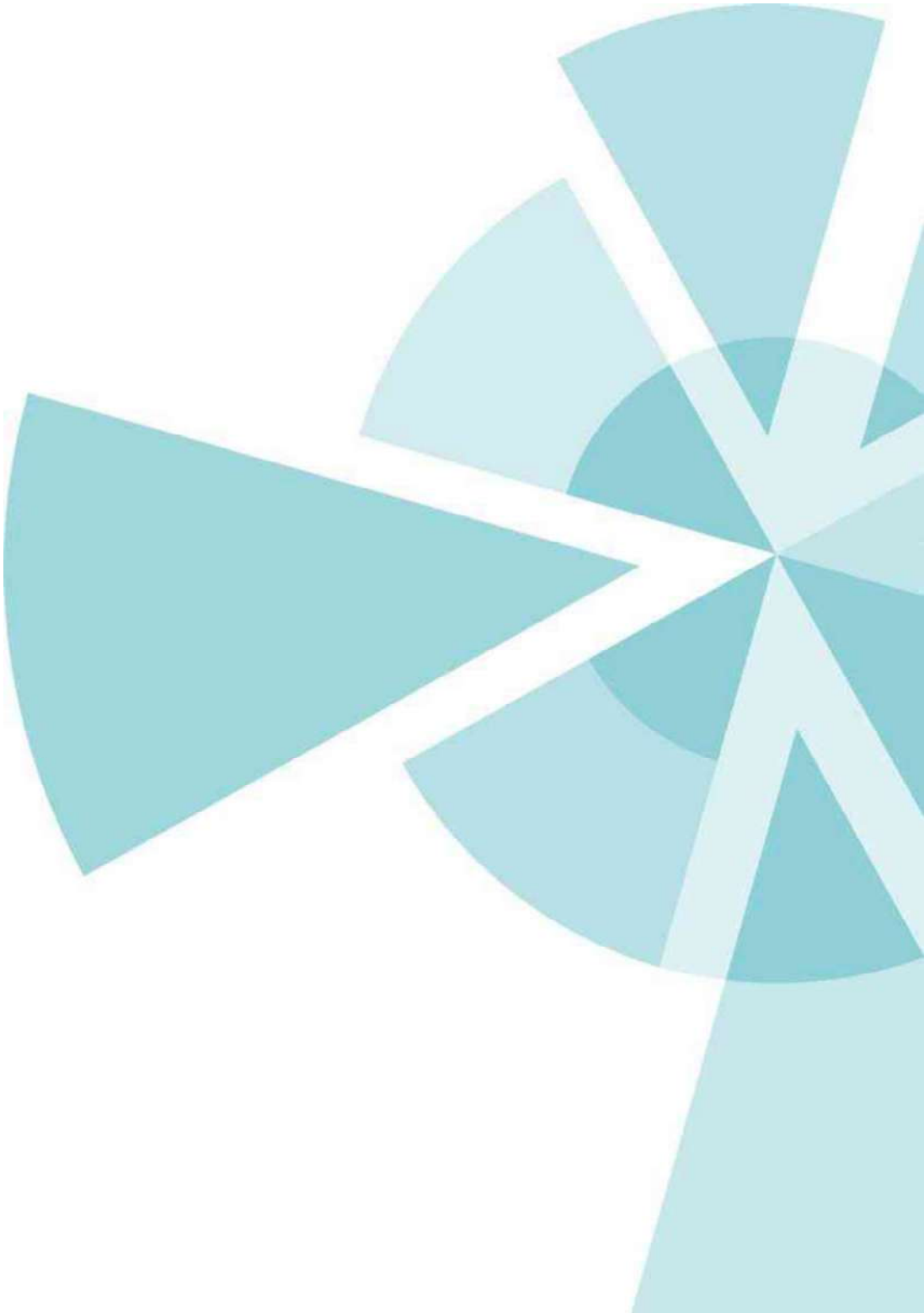
Annexe 1
Restrictions s’appliquant au présent rapport



Restrictions s'appliquant au présent rapport

Amec Foster Wheeler Environnement et Infrastructure, une division d'Amec Foster Wheeler Amériques limitée (« Amec Foster Wheeler ») a préparé ce document à l'usage exclusif de Métanor pour le projet Révision du concept de gestion des résidus et de l'eau du parc à résidus Bachelor. Amec Foster Wheeler a préparé le présent Rapport selon les modalités et conditions générales de l'offre de service QP-7980 faisant partie intégrante de son contrat avec Métanor.

Les données, les interprétations et l'information ne visent que le projet décrit dans le présent rapport et ne s'appliquent à aucun autre projet sur le site.

Les conclusions et recommandations formulées dans le présent rapport sont basées sur l'information acquise aux emplacements des essais, accessibles à ce moment. L'information contenue aux présentes ne décrit aucunement les aspects environnementaux du projet, à moins que ce ne soit autrement précisé. L'état du sous-sol et des eaux souterraines entre les emplacements d'essais et au-delà de ceux-ci peut différer de l'état observé aux emplacements des essais et cet état peut devenir apparent lors de la construction, sans avoir au préalable été décelé ou anticipé au moment de l'investigation du site. Il est recommandé de retenir les services de l'ingénieur-conseil responsable de la géotechnique pendant la construction afin de confirmer que les conditions souterraines sur l'ensemble du site ne dévient pas de façon substantielle de celles observées aux emplacements des essais.

Si des changements sont apportés à l'élévation, à l'implantation, à la conception ou à la nature du projet, les conclusions et recommandations formulées dans notre rapport ne devront pas être traitées comme étant valides à moins que l'impact de cesdits changements soit évalué par Amec Foster Wheeler et que les conclusions du rapport soient modifiées ou corroborées par écrit. Il pourrait être requis d'effectuer de nouveaux essais et de publier un rapport complémentaire.

Les recommandations relatives à la conception et mentionnées dans le présent rapport sont applicables uniquement pour le projet décrit dans le texte et seulement si ce projet est construit en majeure partie selon les détails énoncés dans le présent rapport. Puisque certains détails de conception peuvent être inconnus, il est recommandé que les services d'Amec Foster Wheeler soient retenus au cours de l'étape de conception définitive afin de vérifier que la conception est harmonisée aux recommandations formulées par Amec Foster Wheeler et de valider les hypothèses faites dans l'analyse d'Amec Foster Wheeler.

Les commentaires faits dans le présent rapport quant aux problèmes de construction potentiels et aux méthodes de construction possibles représentent des lignes directrices à l'intention du concepteur uniquement. Le nombre de puits d'essais pourrait ne pas être suffisant pour déterminer tous les facteurs pouvant influer sur les méthodes de construction et les coûts. Par exemple, l'épaisseur de l'horizon superficiel ou des couches de remplissage peut varier grandement et de façon imprévisible. Les entrepreneurs soumissionnant pour ce projet ou réalisant la construction devraient par conséquent interpréter l'information factuelle présentée et en tirer leurs propres conclusions quant à la façon dont l'état de la couche superficielle peut influer sur leurs travaux. Le présent travail a été réalisé en conformité aux pratiques de génie géotechnique généralement reconnues. Il n'y a aucune autre garantie, explicite ou implicite.

Toute utilisation de ce rapport ou prise de décision sur la base de celui-ci par une tierce partie est faite aux risques de cette tierce partie. Amec Foster Wheeler ne sera aucunement responsable de quelque dommage que ce soit, subi par une tierce partie à la suite d'une prise de décision ou de mesures, basée sur le présent rapport.

Annexe 2
Options d’entreposage des résidus proposés

Option 1 : Déposition conventionnelle, et expansion des côtés Ouest et Est et vers le Nord

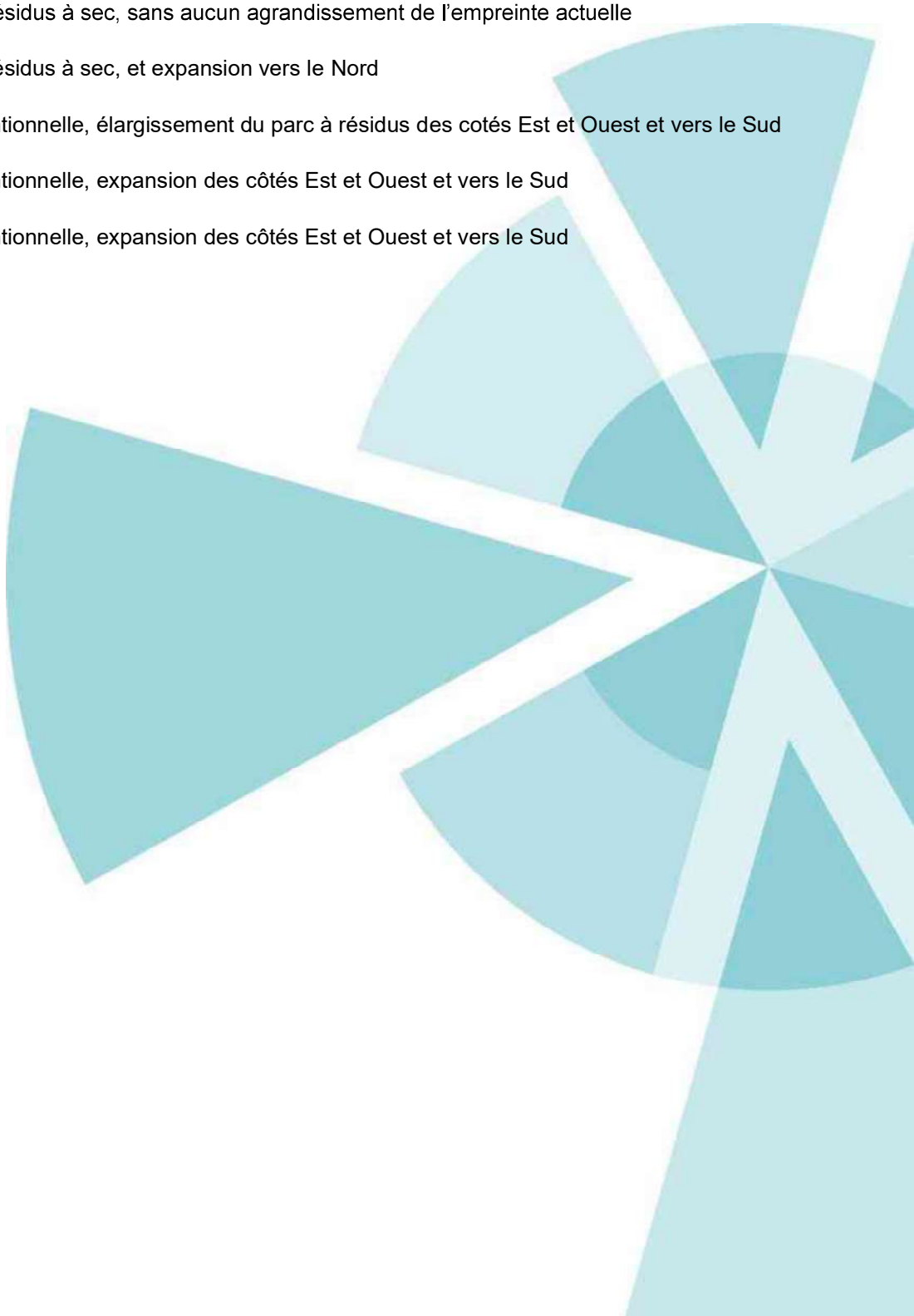
Option 2 : Empilement des résidus à sec, sans aucun agrandissement de l’empreinte actuelle

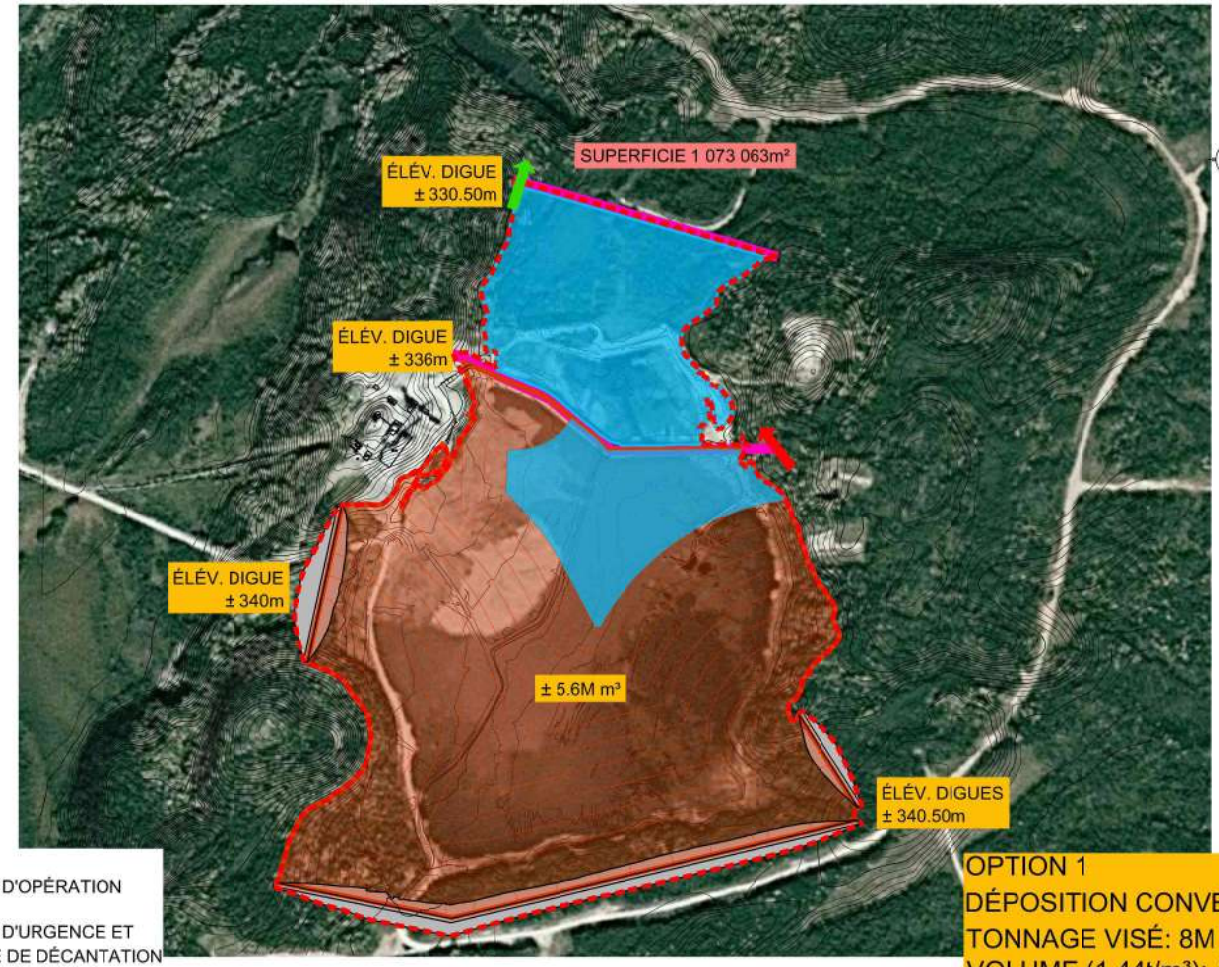
Option 3 : Empilement des résidus à sec, et expansion vers le Nord

Option 4 : Déposition conventionnelle, élargissement du parc à résidus des cotés Est et Ouest et vers le Sud

Option 5 : Déposition conventionnelle, expansion des côtés Est et Ouest et vers le Sud

Option 6 : Déposition conventionnelle, expansion des côtés Est et Ouest et vers le Sud

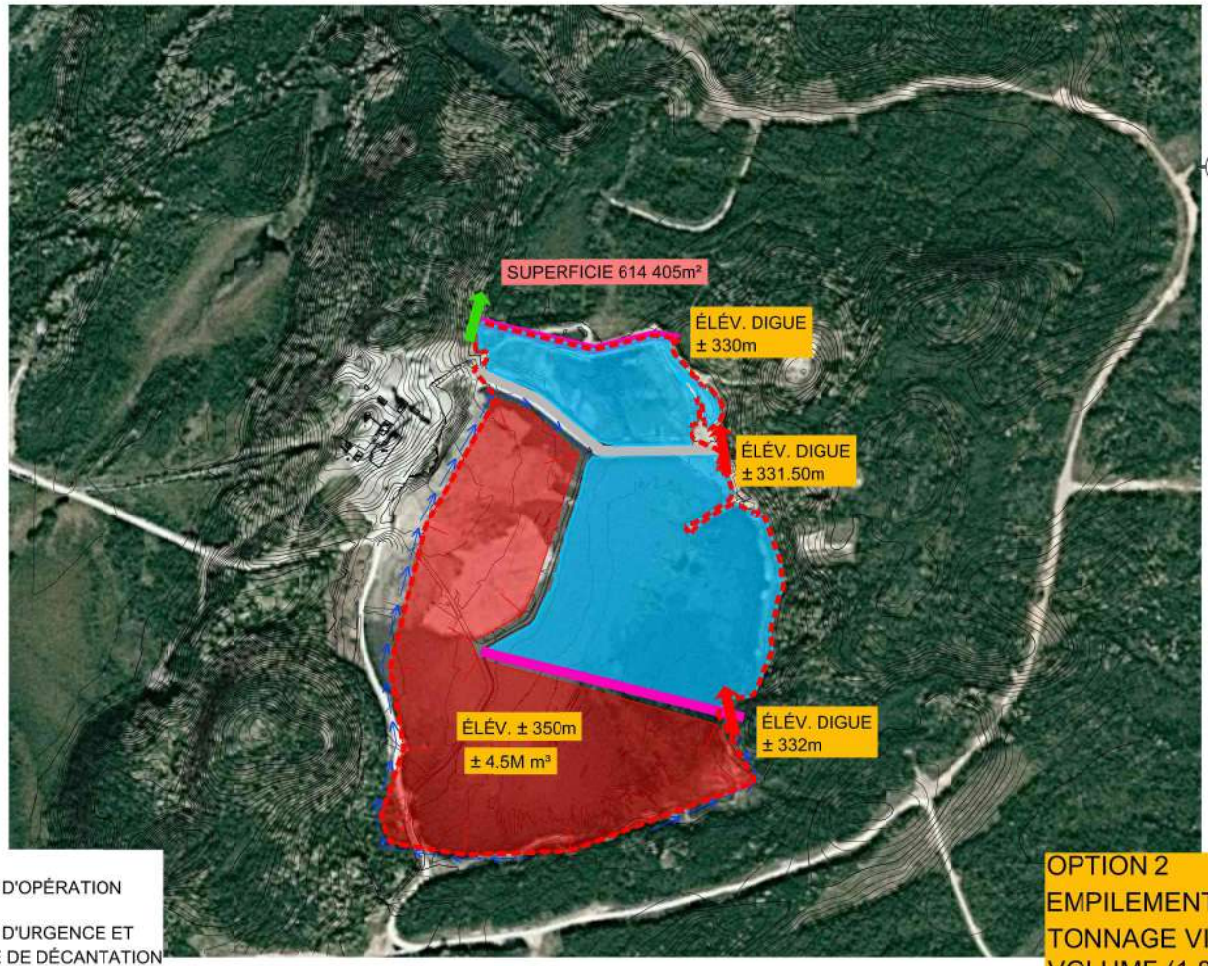




LÉGENDE:

- DÉVERSOIR D'OPÉRATION
- DÉVERSOIR D'URGENCE ET STRUCTURE DE DÉCANTATION

OPTION 1
DÉPOSITION CONVENTIONNELLE
TONNAGE VISÉ: 8M t
VOLUME (1.44t/m³): ± 5.6M m³

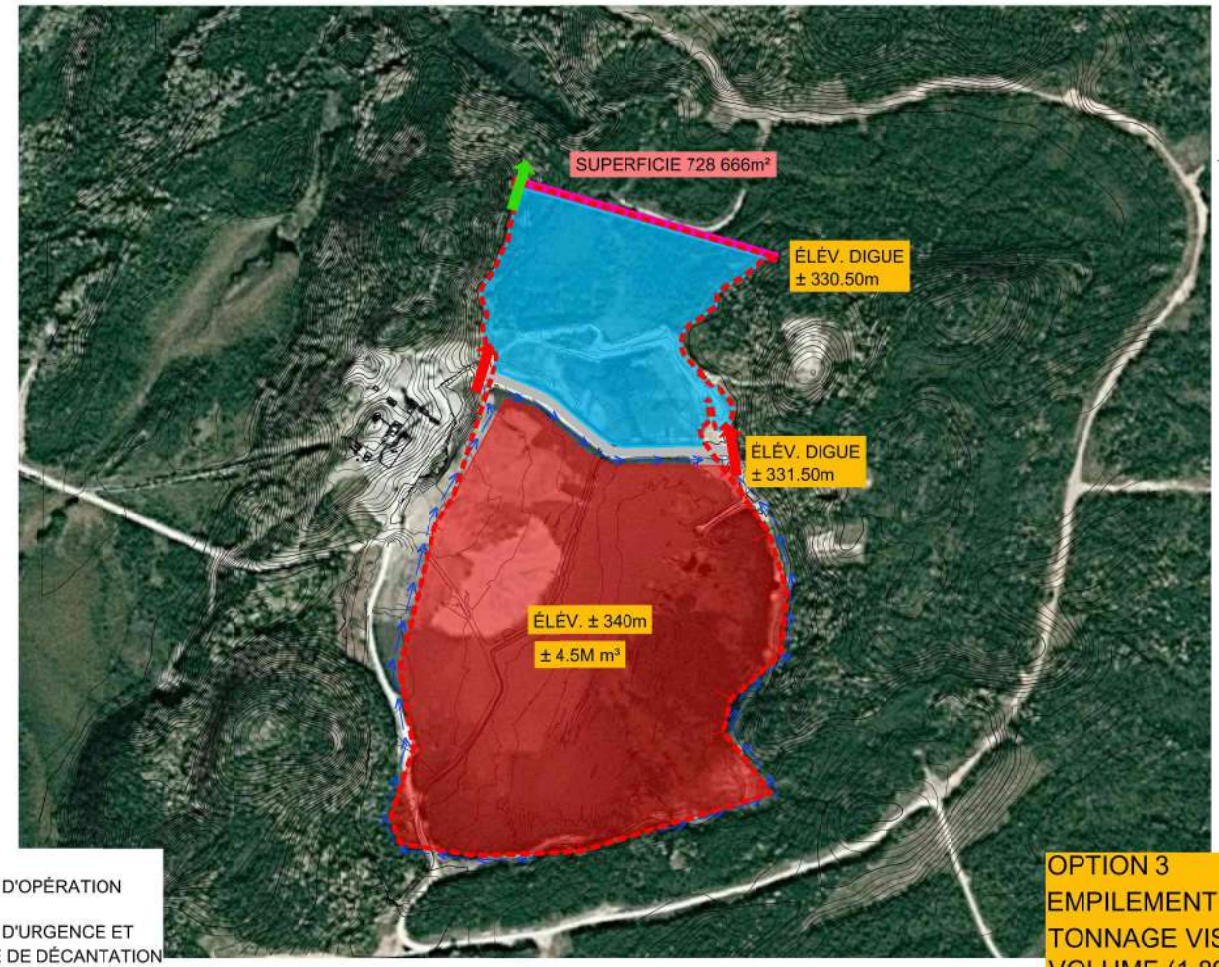


LÉGENDE:

DÉVERSOIR D'OPÉRATION

DÉVERSOIR D'URGENCE ET STRUCTURE DE DÉCANTATION

OPTION 2
EMPILEMENT À SEC
TONNAGE VISÉ: 8M t
VOLUME (1.80t/m³): 4.5M m³

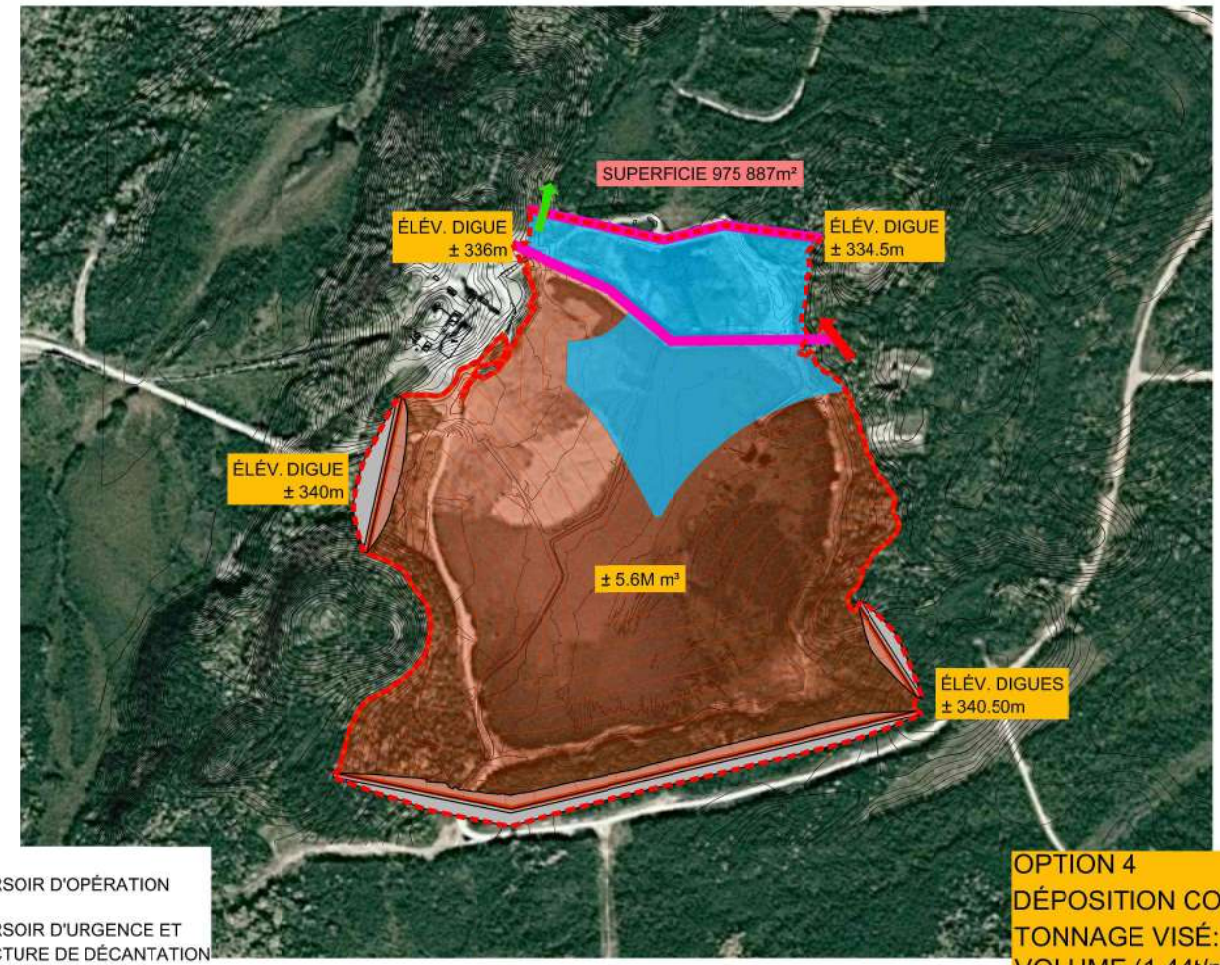


LÉGENDE:

DÉVERSOIR D'OPÉRATION

DÉVERSOIR D'URGENCE ET STRUCTURE DE DÉCANTATION

OPTION 3
EMPILEMENT À SEC
TONNAGE VISÉ: 8M t
VOLUME (1.80t/m³): 4.5M m³

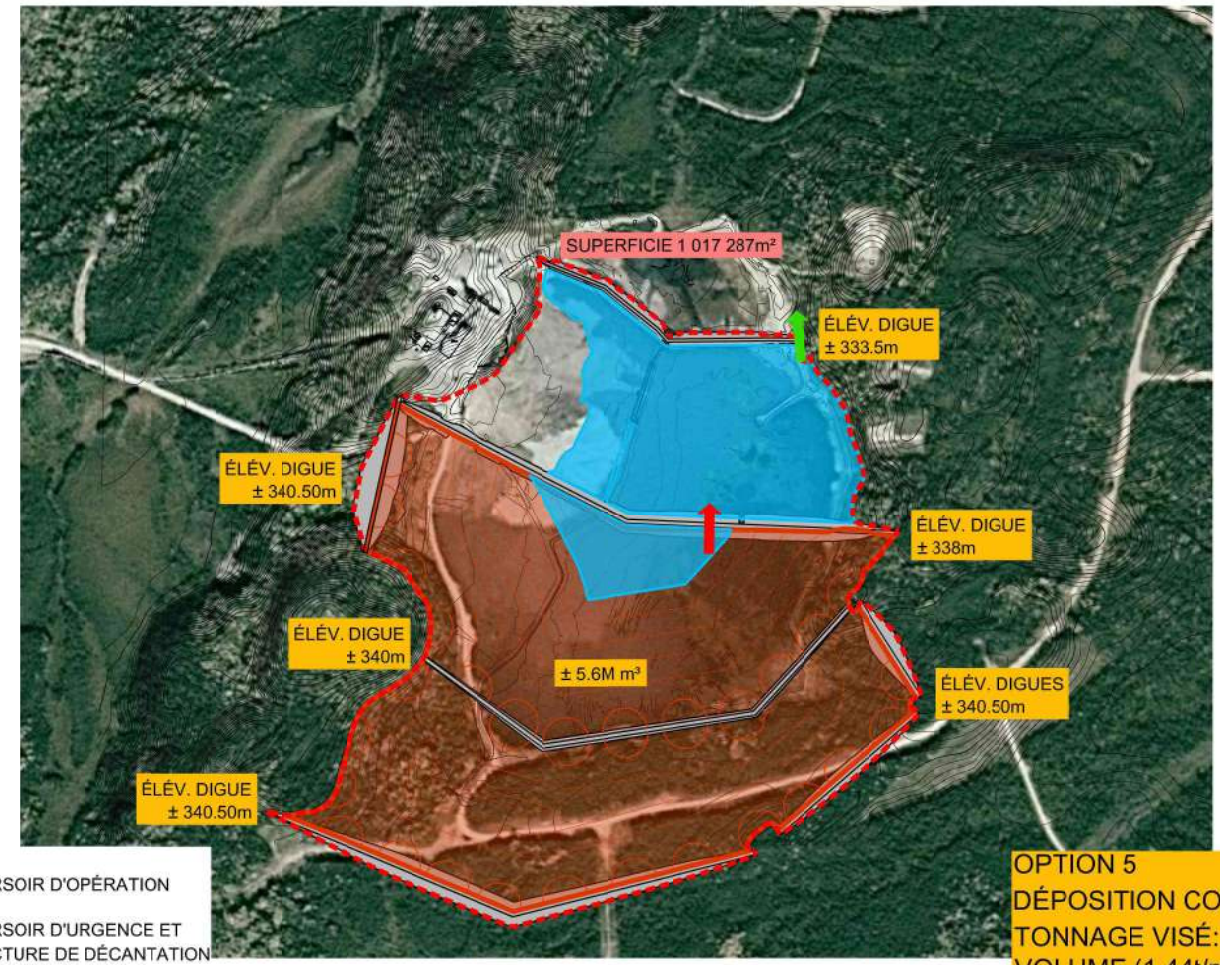


LÉGENDE:

DÉVERSOIR D'OPÉRATION

DÉVERSOIR D'URGENCE ET STRUCTURE DE DÉCANTATION

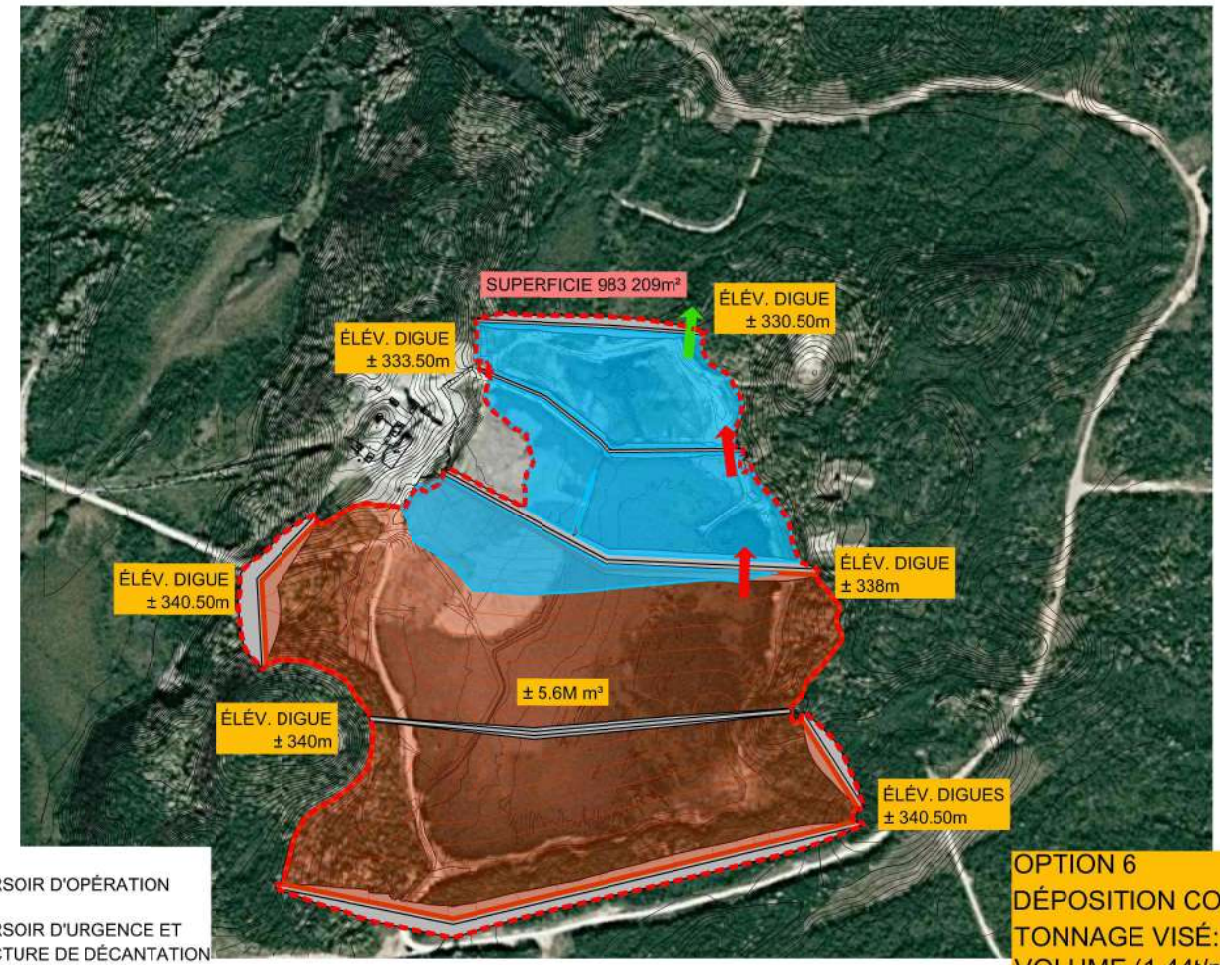
OPTION 4
DÉPOSITION CONVENTIONNELLE
TONNAGE VISÉ: 8M t
VOLUME (1.44t/m³): ± 5.6M m³



LÉGENDE:

- DÉVERSOIR D'OPÉRATION
- DÉVERSOIR D'URGENCE ET STRUCTURE DE DÉCANTATION

OPTION 5
DÉPOSITION CONVENTIONNELLE
TONNAGE VISÉ: 8M t
VOLUME (1.44t/m³): ± 5.6M m³



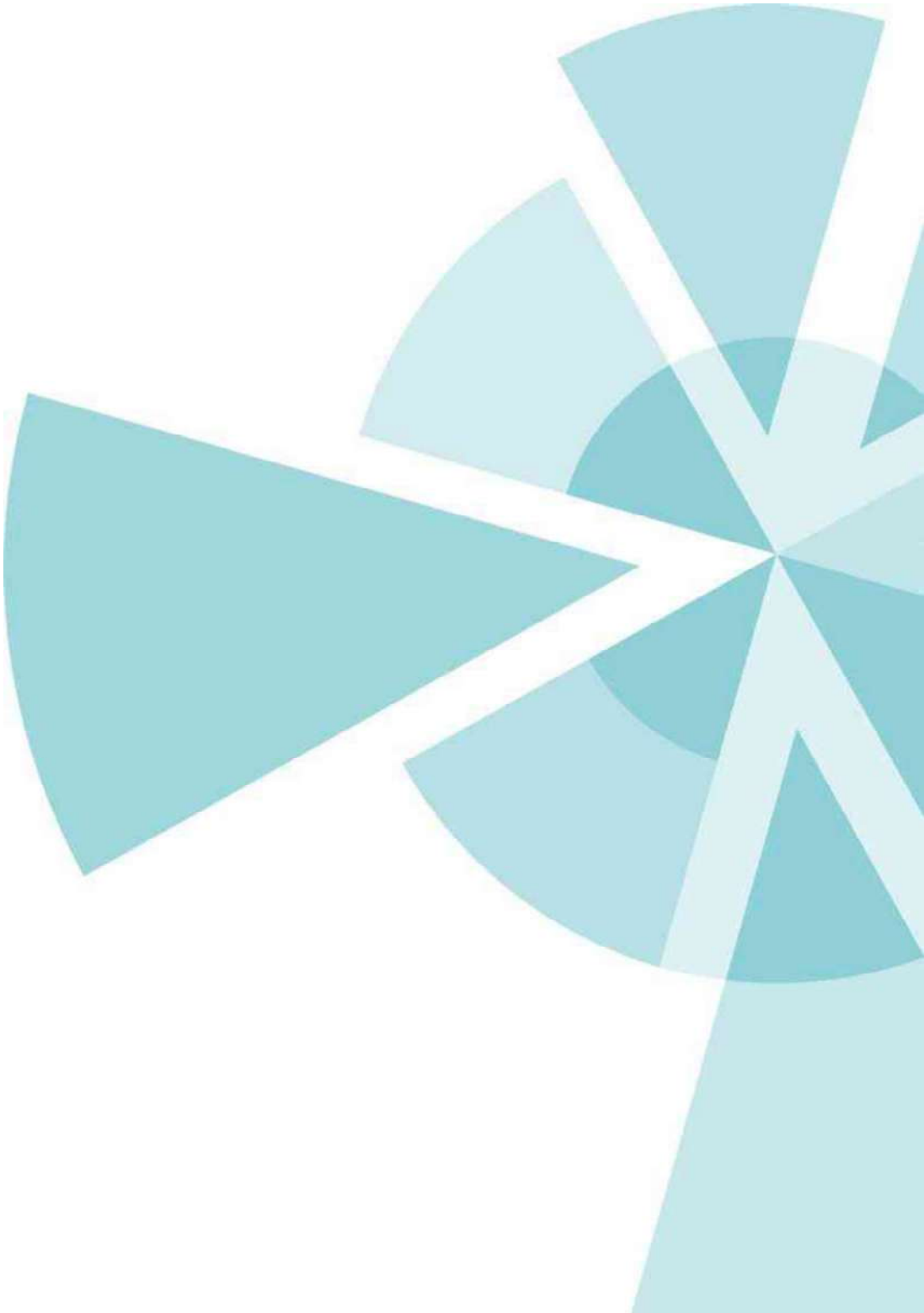
LÉGENDE:

DÉVERSOIR D'OPÉRATION

DÉVERSOIR D'URGENCE ET STRUCTURE DE DÉCANTATION

OPTION 6
DÉPOSITION CONVENTIONNELLE
TONNAGE VISÉ: 8M t
VOLUME (1.44t/m³): ± 5.6M m³

Annexe 3
Matrice décisionnelle



Client Ressources Métanor
Projet TX 17 0113 03 Phase 6000
Objet Matrice d'analyse décisionnelle multicritères pour parc à résidus

	Conventionnel Élargir est/ouest Expansion nord	Empilement sec Ne pas élargir Pas d'expansion	Empilement sec Ne pas élargir Expansion nord	Conventionnel Élargir est/ouest Pas d'expansion nord ou sud	Conventionnel Élargir est/ouest Expansion sud	Conventionnel Élargir est/ouest Expansion sud

Compte	Pondération du compte	Compte auxiliaire	Sous-compte / Indicateurs	Pondération du sous-compte	Variante 1		Variante 2		Variante 3		Variante 4		Variante 5		Variante 6	
					Cote	Pointage	Cote	Pointage	Cote	Pointage	Cote	Pointage	Cote	Pointage	Cote	Pointage
Économique	5	Coût d'investissement	Plus les investissements initiaux coûteraient cher (par ex. équipements spécialisés, stations de pompage, conduites, systèmes de traitement d'eau, aménagement de fossés et de digues), moins élevée sera la cote.	5	3	15	4	20	5	25		0	2	10	1	5
		Coût en investissement de maintien (*sustaining capital*)	Plus l'investissement pourrait être échelonné sur la durée de vie de la mine (par ex. rehaussements des digues), plus élevée sera la cote.	3	5	15	1	3	2	6		0	4	12	3	9
		Coût d'exploitation	Plus l'exploitation anticipée du parc à résidus coûterait cher (par ex. coûts annuels de pompage, coûts d'entretien), moins élevée sera la cote.	4	5	20	1	4	2	8		0	5	20	4	16
		Coût de compensation de l'habitat	Plus la compensation de milieux humides ou d'habitat du poisson coûterait cher, moins élevée sera la cote.	4	1	4	5	20	1	4		0	4	16	5	20
		Coût de réhabilitation et de fermeture	Plus la restauration progressive et la fermeture coûteraient cher (par ex. revégétalisation, gestion de l'eau de surface à long terme, démantèlement des infrastructures), moins élevée sera la cote.	2	1	2	4	8	5	10		0	2	4	3	6
		Cote du compte (Σ pointage / Σ pondération des sous-comptes)			**3.1**		**3.1**		**2.9**		**0.0**		**3.4**		**3.1**	
Réglementaire	5	Autorisations : complexité	Plus la complexité du processus réglementaire applicable (par ex. nombre et nature des autorisations requises) serait grande, moins la cote sera élevée. Considérer REMM Annexe 2, art. 35(2) LP, effluents, etc.	4	1	4	3	12	1	4		0	4	16	4	16
		Autorisations : échéancier	Plus l'échéancier pour obtenir les autorisations serait long, moins la cote sera élevée. Considérer d'éventuels relevés complémentaires.	5	1	5	5	25	1	5		0	4	20	4	20
		Cote du compte (Σ pointage / Σ pondération des sous-comptes)			**1.0**		**4.1**		**1.0**		**0.0**		**4.0**		**4.0**	
Technique	4	Modalités de construction	Plus complexe serait l'exécution de la stratégie de construction (par ex. efforts requis, nécessité de retenir des contracteurs spécialisés) et plus long serait l'échéancier, moins la cote sera élevée.	2	2	4	1	2	3	6		0	5	10	5	10
		Modalités d'exploitation	Plus complexe serait l'exploitation (par ex. fréquence du terrassement et des excavations, fréquence des travaux d'entretien), moins élevée sera la cote.	3	5	15	1	3	1	3		0	4	12	3	9
		Sources de matériaux	Plus grande serait la distance des sources de matériaux connues ou potentielles et plus difficile serait l'accès à celles-ci, moins élevée sera la cote.	4	3	12	4	16	5	20		0	2	8	1	4
		Utilisation des infrastructures existantes	Plus la possibilité d'utiliser les infrastructures existantes (par ex. route d'accès, ligne de transport d'énergie) serait grande, plus la cote sera élevée.	2	1	2	4	8	2	4		0	5	10	3	6
		Interférence avec des infrastructures existantes	Plus le degré d'interférence serait grande (par ex. nécessité de déplacer des infrastructures), moins la cote sera élevée.	2	1	2	4	8	2	4		0	5	10	3	6
		Flexibilité opérationnelle	Plus grande serait la flexibilité pour faire face aux changements / imprévus (par ex. nouvelle composition géochimique), plus élevée sera la cote.	3	4	12	1	3	3	9		0	5	15	4	12
		Capacité d'expansion	Plus le volume d'entreposage pourrait être facilement augmenté, plus élevée sera la cote. Indicateurs à considérer : topographie, complexité de l'évolutivité.	4	3	12	1	4	3	12		0	5	20	4	16
		Considérations géochimiques	Plus le contrôle de la qualité de l'eau via la gestion des résidus en fonction de leurs caractéristiques géochimiques serait assuré, meilleure sera la cote.	4	5	20	1	4	1	4		0	5	20	5	20
		Gestion des eaux de surface	Plus la gestion des eaux de surface serait simplifiée (par ex. système intégré de gestion, écoulement gravitaire), meilleure sera la cote.	5	5	25	2	10	4	20		0	4	20	3	15
		Cote du compte (Σ pointage / Σ pondération des sous-comptes)			**3.8**		**2.0**		**2.8**		**0.0**		**4.3**		**3.4**	
Environne-mental	3	Qualité de l'air	Plus les émissions de poussières seraient élevées, moins la cote sera élevée. Considérer, par exemple, la superficie de l'empreinte, l'élévation maximale, le kilométrage parcouru, l'orientation des vents dominants, la topographie (collines environnantes).	1	5	5	1	1	1	1		0	5	5	5	5
		Eau de surface	Plus la quantité de l'eau de surface serait négativement affectée, moins la cote sera élevée. Considérer la réduction de superficie de bassins versants.	1	5	5	5	5	5	5		0	1	1	5	5
		Eau souterraine	Plus l'eau souterraine serait potentiellement négativement affectée, moins la cote sera élevée. Indicateurs à considérer : vulnérabilité des aquifères à la contamination (par ex. présence de failles), potentiel de résurgence.	1	5	5	5	5	5	5		0	2	2	5	5
		Milieux humides	Plus les milieux humides seraient négativement affectés, moins la cote sera élevée. Considérer la valeur écologique (diversité des organismes qui y vivent et rôles écologiques).	4	1	4	5	20	1	4		0	3	12	4	16
		Faune aquatique	Plus la faune aquatique serait négativement affectée, moins la cote sera élevée. Indicateurs à considérer : superficie d'habitat du poisson, cours d'eau intermittents affectés (contribuent à alimenter saisonnièrement l'habitat du poisson en aval).	4	1	4	5	20	1	4		0	5	20	5	20
		Habitat terrestre	Plus l'habitat terrestre serait négativement affecté, moins la cote sera élevée. Indicateurs à considérer : superficie forestière, superficie d'habitat riverain.	3	3	9	5	15	5	15		0	1	3	3	9
		Biodiversité	Plus la biodiversité serait négativement affectée, moins la cote sera élevée. Indicateurs à considérer : fragmentation des milieux naturels, espèces à statut particulier.	1	3	3	3	3	3	3		0	3	3	3	3
		Conséquences de défaillances	Les conséquences de défaillances peuvent varier selon les caractéristiques du territoire (en aval du parc à résidus) qui serait affecté par la rupture, y compris les habitats naturels qui s'y retrouvent. La sévérité des conséquences potentielles sur l'environnement naturel est inversement proportionnelle à la cote.	5	4	20	5	25	5	25		0	1	5	3	15
		Restauration progressive	Plus une variante permettrait la restauration progressive, plus élevée sera sa cote.	2	1	2	4	8	5	10		0	3	6	3	6
		Revalorisation	Plus une variante favoriserait la revalorisation du site à la fermeture, plus élevée sera sa cote.	2	5	10	1	2	2	4		0	5	10	5	10
		Cote du compte (Σ pointage / Σ pondération des sous-comptes)			**2.8**		**4.3**		**3.2**		**0.0**		**2.8**		**3.9**	
Socio-économique	2	Usages récréatifs ou économiques du territoire	Plus les usages récréatifs ou économiques du territoire (par ex. villégiature, récréotourisme, pistes de motoneige) seraient négativement affectés, moins la cote sera élevée.	2	4	8	4	8	4	8		0	4	8	4	8
		Utilisation traditionnelle du territoire par les Cris de Waswanipi et perception des impacts potentiels	Plus l'utilisation traditionnelle du territoire (par ex. lignes de piégeage, sites sacrés) serait négativement affectée, moins élevée sera la cote. Plus la perception des impacts serait négative, moins élevée sera la cote.	4	2	8	2	8	1	4		0	3	12	5	20
		Conséquences de défaillances	Se rapporte aux conséquences de défaillances sur les composantes socio-économiques du territoire (en aval du parc à résidus) qui serait affecté par la rupture (par ex. infrastructures, habitations humaines, santé et sécurité des travailleurs). La sévérité des conséquences potentielles sur l'environnement socio-économique est inversement proportionnelle à la cote.	5	4	20	5	25	5	25		0	1	5	3	15
		Archéologie	Plus les sites archéologiques connus ou potentiels seraient négativement affectés, moins élevée sera la cote.	2	4	8	5	10	4	8		0	1	2	4	8
		Climat sonore	Plus le niveau sonore serait augmenté, moins élevée sera la cote.	1	5	5	1	1	2	2		0	5	5	5	5
		Paysage	Plus la qualité du paysage serait perturbée, moins élevée sera la cote. Considérer, par exemple, la hauteur des digues et la proximité des résidences.	2	5	10	1	2	1	2		0	3	6	5	10
		Cote du compte (Σ pointage / Σ pondération des sous-comptes)			**3.7**		**3.4**		**3.1**		**0.0**		**2.4**		**4.1**	
		Cote alternative			**43.8**		**57.3**		**40.9**		**0.0**		**63.2**		**61.4**	

ÉCHELLE

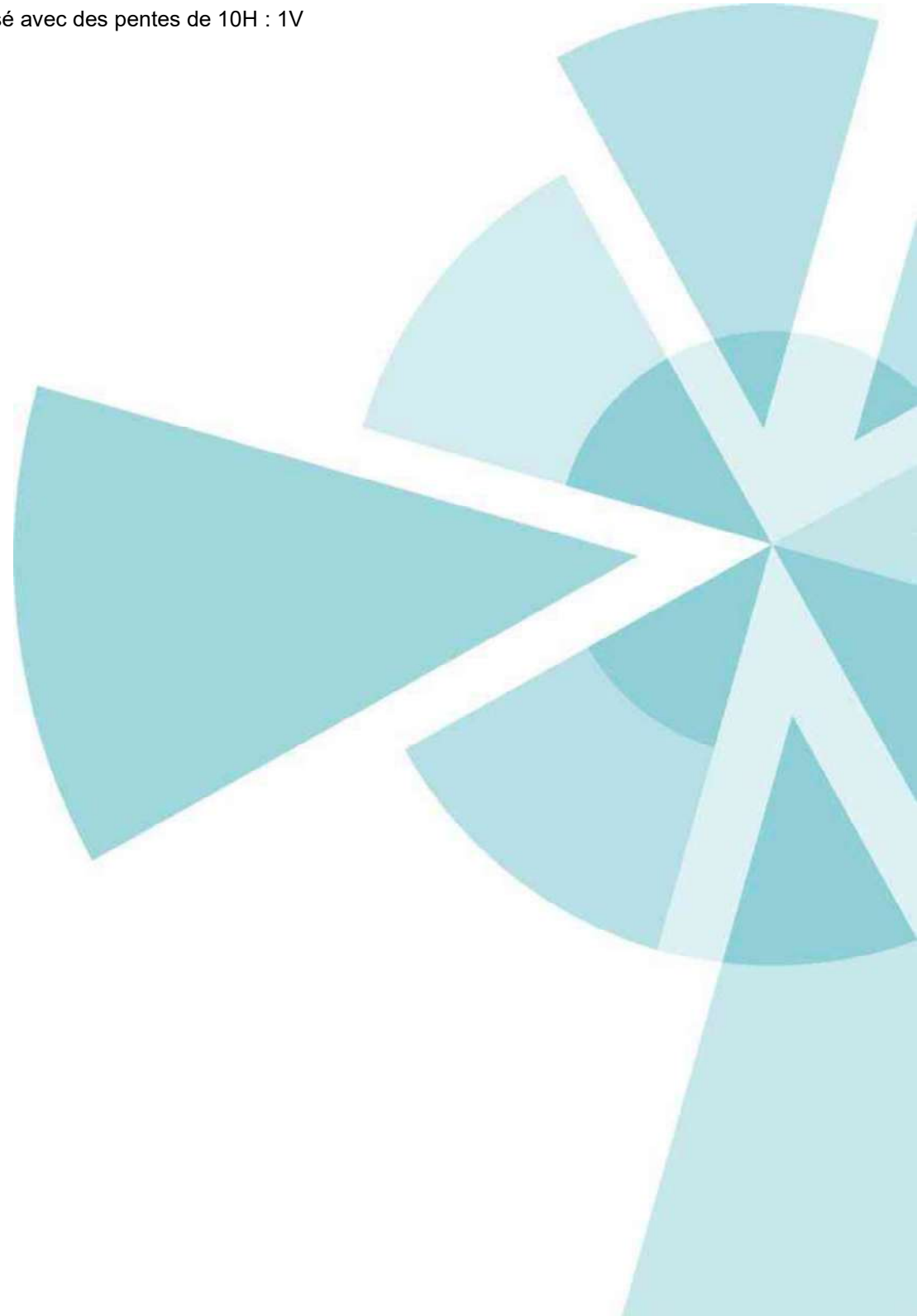
Pondération	Critère
5	**Forte pondération** – Importance majeure du compte par rapport aux autres comptes / Importance majeure du sous-compte relativement aux autres sous-comptes du compte
4	**Pondération moyenne à forte** – Importance notable du compte par rapport aux autres comptes / Importance notable du sous-compte relativement aux autres sous-
3	**Pondération moyenne** – Importance équivalente du compte par rapport aux autres comptes / Importance équivalente du sous-compte relativement aux autres sous-
2	**Pondération faible à moyenne** – Importance moindre du compte par rapport aux autres comptes / Importance moindre du sous-compte relativement aux autres sous-
1	**Pondération faible** – Importance mineure du compte par rapport aux autres comptes / Importance mineure du sous-compte relativement aux autres sous-comptes du compte

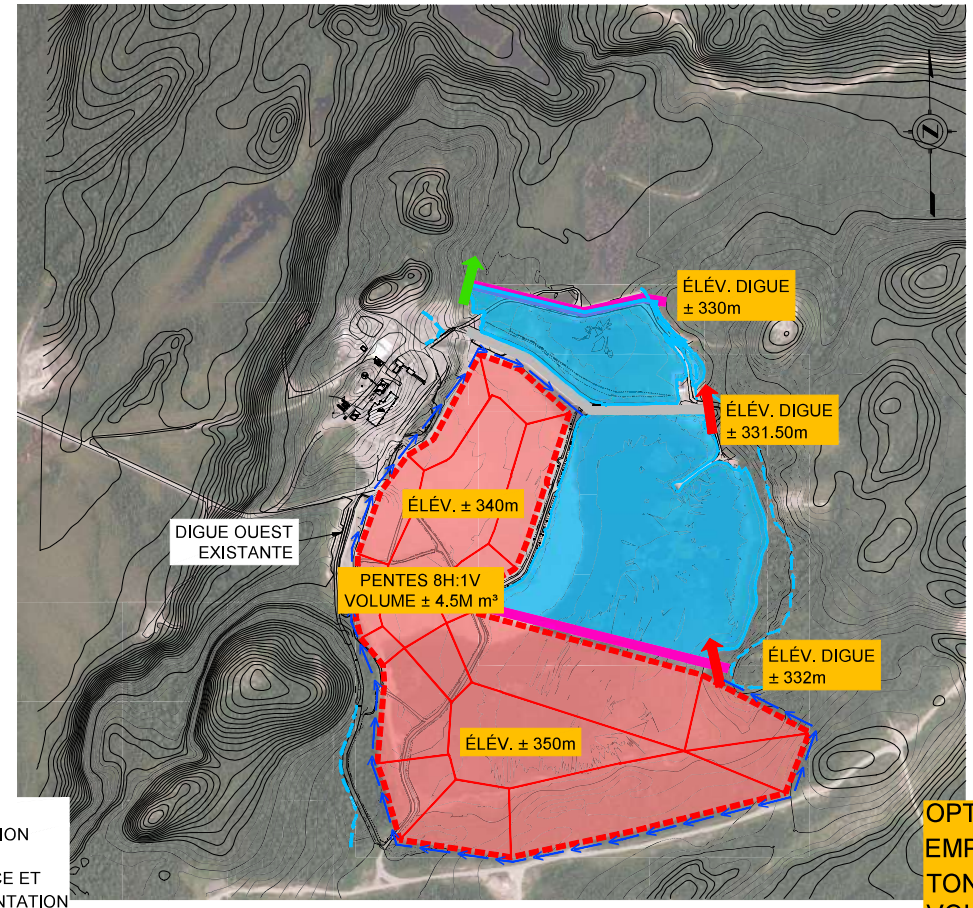
Cote	Critère
5	C'est la meilleure des variantes. Ceci n'implique pas qu'il n'y a aucun impact, mais qu'ils sont moins sévères que ceux des autres variantes.
4	Les impacts de cette variante sont légèrement plus sévères que ceux de la meilleure variante.
3	Entre 2 et 4.
2	Les impacts sont considérablement plus sévères que ceux de la meilleure variante.
1	Les impacts négatifs sont majeurs par rapport à ceux de la meilleure variante.

Annexe 4
Plans de remplissage optimisés – Option 2

Plan de remplissage optimisé avec des pentes de 8H : 1V

Plan de remplissage optimisé avec des pentes de 10H : 1V



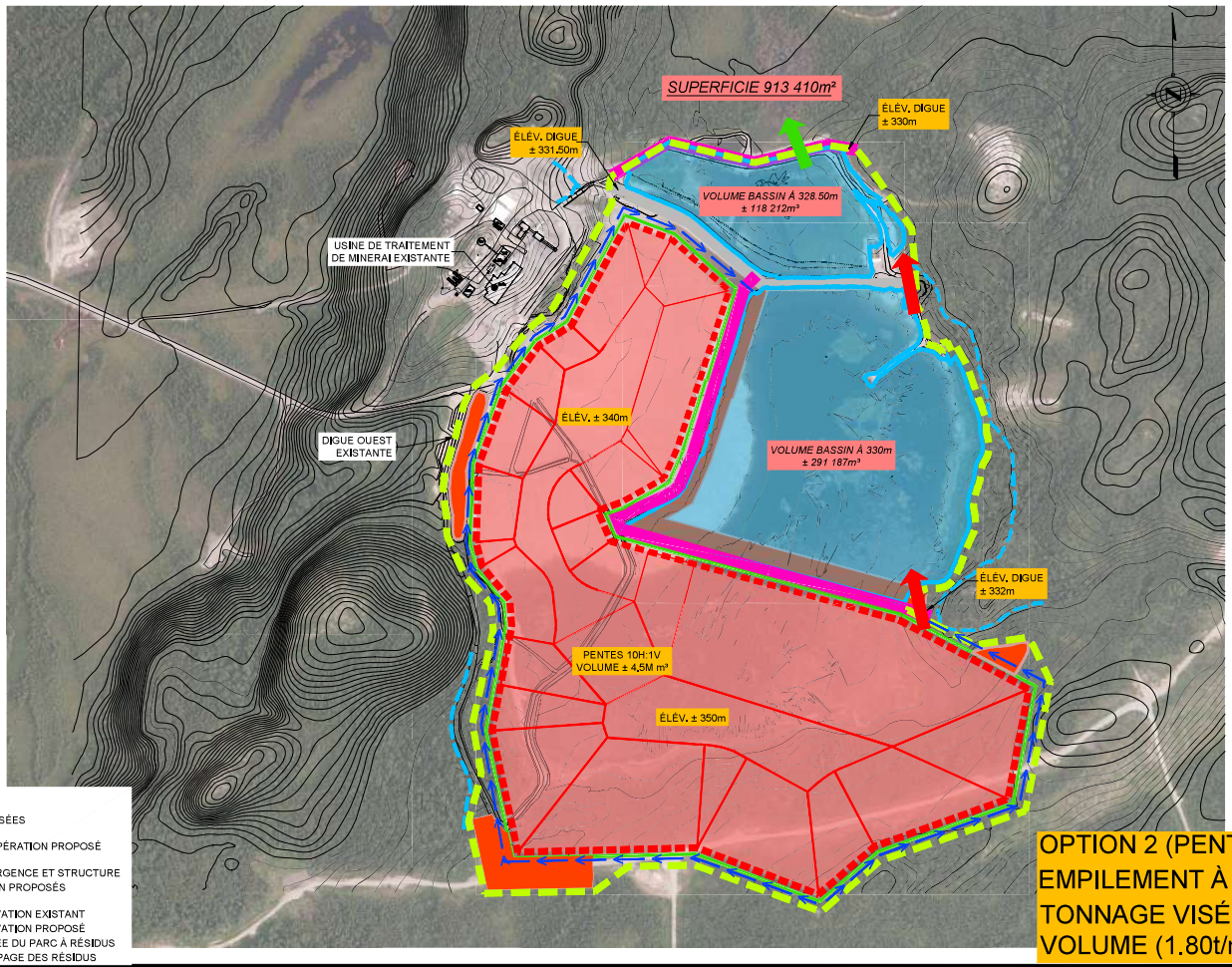


LÉGENDE:

DÉVERSOIR D'OPÉRATION

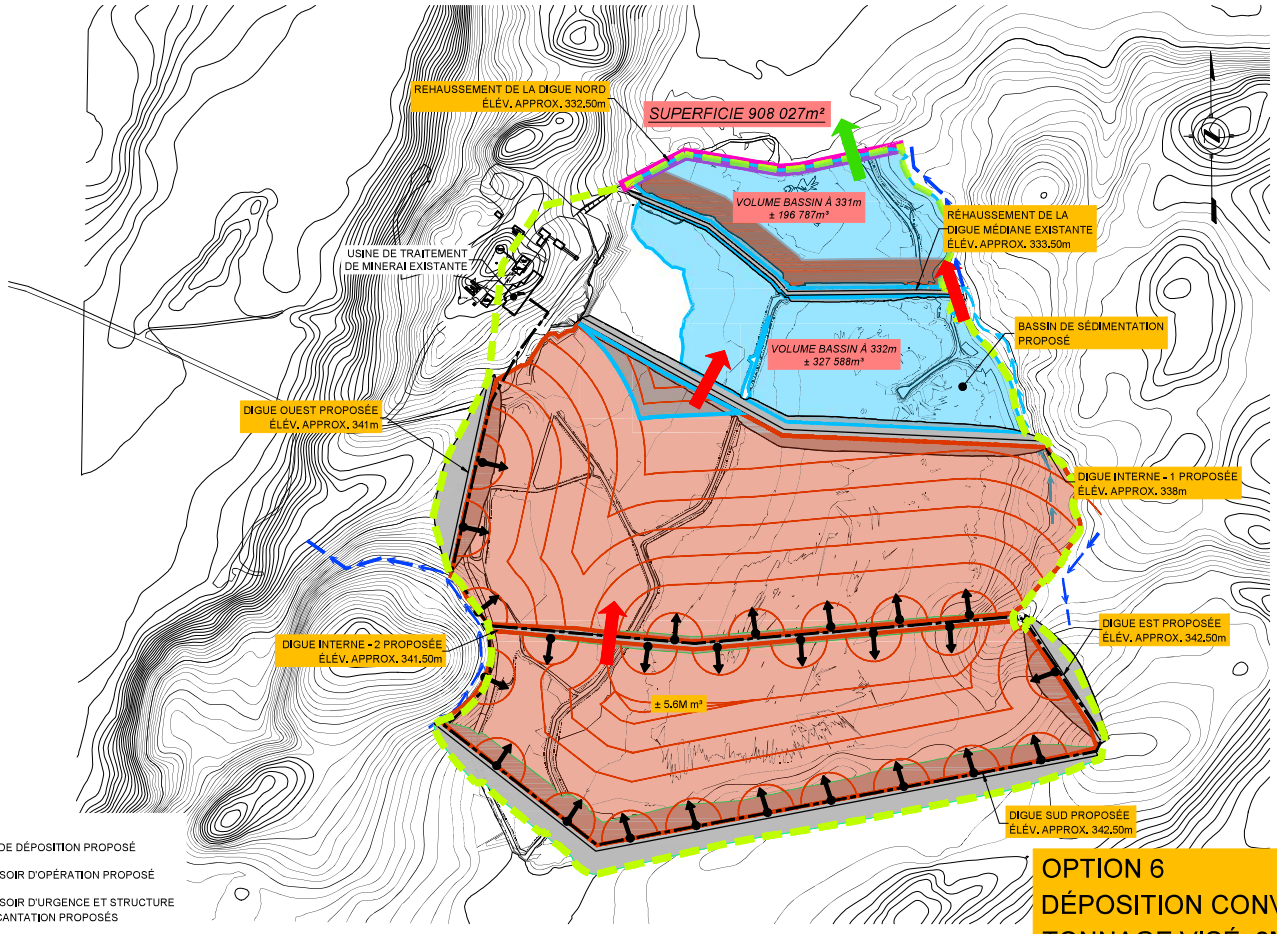
DÉVERSOIR D'URGENCE ET
STRUCTURE DE DÉCANTATION

OPTION 2 (PENTES 8H:1V)
EMPILEMENT À SEC
TONNAGE VISÉ: 8M t
VOLUME (1.80t/m³): 4.5M m³



OPTION 2 (PENTES 10H:1V)
EMPILEMENT À SEC
TONNAGE VISÉ: 8M t
VOLUME (1.80t/m³): 4.5M m³

Annexe 5 Plan de remplissage long terme



LÉGENDE:

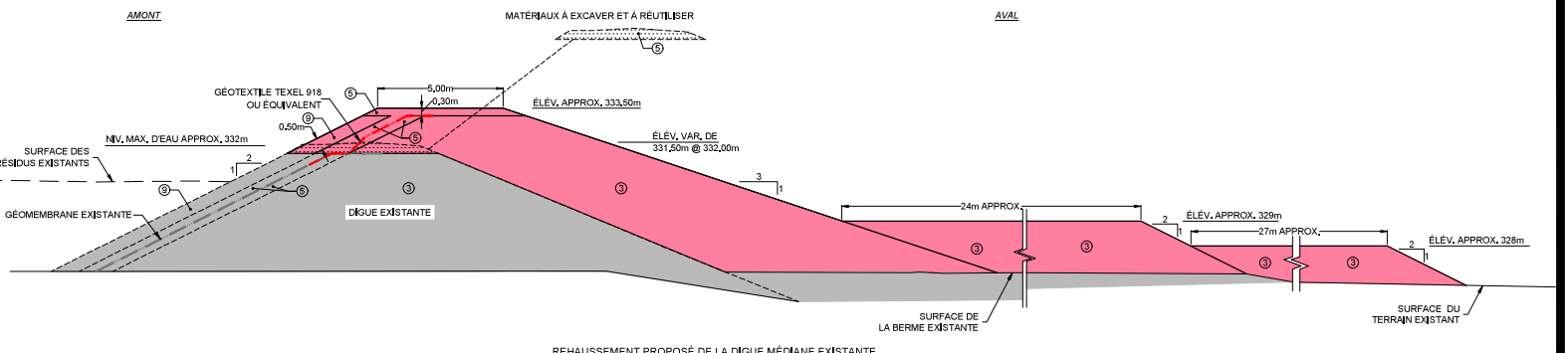
- POINT DE DÉPOSITION PROPOSÉ
- DÉVERSOIR D'OPÉRATION PROPOSÉ
- DÉVERSOIR D'URGENCE ET STRUCTURE DE DÉCANTATION PROPOSÉS
- FOSSÉ DE DÉRIVATION EXISTANT
- FOSSÉ DE DÉRIVATION PROPOSÉ
- LIMITE PROPOSÉE DU PARC À RÉSIDUS
- LIGNES DE POMPAGE DES RÉSIDUS

OPTION 6
DÉPOSITION CONVENTIONNELLE
TONNAGE VISÉ: 8M t
VOLUME (1.44t/m³): ± 5.6M m³

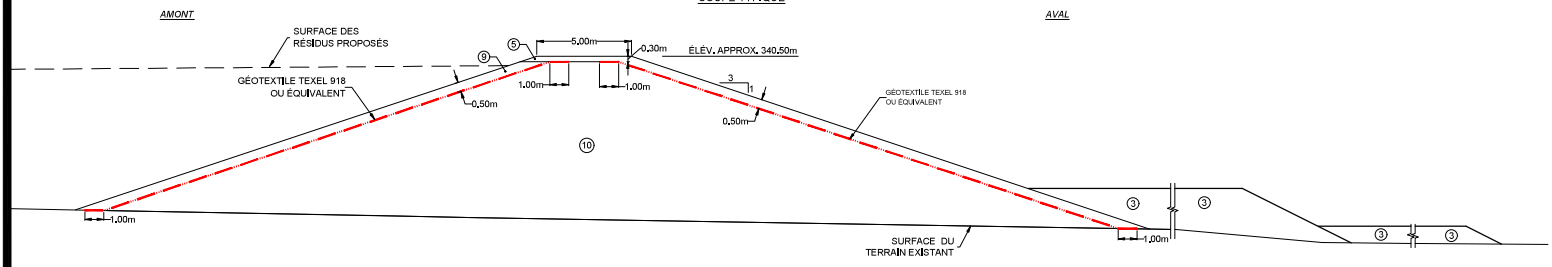
Annexe 6
Coupes conceptuelles des nouvelles infrastructures à construire et du rehaussement de la digue médiane

Coupes typiques des digues Nord, Sud-1, Sud-2, Est et Ouest

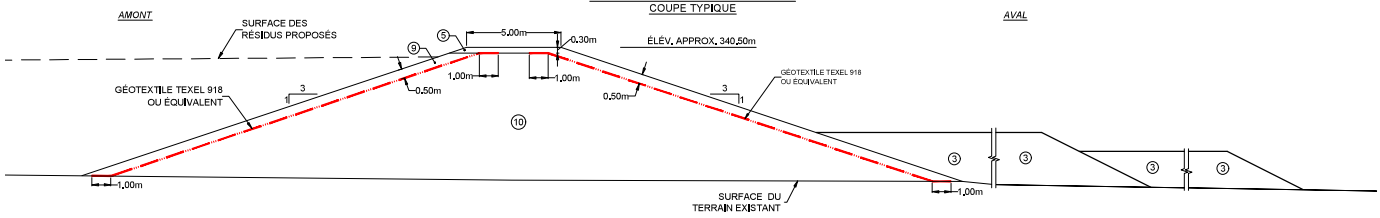
Coupes typiques de la digue médiane et des digues internes 1 et 2



REHAUSSEMENT PROPOSÉ DE LA DIGUE MÉDIANE EXISTANTE
COUPE TYPIQUE



DIGUES SUD - 1 ET OUEST PROPOSÉES
COUPE TYPIQUE



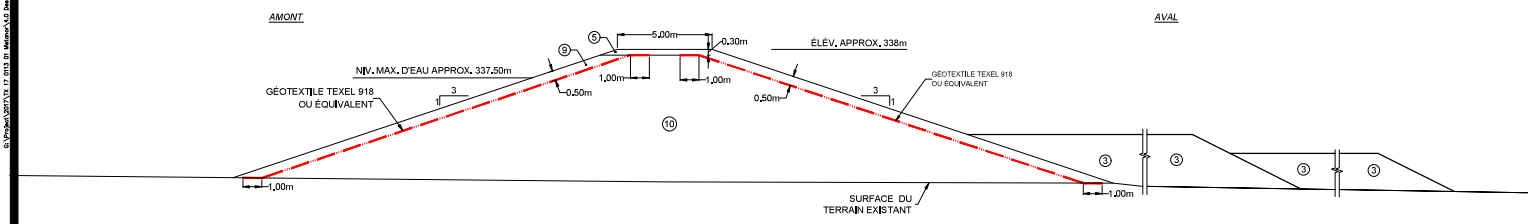
DIGUES SUD - 2 ET EST PROPOSÉES
COUPE TYPIQUE

MATÉRIAUX UTILISÉS:

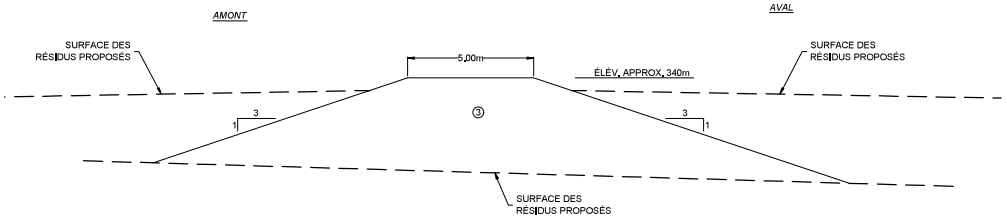
- (3) ENROCHEMENT (STÉRILES)
- (5) SABLE ET GRAVIER
- (9) ENROCHEMENT (100-300mm)
- (10) MORAINE

PARC À RÉSIDUS BACHELOR

DIGUES MÉDIANE , SUD -1 ,SUD - 2, EST ET OUEST - COUPES TYPIQUES



DIGUE INTERNE - 1 PROPOSÉE
COUPE TYPIQUE



DIGUE INTERNE - 2 PROPOSÉE
COUPE TYPIQUE

MATÉRIAUX UTILISÉS:

3 ENROCHEMENT (STÉRILES)
5 SABLE ET GRAVIER
9 ENROCHEMENT (100-300mm)
10 MORAINE

PARC À RÉSIDUS BACHELOR
DIGUES INTERNES -1 ET 2 - COUPES TYPIQUES

Annexe 7
Analyses de stabilité pour l'optimisation de l'Option 2

Figure A7- 1. Facteur de sécurité amont de la digue médiane condition drainé à l'élévation 332 m. Dry stack 8 :1 à 350 m. Avec bermes

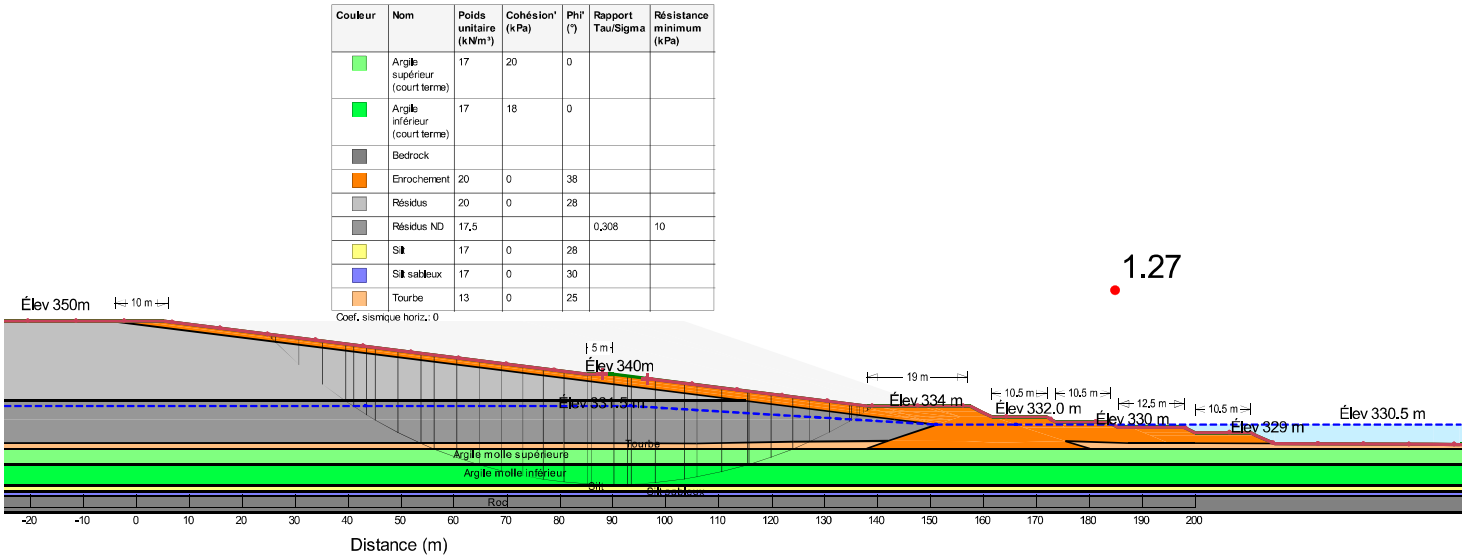


Figure A7-2. Facteur de sécurité local aval de la digue en condition pseudo à l'élévation 332 m. Dry stack 8 :1 à 350 m. Avec bermes

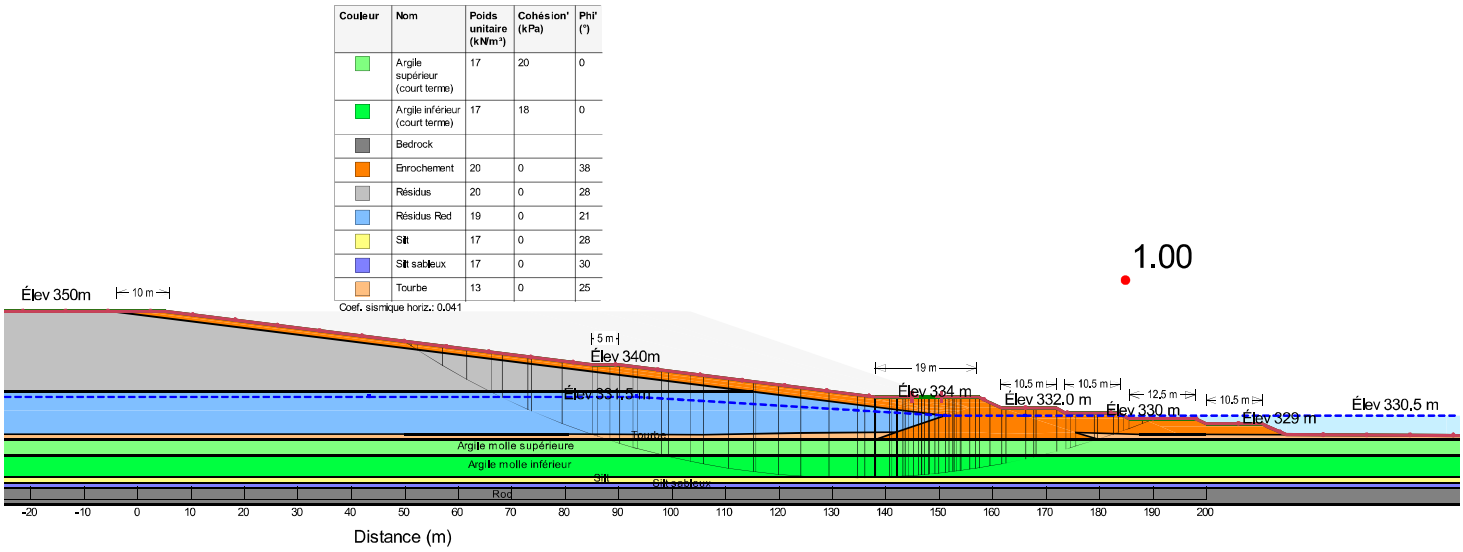


Figure A7-3. Facteur de sécurité local aval de la digue en condition pseudo à l'élévation 332 m. Dry stack 10 :1 à 350 m. Avec bermes. Nappe 330.5

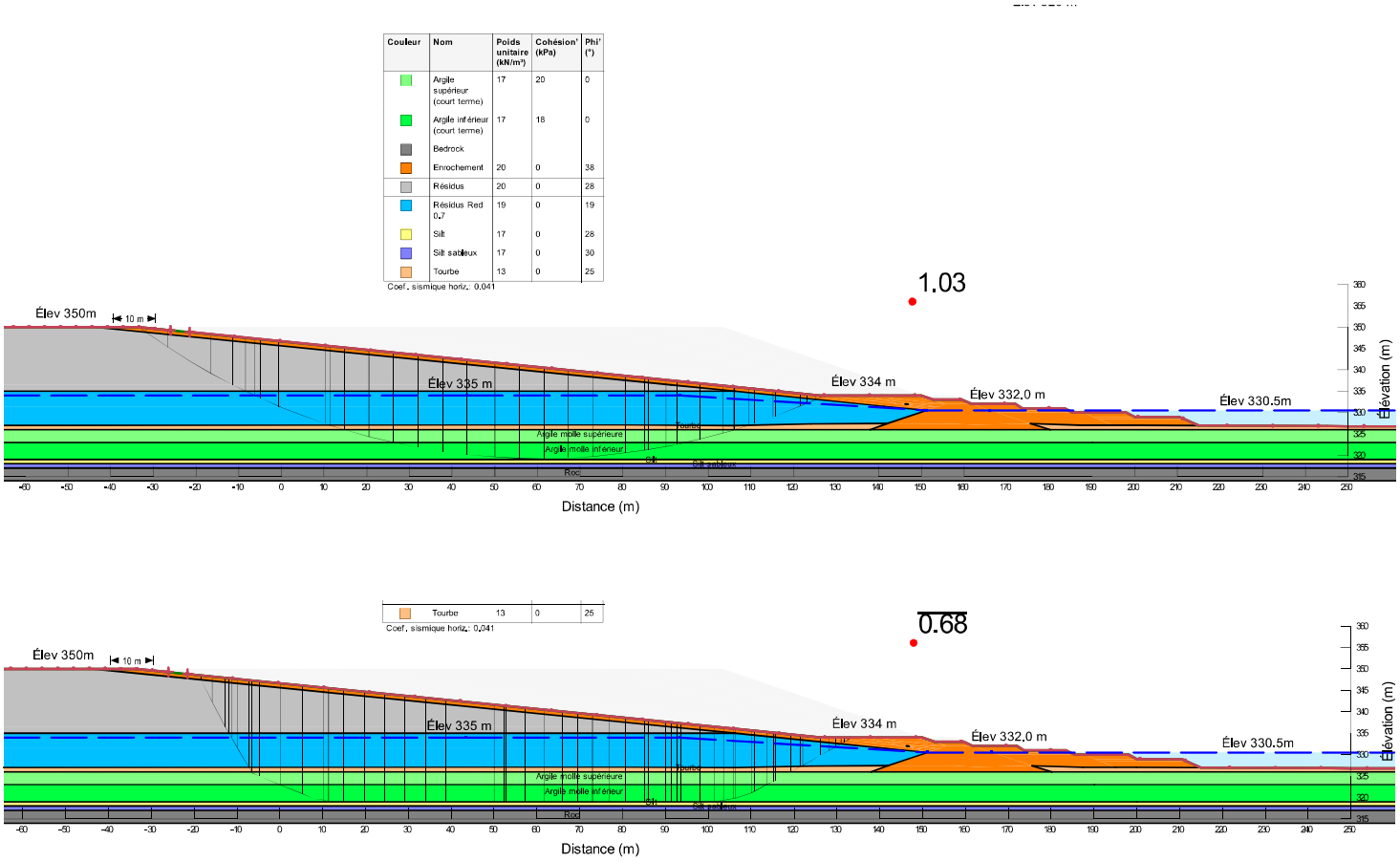
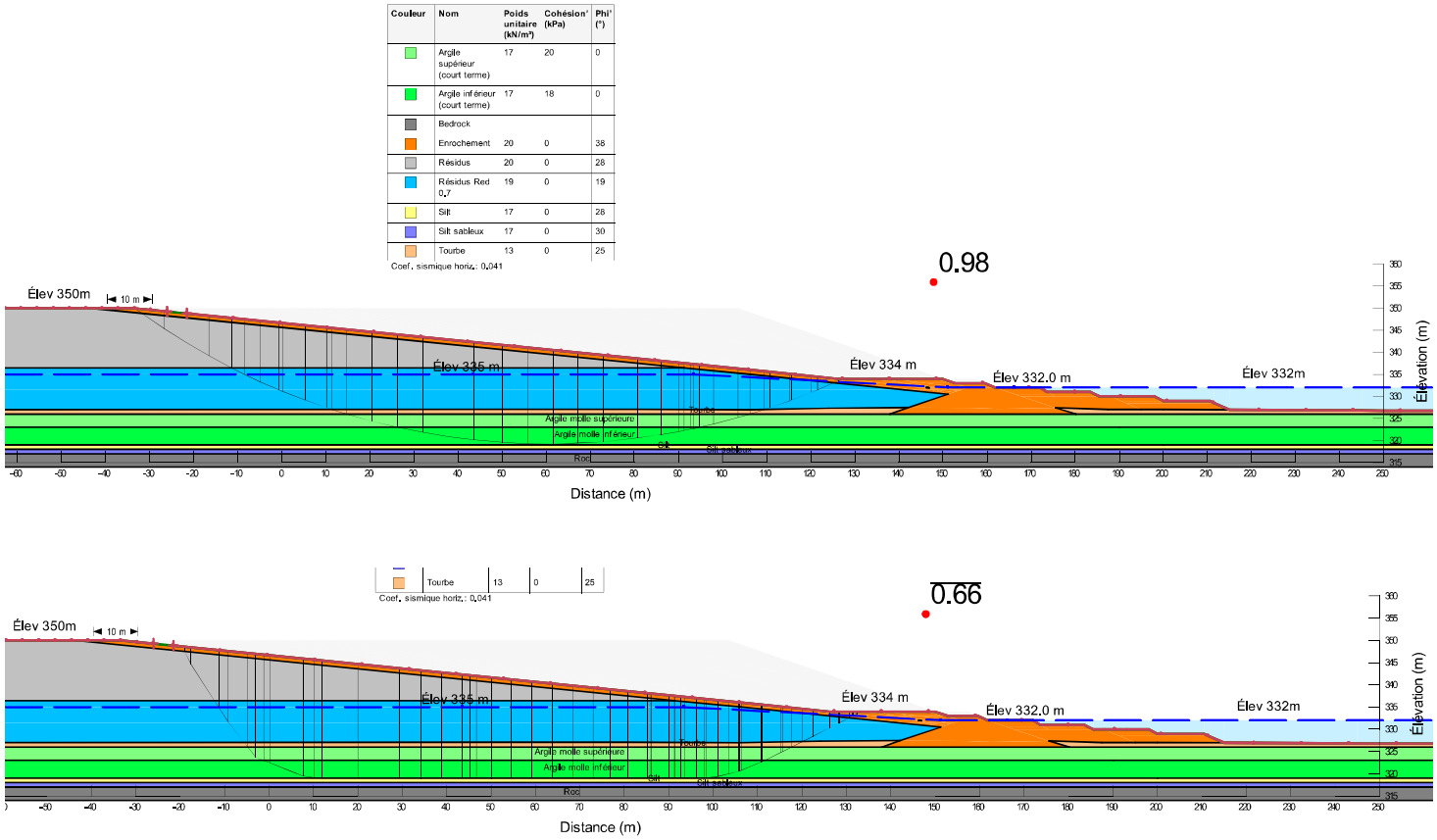


Figure A7-4. Facteur de sécurité local aval de la digue en condition pseudo à l'élévation 332 m. Dry stack 10 :1 à 350 m. Avec bermes. Nappe 332 m



Annexe 8
Analyses de stabilité pour le rehaussement des digues, Option 6

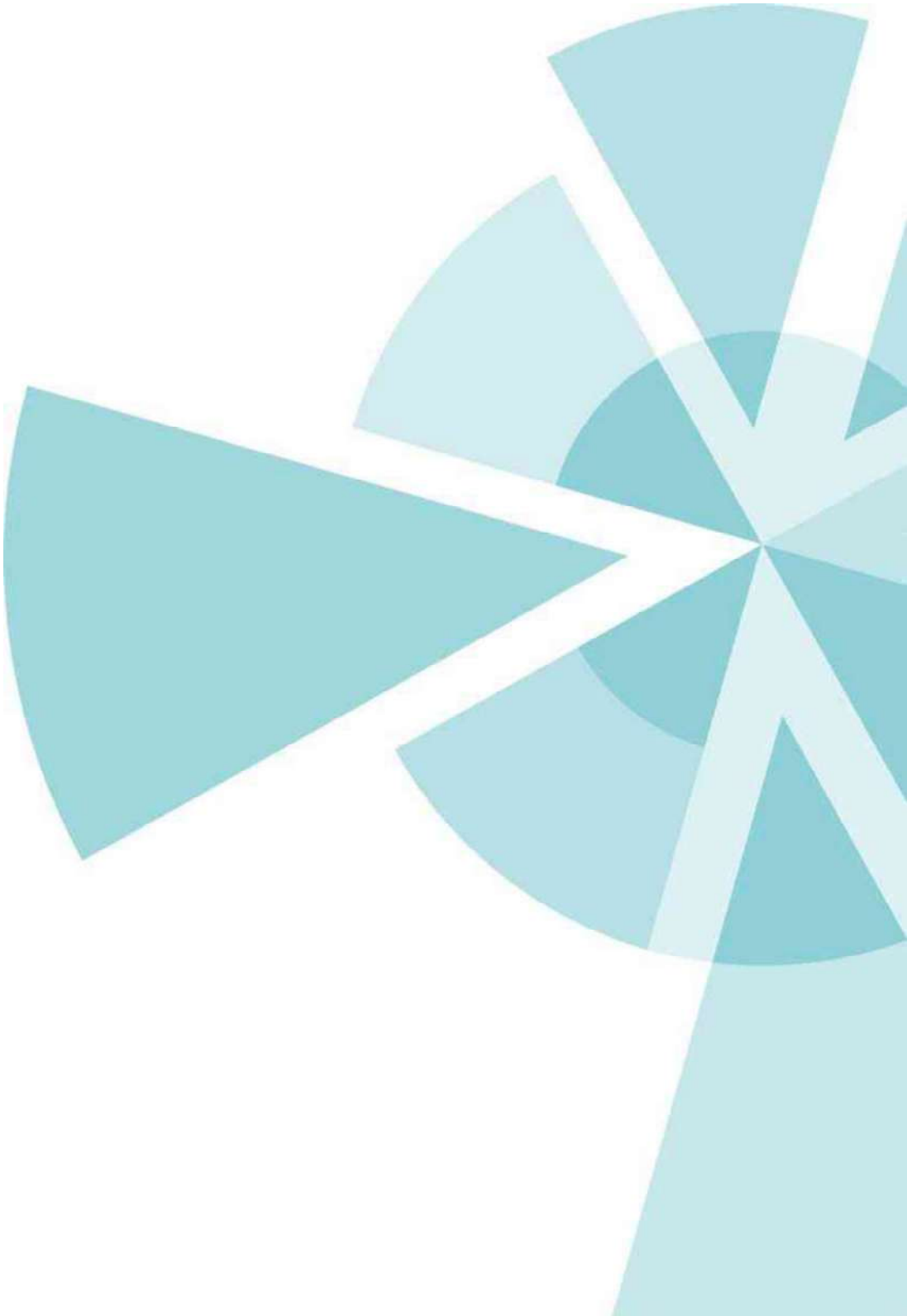


Figure A8-1. Facteur de sécurité aval de la digue médiane en condition drainée à l'élévation 333.5 m

Couleur	Nom	Poids unitaire (kN/m³)	Cohésion' (kPa)	Phi' (°)
	Argile inférieur (long terme)	17	0	25
	Argile supérieur (long terme)	17	0	28
	Bedrock			
	Enrochement	20	0	38
	Résidus	20	0	28
	Silt	17	0	28
	Silt sableux	17	0	30
	Tourbe	13	0	25

Coef. sismique horiz.: 0

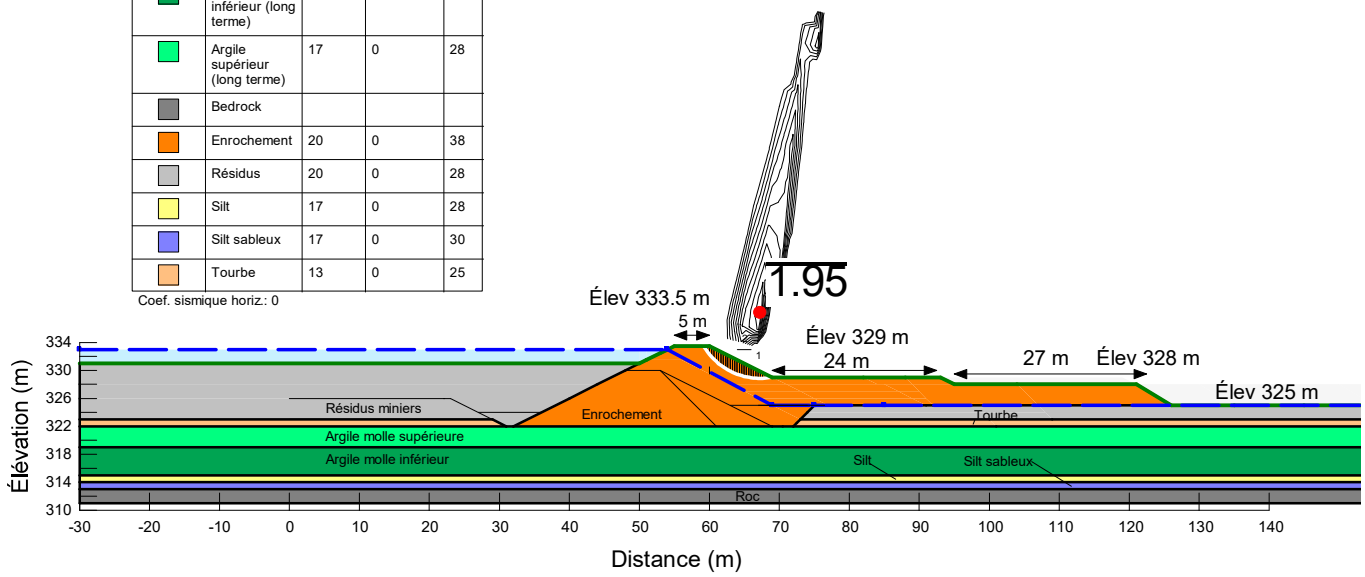


Figure A8-2. Facteur de sécurité amont de la digue médiane en condition drainée à l'élévation 333.5 m

Couleur	Nom	Poids unitaire (kN/m³)	Cohésion' (kPa)	Phi' (°)
	Argile inférieur (long terme)	17	0	25
	Argile supérieur (long terme)	17	0	28
	Bedrock			
	Enrochement	20	0	38
	Résidus	20	0	28
	Silt	17	0	28
	Silt sableux	17	0	30
	Tourbe	13	0	25

Coef. sismique horiz.: 0

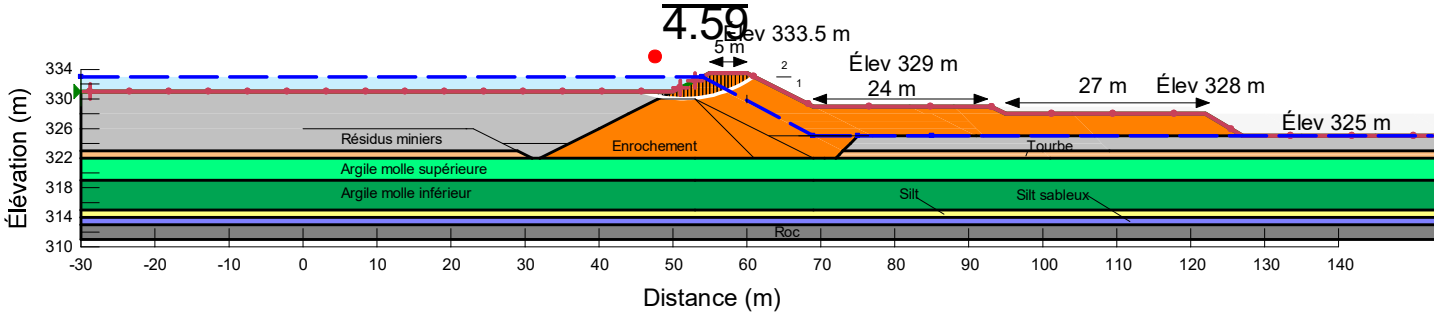


Figure A8-3. Facteur de sécurité local aval de la digue médiane en condition non drainée à l'élévation 333.5 m

Couleur	Nom	Poids unitaire (kN/m³)	Cohésion' (kPa)	Phi' (°)	Rapport Tau/Sigma	Résistance minimum (kPa)
	Argile supérieur (court terme)	17	20	0		
	Argile inférieur (court terme)	17	18	0		
	Bedrock					
	Enrochement	20	0	38		
	Résidus ND	17.5			0.268	10
	Silt	17	0	28		
	Silt sableux	17	0	30		
	Tourbe	13	0	25		

Coef. sismique horiz.: 0

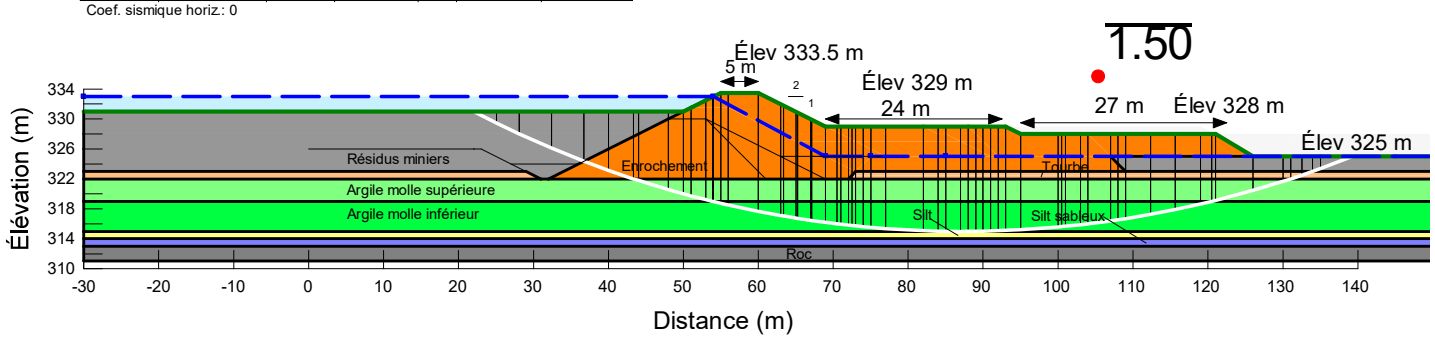
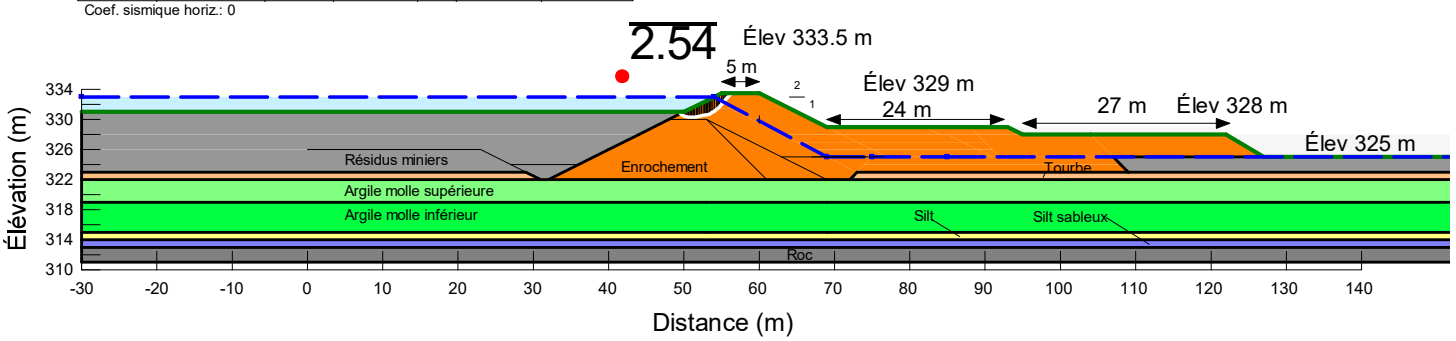


Figure A8-4. Facteur de sécurité local amont de la digue médiane en condition non drainée à l'élévation 333.5 m

Couleur	Nom	Poids unitaire (kN/m³)	Cohésion' (kPa)	Phi' (°)	Rapport Tau/Sigma	Résistance minimum (kPa)
	Argile supérieur (court terme)	17	20	0		
	Argile inférieur (court terme)	17	18	0		
	Bedrock					
	Enrochement	20	0	38		
	Résidus ND	17.5			0.268	10
	Silt	17	0	28		
	Silt sableux	17	0	30		
	Tourbe	13	0	25		

Coef. sismique horiz.: 0



B. RAPPORT TECHNIQUE DESCRIPTION DU MODE DE GESTION DES RÉSIDUS PRÉVU POUR LE SITE MINIER LAC BACHELOR (BBA, 2018)

Ressources Métanor - Une filiale de Bonterra
Projet Lac Bachelor

Desmaraisville , QC

Rapport technique

Description du mode de gestion des résidus prévu pour le site minier Lac Bachelor

N° document BBA / Rév. : 6098002-000000-4E-ERA-0001 / R00

16 novembre 2018

BBA

L'ingénierie
pour un monde en changement

bba.ca

BONTERRA

Ressources Métanor - Une filiale de Bonterra Projet Lac Bachelor

Desmaraisville , QC

Rapport technique

Description du mode de gestion des résidus prévu pour le site minier Lac Bachelor

N° document BBA / Rév. : 6098002-000000-4E-ERA-0001 / R00

16 novembre 2018

FINAL

Préparé par :
Yves Thomassin

Vérifié par :
Luciano Piciacchia, ing.
OIQ n° 35911

2020 Boul. Robert-Bourassa, bureau 300
Montréal, QC H3A 2A5
T +1 514.866.2111 F +1 514.866.2116
bba.ca

All rights reserved. © BBA

HISTORIQUE DES RÉVISIONS

Révision	État du document – Description de la révision	Date
R00	Final	2018-11-16

Ce document est préparé par BBA pour le seul bénéfice de son Client et ne peut être utilisé par aucune autre partie et pour aucune autre fin sans le consentement préalable écrit de BBA. BBA ne sera en aucun cas responsable des dommages, pertes, réclamations ou frais quels qu'ils soient découlant ou en relation avec l'utilisation de ce document par toute autre personne que le Client.

Bien que les informations contenues dans ce document soient fiables sous réserve des conditions et limitations qui y sont prévues, ce document est fondé sur des informations qui ne sont pas sous le contrôle de BBA ou que BBA n'a pu vérifier; par conséquent, BBA ne peut en garantir la suffisance et l'exactitude. Les commentaires contenus dans ce document reflètent l'opinion de BBA à la lumière des informations disponibles au moment de la préparation du document.

L'utilisation de ce document confirme l'acceptation de ces conditions.

TABLE DES MATIÈRES

1. Mise en contexte 1
2. Description du mode de gestion optimisé 1
3. Rehaussement dans le secteur de l'aire d'entreposage de résidus secs 1
4. Digue ouest 2
5. Digue sud 2
6. Digue interne 3
7. Digue médiane 3
8. Digue nord 4

1. MISE EN CONTEXTE

Afin d'entreposer les résidus générés à partir de 2019, un mode de gestion modifié avait été présenté par Métanor en 2017. Ce mode de gestion a été autorisé par le MELCC dans le Certificat d'autorisation délivré le 19 mai 2017. Ce mode de gestion comprenait :

- la construction d'un empilement de résidus secs au droit la cellule n° 1 du parc à résidus miniers;
- l'excavation de résidus miniers secs dans les cellules n° 2 et 3 du parc à résidus miniers;
- la déposition en bout de tuyau de la pulpe de résidus miniers dans les cellules n° 2 et 3 du parc à résidus miniers.

Ce mode de gestion prévoyait l'entreposage des résidus à l'intérieur des limites du parc existant. Ledit mode de gestion a été optimisé et est décrit ci-dessous.

2. DESCRIPTION DU MODE DE GESTION OPTIMISÉ

Le nouveau mode de gestion permettra d'augmenter la capacité de stockage à environ 5,82 Mm³. L'empreinte du nouveau parc à résidus est plus grande et elle s'étend surtout en direction est. Toutefois, l'extension de l'empreinte du parc demeure à l'intérieur du même bassin versant.

Ultimement, le parc à résidus couvrira :

- l'actuelle cellule n° 1 qui recevra les résidus excavés des cellules n° 2 et 3 et entreposés sous forme de résidus secs (méthode de déposition dite empilement à sec ou *dry-stack*);
- les actuelles cellules n° 2 et 3, ainsi que l'aire occupée par l'aire d'entreposage temporaire;
- une nouvelle aire d'entreposage localisée à l'est des cellules n° 2 et 3 actuelles.

En fait, cette nouvelle aire constituera une seule cellule (pas de digue interne), de sorte que l'on trouvera ultimement uniquement deux cellules sur le site : la cellule n° 1 qui sera comblée par les résidus secs relocalisés et la nouvelle cellule qui aura une superficie environ trois fois supérieure à la cellule n° 1.

3. REHAUSSEMENT DANS LE SECTEUR DE L'AIRE D'ENTREPOSAGE DE RÉSIDUS SECS

Dans un premier temps, les résidus des cellules n° 2 et n° 3 seront acheminés dans la cellule n° 1 pour être disposés sous forme de résidus secs. Le volume de résidus relocalisés est estimé à environ 380 000 m³. La digue actuelle séparant la cellule n° 1 et la cellule n° 2 et se poursuivant au sud-est de la cellule n° 1 sera rehaussée en une seule séquence afin de permettre l'entreposage de l'ensemble des résidus secs.

Suite au transfert d'anciens résidus de la cellule n° 2 dans l'aire d'entreposage de résidus secs, un poids supplémentaire sera exercé sur la digue existante. De plus, une dépression sera créée au pied de la digue. Ainsi, afin de maintenir la stabilité de celle-ci, un rehaussement de la digue sera réalisé sur les nouveaux résidus secs après que des résidus frais auront été déposés dans l'ouverture créée au pied de la digue.

Ce rehaussement sera réalisé en une seule séquence avec des résidus frais qui seront mis en place par de la machinerie (bouteurs, etc.). Le rehaussement sera réalisé de manière à toujours maintenir une revanche d'un mètre entre la surface des résidus secs relocalisés et le haut du rehaussement.

Le rehaussement sera réalisé sur une longueur d'environ 575 m. La crête du rehaussement sera à l'élévation 344,5 m à la jonction avec la digue ouest et atteindra l'élévation 339,5 m à la jonction avec la digue interne. La hauteur du rehaussement variera ainsi d'environ 5 m à la jonction avec la digue ouest pour atteindre 1,5 m à la jonction avec la digue interne.

4. DIGUE OUEST

Les nouveaux résidus produits seront déversés par la méthode classique de lance à robinet dite «spigottage» à partir de la digue Ouest en direction du sud-est. Cette digue sera construite par étapes successives avec des résidus miniers ou des matériaux provenant de bancs d'emprunt.

La digue aura une longueur d'environ 400 m et une hauteur maximale de 16,4 m. La crête de la digue variera de l'élévation 344,2 m à l'élévation 344,9 m. La digue s'étendra de la jonction avec la digue précédente et un point haut localisé plus au sud.

La digue sera munie d'une géomembrane sur sa face interne et une revanche de 1,5 m sera conservée en tout temps. La géomembrane sera recouverte d'un enrochement. La face externe de la digue sera aussi recouverte d'un enrochement.

5. DIGUE SUD

Une longue digue sera également construite au sud et à l'est de l'aire d'entreposage. Cette digue sera construite par étapes avec des résidus à l'aide de machinerie (bouteurs, etc.). Elle sera utilisée pour la déposition des résidus frais par spigottage. La digue aura une longueur d'environ 1 600 m et une hauteur maximale de 13,2 m. La digue s'étendra d'un point haut localisé au sud-ouest de l'aire d'entreposage à un point haut localisé à l'est de l'aire d'entreposage. La crête de la digue variera de l'élévation 345,6 m à l'élévation 343,2 m.

La digue sera munie d'une géomembrane sur sa face interne et une revanche de 1,5 m sera conservée en tout temps. La géomembrane sera recouverte d'un enrochement. La face externe de la digue sera aussi recouverte d'un enrochement.

6. DIGUE INTERNE

Les eaux contenues dans la pulpe de résidus qui ne seront pas retenues dans les vides des résidus en place et les précipitations s'écouleront par gravité en direction de la digue interne. Cette digue séparera donc l'aire d'entreposage des résidus et le bassin de recirculation des eaux vers le concentrateur. Cette nouvelle digue sera construite avec des roches et/ou des stériles miniers et sera donc perméable. Des bermes en enrochement seront mises en place en aval de la digue afin d'augmenter la stabilité de la digue. La digue aura une longueur de près d'un kilomètre et une hauteur maximale de 11,70 m. La digue s'étendra de la jonction avec la digue de la cellule n° 1 à un point haut localisé à l'est de l'aire d'entreposage. La crête de la digue variera de l'élévation 336,9 m à l'élévation 346.

7. DIGUE MÉDIANE

Les eaux contenues dans le bassin de recirculation seront traitées en aval de la digue médiane afin de contrôler les concentrations en cyanures puis acheminées au bassin de polissage avant d'être rejetées dans l'environnement. Le bassin de polissage sera aménagé entre la digue médiane et la digue nord.

Dans sa portion est, la digue médiane séparera donc le bassin de recirculation et le bassin de polissage. Cette portion de la digue médiane sera construite avec des résidus et sera munie d'une géomembrane sur sa face amont qui sera en contact avec les eaux du bassin de recirculation. La géomembrane sera recouverte d'un enrochement. Des bermes en enrochement seront mises en place en aval de la digue afin d'augmenter la stabilité de la digue. La portion est de la digue médiane aura une longueur de près d'environ 300 m et une hauteur maximale de 8,80 m. La crête de la digue sera à l'élévation 335 m.

La portion ouest de la digue médiane sera localisé entre le bassin de polissage et la pile de résidus secs relocalisés. La face amont de la digue (donc au contact des eaux du bassin de recirculation) sera munie d'une géomembrane. La digue sera construite avec des résidus qui seront recouverts d'une géomembrane puis d'un enrochement. Des roches seront également mises en place entre cette portion de la digue et la pile de résidus secs relocalisés.

8. DIGUE NORD

La digue nord sera construite au nord du bassin de polissage. Cette digue sera construite à sa pleine hauteur dès le début avec des résidus . La digue aura une longueur d'environ 600 m et une hauteur maximale de 7,90 m. La digue s'étendra de la jonction avec la portion ouest de la digue médiane à un point haut localisé à l'est du bassin de polissage. La crête de la digue sera à l'élévation 335 m.

La digue sera munie d'une géomembrane sur sa face interne et une revanche de 1,5 m sera conservée en tout temps. La géomembrane sera recouverte d'un enrochement. La face externe de la digue sera recouverte d'un enrochement.

Le point de rejet dans l'environnement aménagé dans la digue nord sera le même que celui-ci utilisé actuellement.

BBA

C. RÉVISION DU CONCEPT DE GESTION DES RÉSIDUS ET DE L'EAU DU PARC À RÉSIDUS DU SITE BACHELOR – RAPPORT TECHNIQUE (RICHELIEU, 2018)

METANOR RESOURCES INC.

PROJET BACHELOR, DESMARAISVILLE (QUEBEC)

ÉTUDE HYDROGEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

Pour

Metanor Ressources inc.

200, chemin de la mine

Desmaraisville (Québec)

J0Y 1H0

Par

Richelieu Hydrogéologie Inc.

219, 15ième avenue, Richelieu (Québec)

J3L 3V7

Et

Groupe RD Consultants

38, chemin Marie-Louise

Lac-Saint-Paul, Québec

J0W 1K0

Septembre 2018

Richelieu, le 21 septembre 2018

Metanor Ressources inc.
200, chemin de la mine
Desmaraisville (Québec)
J0Y 1H0

À l'attention de M. Steve Gaudreault, coordonnateur en environnement

Objet : Étude hydrogéologique et géotechnique, version préliminaire
Site Bachelor, Desmaraisville (Québec)

Monsieur,

J'ai le plaisir de vous faire parvenir les résultats de l'étude hydrogéologique et géotechnique pour le site Bachelor, situé à Desmaraisville, Québec. L'étude visait déterminer les propriétés géotechniques des matériaux présents sur le site, et aussi à faire le calcul du flux d'eau par unité de surface à partir d'un futur parc à résidus miniers, en direction de l'aquifère sous-jacent.

Ce document présente le contexte géotechnique et hydrogéologique du site, une description des travaux et essais réalisés en chantier et en laboratoire, les résultats obtenus, puis une description des calculs effectués afin d'atteindre les objectifs. Enfin, des conclusions et recommandations vous sont présentés.

En espérant que le tout vous conviendra, veillez agréer, Monsieur Gaudreault, l'expression de mes sentiments les meilleurs.

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

Richard Dufour, ing.
Ingénieur en géologie

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

METANOR RESOURCES INC.
PROJET BACHELOR, DESMARAISVILLE (QUEBEC)
ÉTUDE HYDROGEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

Pour

Metanor Ressources inc.

200, chemin de la mine

Desmaraisville (Québec)

J0Y 1H0

Par

Richelieu Hydrogéologie Inc.

219, 15ième avenue, Richelieu (Québec)

J3L 3V7

Et

Groupe RD Consultants

38, chemin Marie-Louise

Lac-Saint-Paul, Québec

J0W 1K0

Septembre 2018

TABLE DES MATIERES

Liste des Figures ii
Liste des tableaux ii
Liste des Annexes iii
1 Introduction 1
2 Contexte hydrogéologique et géotechnique 2
2.1 Localisation 2
2.2 Contexte physiographique, topographie et drainage superficiel 2
2.3 Climat 2
2.4 Géologie 3
2.5 Hydrogéologie et géotechnique 4
3 Description des Travaux effectués 10
3.1 Forage et aménagement de puits d'observation 10
3.2 Essais hydrogéologiques *in-situ* 11
3.3 Essais géotechniques *in-situ* 11
3.3.1 Essais de pénétration standard (SPT) 14
3.3.2 Essais de résistance au cisaillement in-situ 15
3.4 Essais géotechniques en laboratoire 15
3.5 Relevé d'arpentage et de nivellement 16
4 Résultats 18
4.1 Stratigraphies 18
4.2 Propriétés géotechniques 20
4.2.1 Résultats des essais de pénétration standards 20
4.2.2 Résultats des essais de résistance au cisaillement *in-situ* 21
4.2.3 Résultats des analyses granulométriques, sédimentométriques et teneurs en eau 21
4.2.4 Résultats d'analyses sur les tubes Shelby 23
4.3 Propriétés hydrogéologiques 25
4.3.1 Résultats des essais de perméabilité 25
4.4 Piézométrie 26
5 Modélisation Tridimensionnelle de l'écoulement 27
5.1 Description du modèle numérique 27
5.2 Description des simulations effectuées 30
5.2.1 Écoulement souterrain avant les travaux de construction des bassins 30
5.2.2 Écoulement souterrain à la suite de la mise en place des bassins 30
5.2.3 Analyse de sensibilité des paramètres du modèle 32
6 Conclusions et recommandations 34
6.1 Partie géotechnique 34
6.2 Partie hydrogéologique 35

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation du site à l'étude
Figure 2 : Topographie du site à l'étude
Figure 3 : Photographie aérienne du site
Figure 4 : Géologie du socle rocheux
Figure 5 : Géologie des formations superficielles
Figure 6 : Localisation des puits et forages
Figure 7 : Profils stratigraphiques simplifiés
Figure 8 : Piézométrie initiale modélisée pour le socle rocheux
Figure 9 : Piézométrie finale modélisée pour le socle rocheux (parc rempli à 100%)
Figure 10 : Flux modélisé au travers la couche d'argile (conductivité du roc à 2 x 10^{-5} cm/sec)
Figure 11 : Flux modélisé au travers la couche d'argile (conductivité du roc à 2 x 10^{-4} cm/sec)

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Propriétés hydrogéologiques et géotechniques selon *Laboratoires Ville-Marie*, 1981 4
Tableau 2 Propriétés hydrogéologiques et géotechniques selon Golder, 2007 5
Tableau 3: Calendrier de réalisation des travaux 10
Tableau 4 : Résumé des essais et analyses effectués sur les échantillons 12
Tableau 5 : Relation entre la compacité et le résultat de l'indice N évalué 14
Tableau 6 : Coordonnées et élévation des puits d'observation 16
Tableau 7 : Stratigraphies rencontrées 18
Tableau 8 : Résultats des essais de pénétration standards 20
Tableau 9 : Résultats des essais de résistance au cisaillement *in-situ* 21
Tableau 10 : Résultats des analyses granulométriques et sédimentométriques 22
Tableau 11 : Essais réalisés sur les tubes Shelby 23
Tableau 12 : Niveau de consolidation calculé de l'unité d'argile 23
Tableau 13 : Détermination de la sensibilité des argiles 24
Tableau 14 : Classification de la sensibilité des argiles échantillonnées 24
Tableau 15 : Classification de la plasticité des argiles 25
Tableau 16 : Détermination de la plasticité des argiles échantillonnées 25
Tableau 17: Résultats des essais de perméabilité 26
Tableau 18 : Mesures de la piézométrie 26
Tableau 19 : Conductivités hydrauliques assignées au modèle 28

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Figures

Annexe 2 : Dossier photographique

Annexe 3 : Rapports de forage

Annexe 4 : Interprétation des essais de perméabilité à charge variable

Annexe 5 : Analyses granulométriques, sédimentométriques et de teneurs en eau

Annexe 6 : Diagrammes de perméabilité interprétés selon les analyses granulométriques

Annexe 7 : Résultats des essais réalisés sur les tubes Shelby

1 INTRODUCTION

Metanor Ressources inc. planifie de tripler la production de son usine de traitement de minerai à la mine Bachelor à Desmaraisville, soit de 800 à 2 400 tonnes métriques par jour, pour y traiter du minerai supplémentaire provenant de la mine Barry pour une période estimée à 10 ans. Le tonnage total projeté a été évalué à au moins 8 millions tonnes métriques.

Afin de pouvoir contenir les résidus additionnels qui seraient produits par l'usine de traitement de minerai, le parc à résidus actuel devra être agrandi considérablement. Plusieurs options conceptuelles d'agrandissement ont été projetées, dont un rehaussement du parc à résidus actuel incluant une expansion vers le secteur sud. Puisque les eaux qui seront accumulées dans ces bassins contiendront potentiellement des contaminants dissous, le site doit rencontrer les exigences des mesures d'étanchéité de niveau A décrites dans la Directive 19 sur l'industrie minière. Ces mesures d'étanchéité doivent permettre de respecter un débit de percolation quotidien maximal de 3,3 l/m² à partir du fond de l'aire d'accumulation.

Dans ce contexte, *Metanor Ressources inc* a mandaté le consortium formé par *Richelieu Hydrogéologie inc* et *Groupe RD Consultants*, afin d'effectuer une étude hydrogéologique et géotechnique préliminaire visant à supporter l'ingénierie et la conception des infrastructures de retenue du parc à résidus agrandi. Plus spécifiquement, les activités suivantes sont requises :

- Une investigation géotechnique et hydrogéologique afin d'obtenir et d'évaluer les données géotechniques et hydrogéologiques des sols de fondation des nouvelles infrastructures de retenue et les infrastructures existantes à rehausser ;
- Une modélisation hydrogéologique dans le but de démontrer que la fondation du parc à résidus actuel et des secteurs d'expansion est suffisante pour éviter une dégradation notable de la qualité de l'eau souterraine et que le débit de percolation quotidien au fond de l'aire d'accumulation respecte le critère énoncé dans la Directive 019.

Ce document fait la description du contexte hydrogéologique et géotechnique, la description des travaux réalisés, la description des résultats obtenus et la description du modèle hydrogéologique conceptuel ainsi que la grille, les conditions limites et les propriétés hydrogéologiques du modèle numérique, puis, les résultats des analyses prédictives effectuées.

2 CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE

2.1 Localisation

Le site Bachelor se situe à Desmaraisville, dans la municipalité de la Baie James, à environ 93 km au nord-est de Lebel-sur-Quévillon. On y accède par la route 113 via un chemin privé d'environ 5 km. Ses coordonnées géographiques sont les suivantes :

- 76° 8'46.50" Ouest
- 49°29'52.73" Nord

La figure 1 de l'annexe 1 présente un extrait des feuillets cartographiques 32F08 et 32F09 à l'échelle 1 : 50 000 du ministère des ressources Naturelles du Canada.

2.2 Contexte physiographique, topographie et drainage superficiel

La propriété à l'étude se situe dans la région physiographique du bouclier canadien, caractérisée dans le secteur par une plaine argileuse entrecoupée de petits reliefs formés d'affleurements de till glaciaire ou d'affleurements rocheux.

La topographie locale est peu accidentée. Le terrain possède une altitude moyenne de l'ordre de 330 mètres. Le drainage superficiel du site s'effectue via un affluent de la rivière Bachelor, laquelle fait partie du bassin versant de la Baie James.

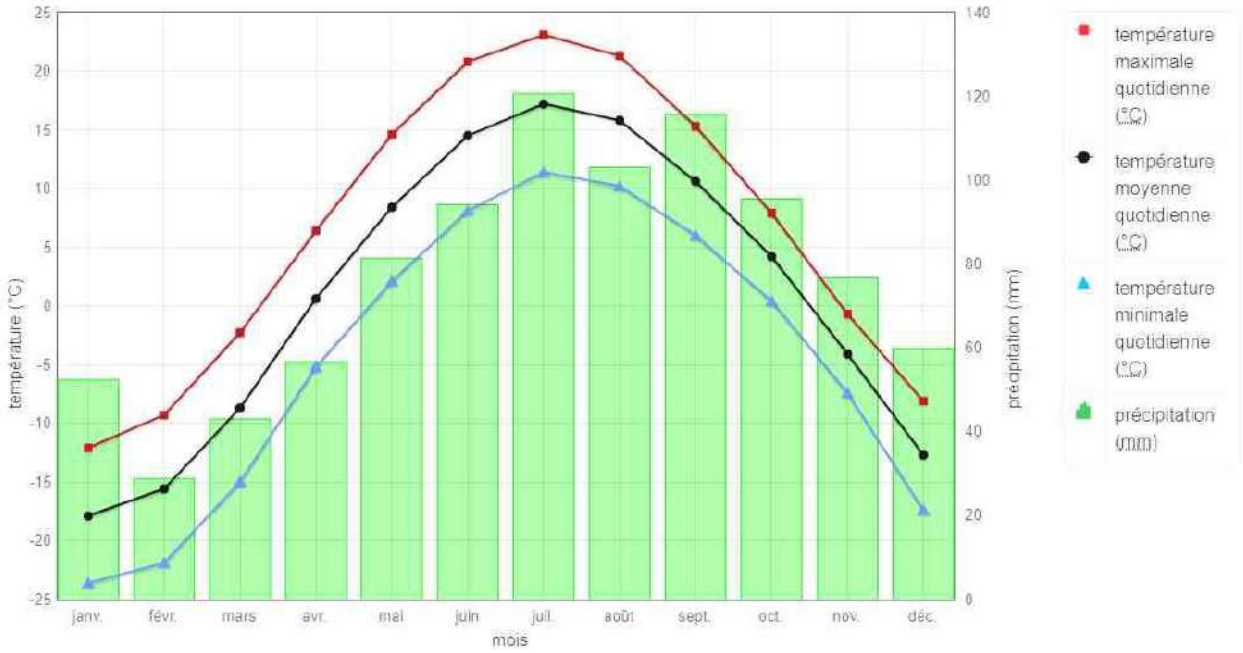
La figure 2 de l'annexe 1 présente un extrait des feuillets cartographiques 32F08-202 et 32F09-102 à l'échelle 1 : 20 000 du ministère de l'énergie et des ressources Naturelles du Québec, tandis que la figure 3 présente une imagerie aérienne tirée de Google Earth.

2.3 Climat

Les statistiques mensuelles de température et précipitation provenant de la station météorologique de Lebel-sur-Quévillon ont été compilées entre 1981 et 2010 par Environnement Canada.

Selon les données de cette station, les chutes de pluie atteignent 702,3 mm, tandis que les chutes de neige sont, en moyenne, de 226,2 cm. Les précipitations totales par unité de surface sont de 927,8 mm. La température moyenne annuelle est de 1,0°C avec une moyenne mensuelle variant de 17,2°C en juillet à –17,9°C en janvier. L'illustration 1 présente un graphique des normales climatiques de la station Lebel-sur-Quévillon.

Illustration 1 : Normales climatiques de la station Lebel-sur-Quévilllon



2.4 Géologie

Le site à l'étude est situé dans le contexte géologique de la ceinture de roches vertes Archéennes de l'Abitibi. Plus spécifiquement, la propriété à l'étude est située à l'intérieur d'une bande de roches volcaniques et plutoniques d'âge Archéen et font partie de la formation de Obatogamau, laquelle est composée de roches volcaniques mafiques et intermédiaires composées de basalte, andésite et roches volcanoclastiques, ainsi qu'une intrusion de granodiorite. Au plan structural, le site à l'étude se situe près de l'axe d'un pli synforme dont l'orientation est selon l'axe NE-SO. Quelques failles locales sont subparallèles à l'axe de ce pli.

Les dépôts meubles qui recouvrent le socle rocheux dans le secteur de la propriété à l'étude sont principalement formés d'une séquence composée de till glaciaire et de sédiments fluvioglaciaires à la base, surmontés de sédiments glacio-lacustres composés d'argile et de silt, puis de sédiments alluvionnaires composés de sable et de sable silteux. La séquence est complétée par des dépôts organiques de tourbe. L'unité cartographiée à l'endroit du site à l'étude est composée de till glaciaire, laquelle est bordée de part et d'autre par des zones d'affleurement rocheux.

Les figures 4 et 5 de l'annexe 1 présentent, respectivement, les extraits de la carte géologique du SIGEOM et de la carte des formations superficielles de la CGC.

2.5 Hydrogéologie et géotechnique

En 1981, *Les Laboratoires Ville-Marie inc*. réalisait une étude géotechnique pour faire la conception d'une digue de retenue de rejets miniers. Au cours de cette étude, deux forages et cinq tranchées exploratoires ont été réalisés, ainsi que des essais au scissomètre Nilcon en forage et des analyses granulométriques, de teneurs en eau naturelle et de limites liquides et plastiques avec résistance au cisaillement au moyen du cône suédois sur des échantillons non remaniés et remaniés.

L'étude a permis d'identifier deux zones où les caractéristiques des dépôts de surface étaient différentes, soit une zone où un till était affleurant et une zone où une argile varvée de 7 à 8 mètres d'épaisseur recouvrait le till. Les deux zones étaient recouvertes d'une mince couche de sédiments organiques. Les propriétés hydrogéologiques et géotechniques des unités sont résumées au tableau 1 :

Tableau 1 : Propriétés hydrogéologiques et géotechniques selon *Laboratoires Ville-Marie*, 1981

	Argile	**Sable et/ou gravier**
Épaisseur	7 à 8 m	indéterminée
Résistance au cisaillement	26,2 à 64,3 kPa en surface 13,7 à 14,2 kPa en profondeur	n/a
Teneur en eau	32 à 65% (argile et silt)	n/a
Densité	n/a	Lâche à dense
Indice de pénétration	n/a	14 à 22
Consolidation	Normalement consolidée (évaluée)	n/a
K *in-situ*	1 x 10^{-6} à 1 x 10^{-8} cm/s (évaluée)	n/a
K laboratoire	n/a	n/a

Selon les caractéristiques de l'argile rencontrée, il était recommandé de construire la digue en deux étapes séparées de quelques années, afin de permettre une dissipation des pressions interstitielles soumises à l'argile lors de la construction de la première étape. De plus, étant donné un risque élevé de tassement différentiel en raison de la nature différente des sols de surface passant de granulaires à argileux, il était recommandé de faire un choix des matériaux en conséquence pour la construction de la digue et une construction séquentielle en rehaussant de temps en temps la crête de la digue.

En 2007, *Golder Associés Ltée* réalisait une étude géotechnique et hydrogéologique pour la conception du parc à résidus de la mine du lac Bachelor. Cette étude comprenait la réalisation de 15 forages avec échantillonnage de sols, essais in-situ et en laboratoire, l'installation de 6 puits d'observation, la réalisation d'analyses chimiques, l'interprétation des résultats et la préparation d'un rapport synthèse. Les essais in situ ont consisté en des essais de pénétration standard avec la récupération de tubes Shelby, ainsi que des profils de résistance au cisaillement non drainés au scissomètre Nilcon. Dans les piézomètres, des essais de perméabilité ont été réalisés. Les essais en laboratoire sur les échantillons à la cuillère fendue et tubes Shelby ont été effectués pour les teneurs en eau naturelle, les granulométries et sédimentométries, les limites d'Atterberg, le contenu en matières organiques, les essais de consolidation et les essais de perméabilité.

L'étude a permis d'identifier des unités de remblai composé de résidus miniers, surmontant un sol organique naturel, puis un dépôt d'argile molle, suivi d'une zone de transition constituée principalement de silt, puis d'un horizon de till composé de sable, silt et gravier déposée sur le socle rocheux. Les propriétés hydrogéologiques et géotechniques des unités sont résumées au tableau 2 :

Tableau 2 Propriétés hydrogéologiques et géotechniques selon Golder, 2007

	Résidus miniers	**Argile**	**Sable et/ou gravier**
Épaisseur	0,6 à 3,9 m	0,6 à 8,5 m	indéterminée
Résistance au cisaillement	n/a	30 à 80 kPa en surface 20 à 22 kPa en profondeur 6 à 9 kPa par endroits	n/a
Teneur en eau	n/a	28 à 69%	n/a
Densité	Lâche à très lâche	n/a	Lâche à très dense
Indice de pénétration	0 à 8	n/a	2 à 57
Consolidation	n/a	76 kPa à 7,6 m 73 kPa à 10,1 m	n/a
K *in-situ*	n/a	1 x 10^{-6} cm/s	n/a
K laboratoire	n/a	7 x 10^{-8} à 4 x10^{-7} cm/s	n/a

Selon les analyses effectuées sur les résidus miniers, les résidus miniers seraient faiblement lixiviables pour le cuivre en l'absence de de conditions acidogènes. Ils sont cependant cyanurés. L'étude indique que selon la Directive 19 sur l'industrie minière, des mesures d'étanchéité de niveau A seront requises pour le parc à résidus.

