'enfouissement. Demandes de certificat d'autorisation auprès du MDDELCC et préparation des plans et de devis pour soumission et construction.

Domtar, Lebel-sur-Quévillon (2014 à 2015)

Gestion de projet et ingénierie détaillée pour l'aménagement d'une cellule d'enfouissement ainsi que d'un recouvrement final destiné à confiner les matières résiduelles et industrielles générées par l'usine.

ArcelorMittal, Contrecoeur (2013-2015)

Aménagement de la cellule 2 et fermeture de la cellule B d'un lieu d'enfouissement de matières dangereuses. Ingénierie détaillée et plans et devis et supervision des travaux au chantier.

CDC, base militaire de Valcartier (2013)

Chargé de projet et ingénieur concepteur pour le projet de conception et de dimensionnement d'un ouvrage de captage des eaux de ruissellement contaminées issues d'un champ de tir à la grenade. Gestion de projet et ingénierie détaillée des ouvrages.

Alphard

Jean-François Bélanger, ing.

Lac Mégantic (2013)

Conception d'ouvrages de confinement destinés à l'entreposage temporaire des sols contaminés et au traitement des eaux pompées lors des travaux de réhabilitation environnementale sur le site de la catastrophe ferroviaire de Lac-Mégantic.

Biogénie, site de l'Épiphanie (2011 à 2018)

Demande de certificat d'autorisation et pour l'aménagement d'un lieu d'enfouissement de sols faiblement contaminés. Ingénierie détaillée, plans et devis et supervision des travaux au chantier des Phases I et II.

Régie intermunicipale Argenteuil Deux-Montagnes (2008-2009)

Chargé de discipline. Préparation de la demande de certificat d'autorisation pour l'agrandissement d'un lieu d'enfouissement technique (LET) ainsi que des documents d'appel d'offres pour la construction de la première cellule de la nouvelle phase (plans et devis de construction). Révision des études antérieures et conception du LET en fonction des exigences réglementaires et des contraintes techniques et économiques.

Régie intermunicipale de gestion des déchets de Coaticook (2007)

Chargé de projet. Demande d'autorisation pour un nouveau lieu d'enfouissement technique (LET) et documents d'appel d'offres (plans et devis de construction). Révision des études antérieures et conception du LET en fonction des exigences réglementaires et des contraintes techniques et économiques.

Séché Éco-Industries, Changé, France (2005)

Ingénieur résident. Représentant de la compagnie sur le complexe environnemental de Séché Éco-Industrie. Coordination de la conception et des travaux de terrain sur le complexe. Planification avec le client des travaux en cours et à venir. Supervision de l'équipe de techniciens.

Norambar, Contrecoeur (2005)

Chargé de projet. Demande d'autorisation pour la fermeture d'un dépôt de poussières d'aciérie et documents d'appel d'offres (plans et devis de construction). Conception de la fermeture selon les exigences réglementaires et préparation des documents d'appel d'offres pour construction. Surveillance des travaux en chantier.

Séché Éco-Industries, Le Vigeant, France (2004)

Chargé de projet. Plan directeur d'exploitation de la fermeture d'un lieu d'enfouissement de déchets ménagers, étude de la gestion des eaux de ruissellement et conception détaillée de la fermeture des casiers.

Ingénieur de chantier, région métropolitaine de Santiago, Chili (2004)

Chargé de projet. Étude de faisabilité technique et économique pour l'implantation d'unités de traitement de résidus industriels, entre autres d'un site de compostage et un centre de stockage dans la région Métropolitaine de Santiago au Chili. Missions de collecte d'information et rencontres avec différents intervenants du milieu politique et gouvernemental. Préparation et rédaction d'un rapport synthèse regroupant les recommandations techniques et environnementales des différentes unités de traitement.

Municipalité du Tampon, La Réunion (2003)

Ingénieur de chantier. Assurance-qualité pour la pose de géosynthétiques et détection de fuite lors des travaux d'étanchéité d'une retenue collinaire d'une capacité de 350 000 m³. Préparation des programmes de contrôle et d'assurance-qualité et surveillance des travaux des poseurs. Présentation au client des techniques de détection de fuites et supervision des opérateurs de détection de fuites sur géomembrane.

ACDI, Concepción, Chili (2003)

Chargé de projet. Étude de faisabilité technique et économique pour un nouveau centre d'enfouissement technique pour la région métropolitaine de Concepción. Missions de collecte d'information et rencontres d'intervenants du milieu. Réalisation des livrables portant sur les concepts techniques du LET. Regroupement et synthèse des différents livrables et présentation des conclusions aux autorités responsables de l'élimination des matières résiduelles.

ACDI, Bogota, Colombie (2003)

Chargé de projet. Étude de faisabilité technique et économique pour un nouveau centre d'enfouissement technique pour la région métropolitaine de Bogota. Missions de collecte d'information et rencontres d'intervenants du milieu. Réalisation des livrables portant sur les concepts techniques du LET. Regroupement et synthèse des différents livrables et présentation des conclusions aux autorités responsables de l'élimination des matières résiduelles.

Coved, Montélimar, France (2003)

Chargé de projet. Gestion de projet, conception, préparation des plans et devis, surveillance du génie civil, assurance-qualité sur les géosynthétiques, analyse des résultats de laboratoire sur les géosynthétiques, détection des fuites sur les géomembranes et préparation des rapports de réception des travaux d'un lieu d'enfouissement sanitaire.

Alphard

Ahcene Ait Mekourta, ing.

Profession

Ingénieur civil

Domaines d'expertise

Gérance de construction
Gestion de projets
Assurance qualité
Ingénierie environnementale
Ouvrages de confinement
Géosynthétiques
Minier (parc à résidus)

Années d'expérience

22 ans

Formation

École polytechnique de
Montréal, cours de
perfectionnement en génie civil
- 2007
Ing., Génie civil, Institut
national de formation en génie
civil, Alger, Algérie - 1994

Associations professionnelles

Ordre des ingénieurs du
Québec, Canada, n° 140952,
depuis 2008

Langue(s)

Français, kabyle et arabe

M. Ahcene Ait Mekourta est gestionnaire de projet ayant une expérience de 22 années dans la conduite et la supervision de chantiers de construction. Il a été impliqué dans différents types de projets, de la phase de conception, à l'inspection et la gestion de construction et aussi comme entrepreneur en qualité de gérant de projet. Il a contribué comme ingénieur de chantier à la réalisation de projets de grande envergure dans les domaines du génie civil et minier, des matières résiduelles et des sols contaminés, notamment pour des sites d'enfouissement municipaux et industriels, haldes à stériles, stations de pompage et bassins de traitement des lixiviats, système de captage des biogaz, barrage, bâtiments industriels, traitement de glissement de terrain dans le domaine routier par procédés géosynthétiques et réhabilitation d'ouvrages en béton armé. M. Ait Mekourta maîtrise les techniques de construction des ouvrages en béton armé, béton conventionnel et béton compacté au rouleau (BCR), il possède des connaissances et une parfaite maîtrise des procédés d'exécution des matériaux géosynthétiques utilisés dans les ouvrages de confinement ainsi que le traitement des glissements et le renforcement des sols. En plus des projets réalisés au Québec, il a travaillé en Algérie sur divers projets de construction.

PARCOURS PROFESSIONNEL

Groupe Alphard inc. (depuis 2012)

Chargé de projets - Ingénierie de confinement/construction

Génivar Sec (2008-2012)

Chargé de projets - Ingénierie de confinement

Solmers inc. (2007-2008)

Chargé de projets - Ingénierie de confinement

Société algérienne des grandes constructions (SAGC) Algérie
(2003-2006)

Directeur technique - Construction Génie civil

Entreprise publique Géni sider, Alger - Algérie

Directeur des travaux - Construction Génie civil (2001-2003)

Ingénieur des travaux - Construction Génie civil (1998-2001)

Entreprise publique Cosider, Bejaia - Algérie (1997-1998)

Ingénieur responsable du laboratoire et chef de lot béton

PRINCIPALES RÉALISATIONS

Environnement/Enfouissement/Confinement

Groupe Alphard inc.

Chargé de projets. Gestion et supervision de l'équipe de construction constituée d'ingénieurs et de techniciens de chantier affectés sur divers projets au Québec et à l'extérieur du Québec, gérance de construction, conception de sites d'enfouissement, préparation des documents d'appel d'offres, gestion de l'aspect technique des projets, préparation des offres de services pour divers Clients, gestion de projets (suivi des échéanciers et budget, recommandation de paiement, rédaction des rapports d'avancement et de réception des travaux), estimation des coûts des travaux pour divers projets, assurance-qualité sur les géosynthétiques et les matériaux naturels, surveillance des travaux de génie civil.

Réalisations :

- Conception des phases II et III du lieu d'enfouissement de sols contaminés – Englobe inc. – LESC Vitaliterre à L'Épiphanie.
- Gérance de construction lors de l'aménagement des phases I, II et III – LESC Vitaliterre à L'Épiphanie.
- Conception de quatre cellules d'enfouissement de la phase II au LET de Bécancour pour le compte de Gestion 3LB, gestion de projet et supervision de l'équipe chargée de la surveillance des travaux de terrain.
- Gestion de projet et supervision de l'équipe chargée de l'assurance qualité et de détection de fuites lors de l'installation de la géomembrane d'étanchéité au droit de la phase I de la cellule 5 au site minier LaRonde – Agnico Eagle Mines Limited – Rouyn-Noranda.
- Gestion de projet et supervision de l'équipe chargée de la surveillance des travaux de terrain lors de l'aménagement du recouvrement final des cellules 10 et 12 au LET de la Ville de Sept-Îles.
- Conception d'une cellule d'enfouissement au LET de Saint-Étienne-des-Grès pour le compte de la Régie de gestion des matières résiduelles de la Mauricie (RGMRM), gestion de projet et supervision de l'équipe chargée de la surveillance des travaux de terrain.
- Conception de quatre nouvelles cellules d'enfouissement et fermeture de deux cellules existantes pour le compte de la MRC La Vallée-de-l'Or, gestion de projet et supervision de l'équipe chargée de la surveillance des travaux de terrain.
- Conception de quatre nouvelles cellules d'enfouissement et fermeture de deux cellules existantes au LET de Chibougamau pour le compte de la Ville de Chibougamau.
- Conception de deux nouvelles cellules d'enfouissement et fermeture d'une cellule existante au LET de Rimouski pour le compte de la Ville de Rimouski, gestion de projet et supervision de l'équipe chargée de la surveillance des travaux de terrain.

Alphard

Ahcene Ait Mekourta, ing.

- Gestion de projet et supervision de l'équipe chargée de la surveillance des travaux d'aménagement des digues et des ouvrages de gestion des eaux d'un parc à résidus minier – Minerai de fer Québec (MFQ) Lac Bloom – Fermont.
- Étude des options de gestion de sédiments provenant des travaux de dragage sur un terrain appartenant à l'APM (Administration portuaire de Montréal) – Agrandissement du terminal portuaire de Contrecoeur.
- Étude de concept pour le recouvrement final d'un parc à résidus minier avec géomembrane – Mine LaRonde - Agnico Eagle Mines Limited – Rouyn-Noranda.
- Gestion de projet et supervision de l'équipe chargée de la surveillance des travaux de terrain lors de l'aménagement de la cellule B et de la fermeture de la cellule 2 – ArcelorMittal – Contrecoeur.
- Conception d'une cellule d'enfouissement pour poussières d'aciérage, préparation des documents d'appel d'offres et supervision des travaux de terrain – ArcelorMittal – Contrecoeur.
- Conception et préparation des documents d'appel d'offres pour aménagement d'un ouvrage de captage et de traitement – Champ de tir – Valcartier.
- Surveillance des travaux de terrain et gestion de projet lors de l'aménagement de la cellule d'enfouissement de sols contaminés (LESC) à l'usine Domtar – Lebel-sur-Quévillon.
- Surveillance des travaux d'aménagement de site d'entreposage temporaire des sols contaminés – Lac-Mégantic.
- Supervision de l'équipe chargée d'assurer la surveillance des travaux de terrain et gestion de l'aspect technique du projet – Recouvrement des résidus minier, Tundra Mine, Yellowknife, Territoires du Nord-Ouest.
- Gestion de projet et supervision de l'équipe chargée de vérifier et valider l'intégrité de la géomembrane de fermeture par les méthodes géoélectriques de détection de fuites – Fermeture permanente de la mine Barvue – Barraute – Région de l'Abitibi-Témiscamingue.
- Supervision de l'équipe chargée d'assurer la surveillance des travaux de terrain et gestion de l'aspect technique du projet – Travaux d'imperméabilisation et de réparations de digues – Lac Bloom – Fermont.
- Conception, préparation des plans et devis et supervision de l'équipe chargée de la surveillance des travaux de terrain – Aménagement d'une aire de stockage temporaire d'argile alumineuse – Orbite Aluminae – Usine de Cap-Chat.

Génivar Sec

Chargé de projets. Conception de sites d'enfouissement, préparation des documents d'appel d'offres, gestion de l'aspect technique des projets, préparation des offres de services pour divers Clients, gestion de projets (suivi des échéanciers et budgets, recommandation de paiement, rédaction des rapports d'avancement et de réception des travaux), estimation des coûts des travaux pour divers projets, assurance-qualité sur les géosynthétiques et les matériaux naturels, surveillance des travaux de génie civil, contrôle de la conformité des travaux par rapport aux plans et devis.

Alphard

Ahcene Ait Mekourta, ing.

Réalisations :

- Conception et préparation des documents d'appel d'offres pour l'aménagement de deux Centres d'enfouissement technique (CET) pour les villes de Jacmel et Gressier en Haïti.
- Préparation d'une étude de recherche de sites et réalisation des dessins techniques d'une nouvelle décharge dans la région métropolitaine de Port-au-Prince secteur ouest – Haïti.
- Conception d'une halde à stériles, d'un bassin de rétention, d'un bassin des eaux clarifiées et supervision des travaux de terrain lors de la construction – Mines Opinaca – Baie-James.
- Conception, préparation des documents d'appel d'offres et supervision des travaux de terrain lors de l'aménagement d'une nouvelle cellule d'enfouissement (Cellule A) pour poussières d'aciérage – ArcelorMittal – Contrecoeur.
- Conception et préparation des documents d'appel d'offres pour l'aménagement des fermetures des cellules 1 à 4 d'enfouissement de poussières d'aciérage – ArcelorMittal – Contrecoeur.
- Supervision des travaux de terrain lors de l'excavation et de l'imperméabilisation de deux bassins – Mines Opinaca – Baie-James.
- Gestion de projet et supervision des travaux de terrain lors de l'aménagement d'un réseau de captage du biogaz et forage de puits d'extraction des biogaz, aménagement d'un réseau pour gestion des lixiviats, construction d'un bassin de sédimentation, installation d'une unité de refroidissement des biogaz, construction de routes et d'ouvrages en béton – Waste Management – Saint-Nicéphore – Drummondville (site d'enfouissement des déchets ménagers).
- Gestion de projet et supervision des travaux de terrain lors de l'aménagement d'une cellule d'enfouissement et d'un réseau de récupération des lixiviats, aménagement d'un réseau de refoulement avec station de pompage – Waste Management – Sainte-Sophie (site d'enfouissement des déchets ménagers).
- Gestion de projet et supervision des travaux de terrain lors de la fermeture du DMS (dépôt des matériaux secs et meubles) de Cantley, aménagement d'un réseau du captage du biogaz et d'une unité de traitement et d'élimination des biogaz (torchère à flamme invisible) – MDDEP – Gatineau.

Solmers inc.