Cette même étude présentait une modélisation effectuée afin de déterminer le flux de percolation de l'ensemble du parc à résidus en direction du socle rocheux. Les résultats obtenus permettent d'obtenir, selon les hypothèses retenues, des débits de 1,9 x 10^{-6} à 3,0 x 10^{-5} m³/m² par jour.

En 2016, la firme *GHD* a effectué une investigation géotechnique dans le but d'échantillonner les remblais, les sols naturels et les résidus miniers afin de déterminer la nature et les caractéristiques géotechniques et aider le concepteur dans la réalisation d'études de capacité portante des sols de soutien et de stabilité des talus à construire à la cellule no 1 du parc à résidus de la mine. Au cours de cette étude, cinq forages géotechniques et huit sondages au piézocône ont été réalisés. Ces forages ont atteint des profondeurs entre 12.40 et 17.49 m.

Une stratigraphie fut déduite à partir de l'échantillonnage à la cuillère fendue en continu et les essais de pénétration standard ont montré le degré de compaction sur les rapports de forage. De plus, des tubes Shelby ont été récoltés à des profondeurs jugées pertinentes. Deux piézomètres Casagrande ont aussi été installés dans des forages choisis afin de donner les observations sur l'eau souterraine et deux essais de perméabilité in situ ont été réalisés afin d'établir la perméabilité des sols. Finalement, des mesures de résistance au cisaillement dans les sols cohérents ont été effectuées au moyen d'un scissomètre Nilcon.

Lors des essais, les paramètres suivants ont été mesurés et enregistrés par intervalle d'enfoncement de 1 cm :

- la résistance à la pointe brute, *qc* (kPa);
- le frottement latéral s'appliquant sur le manchon, *fs* (kPa);
- la pression interstitielle à la base du cône, *u* (kPa).

De plus, dans chacun des sondages, un ou des essais de dissipation ont été réalisés. Les sondages au piézocône ont atteint des profondeurs allant jusqu'à 18,91 m à la suite de la confirmation d'un refus d'enfoncement.

Des échantillons représentatifs des sols en place ont été sélectionnés afin de procéder aux analyses en laboratoire suivantes : quatre analyses granulométriques par tamisage, cinq analyses granulométriques par sédimentométrie, six déterminations des limites d'Atterberg, vingt et une déterminations de la teneur en eau, une détermination de la densité relative, deux essais de consolidation, deux essais de perméabilité à l'oedomètre (durant la consolidation), six

déterminations de la résistance au cisaillement à l'aide du pénétromètre à cône, dix déterminations du poids volumique, deux (2) essais de conductivité hydraulique d'échantillons granulaires.

Le client a transmis des échantillons de stériles et de résidus miniers afin de réaliser des essais sur les matériaux qui seront utilisés lors des travaux. Ainsi, les analyses en laboratoire suivantes ont été réalisées sur les stériles : deux analyses granulométriques par tamisage, deux déterminations de la teneur en eau, une détermination de la densité relative, une détermination du Proctor standard, un essai de cisaillement horizontal.

Les analyses en laboratoire suivantes ont été réalisées sur les résidus : une analyse granulométrique par tamisage une analyse granulométrique par sédimentométrie, deux déterminations de la teneur en eau, une détermination de la densité relative, une détermination du Proctor standard, une mesure de la conductivité hydraulique au triaxial avec compression de type CIU, un essai de cisaillement horizontal.

La digue médiane :

Selon les résultats des analyses granulométriques et des teneurs en eau, les matériaux de remblai constituant la digue médiane sont dans un état qualifié de lâche à compact avec des valeurs d'indices « N » variant entre 9 et 24, mais généralement près de 10. Localement, ces derniers sont denses.

Un horizon organique a été identifié sous les matériaux de remblai sur des épaisseurs respectives de 60 mm et 250 mm. Celui-ci est composé d'une tourbe fibreuse de couleur brune. Dans la tourbe, une teneur en eau de 110 % a été mesurée.

Sous l'horizon organique, une couche naturelle de silt avec des traces de sable a été rencontrée sur des épaisseurs respectives de 0,69 m et 1,20 m. Des valeurs d'indice « N » de 5 et 14 ont été mesurés.

Par la suite, un dépôt naturel cohésif varvé, composé de lits subhorizontaux d'argile et de silt a été noté sous les sols décrits précédemment jusqu'à des profondeurs variant entre 8,00 m et 12,45 m. La consistance de ce dépôt varie de raide à ferme en profondeur, mais certains horizons présentent des consistances molles. Selon les essais au scissomètre de chantier (Nilcon) et de laboratoire, le dépôt d'argile possède des résistances au cisaillement non drainées (Cu) oscillant majoritairement entre 20 kPa et 50 kPa. La classification unifiée des sols

indique que l'argile est classifiée « CL » et « CH », soit une argile silteuse inorganique de plasticité faible à élevée. Un essai de consolidation oedométrique et de perméabilité a été réalisé. D'après ces résultats de cet essai, il s'agit d'un dépôt d'argile normalement consolidé.

Un dépôt d'origine glaciaire, communément appelé till, composé d'une matrice sableuse a été rencontré directement sous le dépôt d'argile. De plus, des cailloux et/ou blocs sont présents au sein du dépôt de till. Le dépôt de till est dans un état qualifié généralement de compact avec des valeurs d'indices « N » variant entre 11 et 29. En profondeur, ce dernier devient dense à très dense. Les forages se sont terminés au sein du dépôt de till à des profondeurs respectives de 17,42 m, 12,40 m et 15,49 m avec des refus d'enfoncement sur roc probable.

La cellule no 1 :

En surface, à l'emplacement de tous les sondages, des matériaux de remblai ont été rencontrés sur des épaisseurs variables. Celui-ci est constitué de stériles miniers. Les matériaux de remblai de la digue interne principale sont considérés compact avec des valeurs d'indices « N » variant entre 15 et 29.

Les résidus miniers sont constitués majoritairement d'un silt avec des proportions variables en sable, gravier et argile. Ils ont été observés sur une épaisseur évaluée de l'ordre de 6 m. Une densité relative de 2,77 a été mesurée sur les résidus miniers. Ils sont dans un état qualifié de très lâche à lâche avec des valeurs d'indices « N » variant entre 1 et 7. Selon les essais de perméabilité réalisés en laboratoire et en chantier, ils possèdent une perméabilité de l'ordre de $1,0 \times 10^{-6}$ cm/s à $5,0 \times 10^{-6}$ cm/s.

Un horizon organique a été identifié sous les résidus miniers sur des épaisseurs respectives de 760 mm et 160 mm. Celui-ci est composé d'une tourbe fibreuse de couleur brune.

Par la suite, un dépôt naturel cohésif varvé, composé de lits subhorizontaux d'argile et de silt a été noté jusqu'à des profondeurs variant entre 11,4 m et 14,5 m. La consistance de ce dépôt s'avère ferme. Selon les essais au scissomètre de chantier (Nilcon), de laboratoire et des sondages au piézocône, le dépôt d'argile possède des résistances au cisaillement non drainées (Cu) oscillant majoritairement entre 25 kPa et 35 kPa. La classification unifiée des sols indique que l'argile est classifiée « CL » et « CH », soit une argile silteuse inorganique de plasticité faible à élevée. Un essai de consolidation oedométrique et de perméabilité a été réalisé. D'après ces résultats, il s'agit d'un dépôt d'argile surconsolidé.

Le dépôt de till sous jacent est dans un état qualifié généralement de compact avec des valeurs d'indices « N » variant entre 20 et 26. En profondeur, ce dernier devient dense à très dense. Les forages se sont terminés au sein du dépôt de till à des profondeurs respectives de 15,33 m et 17,49 m avec des refus d'enfoncement sur roc probable.

Stériles miniers :

Un essai pour déterminer la densité relative des grains sur un échantillon provenant des stériles miniers a été effectué. Une densité relative de 2,81 a été mesurée. Des teneurs en eau de 2 % e 3 % ont été obtenues sur deux échantillons différents. Un essai de cisaillement horizontal et une détermination du Proctor standard ont également été réalisés.

Résidus miniers :

Un essai pour déterminer la densité relative des grains sur un échantillon provenant des résidus miniers a été effectué. Une densité relative de 2,79 a été mesurée. Des teneurs en eau de 28 % à 29 % ont été obtenues sur deux échantillons différents. Selon l'essai de perméabilité réalisé en laboratoire, les résidus possèdent une perméabilité de l'ordre de 4,0 x 10^{-6} cm/s. Une compression triaxiale de type CIU, un essai de cisaillement horizontal et une détermination du Proctor standard ont également été réalisés.

Eau souterraine :

Des mesures du niveau de l'eau souterraine ont été prises le 3 octobre 2016 dans les installations laissées en place. Les niveaux d'eau mesurés sont les suivants :

- F-A-1-2016/PZ-01 2,72 (329,31)
- F-A-1-2016/PZ-02 8,83 (323,20)
- F-A-2-2016/PZ-01 5,29 (326,36)
- F-A-2-2016/PZ-02 9,83 (321,82)

Selon les mesures du niveau de l'eau souterraine dans les installations, il est possible de constater un fort gradient hydraulique vers le bas, tant dans les résidus que sur la digue médiane.

3 DESCRIPTION DES TRAVAUX EFFECTUÉS

Au cours de du mois de mai 2018, des travaux de forage ont été effectués, des essais géotechniques ont été réalisés *in-situ* et en laboratoire, des nids de puits d'observation ont été aménagés et enfin un relevé des niveaux d'eau et des essais hydrauliques ont été effectués.

Le tableau 2 présente le calendrier de réalisation des travaux. L'annexe 2 présente un dossier photographique montrant le déroulement des travaux effectués.

Tableau 3: Calendrier de réalisation des travaux

Date	Évènement
Du 10 au 21 mai 2018	Forage et aménagement de puits d'observation
21 mai 2018	Relevé piézométrique et essais de perméabilité
Juin-juillet 2018	Essais géotechniques en laboratoire

3.1 Forage et aménagement de puits d'observation

Neuf (9) forages géotechniques ont été réalisés avec une foreuse de type géotechnique (Geoprobe 7822 CDT) par l'entrepreneur en forages *Technofor* entre le 10 et le 21 mai 2018. Les forages ont été réalisés de manière à investiguer les sols en place à l'endroit du bassin de rétention de la mine Bachelor. Le forage GH-18-01 (le dixième prévu), situé dans le bassin de résidus solides n'a pas pu être réalisé en raison de l'impossibilité d'acheminer la foreuse sur le site prévu pour ce forage. L'emplacement des forages a été déterminé par *Ressources Métanor*. Ces emplacements sont indiqués sur la figure 6 de l'annexe 1. L'annexe 2 présente le dossier photographique et les rapports de forages sont disponibles à l'annexe 3.

Les forages ont été réalisés en employant des sections de tubage enfoncés par roto-percussion. Des échantillons de sols ont été prélevés en continu soit avec des cuillères fendues de 60 cm de longueur ou avec des tubes Shelby. Les échantillons prélevés ont fait l'objet d'une identification visuelle avant d'être mis en sac pour livraison au laboratoire d'analyses.

Mis à part le nid de puits non réalisé dans le bassin de résidus solides (l'emplacement GH-18-01), quatre autres nids de puits étaient au programme. Deux nids de puits ont été aménagés sur deux emplacements sur quatre (FH-18-01 et GH-18-03) indiqués par *Ressources Métanor,* étant donné que l'épaisseur des dépôts meubles le permettait. Les nids de puits sont constitués de deux puits distants de quelques mètres et dont les crépines recoupent des unités différentes, typiquement les dépôts meubles (MT) et le socle rocheux (R). Les deux autres emplacements prévus (GH-18-02 et GH-18-04) ne possédant pas d'épaisseur suffisante de dépôts meubles, les crépines dans le socle rocheux (R) ont été installées uniquement.

Les puits sont constitués d'un tubage et d'une crépine de PVC de 50 mm de diamètre et d'une longueur, selon le puits variant de 1,5 à 3 mètres. La crépine de chaque puits est enrobée d'un massif de sable de silice calibré, surmonté d'un bouchon de bentonite jusqu'en surface, de façon à éviter toute contamination provenant des eaux de surface le long de la paroi du tubage. Les puits sont protégés en surface par un tubage protecteur et un couvercle cadenassé.

3.2 Essais hydrogéologiques *in-situ*

Des essais de perméabilité à charge variable ont été réalisés dans les puits d'observation FH-18-01MT, FH-18-01R, GH-18-02R, GH-18-03MT, GH-18-03R et GH-18-04R afin de déterminer la conductivité hydraulique de chacune des unités hydrostratigraphiques en place.

Les essais ont été réalisés en retirant rapidement un petit volume d'eau de façon à faire descendre le niveau d'eau d'environ un demi-mètre dans les puits, puis en mesurant, à l'aide de capteurs de pression à enregistrement automatique, le retour vers le niveau d'eau de départ. Les essais ont été interprétés à l'aide du logiciel *Aquifer Test 8* et les données et graphiques d'interprétation sont présentés à l'annexe 4 de ce document.

3.3 Essais géotechniques *in-situ*

La méthodologie d'échantillonnage et d'essais géotechniques *in-situ* a été déterminée en fonction des couches de sol présentes. Chaque strate de sol rencontrée dans les forages a été échantillonnée séparément.

Des essais de pénétration standard, des essais au scissomètre Nilcon et un échantillonnage au tube Shelby ont été effectués. Ces essais ont permis de connaitre la granulométrie, la teneur en eau naturelle, la résistance au cisaillement, la consolidation ainsi que le type de sol qu'il soit pulvérulent ou cohérent.

Au droit des forages réalisés, quarante-six (46) échantillons de sols remaniés ont été prélevés en continu à l'aide d'une cuillère fendue standard de 51 mm de diamètre extérieur et de 610 mm de longueur à raison de deux (2) à neuf (9) échantillons par forage. Étant donné la difficulté d'accès au-dessus du bassin de rétention actuel avec une foreuse, quatre (4) échantillons ponctuels de surface ont été récoltés (Résidus 1 à Résidus 4). De plus, trois (3) échantillons de type tube Shelby ont été récoltés dans certains forages soit le FG-18-03, FG-18-05 et le GH-18-03R.

Tous les échantillons recueillis lors des travaux ont été transportés au laboratoire de *Groupe RD Consultants* de Lac-Saint-Paul pour les besoins d'analyses, d'identification et de classification. Ils ont tous fait l'objet d'un examen visuel attentif de la part d'un ingénieur géotechnicien.

Par la suite, trente-quatre (34) échantillons choisis ont été emballés et transportés selon les règles de l'art au laboratoire *Qualilab Inspection* de Saint-Eustache, soit de trois (3) à sept (7) échantillons par forage incluant les quatre (4) échantillons de surface nommés Résidus #1 à Résidus #4. Les tubes Shelby ont également été emballés et transportés selon les règles de l'art au laboratoire *Qualilab Inspection* de Saint-Eustache. Les rapports de forage (FG-18-01, FG-18-02, FG-18-03, FG-18-04, FG-18-05, FH-18-01R, GH-18-02R, GH-18-03R et GH-18-04R) en annexe 3 montrent entre autres, les différents échantillons et les intervalles de longueur.

Le tableau 4 résume pour chaque forage, les échantillons prélevés, leur profondeur, le pourcentage de récupération et les analyses effectuées.

Tableau 4 : Résumé des essais et analyses effectués sur les échantillons

Forage	Échantillon	Profondeur (m)		Récupération	Analyses effectuées
		De	À	(%)	
FG-18-01	CF-1	5,94	6,55	38	N/A
	CF-2	6,55	7,16	0	N/A
	CF-3	7,32	7,92	14	N/A
	CF-4	8,48	9,09	5	Granulométrie, sédimentométrie, teneur en eau
	CF-5	9,14	9,75	0	Granulométrie, sédimentométrie, teneur en eau
	SC-1	9,75	11,07	-	Essai au scissomètre Nilcon
	CF-6	11,07	11,68	12	Granulométrie, sédimentométrie, teneur en eau
	CF-7	12,14	12,75	0	N/A
FG-18-02	CF-1	0	0,61	54	Granulométrie, sédimentométrie, teneur en eau
	CF-2	0,61	1,22	75	Granulométrie, sédimentométrie, teneur en eau
	CF-3	1,62	2,23	67	Granulométrie, sédimentométrie, teneur en eau
	CF-4	2,36	2,97	21	N/A
FG-18-03	CF-1	2,92	3,53	8	N/A
	CF-2	3,66	4,27	21	N/A
	CF-3	4,27	4,88	100	Granulométrie, sédimentométrie, teneur en eau
	TS-01	5,26	5,87	-	Teneur en eau, poids volumique, résistance au cisaillement intact et remanié, sensibilité, limite et indice de liquidité, limite et indice de plasticité, pression de préconsolidation, densité, indice des vides, degré de saturation.
	CF-4	5,97	6,58	100	Granulométrie, sédimentométrie, teneur en eau
	SC-1	6,58	7,32	-	Essai au scissomètre Nilcon

Forage	Échantillon	Profondeur (m)		Récupération	Analyses effectuées
	CF-5	7,32	7,92	100	Granulométrie, sédimentométrie, teneur en eau
	CF-6A	8,28	8,51	100	Granulométrie, sédimentométrie, teneur en eau
	CF-6B	8,51	8,71	100	Granulométrie, sédimentométrie, teneur en eau
	CF-6C	8,71	10,52	100	Granulométrie, sédimentométrie, teneur en eau
	CF-7	10,52	11,13	50	Granulométrie, sédimentométrie, teneur en eau
FG-18-04	CF-1	0	0,61	13	Granulométrie, sédimentométrie, teneur en eau
	CF-2	0,61	1,22	11	Granulométrie, sédimentométrie, teneur en eau
	CF-3	1,37	1,98	12	Granulométrie, sédimentométrie, teneur en eau
	CF-4	2,13	2,74	13	Granulométrie, sédimentométrie, teneur en eau
	CF-5	2,94	3,56	45	Granulométrie, sédimentométrie, teneur en eau
	CF-6	3,66	4,27	48	Granulométrie, sédimentométrie, teneur en eau
FG-18-05	CF-1	0	0,61	41	N/A
	CF-2	0,61	1,22	57	Granulométrie, sédimentométrie, teneur en eau
	CF-3	1,22	1,83	100	Granulométrie, sédimentométrie, teneur en eau
	CF-4	1,98	2,59	100	Granulométrie, sédimentométrie, teneur en eau
	TS-01	2,8438	3,4534	-	Teneur en eau, poids volumique, résistance au cisaillement intact et remanié, sensibilité, limite et indice de liquidité, limite et indice de plasticité, pression de préconsolidation, densité, indice des vides ,degré de saturation.
	CF-5	3,51	4,11	87	Granulométrie, sédimentométrie, teneur en eau
	CF-6	4,34	4,95	70	Granulométrie, sédimentométrie, teneur en eau
	CF-7	7,47	8,08	56	Granulométrie, sédimentométrie, teneur en eau
	CF-8	8,92	9,53	79	Granulométrie, sédimentométrie, teneur en eau
FH-18-01R	CF-1	0	0,61	29	N/A
	CF-2	0,61	1,22	75	N/A
	CF-3	1,22	1,83	0	N/A
	CF-4	3,12	3,73	25	N/A
GH-18-02R	CF-1	0	0,61	58	Granulométrie, sédimentométrie, teneur en eau
	CF-2	0,61	1,22	50	Granulométrie, sédimentométrie, teneur en eau
GH-18-03R	CF-1	0	0,61	42	N/A
	CF-2	0,61	1,22	29	Granulométrie, sédimentométrie, teneur en eau
	TS-01	1,52	2,13	-	Teneur en eau, poids volumique, résistance au cisaillement intact et remanié, sensibilité, limite et indice de liquidité, limite et indice de plasticité, pression de préconsolidation, densité, indice des vides ,degré de saturation.
GH-18-04R	CF-1	0	0,61	50	N/A
	CF-2	0,61	1,22	79	Granulométrie, sédimentométrie, teneur en eau
	CF-3	1,54	2,13	12,5	N/A
	CF-4	2,13	2,74	12,5	N/A

3.3.1 Essais de pénétration standard (SPT)

Au droit des forages réalisés, des échantillons de sols remaniés ont été prélevés en continu à l'aide d'une cuillère fendue standard de 51 mm de diamètre extérieur et de 610 mm de longueur, permettant ainsi de déterminer la valeur de l'indice "N" de l'essai de pénétration standard (voir les rapports de forages présents en annexe 3). De cet indice, on peut déduire la compacité relative des sols pulvérulents et la consistance des sols cohérents.

L'essai de pénétration standard est probablement l'essai le plus utilisé en géotechnique pour la caractérisation des sols granulaires. Il consiste en l'enfoncement par battage d'une cuillère normalisée (cuillère fendue) attachée à l'extrémité inférieure des tiges. Le marteau (63,5 kg) et la hauteur de chute (760 mm) sont aussi normalisés.

La procédure de l'essai SPT tel que défini dans la norme ASTM D-1586 est la suivante :

1) Nettoyer par lavage jusqu'au fond du trou.
2) Enfoncer par battage la cuillère fendue.
3) Compter le nombre de coups requis pour un enfoncement de 15 cm – répéter 3 fois.
4) La valeur de N est la somme des deux derniers 15 cm.

En plus de procurer une indication sur la compacité du sol, l'essai permet de récupérer un échantillon. S'il y a refus avant que l'enfoncement soit complété on doit essayer de donner des précisions. On considère qu'il y a refus si plus de 30 coups sont requis pour une pénétration de 1 cm. Si le sol pénétré contient des cailloux et des blocs, les valeurs de N seront facilement faussées (plus élevées). Il faut utiliser ces valeurs avec discernement. L'essai doit se faire au moins à chaque 1,5 m. L'essai procure aussi des observations géologiques afin de connaître la stratigraphie des sols et la profondeur de l'eau souterraine.

Le tableau 5 montre la relation entre les degrés de compacité des échantillons et l'indice N mesuré lors de l'essai SPT.

Tableau 5 : Relation entre la compacité et le résultat de l'indice N évalué

Compacité	Indice de pénétration standard " N " (coups / 300 mm)
Très lâche	< 4
Lâche	4 -10
Compact	10 - 30
Dense	30 - 50
Très dense	> 50

3.3.2 Essais de résistance au cisaillement in-situ

Les essais de résistance au cisaillement *in-situ* ont été réalisés au moyen d'un appareil de marque *Nilcon* réalisé conformément à la norme NQ 2501-200. Ce type d'essai consiste à vérifier la résistance au cisaillement des sols cohérents par la rotation manuelle d'une hélice fixée sur une tige de fer, de dimension choisie en fonction de la texture du sol à des profondeurs choisies, jusqu'à la rupture. Le cadran de l'appareil montre alors la courbe de résistance jusqu'à cette rupture, tracée sur un feuillet à cet effet, avec laquelle il suffit de calculer la résistance au cisaillement (C_u) en kPa. Les essais, au nombre de deux (2), ont été exécutés dans les zones plus argileuses rencontrées lors des forages.

Il est à noter que seulement deux essais de résistance au cisaillement au scissomètre Nilcon ont été réalisés en raison d'un oubli de la part de la compagnie de location de l'appareil (Roctest). En effet, la pièce manquante qui aurait dû se trouver avec l'appareil et qui permettait de le fixer à la foreuse fut expédiée à notre demande lorsque le manque fut constaté à la première journée des travaux et celle-ci fut reçue au chantier une semaine après le début des travaux. Ceci a eu pour conséquences de limiter les essais de ce type à seulement deux.

3.4 Essais géotechniques en laboratoire

Dans le cadre de ce projet, les paramètres recherchés devant faire l'objet de travaux de laboratoire sur les échantillons récoltés sont : les descriptions mégascopiques, les analyses granulométriques et sédimentométriques, la teneur en eau naturelle, la perméabilité, la résistance au cisaillement, la résistance au cisaillement remanié et la pression de préconsolidation.

Sur les quarante-six (46) échantillons recueillis lors des forages, quatre (4) échantillons de surface, trente (30) cuillères fendues et trois (3) tubes Shelby ont fait l'objet des analyses de laboratoire mentionnées ci-haut.

Le laboratoire mandaté pour le projet est *Qualilab Inspection*, situé à Saint-Eustache, Québec. Ce laboratoire est membre de l'Association canadienne des laboratoires d'essais (ACLE).

Les analyses géotechniques suivantes ont été effectuées :

- Analyse granulométrique des sols inorganiques retenus au 80 µm avec lavage, norme : BNQ 2501–025;

- Analyse par sédimentométrie au 2 µm, norme : NQ 2501–025;
- Détermination de la teneur en eau naturelle, norme : CAN/BNQ 2501–170;

Le système de classification utilisé pour nommer les sols rencontrés est le Système unifié de classification des sols (*Unified Soil Classification* - USC) qui est actuellement considéré pour le génie civil comme le système de classification le plus utile.

Les résultats de ces analyses classifient l'échantillon selon la taille de son contenu granulaire, en déterminent sa teneur en eau naturelle et permettent de faire une corrélation entre la texture et la perméabilité du sol.

Les échantillonneurs à tubes Shelby sont des tubes d'acier creux à parois minces qui sont enfoncés dans le sol pour extraire un échantillon de sol relativement non perturbé destiné aux essais de laboratoire pour déterminer la densité, la perméabilité, la compressibilité et la résistance au cisaillement. Chaque tube possède une extrémité qui est chanfreinée pour former un bord de coupe et l'extrémité supérieure comprend des trous pour fixer le tube à une tête d'entrainement. Les tubes Shelby sont utiles pour la collecte des sols particulièrement sensibles aux perturbations d'échantillonnage, y compris les sols cohésifs fins et les argiles. Les tubes peuvent également être utilisés pour transporter des échantillons vers le laboratoire. Dans le cadre de l'étude, trois (3) tubes Shelby ont été récoltés et envoyés au laboratoire.

Les résultats des essais géotechniques en laboratoire sont présentés aux annexes 5, 6 et 7.

3.5 Relevé d'arpentage et de nivellement

Un relevé d'arpentage et de nivellement du terrain a été réalisé par le personnel de *Ressources Métanor* afin de déterminer l'élévation du terrain à l'endroit des forages réalisés dans le cadre du mandat.

Le tableau 6 présente les coordonnées des forages. Ceux-ci sont montrés sur la figure 6 en annexe.

Tableau 6 : Coordonnées et élévation des puits d'observation

Puits d'observation	Coordonnées UTM zone 18		Élévation du sol (m)	Élévation tubage (m)
FG-18-01	417486	5483462	331,53	-
FG-18-02	417270	5482549	333,01	-

Puits d'observation	Coordonnées UTM zone 18		Élévation du sol (m)	Élévation tubage (m)
FG-18-03	417354	5483545	326,80	-
FG-18-04	416729	5483197	330,35	-
FG-18-05	416840	5483221	329,42	-
FH-18-01MT	417549	5483625	327,14	328,09
FH-18-01R	417548	5483627	327,14	328,10
GH-18-02R	417938	5482781	340,04	341,17
GH-18-03MT	417702	5482676	333,06	334,02
GH-18-03R	417704	5482678	333,10	334,09
GH-18-04R	416877	5482511	331,90	332,94

* : *Coordonnées estimées selon les courbes de niveau en l'absence d'un relevé précis*

4 RÉSULTATS

4.1 Stratigraphies

Les neuf (9) forages réalisés sur le terrain ont mis en évidence quatre (4) unités de sols dominantes.

- En surface et jusqu'à une profondeur maximale de 8 mètres, on retrouve un sable avec des quantités variable de silt parfois recouvert d'un couvert végétal ou de résidus.
- Ensuite, on retrouve dans certains forages une couche d'argile silteuse à un peu de silt entre 1 et 10 mètres de profondeur dépendamment des forages.
- Finalement, on rencontre un till comportant des quantités variables de gravier, sable, silt et argile avec des cailloux et blocs jusqu'au socle rocheux.
- Le socle rocheux se situe entre 1,2 et 13,25 mètres de profondeur. La profondeur moyenne du socle rocheux à l'endroit des neuf (9) forages est de 6,35 mètres.

En ce qui concerne les échantillons récoltés sur le dessus du bassin de rétention, ceux-ci sont composés de silt avec un peu de sable et des traces à un peu d'argile. La stratigraphie des sols est représentée sur les rapports de forages à l'annexe 3 et au tableau 7. La figure 7 présente, quant à elle, des profils stratigraphiques simplifiés à l'échelle du site à l'étude.

Tableau 7 : Stratigraphies rencontrées

Forage	Profondeur (m)		Stratigraphie
	De	À	
FG-18-01	0	5,94	Digue de rétention constituée de pierre concassée de calibres variables
	5,94	8,23	Sable très fin à grossier et gravier, brun, compact à humidité moyenne
	8,23	10,97	Argile silteuse grise, traces de sable, molle à très molle, humidité élevée
	10,97	11,89	Silt avec un peu de sable très fin, gris, traces d'argile et de gravier, homogène, compact à humidité élevée
	11,89	13,41	Till : gravier sablonneux et cailloux, gris à noir, compact à humidité élevée (till)
	13,41	14,93	Socle rocheux : granite à feldspath alcalin, rosé, avec veinules millimétriques, de chlorite et quartz, très fracturé
FG-18-02	0	1,52	Silt sableux, brun à jaunâtre, avec un peu de sable, lâche à compact et à humidité faible
	1,52	3,05	Till : sable grossier graveleux gris-brun-noir, avec cailloux et blocs, un peu de silt et traces d'argile, dense et à humidité élevée
	3,05	4,72	Socle rocheux : basalte vert foncé, plus ou moins altéré, avec veinules millimétriques de chlorite et quartz
FG-18-03	0	3,50	Base de la digue de rétention côté extérieur, constituée de pierre concassée de calibres variables
	3,50	4,27	Sable et gravier naturel et cailloux, brun, compact à humidité faible
	4,27	7,87	Argile silteuse, grise, traces de sable, molle à très molle, humidité élevée à très élevée

Forage	Profondeur (m)		Stratigraphie
	7,87	7,93	Argile et silt avec un peu de sable
	7,92	8,51	Argile silteuse à traces de silt, grise, traces de sable, molle à très molle, humidité élevée à très élevée
	8,51	8,71	Argile silteuse avec traces de sable à silt avec un peu de sable et traces d'argile
	8,71	10,21	Argile silteuse à traces de silt, grise, traces de sable, molle à très molle, humidité élevée à très élevée
	10,21	11,28	Till : silt et sable moyen à grossier avec un peu de graveir et traces d'argile, gris et noir, compact à humidité très élevé
	11,28	13,26	Till : gravier sablonneux et cailloux, gris à noir, compact à humidité élevé
	13,26	13,92	Socle rocheux : granite à feldspath alcalin rosé, avec veinules millimétriques de chlorite et quartz, très fracturé
FG-18-04	0	1,29	Sable silteux et argileux, brun, compact à humidité élevée
	1,29	1,98	Silt et argile, brun, avec traces de sable à silt sableux avec traces d'argile et de gravier, homogène, compact à humidité élevée
	1,98	2,89	Sable grossier avec traces de silt, gravier et d'argile, gris-brun-noir, compact à humidité élevée
	2,89	5,05	Till : gravier et sable à gravier sableux avec traces d'argile et de silt, gris-brun-noir, avec cailloux et blocs, dense à humidité élevée
	5,05	7,03	Socle rocheux : basalte vert foncé, plus ou moins altéré, avec veinules millimétriques d'hématite, épidote et quartz
FG-18-05	0	1,22	Argile silteuse, brune, traces de sable, très lâche à humidité élevée
	1,22	3,88	Argile avec un peu de silt à silteuse, brune, très molle à humidité élevée
	3,88	4,80	Silt avec un peu de sable, brun, traces de gravier et d'argile, lâche, à humidité élevée
	4,80	4,95	Sable très fin silteux, brun, homogène, lâche, à humidité élevée
	4,95	7,47	Till : mélange de sable-gravier-silt-cailloux-blocs, cailloux granitiques et basaltiques
	7,47	9,52	Till : sable graveleux grossier brun et noir avec cailloux et un peu de silt, dense, à humidité élevée
	9,52	9,85	Till : cailloux et blocs avec un peu de sable et gravier
	9,85	10,77	Socle rocheux : Quartzite impure verdâtre à grisâtre (80% quartz), avec veinules millimétriques d'épidote et chlorite
FH-18-01R	0	1,22	Sable avec un peu de silt brun-roux, homogène, lâche à humidité moyenne
	1,22	2,44	Argile silteuse brune, traces de sable, molle à humidité élevée
	2,44	4,62	Sable grossier et gravier, beige, traces de silt, lâche à humidité élevée
	4,62	4,93	Till : sable grossier et gravier, avec cailloux, dense à humidité élevée
	4,93	7,72	Socle rocheux : granite à feldspath alcalin rosé, avec veinules milimétriques de chlorite et quartz, moyennement fissuré
GH-18-02R	0	1,22	Sable très fin, brun à jaunâtre, avec un peu de silt, traces à un peu de gravier, traces d'argile, lâche à humidité faible
	1,22	3,40	Socle rocheux : basalte vert foncé, plus ou moins altéré, avec veinules millimétriques de chlorite et quartz
GH-18-03R	0	3,35	Couvert végétal et matière organique noire, très lâche à humidité moyenne (0-2 pouces), par la suite, argile silteuse brune, traces de sable, très molle et humidité faible à moyenne
	3,35	3,66	Till : sable grossier et gravier, avec cailloux, dense à humidité élevée
	3,66	6,22	Socle rocheux : basalte vert foncé, plus ou moins altéré, avec veinules millimétriques de chlorite et quartz
GH-18-04R	0	1,22	Couvert végétal et matière organique noire, très lâche à humidité moyenne (0-3 pouces), par la suite, silt et sable avec un peu de gravier et traces d'argile, jaunâtre, très lâche à humidité faible
	1,22	2,74	Till : sable grossier et gravier, avec cailloux, dense à humidité élevée
	2,74	6,96	Socle rocheux : basalte vert foncé. plus ou moins altéré, avec veinules millimétriques d'hématite et quartz avec pyrite

4.2 Propriétés géotechniques

4.2.1 Résultats des essais de pénétration standards

Le tableau 8 présente les résultats des essais de pénétration standards réalisés lors des forages. De façon générale, les dépôts granulaires rencontrés près de la surface varient de lâches à compacts. Par la suite, l'unité glacio-lacustre d'argile et de silt varie de lâche à très lâche et enfin les unités sous-jacentes sont généralement compactes à très denses.

Tableau 8 : Résultats des essais de pénétration standards

Forage	Profondeur (m)		SPT et DPT	Compacité ou consistance
	De	À	Indice N	
FG-18-01	5,94	6,55	8	Lâche
	6,55	7,16	20	Compact
	7,32	7,92	14	
	8,48	9,09	5	Lâche
	0,91	9,75	0	Très lâche
	11,07	1,17	26	Compact
	12,14	12,75	12	
FG-18-02	0,00	0,61	4	Lâche
	0,61	1,22	10	
	1,62	2,23	40	Dense
	2,36	2,97	100	Très dense
FG-18-03	2,92	3,53	14	Compact
	3,66	4,27	6	Lâche
	4,27	4,88	3	Très lâche
	0,60	6,58	0	
	7,32	7,92	0	
	8,28	0,89	0	
	10,52	11,13	16	Compact
FG-18-04	0,00	0,61	13	Compact
	0,61	1,22	11	
	1,37	1,98	12	
	2,13	2,74	13	
	2,95	0,36	45	Dense
	3,66	4,27	48	
FG-18-05	0,00	0,61	2	Très lâche
	0,61	1,22	5	Lâche
	1,22	1,83	3	Très lâche

Forage	Profondeur (m)		SPT et DPT	Compacité ou consistance
	1,98	2,59	0	
	3,51	4,11	2	
	4,34	0,50	5	Lâche
	7,47	8,08	36	Dense
	8,92	0,95	100	Très dense
FH-18-01R	0,00	0,61	8	Lâche
	0,61	1,22	5	
	1,22	1,83	1	Très lâche
	3,12	3,73	18	Compact
GH-18-02R	0,00	0,61	2	Très lâche
	0,61	1,22	100	Très dense
GH-18-03R	0,00	0,61	4	Très lâche
	0,61	1,22	5	Lâche
GH-18-04R	0,00	0,61	0	Très lâche
	0,61	1,22	7	Lâche
	0,15	2,13	100	Très dense
	2,13	2,74	100	

4.2.2 Résultats des essais de résistance au cisaillement *in-situ*

Le tableau 9 présente les résultats calculés provenant des essais de résistance au cisaillement *in-situ* effectués ainsi que les degrés de consistance rencontrés.

Tableau 9 : Résultats des essais de résistance au cisaillement *in-situ*

Forage	Profondeur (m)	Type	Facteur K (kg.m/cm)	a_s (cm)	a_f (cm)	C (10^{-2} x cm^{-3})	Cu (kg/cm^2)	Cu (KPa)	Consistance
FG-18-03	6,86	3	1,0393	2,8	0,3	0,001	0,0025983	25,48	Ferme
FG-18-01	10,06	3	1,0393	4,85	0,4	0,001	0,0046249	45,35	Ferme

4.2.3 Résultats des analyses granulométriques, sédimentométriques et teneurs en eau

Les analyses granulométriques, sédimentométriques et de teneur en eau naturelle ont été réalisées en laboratoire. Les courbes granulométriques et sédimentométriques sont présentées à l'annexe 5, tandis que les diagrammes de perméabilité effectués à partir de ces analyses sont présentés à l'annexe 6. Le tableau 10 présente un résumé des résultats obtenus.

Tableau 10 : Résultats des analyses granulométriques et sédimentométriques

Échantillon	Profondeur (m)		Type de sol	Perméabilité (cm/s)	Temps de percolation (min/cm)	Teneur en eau naturelle (%)
	De :	À:				
FG-18-01/CF-04	8,48	9,09	Argile	$8 \times 10^{-6} > K$	T > 60	38,6
FG-18-01/CF-05	9,14	9,75	Argile	$8 \times 10^{-6} > K$	T > 60	63,3
FG-18-01/CF-06	11,07	11,68	Limon sablonneux	$1 \times 10^{-3} > K > 4 \times 10^{-4}$	10 < T < 15	18,1
FG-18-02/CF-01	0,00	0,61	Limon	$1 \times 10^{-3} > K > 4 \times 10^{-4}$	10 < T < 15	25,7
FG-18-02/CF-02	0,61	1,22	Sable limoneux	$4 \times 10^{-3} > K > 1 \times 10^{-3}$	4 < T < 10	18,5
FG-18-02/CF-03	1,63	2,24	Sable limoneux	$4 \times 10^{-3} > K > 1 \times 10^{-3}$	4 < T < 10	6,8
FG-18-03/CF-03	4,27	4,88	Argile	$8 \times 10^{-6} > K$	T > 60	38,0
FG-18-03/CF-04	5,97	6,58	Argile	$8 \times 10^{-6} > K$	T > 60	58,1
FG-18-03/CF-05	7,32	7,92	Argile	$8 \times 10^{-6} > K$	T > 60	42,4
FG-18-03/CF-06A	8,28	8,51	Argile	$8 \times 10^{-6} > K$	T > 60	45,9
FG-18-03/CF-06B	8,51	8,71	Argile	$8 \times 10^{-6} > K$	T > 60	43,4
FG-18-03/CF-06C	8,72	8,89	Silt-limon	$4 \times 10^{-4} > K > 2 \times 10^{-4}$	15 < T < 25	20,2
FG-18-03/CF-07	10,52	11,13	Limon sablonneux	$1 \times 10^{-3} > K > 4 \times 10^{-4}$	10 < T < 15	18,2
FG-18-04/CF-01	0,00	0,61	Argile sablonneuse limon	$4 \times 10^{-4} > K > 2 \times 10^{-4}$	15 < T < 25	29,2
FG-18-04/CF-02	0,61	1,22	Argile silteuse-limon	$6 \times 10^{-5} > K > 8 \times 10^{-6}$	45 < T < 60	25,6
FG-18-04/CF-03	1,37	1,98	Limon sablonneux	$1 \times 10^{-3} > K > 4 \times 10^{-4}$	10 < T < 15	18,9
FG-18-04/CF-04	2,13	2,74	Sable	$1 \times 10^{-2} > K > 4 \times 10^{-3}$	1,5 < T < 4	8,6
FG-18-04/CF-05	2,95	3,56	Sable	$1 \times 10^{-2} > K > 4 \times 10^{-3}$	1,5 < T < 4	6,0
FG-18-04/CF-06	3,66	4,27	Sable	$1 \times 10^{-2} > K > 4 \times 10^{-3}$	1,5 < T < 4	6,0
FG-18-05/CF-02	0,61	1,22	Argile	$8 \times 10^{-6} > K$	T > 60	34,8
FG-18-05/CF-03	1,22	1,83	Argile	$8 \times 10^{-6} > K$	T > 60	43,3
FG-18-05/CF-04	1,83	2,44	Argile	$8 \times 10^{-6} > K$	T > 60	53,6
FG-18-05/CF-05	3,35	3,96	Silt-limon	$6 \times 10^{-5} > K > 8 \times 10^{-6}$	45 < T < 60	36,0
FG-18-05/CF-06	4,34	4,95	Limon sablonneux	$1 \times 10^{-3} > K > 4 \times 10^{-4}$	10 < T < 15	24,2
FG-18-05/CF-07	7,47	8,08	Sable	$1 \times 10^{-2} > K > 4 \times 10^{-3}$	1,5 < T < 4	10,7
FG-18-05/CF-08	8,92	9,53	Limon sablonneux	$1 \times 10^{-3} > K > 4 \times 10^{-4}$	10 < T < 15	16,7
GH-18-02/CF-01	0,00	0,61	Sable limoneux	$4 \times 10^{-3} > K > 1 \times 10^{-3}$	4 < T < 10	37,8
GH-18-02/CF-02	0,61	1,22	Sable	$1 \times 10^{-2} > K > 4 \times 10^{-3}$	1,5 < T < 4	19,6
GH-18-03/CF-02	0,61	1,22	Argile	$8 \times 10^{-6} > K$	T > 60	32,9
GH-18-04/CF-02	0,61	1,22	Sable limoneux	$4 \times 10^{-3} > K > 1 \times 10^{-3}$	4 < T < 10	21,0
Résidus #1	Surface		Silt-limon	$4 \times 10^{-4} > K > 2 \times 10^{-4}$	15 < T < 25	21,8
Résidus #2	Surface		Silt-limon	$4 \times 10^{-4} > K > 2 \times 10^{-4}$	15 < T < 25	21,9
Résidus #3	Surface		Limon	$4 \times 10^{-4} > K > 2 \times 10^{-4}$	15 < T < 25	17,3
Résidus #4	Surface		Silt-limon	$4 \times 10^{-4} > K > 2 \times 10^{-4}$	15 < T < 25	17,6

4.2.4 Résultats d'analyses sur les tubes Shelby

Les résultats d'analyse des tubes Shelby sont présentés au tableau 11.

Tableau 11 : Essais réalisés sur les tubes Shelby

Échantillon		FG-18-03/TS-01	FG-18-05/TS-01	GH-18-03/TS-01
Profondeur (m)	De :	5,57	3,19	1,84
	À :	5,75	3,38	2,02
Teneur en eau (W, %)		31	41	52
Poids volumique (γ, kN/m3)		17 934	16 954	16 366
Cu (kPa)		137,8	30,9	13,9
Cur (kPa)		71,9	1,2	0,7
St		1,9	26,3	21,1
WL (%)		54	36	44
WP (%)		25	19	20
IP (%)		29	17	24
IL		0,21	1,29	1,33
Pression de préconsolidation apparente (σp, kPa)		71	106	85
Densité des particules		2,72	2,74	2,70
Indices des vides initial		1,31	1,47	1,56
Degré de saturation (Sr, %)		77,47	98,19	99,88

En utilisant le poids volumique et la profondeur moyenne de chacun des échantillons au tube Shelby, il est possible d'obtenir le niveau de consolidation de l'unité de sol. Pour ce faire, il suffit de comparer la pression de préconsolidation apparente (σ_p) avec la pression effectuée par le poids des terres (σ_{uv}). La pression effectuée par le poids des terres s'obtient en multipliant le poids volumique avec la profondeur de l'échantillonnage. Les résultats possibles sont les suivants :

- $\sigma_p < \sigma_{uv}$ alors le sol est sousconsolidé.
- $\sigma_p = \sigma_{uv}$ alors le sol est normalement consolidé.
- $\sigma_p > \sigma_{uv}$ alors le sol est surconsolidé.

Les résultats obtenus sont présentés au tableau 12.

Tableau 12 : Niveau de consolidation calculé de l'unité d'argile

Échantillon		FG-18-03/TS-01	FG-18-05/TS-01	GH-18-03/TS-01
Profondeur (m)	De :	5,57	3,19	1,84
	À :	5,75	3,38	2,02
Pression de préconsolidation apparente (σp, kPa)		71	106	85
Poids volumique (γ, kN/m3)		17,93	16,95	16,36
Profondeur moyenne		5,66	3,29	1,93
Pression effectuée par le poids des terres (σuv, kPa)		1,014,838	557,655	315,748
Situation		σuv > σp	σuv < σp	σuv < σp
Terme descriptif		Sousconsolidé	Surconsolidé	Surconsolidé

Le tableau 12 indique que l'échantillon d'argile prélevé au forage FG-18-03 à une profondeur de 5,66 mètres est sousconsolidé, tandis que pour les deux autres échantillons, l'argile est surconsolidée.

La résistance au cisaillement C_u obtenue en laboratoire à l'aide d'un scissomètre permet, entre autres, de déterminer la capacité portante mais également de déterminer, conjointement avec la résistance au cisaillement du sol remanié, le niveau de sensibilité de l'argile. Pour ce faire, il faut diviser la résistance au cisaillement du sol intact par la résistance au cisaillement du sol remanié. Une fois fait, il faut classer l'argile selon le tableau 13 :

Tableau 13 : Détermination de la sensibilité des argiles

Sensibilité	Cu/Cur
Faible	< 2
Moyenne	2 - 4
Forte	4 - 8
Très forte	8 - 16
Argile sensible	> 16

La classification obtenue est présentée au tableau 14.

Tableau 14 : Classification de la sensibilité des argiles échantillonnées

Échantillon		FG-18-03/TS-01	FG-18-05/TS-01	GH-18-03/TS-01
Profondeur (m)	**De :**	**5,57**	**3,19**	**1,84**
	À :	**5,75**	**3,38**	**2,02**
Cu (kPa)		137,8	30,9	13,9
Cur (kPa)		71,9	1,2	0,7
Sensibilité		1,9	26,3	21,1
Terme descriptif		Faible	Argile sensible	Argile sensible

Selon les résultats présentés au tableau 14, les argiles sont qualifiées de sensibles pour les échantillons des forages FG-18-05 et GH-18-03. Pour le forage FG-18-03, l'argile échantillonnée possède une faible sensibilité.

Le niveau de plasticité des argiles échantillonnées a été déterminé avec la relation présentée au tableau 15.

Tableau 15 : Classification de la plasticité des argiles

Indice de plasticité	Degré de plasticité
$0 < I_p < 5$	Non plastique (l'essai perd sa signification dans cette zone de valeurs)
$5 < I_p < 15$	Moyennement plastique
$15 < I_p < 40$	Plastique
$I_p > 40$	Très plastique

Les résultats de plasticité obtenus à partir des tubes Shelby sont présentés au tableau 16.

Tableau 16 : Détermination de la plasticité des argiles échantillonnées

Échantillon		FG-18-03/TS-01	FG-18-05/TS-01	GH-18-03/TS-01
Profondeur (m)	**De :**	**5,57**	**3,19**	**1,84**
	À :	**5,75**	**3,38**	**2,02**
Teneur en eau (W, %)		31	41	52
W_L (%)		54	36	44
W_P (%)		25	19	20
I_P (%)		29	17	24
I_L		0,21	1,29	1,33
Terme descriptif		Plastique	Plastique	Plastique

Selon les résultats présentés au tableau 14, les argiles échantillonnées dans les trois (3) tubes Shelby sont considérées comme étant plastiques.

4.3 Propriétés hydrogéologiques

4.3.1 Résultats des essais de perméabilité

Le tableau 17 présente les résultats d'interprétation des essais de perméabilité effectués à l'aide de la méthode de Hvorslev. Il est possible d'y faire les observations suivantes :

- La couche d'argile possède une conductivité hydraulique de l'ordre de 10^{-6} cm/s;
- La couche de till possède une conductivité hydraulique de l'ordre de 10^{-5} cm/s;
- Le socle rocheux possède une conductivité hydraulique variant de 9,4 x 10^{-6} à 2,4 x 10^{-4} cm/s, selon l'essai effectué. La valeur de 10^{-5} cm/s est cependant considérée comme

représentative de la conductivité hydraulique moyenne généralement obtenue pour le socle rocheux en Abitibi.

Tableau 17: Résultats des essais de perméabilité

Puits d'observation	Coordonnées UTM		Conductivité hydraulique (cm/s)	Unité recoupée
	Est	Nord		
FH-18-01MT	417549	5483625	$6,8 \times 10^{-5}$	Sable et gravier
FH-18-01R	417548	5483627	$9,4 \times 10^{-6}$	Socle rocheux
GH-18-02R	417938	5482781	$2,4 \times 10^{-4}$	Socle rocheux
GH-18-03MT	417702	5482676	$3,6 \times 10^{-6}$	Argile silteuse
GH-18-03R	417704	5482678	$1,1 \times 10^{-4}$	Socle rocheux
GH-18-04R	416877	5482511	$1,4 \times 10^{-5}$	Socle rocheux

4.4 Piézométrie

Le tableau 18 présente les élévations piézométriques mesurées le 21 mai 2018 avant de réaliser les essais de perméabilité. L'interprétation des données permet de faire les commentaires suivants :

- Dans la majorité des piézomètres, le niveau d'eau se situe à moins d'un mètre du sol;
- La composante verticale de la direction d'écoulement est vers le bas dans le nid de piézomètres FH-18-01, tandis qu'elle est nulle dans le nid GH-18-03;
- La composante horizontale de la direction d'écoulement varie principalement en fonction du relief du terrain.

Tableau 18 : Mesures de la piézométrie

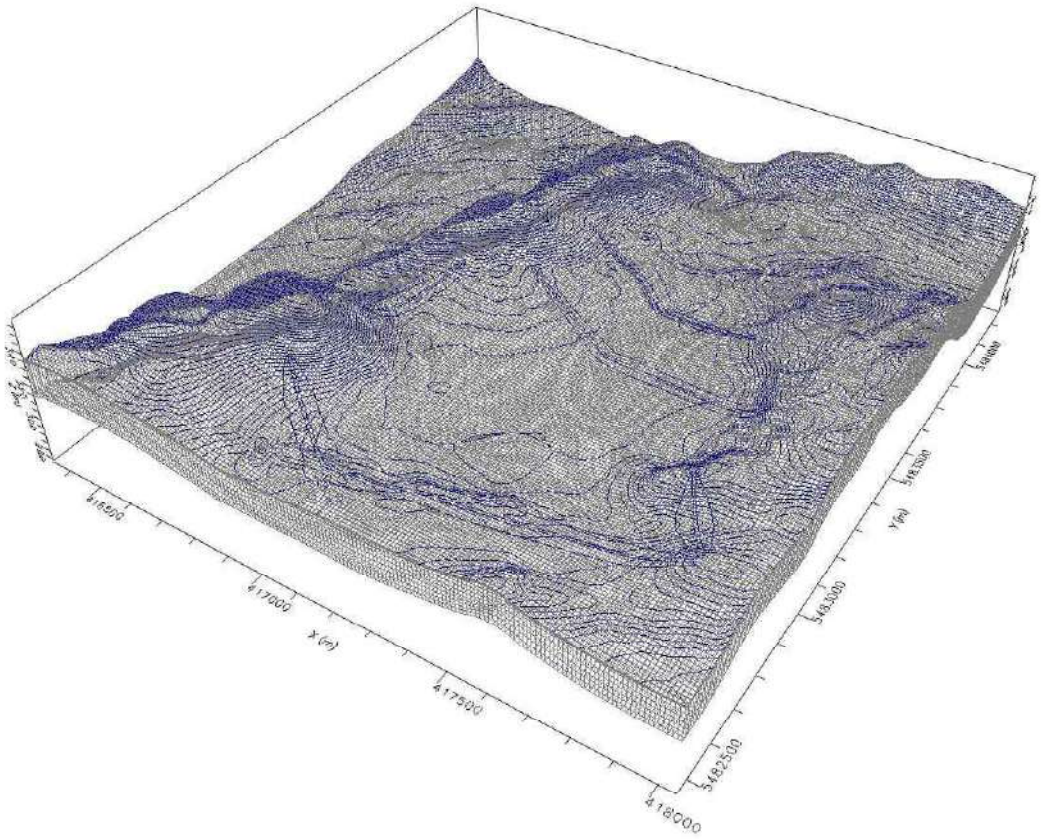
Puits d'observation	Coordonnées		Élévation du sol (m)	Profondeur par rapport au sol (m)	Élévation piézométrique (m)
	Est	Nord			
FH-18-01MT	417549	5483625	327,14	1,39	325,75
FH-18-01R	417548	5483627	327,14	4,60	322,54
GH-18-02R	417938	5482781	340,04	2,06	337,98
GH-18-03MT	417702	5482676	333,06	-0,11	333,17
GH-18-03R	417704	5482678	333,10	-0,10	333,20
GH-18-04R	416877	5482511	331,90	0,26	329,74
FH-18-01MT	417549	5483625	327,14	1,39	325,75

5 MODÉLISATION TRIDIMENSIONNELLE DE L'ÉCOULEMENT

5.1 Description du modèle numérique

Le logiciel *Visual MODFLOW 2018* a été choisi pour modéliser l'écoulement souterrain afin d'atteindre les objectifs de l'étude. Ce logiciel utilise le code *MODFLOW* qui permet de représenter de façon simplifiée l'écoulement des eaux souterraines à l'aide d'une grille tridimensionnelle utilisant la méthode des différences finies.

Le schéma ci-dessous présente la grille du modèle numérique utilisée pour le présent mandat. Le domaine modélisé couvre une superficie de 3,06 km². Les dimensions du domaine modélisé sont de 1700 m par 1800 m. Le maillage est parallèle à l'axe de coordonnées géodésiques UTM nad 83, zone 18. L'origine du système de maillage est située aux coordonnées suivantes: 416 340 m Ouest; 5 482 460 m Nord. Le domaine modélisé est subdivisé en 170 colonnes, 180 rangées et 5 couches. Les colonnes et rangées possèdent la forme d'un carré dont l'arête est de 10 mètres. Les surfaces délimitant les interfaces entre les unités hydrostratigraphiques ont été interpolées à partir des données altimétriques des contacts lithologiques observés dans les forages réalisés dans le cadre de ce mandat, ainsi que par le passé.



Des conditions limites de type « charge constante » ont été placées au pourtour du domaine modélisé afin de fixer les charges près de la surface du sol aux limites du modèle. Des limites de type « ETS » ont été placées dans la première couche du modèle à une élévation égale au niveau du terrain afin de limiter la surface piézométrique à la surface du sol.

Enfin, le parc à résidus projeté a été simulé par l'utilisation de conditions limites à charge imposée de type rivière qui permettent l'écoulement d'un flux d'eau au travers un lit de sédiments. L'ensemble du domaine modélisé a également été soumis à un flux de recharge uniforme de 195 mm/an, correspondant aux précipitations moyennes annuelles, moins un coefficient de ruissellement de 0,30 et moins une évapotranspiration théorique de 450 mm/an.

En ce qui concerne les propriétés hydrogéologiques, seulement les principales unités rencontrées sur le site à l'étude ont été représentées afin de simplifier le modèle géologique réel. Ainsi la séquence géologique typique est composée, de la surface vers le bas, de résidus miniers, d'argile, de sable, de till, puis de socle rocheux. Certaines de ces unités sont discontinues, puisqu'elles n'ont pas été observées dans tous les forages. Par conséquent, une interprétation géologique a été faite de façon à représenter cette discontinuité.

Les paramètres hydrauliques assignés à ces unités, ainsi que la justification du choix effectué sont présentés au tableau 19.

Tableau 19 : Conductivités hydrauliques assignées au modèle

Unité	Conductivité hydraulique (cm/s)	Justification
Résidus miniers	$3,0 \times 10^{-4}$	Diagrammes de perméabilité d'après les granulométries
Argile	$1,0 \times 10^{-6}$	Golder (2007)
Sable	$5,0 \times 10^{-3}$	Diagrammes de perméabilité d'après les granulométries
Till	$3,7 \times 10^{-5}$	Moyenne géométrique des essais réalisés
Roc	$2,2 \times 10^{-5}$	Moyenne géométrique des essais réalisés

Il est à noter que la conductivité hydraulique verticale est d'un ordre de grandeur plus faible que la conductivité hydraulique horizontale pour les unités de résidus, d'argile et de sable, en raison de leur mode de déposition. Par ailleurs, les paramètres d'emmagasinement n'ont pas été considérés, puisque les simulations sont effectuées en régime permanent d'écoulement. Le schéma présenté à la page suivante présente la répartition de la conductivité hydraulique assignée aux couches du modèle. Le socle rocheux est représenté en bourgogne, le till en vert forêt, le sable en vert aqua, l'argile en bleu et enfin, les résidus miniers en gris pâle.

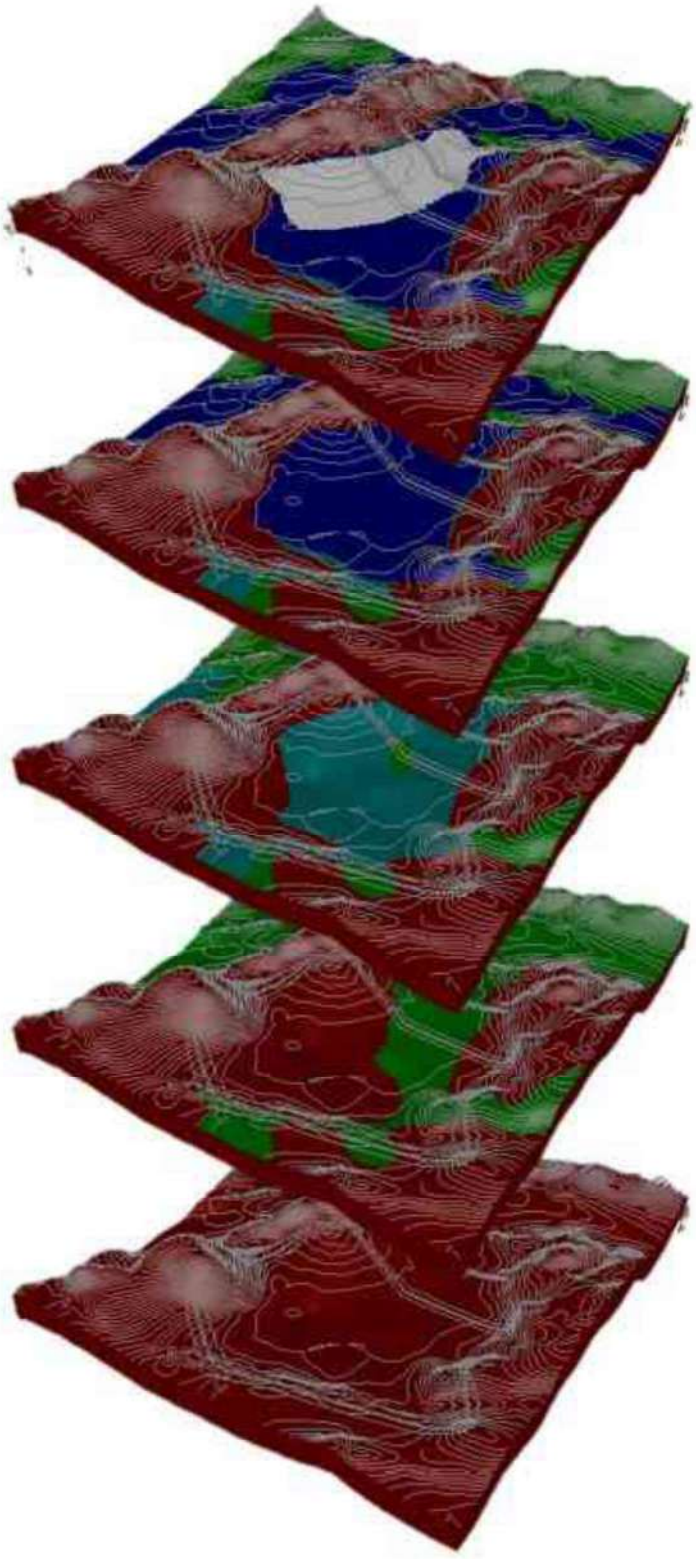
Couche 1 du modèle

Couche 2 du modèle

Couche 3 du modèle

Couche 4 du modèle

Couche 5 du modèle



5.2 Description des simulations effectuées

5.2.1 Écoulement souterrain avant les travaux de construction des bassins

La première simulation effectuée visait à calibrer le modèle et à établir une piézométrie de référence pour le calcul des flux d'eau qui seront causés par l'accumulation d'eau dans les bassins. Cette simulation a été effectuée en régime permanent d'écoulement.

La piézométrie du socle rocheux est montrée à la figure 8. Il est possible d'y observer que la piézométrie est caractérisée par un très faible gradient hydraulique à l'endroit du parc à résidus miniers. Les zones de recharge sont les flancs est, sud et ouest de la vallée, tandis que son exutoire s'effectue en direction nord, ainsi que dans une sous-vallée en direction ouest. Le même constat d'écoulement piézométrique avait été fait par *Golder* en 2007.

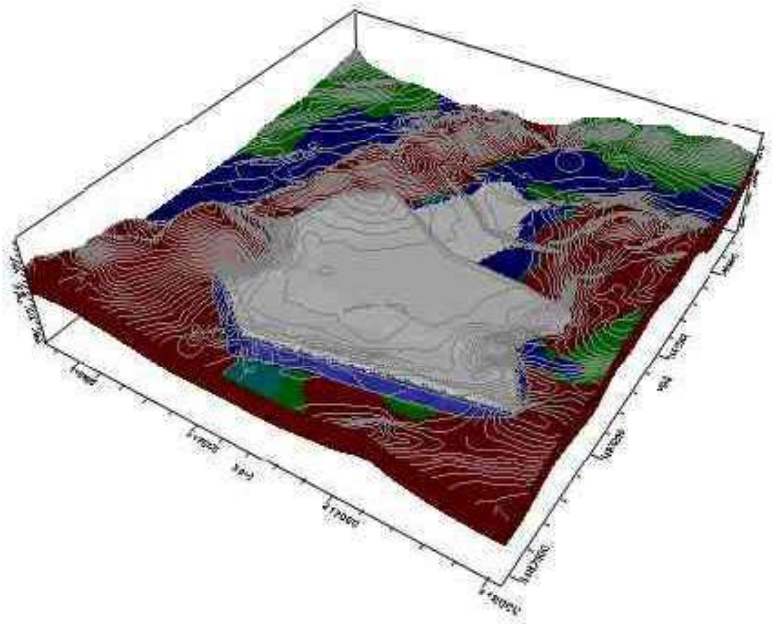
En termes de calibrage, la moyenne des écarts entre les charges calculées par le modèle et les observations effectuées est de 0,11 m, tandis que l'erreur absolue est de 1,54 m et la racine normalisée du carré des écarts est de 12,9%. Il est normal que les charges calculées par un modèle ne soient pas identiques aux charges observées car ces dernières fluctuent constamment et de plus, les phénomènes hydrogéologiques réels sont beaucoup plus complexes que les simplifications effectuées dans la création d'un modèle.

5.2.2 Écoulement souterrain à la suite de la mise en place des bassins

Les simulations prédictives qui ont été effectuées visaient à évaluer le flux d'eau qui percolerait au travers de la couche d'argile afin de parvenir aux couches de sable et de till, puis au socle rocheux. Ces simulations ont été effectuées en régime permanent d'écoulement.

Les simulations ont été faites en modifiant la surface de la première couche du modèle, de façon à représenter les digues et la surface topographique finale du parc à résidus miniers. Par la suite, une charge hydraulique égale aux courbes de niveau projetées dans le parc à résidus a été imposée au parc à résidus. Une conductivité hydraulique de 3×10^{-4} cm/s a été assignée aux résidus, tandis qu'une conductivité hydraulique de 1×10^{-6} cm/s a été assignée aux digues. En ce qui concerne les propriétés assignées aux unités hydrogéologiques, celles-ci ont été modifiées de façon à générer une série de scénarios qui sont décrits à la section 5.2.3, relative à la sensibilité des paramètres.

L'illustration suivante présente la nouvelle surface de la couche 1 du modèle, ainsi que la distribution des propriétés hydrogéologiques.



La figure 9 montre les charges hydrauliques au roc obtenues en utilisant les propriétés hydrogéologiques ayant mené au meilleur calibrage du modèle. Il est possible d'observer que les charges modélisées dans le socle rocheux sont affectées par la charge simulée à l'intérieur du parc à résidus.

La répartition des flux d'eau entre la couche d'argile et la couche de till pour ce scénario est montrée sur la figure 10. À l'intérieur des digues qui limitent le parc à résidus, les flux d'eau qui parviennent à l'aquifère sous-jacent y varient de 0 à près de 9 l/m² par jour. Les flux supérieurs à 3,3 l/m² par jour sont représentés sur la figure 10 par un code de couleur rouge. Ceux-ci sont localisés près des digues. Des flux plus importants sont également localisés aux endroits du parc où l'épaisseur d'argile s'amincit et/ou disparait. Les flux modélisés sont donc conformes par rapport au critère maximal (3,3 L/m²) de la directive 019 sur l'industrie minière sur 93% de la surface projetée du parc à résidus.

En termes de bilan hydrique, la simulation projette un débit de l'ordre de 680 m³/jour qui s'écoulerait des résidus vers les couches sous-jacentes.

La figure 11 présente la répartition des flux d'eau entre la couche d'argile et la couche de till pour le scénario utilisant une conductivité hydraulique de l'ordre de 10^{-4} cm/s. À l'intérieur des digues qui limitent le parc à résidus, les flux d'eau qui parviennent à l'aquifère sous-jacent y varient de 0 à près de 13 l/m² par jour. Les flux supérieurs à 3,3 l/m² par jour sont représentés sur la figure 11 par un code de couleur rouge. Ceux-ci sont localisés aux endroits où la couche d'argile s'amincit et/ou disparait. Les flux modélisés sont donc conformes par rapport au critère maximal (3,3 l/m²) de la directive 019 sur l'industrie minière sur 72% de la surface projetée du parc à résidus.

En termes de bilan hydrique, la simulation projette un débit de l'ordre de 1 575 m³/jour qui s'écoulerait des résidus vers les couches sous-jacentes.

Les surfaces affectées par des flux calculés supérieurs à 3,3 L/m² pourraient être atténuées par l'ajout d'une couche d'argile ou de membrane imperméable de type « Bentofix ».

5.2.3 Analyse de sensibilité des paramètres du modèle

L'évaluation qualitative de la sensibilité des paramètres utilisés pour la réalisation du modèle numérique a été effectuée afin d'évaluer son degré de fiabilité. Cette évaluation a été effectuée en modifiant les paramètres d'entrée du modèle, puis en notant l'effet des changements de paramètres sur le résultat obtenu. La norme de l'ASTM (American Society for Testing and Materials) nommée D 5611 – Sensitivity Analysis décrit les quatre types de sensibilité des paramètres:

- sensibilité de type 1 : la modification d'un paramètre n'a pas d'effet sur le calibrage, ni sur le résultat;
- sensibilité de type 2 : la modification d'un paramètre change le calibrage, pas le résultat;
- sensibilité de type 3 : la modification d'un paramètre change le calibrage ainsi que le résultat;
- sensibilité de type 4 : la modification d'un paramètre n'a pas d'effets sur le calibrage, mais change le résultat.

Les quatre types de sensibilité décrits ci-haut font référence au modèle calibré en régime permanent et au résultat obtenu en simulant les bassins projetés.

En ce qui concerne la conductivité hydraulique, celle-ci a été variée d'un ordre de grandeur pour chacune des unités, prises indépendamment lors du calibrage. Les résultats obtenus ont permis

d'obtenir des degrés de calibrage plus ou moins semblables. Lors des simulations prédictives, des variations de la conductivité hydraulique de l'argile et du roc ont été réalisées. Les résultats obtenus étaient alors considérablement différents. Ainsi, en augmentant la conductivité hydraulique de la couche d'argile par un facteur de 10, le flux total s'écoulant des résidus serait légèrement augmenté. Il s'agit d'un scénario hypothétique, puisqu'il est plutôt probable que la composante verticale de la conductivité hydraulique d'une couche d'argile lacustre soit d'un ordre de grandeur inférieure à sa composante horizontale.

Si, par ailleurs la conductivité hydraulique du socle rocheux est augmentée d'un ordre de grandeur, alors une surface importante du parc à résidus serait affectée par des flux supérieurs à 3,3 L/m²/jour dont notamment les secteurs non recouverts d'argile. Puisque trois des essais ont permis de mesurer une conductivité hydraulique de l'ordre du 10^{-4} cm/s pour le socle rocheux, nous sommes d'avis que ce scénario devrait être considéré comme réaliste, même s'il permet de moins bien calibrer le modèle sous les conditions actuelles. Ces constants permettent de croire que la sensibilité de la conductivité hydraulique serait de type 4.

La recharge, quant à elle, est peu sensible aux changements apportés, puisque des charges sont imposées via la condition limite de type « Rivière » au niveau du terrain dans le parc à résidus miniers. La sensibilité de ce paramètre est de type 1.

6 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

6.1 Partie géotechnique

En ce qui concerne les investigations géotechniques proprement dites, les résultats des essais in situ et en laboratoire ont permis de dégager les conclusions suivantes :

- ✓ La profondeur du socle rocheux est faible dans la partie Sud de l'agrandissement projeté (entre 1,22 et 3,66 m) où les forages FG-18-02, GH-18-02, GH-18-03 et GH-18-04 ont été réalisés. La profondeur du socle est moyenne dans la partie Est, représentée par les forages FG-18-04 et FG-18-05 (entre 5,05 et 9,85 m). Au Nord du site, au droit des forages FG-18-01 et FG-18-03 respectivement sur le dessus et au pied de la digue médiane, le roc a été rencontré entre 7,47 et 9,73 m de profondeur si l'on soustrait l'épaisseur des matériaux constituant la digue. Enfin, au Nord du bassin de sédimentation, au forage FH-18-01, il fut atteint à 4,93 m.
- ✓ La qualité du socle rocheux (RQD) basée sur la densité des fissures rencontrées sur les premiers mètres d'épaisseur, est de moyenne à bonne dans la partie Sud de l'agrandissement projeté, moyenne à l'Est et pauvre dans la zone Nord de la digue médiane et du bassin de sédimentation.
- ✓ Le till sus-jacent au socle rocheux, dont la compacité varie de compact à très dense, est omniprésent dans tous les forages et on le rencontre au Sud entre 1,22 et 3,35 m de profondeur, pour une épaisseur moyenne de 1,5 m avant le socle rocheux, tandis qu'à l'Est on l'atteint entre 2,89 et 4,95 m de profondeur pour des épaisseurs de l'ordre de 2 à 5 m et au Nord, il est situé entre 4,62 et 6,71 m de profondeur pour une épaisseur variant entre 1 et 2 m.
- ✓ La partie Sud de l'agrandissement projeté est, de la surface jusqu'au till, soit d'une épaisseur entre 1,22 et 3,35 m, exempte d'argile à l'exception du forage GH-18-03 où le mélange d'argile et de silt est prédominant par rapport au sable. Les dépôts sont constitués de sable avec des pourcentages variables de particules fines, de compacité de lâche à très lâche avec des teneurs en eau et des granulométries variables.
- ✓ Du côté Est et Nord de l'agrandissement projeté, de la surface jusqu'au till, soit sur des épaisseurs entre 2,89 et 6,71 m, une couche d'argile avec des proportions variables de silt est sus-jacente à une couche de sable. Cette couche d'argile impure, accompagnée de quantités parfois importantes de silt et variables de sable en moindre quantité,

possède des propriétés physico-mécaniques très variables. En effet, à partir des résultats d'analyses en laboratoires, notamment en tubes Shelby, on s'aperçoit entre autres que les teneurs en eau, les limites d'Atterberg, les degrés de saturation, ainsi que les résistances au cisaillement sont très variables d'un extrême à l'autre, ce qui donne des sensibilités de faibles à extrêmes et une consolidation de sur-consolidé à sous-consolidé.

En raison de ce qui précède, il est donc conclu que lors de la construction des digues de l'agrandissement projeté du parc à résidu, des tassements différentiels sont anticipés, autant dans les zones avec des sols argileux en surface que dans celles sablonneuses. La conception devra donc tenir compte de ces différences marquées de propriétés des dépôts meubles présents.

La méthode d'échantillonnage par cuillère fendue en foreuse n'a pas permis de recueillir des échantillons assez volumineux des couches sablonneuses afin d'effectuer des analyses Proctor en laboratoire. Ces essais auraient permis de déduire la masse volumique maximale avec la teneur en eau optimum pour une compaction de ces matériaux à plus de 95% du Proctor modifié. Il est donc recommandé de planifier une série de tranchées à la pelle mécanique sur le site afin d'y recueillir les échantillons destinés à ce type d'essai. De cette façon, il serait possible de statuer autant sur la possibilité de récupération des matériaux en place pour la construction que sur la préparation des fonds d'excavation afin de minimiser le tassement différentiel anticipé.

6.2 Partie hydrogéologique

À l'aide des travaux de caractérisation géotechnique et hydrogéologique réalisés sur le site projeté pour l'aménagement d'un bassin de recirculation et d'un bassin de polissage, un modèle hydrogéologique tridimensionnel a été conçu et numérisé à l'aide du logiciel Visual MODFLOW. Le modèle vise à déterminer si le site est en mesure de respecter un débit de percolation quotidien maximal de 3,3 l/m² à partir du fond de l'aire d'accumulation, tel que décrit dans la directive 019 sur l'industrie minière. À cette fin, des simulations prédictives pour estimer le flux d'eau pouvant traverser la couche d'argile lacustre ont été réalisées.

Les résultats obtenus démontrent que pour les charges utilisées, les flux calculés respectent le critère de 3,3 l/m² par jour sur entre 72 et 93% de la surface du parc à résidus projeté. L'atteinte du critère est grandement attribuable à la présence de la couche d'argile sur le site.

La fiabilité du modèle est grandement tributaire de l'évaluation de la conductivité hydraulique des unités hydrostratigraphiques, particulièrement le socle rocheux. Bien que celles-ci aient été estimées à l'aide d'essais sur le terrain et qu'elles soient représentatives d'observations fréquemment effectuées en Abitibi pour des matériaux géologiques de nature similaire, les zones sans couverture d'argile apparaissent plus sensibles aux modifications qui ont été effectuées dans le cadre de l'analyse de sensibilité des paramètres du modèle. Il est donc recommandé d'améliorer la cartographie de la distribution de l'épaisseur de la couche d'argile qui tapisse le fond de la vallée qui sera utilisée pour aménager le parc à résidus miniers.

Le cas échéant, il est recommandé de tapisser les zones où la couverture d'argile est insuffisante à l'aide d'une couche d'argile ou d'une géomembrane de type « Bentofix » destinée à augmenter le degré d'imperméabilité du sol dans ce secteur.

Enfin, il est recommandé d'aménager des puits d'observation en aval piézométrique des digues projetés afin d'y effectuer un suivi de la qualité de l'eau conforme aux indications de la directive 019 sur l'industrie minière.

RÉFÉRENCES

Anderson, M.P., Woessner, W.W., 1992, Applied Groundwater Modelling: Simulation of Flow and Advective Transport, Academic Press.

Environnement Canada, 2013, Normales Climatiques au Canada de 1971 à 2000, Station Lebel-sur-Quévillon, http://climate.weather.gc.ca/climate_normals

GHD, 2017. Investigation environnementale, rehaussement de la cellule no 1 du parc à résidus, Métanor, Desmaraisville, Québec. 15 pages

Golder Associés Ltée, 2007. Étude géotechnique et hydrogéologique et conception du parc à résidus de la mine du lac Bachelor. Desmaraisville, Québec. Rapport présenté à Ressources Métanor Inc., 175 p.

Harbaugh, A.W. et Mc Donald, M.G., 1996, User'Documentation for MODFLOW-96, an update to the U.S. Geological Survey Modular Finite-Difference Ground-Water Flow Model, U.S. Geological Survey, Open-File Report 96-485

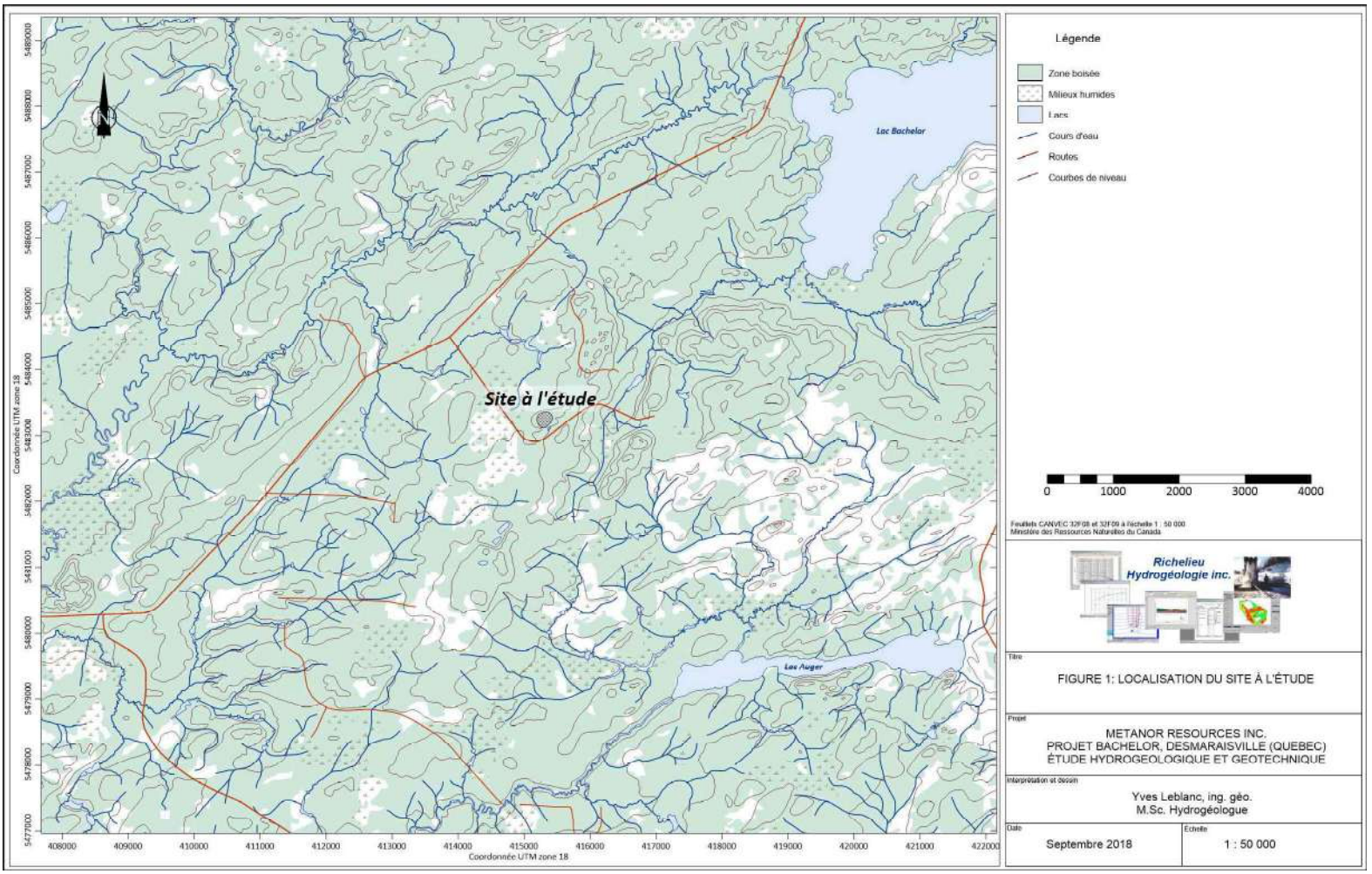
Les Laboratoires Ville-Marie Inc., 1981. Étude géotechnique et conception Digue de retenue de rejets miniers, Desmaraisville (Québec). Préparé pour Mine d'Or Bachelor Inc. 35 p.

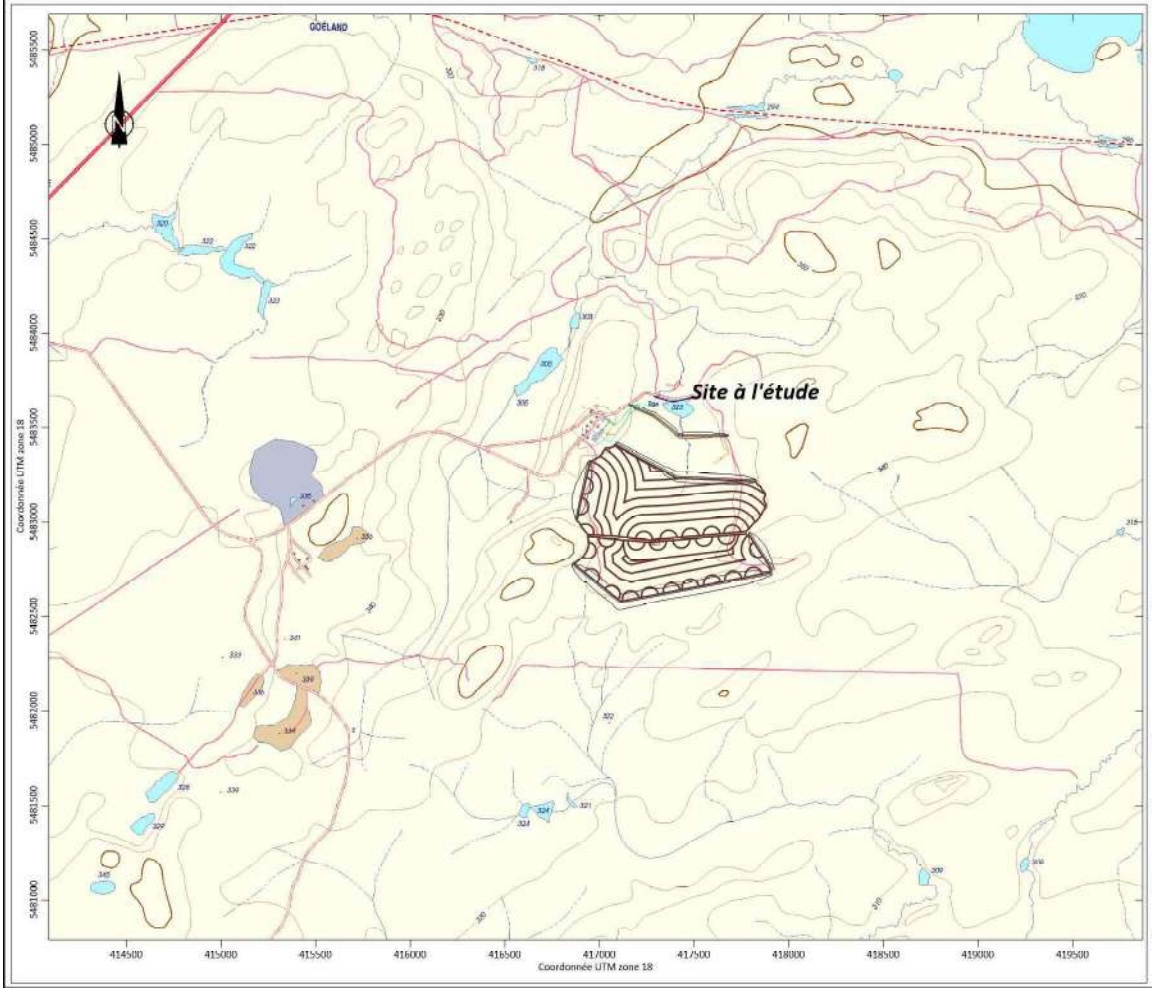
Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs du Québec, 2012, Directive 019 sur l'industrie minière. 105 p.
http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/milieu_ind/directive019/directive019.pdf

Ministère des ressources naturelles du Québec, Carte géologique interactive, http://sigeom.mrn.gouv.qc.ca

Veuillette, J.J., Paradis, S.J. et Thibodeau, P., 2010. Géologie des formations superficielles, Rouyn-Noranda-Senneterre, Commission géologique du Canada, Dossier public 6061, échelle 1/250 000

ANNEXE 1: FIGURES


Site à l'étude
Lac Bachelor
Lac Auger
Coordonnée UTM zone 18
Coordonnée UTM zone 18
408000
409000
410000
411000
412000
413000
414000
415000
416000
417000
418000
419000
420000
421000
422000
5477000
5478000
5479000
5480000
5481000
5482000
5483000
5484000
5485000
5486000
5487000
5488000
5489000
Légende
Zone boisée
Milieux humides
Lacs
Cours d'eau
Routes
Courbes de niveau
0
1000
2000
3000
4000
Feuillets CANVEC 32F08 et 32F09 à l'échelle 1 : 50 000
Ministère des Ressources Naturelles du Canada
Richelieu
Hydrogéologie inc.
Titre
FIGURE 1: LOCALISATION DU SITE À L'ÉTUDE
Projet
METANOR RESOURCES INC.
PROJET BACHELOR, DESMARAISVILLE (QUEBEC)
ÉTUDE HYDROGEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE
Interprétation et dessin
Yves Leblanc, ing. géo.
M.Sc. Hydrogéologue
Date
Septembre 2018
Echelle
1 : 50 000



Légende

- Zone boisée
- Milieux humides
- Lacs
- Banc d'emprunt
- Résidus miniers
- Cours d'eau
- Routes
- Courbes de niveau

0 500 1000 1500 2000

Feuillets CANVEC 32F08 et 32F09 à l'échelle 1 : 50 000
Ministère des Ressources Naturelles du Canada

Richelieu Hydrogéologie inc.

Titre

FIGURE 2: TOPOGRAPHIE DU SITE À L'ÉTUDE

Projet

METANOR RESOURCES INC.
PROJET BACHELOR, DESMARAISVILLE (QUEBEC)
ÉTUDE HYDROGEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

Interprétation et dessin

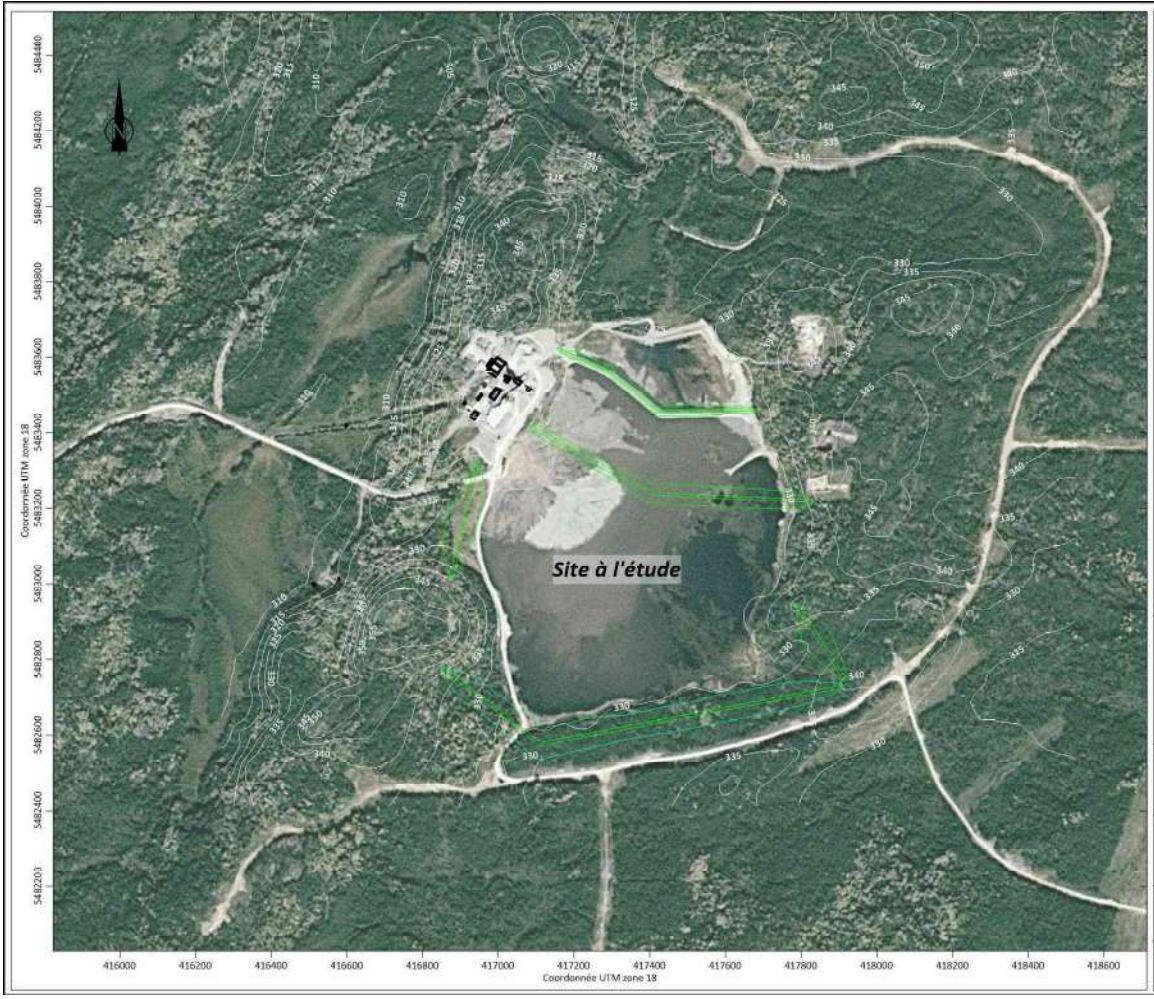
Yves Leblanc, ing. géo.
M.Sc. Hydrogéologue

Date

Septembre 2018

Echelle

1 : 20 000



Légende

Digues projetées

Bâtiments

0 200 400 600 800 1000

Imagerie satellitaire par Google Earth

Richelieu Hydrogéologie inc.

Titre

FIGURE 3: PHOTOGRAPHIE AÉRIENNE DU SITE

Projet

METANOR RESOURCES INC.
PROJET BACHELOR, DESMARAISVILLE (QUEBEC)
ÉTUDE HYDROGEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

Interprétation et dessin

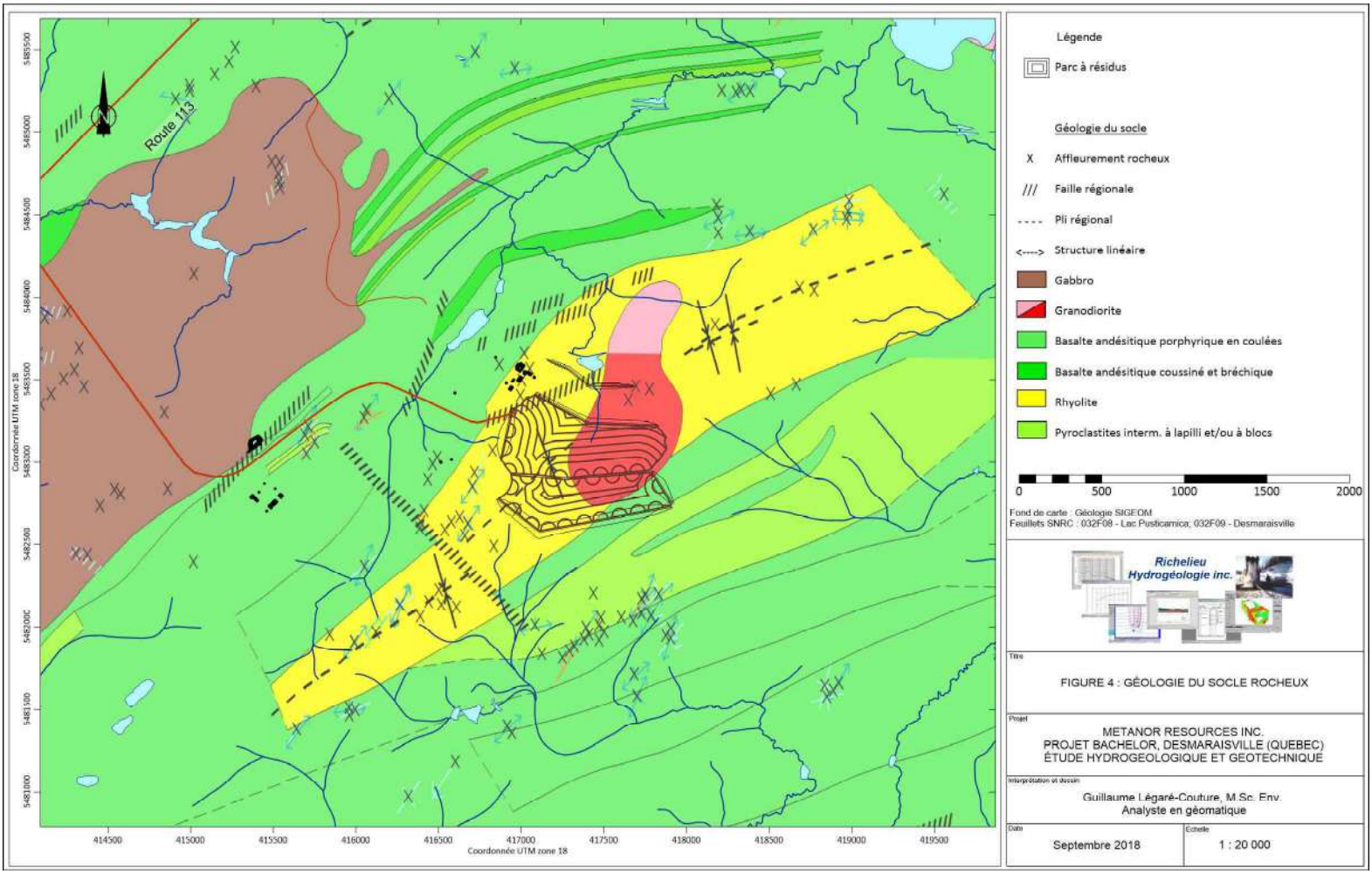
Yves Leblanc, ing. géo.
M.Sc. Hydrogéologue

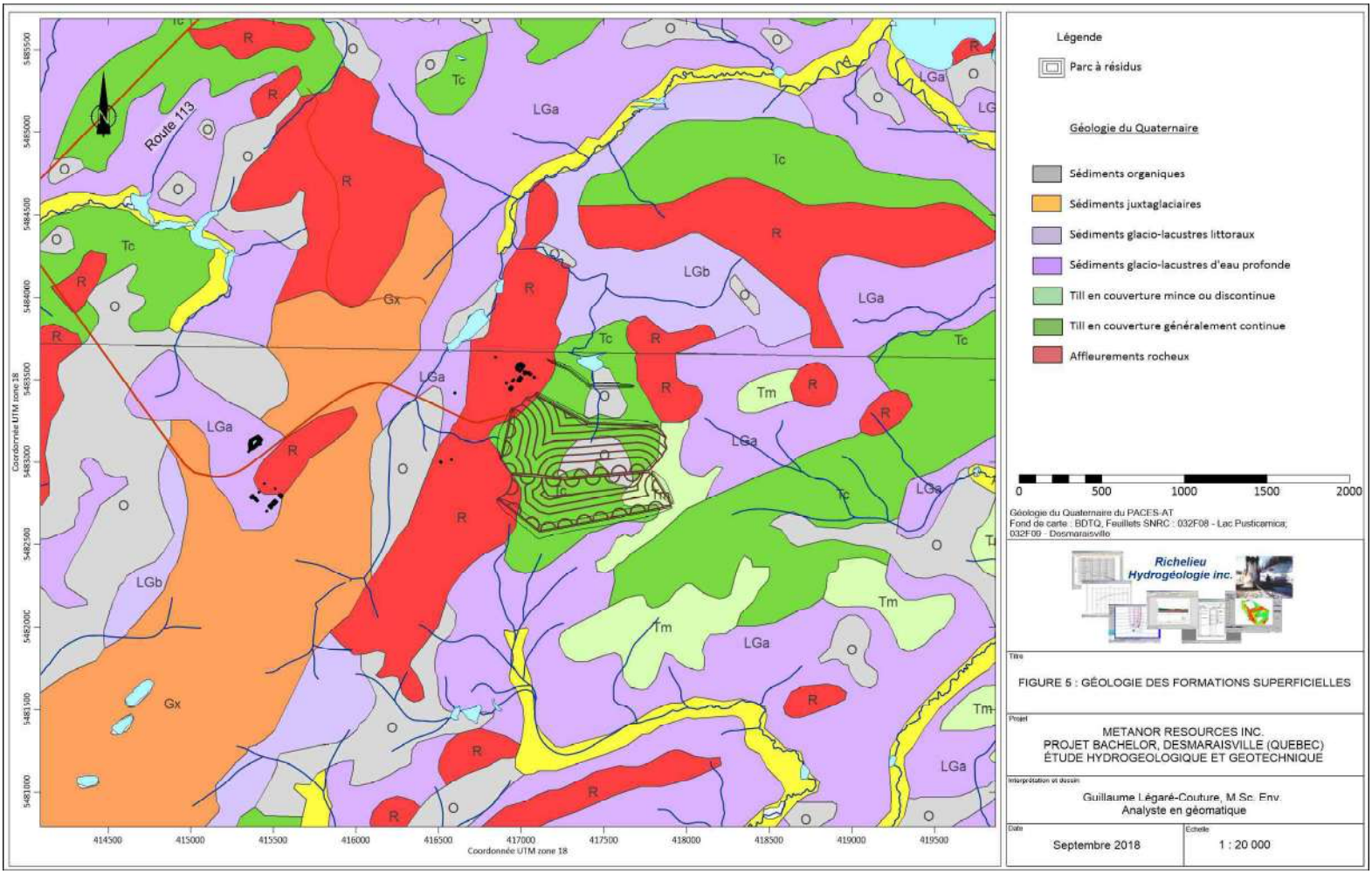
Date

Septembre 2018

Echelle

1 : 10 000


Route 113
N
Coordonnée UTM zone 18
5485500
5485000
5484500
5484000
5483500
5483000
5482500
5482000
5481500
5481000
414500
415000
415500
416000
416500
417000
417500
418000
418500
419000
419500
Coordonnée UTM zone 18
Légende
Parc à résidus
Géologie du socle
Affleurement rocheux
Faille régionale
Pli régional
Structure linéaire
Gabbro
Granodiorite
Basalte andésitique porphyrique en coulées
Basalte andésitique coussiné et bréchique
Rhyolite
Pyroclastites interm. à lapilli et/ou à blocs
0
500
1000
1500
2000
Fond de carte : Géologie SIGEOM
Feuillets SNRC : 032F08 - Lac Pusticamica; 032F09 - Desmaraisville
Richelieu Hydrogéologie inc.
Titre
FIGURE 4 : GÉOLOGIE DU SOCLE ROCHEUX
Projet
METANOR RESOURCES INC.
PROJET BACHELOR, DESMARAISVILLE (QUEBEC)
ÉTUDE HYDROGEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE
Interprétation et dessin
Guillaume Légaré-Couture, M.Sc. Env.
Analyste en géomatique
Date
Septembre 2018
Échelle
1 : 20 000



Légende

Parc à résidus

Géologie du Quaternaire

- Sédiments organiques
- Sédiments juxtaglaciaires
- Sédiments glacio-lacustres littoraux
- Sédiments glacio-lacustres d'eau profonde
- Till en couverture mince ou discontinue
- Till en couverture généralement continue
- Affleurements rocheux

0 500 1000 1500 2000

Géologie du Quaternaire du PACES-AT
Fond de carte : BDTQ, Feuillets SNRC : 032F08 - Lac Pusticamica; 032F09 - Desmaraisville

Richelieu Hydrogéologie inc.

Titre

FIGURE 5 : GÉOLOGIE DES FORMATIONS SUPERFICIELLES

Projet

METANOR RESOURCES INC.
PROJET BACHELOR, DESMARAISVILLE (QUEBEC)
ÉTUDE HYDROGEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

Interprétation et dessin

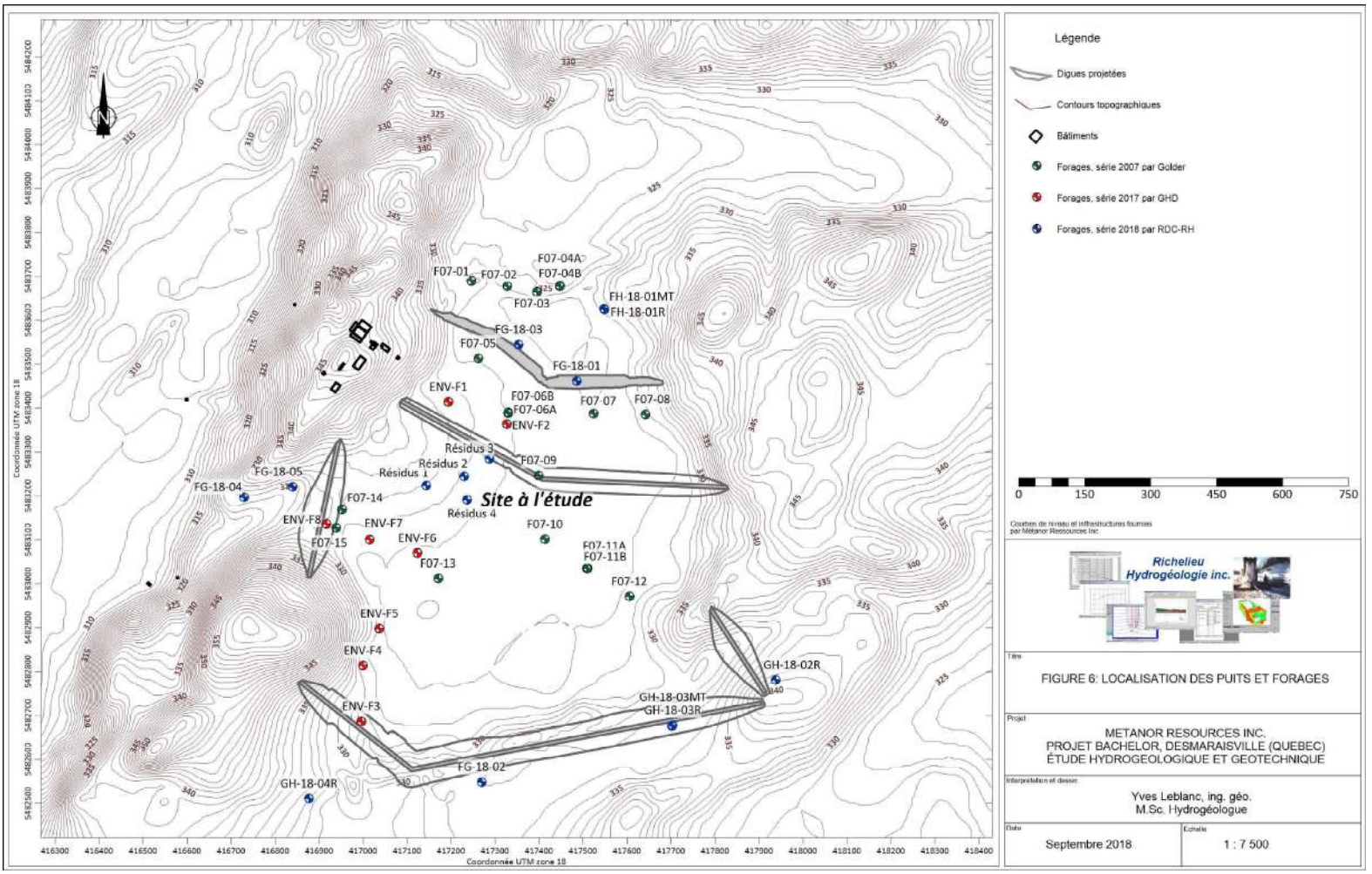
Guillaume Légaré-Couture, M.Sc. Env.
Analyste en géomatique

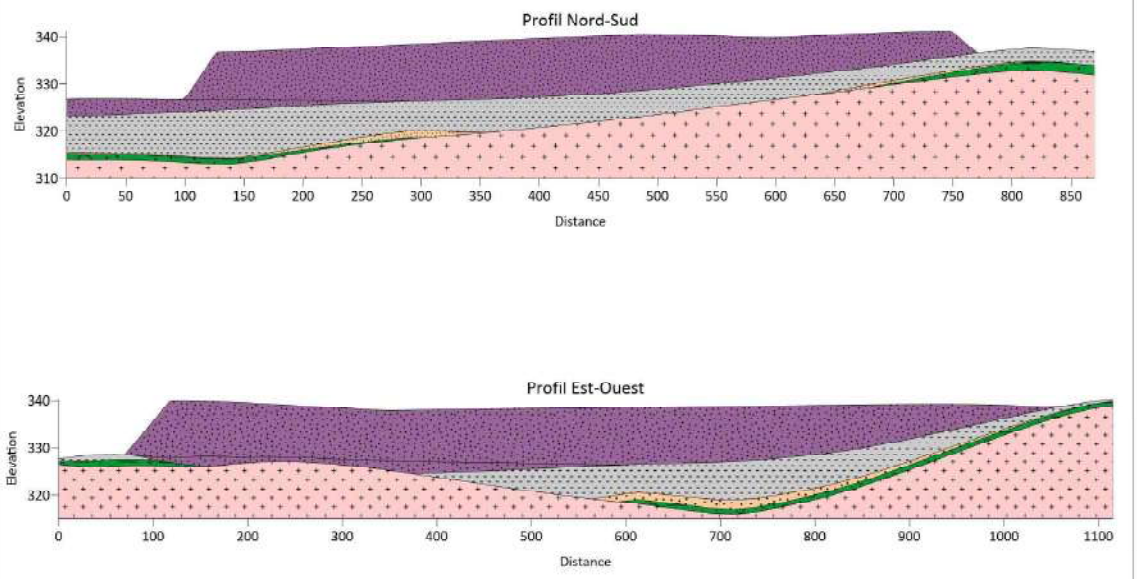
Date

Septembre 2018

Echelle

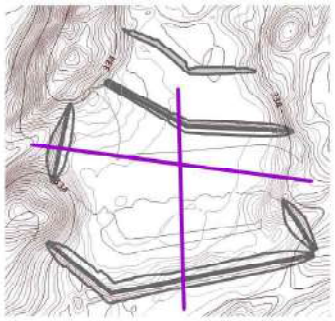
1 : 20 000


Légende
Digues projetées
Contours topographiques
Bâtiments
Forages, série 2007 par Golder
Forages, série 2017 par GHD
Forages, série 2018 par RDC-RH
F07-01
F07-02
F07-04A
F07-04B
F07-03
FH-18-01MT
FH-18-01R
FG-18-03
F07-05
FG-18-01
ENV-F1
F07-06B
F07-06A
ENV-F2
F07-07
F07-08
Résidus 3
Résidus 2
Résidus 1
Résidus 4
F07-09
Site à l'étude
FG-18-05
FG-18-04
F07-14
ENV-F8
ENV-F7
F07-15
ENV-F6
F07-13
F07-10
F07-11A
F07-11B
F07-12
ENV-F5
ENV-F4
ENV-F3
GH-18-02R
GH-18-03MT
GH-18-03R
FG-18-02
GH-18-04R
0
150
300
450
600
750
Coordonnée UTM zone 18
Coordonnée UTM zone 18
Courbes de niveau et infrastructures fournies par Métanor Ressources Inc.
Richelieu Hydrogéologie inc.
Titre
FIGURE 6: LOCALISATION DES PUITS ET FORAGES
Projet
METANOR RESOURCES INC.
PROJET BACHELOR, DESMARAISVILLE (QUEBEC)
ÉTUDE HYDROGEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE
Interprétation et dessin
Yves Leblanc, ing. géo.
M.Sc. Hydrogéologue
Date
Septembre 2018
Échelle
1 : 7 500



Légende

- Résidus miniers
- Argile
- Sable
- Till
- Socle rocheux



Courbes de niveau et infrastructures fournies par Métanor Ressources Inc.

Richelieu Hydrogéologie inc.

Titre

FIGURE 7: PROFILS STRATIGRAPHIQUES SIMPLIFIÉS

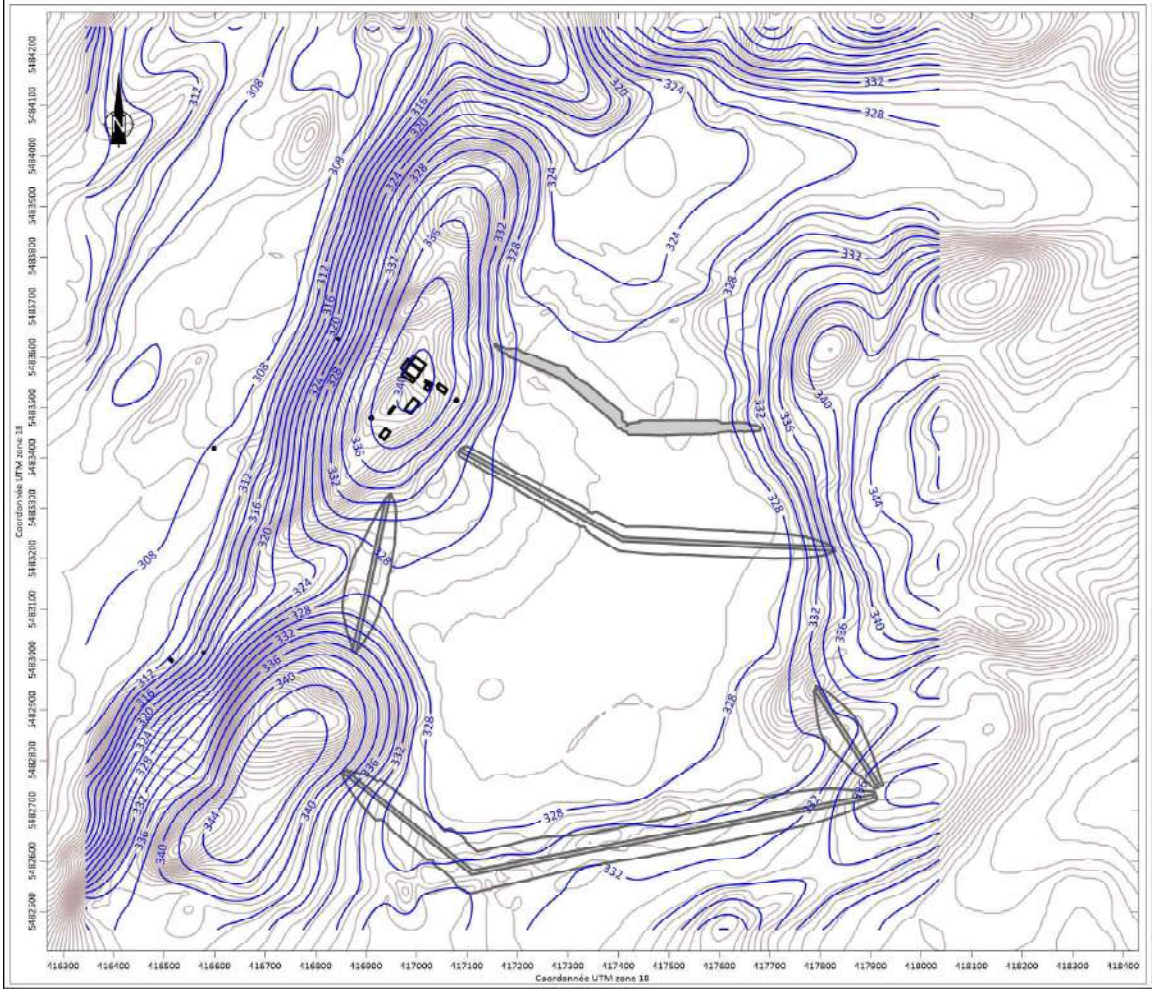
Projet

METANOR RESSOURCES INC.
PROJET BACHELOR, DESMARAISVILLE (QUEBEC)
ÉTUDE HYDROGEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

Interprétation et dessin

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

Date	Échelle
Septembre 2018	Voir dessin



Légende

Digues projetées

Contours topographiques

Contours piézométriques

Bâtiments

0 150 300 450 600 750

Courbes de niveau et infrastructures fournies par Métanor Ressources Inc.

Richelieu Hydrogéologie inc.

Titre

FIGURE 8: PIÉZOMÉTRIE INITIALE MODÉLISÉE POUR LE SOCLE ROCHEUX

Projet

MÉTANOR RESSOURCES INC.
PROJET BACHELOR, DESMARAISVILLE (QUÉBEC)
ÉTUDE HYDROGÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE

Interprétation et dessin

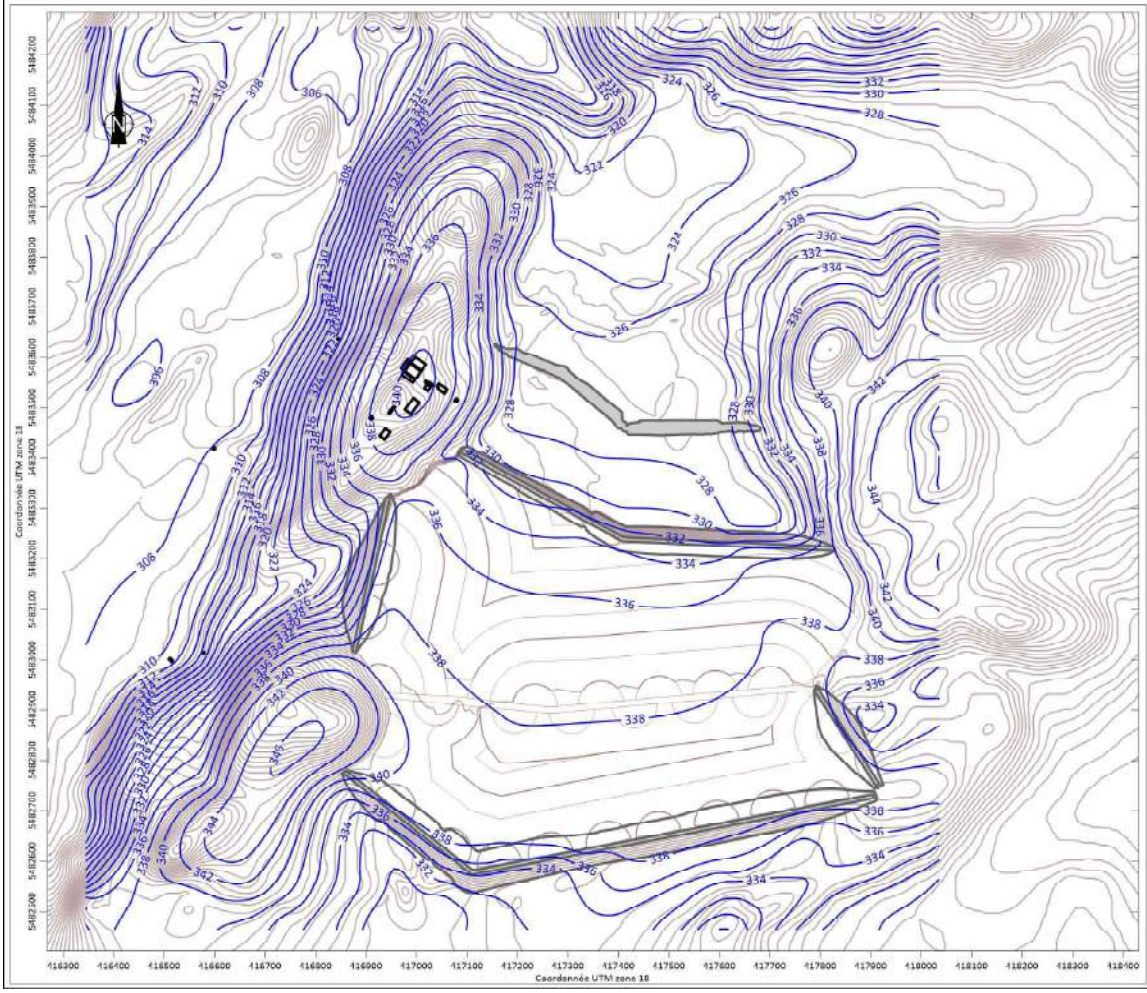
Yves Leblanc, ing. géo.
M.Sc. Hydrogéologue

Date

Septembre 2018

Échelle

1 : 7 500



Légende

Digues projetées

Contours topographiques

Contours piézométriques

Bâtiments

0 150 300 450 600 750

Courbes de niveau et infrastructures fournies par Métanor Ressources Inc.

Richelieu Hydrogéologie inc.

Titre

FIGURE 9: PIÉZOMÉTRIE FINALE MODÉLISÉE POUR LE SOCLE ROCHEUX (PARC REMPLI À 100%)

Projet

MÉTANOR RESSOURCES INC.
PROJET BACHELOR, DESMARAISVILLE (QUÉBEC)
ÉTUDE HYDROGÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE

Interprétation et dessin

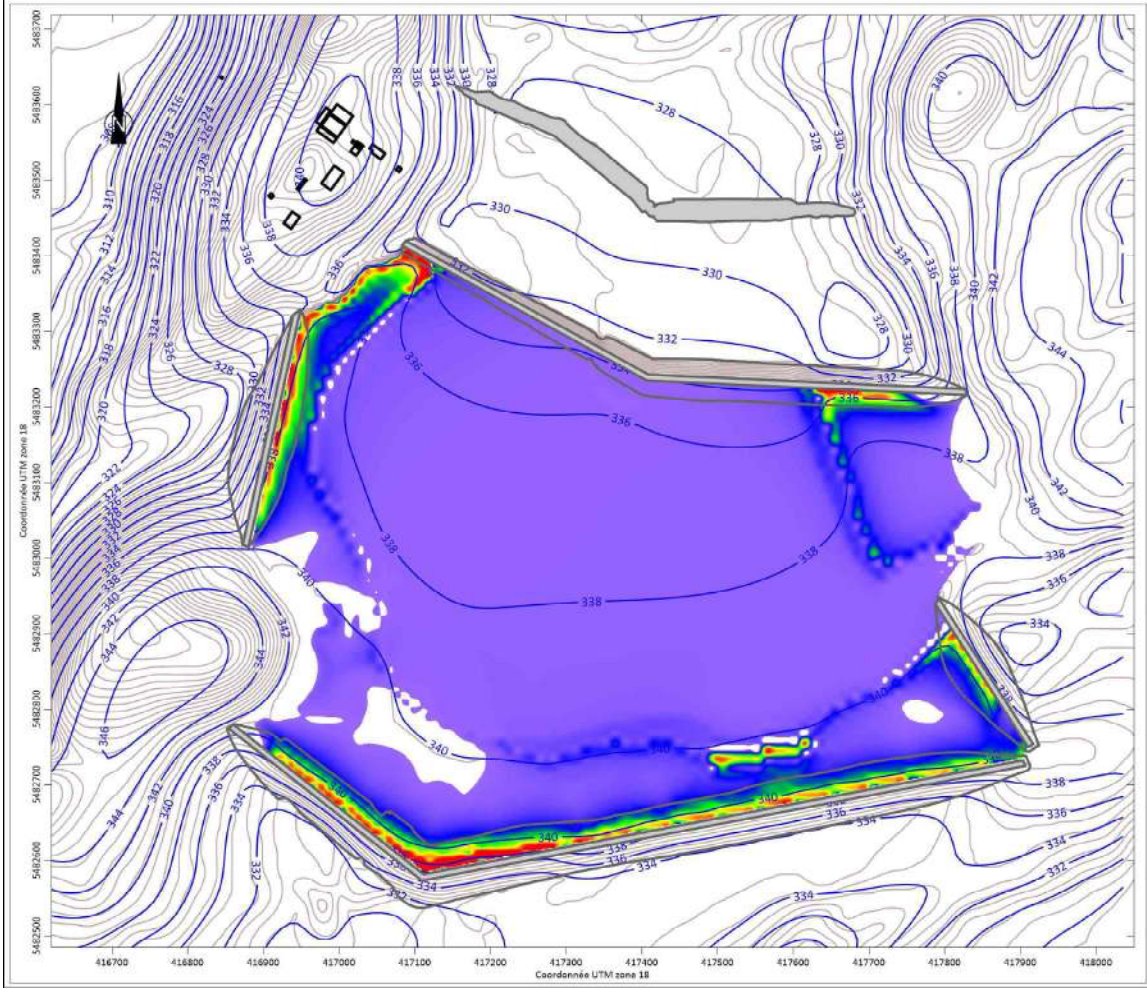
Yves Leblanc, ing. géo.
M.Sc. Hydrogéologue

Date

Septembre 2018

Échelle

1 : 7 500



Légende

Digues projetées

Contours topographiques

Contours piézométriques

Bâtiments

Flux en l/m² par jour

3.3
3
2.7
2.4
2.1
1.8
1.5
1.2
0.9
0.6
0.3
0

0 100 200 300 400 500

Courbes de niveau et infrastructures fournies par Métanor Ressources Inc.

Richelieu Hydrogéologie inc.

Titre

FIGURE 10: FLUX MODÉLISÉ
AU TRAVERS DE LA COUCHE D'ARGILE
CONDUCTIVITÉ DU ROC À 2 X 10⁻⁵ CM/SEC

Projet

METANOR RESOURCES INC.
PROJET BACHELOR, DESMARAISVILLE (QUEBEC)
ÉTUDE HYDROGEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

Interprétation et dessin

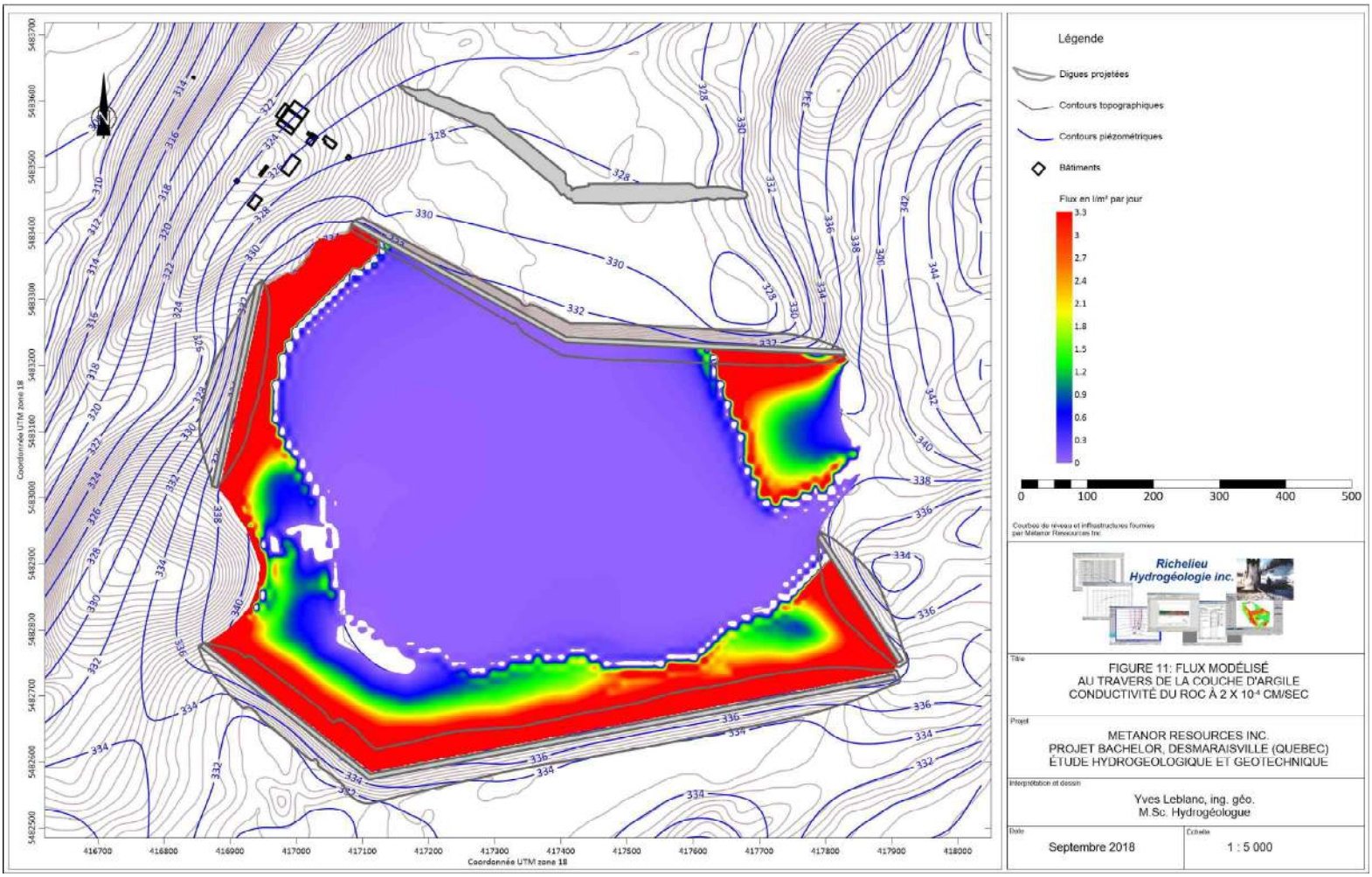
Yves Leblanc, ing. géo.
M.Sc. Hydrogéologue

Date

Septembre 2018

Échelle

1 : 5 000



Titre

FIGURE 11: FLUX MODÉLISÉ
AU TRAVERS DE LA COUCHE D'ARGILE
CONDUCTIVITÉ DU ROC À 2 X 10^{-4} CM/SEC

Projet

METANOR RESOURCES INC.
PROJET BACHELOR, DESMARAISVILLE (QUEBEC)
ÉTUDE HYDROGEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

Interprétation et dessin

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

Date	Échelle
Septembre 2018	1 : 5 000

ANNEXE 2 : DOSSIER PHOTOGRAPHIQUE

CLIENT Ressources Métanor **N/D. :** HY18-010-2
PROJET Étude géotechnique et hydrogéologique pour l'agrandissement du parc à résidus
LIEU Mine Bachelor, 200, chemin de la mine, Desmaraisville, Qc

No 1 : Vue des installations minières de la mine Bachelor

No 2 : Vue de l'étang du parc à résidus liquides

No 3 : Vue du bassin de sédimentation

No 4 : Vue éloignée du site du forage FG-18-01 sur la digue médiane

No 5 : Installation des équipements au forage FG-18-01

No 6 : FG-18-01 - Installation de la foreuse

CLIENT Ressources Métanor **N/D. :** HY18-010-2
PROJET Étude géotechnique et hydrogéologique pour l'agrandissement du parc à résidus
LIEU Mine Bachelor, 200, chemin de la mine, Desmaraisville, Qc

No 7 : FG-18-01 - Début des travaux

No 8 : FG-18-01 - Cuillère fendue CF-01

No 9 : FG-18-01 - Échantillonnage de la cuillère fendue CF-01

No 10 : FG-18-01 - Cuillère fendue CF-04

No 11 : FG-18-01 - Échantillonnage de la cuillère fendue CF-04

No 12 : FG-18-01 - Cuillère fendue CF-05

CLIENT Ressources Métanor **N/D. :** HY18-010-2
PROJET Étude géotechnique et hydrogéologique pour l'agrandissement du parc à résidus
LIEU Mine Bachelor, 200, chemin de la mine, Desmaraisville, Qc

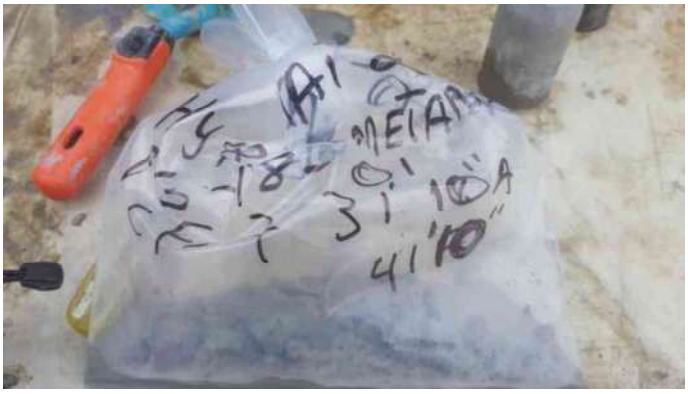
No 13 : FG-18-01 - Échantillonnage de la cuillère fendue CF-05

No 14 : FG-18-01 – Cuillère fendue CF-06

No 15 : FG-18-01 – Échantillonnage de la cuillère fendue CF-06

No 16 : FG-18-01 – Cuillère fendue CF-07

No 17 : FG-18-01 – Échantillonnage de la cuillère fendue CF-07



No 18 : FG-18-01 – Travaux d'échantillonnage

CLIENT Ressources Métanor **N/D. :** HY18-010-2
PROJET Étude géotechnique et hydrogéologique pour l'agrandissement du parc à résidus
LIEU Mine Bachelor, 200, chemin de la mine, Desmaraisville, Qc

No 19 : FG-18-01 – Tige et ailette pour l'essai au scissomètre Nilcon

No 20 : FG-18-01 - Vue de l'ailette pour l'essai au scissomètre Nilcon

No 21 : FG-18-01 – Équipement pour l'essai au scissomètre Nilcon

No 22 : FG-18-01 – Insertion de la tige pour l'essai au scissomètre Nilcon

No 23 : FG-18-01 – Échantillonnage du socle rocheux

No 24 : FG-18-01 – État des lieux à la fin des travaux

CLIENT Ressources Métanor **N/D. :** HY18-010-2
PROJET Étude géotechnique et hydrogéologique pour l'agrandissement du parc à résidus
LIEU Mine Bachelor, 200, chemin de la mine, Desmaraisville, Qc

No 1 : FG-18-02 – Vue éloignée du site du forage

No 2 : FG-18-02 – Début du forage

No 3 : FG-18-02 – Cuillère fendue CF-01

No 4 : FG-18-02 – Échantillonnage de la cuillère fendue CF-01

No 5 : FG-18-02 – Échantillonnage de la cuillère fendue CF-02

No 6 : FG-18-02 – Échantillonnage de la cuillère fendue CF-03

CLIENT Ressources Métanor **N/D. :** HY18-010-2
PROJET Étude géotechnique et hydrogéologique pour l'agrandissement du parc à résidus
LIEU Mine Bachelor, 200, chemin de la mine, Desmaraisville, Qc

No 7 : FG-18-02 – Échantillonnage de la cuillère fendue CF-04

No 8 : FG-18-02 – Échantillonnage du socle rocheux

No 9 : FG-18-02 – État des lieux à la fin des travaux

CLIENT Ressources Métanor **N/D. :** HY18-010-2
PROJET Étude géotechnique et hydrogéologique pour l'agrandissement du parc à résidus
LIEU Mine Bachelor, 200, chemin de la mine, Desmaraisville, Qc

No 1 : FG-18-03 – Vue éloignée du site des travaux

No 2 : FG-18-03 – Installation des équipements de forage au pied de la digue médiane

No 3 : FG-18-03 – Échantillonnage de la cuillère fendue CF-01

No 4 : FG-18-03 – Cuillère fendue CF-02

No 5 : FG-18-03 - Échantillonnage de la cuillère fendue CF-02

No 6 : FG-18-03 – Cuillère fendue CF-03

CLIENT Ressources Métanor **N/D. :** HY18-010-2
PROJET Étude géotechnique et hydrogéologique pour l'agrandissement du parc à résidus
LIEU Mine Bachelor, 200, chemin de la mine, Desmaraisville, Qc

No 7 : FG-18-03 – Échantillonnage de la cuillère fendue CF-03

No 8 : FG-18-03 – Cuillère fendue CF-04

No 9 : FG-18-03 – Échantillonnage de la cuillère fendue CF-04

No 10 : FG-18-03 – Échantillonnage au tube Shelby

No 11 : FG-18-03 – Vue de l'extrémité du tube Shelby TS-01

No 12 : FG-18-03 – Essai au scissomètre Nilcon

CLIENT Ressources Métanor **N/D. :** HY18-010-2
PROJET Étude géotechnique et hydrogéologique pour l'agrandissement du parc à résidus
LIEU Mine Bachelor, 200, chemin de la mine, Desmaraisville, Qc

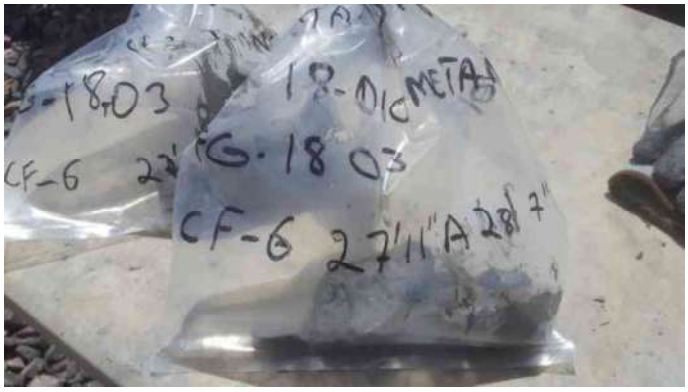
No 13 : FG-18-03 – Cuillère fendue CF-05

No 14 : FG-18-03 – Échantillonnage de la cuillère fendue CF-05

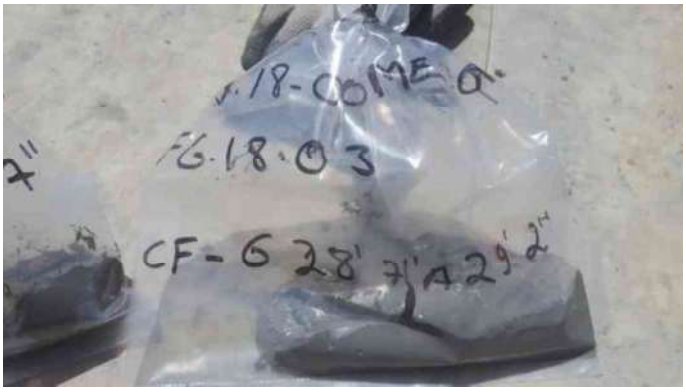
No 15 : FG-18-03 – Cuillère fendue CF-06

No 16 : FG-18-03 – Échantillonnage de la cuillère fendue CF-06A

No 17 : FG-18-03 – Échantillonnage de la cuillère fendue CF-06B



No 18 : FG-18-03 – Échantillonnage de la cuillère fendue CF-06C



CLIENT Ressources Métanor **N/D. :** HY18-010-2
PROJET Étude géotechnique et hydrogéologique pour l'agrandissement du parc à résidus
LIEU Mine Bachelor, 200, chemin de la mine, Desmaraisville, Qc

No 19 : FG-18-03 – Cuillère fendue CF-07

No 20 : FG-18-03 – Échantillonnage de la cuillère fendue CF-07

No 21 : FG-18-03 – Récupération de la carotte de roc forée

No 22 : FG-18-03 – Échantillonnage du socle rocheux

No 23 : FG-18-03 – État des lieux à la fin des travaux

CLIENT Ressources Métanor **N/D. :** HY18-010-2
PROJET Étude géotechnique et hydrogéologique pour l'agrandissement du parc à résidus
LIEU Mine Bachelor, 200, chemin de la mine, Desmaraisville, Qc

No 1 : FG-18-04 – Site du forage

No 2 : FG-18-04 – Arrivée de l'équipement

No 3 : FG-18-04 – Installation de la foreuse

No 4 : FG-18-04 – Mise à niveau de la foreuse

No 5 : FG-18-04 – Début de l'essai de pénétration standard

No 6 : FG-18-04 – Équipements d'échantillonnage

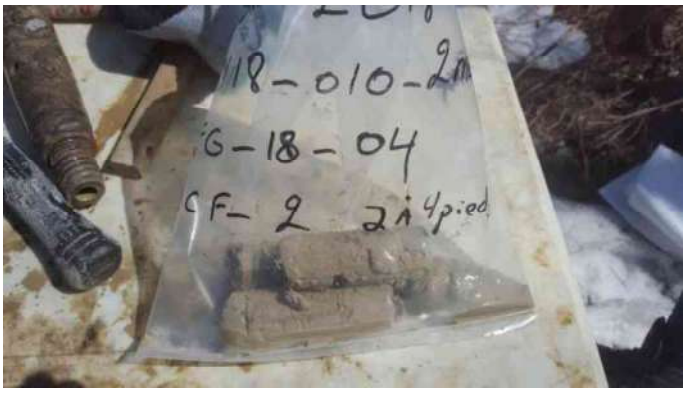
CLIENT Ressources Métanor **N/D. :** HY18-010-2
PROJET Étude géotechnique et hydrogéologique pour l'agrandissement du parc à résidus
LIEU Mine Bachelor, 200, chemin de la mine, Desmaraisville, Qc

No 7 : FG-18-04 – Cuillère fendue CF-01

No 8 : FG-18-04 – Échantillonnage de la cuillère fendue CF-01

No 9 : FG-18-04 – Cuillère fendue CF-02

No 10 : FG-18-04 – Échantillonnage de la cuillère fendue CF-02



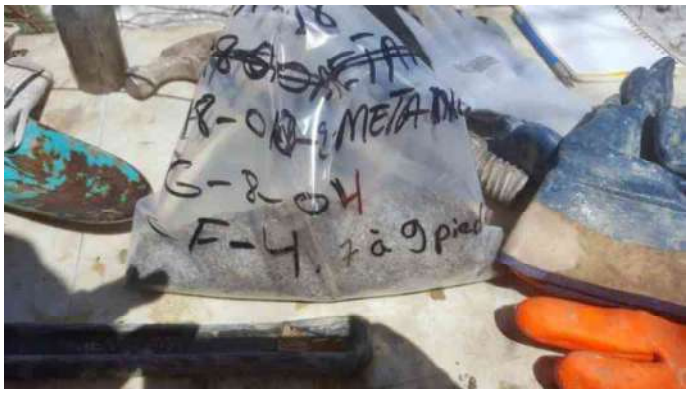
No 11 : FG-18-04 – Cuillère fendue CF-03

No 12 : FG-18-04 – Échantillonnage de la cuillère fendue CF-03

CLIENT Ressources Métanor **N/D. :** HY18-010-2
PROJET Étude géotechnique et hydrogéologique pour l'agrandissement du parc à résidus
LIEU Mine Bachelor, 200, chemin de la mine, Desmaraisville, Qc

No 13 : FG-18-04 – Cuillère fendue CF-04

No 14 : FG-18-04 – Échantillonnage de la cuillère fendue CF-04



No 15 : FG-18-04 – Cuillère fendue CF-05

No 16 : FG-18-04 – Cuillère fendue CF-06

No 17 : FG-18-04 – Échantillonnage du socle rocheux

No 18 : FG-18-04 – État des lieux à la fin du forage

CLIENT Ressources Métanor **N/D. :** HY18-010-2
PROJET Étude géotechnique et hydrogéologique pour l'agrandissement du parc à résidus
LIEU Mine Bachelor, 200, chemin de la mine, Desmaraisville, Qc

No 1 : FG-18-05 – Vue éloignée du site

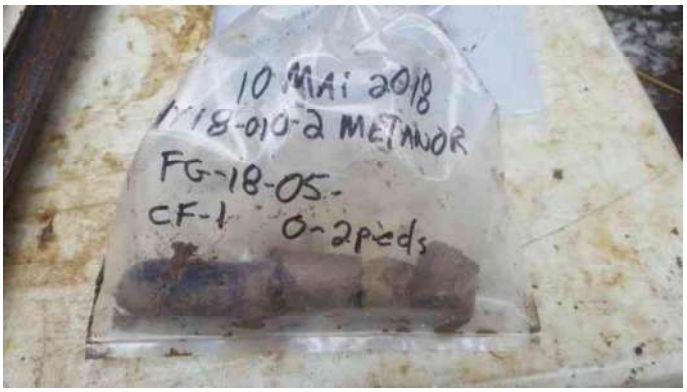
No 2 : FG-18-05 – Échantillonnage de la cuillère fendue CF-04

No 3 : FG-18-05 – Équipements d'échantillonnage

No 4 : FG-18-05 – Début du forage

No 5 : FG-18-05 – Cuillère fendue CF-01

No 6 : FG-18-05 – Échantillonnage de la cuillère fendue CF-01



CLIENT Ressources Métanor **N/D. :** HY18-010-2
PROJET Étude géotechnique et hydrogéologique pour l'agrandissement du parc à résidus
LIEU Mine Bachelor, 200, chemin de la mine, Desmaraisville, Qc

No 7 : FG-18-05 – Cuillère fendue CF-02

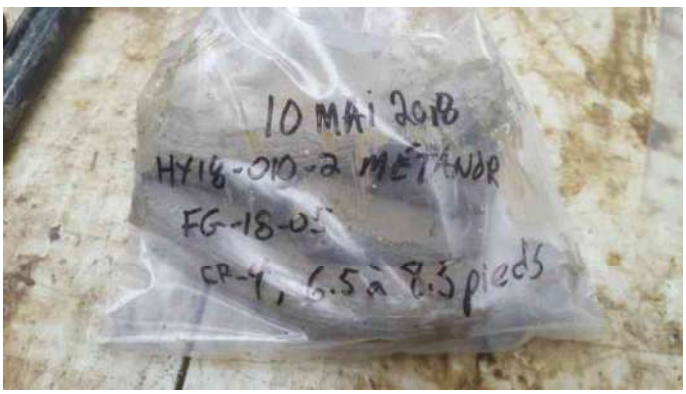
No 8 : FG-18-05 – Échantillonnage de la cuillère fendue CF-02

No 9 :FG-18-05 – Cuillère fendue CF-03

No 10 : FG-18-05 – Échantillonnage de la cuillère fendue CF-03

No 11 : FG-18-05 – Cuillère fendue CF-04

No 12 : FG-18-05 – Échantillonnage de la cuillère fendue CF-04

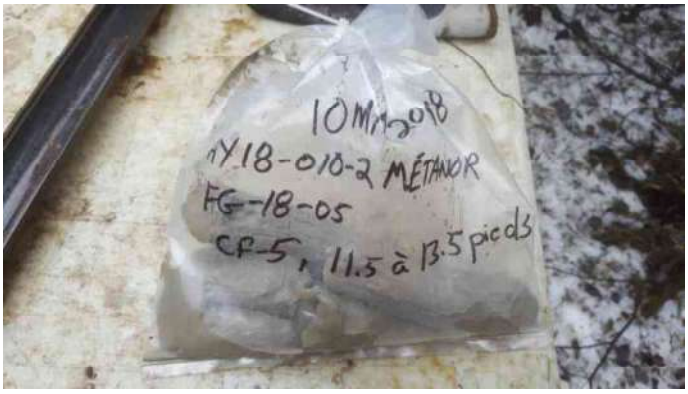


No 13 : FG-18-05 – Récupération du tube Shelby

No 14 : FG-18-05 – Vue du tube Shelby préparé pour l'expédition

No 15 : FG-18-05 – Cuillère fendue CF-05

No 16 : FG-18-05 – Échantillonnage de la cuillère fendue CF-05



No 17 : FG-18-05 – Cuillère fendue CF-06

No 18 : FG-18-05 – Cuillère fendue CF-07

CLIENT Ressources Métanor **N/D. :** HY18-010-2
PROJET Étude géotechnique et hydrogéologique pour l'agrandissement du parc à résidus
LIEU Mine Bachelor, 200, chemin de la mine, Desmaraisville, Qc

No 19 : FG-18-05 – Échantillonnage de la cuillère fendue CF-07

No 20 : FG-18-05 – Cuillère fendue CF-08

No 21 : FG-18-05 – Récupération du roc foré

No 22 : FG-18-05 – Échantillonnage du socle rocheux

No 23 : FG-18-05 – Témoin du basalte foré

No 24 : FG-18-05 – État des lieux à la fin des travaux

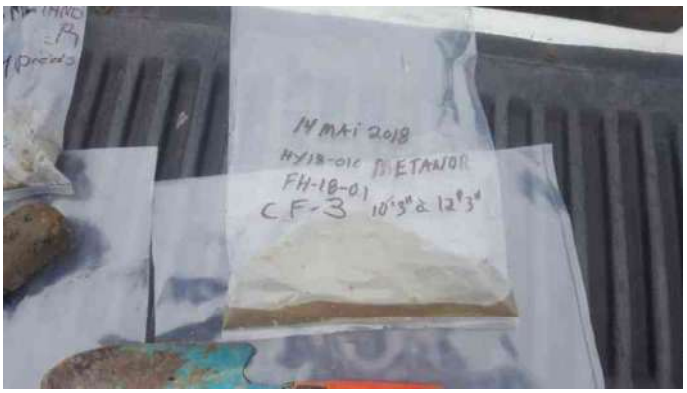
CLIENT Ressources Métanor **N/D. :** HY18-010-2
PROJET Étude géotechnique et hydrogéologique pour l'agrandissement du parc à résidus
LIEU Mine Bachelor, 200, chemin de la mine, Desmaraisville, Qc

No 1 : FH-18-01 – Installation des équipements de forage

No 2 : FH-18-01R – Échantillonnage de la cuillère fendue CF-01

No 3 : FH-18-01R – Échantillonnage de la cuillère fendue CF-02

No 4 : FH-18-01R – Échantillonnage de la cuillère fendue CF-03



No 5 : FH-18-01R – Échantillonnage du socle rocheux

No 6 : FH-18-01R – Mesure De la profondeur du forage

CLIENT Ressources Métanor **N/D. :** HY18-010-2
PROJET Étude géotechnique et hydrogéologique pour l'agrandissement du parc à résidus
LIEU Mine Bachelor, 200, chemin de la mine, Desmaraisville, Qc

No 7 : FH-18-01R – Montage du piézomètre et application du sable filtrant

No 8 : FH-18-01R – Peltonite utilisée pour le montage du piézomètre

No 9 : FH-18-01R – Bentonite utilisée pour le montage du piézomètre

No 10 : FH-18-01 R– Application de la Peltonite

No 11 : FH-18-01R – Application de la Bentonite

No 12 : FH-18-01R – Montage du piézomètre terminé

CLIENT Ressources Métanor **N/D. :** HY18-010-2
PROJET Étude géotechnique et hydrogéologique pour l'agrandissement du parc à résidus
LIEU Mine Bachelor, 200, chemin de la mine, Desmaraisville, Qc

No 13 : FH-18-01R – Tubage protecteur installé

No 14 : FH-18-01R –Piézomètre terminé avec tubage protecteur et tertre

No 15 : FH-18-01MT – Installation de la foreuse sur le site du piézomètre

No 16 : FH-18-01MT – Remplissage et installation du piézomètre

No 17 : FH-18-01R et MT – Développement des piézomètres

No 18 : FH-18-01R – Eau pompée éclaircie lors du développement

CLIENT Ressources Métanor **N/D. :** HY18-010-2
PROJET Étude géotechnique et hydrogéologique pour l'agrandissement du parc à résidus
LIEU Mine Bachelor, 200, chemin de la mine, Desmaraisville, Qc

No 19 : FH-18-01MT – Eau pompée éclaircie lors du développement

No 20 : : FH-18-01R et MT – Prise de niveaux d'eau dans les piézomètres

No 21 : FH-18-01R et MT – Prise de mesures avec la sonde multi paramètres

No 22 : : FH-18-01R et MT – Essai de perméabilité dans les piézomètres

CLIENT Ressources Métanor **N/D. :** HY18-010-2
PROJET Étude géotechnique et hydrogéologique pour l'agrandissement du parc à résidus
LIEU Mine Bachelor, 200, chemin de la mine, Desmaraisville, Qc

No 1 : GH-18-02 – Cuillère fendue CF-01

No 2 : GH-18-02 – Échantillonnage de la cuillère fendue CF-01

No 3 : GH-18-02 – Échantillonnage de la cuillère fendue CF-02

No 4 : GH-18-02 – Échantillonnage du socle rocheux

No 5 : GH-18-02R – Vue du site après les travaux de forage et d'installation du piézomètre

No 6 : GH-18-02R – Développement du piézomètre

CLIENT Ressources Métanor **N/D. :** HY18-010-2
PROJET Étude géotechnique et hydrogéologique pour l'agrandissement du parc à résidus
LIEU Mine Bachelor, 200, chemin de la mine, Desmaraisville, Qc

No 7 : GH-18-02R – Vue rapprochée de l'eau lors du développement

No 8 : GH-18-02R – Eau de pompage éclaircie lors du développement

No 9 : GH-18-02R – Prise de niveaux d'eau dans le piézomètre

No 10 : GH-18-02R – Prise de mesures avec la sonde multi paramètres

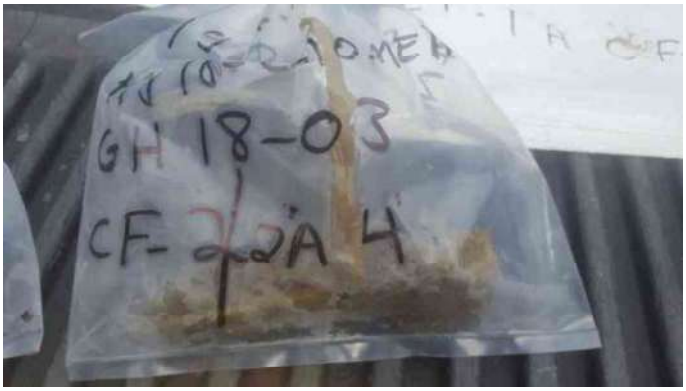
CLIENT Ressources Métanor **N/D. :** HY18-010-2
PROJET Étude géotechnique et hydrogéologique pour l'agrandissement du parc à résidus
LIEU Mine Bachelor, 200, chemin de la mine, Desmaraisville, Qc

No 1 : GH-18-03 – Installation des équipements de forage

No 2 : GH-18-03 – Échantillonnage de la cuillère fendue CF-01

No 3 : GH-18-03 – Cuillère fendue CF-02

No 4 : GH-18-03 – Échantillonnage de la cuillère fendue CF-02



No 5 : GH-18-03 – Échantillonnage au tube Shelby

No 6 : GH-18-03 – Échantillonnage du socle rocheux

CLIENT Ressources Métanor **N/D. :** HY18-010-2
PROJET Étude géotechnique et hydrogéologique pour l'agrandissement du parc à résidus
LIEU Mine Bachelor, 200, chemin de la mine, Desmaraisville, Qc

No 7 : GH-18-03R et MT – Vue du tubage 50 mm utilisé

No 8 : GH-18-03R et MT – Vue rapprochée de la crépine 50 mm utilisée

No 9 : GH-18-03R et MT – Sable filtrant utilisé

No 10 : GH-18-03R et MT – Peltonite utilisée

No 11 GH-18-03R et MT– Bentonite utilisée

No 12 : GH-18-03R – Montage du piézomètre

CLIENT Ressources Métanor **N/D. :** HY18-010-2
PROJET Étude géotechnique et hydrogéologique pour l'agrandissement du parc à résidus
LIEU Mine Bachelor, 200, chemin de la mine, Desmaraisville, Qc

No 13 : GH-18-03R – Mesure de la profondeur

No 14 : GH-18-03R – Dépôt du sable filtrant au niveau de la crépine

No 15 : GH-18-03R – Dépôt de la peltonite au-dessus de la crépine

No 16 : GH-18-03R – Installation du tubage protecteur de 150 mm

No 17 : GH-18-03R – Application de la bentonite afin de terminer le montage

No 18 : GH-18-03MT – Installation de la foreuse

CLIENT Ressources Métanor **N/D. :** HY18-010-2
PROJET Étude géotechnique et hydrogéologique pour l'agrandissement du parc à résidus
LIEU Mine Bachelor, 200, chemin de la mine, Desmaraisville, Qc

No 19 : GH-18-03MT – Montage du piézomètre

No 20 : GH-18-03MT – Mesure de profondeur

No 21 : GH-18-03MT – Dépôt du sable au niveau de la crépine

No 22 : GH-18-03MT – Application de la Peltonite au-dessus de la crépine

No 23 : GH-18-03MT – Tiges de forage retirées

No 24 : GH-18-03MT – Insertion du tubage protecteur de 150 mm

CLIENT Ressources Métanor **N/D. :** HY18-010-2
PROJET Étude géotechnique et hydrogéologique pour l'agrandissement du parc à résidus
LIEU Mine Bachelor, 200, chemin de la mine, Desmaraisville, Qc

No 25 : GH-18-03R et MT – Vue des piézomètres terminés

No 26 : GH-18-03R et MT – Prise de niveaux d'eau dans les piézomètres

No 27 : GH-18-03R et MT – Développement des piézomètres

No 28 : GH-18-03R et MT – Fin du développement, eau éclaircie

No 29 : GH-18-03 – Prise de données avec la sonde multi paramètres

No 30 : GH-18-03R et MT – Vue du site après les travaux

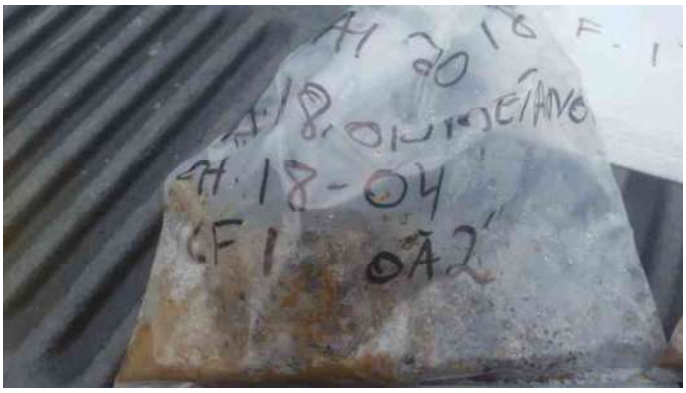
CLIENT Ressources Métanor **N/D. :** HY18-010-2
PROJET Étude géotechnique et hydrogéologique pour l'agrandissement du parc à résidus
LIEU Mine Bachelor, 200, chemin de la mine, Desmaraisville, Qc

No 1 : GH-18-04 – Vue éloignée du site de forage

No 2 : GH-18-04 – Début des travaux

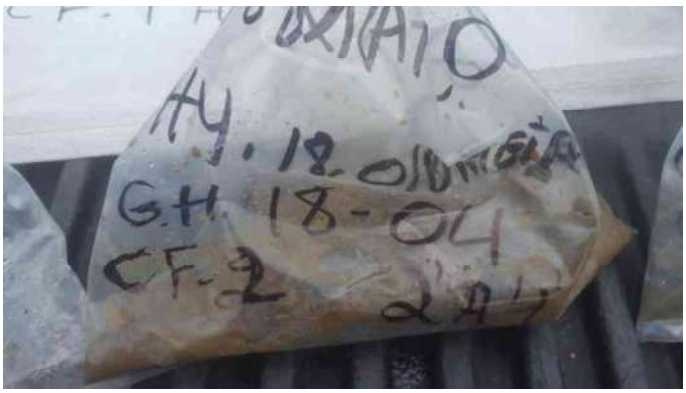
No 3 : GH-18-04 – Cuillère fendue CF-01

No 4 : GH-18-04 – Échantillonnage de la cuillère fendue CF-01



No 5 : GH-18-04 – Cuillère fendue CF-02

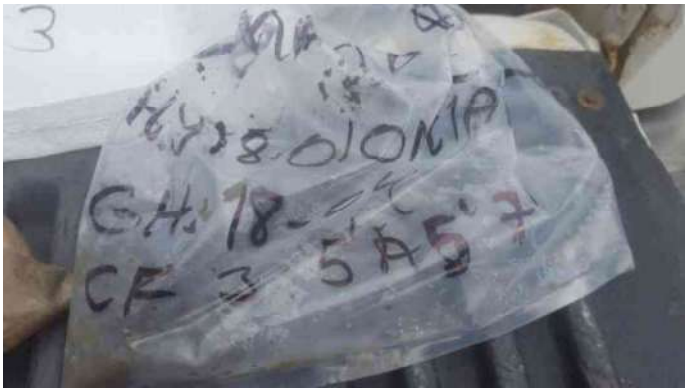
No 6 : GH-18-04 – Échantillonnage de la cuillère fendue CF-02



CLIENT Ressources Métanor **N/D. :** HY18-010-2
PROJET Étude géotechnique et hydrogéologique pour l'agrandissement du parc à résidus
LIEU Mine Bachelor, 200, chemin de la mine, Desmaraisville, Qc

No 7 : GH-18-04 – Cuillère fendue CF-03

No 8 : GH-18-04 – Échantillonnage de la cuillère fendue CF-03



No 9 : GH-18-04 – Cuillère fendue CF-04

No 10 : GH-18-04 – Échantillonnage du socle rocheux

No 11 : GH-18-04R – Vue du piézomètre terminé

No 12 : GH-18-04R – Prise de niveaux d'eau du piézomètre

CLIENT Ressources Métanor **N/D. :** HY18-010-2
PROJET Étude géotechnique et hydrogéologique pour l'agrandissement du parc à résidus
LIEU Mine Bachelor, 200, chemin de la mine, Desmaraisville, Qc

No 13 : GH-18-04R – Essai de perméabilité sur le piézomètre

No 14 : GH-18-04 – Développement du piézomètre

No 15 : GH-18-04 – Prise de données avec la sonde multi paramètres

No 16 : GH-18-04 – Vue de l'eau claire à la fin du développement

No 17 : GH-18-04 – Vue de l'intérieur du piézomètre

No 18 : GH-18-04 – Vue du site après les travaux

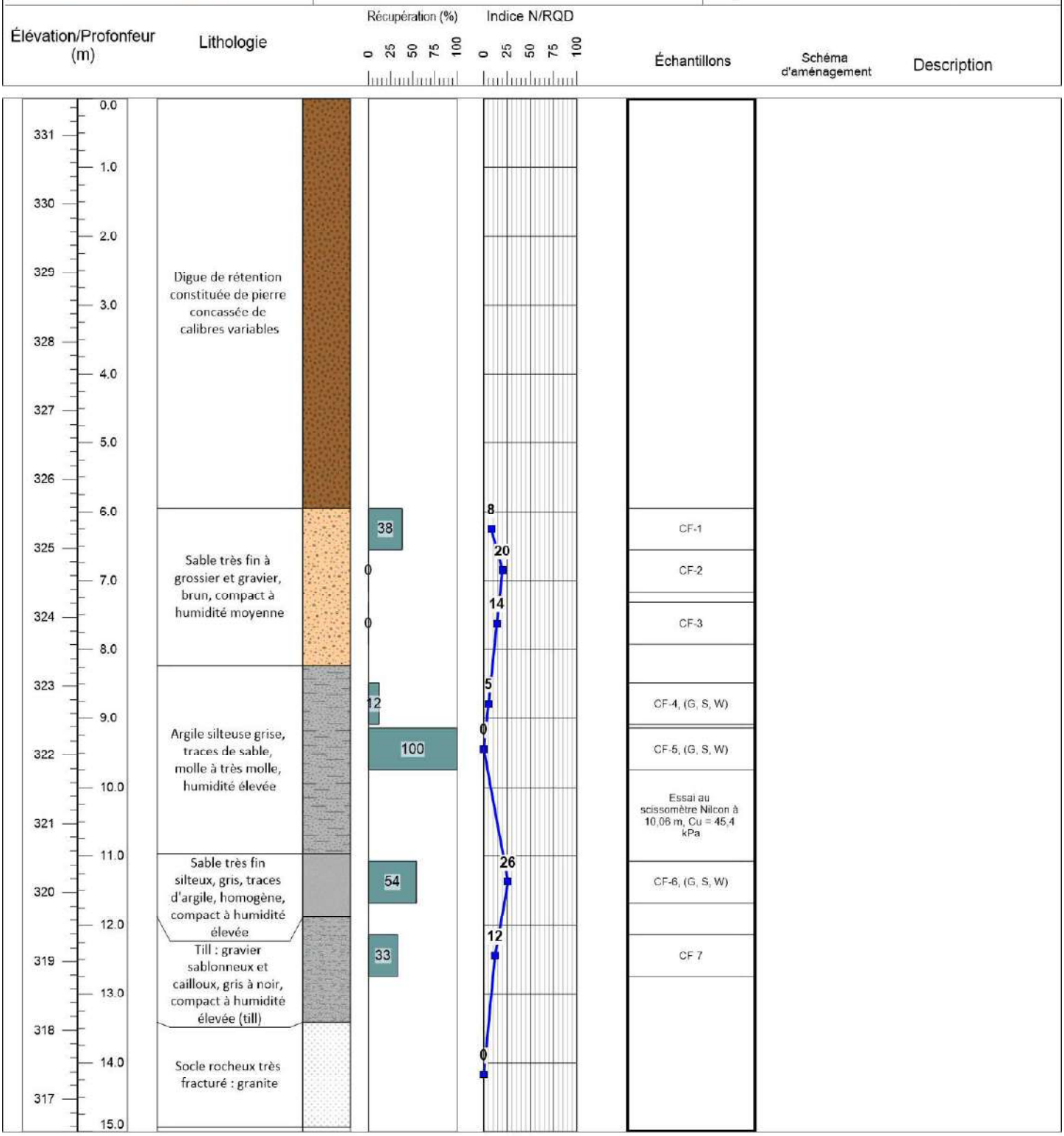
ANNEXE 3 : RAPPORTS DE FORAGE

Coupe géologique et technique

Richelieu Hydrogéologie inc.

Identification: FG-18-01
Localisation: Mine Bachelor, Démaraisville, QC
Date du forage: 16 mai 2018
Client: Richelieu Hydrogéologie
Projet: Étude géotechnique

Coordonnées
X: 417486
Y: 5483462
Z: 331.53
Système et fuseau: UTM, Nad83, Zone19



Entrepreneur: Technofor
Méthode de forage: Forage géotechnique

Description: Mathieu Dufour
Vérification: Richard Dufour, ing.

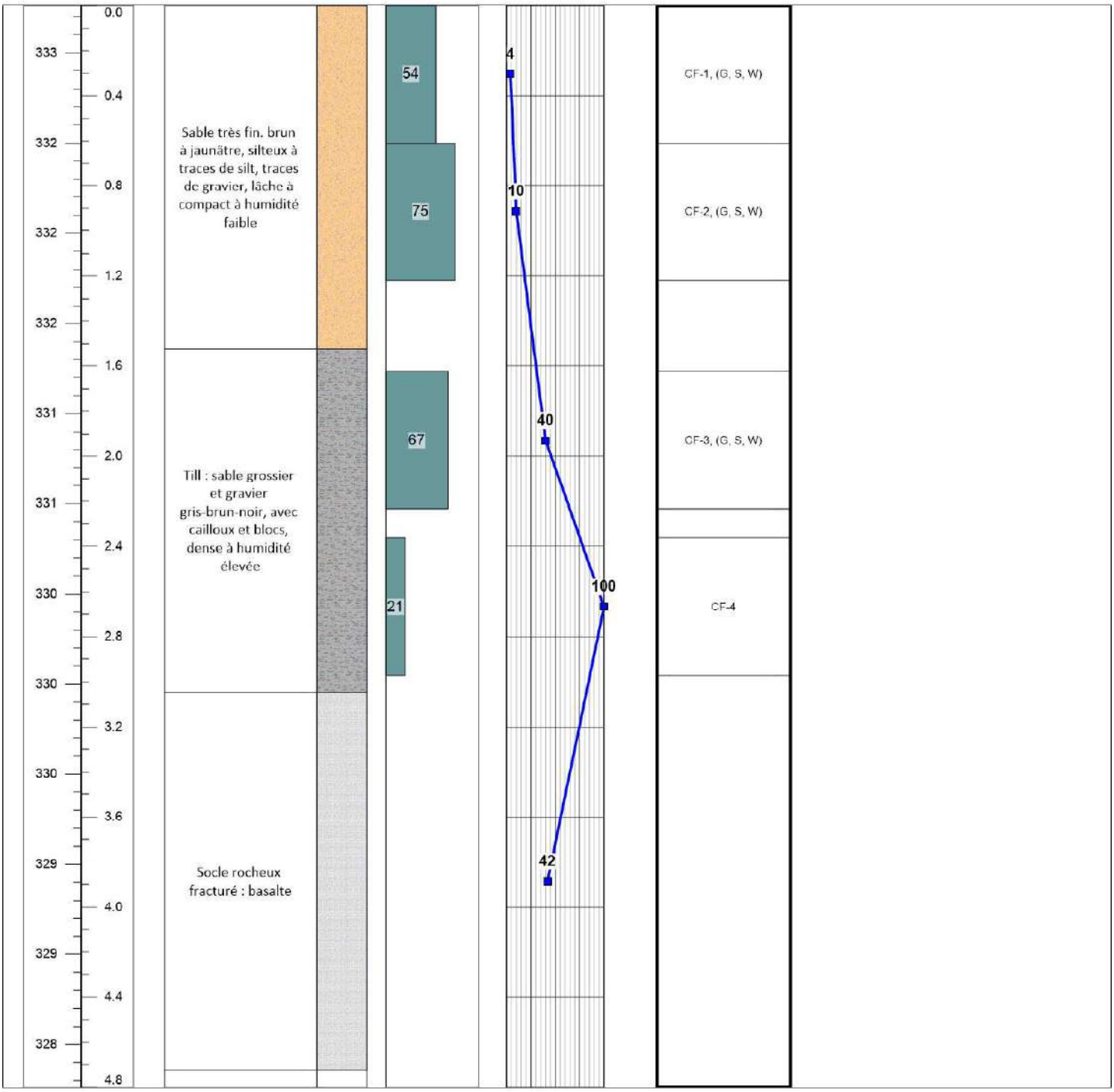
Matériaux
Couvercle
Tout venant
Bentonite
Tubage
Peltonite
Sable de silice

Coupe géologique et technique

Richelieu Hydrogéologie inc.

Identification: FG-18-02
Localisation: Mine Bachelor, Démaraisville, QC
Date du forage: 20 mai 2018
Client: Richelieu Hydrogéologie
Projet: Étude géotechnique

Coordonnées
X: 417270
Y: 5482549
Z: 333.01
Système et fuseau: UTM, Nad83, Zone19



Entrepreneur: Technofor
Méthode de forage: Forage géotechnique

Description: Mathieu Dufour
Vérification: Richard Dufour, ing.

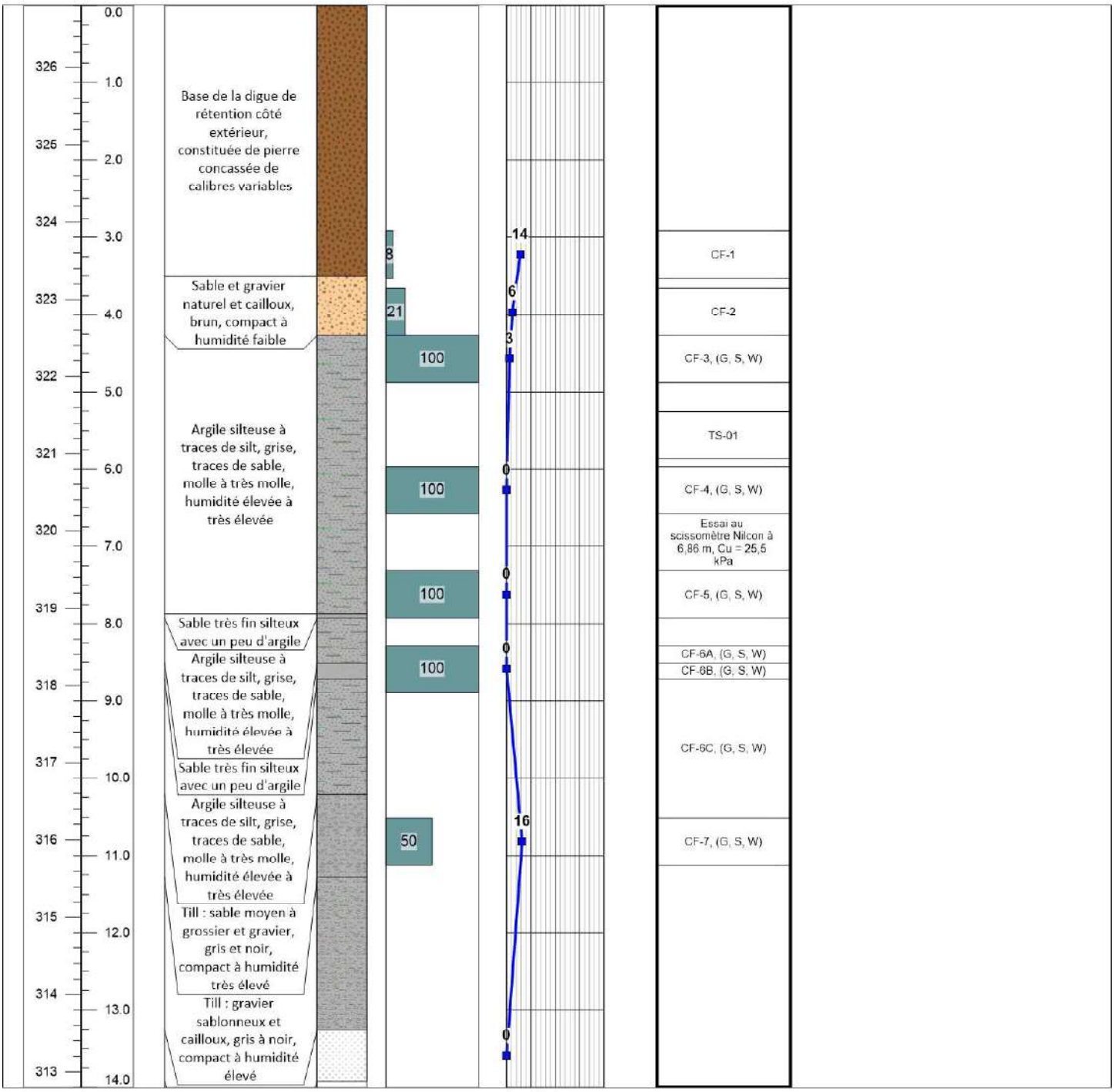
Matériaux
Couvercle
Tout venant
Bentonite
Tubage
Peltonite
Sable de silice

Coupe géologique et technique

Richelieu Hydrogéologie inc.

Identification: FG-18-03
Localisation: Mine Bachelor, Démaraisville, QC
Date du forage: 17 mai 2018
Client: Richelieu Hydrogéologie
Projet: Étude géotechnique

Coordonnées
X: 417354
Y: 5483545
Z: 326.8
Système et fuseau: UTM, Nad83, Zone19



Entrepreneur: Technofor
Méthode de forage: Forage géotechnique

Description: Mathieu Dufour
Vérification: Richard Dufour, ing.

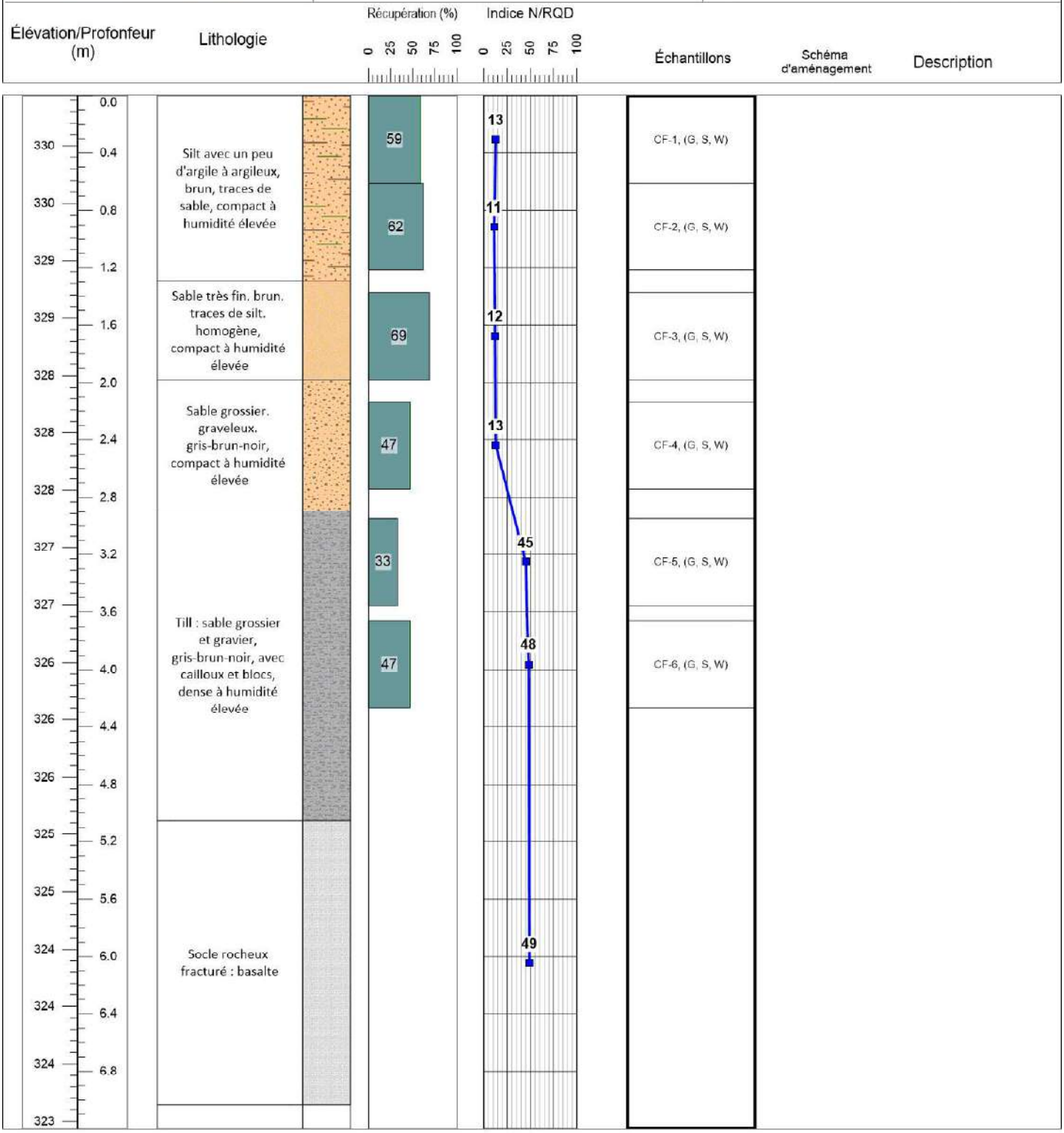
Matériaux
Couvercle, Tout venant, Bentonite
Tubage, Peltonite, Sable de silice

Coupe géologique et technique

Richelieu Hydrogéologie inc.

Identification: FG-18-04
Localisation: Mine Bachelor, Démaraisville, QC
Date du forage: 10 mai 2018
Client: Richelieu Hydrogéologie
Projet: Étude géotechnique

Coordonnées
X: 416729
Y: 5483197
Z: 330.35
Système et fuseau: UTM, Nad83, Zone19



Entrepreneur: Technofor
Méthode de forage: Forage géotechnique

Description: Mathieu Dufour
Vérification: Richard Dufour, ing.

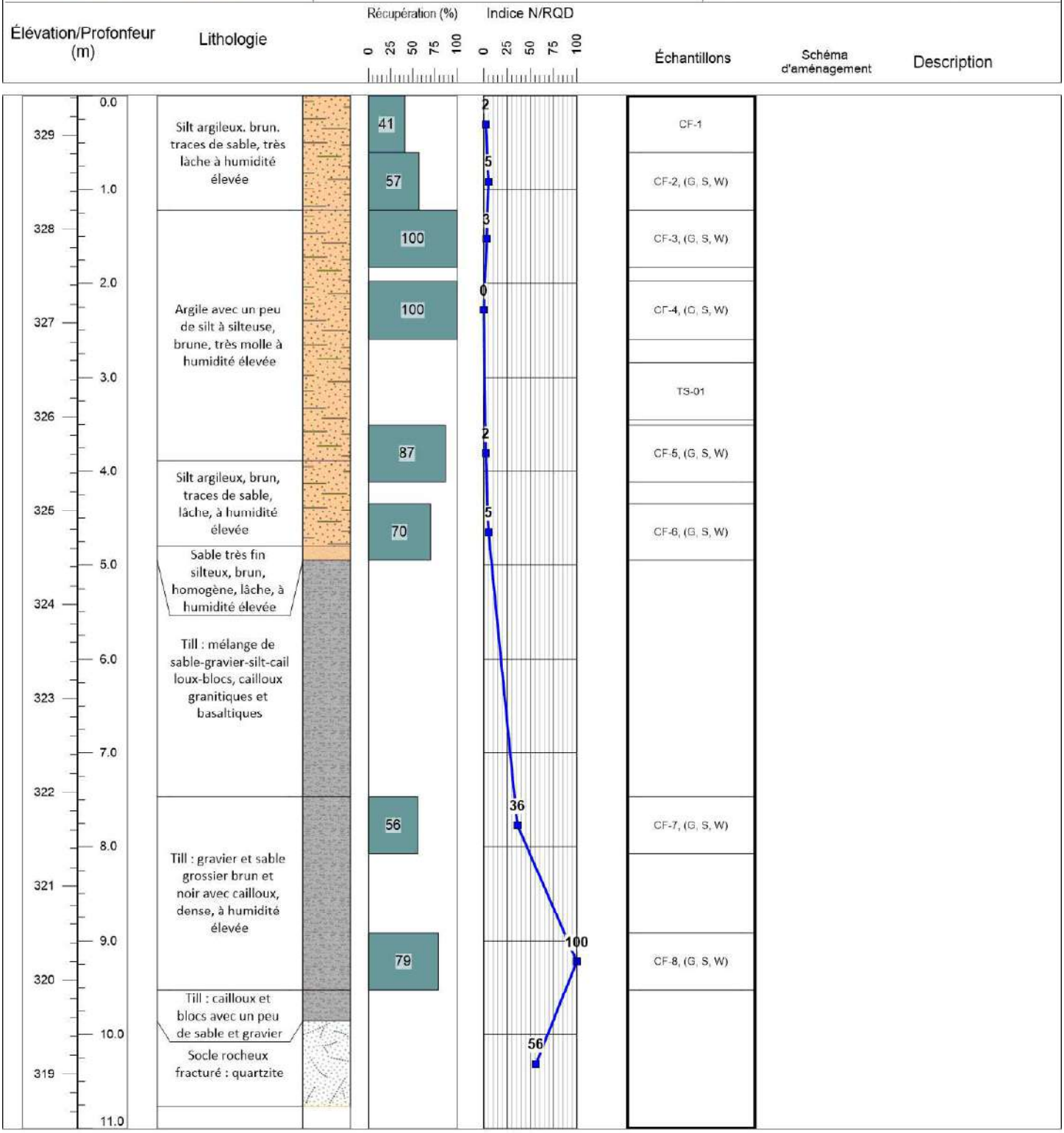
Matériaux
Couvercle
Tout venant
Bentonite
Tubage
Peltonite
Sable de silice

Coupe géologique et technique

Richelieu Hydrogéologie inc.

Identification: FG-18-05
Localisation: Mine Bachelor, Démaraisville, QC
Date du forage: 11 mai 2018
Client: Richelieu Hydrogéologie
Projet: Étude géotechnique

Coordonnées
X: 416840
Y: 5483221
Z: 329.42
Système et fuseau: UTM, Nad83, Zone19



Entrepreneur: Technofor
Méthode de forage: Forage géotechnique

Description: Mathieu Dufour
Vérification: Richard Dufour, ing.

Matériaux
Couvercle
Tout venant
Bentonite
Tubage
Peltonite
Sable de silice

Coupe géologique et technique

Richelieu Hydrogéologie inc.

Identification: FH-18-01MT
Localisation: Mine Bachelor, Démaraisville, QC
Date du forage: 21 mai 2018
Client: Richelieu Hydrogéologie
Projet: Étude géotechnique

Coordonnées

X: 417549
Y: 5483625
Z: 327.14
Système et fuseau: UTM, Nad83, Zone19

Élévation/Profondeur (m)	Lithologie	Récupération (%) 0 25 50 75 100	Indice N/RQD 0 25 50 75 100	Échantillons	Schéma d'aménagement	Description
328 -1.2 / -0.8						Couvercle cadenassé
328 -0.4 / 327 0.0						Collerette de bentonite
327 0.4 / 326 0.8	Sable avec un peu de silt brun-roux, homogène, lâche à humidité moyenne					Tubage protecteur de PVC de 150 mm de diamètre - Longueur : 1.82 m (incluant margelle) - Margelle : 0,95 m Bentonite
326 1.2 / 326 1.6	Argile silteuse brune, traces de sable, molle à humidité élevée					Tubage de PVC de 50 mm de diamètre - Longueur : 3,46 m (incluant margelle) - Margelle : 0,95 m Forage en 150 mm (6") Peltonite
325 2.0 / 325 2.4					1,39 m, 21 mai 2018	Sable filtre
324 2.8 / 324 3.2	Sable grossier et gravier, beige, traces de silt, lâche à humidité élevée					Crépine en PVC de 50 mm de diamètre - Ouverture 0.25 mm (0,010") - Longueur : 1,524 m - Entre 2,51 et 4,04 m
324 3.6 / 323 4.0						
323 4.4 / 322 4.8	Till : sable grossier et gravier, avec cailloux, dense à humidité élevée					Fin du forage à 4,04 m
322 5.2						

Entrepreneur: Technofor
Méthode de forage: Forage géotechnique

Description: Mathieu Dufour
Vérification: Richard Dufour, ing.

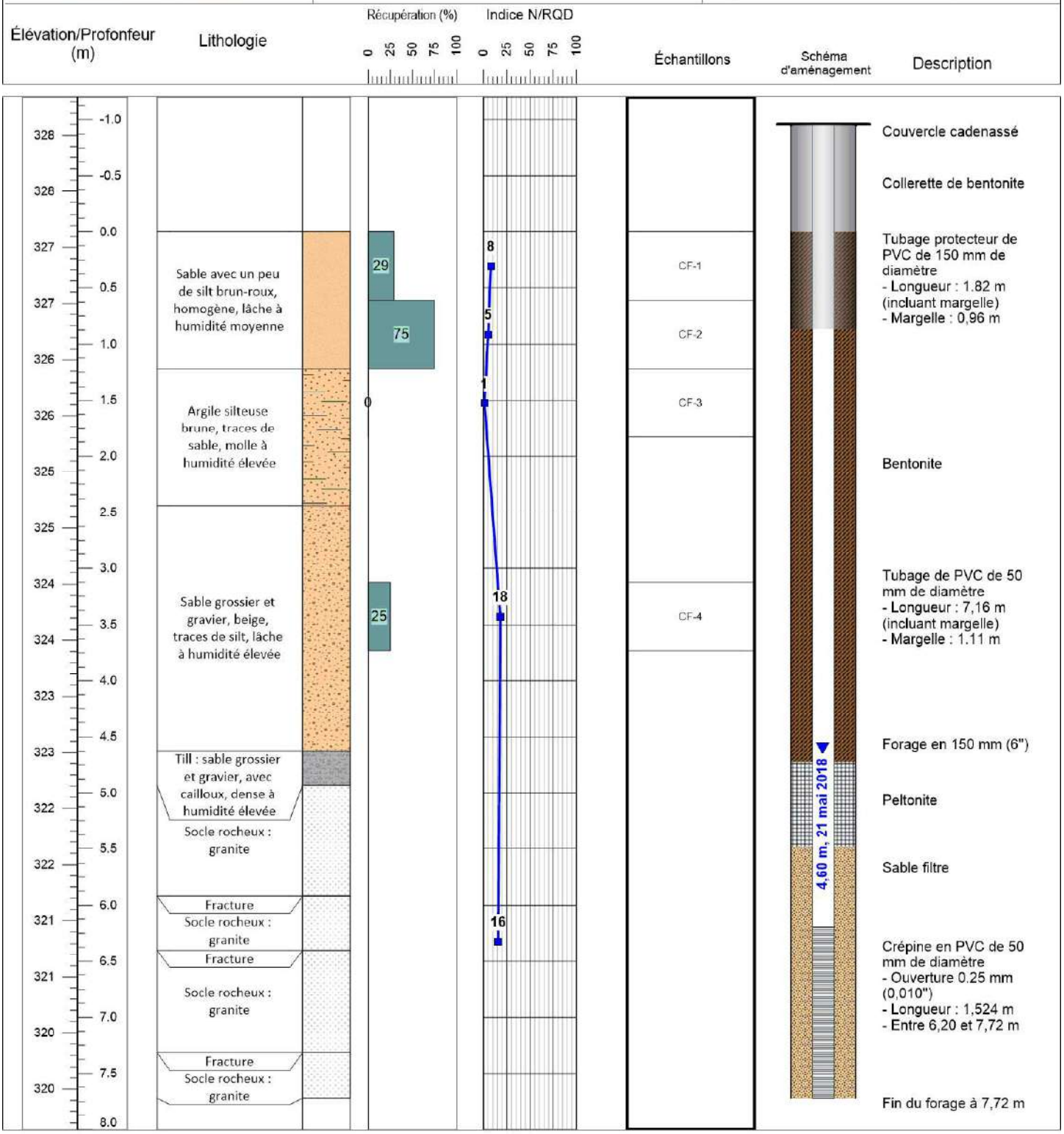
Matériaux
Couvercle | Tout venant | Bentonite
Tubage | Peltonite | Sable de silice

Coupe géologique et technique

Richelieu Hydrogéologie inc.

Identification: FH-18-01R
Localisation: Mine Bachelor, Démaraisville, QC
Date du forage: 21 mai 2018
Client: Richelieu Hydrogéologie
Projet: Étude géotechnique

Coordonnées
X: 417548
Y: 5483627
Z: 327.14
Système et fuseau: UTM, Nad83, Zone19



Entrepreneur: Technofor
Méthode de forage: Forage géotechnique

Description: Mathieu Dufour
Vérification: Richard Dufour, ing.

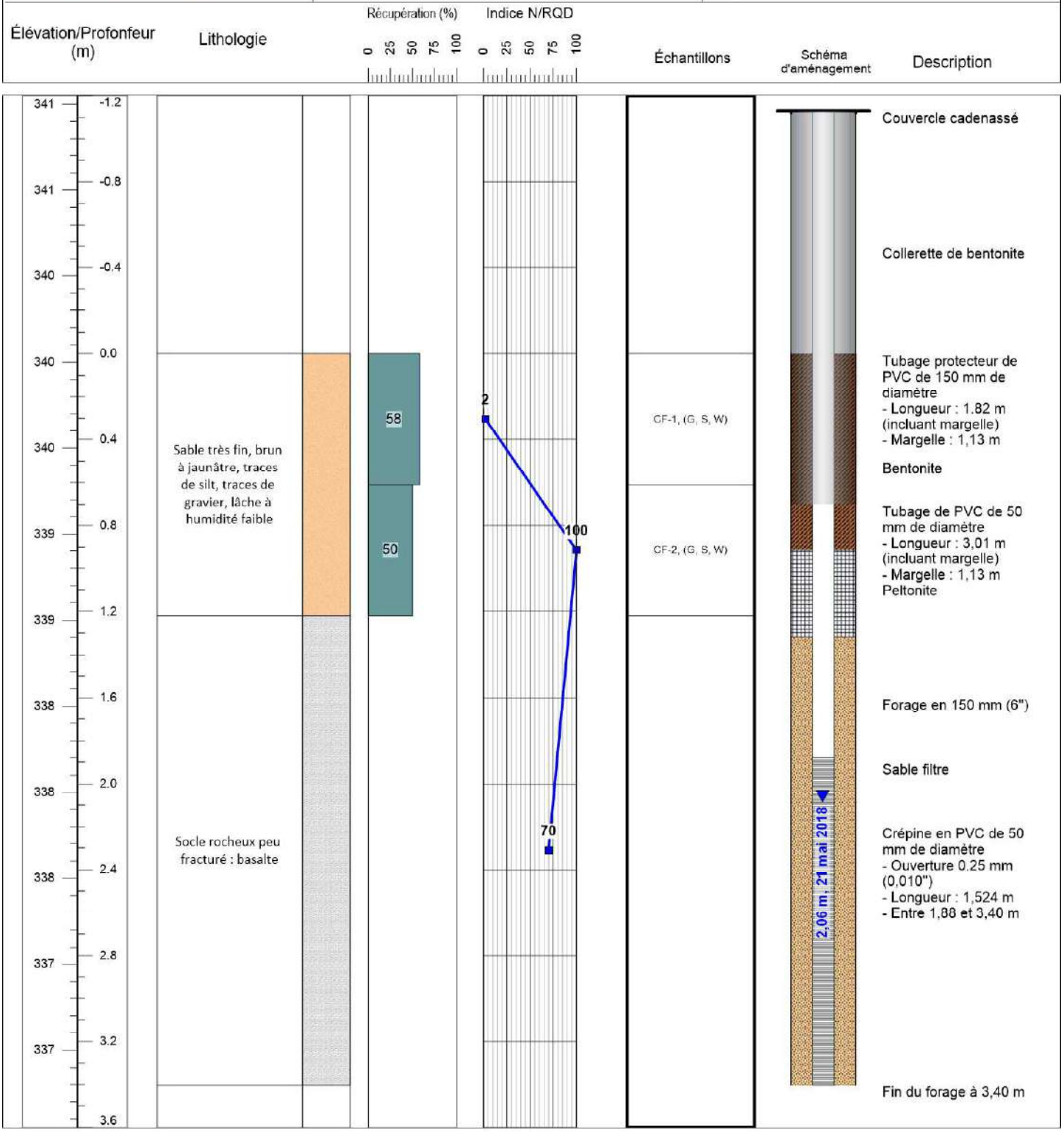
Matériaux
Couvercle | Tout venant | Bentonite
Tubage | Peltonite | Sable de silice

Coupe géologique et technique

Richelieu Hydrogéologie inc.

Identification: GH-18-02R
Localisation: Mine Bachelor, Démaraisville, QC
Date du forage: 20 mai 2018
Client: Richelieu Hydrogéologie
Projet: Étude géotechnique

Coordonnées
X: 417938
Y: 5482781
Z: 340.04
Système et fuseau: UTM, Nad83, Zone19



Entrepreneur: Technofor
Méthode de forage: Forage géotechnique

Description: Mathieu Dufour
Vérification: Richard Dufour, ing.

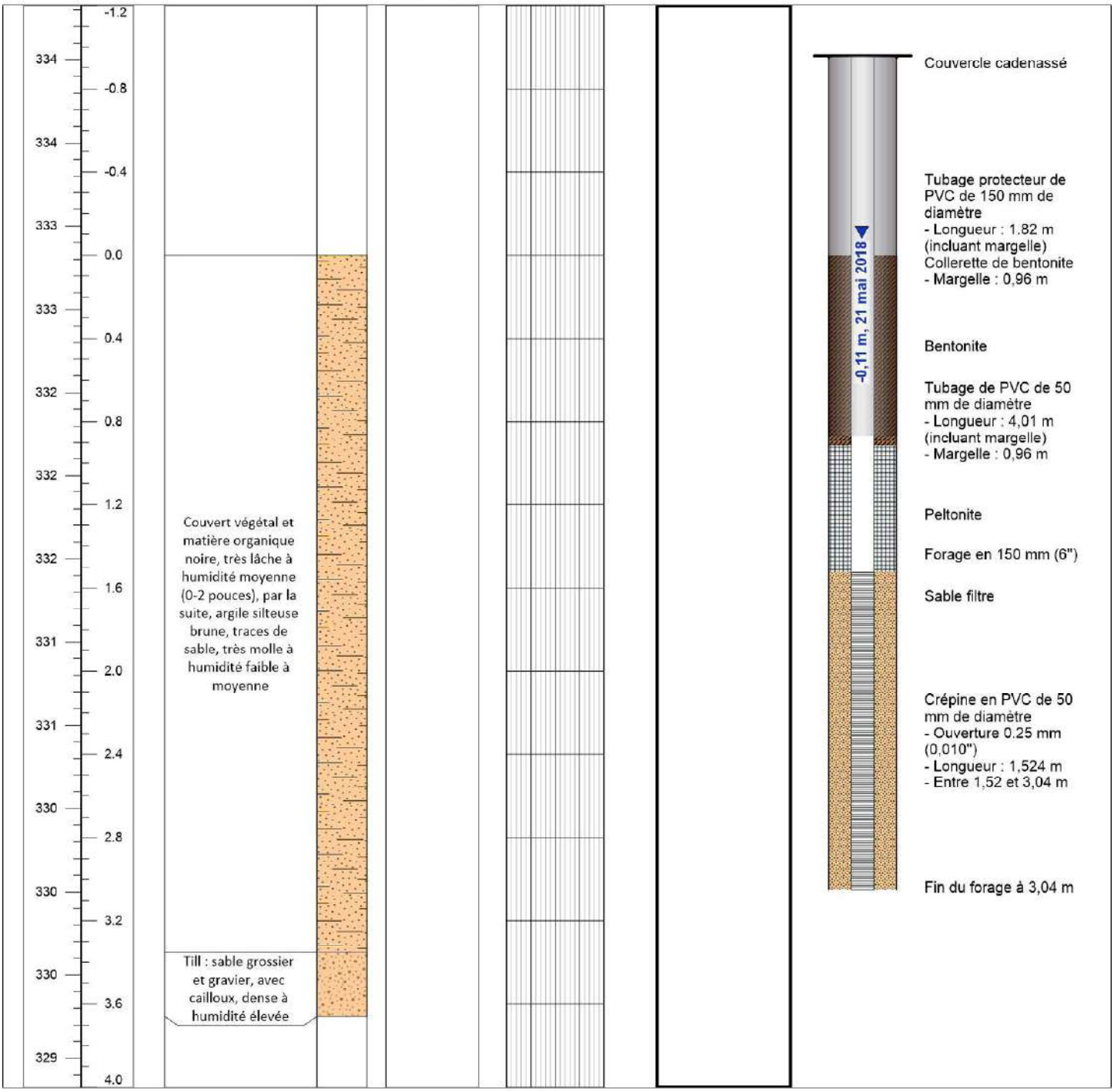
Matériaux
Couvercle | Tout venant | Bentonite
Tubage | Peltonite | Sable de silice

Coupe géologique et technique

Richelieu Hydrogéologie inc.

Identification: GH-18-03MT
Localisation: Mine Bachelor, Démaraisville, QC
Date du forage: 19 mai 2018
Client: Richelieu Hydrogéologie
Projet: Étude géotechnique

Coordonnées
X: 417702
Y: 5482676
Z: 333.06
Système et fuseau: UTM, Nad83, Zone19



Entrepreneur: Technofor
Méthode de forage: Forage géotechnique

Description: Mathieu Dufour
Vérification: Richard Dufour, ing.

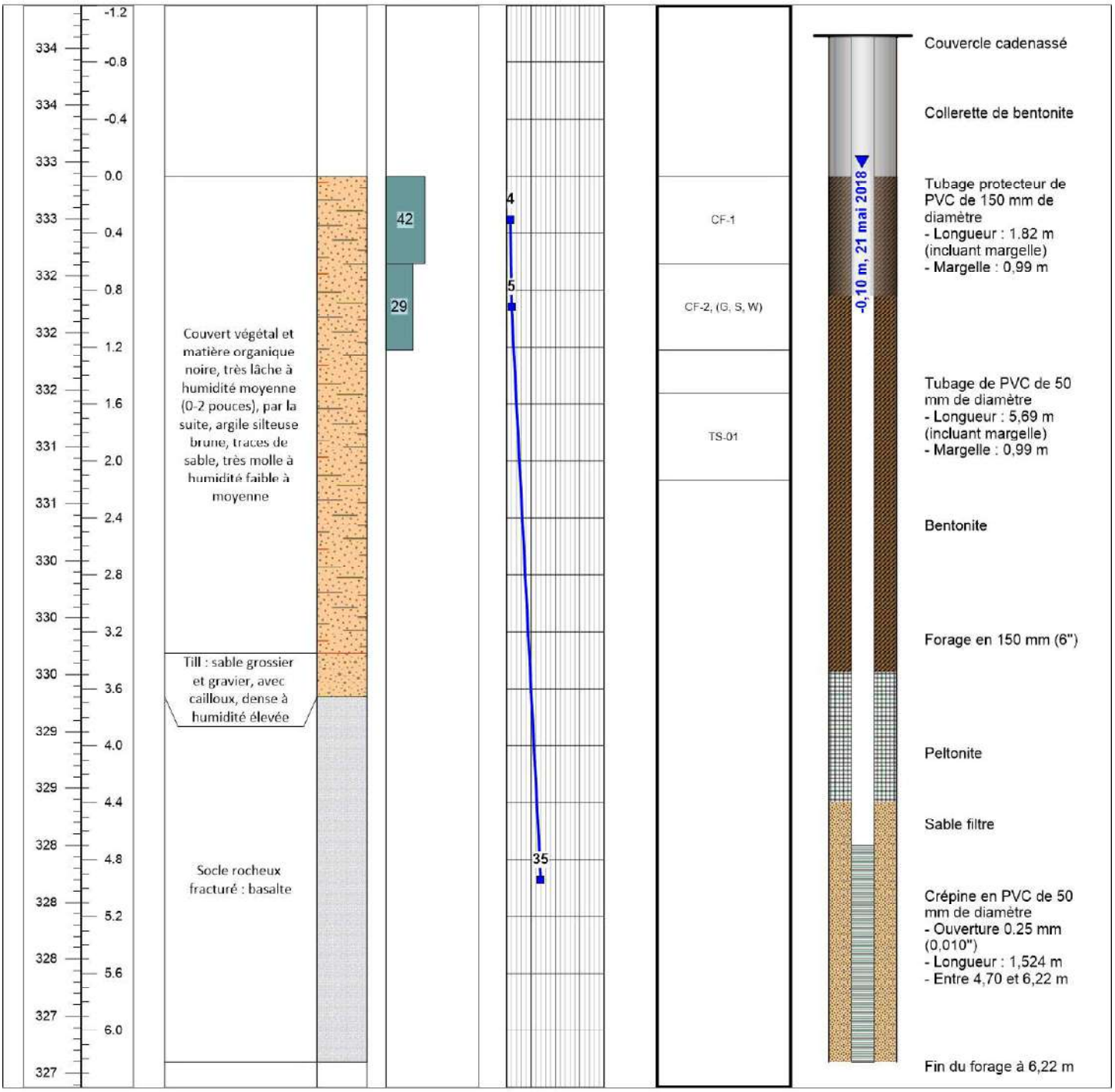
Matériaux
Couvercle | Tout venant | Bentonite
Tubage | Peltonite | Sable de silice

Coupe géologique et technique

Richelieu Hydrogéologie inc.

Identification: GH-18-03R
Localisation: Mine Bachelor, Démaraisville, QC
Date du forage: 19 mai 2018
Client: Richelieu Hydrogéologie
Projet: Étude géotechnique

Coordonnées
X: 417704
Y: 5482678
Z: 333.1
Système et fuseau: UTM, Nad83, Zone19



Entrepreneur: Technofor
Méthode de forage: Forage géotechnique

Description: Mathieu Dufour
Vérification: Richard Dufour, ing.

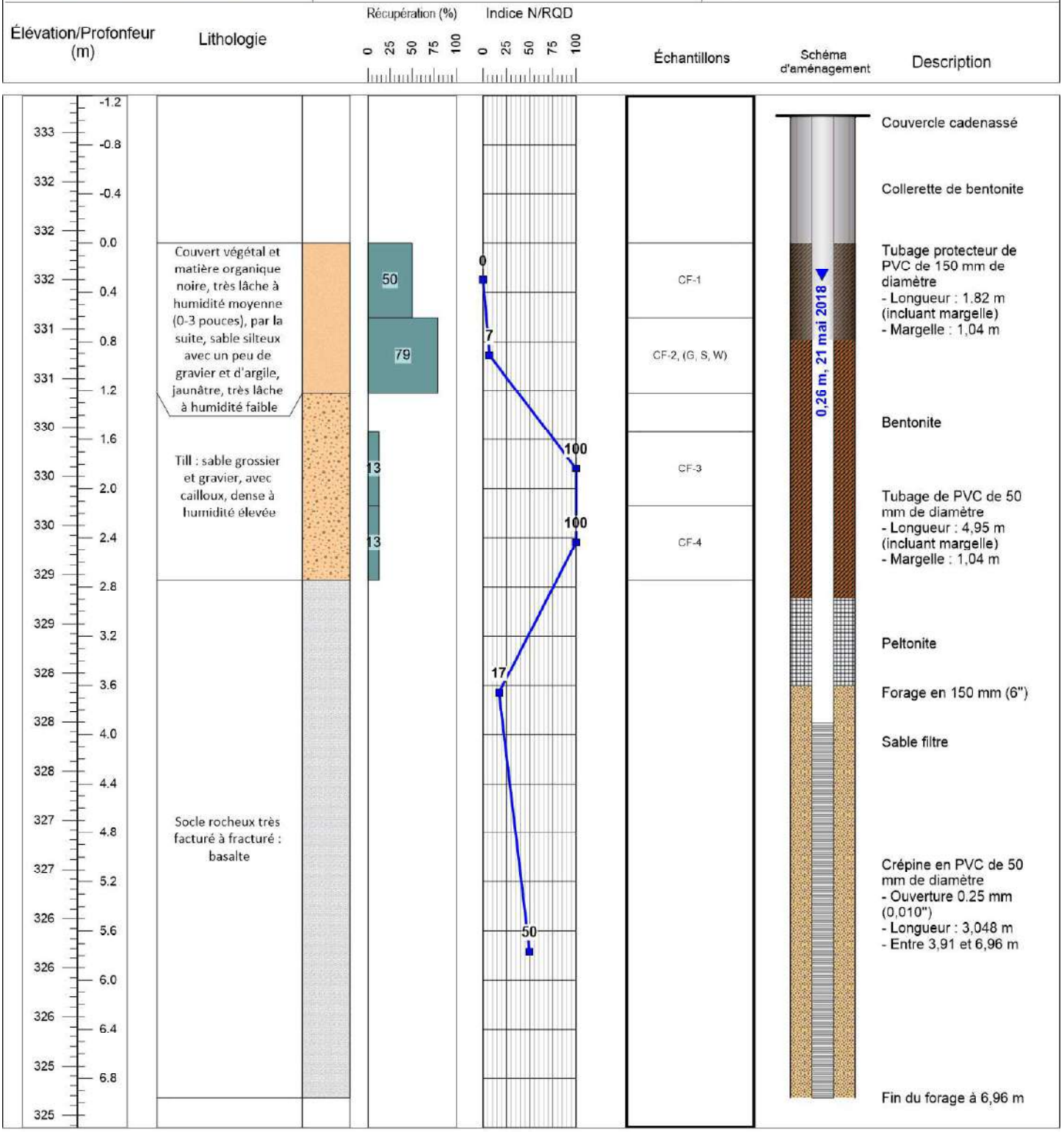
Matériaux
Couvercle | Tout venant | Bentonite
Tubage | Peltonite | Sable de silice

Coupe géologique et technique

Richelieu Hydrogéologie inc.

Identification: GH-18-04R
Localisation: Mine Bachelor, Démaraisville, QC
Date du forage: 18 mai 2018
Client: Richelieu Hydrogéologie
Projet: Étude géotechnique

Coordonnées
X: 416877
Y: 5482511
Z: 331.9
Système et fuseau: UTM, Nad83, Zone19



Entrepreneur: Technofor
Méthode de forage: Forage géotechnique

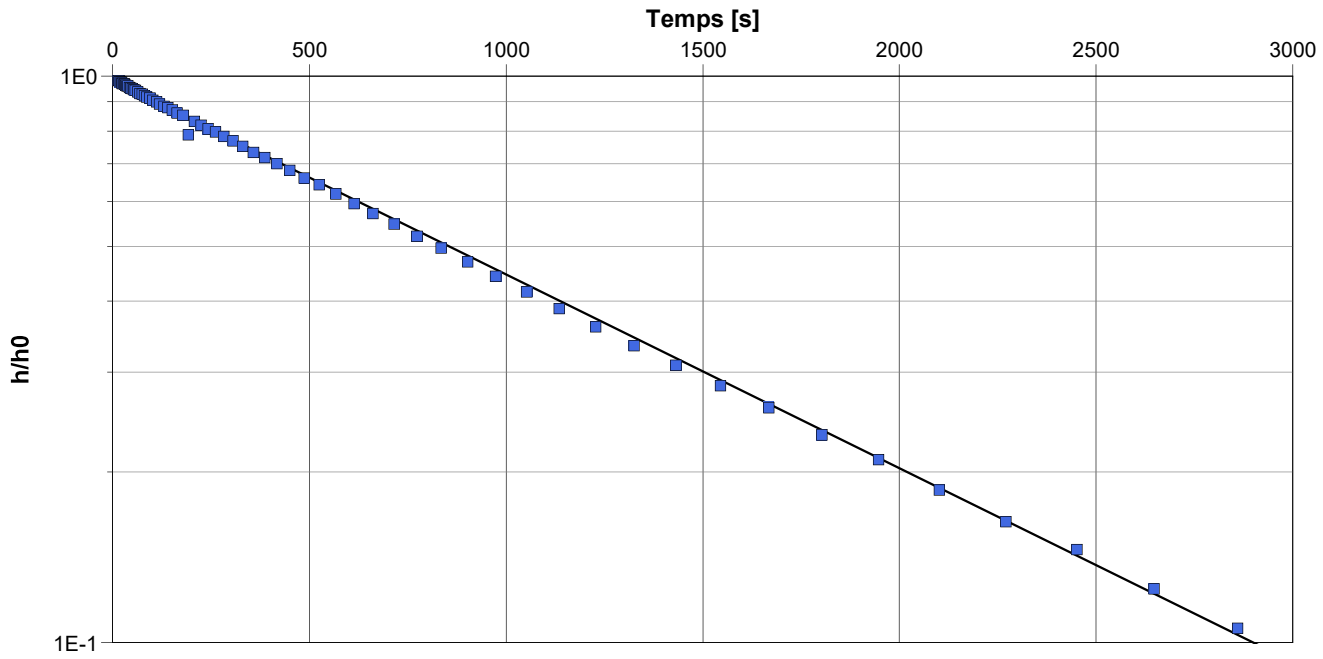
Description: Mathieu Dufour
Vérification: Richard Dufour, ing.

Matériaux
Couvercle | Tout venant | Bentonite
Tubage | Peltonite | Sable de silice

ANNEXE 3 : INTERPRÉTATION DES ESSAIS DE PERMÉABILITÉ À CHARGE VARIABLE

Richelieu Hydrogéologie inc.	**Slug Test Analysis Report**
	Project: Étude géotechnique et hydrogéologique
	Number:
	Client: Ressources Métanor

Location: Desmaraisville	Slug Test: FH-18-01MT	Test Well: FH-18-01MT
Test Conducted by: Richard Dufour		Test Date: 2018-05-21
Analysis Performed by: Yves Leblanc	Charge montante	Analysis Date: 2018-09-04
Aquifer Thickness: 1.50 m		

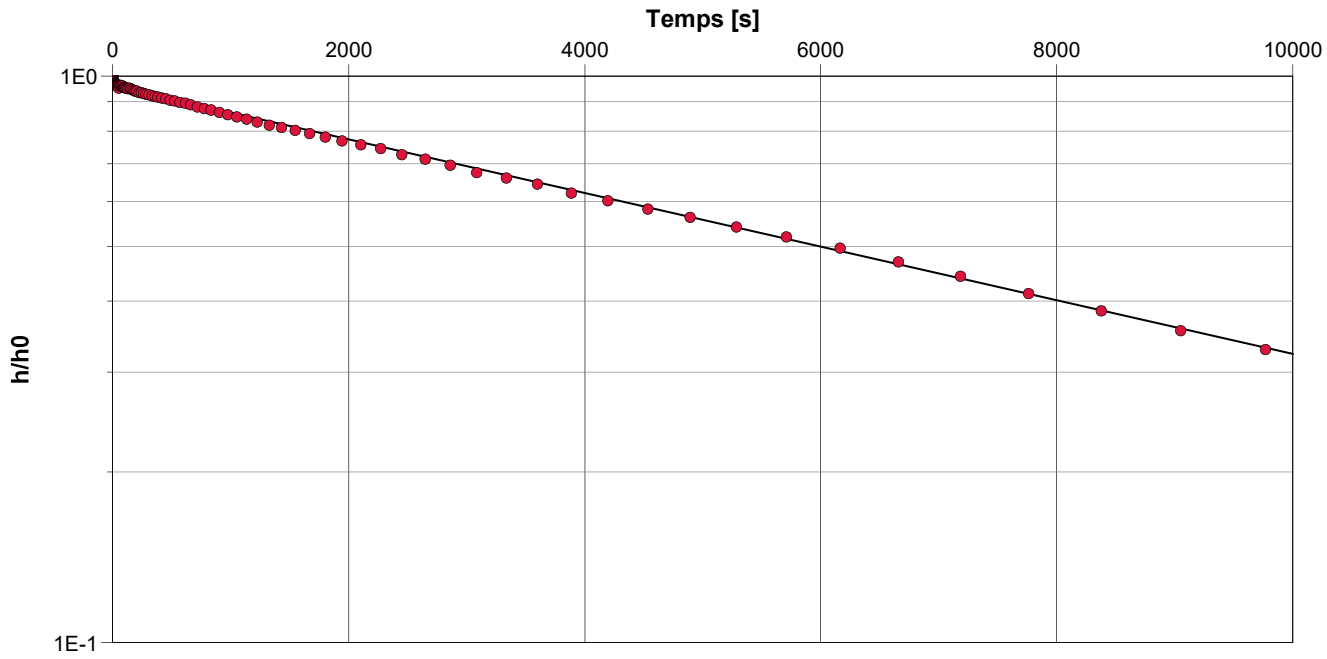


Calculation using Hvorslev

Observation Well	Hydraulic Conductivity [cm/s]	
FH-18-01MT	6.76×10^{-5}	

Richelieu Hydrogéologie inc.	**Slug Test Analysis Report**
	Project: Étude géotechnique et hydrogéologique
	Number:
	Client: Ressources Métanor

Location: Desmaraisville	Slug Test: FH-18-01R	Test Well: FH-18-01R
Test Conducted by: Rihard Dufour		Test Date: 2018-05-21
Analysis Performed by: Yves Leblanc	Charge montante	Analysis Date: 2018-09-04
Aquifer Thickness: 1.50 m		

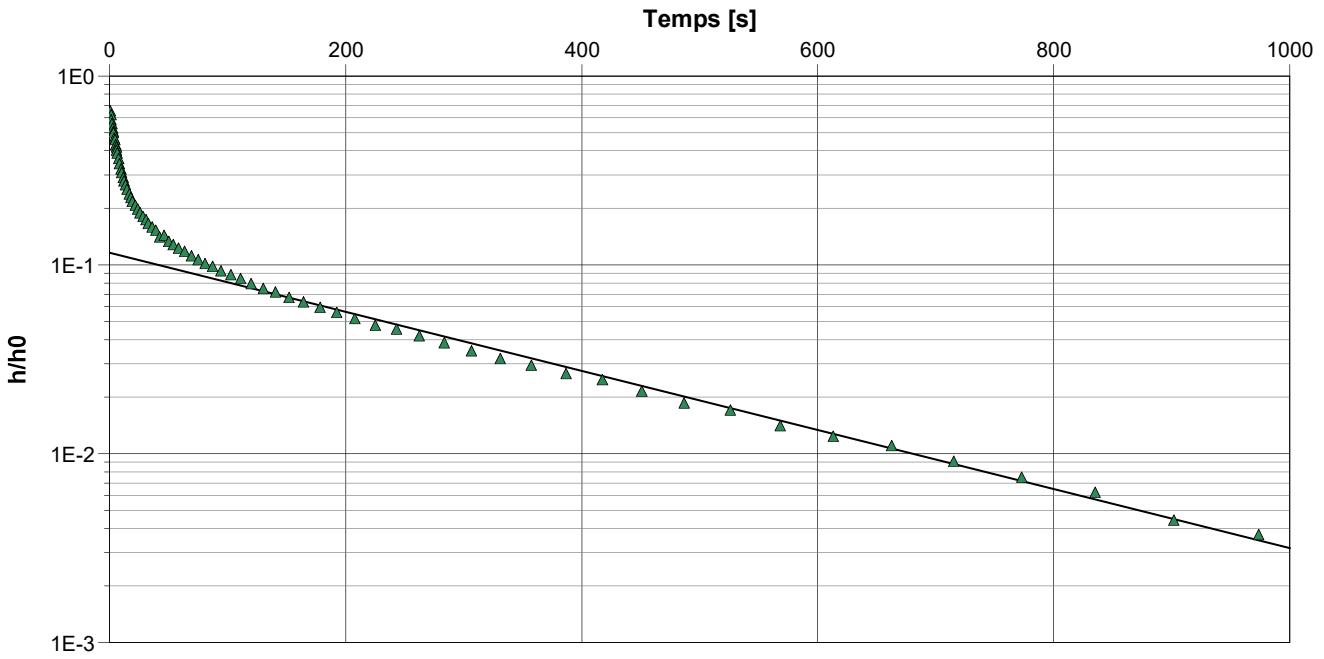


Calculation using Hvorslev

Observation Well	Hydraulic Conductivity [cm/s]	
FH-18-01R	9.36×10^{-6}	

Richelieu Hydrogéologie inc.	**Slug Test Analysis Report**
	Project: Étude géotechnique et hydrogéologique
	Number:
	Client: Ressources Métanor

Location: Desmaraisville	Slug Test: GH-18-02R	Test Well: GH-18-02R
Test Conducted by: Richard Dufour		Test Date: 2018-05-21
Analysis Performed by: Yves Leblanc	Charge montante	Analysis Date: 2018-09-04
Aquifer Thickness: 1.50 m		

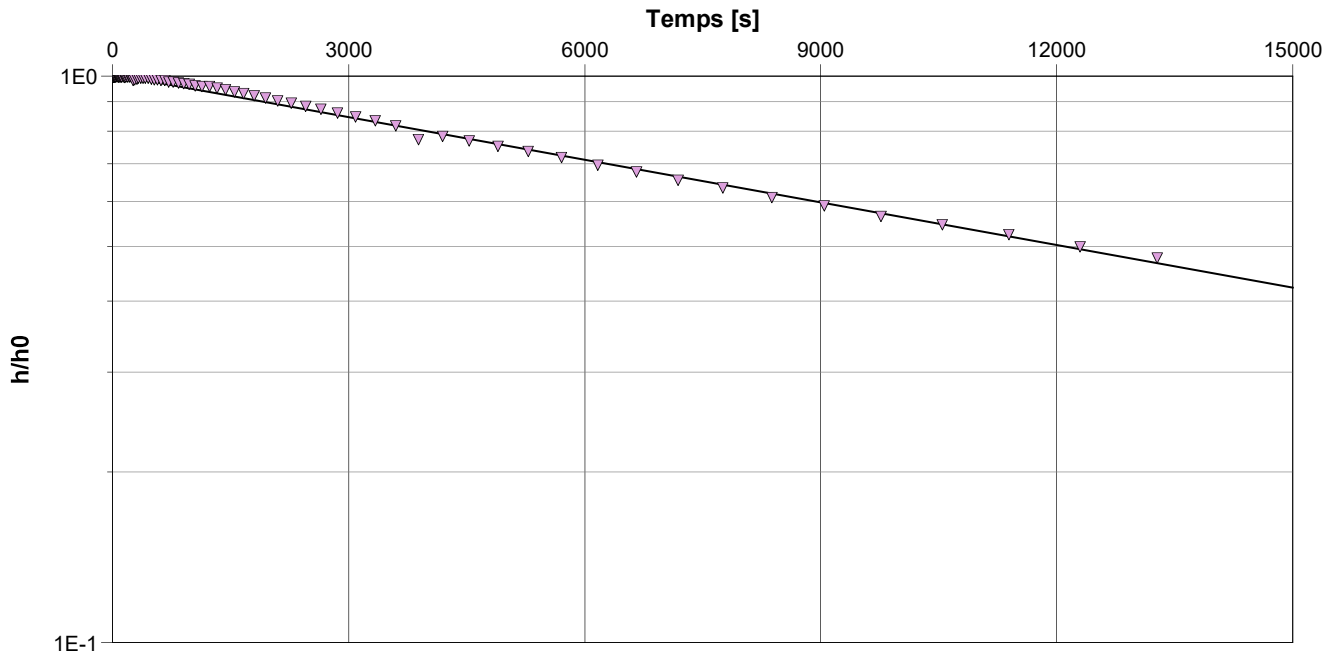


Calculation using Bouwer & Rice

Observation Well	Hydraulic Conductivity [cm/s]	
GH-18-02R	2.37×10^{-4}	

Richelieu Hydrogéologie inc.	**Slug Test Analysis Report**
	Project: Étude géotechnique et hydrogéologique
	Number:
	Client: Ressources Métanor

Location: Desmaraisville	Slug Test: GH-18-03MT	Test Well: GH-18-03MT
Test Conducted by: Richard Dufour		Test Date: 2018-05-21
Analysis Performed by: Yves Leblanc	Charge montante	Analysis Date: 2018-09-04
Aquifer Thickness: 1.50 m		

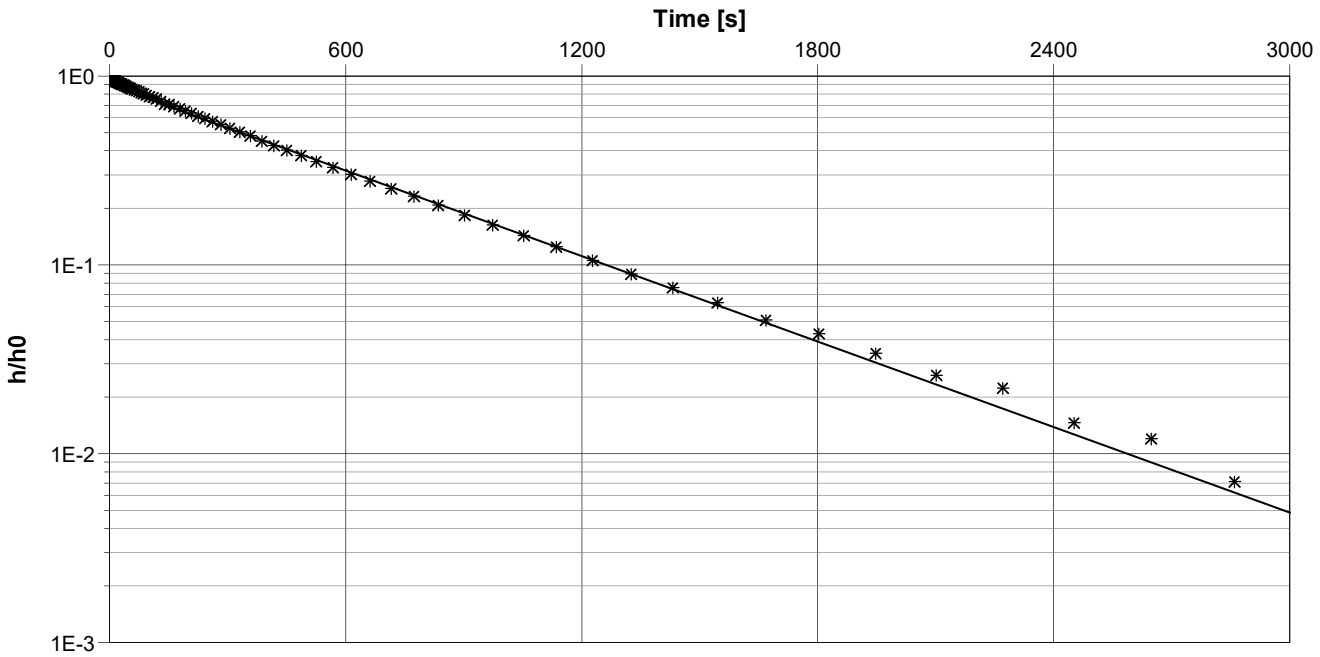


Calculation using Bouwer & Rice

Observation Well	Hydraulic Conductivity [cm/s]	
GH-18-03MT	3.80×10^{-6}	

Richelieu Hydrogéologie inc.	**Slug Test Analysis Report**
	Project: Étude géotechnique et hydrogéologique
	Number:
	Client: Ressources Métanor

Location: Desmaraisville	Slug Test: GH-18-03R	Test Well: GH-18-03R
Test Conducted by: Richard Dufour		Test Date: 2018-05-21
Analysis Performed by: Yves Leblanc	Charge montante	Analysis Date: 2018-09-04
Aquifer Thickness: 1.50 m		

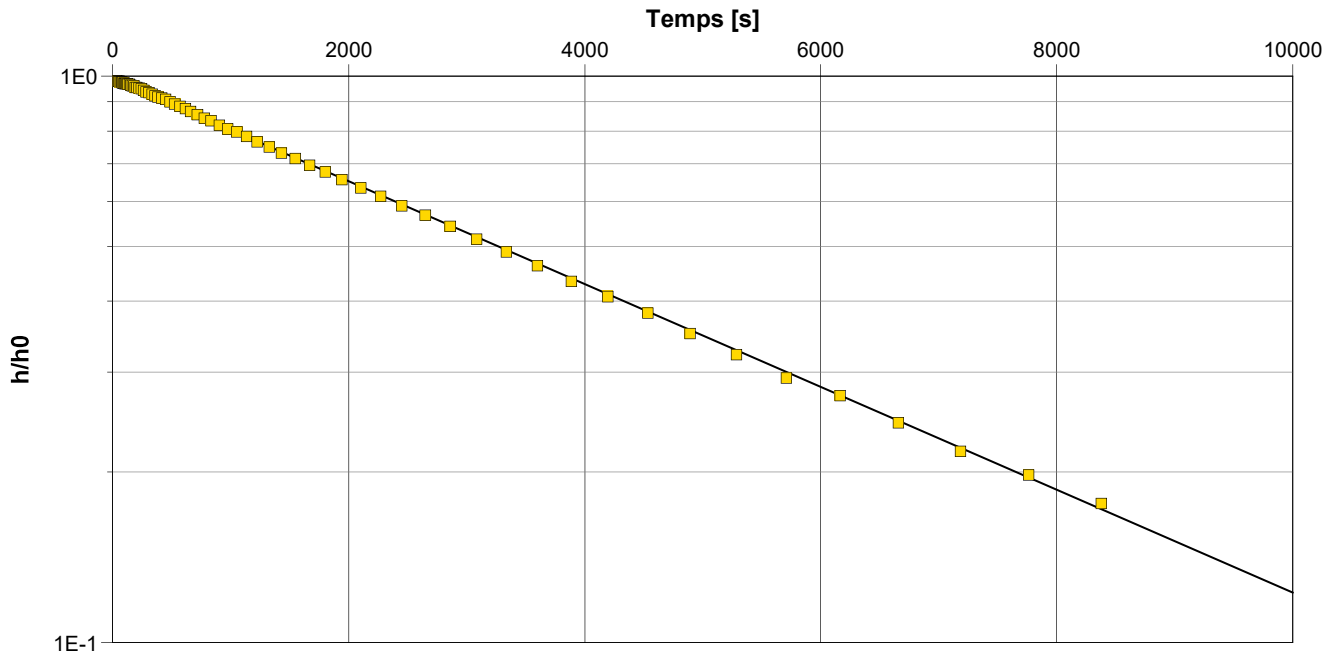


Calculation using Bouwer & Rice

Observation Well	Hydraulic Conductivity [cm/s]	
GH-18-03R	1.14×10^{-4}	

Richelieu Hydrogéologie inc.	**Slug Test Analysis Report**
	Project: Étude géotechnique et hydrogéologique
	Number:
	Client: Ressources Métanor

Location: Desmaraisville	Slug Test: GH-18-04R	Test Well: GH-18-04R
Test Conducted by: Richard Dufour		Test Date: 2018-05-21
Analysis Performed by: Yves Leblanc	Charge montante	Analysis Date: 2018-09-05
Aquifer Thickness: 1.50 m		



Calculation using Bouwer & Rice

Observation Well	Hydraulic Conductivity [cm/s]	
GH-18-04R	1.40×10^{-5}	

Slug Test - Water Level Data

Project: Étude géotechnique et hydrogéologique

Number:

Client: Ressources Métanor

Location: Desmaraisville	Slug Test: FH-18-01MT	Test Well: FH-18-01MT
Test Conducted by: Richard Dufour	Test Date: 2018-05-21	
Water level at t=0 [m]: 1.81	Static Water Level [m]: 1.37	Water level change at t=0 [m]: 0.44

	Time [s]	Water Level [m]	WL Change [m]
1	0.5	1.8065	0.4365
2	1	1.8061	0.4361
3	1.5	1.8057	0.4357
4	2	1.8054	0.4354
5	2.5	1.8049	0.4349
6	3	1.8048	0.4348
7	3.5	1.8045	0.4345
8	4	1.8041	0.4341
9	4.5	1.8039	0.4339
10	5	1.8038	0.4338
11	5.5	1.8034	0.4334
12	6	1.8032	0.4332
13	6.5	1.8025	0.4325
14	7.5	1.8022	0.4322
15	8.5	1.802	0.432
16	9.5	1.8014	0.4314
17	10.5	1.8009	0.4309
18	11.5	1.8006	0.4306
19	12.5	1.8001	0.4301
20	13.5	1.7997	0.4297
21	15	1.7989	0.4289
22	16.5	1.7981	0.4281
23	18	1.7975	0.4275
24	19.5	1.7966	0.4266
25	21.5	1.796	0.426
26	23.5	1.7953	0.4253
27	25.5	1.7943	0.4243
28	28	1.7935	0.4235
29	30.5	1.7923	0.4223
30	33	1.7915	0.4215
31	36	1.7903	0.4203
32	39	1.7894	0.4194
33	42.5	1.7879	0.4179
34	46	1.7867	0.4167
35	50	1.785	0.415
36	54	1.7836	0.4136
37	58.5	1.782	0.412
38	63.5	1.7802	0.4102
39	69	1.7779	0.4079
40	75	1.7761	0.4061
41	81	1.7736	0.4036
42	87.5	1.7714	0.4014
43	94.5	1.7694	0.3994
44	102.5	1.7666	0.3966
45	111	1.7635	0.3935
46	120	1.7606	0.3906
47	130	1.7571	0.3871
48	140.5	1.7537	0.3837
49	152	1.7502	0.3802
50	164.5	1.7458	0.3758
51	178	1.7423	0.3723
52	192.5	1.7145	0.3445

Slug Test - Water Level Data

Project: Étude géotechnique et hydrogéologique

Number:

Client: Ressources Métanor

	Time [s]	Water Level [m]	WL Change [m]
53	208	1.7333	0.3633
54	225	1.7284	0.3584
55	243	1.7222	0.3522
56	262.5	1.7178	0.3478
57	283.5	1.7122	0.3422
58	306.5	1.7061	0.3361
59	331	1.6986	0.3286
60	357.5	1.6907	0.3207
61	386.5	1.6835	0.3135
62	417.5	1.6764	0.3064
63	451	1.668	0.298
64	487	1.6591	0.2891
65	526	1.6505	0.2805
66	568	1.6406	0.2706
67	613.5	1.6305	0.2605
68	662.5	1.6199	0.2499
69	715.5	1.6095	0.2395
70	773	1.598	0.228
71	835	1.5871	0.2171
72	902	1.5756	0.2056
73	974	1.5637	0.1937
74	1052	1.5516	0.1816
75	1136	1.54	0.17
76	1227	1.5277	0.1577
77	1325	1.5162	0.1462
78	1431	1.505	0.135
79	1545.5	1.494	0.124
80	1669	1.4835	0.1135
81	1802.5	1.4716	0.1016
82	1946.5	1.462	0.092
83	2102	1.4513	0.0813
84	2270	1.4415	0.0715
85	2451.5	1.4337	0.0637
86	2647.5	1.4244	0.0544
87	2859	1.4163	0.0463
88	3087.5	1.4103	0.0403
89	3334	1.4056	0.0356
90	3600	1.3985	0.0285

Slug Test - Water Level Data

Project: Étude géotechnique et hydrogéologique

Number:

Client: Ressources Métanor

Location: Desmaraisville	Slug Test: FH-18-01R	Test Well: FH-18-01R
Test Conducted by: Rihard Dufour	Test Date: 2018-05-21	
Water level at t=0 [m]: 5.11	Static Elev (bench) [m] 13.12	Water level change at t=0 [m]: 0.38

	Time [s]	Water Level bench [m]	WL Change [m]
1	0.5	12.7418	0.3782
2	1	12.7422	0.3778
3	1.5	12.7427	0.3773
4	2	12.7428	0.3772
5	2.5	12.7434	0.3766
6	3	12.744	0.376
7	3.5	12.7448	0.3752
8	4	12.7453	0.3747
9	4.5	12.7466	0.3734
10	5	12.7475	0.3725
11	5.5	12.7483	0.3717
12	6	12.7491	0.3709
13	6.5	12.7497	0.3703
14	7.5	12.7506	0.3694
15	8.5	12.7509	0.3691
16	9.5	12.7512	0.3688
17	10.5	12.751	0.369
18	11.5	12.7521	0.3679
19	12.5	12.7525	0.3675
20	13.5	12.7523	0.3677
21	15	12.7523	0.3677
22	16.5	12.7535	0.3665
23	18	12.7534	0.3666
24	19.5	12.7538	0.3662
25	21.5	12.7538	0.3662
26	23.5	12.7543	0.3657
27	25.5	12.754	0.366
28	28	12.7548	0.3652
29	30.5	12.7545	0.3655
30	33	12.7547	0.3653
31	36	12.7553	0.3647
32	39	12.7553	0.3647
33	42.5	12.7554	0.3646
34	46	12.7551	0.3649
35	50	12.7564	0.3636
36	54	12.7594	0.3606
37	58.5	12.7559	0.3641
38	63.5	12.7554	0.3646
39	69	12.7567	0.3633
40	75	12.7562	0.3638
41	81	12.7567	0.3633
42	87.5	12.758	0.362
43	94.5	12.7583	0.3617
44	102.5	12.7588	0.3612
45	111	12.759	0.361
46	120	12.7598	0.3602
47	130	12.7603	0.3597
48	140.5	12.7595	0.3605
49	152	12.7611	0.3589
50	164.5	12.7618	0.3582
51	178	12.7628	0.3572
52	192.5	12.7643	0.3557

Slug Test - Water Level Data

Project: Étude géotechnique et hydrogéologique

Number:

Client: Ressources Métanor

	Time [s]	Water Level bench [m]	WL Change [m]
53	208	12.7641	0.3559
54	225	12.7656	0.3544
55	243	12.7662	0.3538
56	262.5	12.7674	0.3526
57	283.5	12.768	0.352
58	306.5	12.7694	0.3506
59	331	12.7702	0.3498
60	357.5	12.7718	0.3482
61	386.5	12.7727	0.3473
62	417.5	12.7738	0.3462
63	451	12.7746	0.3454
64	487	12.777	0.343
65	526	12.7784	0.3416
66	568	12.78	0.34
67	613.5	12.7809	0.3391
68	662.5	12.7834	0.3366
69	715.5	12.7857	0.3343
70	773	12.7878	0.3322
71	835	12.7903	0.3297
72	902	12.7933	0.3267
73	974	12.7962	0.3238
74	1052	12.7993	0.3207
75	1136	12.8022	0.3178
76	1227	12.8056	0.3144
77	1325	12.8096	0.3104
78	1431	12.8132	0.3068
79	1545.5	12.8167	0.3033
80	1669	12.8204	0.2996
81	1802.5	12.8244	0.2956
82	1946.5	12.8292	0.2908
83	2102	12.8339	0.2861
84	2270	12.8381	0.2819
85	2451.5	12.8448	0.2752
86	2647.5	12.8499	0.2701
87	2859	12.8563	0.2637
88	3087.5	12.8647	0.2553
89	3334	12.8702	0.2498
90	3600	12.8758	0.2442
91	3887.5	12.8847	0.2353
92	4198	12.8921	0.2279
93	4533	12.8997	0.2203
94	4895	12.9067	0.2133
95	5285.5	12.9149	0.2051
96	5707.5	12.9233	0.1967
97	6163	12.932	0.188
98	6655	12.9421	0.1779
99	7186	12.9523	0.1677
100	7759.5	12.9635	0.1565
101	8379	12.9741	0.1459
102	9047.5	12.9856	0.1344
103	9769.5	12.9955	0.1245

Slug Test - Water Level Data

Project: Étude géotechnique et hydrogéologique

Number:

Client: Ressources Métanor

Location: Desmaraisville	Slug Test: GH-18-02R	Test Well: GH-18-02R
Test Conducted by: Richard Dufour	Test Date: 2018-05-21	
Water level at t=0 [m]: 2.78	Static Elev (bench) [m] 11.35	Water level change at t=0 [m]: 0.72

	Time [s]	Water Level bench [m]	WL Change [m]
1	0.5	10.8793	0.4707
2	1	10.9015	0.4485
3	1.5	10.9267	0.4233
4	2	10.9473	0.4027
5	2.5	10.9687	0.3813
6	3	10.9816	0.3684
7	3.5	10.988	0.362
8	4	11.012	0.338
9	4.5	11.0175	0.3325
10	5	11.0372	0.3128
11	5.5	11.048	0.302
12	6	11.0587	0.2913
13	6.5	11.0685	0.2815
14	7.5	11.0866	0.2634
15	8.5	11.1027	0.2473
16	9.5	11.1169	0.2331
17	10.5	11.129	0.221
18	11.5	11.1401	0.2099
19	12.5	11.1496	0.2004
20	13.5	11.158	0.192
21	15	11.1691	0.1809
22	16.5	11.1782	0.1718
23	18	11.1863	0.1637
24	19.5	11.1932	0.1568
25	21.5	11.2009	0.1491
26	23.5	11.2076	0.1424
27	25.5	11.2134	0.1366
28	28	11.2201	0.1299
29	30.5	11.2253	0.1247
30	33	11.2302	0.1198
31	36	11.2356	0.1144
32	39	11.2404	0.1096
33	42.5	11.2484	0.1016
34	46	11.2471	0.1029
35	50	11.2544	0.0956
36	54	11.2574	0.0926
37	58.5	11.2614	0.0886
38	63.5	11.2653	0.0847
39	69	11.2693	0.0807
40	75	11.2732	0.0768
41	81	11.2767	0.0733
42	87.5	11.2794	0.0706
43	94.5	11.2829	0.0671
44	102.5	11.286	0.064
45	111	11.289	0.061
46	120	11.2928	0.0572
47	130	11.2958	0.0542
48	140.5	11.2984	0.0516
49	152	11.3016	0.0484
50	164.5	11.3041	0.0459
51	178	11.307	0.043
52	192.5	11.3097	0.0403

Slug Test - Water Level Data

Project: Étude géotechnique et hydrogéologique

Number:

Client: Ressources Métanor

	Time [s]	Water Level bench [m]	WL Change [m]
53	208	11.3124	0.0376
54	225	11.3155	0.0345
55	243	11.3172	0.0328
56	262.5	11.3197	0.0303
57	283.5	11.3222	0.0278
58	306.5	11.3248	0.0252
59	331	11.327	0.023
60	357.5	11.3288	0.0212
61	386.5	11.3309	0.0191
62	417.5	11.3322	0.0178
63	451	11.3345	0.0155
64	487	11.3366	0.0134
65	526	11.3377	0.0123
66	568	11.3399	0.0101
67	613.5	11.3411	0.0089
68	662.5	11.342	0.008
69	715.5	11.3434	0.0066
70	773	11.3446	0.0054
71	835	11.3455	0.0045
72	902	11.3468	0.0032
73	974	11.3473	0.0027

Slug Test - Water Level Data

Project: Étude géotechnique et hydrogéologique

Number:

Client: Ressources Métanor

Location: Desmaraisville	Slug Test: GH-18-03MT	Test Well: GH-18-03MT
Test Conducted by: Richard Dufour	Test Date: 2018-05-21	
Water level at t=0 [m]: 0.36	Static Elev (bench) [m] 13.19	Water level change at t=0 [m]: 0.46

	Time [s]	Water Level bench [m]	WL Change [m]
1	0.5	12.7221	0.4639
2	1	12.7224	0.4636
3	1.5	12.7223	0.4637
4	2	12.7229	0.4631
5	2.5	12.7227	0.4633
6	3	12.7229	0.4631
7	3.5	12.7232	0.4628
8	4	12.7232	0.4628
9	4.5	12.7233	0.4627
10	5	12.7236	0.4624
11	5.5	12.7236	0.4624
12	6	12.7233	0.4627
13	6.5	12.7237	0.4623
14	7.5	12.7237	0.4623
15	8.5	12.7239	0.4621
16	9.5	12.7233	0.4627
17	10.5	12.7231	0.4629
18	11.5	12.723	0.463
19	12.5	12.7229	0.4631
20	13.5	12.7227	0.4633
21	15	12.7225	0.4635
22	16.5	12.7224	0.4636
23	18	12.7226	0.4634
24	19.5	12.7229	0.4631
25	21.5	12.7228	0.4632
26	23.5	12.7228	0.4632
27	25.5	12.7227	0.4633
28	28	12.723	0.463
29	30.5	12.723	0.463
30	33	12.7227	0.4633
31	36	12.7228	0.4632
32	39	12.7223	0.4637
33	42.5	12.7227	0.4633
34	46	12.7223	0.4637
35	50	12.7224	0.4636
36	54	12.7223	0.4637
37	58.5	12.7225	0.4635
38	63.5	12.723	0.463
39	69	12.7232	0.4628
40	75	12.7231	0.4629
41	81	12.7235	0.4625
42	87.5	12.7232	0.4628
43	94.5	12.7234	0.4626
44	102.5	12.7239	0.4621
45	111	12.7236	0.4624
46	120	12.7235	0.4625
47	130	12.7234	0.4626
48	140.5	12.7239	0.4621
49	152	12.7241	0.4619
50	164.5	12.7237	0.4623
51	178	12.7238	0.4622
52	192.5	12.7236	0.4624

Slug Test - Water Level Data

Project: Étude géotechnique et hydrogéologique

Number:

Client: Ressources Métanor

	Time [s]	Water Level bench [m]	WL Change [m]
53	208	12.7234	0.4626
54	225	12.7236	0.4624
55	243	12.7239	0.4621
56	262.5	12.7305	0.4555
57	283.5	12.7285	0.4575
58	306.5	12.7271	0.4589
59	331	12.7263	0.4597
60	357.5	12.7263	0.4597
61	386.5	12.7266	0.4594
62	417.5	12.7261	0.4599
63	451	12.7264	0.4596
64	487	12.7279	0.4581
65	526	12.7291	0.4569
66	568	12.7294	0.4566
67	613.5	12.7301	0.4559
68	662.5	12.731	0.455
69	715.5	12.7327	0.4533
70	773	12.7335	0.4525
71	835	12.7347	0.4513
72	902	12.7363	0.4497
73	974	12.737	0.449
74	1052	12.7399	0.4461
75	1136	12.7415	0.4445
76	1227	12.742	0.444
77	1325	12.7443	0.4417
78	1431	12.7468	0.4392
79	1545.5	12.7507	0.4353
80	1669	12.7535	0.4325
81	1802.5	12.7577	0.4283
82	1946.5	12.7617	0.4243
83	2102	12.766	0.42
84	2270	12.771	0.415
85	2451.5	12.7758	0.4102
86	2647.5	12.7809	0.4051
87	2859	12.7866	0.3994
88	3087.5	12.7929	0.3931
89	3334	12.7988	0.3872
90	3600	12.8068	0.3792
91	3887.5	12.8271	0.3589
92	4198	12.8229	0.3631
93	4533	12.8297	0.3563
94	4895	12.8369	0.3491
95	5285.5	12.8447	0.3413
96	5707.5	12.8532	0.3328
97	6163	12.8625	0.3235
98	6655	12.8718	0.3142
99	7186	12.8823	0.3037
100	7759.5	12.8915	0.2945
101	8379	12.9027	0.2833
102	9047.5	12.9126	0.2734
103	9769.5	12.9241	0.2619
104	10549	12.9326	0.2534
105	11391	12.9428	0.2432
106	12300	12.9539	0.2321
107	13281.5	12.9644	0.2216

Slug Test - Water Level Data

Project: Étude géotechnique et hydrogéologique

Number:

Client: Ressources Métanor

Location: Desmaraisville	Slug Test: GH-18-03R	Test Well: GH-18-03R
Test Conducted by: Richard Dufour	Test Date: 2018-05-21	
Water level at t=0 [m]: 0.35	Static Elev (bench) [m] 16.33	Water level change at t=0 [m]: 0.39

	Time [s]	Water Level bench [m]	WL Change [m]
1	0.5	15.9365	0.3895
2	1	15.9382	0.3878
3	1.5	15.9393	0.3867
4	2	15.9403	0.3857
5	2.5	15.9414	0.3846
6	3	15.9421	0.3839
7	3.5	15.9427	0.3833
8	4	15.9436	0.3824
9	4.5	15.9445	0.3815
10	5	15.9449	0.3811
11	5.5	15.9457	0.3803
12	6	15.9463	0.3797
13	6.5	15.9467	0.3793
14	7.5	15.948	0.378
15	8.5	15.9488	0.3772
16	9.5	15.9498	0.3762
17	10.5	15.9511	0.3749
18	11.5	15.9521	0.3739
19	12.5	15.9531	0.3729
20	13.5	15.9544	0.3716
21	15	15.9557	0.3703
22	16.5	15.9572	0.3688
23	18	15.9584	0.3676
24	19.5	15.9596	0.3664
25	21.5	15.9614	0.3646
26	23.5	15.963	0.363
27	25.5	15.9646	0.3614
28	28	15.9674	0.3586
29	30.5	15.9688	0.3572
30	33	15.971	0.355
31	36	15.973	0.353
32	39	15.9751	0.3509
33	42.5	15.978	0.348
34	46	15.9806	0.3454
35	50	15.9842	0.3418
36	54	15.9871	0.3389
37	58.5	15.9903	0.3357
38	63.5	15.9933	0.3327
39	69	15.9974	0.3286
40	75	16.0013	0.3247
41	81	16.0052	0.3208
42	87.5	16.0092	0.3168
43	94.5	16.0143	0.3117
44	102.5	16.019	0.307
45	111	16.0244	0.3016
46	120	16.0297	0.2963
47	130	16.0357	0.2903
48	140.5	16.0461	0.2799
49	152	16.0479	0.2781
50	164.5	16.0547	0.2713
51	178	16.0618	0.2642
52	192.5	16.0688	0.2572

Slug Test - Water Level Data

Project: Étude géotechnique et hydrogéologique

Number:

Client: Ressources Métanor

	Time [s]	Water Level bench [m]	WL Change [m]
53	208	16.0763	0.2497
54	225	16.0843	0.2417
55	243	16.0923	0.2337
56	262.5	16.1009	0.2251
57	283.5	16.1095	0.2165
58	306.5	16.1187	0.2073
59	331	16.1282	0.1978
60	357.5	16.1374	0.1886
61	386.5	16.1477	0.1783
62	417.5	16.1573	0.1687
63	451	16.167	0.159
64	487	16.1774	0.1486
65	526	16.1873	0.1387
66	568	16.1974	0.1286
67	613.5	16.2074	0.1186
68	662.5	16.2169	0.1091
69	715.5	16.2266	0.0994
70	773	16.2355	0.0905
71	835	16.2451	0.0809
72	902	16.2539	0.0721
73	974	16.262	0.064
74	1052	16.27	0.056
75	1136	16.2772	0.0488
76	1227	16.2846	0.0414
77	1325	16.2908	0.0352
78	1431	16.2963	0.0297
79	1545.5	16.3012	0.0248
80	1669	16.3059	0.0201
81	1802.5	16.3091	0.0169
82	1946.5	16.3126	0.0134
83	2102	16.3158	0.0102
84	2270	16.3173	0.0087
85	2451.5	16.3203	0.0057
86	2647.5	16.3213	0.0047
87	2859	16.3232	0.0028

Slug Test - Water Level Data

Project: Étude géotechnique et hydrogéologique

Number:

Client: Ressources Métanor

Location: Desmaraisville	Slug Test: GH-18-04R	Test Well: GH-18-04R
Test Conducted by: Richard Dufour	Test Date: 2018-05-21	
Water level at t=0 [m]: 0.79	Static Elev (bench) [m] 16.58	Water level change at t=0 [m]: 0.44

	Time [s]	Water Level bench [m]	WL Change [m]
1	0.5	16.1403	0.4397
2	1	16.1414	0.4386
3	1.5	16.142	0.438
4	2	16.1424	0.4376
5	2.5	16.1432	0.4368
6	3	16.1433	0.4367
7	3.5	16.1436	0.4364
8	4	16.1437	0.4363
9	4.5	16.1441	0.4359
10	5	16.1443	0.4357
11	5.5	16.1443	0.4357
12	6	16.1445	0.4355
13	6.5	16.1444	0.4356
14	7.5	16.1451	0.4349
15	8.5	16.1452	0.4348
16	9.5	16.1453	0.4347
17	10.5	16.1456	0.4344
18	11.5	16.1455	0.4345
19	12.5	16.146	0.434
20	13.5	16.1458	0.4342
21	15	16.146	0.434
22	16.5	16.1463	0.4337
23	18	16.1464	0.4336
24	19.5	16.1463	0.4337
25	21.5	16.1469	0.4331
26	23.5	16.1469	0.4331
27	25.5	16.147	0.433
28	28	16.1475	0.4325
29	30.5	16.1476	0.4324
30	33	16.1476	0.4324
31	36	16.1479	0.4321
32	39	16.148	0.432
33	42.5	16.1479	0.4321
34	46	16.1481	0.4319
35	50	16.1484	0.4316
36	54	16.1486	0.4314
37	58.5	16.149	0.431
38	63.5	16.1494	0.4306
39	69	16.1493	0.4307
40	75	16.1501	0.4299
41	81	16.1506	0.4294
42	87.5	16.1508	0.4292
43	94.5	16.1509	0.4291
44	102.5	16.1519	0.4281
45	111	16.1518	0.4282
46	120	16.1528	0.4272
47	130	16.1536	0.4264
48	140.5	16.1542	0.4258
49	152	16.1551	0.4249
50	164.5	16.156	0.424
51	178	16.1567	0.4233
52	192.5	16.1583	0.4217

Slug Test - Water Level Data

Project: Étude géotechnique et hydrogéologique

Number:

Client: Ressources Métanor

	Time [s]	Water Level bench [m]	WL Change [m]
53	208	16.1592	0.4208
54	225	16.1607	0.4193
55	243	16.1621	0.4179
56	262.5	16.1637	0.4163
57	283.5	16.1662	0.4138
58	306.5	16.1678	0.4122
59	331	16.1705	0.4095
60	357.5	16.1726	0.4074
61	386.5	16.1753	0.4047
62	417.5	16.1772	0.4028
63	451	16.1796	0.4004
64	487	16.1828	0.3972
65	526	16.1867	0.3933
66	568	16.1904	0.3896
67	613.5	16.1941	0.3859
68	662.5	16.1986	0.3814
69	715.5	16.2031	0.3769
70	773	16.2082	0.3718
71	835	16.2123	0.3677
72	902	16.2184	0.3616
73	974	16.2241	0.3559
74	1052	16.2289	0.3511
75	1136	16.2355	0.3445
76	1227	16.2423	0.3377
77	1325	16.2497	0.3303
78	1431	16.2578	0.3222
79	1545.5	16.2649	0.3151
80	1669	16.2732	0.3068
81	1802.5	16.281	0.299
82	1946.5	16.2906	0.2894
83	2102	16.3002	0.2798
84	2270	16.3092	0.2708
85	2451.5	16.3202	0.2598
86	2647.5	16.3293	0.2507
87	2859	16.3406	0.2394
88	3087.5	16.353	0.227
89	3334	16.3645	0.2155
90	3600	16.376	0.204
91	3887.5	16.3889	0.1911
92	4198	16.4002	0.1798
93	4533	16.4121	0.1679
94	4895	16.4254	0.1546
95	5285.5	16.4382	0.1418
96	5707.5	16.451	0.129
97	6163	16.4598	0.1202
98	6655	16.4724	0.1076
99	7186	16.484	0.096
100	7759.5	16.4928	0.0872
101	8379	16.5024	0.0776
102	9047.5	16.5044	0.0756

ANNEXE 5 : ANALYSES GRANULOMÉTRIQUES, SÉDIMENTOMÉTRIQUES ET DE TENEUR EN EAU

CERTIFICAT DE LABORATOIRE - SOL

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES SOLS INORGANIQUES

BNQ 2501-025/2013

CLIENT: Groupe RDC Consultants
DOSSIER: G-18-384
PROJET: HY18-010-02
ANALYSE NO: 18-384-35

DONNÉES GÉNÉRALES

Description:	Argile silteuse avec traces de sable	Prélevé le:	-	Par: Client
Provenance:	FG-18-01 / CF-04 (27'-10" à 29'-10")	Analysé le:	2018-06-13	Par: A. P.

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

112 mm	100
80 mm	100
56 mm	100
40 mm	100
28 mm	100
20 mm	100
14 mm	100
10 mm	100
5 mm	100
2,5 mm	100
1,25 mm	100
630 µm	100
315 µm	100
160 µm	100
80 µm	94,3

RÉSUMÉ DES ESSAIS

Argile %	69
Silt %	25
Sable %	6
Gravier %	0

REMARQUES

Teneur en eau : 38,6 %

SÉDIMENTOMÉTRIE

TEMPS (MIN)	DIAMÈTRE (MM)	% PASSANT
0,5	0,059	93,4
1	0,043	87,3
2	0,030	85,5
5	0,019	83,7
15	0,011	80,6
30	0,008	78,8
60	0,006	76,4
120	0,004	75,2
240	0,003	72,8
480	0,002	70,3
1440	0,001	64,9

COURBE GRANULOMÉTRIQUE

Préparé par: Joël Martin

Vérifié par : Mustapha Mahouche, ing. jr.

QUALILAB INSPECTION INC.

CERTIFICAT DE LABORATOIRE - SOL

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES SOLS INORGANIQUES

BNQ 2501-025/2013

CLIENT: Groupe RDC Consultants **DOSSIER:** G-18-384

PROJET: HY18-010-02 **ANALYSE NO:** 18-384-36

DONNÉES GÉNÉRALES			
Description:	Argile silteuse avec traces de sable	Prélevé le: -	Par: Client
Provenance:	FG-18-01 / CF-05 (30 à 32 pieds)	Analysé le: 2018-06-13	Par: A. P.

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE	
112 mm	100
80 mm	100
56 mm	100
40 mm	100
28 mm	100
20 mm	100
14 mm	100
10 mm	100
5 mm	100
2,5 mm	100
1,25 mm	100
630 µm	100
315 µm	100
160 µm	100
80 µm	99,5

RÉSUMÉ DES ESSAIS	
Argile %	77
Silt %	22
Sable %	1
Gravier %	0

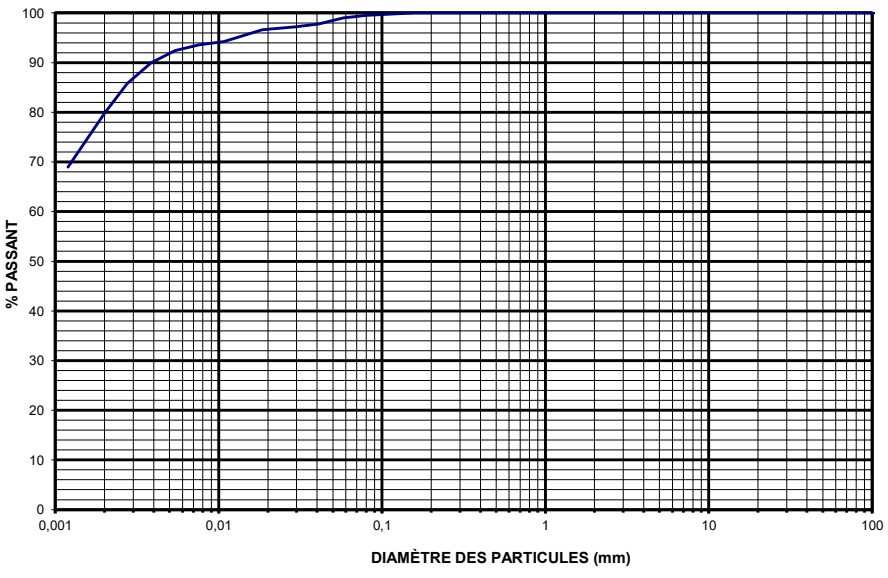
REMARQUES

Teneur en eau : 63,3 %

SÉDIMENTOMÉTRIE

TEMPS (MIN)	DIAMÈTRE (MM)	% PASSANT
0,5	0,058	99,0
1	0,041	97,8
2	0,029	97,2
5	0,018	96,6
15	0,011	94,2
30	0,008	93,6
60	0,005	92,4
120	0,004	90,0
240	0,003	85,8
480	0,002	79,8
1440	0,001	69,0

COURBE GRANULOMÉTRIQUE



Préparé par: Joël Martin

Vérifié par : Mustapha Mahouche, ing. jr.

QUALILAB INSPECTION INC.

CERTIFICAT DE LABORATOIRE - SOL

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES SOLS INORGANIQUES

BNQ 2501-025/2013

CLIENT: Groupe RDC Consultants **DOSSIER:** G-18-384

PROJET: HY18-010-02 **ANALYSE NO:** 18-384-37

DONNÉES GÉNÉRALES			
Description:	Silt avec un peu de sable et traces d'argile et de gravier	Prélevé le: -	Par: Client
Provenance:	FG-18-01 / CF-06 (36'-4" à 38'-4")	Analysé le: 2018-06-13	Par: A. P.

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE	
112 mm	100
80 mm	100
56 mm	100
40 mm	100
28 mm	100
20 mm	100
14 mm	100
10 mm	100
5 mm	97
2,5 mm	97
1,25 mm	96
630 µm	96
315 µm	96
160 µm	94
80 µm	84,8

RÉSUMÉ DES ESSAIS	
Argile %	5
Silt %	79
Sable %	12
Gravier %	3

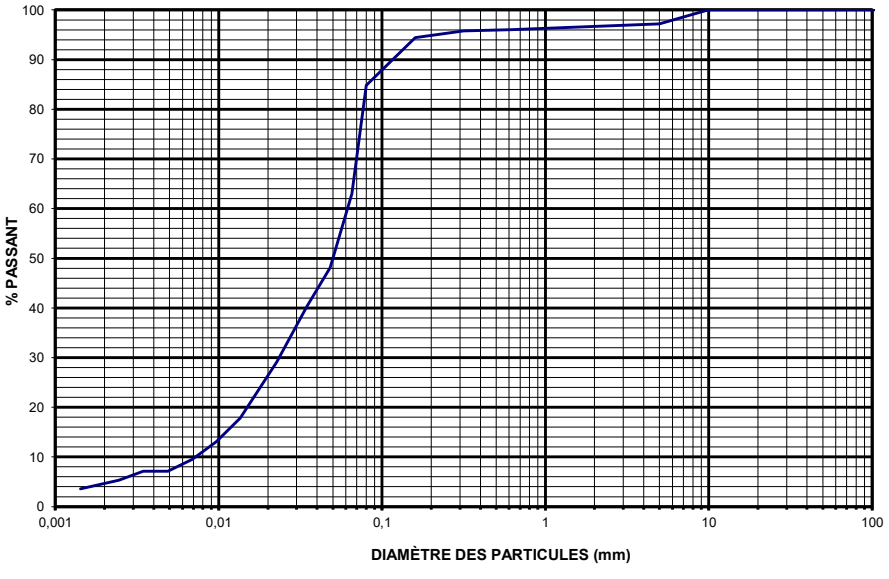
REMARQUES

Teneur en eau : 18,1 %

SÉDIMENTOMÉTRIE

TEMPS (MIN)	DIAMÈTRE (MM)	% PASSANT
0,5	0,065	63,0
1	0,048	48,1
2	0,035	40,4
5	0,023	29,1
15	0,014	17,8
30	0,010	13,1
60	0,007	9,5
120	0,005	7,1
240	0,003	7,1
480	0,002	5,3
1440	0,001	3,6

COURBE GRANULOMÉTRIQUE



Préparé par: Joël Martin

Vérifié par : Mustapha Mahouche, ing. jr.

CERTIFICAT DE LABORATOIRE - SOL

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES SOLS INORGANIQUES

BNQ 2501-025/2013

CLIENT: Groupe RDC Consultants
PROJET: HY18-010-02
DOSSIER: G-18-384
ANALYSE NO: 18-384-38

DONNÉES GÉNÉRALES

Description:	Silt sableux avec un peu d'argile	Prélevé le:	-	Par: Client
Provenance:	FG-18-02 / CF-01 (0 à 2 pieds)	Analysé le:	2018-06-13	Par: A. P.

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

112 mm	100
80 mm	100
56 mm	100
40 mm	100
28 mm	100
20 mm	100
14 mm	100
10 mm	100
5 mm	100
2,5 mm	99
1,25 mm	97
630 µm	94
315 µm	91
160 µm	88
80 µm	79,3

SÉDIMENTOMÉTRIE

TEMPS (MIN)	DIAMÈTRE (MM)	% PASSANT
0,5	0,064	65,4
1	0,048	49,6
2	0,034	45,1
5	0,022	33,8
15	0,013	24,8
30	0,009	22,5
60	0,007	18,6
120	0,005	16,3
240	0,003	14,1
480	0,002	11,3
1440	0,001	9,0

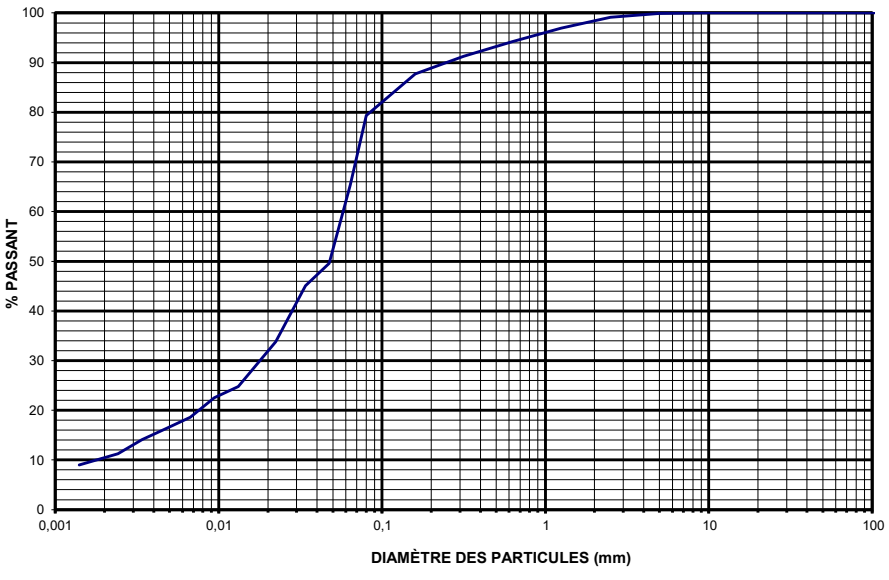
RÉSUMÉ DES ESSAIS

Argile %	12
Silt %	68
Sable %	21
Gravier %	0

REMARQUES

Teneur en eau : 25,7 %

COURBE GRANULOMÉTRIQUE



Préparé par: Joël Martin

Vérifié par : Mustapha Mahouche, ing. jr.

CERTIFICAT DE LABORATOIRE - SOL

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES SOLS INORGANIQUES

BNQ 2501-025/2013

CLIENT: Groupe RDC Consultants
DOSSIER: G-18-384
PROJET: HY18-010-02
ANALYSE NO: 18-384-39

DONNÉES GÉNÉRALES

Description:	Silt sableux	Prélevé le:	-	Par: Client
Provenance:	FG-18-02 / CF-02 (2 à 4 pieds)	Analysé le:	2018-06-13	Par: A. P.