Chargé de projets. Assurance qualité lors de l'installation des Géosynthétiques et de la mise en place des matériaux naturels, vérification de l'intégrité des géomembranes avec les méthodes géoélectriques de détection de fuites, surveillance des travaux de génie civil, contrôle de la conformité des travaux par rapport aux plans et devis, préparation des documents d'appel d'offres, gestion de projets (suivi des échéanciers et budgets, recommandation de paiement, rédaction des rapports d'avancement et de réception des travaux).

Réalisations :

- Supervision des travaux de terrain et assurance-qualité sur les géosynthétiques lors de la fermeture de la cellule d'enfouissement (cellule 5) – ArcelorMittal – Contrecoeur.
- Supervision des travaux de terrain et assurance-qualité sur les géosynthétiques lors de l'aménagement d'une cellule pour enfouissement de sols contaminés – Ecolosol – Mascouche.

Alphard

Ahcene Ait Mekourta, ing.

- Supervision des travaux de terrain et assurance-qualité sur les géosynthétiques lors des travaux d'imperméabilisation de deux réservoirs d'eau potable de la ville de Montréal (Atwater et Vincent d'Indy).
- Assurance-qualité sur les géosynthétiques lors des travaux de restauration du site minier abandonné Eustis en Estrie.
- Supervision des travaux de terrain et assurance-qualité sur les géosynthétiques lors de l'aménagement d'une cellule d'enfouissement – Domtar – Windsor.
- Campagnes de détection de fuites pour valider l'intégrité des géomembranes installées par les méthodes géoélectriques de détection de fuites (méthode du jet d'eau sur les géomembranes exposées et méthode du dipôle sur les géomembranes recouvertes d'une couche de recouvrement)
– Divers projets au Québec.

Génie civil

Groupe Alphard inc.

Chargé de projets. Gérance de construction, gestion de projets et surveillance des travaux de structures et génie civil.

Réalisations :

- Assistance technique, surveillance des travaux de terrain et inspection structurale pour la coulée en continu des silos à ciment du terminal Sainte-Catherine (silo 1 : 60 m de hauteur et 22,4 m de diamètre, silo 2 : 60 m de hauteur et 15,6 m de diamètre) – Ciment McInnis.
- Assistance technique, surveillance des travaux de terrain et inspection structurale des fondations et éléments porteurs en béton armé pour l'extension de l'usine Kruger – Crabtree.

Société algérienne des grandes constructions (SAGC)

Directeur technique. Gérer l'aspect technique de l'ensemble des projets de la compagnie, assurer l'assistance technique aux chargés de projets, établir le budget global annuel et les budgets par projets, répondre aux appels d'offres, élaborer les devis techniques et contrats des travaux, mettre en place un système qualité des travaux, gérer la relation avec les différents organismes techniques, gérer les dossiers de sous-traitance.

Réalisations :

- Promotion des solutions géosynthétiques sur divers projets industriels et routiers.
- Confortement d'un important glissement de terrain d'une route avec solution de remblai technique associé aux géosynthétiques de renforcement – Bejaia – Algérie.
- Réalisation d'une usine de stockage et de transformation des bitumes au port d'Alger (fondations sur pieux de 1,2 m de diamètre et 18 m de profondeur) – Alger – Algérie.

- Réalisation des travaux de voirie et réseaux divers au niveau de l'Académie militaire de Cherchell – Cherchell – Algérie.
- Réalisation d'un important ouvrage de protection d'oléoduc en béton armé – Bouira – Algérie.
- Réalisation des travaux de drainage en utilisant un procédé géosynthétique au niveau de l'Autoroute Est-Ouest – Bouira – Algérie.
- Réalisation d'une rampe d'accès à un ouvrage d'art en utilisant le procédé français Atalus 120 associé à un géotextile de renforcement – M'Sila – Algérie.
- Réalisation d'un mur de soutènement en utilisant le procédé français Atalus 120 associé à un géotextile de renforcement au niveau de la piscine olympique de la compagnie pétrolière Sonatrach – Alger – Algérie.
- Réalisation des travaux d'aménagement extérieur de l'aéroport international d'Alger – Alger – Algérie.

Entreprise publique Géni sider

Directeur des travaux. Assurer une bonne coordination entre les différents services et intervenants, gérer les relations avec les différents organismes externes, assurer un plan de charge et négocier les contrats, veiller au respect de la qualité des livrables, des budgets et des échéanciers des travaux.

Réalisations :

- Atteinte des objectifs (qualité, coûts et délais) sur le programme de réalisation de 1200 logements (structure en béton armé avec utilisation du coffrage « tunnels ») – Tizi Ouzou – Algérie.
- Réalisation de deux tours en béton armé – Bejaia – Algérie.

Ingénieur des travaux. Assurer la bonne conduite des travaux, définir l'ordonnancement des tâches à effectuer ainsi que les techniques de construction et le phasage des travaux, assurer une bonne coordination entre les différents intervenants sur le chantier, veiller au respect de la qualité des travaux, des budgets alloués et des délais de réalisation contractuels.

Réalisations :

- Réalisation des travaux de gros œuvre de la base de maintenance des avions de la compagnie aérienne Air Algérie (ayant agi comme sous-traitant de SNC-Lavalin) – Alger – Algérie.
- Réalisation d'une usine et bacs de stockage de carburant pour le compte de la société pétrolière Sonatrach – Alger – Algérie.
- Réalisation des travaux de réhabilitation de l'hôtel Royal (Reconstitution de l'ensemble des planchers et chemisage des éléments porteurs en béton armé, tout en gardant intacte la façade principale de l'hôtel construite depuis plus d'un siècle) – Oran – Algérie.

Entreprise publique Cosider

Ingénieur responsable du laboratoire. Assurer le contrôle-qualité des matériaux, établir les formulations des bétons conventionnels et le béton compacté au rouleau (BCR), superviser les différents essais effectués sur les matériaux naturels (granulaires), superviser les essais effectués sur les différents types du béton, émettre des avis techniques et recommandations si nécessaires.

Ingénieur-chef de lot béton. Veiller à l'organisation des équipes de génie civil, définir le phasage des travaux et l'ordonnement des tâches ainsi que les techniques de construction et s'assurer du respect des objectifs de qualité, des budgets alloués et des délais de réalisation contractuels.

Réalisations :

- Contrôle qualité et analyses au laboratoire des matériaux granulaires et mélanges de béton.
- Réalisation d'une digue de 35 000 m³ avec du béton compacté au rouleau (BCR) et d'un évacuateur de crue en béton conventionnel – Barrage de TICHY-HAF d'une capacité de 150 millions de m³ – Bouhamza – Algérie.

PERFECTIONNEMENT PROFESSIONNEL

2019	Gestion de projets : Comment réduire les risques de litiges en construction (FOR Mobile Centre de formation intégrée – Montréal)
2018	Gestion de projets : Rôles, responsabilités et attitudes (ÉTS – Montréal)
2017	Gestion de projets : Les fondements de la maîtrise des coûts (ÉTS – Montréal)
2016	Gestion de projets : Concept et savoir-faire (ÉTS – Montréal)
2016	Formation sur la surveillance des travaux de construction (OIQ – Montréal)
2015	Gestion du risque dans un projet d'ingénierie (RéseauIQ – Sirius conseil – Montréal)
2013	Techniques de contrôle de projets en ingénierie (RéseauIQ – Sirius conseil – Montréal)
2013	Outils et techniques en gestion de projet d'ingénierie (RéseauIQ – Sirius conseil – Montréal)
2012	Être efficace dans un projet de construction (FOR Mobile Centre de formation intégrée – Montréal)



CURRICULUM VITAE

Eric BLOND, eng., M.Sc.A.

Eric Blond Consultant
BP 48615 CSP Van Horne
Outremont, Quebec
H2V 4T9 Canada

Tel (514) 621-9934

eric@ericblond.com
www.ericblond.com

EXPERT IN GEOSYNTHETIC MATERIALS AND TECHNOLOGIES

KEY EXPERTISES

- Geosynthetics: materials properties, durability, interaction with soils, drainage
- Civil engineering applications of geosynthetics (environmental applications, highways, civil works)
- Polymeric construction materials used in the building envelope
- QA/QC of polymeric construction materials

AFFILIATIONS

Ordre des Ingénieurs du Québec (OIQ), member – Professional Engineer

PROFESSIONAL BACKGROUND

2018-present – Owner, Eric Blond Consultant

- Expertise in geosynthetics and membranes used in construction
- Forensic investigations
- Engineering support for innovative products
- Market intelligence, strategic marketing
- Training

June 2019 - December 2019 – Global Technical Director, Solmax International

- Responsible of the technical department of Solmax International (world leader in polyethylene geomembranes with operations spread over 4 continents)

2013-present – Invited lecturer, École Polytechnique de Montréal

Invited lecturer for two courses, one undergraduate and one post-graduate

- CIV1140 – Introduction to geosynthetics materials and technologies
- GML8109 – Designing of confinement systems with geosynthetics

2006-2018 – Director, then Vice-President, CTT GROUP / SAGEOS (St-Hyacinthe, Quebec)

- Business Development, Sales and Marketing
- Administration and laboratory management
- Expert reports
- Contribution to in industry associations and standard development.

2000-2006 – Technical Director, SAGEOS (St-Hyacinthe, Quebec)

- Technical assessment of laboratory reports
- Development of test methods
- Business development, geosynthetics testing and research services

1995-2000 – Project Leader, SAGEOS (St-Hyacinthe, Quebec)

- Laboratory and field research projects for public or private customers, focusing on the application of geosynthetics in roadways, landfills, for erosion control and for building applications.
- Development of laboratory tests methods.

ACADEMIC BACKGROUND

1992-1995: M.Sc.A., Geotechnical engineering, École Polytechnique de Montréal

Project: soil filtration by geotextiles

1987-1992: Civil Engineering and Urbanism, INSA de Lyon, France

Specialization: building and geotechnical engineering

Optional courses in Fine Arts (Industrial design and photography)

IMPLICATION IN INDUSTRY ASSOCIATIONS, STANDARD DEVELOPMENT AND EXTERNAL RESEARCH ACTIVITIES

ASTM D35 (American Society for Testing and Materials, Geosynthetics committee)

- Chairman of Subcommittee D35.02 on the Durability of Geosynthetics (2014-present)
- Member of D35.90 (Executive committee) (2012-2016)
- Responsible of several standards and task groups since 2004

IGS (International Geosynthetics Society)

- Chairman of the Hydraulic Committee (2020-present)
- Elected twice as a Council Member (2010-2016)
- Chairman of the Corporate Committee (2012-2014)

ISO TC221 (International Organisation for Standardization, Technical Committee on Geosynthetics)

- Chairman of the Canadian Mirror Committee of TC221 (2013-present)
- Member of WG4 on hydraulic properties and WG6 on designing with geosynthetics (2002-present)
- WG6-PG3 Group Leader Designing for Filtration, (2014-present)

CSA (Canadian Standards Association)

- Member of CSA A123.23 on Bituminous Roofing Materials (2014-Present)

CGS (Canadian Geotechnical Society)

- President of the Geosynthetics Division and member of the board (2004-2007)
- Member of the Annual Conference Organizing Committee (Québec 2004 and Montreal 2013)

CCMC (Canadian Construction Material Centre)

- Member of the CCCME – Canadian Commission on Construction Materials Evaluation (2018-Present)
- Scheme committee on water management (2018-2019)
- Member of the SCTE - Standing Committee on Technical Evaluations (2009-2018)

Queens University

- Industrial partner / advisor for the research chair on “Barrier systems engineering for environmental protection from emerging contaminants of concern”

Laval University

- Industrial Partner / advisor for the research chair on “Interaction Charge / Climat / Chaussée” (load / climate / roadways) (2008-2012)

PUBLICATIONS, CONFERENCES, COURSES

(non-exhaustive)

- Blond, E. (2021): Designing geocomposites drains in leachate collection layers and double lining systems. Proceedings of Sardinia 2021, the 18th International Symposium on Waste Management and sustainable landfilling, Cagliari, Italy, 11 - 15 October 2021.
- Blond, E. (2021): The design of drainage geocomposites for long term applications. Webinar organized by the UK-Chapter of the IGS (International Geosynthetics Society) September 14, 2021
- Blond, E. (2021): Repeatability of aging tests, Report on ASTM D35 efforts. ACIGS Forum on Geo-Barriers – March 23, 2021 (Online). Australian Chapter of the International Geosynthetics Society.
- Blond, E (2021): Designing Geotextiles for Filtration: A Review of the State of the Practice, Development of Design Standard ISO 18228-3. Geosynthetics Conference 2021, Kansas City (MO), February 21-24, 2021 (virtual)
- Allen, S; Blond, E; Medlin, M; Von Maubeuge, K; Kurek, R; Suits, D; Islam, Z; Lozano, R (2021): Current Hot Topics in ASTM International Committee D35 on Geosynthetics. Geosynthetics Conference 2021, Kansas City (MO), February 21-24, 2021 (virtual)

- Eric Blond, Pietro Rimoldi, Kelvin Legge, Michael Heibaum, Markus Wilke, Sam Allen (2021): IGS TC-H Panel on: Filtration and Drainage Performance of Geosynthetics in Changing Climate Conditions. Geosynthetics Conference 2021, Kansas City (MO), February 21-24, 2021 (virtual)
- Blond (2021) : Introduction aux Géosynthétiques dans les projets d'Infrastructure, Webinar organized by Terrafix Geosynthetics, February 17, 2021
- Plusquellec H, Blond E (2020) : Irrigation Canals Lining: Moving from a Short- to Long-Term Effectiveness of Seepage Control with the Use of Geosynthetics; Presentation at the Special TC-H Session on Canal Lining, Organized by IGS Technical Committees TC-H (Hydraulics), Geoamericas 2020 Conference (Virtual)
- Blond E (2020): Testing and Design of Drainage Geocomposites. Webinar organized by the FGI – Fabricated Geomembranes Institute – June 16, 2020
- Blond E (2020): ACIGS Webinar: Designing with Geocomposites Drains for Long-Term Applications; Webinar organized by the ACIGS – The Australian Chapter of the International Geosynthetics Society, April 22, 2020
- Blond E (2020): Review of the Improvements to OIT and Heat Aging Test Methods Currently under Discussion in ASTM D35; 2020 Geomembrane Workshop Series of the ACIGS – The Australian Chapter of the International Geosynthetics Society, March 16-17 2020 (Melbourne); March 16-17 2020 (Brisbane)
- Blond E (2019): Index and Performance Testing of Flow Capacity of Geocomposite Drains; IGS Workshop - Technical Committee on Hydraulics (TC-H) Workshop, Prague, 13 November 2019
- Blond E (2019): Introduction to the New Standard ISO TR 18228-3 on Designing for Filtration; IGS Workshop - Technical Committee on Hydraulics (TC-H) Workshop, Prague, 13 November 2019
- Dupont, N., Mlynarek J., Blond E (2019) : La certification des géotextiles utilisés en génie routier : une édition 2018 mieux ciblée sur les besoins du marché; Revue Routes et Transports, Vol.48 #1 printemps 2019 - Infrastructures, aménagements et technologies
- ISO 18228-3 (in press) Design using geosynthetics — Part 3: Filtration (main author / coordinator)
- Blond E, Saunier P, Dolez P (2018): Filtration of oil-sand tailing slurries, Geosynthetics Magazine, 2018
- Saunier, Blond (2018): Lessons learned on the Performance of Multi-Linear Drainage Geocomposites for Mining Applications; Proceedings of Tailings and Mine Waste Conference 2018, Sept 30 – Oct 2 2018, Keystone, Co
- Dolez, Blond, Saunier (2018): Use of an electrically conductive drain-tube planar geocomposite (eGCP) for accelerating the dewatering of mine tailings; Proceedings of the XIth international Conference on Geosynthetics, Sept 16-21 2018, Coex, Seoul, Korea
- Adesokan D, Blond E. (2018): Asperity height or asperity concentration: what matters more for interface shear resistance on textured polyethylene (PE) geomembranes?; Proceedings of the XIth international Conference on Geosynthetics, Sept 16-21 2018, Coex, Seoul, Korea
- Beaumier D, Dolez P, Blond E, Adesokan D (2018): Analysis of the effect of a white coextruded layer on the development of solar radiation-induced wrinkles in polyethylene geomembranes; Proceedings of the XIth international Conference on Geosynthetics, Sept 16-21 2018, Coex, Seoul, Korea