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

112 mm	100
80 mm	100
56 mm	100
40 mm	100
28 mm	100
20 mm	100
14 mm	100
10 mm	100
5 mm	100
2,5 mm	100
1,25 mm	99
630 µm	98
315 µm	95
160 µm	90
80 µm	78,2

RÉSUMÉ DES ESSAIS

Argile %	0
Silt %	78
Sable %	21
Gravier %	0

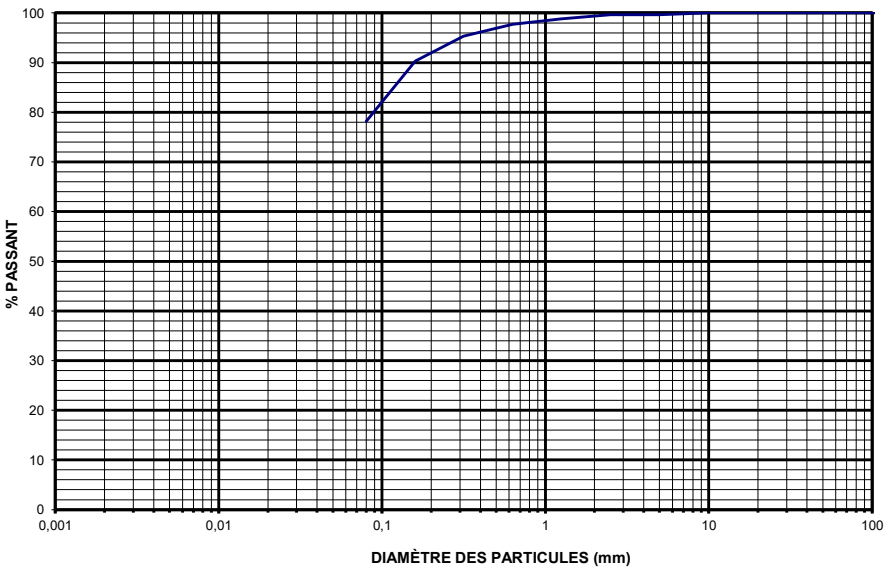
REMARQUES

Teneur en eau : 18,5 %

SÉDIMENTOMÉTRIE

TEMPS (MIN)	DIAMÈTRE (MM)	% PASSANT
0,5		
1		
2		
5		
15		
30		
60		
120		
240		
480		
1440		

COURBE GRANULOMÉTRIQUE



Préparé par: Joël Martin

Vérifié par : Mustapha Mahouche, ing. jr.

QUALILAB INSPECTION INC.

CERTIFICAT DE LABORATOIRE - SOL

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES SOLS INORGANIQUES

BNQ 2501-025/2013

CLIENT: Groupe RDC Consultants **DOSSIER:** G-18-384

PROJET: HY18-010-02 **ANALYSE NO:** 18-384-40

DONNÉES GÉNÉRALES

Description:	Sable graveleux avec un peu de silt et traces d'argile	Prélevé le:	-	Par: Client
Provenance:	FG-18-02 / CF-03 (5'-4" à 7'4")	Analysé le:	2018-06-13	Par: A. P.

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

112 mm	100
80 mm	100
56 mm	100
40 mm	100
28 mm	100
20 mm	95
14 mm	90
10 mm	80
5 mm	68
2,5 mm	59
1,25 mm	50
630 µm	42
315 µm	36
160 µm	29
80 µm	21,9

RÉSUMÉ DES ESSAIS

Argile %	3
Silt %	19
Sable %	46
Gravier %	32

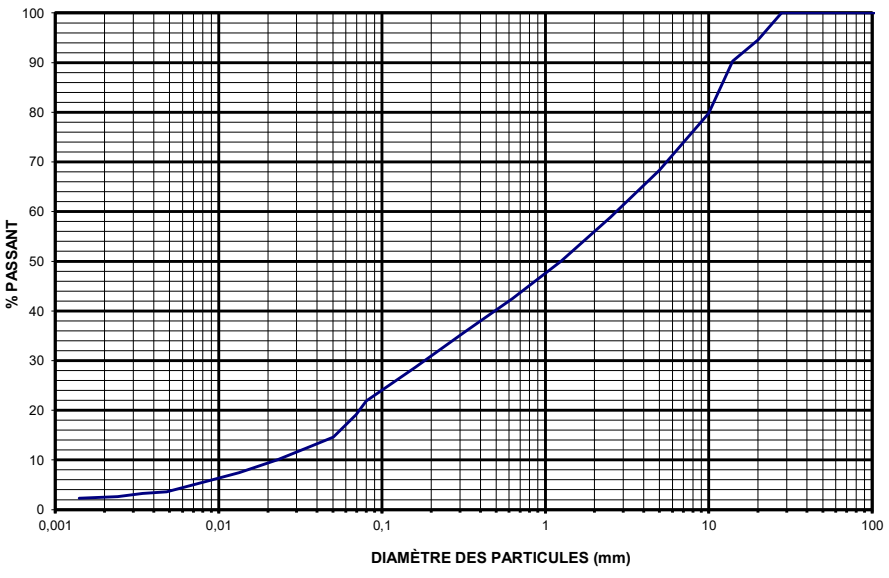
REMARQUES

Teneur en eau : 6,8 %

SÉDIMENTOMÉTRIE

TEMPS (MIN)	DIAMÈTRE (MM)	% PASSANT
0,5	0,069	19,1
1	0,050	14,6
2	0,036	12,6
5	0,023	10,0
15	0,013	7,4
30	0,010	6,2
60	0,007	4,9
120	0,005	3,6
240	0,003	3,2
480	0,002	2,6
1440	0,001	2,3

COURBE GRANULOMÉTRIQUE



Préparé par: Joël Martin

Vérifié par : Mustapha Mahouche, ing. jr.

QUALILAB INSPECTION INC.

CERTIFICAT DE LABORATOIRE - SOL

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES SOLS INORGANIQUES

BNQ 2501-025/2013

CLIENT: Groupe RDC Consultants **DOSSIER:** G-18-384

PROJET: HY18-010-02 **ANALYSE NO:** 18-384-41

DONNÉES GÉNÉRALES			
Description:	Sable avec un peu de silt et traces d'argile et de gravier	Prélevé le: -	Par: Client
Provenance:	GH-18-02 / CF-01 (0 à 2 pieds)	Analysé le: 2018-06-13	Par: A. P.

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE	
112 mm	100
80 mm	100
56 mm	100
40 mm	100
28 mm	100
20 mm	100
14 mm	96
10 mm	96
5 mm	95
2,5 mm	95
1,25 mm	94
630 µm	92
315 µm	86
160 µm	56
80 µm	22,6

RÉSUMÉ DES ESSAIS	
Argile %	5
Silt %	17
Sable %	73
Gravier %	5

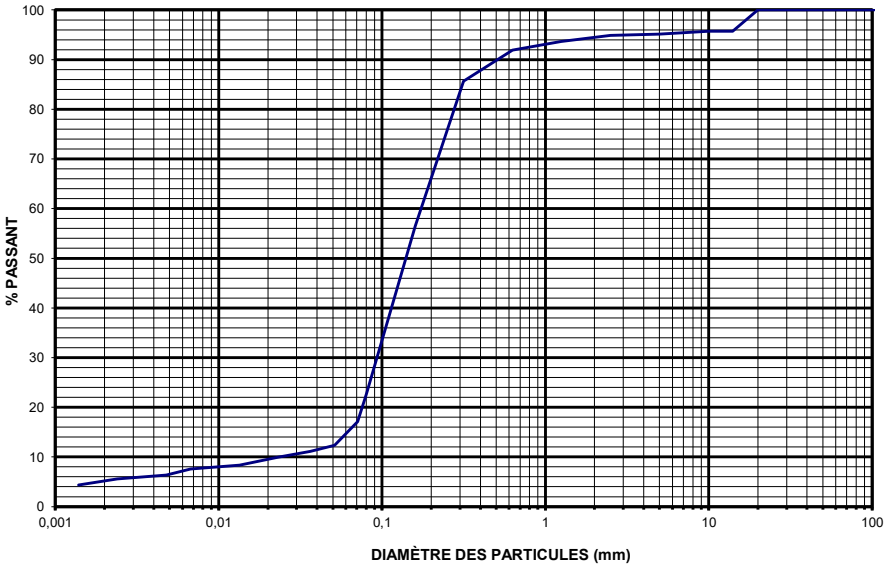
REMARQUES

Teneur en eau : 37,8 %

SÉDIMENTOMÉTRIE

TEMPS (MIN)	DIAMÈTRE (MM)	% PASSANT
0,5	0,071	17,1
1	0,051	12,3
2	0,036	11,1
5	0,023	9,9
15	0,013	8,4
30	0,010	8,0
60	0,007	7,6
120	0,005	6,4
240	0,003	6,0
480	0,002	5,6
1440	0,001	4,4

COURBE GRANULOMÉTRIQUE



Préparé par: Joël Martin

Vérifié par : Mustapha Mahouche, ing. jr.

QUALILAB INSPECTION INC.

CERTIFICAT DE LABORATOIRE - SOL

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES SOLS INORGANIQUES

BNQ 2501-025/2013

CLIENT: Groupe RDC Consultants **DOSSIER:** G-18-384

PROJET: HY18-010-02 **ANALYSE NO:** 18-384-42

DONNÉES GÉNÉRALES			
Description:	Sable avec un peu de silt et de gravier et traces d'argile	Prélevé le: -	Par: Client
Provenance:	GH-18-02 / CF-02 (2 à 4 pieds)	Analysé le: 2018-06-13	Par: A. P.

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE	
112 mm	100
80 mm	100
56 mm	100
40 mm	100
28 mm	100
20 mm	96
14 mm	90
10 mm	89
5 mm	88
2,5 mm	88
1,25 mm	86
630 µm	84
315 µm	80
160 µm	53
80 µm	19,1

RÉSUMÉ DES ESSAIS	
Argile %	5
Silt %	15
Sable %	69
Gravier %	12

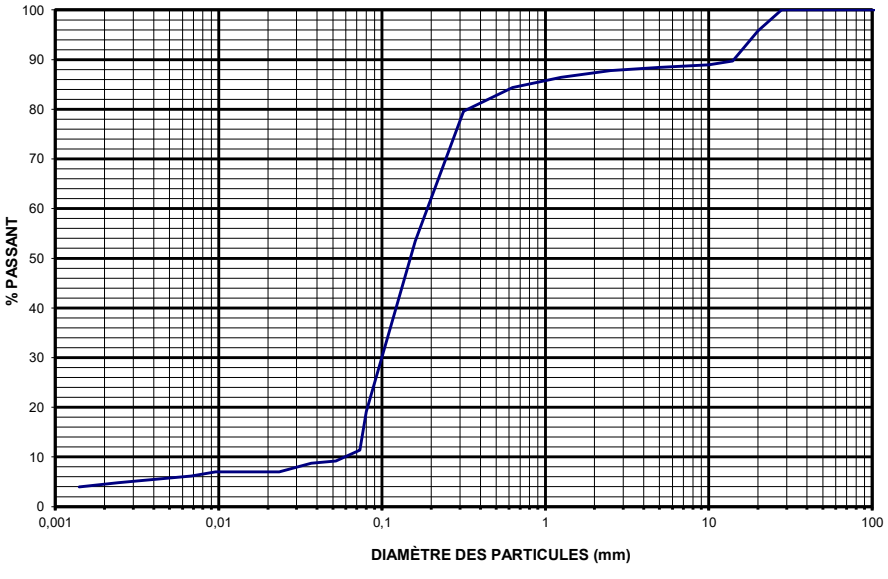
REMARQUES

Teneur en eau : 19,6 %

SÉDIMENTOMÉTRIE

TEMPS (MIN)	DIAMÈTRE (MM)	% PASSANT
0,5	0,073	11,4
1	0,052	9,2
2	0,037	8,8
5	0,023	7,0
15	0,014	7,0
30	0,010	7,0
60	0,007	6,1
120	0,005	5,7
240	0,003	5,3
480	0,002	4,8
1440	0,001	3,9

COURBE GRANULOMÉTRIQUE



Préparé par: Joël Martin

Vérifié par : Mustapha Mahouche, ing. jr.

QUALILAB INSPECTION INC.

CERTIFICAT DE LABORATOIRE - SOL

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES SOLS INORGANIQUES

BNQ 2501-025/2013

CLIENT: Groupe RDC Consultants
DOSSIER: G-18-384
PROJET: HY18-010-02
ANALYSE NO: 18-384-43

DONNÉES GÉNÉRALES

Description:	Sable silteux et argileux	Prélevé le:	-	Par: Client
Provenance:	FG-18-04 / CF-01 (0 à 2 pieds)	Analysé le:	2018-06-13	Par: A. P.

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

112 mm	100
80 mm	100
56 mm	100
40 mm	100
28 mm	100
20 mm	100
14 mm	100
10 mm	100
5 mm	100
2,5 mm	100
1,25 mm	100
630 µm	95
315 µm	78
160 µm	59
80 µm	45,3

RÉSUMÉ DES ESSAIS

Argile %	22
Silt %	23
Sable %	55
Gravier %	0

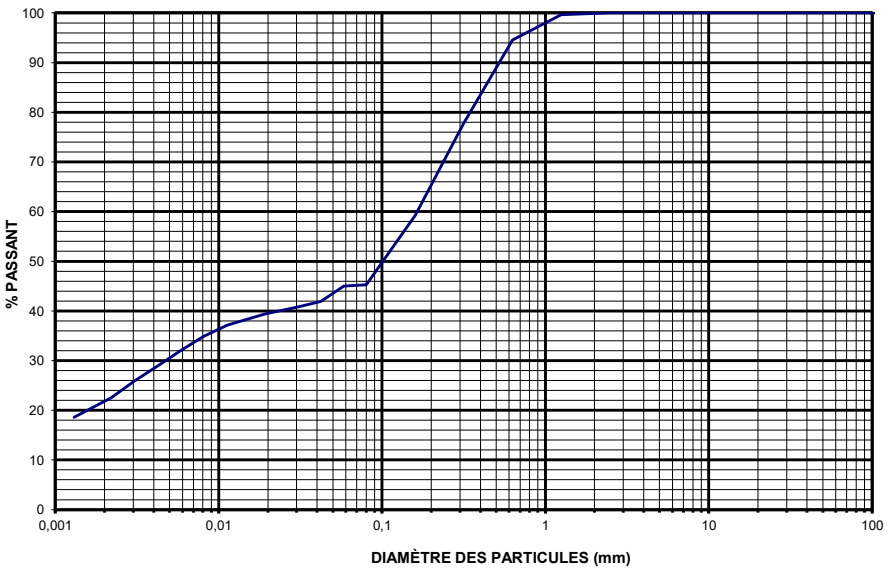
REMARQUES

Teneur en eau : 29,2 %

SÉDIMENTOMÉTRIE

TEMPS (MIN)	DIAMÈTRE (MM)	% PASSANT
0,5	0,058	45,0
1	0,042	41,9
2	0,030	40,8
5	0,019	39,4
15	0,011	37,1
30	0,008	34,9
60	0,006	32,1
120	0,004	29,0
240	0,003	25,9
480	0,002	22,5
1440	0,001	18,6

COURBE GRANULOMÉTRIQUE



Préparé par: Joël Martin

Vérifié par : Mustapha Mahouche, ing. jr.

CERTIFICAT DE LABORATOIRE - SOL

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES SOLS INORGANIQUES

BNQ 2501-025/2013

CLIENT: Groupe RDC Consultants
DOSSIER: G-18-384
PROJET: HY18-010-02
ANALYSE NO: 18-384-44

DONNÉES GÉNÉRALES

Description:	Silt et argile avec traces de sable	Prélevé le:	-	Par: Client
Provenance:	FG-18-04 / CF-02 (2 à 4 pieds)	Analysé le:	2018-06-13	Par: A. P.

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

112 mm	100
80 mm	100
56 mm	100
40 mm	100
28 mm	100
20 mm	100
14 mm	100
10 mm	100
5 mm	100
2,5 mm	100
1,25 mm	100
630 µm	100
315 µm	100
160 µm	100
80 µm	99,0

RÉSUMÉ DES ESSAIS

Argile %	39
Silt %	60
Sable %	1
Gravier %	0

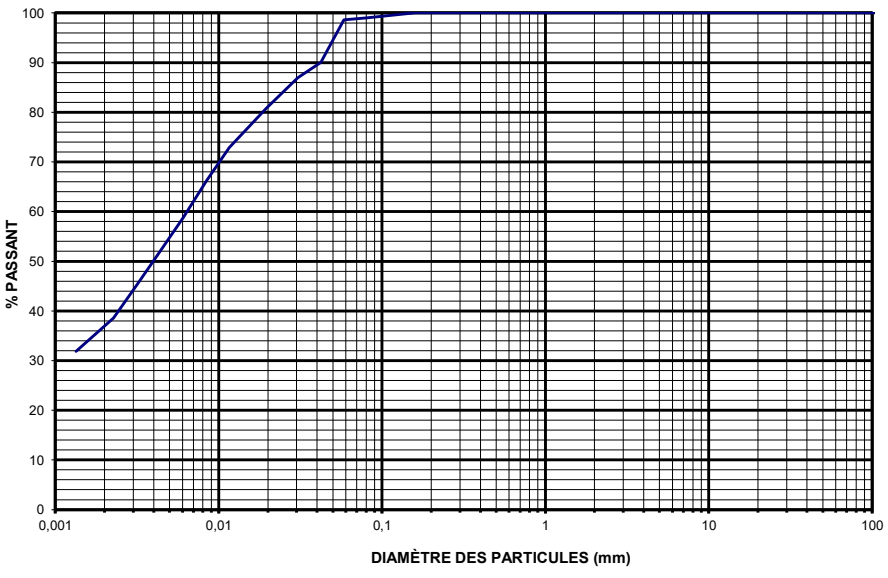
REMARQUES

Teneur en eau : 25,6 %

SÉDIMENTOMÉTRIE

TEMPS (MIN)	DIAMÈTRE (MM)	% PASSANT
0,5	0,058	98,6
1	0,042	90,0
2	0,031	87,0
5	0,020	80,9
15	0,012	72,9
30	0,008	66,2
60	0,006	58,8
120	0,004	52,1
240	0,003	45,3
480	0,002	38,6
1440	0,001	31,9

COURBE GRANULOMÉTRIQUE



Préparé par: Joël Martin

Vérifié par : Mustapha Mahouche, ing. jr.

QUALILAB INSPECTION INC.

CERTIFICAT DE LABORATOIRE - SOL

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES SOLS INORGANIQUES

BNQ 2501-025/2013

CLIENT: Groupe RDC Consultants **DOSSIER:** G-18-384

PROJET: HY18-010-02 **ANALYSE NO:** 18-384-45

DONNÉES GÉNÉRALES			
Description:	Silt sableux avec traces d'argile et de gravier	Prélevé le: -	Par: Client
Provenance:	FG-18-04 / CF-03 (4'-6" à 6'-6")	Analysé le: 2018-06-13	Par: A. P.

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE	
112 mm	100
80 mm	100
56 mm	100
40 mm	100
28 mm	100
20 mm	100
14 mm	100
10 mm	100
5 mm	99
2,5 mm	99
1,25 mm	96
630 µm	92
315 µm	88
160 µm	83
80 µm	70,2

RÉSUMÉ DES ESSAIS	
Argile %	5
Silt %	65
Sable %	29
Gravier %	1

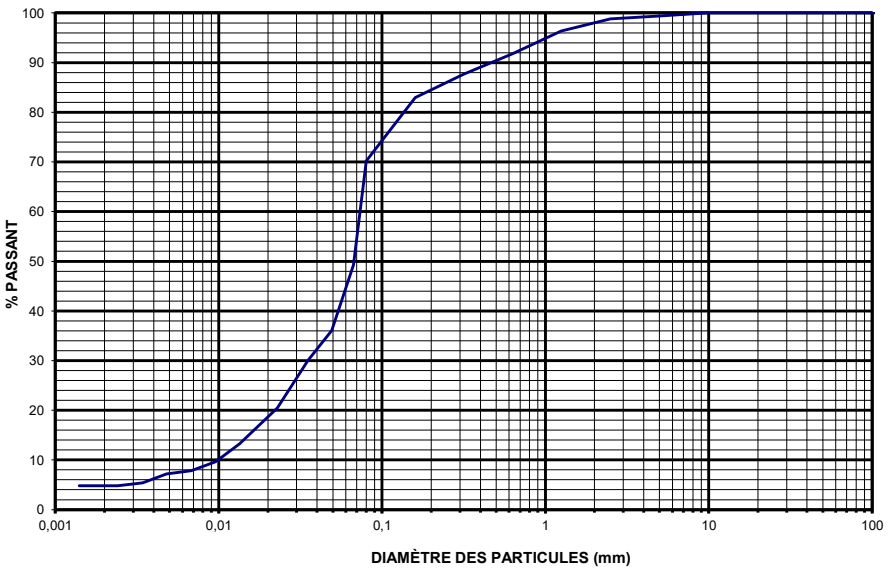
REMARQUES

Teneur en eau : 18,9 %

SÉDIMENTOMÉTRIE

TEMPS (MIN)	DIAMÈTRE (MM)	% PASSANT
0,5	0,067	49,3
1	0,049	36,1
2	0,035	30,0
5	0,023	20,4
15	0,013	13,2
30	0,010	9,6
60	0,007	7,8
120	0,005	7,2
240	0,003	5,4
480	0,002	4,8
1440	0,001	4,8

COURBE GRANULOMÉTRIQUE



Préparé par: Joël Martin

Vérifié par : Mustapha Mahouche, ing. jr.

CERTIFICAT DE LABORATOIRE - SOL

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES SOLS INORGANIQUES

BNQ 2501-025/2013

CLIENT: Groupe RDC Consultants
DOSSIER: G-18-384
PROJET: HY18-010-02
ANALYSE NO: 18-384-46

DONNÉES GÉNÉRALES

Description:	Sable avec traces de silt et de gravier et d'argile	Prélevé le:	-	Par: Client
Provenance:	FG-18-04 / CF-04 (7 à 9 pieds)	Analysé le:	2018-06-13	Par: A. P.

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

112 mm	100
80 mm	100
56 mm	100
40 mm	100
28 mm	100
20 mm	100
14 mm	100
10 mm	99
5 mm	95
2,5 mm	86
1,25 mm	68
630 µm	46
315 µm	30
160 µm	17
80 µm	9,8

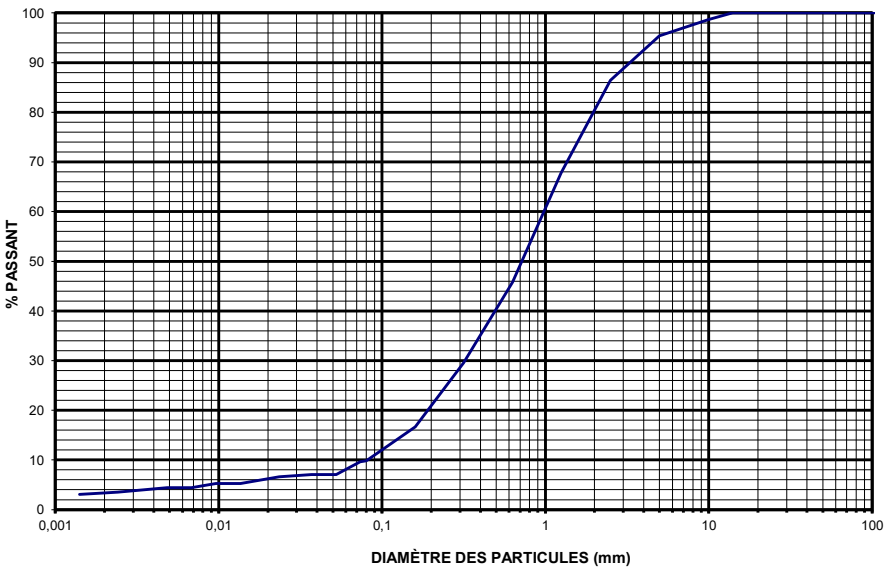
SÉDIMENTOMÉTRIE

TEMPS (MIN)	DIAMÈTRE (MM)	% PASSANT
0,5	0,074	9,7
1	0,052	7,0
2	0,037	7,0
5	0,024	6,6
15	0,014	5,3
30	0,010	5,3
60	0,007	4,4
120	0,005	4,4
240	0,003	4,0
480	0,002	3,5
1440	0,001	3,1

RÉSUMÉ DES ESSAIS

Argile %	4
Silt %	6
Sable %	86
Gravier %	5

COURBE GRANULOMÉTRIQUE



REMARQUES

Teneur en eau : 8,6 %

Préparé par: Joël Martin

Vérifié par : Mustapha Mahouche, ing. jr.

QUALILAB INSPECTION INC.

CERTIFICAT DE LABORATOIRE - SOL

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES SOLS INORGANIQUES

BNQ 2501-025/2013

CLIENT: Groupe RDC Consultants
DOSSIER: G-18-384
PROJET: HY18-010-02
ANALYSE NO: 18-384-47

DONNÉES GÉNÉRALES

Description:	Gravier et sable avec traces de silt et d'argile	Prélevé le:	-	Par: Client
Provenance:	FG-18-04 / CF-05 (9'-8" à 11'-8")	Analysé le:	2018-06-13	Par: A. P.

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

112 mm	100
80 mm	100
56 mm	100
40 mm	100
28 mm	92
20 mm	75
14 mm	66
10 mm	58
5 mm	46
2,5 mm	35
1,25 mm	26
630 µm	19
315 µm	15
160 µm	11
80 µm	8,3

RÉSUMÉ DES ESSAIS

Argile %	1
Silt %	7
Sable %	37
Gravier %	54

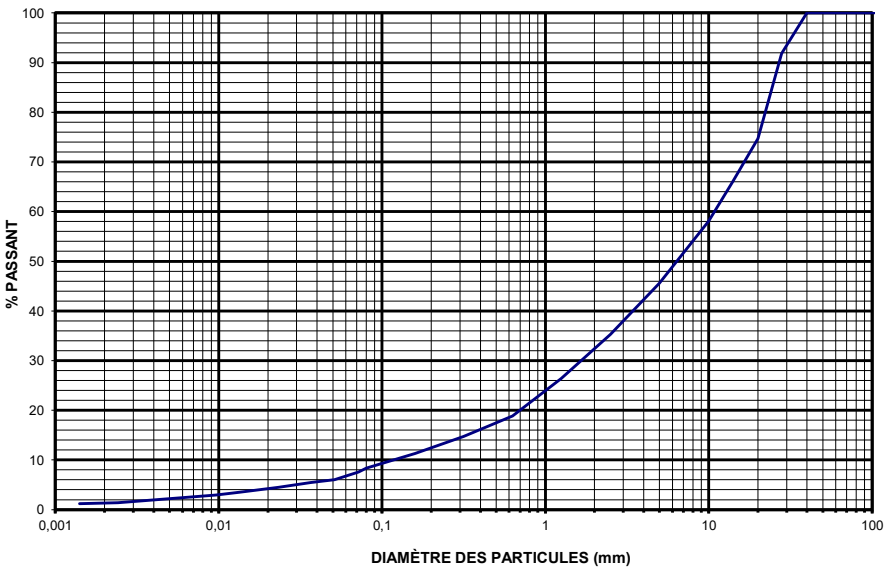
REMARQUES

Teneur en eau : 6 %

SÉDIMENTOMÉTRIE

TEMPS (MIN)	DIAMÈTRE (MM)	% PASSANT
0,5	0,072	7,6
1	0,051	6,0
2	0,037	5,5
5	0,023	4,5
15	0,014	3,5
30	0,010	2,9
60	0,007	2,5
120	0,005	2,1
240	0,003	1,8
480	0,002	1,4
1440	0,001	1,2

COURBE GRANULOMÉTRIQUE



Préparé par: Joël Martin

Vérifié par : Mustapha Mahouche, ing. jr.

QUALILAB INSPECTION INC.

CERTIFICAT DE LABORATOIRE - SOL

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES SOLS INORGANIQUES

BNQ 2501-025/2013

CLIENT: Groupe RDC Consultants **DOSSIER:** G-18-384

PROJET: HY18-010-02 **ANALYSE NO:** 18-384-48

DONNÉES GÉNÉRALES			
Description:	Gravier sableux avec traces de silt et d'argile	Prélevé le: -	Par: Client
Provenance:	FG-18-04 / CF-06 (12 à 14 pieds)	Analysé le: 2018-06-13	Par: A. P.

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE	
112 mm	100
80 mm	100
56 mm	100
40 mm	100
28 mm	100
20 mm	77
14 mm	62
10 mm	53
5 mm	40
2,5 mm	30
1,25 mm	24
630 µm	20
315 µm	15
160 µm	12
80 µm	9,0

RÉSUMÉ DES ESSAIS	
Argile %	1
Silt %	8
Sable %	31
Gravier %	60

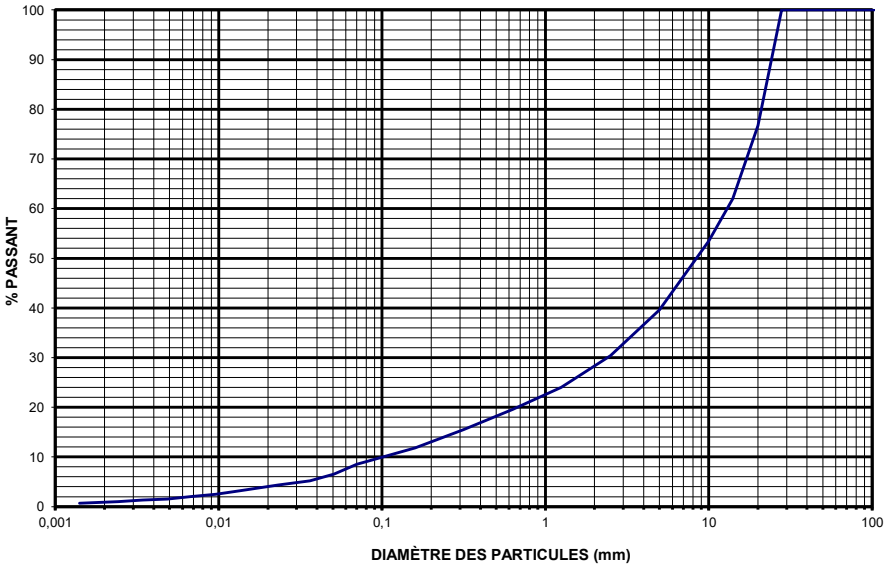
REMARQUES

Teneur en eau : 6 %

SÉDIMENTOMÉTRIE

TEMPS (MIN)	DIAMÈTRE (MM)	% PASSANT
0,5	0,070	8,5
1	0,051	6,5
2	0,036	5,2
5	0,023	4,4
15	0,013	3,2
30	0,010	2,5
60	0,007	2,0
120	0,005	1,5
240	0,003	1,3
480	0,002	1,0
1440	0,001	0,7

COURBE GRANULOMÉTRIQUE



Préparé par: Joël Martin

Vérifié par : Mustapha Mahouche, ing. jr.

QUALILAB INSPECTION INC.

CERTIFICAT DE LABORATOIRE - SOL

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES SOLS INORGANIQUES

BNQ 2501-025/2013

CLIENT: Groupe RDC Consultants **DOSSIER:** G-18-384

PROJET: HY18-010-02 **ANALYSE NO:** 18-384-49

DONNÉES GÉNÉRALES			
Description:	Argile silteuse avec traces de sable	Prélevé le: -	Par: Client
Provenance:	FG-18-03 / CF-03 (14 à 16 pieds)	Analysé le: 2018-06-13	Par: A. P.

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE	
112 mm	100
80 mm	100
56 mm	100
40 mm	100
28 mm	100
20 mm	100
14 mm	100
10 mm	100
5 mm	100
2,5 mm	100
1,25 mm	100
630 µm	100
315 µm	100
160 µm	100
80 µm	98,0

RÉSUMÉ DES ESSAIS	
Argile %	70
Silt %	28
Sable %	2
Gravier %	0

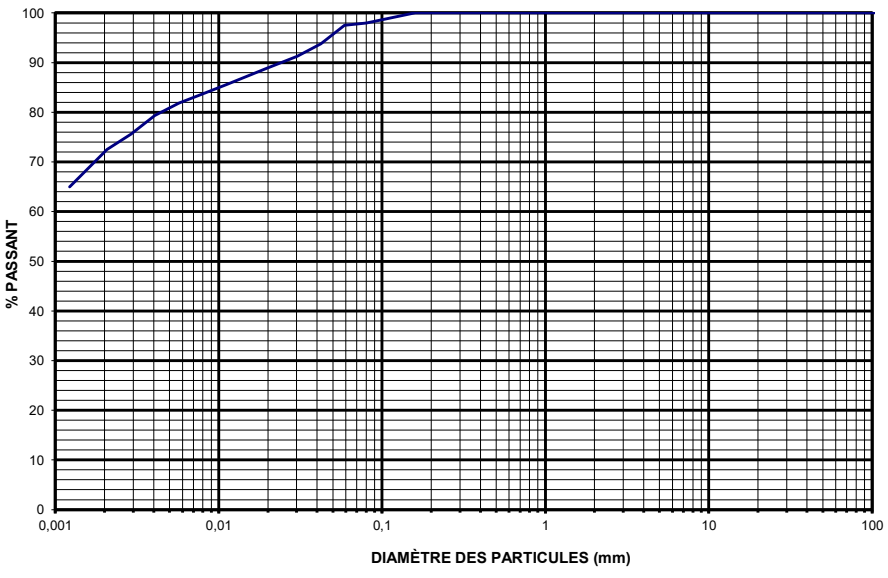
REMARQUES

Teneur en eau : 38 %

SÉDIMENTOMÉTRIE

TEMPS (MIN)	DIAMÈTRE (MM)	% PASSANT
0,5	0,059	97,5
1	0,042	93,8
2	0,030	91,3
5	0,019	88,8
15	0,011	85,6
30	0,008	83,8
60	0,006	81,9
120	0,004	79,4
240	0,003	75,6
480	0,002	72,5
1440	0,001	65,0

COURBE GRANULOMÉTRIQUE



Préparé par: Joël Martin

Vérifié par : Mustapha Mahouche, ing. jr.

QUALILAB INSPECTION INC.

CERTIFICAT DE LABORATOIRE - SOL

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES SOLS INORGANIQUES

BNQ 2501-025/2013

CLIENT: Groupe RDC Consultants **DOSSIER:** G-18-384

PROJET: HY18-010-02 **ANALYSE NO:** 18-384-50

DONNÉES GÉNÉRALES			
Description:	Argile silteuse avec traces de sable	Prélevé le: -	Par: Client
Provenance:	FG-18-03 / CF-04 (19'-7" à 21'-7")	Analysé le: 2018-06-13	Par: A. P.

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE	
112 mm	100
80 mm	100
56 mm	100
40 mm	100
28 mm	100
20 mm	100
14 mm	100
10 mm	100
5 mm	100
2,5 mm	100
1,25 mm	100
630 µm	100
315 µm	100
160 µm	100
80 µm	99,0

RÉSUMÉ DES ESSAIS	
Argile %	78
Silt %	21
Sable %	1
Gravier %	0

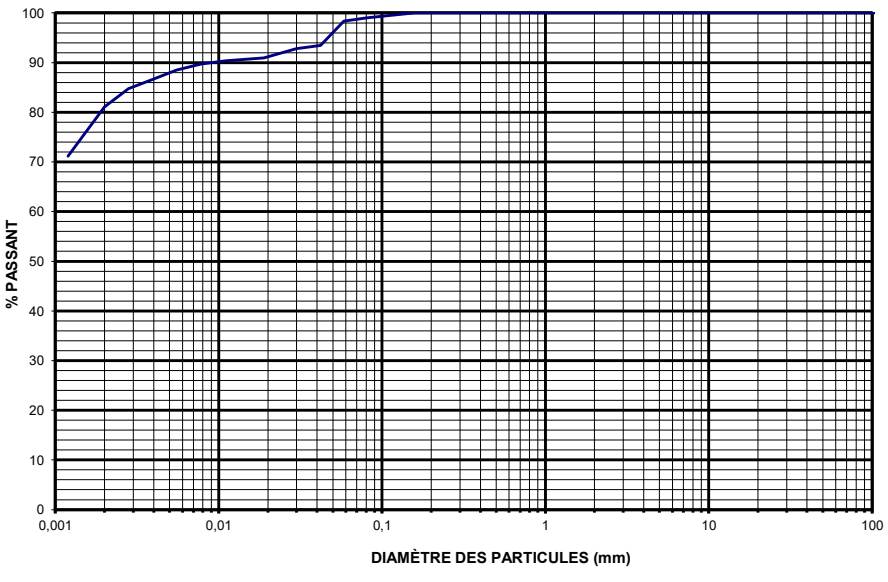
REMARQUES

Teneur en eau : 58,1 %

SÉDIMENTOMÉTRIE

TEMPS (MIN)	DIAMÈTRE (MM)	% PASSANT
0,5	0,058	98,4
1	0,042	93,4
2	0,030	92,8
5	0,019	91,0
15	0,011	90,3
30	0,008	89,7
60	0,006	88,5
120	0,004	86,6
240	0,003	84,8
480	0,002	81,1
1440	0,001	71,2

COURBE GRANULOMÉTRIQUE



Préparé par: Joël Martin

Vérifié par : Mustapha Mahouche, ing. jr.

QUALILAB INSPECTION INC.

CERTIFICAT DE LABORATOIRE - SOL

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES SOLS INORGANIQUES

BNQ 2501-025/2013

CLIENT: Groupe RDC Consultants **DOSSIER:** G-18-384

PROJET: HY18-010-02 **ANALYSE NO:** 18-384-51

DONNÉES GÉNÉRALES			
Description:	Argile et silt avec un peu de sable	Prélevé le: -	Par: Client
Provenance:	FG-18-03 / CF-05 (24 à 26 pieds)	Analysé le: 2018-06-13	Par: A. P.

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE	
112 mm	100
80 mm	100
56 mm	100
40 mm	100
28 mm	100
20 mm	100
14 mm	100
10 mm	100
5 mm	100
2,5 mm	100
1,25 mm	100
630 µm	100
315 µm	100
160 µm	100
80 µm	88,0

RÉSUMÉ DES ESSAIS	
Argile %	53
Silt %	35
Sable %	12
Gravier %	0

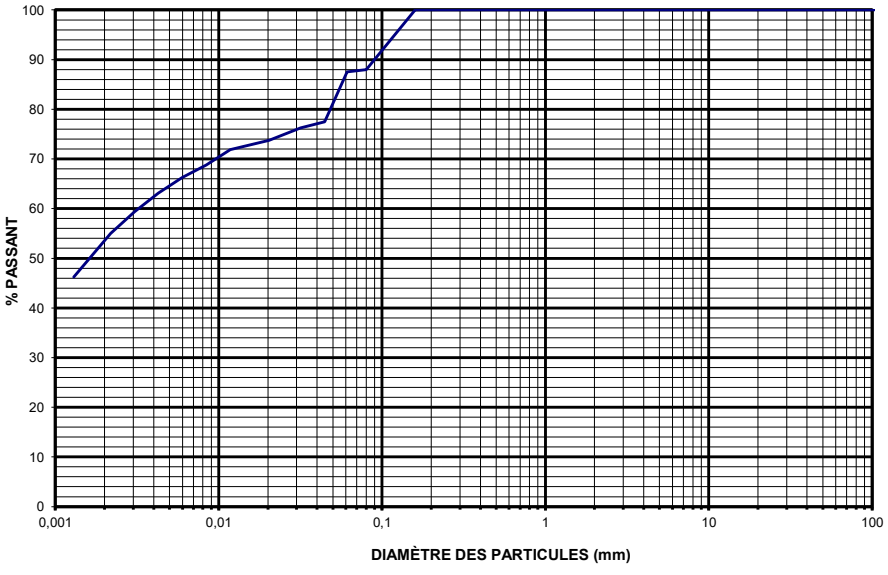
REMARQUES

Teneur en eau : 42,4 %

SÉDIMENTOMÉTRIE

TEMPS (MIN)	DIAMÈTRE (MM)	% PASSANT
0,5	0,061	87,5
1	0,045	77,5
2	0,032	76,3
5	0,020	73,8
15	0,012	71,9
30	0,008	68,8
60	0,006	66,3
120	0,004	63,1
240	0,003	59,4
480	0,002	55,0
1440	0,001	46,3

COURBE GRANULOMÉTRIQUE



Préparé par: Joël Martin

Vérifié par : Mustapha Mahouche, ing. jr.

QUALILAB INSPECTION INC.

CERTIFICAT DE LABORATOIRE - SOL

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES SOLS INORGANIQUES

BNQ 2501-025/2013

CLIENT: Groupe RDC Consultants
DOSSIER: G-18-384
PROJET: HY18-010-02
ANALYSE NO: 18-384-52

DONNÉES GÉNÉRALES

Description:	Argile et silt avec traces de sable	Prélevé le: -	Par: Client
Provenance:	FG-18-03 / CF-06A (27'-2" à 27'-11")	Analysé le: 2018-06-14	Par: A. P.

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

112 mm	100
80 mm	100
56 mm	100
40 mm	100
28 mm	100
20 mm	100
14 mm	100
10 mm	100
5 mm	100
2,5 mm	100
1,25 mm	100
630 µm	100
315 µm	100
160 µm	100
80 µm	90,3

RÉSUMÉ DES ESSAIS

Argile %	54
Silt %	36
Sable %	10
Gravier %	0

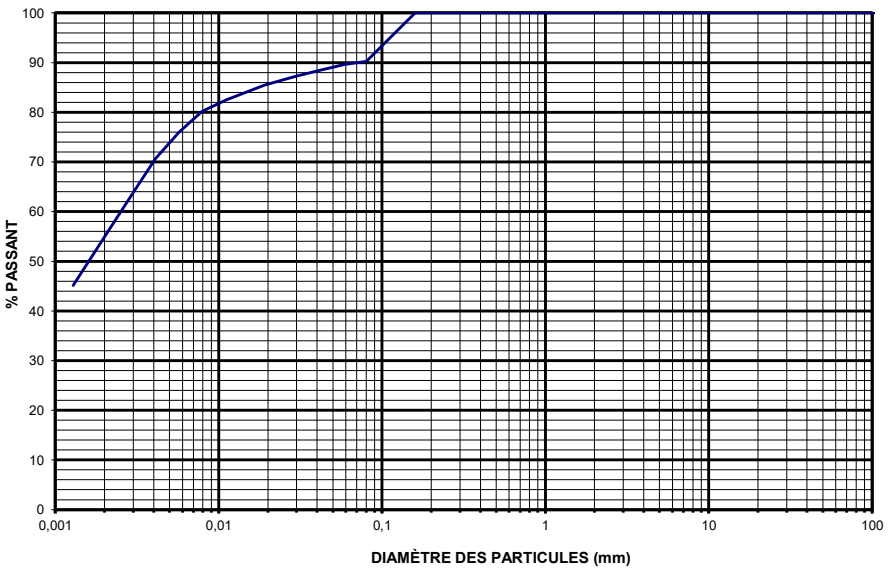
REMARQUES

Teneur en eau : 45,9 %

SÉDIMENTOMÉTRIE

TEMPS (MIN)	DIAMÈTRE (MM)	% PASSANT
0,5	0,059	89,7
1	0,042	88,5
2	0,030	87,3
5	0,019	85,5
15	0,011	82,5
30	0,008	80,2
60	0,006	76,0
120	0,004	70,7
240	0,003	63,5
480	0,002	56,4
1440	0,001	45,1

COURBE GRANULOMÉTRIQUE



Préparé par: Joël Martin

Vérifié par : Mustapha Mahouche, ing. jr.

CERTIFICAT DE LABORATOIRE - SOL

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES SOLS INORGANIQUES

BNQ 2501-025/2013

CLIENT: Groupe RDC Consultants
DOSSIER: G-18-384
PROJET: HY18-010-02
ANALYSE NO: 18-384-53

DONNÉES GÉNÉRALES

Description:	Argile et silt avec traces de sable	Prélevé le: -	Par: Client
Provenance:	FG-18-03 / CF-06B (27'-11 à 28'-7")	Analysé le: 2018-06-14	Par: A. P.

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

112 mm	100
80 mm	100
56 mm	100
40 mm	100
28 mm	100
20 mm	100
14 mm	100
10 mm	100
5 mm	100
2,5 mm	100
1,25 mm	100
630 µm	100
315 µm	100
160 µm	100
80 µm	90,8

RÉSUMÉ DES ESSAIS

Argile %	52
Silt %	38
Sable %	9
Gravier %	0

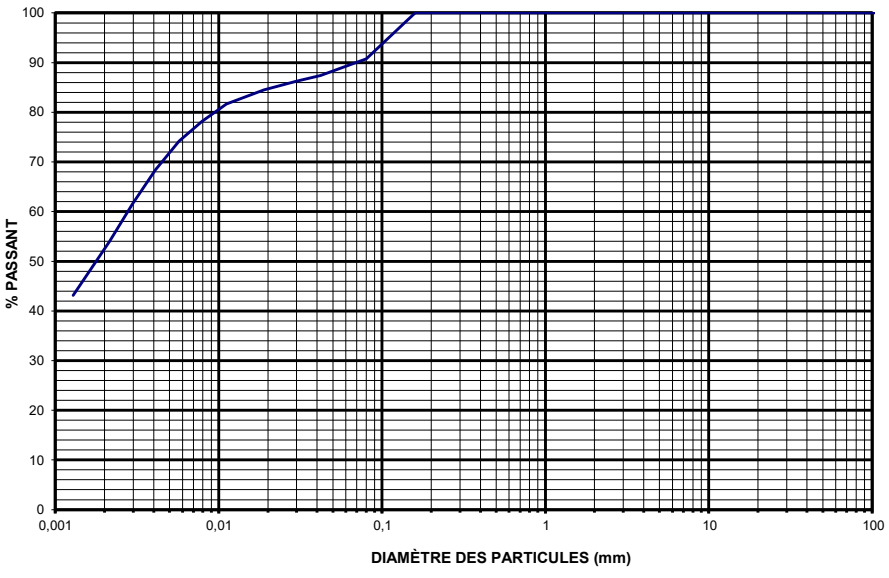
REMARQUES

Teneur en eau : 43,4 %

SÉDIMENTOMÉTRIE

TEMPS (MIN)	DIAMÈTRE (MM)	% PASSANT
0,5	0,059	89,1
1	0,042	87,4
2	0,030	86,3
5	0,019	84,5
15	0,011	81,7
30	0,008	78,2
60	0,006	74,2
120	0,004	68,4
240	0,003	61,5
480	0,002	54,1
1440	0,001	43,1

COURBE GRANULOMÉTRIQUE



Préparé par: Joël Martin

Vérifié par : Mustapha Mahouche, ing. jr.

QUALILAB INSPECTION INC.

CERTIFICAT DE LABORATOIRE - SOL

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES SOLS INORGANIQUES

BNQ 2501-025/2013

CLIENT: Groupe RDC Consultants **DOSSIER:** G-18-384

PROJET: HY18-010-02 **ANALYSE NO:** 18-384-54

DONNÉES GÉNÉRALES			
Description:	Silt avec un peu de sable et traces d'argile	Prélevé le: -	Par: Client
Provenance:	FG-18-03 / CF-06C (28'-7" à 29'-2")	Analysé le: 2018-06-14	Par: A. P.

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE	
112 mm	100
80 mm	100
56 mm	100
40 mm	100
28 mm	100
20 mm	100
14 mm	100
10 mm	100
5 mm	100
2,5 mm	100
1,25 mm	100
630 µm	99
315 µm	97
160 µm	95
80 µm	89,5

RÉSUMÉ DES ESSAIS	
Argile %	8
Silt %	81
Sable %	10
Gravier %	0

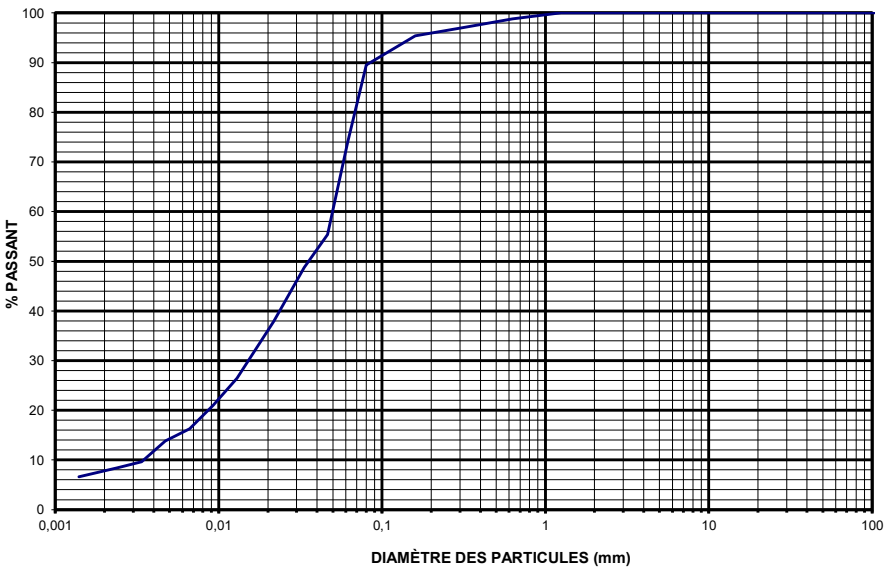
REMARQUES

Teneur en eau : 20,2 %

SÉDIMENTOMÉTRIE

TEMPS (MIN)	DIAMÈTRE (MM)	% PASSANT
0,5	0,062	74,0
1	0,046	55,4
2	0,033	48,7
5	0,022	37,9
15	0,013	26,5
30	0,009	21,1
60	0,007	16,2
120	0,005	13,8
240	0,003	9,6
480	0,002	8,4
1440	0,001	6,6

COURBE GRANULOMÉTRIQUE



Préparé par: Joël Martin

Vérifié par : Mustapha Mahouche, ing. jr.

QUALILAB INSPECTION INC.

CERTIFICAT DE LABORATOIRE - SOL

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES SOLS INORGANIQUES

BNQ 2501-025/2013

CLIENT: Groupe RDC Consultants **DOSSIER:** G-18-384

PROJET: HY18-010-02 **ANALYSE NO:** 18-384-55

DONNÉES GÉNÉRALES			
Description:	Silt et sable avec un peu de gravier et traces d'argile	Prélevé le: -	Par: Client
Provenance:	FG-18-03 / CF-07 (34'-6" à 36'-6")	Analysé le: 2018-06-14	Par: A. P.

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE	
112 mm	100
80 mm	100
56 mm	100
40 mm	100
28 mm	100
20 mm	100
14 mm	96
10 mm	94
5 mm	89
2,5 mm	85
1,25 mm	81
630 µm	77
315 µm	71
160 µm	65
80 µm	53,8

RÉSUMÉ DES ESSAIS	
Argile %	7
Silt %	47
Sable %	35
Gravier %	11

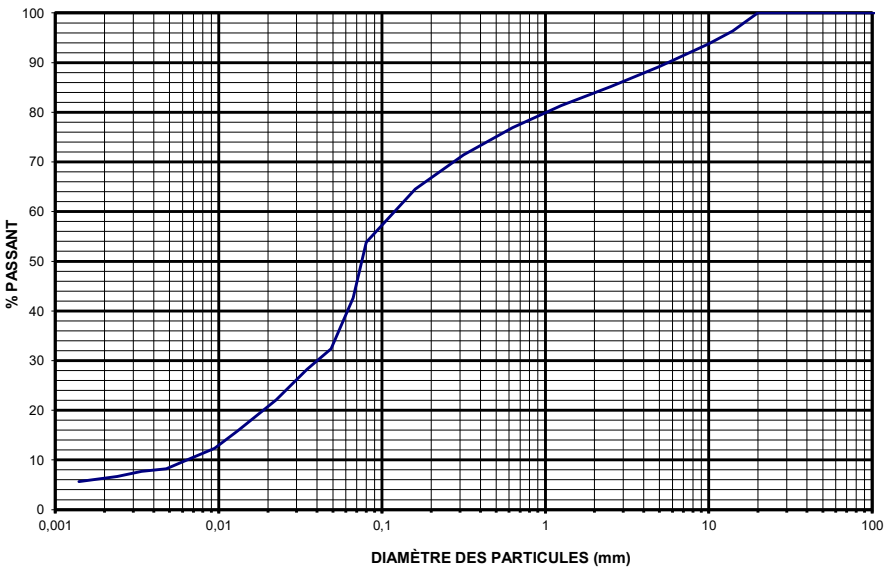
REMARQUES

Teneur en eau : 18,2 %

SÉDIMENTOMÉTRIE

TEMPS (MIN)	DIAMÈTRE (MM)	% PASSANT
0,5	0,067	42,6
1	0,049	32,4
2	0,035	28,2
5	0,022	22,1
15	0,013	15,9
30	0,009	12,3
60	0,007	10,3
120	0,005	8,2
240	0,003	7,7
480	0,002	6,7
1440	0,001	5,6

COURBE GRANULOMÉTRIQUE



Préparé par: Joël Martin

Vérifié par : Mustapha Mahouche, ing. jr.

QUALILAB INSPECTION INC.

CERTIFICAT DE LABORATOIRE - SOL

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES SOLS INORGANIQUES

BNQ 2501-025/2013

CLIENT: Groupe RDC Consultants **DOSSIER:** G-18-384

PROJET: HY18-010-02 **ANALYSE NO:** 18-384-56

DONNÉES GÉNÉRALES			
Description:	Silt et sable avec un peu de gravier et traces d'argile	Prélevé le: -	Par: Client
Provenance:	GH-18-04 / CF-02 (2 à 4 pieds)	Analysé le: 2018-06-14	Par: A. P.

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE	
112 mm	100
80 mm	100
56 mm	100
40 mm	100
28 mm	100
20 mm	88
14 mm	88
10 mm	86
5 mm	82
2,5 mm	80
1,25 mm	78
630 µm	75
315 µm	69
160 µm	57
80 µm	45,4

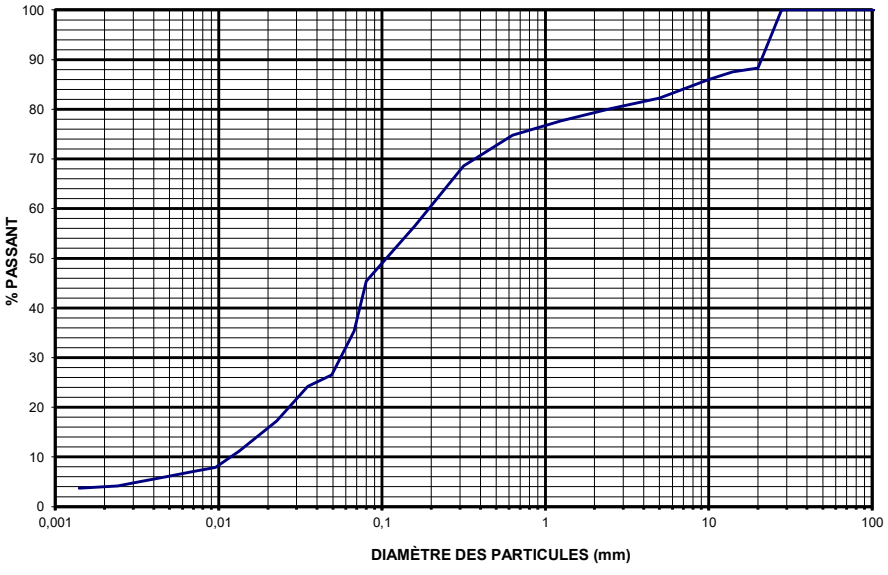
RÉSUMÉ DES ESSAIS	
Argile %	4
Silt %	41
Sable %	37
Gravier %	18

REMARQUES
Teneur en eau : 21 %

SÉDIMENTOMÉTRIE

TEMPS (MIN)	DIAMÈTRE (MM)	% PASSANT
0,5	0,067	35,3
1	0,049	26,5
2	0,035	24,2
5	0,023	17,2
15	0,013	11,2
30	0,010	7,9
60	0,007	7,0
120	0,005	6,0
240	0,003	5,1
480	0,002	4,2
1440	0,001	3,7

COURBE GRANULOMÉTRIQUE



Préparé par: Joël Martin

Vérifié par : Mustapha Mahouche, ing. jr.

CERTIFICAT DE LABORATOIRE - SOL

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES SOLS INORGANIQUES

BNQ 2501-025/2013

CLIENT: Groupe RDC Consultants
PROJET: HY18-010-02
DOSSIER: G-18-384
ANALYSE NO: 18-384-57

DONNÉES GÉNÉRALES

Description:	Argile silteuse avec traces de sable	Prélevé le:	-	Par: Client
Provenance:	GH-18-03 / CF-02 (2 à 4 pieds)	Analysé le:	2018-06-14	Par: A. P.

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

112 mm	100
80 mm	100
56 mm	100
40 mm	100
28 mm	100
20 mm	100
14 mm	100
10 mm	100
5 mm	100
2,5 mm	100
1,25 mm	100
630 µm	100
315 µm	100
160 µm	100
80 µm	97,5

RÉSUMÉ DES ESSAIS

Argile %	64
Silt %	34
Sable %	3
Gravier %	0

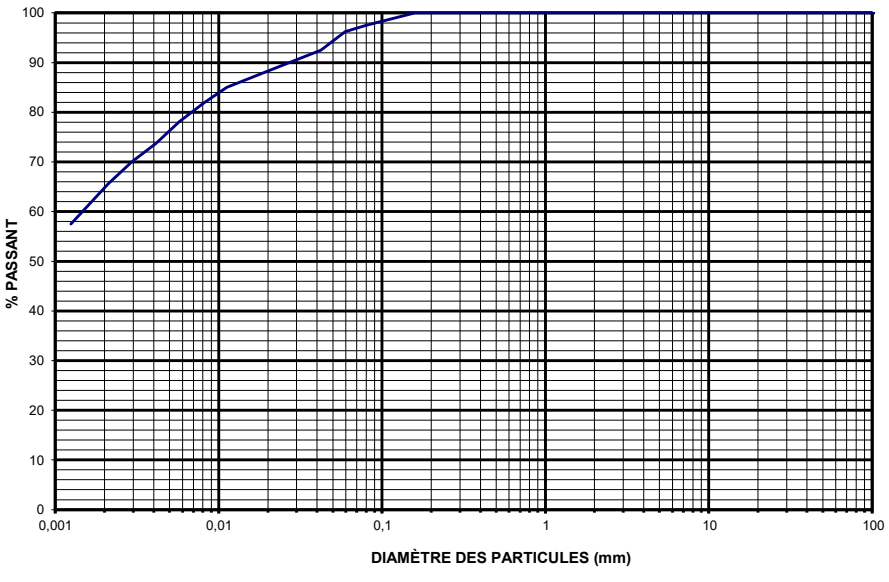
REMARQUES

Teneur en eau : 32,9 %

SÉDIMENTOMÉTRIE

TEMPS (MIN)	DIAMÈTRE (MM)	% PASSANT
0,5	0,059	96,3
1	0,042	92,5
2	0,030	90,6
5	0,019	88,1
15	0,011	85,0
30	0,008	81,9
60	0,006	78,1
120	0,004	73,8
240	0,003	70,0
480	0,002	65,6
1440	0,001	57,5

COURBE GRANULOMÉTRIQUE



Préparé par: Joël Martin

Vérifié par : Mustapha Mahouche, ing. jr.

QUALILAB INSPECTION INC.

CERTIFICAT DE LABORATOIRE - SOL

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES SOLS INORGANIQUES

BNQ 2501-025/2013

CLIENT: Groupe RDC Consultants **DOSSIER:** G-18-384

PROJET: HY18-010-02 **ANALYSE NO:** 18-384-59

DONNÉES GÉNÉRALES			
Description:	Silt avec un peu de sable et traces d'argile et de gravier	Prélevé le: -	Par: Client
Provenance:	Résidus #1	Analysé le: 2018-06-14	Par: A. P.

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE	
112 mm	100
80 mm	100
56 mm	100
40 mm	100
28 mm	100
20 mm	100
14 mm	100
10 mm	99
5 mm	99
2,5 mm	98
1,25 mm	98
630 µm	98
315 µm	97
160 µm	97
80 µm	85,8

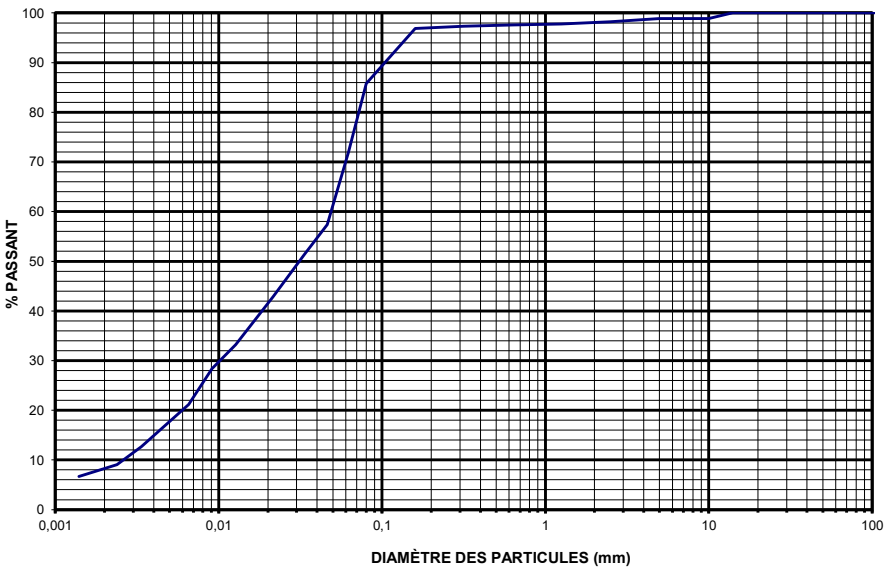
RÉSUMÉ DES ESSAIS	
Argile %	10
Silt %	76
Sable %	13
Gravier %	1

REMARQUES
Teneur en eau : 21,8 %

SÉDIMENTOMÉTRIE

TEMPS (MIN)	DIAMÈTRE (MM)	% PASSANT
0,5	0,062	71,9
1	0,046	57,4
2	0,033	51,3
5	0,021	42,9
15	0,013	33,2
30	0,009	28,4
60	0,007	21,1
120	0,005	16,9
240	0,003	12,7
480	0,002	9,1
1440	0,001	6,6

COURBE GRANULOMÉTRIQUE



Préparé par: Joël Martin

Vérifié par : Mustapha Mahouche, ing. jr.

CERTIFICAT DE LABORATOIRE - SOL

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES SOLS INORGANIQUES

BNQ 2501-025/2013

CLIENT: Groupe RDC Consultants
DOSSIER: G-18-384
PROJET: HY18-010-02
ANALYSE NO: 18-384-60

DONNÉES GÉNÉRALES

Description:	Silt avec un peu de sable et d'argile	Prélevé le:	-	Par: Client
Provenance:	Résidus #2	Analysé le:	2018-06-14	Par: A. P.

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

112 mm	100
80 mm	100
56 mm	100
40 mm	100
28 mm	100
20 mm	100
14 mm	100
10 mm	100
5 mm	100
2,5 mm	100
1,25 mm	100
630 µm	100
315 µm	100
160 µm	100
80 µm	88,3

RÉSUMÉ DES ESSAIS

Argile %	11
Silt %	78
Sable %	12
Gravier %	0

REMARQUES

Teneur en eau : 21,9 %

SÉDIMENTOMÉTRIE

TEMPS (MIN)	DIAMÈTRE (MM)	% PASSANT
0,5	0,062	75,0
1	0,047	56,9
2	0,033	52,5
5	0,022	42,5
15	0,013	32,5
30	0,009	27,5
60	0,007	21,3
120	0,005	16,9
240	0,003	13,1
480	0,002	10,0
1440	0,001	8,1

COURBE GRANULOMÉTRIQUE

Préparé par: Joël Martin

Vérifié par : Mustapha Mahouche, ing. jr.

QUALILAB INSPECTION INC.

CERTIFICAT DE LABORATOIRE - SOL

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES SOLS INORGANIQUES

BNQ 2501-025/2013

CLIENT: Groupe RDC Consultants **DOSSIER:** G-18-384

PROJET: HY18-010-02 **ANALYSE NO:** 18-384-61

DONNÉES GÉNÉRALES			
Description:	Silt avec un peu de sable et traces d'argile	Prélevé le: -	Par: Client
Provenance:	Résidus #3	Analysé le: 2018-06-14	Par: A. P.

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE	
112 mm	100
80 mm	100
56 mm	100
40 mm	100
28 mm	100
20 mm	100
14 mm	100
10 mm	100
5 mm	100
2,5 mm	100
1,25 mm	100
630 µm	100
315 µm	100
160 µm	99
80 µm	85,6

RÉSUMÉ DES ESSAIS	
Argile %	10
Silt %	76
Sable %	14
Gravier %	0

REMARQUES
Teneur en eau : 17,3 %

SÉDIMENTOMÉTRIE

TEMPS (MIN)	DIAMÈTRE (MM)	% PASSANT
0,5	0,063	73,4
1	0,047	54,9
2	0,034	51,2
5	0,022	40,1
15	0,013	30,2
30	0,009	26,5
60	0,007	20,4
120	0,005	16,0
240	0,003	13,0
480	0,002	9,3
1440	0,001	6,8

COURBE GRANULOMÉTRIQUE

Préparé par: Joël Martin

Vérifié par : Mustapha Mahouche, ing. jr.

QUALILAB INSPECTION INC.

CERTIFICAT DE LABORATOIRE - SOL

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES SOLS INORGANIQUES

BNQ 2501-025/2013

CLIENT: Groupe RDC Consultants
DOSSIER: G-18-384
PROJET: HY18-010-02
ANALYSE NO: 18-384-62

DONNÉES GÉNÉRALES

Description:	Silt avec un peu de sable et traces d'argile	Prélevé le: -	Par: Client
Provenance:	Résidus #4	Analysé le: 2018-06-14	Par: A. P.

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

112 mm	100
80 mm	100
56 mm	100
40 mm	100
28 mm	100
20 mm	100
14 mm	100
10 mm	100
5 mm	100
2,5 mm	99
1,25 mm	99
630 µm	99
315 µm	99
160 µm	98
80 µm	88,8

RÉSUMÉ DES ESSAIS

Argile %	9
Silt %	79
Sable %	11
Gravier %	0

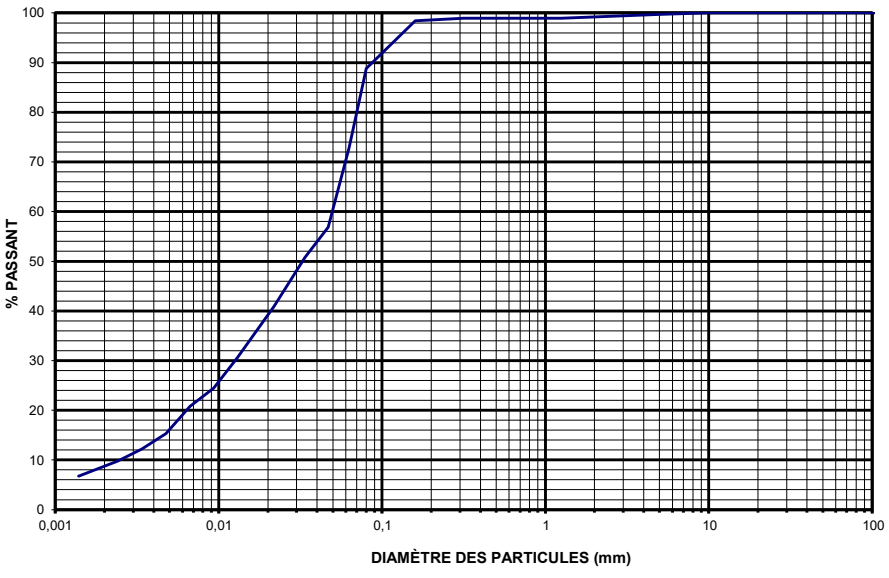
REMARQUES

Teneur en eau : 17,6 %

SÉDIMENTOMÉTRIE

TEMPS (MIN)	DIAMÈTRE (MM)	% PASSANT
0,5	0,063	72,8
1	0,047	56,9
2	0,034	50,8
5	0,022	41,0
15	0,013	30,6
30	0,009	24,5
60	0,007	20,8
120	0,005	15,3
240	0,003	12,2
480	0,002	9,8
1440	0,001	6,7

COURBE GRANULOMÉTRIQUE



Préparé par: Joël Martin

Vérifié par : Mustapha Mahouche, ing. jr.

CERTIFICAT DE LABORATOIRE - SOL

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES SOLS INORGANIQUES

BNQ 2501-025/2013

CLIENT: Groupe RDC Consultants
PROJET: HY18-010-02
DOSSIER: G-18-384
ANALYSE NO: 18-384-63

DONNÉES GÉNÉRALES

Description:	Argile silteuse avec traces de sable	Prélevé le:	-	Par: Client
Provenance:	FG-18-05 / CF-02 (2 à 4 pieds)	Analysé le:	2018-06-14	Par: A. P.

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

112 mm	100
80 mm	100
56 mm	100
40 mm	100
28 mm	100
20 mm	100
14 mm	100
10 mm	100
5 mm	100
2,5 mm	100
1,25 mm	100
630 µm	100
315 µm	100
160 µm	100
80 µm	95,8

RÉSUMÉ DES ESSAIS

Argile %	69
Silt %	26
Sable %	4
Gravier %	0

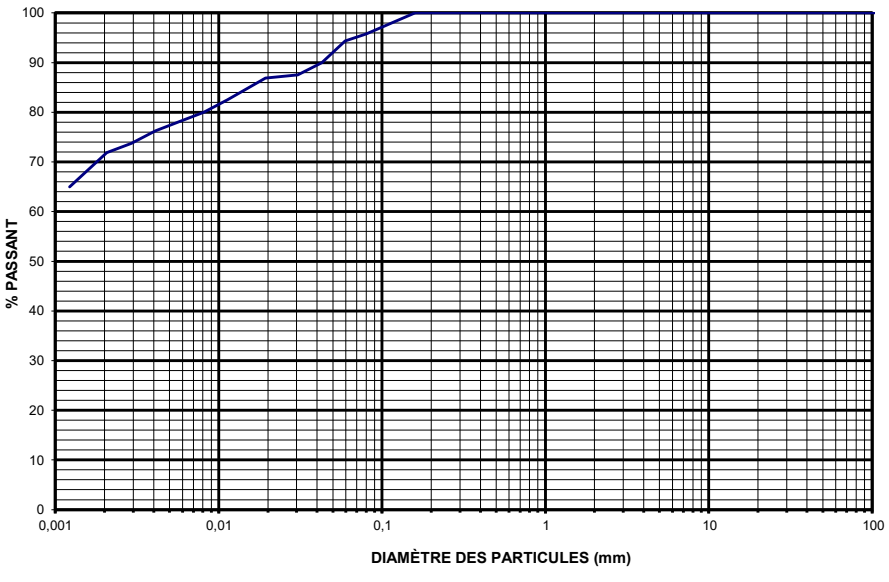
REMARQUES

Teneur en eau : 34,8 %

SÉDIMENTOMÉTRIE

TEMPS (MIN)	DIAMÈTRE (MM)	% PASSANT
0,5	0,059	94,4
1	0,043	90,0
2	0,031	87,5
5	0,019	86,9
15	0,011	82,5
30	0,008	80,0
60	0,006	78,1
120	0,004	76,3
240	0,003	73,8
480	0,002	71,9
1440	0,001	65,0

COURBE GRANULOMÉTRIQUE



Préparé par: Joël Martin

Vérifié par : Mustapha Mahouche, ing. jr.

CERTIFICAT DE LABORATOIRE - SOL

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES SOLS INORGANIQUES

BNQ 2501-025/2013

CLIENT: Groupe RDC Consultants
PROJET: HY18-010-02
DOSSIER: G-18-384
ANALYSE NO: 18-384-64

DONNÉES GÉNÉRALES

Description:	Argile avec un peu de silt et traces de sable	Prélevé le:	-	Par: Client
Provenance:	FG-18-05 / CF-03 (4 à 6 pieds)	Analysé le:	2018-06-14	Par: A. P.

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

112 mm	100
80 mm	100
56 mm	100
40 mm	100
28 mm	100
20 mm	100
14 mm	100
10 mm	100
5 mm	100
2,5 mm	100
1,25 mm	100
630 µm	100
315 µm	100
160 µm	100
80 µm	99,3

SÉDIMENTOMÉTRIE

TEMPS (MIN)	DIAMÈTRE (MM)	% PASSANT
0,5	0,058	98,7
1	0,042	95,7
2	0,029	95,1
5	0,019	94,5
15	0,011	92,6
30	0,008	92,0
60	0,005	90,8
120	0,004	88,4
240	0,003	85,9
480	0,002	82,9
1440	0,001	74,3

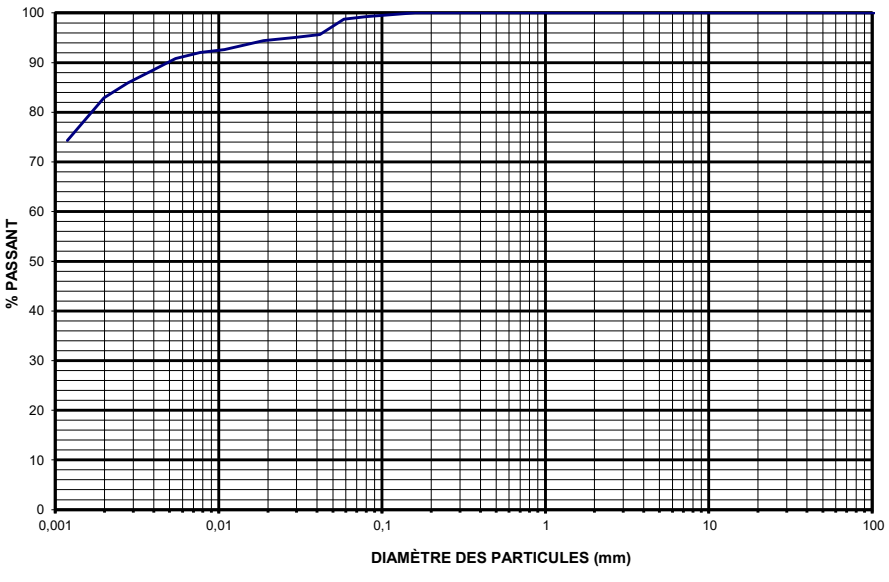
RÉSUMÉ DES ESSAIS

Argile %	80
Silt %	19
Sable %	1
Gravier %	0

REMARQUES

Teneur en eau : 43,3 %

COURBE GRANULOMÉTRIQUE



Préparé par: Joël Martin

Vérifié par : Mustapha Mahouche, ing. jr.

QUALILAB INSPECTION INC.

CERTIFICAT DE LABORATOIRE - SOL

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES SOLS INORGANIQUES

BNQ 2501-025/2013

CLIENT: Groupe RDC Consultants **DOSSIER:** G-18-384

PROJET: HY18-010-02 **ANALYSE NO:** 18-384-65

DONNÉES GÉNÉRALES			
Description:	Argile silteuse avec traces de sable	Prélevé le: -	Par: Client
Provenance:	FG-18-05 / CF-04 (6 à 8 pieds)	Analysé le: 2018-06-14	Par: A. P.

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE	
112 mm	100
80 mm	100
56 mm	100
40 mm	100
28 mm	100
20 mm	100
14 mm	100
10 mm	100
5 mm	100
2,5 mm	100
1,25 mm	100
630 µm	100
315 µm	100
160 µm	100
80 µm	99,0

RÉSUMÉ DES ESSAIS	
Argile %	69
Silt %	30
Sable %	1
Gravier %	0

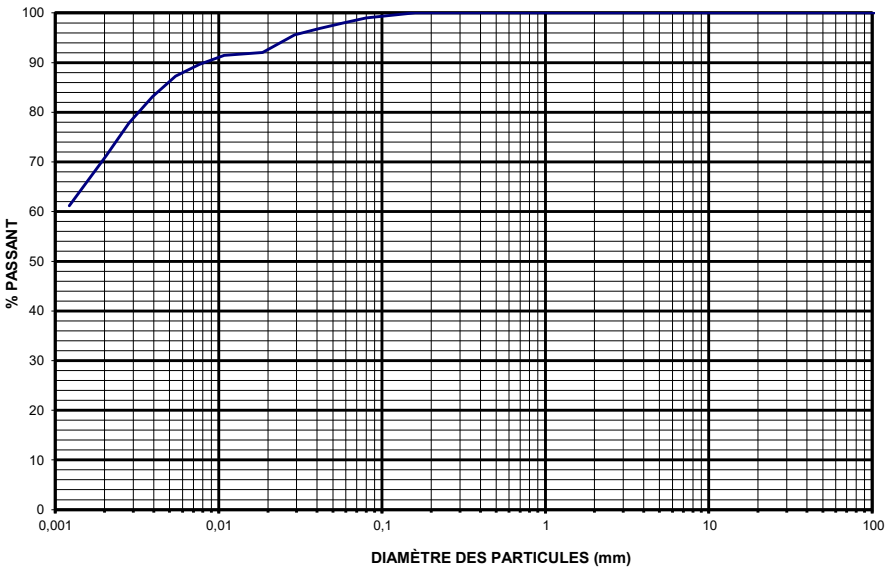
REMARQUES

Teneur en eau : 53,6 %

SÉDIMENTOMÉTRIE

TEMPS (MIN)	DIAMÈTRE (MM)	% PASSANT
0,5	0,058	98,0
1	0,041	96,8
2	0,029	95,6
5	0,019	92,0
15	0,011	91,4
30	0,008	89,7
60	0,005	87,3
120	0,004	83,1
240	0,003	77,8
480	0,002	71,3
1440	0,001	61,2

COURBE GRANULOMÉTRIQUE



Préparé par: Joël Martin

Vérifié par : Mustapha Mahouche, ing. jr.

QUALILAB INSPECTION INC.

CERTIFICAT DE LABORATOIRE - SOL

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES SOLS INORGANIQUES

BNQ 2501-025/2013

CLIENT: Groupe RDC Consultants
PROJET: HY18-010-02
DOSSIER: G-18-384
ANALYSE NO: 18-384-66

DONNÉES GÉNÉRALES

Description:	Silt argileux avec traces de sable	Prélevé le: -	Par: Client
Provenance:	FG-18-05 / CF-05 (11 à 13 pieds)	Analysé le: 2018-06-14	Par: A. P.

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

112 mm	100
80 mm	100
56 mm	100
40 mm	100
28 mm	100
20 mm	100
14 mm	100
10 mm	100
5 mm	100
2,5 mm	100
1,25 mm	100
630 µm	100
315 µm	100
160 µm	100
80 µm	99,0

RÉSUMÉ DES ESSAIS

Argile %	28
Silt %	71
Sable %	1
Gravier %	0

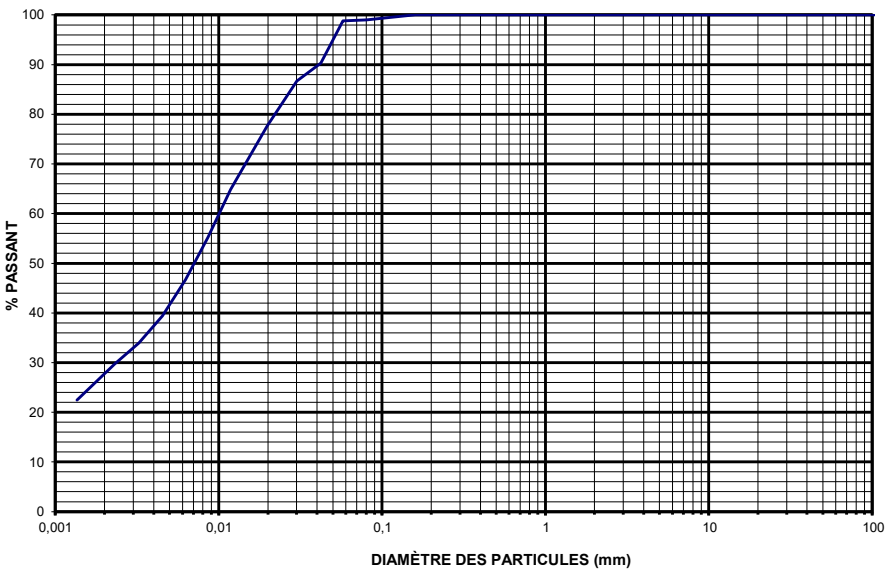
REMARQUES

Teneur en eau : 36 %

SÉDIMENTOMÉTRIE

TEMPS (MIN)	DIAMÈTRE (MM)	% PASSANT
0,5	0,058	98,8
1	0,042	90,3
2	0,030	86,7
5	0,020	77,6
15	0,012	64,9
30	0,009	55,2
60	0,006	46,7
120	0,005	39,4
240	0,003	34,0
480	0,002	29,7
1440	0,001	22,4

COURBE GRANULOMÉTRIQUE



Préparé par: Joël Martin

Vérifié par : Mustapha Mahouche, ing. jr.

QUALILAB INSPECTION INC.

CERTIFICAT DE LABORATOIRE - SOL

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES SOLS INORGANIQUES

BNQ 2501-025/2013

CLIENT: Groupe RDC Consultants
DOSSIER: G-18-384
PROJET: HY18-010-02
ANALYSE NO: 18-384-67

DONNÉES GÉNÉRALES

Description:	Silt avec un peu de sable et traces de gravier et d'argile	Prélevé le:	-	Par:	Client
Provenance:	FG-18-05 / CF-06 (14'-3" à 16'-3")	Analysé le:	2018-06-14	Par:	A. P.

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

112 mm	100
80 mm	100
56 mm	100
40 mm	100
28 mm	100
20 mm	96
14 mm	96
10 mm	96
5 mm	95
2,5 mm	95
1,25 mm	94
630 µm	94
315 µm	93
160 µm	91
80 µm	83,3

SÉDIMENTOMÉTRIE

TEMPS (MIN)	DIAMÈTRE (MM)	% PASSANT
0,5	0,063	67,9
1	0,048	46,8
2	0,034	41,0
5	0,023	26,9
15	0,013	16,4
30	0,010	11,7
60	0,007	8,2
120	0,005	7,0
240	0,003	5,9
480	0,002	5,3
1440	0,001	3,5

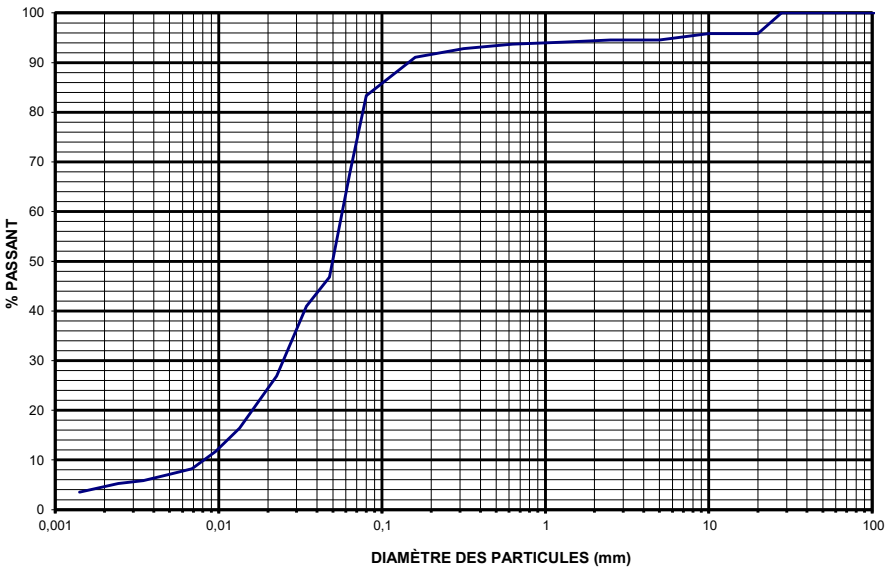
RÉSUMÉ DES ESSAIS

Argile %	5
Silt %	79
Sable %	11
Gravier %	5

REMARQUES

Teneur en eau : 24,2 %

COURBE GRANULOMÉTRIQUE



Préparé par: Joël Martin

Vérifié par : Mustapha Mahouche, ing. jr.

QUALILAB INSPECTION INC.

CERTIFICAT DE LABORATOIRE - SOL

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES SOLS INORGANIQUES

BNQ 2501-025/2013

CLIENT: Groupe RDC Consultants
DOSSIER: G-18-384
PROJET: HY18-010-02
ANALYSE NO: 18-384-68

DONNÉES GÉNÉRALES

Description:	Sable graveleux avec un peu de silt	Prélevé le: -	Par: Client
Provenance:	FG-18-05 / CF-07 (24'-6" à 26'-6")	Analysé le: 2018-06-14	Par: A. P.

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

112 mm	100
80 mm	100
56 mm	100
40 mm	100
28 mm	94
20 mm	91
14 mm	85
10 mm	77
5 mm	68
2,5 mm	63
1,25 mm	55
630 µm	44
315 µm	34
160 µm	23
80 µm	11,6

RÉSUMÉ DES ESSAIS

Argile %	0
Silt %	11
Sable %	57
Gravier %	32

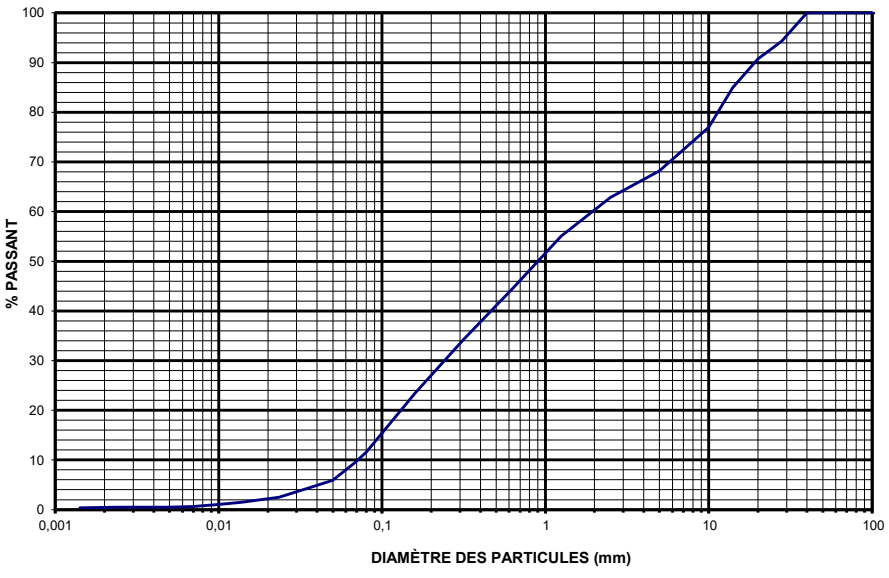
REMARQUES

Teneur en eau : 10,7 %

SÉDIMENTOMÉTRIE

TEMPS (MIN)	DIAMÈTRE (MM)	% PASSANT
0,5	0,068	9,4
1	0,050	5,9
2	0,036	4,4
5	0,023	2,5
15	0,014	1,5
30	0,010	1,0
60	0,007	0,6
120	0,005	0,5
240	0,003	0,5
480	0,002	0,5
1440	0,001	0,4

COURBE GRANULOMÉTRIQUE



Préparé par: Joël Martin

Vérifié par : Mustapha Mahouche, ing. jr.

QUALILAB INSPECTION INC.

CERTIFICAT DE LABORATOIRE - SOL

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES SOLS INORGANIQUES

BNQ 2501-025/2013

CLIENT: Groupe RDC Consultants
PROJET: HY18-010-02
DOSSIER: G-18-384
ANALYSE NO: 18-384-69

DONNÉES GÉNÉRALES

Description:	Silt et sable avec un peu d'argile et traces de gravier	Prélevé le:	-	Par: Client
Provenance:	FG-18-05 / CF-08 (29'-3" à 31'-3")	Analysé le:	2018-06-14	Par: A. P.

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

112 mm	100
80 mm	100
56 mm	100
40 mm	100
28 mm	100
20 mm	98
14 mm	98
10 mm	96
5 mm	93
2,5 mm	92
1,25 mm	88
630 µm	80
315 µm	74
160 µm	66
80 µm	52,6

SÉDIMENTOMÉTRIE

TEMPS (MIN)	DIAMÈTRE (MM)	% PASSANT
0,5	0,073	43,8
1	0,053	29,7
2	0,037	25,0
5	0,024	21,9
15	0,014	18,8
30	0,010	15,7
60	0,007	14,1
120	0,005	12,5
240	0,003	11,0
480	0,002	11,0
1440	0,001	9,4

RÉSUMÉ DES ESSAIS

Argile %	10
Silt %	42
Sable %	41
Gravier %	7

REMARQUES

Teneur en eau : 16,7 %

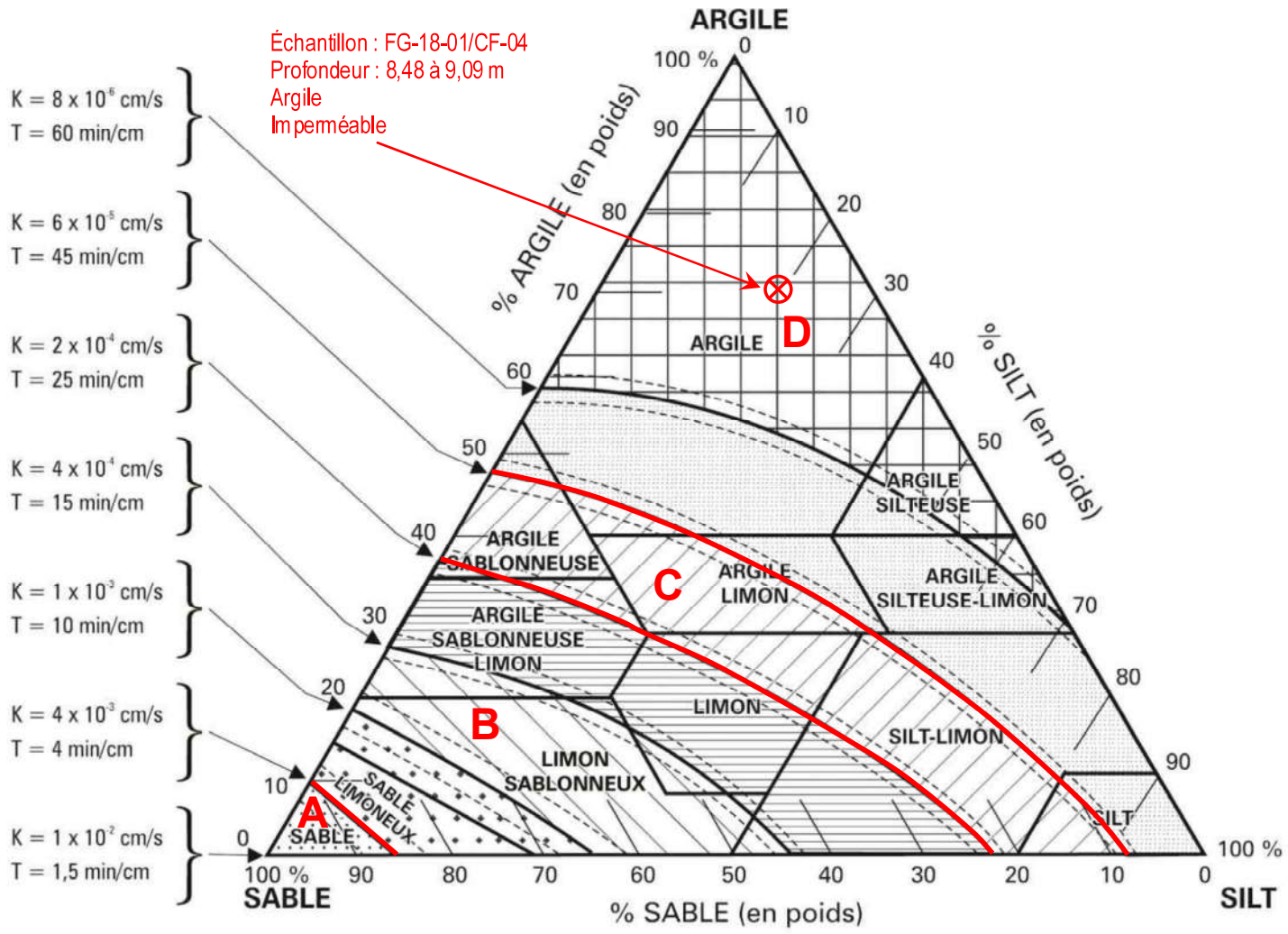
COURBE GRANULOMÉTRIQUE

Préparé par: Joël Martin

Vérifié par : Mustapha Mahouche, ing. jr.

ANNEXE 6 : DIAGRAMMES DE PERMÉABILITÉ INTERPRÉTÉS SELON LES GRANULOMÉTRIES

CORRÉLATION ENTRE LA TEXTURE DU SOL ET LA PERMÉABILITÉ



Source : *tiré du Guide pour l'étude des technologies conventionnelles du traitement des eaux usées d'origine domestique du MDDELCC, édition février 2001 à février 2017*

1 : Pour chaque 10 % (en poids) de contenu en gravier et cailloux de l'échantillon, on doit ajouter un équivalent en poids de sable de 1 %.

2 : Le trait continu entre chaque classe de conductivité hydraulique relative (en termes de « K » et de « T »), représente une valeur moyenne approximative pour chacune des textures de sol représentées. Les traits pointillés indiquent un écart moyen en raison des caractéristiques fondamentales de l'échantillon analysé (structure, densité, etc.).

3 : Se déplacer d'un équivalent de 15 % d'augmentation de contenu en argile pour les sols compacts (limon ou sols plus fins ayant une densité relative supérieure à 1,5 ou sable ayant une densité relative supérieure à 1,7).

A : Zone très perméable
B : Zone perméable
C : Zone peu perméable
D : Zone imperméable

SABLE : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 2 mm

SILT : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 0,002 mm

ARGILE : Particules dont le diamètre est inférieur à 0,002mm

% (en poids)

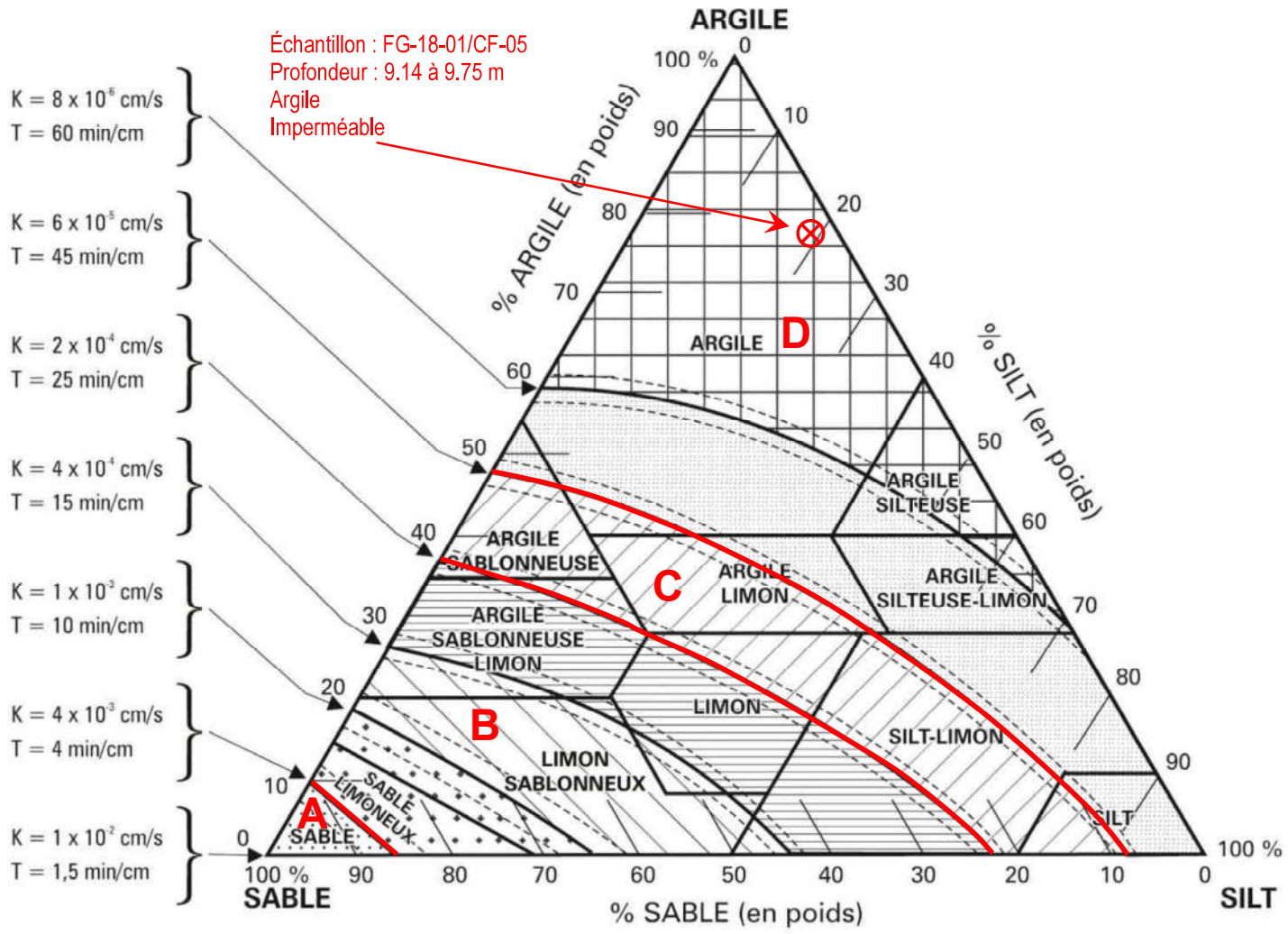
⊗ **Échantillon :** FG-18-01/CF-04
Gravier : 0.0%
Sable : 10.0%
Silt : 19.7%
Argile : 70.3%

Perméabilité : 8 x 10^{-6} cm/s > K
Temps de percolation : T > 60 min/cm

Titre : DIAGRAMME DE PERMÉABILITÉ	**Client :** Métanor	**N/D :** HY18-010-2	**Date :** 26 juillet 2018
Lieu : Mine Bachelor, 200, chemin de la Mine, Desmaraisville, Qc, J0Y 1H0			
Projet : Étude géotechnique et hydrogéologique au parc à résidus	**Préparé par :** Mathieu Dufour, ing. junior		

Groupe RDConsultants

CORRÉLATION ENTRE LA TEXTURE DU SOL ET LA PERMÉABILITÉ



Source : *tiré du Guide pour l'étude des technologies conventionnelles du traitement des eaux usées d'origine domestique du MDDELCC, édition février 2001 à février 2017*

1 : Pour chaque 10 % (en poids) de contenu en gravier et cailloux de l'échantillon, on doit ajouter un équivalent en poids de sable de 1 %.

2 : Le trait continu entre chaque classe de conductivité hydraulique relative (en termes de « K » et de « T »), représente une valeur moyenne approximative pour chacune des textures de sol représentées. Les traits pointillés indiquent un écart moyen en raison des caractéristiques fondamentales de l'échantillon analysé (structure, densité, etc.).

3 : Se déplacer d'un équivalent de 15 % d'augmentation de contenu en argile pour les sols compacts (limon ou sols plus fins ayant une densité relative supérieure à 1,5 ou sable ayant une densité relative supérieure à 1,7).

A : Zone très perméable
B : Zone perméable
C : Zone peu perméable
D : Zone imperméable

SABLE : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 2 mm

SILT : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 0,002 mm

ARGILE : Particules dont le diamètre est inférieur à 0,002mm

% (en poids)

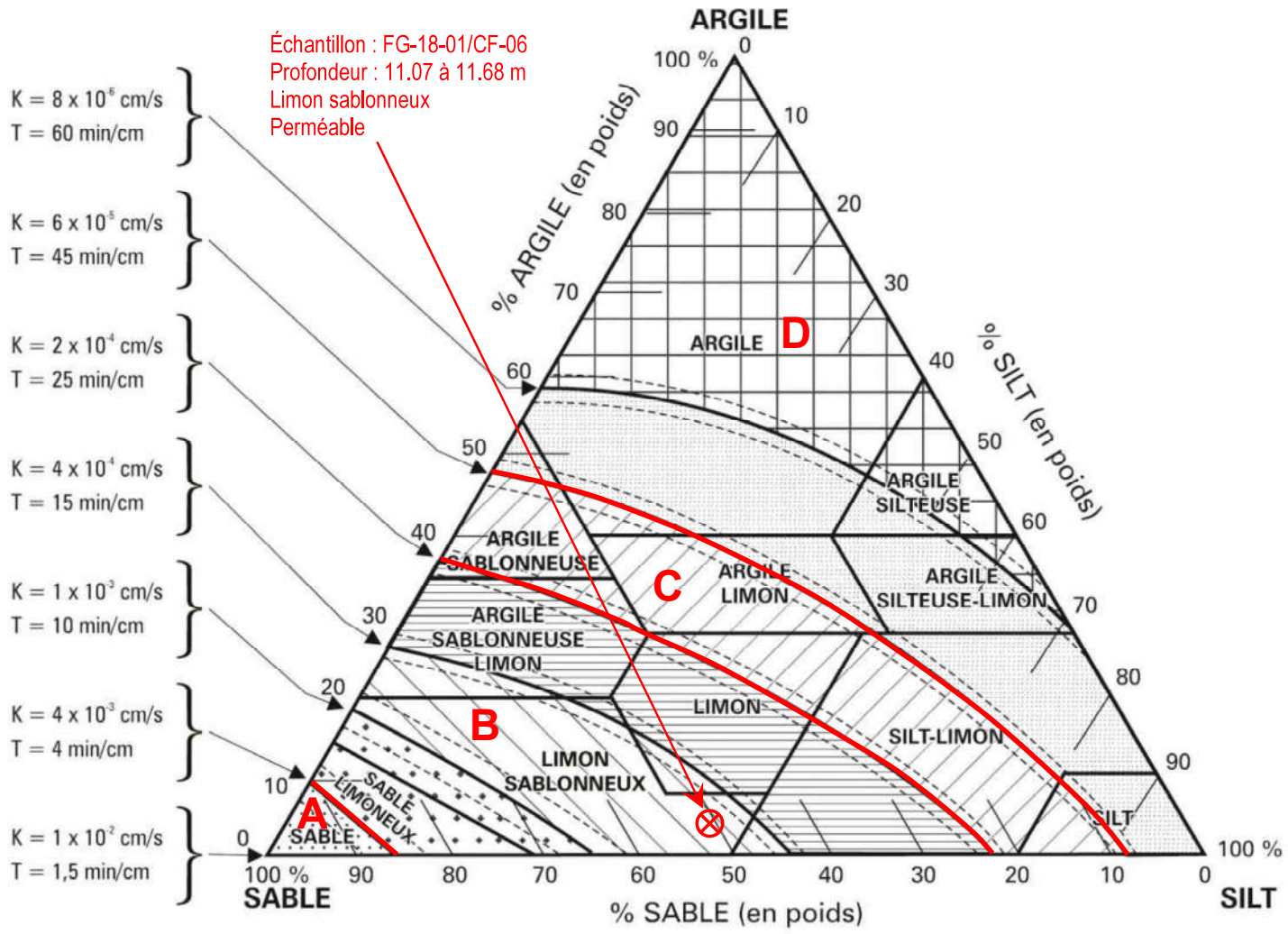
⊗ **Échantillon :** FG-18-01/CF-05
Gravier : 0.0%
Sable : 1.5%
Silt : 18.7%
Argile : 79.8%

Perméabilité : 8 x 10^{-6} cm/s > K
Temps de percolation : T > 60 min/cm

Titre : DIAGRAMME DE PERMÉABILITÉ	**Client :** Métanor	**N/D :** HY18-010-2	**Date :** 26 juillet 2018
Lieu : Mine Bachelor, 200, chemin de la mine, Desmaraisville, Qc, J0Y 1H0			
Projet : Étude géotechnique et hydrogéologique au parc à résidus	**Préparé par :** Mathieu Dufour, ing. junior		

Groupe RDConsultants

CORRÉLATION ENTRE LA TEXTURE DU SOL ET LA PERMÉABILITÉ



Source : *tiré du Guide pour l'étude des technologies conventionnelles du traitement des eaux usées d'origine domestique du MDDELCC, édition février 2001 à février 2017*

1 : Pour chaque 10 % (en poids) de contenu en gravier et cailloux de l'échantillon, on doit ajouter un équivalent en poids de sable de 1 %.

2 : Le trait continu entre chaque classe de conductivité hydraulique relative (en termes de « K » et de « T »), représente une valeur moyenne approximative pour chacune des textures de sol représentées. Les traits pointillés indiquent un écart moyen en raison des caractéristiques fondamentales de l'échantillon analysé (structure, densité, etc.).

3 : Se déplacer d'un équivalent de 15 % d'augmentation de contenu en argile pour les sols compacts (limon ou sols plus fins ayant une densité relative supérieure à 1,5 ou sable ayant une densité relative supérieure à 1,7).

A : Zone très perméable
B : Zone perméable
C : Zone peu perméable
D : Zone imperméable

SABLE : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 2 mm

SILT : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 0,002 mm

ARGILE : Particules dont le diamètre est inférieur à 0,002mm

% (en poids)

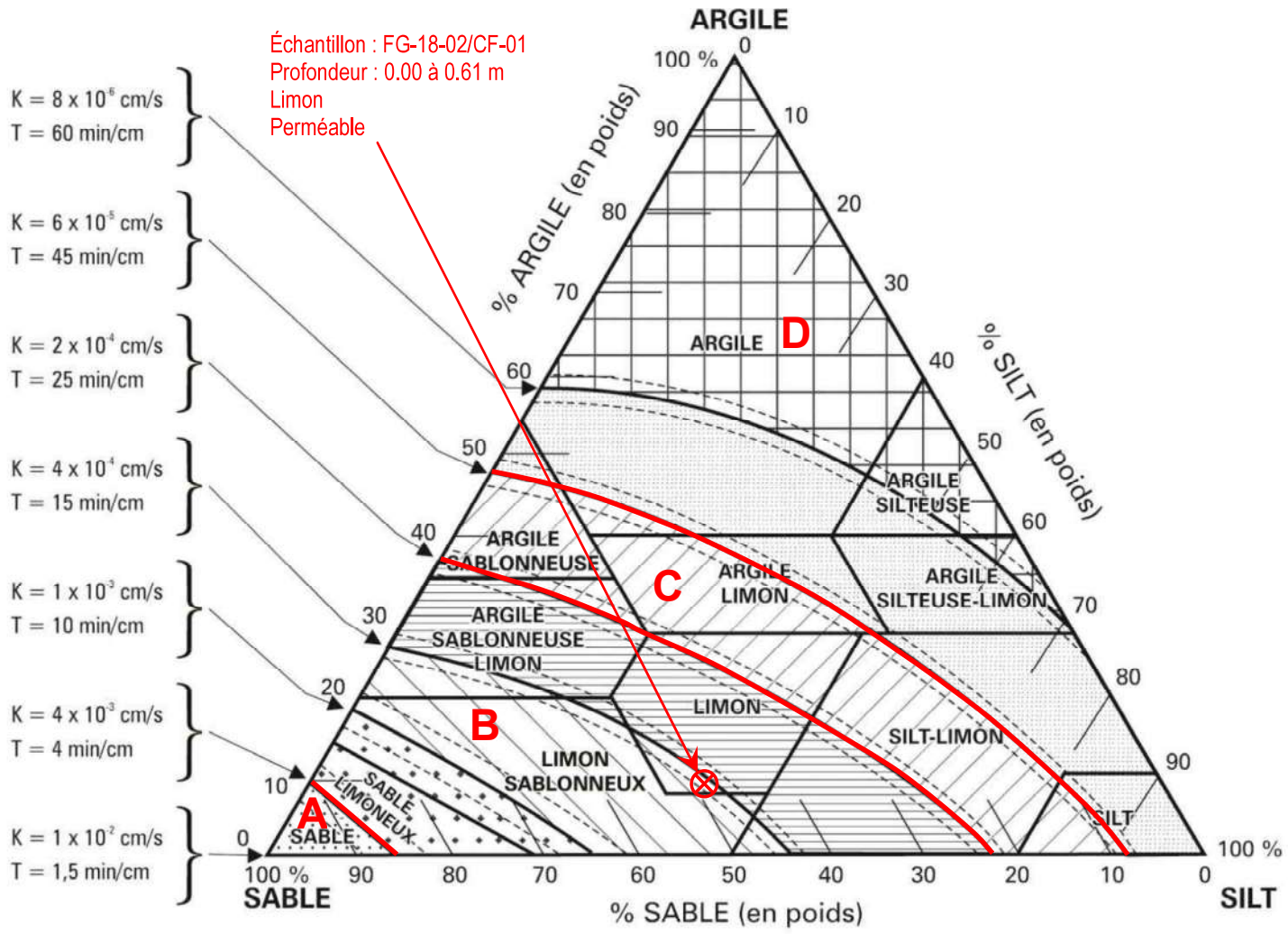
⊗ **Échantillon :** FG-18-01/CF-06
Gravier : 3.0%
Sable : 47.0%
Silt : 44.7%
Argile : 5.3%

Perméabilité : $1 \times 10^{-3} > K > 4 \times 10^{-4}$ cm/s
Temps de percolation : 10 < T < 15 min/cm

Titre : DIAGRAMME DE PERMÉABILITÉ	**Client :** Métanor	**N/D :** HY18-010-2	**Date :** 26 juillet 2018
Lieu : Mine Bachelor, 200, chemin de la mine, Desmaraisville, Qc, J0Y 1H0			
Projet : Étude géotechnique et hydrogéologique au parc à résidus	**Préparé par :** Mathieu Dufour, ing. junior		

Groupe RDConsultants

CORRÉLATION ENTRE LA TEXTURE DU SOL ET LA PERMÉABILITÉ



Source : *tiré du Guide pour l'étude des technologies conventionnelles du traitement des eaux usées d'origine domestique du MDDELCC, édition février 2001 à février 2017*

1 : Pour chaque 10 % (en poids) de contenu en gravier et cailloux de l'échantillon, on doit ajouter un équivalent en poids de sable de 1 %.

2 : Le trait continu entre chaque classe de conductivité hydraulique relative (en termes de « K » et de « T »), représente une valeur moyenne approximative pour chacune des textures de sol représentées. Les traits pointillés indiquent un écart moyen en raison des caractéristiques fondamentales de l'échantillon analysé (structure, densité, etc.).

3 : Se déplacer d'un équivalent de 15 % d'augmentation de contenu en argile pour les sols compacts (limon ou sols plus fins ayant une densité relative supérieure à 1,5 ou sable ayant une densité relative supérieure à 1,7).

A : Zone très perméable
B : Zone perméable
C : Zone peu perméable
D : Zone imperméable

SABLE : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 2 mm

SILT : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 0,002 mm

ARGILE : Particules dont le diamètre est inférieur à 0,002mm

% (en poids)

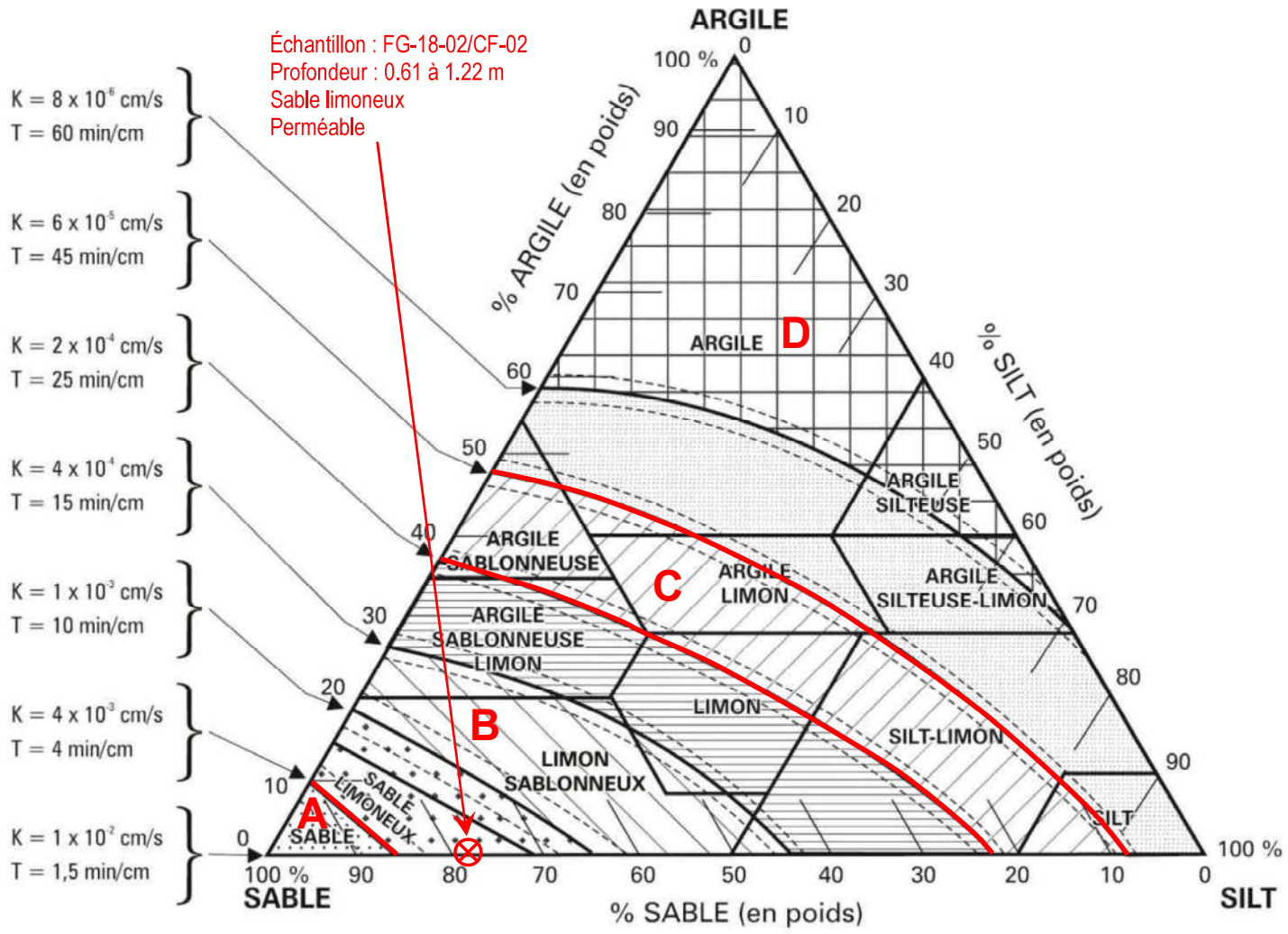
⊗ **Échantillon :** FG-18-02/CF-01
Gravier : 0.0%
Sable : 48.4%
Silt : 40.3%
Argile : 11.3%

Perméabilité: $1 \times 10^{-3} > K > 4 \times 10^{-4}$ cm/s
Temps de percolation : 10 < T < 15 min/cm

Titre : DIAGRAMME DE PERMÉABILITÉ	**Client :** Métanor	**N/D :** HY18-010-2	**Date :** 26 juillet 2018
Lieu : Mine Bachelor, 200, chemin de la mine, Desmaraisville, Qc, J0Y 1H0			
Projet : Étude géotechnique et hydrogéologique au parc à résidus	**Préparé par :** Mathieu Dufour, ing. junior		

Groupe RDConsultants

CORRÉLATION ENTRE LA TEXTURE DU SOL ET LA PERMÉABILITÉ



Source : *tiré du Guide pour l'étude des technologies conventionnelles du traitement des eaux usées d'origine domestique du MDDELCC, édition février 2001 à février 2017*

1 : Pour chaque 10 % (en poids) de contenu en gravier et cailloux de l'échantillon, on doit ajouter un équivalent en poids de sable de 1 %.

2 : Le trait continu entre chaque classe de conductivité hydraulique relative (en termes de « K » et de « T »), représente une valeur moyenne approximative pour chacune des textures de sol représentées. Les traits pointillés indiquent un écart moyen en raison des caractéristiques fondamentales de l'échantillon analysé (structure, densité, etc.).

3 : Se déplacer d'un équivalent de 15 % d'augmentation de contenu en argile pour les sols compacts (limon ou sols plus fins ayant une densité relative supérieure à 1,5 ou sable ayant une densité relative supérieure à 1,7).

A : Zone très perméable
B : Zone perméable
C : Zone peu perméable
D : Zone imperméable

SABLE : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 2 mm

SILT : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 0,002 mm

ARGILE : Particules dont le diamètre est inférieur à 0,002mm

% (en poids)

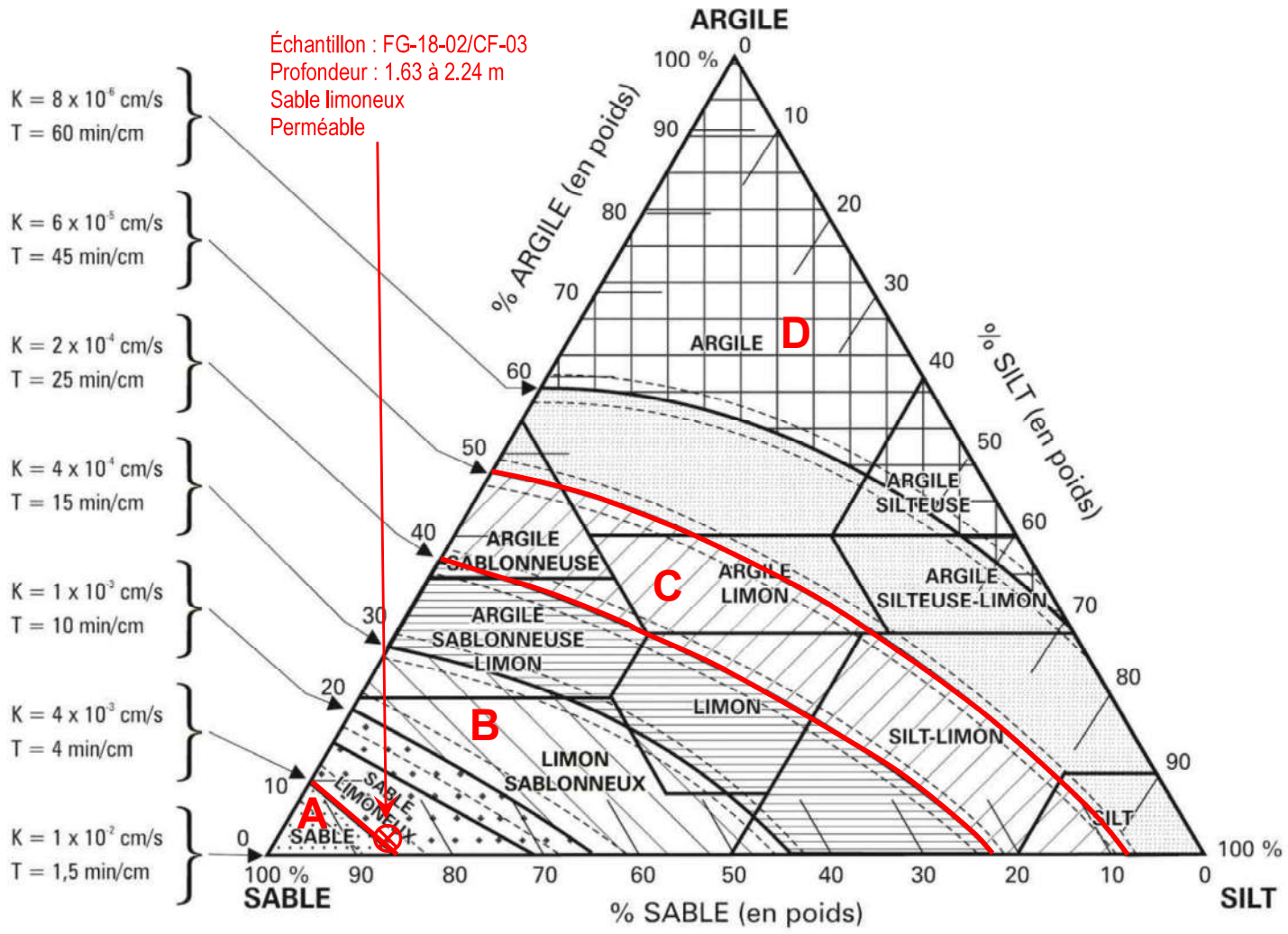
⊗ **Échantillon :** FG-18-02/CF-02
Gravier : 0.0%
Sable : 78.0%
Silt : 21.0%
Argile : 0.0%

Perméabilité: $4 \times 10^{-3} > K > 1 \times 10^{-3}$ cm/s
Temps de percolation : 4 < T < 10 min/cm

Titre : DIAGRAMME DE PERMÉABILITÉ	**Client :** Métanor	**N/D :** HY18-010-2	**Date :** 26 juillet 2018
Lieu : Mine Bachelor, 200, chemin de la mine, Desmaraisville, Qc, J0Y 1H0			
Projet : Étude géotechnique et hydrogéologique au parc à résidus	**Préparé par :** Mathieu Dufour, ing. junior		

Groupe RDConsultants

CORRÉLATION ENTRE LA TEXTURE DU SOL ET LA PERMÉABILITÉ



Source : *tiré du Guide pour l'étude des technologies conventionnelles du traitement des eaux usées d'origine domestique du MDDELCC, édition février 2001 à février 2017*

1 : Pour chaque 10 % (en poids) de contenu en gravier et cailloux de l'échantillon, on doit ajouter un équivalent en poids de sable de 1 %.

2 : Le trait continu entre chaque classe de conductivité hydraulique relative (en termes de « K » et de « T »), représente une valeur moyenne approximative pour chacune des textures de sol représentées. Les traits pointillés indiquent un écart moyen en raison des caractéristiques fondamentales de l'échantillon analysé (structure, densité, etc.).

3 : Se déplacer d'un équivalent de 15 % d'augmentation de contenu en argile pour les sols compacts (limon ou sols plus fins ayant une densité relative supérieure à 1,5 ou sable ayant une densité relative supérieure à 1,7).

A : Zone très perméable
B : Zone perméable
C : Zone peu perméable
D : Zone imperméable

SABLE : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 2 mm

SILT : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 0,002 mm

ARGILE : Particules dont le diamètre est inférieur à 0,002mm

% (en poids)

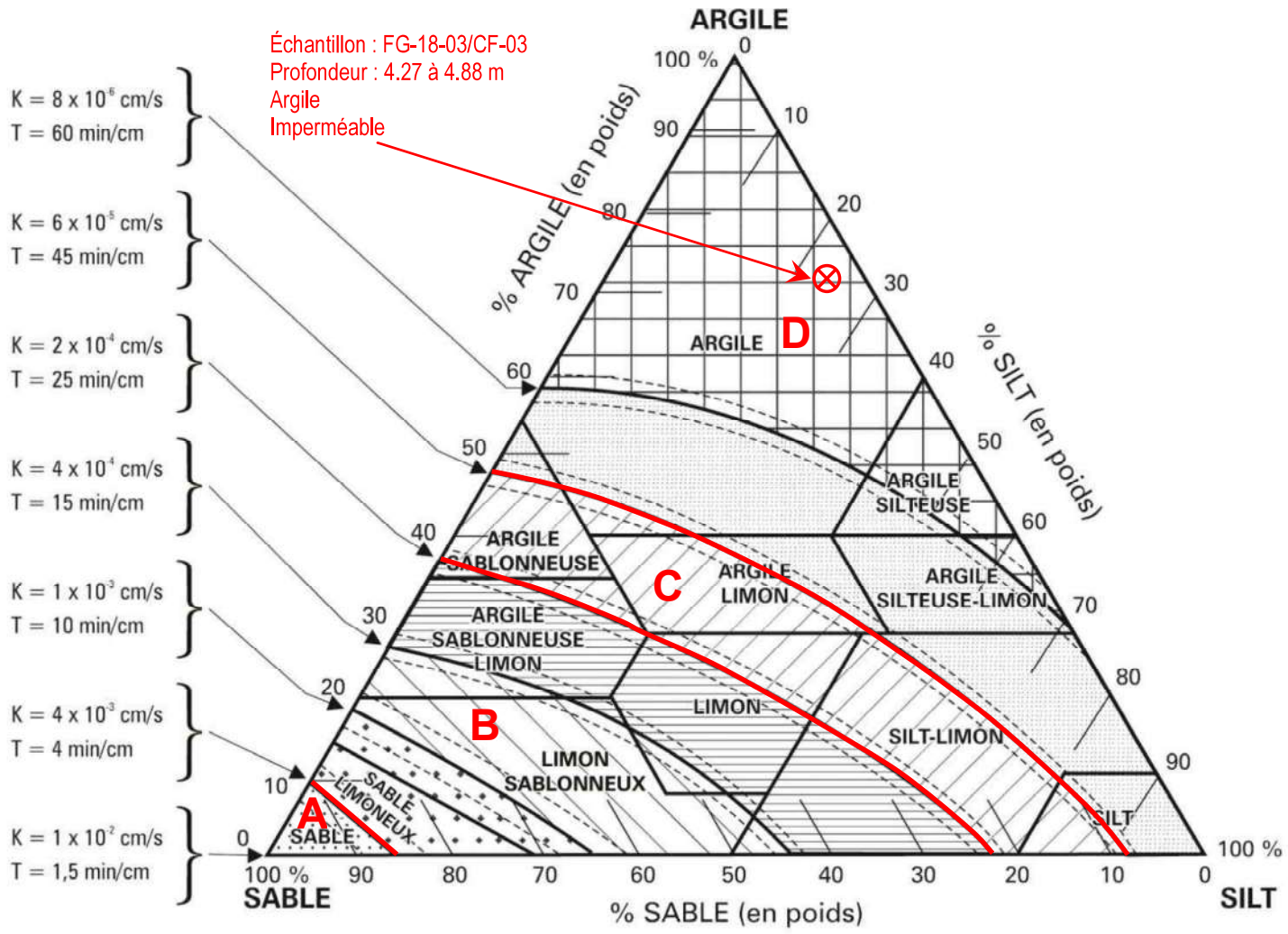
⊗ **Échantillon :** FG-18-02/CF-03
Gravier : 32.0%
Sable : 53.4%
Silt : 12.0%
Argile : 2.6%

Perméabilité: $4 \times 10^{-3} > K > 1 \times 10^{-3}$ cm/s
Temps de percolation : 4 < T < 10 min/cm

Titre : DIAGRAMME DE PERMÉABILITÉ	**Client :** Métanor	**N/D :** HY18-010-2	**Date :** 26 juillet 2018
Lieu : Mine Bachelor, 200, chemin de la mine, Desmaraisville, Qc, J0Y 1H0			
Projet : Étude géotechnique et hydrogéologique au parc à résidus	**Préparé par :** Mathieu Dufour, ing. junior		

Groupe RDConsultants

CORRÉLATION ENTRE LA TEXTURE DU SOL ET LA PERMÉABILITÉ



Source : *tiré du Guide pour l'étude des technologies conventionnelles du traitement des eaux usées d'origine domestique du MDDELCC, édition février 2001 à février 2017*

1 : Pour chaque 10 % (en poids) de contenu en gravier et cailloux de l'échantillon, on doit ajouter un équivalent en poids de sable de 1 %.

2 : Le trait continu entre chaque classe de conductivité hydraulique relative (en termes de « K » et de « T »), représente une valeur moyenne approximative pour chacune des textures de sol représentées. Les traits pointillés indiquent un écart moyen en raison des caractéristiques fondamentales de l'échantillon analysé (structure, densité, etc.).

3 : Se déplacer d'un équivalent de 15 % d'augmentation de contenu en argile pour les sols compacts (limon ou sols plus fins ayant une densité relative supérieure à 1,5 ou sable ayant une densité relative supérieure à 1,7).