- Blond, E (2018): Testing and Specification of Geosynthetics; Workshop organized by IGS Technical Committee on Hydraulic Applications, 2018 International Conference and 69th IEC Meeting of the ICID, 12-17 August 2018, Saskatoon, Saskatchewan, Canada
- Blond E. (2017): Measuring Geosynthetics Performance: Drainage; IGS-TC-H Geohydraulics Week, New Orleans, LA, November 7 – 9, 2017
- Blond E, Boyle S, Ferrara M, Herlin B, Plusquellec H, Rimoldi P, Stark T (2017): Applications of Geosynthetics to Irrigation, Drainage and Agriculture; ICID Journal
- Blond, E (2017): Testing of Geosynthetic Products used in Irrigation, Drainage and Agricultural Applications, Workshop organized by IGS Technical Committee on Hydraulic Applications, 23rd International Congress on Irrigation and Drainage, October 2017, Mexico City, Mexico
- Saunier, Blond (2017): Statement of the Performance of Tubular Drainage Geocomposites for Mining Applications; Proceedings of Tailings 2017, the 4th International Seminar on Tailings Management, July 12-17 2017, Santiago, Chile
- Beaumier, Dolez, Blond (2017): Laboratory Measurement of the Linear Thermal Expansion of Geomembranes Using a Dynamic Mechanical Analyzer (DMA), Proceedings of GeoFrontiers Conference, Orlando, 2017
- Dolez, Blond (2017): Evaluation of Geotextile Performance for the Filtration of Fine-grained Tailings, Proceedings of GeoFrontiers Conference, Orlando, 2017
- Dolez, Beaumier, Taghizadeh, Blond (2017): Effect of White and Black Colors on Heat Generation in Polyethylene Geomembranes Exposed to Solar Radiation, Proceedings of GeoFrontiers Conference, Orlando, 2017
- Blond E (2016) ASTM Standards on Geosynthetics: D35.02 on Endurance Properties, ASTM D35 sponsored pre-conference short course, GeoAmerica conference, Miami, March 2016
- Dolez, Blond, Saunier (2016): Effect of the Composition of Tailings on Their Dewatering Using Electrically Conductive Drain-Tube Planar Geocomposites (eGCP), Proceedings of GeoAmerica Conference, Miami, 2016
- Jablonka, Beaumier, Blond (2015): Long Term Durability of Polymeric Water-Resistive Barriers, Proceedings of the North American Passive House Conference 2015, Chicago
- Bauters, T, Zhao, A, Blond, E, Saunier, P (2014): Designing and Specifying Planar Drainage Geocomposites, Pre-conference short course, Geosynthetics'15 conference, Portland, February 2015
- Blond E (2015) ASTM Standards on Geosynthetics: D35.02 on Durability, ASTM D35 sponsored pre-conference short course, Geosynthetics'15 conference, Portland, February 2015
- Dolez P.I., Beaumier D, Blond E (2015) A Laboratory Test Method to Measure the Permeability of Geomembranes to Methane and Carbon Dioxide, Proceedings of Geosynthetics'15 conference, Portland, February 2015 (in press)
- Blond E, Veermersch O, Diederich R (2015) A Comprehensive Analysis of the Measurement Techniques used to Determine Geotextile Opening Size: AOS, FOS, O90, and 'Bubble Point', Proceedings of Geosynthetics'15 conference, Portland, February 2015
- Dolez P.I., Ragoubi M, Beaumier D, Blond E (2014) Measuring the Permeability of Geomembranes to Methane and Carbon Dioxide, Proceedings of the 10th International Conference on Geosynthetics, Berlin, September 2014

- Dolez P.I., Chappel M.J., Blond E (2014): Evaluating the Use of Geotextile Filters to Dewater Oil Sands Tailings, Proceedings of the 10th International Conference on Geosynthetics, Berlin, September 2014
- Dolez P.I., Hassani F, Gamdani F, Ragoubi M, Blond E (2014) Improvement of Polyethylene Geomembrane Barrier Properties Using Nanoparticles, Proceedings of the 10th International Conference on Geosynthetics, Berlin, September 2014
- Blond E, Saunier P, (2014) Laboratory Evaluation of the Performance of Tubular Drainage Geocomposites for Ore Filtration and Acid leachate Collection, proceedings of 'Geosynthetics in Mining Conference, infomine, Vancouver 2014
- Blond E, Breul B (2014) Behavior of bituminous geomembranes under elevated compression stress, proceedings of 'Geosynthetics in Mining Conference, infomine, Vancouver 2014
- Blond E (2013) Material specification and CQC/CQA + Lab testing: What is typically required and what should be required, CGS 2013 Pre-conference short course: 'Geosynthetics in landfills and other barrier systems', Kerry Rowe, 2013
- Chappel M, Blond E (2013) The Compatibility of Geotextiles with Mature Fine Tailings, Proceeding of the Seventeenth International Conference on Tailings and Mine Waste, 3-6 November 2013, Banff, Alberta, Canada
- Chappel M, Blond E, Saunier P (2013) Case study of water evacuation from a waste cover via evapotranspiration and a drainage geocomposite, Proceedings of the 66th Canadian Geotechnical Society Conference, Montreal
- Dolez P, Blond E (2013) A discussion on issues pertaining to the containment of nanomaterials in landfills, Proceedings of the 66th Canadian Geotechnical Society Conference, Montreal
- Blond E, Saunier P, Daqoune T, Fourmont S. (2013) Assessment of the effect of specimen dimensions and shape factor on the measured transmissivity of planar tubular drainage geocomposites using a large scale transmissivity apparatus. Proceedings of the 66th Canadian Geotechnical Society Conference, Montreal
- Blond E., Fourmont S., Saunier P. (2013) Biological clogging resistance of tubular drainage geocomposites in leachate collection layers, Proceedings of Geosynthetics'13, Palm Beach, California
- Bauters, T, Zhao, A, Blond, E, Allen S, Saunier, P (2014): Designing and Specifying Planar Drainage Geocomposites, Pre-conference short course, Geosynthetics'15 conference, Portland, February 2015
- Beaumier D., Blond E., Mlynarek J. New technique for accurate quantification of plasticizers in PVC geomembranes, Proceedings of the Second Pan American Geosynthetics Conference & Exhibition GeoAmericas 2012, Lima, Perú - May 2012
- Bourges-Gastaud S., Blond E., Saunier P: Applicability of drain tubes planar geocomposites for heap leach pads, Proceedings of the Second Pan American Geosynthetics Conference & Exhibition GeoAmericas 2012, Lima, Perú - May 2012
- Zhao A., Blond E., Recalcati P. (2012) Drainage Geonet Composites and Performance Assessment, Proceedings of EuroGeo 2012, Valencia, Spain

- Blond E., Fourmont S., Bloquet C. (2012) Applicability of tubular drainage geocomposites as part of the leachate collection layer with respect to biological clogging, Proceedings of EuroGeo 2012, Valencia, Spain
- Blond E., Fourmont S., Bloquet C. (2011). Évaluation comparée du colmatage bactériologique d'un géocomposite de drainage en fond d'installation de stockage de déchets, Rencontres Géosynthétiques 2011, Tours, France
- Daqoune T., Blond E. (2010). Development of a New Filtration Testing Apparatus Involving Mechanical Stresses. Proceedings of Geosynthetics 2010, Guaruja, Brazil
- Saunier P., Blond E. (2010). Behavior of 'Draintube' Drainage Geocomposites under High Compression Load. Proceedings of Geosynthetics 2010, Guaruja, Brazil
- Marcotte M., Denis R., Blond E. (2009). Design Algorithm for the Puncture Resistance of PVC Geomembranes for Heap Leach Pads. Proceedings of Geosynthetics Middle East, Dubai, 2009
- Saunier P., Blond E. (2009). Behavior of 'Draintube' Drainage Geocomposites under High Compression Load. Proceedings of Geosynthetics 2009, Salt Lake City, 2009
- Jablonka M., Blond E. (2009). Long Term Performance Requirements for Hdpe Drainboards. Proceedings of Geosynthetics 2009, Salt Lake City, 2009
- Blond E. (2008). Les certifications de produits : gestion de la qualité ou protection de marché? 'Buildtech' session opening presentation, Hightex Conference, Montréal, 2008
- Mok M., Blond E., Mlynarek J., Jeon H.J. (2008). Manufacturing Factors affecting the short-term compressive properties of traditional bi-planar geonets. Proceedings of the International Conference on Geosynthetics, Cancun, 2008
- M.S. Mok, E. Blond, J. Mlynarek, H.Y. Jeon (2008): Study on geonet's short-term compressive properties and its transmissivity. Proceedings of GeoAmerica, Pan-American Conference on Geosynthetics, Cancun, March 2008.
- E. Blond, M.-C. Wilson, R. Ciubotariu, M. Bouthot (2007): Design of a Geotextile Used as a Key Filtration and Reinforcement Component of a Sediment Capping Structure Installed in Shallow Water. Proceedings of the 60th annual conference of the Canadian Geotechnical Society, Ottawa, October 2007.
- E. Blond (2007): Innovation in the House Building Sector. Revue du Textile, Janvier 2007.
- E. Blond, G. Elie (2007): Interface Shear-Strength Properties of Textured Polyethylene Geomembranes. Canadian Environmental Protection, Jan/Feb 2007
- E. Blond, G. Elie (2006): Interface Shear-Strength Properties of Textured Polyethylene Geomembranes. Proceedings of the 59th annual conference of the Canadian Geotechnical Society, Saskatoon, October 2005.
- E. Blond, G. Elie, D. Kay (2006) : La spécification des géomembranes de polyéthylène vis-à-vis de la durabilité / The Specification of Durability Requirements for Polyethylene Geomembranes, Rencontres Géosynthétiques 2006, Montpellier, France
- Blond E. (2006) : Les géosynthétiques : une révolution dans l'industrie du génie-civil, Revue du Textile, Avril 2006.

- Blond E., Davidson S., Jetté D., Quesnel P., Vermeersch O. (2005): On-Site Monitoring Of The First Canadian 'Piggy-Back' Landfill, In Quebec. 58th annual conference of the Canadian Geotechnical Society, Saskatoon, October 2005.
- E. Blond, J. Mlynarek (2005): Specification and Design Criteria for Geotextile Filters To Be Used In Agricultural Drainage, 58th annual conference of the Canadian Geotechnical Society, Saskatoon, October 2005.
- MAPAQ : Guide de reference technique en drainage souterrain et travaux accessoires, CRAAQ / Agriculture, Pêcheries et Alimentation Québec, 2005 ISBN 2-7649-0145-3 (Section 4 : Les Matériaux Filtrants' authored by Blond)
- P. Quesnel, D. Jetté, E. Blond (2005): On-Site Monitoring of the First Canadian 'Piggy-Back' Landfill, Réseau Environnement, Montréal, Septembre 2005
- D. Kay and E. Blond. (2005): A Guide to Assess the Durability of 'Plastic' Materials Used in Civil Engineering. CSCE annual conference, 6th Transportation Specialty Conference, Toronto, Ontario, Canada, June 2-4, 2005
- Blond E.: Frost Heave Mitigation and Drainage Application of Geosynthetics in Municipal Roadways. Pavement Design and Rehabilitation Seminar and Workshop, Ministry of Transportation of Ontario, North Bay (Ont), December 1 -2, 2004
- Blond E., Benckroun L., Vermeersch, O., Mlynarek, J. (2004) : Devis type pour géotextiles de séparation. Infra 2004, Montréal, Novembre 2004
- Blond E., Benckroun L., Vermeersch, O., Mlynarek, J. (2004): Durability of Separation Geotextiles. Proceedings of the 5th Forum on Geosynthetics, Toronto, November 2004.
- Blond, E. (2004): Études de performance effectuées sur des géotextiles de séparation. Mini-colloques AQTR / SAGEOS : 'Les géotextiles et les géogrilles en génie routier', Gatineau – Sherbrooke – Sainte-Marie de Beauce – Rimouski – Saguenay, Novembre 2004
- Kay, D., Blond, E., Mlynarek, J. (2004): Geosynthetics Durability: A Polymer Chemistry Issue. Proceedings of the 57th annual conference of the Canadian Geotechnical Society, Québec, October 2004.
- Bouthot M., Wilson M.C., Ciubotariu R., Blond, E. (2004): Evaluation of the Chemical Compatibility of Geosynthetics used as Components of a Subaqueous Capping System for Contaminated Sediments. Proceedings of the 57th annual conference of the Canadian Geotechnical Society, Québec, October 2004.
- Blond, E., Vermeersch, O., Mlynarek, J. (2004) : Développement d'un devis type pour les géotextiles de séparation utilisés en construction routière au Québec. Comptes-rendus du 4^{ème} Forum sur les Géosynthétiques, Québec, 11, 12 février 2004.
- Blond E., Vermeersch, O., Mlynarek, J. (2004): Selection of Protective Cushions for Geomembranes Puncture Protection. Comptes-rendus du 4^{ème} Forum sur les Géosynthétiques, Québec, 11, 12 février 2004.
- Blond, E., Mlynarek, J. (2003) : Frost Heave Mitigation and Drainage Application of Geosynthetics in Canadian Municipal Roadways. Proceedings of the Korean Geosynthetic Society Conference, November 28, 2003

- Blond E., Davidson S., Jetté D., Bouthot M., Quesnel P. (2003): Landfill extension using geogrids as reinforcement: Discussion and case study in Quebec. Proceedings of the Ninth International Waste Management and Landfill Symposium, Sardinia, 6 - 10 October 2003.
- Blond E., Bouthot, M., Vermeersch, O., Mlynarek, J. (2003): Selection of Protective Cushions for Geomembranes Puncture Protection. Proceedings of the 56th annual conference of the Canadian Geotechnical Society, Winnipeg, October 2003.
- Blond E., Davidson S., Jetté D., Bouthot M., Quesnel P. (2003): Authorisation, Construction and Instrumentation of a 'Piggy-Back' Landfill in Quebec. Proceedings of the 56th annual conference of the Canadian Geotechnical Society, Winnipeg, October 2003.
- Blond, E., Bouthot, M., Vermeersch, O., Mlynarek, J. (2003): Développement d'un devis type pour les géotextiles de séparation utilisés en construction routière au Québec. Congrès annuel de l'AQTR, Sherbrooke, Avril 2003.
- Légère, G., Blond, E. (2002): Utilisation des géosynthétiques de renforcement sur tourbières en voirie forestière. Colloque sur le transport en génie forestier, AQTR, Trois rivières, Mai 2002.
- Légère, G., Blond, E. (2002): Applicability of Geosynthetics for the Reinforcement of Forest Roads in muskeg bogs, Avantage FERIC, Vol. 3, No. 25, June 2002.
- Légère, G., Blond, E. (2002): Applicabilité des géosynthétiques de renforcement sur tourbière en voirie forestière, Avantage FERIC, Vol. 3, No. 25, Juin 2002.
- Kay, D., Senf, D.F., Blond, E. and Vermeersch, O.G. (2002): "Durability of cellular confinement systems in Quebec", Geosynthetics - State of the Art - Recent Developments, 7th International Conference on Geosynthetics, Nice, p. 1435, Sept. 2002.
- Bouthot M., Vermeersch O.G.; Blond E., Mlynarek J. (2002): The number of constrictions concept as a mean to predict the filtration behavior of nonwoven geotextile filters. Proc. of the 7th international conference on Geosynthetics, Nice 2002
- Bouthot, M., Bernard, F., Vermeersch, O. & Blond, E (2002): Évaluation des propriétés résiduelles de filtres géotextiles de systèmes de drainage. 37e Congrès annuel de l'AQTR, Québec.
- Bernard, F., Bouthot, M., Vermeersch, O. & Blond, E (2002): Évaluation des propriétés résiduelles de filtres géotextiles de systèmes de drainage. Recueil des communications, Forum Géosynthétiques 2002, Saint-Hyacinthe, Québec.
- Bouthot, Blond (2002): Géosynthétiques de renforcement pour la conception des chaussées souples. Rapport préparé pour : Ministère des Transports du Québec, Mars 2002 (185 pp)
- St-Laurent, D., Bouthot, M. & Blond, E (2002): Applicabilité des géogrilles dans les routes et autoroutes interurbaines. Recueil des communications, Forum Géosynthétiques 2002, Saint-Hyacinthe, Québec.
- Blond E. (2002): Assurance et contrôle qualité : Impact de la nouvelle réglementation québécoise sur la gestion des matières résiduelles, Forum Géosynthétiques 2002, Saint-Hyacinthe (Québec), Février 2002.
- Blond, E. (2002): Le drainage des chaussées municipales. Colloque Infrastructure de l'AQTR, Drummondville, Mai 2002
- Blond, E. (2001): Les géosynthétiques : survol des applications en génie routier. Colloque sur les géosynthétiques, 22 novembre 2001, Jonquière