A : Zone très perméable
B : Zone perméable
C : Zone peu perméable
D : Zone imperméable

SABLE : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 2 mm

SILT : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 0,002 mm

ARGILE : Particules dont le diamètre est inférieur à 0,002mm

% (en poids)

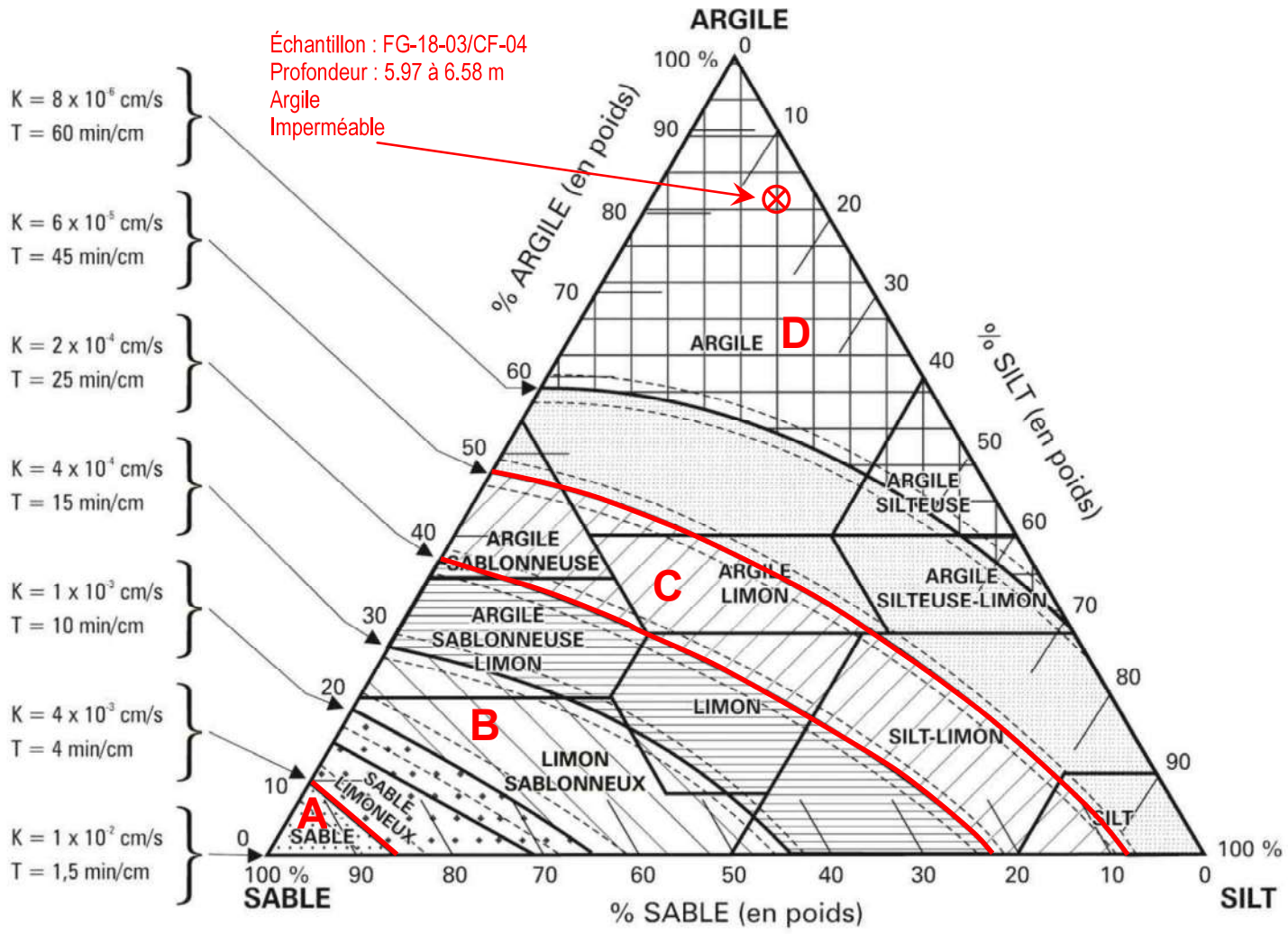
⊗ **Échantillon :** FG-18-03/CF-03
Gravier : 0.0%
Sable : 4.4%
Silt : 23.1%
Argile : 72.5%

Perméabilité: 8 x 10^{-6} cm/s > K
Temps de percolation : 60 min/cm < T

Titre : DIAGRAMME DE PERMÉABILITÉ	**Client :** Métanor	**N/D :** HY18-010-2	**Date :** 26 juillet 2018
Lieu : Mine Bachelor, 200, chemin de la mine, Desmaraisville, Qc, J0Y 1H0			
Projet : Étude géotechnique et hydrogéologique au parc à résidus	**Préparé par :** Mathieu Dufour, ing. junior		

Groupe RDConsultants

CORRÉLATION ENTRE LA TEXTURE DU SOL ET LA PERMÉABILITÉ



Source : *tiré du Guide pour l'étude des technologies conventionnelles du traitement des eaux usées d'origine domestique du MDDELCC, édition février 2001 à février 2017*

1 : Pour chaque 10 % (en poids) de contenu en gravier et cailloux de l'échantillon, on doit ajouter un équivalent en poids de sable de 1 %.

2 : Le trait continu entre chaque classe de conductivité hydraulique relative (en termes de « K » et de « T »), représente une valeur moyenne approximative pour chacune des textures de sol représentées. Les traits pointillés indiquent un écart moyen en raison des caractéristiques fondamentales de l'échantillon analysé (structure, densité, etc.).

3 : Se déplacer d'un équivalent de 15 % d'augmentation de contenu en argile pour les sols compacts (limon ou sols plus fins ayant une densité relative supérieure à 1,5 ou sable ayant une densité relative supérieure à 1,7).

A : Zone très perméable
B : Zone perméable
C : Zone peu perméable
D : Zone imperméable

SABLE : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 2 mm

SILT : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 0,002 mm

ARGILE : Particules dont le diamètre est inférieur à 0,002mm

% (en poids)

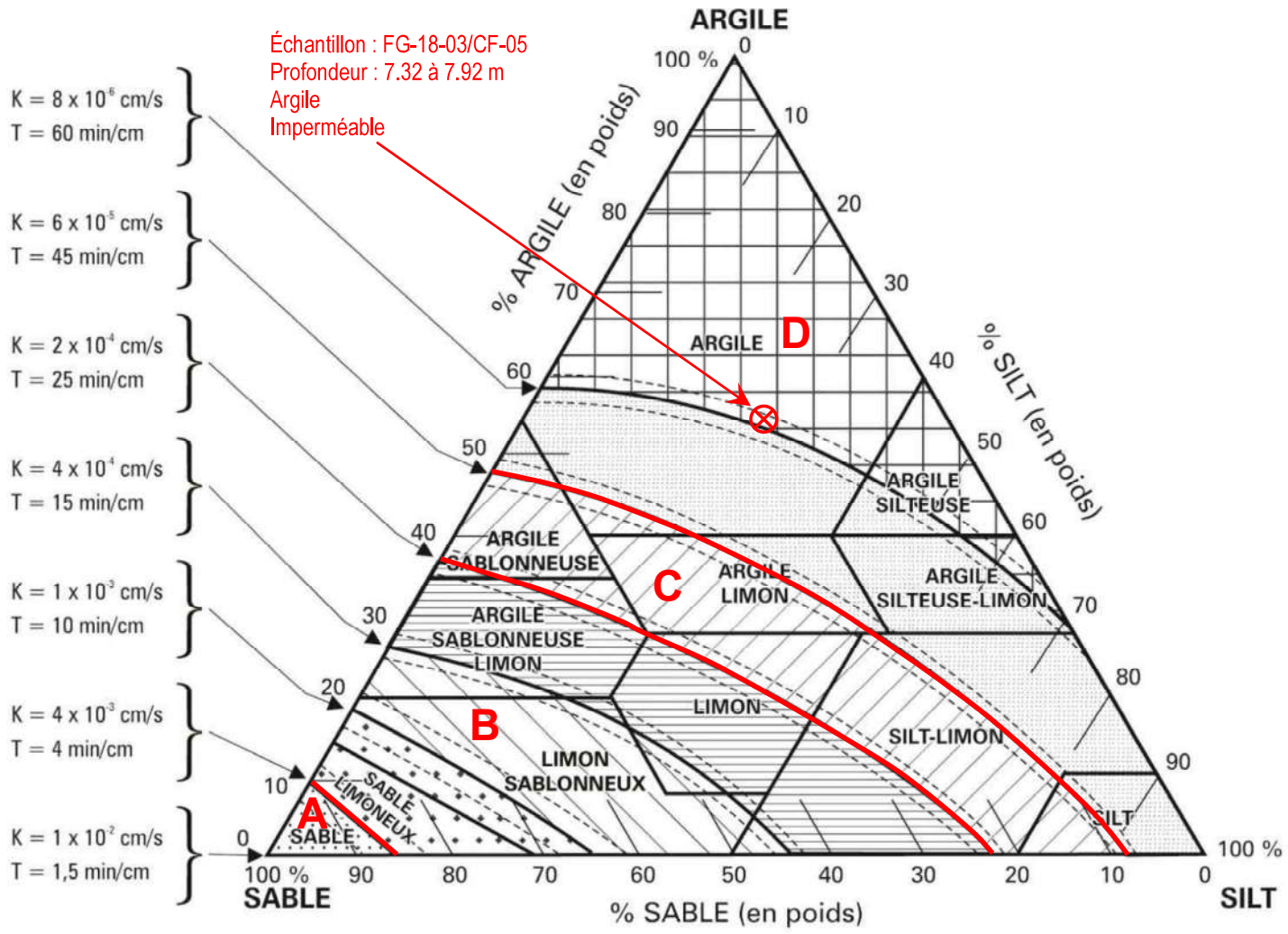
⊗ **Échantillon :** FG-18-03/CF-04
Gravier : 0.0%
Sable : 4.1%
Silt : 14.8%
Argile : 81.1%

Perméabilité: 8 x 10^{-6} cm/s > K
Temps de percolation : 60 min/cm < T

Titre : DIAGRAMME DE PERMÉABILITÉ	**Client :** Métanor	**N/D :** HY18-010-2	**Date :** 26 juillet 2018
Lieu : Mine Bachelor, 200, chemin de la mine, Desmaraisville, Qc, J0Y 1H0			
Projet : Étude géotechnique et hydrogéologique au parc à résidus	**Préparé par :** Mathieu Dufour, ing. junior		

Groupe RDConsultants

CORRÉLATION ENTRE LA TEXTURE DU SOL ET LA PERMÉABILITÉ



Source : *tiré du Guide pour l'étude des technologies conventionnelles du traitement des eaux usées d'origine domestique du MDDELCC, édition février 2001 à février 2017*

1 : Pour chaque 10 % (en poids) de contenu en gravier et cailloux de l'échantillon, on doit ajouter un équivalent en poids de sable de 1 %.

2 : Le trait continu entre chaque classe de conductivité hydraulique relative (en termes de « K » et de « T »), représente une valeur moyenne approximative pour chacune des textures de sol représentées. Les traits pointillés indiquent un écart moyen en raison des caractéristiques fondamentales de l'échantillon analysé (structure, densité, etc.).

3 : Se déplacer d'un équivalent de 15 % d'augmentation de contenu en argile pour les sols compacts (limon ou sols plus fins ayant une densité relative supérieure à 1,5 ou sable ayant une densité relative supérieure à 1,7).

A : Zone très perméable
B : Zone perméable
C : Zone peu perméable
D : Zone imperméable

SABLE : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 2 mm

SILT : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 0,002 mm

ARGILE : Particules dont le diamètre est inférieur à 0,002mm

% (en poids)

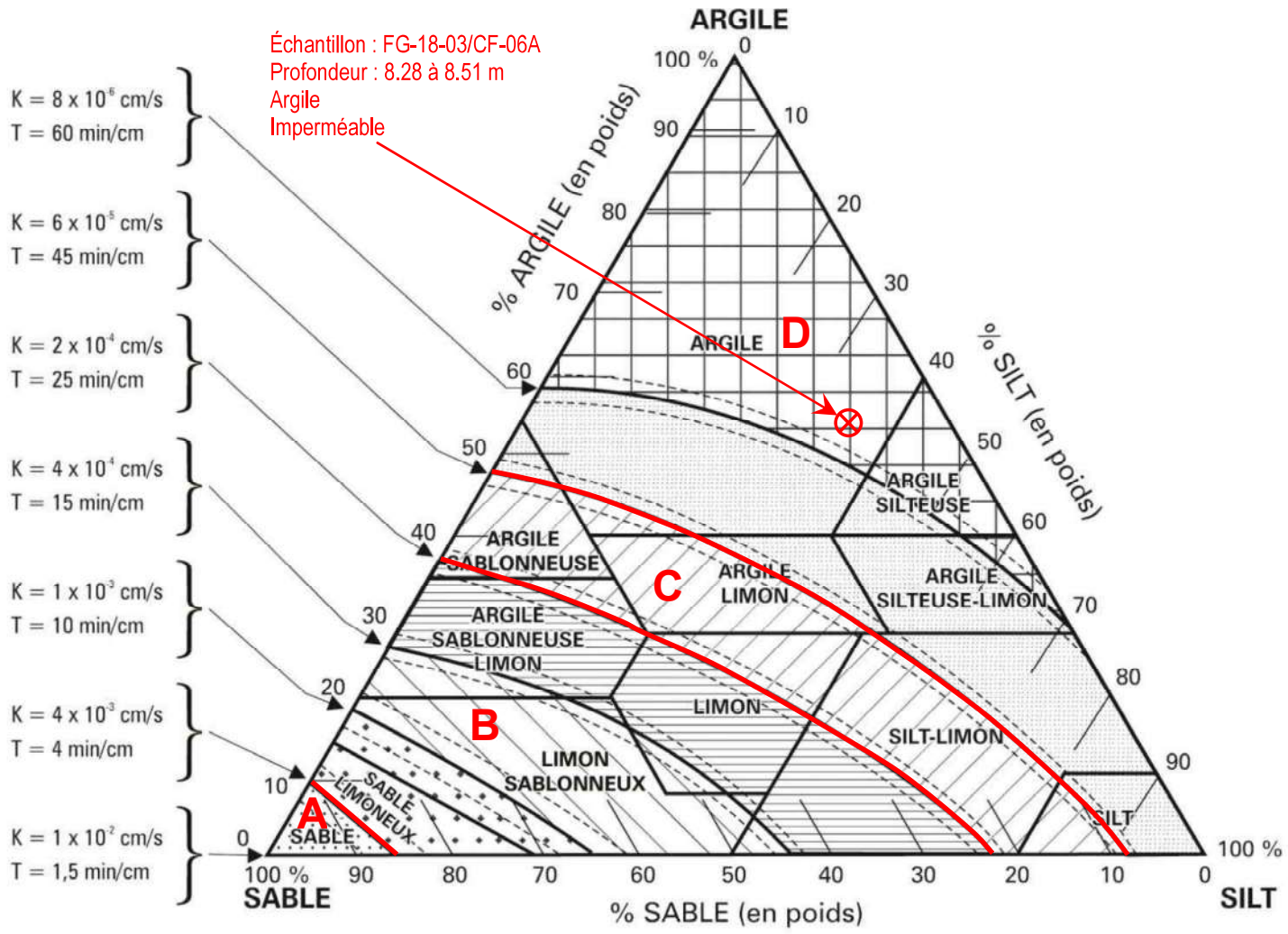
⊗ **Échantillon :** FG-18-03/CF-05
Gravier : 0.0%
Sable : 19.4%
Silt : 25.6%
Argile : 55.0%

Perméabilité: 8 x 10^{-6} cm/s > K
Temps de percolation : 60 min/cm < T

Titre : DIAGRAMME DE PERMÉABILITÉ	**Client :** Métanor	**N/D :** HY18-010-2	**Date :** 26 juillet 2018
Lieu : Mine Bachelor, 200, chemin de la mine, Desmaraisville, Qc, J0Y 1H0			
Projet : Étude géotechnique et hydrogéologique au parc à résidus	**Préparé par :** Mathieu Dufour, ing. junior		

Groupe RDConsultants

CORRÉLATION ENTRE LA TEXTURE DU SOL ET LA PERMÉABILITÉ



Source : *tiré du Guide pour l'étude des technologies conventionnelles du traitement des eaux usées d'origine domestique du MDDELCC, édition février 2001 à février 2017*

1 : Pour chaque 10 % (en poids) de contenu en gravier et cailloux de l'échantillon, on doit ajouter un équivalent en poids de sable de 1 %.

2 : Le trait continu entre chaque classe de conductivité hydraulique relative (en termes de « K » et de « T »), représente une valeur moyenne approximative pour chacune des textures de sol représentées. Les traits pointillés indiquent un écart moyen en raison des caractéristiques fondamentales de l'échantillon analysé (structure, densité, etc.).

3 : Se déplacer d'un équivalent de 15 % d'augmentation de contenu en argile pour les sols compacts (limon ou sols plus fins ayant une densité relative supérieure à 1,5 ou sable ayant une densité relative supérieure à 1,7).

A : Zone très perméable
B : Zone perméable
C : Zone peu perméable
D : Zone imperméable

SABLE : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 2 mm

SILT : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 0,002 mm

ARGILE : Particules dont le diamètre est inférieur à 0,002mm

% (en poids)

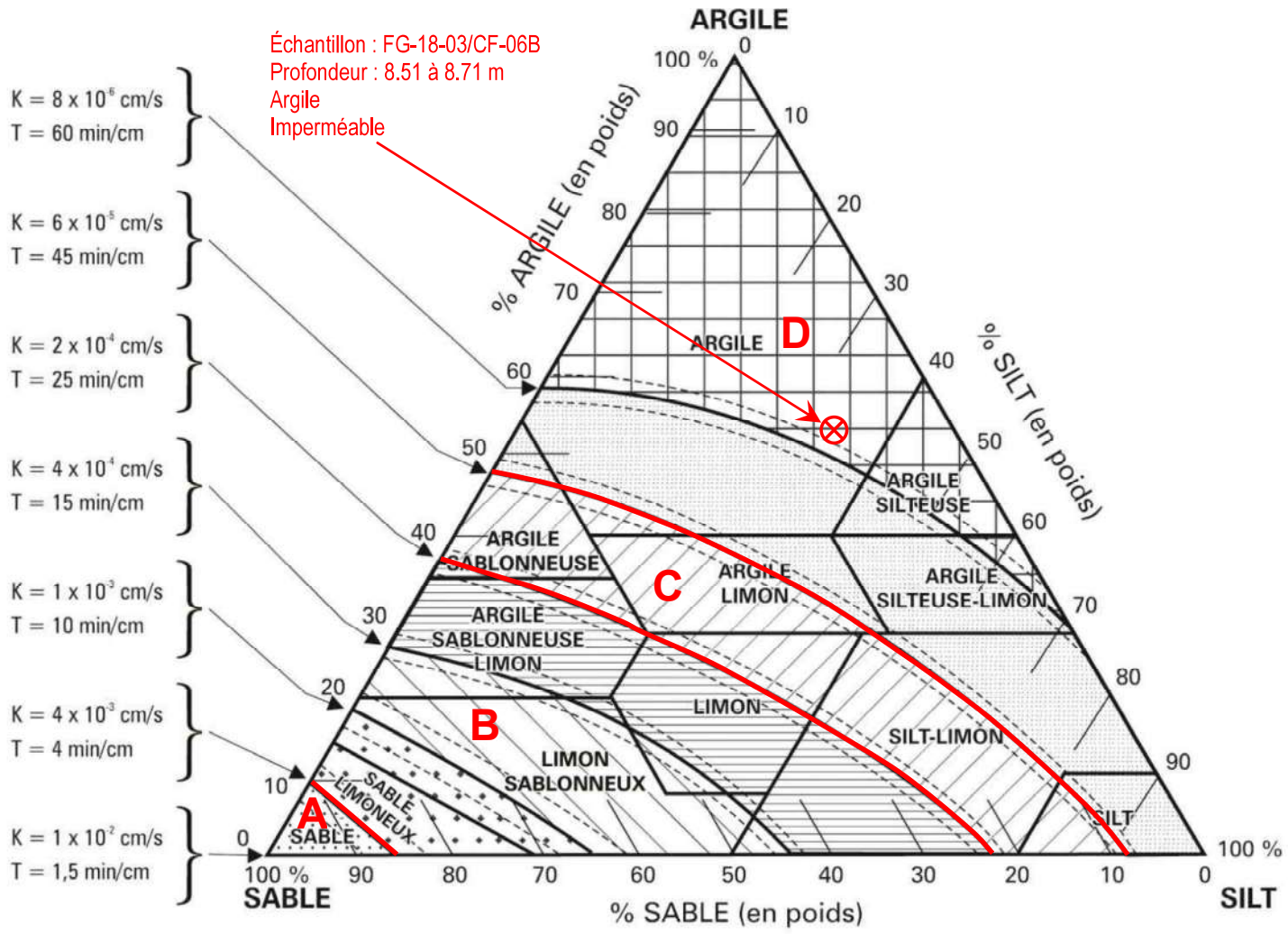
⊗ **Échantillon :** FG-18-03/CF-06A
Gravier : 0.0%
Sable : 10.9%
Silt : 32.7%
Argile : 56.4%

Perméabilité: 8 x 10^{-6} cm/s > K
Temps de percolation : 60 min/cm < T

Titre : DIAGRAMME DE PERMÉABILITÉ	**Client :** Métanor	**N/D :** HY18-010-2	**Date :** 26 juillet 2018
Lieu : Mine Bachelor, 200, chemin de la mine, Desmaraisville, Qc, J0Y 1H0			
Projet : Étude géotechnique et hydrogéologique au parc à résidus	**Préparé par :** Mathieu Dufour, ing. junior		

Groupe RDConsultants

CORRÉLATION ENTRE LA TEXTURE DU SOL ET LA PERMÉABILITÉ



Source : *tiré du Guide pour l'étude des technologies conventionnelles du traitement des eaux usées d'origine domestique du MDDELCC, édition février 2001 à février 2017*

1 : Pour chaque 10 % (en poids) de contenu en gravier et cailloux de l'échantillon, on doit ajouter un équivalent en poids de sable de 1 %.

2 : Le trait continu entre chaque classe de conductivité hydraulique relative (en termes de « K » et de « T »), représente une valeur moyenne approximative pour chacune des textures de sol représentées. Les traits pointillés indiquent un écart moyen en raison des caractéristiques fondamentales de l'échantillon analysé (structure, densité, etc.).

3 : Se déplacer d'un équivalent de 15 % d'augmentation de contenu en argile pour les sols compacts (limon ou sols plus fins ayant une densité relative supérieure à 1,5 ou sable ayant une densité relative supérieure à 1,7).

A : Zone très perméable
B : Zone perméable
C : Zone peu perméable
D : Zone imperméable

SABLE : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 2 mm

SILT : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 0,002 mm

ARGILE : Particules dont le diamètre est inférieur à 0,002mm

% (en poids)

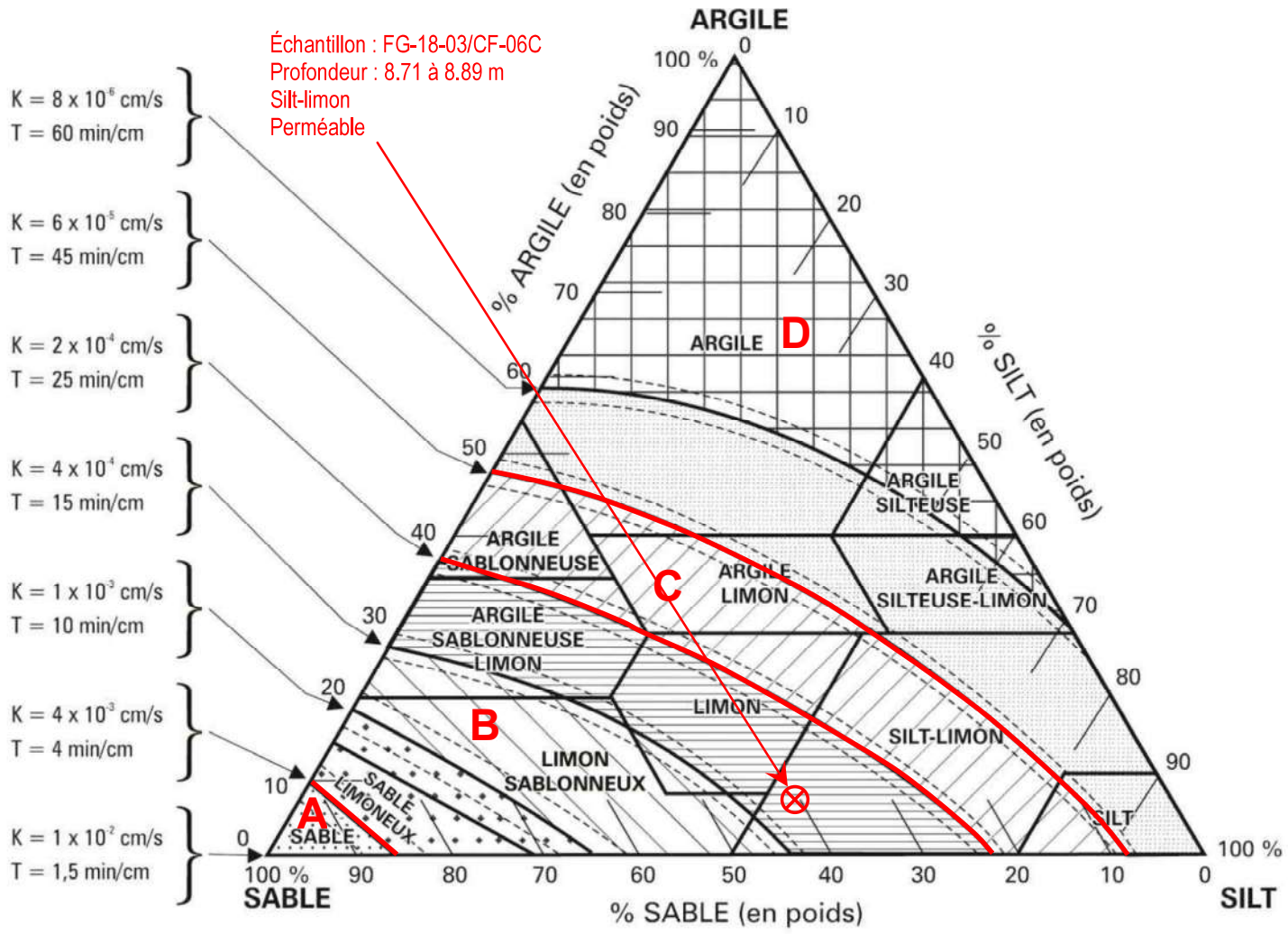
⊗ **Échantillon :** FG-18-03/CF-06B
Gravier : 0.0%
Sable : 11.8%
Silt : 34.1%
Argile : 54.1%

Perméabilité: 8 x 10^{-6} cm/s > K
Temps de percolation : 60 min/cm < T

Titre : DIAGRAMME DE PERMÉABILITÉ	**Client :** Métanor	**N/D :** HY18-010-2	**Date :** 26 juillet 2018
Lieu : Mine Bachelor, 200, chemin de la mine, Desmaraisville, Qc, J0Y 1H0			
Projet : Étude géotechnique et hydrogéologique au parc à résidus	**Préparé par :** Mathieu Dufour, ing. junior		

Groupe RDConsultants

CORRÉLATION ENTRE LA TEXTURE DU SOL ET LA PERMÉABILITÉ



Source : *tiré du Guide pour l'étude des technologies conventionnelles du traitement des eaux usées d'origine domestique du MDDELCC, édition février 2001 à février 2017*

1 : Pour chaque 10 % (en poids) de contenu en gravier et cailloux de l'échantillon, on doit ajouter un équivalent en poids de sable de 1 %.

2 : Le trait continu entre chaque classe de conductivité hydraulique relative (en termes de « K » et de « T »), représente une valeur moyenne approximative pour chacune des textures de sol représentées. Les traits pointillés indiquent un écart moyen en raison des caractéristiques fondamentales de l'échantillon analysé (structure, densité, etc.).

3 : Se déplacer d'un équivalent de 15 % d'augmentation de contenu en argile pour les sols compacts (limon ou sols plus fins ayant une densité relative supérieure à 1,5 ou sable ayant une densité relative supérieure à 1,7).

A : Zone très perméable
B : Zone perméable
C : Zone peu perméable
D : Zone imperméable

SABLE : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 2 mm

SILT : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 0,002 mm

ARGILE : Particules dont le diamètre est inférieur à 0,002mm

% (en poids)

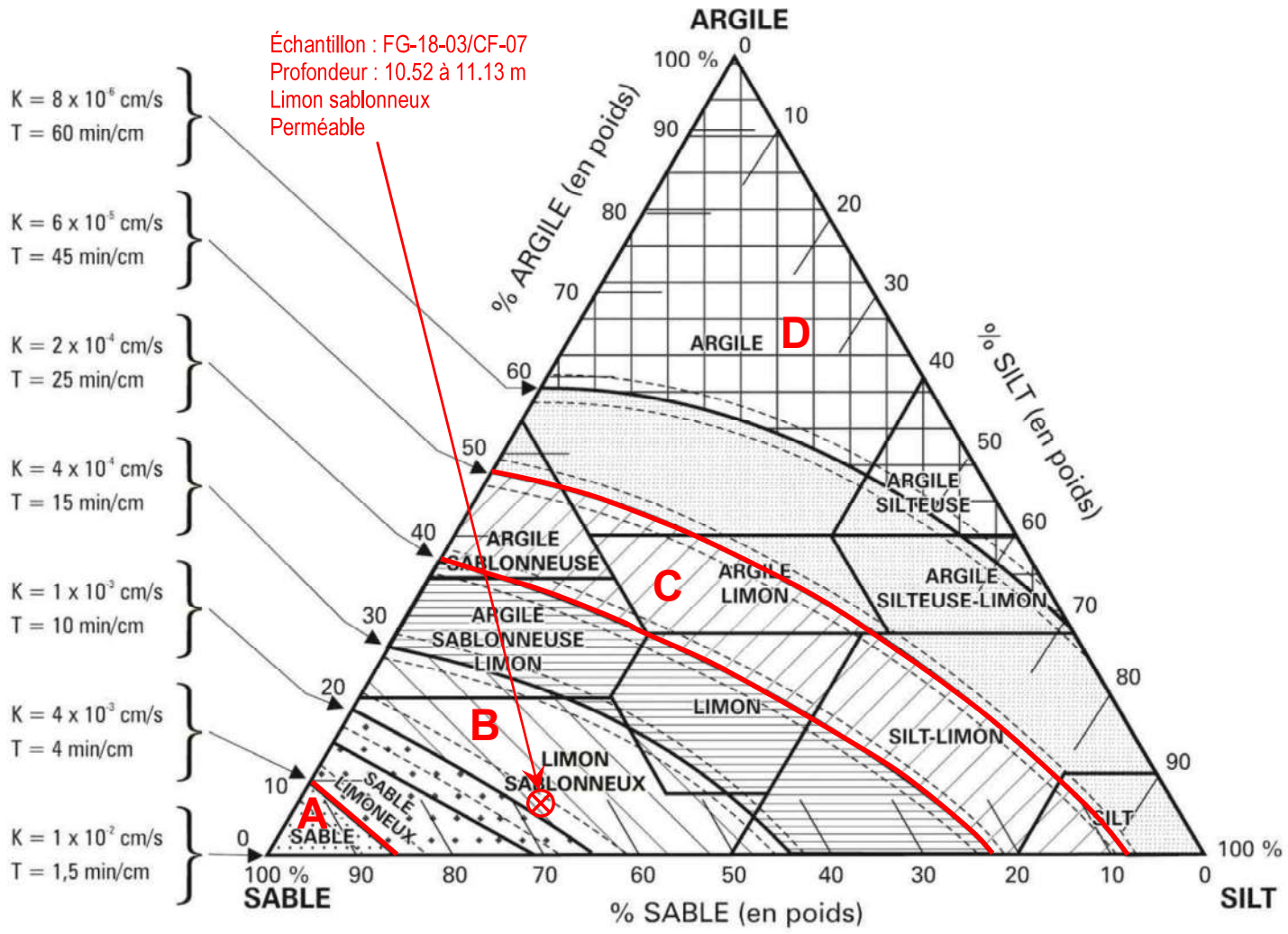
⊗ **Échantillon :** FG-18-03/CF-06C
Gravier : 0.0%
Sable : 40.0%
Silt : 51.6%
Argile : 8.4%

Perméabilité: $4 \times 10^{-4} > K > 2 \times 10^{-4}$ cm/s
Temps de percolation : 15 < T < 25 min/cm

Titre : DIAGRAMME DE PERMÉABILITÉ	**Client :** Métanor	**N/D :** HY18-010-2	**Date :** 26 juillet 2018
Lieu : Mine Bachelor, 200, chemin de la mine, Desmaraisville, Qc, J0Y 1H0			
Projet : Étude géotechnique et hydrogéologique au parc à résidus	**Préparé par :** Mathieu Dufour, ing. junior		

Groupe RDConsultants

CORRÉLATION ENTRE LA TEXTURE DU SOL ET LA PERMÉABILITÉ



Source : *tiré du Guide pour l'étude des technologies conventionnelles du traitement des eaux usées d'origine domestique du MDDELCC, édition février 2001 à février 2017*

1 : Pour chaque 10 % (en poids) de contenu en gravier et cailloux de l'échantillon, on doit ajouter un équivalent en poids de sable de 1 %.

2 : Le trait continu entre chaque classe de conductivité hydraulique relative (en termes de « K » et de « T »), représente une valeur moyenne approximative pour chacune des textures de sol représentées. Les traits pointillés indiquent un écart moyen en raison des caractéristiques fondamentales de l'échantillon analysé (structure, densité, etc.).

3 : Se déplacer d'un équivalent de 15 % d'augmentation de contenu en argile pour les sols compacts (limon ou sols plus fins ayant une densité relative supérieure à 1,5 ou sable ayant une densité relative supérieure à 1,7).

A : Zone très perméable
B : Zone perméable
C : Zone peu perméable
D : Zone imperméable

SABLE : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 2 mm

SILT : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 0,002 mm

ARGILE : Particules dont le diamètre est inférieur à 0,002mm

% (en poids)

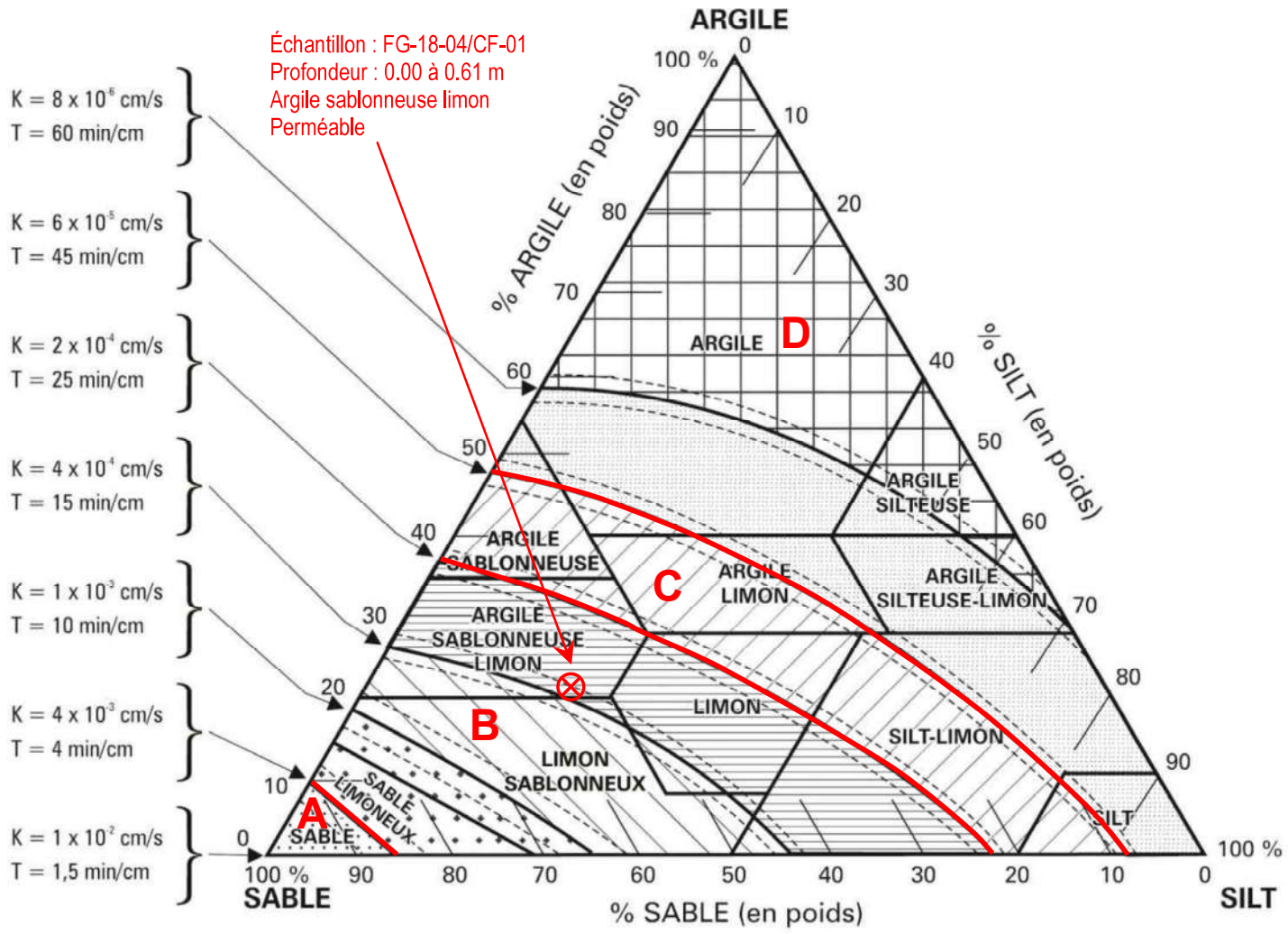
⊗ **Échantillon :** FG-18-03/CF-07
Gravier : 11.0%
Sable : 56.0%
Silt : 26.3%
Argile : 6.7%

Perméabilité: $1 \times 10^{-3} > K > 4 \times 10^{-4}$ cm/s
Temps de percolation : 10 < T < 15 min/cm

Titre : DIAGRAMME DE PERMÉABILITÉ	**Client :** Métanor	**N/D :** HY18-010-2	**Date :** 26 juillet 2018
Lieu : Mine Bachelor, 200, chemin de la mine, Desmaraisville, Qc, J0Y 1H0			
Projet : Étude géotechnique et hydrogéologique au parc à résidus	**Préparé par :** Mathieu Dufour, ing. junior		

Groupe RDConsultants

CORRÉLATION ENTRE LA TEXTURE DU SOL ET LA PERMÉABILITÉ



Source : *tiré du Guide pour l'étude des technologies conventionnelles du traitement des eaux usées d'origine domestique du MDDELCC, édition février 2001 à février 2017*

1 : Pour chaque 10 % (en poids) de contenu en gravier et cailloux de l'échantillon, on doit ajouter un équivalent en poids de sable de 1 %.

2 : Le trait continu entre chaque classe de conductivité hydraulique relative (en termes de « K » et de « T »), représente une valeur moyenne approximative pour chacune des textures de sol représentées. Les traits pointillés indiquent un écart moyen en raison des caractéristiques fondamentales de l'échantillon analysé (structure, densité, etc.).

3 : Se déplacer d'un équivalent de 15 % d'augmentation de contenu en argile pour les sols compacts (limon ou sols plus fins ayant une densité relative supérieure à 1,5 ou sable ayant une densité relative supérieure à 1,7).

A : Zone très perméable
B : Zone perméable
C : Zone peu perméable
D : Zone imperméable

SABLE : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 2 mm

SILT : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 0,002 mm

ARGILE : Particules dont le diamètre est inférieur à 0,002mm

% (en poids)

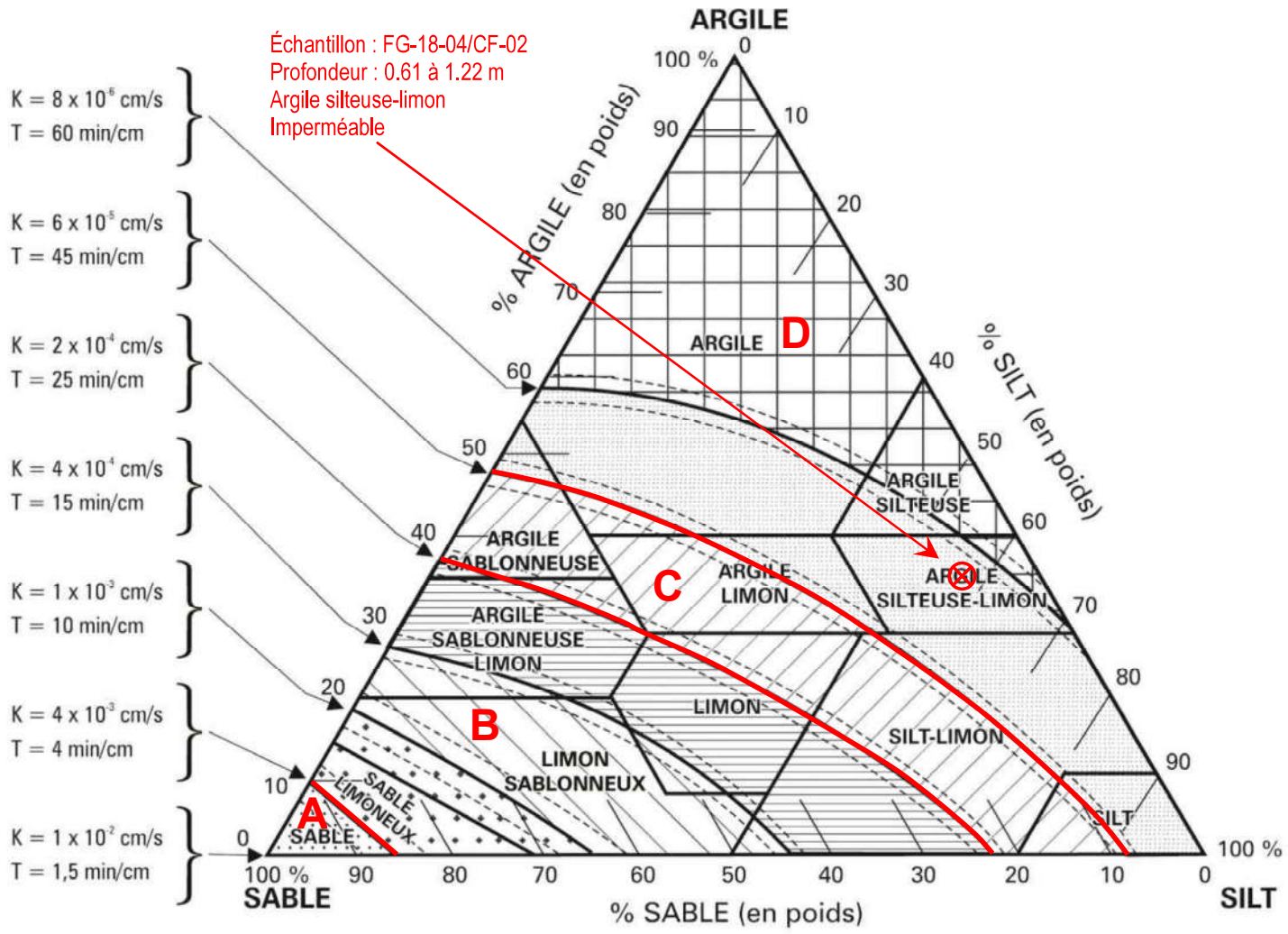
⊗ **Échantillon :** FG-18-04/CF-01
Gravier : 0.0%
Sable : 56.5%
Silt : 21.0%
Argile : 22.5%

Perméabilité: 4 x 10^{-4} cm/s > K > 2 x 10^{-4} cm/s
Temps de percolation : 15 < T < 25 min/cm

Titre : DIAGRAMME DE PERMÉABILITÉ	**Client :** Métanor	**N/D :** HY18-010-2	**Date :** 26 juillet 2018
Lieu : Mine Bachelor, 200, chemin de la Mine, Desmaraisville, Qc, J0Y 1H0			
Projet : Étude géotechnique et hydrogéologique au parc à résidus	**Préparé par :** Mathieu Dufour, ing. junior		

Groupe RDConsultants

CORRÉLATION ENTRE LA TEXTURE DU SOL ET LA PERMÉABILITÉ



Source : *tiré du Guide pour l'étude des technologies conventionnelles du traitement des eaux usées d'origine domestique du MDDELCC, édition février 2001 à février 2017*

1 : Pour chaque 10 % (en poids) de contenu en gravier et cailloux de l'échantillon, on doit ajouter un équivalent en poids de sable de 1 %.

2 : Le trait continu entre chaque classe de conductivité hydraulique relative (en termes de « K » et de « T »), représente une valeur moyenne approximative pour chacune des textures de sol représentées. Les traits pointillés indiquent un écart moyen en raison des caractéristiques fondamentales de l'échantillon analysé (structure, densité, etc.).

3 : Se déplacer d'un équivalent de 15 % d'augmentation de contenu en argile pour les sols compacts (limon ou sols plus fins ayant une densité relative supérieure à 1,5 ou sable ayant une densité relative supérieure à 1,7).

A : Zone très perméable
B : Zone perméable
C : Zone peu perméable
D : Zone imperméable

SABLE : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 2 mm

SILT : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 0,002 mm

ARGILE : Particules dont le diamètre est inférieur à 0,002mm

% (en poids)

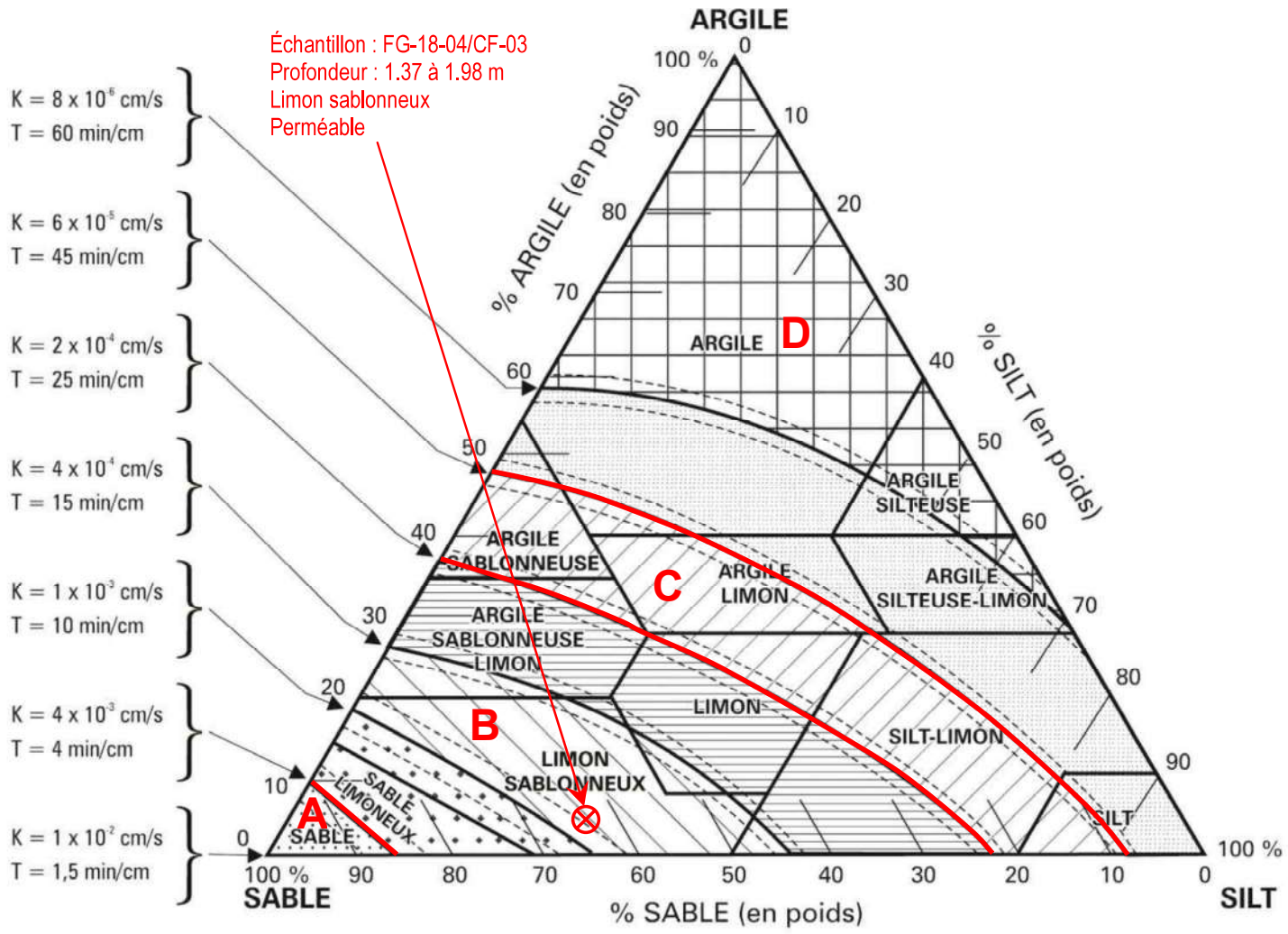
⊗ **Échantillon :** FG-18-04/CF-02
Gravier : 0.0%
Sable : 5.7%
Silt : 55.7%
Argile : 38.6%

Perméabilité: $6 \times 10^{-5} > K > 8 \times 10^{-6}$ cm/s
Temps de percolation : 45 < T < 60 min/cm

Titre : DIAGRAMME DE PERMÉABILITÉ	**Client :** Métanor	**N/D :** HY18-010-2	**Date :** 26 juillet 2018
Lieu : Mine Bachelor, 200, chemin de la Mine, Desmaraisville, Qc, J0Y 1H0			
Projet : Étude géotechnique et hydrogéologique au parc à résidus	**Préparé par :** Mathieu Dufour, ing. junior		

Groupe RDConsultants

CORRÉLATION ENTRE LA TEXTURE DU SOL ET LA PERMÉABILITÉ



Source : *tiré du Guide pour l'étude des technologies conventionnelles du traitement des eaux usées d'origine domestique du MDDELCC, édition février 2001 à février 2017*

1 : Pour chaque 10 % (en poids) de contenu en gravier et cailloux de l'échantillon, on doit ajouter un équivalent en poids de sable de 1 %.

2 : Le trait continu entre chaque classe de conductivité hydraulique relative (en termes de « K » et de « T »), représente une valeur moyenne approximative pour chacune des textures de sol représentées. Les traits pointillés indiquent un écart moyen en raison des caractéristiques fondamentales de l'échantillon analysé (structure, densité, etc.).

3 : Se déplacer d'un équivalent de 15 % d'augmentation de contenu en argile pour les sols compacts (limon ou sols plus fins ayant une densité relative supérieure à 1,5 ou sable ayant une densité relative supérieure à 1,7).

A : Zone très perméable
B : Zone perméable
C : Zone peu perméable
D : Zone imperméable

SABLE : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 2 mm

SILT : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 0,002 mm

ARGILE : Particules dont le diamètre est inférieur à 0,002mm

% (en poids)

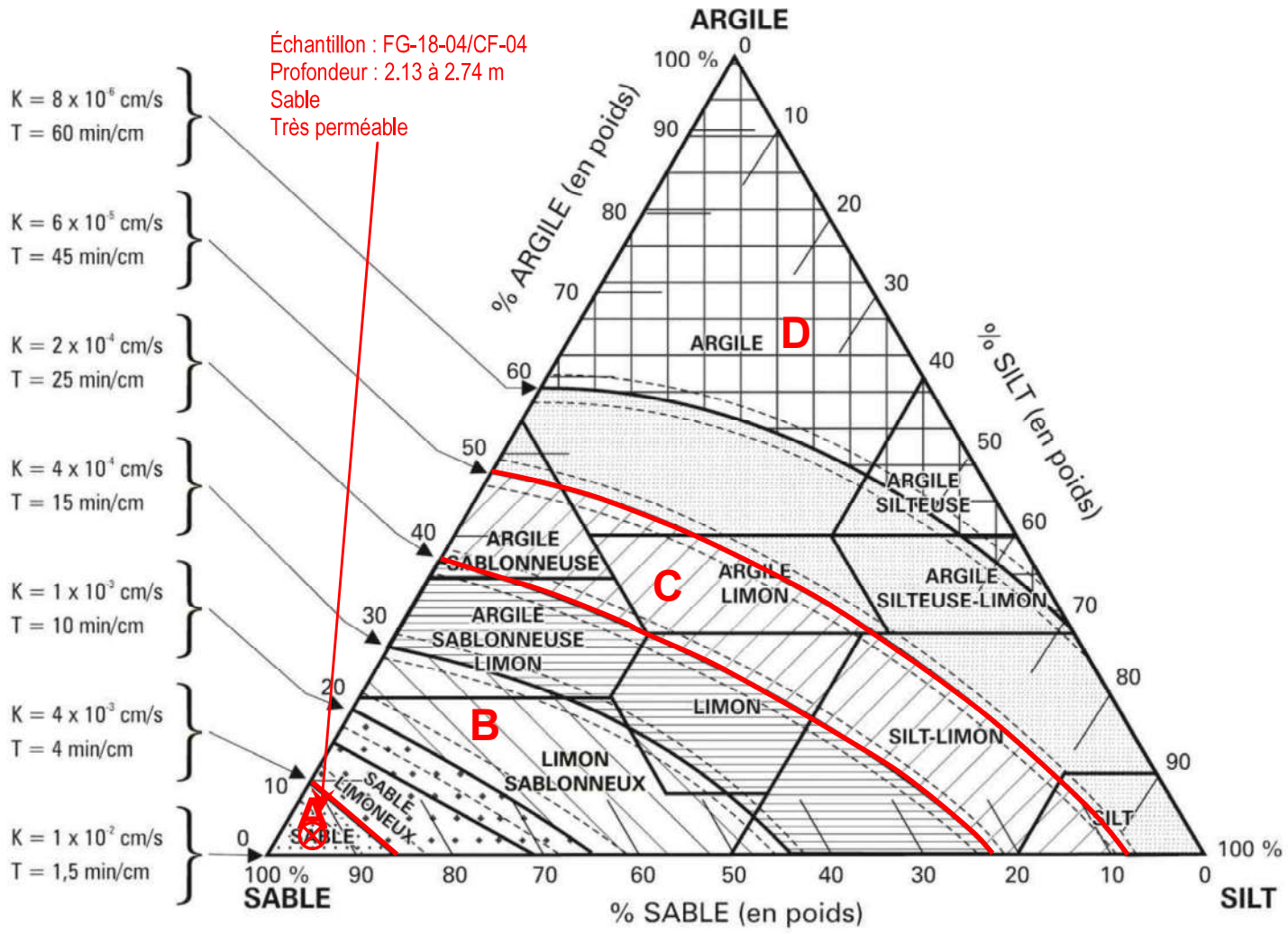
⊗ **Échantillon :** FG-18-04/CF-03
Gravier : 1.0%
Sable : 62.2%
Silt : 32.0%
Argile : 4.8%

Perméabilité: $1 \times 10^{-3} > K > 4 \times 10^{-4}$ cm/s
Temps de percolation : 10 < T < 15 min/cm

Titre : DIAGRAMME DE PERMÉABILITÉ	**Client :** Métanor	**N/D :** HY18-010-2	**Date :** 26 juillet 2018
Lieu : Mine Bachelor, 200, chemin de la mine, Desmaraisville, Qc, J0Y 1H0			
Projet : Étude géotechnique et hydrogéologique au parc à résidus	**Préparé par :** Mathieu Dufour, ing. junior		

Groupe RDConsultants

CORRÉLATION ENTRE LA TEXTURE DU SOL ET LA PERMÉABILITÉ



Source : *tiré du Guide pour l'étude des technologies conventionnelles du traitement des eaux usées d'origine domestique du MDDELCC, édition février 2001 à février 2017*

1 : Pour chaque 10 % (en poids) de contenu en gravier et cailloux de l'échantillon, on doit ajouter un équivalent en poids de sable de 1 %.

2 : Le trait continu entre chaque classe de conductivité hydraulique relative (en termes de « K » et de « T »), représente une valeur moyenne approximative pour chacune des textures de sol représentées. Les traits pointillés indiquent un écart moyen en raison des caractéristiques fondamentales de l'échantillon analysé (structure, densité, etc.).

3 : Se déplacer d'un équivalent de 15 % d'augmentation de contenu en argile pour les sols compacts (limon ou sols plus fins ayant une densité relative supérieure à 1,5 ou sable ayant une densité relative supérieure à 1,7).

A : Zone très perméable
B : Zone perméable
C : Zone peu perméable
D : Zone imperméable

SABLE : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 2 mm

SILT : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 0,002 mm

ARGILE : Particules dont le diamètre est inférieur à 0,002mm

% (en poids)

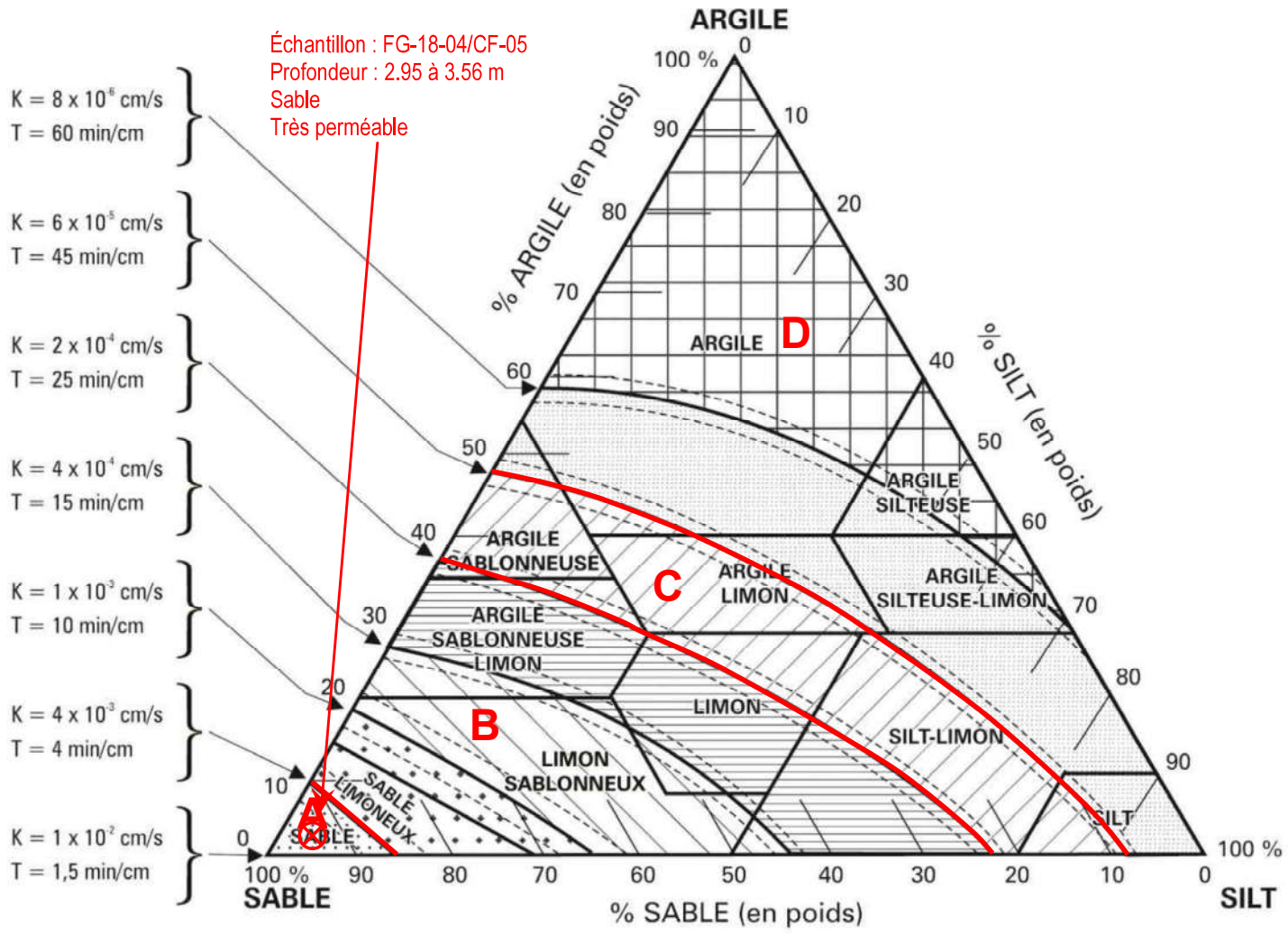
⊗ **Échantillon :** FG-18-04/CF-04
Gravier : 5.0%
Sable : 88.0%
Silt : 3.5%
Argile : 3.5%

Perméabilité: $1 \times 10^{-2} > K > 4 \times 10^{-3}$ cm/s
Temps de percolation : 1,5 < T < 4 min/cm

Titre : DIAGRAMME DE PERMÉABILITÉ	**Client :** Métanor	**N/D :** HY18-010-2	**Date :** 26 juillet 2018
Lieu : Mine Bachelor, 200, chemin de la Mine, Desmaraisville, Qc, J0Y 1H0			
Projet : Étude géotechnique et hydrogéologique au parc à résidus	**Préparé par :** Mathieu Dufour, ing. junior		

Groupe RDConsultants

CORRÉLATION ENTRE LA TEXTURE DU SOL ET LA PERMÉABILITÉ



Source : *tiré du Guide pour l'étude des technologies conventionnelles du traitement des eaux usées d'origine domestique du MDDELCC, édition février 2001 à février 2017*

1 : Pour chaque 10 % (en poids) de contenu en gravier et cailloux de l'échantillon, on doit ajouter un équivalent en poids de sable de 1 %.

2 : Le trait continu entre chaque classe de conductivité hydraulique relative (en termes de « K » et de « T »), représente une valeur moyenne approximative pour chacune des textures de sol représentées. Les traits pointillés indiquent un écart moyen en raison des caractéristiques fondamentales de l'échantillon analysé (structure, densité, etc.).

3 : Se déplacer d'un équivalent de 15 % d'augmentation de contenu en argile pour les sols compacts (limon ou sols plus fins ayant une densité relative supérieure à 1,5 ou sable ayant une densité relative supérieure à 1,7).

A : Zone très perméable
B : Zone perméable
C : Zone peu perméable
D : Zone imperméable

SABLE : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 2 mm

SILT : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 0,002 mm

ARGILE : Particules dont le diamètre est inférieur à 0,002mm

% (en poids)

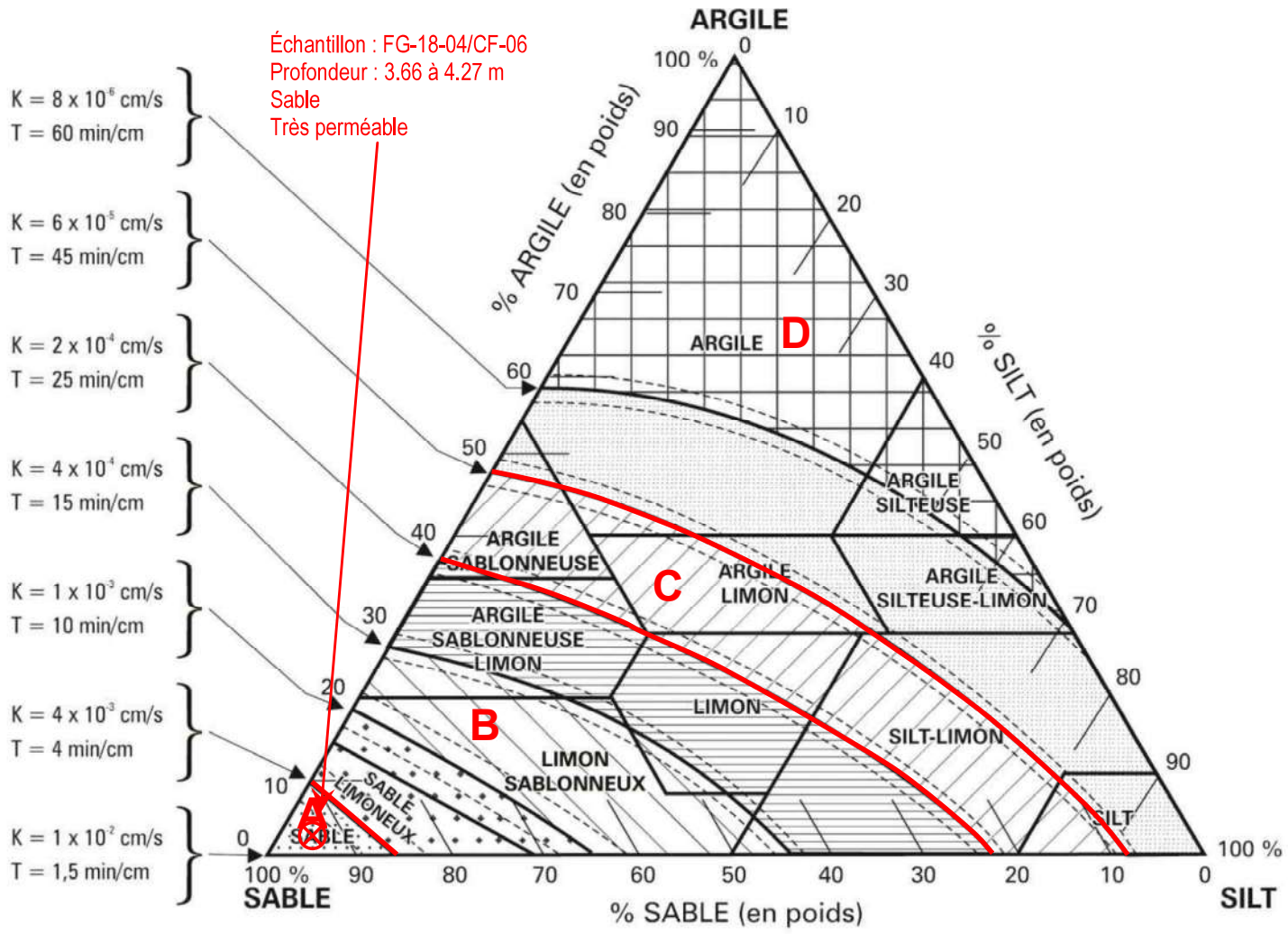
⊗ **Échantillon :** FG-18-04/CF-05
Gravier : 54.0%
Sable : 40.0%
Silt : 4.6%
Argile : 1.4%

Perméabilité: $1 \times 10^{-2} > K > 4 \times 10^{-3}$ cm/s
Temps de percolation : 1,5 < T < 4 min/cm

Titre : DIAGRAMME DE PERMÉABILITÉ	**Client :** Métanor	**N/D :** HY18-010-2	**Date :** 26 juillet 2018
Lieu : Mine bachelor, 200, chemin de la Mine, Desmaraisville, Qc, J0Y 1H0			
Projet : Étude géotechnique et hydrogéologique au parc à résidus	**Préparé par :** Mathieu Dufour, ing. junior		

Groupe RDConsultants

CORRÉLATION ENTRE LA TEXTURE DU SOL ET LA PERMÉABILITÉ



Source : *tiré du Guide pour l'étude des technologies conventionnelles du traitement des eaux usées d'origine domestique du MDDELCC, édition février 2001 à février 2017*

1 : Pour chaque 10 % (en poids) de contenu en gravier et cailloux de l'échantillon, on doit ajouter un équivalent en poids de sable de 1 %.

2 : Le trait continu entre chaque classe de conductivité hydraulique relative (en termes de « K » et de « T »), représente une valeur moyenne approximative pour chacune des textures de sol représentées. Les traits pointillés indiquent un écart moyen en raison des caractéristiques fondamentales de l'échantillon analysé (structure, densité, etc.).

3 : Se déplacer d'un équivalent de 15 % d'augmentation de contenu en argile pour les sols compacts (limon ou sols plus fins ayant une densité relative supérieure à 1,5 ou sable ayant une densité relative supérieure à 1,7).

A : Zone très perméable
B : Zone perméable
C : Zone peu perméable
D : Zone imperméable

SABLE : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 2 mm

SILT : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 0,002 mm

ARGILE : Particules dont le diamètre est inférieur à 0,002mm

% (en poids)

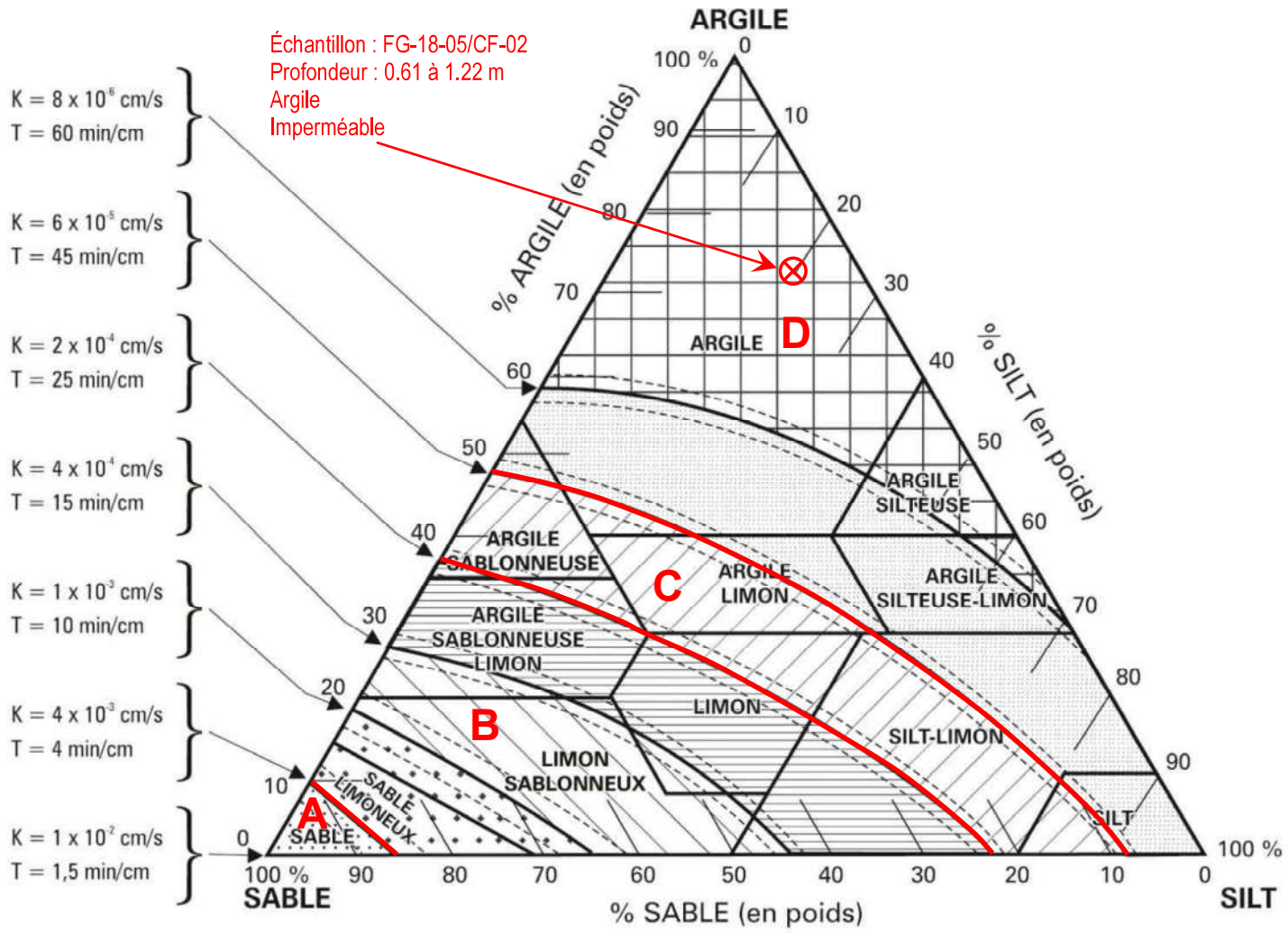
⊗ **Échantillon :** FG-18-04/CF-06
Gravier : 60.0%
Sable : 33.6%
Silt : 5.4%
Argile : 1.0%

Perméabilité: $1 \times 10^{-2} > K > 4 \times 10^{-3}$ cm/s
Temps de percolation : 1,5 < T < 4 min/cm

Titre : DIAGRAMME DE PERMÉABILITÉ	**Client :** Métanor	**N/D :** HY18-010-2	**Date :** 26 juillet 2018
Lieu : Mine Bachelor, 200, chemin de la mine, Desmaraisville, Qc, J0Y 1H0			
Projet : Étude géotechnique et hydrogéologique au parc à résidus	**Préparé par :** Mathieu Dufour, ing. junior		

Groupe RDConsultants

CORRÉLATION ENTRE LA TEXTURE DU SOL ET LA PERMÉABILITÉ



Source : *tiré du Guide pour l'étude des technologies conventionnelles du traitement des eaux usées d'origine domestique du MDDELCC, édition février 2001 à février 2017*

1 : Pour chaque 10 % (en poids) de contenu en gravier et cailloux de l'échantillon, on doit ajouter un équivalent en poids de sable de 1 %.

2 : Le trait continu entre chaque classe de conductivité hydraulique relative (en termes de « K » et de « T »), représente une valeur moyenne approximative pour chacune des textures de sol représentées. Les traits pointillés indiquent un écart moyen en raison des caractéristiques fondamentales de l'échantillon analysé (structure, densité, etc.).

3 : Se déplacer d'un équivalent de 15 % d'augmentation de contenu en argile pour les sols compacts (limon ou sols plus fins ayant une densité relative supérieure à 1,5 ou sable ayant une densité relative supérieure à 1,7).

A : Zone très perméable
B : Zone perméable
C : Zone peu perméable
D : Zone imperméable

SABLE : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 2 mm

SILT : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 0,002 mm

ARGILE : Particules dont le diamètre est inférieur à 0,002mm

% (en poids)

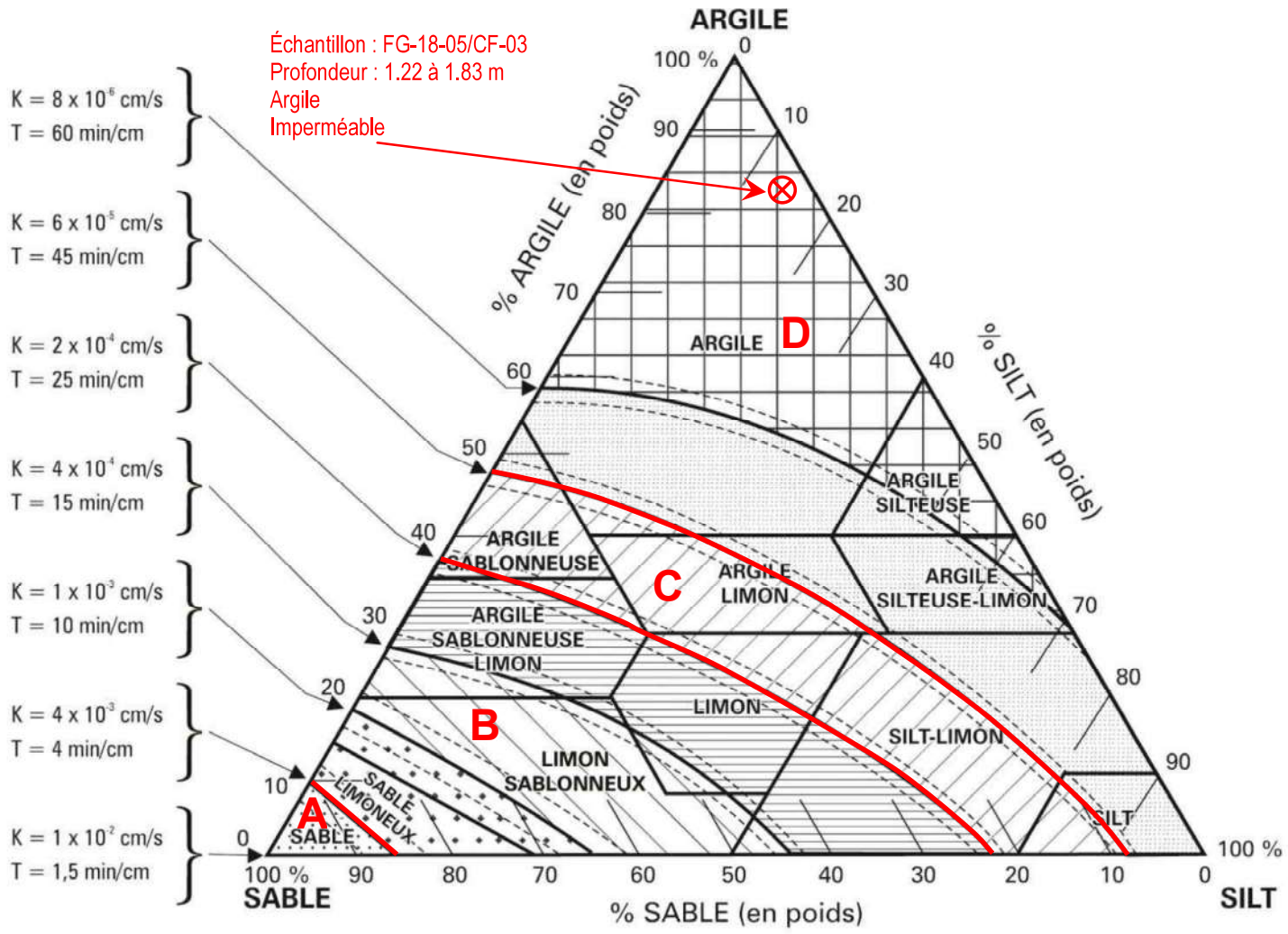
⊗ **Échantillon :** FG-18-05/CF-02
Gravier : 0.0%
Sable : 8.1%
Silt : 20.0%
Argile : 71.9%

Perméabilité: 8 x 10^{-6} cm/s > K
Temps de percolation : 60 min/cm < T

Titre : DIAGRAMME DE PERMÉABILITÉ	**Client :** Métanor	**N/D :** HY18-010-2	**Date :** 26 juillet 2018
Lieu : Mine Bachelor, 200, chemin de la Mine, Desmaraisville, Qc, J0Y 1H0			
Projet : Étude géotechnique et hydrogéologique au parc à résidus	**Préparé par :** Mathieu Dufour, ing. junior		

Groupe RDConsultants

CORRÉLATION ENTRE LA TEXTURE DU SOL ET LA PERMÉABILITÉ



Source : *tiré du Guide pour l'étude des technologies conventionnelles du traitement des eaux usées d'origine domestique du MDDELCC, édition février 2001 à février 2017*

1 : Pour chaque 10 % (en poids) de contenu en gravier et cailloux de l'échantillon, on doit ajouter un équivalent en poids de sable de 1 %.

2 : Le trait continu entre chaque classe de conductivité hydraulique relative (en termes de « K » et de « T »), représente une valeur moyenne approximative pour chacune des textures de sol représentées. Les traits pointillés indiquent un écart moyen en raison des caractéristiques fondamentales de l'échantillon analysé (structure, densité, etc.).

3 : Se déplacer d'un équivalent de 15 % d'augmentation de contenu en argile pour les sols compacts (limon ou sols plus fins ayant une densité relative supérieure à 1,5 ou sable ayant une densité relative supérieure à 1,7).

A : Zone très perméable
B : Zone perméable
C : Zone peu perméable
D : Zone imperméable

SABLE : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 2 mm

SILT : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 0,002 mm

ARGILE : Particules dont le diamètre est inférieur à 0,002mm

% (en poids)

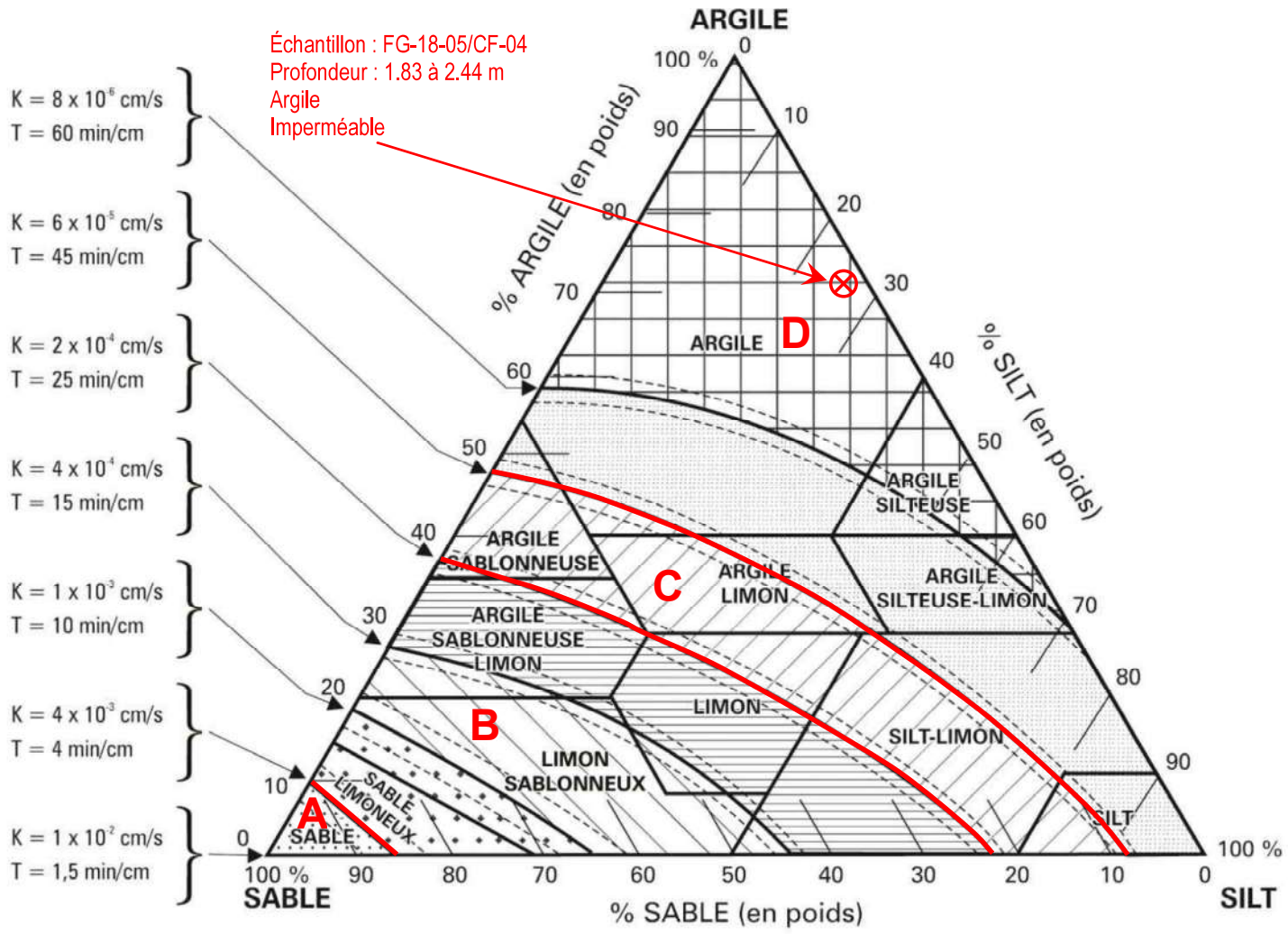
⊗ **Échantillon :** FG-18-05/CF-03
Gravier : 0.0%
Sable : 2.8%
Silt : 14.3%
Argile : 82.9%

Perméabilité: 8 x 10^{-6} cm/s > K
Temps de percolation : 60 min/cm < T

Titre : DIAGRAMME DE PERMÉABILITÉ	**Client :** Métanor	**N/D :** HY18-010-2	**Date :** 26 juillet 2018
Lieu : Mine Bachelor, 200, chemin de la Mine, Desmaraisville, Qc, J0Y 1H0			
Projet : Étude géotechnique et hydrogéologique au parc à résidus	**Préparé par :** Mathieu Dufour, ing. junior		

Groupe RDConsultants

CORRÉLATION ENTRE LA TEXTURE DU SOL ET LA PERMÉABILITÉ



Source : *tiré du Guide pour l'étude des technologies conventionnelles du traitement des eaux usées d'origine domestique du MDDELCC, édition février 2001 à février 2017*

1 : Pour chaque 10 % (en poids) de contenu en gravier et cailloux de l'échantillon, on doit ajouter un équivalent en poids de sable de 1 %.

2 : Le trait continu entre chaque classe de conductivité hydraulique relative (en termes de « K » et de « T »), représente une valeur moyenne approximative pour chacune des textures de sol représentées. Les traits pointillés indiquent un écart moyen en raison des caractéristiques fondamentales de l'échantillon analysé (structure, densité, etc.).

3 : Se déplacer d'un équivalent de 15 % d'augmentation de contenu en argile pour les sols compacts (limon ou sols plus fins ayant une densité relative supérieure à 1,5 ou sable ayant une densité relative supérieure à 1,7).

A : Zone très perméable
B : Zone perméable
C : Zone peu perméable
D : Zone imperméable

SABLE : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 2 mm

SILT : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 0,002 mm

ARGILE : Particules dont le diamètre est inférieur à 0,002mm

% (en poids)

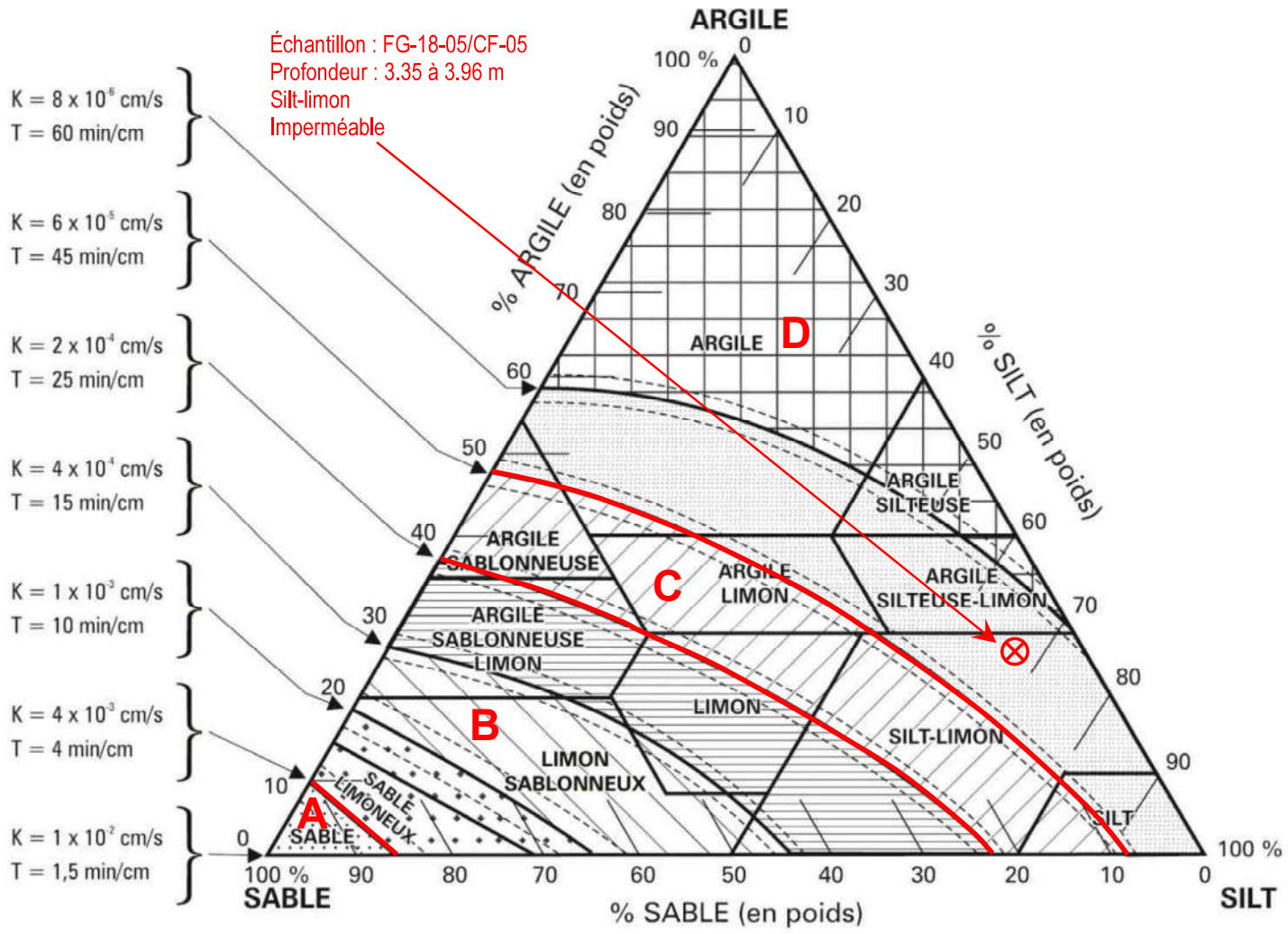
⊗ **Échantillon :** FG-18-05/CF-04
Gravier : 0.0%
Sable : 2.6%
Silt : 26.1%
Argile : 71.3%

Perméabilité: 8 x 10^{-6} cm/s > K
Temps de percolation : 60 min/cm > T

Titre : DIAGRAMME DE PERMÉABILITÉ	**Client :** Métanor	**N/D :** HY18-010-2	**Date :** 26 juillet 2018
Lieu : Mine Bachelor, 200, chemin de la Mine, Desmaraisville, Qc, J0Y 1H0			
Projet : Étude géotechnique et hydrogéologique au parc à résidus	**Préparé par :** Mathieu Dufour, ing. junior		

Groupe RDConsultants

CORRÉLATION ENTRE LA TEXTURE DU SOL ET LA PERMÉABILITÉ



Source : *tiré du Guide pour l'étude des technologies conventionnelles du traitement des eaux usées d'origine domestique du MDDELCC, édition février 2001 à février 2017*

1 : Pour chaque 10 % (en poids) de contenu en gravier et cailloux de l'échantillon, on doit ajouter un équivalent en poids de sable de 1 %.

2 : Le trait continu entre chaque classe de conductivité hydraulique relative (en termes de « K » et de « T »), représente une valeur moyenne approximative pour chacune des textures de sol représentées. Les traits pointillés indiquent un écart moyen en raison des caractéristiques fondamentales de l'échantillon analysé (structure, densité, etc.).

3 : Se déplacer d'un équivalent de 15 % d'augmentation de contenu en argile pour les sols compacts (limon ou sols plus fins ayant une densité relative supérieure à 1,5 ou sable ayant une densité relative supérieure à 1,7).

A : Zone très perméable
B : Zone perméable
C : Zone peu perméable
D : Zone imperméable

SABLE : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 2 mm

SILT : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 0,002 mm

ARGILE : Particules dont le diamètre est inférieur à 0,002mm

% (en poids)

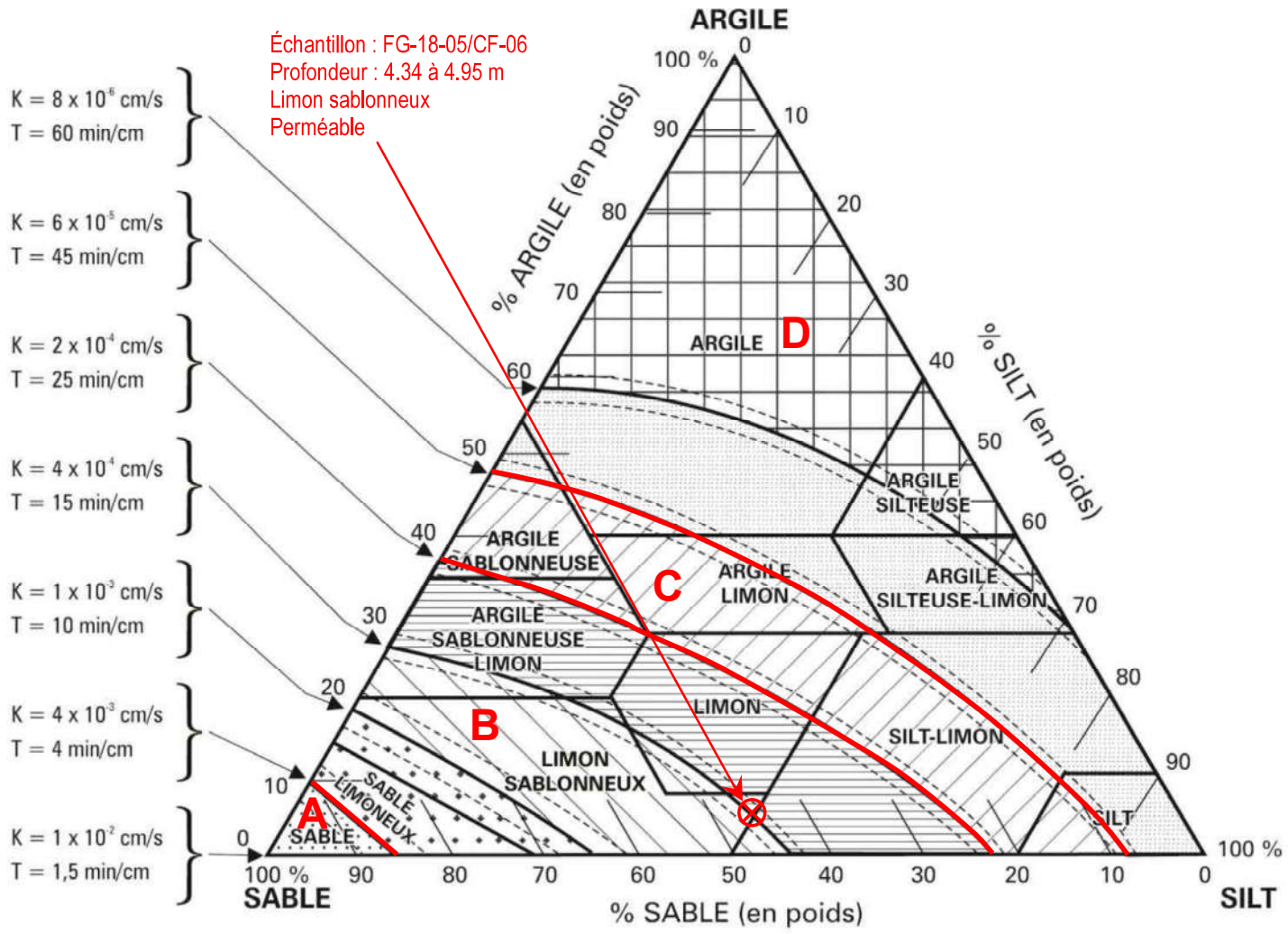
⊗ **Échantillon :** FG-18-05/CF-05
Gravier : 0.0%
Sable : 5.4%
Silt : 64.9%
Argile : 29.7%

Perméabilité: $6 \times 10^{-5} > K > 8 \times 10^{-6}$ cm/s
Temps de percolation : 45 < T < 60 min/cm

Titre : DIAGRAMME DE PERMÉABILITÉ	**Client :** Métanor	**N/D :** HY18-010-2	**Date :** 26 juillet 2018
Lieu : Mine Bachelor, 200, chemin de la Mine, Desmaraisville, Qc, J0Y 1H0			
Projet : Étude géotechnique et hydrogéologique au parc à résidus	**Préparé par :** Mathieu Dufour, ing. junior		

Groupe RDConsultants

CORRÉLATION ENTRE LA TEXTURE DU SOL ET LA PERMÉABILITÉ



Source : *tiré du Guide pour l'étude des technologies conventionnelles du traitement des eaux usées d'origine domestique du MDDELCC, édition février 2001 à février 2017*

1 : Pour chaque 10 % (en poids) de contenu en gravier et cailloux de l'échantillon, on doit ajouter un équivalent en poids de sable de 1 %.

2 : Le trait continu entre chaque classe de conductivité hydraulique relative (en termes de « K » et de « T »), représente une valeur moyenne approximative pour chacune des textures de sol représentées. Les traits pointillés indiquent un écart moyen en raison des caractéristiques fondamentales de l'échantillon analysé (structure, densité, etc.).

3 : Se déplacer d'un équivalent de 15 % d'augmentation de contenu en argile pour les sols compacts (limon ou sols plus fins ayant une densité relative supérieure à 1,5 ou sable ayant une densité relative supérieure à 1,7).

A : Zone très perméable
B : Zone perméable
C : Zone peu perméable
D : Zone imperméable

SABLE : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 2 mm

SILT : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 0,002 mm

ARGILE : Particules dont le diamètre est inférieur à 0,002mm

% (en poids)

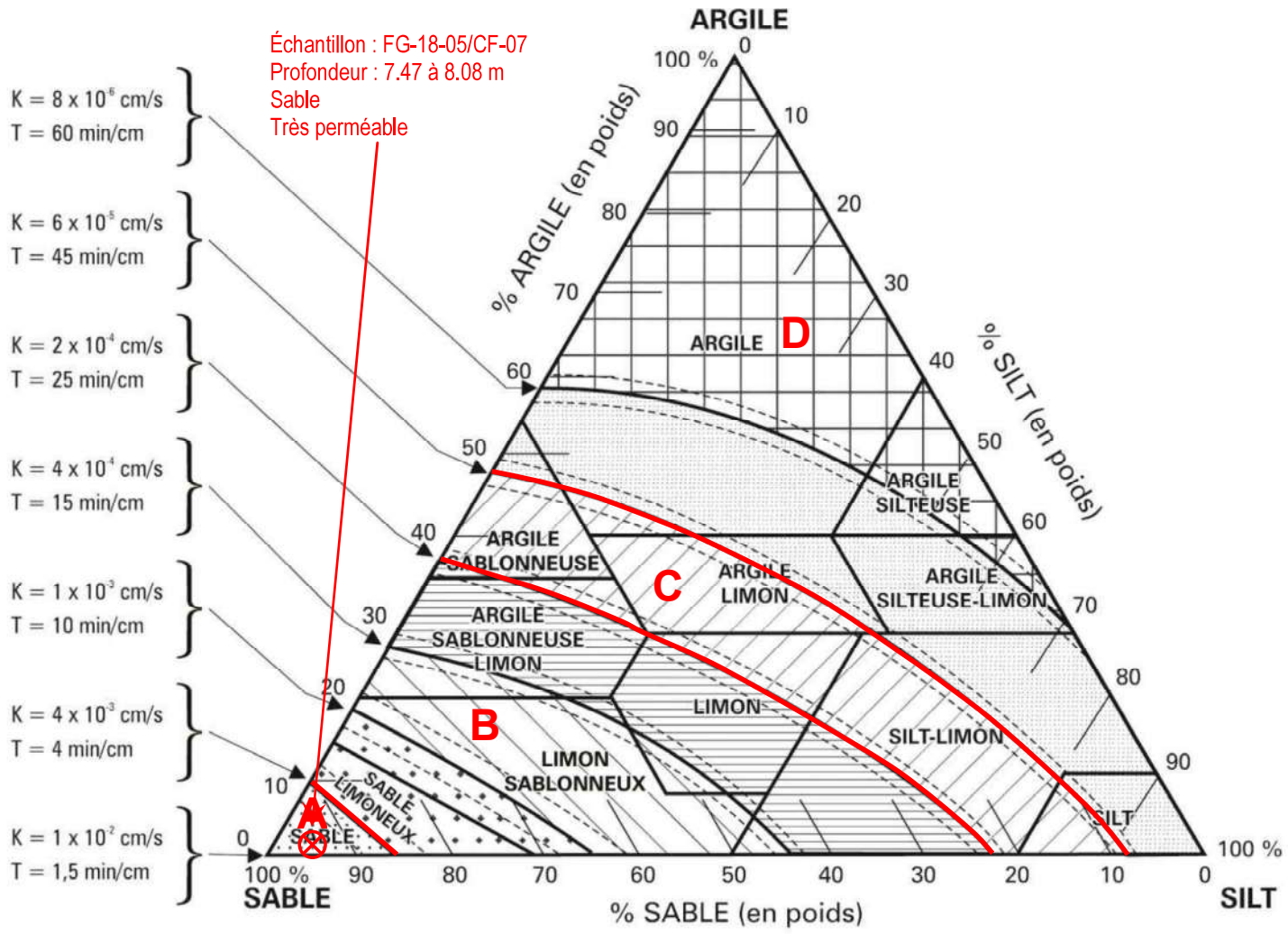
⊗ **Échantillon :** FG-18-05/CF-06
Gravier : 5.0%
Sable : 44.4%
Silt : 45.3%
Argile : 5.3%

Perméabilité: $1 \times 10^{-3} > K > 4 \times 10^{-4}$ cm/s
Temps de percolation : 10 < T < 15 min/cm

Titre : DIAGRAMME DE PERMÉABILITÉ	**Client :** Métanor	**N/D :** HY18-010-2	**Date :** 26 juillet 2018
Lieu : Mine Bachelor, 200, chemin de la Mine, Desmaraisville, Qc, J0Y 1H0			
Projet : Étude géotechnique et hydrogéologique au parc à résidus	**Préparé par :** Mathieu Dufour, ing. junior		

Groupe RDConsultants

CORRÉLATION ENTRE LA TEXTURE DU SOL ET LA PERMÉABILITÉ



Source : *tiré du Guide pour l'étude des technologies conventionnelles du traitement des eaux usées d'origine domestique du MDDELCC, édition février 2001 à février 2017*

1 : Pour chaque 10 % (en poids) de contenu en gravier et cailloux de l'échantillon, on doit ajouter un équivalent en poids de sable de 1 %.

2 : Le trait continu entre chaque classe de conductivité hydraulique relative (en termes de « K » et de « T »), représente une valeur moyenne approximative pour chacune des textures de sol représentées. Les traits pointillés indiquent un écart moyen en raison des caractéristiques fondamentales de l'échantillon analysé (structure, densité, etc.).

3 : Se déplacer d'un équivalent de 15 % d'augmentation de contenu en argile pour les sols compacts (limon ou sols plus fins ayant une densité relative supérieure à 1,5 ou sable ayant une densité relative supérieure à 1,7).

A : Zone très perméable
B : Zone perméable
C : Zone peu perméable
D : Zone imperméable

SABLE : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 2 mm

SILT : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 0,002 mm

ARGILE : Particules dont le diamètre est inférieur à 0,002mm

% (en poids)

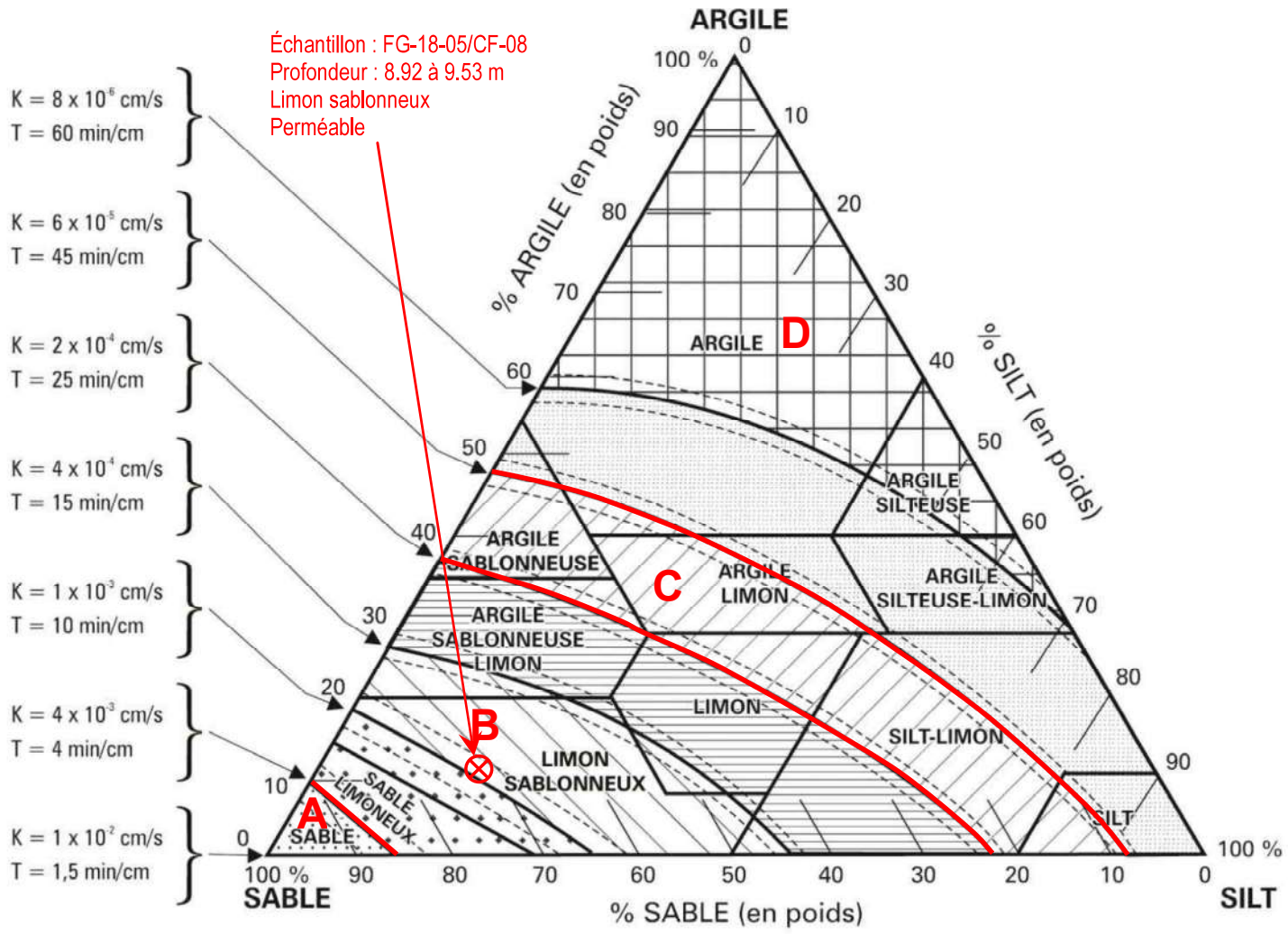
⊗ **Échantillon :** FG-18-05/CF-07
Gravier : 32.0%
Sable : 62.1%
Silt : 5.4%
Argile : 0.5%

Perméabilité: 1 x 10^{-2} cm/s > K > 4 x 10^{-3} cm/s
Temps de percolation : 1,5 < T < 4 min/cm

Titre : DIAGRAMME DE PERMÉABILITÉ	**Client :** Métanor	**N/D :** HY18-010-2	**Date :** 26 juillet 2018
Lieu : Mine Bachelor, 200, chemin de la Mine, Desmaraisville, Qc, J0Y 1H0			
Projet : Étude géotechnique et hydrogéologique au parc à résidus	**Préparé par :** Mathieu Dufour, ing. junior		

Groupe RDConsultants

CORRÉLATION ENTRE LA TEXTURE DU SOL ET LA PERMÉABILITÉ



Source : *tiré du Guide pour l'étude des technologies conventionnelles du traitement des eaux usées d'origine domestique du MDDELCC, édition février 2001 à février 2017*

1 : Pour chaque 10 % (en poids) de contenu en gravier et cailloux de l'échantillon, on doit ajouter un équivalent en poids de sable de 1 %.

2 : Le trait continu entre chaque classe de conductivité hydraulique relative (en termes de « K » et de « T »), représente une valeur moyenne approximative pour chacune des textures de sol représentées. Les traits pointillés indiquent un écart moyen en raison des caractéristiques fondamentales de l'échantillon analysé (structure, densité, etc.).

3 : Se déplacer d'un équivalent de 15 % d'augmentation de contenu en argile pour les sols compacts (limon ou sols plus fins ayant une densité relative supérieure à 1,5 ou sable ayant une densité relative supérieure à 1,7).

A : Zone très perméable
B : Zone perméable
C : Zone peu perméable
D : Zone imperméable

SABLE : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 2 mm

SILT : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 0,002 mm

ARGILE : Particules dont le diamètre est inférieur à 0,002mm

% (en poids)

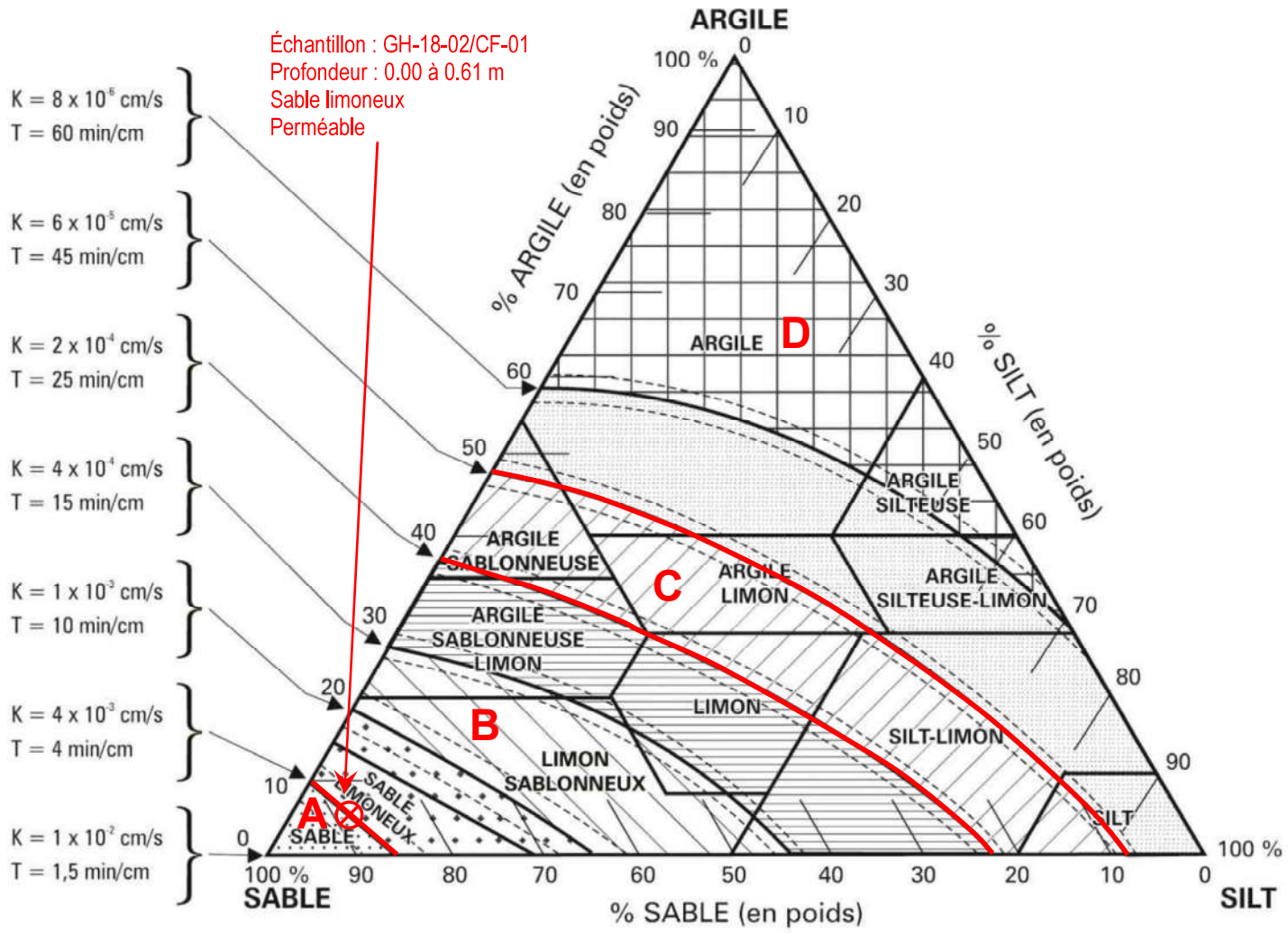
⊗ **Échantillon :** FG-18-05/CF-08
Gravier : 7.0%
Sable : 64.1%
Silt : 17.9%
Argile : 11.0%

Perméabilité: $1 \times 10^{-3} > K > 4 \times 10^{-4}$ cm/s
Temps de percolation : 10 < T < 15 min/cm

Titre : DIAGRAMME DE PERMÉABILITÉ	**Client :** Métanor	**N/D :** HY18-010-2	**Date :** 26 juillet 2018
Lieu : Mine Bachelor, 200, chemin de la Mine, Desmaraisville, Qc, J0Y 1H0			
Projet : Étude géotechnique et hydrogéologique au parc à résidus	**Préparé par :** Mathieu Dufour, ing. junior		

Groupe RDConsultants

CORRÉLATION ENTRE LA TEXTURE DU SOL ET LA PERMÉABILITÉ



Source : *tiré du Guide pour l'étude des technologies conventionnelles du traitement des eaux usées d'origine domestique du MDDELCC, édition février 2001 à février 2017*

1 : Pour chaque 10 % (en poids) de contenu en gravier et cailloux de l'échantillon, on doit ajouter un équivalent en poids de sable de 1 %.

2 : Le trait continu entre chaque classe de conductivité hydraulique relative (en termes de « K » et de « T »), représente une valeur moyenne approximative pour chacune des textures de sol représentées. Les traits pointillés indiquent un écart moyen en raison des caractéristiques fondamentales de l'échantillon analysé (structure, densité, etc.).

3 : Se déplacer d'un équivalent de 15 % d'augmentation de contenu en argile pour les sols compacts (limon ou sols plus fins ayant une densité relative supérieure à 1,5 ou sable ayant une densité relative supérieure à 1,7).

A : Zone très perméable
B : Zone perméable
C : Zone peu perméable
D : Zone imperméable

SABLE : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 2 mm

SILT : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 0,002 mm

ARGILE : Particules dont le diamètre est inférieur à 0,002mm

% (en poids)

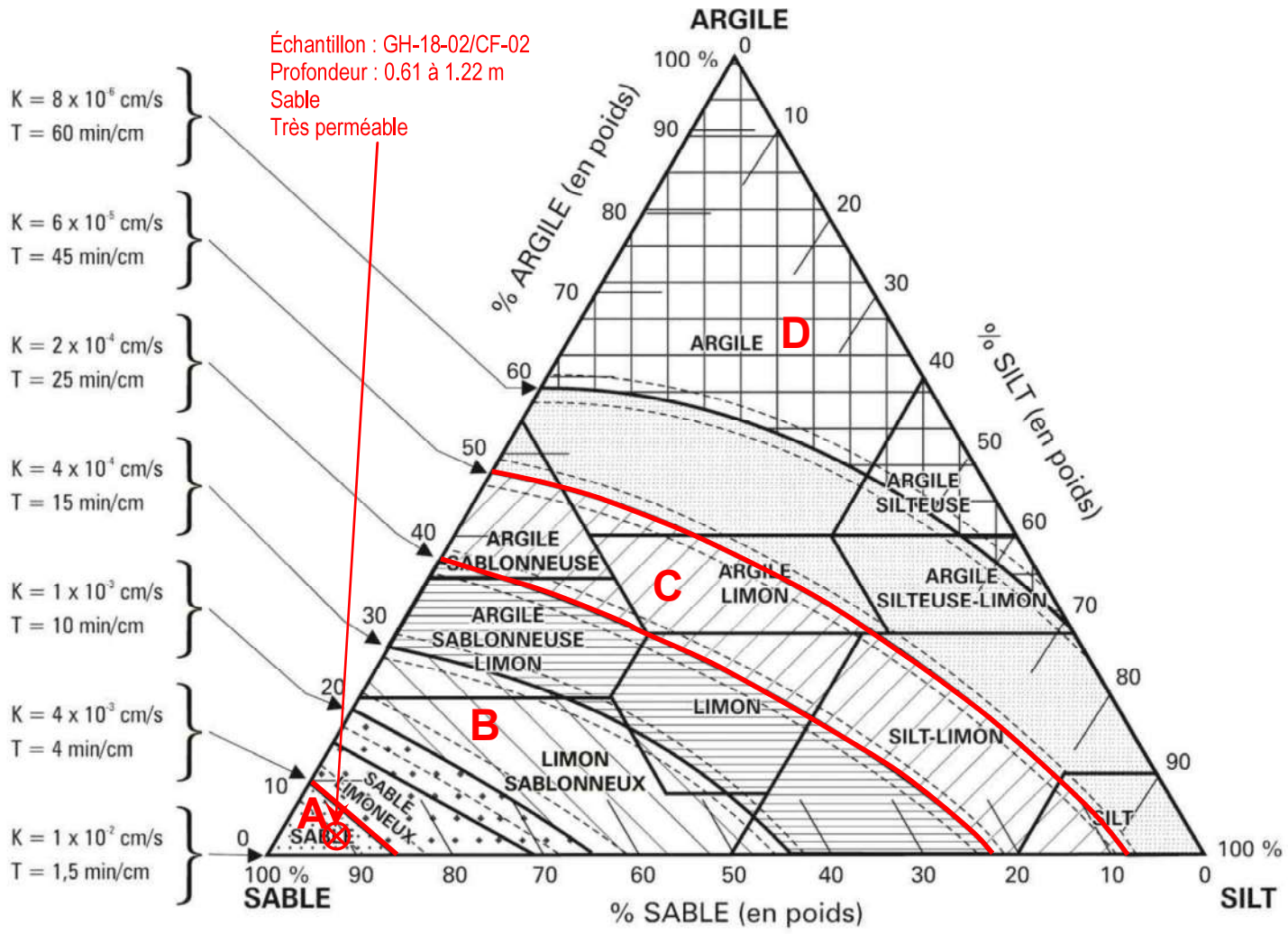
⊗ **Échantillon :** GH-18-02/CF-01
Gravier : 5.0%
Sable : 82.8%
Silt : 6.6%
Argile : 5.6%

Perméabilité: 4 x 10^{-3} cm/s > K > 1 x 10^{-3} cm/s
Temps de percolation : 4 < T < 10 min/cm

Titre : DIAGRAMME DE PERMÉABILITÉ	**Client :** Métanor	**N/D :** HY18-010-2	**Date :** 26 juillet 2018
Lieu : Mine Bachelor, 200, chemin de la Mine, Desmaraisville, Qc, J0Y 1H0			
Projet : Étude géotechnique et hydrogéologique au parc à résidus	**Préparé par :** Mathieu Dufour, ing. junior		

Groupe RDConsultants

CORRÉLATION ENTRE LA TEXTURE DU SOL ET LA PERMÉABILITÉ



Source : *tiré du Guide pour l'étude des technologies conventionnelles du traitement des eaux usées d'origine domestique du MDDELCC, édition février 2001 à février 2017*

1 : Pour chaque 10 % (en poids) de contenu en gravier et cailloux de l'échantillon, on doit ajouter un équivalent en poids de sable de 1 %.

2 : Le trait continu entre chaque classe de conductivité hydraulique relative (en termes de « K » et de « T »), représente une valeur moyenne approximative pour chacune des textures de sol représentées. Les traits pointillés indiquent un écart moyen en raison des caractéristiques fondamentales de l'échantillon analysé (structure, densité, etc.).

3 : Se déplacer d'un équivalent de 15 % d'augmentation de contenu en argile pour les sols compacts (limon ou sols plus fins ayant une densité relative supérieure à 1,5 ou sable ayant une densité relative supérieure à 1,7).

A : Zone très perméable
B : Zone perméable
C : Zone peu perméable
D : Zone imperméable

SABLE : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 2 mm

SILT : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 0,002 mm

ARGILE : Particules dont le diamètre est inférieur à 0,002mm

% (en poids)

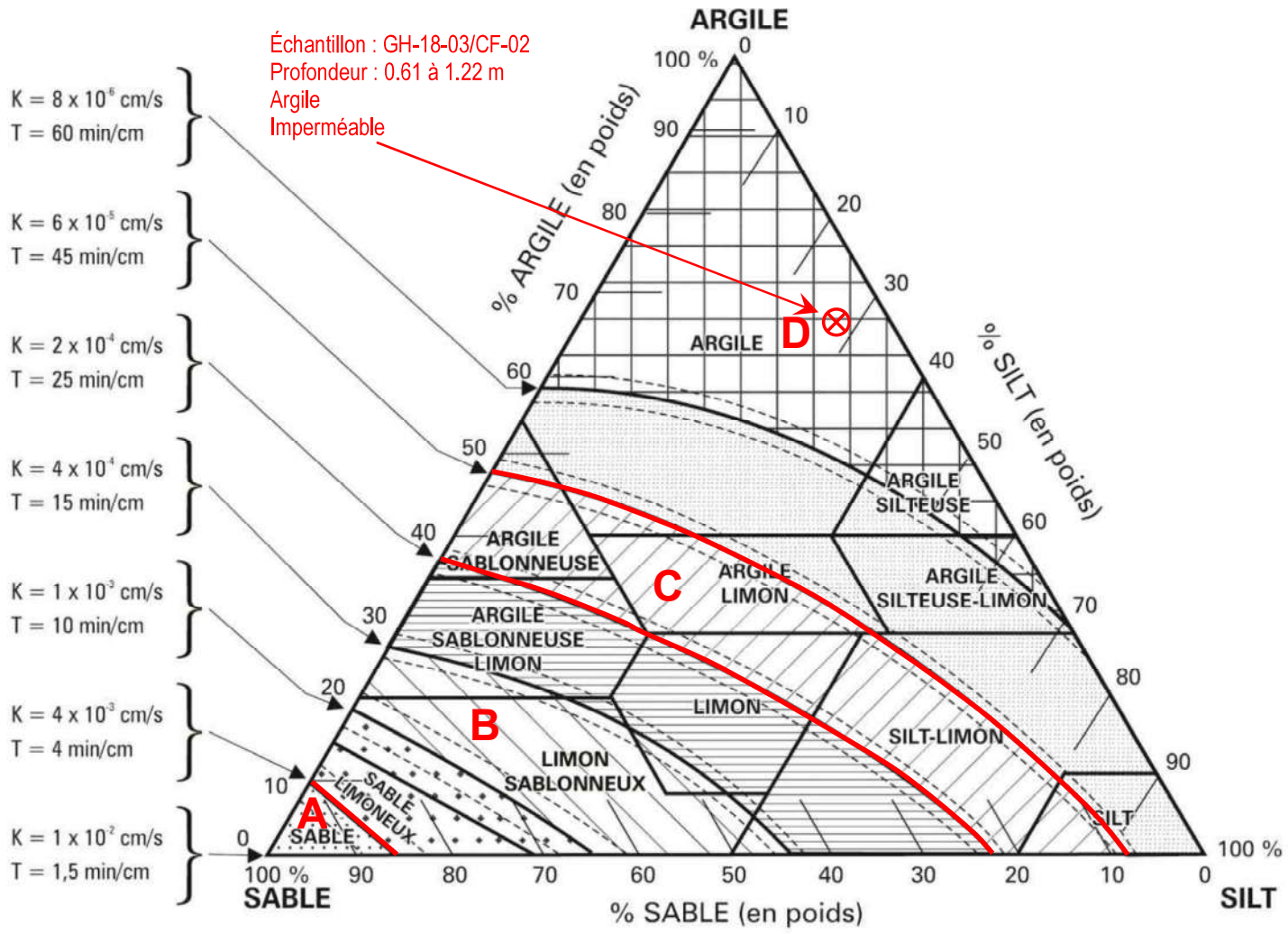
⊗ **Échantillon :** GH-18-02/CF-02
Gravier : 12.0%
Sable : 78.8%
Silt : 4.4%
Argile : 4.8%

Perméabilité: $1 \times 10^{-2} > K > 4 \times 10^{-3}$ cm/s
Temps de percolation : $1,5 < T < 4$ min/cm

Titre : DIAGRAMME DE PERMÉABILITÉ	**Client :** Métanor	**N/D :** HY18-010-2	**Date :** 26 juillet 2018
Lieu : Mine Bachelor, 200, chemin de la Mine, Desmaraisville, Qc, J0Y 1H0			
Projet : Étude géotechnique et hydrogéologique au parc à résidus	**Préparé par :** Mathieu Dufour, ing. junior		

Groupe RDConsultants

CORRÉLATION ENTRE LA TEXTURE DU SOL ET LA PERMÉABILITÉ



Source : *tiré du Guide pour l'étude des technologies conventionnelles du traitement des eaux usées d'origine domestique du MDDELCC, édition février 2001 à février 2017*

1 : Pour chaque 10 % (en poids) de contenu en gravier et cailloux de l'échantillon, on doit ajouter un équivalent en poids de sable de 1 %.

2 : Le trait continu entre chaque classe de conductivité hydraulique relative (en termes de « K » et de « T »), représente une valeur moyenne approximative pour chacune des textures de sol représentées. Les traits pointillés indiquent un écart moyen en raison des caractéristiques fondamentales de l'échantillon analysé (structure, densité, etc.).

3 : Se déplacer d'un équivalent de 15 % d'augmentation de contenu en argile pour les sols compacts (limon ou sols plus fins ayant une densité relative supérieure à 1,5 ou sable ayant une densité relative supérieure à 1,7).

A : Zone très perméable
B : Zone perméable
C : Zone peu perméable
D : Zone imperméable

SABLE : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 2 mm

SILT : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 0,002 mm

ARGILE : Particules dont le diamètre est inférieur à 0,002mm

% (en poids)

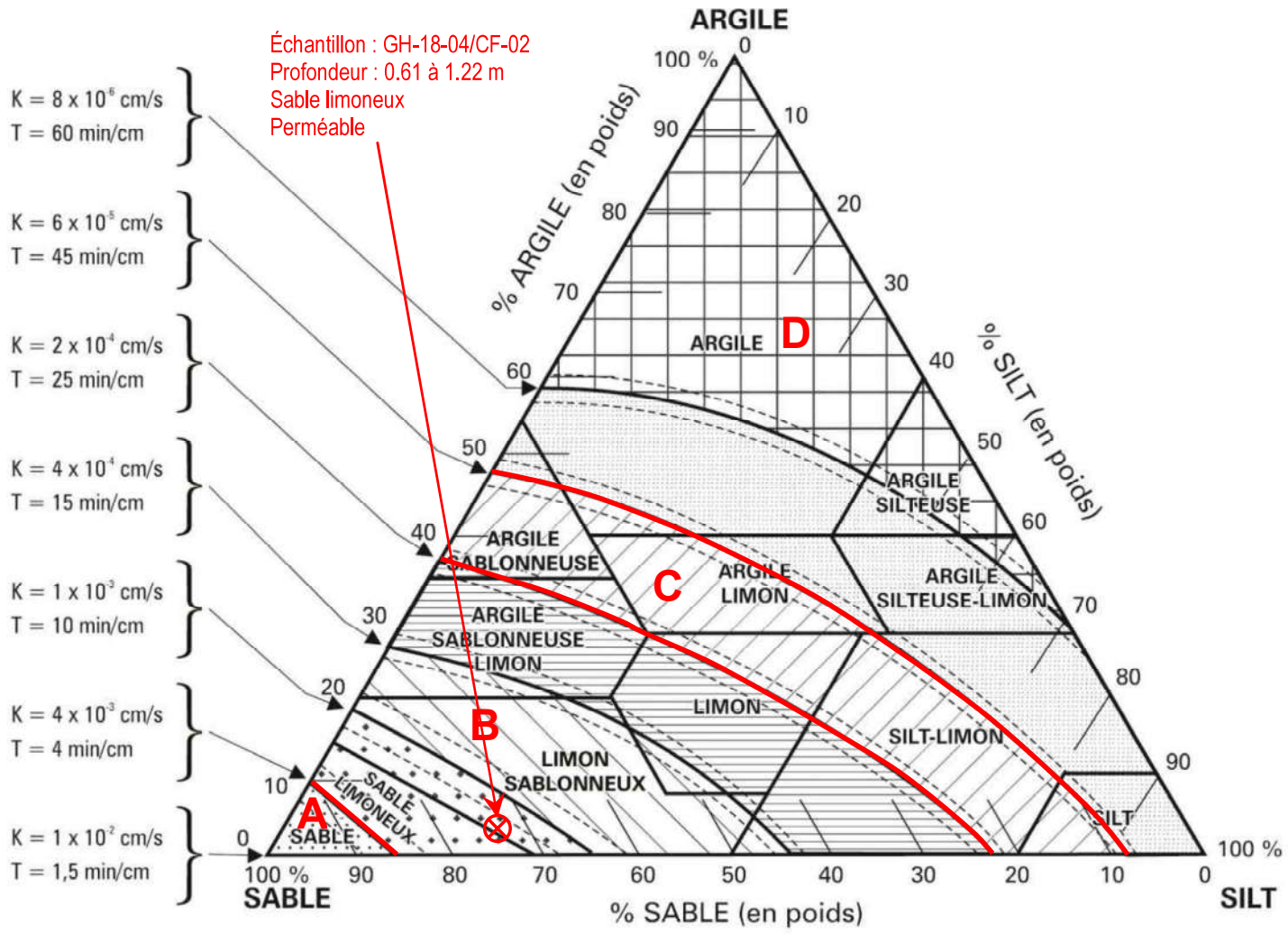
⊗ **Échantillon :** GH-18-03/CF-02
Gravier : 0.0%
Sable : 5.7%
Silt : 28.7%
Argile : 65.6%

Perméabilité: 8 x 10^{-6} cm/s > K
Temps de percolation : 60 min/cm < T

Titre : DIAGRAMME DE PERMÉABILITÉ	**Client :** Métanor	**N/D :** HY18-010-2	**Date :** 26 juillet 2018
Lieu : Mine Bachelor, 200, chemin de la Mine, Desmaraisville, Qc, J0Y 1H0			
Projet : Étude géotechnique et hydrogéologique au parc à résidus	**Préparé par :** Mathieu Dufour, ing. junior		

Groupe RDConsultants

CORRÉLATION ENTRE LA TEXTURE DU SOL ET LA PERMÉABILITÉ



Source : *tiré du Guide pour l'étude des technologies conventionnelles du traitement des eaux usées d'origine domestique du MDDELCC, édition février 2001 à février 2017*

1 : Pour chaque 10 % (en poids) de contenu en gravier et cailloux de l'échantillon, on doit ajouter un équivalent en poids de sable de 1 %.

2 : Le trait continu entre chaque classe de conductivité hydraulique relative (en termes de « K » et de « T »), représente une valeur moyenne approximative pour chacune des textures de sol représentées. Les traits pointillés indiquent un écart moyen en raison des caractéristiques fondamentales de l'échantillon analysé (structure, densité, etc.).

3 : Se déplacer d'un équivalent de 15 % d'augmentation de contenu en argile pour les sols compacts (limon ou sols plus fins ayant une densité relative supérieure à 1,5 ou sable ayant une densité relative supérieure à 1,7).

A : Zone très perméable
B : Zone perméable
C : Zone peu perméable
D : Zone imperméable

SABLE : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 2 mm

SILT : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 0,002 mm

ARGILE : Particules dont le diamètre est inférieur à 0,002mm

% (en poids)

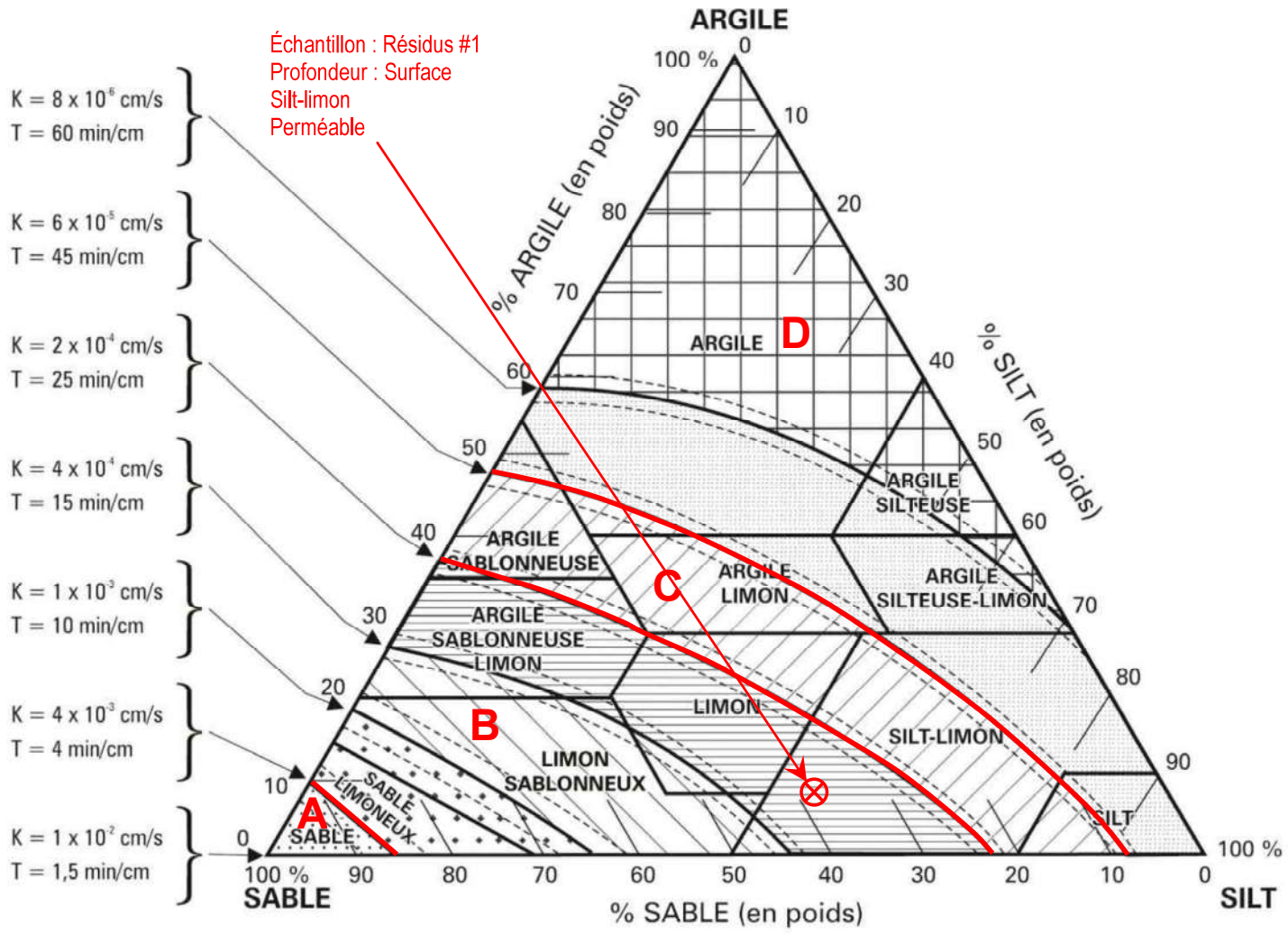
⊗ **Échantillon :** GH-18-04/CF-02
Gravier : 18.0%
Sable : 55.0%
Silt : 22.8%
Argile : 4.2%

Perméabilité: $4 \times 10^{-3} > K > 1 \times 10^{-4}$ cm/s
Temps de percolation : 4 < T < 10 min/cm

Titre : DIAGRAMME DE PERMÉABILITÉ	**Client :** Métanor	**N/D :** HY18-010-2	**Date :** 26 juillet 2018
Lieu : Mine Bachelor, 200, chemin de la Mine, Desmaraisville, Qc, J0Y 1H0			
Projet : Étude géotechnique et hydrogéologique au parc à résidus	**Préparé par :** Mathieu Dufour, ing. junior		

Groupe RDConsultants

CORRÉLATION ENTRE LA TEXTURE DU SOL ET LA PERMÉABILITÉ



Source : *tiré du Guide pour l'étude des technologies conventionnelles du traitement des eaux usées d'origine domestique du MDDELCC, édition février 2001 à février 2017*

1 : Pour chaque 10 % (en poids) de contenu en gravier et cailloux de l'échantillon, on doit ajouter un équivalent en poids de sable de 1 %.

2 : Le trait continu entre chaque classe de conductivité hydraulique relative (en termes de « K » et de « T »), représente une valeur moyenne approximative pour chacune des textures de sol représentées. Les traits pointillés indiquent un écart moyen en raison des caractéristiques fondamentales de l'échantillon analysé (structure, densité, etc.).

3 : Se déplacer d'un équivalent de 15 % d'augmentation de contenu en argile pour les sols compacts (limon ou sols plus fins ayant une densité relative supérieure à 1,5 ou sable ayant une densité relative supérieure à 1,7).

A : Zone très perméable
B : Zone perméable
C : Zone peu perméable
D : Zone imperméable

SABLE : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 2 mm

SILT : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 0,002 mm

ARGILE : Particules dont le diamètre est inférieur à 0,002mm

% (en poids)

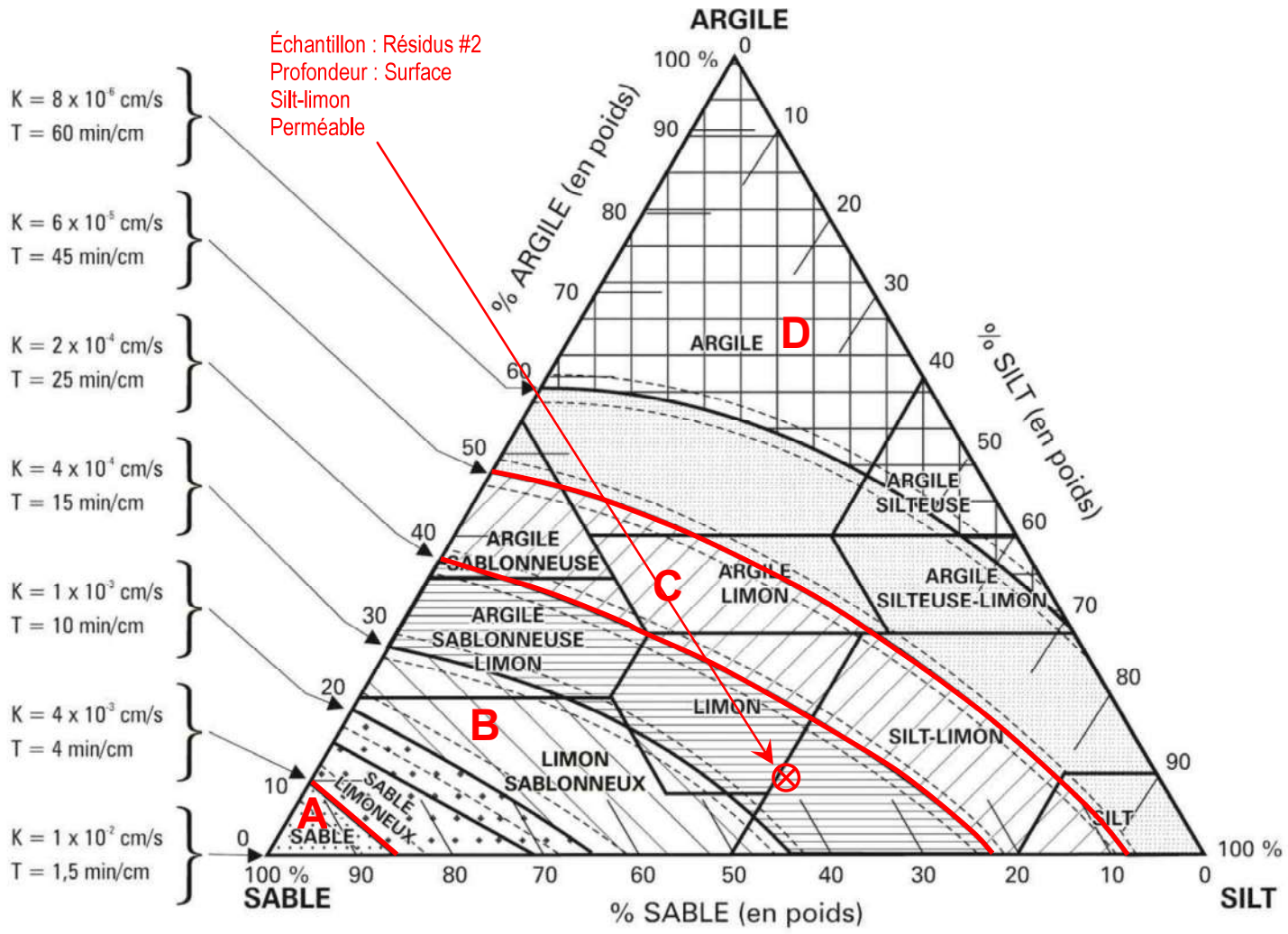
⊗ **Échantillon :** Résidus #1
Gravier : 1.0%
Sable : 37.4%
Silt : 52.5%
Argile : 9.1%

Perméabilité: $4 \times 10^{-4} > K > 2 \times 10^{-4}$ cm/s
Temps de percolation : 15 < T < 25 min/cm

Titre : DIAGRAMME DE PERMÉABILITÉ	**Client :** Métanor	**N/D :** HY18-010-2	**Date :** 26 juillet 2018
Lieu : Mine Bachelor, 200, chemin de la Mine, Desmaraisville, Qc, J0Y 1H0			
Projet : Étude géotechnique et hydrogéologique au parc à résidus	**Préparé par :** Mathieu Dufour, ing. junior		

Groupe RDConsultants

CORRÉLATION ENTRE LA TEXTURE DU SOL ET LA PERMÉABILITÉ



Source : *tiré du Guide pour l'étude des technologies conventionnelles du traitement des eaux usées d'origine domestique du MDDELCC, édition février 2001 à février 2017*

1 : Pour chaque 10 % (en poids) de contenu en gravier et cailloux de l'échantillon, on doit ajouter un équivalent en poids de sable de 1 %.

2 : Le trait continu entre chaque classe de conductivité hydraulique relative (en termes de « K » et de « T »), représente une valeur moyenne approximative pour chacune des textures de sol représentées. Les traits pointillés indiquent un écart moyen en raison des caractéristiques fondamentales de l'échantillon analysé (structure, densité, etc.).

3 : Se déplacer d'un équivalent de 15 % d'augmentation de contenu en argile pour les sols compacts (limon ou sols plus fins ayant une densité relative supérieure à 1,5 ou sable ayant une densité relative supérieure à 1,7).

A : Zone très perméable
B : Zone perméable
C : Zone peu perméable
D : Zone imperméable

SABLE : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 2 mm

SILT : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 0,002 mm

ARGILE : Particules dont le diamètre est inférieur à 0,002mm

% (en poids)

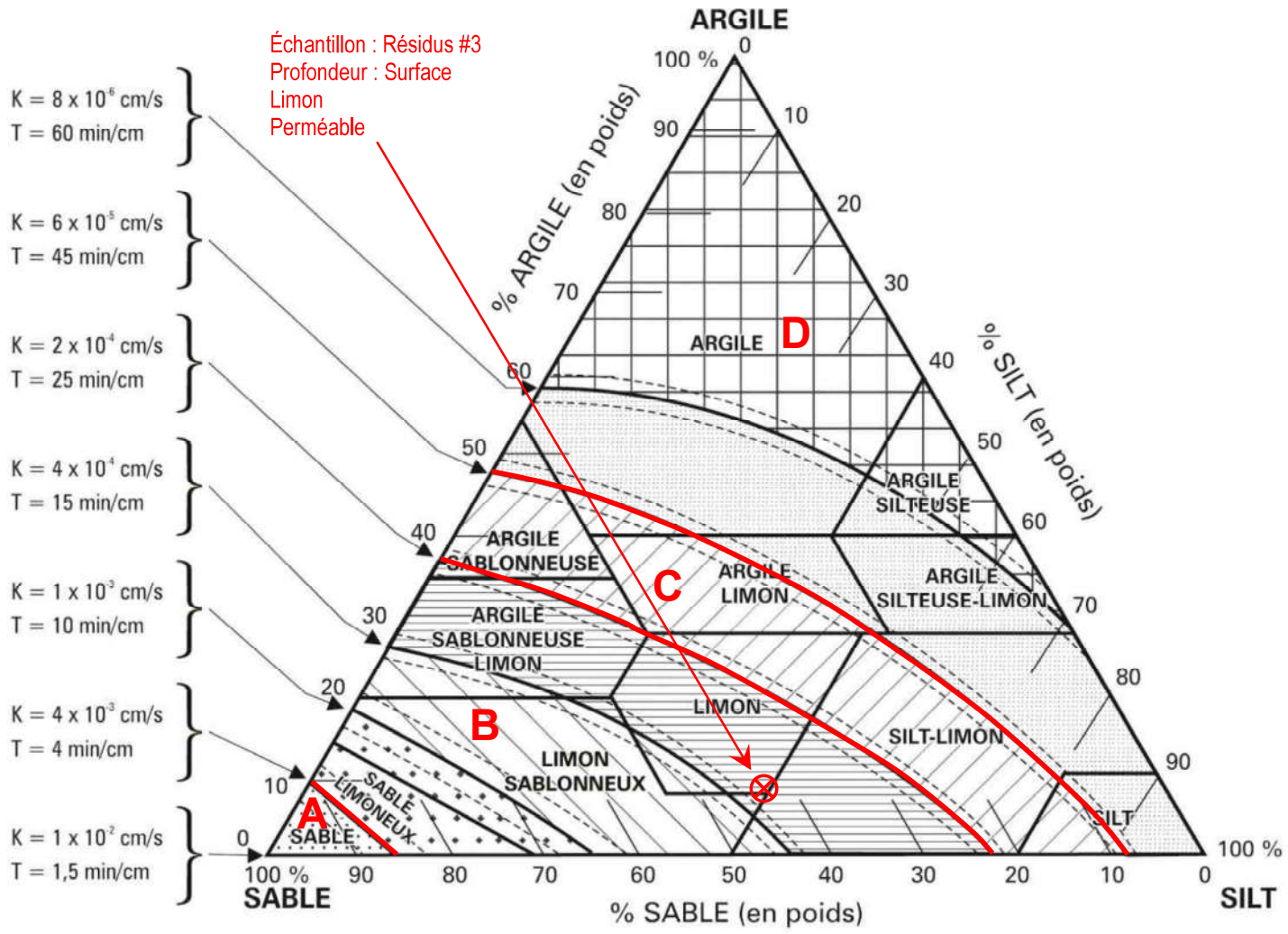
⊗ **Échantillon :** Résidus #2
Gravier : 0.0%
Sable : 39.5%
Silt : 50.5%
Argile : 10.0%

Perméabilité: $4 \times 10^{-4} > K > 2 \times 10^{-4}$ cm/s
Temps de percolation : 15 < T < 25 min/cm

Titre : DIAGRAMME DE PERMÉABILITÉ	**Client :** Métanor	**N/D :** HY18-010-2	**Date :** 26 juillet 2018
Lieu : Mine Bachelor, 200, chemin de la Mine, Desmaraisville, Qc, J0Y 1H0			
Projet : Étude géotechnique et hydrogéologique au parc à résidus	**Préparé par :** Mathieu Dufour, ing. junior		

Groupe RDConsultants

CORRÉLATION ENTRE LA TEXTURE DU SOL ET LA PERMÉABILITÉ



Source : *tiré du Guide pour l'étude des technologies conventionnelles du traitement des eaux usées d'origine domestique du MDDELCC, édition février 2001 à février 2017*

1 : Pour chaque 10 % (en poids) de contenu en gravier et cailloux de l'échantillon, on doit ajouter un équivalent en poids de sable de 1 %.

2 : Le trait continu entre chaque classe de conductivité hydraulique relative (en termes de « K » et de « T »), représente une valeur moyenne approximative pour chacune des textures de sol représentées. Les traits pointillés indiquent un écart moyen en raison des caractéristiques fondamentales de l'échantillon analysé (structure, densité, etc.).

3 : Se déplacer d'un équivalent de 15 % d'augmentation de contenu en argile pour les sols compacts (limon ou sols plus fins ayant une densité relative supérieure à 1,5 ou sable ayant une densité relative supérieure à 1,7).

A : Zone très perméable
B : Zone perméable
C : Zone peu perméable
D : Zone imperméable

SABLE : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 2 mm

SILT : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 0,002 mm

ARGILE : Particules dont le diamètre est inférieur à 0,002mm

% (en poids)

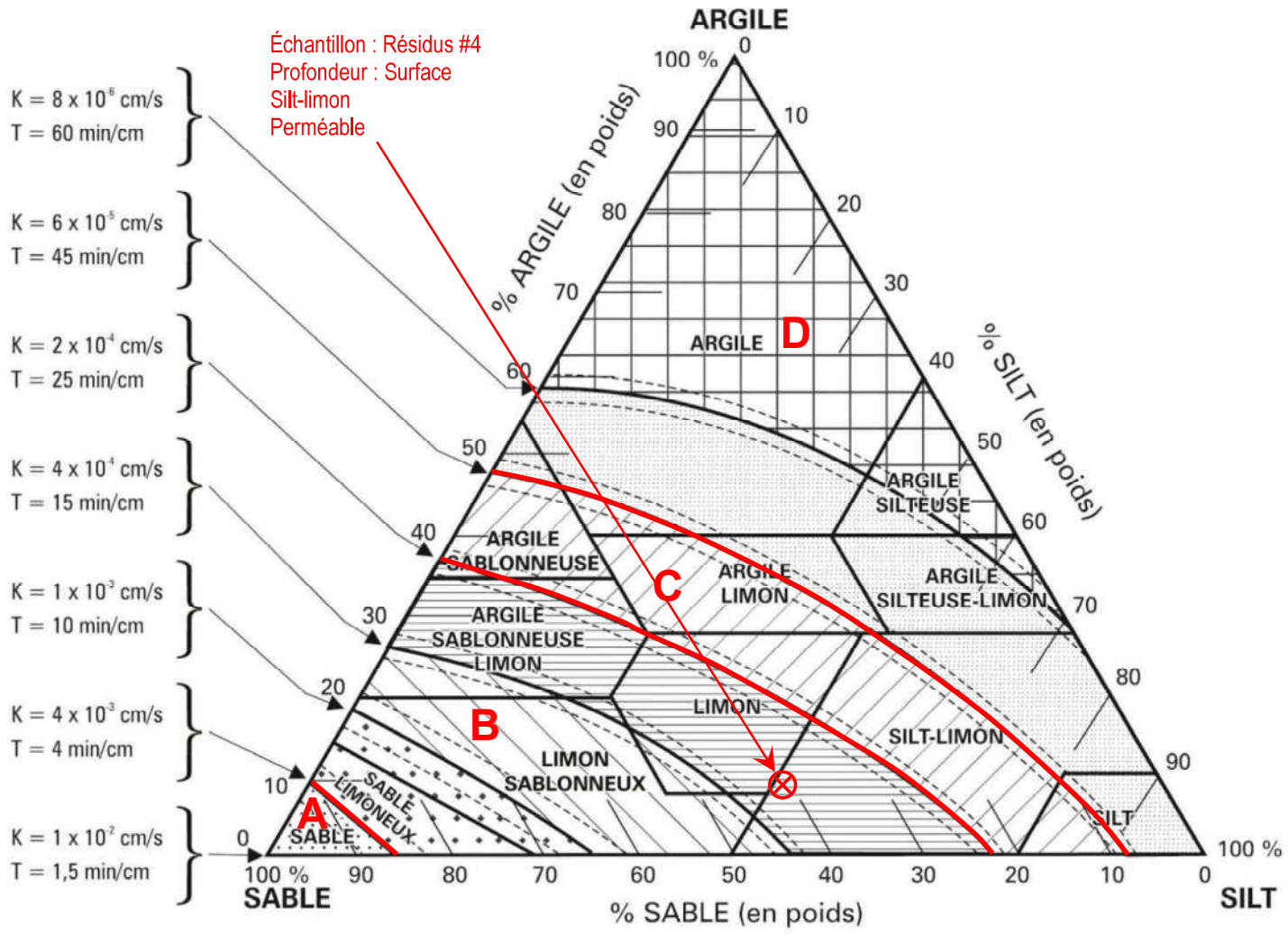
⊗ **Échantillon :** Résidus #3
Gravier : 0.0%
Sable : 41.6%
Silt : 49.1%
Argile : 9.3%

Perméabilité: $4 \times 10^{-4} > K > 2 \times 10^{-4}$ cm/s
Temps de percolation : 15 < T < 25 min/cm

Titre : DIAGRAMME DE PERMÉABILITÉ	**Client :** Métanor	**N/D :** HY18-010-2	**Date :** 26 juillet 2018
Lieu : Mine Bachelor, 200, chemin de la Mine, Desmaraisville, Qc, J0Y 1H0			
Projet : Étude géotechnique et hydrogéologique au parc à résidus	**Préparé par :** Mathieu Dufour, ing. junior		

Groupe RDConsultants

CORRÉLATION ENTRE LA TEXTURE DU SOL ET LA PERMÉABILITÉ



Source : *tiré du Guide pour l'étude des technologies conventionnelles du traitement des eaux usées d'origine domestique du MDDELCC, édition février 2001 à février 2017*

1 : Pour chaque 10 % (en poids) de contenu en gravier et cailloux de l'échantillon, on doit ajouter un équivalent en poids de sable de 1 %.

2 : Le trait continu entre chaque classe de conductivité hydraulique relative (en termes de « K » et de « T »), représente une valeur moyenne approximative pour chacune des textures de sol représentées. Les traits pointillés indiquent un écart moyen en raison des caractéristiques fondamentales de l'échantillon analysé (structure, densité, etc.).

3 : Se déplacer d'un équivalent de 15 % d'augmentation de contenu en argile pour les sols compacts (limon ou sols plus fins ayant une densité relative supérieure à 1,5 ou sable ayant une densité relative supérieure à 1,7).

A : Zone très perméable
B : Zone perméable
C : Zone peu perméable
D : Zone imperméable

SABLE : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 2 mm

SILT : Particules dont le diamètre est compris entre 0,05 mm et 0,002 mm

ARGILE : Particules dont le diamètre est inférieur à 0,002mm

% (en poids)

⊗ **Échantillon :** Résidus #4
Gravier : 0.0%
Sable : 40.1%
Silt : 50.1%
Argile : 9.8%

Perméabilité: $4 \times 10^{-4} > K > 2 \times 10^{-4}$ cm/s
Temps de percolation : 15 < T < 25 min/cm

Titre : DIAGRAMME DE PERMÉABILITÉ	**Client :** Métanor	**N/D :** HY18-010-2	**Date :** 26 juillet 2018
Lieu : Mine Bachelor, 200, chemin de la Mine, Desmaraisville, Qc, J0Y 1H0			
Projet : Étude géotechnique et hydrogéologique au parc à résidus	**Préparé par :** Mathieu Dufour, ing. junior		

Groupe RDConsultants

ANNEXE 7 : RÉSULTATS DES ESSAIS RÉALISÉS SUR LES TUBES SHELBY

Rapport d'analyse(s) - sols et des granulats

Client:	**Qualilab Inspection inc**	**Projet No:**	**G-18-384**
		Échantillon No:	FG-18-03 TS1
Projet:	HY18-010-02	**Date de prélèvement:**	
		Prélevé par:	Client
Type de matériau:	Argile très raide, peu sensible, grande plasticité (CH).	**Localisation du prélèvement:**	5.57 - 5.75 m
Provenance:			
Usage proposé:			

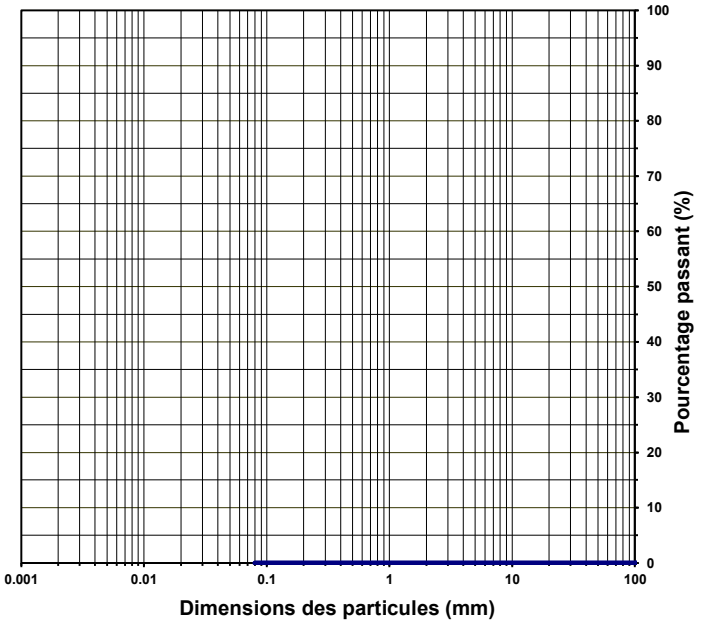
Granulométrie (% passant) (LC 21-040)

Tamis		112 mm	80 mm	56 mm	40 mm	31.5 mm	28 mm	20 mm	14 mm	10 mm	5 mm	2.5 mm	1.25 mm	630 µm	315 µm	160 µm	80 µm
Résultats cumulatifs																	
Exigences	**min.**																
	max.																

Autres essais	Résultats	Exigences min.	Exigences max.
Masse volumique de sols cohérents (g/cm^3)	1.83		
Densité relative (NQ 2501-070)	2.722		
Teneur en eau (NQ 2501-170) (%)	31		
Résist. au cisaillement intact (NQ 2501-110) (KPa)	137.8		
Résist. au cisaillemnent remanié (NQ 2501-110) (KPa)	71.9		
Sensibilité (Cu/Cur)	1.9		
Limite de liquidité (NQ 2501-092)	54		
Limite de plasticité (NQ 2501-092)	25		
Indice de plasticité (NQ 2501-092)	29		

Essai Proctor (NQ 2501-255, méthode)	Résultats
Masse volumique sèche maximale	(kg/m^3)
Humidité optimale	(%)

Courbe granulométrique



0	0	0

Remarques:

Préparé par: Andrée Anne Hinse, B.Sc.géologie

Vérifié par: Mark Gamboz, B.Sc.géologie Date: 2018-06-27

GHD Consultants Ltée. 4600 boul. de la Côte-Vertu Montréal Qc H4S 1C7

Rapport d'analyse(s) - sols et des granulats

Client:	**Qualilab Inspection inc**	**Projet No:**	**G-18-384**
		Échantillon No:	FG-18-05 TS1
Projet:	HY18-010-02	**Date de prélèvement:**	
		Prélevé par:	Client
Type de matériau:	Argile ferme, moyennement sensible, moyenne plasticité (CL).	**Localisation du prélèvement:**	3.19 - 3.38 m
Provenance:			
Usage proposé:			

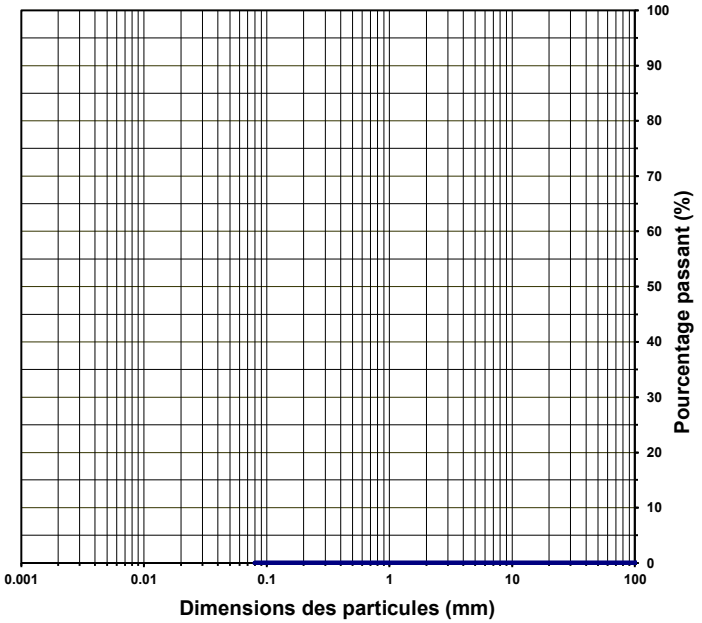
Granulométrie (% passant) (LC 21-040)

Tamis		112 mm	80 mm	56 mm	40 mm	31.5 mm	28 mm	20 mm	14 mm	10 mm	5 mm	2.5 mm	1.25 mm	630 µm	315 µm	160 µm	80 µm
Résultats cumulatifs																	
Exigences	**min.**																
	max.																

Autres essais	Résultats	Exigences min.	Exigences max.
Masse volumique de sols cohérents (g/cm^3)	1.78		
Densité relative (NQ 2501-070)	2.738		
Teneur en eau (NQ 2501-170) (%)	41		
Résist. au cisaillement intact (NQ 2501-110) (KPa)	30.9		
Résist. au cisaillemnent remanié (NQ 2501-110) (KPa)	1.2		
Sensibilité (Cu/Cur)	26.3		
Limite de liquidité (NQ 2501-092)	36		
Limite de plasticité (NQ 2501-092)	19		
Indice de plasticité (NQ 2501-092)	17		

Essai Proctor (NQ 2501-255, méthode)	Résultats
Masse volumique sèche maximale	(kg/m^3)
Humidité optimale	(%)

Courbe granulométrique



0	0	0

Remarques:

Préparé par: Andrée Anne Hinse, B.Sc.géologie

Vérifié par: Mark Gamboz, B.Sc.géologie Date: 2018-06-27

GHD Consultants Ltée. 4600 boul. de la Côte-Vertu Montréal Qc H4S 1C7

Essai de Consolidation
ASTM D-2435
Feuille 1 de 2

Client: Qualilab Inspection inc — No Labo: 2018-S163
Projet: HY18-010-02 — Projet No: G-18-384

Forage No: FG-18-03 — Échantillon No: TS-01 — Profondeur: 5.46-5.57 m
Description du matériau : Argile de grande plasticité (CH) très raide, peu sensible

Appareils de mesure utilisés:

Étuve No: B23-4453
Vernier No: 0 0 0 8160 — Balance No: 18409 — Oedomètre No: ID 65

Teneur en eau

	Témoin	Initiale	Finale	Lavage
W_T + T (g)	196.8	131.51	181.92	
W_S + T (g)	158.28		147.48	299.7
W_W (g)	38.52	35.63	34.44	
T (g)	51.95		52.17	299.2
W_S (g)	106.33	95.88	95.31	0.5
w (%)	0.362	0.372	0.361	

H_1: Hauteur de sol initiale (mm): 25.62
H_s: (Hauteur de sol sec x M_l x 1000)/(Dr x aire) (mm): 11.112
$H_1 - H_s$: Hauteur initiale des vides (mm): 14.508
e_o: Indice des vides initiale = $(H_1 - H_s)/H_s$: 1.3056
Sr: degré de saturation initial (W x Dr)/e (%): 77.47

(Note: 1000 est un facteur de conversion d'unités)

Diamètre: 63.53 (mm)

Hauteur (H_1) — Initiale
sol + papier + pierres (mm): 39.1
papier + pierres (mm): 13.48
sol (mm): 25.62

Masse humide (M) — Initiale
sol + anneau (g): 242.22
anneau (g): 110.71
sol (g): 131.51
papier (g): 0.07

Dr = 2.722 ☐ mesurée ☒ estimée

Masse sèche (M_l): 95.88 (g)

Taux de chargement (dP/P): ☐ 1 ☒ 0.5

Pression (kPa)	Lecture (mm)	Correction	Changement d'hauteur	Changement des vides (e)	e
0.001	0		-	-	1.3056
16.1	0.2195		0.22	0.0198	1.2859
24.2	0.2643		0.26	0.0238	1.2818
36.3	0.3688		0.37	0.0332	1.2724
54.4	0.5516		0.55	0.0496	1.2560
81.7	0.7668		0.77	0.0690	1.2366
123	1.108		1.11	0.0997	1.2059
184	1.646		1.65	0.1481	1.1575
276	2.252		2.25	0.2027	1.1029
414	2.879		2.88	0.2591	1.0465
620	3.543		3.54	0.3188	0.9868
930	4.179		4.18	0.3761	0.9295
1400	4.772		4.77	0.4294	0.8762
414	4.579		4.58	0.4121	0.8935
16.1	3.658		3.66	0.3292	0.9764

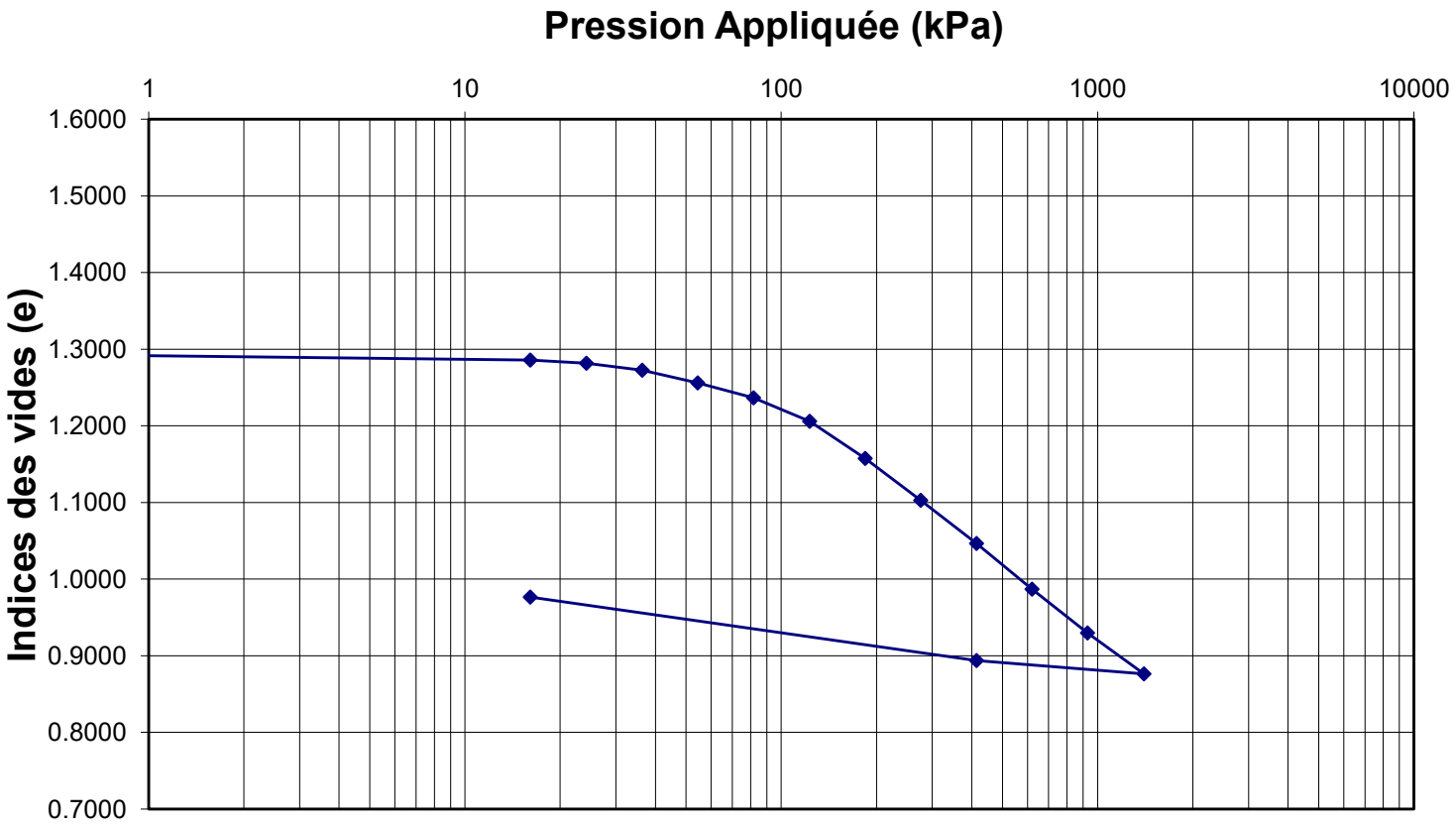
Remarques:

Effectué par: A. Azizi — Date: 6/29/2018
Vérifié par: A.A.Hinse — Date: 7/9/2018

Essai de Consolidation
ASTM D-2435
Feuille 2 de 2

Client: Qualilab Inspection inc — Lab No: 2018-S163
Projet: HY18-010-02 — Projet No: G-18-384

Forage No: FG-18-03 — Échantillon No: TS-01 — Profondeur: 5.46-5.57 m
Description du matériau: Argile de grande plasticité (CH) très raide, peu sensible



Paramètres de compressibilité

σ'_p Pression de préconsolidation (kPa):		e_o Indice des vides initial:	1.31
σ'_{vo} Contrainte effective verticale:		c_r :Indice de recompression:	
$\sigma'_p - \sigma'_{vo}$ Écart de surconsolidation:		c_c :Indice de compression:	
Rapport de surconsolidation ("OCR"):		c_s :Indice de gonflement	

Dimensions de l'échantillon: Diamètre (mm): 63.53
Hauteur (mm): 25.62

Teneur en eau (W) %
Initial: 37.2 Final: 36.1

Remarques:

Effectué par: A. Azizi — Date: 6/29/2018
Vérifié par: A.A.Hinse — Date: 7/9/2018

Essai de Consolidation
ASTM D-2435
Feuille 1 de 2

Client: Qualilab Inspection inc — No Labo: 2018-S163
Projet: HY18-010-02 — Projet No: G-18-384

Forage No: FG-18-05 — Échantillon No: TS-01 — Profondeur: 3.07-3.19 m
Description du matériau : Argile de moyenne de plasticité (CL) ferme, moyennement sensible

Appareils de mesure utilisés:

Étuve No: B23-4453
Vernier No: 0 0 0 8160 — Balance No: 18409 — Oedomètre No: ID 65

Teneur en eau

	Témoin	Initiale	Finale	Lavage
W_T + T (g)	277.99	137	172.62	
W_S + T (g)	209.37		141.38	299.34
W_W (g)	68.62	47.39	31.24	
T (g)	51.48		52.13	299.05
W_S (g)	157.89	89.61	89.25	0.29
w (%)	0.435	0.529	0.350	

H_1: Hauteur de sol initiale (mm): 25.55
H_s: (Hauteur de sol sec x M_l x 1000)/(Dr x aire) (mm): 10.325
$H_1 - H_s$: Hauteur initiale des vides (mm): 15.225
e_o: Indice des vides initiale = $(H_1 - H_s)/H_s$: 1.4747
Sr: degré de saturation initial (W x Dr)/e (%): 98.19

(Note: 1000 est un facteur de conversion d'unités)

Diamètre: 63.53 (mm)

Hauteur (H_1) — Initiale
sol + papier + pierres (mm): 39.02
papier + pierres (mm): 13.47
sol (mm): 25.55

Masse humide (M) — Initiale
sol + anneau (g): 247.71
anneau (g): 110.71
sol (g): 137
papier (g): 0.07

Dr = 2.738 ☐ mesurée ☒ estimée

Masse sèche (M_l): 89.61 (g)

Taux de chargement (dP/P): ☐ 1 ☒ 0.5

Pression (kPa)	Lecture (mm)	Correction	Changement d'hauteur	Changement des vides (e)	e
0.001	0		-	-	1.4747
16.1	0.1439		0.14	0.0139	1.4607
24.2	0.187		0.19	0.0181	1.4565
36.3	0.23		0.23	0.0223	1.4524
54.4	0.3399		0.34	0.0329	1.4417
81.7	0.3952		0.40	0.0383	1.4364
123	0.5428		0.54	0.0526	1.4221
184	0.9442		0.94	0.0915	1.3832
276	2.368		2.37	0.2294	1.2453
414	4.056		4.06	0.3928	1.0818
620	5.117		5.12	0.4956	0.9790
930	5.938		5.94	0.5751	0.8995
1400	6.719		6.72	0.6508	0.8239
414	6.733		6.73	0.6521	0.8225
16.1	5.96		5.96	0.5773	0.8974

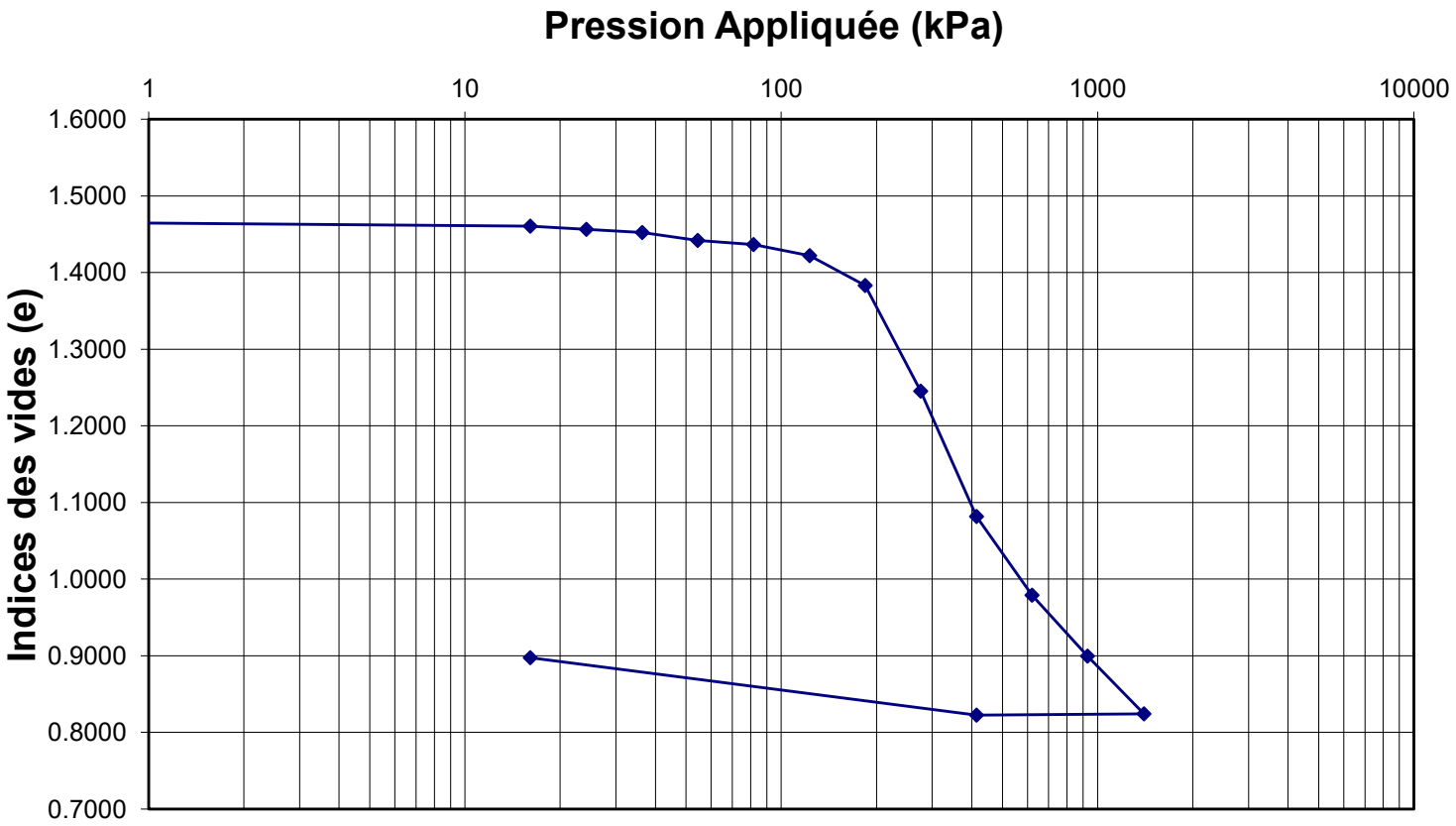
Remarques:

Effectué par: A. Azizi — Date: 7/3/2018
Vérifié par: A.A.Hinse — Date: 7/9/2018

Essai de Consolidation
ASTM D-2435
Feuille 2 de 2

Client: Qualilab Inspection inc — Lab No: 2018-S163
Projet: HY18-010-02 — Projet No: G-18-384

Forage No: FG-18-05 — Échantillon No: TS-01 — Profondeur: 3.07-3.19 m
Description du matériau: Argile de moyenne de plasticité (CL) ferme, moyennement sensible



Paramètres de compressibilité

σ'_p Pression de préconsolidation (kPa):		e_o Indice des vides initial:	1.4747
σ'_{vo} Contrainte effective verticale:		c_r :Indice de recompression:	
$\sigma'_p - \sigma'_{vo}$ Écart de surconsolidation:		c_c :Indice de compression:	
Rapport de surconsolidation ("OCR"):		c_s :Indice de gonflement	

Dimensions de l'échantillon: Diamètre (mm): 63.53
Hauteur (mm): 25.55

Teneur en eau (W) %
Initial: 52.9 Final: 35.0

Remarques:

Effectué par: A. Azizi — Date: 7/3/2018
Vérifié par: A.A.Hinse — Date: 7/9/2018

Rapport d'analyse(s) - sols et des granulats

Client:	**Qualilab Inspection inc**	**Projet No:**	**G-18-384**
		Échantillon No:	GH-18-03 TS1
Projet:	HY18-010-02	**Date de prélèvement:**	
		Prélevé par:	Client
Type de matériau:	Argile molle, moyennement sensible, moyenne plasticité (CL).	**Localisation du prélèvement:**	1.84 - 2.02 m
Provenance:			
Usage proposé:			

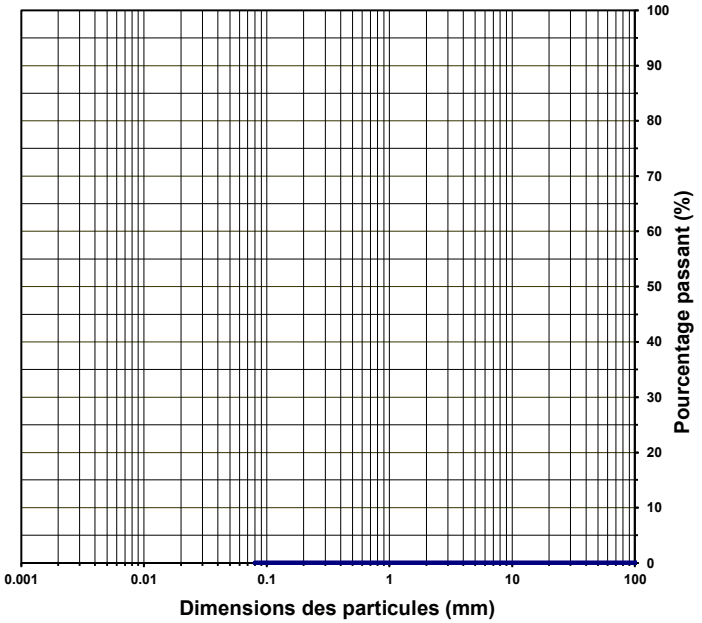
Granulométrie (% passant) (LC 21-040)

Tamis		112 mm	80 mm	56 mm	40 mm	31.5 mm	28 mm	20 mm	14 mm	10 mm	5 mm	2.5 mm	1.25 mm	630 µm	315 µm	160 µm	80 µm
Résultats cumulatifs																	
Exigences	**min.**																
	max.																

Autres essais	Résultats	Exigences min.	Exigences max.
Masse volumique de sols cohérents (g/cm^3)	1.67		
Densité relative (NQ 2501-070)	2.699		
Teneur en eau (NQ 2501-170) (%)	52		
Résist. au cisaillement intact (NQ 2501-110) (KPa)	13.9		
Résist. au cisaillemnent remanié (NQ 2501-110) (KPa)	0.7		
Sensibilité (Cu/Cur)	21.1		
Limite de liquidité (NQ 2501-092)	44		
Limite de plasticité (NQ 2501-092)	20		
Indice de plasticité (NQ 2501-092)	24		

Essai Proctor (NQ 2501-255, méthode)	Résultats
Masse volumique sèche maximale	(kg/m^3)
Humidité optimale	(%)

Courbe granulométrique



0	0	0

Remarques:

Préparé par: Andrée Anne Hinse, B.Sc.géologie

Vérifié par: Mark Gamboz, B.Sc.géologie Date: 2018-06-27

GHD Consultants Ltée. 4600 boul. de la Côte-Vertu Montréal Qc H4S 1C7

Essai de Consolidation
ASTM D-2435
Feuille 1 de 2

Client: Qualilab Inspection inc — No Labo: 2018-S163
Projet: HY18-010-02 — Projet No: G-18-384

Forage No: GH-18-03 — Échantillon No: TS-01 — Profondeur: 1.72-1.84 m
Description du matériau : Argile de moyenne de plasticité (CL) molle, moyennement sensible

Appareils de mesure utilisés:

Étuve No: B23-4453
Vernier No: 0 0 0 8160 — Balance No: 18409 — Oedomètre No: ID 65

Teneur en eau

	Témoin	Initiale	Finale	Lavage
W_T + T (g)	244.64	134.61	166.89	
W_S + T (g)	172.73		136.44	299.48
W_W (g)	71.91	49.3	30.45	
T (g)	52.98		51.48	299.22
W_S (g)	119.75	85.31	84.96	0.26
w (%)	0.601	0.578	0.358	

H_1: Hauteur de sol initiale (mm) — 25.55
H_s: (Hauteur de sol sec x M_l x 1000)/(Dr x aire) (mm) — 9.974
$H_1 - H_s$: Hauteur initiale des vides (mm) — 15.576
e_o: Indice des vides initiale = $(H_1 - H_s)/H_s$ — 1.5616
Sr: degré de saturation initial (W x Dr)/e (%) — 99.88

(Note: 1000 est un facteur de conversion d'unités)

Diamètre: 63.52 (mm)

Hauteur (H_1) — Initiale
sol + papier + pierres (mm): 38.99
papier + pierres (mm): 13.44
sol (mm): 25.55

Masse humide (M) — Initiale
sol + anneau (g): 245.33
anneau (g): 110.72
sol (g): 134.61
papier (g): 0.09

Dr = 2.699 ☐ mesurée ☒ estimée

Masse sèche (M_l) = 85.31 (g)

Taux de chargement (dP/P): ☐ 1 ☒ 0.5

Pression (kPa)	Lecture (mm)	Correction	Changement d'hauteur	Changement des vides (e)	e
0.001	0		-	-	1.5616
16.1	0.4338		0.43	0.0435	1.5181
24.2	0.5674		0.57	0.0569	1.5047
36.3	0.7184		0.72	0.0720	1.4895
54.4	0.9188		0.92	0.0921	1.4694
81.7	1.232		1.23	0.1235	1.4380
123	1.824		1.82	0.1829	1.3787
184	2.765		2.77	0.2772	1.2843
276	4.076		4.08	0.4086	1.1529
414	5.33		5.33	0.5344	1.0272
620	6.278		6.28	0.6294	0.9321
930	7.069		7.07	0.7087	0.8528
1400	7.754		7.75	0.7774	0.7842
414	7.61		7.61	0.7630	0.7986
16.1	6.607		6.61	0.6624	0.8992

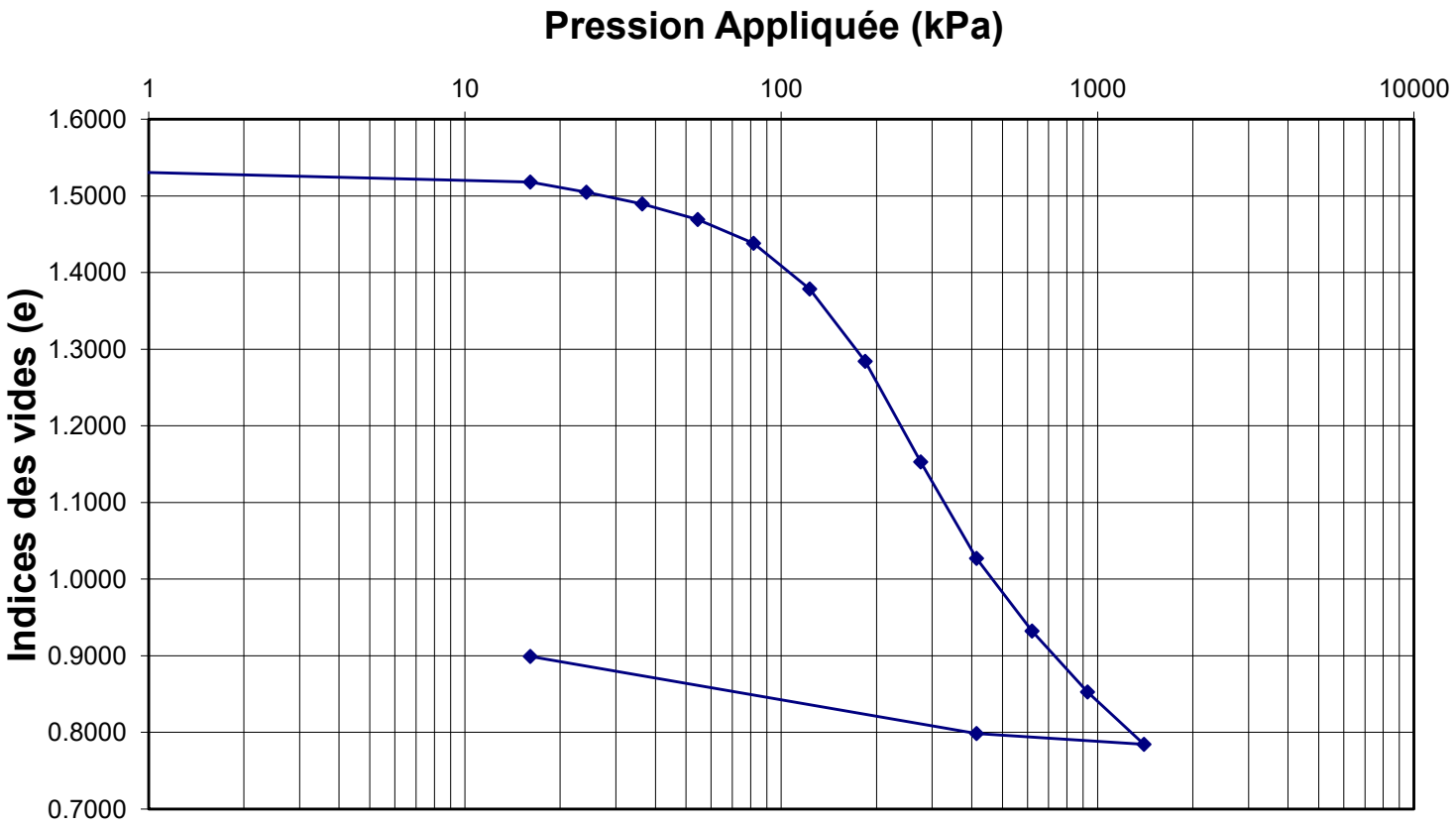
Remarques:

Effectué par: A. Azizi — Date: 6/26/2018
Vérifié par: A.A.Hinse — Date: 7/9/2018

Essai de Consolidation
ASTM D-2435
Feuille 2 de 2

Client: Qualilab Inspection inc — Lab No: 2018-S163
Projet: HY18-010-02 — Projet No: G-18-384

Forage No: GH-18-03 — Échantillon No: TS-01 — Profondeur: 1.72-1.84 m
Description du matériau: Argile de moyenne de plasticité (CL) molle, moyennement sensible



Paramètres de compressibilité

σ'_p Pression de préconsolidation (kPa):		e_o Indice des vides initial:	1.5616
σ'_{vo} Contrainte effective verticale:		c_r :Indice de recompression:	
$\sigma'_p - \sigma'_{vo}$ Écart de surconsolidation:		c_c :Indice de compression:	
Rapport de surconsolidation ("OCR"):		c_s :Indice de gonflement	

Dimensions de l'échantillon: Diamètre (mm): 63.52; Hauteur (mm): 25.55

Teneur en eau (W) %: Initial: 57.8 Final: 35.8

Remarques:

Effectué par: A. Azizi — Date: 6/26/2018
Vérifié par: A.A.Hinse — Date: 7/9/2018

D. MODÉLISATION NUMÉRIQUE DU TRANSPORT DE CONTAMINANTS DISSOUS RICHELIEU. À PARTIR DU PARC À RÉSIDUS MINIERS FINAL. PROJET BACHELOR À DESMARAISVILLE (RICHELIEU, 2020)

Richelieu, le 9 novembre 2020

GCM Consultants inc.
Par courriel

À l'attention de Mme Mélissa Tremblay, ing. Chargée de projets

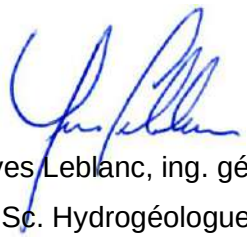
Objet : Modélisation numérique du transport de contaminants dissous
À partir du parc à résidus miniers final
Projet Bachelor à Desmaraisville

Madame,

C'est avec plaisir que je vous transmets un rapport sommaire sur la réalisation de simulations de transport souterrain de contaminants dissous à partir du parc à résidus miniers du projet Bachelor, situé à Desmaraisville (Québec).

Les pages qui suivent présentent les objectifs du mandat, la démarche réalisée, les résultats obtenus, ainsi que les conclusions et recommandations qui en découlent. Il est possible de conclure que le cyanure dissous, qui risque de se retrouver dans la pulpe des résidus miniers dans une concentration d'environ 500 mg/l, se dispersera à une vitesse d'environ 10 à 20 m/an au cours des dix premières années, puis ralentira jusqu'à se stabiliser complètement après environ cent ans.

Je vous prie d'agréer, madame Tremblay, l'expression de mes sentiments les meilleurs.



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

p.j. rapport sommaire

RICHELIEU HYDROGÉOLOGIE INC. WWW.RICHELIEU-HYDRO.COM
219, 15IÈME AVENUE, RICHELIEU (QUÉBEC) J3L 3V7
TÉL. : (450) 658-3233 COURRIEL : YVESL@SYMPATICO.CA

Mandat

Afin de pouvoir contenir les résidus qui seraient produits par l'usine de traitement de minerai de la mine *Bachelor* à Desmaraisville, détenue par l'entreprise *Ressources Bonterra inc.*, un parc à résidus miniers existant devra être agrandi. Une étude d'impact a été déposée en septembre 2019 et suite à l'analyse du COMEX, des renseignements additionnels ont été demandés, dont trois questions relatives à l'hydrogéologie. Dans ce contexte, *GCM Consultants inc* a mandaté *Richelieu Hydrogéologie* afin de faire la modélisation hydrogéologique du transport des contaminants dissous qui seraient émis à partir du parc à résidus.

Plus spécifiquement, le mandat vise à répondre aux questions suivantes :

- Réviser le modèle numérique élaboré dans le cadre de l'étude hydrogéologique de *Richelieu Hydrogéologie inc*. en remplaçant les résidus miniers qui avaient été simulés par une condition limite de type « rivière » par une condition limite de type charge constante, de façon à présenter le pire scénario pour libérer des contaminants ;
- Utiliser le modèle numérique afin de réaliser une simulation du transport de contaminants dissous selon un scénario pessimiste comportant l'absence de facteur de retardement et l'absence de réactions ;
- Documenter de façon détaillée le calibrage du modèle numérique en présentant un tableau et un graphique des charges hydrauliques observées versus simulées.

Méthodologie

Le préambule du COMEX dans ses questions relatives à l'hydrogéologie mentionne que « dans le modèle conceptuel, la présence de résidus miniers disposés à l'intérieur du parc à résidus sous forme de pulpe est considérée durant la période d'exploitation de la mine. Cette méthode de disposition entrainera une ségrégation particulaire qui modifiera spatialement la valeur de la conductivité hydraulique des résidus miniers… ». Il est par la suite demandé de considérer un scénario pessimiste ne tenant pas compte de la faible conductivité hydraulique des résidus miniers.

La démarche réalisée a donc consisté à modifier le modèle numérique d'écoulement, de façon à agrandir celui-ci jusqu'aux exutoires naturels de l'aquifère, recalibrer celui-ci en fonction des niveaux d'eau mesurés lors de la campagne de forages de 2019 réalisée par *BBA*, et enfin utiliser la concentration maximale en cyanures pour simuler celle-ci sous la forme de conditions limites

à concentration constante dans le module MT3D du logiciel Visual MODFLOW, puis utiliser le modèle afin de simuler le transport de contaminants dissous à partir du parc à résidus lorsque celui-ci aura été complété à 100% et donc, lorsque les charges hydrauliques seront maximales.

Le modèle vise à simuler le pire cas, donc les concentrations maximales observées au parc à résidus actuel, avec l'absence de réactions ou de facteur de retard lors du processus de transport de soluté. Les détails des activités réalisées sont les suivants :

- Mise à jour du modèle hydrogéologique élaboré en 2018, comprenant :
  - Agrandissement sur 500 m en directions ouest et nord ;
  - Ajout des puits d'observation installés en 2019 comme points de contrôle de calibrage;
  - Remplacement des conditions limites de type « rivière » représentant les résidus miniers par des conditions limites à charge constante;
- Élaboration du modèle de transport de contaminants MT3D (charges constantes et autres propriétés de transport de soluté);
- Réalisation de simulations prédictives et préparation de cartes thématiques (distribution et concentration du panache de contaminants après différentes périodes de temps);
- Préparation de graphiques de concentration en fonction du temps pour différents points d'observation ;
- Rédaction de cette note technique.

Modélisation

Dans un premier temps, le modèle numérique d'écoulement souterrain élaboré en 2018 afin de simuler le flux d'eau à partir du parc à résidus a été réactivé et agrandi. Il a, en effet, été requis d'agrandir le modèle afin que les exutoires naturels des eaux souterraines provenant du parc à résidus miniers puissent être représentés. Le domaine modélisé couvre maintenant une surface de 5,06 km², soit 2,2 x 2,3 km. L'origine du modèle modifié se situe aux coordonnées UTM 415 840 m E par 5 481 960 m N. Le modèle comporte 223 rangées et 220 colonnes de mailles carrées d'une arête latérale de 10 m.

Le modèle conceptuel a aussi été modifié en remplaçant les conditions limites de type « rivière » qui avaient été utilisées afin de représenter les charges au travers du parc à résidus miniers par des conditions limites de type « charge constante ». La différence entre ces deux types de conditions limites est que le flux d'eau transmis par la première est limité par la conductance

verticale assignée au « lit de la rivière » qui représente les résidus miniers, tandis que la seconde condition limite transmet un flux d'eau qui n'est fonction que de la différence de charge entre la charge imposée et la charge des mailles voisines. Le fait d'utiliser ce type de condition limite induit donc un important facteur de sécurité dans le calcul du flux d'eau qui s'écoule du parc à résidus miniers, puisque la perméabilité relativement faible de ceux-ci n'est pas considérée.

Par la suite, environ vingt points de contrôle additionnels ont été ajoutés au modèle afin de comparer les charges hydrauliques observées aux charges hydrauliques simulées. Ces points de contrôle sont les puits d'observations issus de l'étude géotechnique réalisée par BBA en 2019. La figure 1 présente une carte de localisation de ces forages et de ceux de 2018. Le calibrage du modèle a été effectué en ajustant la conductivité hydraulique et la recharge de l'aquifère, de façon à reproduire la piézométrie observée dans les forages aménagés par *Richelieu Hydrogéologie* en 2018 et les forages aménagés par *BBA* en 2019. Au total, 26 observations sont disponibles.

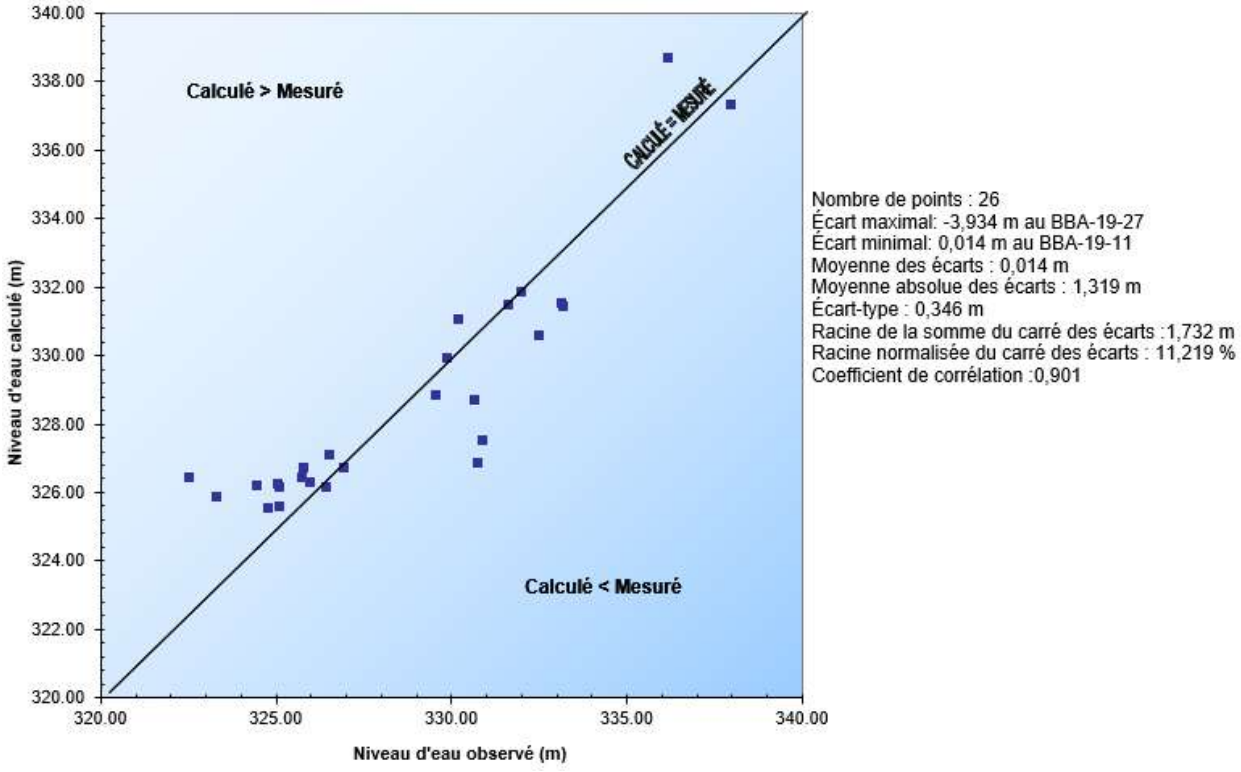
Le calibrage a été considéré satisfaisant lorsqu'il n'a plus été possible de diminuer les écarts entre les données mesurées et les données calculées sans recourir à des propriétés hydrauliques incohérentes, par des conditions limites non identifiables physiquement ou par interprétation. Il est normal d'observer des écarts entre les charges calculées par le modèle et les charges observées, car celles-ci sont obtenues sous des conditions qui ne sont pas les mêmes que celles qui sont modélisées. De plus, le modèle constitue une représentation simplifiée d'un système géologique complexe.

Le graphique 1 présente le diagramme de corrélation des niveaux d'eau mesurés par rapport aux niveaux d'eau observés pour l'ensemble des puits d'observation. On y observe que la répartition des écarts est bien distribuée de part et d'autre de la droite de corrélation parfaite, puisque la moyenne des écarts est de 0,014 m. La moyenne de la valeur absolue des écarts est, quant à elle de 1,319 m. La racine de la somme du carré des écarts, normalisée par la différence entre la charge la plus élevée et la charge la plus basse est de 11,219%. La cible habituellement visée est de moins de 10%, mais après plusieurs essais, il n'a pas été possible d'atteindre ce critère selon nos critères de choix de propriétés et de conditions limites. Un tableau comparatif des charges observées vs calculées est présenté en annexe.

Il est normal qu'un modèle ne puisse reproduire à la perfection les observations. D'une part, parce que le modèle géologique réel est beaucoup plus complexe que le modèle numérique et, d'autre part, parce que le niveau des eaux souterraines fluctue constamment et que les observations

sont étalées sur quelques semaines au travers de deux campagnes de mesures de niveau d'eau. Nous sommes d'avis que le modèle permet néanmoins de représenter les voies préférentielles d'écoulement et la propagation des contaminants dissous. Par ailleurs les simulations de transport de contaminants sont si conservatrices que même si le modèle ne permet pas de reproduire les charges à la perfection, les résultats obtenus seront tout de même sécuritaires.

Graphique 1: Corrélation entre les niveaux d'eau observés et calculés pour l'ensemble des puits



Afin de faire la simulation prédictive de transport des contaminants dissous, des conditions limites à concentration constantes ont été ajoutées au modèle, à l'endroit du parc à résidus miniers, de même que les propriétés de dispersion hydrodynamique. Des puits d'observation virtuels positionnés à des distances variant de 100 à 500 mètres des digues ont été simulés afin de pouvoir créer des graphiques de concentration en fonction du temps aux exutoires présumés des eaux souterraines.

Le contaminant choisi pour faire la simulation a été le cyanure, selon une moyenne des concentrations observées dans la pulpe en 2017 (442 mg/L, 504 mg/L, 457 mg/L, 352 mg/L) (*Communication personnelle de Steve Gaudreault à Mélissa Tremblay, 3 septembre 2020*). Une concentration de 500 mg/l a donc été assignée aux conditions limites à concentration

constante, lesquelles ont été superposées aux conditions limites à charge constante dont l'objectif est de représenter les charges hydrauliques dans le parc à résidus lorsque celui-ci aura atteint sa superficie et sa charge maximale. La constante de dispersivité longitudinale a, quant à elle, été assignée à 1,5 m, selon une valeur théorique de la littérature[1].

Afin de générer des résultats conservateurs comme le MELCC l'exige pour des cas similaires, aucun facteur de retard, ni réaction de dégradation n'a été considéré dans la réalisation des simulations de transport de soluté. Il s'agit donc d'une solution très conservatrice, puisqu'en terme d'écoulement, la conductivité hydraulique des résidus miniers n'est pas considérée et en termes de transport, aucun retard dû à l'adsorption des métaux dans l'aquifère n'est considéré, ni aucune réaction de dégradation.

Le code utilisé pour faire la simulation du transport des contaminants dissous est MT3DMS, couplé au code d'écoulement MODFLOW 2000, tous deux compris dans la suite Visual MODFLOW de *Waterloo Hydrogeologic* et fonctionnant par différences finies. La résolution du transport advectif a été obtenue avec le solutionneur GCG par méthode implicite, ce qui permet de sauver du temps de calcul sans contrainte de stabilité sur le pas de temps.

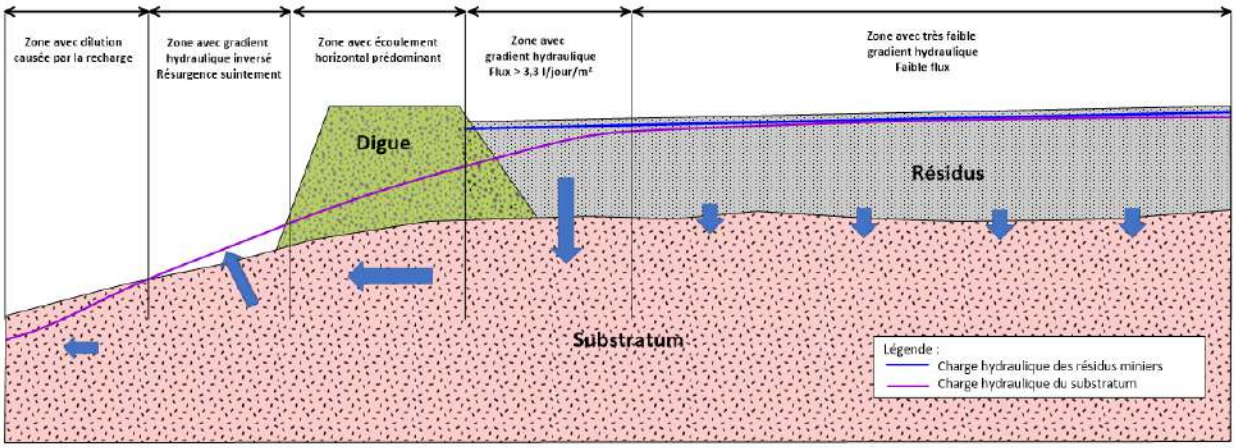
La simulation de transport de soluté a été faite en régime transitoire sur une période de 200 ans. Une fois celle-ci terminée, les résultats ont été exportés sous forme de grilles de distribution spatiale des concentrations. Les résultats ont également été exportés sous forme de tableaux de concentration en fonction du temps pour des points de mesure simulés (OBS-1 à OBS-6 sur les figures).

Résultats

La figure 2 située à la suite de ce document présente les résultats de la simulation du flux d'eau sous le parc à résidus miniers sans aucune mesure d'étanchéité. Il est possible d'y observer que celui-ci serait inférieur à 3,3 l/m²/jour sur la majorité de la superficie du site, à l'exception d'endroits situés relativement près des digues. Cela est principalement dû au fait que c'est près des digues que le gradient vertical qui s'établirait entre le parc à résidus et les horizons sous-jacents serait le plus grand. Puisque le flux dépend directement du gradient hydraulique, il est logique qu'il soit plus grand aux endroits où le gradient sera le plus grand. Ceci est expliqué de façon schématique sur l'illustration 1.

[1] Papadopulos, S.S., and S.P. Larson, Aquifer storage of heated water; II, Numerical simulation of field results, Ground Water, 16(4), 242-248, 1978.

Illustration 1 : Flux d'eau aux limites du parc à résidus

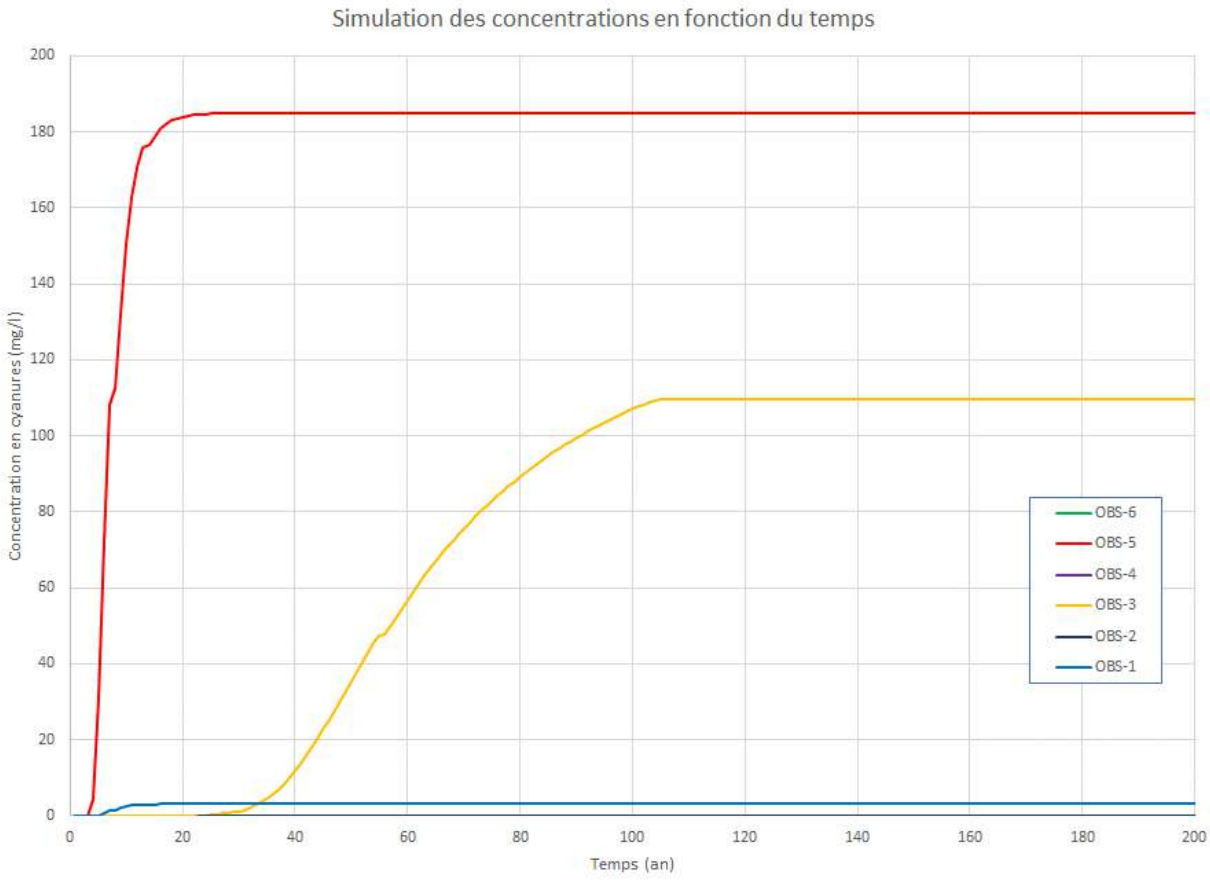


Les figures 3 à 7 situées à la suite de ce document présentent respectivement les concentrations de cyanures après un an, dix ans, vingt-cinq ans, cinquante ans, cent ans et deux-cents ans. Il est possible d'y faire les observations suivantes :

- Après un an de transport (figure 3) les premiers endroits où apparaissent des concentrations en cyanure correspondent aux endroits où le flux est le plus grand ;
- Après dix ans (figure 4) les concentrations sont toujours en augmentation en dessous du parc à résidus. En périphérie, le panache de contaminants se dissiperait selon trois exutoires différents, soit en direction nord, en direction ouest et en direction sud. Il parcourrait environ 10 m par an au cours des dix premières années dans les exutoires ouest et sud et environ 20 m par an en direction nord ;
- Après vingt-cinq ans (figure 5), les concentrations en dessous du parc à résidus continueraient d'augmenter. En périphérie, le panache de contaminants augmenterait faiblement en directions ouest et sud, tandis que du côté nord, le panache progresserait d'environ 10 m par an ;
- Après cent ans (figure 6), la concentration en cyanures aurait atteint le maximum sous l'ensemble de la superficie du parc, tandis qu'en périphérie, le panache continuerait de progresser en direction nord ;
- Après deux-cents ans (figure 7), le panache de contaminants serait relativement stable. La stabilisation du panache de contaminants dissous est due probablement à la dilution par l'infiltration des précipitations et la résurgence par suintements en surface au pied des digues, tel que montré sur l'illustration 1.

Le graphique ci-dessous présente les courbes de concentration en fonction du temps pour les puits d'observation virtuels dont la localisation est montrée sur les figures 2 à 6. Il est possible d'y observer que les concentrations augmenteraient graduellement pour se stabiliser entre 20 et 100 ans. Seuls les trois puits les plus rapprochés des digues ont enregistré des augmentations des concentrations. Les autres puits sont trop éloignés.

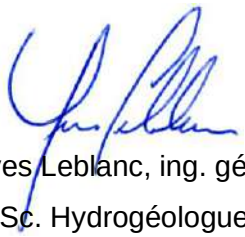
Graphique 2 : Concentrations en fonction du temps



Conclusions et recommandations

Les simulations effectuées selon des hypothèses conservatrices démontrent que dans la pire des situations, le cyanure dissous pourrait migrer dans les eaux souterraines vers l'aval du parc à résidus miniers à partir de trois exutoires situés au sud, à l'ouest et au nord. Le panache de contaminants progresserait toutefois relativement lentement et se stabiliserait après environ cent ans. Par contre, l'ajout d'une mesure de confinement imperméable aux endroits du parc à résidus miniers où le critère de flux excède 3,3 l/m²/jour permettrait de minimiser la migration des contaminants comme le cyanure.

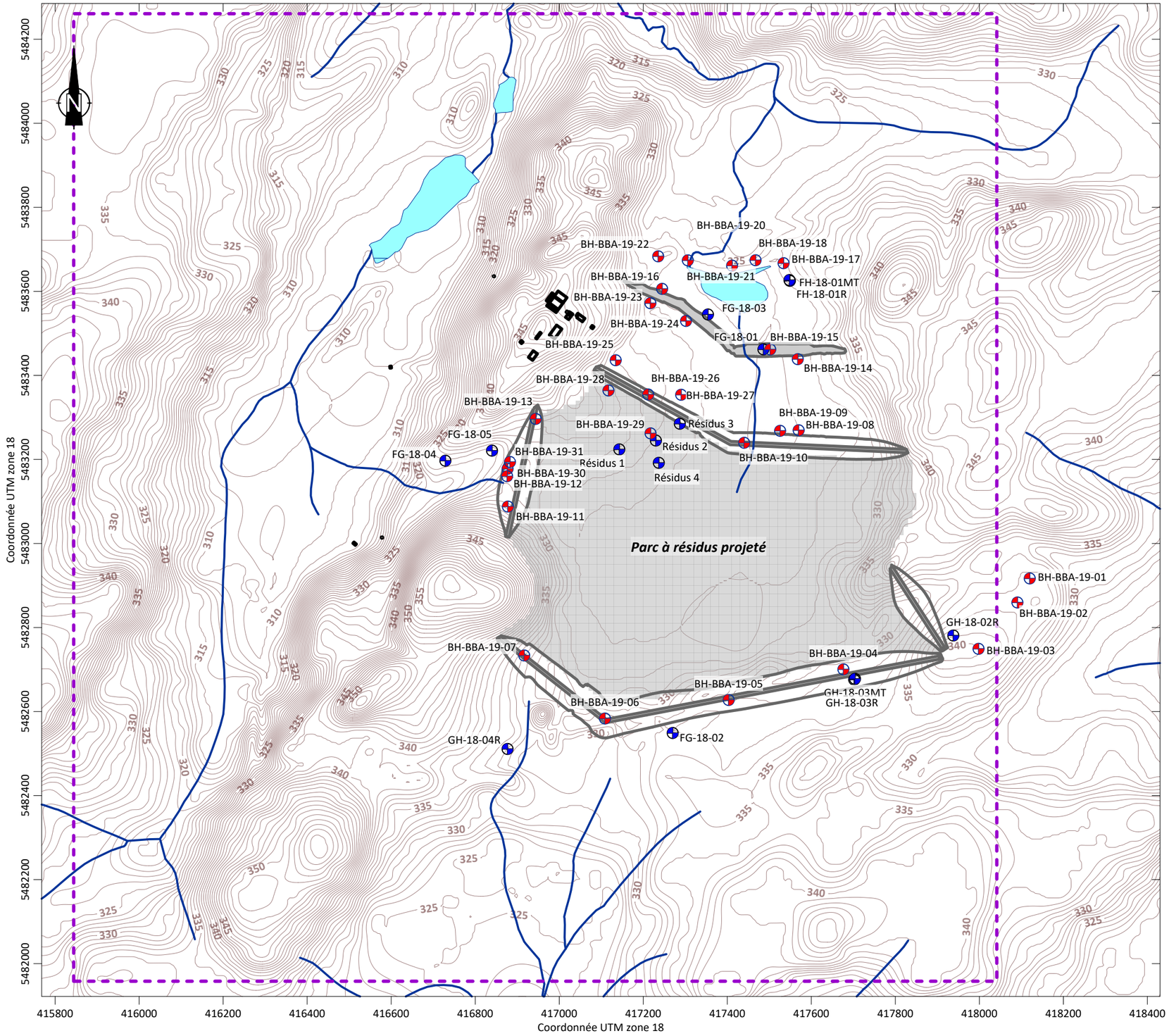
Il est donc recommandé d'ajouter des puits d'observation en aval des digues de retenue et d'y effectuer un suivi de la qualité des eaux souterraines et de la piézométrie, selon les modalités décrites dans la directive 019.



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

Tableau 1 : Concentrations observées versus calculées

Nom	UTM X (m)	UTM Y (m)	Piézométrie observée (m)	Piézométrie calculée (m)	Écart (m)
BH-BBA-19-03	417998,1	5482749,0	336,20	338,70	2,50
BH-BBA-19-06	417108,8	5482583,0	332,50	330,56	-1,94
BH-BBA-19-07	416916,6	5482734,0	332,00	331,85	-0,15
BH-BBA-19-08	417569,9	5483270,0	325,09	326,15	1,06
BH-BBA-19-09	417525,7	5483268,0	324,45	326,18	1,73
BH-BBA-19-10	417440,2	5483240,0	326,00	326,28	0,28
BH-BBA-19-11	416877,7	5483088,0	329,91	329,92	0,01
BH-BBA-19-12	416877,0	5483178,0	325,78	326,72	0,94
BH-BBA-19-13	416943,9	5483297,0	330,23	331,05	0,82
BH-BBA-19-14	417567,8	5483439,0	325,08	326,24	1,16
BH-BBA-19-15	417502,2	5483462,0	326,44	326,12	-0,32
BH-BBA-19-16	417244,8	5483606,0	326,94	326,72	-0,22
BH-BBA-19-18	417467,3	5483674,0	323,33	325,83	2,50
BH-BBA-19-20	417411,5	5483661,0	324,79	325,55	0,76
BH-BBA-19-21	417306,1	5483674,0	325,13	325,58	0,45
BH-BBA-19-25	417134,4	5483436,0	330,66	328,68	-1,98
BH-BBA-19-27	417290,2	5483354,0	330,76	326,83	-3,93
BH-BBA-19-28	417117,2	5483364,0	329,59	328,82	-0,77
BH-BBA-19-29	417217,4	5483262,0	330,89	327,52	-3,37
BH-BBA-19-30	416875,9	5483160,0	326,52	327,07	0,55
FH-18-01MT	417549,0	5483625,0	325,75	326,43	0,68
FH-18-01R	417548,0	5483627,0	322,54	326,44	3,90
GH-18-02R	417938,0	5482781,0	337,98	337,30	-0,68
GH-18-03MT	417702,0	5482676,0	333,17	331,51	-1,66
GH-18-03R	417704,0	5482678,0	333,20	331,42	-1,78
GH-18-04R	416877,0	5482511,0	331,64	331,46	-0,18

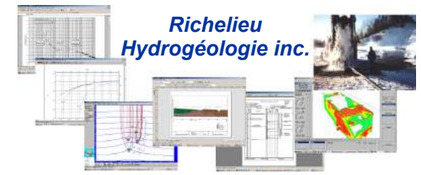


Légende

- Digues projetées
- Contours topographiques
- Bâtiments
- Nouvelles limites du modèle
- Forages, série 2018 par Richelieu Hydrogéologie
- Forages, série 2019 par BBA

0 200 400 600 800 1000

Courbes de niveau et infrastructures fournies par Ressources Bonterra Inc



Titre

FIGURE 1: LOCALISATION DES PUITS D'OBSERVATION

Projet

RESSOURCES BONTERRA INC.
PROJET BACHELOR, DESMARAISVILLE (QUEBEC)
MODÉLISATION NUMÉRIQUE DU TRANSPORT
DE CONTAMINANTS DISSOUS

Interprétation et dessin

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

Date

Octobre 2020

Échelle

1 : 10 000

Légende

Digues projetées

Contours topographiques

Contours piézométriques

Bâtiments

Voies potentielles de migration des contaminants dissous

Flux en l/m² par jour

0 0.3 0.6 0.9 1.2 1.5 1.8 2.1 2.4 2.7 3 3.3

0 100 200 300 400 500

Courbes de niveau et infrastructures fournies par Métanor Ressources Inc

Richelieu Hydrogéologie inc.

Titre

FIGURE 2 : FLUX MODÉLISÉ SOUS LE PARC À RÉSIDUS

Projet

RESSOURCES BONTERRA INC.
PROJET BACHELOR, DESMARAISVILLE (QUEBEC)
MODÉLISATION NUMÉRIQUE DU TRANSPORT DE CONTAMINANTS DISSOUS

Interprétation et dessin

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

Date

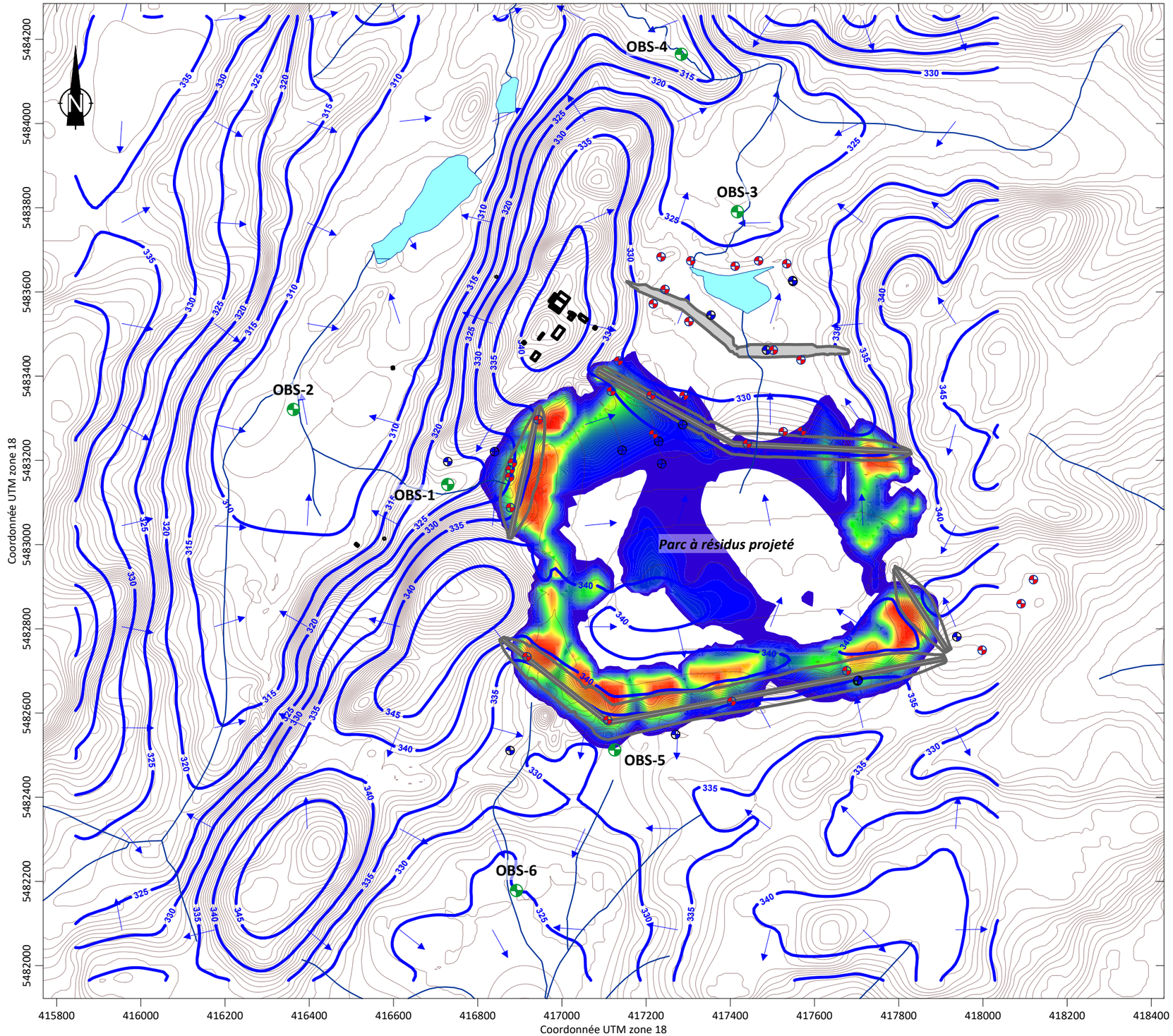
Octobre 2020

Échelle

1 : 5 000

Coordonnée UTM zone 18

Coordonnée UTM zone 18



Légende

- Digues projetées
- Contours topographiques
- Courbes isopièzes
- Bâtiments
- Points de mesure du modèle pour le suivi de la qualité de l'eau

Concentrations (mg/l)

0 50 100 150 200 250 300 350 400 450 500

0 200 400 600 800 1000

Courbes de niveau et infrastructures fournies par Ressources Bonterra Inc

Richelieu Hydrogéologie inc.

Titre

FIGURE 3 : CONCENTRATIONS SIMULÉES AU ROC APRÈS UN AN DE TRANSPORT

Projet

RESSOURCES BONTERRA INC.
PROJET BACHELOR, DESMARAISVILLE (QUEBEC)
MODÉLISATION NUMÉRIQUE DU TRANSPORT DE CONTAMINANTS DISSOUS

Interprétation et dessin

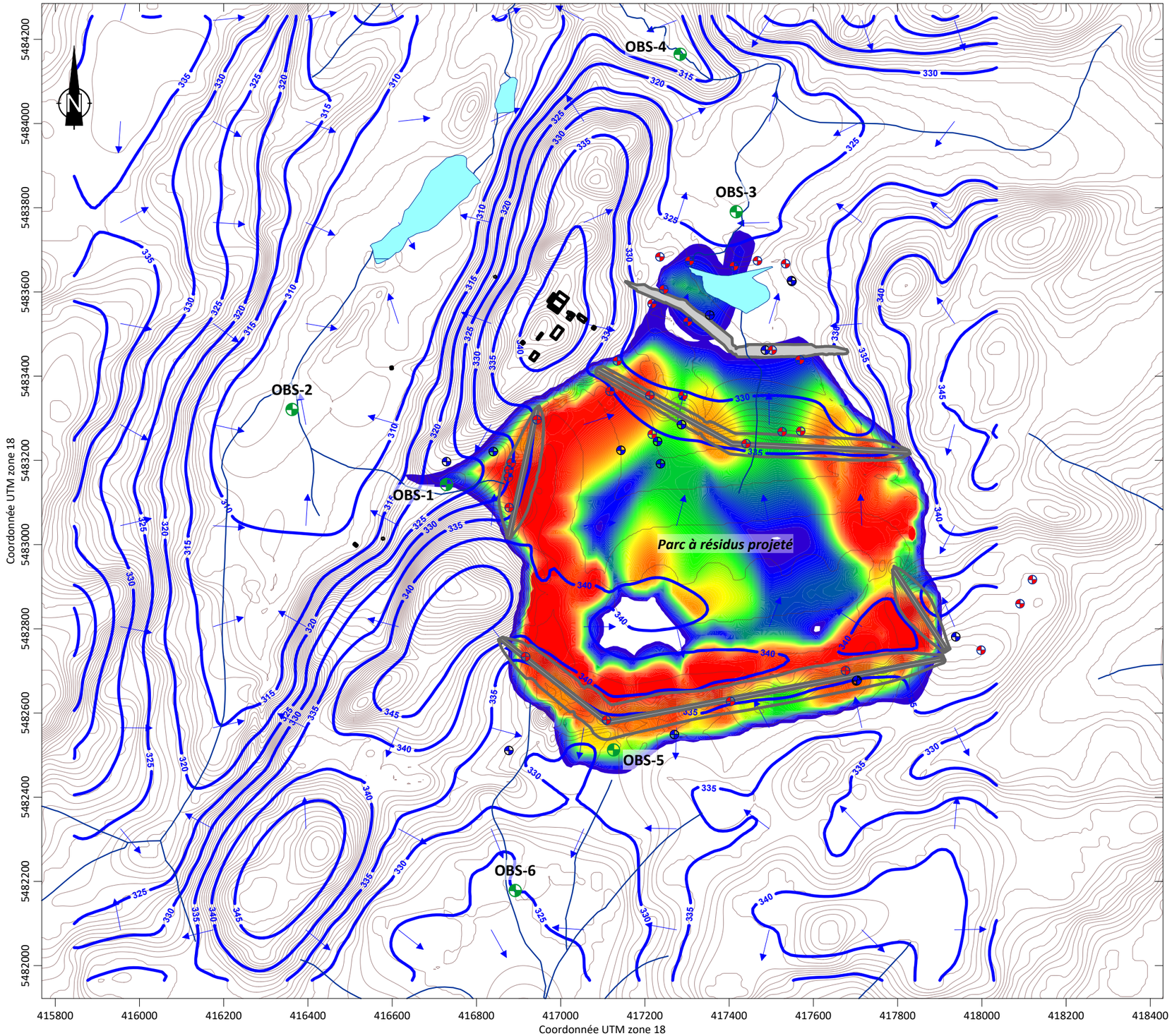
Yves Leblanc, ing. géo.
M.Sc. Hydrogéologue

Date

Octobre 2020

Échelle

1 : 10 000



Légende

- Digues projetées
- Contours topographiques
- Courbes isopièzes
- Bâtiments
- Points de mesure du modèle pour le suivi de la qualité de l'eau

Concentrations (mg/l)

0 50 100 150 200 250 300 350 400 450 500

0 200 400 600 800 1000

Courbes de niveau et infrastructures fournies par Ressources Bonterra Inc

Richelieu Hydrogéologie inc.

Titre

FIGURE 4 : CONCENTRATIONS SIMULÉES AU ROC APRÈS DIX ANS DE TRANSPORT

Projet

RESSOURCES BONTERRA INC.
PROJET BACHELOR, DESMARAISVILLE (QUEBEC)
MODÉLISATION NUMÉRIQUE DU TRANSPORT DE CONTAMINANTS DISSOUS

Interprétation et dessin

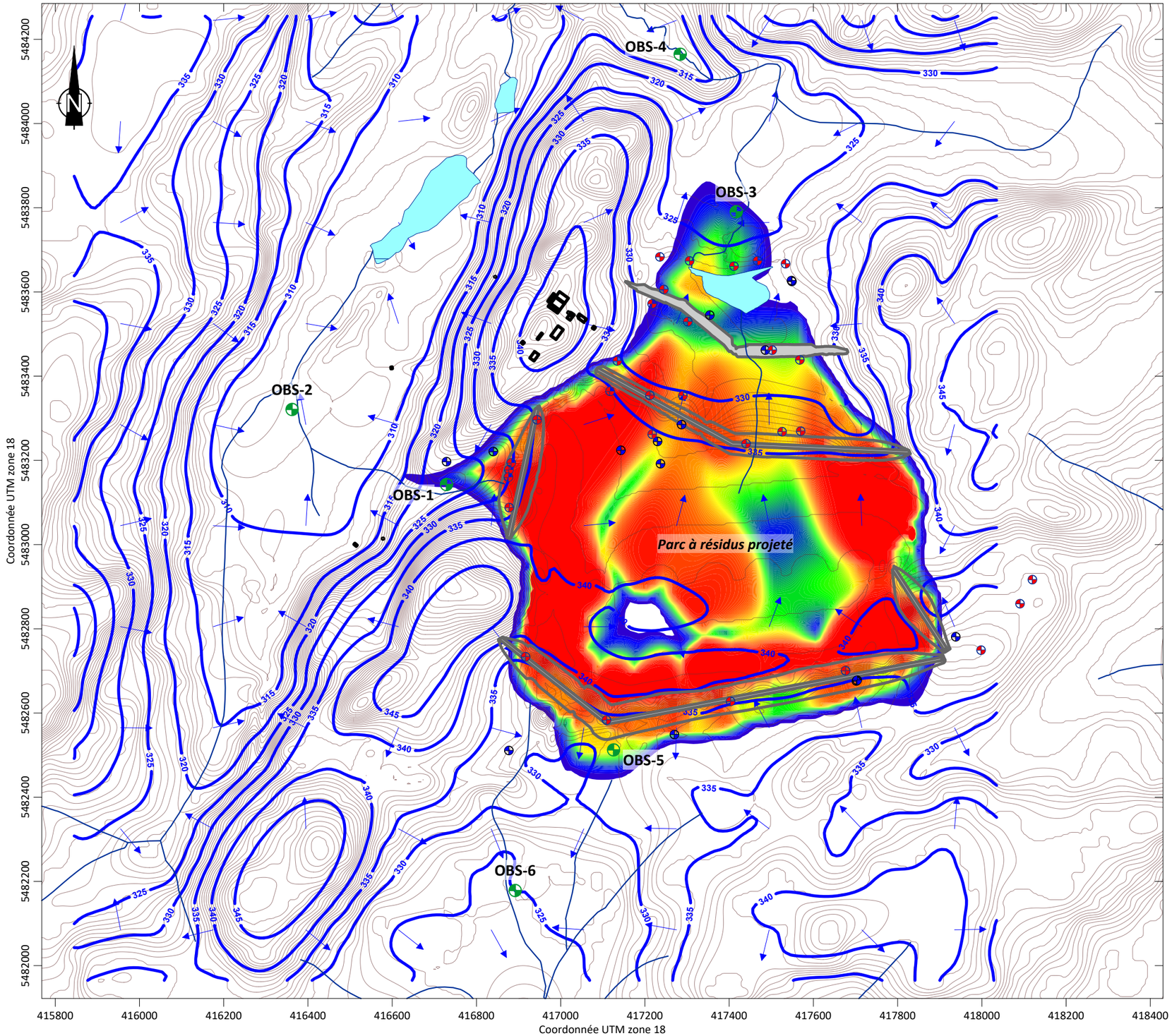
Yves Leblanc, ing. géo.
M.Sc. Hydrogéologue

Date

Octobre 2020

Échelle

1 : 10 000



Légende

- Digues projetées
- Contours topographiques
- Courbes isopièzes
- Bâtiments
- Points de mesure du modèle pour le suivi de la qualité de l'eau

Concentration (mg/l)

0 50 100 150 200 250 300 350 400 450 500

0 200 400 600 800 1000

Courbes de niveau et infrastructures fournies par Ressources Bonterra Inc

Richelieu Hydrogéologie inc.

Titre

FIGURE 5 : CONCENTRATIONS SIMULÉES AU ROC APRÈS VINGT-CINQ ANS DE TRANSPORT

Projet

RESSOURCES BONTERRA INC.
PROJET BACHELOR, DESMARAISVILLE (QUEBEC)
MODÉLISATION NUMÉRIQUE DU TRANSPORT DE CONTAMINANTS DISSOUS

Interprétation et dessin

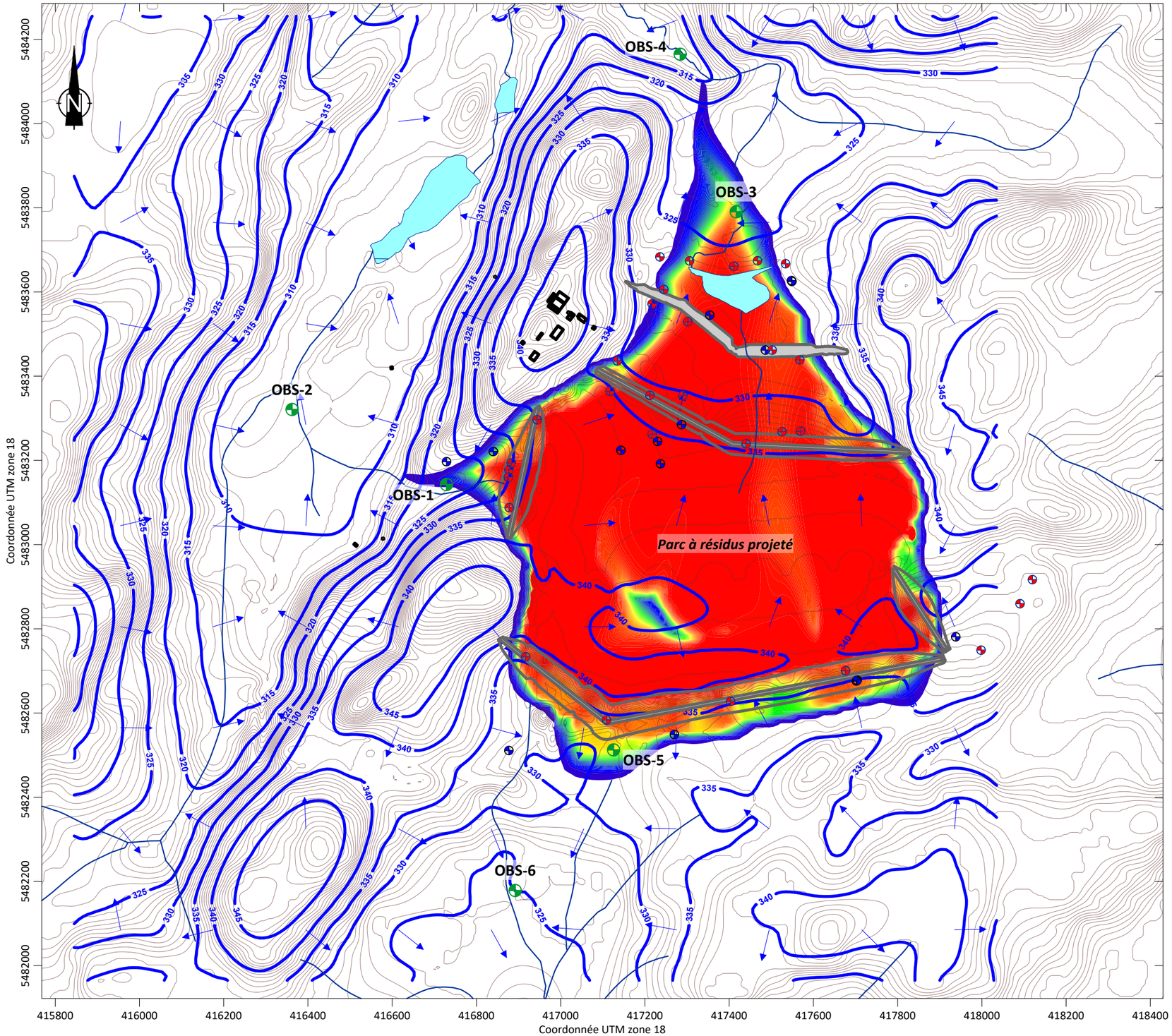
Yves Leblanc, ing. géo.
M.Sc. Hydrogéologue

Date

Octobre 2020

Échelle

1 : 10 000



Légende

- Digues projetées
- Contours topographiques
- Courbes isopièzes
- Bâtiments
- Points de mesure du modèle pour le suivi de la qualité de l'eau

Concentrations (mg/l)

0 50 100 150 200 250 300 350 400 450 500

0 200 400 600 800 1000

Courbes de niveau et infrastructures fournies par Ressources Bonterra Inc

Richelieu Hydrogéologie inc.

Titre

FIGURE 6 : CONCENTRATIONS SIMULÉES AU ROC APRÈS CENT ANS DE TRANSPORT

Projet

RESSOURCES BONTERRA INC.
PROJET BACHELOR, DESMARAISVILLE (QUEBEC)
MODÉLISATION NUMÉRIQUE DU TRANSPORT DE CONTAMINANTS DISSOUS

Interprétation et dessin

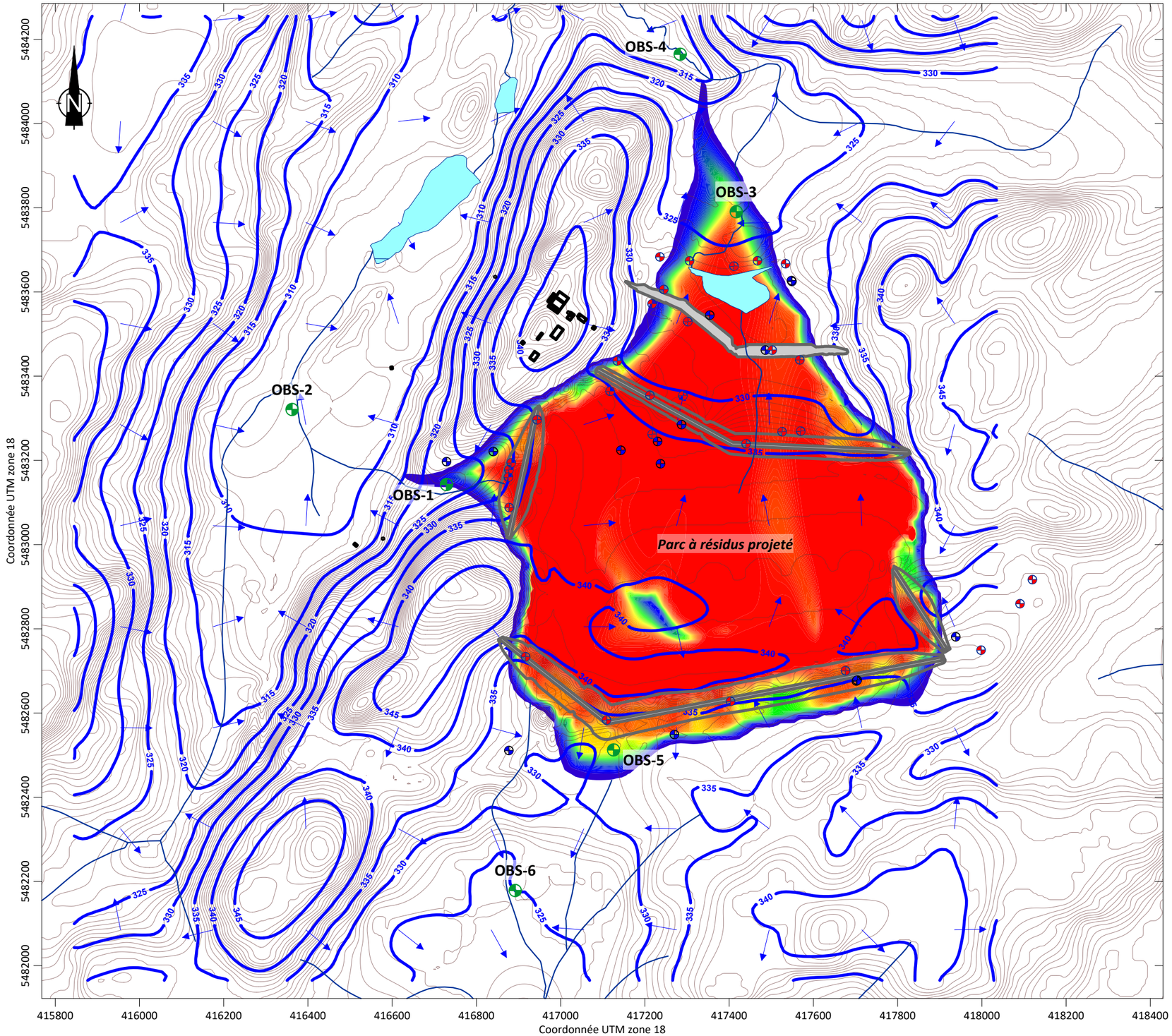
Yves Leblanc, ing. géo.
M.Sc. Hydrogéologue

Date

Octobre 2020

Échelle

1 : 10 000



Légende

- Digues projetées
- Contours topographiques
- Courbes isopièzes
- Bâtiments
- Points de mesure du modèle pour le suivi de la qualité de l'eau

Concentrations (mg/l)

0 50 100 150 200 250 300 350 400 450 500

0 200 400 600 800 1000

Courbes de niveau et infrastructures fournies par Ressources Bonterra Inc

Richelieu Hydrogéologie inc.

Titre

FIGURE 7 : CONCENTRATIONS SIMULÉES AU ROC APRÈS DEUX CENTS ANS DE TRANSPORT

Projet

RESSOURCES BONTERRA INC.
PROJET BACHELOR, DESMARAISVILLE (QUEBEC)
MODÉLISATION NUMÉRIQUE DU TRANSPORT DE CONTAMINANTS DISSOUS

Interprétation et dessin

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

Date

Octobre 2020

Échelle

1 : 10 000

E. AUGMENTATION DE LA CAPACITÉ D'EMMAGASINEMENT DE L'AIRE D'ACCUMULATION. EMPILEMENT DE RÉSIDUS MINIERS. RAPPORT PRODUIT POUR RESSOURCES MÉTANOR INC. MINE DU LAC BACHELOR. 27 PAGES ET ANNEXES. (WSP, 2017)

PROJET NO : 161-07621-00

AUGMENTATION DE LA CAPACITÉ D'EMMAGASINEMENT DE L'AIRE D'ACCUMULATION

CONSTRUCTION D'UN EMPILEMENT DE RESIDUS MINIERS

JUIN 2017

AUGMENTATION DE LA CAPACITE D'EMMAGASINEMENT DE L'AIRE D'ACCUMULATION

CONSTRUCTION D'UN EMPILEMENT DE RÉSIDUS MINIERS

RESSOURCES MÉTANOR INC. –
MINE DU LAC BACHELOR

VERSION FINALE

PROJET N^{O} : 161-07621-00
DATE : JUIN 2017

WSP CANADA INC.
5355, BOULEVARD DES GRADINS
QUEBEC (QUEBEC) G2J 1C8
CANADA

TÉLÉPHONE : +1 418 623-2254
TÉLÉCOPIEUR : +1 418 624-1857
WSP.COM

GESTION DE LA QUALITÉ

VERSION	RÉD	RÉV.	APP	DATE	COMMENTAIRES
PA	**JFSTL**			**25-05-2017**	Révision interne
PB	**JFSTL**	**MS**		**02-06-2017**	Révision par le client
00	**JFSTL**	**MS**	**JFSTL**	**23-06-2017**	Émission finale

SIGNATURES

RÉVISÉ PAR

Myléne Sansoucy, ing., M.Sc.
Chargé de projets
No. OIQ : 143 904

PRÉPARÉ ET APPROUVÉ PAR

Jean-François St-Laurent, ing., M.Sc.
Chargé de projets
No. OIQ : 140 657

ÉQUIPE DE RÉALISATION

RESSOURCES MÉTANOR INC.

Coordonnatrice en environnement	Julie Raiche.

WSP CANADA INC. (WSP)

Ingénieur Concepteur	Jean-François St-Laurent, ing., M.Sc.
Réviseur	Mylène Sansoucy, ing., M.Sc.
Approbateur	Simon Latulippe, ing.
Collaborateurs	Valérie Fortin, ing. Stéphane Coté, ing. M.Sc. Ben Plumridge, P.Eng. (Ont.) Harvey Walsh, P.Eng. (Ont.)
Traitement de texte et édition	Linette Poulin

Référence à citer :

WSP. 2017. *Augmentation de la capacité d'emmagasinement de l'aire d'accumulation. Empilement de résidus miniers.* Rapport produit pour Ressources Métanor Inc. – Mine du Lac Bachelor. 27 pages et annexes.

TABLE DES MATIÈRES

1 INTRODUCTION 1

1.1 MISE EN CONTEXTE ET GÉNÉRALITÉ 1

1.2 DESCRIPTION DU MANDAT 1

2 CRITÈRES ET BASE DE CONCEPTION 3

2.1 TOPOGRAPHIE 3

2.2 NIVEAUX PIÉZOMÉTRIQUES UTILISÉS 3

2.3 PROPRIÉTÉS GÉOTECHNIQUES DES MATÉRIAUX 3

2.4 CLASSIFICATION DES DIGUES 5

2.5 ÉVÈNEMENT SISMIQUE DE CONCEPTION 7

2.6 COEFFICIENT DE SÉCURITÉ DE CONCEPTION 9

2.7 ÉVALUATION DU POTENTIEL DE LIQUÉFACTION DES RÉSIDUS MINIERS 9

3 INGÉNIERIE DE L'EMPILEMENT DE RÉSISUS ASSÊCHÉS 11

3.1 CONCEPTION DE L'EMPILEMENT 11

3.2 PROCÉDURE DE CONSTRUCTION RECOMMANDÉE 19

3.3 INSTRUMENTATIONS, SUIVIS ET SURVEILLANCE 20

3.4 PÉRIODE DE CONSTRUCTION ET ÉCHÉANCIER 20

3.5 PROGRAME D'ASSURANCE ET DE CONTRÔLE DE LA QUALITÉ (QA/QC) 20

4 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS 23

5 PERSONNEL 25

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES 27

TABLE DES MATIÈRES

TABLEAUX

TABLEAU 2-1 LISTE DE RÈGLEMENTS ET STANDARDS CONSULTÉES LORS DE L'INGÉNIERIE DÉTAILLÉE DE L'EMPILEMENT. 3

TABLEAU 2-2 DOCUMENTATION CONSULTÉE AFIN D'ÉTABLIR LES PROPRIÉTÉS DES MATÉRIAUX 4

TABLEAU 2-3 PROPRIÉTÉS GÉOTECHNIQUES DES SOLS UTILISÉS 4

TABLEAU 2-4 CLASSIFICATION DES DIGUES EN TERMES DE CONSÉQUENCE (ACB, 2007) 5

TABLEAU 2-5 ÉVALUATION DES CRITÈRES POUR L'ÉVALUATION DES NIVEAUX DE CONSÉQUENCES ENVIRONNEMENTALES (ACSB, 1997) 6

TABLEAU 2-6 NIVEAUX DE CONSÉQUENCES ENVIRONNEMENTALES (ACSB, 1997) 6

TABLEAU 2-7 CORRESPONDANCE APPROXIMATIVE ENTRE LES CATÉGORIES DES CONSÉQUENCES ENVIRONNEMENTALES PRÉSENTÉES DANS LES DOCUMENTS DE ACB 1997 ET 2007 6

TABLEAU 2-8 CLASSIFICATION DE LA DIGUE MÉDIANE SELON LES CONSÉQUENCES ENVIRONNEMENTALES D'UNE RUPTURE 7

TABLEAU 2-9 CLASSIFICATION DES DIGUES EN TERMES DE CONSÉQUENCE (ACB, 2007) 8

TABLEAU 2-10 ACCÉLÉRATION SISMIQUE POUR LE SITE DE LA MINE BACHELOR – COORD. 49,4983 ° NORD ET 76,1408° OUEST) (VALEUR MOYENNE DU CNBC, 2015) 8

TABLEAU 2-11 COEFFICIENTS DE SÉCURITÉ MINIMAUX UTILISÉS 9

TABLEAU 3-1 COEFFICIENTS DE SÉCURITÉS OBTENUS AVEC L'HORIZON D'ARGILE DE FAIBLE RÉSISTANCE VIS-À-VIS LA DIGUE MÉDIANE 13

TABLEAU 3-2 COEFFICIENTS DE SÉCURITÉ OBTENUS SANS L'HORIZON D'ARGILE DE FAIBLE RÉSISTANCE VIS-À-VIS LA DIGUE MÉDIANE 15

TABLEAU 3-3 COEFFICIENTS DE SÉCURITÉ OBTENUS VIS-À-VIS LA DIGUE INTERNE PRINCIPALE 17

ANNEXES

A NOTE TECHNIQUE SUR LE DÉVERSOIR DE LA DIGUE MÉDIANE : 161-07621-00_METANOR_TECH01_HYDRAULIQUE_FINALE_170504_SIGNE.PDF

B NOTE TECHNIQUE SUR LE TASSEMENT DE LA DIGUE MÉDIANE : 161-07621-00_METANOR_TECH02_TASSEMENTS_20170515_SIGN.PDF

C NOTE TECHNIQUE SUR LE LA STABILITÉ DE LA DIGUE INTERNE PRINCIPALE : 161-07621-00_METANOR_TECH03_STAB_DIG_INT_PRINC_20170515_SIGN.PDF

D RAPPORT D'INVESTIGATION GÉOTECHNIQUE 2016 : INVESTIGATION GÉOTECHIQUE, REHAUSSEMENT DE LA CELLULE NO 1 DU PARC À RÉSIDUS MINE BACHELOR, RÉVISION 2, # 11128109-A1-PRT-1-FINAL-REV02(NOTARIUS), GHD, 2017 (24-04-2017)

E ÉVALUATION DU POTENTIEL DE LIQUÉFACTION DES RÉSIDUS MINIERS DE LA MINE BACHELOR

F FIGURES PRÉSENTANT LES CERCLES DE RUPTURES DE L'EMPILEMENT

G PLAN POUR CONSTRUCTION DE L'EMPILEMENT DE RÉSIDUS SECS À LA SURFACE DE LA CELLULE #1 (161—7621-00_F01)

1 INTRODUCTION

1.1 MISE EN CONTEXTE ET GÉNÉRALITÉ

Ressources Métanor Inc. (Métanor) désire augmenter la production de son site minier Bachelor. Pour ce faire, la capacité d'emmagasinement du parc à résidus miniers a été validée en 2015 (AMEC, 2015) et il a été établi que celle-ci devait être augmentée. Dans leur plan quinquennal, AMEC proposait de construire une cellule additionnelle à l'extrémité sud du parc à résidus miniers. Cependant, après réception des commentaires et des questions émis par les instances gouvernementales, une révision du mode de gestion des résidus fut proposée afin d'assurer qu'aucun arrêt de production ne survienne. Cette révision permit d'établir que la construction d'un empilement de résidus « secs » ou « asséchés », semblable à celui de la mine Raglan, représentait une alternative de gestion adéquate pouvant être mise en place rapidement. De plus, la construction d'un empilement de résidus permet d'augmenter la capacité d'emmagasinement sans augmenter la superficie du parc à résidus miniers.

1.2 DESCRIPTION DU MANDAT

Métanor a mandatée WSP Canada Inc. (WSP) en 2016 afin de réaliser le mandat décrit dans l'offre de service P16-11056-78. À l'origine, ce mandat consistait à réaliser les tâches suivantes :

— une étude géotechnique du secteur sud du parc à résidus;

— une évaluation des propriétés géotechniques requise pour le présent mandat et pour la fermeture du parc à résidus miniers et une évaluation du potentiel de liquéfaction des résidus miniers en place;

— une révision de l'alignement de la digue sud, proposée par AMEC en 2015, si jugé requis;

— une révision des analyses de stabilité et l'optimisation de la conception des digues selon les nouvelles données géotechniques;

— une mise à jour des plans de remplissage, si jugé requis;

— une évaluation du débit de percolation quotidien maximal pour l'agrandissement de la cellule sud du parc à résidus miniers;

— la réalisation des plans (incluant le déversoir d'urgence de la digue sud proposé par AMEC en 2015) pour la demande de certificat d'autorisation (CA), des plans de construction officiels, des spécifications et le bordereau des quantités pour la construction des digues sud et internes, ainsi que le rapport de conception;

Cependant dans le cadre de la réalisation du mandat et la mise à jour du concept de gestion des résidus miniers, certaines tâches ont été identifiées comme étant non requises et d'autres se sont ajoutées. Ainsi, les tâches qui ont finalement été réalisées dans le cadre de ce mandat sont les suivantes :

1. planification d'une investigation géotechnique sur les digues du parc à résidus et à l'intérieur des cellules de résidus;
2. planification et support lors d'une étude géotechnique de laboratoire permettant d'évaluer les propriétés géotechniques de différents matériaux, soit les résidus et stériles miniers ainsi que l'argile de fondation;
3. évaluation du potentiel de liquéfaction des résidus miniers;

4. révision la méthode de gestion des résidus miniers et réalisation de l'ingénierie associée;
5. préparation des plans pour construction incluant des spécifications techniques pour la construction de l'empilement de résidus asséchés à la surface de la cellule n° 1, ainsi que le rapport de conception;
6. révision des analyses de stabilité des digues Médiane et interne principale selon les nouvelles données géotechniques;
7. vérification de la cause de l'affaissement identifié sur la crête de la digue Médiane près de la jonction avec la digue interne principale;
8. confirmation du débit d'évacuation du déversoir d'urgence du bassin d'accumulation;
9. support envers Métanor lors de la rédaction de la demande de CA pour la construction de l'empilement de résidus asséchés.

Le présent document couvre les tâches 1 à 5 décrites ci-dessus, soit la présentation des bases et critères de conception, les hypothèses utilisées lors de l'ingénierie de l'empilement ainsi que l'ingénierie proprement dite de l'empilement de résidus asséchés à la surface des résidus miniers de la cellule n° 1. Les tâches 6 à 8 sont présentées dans des notes techniques qui ont été soumises à Métanor de façon indépendante. Ces notes techniques peuvent être consultées aux annexes A à C.
La tâche 9 fut de supporter Métanor pour l'obtention du CA intitulé : *Demande de modification du certificat d'autorisation pour l'exploitation et le traitement de minerai d'or supplémentaire au site minier Bachelor*. Le CA du COMEX a été obtenu le 19 mai 2017 tandis le CA régional a été obtenu le 26 mai 2017.

2 CRITÈRES ET BASE DE CONCEPTION

L'ingénierie détaillée de l'empilement de résidus miniers a été réalisée avec le système d'unités métriques (SI) sur la base des recommandations émises dans les règlements et standards présentés dans le tableau 2-1.

Tableau 2-1 Liste de règlements et standards consultées lors de l'ingénierie détaillée de l'empilement.

DOCUMENTS	RÉFÉRENCE
Provincial	
Loi sur la sécurité des barrages (Québec)	L.R.Q., S-3.1.01
Directive 019 (D019)	Directive 019 sur l'industrie minière, mars 2012
Fédéral	
CDSA – Tailings Commentary on the Dam Safety Guidelines	Canadian Dam Association (CDA), 1997
CDA – Dam Safety Guidelines	Canadian Dam Association (CDA), 2007
CAD – Technical Bulletin: Application of Dam Safety Guidelines to Mining Dams	Canadian Dam Association (CDA), 2014

2.1 TOPOGRAPHIE

Les données topographiques utilisées dans ce projet ont été fournies par Métanor par l'entremise des fichiers sources suivants :

— *GeniArp_ENV_150917-1-2015-07-07 final.dwg*

— *ACAD-ENV_162000-1 2016.dwg*

Ces documents ont été obtenus le 20 juillet 2016.

2.2 NIVEAUX PIÉZOMÉTRIQUES UTILISÉS

L'interprétation des profils au piézocône, des logs de forages et des niveaux d'eau mesurés dans les puits d'observations (GHD, 2017) mis en place en 2016 suggèrent que la nappe phréatique à l'intérieur de la cellule n° 1 se situe à une profondeur approximative de 2 à 5 m sous la surface des résidus miniers. Ceci suggère que les résidus miniers sont dans un état non saturé en surface et saturé en profondeur.

2.3 PROPRIÉTÉS GÉOTECHNIQUES DES MATÉRIAUX

L'information présentée dans les différents ouvrages listés ci-dessous fut utilisée afin d'établir quelles devaient être les propriétés géotechniques à utiliser pour les rejets miniers et sols naturels sous les digues et résidus miniers présents sur le site de la mine Bachelor.

Tableau 2-2 Documentation consultée afin d'établir les propriétés des matériaux

IDENTIFICATION	RÉFÉRENCE
1	Golder et Associés Ltée, 2007, Étude géotechnique et hydrogéologique et conception du parc à résidus de la mine du lac Bachelor Desmaraisville, Québec, p.48 + Annexes
2	GHD, 2017, Investigation géotechnique – Rehaussement de la cellule no 1 du parc à résidus Mine Bachelor, p.18 + Annexes
3	Leroeuil et al. 1985. Remblais sur les argiles molles. 342 pages.
4	Bowles, J.E., 1984. Physical and geotechnical properties of soils. Second Edition. 578 p.

Le tableau 2-3 résume les propriétés géotechniques des différents matériaux qui ont été utilisés dans le cadre de ce mandat. Le détail présentant l'origine des valeurs utilisées est présenté aux annexes B et C.

Tableau 2-3 Propriétés géotechniques des sols utilisés

MATÉRIAUX	PROPRIÉTÉS							COMMENTAIRES
	Su (kPa)	Cu (kPa)	τ_f (kPa)[2]	Φ (°)	c' (kPa)	γ_s (kN/m³)	Liquéfiable	
Résidus miniers	N.A	N.A	N.A	28	N.A.	16	Non[1]	In situ et empilement
Stériles miniers (remblais)	N.A	N.A	N.A	35	N.A.	19	Non	Présents sur les digues et dans l'empilement
Sable et gravier (remblais)	21	28	23	30	N.A.	17,5	Non	Présents dans la digue Médiane
Argile de fondation vis-à-vis digue Médiane[3]	>30 et 16 [4]	>40	20 et 15 [4]	N.A.	N.A.	16	Non	Court terme
Argile de fondation vis-à-vis digue interne principale [3]	>20	>20	16	N.A.	N.A.	16	Non	Court terme
Argile de fondation (sur l'ensemble du site)	N.A.	N.A.	N.A.	25	0	16	Non	Long terme
Till	N.A.	N.A.	N.A.	30	N.A.	21	Non	Sous le dépôt d'argile
Tourbe	N.A.	N.A.	N.A.	20	N.A.	12	Non	Horizon entre résidus miniers et dépôt d'argile

Notes:

1 Voir section 2.5 et Annexe E pour le détail présentant l'évaluation du potentiel de liquéfaction des résidus miniers *in situ*. Une analyse de sensibilité fut réalisée afin d'étudier l'impact d'une possible liquéfaction des résidus miniers sur la sécurité de l'empilement.
2 La résistance mobilisable à la rupture ($_f$) est la valeur utilisée dans le cadre de ce mandat. Voir les annexes B et C pour le détail.
3 Il est considéré que la résistance de l'argile ne diminuera pas suite au séisme de conception.
4. Valeur de résistance minimale pour tenir compte de la présence probable d'un horizon de faible résistance. Des analyses de sensibilité ont été réalisées pour en évaluer l'influence sur la stabilité. Les détails concernant les valeurs de résistances mesurées dans le dépôt argileux sont présentées dans la note technique 02, à l'annexe B

Légende:

Su = Résistance non drainée *in situ* obtenue par essais au Nilcon.

Cu = Résistance non drainée en laboratoire obtenue par essais au cône tombant.

τ_f = Résistance non drainée mobilisable à la rupture.

Φ = Angle de friction interne.

c' = Cohésion effective.

γ_d = Poids volumique.

2.4 CLASSIFICATION DES DIGUES

Afin d'établir quel devait être le séisme de conception à utiliser dans le cadre du présent mandat, il fut établi que la classification du risque des digues du parc à résidus miniers de la mine Bachelor devrait tout d'abord être réalisée. Cette classification a été effectuée sur les bases des recommandations de l'Association canadienne des barrages (ACB).

Comme il est possible de le constater sur le plan 161-07621-00_F01 à l'annexe G, la cellule n° 1 est ceinturée par deux digues, soit la Médiane au nord et la digue interne principale à l'est. Il est considéré que les conséquences d'une rupture de la digue Médiane seraient plus importantes que celles associées à une rupture de la digue interne principale, en raison du bassin d'accumulation présent en aval de la digue interne qui limiterait la mobilité des résidus. C'est pourquoi seule la classification de la digue Médiane fut réalisée. Conformément aux recommandations de l'ACB, la classification de la digue Médiane a été réalisée selon les considérations suivantes, comme présenté au tableau 2-4 :

— population à risque;

— potentiel pour des pertes de vie;

— potentiel de dommage environnemental;

— potentiel de perte économique.

Les recommandations de l'ACB ont été développées principalement pour les barrages hydro-électriques et les conséquences environnementales d'une rupture y sont succinctes (tableau 2-4). Pour pallier à ce manque, les impacts environnementaux d'une potentielle rupture ont été estimés selon le document « Tailings Commentary on the Dam Safety Guidelines » de l'Association canadienne pour la sécurité des barrages (ACSB, 1997), qui recommande d'évaluer les impacts environnementaux selon quatre paramètres (tableau 2-5). Une fois les impacts environnementaux identifiés, une grille d'évaluation à trois niveaux a été utilisée pour qualifier le niveau de conséquences environnementales d'une rupture de la digue (tableau 2-6).