- Blond, E. (2001): Contrôle en laboratoire des géosynthétiques. Colloque OPAGE, 21 novembre 2001, Québec
- Blond, E. (2001): Laboratory Testing of Geosynthetics. OPAGE, April 24, 2002, Moncton (NB)
- (Publications for year 2000 missing)
- Bernard F., Blond E., Mlynarek J. (1999): « Influence du drainage sur la fissuration des chaussées municipales », Filters and Drainage in Geotechnical and Environmental Engineering, Wolski & Mlynarek Ed., p. 203-213
- Bouthot M., Vermeersch O.G., Blond E., Mlynarek J. (1999): « Effet du nombre de constriction sur le comportement en filtration des géotextiles non-tissés », Filters and Drainage in Geotechnical and Environmental Engineering, Wolski & Mlynarek Ed., p. 203-213
- Blond E., Mlynarek, J., Brodeur, M., Chartrand, L. (1999): « Comportement hivernal et printanier de chaussées municipales isolées et drainées sur la rue Nelson à St-Hyacinthe », 'Infra'99 – La semaine des Infrastructures', Palais des congrès, Montréal
- Blond E., Mlynarek, J., Brodeur, M., Chartrand, L. (1999): « Comportement hivernal et printanier de chaussées municipales », Filters and Drainage in Geotechnical and Environmental Engineering, Wolski & Mlynarek Ed., p. 203-213
- Mlynarek, J., Sarazin P., Blond E. (1999): « Failure Analysis of a CSPE Geomembrane after 20 years of use », Proc. Rencontres géosynthétiques 99, Bordeaux, France.
- Blond E., Mlynarek, J., Brodeur, M. (1999): « Amélioration de la fonctionnalité de sous-fondations à l'aide de géosynthétiques : le site expérimental de la rue Martineau à St-Hyacinthe, Québec », Proc. Rencontres géosynthétiques 99, Bordeaux, France.
- Blond E., Mlynarek, J., Brodeur, M. (1999): « Expérimentation de solutions pour améliorer le comportement thermique, hydraulique et structural de chaussées par l'utilisation de géosynthétiques », Rencontre régionale du CERIU, Rouyn-Noranda, 12 mai 1999.
- Mlynarek J, Blond E., Bouthot M., Marcil R., (1999): « General investigation of the behavior of a roadway with Geosynthetic Edge Drains during a Thunder rainfall in LaSalle Municipality (Quebec) », Proc. of Geosynthetics'99 Conference, Boston.
- Blond E., Mlynarek J., Marcil R.J., Bouthot M. (1999): « Étude du comportement d'une chaussée équipée de drains géosynthétiques lors d'un orage dans la municipalité de LaSalle », Routes et transports, vol 28 n°1, p.9-20.
- Brodeur, M., Blond E., Mlynarek, J. (1999): « Amélioration du comportement et de la fonctionnalité d'éléments de structure de chaussée municipale : les projets de la rue Martineau et de la rue NELSON à St-Hyacinthe », Contact-plus, la revue de l'AIMQ, n°28, hiver 1999, p 12-14.
- Blond E., Mlynarek, J., Brodeur, M., (1998): « Expérimentation d'un système multi-couches isolant, drainant et renforcé pour structures de rues à la ville de St-Hyacinthe », La semaine des infrastructures urbaines 'Infra'98', 4ème édition, 24-26 novembre 1998, palais des congrès, Montréal.
- Blond E., Mlynarek, J., Brodeur, M., Chartrand, L. (1998): « Fonctionnalité et rentabilité de drains et séparateurs géosynthétiques en milieu routier municipal sur la rue Martineau à St-Hyacinthe », 33e Congrès AQTR, Québec.
- Marcil R.J., Mlynarek J., Blond E. (1998): « Technologies géosynthétiques de drainage routier municipal : le projet de Ville de LaSalle - l'approche d'un ingénieur municipal », 33e Congrès AQTR, Québec, avril 1998.

- Mlynarek J., Blond E., Marcil R.J., Chartrand L. (1998): « Efficacité des drains géosynthétiques latéraux d'une chaussée municipale de la Ville de LaSalle (Québec) », 33e Congrès AQTR, Québec.
- Blond E., Mlynarek, J., Brodeur, M. (1998): « Les géosynthétiques : pour la substitution ou l'amélioration de sous-fondations de chaussées », Géoglobe, vol 1, n°2, été 1998, p 29-32.
- Austin, D.N., Mlynarek, J., Blond, E.: « Expanded Anti-Clogging Criteria for Woven Filtration Geotextiles », Proc. of Geosynthetics'97 Conference, San Diego, 1997.

STANDARDS AND SPECIFICATIONS

Geosynthetics / Civil Engineering

Key contributions – either as main author or a significant contributor. All ASTM Standards but D7178 and D7700 were existing documents which underwent extensive revisions under the leadership of Eric Blond

- ASTM D5101: Standard Test Method for Measuring the Filtration Compatibility of Soil-Geotextile Systems
- ASTM D5199: Standard Test Method for Measuring the Nominal Thickness of Geosynthetics
- ASTM D5397: Standard Test Method for Evaluation of Stress Crack Resistance of Polyolefin Geomembranes Using Notched Constant Tensile Load Test
- ASTM D5493: Standard Test Method for Permittivity of Geotextiles Under Load
- ASTM D5514: Standard Test Method for Large Scale Hydrostatic Puncture Testing of Geosynthetics
- ASTM D5885: Standard Test Method for Oxidative Induction Time of Polyolefin Geosynthetics by High-Pressure Differential Scanning Calorimetry
- ASTM D7178: Standard Practice for Determining the Number of Constrictions “m” of Non-Woven Geotextiles as a Complementary Filtration Property
- ASTM D7700: Standard Guide for Selecting Test Methods for Geomembrane Seams
- BNQ 7009-210: Geotextiles Used in Road Engineering – Classification, Characteristics and Test Methods
- Guide de référence technique en drainage souterrain et travaux accessoires (2005)
Development of technical requirements for geotextile filters used on HDPE corrugated drainage pipes for agricultural drainage, assorted to a selection criteria based on field assessment (visual, tactile and hand-tests) and a training program
- ISO 18228-3: Design using geosynthetics — Part 3: Filtration
- OPSS 1860: Material Specification for Geotextiles

Building and Housing

Support provided to the Canadian Construction Material Centre for the development of Technical Guides for evaluation of innovative construction materials

- CCMC 03 46 13.03 – Technical Guide for HDPE foundation product intended for use as a concrete footing form and drainage tile
- CCMC 07 11 19.01: Technical Guide for Foundation Wall Dampproofing Systems – Dimpled Membranes

- CCMC 07 21 19.06: Technical Guide for “Spray-Applied Polyurethane Foam Installed in One Pass with a Maximum Thickness of 140 mm”
- CCMC 07 21 19.03: Technical Guide for Low Density, Open Cell, Spray-Applied Polyurethane Foam Thermal Insulation Material Used as an Insulative Sheathing and Inner Boundary of Second Plane of Protection
- CCMC 07 54 19.01: Technical Guide for PVC Sheet-Applied Decking Membranes (Exposed to Light Pedestrian Traffic)
- CCMC-07 65 26.02: Technical Guide for Acrylic Polyolefin Sheathing Tape and Self-Adhering Flashing
- CCMC-07 65 26.01: Technical Guide for Butyl-Based Self-Adhering Sheet Flashing
- CCMC 33 46 23.01: Technical Guide for Foundation Wall Drainage Systems – Dimpled Membranes



APPENDIX B
MEMORANDUM
(GMINING SERVICES, MAY 2022)

Memorandum

To: CAROLINE MORISSETTE, GAIL AMYOT

CC: P. Gince

From: Marie-Hélène Turgeon

Date: May 6, 2022

Subject: RESPONSE TO QUESTION REQUESTING WATER TREATMENT PLANT DETAILS

Dear Ms Morissette and Ms Amyot,

Please find here in response to address the question received requesting additional details on the treatment of mine effluent for the Galaxy James Bay Lithium Project.

As stated in the EIA, Galaxy has committed to the implementation of a water treatment plant based on best available technology economically achievable (BATEA). To that effect it has contracted the services of GCM consultant, a firm with expertise in design of water treatment for the mining industry. GCM reviewed the project description, water balance (Golder, 2021) and the water quality model (WSP, 2021) to develop the water treatment plant (WTP) design basis. The scope of the WTP design was divided in two treatment phases: 1) Construction phase, and 2) Operation phase, as different contaminants of potential concern (COPC) and flows are anticipated for each phase of the project. This adaptive management approach also provides the opportunity to validate design basis and treatment performance during the construction phase to inform the design basis of the expansion for the operation phase.

CONSTRUCTION PHASE

The design basis for Phase 1 – Construction has been completed. Based on the water quality model. The COPC identified for this phase are total suspended solids (TSS), arsenic (As) and iron (Fe) and the maximum hydraulic capacity is 125 m³/hr. The discharge quality limit for this phase is those of the Directive 0-19 and of the Metal and Diamond Mining Effluent Regulation (MDMER), whichever is strictest. The *Objectifs Environnementaux de Rejet* (OER) were not considered for this phase as the COPC load is anticipated to be below the OER concentrations during construction.

The water balance model developpe for the FEED did not account for influent to a WTP. A preliminary update, focused on the first 3 years of operations, was completed by Golder in March 2022 to support the design basis of the construction phase WTP. Figure 1 shows the preliminary results. Table 1 below presents the Design Criteria use to select the appropriate treatment technology.



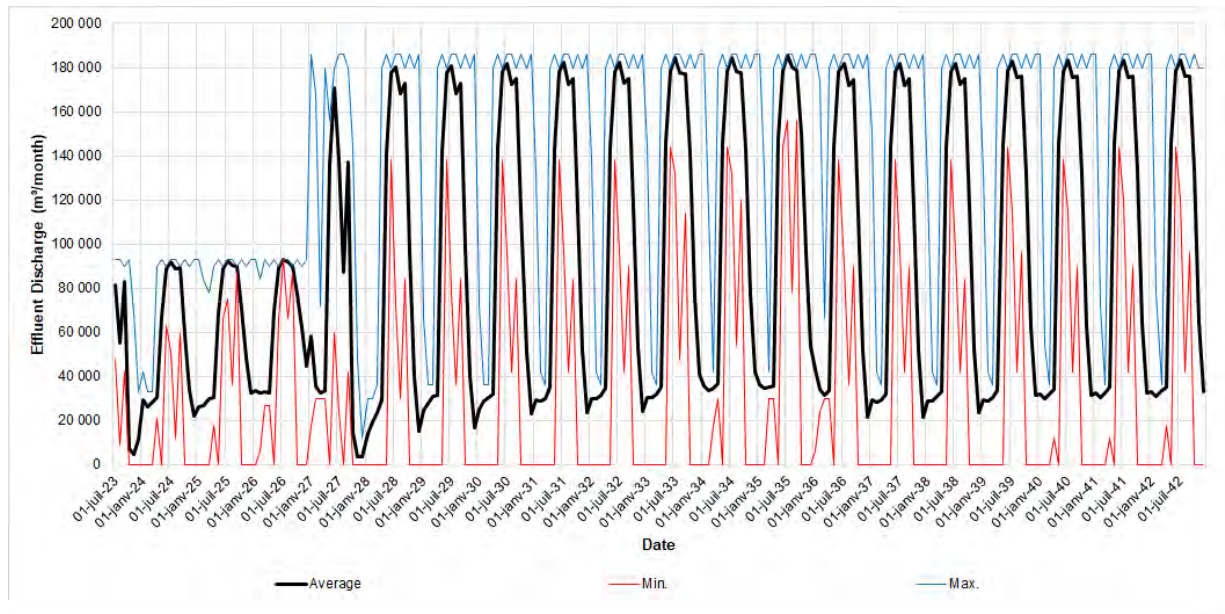


Figure 1 – Updated Effluent Discharge Rates (Golder, March 2022)

Table 1: Design Criteria Construction Phase

	Flow Rate (m ³ /h)	As (mg/L)	Fe (mg/L)	TSS (mg/L)
Average	48	0,07	6,6	30
Maximum	125	0,2	15,5	50
Discharge Criteria	-	0,1	3	15

Based on this design criteria, the Actiflo® treatment technology by Veolia was selected as the most appropriate to meet the discharge limits during construction. The process consists in a combination of pH adjustment with ferric sulfate and flocculant addition for metal precipitation. The Actiflo® is a flocculation and sedimentation process with patented micro sand media used to increase floc density and promote settling. The footprint required is also smaller than with other settling technologies. This modern and proven technology achieves high rate of TSS removal and does not require a final polishing step. The treatment unit has been sized to meet the needs of the project beyond construction up to yr 3 of operation.




During construction, the sludge produced by the treatment process will be managed by passive filtration through Geotubes, a closed filter cloth bag. The filtered water will be returned to the WTP feed pond (the north water management pond) and the solids accumulating within the Geotubes periodically removed and stockpile for future disposal along with the tailings once the facility is constructed.

Details of the design criteria development, the methodology for selection of the most appropriate treatment technology as well as a description of the process are presented in Appendix 1.

OPERATION PHASE

A further update of the water balance will be undertaken in 2022 to refine the life of mine (LOM) water management plan and associated treatment requirement. The water quality model will also be updated to reflect the 2022 water balance update and consider important geochemical process which can influence metal precipitation, process design and reagent consumption in the WTP.

These updated models will support the design basis for the expansion of the WTP to meet the LOM water treatment requirements. It is anticipated that the Actiflo system selected for the construction will be expanded to accommodate larger flows as the mine footprint increase and that a pH adjustment step will be added downstream of the process to address unionized ammonia toxicity as well as achieve the pH range stipulated in the *OER* which is lower in the project area (4.3) than that stipulated in the regulation (6.5-9). Should new COPCs be identified in through the water quality model update which cannot be removed to meet discharge limits using the existing treatment chain, such as lithium for example, additional modules with different treatment technologies may need to be added. The ability to achieve the *OER* will also be assessed at this stage. Additional resources required to meet the *OER* will be quantified at this stage and the implementation plan will be evaluated based on BATEA principles.