Tableau 2-4 Classification des digues en termes de conséquence (ACB, 2007)

CLASSE DE CONSÉQUENCE	POPULATION À RISQUE	PERTES INCRÉMENTALES[1,2]		
		PERTES DE VIE	ENVIRONNEMENT ET CULTURE	INFRASTRUCTURES ET PERTES ÉCONOMIQUES
Faible	Aucune	0	Minimales à court terme; aucune à long terme	Faibles pertes et nombre limité d'infrastructures
Important/ Significatif	Temporaire	Non spécifié	Aucune perte significative	Pertes d'installations de loisirs, lieu de travail saisonnier, voies de transport peu utilisées
Élevé	Permanente	10 ou moins	Perte importante; restauration ou indemnisation en nature possible	Pertes économiques élevées (infrastructures, transport public, installations commerciales)
Très élevé	Permanente	100 ou moins	Perte importante de l'habitat essentiel; restauration ou indemnisation en nature non pratique	Pertes économiques très élevées (infrastructures ou services importants)
Extrême	Permanente	Plus de 100	Perte majeure de l'habitat essentiel; restauration ou indemnisation en nature impossible	Pertes extrêmes (infrastructures ou services essentiels)

1. Incrémentales par rapport aux impacts prévisibles dans les mêmes conditions naturelles (crue, séisme ou autre événement) mais sans la défaillance de la digue. ***La conséquence la plus sévère (c.-à-d. pertes de vie ou dommages) détermine la catégorie de la structure.*** Dans le cas des résidus miniers, une catégorie de conséquence doit être assignée à chaque étape : construction, opération, fermeture.
2. Les descriptions données ici ne sont qu'indicatives. Voir ACB (2007) pour la description complète.

Tableau 2-5 Évaluation des critères pour l'évaluation des niveaux de conséquences environnementales (ACSB, 1997)

CRITÈRE	NIVEAU	QUALIFICATIF
Ampleur de l'impact	Élevé (A3)	Grand nombre d'organismes affectés
	Modéré (A2)	Un certain nombre d'organismes affectés
	Faible (A1)	Seulement quelques poissons affectés
Durée de l'impact	Très long (D3)	Centaine d'années d'impact (résidus réactifs relâchés dans un cours d'eau) ou plus
	Long (D2)	Décennies (benthos et sédiments affectés)
	Court (D1)	Semaines/mois (eau contaminée relâchée dans un cours d'eau sans impact à long terme sur la vie aquatique)
Sensibilité du milieu récepteur	Très sensible (S3)	Ressources halieutiques de grande valeur ou cours d'eau utilisé comme source d'eau potable
	Sensible (S2)	Cours d'eau à usage récréatif ou possédant des ressources d'une valeur limitée
	Peu sensible (S1)	Cours d'eau isolé sans vie aquatique de grande valeur
Perception du public	Fort (P3)	Réserve autochtone, région touristique, parc ou réserve faunique, etc.
	Typique (P2)	Intérêt des communautés locales
	Faible (P1)	Peu d'intérêt des tierces parties

Tableau 2-6 Niveaux de conséquences environnementales (ACSB, 1997)

NIVEAU DE CONSÉQUENCE	DESCRIPTIF	NIVEAU DES CRITÈRES[1]
Très élevé	Impact environnemental important	• A3 et D3 ou A3 et S3 ou D3 et S3 • A3 et (D2 ou S2) • D3 et (A2 ou S2) • S3 et (A2 ou D2)
Élevé	Impact modéré à élevé, ou perception du public élevée à très élevée	• A3 ou D3 ou S3 avec tout autre critère de niveau 1 • Toute combinaison de critère contenant des niveaux 2 et 1 • P3 en combinaison avec tout autre critère de niveaux 2 ou 1
Bas	Faible impact environnemental	• A1 et D1 et S1 et (P1 ou P2)

1. Les critères et leur niveau sont définis au tableau 2-5.

Les tableaux 2-5 et 2-6 ont donc été utilisés afin d'évaluer le niveau de conséquences environnementales d'une rupture de la digue Médiane selon les critères de 1997, et celui-ci a ensuite été transposé, par l'entremise du tableau 2-7, en une catégorie de conséquences environnementales suivant les recommandations de l'ACB 2007. Cette classification 2007 a donc été utilisée pour déterminer la classification de la digue selon le tableau 2-4.

Tableau 2-7 Correspondance approximative entre les catégories des conséquences environnementales présentées dans les documents de ACB 1997 et 2007

ACSB 1997	ACB 2007
Conséquence environementale	
Très élevé	Perte majeure de l'habitat essentiel; restauration ou indemnisation en nature impossible
	Perte importante de l'habitat essentiel, restauration ou indemnisation en nature non pratique
Élevé	Perte importante; restauration ou indemnisation en nature possible
	Aucune perte significative
Faible	Minimales à court terme; aucune à long terme

Comme présenté au tableau 2-8, il est considéré qu'une rupture de la digue de Médiane pourrait avoir des conséquences environnementales élevées, selon les critères de l'ACSB (1997). Cette classification est associée au fait qu'il y a le lac Bachelor à environ 3 200 m en aval de cette digue. Cette classification environnementale basée sur les critères de 1997 est considérée comme étant l'équivalent du niveau Important / Significatif sur la base des recommandations de l'ACB 2007 (tableau 2-7).

En ce qui a trait au risque relatif à la population ou pertes de vie, celui-ci ne peut-être spécifié, car le site est situé dans un secteur forestier avec un accès limité, que l'usage du site en aval de la digue est industrielle et probablement de type récréatif saisonnier (c.-à-d. chasse et pêche) et qu'il ne semble pas y avoir d'activités particulières dans ce secteur. Il est important de souligner le fait qu'une évaluation détaillée du risque relatif à la perte de vie nécessiterait la réalisation d'une analyse postrupture de la digue, ce qui était exclu du présent mandat.

Pour ce qui est des risques relatifs aux coûts, il est considéré que seulement des installations de loisirs, lieu de travail saisonnier et voies de transport privées peu utilisées seraient affectés. Par conséquent, la classification qualitative de la digue Médiane est jugée comme étant Importante/Significative selon les recommandations 2007 de l'ACB, comme résumé dans le tableau 2-8.

Tableau 2-8 Classification de la digue Médiane selon les conséquences environnementales d'une rupture

ÉVALUATION DES CONSÉQUENCES ENVIRONNEMENTALES SELON L'ACSB (1997)						
Digue Médiane		Ampleur de l'impact	Durée de l'impact	Sensibilité du milieu récepteur	Perception du public[1]	**Niveau de conséquence environnementale (ACSB 1997)**[2]
		A2	D2	S2	P2	**Élevé**
Niveau de conséquences pour les digues selon ACB 2007						
	Population à risque	Pertes de vie	Environnement	Coût ($)	**Classe**[3]	
Rupture sous chargement statique ou dynamique	Temporaire	Non spécifié	Aucune perte significative	Pertes d'installations de loisirs, lieu de travail saisonnier, voies de transport peu utilisées	**Important/Significatif**[1]	

1. S'il est jugé que la perception du public en cas d'incident ne se limitait pas seulement à la communauté locale, la catégorie de conséquence devrait être augmentée au niveau supérieur.
2. Cette classification environnementale est utilisée, qu'à titre indicatif, afin de déterminer les pertes incrémentales sur l'environnement tel que présenté au tableau 2-5 et 2-6, provenant de l'ACB 2007.
3. La classe de risque est basée sur le tableau 2-4.

Bien que de multiples événements puissent être à l'origine d'une rupture de digue, la présente classification de la digue Médiane a été réalisée en considérant que la rupture serait engendrée sous chargement statique ou par un séisme. Cette classification est basée sur les conditions actuelles du site et devra être vérifiée si des changements surviennent en aval de la digue.

2.5 ÉVÈNEMENT SISMIQUE DE CONCEPTION

L'ACB recommande que le séisme de conception pour un ouvrage de retenue soit établi sur sa classification du risque, comme présenté au tableau 2-9. Ainsi, le séisme de conception pour la digue Médiane devrait être d'une récurrence de 1 000 ans. Cependant, comme spécifié dans la Directive 019 (D019) sur l'industrie minière au Québec (MDDELCC, 2015), un séisme d'une récurrence minimale de 2 500 ans doit être utilisé pour les aires d'accumulation de résidus miniers.

Tableau 2-9 Classification des digues en termes de conséquence (ACB, 2007)

CLASSE DE CONSÉQUENCE	PAD[1] DU MSTD[1,2]
Faible	1/500
Important/Significatif	1/1,000
Élevé	1/2,500
Très élevé	1/5,000[3]
Extrême	1/10,000[3]

1. PAD : Probabilité annuelle de dépassement. MSTD : mouvement sismique du terrain pour dimensionnement
2. Les niveaux de PAD pour le MSTD doivent être utilisés pour les estimations moyennes et non pas pour les estimations médianes du risque.
3 La valeur du MSTD doit être justifiée pour démontrer la conformité à un risque acceptable selon les normes sociales. Cette justification peut reposer sur une analyse des modes de rupture s'appliquant à ce barrage, axée sur les modes particuliers pouvant contribuer une rupture ou à une défaillance amorcée par un évènement sismique. Si une telle justification ne peut être faite, le MSTD doit être de 1/10,000.

Par conséquent, un séisme de conception d'une récurrence de 2 500 ans a été utilisé afin d'établir la sécurité séismique des digues Médiane et interne principale, de l'empilement et d'évaluer le potentiel de liquéfaction de résidus miniers de la mine Bachelor. Le tableau 2-10 résume les accélérations sismiques associées aux différentes périodes de récurrence pour le site minier Bachelor.

Tableau 2-10 Accélération sismique pour le site de la mine Bachelor – Coord. 49,4983 ° Nord et 76,1408° Ouest) (valeur moyenne du CNBC, 2015)

Période de	Accélération maximale du sol (g)[(1)]
1:100 ans	0.0085
1:476 ans	0.021
1:1,000 ans	0.030
1:2,475 ans	***0.047***

Note: (1) Valeur associée pour un sol ferme de Classe C.

Les paramètres sismiques du site de la mine Bachelor ont été obtenus à partir des outils de conception sismique pour les ingénieurs fournis par les Ressources nationales du Canada. Ces paramètres sont basés sur des cartes sismiques élaborées pour le Code national du bâtiment 2015 (CNB, 2015). Les valeurs obtenues suggèrent que le site est localisé dans une région de faible activité sismique.

Les profils de vitesse de cisaillement (Vs) mesuré par l'entremise de sondages au piézocône varient de ± 90 à 180 m/s dans l'argile de fondation sous l'aire d'accumulation de résidus miniers. Sur la base de l'information présentée par Finn et Wightman (2003), ces Vs suggèrent que le sol de fondation sous le parc à résidus miniers de mine Bachelor est de catégorie E. Par conséquent, le facteur d'amplification approprié doit être utilisé afin de corriger la valeur d'accélération devant être utilisée pour évaluer le potentiel de liquéfaction des résidus miniers et la stabilité pseudostatique des structures. Pour ce faire, les facteurs d'amplification proposés dans le CNBC ont été utilisés[1]. Ainsi, en tenant compte de l'amplification possible pouvant être engendrée par le dépôt d'argile, l'accélération sismique devant être utilisée dans le cadre de présent mandat pour un séisme présentant une période de récurrence de 2 500 ans est de 0,099 g, soit 2,1 fois supérieure à celle associée à un sol ferme de classe C.

1 Cette étape n'a pas été réalisée dans le cadre de l'émission des notes techniques présentées en annexes.

2.6 COEFFICIENT DE SÉCURITÉ DE CONCEPTION

Le tableau 2-11 résume les facteurs de sécurité que l'aire d'accumulation de résidus miniers devrait présenter pour diverses conditions de chargement, comme recommandé par l'ACB, la D019 et par le MERN. Ce tableau indique que les valeurs cibles les plus élevées ont généralement été utilisées dans le cadre de la présente étude, à l'exception du chargement pseudostatique pour lequel le coefficient de sécurité minimal ciblé correspond à la valeur applicable aux mines en opération et non aux sites miniers restaurés.

Il est possible de constater que la totalité des situations et mode de ruptures possibles n'ont pas été étudiés et analysés (c.à.d. rupture par phénomène d'érosion interne, rupture suite à un débordement en crête, etc.). Il est recommandé que la totalité des cas de figures soient étudiés dans le cadre de la revue de la sécurité des digues, la révision du plan de fermeture de Mine Bachelor ou lorsque des travaux d'augmentation de la capacité d'emmagasinement du parc à résidus sont envisagés.

Tableau 2-11 Coefficients de sécurité minimaux utilisés

Type de chargement	Coefficient minimal de la pente aval de la structure			
	RECOMMANDATIONS			UTILISÉES
	ACB	D019[2]	MERN[3]	
Statique:				
Court terme	1,3	1,3 to 1,5	1,3 to 1,5	1,5[6]
Long terme	1,5	1,5	1,5	1,5
Dynamique[1]:				
Pseudostatique	1,0	1,1	1,25	1,1[5]
Postséisme [4]	1,2 à 1,3	1,3	1,3	1,3

1. Le coefficient d'accélération sismique utilisé dans les analyses pseudostatiques correspond à 70 % de l'accélération horizontal d'un séisme d'une récurrence 2 500 ans
2. Pour les mines en opération
3. Pour les mines restaurées
4. Voir annexe E pour l'évaluation du potentiel de liquéfaction des résidus miniers
5. Les valeurs de la D019 ont été utilisées, car elles sont applicables pour les sites miniers actifs. Les valeurs présentées dans le guide du MERN sont applicables à des sites restaurés ou fermés. Il est considéré que les travaux de restauration permettront d'atteindre la valeur de présenté dans le guide du MERN.
6. Une valeur de 1,3 aurait pu être utilisée, mais il est jugé que la situation prévale sur le site de Métanor ne respecte pas les critères décrivant une situation à court terme pendant la construction.

2.7 ÉVALUATION DU POTENTIEL DE LIQUÉFACTION DES RÉSIDUS MINIERS

Les données de résistance en pointe et des vitesses de cisaillement obtenues par la réalisation des sondages au piézocône ont été utilisées afin d'évaluer le potentiel de liquéfaction des résidus miniers. Les méthodes proposées par Youd et al. En 2001 furent utilisées.

Comme il est possible de l'observer à l'annexe D, les profils de résistance en pointe mesurés à l'intérieur de la cellule n° 1 sont similaires et concorde entre eux, indiquant que la résistance des matériaux en place est peu variable. Ainsi, seuls les profils CPTU A1, A4, E2 et C3 furent utilisés pour évaluer le potentiel de liquéfaction. Le profil de Vs mesuré au droit du sondage CPTU A1 fut aussi utilisé pour établir le potentiel de liquéfaction des résidus.

Lorsque les mesures de la vitesse de cisaillement des résidus miniers *in situ* sont utilisées, il semblerait qu'un horizon d'une épaisseur approximative de 1,0 m soit liquéfiable à une profondeur de 5,40 m sous la surface des résidus de la cellule n° 1, en fonction des conditions de nappe phréatique actuelle.

Comme présenté par Youd et al. (2001), l'utilisation des mesures de Vs afin d'établir le potentiel de liquéfaction présente des limitations techniques et il est suggéré de corroborer ces résultats avec d'autres paramètres, comme la résistance en pointes.

Ainsi, le potentiel de liquéfaction des résidus miniers fut établi par l'entremise des résistances en pointes. Afin d'établir l'influence du niveau d'eau dans les résidus miniers, une étude de sensibilité fut réalisée avec les deux conditions hydrogéologiques suivantes : nappe phréatique au niveau comme mesuré en 2016 (niveau normal) et une nappe phréatique localisée à la surface des résidus miniers de la cellule n° 1 (cas conservateur).

Comme il est possible de le constater à l'annexe E, le potentiel de liquéfaction des résidus miniers *in situ* avec une nappe phréatique normale est faible (FoS_{min} = 1,06) lorsque estimé par la méthode de Youd et al (2001). Comme attendu, le fait de localiser la nappe phréatique à la surface des résidus miniers augmente le potentiel de liquéfaction des résidus miniers *in situ* (FoS_{min} = 0,50). Les graphiques de l'annexe E indiquent que certains horizons de résidus miniers, de faibles épaisseurs et localisés à différentes profondeurs dans la cellule n° 1, présentent un potentiel de liquéfaction plus élevé. Ce phénomène peut s'expliquer par la stratification des résidus miniers engendrée par la méthode de déposition utilisée par Métanor. En effet, des horizons de résidus miniers plus denses et présentant une granulométrie plus grossière sont intercalés avec des horizons lâches de résidus plus fins. De plus, le fait de ne pas utiliser la correction pour les fines a pour effet d'augmenterle potentiel de liquéfaction des résidus miniers.

L'évaluation du potentiel de liquéfaction des résidus miniers par les méthodes proposées par Youd et al. (2001) suggère que ceux-ci présentent un potentiel de liquéfaction faible, mais présent. Une nappe phréatique élevée dans les résidus miniers augmente leur potentiel de liquéfaction.

3 INGÉNIERIE DE L'EMPILEMENT DE RÉSISUS ASSÊCHÉS

3.1 CONCEPTION DE L'EMPILEMENT

L'ingénierie de l'empilement de résidus miniers asséchés à la surface de la cellule nº 1 a pour objectif d'augmenter la capacité d'emmagasinement du parc à résidus, sans pour autant en augmenter la superficie. Cette modification au concept de gestion des résidus miniers ne modifiera en rien la déposition des résidus miniers et la gestion des eaux actuellement réalisée. Cette modification consiste principalement à excaver les résidus déposés par bout de tuyaux qui se seront drainés de leur eau de façon gravitaire, afin que ceux-ci soient transportés par camion vers la surface de la cellule nº 1. Une fois déchargés, les résidus miniers seront étendus, mis en place et compactés adéquatement afin de former un empilement. L'ingénierie de l'empilement fut élaborée en se basant sur un concept de référence : celui utilisé avec succès sur le site de Durango, Mexique (Preciado et al. 2016).

L'information recueillie lors de la campagne d'investigation suggère que l'excavation des résidus miniers situés au-dessus de la nappe phréatique pourra être réalisée sans problématique majeure, cette étape ayant déjà été réalisée par Métanor par le passé. Une fois excavés, les résidus seront placés et compactés avec l'aide d'un bouteur. La configuration de l'empilement fut établie afin que ses pentes rencontrent les critères de stabilité présentés au tableau 2-11. Les résultats des analyses de stabilité réalisées sont détaillés ici-bas et les figures synthèses montrant les cercles de ruptures critiques sont présentées à l'annexe F.

Une approche similaire à celle suggérée par Detert et Caldwell (2016) fut mise de l'avant dans le cadre du présent mandat. Un géotextile non tissé de type Mirafi HP270, Geo9 ou l'équivalent devra être déployé à la surface des résidus miniers de la cellule nº 1 préalablement à la construction de l'empilement. Les géotextiles devront se chevaucher de 300 mm et être cousus. Ce dernier devra être recouvert d'une couche de stériles miniers fins d'une épaisseur minimale de 500 mm, et ce, préalablement à la construction de l'empilement de résidus miniers. Cette combinaison de produits et matériaux permettra d'augmenter la capacité portante des résidus en place dans la cellule nº 1, facilitant le travail de la machinerie lors de la construction de l'empilement. De plus, l'utilisation de cette combinaison permettra d'améliorer les propriétés drainantes de l'empilement et en augmentera sa stabilité. Il est à noter que l'épaisseur de 500 mm de stériles miniers fut établie sur la base de notre jugement et des valeurs de résistance en pointe, mesurés dans les résidus en place par l'entremise des sondages au piézocône. Cette épaisseur pourrait être augmentée sur le terrain à la suite de l'examen du comportement du remblai (c.-à-d. problèmes d'enlisement et d'instabilité du remblai d'empierrement), où l'utilisation de géogrille triaxiale pourrait être requise.

Comme présenté à la section 2, l'interprétation de l'information disponible laisse présager qu'aucune nappe phréatique ne se créera dans l'empilement de résidus. Effectivement, les profils de pression d'eau (μ_2) mesurés au droit des CPTU-A1, A3 et A4 suggèrent que les 3 à 5 premiers mètres de résidus dans la cellule nº 1 sont dans un état non saturé. Cette information est cohérente avec les mesures des niveaux d'eau réalisées dans les puits d'observations PZ-01 au droit des forages F-A-1-2016 et F-A-2-2016. De plus, la mise en place d'une couche de 500 mm de stériles miniers entre l'empilement et les résidus miniers agira comme un drain, assurant un drainage adéquat de l'empilement et limitant la remontée capillaire dans l'empilement.

Par contre, afin d'établir l'influence d'un niveau de la nappe phréatique plus élevé dans les résidus miniers, une analyse de sensibilité fut réalisée. Une première série d'analyse de stabilité considère que le niveau de la nappe phréatique augmente à la suite de la construction de l'empilement. Il est considéré que le niveau de l'eau serait situé à la surface des résidus miniers en place dans la cellule nº 1, soit à l'élévation 331 m. Cette situation est considérée comme étant une hypothèse conservatrice et peu probable sur la base de l'information disponible. Une seconde situation, considérée comme étant plus réaliste, considère que le niveau d'eau dans les résidus de la cellule nº 1 ne sera pas affecté par la construction de l'empilement. Ainsi, pour cette seconde série d'analyse, la nappe phréatique fut établie à l'élévation 327,4 m.

Cette étude de sensibilité est jugée comme étant représentative de la situation qui prévaudra au nord de la cellule nº 1et le long de la digue Médiane. Effectivement, le profil de pression d'eau (μ_2) mesuré au droit du CPTU-E2 le long de la digue interne principale suggère que la position de la nappe phréatique est plus élevée dans ce secteur, réduisant par le fait même les résistances en pointe, comme présenté à l'annexe D. Par conséquent, les niveaux de la nappe phréatique utilisés dans l'analyse de la stabilité de la digue interne principale sont de 330,12 m et de 329,7 m.

Il a été établi qu'une distance minimale de 10 m entre le pied de l'empilement et les digues était requise. Cette distance minimale limitera l'impact que les fluctuations du niveau d'eau dans le bassin d'accumulation pourraient avoir sur la stabilité du pied de l'empilement vis-à-vis la digue interne principale. De plus, une telle distance de dégagement assurera une gestion des eaux de surface adéquate. Cependant, il se pourrait que lors de la construction de l'empilement, cette distance soit augmentée si des problématiques opérationnelles surviennent, comme l'enlisement de l'équipement ou une déformation importante de la surface des résidus limitant le libre écoulement des eaux de surfaces.

Les tableaux 4-1 à 4-3 résument les coefficients de sécurité obtenus pour la configuration proposée de l'empilement. Les figures montrant les cercles de ruptures sont présentées à l'annexe F.

Comme il est possible de le constater, les cercles de rupture critique résultant en une rupture totale de l'empilement vis-à-vis la digue Médiane sous chargement statique et pseudostatique sont profonds. Ces surfaces de ruptures se forment au contact de l'argile et du till sous-jacent. Le fait d'avoir une nappe phréatique basse et aucun horizon de faible résistance augmente la sécurité de la section. La présence de résidus miniers en aval de la digue Médiane en affecte la stabilité, spécialement celle postséisme. Effectivement, la présence de résidus miniers liquéfiés à l'intérieur de la berme aval fait en sorte que sa stabilité est grandement réduite à la suite d'un séisme. Les résultats suggèrent qu'une rupture progressive de la digue, engendrant un épanchement de résidus dans l'environnement, pourrait résulter d'un affaissement majeur du parement aval de la digue.

Comme observé pour la digue Médiane, la sécurité de la digue interne principale augmente lorsque la nappe phréatique est plus basse, mais dans une moindre mesure que ce qui est observé au droit de la digue Médiane. Les cercles de rupture critiques sont profonds, tangent au till sous-jacent, comme identifié pour la digue Médiane. Le fait que la digue interne principale fut construite sur des résidus liquéfiables fait en sorte que cette section présente une stabilité critique en condition postséisme, et ce, avec ou sans empilement. Toutefois, de par la disposition de la digue interne principale, il est jugé qu'une rupture de celle-ci à la suite d'un tremblement de terre ne présente par un risque majeur. Le bassin d'accumulation accepterait l'épanchement de résidus miniers, limitant ainsi l'impact environnemental d'une telle rupture.

L'utilisation des paramètres de résistance à long terme de l'argile de fondation sous les digues fait en sorte que la sécurité de l'empilement augmente avec le temps.

Tableau 3-1 Coefficients de sécurités obtenus avec l'horizon d'argile de faible résistance vis-à-vis la digue Médiane

Localisation	Situation	Chargement	Analyses	Elevation nappe phréatique dans les résidus	FoS obtenues	Fos requis	Figure	Commentaires
Vis à vis digue Médiane	Court terme	Statique	Digue	331 m	1,30 (opt)[1] et 1,45 (semi-circul.)[2]	1,5	Figures F-1 et F-10	Nappe phréatique élevée impact significativement la stabilité, faisant en sorte que les FoS minimaux ne sont pas rencontrés lorsqu'un horizon de faible résistance est considéré dans la fondation de la digue Médiane. Il est a noter que si le FoS de 1.3 pour une condition court terme sous chargement statique avait été sélectionné le critère minimum aurait été rencontré. La présence de résidus miniers liquéfiés impact sur la sécurité postséisme de la digue Médiane et de l'empilement.
				327,4 m	1,49 (opt) et 1,64 (semi-circul.)			
			Profonde	331 m	1,31 (opt) et 1,47 (semi-circul.)			
				327,4 m	1,50 (opt) et 1,79 (semi-circul.)			
			Empilement	331 m	>1,60			
				327,4 m	>1,85			
		Pseudostatique	Digue	331 m	0,89 (opt) et 1,01 (semi-circul.)	1,1	Figures F-3 et F-12	
				327,4 m	1,04 (opt) et 1,15 (semi-circul.)			
			Profonde	331 m	0,84 (opt) et 0,94 (semi-circul.)			
				327,4 m	0,95 (opt) et 1,14 (semi-circul.)			
			Empilement	331 m	>1,30			
				327,4 m	>1,52			
		Post séisme (situation peu probable, car résidus considérés comme non liquéfiables)	Digue	331 m	0,62 (opt) et 1,06 (semi-circul.)	1,3	Figures F-5 et F-14	
				327,4 m	0,88 (opt) et 1,36 (semi-circul.)			
			Profonde	331 m	0,97 (opt) et 1,1 (semi-circul.)			
				327,4 m	1,03 (opt) et 1,45 (semi-circul.)			
			Empilement	331 m	>0,44			
				327,4 m	>1,39			
	Long terme	Statique	Digue	331 m	1,98 (opt) et 2,00 (semi-circul.)	1,5	Figures F-7 et F-16	Tel qu'il est possible de le constater la nappe phréatique impact sur la stabilité de l'ouvrage, principalement suite à la liquéfaction des résidus miniers. Les FoS minimaux recommandés sont rencontrés dans la majorité des cas de figures étudiés. La présence de résidus miniers dans la berme aval impact sur la sécurité postséisme de la digue Médiane.
				327,4 m	2,35 (opt) et 2,38 (semi-circul.)			
			Profonde	331 m	2,00 (opt) et 2,14 (semi-circul.)			
				327,4 m	2,64 (opt) et 2,85 (semi-circul.)			
			Empilement	331 m	>1,60			
				327,4 m	>1,85			
		Pseudo-statique	Digue	331 m	1,39 (opt) et 1,41 (semi-circul.)	1,1	Figures F-8 et F-17	
				327,4 m	1,65 (opt) et 1,67 (semi-circul.)			
			Profonde	331 m	1,33 (opt) et 1,37 (semi-circul.)			
				327,4 m	1,74 (opt) et 1,83 (semi-circul.)			
			Empilement	331 m	>1,30			
				327,4 m	>1,52			
		Post séisme Statique (situation peu probable, car résidus considéré comme ayant un faible potentiel de liquéfaction)	Digue	331 m	0,62 (opt) et 1,06 (semi-circul.)	1,3	Figures F-9 et F-18	
				327,4 m	0,88 (opt) et 1,36 (semi-circul.)			
			Profonde	331 m	0,87 (opt) et 1,69 (semi-circul.)			
				327,4 m	2,19 (opt) et 2,51 (semi-circul.)			
			Empilement	331 m	>0,44			
				327,4 m	>1,40			

1. Opt : cercle de rupture optimisé. Cette option disponible dans le logiciel de calculs permet de modifier la géométrie des cercles de rupture critiques pour évaluer le FoS minimal. Ce FoS optimisé présente parfois une surface de rupture particulière et le jugement de l'ingénieur est requis pour en déterminer la validité.
2. Semi-circul. : cercle de rupture semi-circulaire critique, avant l'étape d'optimisation de la géométrie critique.

Tableau 3-2 Coefficients de sécurité obtenus sans l'horizon d'argile de faible résistance vis-à-vis la digue Médiane

Localisation	Situation	Chargement	Analyses	Elevation nappe phréatique dans les résidus	FoS obtenues	Fos requis	Figures	Commentaires
Vis à vis digue Médiane	Court terme	Statique	Digue	331 m	1,47 (opt)[1] et 1,55 (semi-circul.)[2]	1,5	Figures F-2 et F-11	Lorsque l'horizon de faible résistance n'est pas considéré, la nappe phréatique élevée a un impact moindre sur la stabilité, faisant en sorte que les FoS minimaux sont rencontrés pour la majorité des cas de figures étudiés. L'instabilité est principalement présente dans la pente aval de la digue. Les cercles de rupture passent dans les résidus présents en aval de la digue. La présence de résidus miniers liquéfiés impact sur la sécurité postséisme de la digue Médiane et de l'empilement.
				327,4 m	1,63 (opt) et 1,74 (semi-circul.)			
			Profonde	331 m	1,44 (opt.) et 1,56 (semi-circul.)			
				327,4 m	1,63 (opt) et 1,88 (semi-circul.)			
			Empilement	331 m	>1,60			
				327,4 m	>1,85			
		Pseudostatique	Digue	331 m	1,01 (opt) et 1,08 (semi-circul.)	1,1	Figure F-4 et F-13	
				327,4 m	1,14 (opt.) et 1,22 (semi-circul.)			
			Profonde	331 m	0,94 (opt) et 0,99 (semi-circul.)			
				327,4 m	1,05 (opt.) et 1,20 (semi-circul.)			
			Empilement	331 m	>1,30			
				327,4 m	>1,52			
		Post séisme (situation peu probable, car résidus considéré comme ayant un faible potentiel de liquéfaction)	Digue	331 m	0,62 (opt.) et 1,06 (semi-circul.)	1,3	Figures F-6 et F-15	
				327,4 m	0,88 (opt) et 1,36 (semi-circul.)			
			Profonde	331 m	1,07 (opt.) et 1,19 (semi-circul.)			
				327,4 m	1,22(opt) et 1,54 (semi-circul.)			
			Empilement	331 m	>0,44			
				327,4 m	>1,39			
	Long terme	Statique	Digue					
			Profonde					
			Empilement					
		Pseudostatique	Digue					
			Profonde					
			Empilement					
		Post séisme Statique	Digue					
			Profonde					
			Empilement					

Voir Tableau 4-1

1. Opt : cercle de rupture optimisé. Cette option disponible dans le logiciel de calculs permet de modifier la géométrie des cercles de rupture critiques pour évaluer le FoS minimal. Ce FoS optimisé présente parfois une surface de rupture particulière et le jugement de l'ingénieur est requis pour en déterminer la validité.
2. Semi-circul. : cercle de rupture semi-circulaire critique, avant l'étape d'optimisation de la géométrie critique.

Tableau 3-3 Coefficients de sécurité obtenus vis-à-vis la digue interne principale

Localisation	Situation	Chargement	Analyses	Elevation nappe phréatique dans les résidus	FoS obtenues	Fos requis	Figure	Commentaires
Vis à vis digue interne principale	Court terme	Statique	Digue	330,12 m	1,97 (opt)[1] et 2,07 (semi-circul.)[2]	1,5	Figures F-19 et F-22	Nappe phréatique élevée impact peu sur la stabilité. La présence de résidus miniers liquéfiés impact sur la sécurité postséisme de la digue interne principale.
				329,1 m	2,05 (opt) et 2,10 (semi-circul.)			
			Profonde	330,12 m	1,46 (opt.) et 1,82 (semi-circul.)			
				329,1 m	1,39 (opt) et 1,79 (semi-circul.)			
			Empilement	330,12 m	>1,52			
				329,1 m	>1,62			
		Pseudo-statique	Digue	330,12 m	1,41 (opt.) et 1,48 (semi-circul.)	1,1	Figures F-20 et F-23	
				329,1 m	1,51 (opt.) et 1,54 (semi-circul.)			
			Profonde	330,12 m	0,84 (opt.) et 1,05 (semi-circul.)			
				329,1 m	0,82 (opt.) et 1,05 (semi-circul.)			
			Empilement	330,12 m	>1,21			
				329,1 m	>1,38			
		Postséisme (situation peu probable, car résidus considéré comme ayant un faible potentiel de liquéfaction)	Digue	330,12 m	0,54(opt.) et 0,57 (semi-circul.)	1,3	Figure F-21 et F-24	
				329,1 m	0,51(opt.) et 0,53 (semi-circul.)			
			Profonde	330,12 m	0,65 (opt.) et 0,92 (semi-circul.)			
				329,1 m	0,67(opt.) et 0,96 (semi-circul.)			
			Empilement	330,12 m	>0,45			
				329,1 m	>0,54			
	Long terme	Statique	Digue	330,12 m	1,97(opt.) et 2,07 (semi-circul.)	1,5	Figures F-25 et F-28	Les propriétés long terme de l'argile de fondation améliorent la stabilité pseudostatique de la structure. La présence de résidus miniers liquéfiés impact sur la sécurité postséisme de la digue interne principale.
				329,1 m	2,05 (opt.) et 2,10 (semi-circul.)			
			Profonde	330,12 m	2,27 (opt.) et 3,15(semi-circul.)			
				329,1 m	2,63 (opt.) et 3,17 (semi-circul.)			
			Empilement	330,12 m	<1,52			
				329,1 m	<1,76			
		Pseudo-statique	Digue	330,12 m	1,41(opt.) et 1,48 (semi-circul.)	1,1	Figures F-26 et F-29	
				329,1 m	1,51(opt.) et 1,54 (semi-circul.)			
			Profonde	330,12 m	1,51(opt.) et 1,78 (semi-circul.)			
				329,1 m	1,67(opt.) et 1,81 (semi-circul.)			
			Empilement	330,12 m	<1,21			
				329,1 m	<1,43			
		Post séisme Statique (situation peu probable, car résidus considéré comme ayant un faible potentiel de liquéfaction)	Digue	330,12 m	0,54(opt.) et 0,57 (semi-circul.)	1,3	Figures F-27 et F-30	
				329,1 m	0,51(opt.) et 0,53 (semi-circul.)			
			Profonde	330,12 m	0,65 (opt.) et 0,92 (semi-circul.)			
				329,1 m	0,67(opt.) et 0,96 (semi-circul.)			
			Empilement	330,12 m	>0,45			
				329,1 m	>0,54			

1. Opt : cercle de rupture optimisé. Cette option disponible dans le logiciel de calculs permet de modifier la géométrie des cercles de rupture critiques pour évaluer le FoS minimal. Ce FoS optimisé présente parfois une surface de rupture particulière et le jugement de l'ingénieur est requis pour en déterminer la validité.
2. Semi-circul. : cercle de rupture semi-circulaire critique, avant l'étape d'optimisation de la géométrie critique.

3.2 PROCÉDURE DE CONSTRUCTION RECOMMANDÉE

Les rouleaux de géotextile qui seront mis en place, d'une largeur approximative de 15 m, devront se chevaucher de 300 mm. Les chevauchements devront être arpentés. La méthodologie de mise en place de la couche de 500 mm de stériles miniers par-dessus le géotextile devra assurer que ce dernier reste en place et ne se déchire pas. Le bouteur ne devra pas effectuer de virage à la surface de cette couche de stériles miniers afin de préserver l'intégrité du géotextile sous-jacent. Comme mentionné précédemment, l'épaisseur de stériles miniers pourrait être augmentée sur le terrain, où l'utilisation de géogrille triaxiale pourrait être requise.

Il est recommandé de construire l'empilement de résidus asséchés de ± 3,0 m de hauteur en deux étapes. Un sous-palier d'une épaisseur approximative de 1,25 m devrait être construit, en premier lieu, afin d'atteindre l'élévation 333,25 m. La pente externe de l'empilement doit être de 3H:1V. Les résidus miniers mis en place dans l'empilement devront avoir une compacité minimale de 90 % du Proctor normale (P.N.). Afin de limiter au maximum l'effet de pompage hydraulique et pour limiter la génération de suppressions interstitielles, la mise en place et la compaction des résidus devront être réalisées avec l'aide d'un bouteur à faible pression au sol et à de faible vitesse de façon à limiter les vibrations. Il en est de même pour la mise en place des stériles miniers.

La construction par paliers successifs permettra d'acquérir des connaissances techniques pertinentes qui pourront être utilisées afin d'optimiser la configuration de l'empilement, le cas échéant. De plus, une construction par étapes permettra d'augmenter la sécurité de l'empilement. Bien qu'une augmentation des pressions interstitielles dans les sols sous-jacents ne soit pas attendue, limiter le rythme de construction assurera que toute augmentation de pression interstitielle se dissipe adéquatement. De plus, il est attendu qu'une augmentation de la résistance des sols de fondations survienne entre les périodes de construction.

Une fois la construction du premier palier terminé, ce dernier devra être recouvert d'une couche de stériles miniers d'une épaisseur approximative de 250 mm. La pente externe du palier devra tant qu'à elle être recouverte d'une couche de 500 mm de stériles miniers. Ceux-ci auront comme objectifs de réduire l'émission de poussières dans l'environnement et de limiter les risques d'érosion hydrique et la formation de sillons d'érosion.

La surface de l'empilement doit permettre un écoulement de l'eau vers l'extérieur, de façon à prévenir toute accumulation d'eau en surface. Une pente minimale de 2 % devra donc être respectée à la surface de l'empilement. Ainsi, l'élévation de la surface des résidus miniers variera d'un secteur à l'autre. La mise en place du second palier pourra être réalisée au printemps suivant, une fois la fonte du couvert de neige terminée.

Une rampe d'accès avec une pente minimale de 10H :1V et une largeur minimale de 15 m devra être construite entièrement en stérile miniers à l'extrémité ouest de l'empilement. Une berme de protection présentant une hauteur minimale de 1 m devra être construite de part et d'autre de l'accès. Cette berme de protection devra respecter les exigences minimales prescrites par la loi et les règlements en vigueur.

La mise en place des différents matériaux requis à la construction de l'empilement devrait être effectuée du nord-ouest (secteur du poste de garde) vers le sud-est (digue interne principale) afin d'assurer une gestion de l'eau de surface adéquate. La méthode de construction devra assurer que l'eau qui sera présente à la surface des résidus de la cellule n° 1 soit dirigée vers les brèches présentes dans la digue interne principale.

De plus, il est recommandé qu'un seul front d'avancement/construction initial d'une épaisseur de ± 300 mm soit utilisé afin de limiter le risque de trapper de l'eau à l'intérieur de l'empilement. Par conséquent, le sous-palier de 1,25 m devrait être construit en quatre temps.

Finalement, il est recommandé que la circulation des camions à la surface des résidus secs soit limitée le plus possible. La méthode de construction mise de l'avant devrait s'assurer à ce que les camions circulent principalement sur les stériles miniers.

Sur la base de l'information technique collectée lors de la construction du palier 1a, des recommandations pourraient être émises concernant la méthode de construction du palier 1b.

3.3 INSTRUMENTATIONS, SUIVIS ET SURVEILLANCE

Il est recommandé de conserver les puits d'observations localisés au droit des forages F-A-1-2016 et F-A-2-2016 et de relever les niveaux d'eau quotidiennement durant la construction des différents sous-paliers de l'empilement. Ces niveaux d'eau devront être enregistrés par Métanor dans un registre de type Excel et transmis à l'ingénieur concepteur sur une base quotidienne. Pour ce faire, les tubulures et le tubage de protection au F-A-1-2016 devront probablement être allongés. Par la suite, une fois la construction du premier palier de l'empilement terminée, les niveaux d'eau dans ces puits d'observation devront être relevés sur une base mensuelle, et ce, jusqu'à ce que la construction de tous les paliers de l'empilement soit finalisée.

Les différentes surfaces de l'empilement (c.-à-d. résidus miniers, stériles miniers) devront être arpentées pour fins de calcul de volume et de contrôle à la fin de chaque période de construction.

L'année suivante, avant à la construction du second palier, la surface des stériles miniers devra être arpentée. La comparaison entre les deux surfaces permettra d'établir l'ampleur des tassements et des déformations survenues durant la période « d'attente ». Cette information permettra d'optimiser et/ou d'ajuster la conception de l'empilement et possiblement la méthode de construction.

L'inspection de la surface de l'empilement et de ces pentes devra être incluse dans le programme d'inspection interne de Métanor et devra faire partie des inspections statutaires des digues réalisées annuellement par une firme externe.

3.4 PÉRIODE DE CONSTRUCTION ET ÉCHÉANCIER

La construction de l'empilement devra débuter une fois la totalité du couvert de neige fondue et qu'environ 50 % de la surface de la cellule n° 1 est exempte d'eau libre. Il est estimé que la construction du sous-palier 1a de l'empilement pourrait nécessiter une période de quatre à huit semaines, incluant la rampe d'accès.

3.5 PROGRAME D'ASSURANCE ET DE CONTRÔLE DE LA QUALITÉ (QA/QC)

Au moyen d'un nucléodensimètre adéquatement calibré, un minimum de 10 mesures journalières de la densité *in situ* des résidus mis en place dans l'empilement est requis. Les valeurs de densité *in situ* devront être comptabilisées dans un tableur Excel et fournies sur une base quotidienne à l'ingénieur concepteur. La localisation des mesures de densité devra être établie au hasard.

Comme précédemment souligné, des relevés d'arpentages seront requis une fois la construction du sous-palier complétée. Il est cependant recommandé d'effectuer des relevés d'arpentage sur une base régulière pendant les travaux de construction afin de s'assurer que les spécifications au plan sont respectées.

L'ingénieur concepteur devra effectuer, au minimum, une visite pendant la construction de l'empilement. Advenant que des problèmes techniques surviennent pendant la construction de l'empilement, les travaux devront être arrêtés et l'ingénieur concepteur devra être avisé le plus rapidement possible. Une ou des visites de chantier subséquentes pourraient être requises, le cas échéant.

Métanor devra prendre des photos des travaux de construction de l'empilement et envoyer celles-ci à l'ingénieur concepteur sur une base quotidienne.

4 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

La construction d'un empilement de résidus secs à la surface de la cellule nº 1 permettra à Métanor d'augmenter la capacité d'emmagasinement de son parc à résidus sans en augmenter son empreinte au sol. La construction d'un tel empilement représente une modification de la gestion des résidus sur le site de la mine Bachelor, qui est innovante et à faibles coûts.

Sur la base des analyses de stabilité réalisées dans le cadre du présent mandat, il est considéré que la construction d'un empilement à la surface de la cellule nº 1 est sécuritaire et présente un niveau de risque acceptable tant et aussi longtemps que le niveau d'eau dans les résidus miniers en place reste bas. Advenant que le niveau d'eau dans les résidus miniers en place augmente, des travaux de stabilisation en aval de la digue Médiane pourrait être réalisés afin d'assurer la sécurité de l'empilement et de cette digue. Il est exigé que le niveau d'eau dans les résidus miniers en place soit mesuré sur une base quotidienne pendant les travaux de construction de l'empilement et sur une base mensuelle par la suite.

De plus, il est recommandé que des travaux d'investigations complémentaires soient réalisés dans le cadre de l'étude d'augmentation de la capacité du parc à résidus miniers de la mine Bachelor. L'intégration des données collectées dans le cadre de cette investigation complémentaire au présent document permettra de confirmer la sécurité à long terme (postrestauration) de l'empilement et des digues dans le projet d'augmentation de la capacité du parc à résidus miniers de la mine Bachelor. Cette investigation devrait inclure minimalement les points suivants :

— confirmer l'hypothèse que l'horizon d'argile de faible résistance rencontré au droit de F-F-1-2016 est due au remaniement de l'argile au moment de la réalisation du sondage. Ceci pourrait se faire par la réalisation d'un forage à ± 15 m à l'ouest du F-F-1-2016;

— mesurer les pressions d'eau dans l'argile de fondation sous la digue Médiane et sous l'empilement par la modification des puits d'observations en y installant des piézomètres;

— établir si les résidus miniers sont présents dans la totalité du parement aval de la digue Médiane où seulement localisés au droit du sondage F-A-3-2016. Ceci pourrait être réalisé par forage ou par l'utilisation d'un géoradar;

— établir la position de la nappe phréatique en aval de la digue Médiane par l'ajout de deux piézomètres;

— établir l'influence qu'aura la construction de l'empilement sur les propriétés géotechniques des résidus en place et du dépôt argileux naturel sous-jacent dans la cellule nº 1, par la réalisation d'au minimum deux sondages au piézocone en 2018. Ces sondages devraient être réalisés avant la construction du palier 1b et ceux-ci devraient être réalisés à proximité des sondages CPTU-A-1-2016 et CPTU-A-4-2016 pour fins de comparaison.

Finalement, il est considéré que la situation prévalant au droit de la digue interne principale ne nécessite pas de travaux correcteurs à court terme. Cependant, il est recommandé que Métanor intègre la situation sécurité postséisme dans les travaux d'ingénierie qui seront réalisés dans le cadre de l'étude d'augmentation de la capacité du parc à résidus miniers de la mine Bachelor.

5 PERSONNEL

L'ingénierie de l'empilement fut réalisée par M. Jean-François St-Laurent. Celui-ci fut en charge de la rédaction de ce rapport qui fut révisé par Mme Mylène Sansoucy. MM. Stéphane Coté et Ben Plumridge ainsi que Mme Valérie Fortin ont participé à différentes étapes de l'ingénierie, comme les calculs de stabilité, les calculs du potentiel de liquéfaction et la révision/support technique.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

— ACSB. 1997. Tailings Commentary on the Dam Safety Guidelines.

— ACB. 2007. Recommandations de sécurité des barrages 2007.

— CNBC. 2010. *Code National du Bâtiment* - 2005. Conseil National de Recherche du Canada, NRCC, Ottawa.

— FINN, W.D.L AND WIGHTMAN, A. 2003. Ground motion amplification factors for the proposed 2005 edition of National Buiding Code of Canada1. Canadian Journal Civil Engineering, 30: 272-278.

— HYNES-GRIFFIN ET FRANKLIN. 1984. *Rationalizing the seismic coefficient method*. Waterways Experimental Station, Corps of Engineers, United States Government, 37 p.

— KRAMER, S.L. 1996. *Geotechnical Earthquake Engineering*. Prentice Hall. 653 p.

— KRAMER, S.L. 2008. *Evaluation of liquefaction hazard in Washington State*, Washington State department of Transportation, December, 2008. 314 p.

— MAKDISI, F.I., ASCE, A.M. AND SEED, H.B. 1978. *Simplified procedure for estimating dam and embankment earthquake-induce deformation*. Journal of the geotechnical engineering division. p: 849-867.

— MELO, C., & SHARMA, S. 2004 (August). *Seismic coefficients for pseudostatic slope analysis*. In Proc. 13h World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, BC, Canada (paper No. 369).

— MRN. 1997. Guide et modalités de préparation du plan et exigences générales en matière de restauration des sites miniers au Québec.

— OLSON. S. M AND STARK T.D. 2002. *Liquified strenght ratio from liquefaction flow failure case histories*. Canadian Geotechnical Journal, 39 : 629-647.

— PECK, RALPH BRAZELTON, WALTER EDMUND HANSON AND THOMAS HAMPTON THORNBURN.1974. *Foundation engineering*. Vol. 10. New York: Wiley.

— SEED, H. BOLTON. 1979. *Soil liquefaction and cyclic mobility evaluation for level ground during earthquakes*. Journal of the Geotechnical Engineering Division 105.2 (1979): 201-255.

— SÉISMES CANADA. 2014. *Hazard Calculation at site: Nyrsta*. Requested by: Jean-François St-Laurent, WSP Group - Site coordinates: 49.25° North and 79.00° West. www.seismescanada.nrcan.gc.ca, August 2014.

— STARK, TIMOTHY D. AND GHOLAMREZA MESRI. 1992. *Undrained shear strength of liquefied sands for stability analysis*. Journal of Geotechnical Engineering 118.11 (1992): 1727-1747.

— TSUCHIDA, H. 1970. *Prediction and countermeasure against the liquefaction in sand deposits.* Seminar in the Port and Harbor Research Institute, 3.1- 3.33.

— YOUD, T. L. et al. 2001. Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering.

ANNEXE

A

NOTE TECHNIQUE SUR LE DÉVERSOIR DE LA DIGUE MÉDIANE : 161-07621-00_METANOR_TECH01_HYDRAULIQUE_FINALE_170504_SIGNE.PDF

NOTE TECHNIQUE

DESTINATAIRE :	Mme Julie Raiche, coordonnatrice en environnement, Ressources Métanor
EXPÉDITEURS :	Charles Veilleux, ing., WSP Canada Inc. Jean-François St-Laurent, ing., M.Sc., WSP Canada Inc.
DATE :	4 mai 2017
OBJET :	Note technique 01 – Revue de la gestion des eaux – Parc à résidus de la mine Bachelor Ressources Métanor – Desmaraiville, Québec N/Réf. : 161-07621-00_TECH01

1. INTRODUCTION

1.1 Mise en contexte

WSP a été mandatée par Ressources Métanor afin d'apporter des recommandations en lien avec le déversoir de la digue Médiane, son canal de fuite, ainsi que sur la gestion des eaux du bassin d'accumulation.

1.2 Objectifs du document

Les objectifs de cet ouvrage sont les suivants :

- → Présenter les documents consultés pour mener à terme l'analyse hydraulique du bassin d'accumulation adjacent au parc à résidus.
- → Déterminer si des analyses hydrauliques supplémentaires sont nécessaires afin de satisfaire les exigences ministérielles au niveau de la revanche, du déversoir d'urgence et du canal de fuite du bassin d'accumulation adjacent au parc à résidus.

2. DOCUMENTATION CONSULTÉE

Le tableau 2-1 présente les différents ouvrages en lien avec la construction du parc à résidus consultés dans le cadre de cette étude.

Tableau 2-1 Documentation consultée

IDENTIFICATION	RÉFÉRENCE
1	AMEC, Inspection statutaire 2015, Parc à résidus – Mine du lac Bachelor, TX15012903-RMR-0001-A, p. 8 + annexes
2	Golder et Associés Ltée, 2007, Étude géotechnique et hydrogéologique et conception du parc à résidus de la mine du lac Bachelor Desmaraisville, Québec, p. 48 + annexes
3	Carte vue en plan du parc à résidus, Ressources Métanor, 2016-05-19
4	AMEC, 2011, Note technique, Vérification et suivi du plan de remplissage – Analyse de stabilité, TX11158403, p. 5 + annexes
5	AMEC, 2011, Note technique, Vérification et suivi du plan de remplissage, TX11158403, p. 4
6	AMEC, 2012, Parc à résidus miniers – Lac Bachelor – Rehaussement de la digue ouest coupe typique, Pour construction
7	AMEC, 2012, Parc à résidus miniers – Lac Bachelor – Rehaussement de la digue médiane coupe typique, Pour construction
8	AMEC, 2012, Parc à résidus miniers – Lac Bachelor Détails du déversoir d'urgence, Pour construction
9	GHD, 2017, Investigation géotechnique – Rehaussement de la cellule nº 1 du parc à résidus Mine Bachelor, p. 18 + annexes
10	AMEC, 2015, Planification quinquennale – Mine Bachelor, Québec, TX15012903-1000-RGE-0001-A, p. 22 + annexes
11	Services Envirosynergie, 2017, Note technique – Modification du certificat d'autorisation d'exploitation et de traitement du minerai du site minier Bachelor du 4 juillet 2012 – Condition #3, p. 3

3. MÉTHODOLOGIE

La présente analyse des documents fut réalisée afin d'assurer que les ouvrages d'évacuation présents sur le site de la mine Bachelor respectent la réglementation vigueur (Directive 019) ainsi que les règles de l'art (Association canadienne des barrages (ACB), Association minière du canada (AMC), ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports du Québec (MTMDET)) applicables pour les ouvrages de retenue d'eau.

Pour ce faire, la totalité des documents listés ci-dessus a été consultée et l'information présentée a été comparée aux critères applicables (voir tableau 3-1 ci-après).

Tableau 3-1 Critères applicables en vigueur pour la conception du parc à résidus

CRITÈRE	VALEUR	EXPLICATION	SOURCE
Récurrence crue de conception parc à résidus	1 : 200 ans	Résidus cyanurés	Directive 019
Récurrence déversoir et canal de fuite du parc à résidus	Crue maximale probable (CMP)	Critère en vigueur pour les déversoirs d'ouvrages avec retenue d'eau permanente	Directive 019
Calibre d'empierrement de protection pour le déversoir et canal de fuite	Selon vitesse anticipée dans le canal	Protection contre l'érosion du canal	Manuel conception des ponceaux MTMDET
Intensité de la crue maximale probable (CMP) calculée au moyen de la pluie maximale probable (PMP)	Valeur la plus importante entre la CMP été-automne ou la CMP printanière	Détermination de la crue la plus importante pour la conception au moyen d'étude statistique	Méthode fournie par l'Association canadienne des barrages (ACB)
Revanche entre niveau d'eau de la crue de conception en fonction de l'élévation de la crête de la digue	Min. entre 1 et 1,5 m	Critère en vigueur pour les déversoirs d'ouvrages avec retenue d'eau permanente	Directive 019

La figure 1 présentée à l'annexe 1 résume, dans un cas typique, les différents niveaux d'eau à considérer lors de la conception ainsi que l'élévation requise pour la revanche et le seuil du déversoir d'urgence. En effet, conformément à la Directive 019, la digue doit être en mesure de contenir la totalité de la crue de conception sans qu'il n'y ait de débordement en crête. Ce niveau d'eau, associé à la crue de conception (dans ce cas-ci 1 : 2 000 ans), correspond donc au niveau de la crue de projet sur la figure 1. Le niveau du seuil du déversoir doit être au minimum équivalent à ce dernier ou supérieur afin de laisser s'écouler la CMP sans occasionner de débordement en crête. Le seuil de la crête de la digue, quant à lui, doit être fixé de sorte à avoir au moins 1 mètre de revanche en tout temps entre le niveau de la crue de projet et ce dernier. Ainsi, le déversoir qui doit être compris dans la revanche et le niveau d'eau lors de la CMP doit être inférieur à l'élévation maximale de la crête. Son rôle est de canaliser le débit excédentaire provenant d'une crue supérieure à celle de conception et ainsi éviter un débordement en crête non contrôlé pouvant mener jusqu'à une rupture du barrage. *« Un déversoir d'urgence doit être aménagé afin de pouvoir évacuer de façon sécuritaire une crue maximale probable, tout en évitant que l'intégrité de l'ouvrage de rétention soit affectée. »* Les niveaux de conception propres à la digue médiane du parc à résidus de la mine Bachelor se trouvent au tableau 3-2.

Tableau 3-2 : Niveaux clés du parc à résidus

NIVEAU MAXIMAL D'EXPLOITATION	NIVEAU DE LA CRUE DE PROJET	NIVEAU AUTORISÉ DU DÉVERSOIR D'URGENCE	NIVEAU ACTUEL DU DÉVERSOIR D'URGENCE	NIVEAU DE LA CRÊTE DE LA DIGUE
329,7 m	329,7 m	330,0 m	330,4 m	331,0 m

4. REVUE DE LA DOCUMENTATION

4.1 Période de retour des ouvrages de gestion des eaux

4.1.1 Capacité de rétention de la crue de conception dans le bassin d'accumulation

Conformément à la Directive 019 sur l'industrie minière au Québec, les ouvrages de rétention avec retenue d'eau sont conçus selon une crue de projet d'une récurrence 1 : 2 000 ans dans le cas, entre autres, d'une aire d'accumulation de résidus cyanurés. Le procédé de séparation de l'or de la mine Bachelor utilise du cyanure, faisant en sorte qu'il s'en retrouve en une certaine concentration dans le parc à résidus. Les critères de conception du parc à résidus miniers de la mine Bachelor et de son déversoir d'urgence sont tirés du document *AMEC, 2015, Planification quinquennale [10]*, et doivent être choisis en fonction de cette situation comme le présentent les tableaux 4-1 et 4-2.

Tableau 4-1 Paramètres de conception du parc à résidus – Mine Bachelor (selon AMEC, 2015)

RÉCURRENCE DE LA CRUE DE CONCEPTION (-)	SUPERFICIE DU PARC (ha)	PRÉCIPITATIONS (MOYENNE DES STATIONS À PROXIMITÉ) (mm)	FONTE DE NEIGE 100 ANS (ÉQUIVALENT EN EAU) (mm)
1 : 2 000 ans	51	124	379

Tableau 4-2 Paramètres de conception du déversoir et du canal de fuite parc à résidus – Mine Bachelor (selon AMEC, 2015)

RÉCURRENCE DE LA CRUE DE CONCEPTION (-)	SUPERFICIE DU PARC (HA)	PRÉCIPITATIONS (MOYENNE DES STATIONS À PROXIMITÉ) (MM)	FONTE DE NEIGE 100 ANS (ÉQUIVALENT EN EAU) (MM)	FONTE DE NEIGE EXTRÊME (ÉQUIVALENT EN EAU) (MM)	CRUE DE CONCEPTION (PMP COMBINÉE À LA FONTE DE NEIGE SUR 24 H) (MM)	COEFFICIENT DE RUISSELLEMENT (-)
CMP	51	225	379	689	248	0,95

Tel qu'il est possible de le constater, la crue de conception mise de l'avant par AMEC respecte les critères de la Directive 019.

4.1.2 Capacité d'évacuation du déversoir d'urgence et canal de fuite du bassin d'accumulation

Toujours selon la Directive 019, le déversoir d'urgence doit être en mesure « d'évacuer de façon sécuritaire la crue maximale probable, tout en évitant que l'intégrité de l'ouvrage de rétention soit affectée ». Le rapport AMEC (2015) présente certains détails de calculs qui ont mené à la conception du déversoir ainsi que de son canal d'évacuation. AMEC établit que la pluie maximale probable (PMP) combinée à la fonte d'un couvert de neige d'une récurrence 1 : 100 ans fondant en 30 jours représentait la crue maximale probable (CMP) applicable pour le site de Mine Bachelor. Toutefois, selon l'ACB, le fait d'utiliser la PMP ne mène pas nécessairement à la génération de la CMP. Toujours selon l'ACB, deux approches sont possibles afin de déterminer la CMP selon la période de l'année, soit :

→ La CMP été-automne générée par la PMP survenant à l'été ou à l''automne.

→ La CMP printanière qui se définit comme le pire cas entre les deux situations suivantes :

- CMP calculée avec la combinaison d'une PMP survenant au printemps combinée à la fonte d'une accumulation de neige de récurrence 1 : 100 ans;
- CMP calculée à partir de la fonte de l'accumulation maximale probable de neige jumelée à une averse d'une période de retour 1 : 100 ans.

La méthodologie présentée dans le rapport d'AMEC (2015) est la combinaison de la PMP et de la fonte moyenne en 30 jours du couvert de neige extrême. Celle méthode correspond donc à une situation plus critique que celle proposée par l'ACB. Toutefois, les données pour la PMP été-automne présentées dans le rapport *Estimation des conditions hydrométéorologiques conduisant aux crues maximales probables (CMP) au Québec* réalisé par la firme SNC-Lavalin en partenariat avec le Centre d'expertise hydrique du Québec (SNC-Lavalin, 2003) suggère qu'une PMP été-automne pour le secteur de la mine Bachelor serait d'environ 345 mm, soit ± 97 mm supérieurs au cas proposé dans le rapport d'AMEC. Cette augmentation pourrait se traduire en une crue maximale probable (CMP) supérieure à celle décrite dans les documents d'AMEC. Les dimensions du déversoir d'urgence proposées pourraient alors être insuffisantes pour évacuer le débit révisé causant de ce fait un possible débordement en crête. Ressources Métanor doit établir si une révision du calcul de la CMP est requise pour son site du Lac Bachelor.

4.2 Conception théorique du déversoir d'urgence et du canal de fuite du bassin d'accumulation

Le plan *AMEC, 2012, Parc à résidus miniers – Lac Bachelor Détails du déversoir d'urgence, Pour construction [8]* présente la section d'écoulement proposée du déversoir d'urgence permettant d'évacuer un débit de 13 m³/s, constituant toujours selon AMEC le débit associé à la CMP (voir caractéristiques au tableau 4-3).

Tableau 4-3 Caractéristiques du déversoir d'urgence

DÉBIT A ÉVACUER	LARGEUR AU FOND	PENTE DE LA SECTION	HAUTEUR D'ÉCOULEMENT DISPONIBLE
13 m³/s	3 m	8H : 1V	1 m

Une vérification de la section d'écoulement réalisée dans le cadre de ce mandat avec le logiciel HEC-RAS a permis de confirmer que la section d'écoulement théorique, telle que proposée par AMEC, est suffisante pour évacuer de façon sécuritaire un débit de 13 m³/s. Toutefois, il est à noter qu'aucun relevé du déversoir et de son canal d'évacuation n'est disponible. Il est par conséquent impossible de statuer sur le fait que le déversoir et son canal d'évacuation tels que construits permettent d'évacuer un débit de 13 m³/s. Si Ressources Métanor désire procéder à une révision du débit de conception du déversoir en fonction de la modification de la quantité de pluie associée à la PMP tel que présenté à la section 4.1.2, la validation des dimensions du déversoir d'urgence devra être revue.

4.3 Empierrement de protection contre l'érosion dans le déversoir et canal de fuite

L'empierrement mis en place à l'intérieur du déversoir et de son canal d'évacuation est fonction de la vitesse d'écoulement à l'intérieur de ceux-ci. Le rapport de conception d'AMEC (2015) suggère que la vitesse d'écoulement sera de 3,5 m/s lors de l'évacuation du 13 m^2/s et qu'un perré de calibre 100-300 mm serait requis. Cependant, selon les chartes du manuel de conception des ponceaux du MTMDET, l'enrochement prévu pour une telle vitesse d'écoulement de 3,5 m/s devrait plutôt être de l'ordre de 300-500 mm avec un D_{50} de 400 mm.

4.4 Note technique – Service Envirosynergie

La note technique émise par la firme Envirosynergie [11] suggère que, selon les conditions actuelles relevées à l'hiver 2017, le niveau d'eau dans le bassin d'accumulation serait supérieur à celui prescrit dans la condition nº 3 de la demande de certificat d'autorisation d'exploitation datée du 4 juillet 2012.

De plus, Envirosynergie effectua une étude hydrologique permettant d'établir le volume d'emmagasinement possible du bassin d'accumulation (voir tableau 4-4) pour le printemps 2017.

Tableau 4-4 Résultat de l'étude hydrologique du parc à résidus de la mine Bachelor (selon Envirosynergie, 2017)

NIVEAU D'EAU AU PARC À RÉSIDUS EN DATE DU 1ER MARS 2017	VOLUME DISPONIBLE ESTIMÉ EN DATE DU 1ER MARS 2017	VOLUME PRÉVU À EMMAGASINER JUSQU'AU 1ER JUILLET 2017	VOLUME DISPONIBLE ESTIMÉ AU 1ER JUILLET 2017	VOLUME DE CRUE ESTIMÉ DE LA CRUE DE CONCEPTION 1 : 2 000 ANS
328,6 m	391 439 m^3	273 345 m^3	118 094 m^3	123 076 m^3

Les volumes présentés dans ce document sont estimés sur la base des statistiques faisant référence aux données réelles de précipitations des deux ou trois dernières années selon Environnement Canada. Le volume estimé de la crue de conception provient quant à lui de l'étude hydrologique d'AMEC. Tel que stipulé par Envirosynergie « *advenant un évènement 1 dans 2 000 ans de pluie, qui consiste à 124 mm de précipitations en 24 heures, un débordement pourrait avoir lieu d'environ 4 982 m^3* », ce qui contreviendrait à la prescription de la Directive 019 indiquant que « *les ouvrages de rétention avec retenue d'eau doivent pouvoir contenir une crue de projet.* »

Afin d'empêcher un débordement, Envirosynergie recommande de mettre en place un système de traitement temporaire pour le printemps 2017. Cependant, il est à noter que sur le schéma proposé, le système de séparation solide – liquide est sur le canal de fuite du déversoir d'urgence. La configuration telle que proposée devra être revue afin de ne pas obstruer cette infrastructure.

5 RECOMMANDATIONS ET CONCLUSIONS

À la suite de la réalisation de la présente étude, il est recommandé d'effectuer une étude hydrologique menant au calcul de la CMP selon les critères énumérés précédemment afin de se conformer aux bonnes pratiques de l'ACB tout en s'appuyant sur le rapport d'estimation de crue de la firme SNC-Lavalin. Ceci ayant pour but de valider que le débit annoncé de la crue maximale probable évalué à 13 m³/s est toujours valide et approprié. Advenant qu'un débit supérieur soit identifié, des modifications à la section du déversoir d'urgence et de son canal de fuite seront requises.

Un relevé d'arpentage du déversoir et de son canal de fuite doit être réalisé au printemps 2017, une fois que la totalité du couvert de neige sera fondue, afin de valider que les dimensions au terrain sont bien en mesure d'évacuer la CMP. Si ce n'est pas le cas, des travaux correcteurs seront alors nécessaires.

De plus, une validation au terrain devra être réalisée pour confirmer qu'aucun point bas n'est présent dans le secteur du déversoir et de son canal de fuite, et ce, afin d'assurer une gestion des eaux adéquate. Advenant qu'un évènement de pluie extrême survienne, il est primordial de s'assurer que le talus aval et le pied de la digue ne soient pas érodés.

Advenant qu'aucune modification aux sections d'écoulement ne soit requise, un empierrement respectant les recommandations du MTMDET devra être mis en place au droit du déversoir d'urgence et de son canal de fuite.

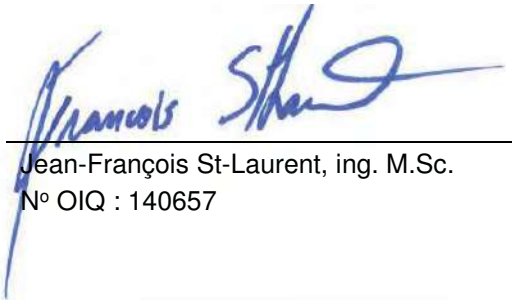
Finalement, selon les chiffres annoncés par la firme Envirosynergie, il semblerait qu'un débordement d'eau contaminée vers l'environnement pourrait survenir sur le site de la mine Bachelor au printemps 2017 si certaines situations hydrauliques surviennent. Selon la D019, un tel débordement suivant une crue de conception (c.-à-d. 1 : 2 000 ans) ne devrait pas survenir; le bassin d'accumulation devrait être en mesure de contenir 100 % de la crue de conception sans débordement comme mentionné à la section 3. Il est donc recommandé à Ressources Métanor d'effectuer une révision de la méthodologie de la gestion d'eau du bassin d'accumulation pour les années à venir et d'abaisser le niveau d'eau selon les élévations prescrites à la condition #3 dans la demande de certificat d'autorisation afin de s'assurer qu'une telle situation ne se produise plus dans le futur. Également, une revue de données statistiques avec un plus grand échantillon (20 dernières années minimum) permettrait d'avoir une meilleure estimation du possible débordement de la crue printanière 2017 avant la remise en fonction du système de traitement.

Préparée par :

2017-05-04

Charles Veilleux, ing.
N° OIQ : 5 038 360

Vérifiée par :



Jean-François St-Laurent, ing. M.Sc.
N° OIQ : 140657

RÉFÉRENCES

ENVIRONNEMENT CANADA, 2016. Consulté en ligne : http://climat.meteo.gc.ca/prods_servs/engineering_f.html

MDDEP, 2012. *Directive 019 sur l'industrie minière*, mars 2012.

MDDEP ET MINISTÈRE DES AFFAIRES MUNICIPALES, DES RÉGIONS ET DE L'OCCUPATION DU TERRITOIRE (MAMROT), 2012. *Guide de gestion des eaux pluviales*.

MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC, 2013. *Manuel de conception des ponceaux*, révision 3, mai 2013.

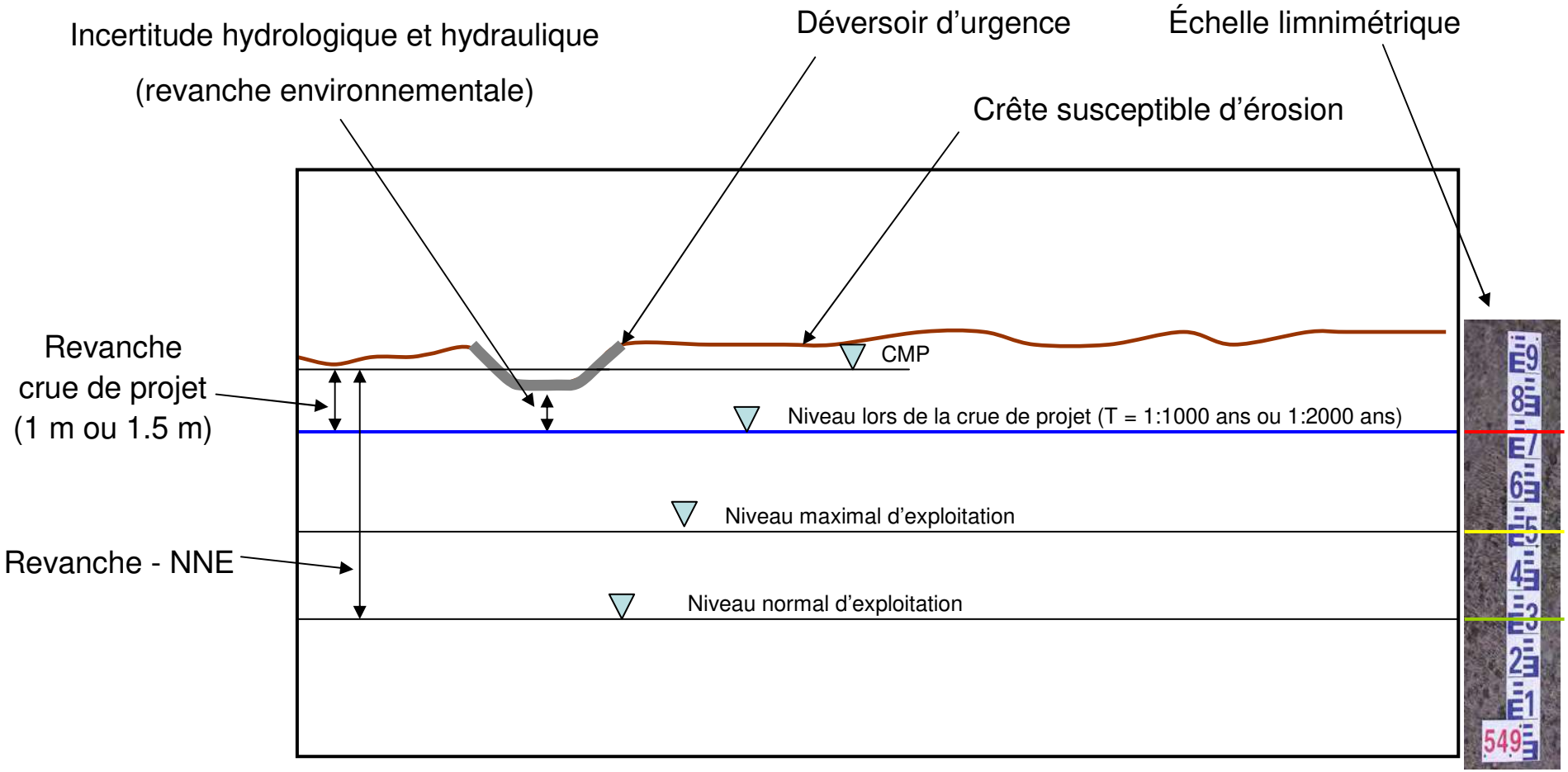
SNC-LAVALIN, 2003. *Estimation des conditions hydrométéorologiques conduisant aux crues maximales probables (CMP) au Québec,*

ANNEXE 1

Figure 1

DIRECTIVE 019

Schéma



Revanche : Distance entre le point le plus bas de la crête d'une digue susceptible à l'érosion et le niveau d'eau atteint lors de la crue de projet.

ANNEXE 2

Reportage photographique

Photo 1 Déversoir d'urgence et canal de fuite dont les dimensions sont à confirmer au terrain.

Photo 2 Perré de protection mis en place dans le canal de fuite.

ANNEXE

B

NOTE TECHNIQUE SUR LE TASSEMENT DE LA DIGUE MÉDIANE : 161-07621-00_METANOR_TECH02_TASSEMENTS_20170515_SIGN.PDF

NOTE TECHNIQUE 02

DESTINATAIRE(S) :	Mme Julie Raiche, coordonnatrice en environnement Ressources Métanor
EXPÉDITEUR :	Jean-François St-Laurent, ing., M.Sc., WSP Canada Inc. Mylène Sansoucy, ing., M.Sc., WSP Canada Inc.
DATE :	15 mai 2017
OBJET :	Note technique 02 – Étude de l'affaissement de la digue Médiane à la jonction avec la digue interne principale Ressources Métanor – Desmaraiville, Québec N/Réf. : 161-07621-00_TECH02

1. INTRODUCTION

1.1 Mise en contexte

À la suite de à la réalisation en 2016 de l'inspection statuaire des digues du parc à résidus de la mine Bachelor, il avait été recommandé d'effectuer une investigation géotechnique afin d'établir l'origine de l'affaissement identifié sur la digue Médiane près de la jonction avec la digue interne principale et si des mesures correctrices devaient être mises en place afin d'assurer la sécurité de l'ouvrage.

Une investigation géotechnique fut complétée par GHD à l'automne 2016 (GHD, 2017) sous la supervision et la coordination de WSP. Cette investigation géotechnique avait pour objectif d'acquérir de l'information géotechnique sur les différentes digues de retenue du parc à résidus de la mine Bachelor. Cette investigation a par le fait même permis d'acquérir de l'information géotechnique sur les sols naturels présents sous l'aire d'accumulation des résidus miniers ainsi que sur les rejets miniers (c.-à-d. : résidus et stériles) produits sur le site.

Cette information a été utilisée afin d'établir si des mesures correctrices devaient être mises en place au droit du secteur présentant un affaissement sur la digue Médiane.

1.2 Objectifs du document

Les objectifs du présent document sont les suivants :

- → Présenter les documents consultés pour mener à terme la présente étude;
- → Déterminer si des travaux correcteurs sont nécessaires afin d'assurer la sécurité de la digue Médiane et afin de satisfaire les exigences ministérielles et opérationnelles au niveau de la revanche minimale à respecter entre la surface des résidus miniers et la crête de la digue.

2. DOCUMENTATION CONSULTEE

Le tableau 1 présente les différents ouvrages en lien avec la construction du parc à résidus consultés dans le cadre de cette étude.

Tableau 1 Documentation consultée

IDENTIFICATION	REFERENCE
1	AMEC, Inspection statutaire 2015, Parc à résidus – Mine du lac Bachelor, TX15012903-RMR-0001-A, p. 8 + annexes
2	Golder et Associés Ltée, 2007, Étude géotechnique et hydrogéologique et conception du parc à résidus de la mine du lac Bachelor Desmaraisville, Québec, p. 48 + annexes
3	WSP, 2016. *Rapport d'inspection statutaire du parc à résidus du lac Bachelor, 2016.* Rapport produit pour Ressources Métanor Inc. 19 pages et annexes.
4	AMEC, 2011, Note technique, Vérification et suivi du plan de remplissage – Analyse de stabilité, TX11158403, p. 5 + annexes
5	AMEC, 2011, Note technique, Vérification et suivi du plan de remplissage, TX11158403, p. 4
6	AMEC, 2012, Parc à résidus miniers – Lac Bachelor – Rehaussement de la digue ouest coupe typique, Pour construction
7	AMEC, 2012, Parc à résidus miniers – Lac Bachelor – Rehaussement de la digue médiane coupe typique, Pour construction
9	GHD, 2017, Investigation géotechnique – Rehaussement de la cellule n° 1 du parc à résidus Mine Bachelor, p. 18 + annexes
10	AMEC, 2015, Planification quinquennale – Mine Bachelor, Québec, TX15012903-1000-RGE-0001-A, p. 22 + annexes
11	Services Envirosynergie, 2017, Note technique – Modification du certificat d'autorisation d'exploitation et de traitement du minerai du site minier Bachelor du 4 juillet 2012 – Condition #3, p. 3
12	Leroueil et al. 1985. Remblais sur les argiles molles. 342 pages.
13	Bowles, J.E., 1984. Physical and geotechnical properties of soils. Second Edition. 578 p.

3. MÉTHODOLOGIE

L'analyse des documents présentés ci-dessus fut réalisée afin d'acquérir le maximum d'information possible sur la conception et la construction de la digue Médiane, ainsi que sur les propriétés géotechniques des matériaux la constituant et sous-jacents à celle-ci.

Par la suite, l'information fut analysée afin d'établir si un phénomène géotechnique, tel que la consolidation des sols naturels sous-jacents ou la compaction des matériaux composant la digue, pouvait expliquer l'affaissement de la crête de la digue Médiane et/ou impacter la stabilité de l'ouvrage. Par la suite, des recommandations et des conclusions ont été émises.

4. REVUE DOCUMENTATION

4.1 Ingénierie de la digue Médiane

Sur la base du document 7 mentionné ci-dessus, il semblerait que la digue Médiane soit composée principalement d'enrochement (stériles miniers) sans spécification particulière. Une membrane de PEHD d'une épaisseur de 1 mm serait présente sur le parement aval de digue et serait protégée par une couche de 300 mm de sable et gravier. Par la suite, un enrochement d'un diamètre de 100-300 mm serait utilisé comme « rip-rap » contre l'érosion sur le parement aval de la digue.

Lors de la visite d'inspection statutaire de 2016 (WSP, 2016), la présence de la géomembrane, de la couche de protection en sable et gravier et de l'enrochement de protection sur le parement aval de la digue fut visuellement confirmée. De plus, les forages F-A-2-2016 et F-F-1-2016 réalisés par GHD (GHD, 2017) confirment que la matrice de la digue est constituée de matériaux granulaires de type sable et gravier. Cette information contredit le plan d'AMEC (AMEC, 2012), indiquant que des stériles miniers composeraient la matrice de la digue. La description des sols rencontrés au droit des forages de 2016 permet aussi d'identifier les travaux de rehaussement de la digue Médiane.

Une berme est présente au pied aval de la digue médiane. L'information obtenue par la réalisation du sondage F-A-3-2016 suggère que la berme est constituée d'une couche de stériles miniers, d'une épaisseur approximative de 0,76 m, déposée sur des résidus miniers. Les résidus miniers au droit du sondage F-A-3-2016 ont une épaisseur approximative de 2,30 m et reposent directement sur les sols naturels. L'épaisseur d'argile rencontrée dans ce secteur est de 3,5 m. L'information présentée dans le document 4, mentionné au tableau 1, indique que la construction de cette berme, de 13 m de largeur, d'une épaisseur de 1,5 m et localisée au pied aval de la digue Médiane, était requise pour que celle-ci présente les coefficients de sécurité minimaux pour respecter les exigences ministérielles. Cependant, le document d'AMEC suggère que la totalité de la berme est construite de stériles miniers, ce qui va à l'encontre de l'information obtenue par la réalisation du sondage F-A-3-2016. Considérant l'information présentée dans le document de Golder, il se pourrait bien que l'information recueillie au droit du sondage F-A-3-2106 ne soit pas représentative de la totalité de la stratigraphie de la berme. Il est jugé qu'une section présentant un horizon de résidus est plus conservatrice; pour cette raison, l'information présentée par GHD sera utilisée dans le cadre du présent mandat.

La crête de la digue Médiane est utilisée comme chemin d'accès à l'usine de pompage et au système de traitement. Des poteaux électriques ont été mis en place sur la berme en pied de digue.

L'information présentée dans le document 2 mentionné au tableau 1 suggère qu'une jetée était présente dans le parc à résidus en 2007. L'image présentée dans le rapport de Golder n'étant pas de très bonne qualité, il est difficile d'identifier avec précision la localisation de cette jetée. Cependant, tout porte à croire que l'extrémité ouest de la digue Médiane fut construite par-dessus celle-ci. La présence de cailloux dans la cuillère fendue CF06 du forage F-A-2-2016 et l'augmentation de l'indice de pénétration à une profondeur de 4 à 5 m peut être interprétée comme étant la jetée.

Selon le certificat d'autorisation (CA) régissant l'opération du parc à résidus, une revanche minimale de 0,45 m entre la surface des résidus miniers et la crête de la digue doit être respectée en tout temps.

4.2 Propriété géotechnique des matériaux

Une copie de l'information extraite des rapports géotechniques de GHD et Golder est fournie à l'annexe 1 du présent document ainsi qu'une carte de localisation des sondages, afin d'aider le lecteur dans sa compréhension. Cependant, le lecteur doit se référer aux documents originaux de GHD et Golder afin d'en saisir et comprendre la portée et les limitations.

Les indices de pénétration corrigés (indice N*) calculés au droit des forages F-A-2-2016 et F-F-1-2016 suggèrent que la densité en place du sable et gravier, constituant la digue Médiane, est similaire aux deux localisations, soit de lâche à médium. Comme il est possible de le constater, les indices N* suggèrent que la partie supérieure du remblai au droit du forage F-F-1-2016 est moins dense qu'au forage F-A-2-2016. De plus, à une profondeur approximative de 4,0 m, le même phénomène est observable; il y a une différence de ± 10 entre les valeurs de l'indice N* de ces deux localisations.

Sur la base des indices de pénétration obtenus, l'angle de friction estimé pour ce matériau devrait se situer entre 25 et 36° et le poids volumique pour ce dernier devrait se situer entre 12 et 18 kN/m³ (Bowles, 1984). Par conséquent, les paramètres suivants ont été utilisés : angle de friction de 30° et poids volumique de 17,5 kN/m³.

La couche superficielle présente sur la digue Médiane et sa berme est constituée de stériles miniers. Les indices de pénétration corrigés (indice N*) calculés au droit des forages réalisés sur la digue Médiane et sa berme sont de 5 à 10, suggérant que la densité en place de ce matériau est lâche. Sur la base des indices de pénétration, l'angle de friction estimé pour ce matériau devrait se situer entre 25 et 32° et le poids volumique pour ce dernier devrait se situer entre 12 et 16 kN/m³ (Bowles, 1984). Les essais de laboratoire ont permis d'établir un poids volumique maximal des stériles miniers pouvant être atteint selon l'essai Proctor normal, qui serait de l'ordre de 23 kN/m³, ce qui est supérieur aux valeurs présentées par Bowles. Bien qu'il fut établi que la densité relative du remblai constituant la partie supérieure de la digue Médiane et de sa berme se situe entre 15 et 35 % de la valeur maximale[1], sur la base des indices N, un poids volumique de 19 kN/m³ (voir note 2 en bas de page) fut utilisée afin d'être consistant entre les différentes analyses de stabilité réalisées à ce jour sur le site de Métanor. Afin de s'assurer que la valeur de poids volumique utilisée était conservatrice, une étude de sensibilité fut réalisée. Le résultat de cette étude est présenté à l'annexe 2 de cette note technique.

La réalisation d'un essai de cisaillement direct a permis d'établir que l'angle de friction du stérile minier serait de 52°. Cette dernière valeur est considérée comme étant particulièrement élevée et jugée comme étant non conservatrice. Ainsi, un angle de friction de 35° fut utilisé pour les stériles miniers, ce qui est consistant avec les études précédentes.

1 Ce qui constitue un poids volumique se situant entre 8 et 15,4 kN/m³.
2 Ce qui correspond à une densité relative de 82 %, soit supérieure à ce qui fut mesuré au chantier.

Pour ce qui est du dépôt de résidus miniers identifié dans la berme, les indices de pénétration corrigés (indice N*) calculés au droit du forage F-A-3-2016 suggèrent que la densité en place de ce matériau varie de 4 à 7, ce qui laisse croire que leur densité relative est qualifiée de lâche. Sur la base des indices de pénétration obtenus, l'angle de friction estimé pour ce matériau devrait se situer entre 25 et 32° et le poids volumique pour ce dernier devrait se situer entre 12 et 16 kN/m³ (Bowles, 1984).

Les essais de laboratoire ont permis d'établir un poids volumique maximal des résidus miniers, pouvant être atteint par la réalisation de l'essai Proctor normal, lequel serait de l'ordre de 16 kN/m³. Cette valeur correspond à la barquette supérieure présentée par Bowles. La réalisation d'un essai de cisaillement direct et triaxial a permis d'établir que l'angle de friction de ce matériau serait de l'ordre de 38° en compression et de 25° en cisaillement. Par conséquent, les paramètres suivants ont été utilisés dans le cadre du présent mandat :

- → Angle de friction de 28°. Ce qui est considéré comme conservateur si on tient compte des données de laboratoire et de celles présentées dans la littérature. De plus, cette valeur est consistante avec l'information présentée dans les rapports cités précédemment.
- → Poids volumique approximatif de 16 kN/m³. Bien que cette valeur soit inférieure à celle utilisée dans le cadre des analyses de stabilité réalisées sur le site de Métanor, elle est considérée plus représentative que le 20 kN/m³ utilisé par le passé. L'interprétation des données disponibles (GHD, 2017) suggère que l'indice des vides in situ des résidus serait de l'ordre de l'ordre de 0,76, ce qui correspond à une densité in situ de 1 589 kg/m³.

Il est à noter qu'aucune distinction entre les résidus localisés dans la berme et ceux localisés en amont de la digue Médiane ne fut réalisée.

La digue Médiane est construite sur un dépôt d'argile silteuse varvée, avec traces de sable, de couleur grise, saturée et de consistance raide à molle. Les profils de résistance non drainée (C_u) obtenus sur le chantier et en laboratoire sont présentés à l'annexe 1. Tel qu'il est possible de le constater, une valeur de résistance non drainée d'environ 15 kPa fut mesurée au droit du forage F-F-1-2016 (c.-à-d. : où l'affaissement est visible) à une profondeur de ± 12 m. Cette valeur diffère grandement de celles obtenues 1 m plus haut et plus bas et de celles des forages F-A-2-2016 et F-A-3-2016. De plus, cette valeur de 16 kPa est environ 4,5 fois inférieure à la résistance non drainée mesurée en laboratoire, pour l'échantillon collecté à cette même profondeur, qui est de ± 73 kPa.

Sur la base de l'information disponible, il est probable que cette valeur de ± 16 kPa représente une résistance remaniée pour les raisons suivantes :

- → l'information récoltée au droit du forage F-A-2-2016 est fortement similaire à celle récoltée au forage F-F-1-2016, à l'exception de cette valeur de ± 16 kPa;
- → la valeur de 16 kPa se situe entre deux valeurs de résistance supérieures à 30 kPa;
- → la résistance non drainée de laboratoire de l'échantillon TM-16[3], considéré comme étant non remanié, est de ± 73 kPa, ce qui est plus de 4 fois supérieur;

3 TM-16 = Tube Mince 16, échantillonné à une profondeur de 11,63 à 11,78 m à quelques mètres de distance du F-F-1-2016.

→ bien qu'il soit impossible de faire une correspondance exacte entre les données de 2007 et celles de 2016, l'hypothèse suivante peut-être émise :

> *La résistance non drainée de l'argile située à une profondeur de 3,5 m sous la croute était d'environ 16 kPa en 2007. La construction de la digue Médiane a nécessairement engendré la consolidation du dépôt argileux. Une telle consolidation s'accompagne normalement d'une augmentation de la résistance non drainée de l'argile. Les C_u supérieurs à 30 kPa mesurés en 2016 suggèrent qu'une telle augmentation a bel et bien eu lieu lorsque les valeurs mesurées en 2007 et 2016 dans le même secteur sont comparées. Par conséquent, l'obtention d'une résistance de 16 kPa entre deux valeurs de ± 30 et 48 kPa suggère que le dépôt argileux a pu être remanié lors de l'étape de forage ou d'insertion du scissomètre.*

Bien que cette valeur soit considérée comme étant une valeur remaniée, l'impact sur la stabilité de la digue Médiane d'une zone présentant une telle résistance fut étudié.

Tel que présenté par Leroueil et al. (1985), la résistance mobilisable à la rupture (τ_f) diffère de celle mesurée sur le terrain telle qu'établie par Bjerrum. Ainsi, un coefficient μ de 0,94 fut utilisé afin d'établir la résistance non drainée mobilisable devant être utilisée pour les calculs de stabilité. De cette façon, une résistance mobilisable de 20 kPa fut appliquée à la totalité du dépôt à l'exception d'un horizon, où une résistance de 15 kPa fut utilisée.

De plus, l'essai de consolidation réalisé sur l'échantillon TM-14[4] indique que l'argile serait normalement consolidée au droit du sondage F-F-1-2016. La contrainte de préconsolidation (σ'_p) de l'échantillon TM-14 est estimée à 109 kPa. Cet essai a permis d'établir un indice de compression (C_c) de 0,42, ce qui est en accord avec Leroueil et al. (1985) et Bowles (1984).

L'indice de plasticité de l'argile située sous la digue Médiane suggère que l'angle de frottement à long terme de ce matériau serait de l'ordre de 26° à 33° selon Leroueil et al. (1985). Ainsi une valeur de 26° fut établie comme étant conservatrice. Il est à noter que l'information disponible ne permet pas d'établir la cohésion à long terme qui sera présente dans le dépôt d'argile. Une valeur de 0 kPa fut donc retenue.

Le poids volumique mesuré en laboratoire pour le dépôt d'argile est de l'ordre de 16 kN/m³, ce qui correspond à la limite inférieure de ce type de matériau telle qu'identifiée par Bowles (1984).

4.3 Prédiction du comportement à long terme et analyse de stabilité

Sur la base de l'information disponible, il est possible d'estimer que la contrainte verticale effective (σ'_v) à une profondeur approximative de 10 m[5] au forage F-F-1-2016 est de l'ordre de 110 à 160 kPa selon les hypothèses posées. Cette contrainte verticale est approximativement de 20 à 50 kPa supérieure à la contrainte de préconsolidation (σ'_p) de l'argile telle que mesurée en laboratoire sur l'échantillon TM-14. Cette différence fait en sorte que l'argile au droit du sondage F-F-1-2016 est en processus de consolidation. Ce phénomène engendre par conséquent un affaissement de la crête de la digue.

4 TM-14 fut échantillonné à une profondeur de 10,26 à 10,41 m au F-F-1-2016.
5 Profondeur similaire à celle des échantillons TM-14 .

Le cas échéant, les propriétés géotechniques mesurées en laboratoire sur l'échantillon TM-14 permettent d'estimer grossièrement l'envergure du tassement qui devrait être observé au niveau de la crête de la digue Médiane dans ce secteur. L'utilisation de l'approche Terzaghi, en considérant que l'état initial et final de l'argile se situe dans le domaine normalement consolidé, suggère qu'un tassement total de l'ordre de 70 cm est envisageable au droit du sondage F-F-1-2106.

Ne possédant pas de mesure temporelle présentant l'évolution de l'affaissement et/ou des pressions interstitielles dans le dépôt d'argile, il est alors difficile de prédire l'ampleur et la durée des tassements additionnels qui surviendront.

De plus, il est bon de souligner le fait qu'un faible pourcentage de l'affaissement observé au droit du sondage F-F-1-2016 pourrait être associé à un tassement dans les dépôts granulaires constituant la digue étant donné la faible densité en place de ces derniers.

En ce qui concerne la stabilité de la digue Médiane, les analyses de stabilité réalisées démontrent que le coefficient de sécurité minimal obtenu est acceptable, et ce, même si un horizon de faible résistance est intégré à une profondeur de 10 m sous la crête de la digue et qu'une nappe phréatique extrêmement défavorable est utilisée[6].

Les figures présentant les analyses de stabilité réalisées sont montrées à l'annexe 2; les tableaux 2 et 3 résument les coefficients de sécurité obtenus pour diverses situations.

Tel qu'il est possible de le constater, la stabilité de la digue Médiane semble être contrôlée par la résistance de l'argile de fondation. Des recommandations ont été émises en ce sens.

6 La nappe phréatique utilisée dans les analyses de stabilité est approximativement 3 m supérieure au niveau actuel estimé dans la digue Médiane.

Tableau 2 Coefficients de sécurité obtenus pour la digue Médiane avec la présence d'un horizon de faible résistance

SITUATION[2]		COEFF. DE SÉCURITÉ OBTENU	COEFF. DE SÉCURITÉ REQUIS	COMMENTAIRES
Non drainé chargement statique	Court terme	1,30 (optim.) 1,42 (semi-circul.)	1,5[1]	Situation étudiée car il est considéré que des surpressions interstitielles sont encore présentes dans la fondation d'argile.
Non drainé chargement pseudo-statique[3]	Court terme	1,08 (optim.) 1,19 (semi-circul.)	1,1[1]	
Drainé chargement statique	Long terme	2,00 (optim.) 2,03 (semi-circurl.)	1,5	Situation représentant le long terme lorsque la totalité des suppressions interstitielles seront dissipées. Analyses conservatrice car la cohésion effective de l'argile n'a pas été prise en considération.
Drainé chargement pseudo-statique[3]		1,69 (optim.) 1,71 (semi-circul.)	1,25	

Notes :

1. Une valeur de 1,3 pourrait être identifiée comme requis. Cependant, il est jugé qu'une valeur de 1,5 est plus sécuritaire. De plus, une valeur de 1,3 est souvent associée à une valeur intermédiaire acceptable pendant des travaux de construction, ce qui n'est plus le cas.
2. Il est à noter que la totalité des situations et modes de rupture possibles n'ont pas été étudiés et analysés dans la présente étude. Il est recommandé que la totalité des cas de figures soient étudiés dans le cadre de la revue de la sécurité des digues, la révision du plan de fermeture de Mine Bachelor ou lorsque des travaux de rehaussement des digues du parc à résidus seront envisagés par Métanor.
3. Le coefficient d'accélération sismique utilisé correspond à 70 % de l'accélération horizontale d'un séisme d'une récurrence 2 500 ans (voir annexe 3).

Tableau 3 Coefficients de sécurité obtenus pour la digue Médiane sans la présence d'un horizon de faible résistance

SITUATION[2]		COEFF. DE SÉCURITÉ OBTENU	COEFF. DE SÉCURITÉ REQUIS	COMMENTAIRES
Non drainé chargement statique	Court terme	1,45 (opt.) 1,52 (semi-circul.)	1,5[1]	Situation étudiée car il est considéré que des surpressions interstitielle sont encore présentes dans la fondation d'argile
Non drainé chargement pseudo-statique[3]	Court terme	1,21 (optim.) 1,27 (semi-circul.)	1,1[1]	

Notes :

1. Une valeur de 1,3 pourrait être identifiée comme requis. Cependant, il est jugé qu'une valeur de 1,5 est plus sécuritaire. De plus, une valeur de 1,3 est souvent associée à une valeur intermédiaire acceptable pendant des travaux de construction, ce qui n'est plus le cas.
2. Il est à noter que la totalité des situations et modes de rupture possibles n'ont pas été étudiés et analysés dans la présente étude. Il est recommandé que la totalité des cas de figures soient étudiés dans le cadre de la revue de la sécurité des digues, la révision du plan de fermeture de Mine Bachelor ou lorsque des travaux de rehaussement des digues du parc à résidus seront envisagés par Métanor.
3. Le coefficient d'accélération sismique utilisé correspond à 70 % de l'accélération horizontale d'un séisme d'une récurrence 2 500 ans (voir annexe 3).

5. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Sur la base de l'information disponible, il est jugé que l'affaissement observé au niveau de la crête de la digue Médiane près de la jonction avec la digue interne principale relève d'un mécanisme de consolidation de l'argile de fondation. Il n'est pas considéré que ce phénomène ait un impact négatif sur la sécurité de la digue Médiane.

La consolidation de l'argile est un phénomène temporel et le rythme d'accroissement de l'affaissement devrait diminuer avec le temps. L'impact principal de ce phénomène est associé à la diminution de la revanche que Métanor doit maintenir entre la surface des résidus et la crête de la digue.

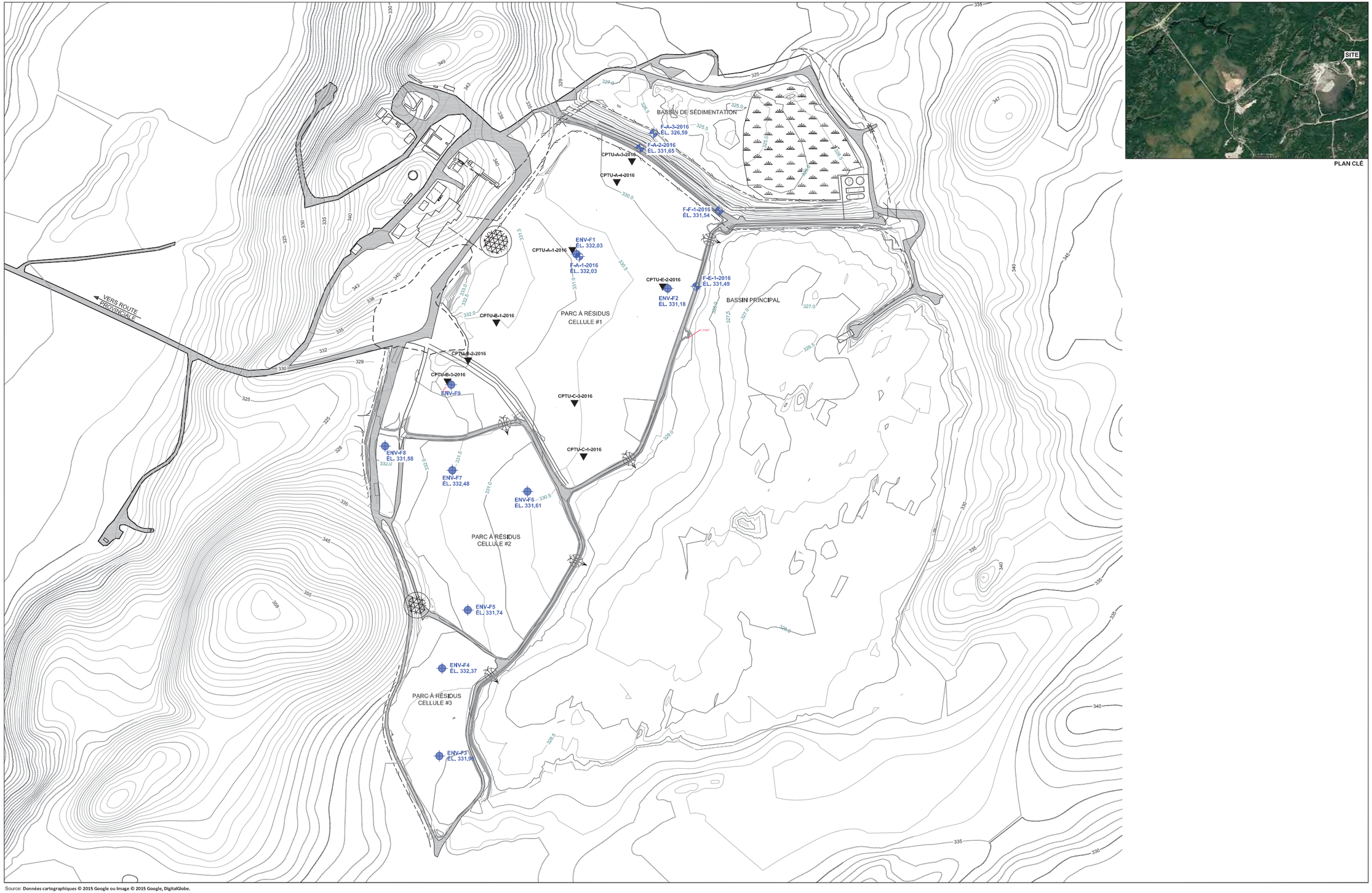
Il est donc recommandé que Métanor continue d'effectuer, sur une base régulière, la mise à niveau de l'élévation de la crête de la digue Médiane telle qu'actuellement réalisée. Cependant, Métanor devrait effectuer un relevé d'arpentage avant et après chaque mise à niveau. Le type de matériaux ainsi que le degré de compaction des matériaux mis en place pour le rehaussement devraient aussi être relevés. Ainsi, il sera possible d'évaluer si le rythme de consolidation diminue dans le temps.

Advenant que des travaux de rehaussement significatif de la digue Médiane soient envisagés par Métanor, il serait alors important que des piézomètres, permettant de mesurer les pressions interstitielles dans l'argile, soient mis en place au droit de la digue. Une localisation stratégique de ceux-ci permettra d'acquérir de précieuses données qui serviront à établir la conception appropriée du rehaussement, en plus de permettre une prédiction adéquate du comportement à long terme de l'ouvrage.

Préparée par :	Vérifiée par :
Jean-François St-Laurent, ing. M.Sc. N° OIQ : 140 657	Mylène Sansoucy, ing. M.Sc. N° OIQ :143 904

ANNEXE 1

Extraits des rapports géotechniques de GHD (2017) et Golder (2007)



PLAN CLÉ

Source: **Données cartographiques © 2015 Google ou Image © 2015 Google, DigitalGlobe.**

LÉGENDE

- F-A-1-2016 ÉL. 332,03 — FORAGE ET NUMÉRO / ÉLÉVATION DE LA SURFACE DU SOL (m)
- ENV-F3 ÉL. 331,96 — FORAGE ENVIRONNEMENTAL ET NUMÉRO / ÉLÉVATION DE LA SURFACE DU SOL (m)
- CPTU-B-2-2016 — SONDAGE AU PIÉZOCÔNE ET NUMÉRO

ÉCHELLE = 1:2500

0 25 50 75m

Dessin par: J. SANTOS / Y. DESJARDINS

Dessin vérifié: L. MAURE

RESSOURCES MÉTANOR
200, CHEMIN DE LA MINE, DESMARAISVILLE, QUÉBEC
REHAUSSEMENT DE LA CELLULE NO 1 DU PARC À RÉSIDUS

ÉTUDE GÉOTECHNIQUE
LOCALISATION DES SONDAGES

11128109-A1
DÉC 2016

11128109-A1-1

Fichier CAD: 11128109a1-dessin1.dwg

4;;9 <@3 B9 4=3

B9 4=30/& BDBDEDGQEK

CLIENT:	RESSOURCES MÉTANOR	COORDONNÉES GÉODÉSIQUES (UTM, NAD-83) (m)	▼ - NIVEAU D'EAU
PROJET:	REHAUSSEMENT DE LA CELLULE NO 1 DU PARC À RÉSIDUS	X : 417400.7 Y : 5483476.9 Z : 331.54	Date : Profondeur (m) :
LOCALISATION:	200, CHEMIN DE LA MINE, DESMARAISVILLE, QUÉBEC		Plan de localisation : 11128109-A1-1
DÉCRIT PAR:	F. ARGUIN VÉRIFIÉ PAR: V. BARON/ L. MAURE		

Type de forage : Tarière
Calibre du carottier : N
Type de marteau : Automatique
Rapport d'énergie :
Date (début) : 2016-09-27
Date (fin) : 2016-09-27

<A;368>40<5790
CF(E) - Cuillère fendue (Environnement)
CR(E) - Carottier diamanté
TA(E) - Tarière
TEE - Tube Échantillonnage Environnement
TM - Tube à paroi mince
VR(E) - Vrac

6<4<68>40<5790
Remanié
Intact
Forage au diamant
Perdu

3..45 6475 6.
AC : analyse chimique
AG: analyse granulométrique
SD: analyse sédimentométrique
W_L: limite liquide
W_P: limite plastique
w : teneur en eau
C_u: cisaillement non drainé
Dup: éch. duplicata prélevé

89:;3.< 4<5= 4;>5?:3 | 68>40<5790 | 6.:7<4<.@8.3..45

Profondeur (m)	Élévation (m)	Symbole	Stratigraphie	État	Type et Numéro	Récupération %	Autres Essais	PID (ppm)	Coups par 6 po / 15 cm (Calibre)	N ou RQD
0.00	331.54		Surface du sol							
			! "#%& Sable, un peu de gravier, traces de silt, brun, humide, lâche		CF-1	59			1-3-11-24 (N)	9 *
0.94	330.60		Pierre concassée de calibre apparent 100-0mm, grise, humide, dense		CF-2	52			16-27 20-16 (N)	31*
1.73	329.81		Sable et gravier, traces de silt, brun, humide, compact		CF-3	46	w		8-13 11-18 (N)	16*
					CF-4	16			9-8-8-7 (N)	10*
					CF-5	30	w		5-11-8-5 (N)	12*
					CF-6	48	AG		9-10-10-9 (N)	13*
					CF-7	7			17-12-11-9 (N)	15*
5.00	326.54		devenant saturé							
5.33	326.21		devenant lâche		CF-8	5			8-5-4-5 (N)	6 *
6.10	325.44		devenant graveleux		CF-9	36	AG w		7-3-8-12 (N)	7 *
					CF-10	30			5-6-6-2 (N)	8 *
					CF-11	0			4-4-5-4 (N)	6 *
8.38	323.16		devenant compact		CF-12	30			8-10-6-9 (N)	10*
8.93	322.61		./#,$F+-#& Argile silteuse, traces de sable, gris, saturé, raide		CF-13	100	SD w		2-2-3-2 (N)	3 *

Teneur en eau (%) △ C_u (Terrain, kPa)
Limites d'Atterberg (%) □ C_u (Lab, kPa)
Indice "N" standard
Indice "N_C" dynamique

10 20 30 40 50 60 70 80 90

0% $+ *2$+

4;;9 <@3 B9 4=3

B9 4=30/& BDBDEDGQEK

CLIENT:	RESSOURCES MÉTANOR	COORDONNÉES GÉODÉSIQUES (UTM, NAD-83) (m)	▼ - NIVEAU D'EAU
PROJET:	REHAUSSEMENT DE LA CELLULE NO 1 DU PARC À RÉSIDUS	X : 417400.7 Y : 5483476.9 Z : 331.54	Date : Profondeur (m) :
LOCALISATION:	200, CHEMIN DE LA MINE, DESMARAISVILLE, QUÉBEC		Plan de localisation : 11128109-A1-1
DÉCRIT PAR:	F. ARGUIN VÉRIFIÉ PAR: V. BARON/ L. MAURE		

Type de forage : Tarière
Calibre du carottier : N
Type de marteau : Automatique
Rapport d'énergie :
Date (début) : 2016-09-27
Date (fin) : 2016-09-27

<A; 368>40<5790

CF(E) - Cuillère fendue (Environnement)
CR(E) - Carottier diamanté
TA(E) - Tarière
TEE - Tube Échantillonnage Environnement
TM - Tube à paroi mince
VR(E) - Vrac

6<4<68>40<5790

Remanié
Intact
Forage au diamant
Perdu

3..45 6475 6.

AC : analyse chimique
AG: analyse granulométrique
SD: analyse sédimentométrique
W_L: limite liquide
W_P: limite plastique
w : teneur en eau
C_u: cisaillement non drainé
Dup: éch. duplicata prélevé

89:;3.< 4<5= 4;>5?:3	68>40<5790	6.:7<4<.@8.3..45

Profondeur (m)	Élévation (m)	Symbole	Stratigraphie	État	Type et Numéro	Récupération %	Autres Essais	PID (ppm)	Coups par 6 po / 15 cm (Calibre)	N ou RQD
10.00	321.54		Surface du sol							
10.00	321.54		devenant ferme		TM-14	100	A w C50 y Cu			
11.0					CF-15	100			1-1-0-1 (N)	1
					TM-16	100	SD A w y			
12.0										
12.45	319.09		Sable, un peu de silt, traces de gravier et d'argile, gris, saturé, lâche		CF-17	39			4-6-7-9 (N)	8 *
13.0										
13.72	317.82		devenant dense		CF-18	55	w		39-36 50/10cm (N)	R
14.0										
15.0					CF-19	42			60- 50/10cm (N)	R
15.49	316.05		Refus tarière sur roc probable Fin du forage							
16.0										
17.0			Note: -* Indice de pénétration "N" corrigé en fonction du calibre de la cuillière utilisée.							
18.0										
19.0										

○ Teneur en eau (%) △ C_u (Terrain, kPa)
W_P W_L Limites d'Atterberg (%) □ C_u (Lab, kPa)
● Indice "N" standard
▲ Indice "N_C" dynamique

10 20 30 40 50 60 70 80 90

0% $+ *2$+

RAPPORT DE FORAGE

FORAGE No: F-A-3-2016

CLIENT: RESSOURCES MÉTANOR

PROJET: REHAUSSEMENT DE LA CELLULE NO 1 DU PARC À RÉSIDUS

LOCALISATION: 200, CHEMIN DE LA MINE, DESMARAISVILLE, QUÉBEC

DÉCRIT PAR: F. ARGUIN VÉRIFIÉ PAR: V. BARON/ L. MAURE

COORDONNÉES GÉODÉSIQUES (UTM, NAD-83) (m)
X : 417305.9
Y : 5483589.0
Z : 326.59

▼ - NIVEAU D'EAU
Date :
Profondeur (m) :

Plan de localisation : 11128109-A2-1

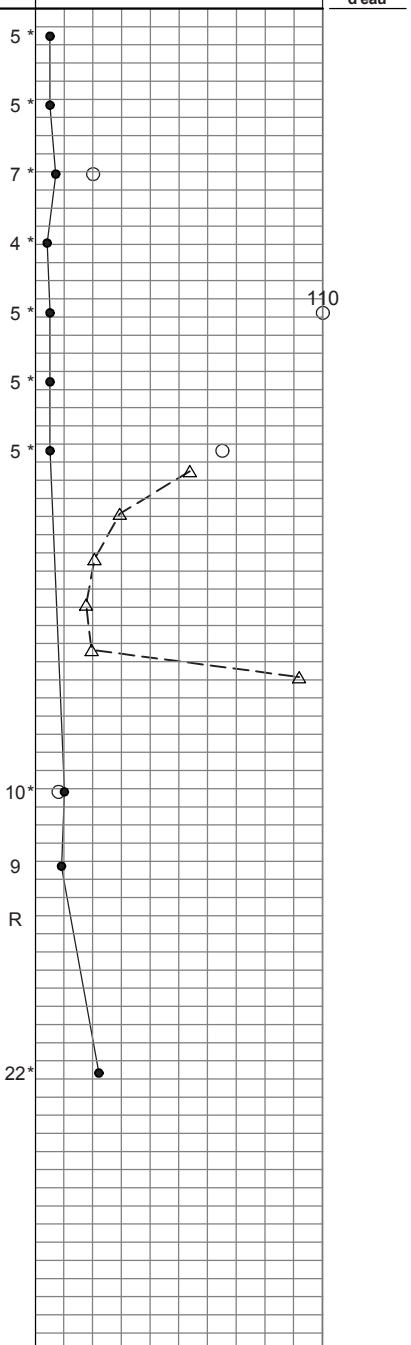
Type de forage : Tarière
Calibre du carottier : N
Type de marteau : Automatique
Rapport d'énergie :
Date (début) : 2016-09-29
Date (fin) : 2016-09-29

TYPE ÉCHANTILLON
CF(E) - Cuillère fendue (Environnement)
CR(E) - Carottier diamanté
TA(E) - Tarière
TEE - Tube Échantillonnage Environnement
TM - Tube à paroi mince
VR(E) - Vrac

ÉTAT ÉCHANTILLON
Remanié
Intact
Forage au diamant
Perdu

ESSAIS RÉALISÉS
AC : analyse chimique
AG: analyse granulométrique
SD: analyse sédimentométrique
W_L: limite liquide
W_P: limite plastique
w : teneur en eau
C_u: cisaillement non drainé
Dup: éch. duplicata prélevé

COUPE STRATIGRAPHIQUE				ÉCHANTILLON						RÉSULTATS DES ESSAIS
Profondeur (m)	Élévation (m)	Symbole	Stratigraphie	État	Type et Numéro	Récupération %	Autres Essais	PID (ppm)	Coups par 6 po / 15 cm (Calibre)	N ou RQD
0.00	326.59		Surface du sol							10 20 30 40 50 60 70 80 90 Niveau d'eau
			Remblai:							
0.36	326.23		Pierre concassée de calibre apparent 100-0mm, grise, humide, lâche		CF-1	30			2-5-3-4 (N)	5 *
0.76	325.83		devenant saturée		CF-2	18			2-4-4-6 (N)	5 *
1.0			**Résidus miniers:** Silt, un peu de sable, brun à gris, saturé, lâche		CF-3	59	w		7-8-3-4 (N)	7 *
2.0										
2.28	324.31		devenant très lâche avec présence de débris (bois)		CF-4	39			5-3-3-1 (N)	4 *
3.0										
3.05	323.54		**Sol organique:**		CF-5	49	w		5-4-3-5 (N)	5 *
3.30	323.29		Tourbe, brune, humide							
			Sol naturel: Silt, traces de sable, gris, saturé, lâche		CF-6	5			6-4-3-6 (N)	5 *
4.0										
4.50	322.09		Argile silteuse, grise, saturé, raide		CF-7	52	w		3-4-3-2 (N)	5 *
5.0										
5.57	321.02		devenant ferme		TM-8	100	y = 1.63 g/cm³			
6.0										
6.10	320.49		devenant molle		TM-9	100	y = 1.69 g/cm³			
7.0					TM-10	100	y = 1.65 g/cm³			
7.37	319.22		devenant raide							
8.0					TM-11	100	y = 1.75 g/cm³			
8.00	318.59		Silt, traces de sable, gris, saturé, compact							
8.33	318.26		Sable, un peu de silt, traces de gravier, gris, saturé, compact		CF-12	30	w		2-6-9-7 (N)	10 *
9.0										
9.15	317.44		devenant lâche		CF-13	13			3-8-6-5 (N)	9
10.0	9.91	316.68	devenant graveleux et dense		CF-14	20			17 -50/10cm (N)	R
11.0										
12.0					CF-15	80			20-18 15-21 (N)	22*
12.40	314.19		Refus tarière sur roc probable Fin du forage							
13.0										
14.0			Note: -* Indice de pénétration "N" corrigé en fonction du calibre de la cuillière utilisée.							



4; ; 9 < @3 B9 4=3 B9 4=3 0/& BD4DGDGQEK

CLIENT:	RESSOURCES MÉTANOR	COORDONNÉES GÉODÉSIQUES (UTM, NAD-83) (m)	▼ - NIVEAU D'EAU
PROJET:	REHAUSSEMENT DE LA CELLULE NO 1 DU PARC À RÉSIDUS	X : 417286.2	Date : 2016-10-03
LOCALISATION:	200, CHEMIN DE LA MINE, DESMARAISVILLE, QUÉBEC	Y : 5483567.6	Profondeur (m) : 5.29 ; 9.83
DÉCRIT PAR:	F. ARGUIN VÉRIFIÉ PAR: V. BARON/ L. MAURE	Z : 331.65	Plan de localisation : 11128109-A1-1

Type de forage : Tarière
Calibre du carottier : N
Type de marteau : Automatique
Rapport d'énergie :
Date (début) : 2016-09-28
Date (fin) : 2016-09-28

<A; 3 68>40<5790

CF(E) - Cuillère fendue (Environnement)
CR(E) - Carottier diamanté
TA(E) - Tarière
TEE - Tube Échantillonnage Environnement
TM - Tube à paroi mince
VR(E) - Vrac

6<4<68>40<5790

Remanié
Intact
Forage au diamant
Perdu

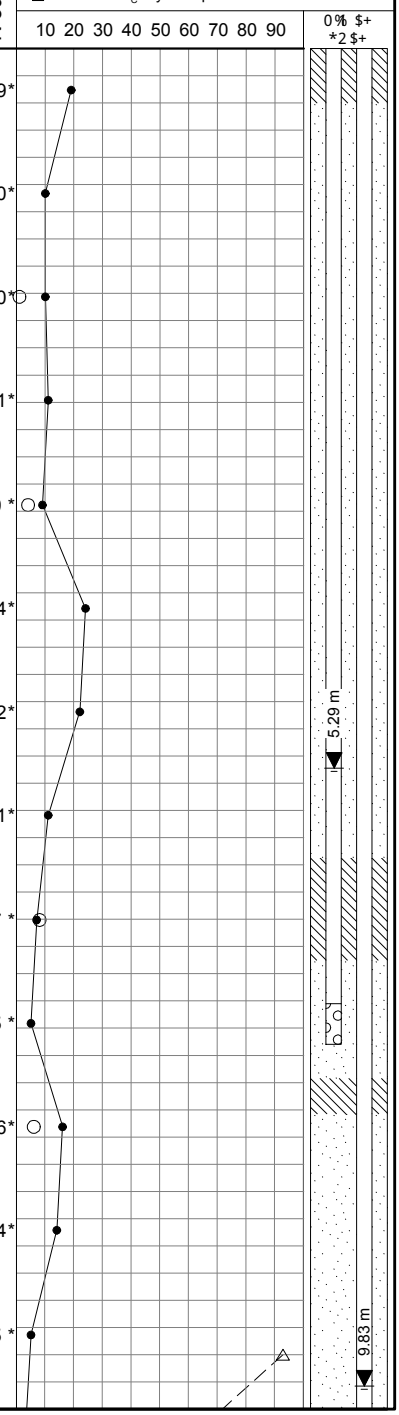
3..45 6475 6.

AC : analyse chimique
AG: analyse granulométrique
SD: analyse sédimentométrique
W_L: limite liquide
W_P: limite plastique
w : teneur en eau
C_u: cisaillement non drainé
Dup: éch. duplicata prélevé

89:;3.< 4<5= 4;>5:3 | 68>40<5790 | 6.:7<4<.@8.3..45

○ Teneur en eau (%) △ C_u (Terrain, kPa)
W_P W_L Limites d'Atterberg (%) □ C_u (Lab, kPa)
● Indice "N" standard
▲ Indice "N_C" dynamique

Profondeur (m)	Élévation (m)	Symbole	Stratigraphie	État	Type et Numéro	Récupération %	Autres Essais	PID (ppm)	Coups par 6 po / 15 cm (Calibre)	N ou RQD
0.00	331.65		Surface du sol							
			! "#$%& Sable, traces à un peu de silt, un peu de gravier, brun-gris, humide, compact		CF-1	59			7-16-13-21 (N)	19*
0.66	330.99		Pierre concassée de calibre apparent 100-0mm, grise, humide, compacte		CF-2	21			7-10-6-9 (N)	10*
					CF-3	31	w		4-6-10-20 (N)	10*
2.28	329.37		Sable et gravier, traces de silt, brun, humide, compact présence de cailloux		CF-4	0			15-12-9-8 (N)	11*
3.05	328.60		devenant lâche		CF-5	26	AG w		3-7-7-10 (N)	9 *
3.81	327.84		devenant compact avec présence de cailloux		CF-6	23			20-23-14-11 (N)	24*
					CF-7	13			19-18-15-8 (N)	22*
5.33	326.32		devenant saturé		CF-8	7			10-9-8-7 (N)	11*
6.10	325.55		devenant lâche		CF-9	33	AG w		6-5-5-4 (N)	7 *
					CF-10	13			9-3-4-6 (N)	5 *
7.62	324.03		Sable, traces de silt, un peu de gravier, brun, saturé, compact		CF-11	38	w		11-7-17-20 (N)	16*
8.48	323.17		. / #/ -O$, %P+ & Tourbe, brune, très humide		CF-12	48			7-10-11-9 (N)	14*
8.54	323.11		. / #, $F+- #& Silt, traces de sable, gris, saturé, compact							
9.23	322.42		Argile silteuse, traces de sable, grise, saturée, raide		CF-13	66	SD		6-4-3-4 (N)	5 *



4;;9 <@3 B9 4=3

B9 4=30/& BD4DGGQEK

CLIENT:	RESSOURCES MÉTANOR	COORDONNÉES GÉODÉSIQUES (UTM, NAD-83) (m)	▼ - NIVEAU D'EAU
PROJET:	REHAUSSEMENT DE LA CELLULE NO 1 DU PARC À RÉSIDUS	X : 417286.2 Y : 5483567.6 Z : 331.65	Date : 2016-10-03 Profondeur (m) : 5.29 ; 9.83
LOCALISATION:	200, CHEMIN DE LA MINE, DESMARAISVILLE, QUÉBEC		Plan de localisation : 11128109-A1-1
DÉCRIT PAR:	F. ARGUIN VÉRIFIÉ PAR: V. BARON/ L. MAURE		

Type de forage : Tarière
Calibre du carottier : N
Type de marteau : Automatique
Rapport d'énergie :
Date (début) : 2016-09-28
Date (fin) : 2016-09-28

<A; 368>405<5790
CF(E) - Cuillère fendue (Environnement)
CR(E) - Carottier diamanté
TA(E) - Tarière
TEE - Tube Échantillonnage Environnement
TM - Tube à paroi mince
VR(E) - Vrac

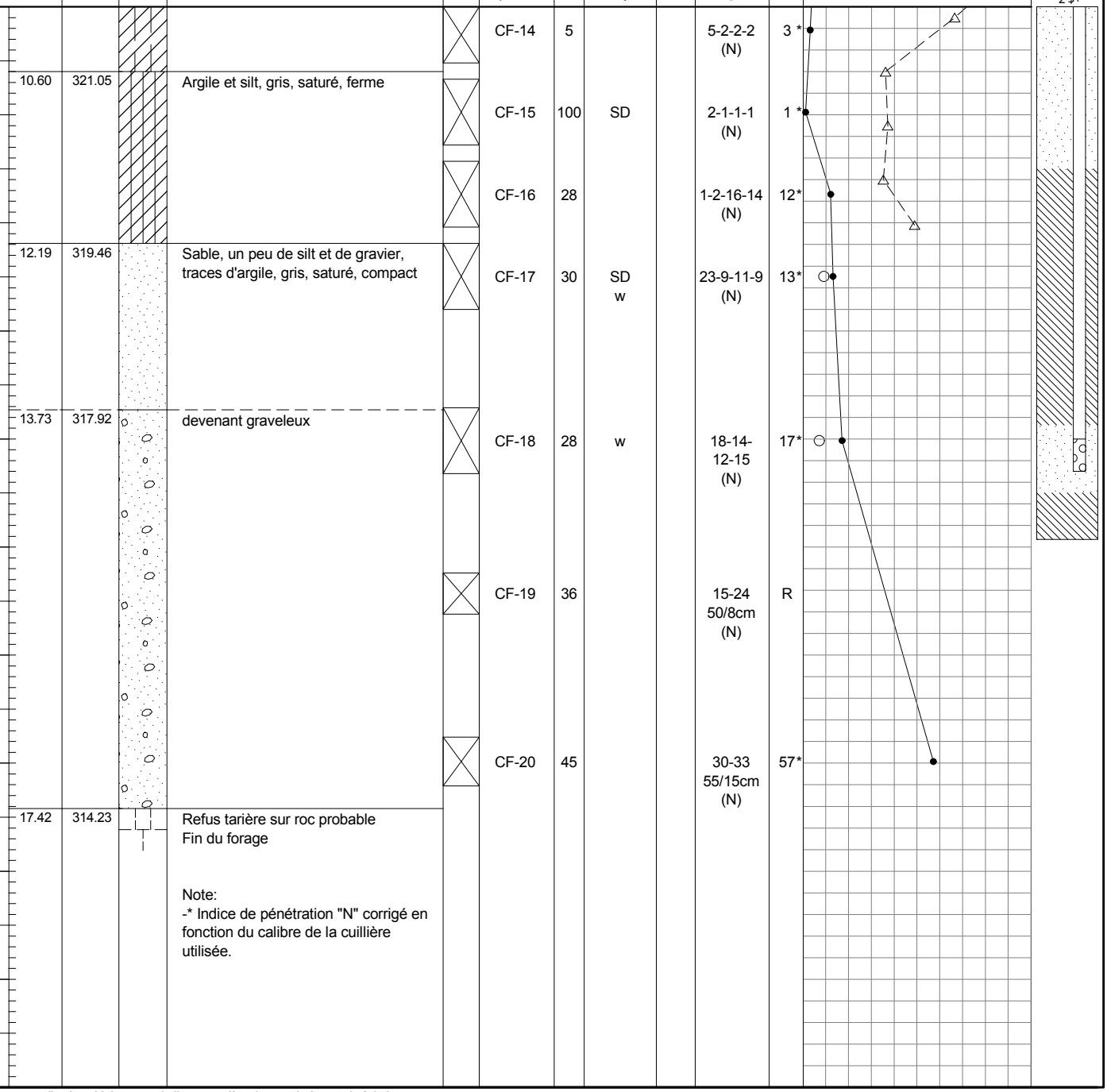
6<4<68>405<5790
Remanié
Intact
Forage au diamant
Perdu

3..45 6475 6.
AC : analyse chimique
AG: analyse granulométrique
SD: analyse sédimentométrique
W_L: limite liquide
W_P: limite plastique
w : teneur en eau
C_u: cisaillement non drainé
Dup: éch. duplicata prélevé

89:;3.< 4<5= 4;>5?:3	68>405<5790	6.:7<4<.@8.3..45

Profondeur (m)	Élévation (m)	Symbole	Stratigraphie	État	Type et Numéro	Récupération %	Autres Essais	PID (ppm)	Coups par 6 po / 15 cm (Calibre)	N ou RQD
10.00	321.65		Surface du sol							
					CF-14	5			5-2-2-2 (N)	3 *
10.60	321.05		Argile et silt, gris, saturé, ferme							
11.0					CF-15	100	SD		2-1-1-1 (N)	1 *
					CF-16	28			1-2-16-14 (N)	12*
12.0										
12.19	319.46		Sable, un peu de silt et de gravier, traces d'argile, gris, saturé, compact		CF-17	30	SD w		23-9-11-9 (N)	13*
13.0										
13.73	317.92		devenant graveleux		CF-18	28	w		18-14-12-15 (N)	17*
14.0										
15.0					CF-19	36			15-24 50/8cm (N)	R
16.0										
17.0					CF-20	45			30-33 55/15cm (N)	57*
17.42	314.23		Refus tarière sur roc probable Fin du forage							
18.0										
19.0										

Note:
-* Indice de pénétration "N" corrigé en fonction du calibre de la cuillière utilisée.



4.1.4 Dépôt d'argile

Un dépôt naturel cohésif varvé, composé de lits subhorizontaux d'argile et de silt a été noté sous les sols décrits précédemment jusqu'à des profondeurs variant entre 8,00 m et 12,45 m dans les forages nos F-A-2-2016, F-A-3-2016 et F-F-1-2016.

La consistance de ce dépôt varie de raide à ferme en profondeur, mais certains horizons présentent des consistances molles. Selon les essais au scissomètre de chantier (Nilcon) et de laboratoire, le dépôt d'argile possède des résistances au cisaillement non drainées (cu) oscillant majoritairement entre 30 kPa et 50 kPa dans les forages nos F-A-2-2016 et F-F-1-2016 et de l'ordre de 20 kPa dans le forage no F-A-3-2016.

Le tableau suivant résume les résultats des analyses granulométriques et des teneurs en eau sur le dépôt d'argile.

Tableau 4.2 Synthèse des résultats des analyses granulométriques et des teneurs en eau sur le dépôt d'argile

Forage no	Échantillon no	Profondeur (m)	Teneur en eau (%)	Granulométrie (%)			
				Gravier	Sable	Silt	Argile
				> 4,75 mm	*4,75 mm – 0,075 mm*	*0,075 mm – 0,002 mm*	*< 0,002 mm*
F-A-2-2016	CF-13	9,14-9,75	--	0	4	32	64
F-A-2-2016	CF-15	10,67-11,28	--	0	0	43	57
F-A-3-2016	CF-7	4,57-5,18	65	--	--	--	
F-F-1-2016	CF-13	9,14-9,75	49	0	2	24	74
F-F-1-2016	TM-16	11,43-12,04	31	0	3	69	28

Le tableau suivant résume les résultats des limites de consistance (limites Atterberg).

Tableau 4.3 Synthèse des résultats de la détermination des limites de consistance

Forage no	Échantillon no	Profondeur (m)	Limite de plasticité	Limite de liquidité	Indice de plasticité	Indice de liquidité	Teneur en eau (%)
F-F-1-2016	TM-14	10,26-10,41	24	53	29	0,97	52
F-F-1-2016	TM-16	11,63-11,78	18	28	10	1,3	31

La classification unifiée des sols indique que l'argile est classifiée « CL » et « CH », soit une argile silteuse inorganique de plasticité faible à élevée.

Le tableau suivant présente les résultats des essais de détermination du poids volumique ainsi que des résistances au cisaillement à l'aide du pénétromètre à cône.

Tableau 4.4 Synthèse des résultats du poids volumique et de la résistance au cisaillement au pénétromètre à cône

Forage no	Échantillon no	Profondeur (m)	Résistance au cisaillement intact (kPa)	Résistance au cisaillement remanié (kPa)	Sensibilité (Cu/Cur)	Poids volumique (kN/m^3)
F-A-3-2016	TM-8	5,57-5,72	--	--	--	16,0
F-A-3-2016	TM-9	6,32-6,47	--	--	--	16,6
F-A-3-2016	TM-10	7,08-7,23	--	--	--	16,2
F-A-3-2016	TM-11	7,83-7,98	--	--	--	17,1
F-F-1-2016	TM-14	10,26-10,41	27,8	3,6	7,7	16,9
F-F-1-2016	TM-16	11,63-11,78	72,9	2,1	34,7	19,4

Un (1) essai de consolidation œdométrique et de perméabilité a été réalisé sur l'échantillon TM-14 du forage no F-F-1-2016. Le tableau suivant résume les divers paramètres calculés à partir de cet essai.