Marie-Hélène Turgeon, M.Env.
Water and Tailings Management Advisor

Appendix 1: SÉLECTION DE LA TECHNOLOGIE DE TRAITEMENT (GCM, 2022)



NOTE DE PROJET N° 1503

DESTINATAIRE
NOM DE LA COMPAGNIE
GALAXY LITHIUM CANADA INC.
PROJET
USINE DE TRAITEMENT DES EAUX TEMPORAIRE
NO PROJET CLIENT
N/A
À L'ATTENTION DE
G. AMYOT, P. GINCE ET M.-H. TURGEON

EXPÉDITEUR
NOM
P. MAZEROLLE ET M. TREMBLAY
NO PROJET GCM
21-1200-0593
DATE
2022.05.05
RÉVISION
00

SÉLECTION DE LA TECHNOLOGIE DE TRAITEMENT

1.0 MISE EN CONTEXTE

Dans le cadre du projet pour l'ajout d'une usine de traitement des eaux usées temporaire (lors de la phase de construction) pour la mine Galaxy Lithium, GCM a été mandaté pour la conception de niveau faisabilité et la sélection d'un système de traitement des eaux. Lors de la phase construction, les eaux de ruissellement du site, dont celles des routes où des stériles seront utilisés et risquent de se lixivier, seront acheminées jusqu'à un bassin de rétention (le bassin nord) et seront ensuite traitées avant leur rejet à l'effluent dans le CE-2.

2.0 LIMITES DU MANDAT

Le mandat de GCM se limite au procédé de traitement des eaux. Cette note technique présente les étapes suivantes :

- Réviser les informations relatives au bilan des eaux.
- Prédiction préliminaire de la qualité de l'eau attendue selon les données disponibles à ce jour.
- Appel d'offres avec trois (3) fournisseurs d'équipements.
- Sélection des équipements de traitement par un processus matriciel multicritères
- Diagramme d'écoulement de la chaîne de traitement des eaux.
- Estimation des coûts des équipements +/- 30 %.

GCM n'inclut PAS dans ces rapports :

- La conception du bassin de rétention.
- La station de pompage du bassin de rétention et tuyauterie jusqu'à l'UTE.
- Le bâtiment pour les équipements de traitement des eaux.
- La tuyauterie de l'UTE jusqu'à l'effluent.
- La conception des infrastructures civiles pour le drainage des sacs géotextiles.

Dans un premier temps, les hypothèses de calculs qui ont été élaborées à l'aide des informations disponibles validées par le client et qui ont permis d'établir les débits et charges pour dimensionner les équipements de traitement sont présentées. Dans un deuxième temps, les critères de dimensionnement utilisés ainsi que les solutions de traitement des eaux proposées par les fournisseurs sont présentés et analysés sommairement en évaluant les avantages et inconvénients de chacun. Ensuite, l'estimation des coûts de capitalisation (CAPEX) de classe D (environ 30 %) est présentée pour ces solutions.

Ceci permettra ensuite d'effectuer une analyse multicritère à l'aide d'une grille décisionnelle pour les différentes propositions. Finalement, les recommandations et conclusions de l'étude sont présentées.

Cette note technique servira de support à la demande d'autorisation pour l'usine de traitement des eaux temporaire (UTet).

3.0 CRITÈRES DE CONCEPTION

Durant la construction, les stériles excavés du secteur de la fosse (approximativement 375 000 m³) seront utilisés comme couche de roulement pour les routes et des géomembranes imperméables seront installées sous les stériles et dans les fossés adjacents, afin de collecter les eaux de ruissellement pour protéger les eaux de surface et les eaux souterraines (Note technique 201-12362-00, WSP mars 2022). Considérant la présence de métaux dans les essais cinétiques en colonnes au-delà de la réglementation, un système de traitement des eaux sera requis avant le rejet des eaux à l'environnement, afin d'assurer que les eaux retournées à l'environnement respectent les critères de rejet applicables (D019 et REMMMD). Les eaux de contact des routes où du stérile sera utilisé, ainsi que les eaux de ruissellement du site seront collectées et acheminées vers un bassin de rétention avant d'être traitées à l'UTE temporaire et déchargées à l'environnement.

3.1 Plan de gestion des eaux

Les principales infrastructures de surface présentes lors de la phase de construction du site de la mine Galaxy sont :

- Bassin d'excavation de la matière organique
- Fosse à ciel ouvert
- Route de halage nord
- Route de halage sud
- Dépôt d'explosifs
- Bassin de collecte du site de l'usine de transformation
- Secteur de l'usine à béton
- Secteur de l'UTE temporaire
- Bassin de gestion des eaux nord

Ces infrastructures sont présentées plus en détail sur le plan de surface à l'annexe 1.

L'eau de ruissellement provenant des différents secteurs sera collectée et acheminée vers le bassin de gestion des eaux situé au nord du site (bassin nord ou NWMP) avant d'être traitée à l'UTE et déchargée à l'environnement.

3.2 Bilan d'eau

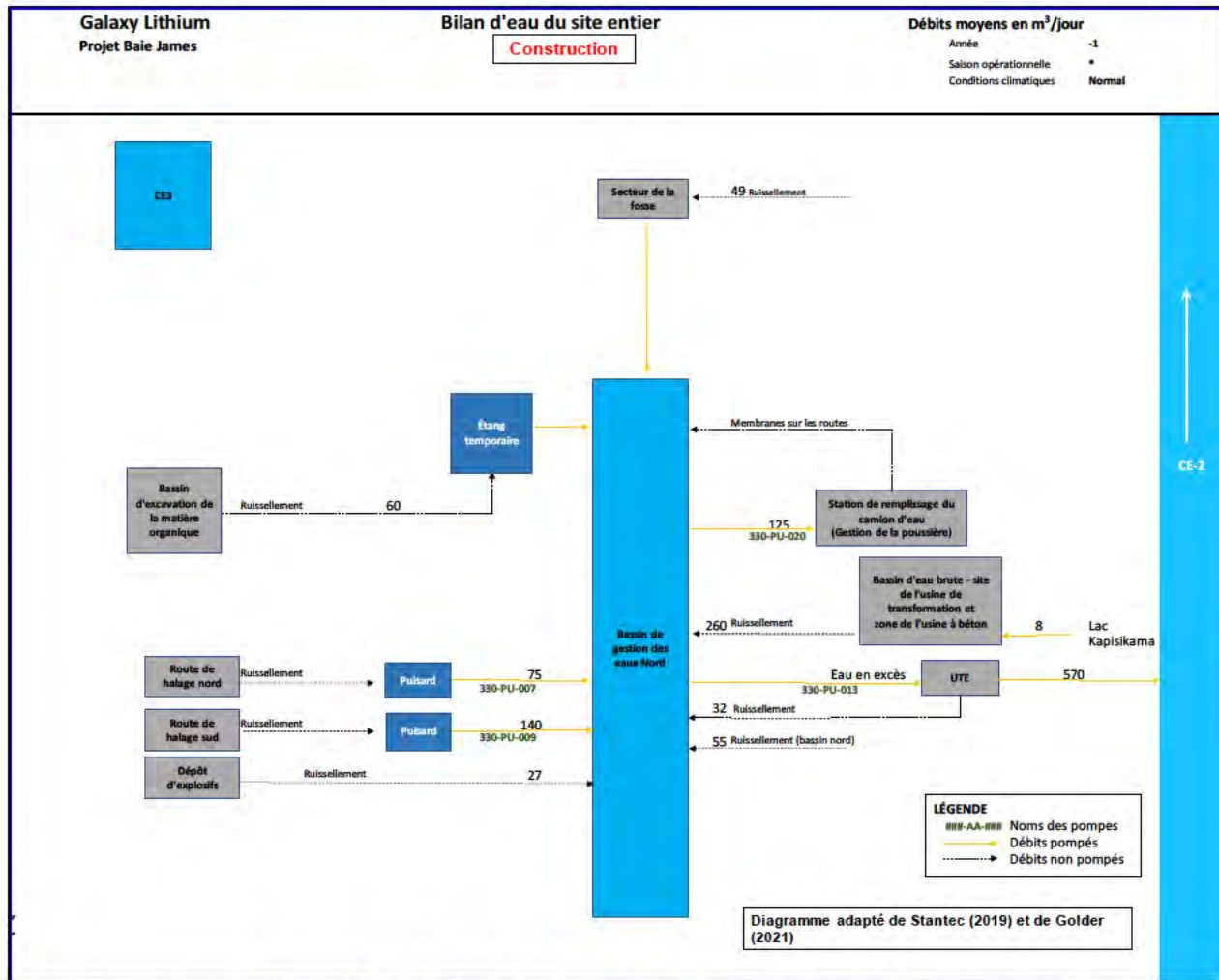
Le bilan d'eau pour la phase de construction de la mine Galaxy lithium est présenté à la figure 1. GCM a utilisé le bilan d'eau général préparé par Golder (2021) et l'a actualisé en fonction des nouvelles informations disponibles dans l'optique de la conception d'une usine de traitement des eaux en aval du bassin nord. La figure 1 est tirée du bilan d'eau de Golder, mais présente les résultats obtenus lors de la validation du bilan d'eau par GCM (les modifications ont été approuvées par le client).

L'ensemble des eaux usées collectées sera acheminé dans le bassin nord à côté de l'UTE. Lors de la phase construction, ce bassin devrait avoir une capacité de stockage de 16 700 m³ (voir plan de G-mining à l'annexe 1). Ce même bassin sera conservé et agrandi pour la phase d'opération. Une fois traité, l'effluent sera déchargé dans le cours d'eau CE-2.

Quelques modifications ont été apportées par rapport au bilan d'eau présenté initialement par Golder. Voici les hypothèses posées dans la mise à jour du bilan d'eau réalisée par GCM :

- Le volume pour l'abat-poussière a été réduit en considérant qu'il serait effectué seulement 6 mois par an (125 m³/d en moyenne annuellement).
- Le volume d'eau pour l'abat poussière serait tiré directement du bassin nord.
- Puisque les routes seront construites avec des membranes imperméables, il est considéré que l'eau utilisée pour l'abat poussière retournera en totalité vers le bassin nord.
- Le bassin de la halde à matière organique resterait plein en tout temps (donc les infiltrations ne sont pas considérées) (Courriel Patrick Gince, 2022-01-13).

De plus, il a été observé qu'il n'y aurait pas davantage à sortir la neige du bassin versant puisque le débit maximal d'eau à gérer observé apparaît en mai.



Le diagramme de la figure 1 présente les débits moyens annuels, ramenés sur une base journalière (m³/jour). Un tableau des débits mensuels moyens estimés est présenté au tableau 1.

Tableau 1. Débits moyens mensuels attendus à l'effluent pendant la phase construction pour des conditions normales

Mois	Débit moyen mensuel (m ³ /h)
Janvier	1
Février	0
Mars	0
Avril	4
Mai	82
Juin	57
Juillet	28
Août	28
Septembre	56
Octobre	56
Novembre	27
Décembre	7
Moyenne annuelle d'opération*	29

*Le débit moyen d'opération considère que l'usine ne serait pas opérée de décembre à avril durant la phase de construction

L'analyse des débits sur une base mensuelle a été réalisée à l'aide des hypothèses présentées plus haut. Le même exercice a été réalisé pour des conditions sèche et humide (Annexe 4). Cet exercice a permis d'établir que le débit de conception minimal de l'usine devrait être de 105 m³/h en considérant que l'UTE pourrait être arrêtée de décembre à avril.

3.3 Qualité de l'eau

3.3.1 Étude géochimique et essais en colonnes

Les résultats des essais cinétiques en colonnes (conduits par WSP, 2019), conduits pendant 50 semaines sur les stériles, ont permis d'identifier les contaminants d'intérêt dans les eaux issues de la lixiviation des stériles, soit le fer et l'arsenic, et d'estimer les charges de ces contaminants qui se retrouveront à l'effluent.

Quelques faits saillants à propos des essais géochimiques en colonnes :

- La granulométrie des stériles dans les colonnes était inférieure à 25 mm. La granulométrie des stériles lors de la phase de construction ne serait pas la même, ce qui pourrait avoir un impact sur la lixiviation dans le temps. Toutefois, ceci n'a pas été pris en compte dans les estimations des concentrations attendues pour le dimensionnement de l'UTE.
- Les essais ont été réalisés dans des conditions saturées et non saturées. Les conditions non saturées sont probablement celles qui seront retrouvées, lors du lavage des stériles.
- La concentration maximale mesurée en arsenic est de 0,3 mg/L à la semaine 4 dans des conditions non saturées. La concentration maximale mesurée en fer est de 36 mg/L à la semaine 4, dans des stériles non saturés.

- La lixiviation des stériles ne semble pas impacter le pH de l'eau de façon significative.
- Des concentrations en lithium au-dessus de la limite de toxicité à l'effluent (VAFe), qui est de 1,8 mg/L, ont été mesurées à deux reprises pour les stériles non saturés. Toutefois, les concentrations étant très près de la limite, et les eaux de lixiviation de stériles n'étant pas la seule source d'eau dirigée vers l'effluent, il est probable que le traitement de ce contaminant ne soit pas requis lors de la phase de construction.

Comme mentionné précédemment, les résultats de ces essais ont servi à modéliser les concentrations en arsenic et fer à l'affluent de l'UTE, lors de la phase construction. Afin de demeurer sécuritaire dans la conception, tout en évitant de modéliser des concentrations trop élevées et non réalistes, la moyenne des concentrations mesurées jusqu'à la semaine 4 (inclusivement) pour les stériles dans des conditions non saturées ont été considérées dans la modélisation. Cette méthodologie a été validée par G-Mining et Galaxy, lors de rencontre (rencontre de suivi 31-03-2022).

De nouveaux essais de lixiviation, réalisés par le CTRI (mars 2022) ont aussi démontré que la spéciation de l'arsenic présent dans les stériles est de valence V (à plus de 99 %).

Un tableau résumé de l'ensemble des concentrations en métaux mesurés lors des essais de lixiviation est disponible en annexe 5 (semaines 0 à 4).

3.3.2 Estimation de la qualité d'eau attendue

Hypothèses de calcul :

- Les contaminants problématiques identifiés sont l'arsenic et le fer;
- Les concentrations calculées correspondent à la moyenne des concentrations mesurées jusqu'à la semaine 4 (inclusivement) pour les stériles dans des conditions non saturées ont été considérées dans la modélisation
- Le lithium n'a pas été considéré, même si des concentrations au-dessus du critère de toxicité ont été mesurées lors des essais en colonne, puisque des eaux provenant de secteurs du site où aucun contaminant n'est attendu seront mélangées avec les eaux en contact avec le stérile;
- L'azote ammoniacal provenant des explosifs n'a pas été considéré, car elle sera négligeable à ce stade du projet selon les informations reçues du client.

L'estimation des concentrations en fer et arsenic attendues à l'effluent a été calculée en convertissant la charge de contaminant issue de la lixiviation des stériles sur les routes et le secteur de la fosse (toutes les eaux de ruissellement sur les routes et du secteur de la fosse ont été considérées comme ayant de l'arsenic et du fer) par rapport au volume d'eau total attendu à l'effluent (les « pertes » d'eau comme l'évaporation ont été exclues avant le calcul de la concentration finale). Les concentrations initiales considérées pour l'arsenic et le fer, pour les secteurs « contaminés » sont respectivement de 0,198 mg/L et 18,2 mg/L.

Les concentrations finales obtenues ont été multipliées par deux (2), afin d'évaluer les concentrations maximales avec un facteur de sécurité. Les calculs ont été vérifiés pour les années humides et sèches et les concentrations attendues à l'effluent variaient peu.

Les concentrations moyennes attendues à l’effluent pour une année moyenne sont de 0,072 mg/L et 6,6 mg/L pour l’arsenic (tout juste sous la norme) ainsi que le fer (tout juste au-dessus de la norme) respectivement et les concentrations maximales sont à 0,17 mg/L et 15,5 mg/L respectivement (les deux au-dessus de la norme).

3.4 Critères de rejet

Les normes de rejet qui sont à respecter dans le cadre de ce projet sont la Directive 019 sur l’industrie minière (D-019) et le règlement sur les effluents des mines de métaux et des mines de diamants (REMMMD). Les tableaux 2 et 3 présentent ces critères de rejet.

Tableau 2. Critères de rejet de la Directive 019 (2012)

Paramètre	Colonne I Concentration Moyenne Mensuelle Acceptable	Colonne II Concentration maximale Acceptable
Arsenic extractible	0,2 mg/l	0,4 mg/l
Cuivre extractible	0,3 mg/l	0,6 mg/l
Fer extractible	3 mg/l	6 mg/l
Nickel extractible	0,5 mg/l	1 mg/l
Plomb extractible	0,2 mg/l	0,4 mg/l
Zinc extractible	0,5 mg/l	1 mg/l
Cyanures totaux	1 mg/l	2 mg/l
Hydrocarbures (C ₁₀ -C ₅₀)	-----	2 mg/l
Matières en suspension	15 mg/l	30 mg/l

Tableau 3. Résumé des critères de rejet selon le REMMMD (2022)

Composés	REMMMD (mg/L)
Arsenic	0,1
Cuivre	0,1
Nickel	0,25
Plomb	0,08
Zinc	0,4

4.0 SYSTÈME DE TRAITEMENT DES EAUX

4.1 Hypothèses de conception

Afin de définir les critères de conception, il a été considéré que l’UTE devrait être en mesure de traiter le débit maximal, les concentrations maximales en As et Fe et d’atteindre tous les objectifs de rejet à ce débit.

La concentration de MES considérée pour les critères de conception est de 30 mg/L en moyenne et 50 mg/L maximum. Ceci correspond à des valeurs typiques et prend en considération la présence d’un bassin de rétention en amont de l’UTE.

Un autre aspect intéressant est qu’il sera considéré que le pH à l’entrée sera autour de 7. Toutefois, selon les OER, les eaux du milieu récepteur sont acides (autour de pH 4).

Si les eaux de l’affluent sont à un tel pH, l’ajustement du pH en amont du système de traitement des eaux sera requis pour assurer la précipitation des hydroxydes de fer. Cette étape ne sera pas nécessairement requise, puisque la majorité des eaux traitées sont des eaux de surface du site (zone anthropique) et comme montré dans les modélisations, le pH attendu provenant des stériles est autour de 7 (WSP, 2019). Ce paramètre devra toutefois être mesuré pour confirmer ces hypothèses et un ajustement du pH en amont de l’UTE pourrait être requis.

4.2 Dimensionnement de l’usine de traitement des eaux temporaire

Les critères de conception pour l’UTE temporaire sont présentés au tableau 4. Ce tableau a été envoyé aux fournisseurs technologiques, afin d’obtenir leurs propositions (annexe 3 fiche de spécifications). En complément des critères présentés ci-dessous, un schéma de procédé (PFD) du système de traitement identifié par GCM de façon préliminaire a été envoyé. Ce schéma est disponible à l’annexe 2.

Tableau 4. Critères de conception actualisés

Caractéristiques des eaux usées	Débit (m ³ /h)	Concentration (mg/L)		
		As	Fe	MES
Moyenne	48	0,07	6,6	30
Maximum	125*	0,2	15,5	50
Critère de conception effluent	125	0,1	3	15

*On note que le débit maximum de conception au tableau est supérieur au débit maximal calculé présenté dans les sections précédentes, car il a été constaté dans l’étude de faisabilité pour l’UTE permanent que l’unité temporaire serait adéquate pour la première phase d’opération (les années 1 à 3) en augmentant le débit de conception à 125 m³/h (discussion avec Golder et Galaxy dans le cadre de l’étude de faisabilité, mars 2022).

5.0 TECHNOLOGIE DE TRAITEMENT

Comme présenté dans la section précédente, l’arsenic, le fer et les matières en suspension (MES) sont les trois (3) contaminants identifiés qui nécessitent un abattement avant le rejet de l’eau à l’effluent. La conception de l’usine de traitement est prévue uniquement pour la période de construction, mais considérant qu’une usine de traitement sera à prévoir pour la période d’opération, il est primordial de s’assurer que les équipements sélectionnés pourront être réutilisés dans la phase subséquente d’opération.

Les caractéristiques des eaux usées anticipées ainsi que les critères de rejet sont présentés au tableau 4.

Il est important de noter que le débit maximal présenté au tableau 4, n’est pas un débit de pointe ponctuel, mais bien un débit maximal à traiter à la fonte; et que la filière de traitement doit être en mesure de garantir les performances à ce débit. En effet, le bassin nord en amont de la future UTEt permettra de prévenir des fluctuations de débit brusques à l’affluent du système. Lors des périodes de fonte, il est donc possible qu’un débit autour de 90-100 m³/h soit soutenu pendant une certaine période.

La chaîne de traitement identifiée pour traiter l'effluent consiste en une étape d'adsorption de l'arsenic sur les hydroxydes de fer, suivi d'une floculation et d'une séparation gravitaire de solides formés. La coprécipitation de l'arsenic avec les hydroxydes de fer requiert généralement un pH entre 7 et 8. Néanmoins, l'arsenic présent est de l'arséniate (As V), ce qui signifie que l'adsorption sur le fer sera théoriquement plus efficace à un pH en dessous de 7 (Twidwell et al., 2005).

Une étape de contrôle de pH pourrait être nécessaire en amont, selon les pH de l'eau de ruissellement ainsi il est recommandé d'en faire l'ajout à l'étape de construction. Un contrôle du pH à l'effluent ne devrait pas être nécessaire pour la phase construction selon les données de la modélisation de la qualité de l'eau. Mais cet ajustement pourrait devoir être ajouté s'il s'avérait que le pH de réaction requis dans le procédé est inférieur à 6,5. De plus, dans l'éventualité où de l'ammoniaque (provenant de l'utilisation des explosifs) se retrouverait dans les eaux usées, ce contrôle de pH permettra de maintenir l'ammoniaque sous sa forme ionisée (NH_4^+), plutôt que dans sa forme non ionisée (NH_3) toxique à plus faible concentration.

Si le contrôle du pH en aval du traitement n'est pas installé dans la phase construction, son empreinte au sol devrait être considérée dans l'aménagement pour les phases suivantes.

Pour la gestion des boues, il est suggéré d'utiliser un système simple de séparation par géotubes, afin de se laisser le temps d'acquiescer des données sur les quantités et la qualité des boues produites dans l'optique de mettre en place des équipements plus mécanisés dans une prochaine phase du projet. Les géotubes permettent une opération relativement passive et les manipulations seront périodiques (et non quotidiennes).

Les eaux s'écoulant des géotubes s'écouleraient gravitairement vers le bassin nord via un fossé de collecte situé autour de la plateforme à géotubes (pad à géotubes). Les boues pourront être entreposées dans les géotubes sur le pad pendant la phase construction avant que le parc à résidus ne soit construit.

Un schéma de procédé de chaîne de traitement (PFD) est disponible à l'annexe 1.

6.0 DESCRIPTION DES TECHNOLOGIES CONSIDÉRÉES

Un appel d'offres a été lancé aux différents fournisseurs de technologies de traitement des eaux. Un résumé des propositions reçues est présenté dans cette section.

6.1 Veolia water

La technologie présentée par Veolia est composée d'un système d'ajustement du pH pour s'assurer d'avoir le bon pH opérationnel, des unités de dosage de sulfate ferrique et de floculant. Un actiflo® est proposé pour la décantation des solides. L'actiflo® est un décanteur lamellaire à floculation lestée utilisant un sable fin pour densifier les floes. Le sable est recirculé dans le procédé pour minimiser la consommation. Le système présenté par Veolia permet également la recirculation des boues dans la cuve de mélange en amont pour augmenter encore plus la densité de la boue et maximiser l'enlèvement des métaux. Les discussions avec Veolia ont démontré que cette entreprise a une bonne expérience avec les procédés de traitement de l'arsenic et plusieurs études de cas étaient disponibles pour appuyer les performances de la technologie proposée. Un bâtiment technique serait à prévoir pour abriter les équipements.

Veolia pourrait fournir un conteneur prémonté incluant tous les équipements de préparation et dosage de produits chimiques ainsi que leur entreposage. Les unités d'Actiflo proposées sont de dimensions trop grandes pour être en conteneur et donc un bâtiment (ou dôme) devra être prévu pour protéger ces unités.

Un système de gestion des boues par géotubes a été inclus dans leur proposition, mais exclus le pad de géotubes (dans le tableau de comparaison, la proposition de ASDR a été considérée pour comparer les 3 chaînes de traitement de façon équitable).

6.2 Westech

Westech a proposé un équipement de traitement de type épaisseur avec recirculation des boues. Les eaux brutes sont mélangées avec un coagulant et un floculant. Un décanteur lamellaire permet ensuite la séparation entre les solides et le liquide. Les contaminants précipités se retrouvent alors dans les boues. Les boues seraient recirculées jusqu'à 10 % du volume total, ce qui permet d'augmenter la siccité des boues et d'augmenter la formation de floes, lors des périodes où les concentrations en solides seraient moins élevées. Le réajustement du pH en aval du système de traitement n'a pas été inclus dans la proposition et un bâtiment technique serait à prévoir pour les équipements.

6.3 Eximius

La proposition de Eximius consiste en un système de traitement de type épaisseur lamellaire. Dans un premier temps, les eaux brutes vont dans un bassin de mélange conique. Les eaux coulent ensuite gravitairement dans deux unités (parallèles) de AIO220, un décanteur lamellaire clé en main. Le système n'inclut pas de recirculation des boues, mais le fournisseur pense, selon son expérience, que les siccités de boues pourraient atteindre 3 %. Le système inclut une pompe pour les boues récoltées et un pompage de l'eau traitée vers l'effluent.

Un système de gestion des boues a été proposé dans leur proposition initiale (MudBuddy), mais l'opération requise (surveillance quotidienne par un opérateur) n'est pas adaptée au contexte de Galaxy pour la phase opération.

6.4 ASDR

ASDR a fourni une proposition pour la gestion des boues qui a ensuite été utilisée pour compléter les autres propositions et les comparer de façon équitable.

Un résumé des propositions est présenté au tableau 3.

Tableau 4. Comparaison des propositions techniques

Fournisseurs		Veolia ^{Note 2}	Westech	Eximius ^{Note 3}	*ASDR ^{Note 1}
Technologie de traitement		RX30-2 + Actiflo MKIII ACP2-30 + RX450-1 (+ Géotube)	SuperSettler PSS165N1	Mixing tank + AIO220	Géotube™ + Membrane H20B
Description		Ajustement pH + Décantation lestée avec recirculation des boues + Ajustement pH (+ gestion des boues optionnelle)	Dosage produits chimiques + Décanteur lamellaire avec recirculation des boues	Bassin de mélange (dosage polymère et ajust. pH) + décanteur lamellaire	Géotube + Membrane pour pad des géotubes
Empreinte au sol (m ²) dans le bâtiment (excluant le traitement des boues)	Incluant dégagement	97,5 m ² + 2 conteneurs de 40'	Dessins détaillés non inclus ⁴	Détails des dégagements non inclus ⁴	
	Excluant dégagement	37 m ² + 2 conteneurs 40'	25 m ² + Préparation produits chimiques (bâtiment)	31,3 m ² + Préparation produits chimiques (bâtiment)	
Ajustement du pH pour la précipitation des métaux		Oui	Oui	Non	
Abattement des MES, l'arsenic et le fer		Oui	Oui	Oui	
Ajustement du pH à l'effluent		Oui	Non	Oui	
Produits chimiques prévus		Hydroxyde de sodium (NaOH) Coagulant sulfate ferrique (HYDREX 6253) Polymère anionique (HYDREX 6105) Polymère cationique (HYDREX 6324) (option) Microsable Acide sulfurique (H ₂ SO ₄)	NaOH Coagulant Polymère	NaOH Sulfate ferrique Polymère	
Siccité des boues anticipée		2 %	0,50 %	2-3 %	
Panneau de contrôle		PLC et HMI inclus Assistance à distance (optionnelle)	Inclus	Inclus	
Équipements supplémentaires à prévoir		Réservoir transbordement (environ 1m ³) Pompe à boues	Ajustement du pH (aval) Pompe à boues Gestion des boues complète Bâtiment technique (produits chimiques)	Pompe doseuse pour sulfate ferrique Ajustement du pH (aval) Gestion des boues complète Bâtiment technique (produits chimiques)	Floculateur
Débit de boues considéré					35-90 m ³ /d à 0,4 % siccité soit 40 – 86 TMS/an
Taille du pad de géotube à prévoir (m ²)					738 m ² (18 m x 41 m)
Temps estimé pour prêt à livrer		32-38 semaines	26-30 semaines	12-16 semaines	4 semaines

Note 1 : L'option ASDR comprend uniquement la gestion des boues produites par une unité de séparation en amont, tel que les équipements proposés par les trois autres fournisseurs

Note 2 : À titre informatif, les plus grosses unités d'Actiflo disponible sous forme conteneurisée peuvent traiter des débits maximaux de 20 m³/h. Un minimum de trois (3) unités de ce type serait requis pour gérer le débit moyen anticipé (ou minimum cinq unités pour atteindre le débit maximal). Même avec une capacité tampon augmentée significativement, les « Actiflo » sous forme conteneurisée ne sont pas recommandés, car ils représentent trop d'opérations et le coût d'investissement serait largement plus important.

Note 3 : Initialement la proposition d'Eximius incluait un système de gestion des boues (le *Mud Buddy*).

Note 4 : Les dessins et les informations sur les dégagements pourraient être fournis à la demande du client.

NOTE DE PROJET N° 1503

Il est à noter aussi que seul Veolia présente un ajustement de pH en amont et aval de la décantation. Dans l'absolu, pour tous les fournisseurs, toutes les solutions devraient être corrigées avec un pH en amont permet de garantir les performances de traitement et possiblement celui en aval qui permet de garantir les exigences de rejet serait à ajouter pour les phases d'opération subséquentes.

Il est à noter que la matrice décisionnelle considère que les trois propositions des différents fournisseurs de système de traitement des eaux seraient jumelées avec la proposition de gestion des boues de ASDR. Une seconde grille d'évaluation pour les chaînes de traitement de boues est présentée au tableau 6 montrant les critères utilisés qui ont permis de définir ASDR comme la meilleure option pour la gestion des boues.

7.0 **COMPARAISON DES TECHNOLOGIES**

Les trois systèmes ont été comparés à l'aide d'une matrice multicritères présentée au tableau 5

Tableau 5. Analyse multicritère des différentes propositions de traitement des eaux

Analyse multicritères			OPTION 1	OPTION 2	OPTION 3	OPTION 1	OPTION 2	OPTION 3
		Cote	Veolia	Westech	Eximius	Veolia	Westech	Eximius
ECONOMIQUE		20	16,25	20	20			
	Faible CAPEX	10	0,75	1	1	<i>Le coût total est plus élevé, mais la filière de traitement plus élaborée que les autres propositions</i>		
	Faible OPEX	5	0,75	1	1	<i>Micro-sable, coagulant, polymère, sacs</i>	<i>Coagulant, polymère et sacs</i>	<i>Coagulant, polymère et sacs</i>
	Maximiser la possibilité de réutilisation pour la phase d'opération ultérieure	5	1	1	1			
TECHNIQUE		60	56	39	26			
	Procédé robuste et éprouvé	10	1	0,75	0,5	<i>Beaucoup d'études de cas pour la précipitation de l'arsenic/fer</i>	<i>Étapes supplémentaires à ajouter et à ajuster</i>	<i>Étapes supplémentaires à ajouter et à ajuster Moins efficace car sans recirculation des boues</i>
	Équipement facilement relocalisable	5	1	0,5	1	<i>L'actiflo est compacte et facilement déplaçable</i>	<i>Requière plus de démantèlement pour être déménagé</i>	<i>L'équipement est compact et semble facilement déplaçable</i>
	Facilité d'opération	5	1	0,75	0,75	<i>Possibilité de contrôle à distance par Veolia, facilite l'opération</i>	<i>Pas de contrôle à distance</i>	<i>Pas de contrôle à distance</i>
	Fournisseur local/support technique disponible	10	1	0,5	0	<i>Support technique à distance avec Véolia (accès panneau)</i>	<i>Support technique inclus dans la proposition (3 jours total)</i>	<i>Fournisseur basé au Wisconsin</i>
	Expérience en nordicité	5	1	0,5	0	<i>Références de systèmes similaires fournies pour des mines en Ontario et au Québec</i>	<i>Référence au Yukon pour le clarificateur (mais pas autant de références que Veolia)</i>	<i>Pas de références fournies</i>
	Risque minimum SST	5	0,75	0,5	0,5		<i>Unité très haute (6m), mais escaliers et garde-corps intégrés</i>	<i>Les dessins fournis ne présentent pas d'échelle/escaliers pour accéder au-dessus des unités</i>
	Peu de maintenance	5	0,75	0,75	0,75			
	Peu de consommables	5	0,75	0,75	0,75	<i>Micro-sable mais moins de coagulant/floculant (quantité)</i>		
	Faisabilité	10	1	0,75	0,25	<i>Expérience éprouvée de la firme pour des qualités d'eau similaires</i>	<i>Équipement en hauteur requiert un bâtiment plus grand</i>	<i>La conception proposée n'est pas autant robuste et devra être ajustée pour les besoins du client</i>
ENVIRONNEMENT		20	12,5	11,25	15			
	Volume minimal de boue à gérer	5	0,75	0,5	0,75	<i>Boues générées de siccité 2%</i>	<i>Recirculation de 10% du débit de boue pour maximiser la densité</i>	<i>Boues générées de siccité 2-3%</i>
	Minimise la consommation d'énergie	10	0,5	0,5	0,75	<i>Recirculation des boues à haut débit donc plus de pompage</i>	<i>Recirculation des boues à haut débit donc plus de pompage</i>	
	Empreinte au sol/dimension du bâtiment	5	0,75	0,75	0,75	<i>Bâtiment (conteneur) avec équipements prémontés et préfilés Empreinte au sol importante, mais connue et fixe (conteneur)</i>	<i>Équipement en hauteur requiert un bâtiment plus grand Empreinte de la préparation des produits chimiques pas connue</i>	<i>Similaire aux autres propositions Empreinte de la préparation des produits chimiques pas connue</i>
TOTAL		100	85%	70%	61%			

Selon les critères et les barèmes établis, parmi les trois solutions étudiées, la proposition de Veolia est celle ayant obtenu la meilleure note (85 %). Les deux autres solutions suivent avec environ 10 % de moins. Les systèmes proposés se ressemblent, mais la proposition de Veolia est plus complète, démontrant une bonne expertise du fournisseur. De plus, le procédé actiflo® est reconnu pour sa robustesse et sa versatilité.

Tableau 6. Grille décisionnelle pour la chaîne de traitement des boues

	Cote	Veolia Géotubes	ASDR Géotubes	Eximius Mudbuddy	Veolia	ASDR	Eximius
ÉCONOMIQUE	20	15	17,5	6,25			
Faible CAPEX	10	0,75	1	0,5			
Faible OPEX	5	0,75	0,75	0	Opération standard de géotubes	Opération standard de géotubes	Beaucoup de manipulation et opérateur requis quotidiennement
Maximiser la possibilité de réutilisation pour la phase d'opération ultérieure	5	0,75	0,75	0,25	Pad à agrandir potentiellement	Pad à agrandir potentiellement	Beaucoup d'unités seraient requise et opération complexe si quantité de boues augmente considérablement
TECHNIQUE	35	20	30	11,25			
Soutien technique pour la conception du pad (ou aménagement des équipements)	5	0	1	0,25	La conception du pad de géotube n'est pas incluse dans leur conception	Support disponible (plan de conception)	Aménagement des MudBuddy inclus mais les boues devront quand même être entreposées sur un pad qui n'est pas inclus dans leur conception
Siccité des boues finales	5	1	1	0,75	Standard. Dépend du temps laissée dans les sacs	Standard. Dépend du temps laissée dans les sacs	Aucune information des siccités finales mais potentiellement similaires aux géotubes
Minimisation des risques SST	5	0,5	0,5	0,75	Gestion des géotubes en hiver n'est pas idéale	Gestion des géotubes en hiver n'est pas idéale	Système en partie mécanisé, mais travailleur requis sur plateforme en hauteur quotidiennement
Expérience dans le nord du Québec	10	0,5	1	0	Expérience de la firme en climat nordique, mais ne gèrent pas les boues de certains projet	Plusieurs projets au Québec	Pas de projet au Québec. Aucun exemple fournis pour le MudBuddy dans un climat nordique.
Assistance disponible (fournisseur local)	10	0,75	0,75	0,25	Fournisseur présent au Québec	Fournisseur présent au Québec	Fournisseur basé au Wisconsin
ENVIRONNEMENT	15	11,25	12,5	8,75			
Empreinte au sol/Complexité de l'installation	5	1	1	0,75	Géotubes demeurent sur le pad pour la durée de la phase construction	Géotubes demeurent sur le pad pour la durée de la phase construction	Installation du MudBuddy et un pad pour le stockage des sacs des boues remplis
Consommables	5	0,5	0,5	0,5	Consommation typique de flocculant	Consommation typique de flocculant	Peu d'information sur la quantité de flocculant (si non inclus, serait recommandé)
Durée de vie des géotubes	5	0,75	1	0,5	Proposition inclus plusieurs petits sacs. Pourrait peut-être être modifié pour des sacs de plus grosse taille	Quatre (4) grands sacs pour répondre aux besoin annuel	Huit (8) petits sacs qui doivent périodiquement être changés. Pour la phase construction où les boues sont stockées sur le pad, ceci requière plus de place et gestion (MudBuddy + espace de stockage pour les sacs utilisés)
TOTAL	70	66%	86%	38%			

Le tableau 6 présente les principaux critères d'évaluation entre les différentes options de gestion de boues qui ont été présentées pour ce mandat. Les options de sacs géotextiles (type Géotube™) de Veolia et ASDR sont comparables d'un point de vue technique. Toutefois ASDR se démarque par son coût d'investissement plus faible, sa grande expérience dans la gestion des boues de ce type et par son expertise et aide disponible pour la conception du pad de sacs géotextiles (dont l'ingénierie de détail demeura toutefois à faire par d'autres).

8.0 CONCLUSION ET RECOMMANDATION

La proposition de Veolia est celle qui avait été sélectionnée lors de la demande de proposition à la suite de l'analyse multicritères. L'expérience du fournisseur dans des projets similaires, sa capacité de fournir une solution clé en main ainsi que la robustesse et la versatilité de l'unité Actiflo, qui pourra facilement être réutilisée dans une étape de traitement subséquente, sont parmi les principaux facteurs qui ont mis cette solution en avant des autres.

La mise en place d'un Actiflo® est une solution versatile qui permet de traiter les MES même à faibles concentrations. Un système d'ajustement du pH serait recommandé en amont pour optimiser la précipitation. L'ajustement de pH en aval du procédé pour assurer un pH dans la plage permise pourra être ajouté à la phase subséquente.

Pour le traitement des boues, l'utilisation de géotubes est aussi recommandée à ce stade. La sélection de ASDR comme fournisseur est préconisée en raison du coût avantageux de sa proposition, son expérience dans des projets similaires et la flexibilité de son offre, comme présenté dans la grille multicritère. La configuration du pad devra être revue en détail, lorsque l'aménagement de l'espace dédié à l'UTE sera plus avancé, de façon à optimiser le raccordement entre l'UTE, les boues et le retour des eaux des boues vers le bassin nord.



05-05-2022

Préparé par : Pascale Mazerolle, ing. No OIQ : 6010964



05-05-2022

Vérfié par : Melissa Tremblay, ing. No OIQ : 5020235

RÉFÉRENCES

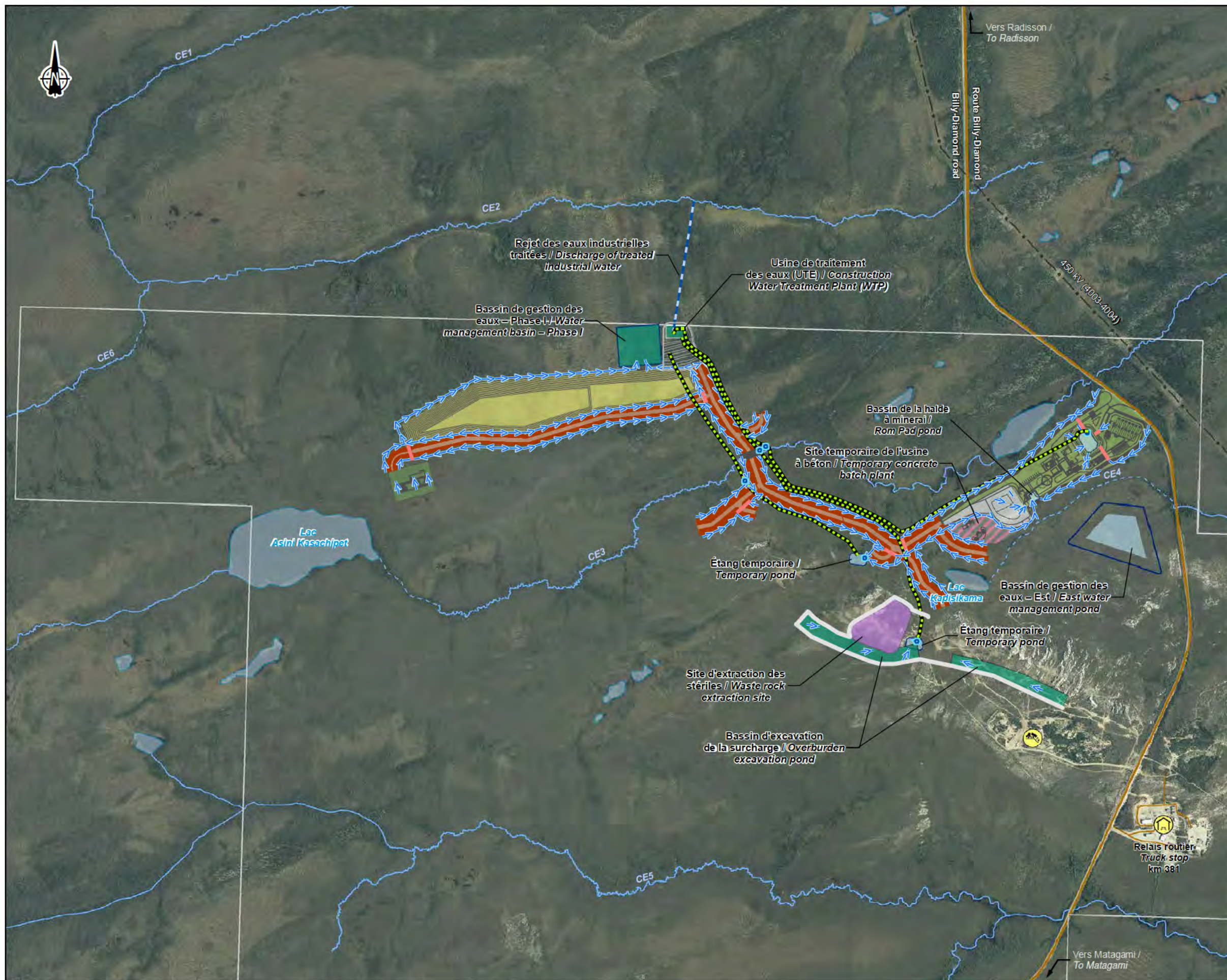
Twidwell et al. (2005). *The removal of arsenic from aqueous solution by coprecipitation with iron (III)*. Conference Paper.

ANNEXES

1. Plans de surface du site
2. Schéma de procédé
3. Fiche de spécifications
4. Résultats du bilan d'eau
5. Qualité d'eau moyenne des quatre premières semaines d'essais en colonnes
6. Description de la Technologie sélectionnée

ANNEXE 1

PLANS DE SURFACE DU SITE



Limite de propriété / Property limit

Composantes du projet / Project Component

- Route complétée / Completed road
- Effluent minier / Mine effluent
- Usine de traitement de l'eau / Water treatment plant
- Secteur administratif et industriel / Administrative and industrial sector
- Fosse / Pit
- Entrepôt à explosifs / Explosives magazine
- Aire d'entreposage / Dry storage area
- Bassin / Basin
- Ponceau / Culvert
- Tuyau de collecte des eaux de ruissellement / Stormwater collection pipe
- Station de pompe temporaire / Temporary pump station
- Sens d'écoulement des eaux / Direction of water flow

Infrastructures / Infrastructure

- Route principale / Main road
- Route d'accès / Access road
- Ligne de transport d'énergie / Transmission line
- Relais routier / Truck stop
- Lieu d'enfouissement technique isolé / Isolated technical landfill

Hydrographie / Hydrography

- CE3 Numéro de cours d'eau / Stream number
- Cours d'eau permanent / Permanent stream
- Cours d'eau à écoulement diffus ou intermittent / Intermittent or diffused flow stream
- Plan d'eau / Waterbody

GALAXY
Mine de lithium Baie-James / James Bay Lithium Mine

Carte / Map 4-10
Gestion des eaux en phase de construction – Mois 12 /
Water management during the construction phase – Month 12

Sources :
Orthoimage : Galaxy, août 2017
Géom : MRNF Québec, 210315
Données du projet / Project data : Galaxy 2021

0 185 370 m
UTM, fuseau 18, NAD83

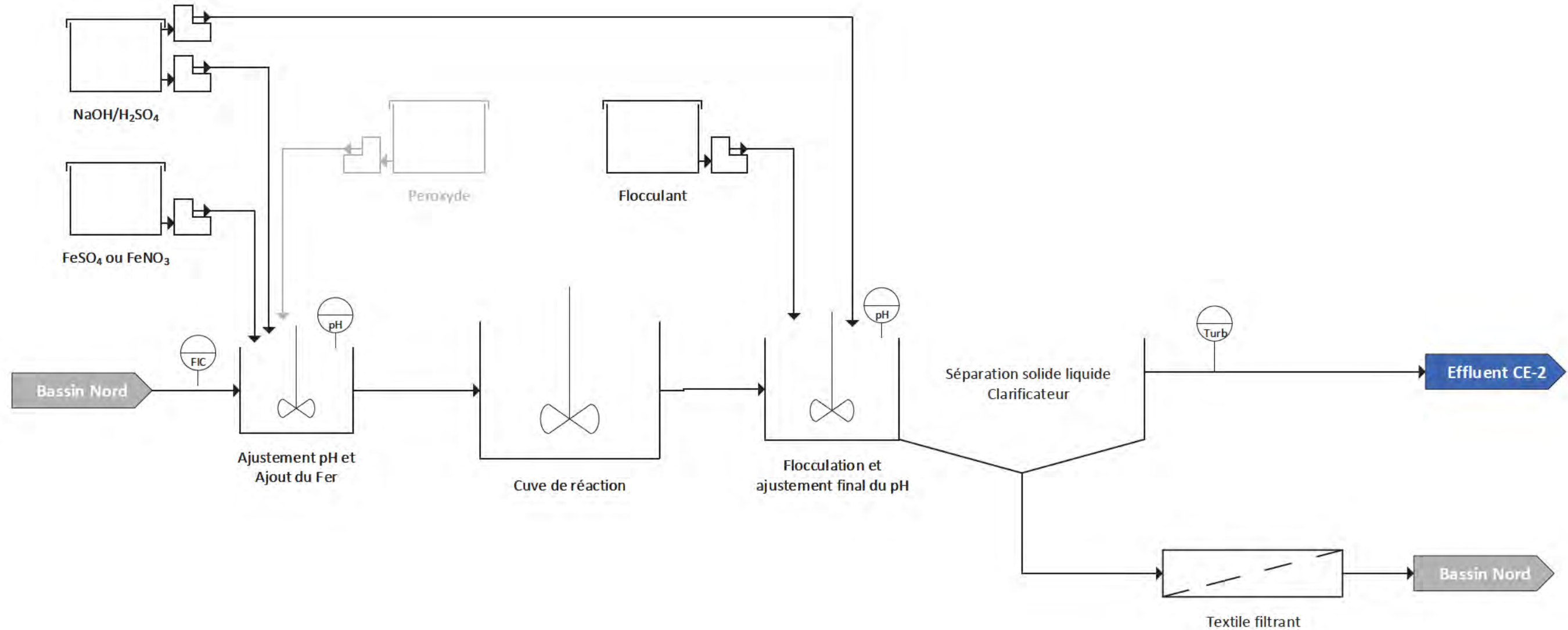
Mars / March 2022

Dessin : A. Masson
Approbation : D. Thiffault
201-12362-00_c4-10_REV_wspT382_gest_eau_mois12_220329.mxd

wsp

ANNEXE 2

SCHÉMA DE PROCÉDÉ



ANNEXE 3

FICHE DE SPÉCIFICATIONS

FEUILLE DE SPÉCIFICATION - UNITÉ DE TRAITEMENT DE L'ARSENIC, DU FER et des MES



Projet :	Galaxy Lithium UTE phase construction	N° document :	SSD0593-1501
N° Projet GCM :	21-1200-0593	N° révision :	00
N° projet Client :		Préparé par :	P. Mazerolle <i>PM</i>
Client :	Galaxy	Vérifié par :	M. Tremblay
Application :	Traitement de l'arsenic, fer et MES	Date :	2022-04-25

1. Information sur le projet

Type d'industrie : Industrie minière Localisation : Baie-James

Détails sur le projet

Le projet Galaxy nécessite la mise en place d'une usine de traitement des eaux (UTE) temporaire pour la phase de construction. Cette UTE devra permettre de traiter l'arsenic et le fer qui lixivient des stériles ainsi que les MES (sédiments) se retrouvant dans les eaux de contact collectées sur le site. L'UTE est dit temporaire, mais idéalement l'unité mise en place devrait pouvoir être réutilisée dans la phase d'opération. Un plan du site est présenté à l'Annexe A.

Échéancier : Précision de la soumission : 100%

Plans pour demande d'autorisation : Juin 2022
Mise en opération : Janvier 2023

2. DÉBITS ET QUALITÉ DE L'EAU

Cas d'opération	Débit (m ³ /h)	Concentration (mg/L)			Température (°C)
		As (note 1)	Fe	(note 2) (note 2)	
Moyen	48	0,07	6,6	30	Note 3
Maximum	125	0,2	15,5	50	
Critères de conception	125	0,1	3	15	

3. DÉTAILS SUR LES ÉQUIPEMENTS

Type d'équipement : Permanent Temporaire Le client désire avoir des équipements permanents qui pourront être utilisés pendant la phase d'opération du projet.

Technologie : Réacteur de type Actiflo
La gestion des boues se fera à l'aide de géotubes. (fourniture par autres)

4. CRITÈRES À L'EFFLUENT

Critères à l'effluent : MES: 15 mg/L Fe : 3 mg-N/L
As: 0,1 mg/L

L'effluent doit être conforme à la réglementation applicable soit la D019 et REMMMD.

5. ÉQUIPEMENTS À INCLURE

	Oui	Non	Partiel	Prix séparé	
Ajustement de pH en amont	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	pH opération à tester en labo (entre 4 et 7)
Syst. dosage peroxyde	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Syst. de dosage du sulfate ferrique	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Syst. de dosage /floculant	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Équipement de contrôle	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	pH mètre (2), débitmètre, turbidimètre
Décanteur lamellaire (Actiflo)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Unité Actiflo MKIII
Bassin de collecte des boues	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Ajustement de pH en aval (avant rejet)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Bâtiment	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Conteneurs préfilés, comme proposé précédemment (précisez la différence, si uniquement un contrôle de pH est requis)
Démarrage (Start up)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Contrôle à distance (aide à l'opération)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Préciser les inclusions et exclusions
Livraison au site					Prix FCA

6. EMPLACEMENT

Une carte des installations est présentée à l'annexe A.

7. NOTES ET AUTRES

Notes :

- La spéciation de l'Arsenic est très majoritairement d'As(V) (essais réalisés mars 2022).
- La concentration en MES est estimée en considérant la sédimentation dans le bassin Nord (16 000 m3). Les MES sont des sédiments se retrouvant dans les eaux de ruissellement.
- L'eau sera entreposée dans un bassin extérieur. La température de l'eau varie en fonction des saisons.

POUR SOUMISSION

NE PAS UTILISER POUR CONSTRUCTION

FEUILLE DE SPÉCIFICATION - UNITÉ DE GESTION DES BOUES



Projet :	Galaxy Lithium UTE phase construction	N° document :	SSD0593-1502
N° Projet GCM :	21-1200-0593	N° révision :	00
N° projet Client :		Préparé par :	P. Mazerolle <i>PM</i>
Client :	Galaxy	Vérifié par :	M. Tremblay
Application :	Gestion des boues	Date :	2022-04-25

1. INFORMATION SUR LE SUJET

Type d'industrie : Industrie minière Localisation : Baie-James

Détails sur le projet

Le projet Galaxy nécessite la mise en place d'une usine de traitement des eaux (UTE) temporaire pour la phase de construction. Des équipements pour la gestion des boues générées par l'UTE sont aussi requis. Cette UTE devra permettre de traiter l'arsenic et le fer qui lixivient des stériles ainsi que les MES (sédiments) se retrouvant dans les eaux de contact collectées sur le site. L'UTE et le système de gestion des boues sont dits temporaires, mais idéalement les équipements mis en place devraient pouvoir être réutilisés dans la phase d'opération. Un plan du site est présenté à l'Annexe A.

Échéancier : Précision de la soumission: 100%

Plans pour demande d'autorisation : Juin 2022
Mise en opération : Janvier 2023

2. CARACTÉRISTIQUES DE BOUES ANTICIPÉES

Cas d'opération	Débit (m ³ /h)	Siccité (%)
Moyen *	35	0,4
Maximum	70	2

* Des incertitudes demeurent quant aux quantités de boues qui seront produites. Le système devra être en mesure de gérer le débit maximal, mais aussi potentiellement des périodes à un débit inférieur au débit moyen.

3. DÉTAILS SUR LES ÉQUIPEMENTS

Type d'équipement : Permanent Temporaire Le client désire avoir des équipements permanents qui pourront être utilisés pendant la phase d'opération du projet.

Technologie : Sacs géotextiles (de type *Géotubes*) sur un pad permettant de collecter les eaux

4. ÉQUIPEMENTS À INCLURE

	Oui	Non	Partiel	Prix séparé	
Ingénierie civile du pad des géotubes	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<i>Préparation de dessins d'atelier pour construction</i>
Géotube	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Membrane	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Syst. de dosage /floculant	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Bâtiment	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<i>Coût pour un système de dosage de floculant conteneurisé</i>
Livraison au site					<i>Prix FCA</i>

6. EMPLACEMENT

Une carte des installations est présentée à l'annexe A. L'emplacement précis du pad de géotubes sera déterminé ultérieurement en collaboration avec Galaxy et ses intervenants.

7. NOTES ET AUTRES

Notes :

- La spéciation de l'Arsenic est principalement d'As(V) (essais réalisés en mars 2022)
- La concentration en MES est estimée en considérant la sédimentation dans le bassin Nord (16 000 m3). Les MES sont des sédiments se retrouvant dans les eaux de ruissellement.
- L'eau sera entreposée dans un bassin extérieur. La température de l'eau varie en fonction des saisons.

POUR SOUMISSION



NE PAS UTILISER
POUR CONSTRUCTION

ANNEXE 4

RÉSULTATS DU BILAN D'EAU



Résultats bilan d'eau (phase construction)

No projet : 21-1200-0593
Date : 2022-03-29
Préparé par : P Mazerolle, ing, M.Ing
Révisé par : M. Tremblay, ing, M. Ing
Révision : Finale

Conditions normales

Mois	Débit moyen mensuel (m3/h)
Janvier	1
Février	0
Mars	0
Avril	4
Mai	82
Juin	57
Juillet	28
Août	28
Septembre	56
Octobre	56
Novembre	27
Décembre	7
Moyenne annuelle	48

Conditions humides

Mois	Débit moyen mensuel (m3/h)
Janvier	1
Février	0
Mars	0
Avril	5
Mai	107
Juin	69
Juillet	32
Août	34
Septembre	70
Octobre	71
Novembre	32
Décembre	9
Moyenne annuelle	36

Conditions sèches

Mois	Débit moyen mensuel (m3/h)
Janvier	1
Février	0
Mars	0
Avril	3
Mai	47
Juin	34
Juillet	14
Août	13
Septembre	33
Octobre	31
Novembre	22
Décembre	6
Moyenne annuelle	17

ANNEXE 5

QUALITÉ D'EAU MOYENNE DES QUATRE PREMIÈRES SEMAINES D'ESSAIS EN COLONNES

Résultats des essais en colonnes (Tableau C5 tiré des essais de WSP (2018))
 Colonne #3 : Mélange de stériles non saturés Projet Galaxy
 N/Réf : 171-02562-00

Paramètres	Critères (mg/L)			Semaine 0	Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Semaine 4	Moyenne
	RES ⁽¹⁾	D019 ⁽²⁾	LDR ⁽³⁾						
Métaux (mg/L)									
Aluminium	-	-	0,0003	11,9	7,14	33,6	6,38	32,4	18,3
Antimoine	1,1	-	0,0002	0,0011	0,0033	0,0011	0,001	0,0012	0,00154
Argent ⁽⁴⁾	0,00003	-	0,000002	0,00009	0,00016	0,0002	0,00009	0,00005	0,00012
Arsenic	0,34	0,4	0,0002	0,123	0,182	0,198	0,179	0,306	0,1976
Baryum ⁽⁴⁾	0,11	-	0,00002	0,141	0,103	0,349	0,0704	0,284	0,1895
Béryllium	-	-	0,000007	0,001160	0,000296	0,000871	0,000413	0,001580	0,0009
Bore	28	-	0,0002	0,049	0,061	0,025	0,018	0,028	0,0362
Bismuth	-	-	0,000007	0,000437	0,000160	0,000544	0,000268	0,000560	0,000394
Calcium	-	-	0,01	8,07	15,90	10,10	6,78	13,00	10,8
Cadmium ⁽⁴⁾	0,0002	-	0,000003	0,000036	0,000035	0,000147	0,00004	0,000145	0,0001
Chrome	-	-	0,00003	0,0275	0,0265	0,1130	0,0221	0,1140	0,0606
Cobalt	0,37	-	0,000004	0,005240	0,004390	0,016600	0,005710	0,019700	0,0103
Cuivre ⁽⁴⁾	0,0015	0,6	0,00002	0,0080	0,0084	0,03740	0,01120	0,05200	0,0234
Étain	-	-	0,00001	0,0610	0,0679	0,04270	0,01690	0,02760	0,0432
Fer	-	6	0,002	7,55	8,53	32	6,84	36	18,2
Potassium	-	-	0,002	18,2	22	21,9	8,41	21,1	18,3
Lithium	-	-	0,000006	0,665	0,907	0,66	0,299	1,09	0,7
Magnésium	-	-	0,003	4	5,47	13,5	3,41	14,4	8,2
Manganèse ⁽⁴⁾	0,55	-	0,00001	0,154	0,214	0,546	0,126	0,579	0,3
Mercur	0,000013	-	0,00001	0,00002	< 0,00001	< 0,00001	< 0,00001	< 0,00001	0,0000
Molybdène	29	-	0,00001	0,00198	0,00467	0,00194	0,00091	0,00127	0,0022
Nickel ⁽⁴⁾	0,067	1	0,0001	0,0201	0,0179	0,0515	0,0175	0,0632	0,0340
Plomb ⁽⁴⁾	0,0049	0,4	0,00001	0,00464	0,00209	0,00813	0,00313	0,00878	0,0054
Soufre	-	-	0,1	8,9	15,5	5,1	5,0	8,9	8,7
Sélénium	0,062	-	0,00004	0,00054	0,00099	0,00036	0,00028	0,00035	0,0
Sodium	-	-	0,01	11,2	14,5	6,97	3,98	5,93	8,5
Strontium	-	-	0,00002	0,109	0,226	0,104	0,0719	0,138	0,1
Thorium	-	-	0,0001	0,0066	0,0024	0,013	0,0024	0,0094	0,0
Titane	-	-	0,00005	0,619	0,602	2,37	0,469	2,62	1,3
Thallium	-	-	0,000005	0,000615	0,000484	0,00207	0,00041	0,00169	0,001
Tungstène	-	-	0,00002	0,0122	0,0198	0,01	0,00303	0,00562	0,010
Uranium ⁽⁴⁾	0,32	-	0,000002	0,00472	0,0201	0,0103	0,0058	0,0101	0,010
Vanadium	-	-	0,00001	0,0201	0,0194	0,075	0,0155	0,0767	0,041
Yttrium	-	-	0,000002	0,00483	0,00253	0,00808	0,00256	0,0105	0,006
Zinc ⁽⁴⁾	0,017	1	0,002	0,022	0,023	0,076	0,022	0,095	0,048
Paramètres physico-chimiques									
Alcalinité (mg/L CaCO3)	-	-	1	33	57	22	16	17	29
Acidité (mg/L CaCO3)	-	-	2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
Conductivité (uS/cm)	-	-	1	135	243	105	79	73	127
Matières en suspension (mg/L)	-	30	3	82	291	826	562	—	440
pH	-	6 - 9,5	0,01	7,48	7,89	7,56	7,58	7,37	7,58
Potentiel d'oxydoréduction (mV)	-	-	1,0	282	263	336	247	312	288
Paramètres d'essai									
Quantité d'eau de rinçage ajoutée (g)	-	-	0,01	6290	5290,5	5351,7	5449	5405	5557
Quantité d'eau de rinçage récupérée (g)	-	-	0,01	5219,4	5291,8	5339,7	5460,2	5392,69	5341
pH immédiat	-	-	0,01	7,88	8,36	8,46	8,75	8,28	8,35
Conductivité immédiate (uS/cm)	-	-	0,1	328	138,5	112,5	37,6	35,2	130,4

NOTES:

⁽¹⁾ Critères de Résurgence dans les eaux de surface (RES) du Guide d'intervention - Protection des sols et réhabilitation des terrains contaminés (MELOCC, 2019).

⁽²⁾ Concentration maximale acceptable au point de rejet de l'effluent final selon la Directive 019 sur l'industrie minière (MDDEP, 2012)

⁽³⁾ Limite de détection rapportée par le laboratoire d'analyses.

⁽⁴⁾ Ajustement de la valeur du critère en fonction d'une dureté de l'eau (CaCO₃) de 10 mg/L.

LÉGENDE:

- / -	Non défini ou non analysé
00	Concentration < RES et D019
#0	Concentration > RES
00	Concentration > D019