Tableau 4.5 Paramètres de consolidation œdométrique

Forage no	Échantillon no	Profondeur (m)	σ'_p (kPa)	e_o	C_r	C_c	σ'_{vo} (kPa)	OCR	Perméabilité (cm/s)
F-F-1-2016	TM-14	10,26-10,41	109	1,38	0,06	0,42	160	0,7	$7,9 \times 10^{-8}$

Notes : *σ'_p : contrainte de préconsolidation*
C_c : indice de compression
σ'_{vo} : contrainte effective verticale (poids des terres)
e_o : indice des vides initiaux
C_r : indice de recompression
OCR : rapport de surconsolidation

D'après ces résultats, il s'agit d'un dépôt d'argile normalement consolidé.

4.1.5 Dépôt de till

Un dépôt d'origine glaciaire, communément appelé till, composé d'une matrice sableuse a été rencontré directement sous le dépôt d'argile.

Le tableau suivant résume les résultats d'une analyse granulométrique et de teneurs en eau sur le dépôt de till.

Tableau 4.6 Synthèse des résultats d'une analyse granulométrique et de teneurs en eau sur le dépôt de till

Forage no	Échantillon no	Profondeur (m)	Teneur en eau (%)	Granulométrie (%)			
				Gravier	Sable	Silt	Argile
				> 4,75 mm	*4,75 mm – 0,075 mm*	*0,075 mm – 0,002 mm*	*< 0,002 mm*
F-A-2-2016	CF-17	7,62-8,23	9	80		17	3
F-A-2-2016	CF-18	13,71-14,32	7	--	--	--	--
F-A-3-2016	CF-12	8,33-8,99	8	--	--	--	--
F-F-1-2016	CF-18	13,72-14,12	7	--	--	--	--

De plus, des cailloux et/ou blocs sont présents au sein du dépôt de till.

Le dépôt de till est dans un état qualifié généralement de compact avec des valeurs d'indices « N » variant entre 11 et 29. En profondeur, ce dernier devient dense à très dense.

Les forages nos F-A-2-2016, F-A-3-2016 et F-F-1-2016 ont été terminés au sein du dépôt de till à des profondeurs respectives de 17,42 m, 12,40 m et 15,49 m avec des refus d'enfoncement sur roc probable.

4.2 Cellule no 1

Tous les sondages, à l'exception des forages nos F-A-2-2016, F-A-3-2016 et F-F-1-2016, ont été réalisés sur la cellule no 1. Il est toutefois à noter que le forage no F-E-1-2016 a été effectué sur la digue interne principale d'une hauteur de 3 m reposant sur les résidus miniers.

4.2.1 Remblai

En surface, à l'emplacement de tous les sondages, des matériaux de remblai ont été rencontrés sur des épaisseurs variables. Celui-ci est constitué de stériles miniers mis en place avant notre arrivé, pour faciliter l'accès aux emplacements de ces sondages, à l'exception du forage no F-E-1-2016 sur la digue interne principale d'une hauteur de 3 m.

Les matériaux de remblai mis en place pour nos travaux sont à l'état lâche, alors que ceux de la digue interne principale sont considérés compact avec des valeurs d'indices « N » variant entre 15 et 29.

4.2.2 Résidus miniers

Dans les forages nos F-A-1-2016 et F-E-1-2016, des résidus miniers constitués majoritairement d'un silt avec des proportions variables en sable, gravier et argile ont été observés sur une épaisseur évaluée de l'ordre de 6 m.

Un essai pour déterminer la densité relative des grains sur un échantillon provenant des résidus miniers a été effectué. Une densité relative de 2,77 a été mesurée.

Les résidus miniers sont dans un état qualifié de très lâche à lâche avec des valeurs d'indices « N » variant entre 1 et 7.

Selon les essais de perméabilité réalisés en laboratoire et en chantier, les résidus possèdent une perméabilité de l'ordre de $1,0 \times 10^{-6}$ cm/s à $5,0 \times 10^{-6}$ cm/s.

4.2.3 Tourbe

Un horizon organique a été identifié sous les résidus miniers dans les forages nos F-A-1-2016 et F-E-1-2016 sur des épaisseurs respectives de 760 mm et 160 mm. Celui-ci est composé d'une tourbe fibreuse de couleur brune.

4.2.4 Dépôt d'argile

Un dépôt naturel cohésif varvé, composé de lits subhorizontaux d'argile et de silt a été noté sous les sols décrits précédemment jusqu'à des profondeurs variant entre 11,4 m et 14,5 m.

La consistance de ce dépôt s'avère ferme. Selon les essais au scissomètre de chantier (Nilcon), de laboratoire et des sondages au piézocône, le dépôt d'argile possède des résistances au cisaillement non drainées (c_u) oscillant majoritairement entre 25 kPa et 35 kPa.

Le tableau suivant résume les résultats des limites de consistance (limites Atterberg).

Tableau 4.7 Synthèse des résultats de la détermination des limites de consistance

Forage no	Échantillon no	Profondeur (m)	Limite de plasticité	Limite de liquidité	Indice de plasticité	Indice de liquidité	Teneur en eau (%)
F-A-1-2016	TM-13	9,50-9,67	19	39	20	0,9	37
F-A-1-2016	TM-15	11,02-11,17	22	41	19	0,95	40
F-E-1-2016	TM-14	10,12-10,27	22	58	36	1,0	58
F-E-1-2016	CF-17	12,19-12,80	26	64	43	0,88	64

La classification unifiée des sols indique que l'argile est classifiée « CL » et « CH », soit une argile silteuse inorganique de plasticité faible à élever.

Le tableau suivant présente les résultats des essais de détermination du poids volumique ainsi que des résistances au cisaillement à l'aide du pénétromètre à cône.

Tableau 4.8 Synthèse des résultats du poids volumique et de la résistance au cisaillement au pénétromètre à cône

Forage no	Échantillon no	Profondeur (m)	Résistance au cisaillement intact (kPa)	Résistance au cisaillement remanié (kPa)	Sensibilité (Cu/Cur)	Poids volumique (kN/m^3)
F-A-1-2016	TM-13	9,50-9,67	123,5	7	17,7	17,9
F-A-1-2016	TM-15	11,02-11,17	29,1	2,1	13,9	18,0
F-E-1-2016	TM-14	10,12-10,27	34,9	2,6	13,4	16,0
F-E-1-2016	TM-15	10,89-11,04	19,5	2	9,8	15,6

Un (1) essai de consolidation œdométrique et de perméabilité a été réalisé sur l'échantillon TM-13 du forage no F-A-1-2016. Le tableau suivant résume les divers paramètres calculés à partir de cet essai.

Tableau 4.9 Paramètres de consolidation œdométrique

Forage no	Échantillon no	Profondeur (m)	σ'_p (kPa)	e_o	C_r	C_c	σ'_{vo} (kPa)	OCR	Perméabilité (cm/s)
F-A-1-2016	TM-13	9,50-9,67	252	0,96	0,02	0,32	110	2,3	$1,3 \times 10^{-7}$

Note : $\sigma'p$: contrainte de préconsolidation; eo : indice des vides initiaux; Cc : indice de compression; Cr : indice de recompression; $\sigma'vo$: contrainte effective verticale (poids des terres); OCR : rapport de surconsolidation

D'après ces résultats, il s'agit d'un dépôt d'argile surconsolidé.

4.2.5 Dépôt de till

Un dépôt d'origine glaciaire, communément appelé till, composé d'une matrice sableuse a été rencontré directement sous le dépôt d'argile.

Des cailloux et/ou blocs sont présents au sein du dépôt de till.

Le dépôt de till est dans un état qualifié généralement de compact avec des valeurs d'indices « N » variant entre 20 et 26. En profondeur, ce dernier devient dense à très dense.

Les forages nos F-A-1-2016 et F-E-1-2016 ont été terminés au sein du dépôt de till à des profondeurs respectives de 15,33 m et 17,49 m avec des refus d'enfoncement sur roc probable. Tous les sondages au piézocône ont été arrêtés au refus sur la partie sommitale du dépôt de till.

5. Description sommaire des matériaux reçus

Le client nous a transmis des échantillons de stériles et de résidus miniers afin de réaliser des essais sur les matériaux qui seront utilisés lors des travaux.

5.1 Stériles miniers

Le tableau suivant résume les résultats d'une analyse granulométrique sur les stériles.

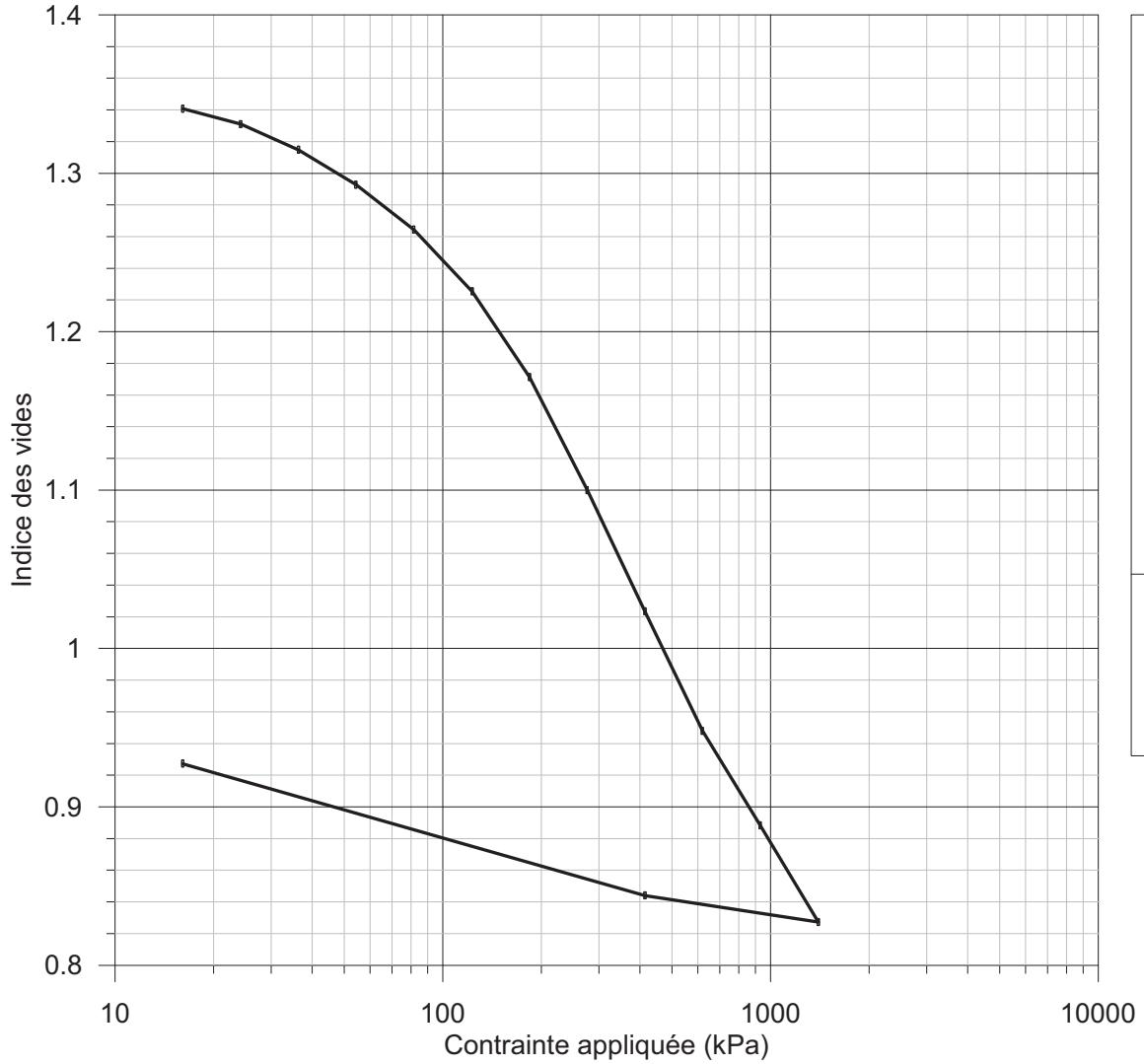
Tableau 5.1 Synthèse des résultats d'une analyse granulométrique sur les stériles

Granulométrie (%)			
Gravier	Sable	Silt	Argile
> 4,75 mm	*4,75 mm – 0,075 mm*	*0,075 mm – 0,002 mm*	*< 0,002 mm*
78	24	4	
80	16	4	

Un essai pour déterminer la densité relative des grains sur un échantillon provenant des résidus miniers a été effectué. Une densité relative de 2,81 a été mesurée.

Des teneurs en eau de 2 % e 3 % ont été obtenues sur deux échantillons différents.

Essai de Consolidation Oedométrique - F-F-1-2016 TM-14



Échantillon Initial

Diamètre :	6.35 cm
Hauteur :	2.56 cm
Poids volumique :	16.82 kN/m^3
Teneur en eau :	51.49 %
Indice des vides :	1.38
Degré de saturation :	100 %
Densité des grains solides :	2.7 (supposée)

Échantillon Final

Teneur en eau : 36.44 %

Description du sol

Argile silteuse gris, plastique (CH)

Taux de chargement : 50%

Résultats d'essai

Indice de compression (c_c) : 0.42

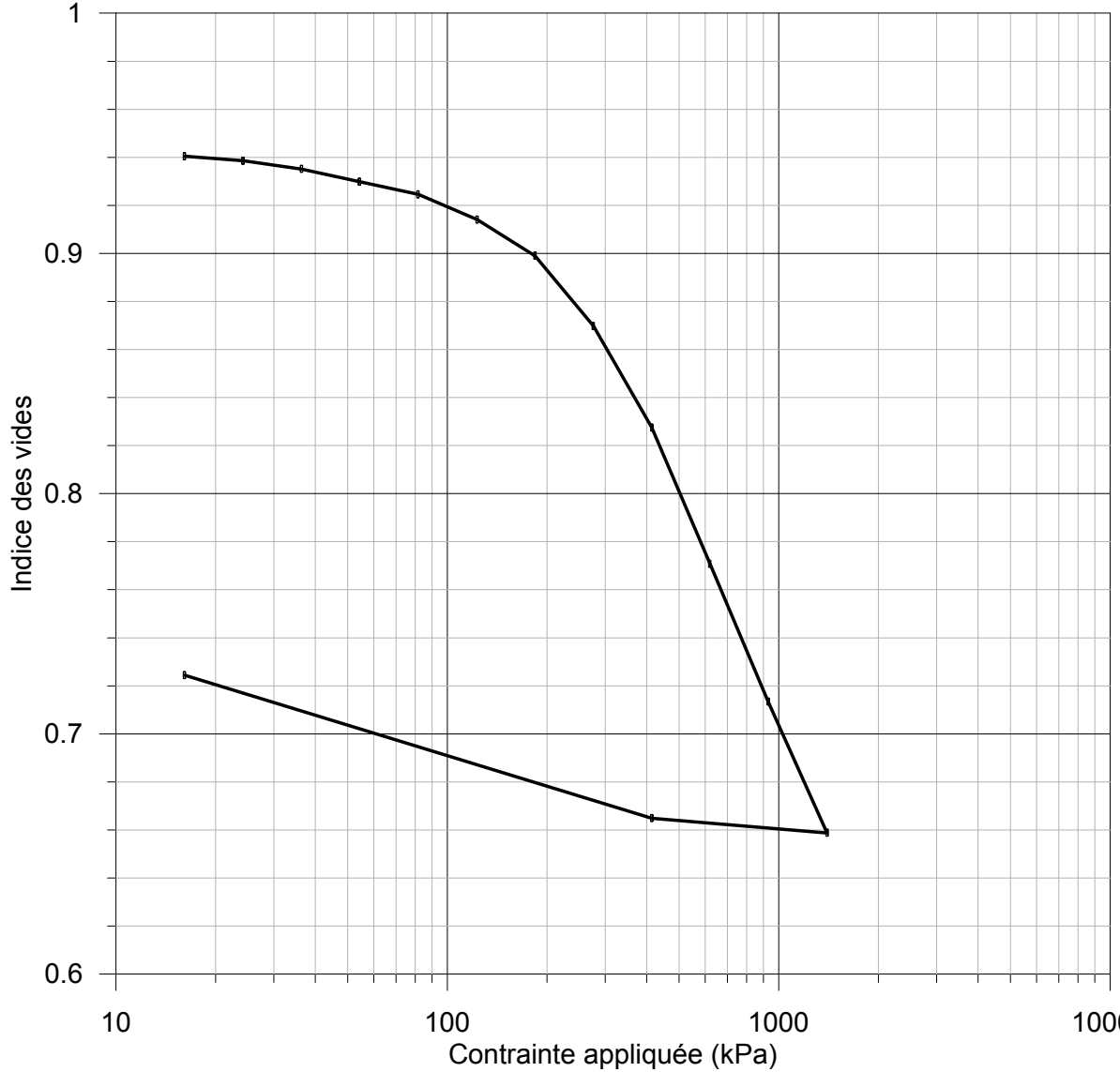
Indice de recompression (c_r) : 0.06

Contrainte de préconsolidation (σ'_p) : 109 kPa

Forage	: F-F-1-2016
Échantillon	: TM-14
Profondeur (m)	: 10.26 -10.41

Projet	: 200, chemin de la Mine
Site	: Desmaraisville, Québec
Client	: Ressources Métanor
Date	: 24 octobre 2016

Projet (No) : 11128109-A1



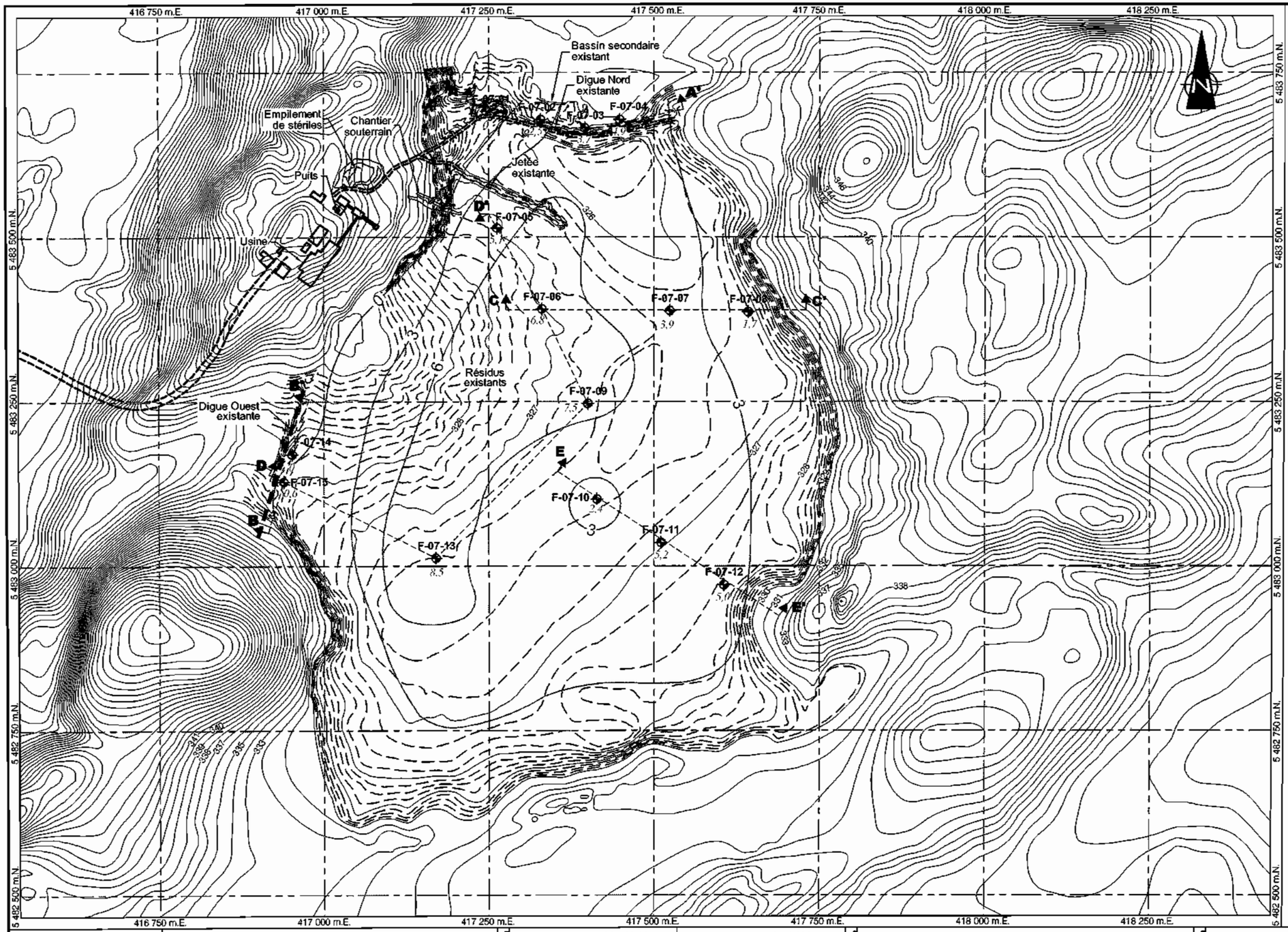
Diamètre : 6.35 cm
Hauteur : 2.56 cm
Poids volumique : 18.04 kN/m³
Teneur en eau : 37.14 %
Indice des vides : 0.96
Degré de saturation : 94 %
Densité des grains solides : 2.7 (supposée)

Teneur en eau : 28.42 %

Argile silteuse grise, ferme à raide, plastique (CH)

Indice de compression (c_c) : 0.32
Indice de recompression (c_r) : 0.02
Contrainte de préconsolidation (σ'_p) : 252 kPa

Forage : F-A-1-2016 Échantillon : TM-13 Profondeur (m): 9.50 - 9.67	Projet : 200, chemin de la Mine Site : Desmaraisville, Québec Client : Ressources Métanor Date : 24 octobre 2016	Projet (No) : 11128109-A1



LÉGENDE:

F-07-09	Forage (Golder, 2007)
3	Isocontour d'épaisseur d'argile (en mètres)
6,10	Épaisseur d'argile (en mètres)
A A'	Localisation des coupes (voir figures 5 et 6)

NOTE:

- Excluant la présence du silt argileux.
- Les contours montrés dans le parc sont ceux relevés par J.-L. Corriveau en 2005 et 2007.

SOURCE:

Plan # C9523_Global-UTM daté de mars 2007 fourni par CORRIVEAU J.L. & ASSOC. INC.

Golder Associés
9200, boul. de l'Acadie, bureau 10
Montréal (Québec) H4N 2T2
Tél.: (514) 383-0990 Fax: (514) 383-5332

Date:	2007-08-03	Échelle:	1 : 6 000
Dessiné par:	R. Gravel	Projeté par:	M. Lemieux
Vérifié par:	M. Lemieux	Approuvé par:	M. Lemieux
No. de dessin:	0712270010-7000-03	No. de projet:	07-1227-0010

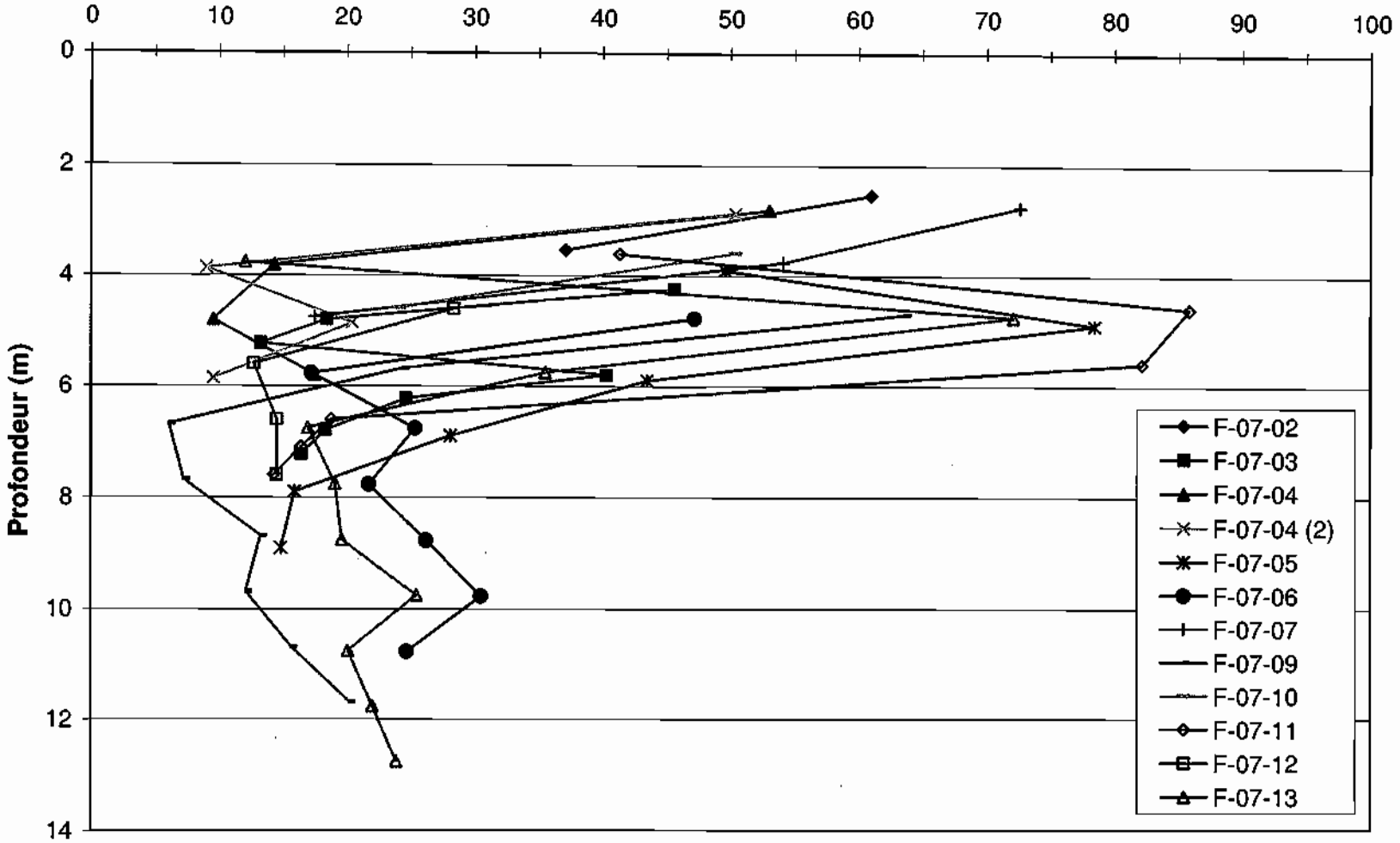
Ressources Métanor Inc.

PARC À RÉSIDUS MINIERS
LAC BACHELOR, DESMARAISVILLE, QUÉ.

ISOCONTOURS D'ARGILE

FIGURE 3

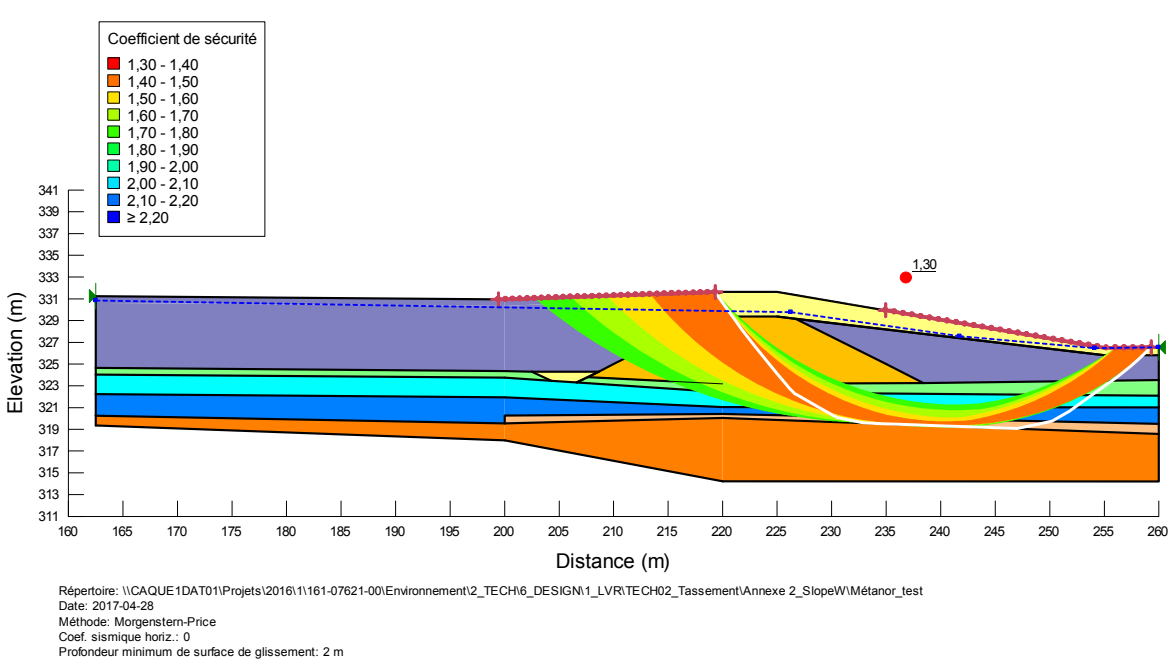
Figure 4 :Compilation des résultats des essais de cisaillement non drainé des sols



N:\Actif\2007\1227\07-1227-0010 Métanor\données chantier\Résultats Nilcon 07-1227-0010 avec reprise

ANNEXE 2

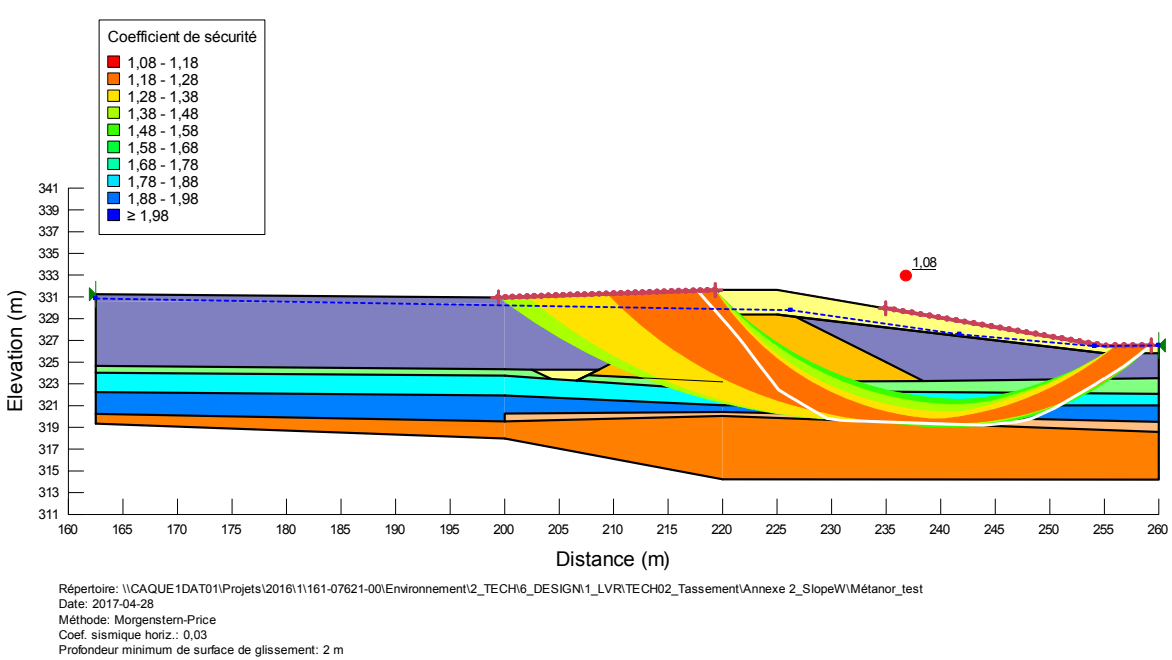
Figures présentant les analyses de stabilité réalisées



Couleur	Nom	Poids unitaire (kN/m³)	Cohésion' (kPa)	Phi' (°)	Cohésion (kPa)
	Remblai : Pierre concassée	19	0	35	
	Résidus	16	0	28	
	Silt	15	0	28	
	Croute d'argile	20			20
	Argile	16			20
	Till	21	0	30	
	Remblai : Sable	17,5	0	30	
	Argile (remaniée)	20			15

Répertoire: \\CAQUE1DAT01\Projets\2016\1\161-07621-00\Environnement\2_TECH\6_DESIGN\1_LVR\TECH02_Tassement\Annexe 2_SlopeW\Métanor_test
Date: 2017-04-28
Méthode: Morgenstern-Price
Coef. sismique horiz.: 0
Profondeur minimum de surface de glissement: 2 m

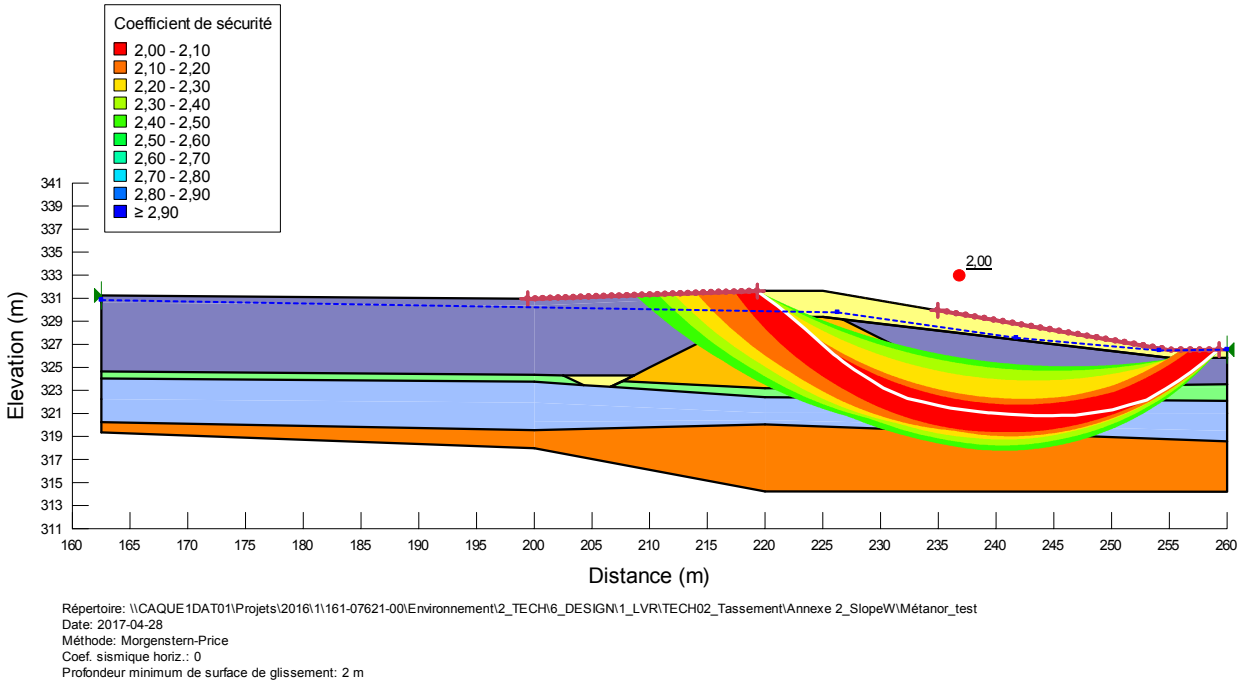
Figure 1 : Cercles de rupture semi-circulaire de la digue Médiane – Condition non drainée et chargement statique avec un horizon de faible résistance



Couleur	Nom	Poids unitaire (kN/m³)	Cohésion' (kPa)	Phi' (°)	Cohésion (kPa)
	Remblai : Pierre concassée	19	0	35	
	Résidus	16	0	28	
	Silt	15	0	28	
	Croute d'argile	20			20
	Argile	16			20
	Till	21	0	30	
	Remblai : Sable	17,5	0	30	
	Argile (remaniée)	20			15

Répertoire: \\CAQUE1DAT01\Projets\2016\1\161-07621-00\Environnement\2_TECH\6_DESIGN\1_LVR\TECH02_Tassement\Annexe 2_SlopeW\Métanor_test
Date: 2017-04-28
Méthode: Morgenstern-Price
Coef. sismique horiz.: 0,03
Profondeur minimum de surface de glissement: 2 m

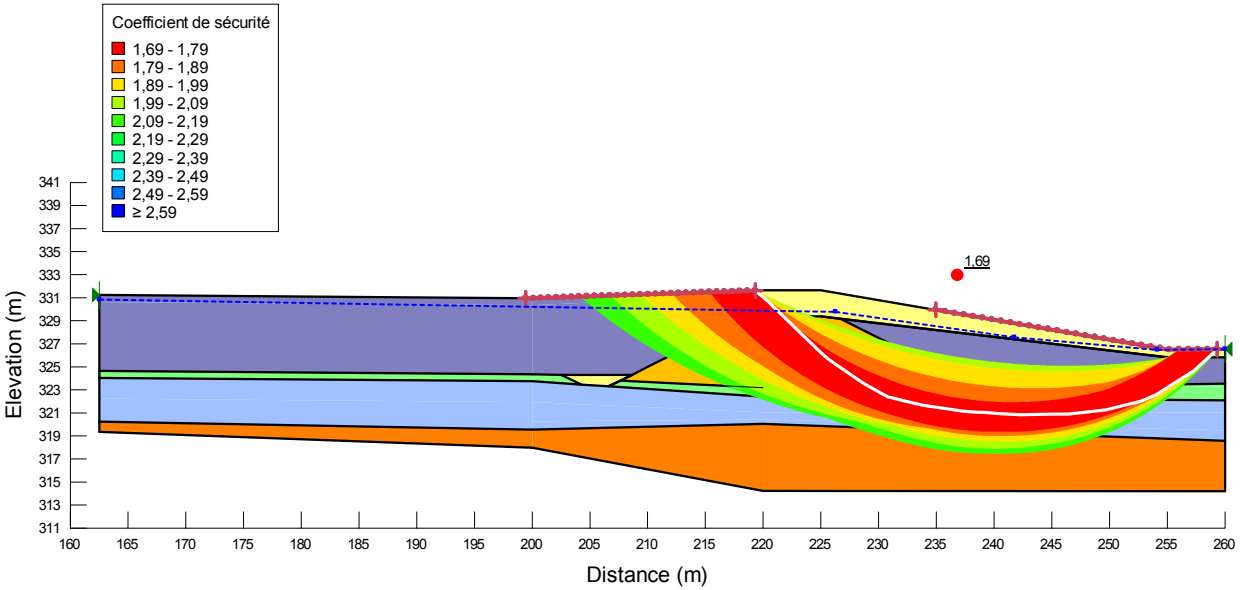
Figure 2 : Cercles de rupture semi-circulaire de la digue Médiane – Condition non drainée et chargement pseudo-statique avec un horizon de faible résistance



Couleur	Nom	Poids unitaire (kN/m³)	Cohésion' (kPa)	Phi' (°)
	Remblai : Pierre concassée	19	0	35
	Résidus	16	0	28
	Silt	15	0	28
	Till	21	0	30
	Remblai : Sable	17,5	0	30
	Argile (LT)	16	0	25

Répertoire: \\CAQUE1DAT01\Projets\2016\1\161-07621-00\Environnement\2_TECH\6_DESIGN\1_LVR\TECH02_Tassement\Annexe 2_SlopeW\Métanor_test
Date: 2017-04-28
Méthode: Morgenstern-Price
Coef. sismique horiz.: 0
Profondeur minimum de surface de glissement: 2 m

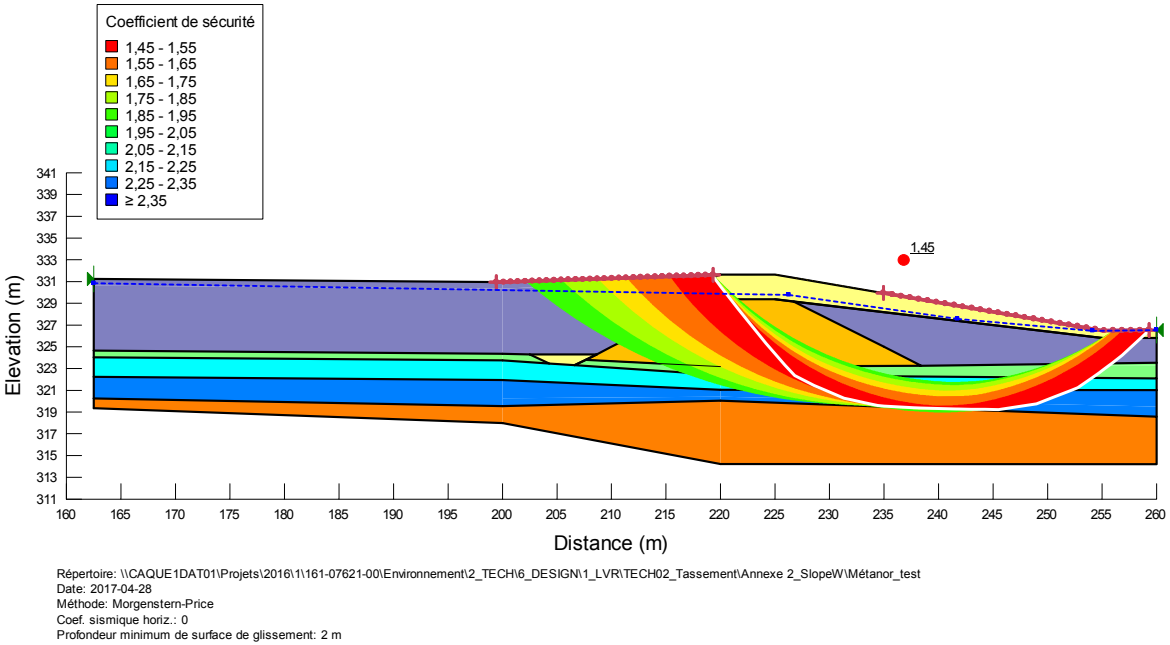
Figure 3 Cercles de rupture semi-circulaire de la digue Médiane – Condition drainée et chargement statique



Couleur	Nom	Poids unitaire (kN/m³)	Cohésion' (kPa)	Phi' (°)
	Remblai : Pierre concassée	19	0	35
	Résidus	16	0	28
	Silt	15	0	28
	Till	21	0	30
	Remblai : Sable	17,5	0	30
	Argile (LT)	16	0	25

Répertoire: \\CAQUE1DAT01\Projets\2016\1\161-07621-00\Environnement\2_TECH\6_DESIGN\1_LVR\TECH02_Tassement\Annexe 2_SlopeW\Métanor_test
Date: 2017-04-28
Méthode: Morgenstern-Price
Coef. sismique horiz.: 0,03
Profondeur minimum de surface de glissement: 2 m

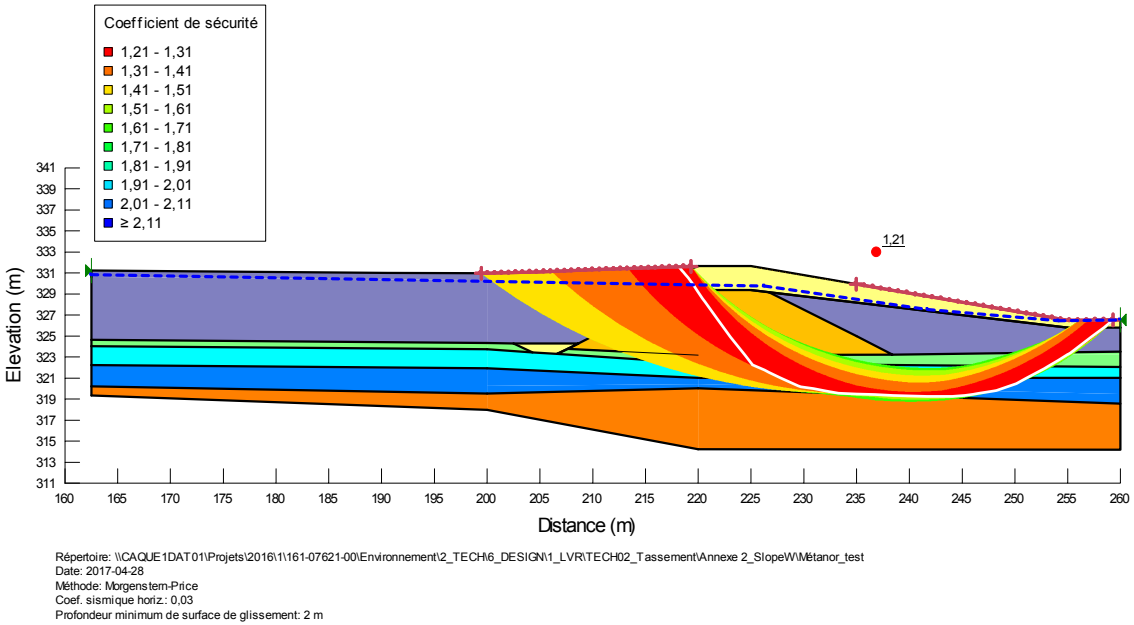
Figure 4 : Cercles de rupture semi-circulaire de la digue Médiane – Condition drainée et chargement pseudo-statique



Couleur	Nom	Poids unitaire (kN/m³)	Cohésion' (kPa)	Phi' (°)	Cohésion (kPa)
	Remblai : Pierre concassée	19	0	35	
	Résidus	16	0	28	
	Silt	15	0	28	
	Croute d'argile	20			20
	Argile	16			20
	Till	21	0	30	
	Remblai : Sable	17,5	0	30	

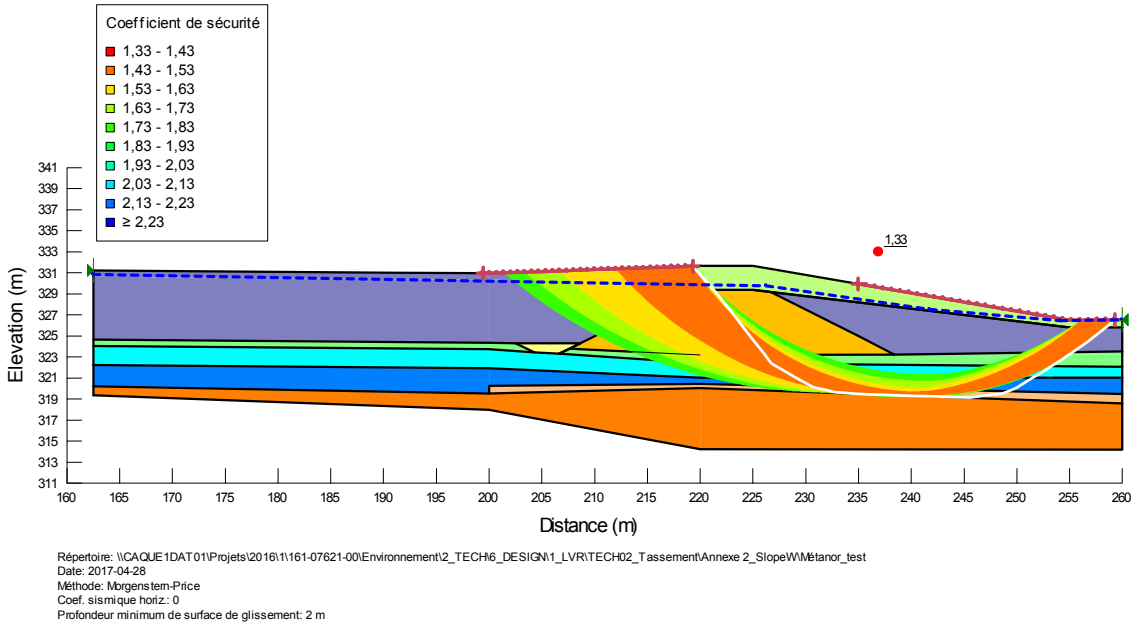
Répertoire: \\CAQUE1DAT01\Projets\2016\1\161-07621-00\Environnement\2_TECH\6_DESIGN\1_LVR\TECH02_Tassement\Annexe 2_SlopeW\Métanor_test
Date: 2017-04-28
Méthode: Morgenstern-Price
Coef. sismique horiz.: 0
Profondeur minimum de surface de glissement: 2 m

Figure 5 Cercles de rupture semi-circulaire de la digue Médiane – Condition non drainée et chargement statique sans horizon de faible résistance



Couleur	Nom	Poids unitaire (kN/m³)	Cohésion' (kPa)	Phi' (°)	Cohésion (kPa)
	Remblai : Pierre concassée	19	0	35	
	Résidus	16	0	28	
	Silt	15	0	28	
	Croute d'argile	20			20
	Argile	16			20
	Till	21	0	30	
	Remblai : Sable	17,5	0	30	

Figure 6 Cercles de rupture semi-circulaire de la digue Médiane – Condition non drainée et chargement pseudo-statique sans horizon de faible résistance



Couleur	Nom	Poids unitaire (kN/m³)	Cohésion' (kPa)	Phi' (°)	Cohésion (kPa)
	Remblai : Pierre concassée	19	0	35	
	Résidus	16	0	28	
	Silt	15	0	28	
	Croute d'argile	20			20
	Argile	16			20
	Till	21	0	30	
	Remblai : Sable	17,5	0	30	
	Argile (remaniée)	20			15
	Remblai : Pierre concassée (2)	15,4	0	35	

Répertoire: \\CAQUE1DAT01\Projets\2016\1\161-07621-00\Environnement\2_TECH\6_DESIGN\1_LVR\TECH02_Tassement\Annexe 2_SlopeW\Métanor_test
Date: 2017-04-28
Méthode: Morgenstern-Price
Coef. sismique horiz.: 0
Profondeur minimum de surface de glissement: 2 m

Figure 7 Cercles de rupture semi-circulaire de la digue Médiane – Condition non drainée et chargement statique avec horizon de faible résistance et densité de remblais plus faible

Annexe 3

Valeur d'accélération sismique pour le site minier du lac Bachelor (CNB, 2015)

Calcul de l'aléa sismique - Code National du Bâtiment 2015

INFORMATION: Canada de l'Est Français (613) 995-0600 Anglais (613) 995-5548 Télécopieur (613) 992-8836
Canada de l'Ouest Anglais (250) 363-6500 Télécopieur (250) 363-6565

December 01 , 2016

Site: 49.4983 N, 76.1408 W Demandeur: Stéphane Côté, WSP

Bibliographie fichier utilisateur: Ressources Méthanor

Mouvements du sol CNB : Probabilité de dépassement de 2% sur 50 ans (0.000404 par année)

Sa(0.05)	Sa(0.1)	**Sa(0.2)**	Sa(0.3)	**Sa(0.5)**	**Sa(1.0)**	**Sa(2.0)**	**Sa(5.0)**	**Sa(10.0)**	**PGA (g)**	**PGV (m/s)**
0.057	0.080	**0.081**	0.073	**0.066**	**0.045**	**0.025**	**0.0063**	**0.0029**	**0.047**	**0.057**

Remarques. Spectral (Sa (T), où T est la période en secondes) et l'accélération maximale du sol (PGA) sont données en unités de g (9.81 m/s^2). La vitesse maximale du sol est donnée en m/s. Les valeurs sont pour la "terre ferme" (CNBC2015 Site Classe C, la vitesse moyenne des ondes de cisaillement de 450 m/s). Les valeurs du CNBC2015 et de CSAS6-14 sont spécifiés en caractères **gras**. Trois périodes supplémentaires sont fournis - leur utilisation est documenté dans les commentaires CNBC2015. Seuls 2 chiffres significatifs doivent être utilisés. ***Ces valeurs ont été interpolées à partir d'une grille de points de 10 km de distance. Selon le gradient des points à proximité, les valeurs peuvent varier. Plus de 95 pour cent des valeurs interpolées sont à 2 pour cent des valeurs calculées.***

Mouvements du sol pour d'autres probabilités :

Probabilité de dépassement par année	0.010	0.0021	0.001
Probabilité de dépassement dans 50 ans	40%	10%	5%
Sa(0.05)	0.0090	0.023	0.034
Sa(0.1)	0.015	0.035	0.051
Sa(0.2)	0.018	0.040	0.055
Sa(0.3)	0.017	0.038	0.051
Sa(0.5)	0.015	0.034	0.047
Sa(1.0)	0.0083	0.022	0.031
Sa(2.0)	0.0037	0.011	0.017
Sa(5.0)	0.0008	0.0027	0.0040
Sa(10.0)	0.0005	0.0012	0.0018
PGA	0.0085	0.021	0.030
PGV	0.0092	0.026	0.038

Bibliographie

Le code national du bâtiment du Canada 2015 NRCC no. 56190F;
Annexe C: Information climatique pour la conception des bâtiments au Canada - table dans l'Annexe C

Manuel d'utilisateur - CNB 2015, Commentaires structuraux CNRC no. xxxxxx (en preparation)
Commentaire J: Conception pour des effets sismiques
Commission Géologique du Canada Dossier public 7893 Cinquième génération du modèle des risques sismiques au Canada: Valeurs de grille pour être utilisés avec le Code national du bâtiment du Canada 2015

Voir les sites webs *www.SeismesCanada.ca* et *www.nationalcodes.ca* pour plus d'information

Also available in english

ANNEXE

C

NOTE TECHNIQUE SUR LE LA STABILITÉ DE LA DIGUE INTERNE PRINCIPALE : 161-07621-00_METANOR_TECH03_STAB_DIG_INT_PRINC_20170515_SIGN.PDF

NOTE TECHNIQUE 03

DESTINATAIRE(S) :	Mme Julie Raiche, Coordonnatrice en environnement Ressources Métanor
EXPÉDITEUR :	Jean-François St-Laurent, ing., M.Sc, WSP Canada Inc. Mylène Sansoucy, ing., M.Sc. WSP, Canada Inc.
DATE :	15 mai 2017
OBJET :	Validation de la stabilité de la digue interne principale Ressources Métanor – Desmaraiville, Qc
N/Réf. :	161-07621-00

1. INTRODUCTION

1.1 Mise en contexte

À la suite à la réalisation de l'inspection statuaire des digues 2016 du parc à résidus de la mine Bachelor, il avait été recommandé d'évaluer la stabilité de la digue interne principale et d'établir si des mesures correctrices devaient être mises en place afin d'assurer la sécurité à court terme de l'ouvrage.

Une investigation géotechnique fut complétée par GHD à l'automne 2016 (GHD, 2017) sous la supervision et la coordination de WSP. Cette investigation géotechnique avait pour objectif d'acquérir de l'information géotechnique sur les différentes digues de retenue du parc à résidus de la mine Bachelor. Cette investigation a par le fait même permis d'acquérir de l'information géotechnique sur les sols naturels présents sous l'aire d'accumulation des résidus miniers, ainsi que sur les rejets miniers (c.-à-d. : résidus et stériles) produits sur le site.

Cette information a été utilisée afin d'évaluer la nécessité de mettre en place des mesures correctrices au droit de la digue interne principale afin d'en assurer la sécurité à court terme.

1.2 Objectifs du document

Les objectifs du présent document sont les suivants :

- → présenter les documents consultés et les analyses effectuées pour mener à terme la présente étude;
- → évaluer la nécessité de travaux correcteurs et, si requis, les identifier afin d'assurer la sécurité à court terme de la digue interne principale.

2. DOCUMENTATION CONSULTEE

Le tableau 1 présente les différents ouvrages consultés dans le cadre de cette étude.

Tableau 1 Documentation consultée

IDENTIFICATION	RÉFÉRENCE
1	AMEC, Inspection statutaire 2015, Parc à résidus – Mine du lac Bachelor, TX15012903-RMR-0001-A, p.8 + Annexes
2	Golder et Associés Ltée, 2007, Étude géotechnique et hydrogéologique et conception du parc à résidus de la mine du lac Bachelor Desmaraisville, Québec, p.48 + Annexes
3	WSP, 2016. *Rapport d'inspection statutaire du parc à résidus du lac Bachelor, 2016.* Rapport produit pour Ressources Métanor Inc. 19 pages et annexes.
4	AMEC, 2011, Note technique, Vérification et suivi du plan de remplissage – Analyse de stabilité, TX11158403, p.5 + Annexes
5	AMEC, 2011, Note technique, Vérification et suivi du plan de remplissage, TX11158403, p.4
6	AMEC, 2012, Parc à résidus miniers – Lac Bachelor – Rehaussement de la digue ouest coupe typique, Pour construction
7	AMEC, 2012, Parc à résidus miniers – Lac Bachelor – Rehaussement de la digue médiane coupe typique, Pour construction
9	GHD, 2017, Investigation géotechnique – Rehaussement de la cellule no 1 du parc à résidus Mine Bachelor, p.18 + Annexes
10	AMEC, 2015, Planification quinquennale – Mine Bachelor, Québec, TX15012903-1000-RGE-0001-A, p.22 + Annexes
11	Services Envirosynergie, 2017, Note technique – Modification du certificat d'autorisation d'exploitation et de traitement du minerai du site minier Bachelor du 4 juillet 2012 – Condition #3, p.3.
12	Leroeuil et al. 1985. Remblais sur les argiles molles. 342 pages.
13	Bowles, J.E., 1984. Physical and geotechnical properties of soils. Second Edition. 578 p.
14	Fichier Autocad : ACAD-ENV_162000-1 2016.dwg, fournit par Métanor dans le cadre de ce mandat

3. METHODOLOGIE

L'analyse des documents ci-dessus présentés fut réalisée afin d'acquérir le maximum d'information possible sur la conception et construction de la digue interne principale, ainsi que sur les propriétés géotechniques des matériaux la constituant et sous-jacents à celle-ci.

Par la suite, l'information a été analysée et intégrée dans un modèle géotechnique afin d'établir quel était le coefficient de sécurité de la digue interne principale sous différentes conditions de chargement et situation. Ces coefficients ont par la suite été comparés aux recommandations et exigences applicables afin d'être en mesure d'émettre des recommandations en ce qui concerne de possibles travaux de stabilisation.

4. REVUE DOCUMENTATION

4.1 Ingénierie de la digue interne principale

Sur la base du document 10 ci-dessus mentionné, il semblerait que la digue interne principale soit composée entièrement d'enrochement (stériles miniers) sans spécification particulière. Le forage F-E-1-2016 réalisé par GHG (GHD, 2017) sur la crête de la digue confirme l'origine des matériaux granulaires constituant la digue. Ce forage a confirmé que le matériau utilisé pour la construction de la digue interne principale est du stérile minier de calibre 0-100 mm. Comme il est possible de voir à l'annexe A, l'épaisseur de la digue interne principale semble être de l'ordre de 3,00 m au droit du forage F-E-1-2016. Cette digue est construite directement sur des résidus miniers. L'épaisseur du dépôt de résidus miniers est approximativement de 6,10 m et ceux-ci gisent directement sur les dépôts naturels d'une épaisseur approximative de 8,34 m.

La crête de la digue interne principale est parsemée de brèches permettant à l'eau de surface de s'écouler librement et de façon gravitaire vers le bassin d'accumulation. La crête de cette digue peut, au besoin, être utilisée comme chemin d'accès.

Sur les plans présentés dans le document 10, il est spécifié que la crête de la digue interne principale doit avoir une largeur de 5,0 m, que la pente aval de cette digue doit respecter une inclinaison de 2.5H :1V et qu'une berme en pied de talus, localisée 2 m plus bas que la crête, doit aussi avoir une largeur de 5 m. Lors de la visite d'inspection statutaire des digues réalisée en 2016, la présence de la berme au pied du talus fut observée, mais il est apparu que la pente aval de la digue interne principale était plus abrupte, soit de l'ordre de 1,65H :1V et non de 2,5H :1V, comme prescrit par AMEC en 2015. L'analyse du document 14 suggère que la crête de la digue interne principale se situe à l'élévation 331,8 m et que celle de la berme en pied de talus est à l'élévation 330,5 m, ce qui correspond aux spécifications d'AMEC. La largeur de la crête de la digue correspond à celle prescrite dans le document 10. Par contre, celle de la berme en pied de talus est de seulement 3 m.

4.2 Propriété géotechnique des matériaux

Une copie de l'information extraite des rapports géotechniques de AMEC, GHD et Golder est présente en annexe 1 du présent document ainsi qu'une carte de localisation des sondages, afin d'aider le lecteur dans sa compréhension. Cependant le lecteur doit se référer aux documents originaux d'AMEC, GHD et Golder afin d'en saisir et de comprendre la portée et les limitations.

4.2.1 Stériles miniers

Les indices de pénétration corrigés (Indice N*) calculés au droit du remblai de stériles dans le forage F-E-1-2016 varient entre 15 à 29, ce qui suggère que la densité en place des stériles miniers, constituant la digue interne principale, est compacte. Sur la base des indices de pénétration, l'angle de friction estimé pour ce matériau devrait se situer entre 28 et 36° et le poids volumique pour ce dernier devrait se situer entre 14 et 18 kN/m³ (Bowles, 1984).

Les essais de laboratoire ont permis d'établir le poids volumique maximal des stériles miniers pouvant être atteint selon l'essai Proctor normal, qui serait de l'ordre de 23 kN/m³ à une teneur en eau optimale de 4,6 %. Ce poids volumique maximal est supérieur par rapport aux valeurs présentées par Bowles. Bien qu'il fut établi que la densité relative du remblai constituant la digue interne principale se situe entre 35 et 65 % de la valeur maximale[1], un poids volumique de 19 kN/m³[2] fut utilisé sur la base des indices N mesurés, afin d'être consistant entre les analyses de stabilité réalisées à ce jour sur le site de Métanor. Afin de s'assurer que la valeur de poids volumique utilisée était conservatrice, une étude de sensibilité fut réalisée. Les résultats de cette étude sont présentés à l'annexe 2 du présent document.

La réalisation d'un essai de cisaillement direct a permis d'établir que l'angle de friction de ce matériau serait de 52°. Cette dernière valeur est considérée comme étant particulièrement élevée et jugée comme étant non conservatrice. Ainsi, un angle de friction de 35° fut utilisé pour les stériles miniers, ce qui est consistant avec les études précédentes.

4.2.1 Résidus miniers

Pour ce qui est de l'horizon de résidus miniers sur lequel la digue est construite, les indices de pénétration corrigés (Indice N*) calculés au droit du forage F-E-1-2016 varient entre 1 et 7, suggérant que la densité en place de ce matériau est qualifiée de lâche à très lâche. Sur la base des indices de pénétration obtenus, l'angle de friction estimé pour ce matériau devrait se situer entre 25° et 32° et le poids volumique pour ce dernier devrait se situer entre 12 et 16 kN/m³ (Bowles, 1984).

Les essais de laboratoire ont permis d'établir un poids volumique maximal des résidus miniers, pouvant être atteint par la réalisation de l'essai Proctor normal et qui serait de l'ordre de 16 kN/m³ à une teneur en eau optimale de 17,7 %. Cette valeur correspond à la barquette supérieure présentée par Bowles. La réalisation d'un essai de cisaillement direct et triaxial a permis d'établir que l'angle de friction de ce matériau serait de l'ordre de 38° en compression et de 25° en cisaillement. Par conséquent, les paramètres suivants ont été utilisés dans le cadre du présent mandat :

- angle de friction : 28°, ce qui est considéré comme conservateur sur la base des données de laboratoire et des études présentées dans la littérature. De plus, cette valeur est compatible avec l'information présentée dans les rapports cités précédemment;
- poids volumique : 16 kN/m³. Bien que cette valeur soit inférieure à celle utilisée dans le cadre des analyses de stabilité réalisée sur le site de Métanor, elle est considérée plus représentative que le 20 kN/m³ utilisé par le passé. L'interprétation des données disponibles (GHD, 2017) suggère que l'indice des vides *in situ* des résidus serait de l'ordre de l'ordre de 0,76, ce qui correspond à une densité *in situ* de 1 589 kg/m³. Afin de s'assurer que la valeur de poids volumique utilisée était conservatrice, une étude de sensibilité fut réalisée. Les résultats de cette étude sont présentés à l'annexe 2 du présent document.

Il est à noter qu'aucune distinction entre les résidus localisés sous la digue interne principale et ceux localisés en amont de cette dernière ne fut réalisée.

[1] Ce qui constitue un poids volumique se situant entre 8 et 15,4 kN/m³
[2] Ce qui correspond à une densité relative de 82 %, soit supérieure à ce qui fut mesuré sur le chantier.

4.2.1 Dépôt argileux

La présence d'un dépôt d'argile silteuse varvée, avec trace de sable, de couleur grise, saturée et de consistance ferme à molle a été identifiée sous la digue interne principale. Les profils de résistance non drainés (C_u) obtenus sur le chantier au droit du forage F-E-1-2016 sont présentés à l'annexe 1. Comme il est possible de le constater, une valeur de résistance non drainée minimale d'environ 18 kPa fut mesurée en laboratoire, sur un échantillon intact prélevé à une profondeur de ± 11 m.

Sur la base de l'information disponible, il est jugé que le profil de résistance non drainé mesuré par GHD est adéquat (se référer à l'annexe 1). Afin d'être conservateur, la résistance minimale fut appliquée sur la totalité du dépôt.

Comme présenté par Leroueil et al. (1985), la résistance mobilisable à la rupture (τ_f) diffère de celle mesurée sur le terrain, comme établi par Bjerrum. N'ayant pas de mesure de l'indice de plasticité de l'argile au droit du sondage F-E-1-2016, le coefficient μ de 0,94 identifié sur la base des I_p du F-F-1-2016 fut utilisée afin d'établir la résistance mobilisable à la rupture de l'argile sous la digue interne principale. Ainsi, une cohésion de 17 kPa fut utilisée dans les analyses de stabilité.

L'angle de frottement à long terme de l'argile sous la digue interne principale serait similaire à celui de l'argile localisée sous la digue Médiane. Ainsi, un angle de frottement de l'ordre de 26° fut estimé et est considéré comme étant conservateur (Leroueil et al., 1985). De plus, il est à noter que l'information disponible ne permet pas d'établir la cohésion effective à long terme, qui sera mobilisable dans le dépôt d'argile. Une valeur de 0 kPa a donc été mise de l'avant de façon à demeurer conservateur.

Le poids volumique mesuré en laboratoire pour le dépôt d'argile est de l'ordre de 16 kN/m³, ce qui correspond à la limite inférieure pour ce type de matériau selonBowles (1984).

4.3 Analyse de stabilité

Il est à noter que la stratigraphie identifiée par les travaux de GHD et que la géométrie de la digue interne principale diffèrent grandement de ce qui est présenté dans le document d'AMEC (2015).

Le tableau 1 présente les coefficients de sécurité minimum obtenus pour une section au droit de la digue interne principale. Ces analyses ont été réalisées pour la géométrie, comme relevé en 2016 et sur la base de l'information géotechnique présentée précédemment. Les figures présentant les analyses de stabilités réalisées sont présentées à l'annexe 2.

Tableau 1 Coefficients de sécurité obtenus pour la digue interne principale – Configuration *in situ*

Situation[2]		Coef. de sécurité obtenue	Coef. de sécurité requis	Commentaires
Non drainé chargement statique	Court terme	2,00	1,50[1]	Situation étudiée, car il est considéré qu'il y a probablement encore des surpressions interstitielles dans la fondation d'argile. Il est à noter que les cercles de ruptures critiques ne sont pas localisés dans l'argile, mais dans les résidus.
Non drainé chargement pseudo-statique[3]		1,73	1,10[1]	
Drainé chargement statique	Long terme	2,00	1,50	Situation représentant le long terme lorsque la totalité des suppressions interstitielles sera dissipée. Analyses conservatrices, car la cohésion effective de l'argile n'a pas été prise en considération. Il est à noter que les cercles de ruptures critiques ne sont pas localisés dans l'argile, mais dans les résidus
Drainé chargement pseudo-statique[3]		1,73	1,25	

Notes :
1. Une valeur de 1,3 pourrait être identifiée comme requis. Cependant, il est jugé qu'une valeur de 1,5 est plus sécuritaire. De plus, une valeur de 1,3 est souvent associée à une valeur intermédiaire acceptable pendant des travaux de construction.
2. Il est à noter que la totalité des situations et mode e ruptures possible n'ont pas été étudiés et analysées dans la présente étude. Il est recommandé que la totalité des cas de figures soient étudiés dans le cadre de la revue de la sécurité des digues, la révision du plan de fermeture de Mine Bachelor ou lorsque des travaux de rehaussement des digues du parc à résidus sont envisagés par Métanor.
3. Le coefficient d'accélération sismique utilisé correspond à 75 % de l'accélération horizontale d'un séisme d'une récurrence 2 500 ans (voir annexe 3)

4. CONCLUSION

Sur la base de l'information disponible, il est jugé que la stabilité de la digue interne principale est acceptable et respecte les recommandations applicables, et ce, même si la pente aval de cette dernière est plus abrupte qu'initialement recommandée par AMEC en 2015. Comme il est possible de le constater, il semble que les cercles de ruptures critiques sont localisés à l'interphase entre le remblai de la digue et les résidus miniers sous-jacents. Ainsi, le dépôt argileux sous-jacent n'est pas affecté par les ruptures critiques.

Préparée par :

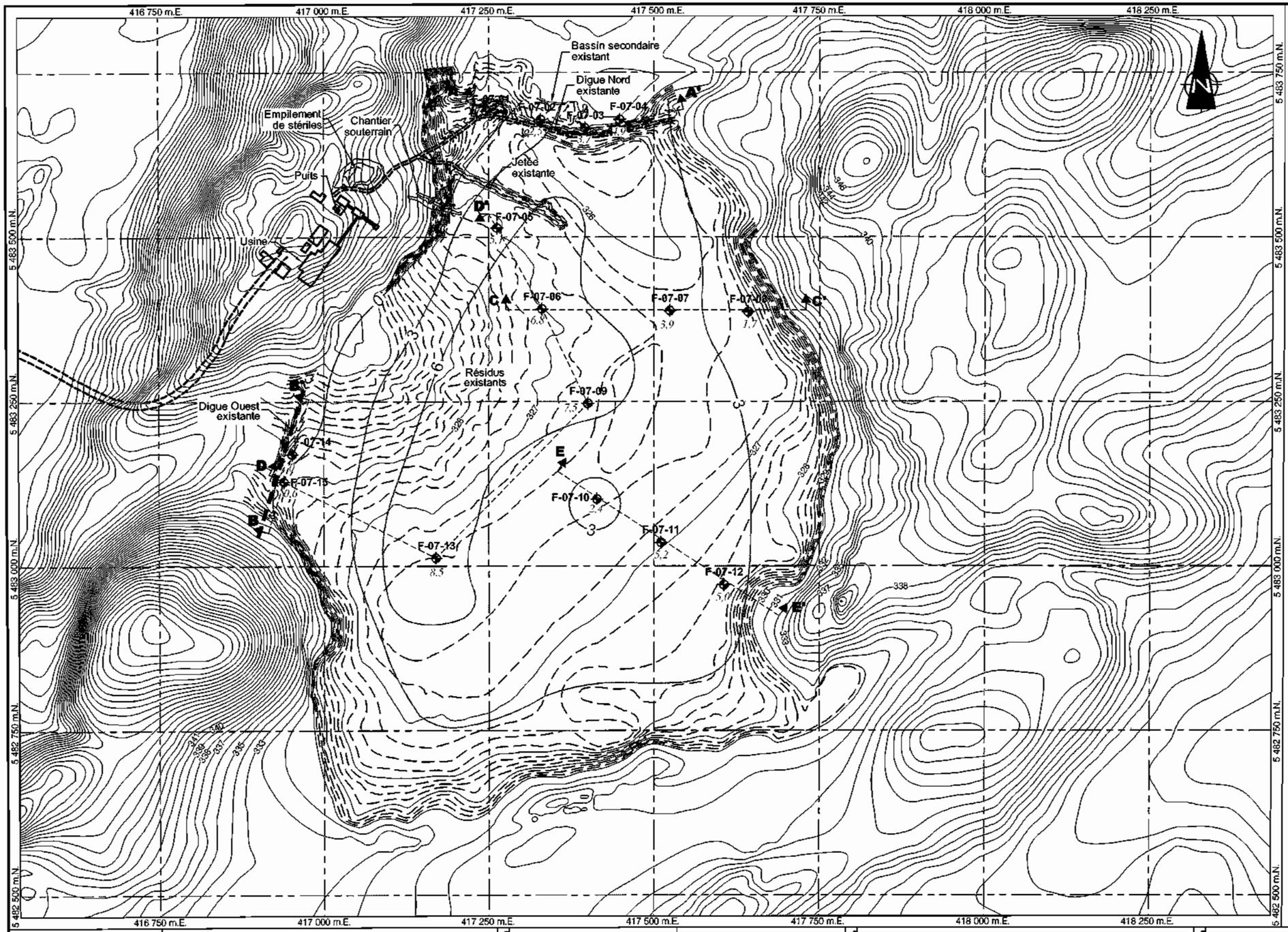
Jean-François St-Laurent, ing. M.Sc.
N° OIQ : 140 657

Vérifiée par :

Mylène Sansoucy, ing. M.Sc..
N° OIQ :143 904

Annexe 1

Extraits des rapports géotechniques de GHD (2017) et Golder (2007)



LÉGENDE:

F-07-09	Forage (Golder, 2007)
3	Isocontour d'épaisseur d'argile (en mètres)
6,10	Épaisseur d'argile (en mètres)
A A'	Localisation des coupes (voir figures 5 et 6)

NOTE:

- Excluant la présence du silt argileux.
- Les contours montrés dans le parc sont ceux relevés par J.-L. Corriveau en 2005 et 2007.

SOURCE:

Plan # C9523_Global-UTM daté de mars 2007 fourni par CORRIVEAU J.L. & ASSOC. INC.

Golder Associés
9200, boul. de l'Acadie, bureau 10
Montréal (Québec) H4N 2T2
Tél.: (514) 383-0990 Fax: (514) 383-5332

Date:	2007-08-03	Échelle:	1 : 6 000
Dessiné par:	R. Gravel	Projeté par:	M. Lemieux
Vérifié par:	M. Lemieux	Approuvé par:	M. Lemieux
No. de dessin:	0712270010-7000-03	No. de projet:	07-1227-0010

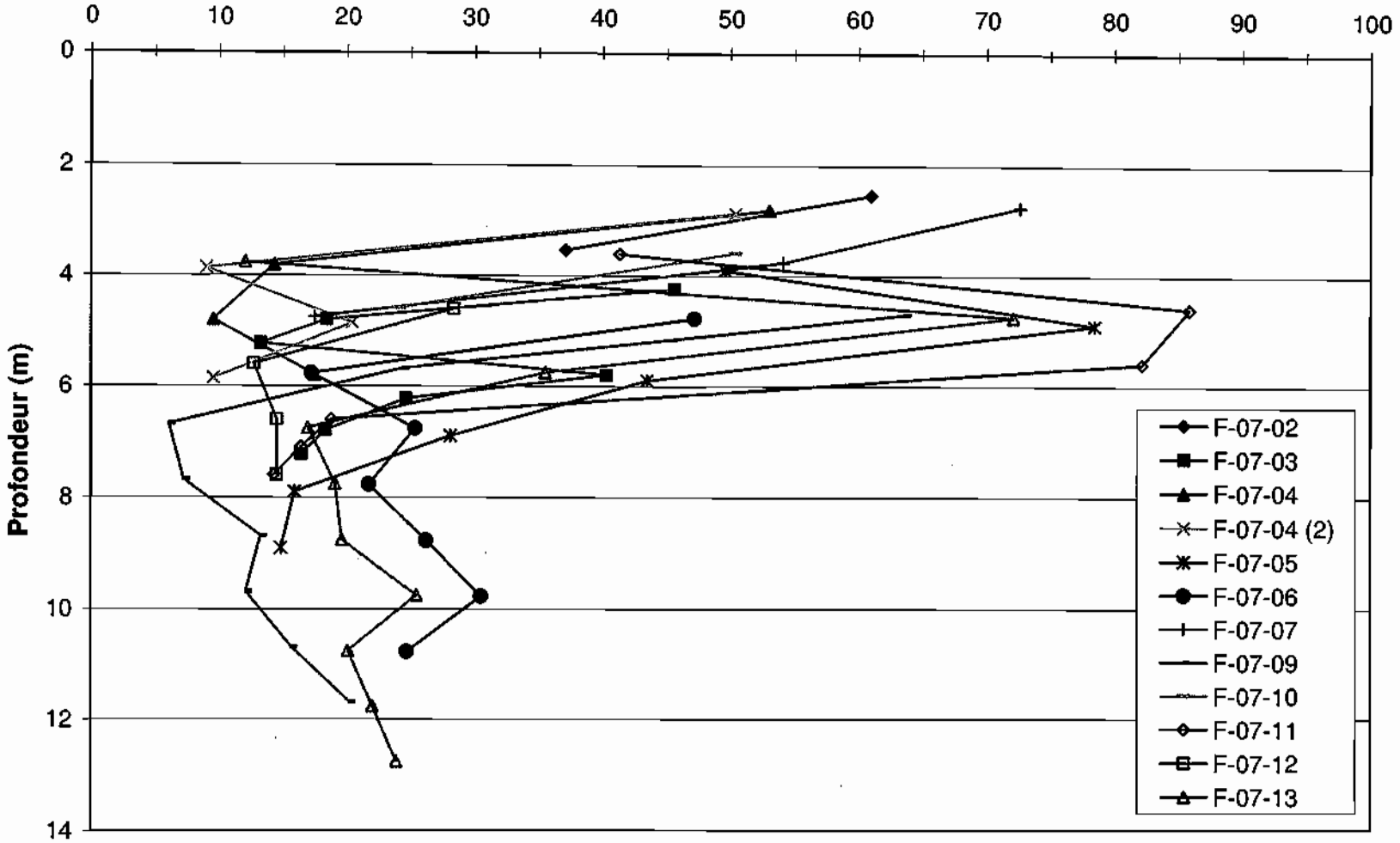
Ressources Métanor Inc.

PARC À RÉSIDUS MINIERS
LAC BACHELOR, DESMARAISVILLE, QUÉ.

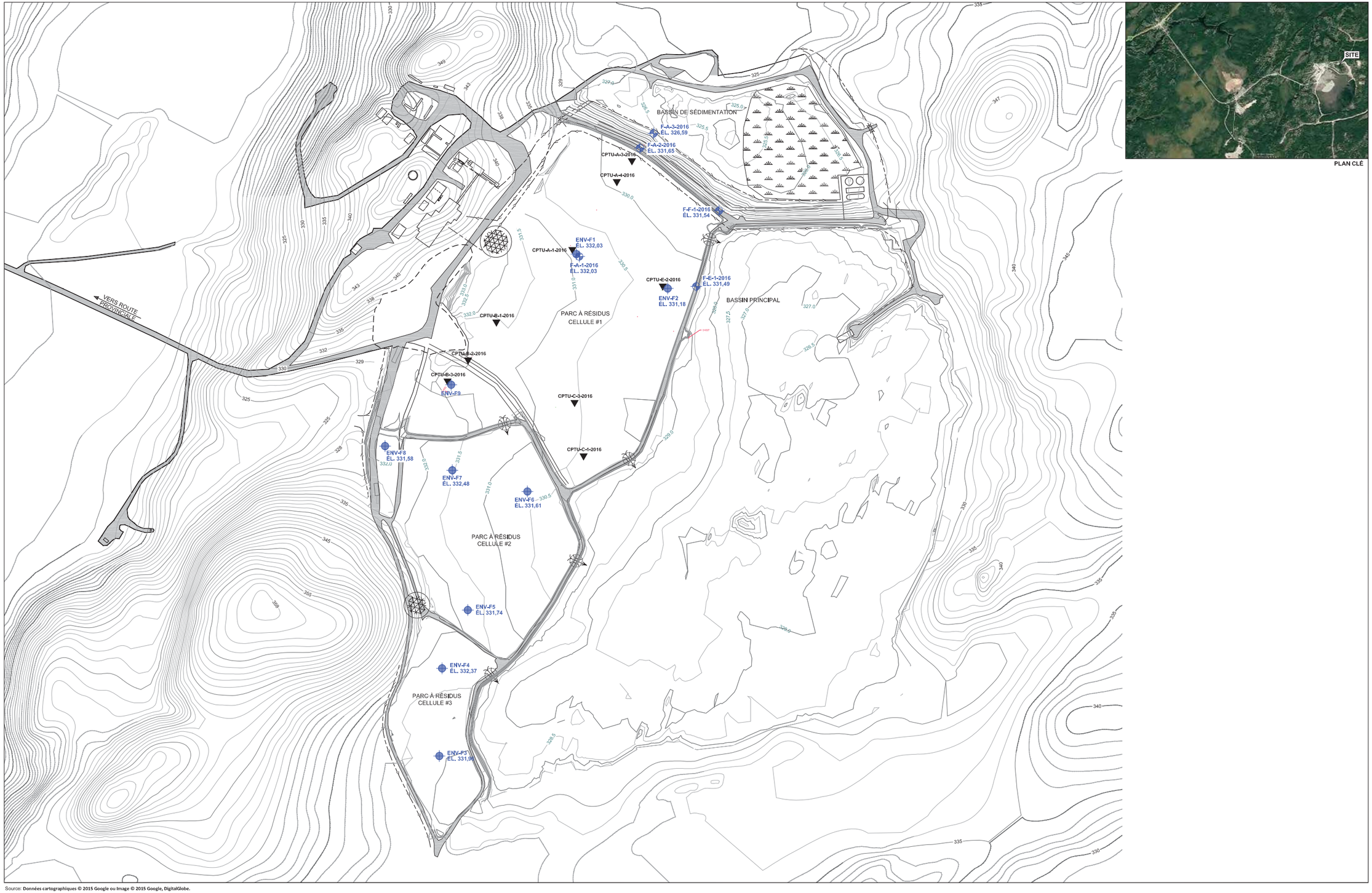
ISOCONTOURS D'ARGILE

FIGURE 3

Figure 4 :Compilation des résultats des essais de cisaillement non drainé des sols



N:\Actif\2007\1227\07-1227-0010 Métanor\données chantier\Résultats Nilcon 07-1227-0010 avec reprise



PLAN CLÉ

Source: **Données cartographiques © 2015 Google ou Image © 2015 Google, DigitalGlobe.**

LÉGENDE

- F-A-1-2016 ÉL. 332,03 — FORAGE ET NUMÉRO / ÉLÉVATION DE LA SURFACE DU SOL (m)
- ENV-F3 ÉL. 331,96 — FORAGE ENVIRONNEMENTAL ET NUMÉRO / ÉLÉVATION DE LA SURFACE DU SOL (m)
- CPTU-B-2-2016 — SONDAGE AU PIÉZOCÔNE ET NUMÉRO

ÉCHELLE = 1:2500

0 25 50 75m

Dessin par: J. SANTOS / Y. DESJARDINS

Dessin vérifié: L. MAURE

RESSOURCES MÉTANOR
200, CHEMIN DE LA MINE, DESMARAISVILLE, QUÉBEC
REHAUSSEMENT DE LA CELLULE NO 1 DU PARC À RÉSIDUS

ÉTUDE GÉOTECHNIQUE
LOCALISATION DES SONDAGES

11128109-A1
DÉC 2016

11128109-A1-1

Fichier CAD: 11128109a1-dessin1.dwg

RAPPORT DE FORAGE

FORAGE No: F-E-1-2016

CLIENT: RESSOURCES MÉTANOR

PROJET: REHAUSSEMENT DE LA CELLULE NO 1 DU PARC À RÉSIDUS

LOCALISATION: 200, CHEMIN DE LA MINE, DESMARAISVILLE, QUÉBEC

DÉCRIT PAR: F. ARGUIN VÉRIFIÉ PAR: V. BARON/ L. MAURE

COORDONNÉES GÉODÉSIQUES (UTM, NAD-83) (m)
X : 417367.8
Y : 5483367.3
Z : 331.49

▼ - NIVEAU D'EAU
Date :
Profondeur (m) :

Plan de localisation : 11128109-A2-1

Type de forage : Tarière
Calibre du carottier : N
Type de marteau : Automatique
Rapport d'énergie :
Date (début) : 2016-09-29
Date (fin) : 2016-09-30

TYPE ÉCHANTILLON
CF(E) - Cuillère fendue (Environnement)
CR(E) - Carottier diamanté
TA(E) - Tarière
TEE - Tube Échantillonnage Environnement
TM - Tube à paroi mince
VR(E) - Vrac

ÉTAT ÉCHANTILLON
Remanié
Intact
Forage au diamant
Perdu

ESSAIS RÉALISÉS
AC : analyse chimique
AG: analyse granulométrique
SD: analyse sédimentométrique
W_L: limite liquide
W_P: limite plastique
w : teneur en eau
C_u: cisaillement non drainé
Dup: éch. duplicata prélevé

COUPE STRATIGRAPHIQUE				ÉCHANTILLON						RÉSULTATS DES ESSAIS	
Profondeur (m)	Élévation (m)	Symbole	Stratigraphie	État	Type et Numéro	Récupération %	Autres Essais	PID (ppm)	Coups par 6 po / 15 cm (Calibre)	N ou RQD	Niveau d'eau
0.00	331.49		Surface du sol							10 20 30 40 50 60 70 80 90	
			Remblai: Pierre concassée de calibre apparent 100-0mm, grise, humide, compact		CF-1	21			11-10-18-10 (N)	18*	
1.0					CF-2	16			7-12-13-16 (N)	16*	
					CF-3	43			8-24-20-15 (N)	29*	
2.0	2.00	329.49	devenant saturée								
					CF-4	13			8-13-11-10 (N)	15*	
3.0	3.05	328.44	**Résidus miniers:** Silt, traces de sable et de gravier, gris, saturé, très lâche		CF-5	43			4-6-3-5 (N)	6 *	
	3.81	327.68	devenant très lâche		CF-6	16			4-2-3-3 (N)	3 *	
4.0											
					CF-7	49			2-2-2-1 (N)	3 *	
5.0					CF-8	16			8-6-2-3 (N)	5 *	
6.0					CF-9	48	Dr = 2.77		2-3-3-3 (N)	4 *	
7.0	6.86	324.63	devenant avec présence de débris (bois)		CF-10	66			3-1-2-2 (N)	2 *	
	7.62	323.87	devenant avec traces de matières organiques		CF-11	79			1-1-1-1 (N)	1 *	
8.0	8.38	323.11	devenant lâche		CF-12	13			4-4-6-6 (N)	7 *	
9.0	9.15	322.34	**Sol organique:**								
	9.31	322.18	Tourbe, brune, humide		CF-13	70			1-1-3-3 (N)	3 *	
			Sol naturel: Argile silteuse, grise, saturé, ferme								

Voir la note explicative ci-jointe pour la liste complète des symboles et abréviations

RAPPORT DE FORAGE

FORAGE No: F-E-1-2016

CLIENT:	RESSOURCES MÉTANOR
PROJET:	REHAUSSEMENT DE LA CELLULE NO 1 DU PARC À RÉSIDUS
LOCALISATION:	200, CHEMIN DE LA MINE, DESMARAISVILLE, QUÉBEC
DÉCRIT PAR:	F. ARGUIN
VÉRIFIÉ PAR:	V. BARON/ L. MAURE

COORDONNÉES GÉODÉSIQUES (UTM, NAD-83) (m)

X : 417367.8
Y : 5483367.3
Z : 331.49

▼ - NIVEAU D'EAU
Date :
Profondeur (m) :

Plan de localisation : 11128109-A2-1

Type de forage : Tarière
Calibre du carottier : N
Type de marteau : Automatique
Rapport d'énergie :
Date (début) : 2016-09-29
Date (fin) : 2016-09-30

TYPE ÉCHANTILLON
- CF(E) - Cuillère fendue (Environnement)
- CR(E) - Carottier diamanté
- TA(E) - Tarière
- TEE - Tube Échantillonnage Environnement
- TM - Tube à paroi mince
- VR(E) - Vrac

ÉTAT ÉCHANTILLON
- Remanié
- Intact
- Forage au diamant
- Perdu

ESSAIS RÉALISÉS
- AC : analyse chimique
- AG: analyse granulométrique
- SD: analyse sédimentométrique
- W_L: limite liquide
- W_P: limite plastique
- w : teneur en eau
- C_u: cisaillement non drainé
- Dup: éch. duplicata prélevé

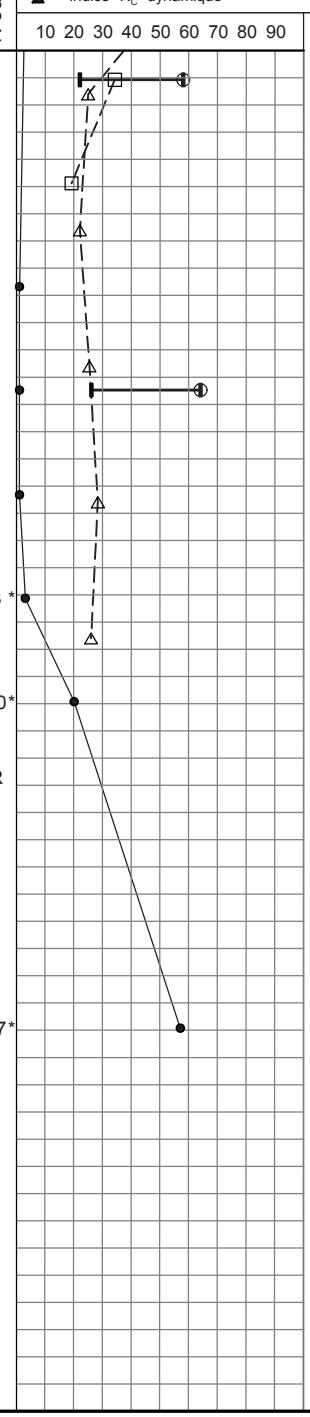
COUPE STRATIGRAPHIQUE / **ÉCHANTILLON** / **RÉSULTATS DES ESSAIS**

Profondeur (m)	Élévation (m)	Symbole	Stratigraphie	État	Type et Numéro	Récupération %	Autres Essais	PID (ppm)	Coups par 6 po / 15 cm (Calibre)	N ou RQD
10.00	321.49		Surface du sol							
					TM-14	100	A w y = 1.63 g/cm³ Cu = 35 Kpa Cur = 2.6 Kpa			
11.0					TM-15	100				
					CF-16	100	y = 1.59 g/cm³ Cu = 19.8 Kpa Cur = 2 Kpa		1-0-0-1 (N)	1
12.0					CF-17	100	A w		1-0-0-1 (N)	1
13.0					CF-18	100			1-0-0-1 (N)	1
13.72	317.77		devenant avec interlit de silt		CF-19	100			1-1-3-2 (N)	3 *
14.0										
14.48	317.01		Sable, un peu de silt, traces de gravier, gris, saturé, compact		CF-20	51			11-12-18-13 (N)	20*
15.0										
15.24	316.25		devenant graveleux		CF-21	5			18-50/5cm (N)	R
16.0										
17.0					CF-22	25			51-47-40 50/12cm (N)	57*
17.49	314.00		Refus tarière sur roc probable Fin du forage							
18.0										
19.0										

Note:
-* Indice de pénétration "N" corrigé en fonction du calibre de la cuillière utilisée.

RÉSULTATS DES ESSAIS

- ○ Teneur en eau (%)
- W_P W_L Limites d'Atterberg (%)
- ● Indice "N" standard
- ▲ Indice "N_C" dynamique
- △ C_u (Terrain, kPa)
- □ C_u (Lab, kPa)



Niveau d'eau

4;;9 <@3 B9 4=3

B9 4=30/& BDBDEDGQEK

CLIENT:	RESSOURCES MÉTANOR	COORDONNÉES GÉODÉSIQUES (UTM, NAD-83) (m)	▼ - NIVEAU D'EAU
PROJET:	REHAUSSEMENT DE LA CELLULE NO 1 DU PARC À RÉSIDUS	X : 417400.7 Y : 5483476.9 Z : 331.54	Date : Profondeur (m) :
LOCALISATION:	200, CHEMIN DE LA MINE, DESMARAISVILLE, QUÉBEC		Plan de localisation : 11128109-A1-1
DÉCRIT PAR:	F. ARGUIN VÉRIFIÉ PAR: V. BARON/ L. MAURE		

Type de forage : Tarière
Calibre du carottier : N
Type de marteau : Automatique
Rapport d'énergie :
Date (début) : 2016-09-27
Date (fin) : 2016-09-27

<A;368>40<5790
CF(E) - Cuillère fendue (Environnement)
CR(E) - Carottier diamanté
TA(E) - Tarière
TEE - Tube Échantillonnage Environnement
TM - Tube à paroi mince
VR(E) - Vrac

6<4<68>40<5790
Remanié
Intact
Forage au diamant
Perdu

3..45 6475 6.
AC : analyse chimique
AG: analyse granulométrique
SD: analyse sédimentométrique
W_L: limite liquide
W_P: limite plastique
w : teneur en eau
C_u: cisaillement non drainé
Dup: éch. duplicata prélevé

89:;3.< 4<5= 4;>5?:3 | 68>40<5790 | 6.:7<4<.@8.3..45

Profondeur (m)	Élévation (m)	Symbole	Stratigraphie	État	Type et Numéro	Récupération %	Autres Essais	PID (ppm)	Coups par 6 po / 15 cm (Calibre)	N ou RQD
0.00	331.54		Surface du sol							
			! "#%& Sable, un peu de gravier, traces de silt, brun, humide, lâche		CF-1	59			1-3-11-24 (N)	9 *
0.94	330.60		Pierre concassée de calibre apparent 100-0mm, grise, humide, dense		CF-2	52			16-27 20-16 (N)	31*
1.73	329.81		Sable et gravier, traces de silt, brun, humide, compact		CF-3	46	w		8-13 11-18 (N)	16*
					CF-4	16			9-8-8-7 (N)	10*
					CF-5	30	w		5-11-8-5 (N)	12*
					CF-6	48	AG		9-10-10-9 (N)	13*
					CF-7	7			17-12-11-9 (N)	15*
5.00	326.54		devenant saturé							
5.33	326.21		devenant lâche		CF-8	5			8-5-4-5 (N)	6 *
6.10	325.44		devenant graveleux		CF-9	36	AG w		7-3-8-12 (N)	7 *
					CF-10	30			5-6-6-2 (N)	8 *
					CF-11	0			4-4-5-4 (N)	6 *
8.38	323.16		devenant compact		CF-12	30			8-10-6-9 (N)	10*
8.93	322.61		./#,$F+-#& Argile silteuse, traces de sable, gris, saturé, raide		CF-13	100	SD w		2-2-3-2 (N)	3 *

Teneur en eau (%) △ C_u (Terrain, kPa)
Limites d'Atterberg (%) □ C_u (Lab, kPa)
Indice "N" standard
Indice "N_C" dynamique

10 20 30 40 50 60 70 80 90

0% $+ *2$+

4;;9 <@3 B9 4=3

B9 4=30/& BDBDEDGQEK

CLIENT:	RESSOURCES MÉTANOR	COORDONNÉES GÉODÉSIQUES (UTM, NAD-83) (m)	▼ - NIVEAU D'EAU
PROJET:	REHAUSSEMENT DE LA CELLULE NO 1 DU PARC À RÉSIDUS	X : 417400.7 Y : 5483476.9 Z : 331.54	Date : Profondeur (m) :
LOCALISATION:	200, CHEMIN DE LA MINE, DESMARAISVILLE, QUÉBEC		Plan de localisation : 11128109-A1-1
DÉCRIT PAR:	F. ARGUIN VÉRIFIÉ PAR: V. BARON/ L. MAURE		

Type de forage : Tarière
Calibre du carottier : N
Type de marteau : Automatique
Rapport d'énergie :
Date (début) : 2016-09-27
Date (fin) : 2016-09-27

<A; 368>40<5790

CF(E) - Cuillère fendue (Environnement)
CR(E) - Carottier diamanté
TA(E) - Tarière
TEE - Tube Échantillonnage Environnement
TM - Tube à paroi mince
VR(E) - Vrac

6<4<68>40<5790

Remanié
Intact
Forage au diamant
Perdu

3..45 6475 6.

AC : analyse chimique
AG: analyse granulométrique
SD: analyse sédimentométrique
W_L: limite liquide
W_P: limite plastique
w : teneur en eau
C_u: cisaillement non drainé
Dup: éch. duplicata prélevé

89:;3.< 4<5= 4;>5?:3	68>40<5790	6.:7<4<.@8.3..45

Profondeur (m)	Élévation (m)	Symbole	Stratigraphie	État	Type et Numéro	Récupération %	Autres Essais	PID (ppm)	Coups par 6 po / 15 cm (Calibre)	N ou RQD
10.00	321.54		Surface du sol							
10.00	321.54		devenant ferme		TM-14	100	A w C50 y Cu			
11.0					CF-15	100			1-1-0-1 (N)	1
					TM-16	100	SD A w y			
12.0										
12.45	319.09		Sable, un peu de silt, traces de gravier et d'argile, gris, saturé, lâche		CF-17	39			4-6-7-9 (N)	8 *
13.0										
13.72	317.82		devenant dense		CF-18	55	w		39-36 50/10cm (N)	R
14.0										
15.0					CF-19	42			60- 50/10cm (N)	R
15.49	316.05		Refus tarière sur roc probable Fin du forage							
16.0										
17.0			Note: -* Indice de pénétration "N" corrigé en fonction du calibre de la cuillière utilisée.							
18.0										
19.0										

○ Teneur en eau (%) △ C_u (Terrain, kPa)
W_P W_L Limites d'Atterberg (%) □ C_u (Lab, kPa)
● Indice "N" standard
▲ Indice "N_C" dynamique

10 20 30 40 50 60 70 80 90

0% $+ *2$+

4.1.4 Dépôt d'argile

Un dépôt naturel cohésif varvé, composé de lits subhorizontaux d'argile et de silt a été noté sous les sols décrits précédemment jusqu'à des profondeurs variant entre 8,00 m et 12,45 m dans les forages nos F-A-2-2016, F-A-3-2016 et F-F-1-2016.

La consistance de ce dépôt varie de raide à ferme en profondeur, mais certains horizons présentent des consistances molles. Selon les essais au scissomètre de chantier (Nilcon) et de laboratoire, le dépôt d'argile possède des résistances au cisaillement non drainées (cu) oscillant majoritairement entre 30 kPa et 50 kPa dans les forages nos F-A-2-2016 et F-F-1-2016 et de l'ordre de 20 kPa dans le forage no F-A-3-2016.

Le tableau suivant résume les résultats des analyses granulométriques et des teneurs en eau sur le dépôt d'argile.

Tableau 4.2 Synthèse des résultats des analyses granulométriques et des teneurs en eau sur le dépôt d'argile

Forage no	Échantillon no	Profondeur (m)	Teneur en eau (%)	Granulométrie (%)			
				Gravier	Sable	Silt	Argile
				> 4,75 mm	*4,75 mm – 0,075 mm*	*0,075 mm – 0,002 mm*	*< 0,002 mm*
F-A-2-2016	CF-13	9,14-9,75	--	0	4	32	64
F-A-2-2016	CF-15	10,67-11,28	--	0	0	43	57
F-A-3-2016	CF-7	4,57-5,18	65	--	--	--	
F-F-1-2016	CF-13	9,14-9,75	49	0	2	24	74
F-F-1-2016	TM-16	11,43-12,04	31	0	3	69	28

Le tableau suivant résume les résultats des limites de consistance (limites Atterberg).

Tableau 4.3 Synthèse des résultats de la détermination des limites de consistance

Forage no	Échantillon no	Profondeur (m)	Limite de plasticité	Limite de liquidité	Indice de plasticité	Indice de liquidité	Teneur en eau (%)
F-F-1-2016	TM-14	10,26-10,41	24	53	29	0,97	52
F-F-1-2016	TM-16	11,63-11,78	18	28	10	1,3	31

La classification unifiée des sols indique que l'argile est classifiée « CL » et « CH », soit une argile silteuse inorganique de plasticité faible à élevée.

Le tableau suivant présente les résultats des essais de détermination du poids volumique ainsi que des résistances au cisaillement à l'aide du pénétromètre à cône.

Tableau 4.4 Synthèse des résultats du poids volumique et de la résistance au cisaillement au pénétromètre à cône

Forage no	Échantillon no	Profondeur (m)	Résistance au cisaillement intact (kPa)	Résistance au cisaillement remanié (kPa)	Sensibilité (Cu/Cur)	Poids volumique (kN/m^3)
F-A-3-2016	TM-8	5,57-5,72	--	--	--	16,0
F-A-3-2016	TM-9	6,32-6,47	--	--	--	16,6
F-A-3-2016	TM-10	7,08-7,23	--	--	--	16,2
F-A-3-2016	TM-11	7,83-7,98	--	--	--	17,1
F-F-1-2016	TM-14	10,26-10,41	27,8	3,6	7,7	16,9
F-F-1-2016	TM-16	11,63-11,78	72,9	2,1	34,7	19,4

Un (1) essai de consolidation œdométrique et de perméabilité a été réalisé sur l'échantillon TM-14 du forage no F-F-1-2016. Le tableau suivant résume les divers paramètres calculés à partir de cet essai.

Tableau 4.5 Paramètres de consolidation œdométrique

Forage no	Échantillon no	Profondeur (m)	σ'_p (kPa)	e_o	C_r	C_c	σ'_{vo} (kPa)	OCR	Perméabilité (cm/s)
F-F-1-2016	TM-14	10,26-10,41	109	1,38	0,06	0,42	160	0,7	$7,9 \times 10^{-8}$

Notes : *σ'_p : contrainte de préconsolidation* *e_o : indice des vides initiaux* *C_c : indice de compression* *C_r : indice de recompression* *σ'_{vo} : contrainte effective verticale (poids des terres)* *OCR : rapport de surconsolidation*

D'après ces résultats, il s'agit d'un dépôt d'argile normalement consolidé.

4.1.5 Dépôt de till

Un dépôt d'origine glaciaire, communément appelé till, composé d'une matrice sableuse a été rencontré directement sous le dépôt d'argile.

Le tableau suivant résume les résultats d'une analyse granulométrique et de teneurs en eau sur le dépôt de till.

Tableau 4.6 Synthèse des résultats d'une analyse granulométrique et de teneurs en eau sur le dépôt de till

Forage no	Échantillon no	Profondeur (m)	Teneur en eau (%)	Granulométrie (%)			
				Gravier	Sable	Silt	Argile
				> 4,75 mm	*4,75 mm – 0,075 mm*	*0,075 mm – 0,002 mm*	*< 0,002 mm*
F-A-2-2016	CF-17	7,62-8,23	9	80		17	3
F-A-2-2016	CF-18	13,71-14,32	7	--	--	--	--
F-A-3-2016	CF-12	8,33-8,99	8	--	--	--	--
F-F-1-2016	CF-18	13,72-14,12	7	--	--	--	--

De plus, des cailloux et/ou blocs sont présents au sein du dépôt de till.

Le dépôt de till est dans un état qualifié généralement de compact avec des valeurs d'indices « N » variant entre 11 et 29. En profondeur, ce dernier devient dense à très dense.

Les forages nos F-A-2-2016, F-A-3-2016 et F-F-1-2016 ont été terminés au sein du dépôt de till à des profondeurs respectives de 17,42 m, 12,40 m et 15,49 m avec des refus d'enfoncement sur roc probable.

4.2 Cellule no 1

Tous les sondages, à l'exception des forages nos F-A-2-2016, F-A-3-2016 et F-F-1-2016, ont été réalisés sur la cellule no 1. Il est toutefois à noter que le forage no F-E-1-2016 a été effectué sur la digue interne principale d'une hauteur de 3 m reposant sur les résidus miniers.

4.2.1 Remblai

En surface, à l'emplacement de tous les sondages, des matériaux de remblai ont été rencontrés sur des épaisseurs variables. Celui-ci est constitué de stériles miniers mis en place avant notre arrivé, pour faciliter l'accès aux emplacements de ces sondages, à l'exception du forage no F-E-1-2016 sur la digue interne principale d'une hauteur de 3 m.

Les matériaux de remblai mis en place pour nos travaux sont à l'état lâche, alors que ceux de la digue interne principale sont considérés compact avec des valeurs d'indices « N » variant entre 15 et 29.

4.2.2 Résidus miniers

Dans les forages nos F-A-1-2016 et F-E-1-2016, des résidus miniers constitués majoritairement d'un silt avec des proportions variables en sable, gravier et argile ont été observés sur une épaisseur évaluée de l'ordre de 6 m.

Un essai pour déterminer la densité relative des grains sur un échantillon provenant des résidus miniers a été effectué. Une densité relative de 2,77 a été mesurée.

Les résidus miniers sont dans un état qualifié de très lâche à lâche avec des valeurs d'indices « N » variant entre 1 et 7.

Selon les essais de perméabilité réalisés en laboratoire et en chantier, les résidus possèdent une perméabilité de l'ordre de $1,0 \times 10^{-6}$ cm/s à $5,0 \times 10^{-6}$ cm/s.

4.2.3 Tourbe

Un horizon organique a été identifié sous les résidus miniers dans les forages nos F-A-1-2016 et F-E-1-2016 sur des épaisseurs respectives de 760 mm et 160 mm. Celui-ci est composé d'une tourbe fibreuse de couleur brune.

4.2.4 Dépôt d'argile

Un dépôt naturel cohésif varvé, composé de lits subhorizontaux d'argile et de silt a été noté sous les sols décrits précédemment jusqu'à des profondeurs variant entre 11,4 m et 14,5 m.

La consistance de ce dépôt s'avère ferme. Selon les essais au scissomètre de chantier (Nilcon), de laboratoire et des sondages au piézocône, le dépôt d'argile possède des résistances au cisaillement non drainées (c_u) oscillant majoritairement entre 25 kPa et 35 kPa.

Le tableau suivant résume les résultats des limites de consistance (limites Atterberg).

Tableau 4.7 Synthèse des résultats de la détermination des limites de consistance

Forage no	Échantillon no	Profondeur (m)	Limite de plasticité	Limite de liquidité	Indice de plasticité	Indice de liquidité	Teneur en eau (%)
F-A-1-2016	TM-13	9,50-9,67	19	39	20	0,9	37
F-A-1-2016	TM-15	11,02-11,17	22	41	19	0,95	40
F-E-1-2016	TM-14	10,12-10,27	22	58	36	1,0	58
F-E-1-2016	CF-17	12,19-12,80	26	64	43	0,88	64

La classification unifiée des sols indique que l'argile est classifiée « CL » et « CH », soit une argile silteuse inorganique de plasticité faible à élever.

Le tableau suivant présente les résultats des essais de détermination du poids volumique ainsi que des résistances au cisaillement à l'aide du pénétromètre à cône.

Tableau 4.8 Synthèse des résultats du poids volumique et de la résistance au cisaillement au pénétromètre à cône

Forage no	Échantillon no	Profondeur (m)	Résistance au cisaillement intact (kPa)	Résistance au cisaillement remanié (kPa)	Sensibilité (Cu/Cur)	Poids volumique (kN/m^3)
F-A-1-2016	TM-13	9,50-9,67	123,5	7	17,7	17,9
F-A-1-2016	TM-15	11,02-11,17	29,1	2,1	13,9	18,0
F-E-1-2016	TM-14	10,12-10,27	34,9	2,6	13,4	16,0
F-E-1-2016	TM-15	10,89-11,04	19,5	2	9,8	15,6

Un (1) essai de consolidation œdométrique et de perméabilité a été réalisé sur l'échantillon TM-13 du forage no F-A-1-2016. Le tableau suivant résume les divers paramètres calculés à partir de cet essai.

Tableau 4.9 Paramètres de consolidation œdométrique

Forage no	Échantillon no	Profondeur (m)	σ'_p (kPa)	e_o	C_r	C_c	σ'_{vo} (kPa)	OCR	Perméabilité (cm/s)
F-A-1-2016	TM-13	9,50-9,67	252	0,96	0,02	0,32	110	2,3	$1,3 \times 10^{-7}$

Note : $\sigma'p$: contrainte de préconsolidation; eo : indice des vides initiaux; Cc : indice de compression; Cr : indice de recompression; $\sigma'vo$: contrainte effective verticale (poids des terres); OCR : rapport de surconsolidation

D'après ces résultats, il s'agit d'un dépôt d'argile surconsolidé.

4.2.5 Dépôt de till

Un dépôt d'origine glaciaire, communément appelé till, composé d'une matrice sableuse a été rencontré directement sous le dépôt d'argile.

Des cailloux et/ou blocs sont présents au sein du dépôt de till.

Le dépôt de till est dans un état qualifié généralement de compact avec des valeurs d'indices « N » variant entre 20 et 26. En profondeur, ce dernier devient dense à très dense.

Les forages nos F-A-1-2016 et F-E-1-2016 ont été terminés au sein du dépôt de till à des profondeurs respectives de 15,33 m et 17,49 m avec des refus d'enfoncement sur roc probable. Tous les sondages au piézocône ont été arrêtés au refus sur la partie sommitale du dépôt de till.

5. Description sommaire des matériaux reçus

Le client nous a transmis des échantillons de stériles et de résidus miniers afin de réaliser des essais sur les matériaux qui seront utilisés lors des travaux.

5.1 Stériles miniers

Le tableau suivant résume les résultats d'une analyse granulométrique sur les stériles.

Tableau 5.1 Synthèse des résultats d'une analyse granulométrique sur les stériles

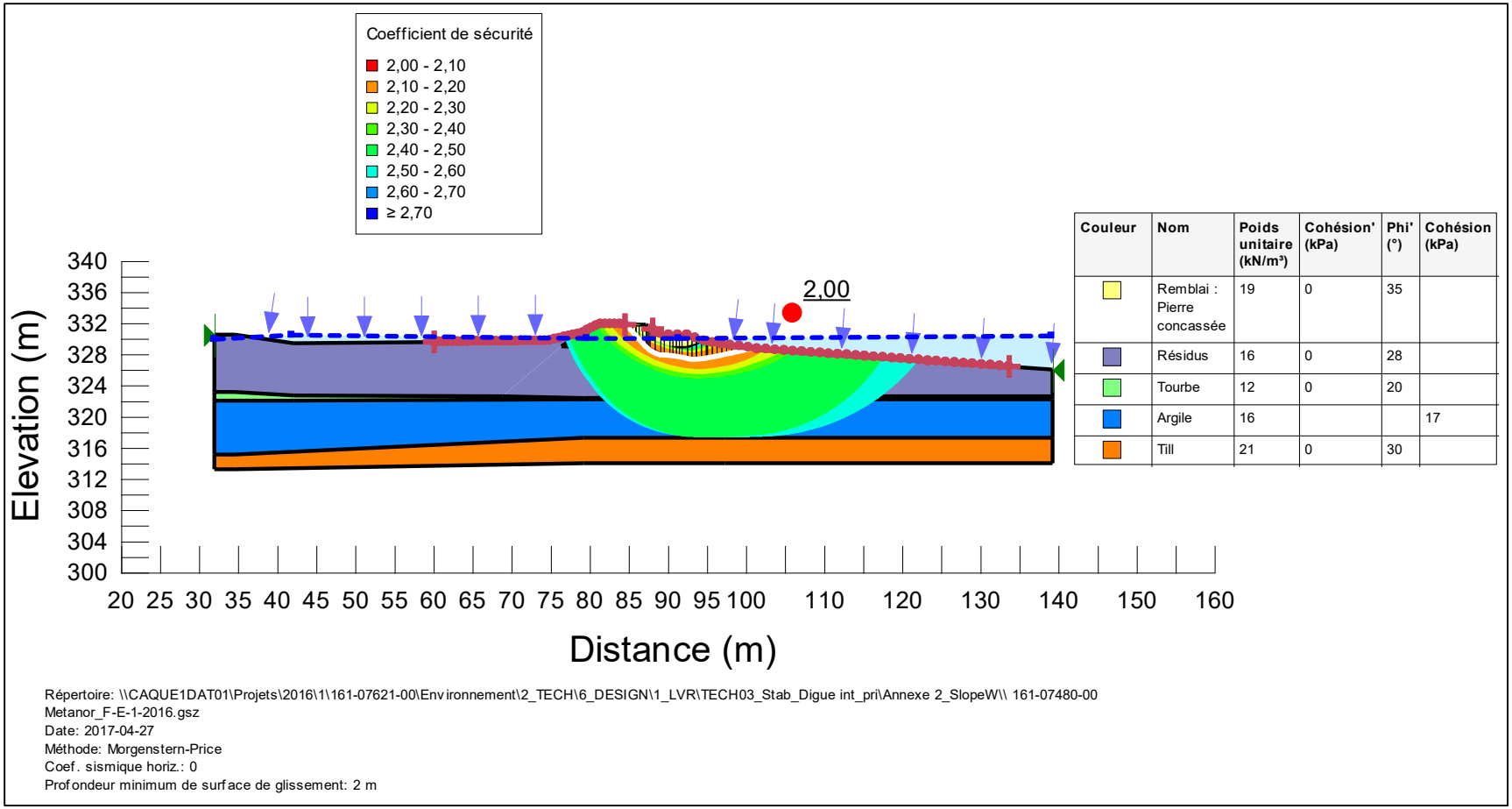
Granulométrie (%)			
Gravier	Sable	Silt	Argile
> 4,75 mm	*4,75 mm – 0,075 mm*	*0,075 mm – 0,002 mm*	*< 0,002 mm*
78	24	4	
80	16	4	

Un essai pour déterminer la densité relative des grains sur un échantillon provenant des résidus miniers a été effectué. Une densité relative de 2,81 a été mesurée.

Des teneurs en eau de 2 % e 3 % ont été obtenues sur deux échantillons différents.

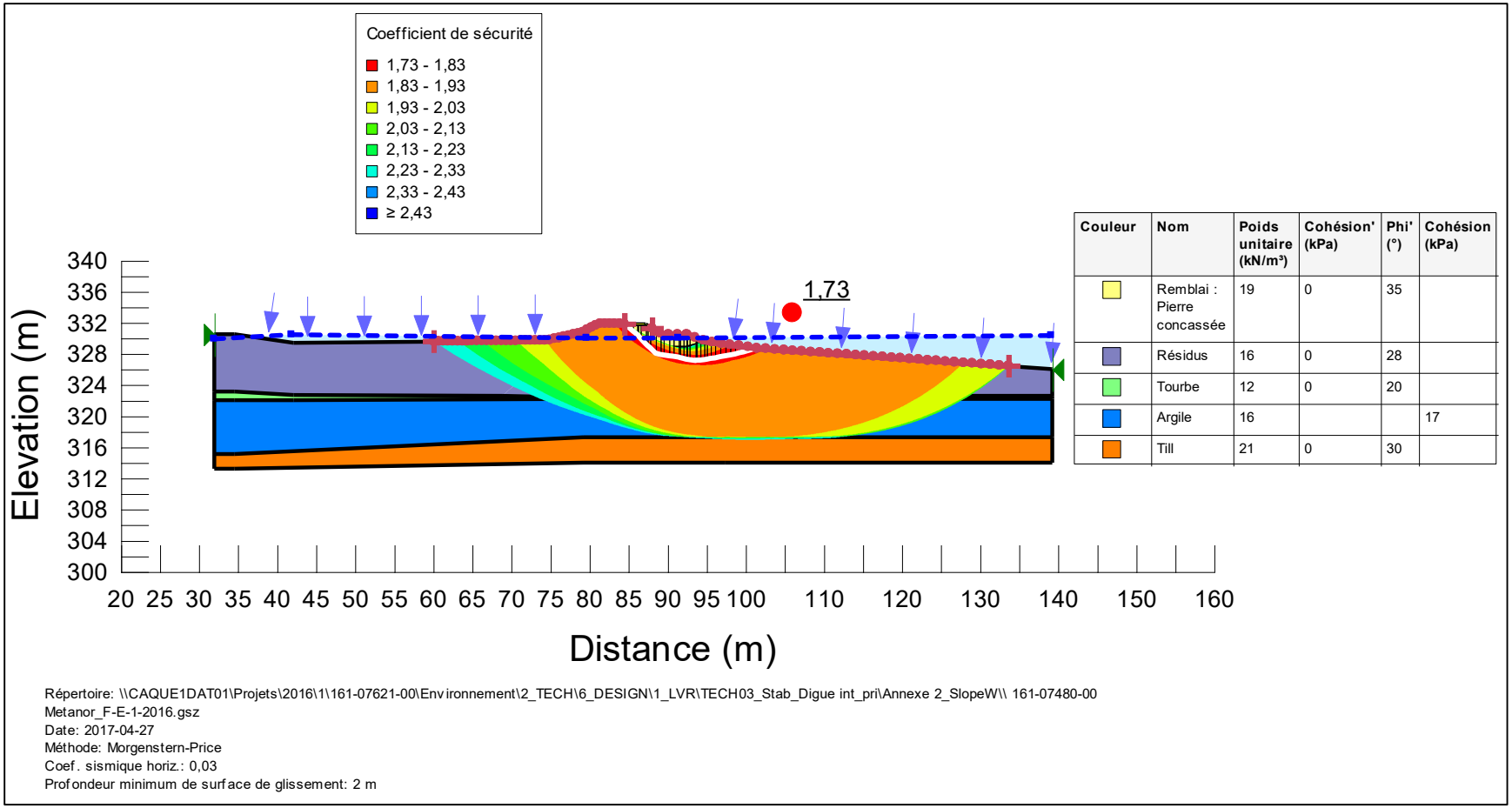
Annexe 2

Figures présentant les analyses de stabilité réalisées



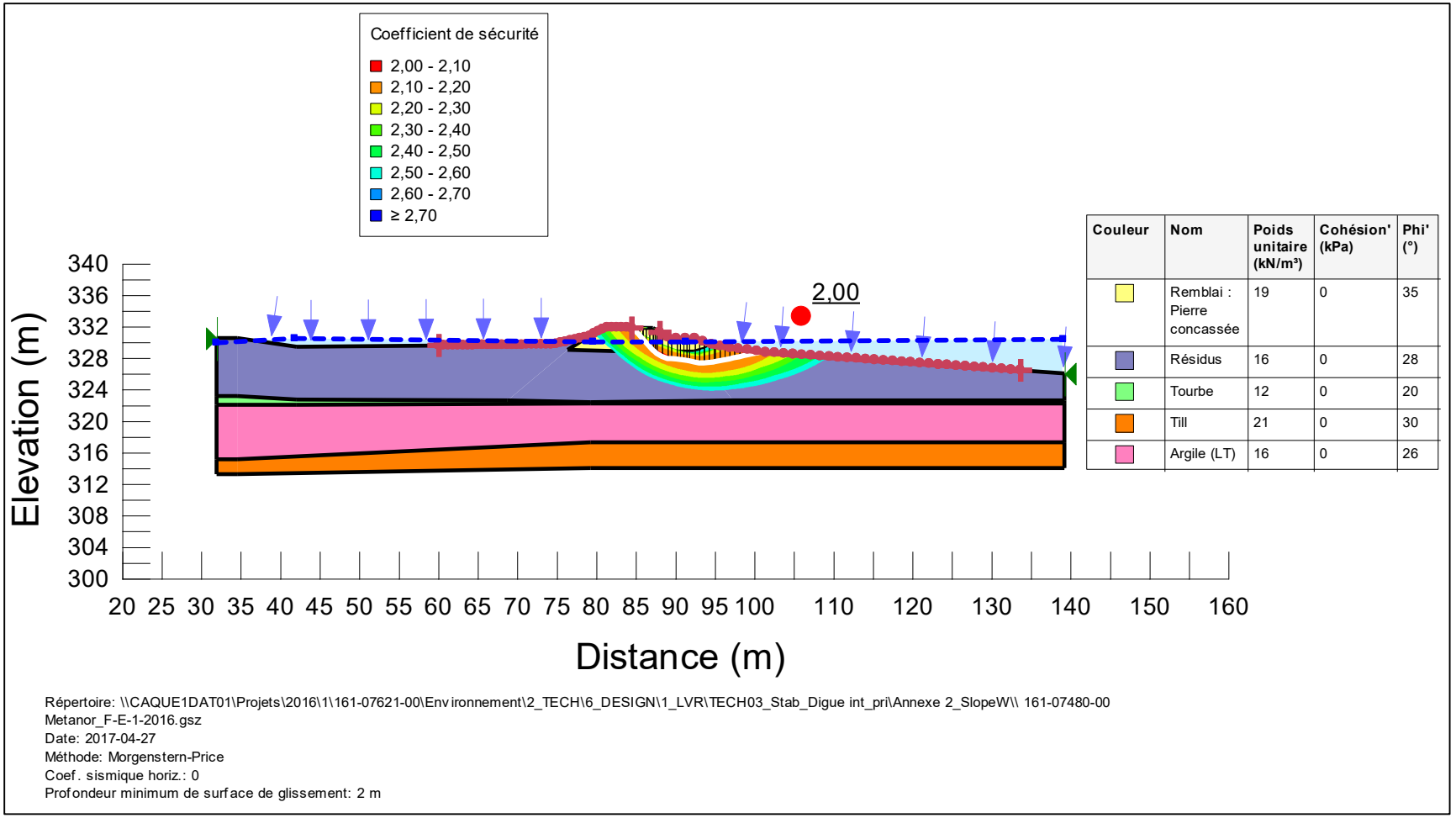
Couleur	Nom	Poids unitaire (kN/m³)	Cohésion' (kPa)	Phi' (°)	Cohésion (kPa)
	Remblai : Pierre concassée	19	0	35	
	Résidus	16	0	28	
	Tourbe	12	0	20	
	Argile	16			17
	Till	21	0	30	

Figure 1 **Cercles de rupture semi-circulaire de la digue interne principale – Condition non drainée et chargement statique (F-E-1-2016)**



Couleur	Nom	Poids unitaire (kN/m³)	Cohésion' (kPa)	Phi' (°)	Cohésion (kPa)
	Remblai : Pierre concassée	19	0	35	
	Résidus	16	0	28	
	Tourbe	12	0	20	
	Argile	16			17
	Till	21	0	30	

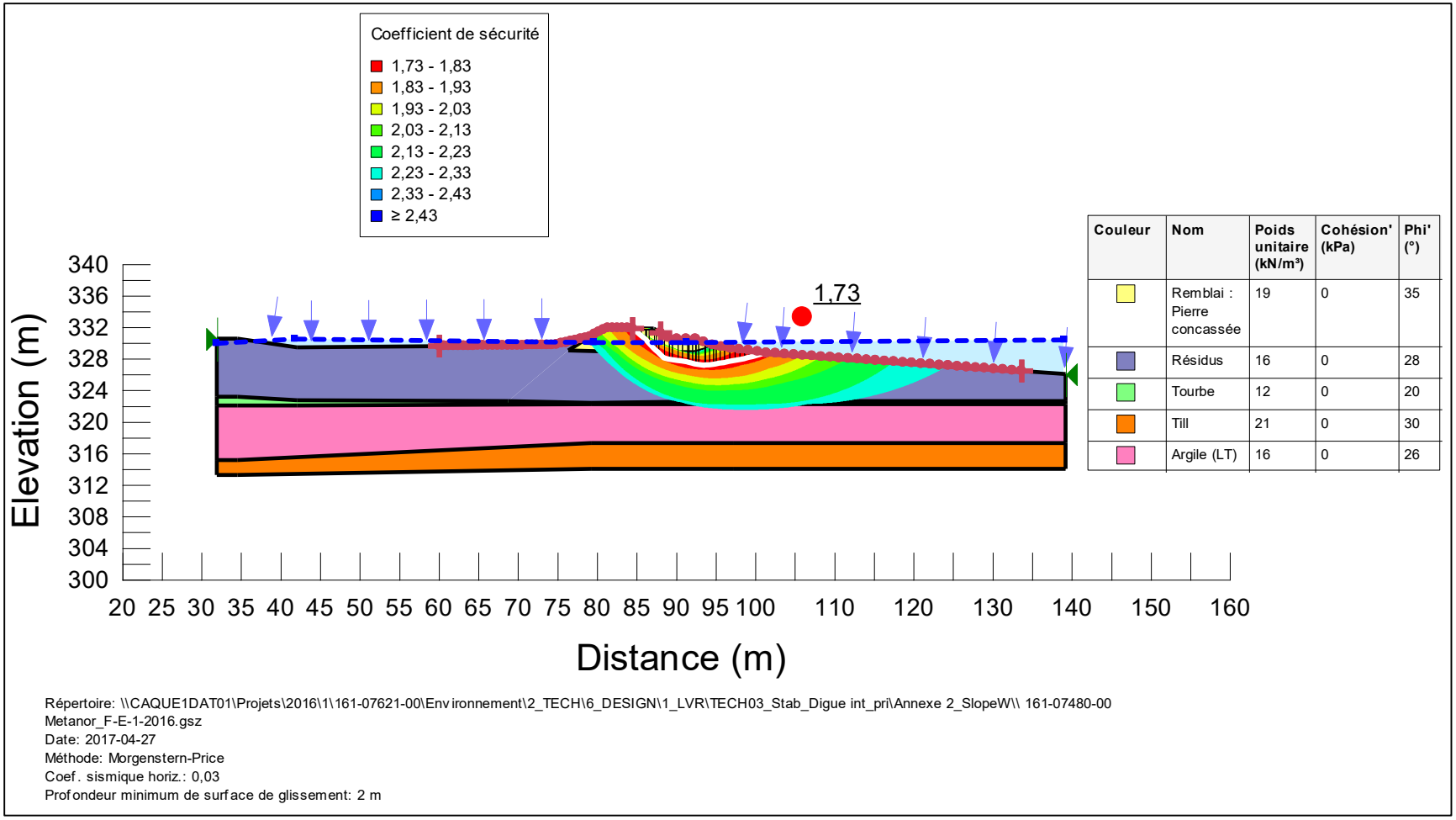
Figure 2 **Cercles de rupture semi-circulaire de la digue interne principale – Condition non drainée et chargement pseudo-statique (F-E-1-2016)**



Couleur	Nom	Poids unitaire (kN/m³)	Cohésion' (kPa)	Phi' (°)
	Remblai : Pierre concassée	19	0	35
	Résidus	16	0	28
	Tourbe	12	0	20
	Till	21	0	30
	Argile (LT)	16	0	26

Répertoire: \\CAQUE1DAT01\Projets\2016\1\161-07621-00\Environnement\2_TECH\6_DESIGN\1_LVR\TECH03_Stab_Digue int_pri\Annexe 2_SlopeW\\ 161-07480-00 Metanor_F-E-1-2016.gsz
Date: 2017-04-27
Méthode: Morgenstern-Price
Coef. sismique horiz.: 0
Profondeur minimum de surface de glissement: 2 m

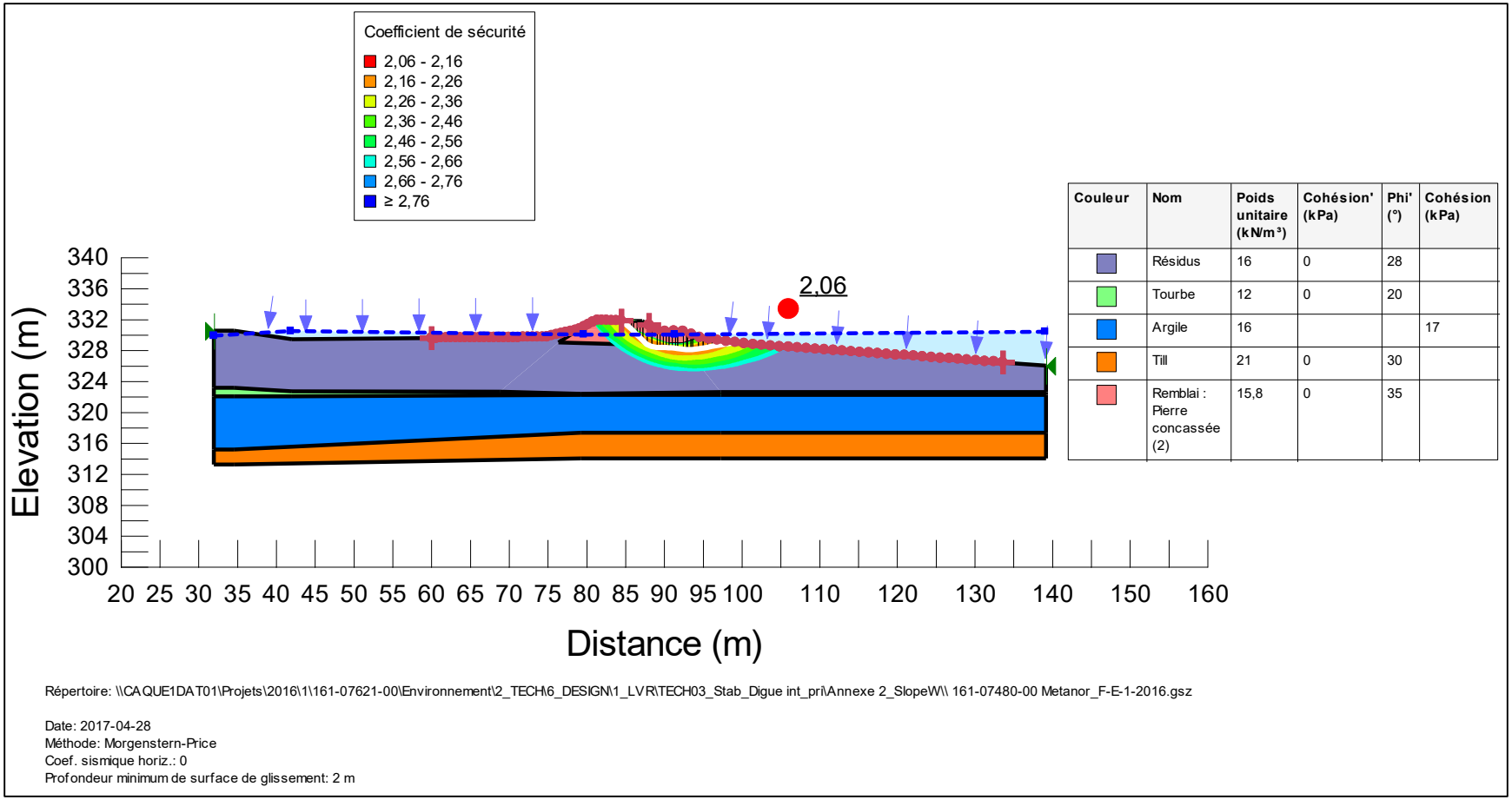
Figure 3 **Cercles de rupture semi-circulaire de la digue interne principale– Condition drainée et chargement statique (F-E-1-2016)**



Couleur	Nom	Poids unitaire (kN/m³)	Cohésion' (kPa)	Phi' (°)
	Remblai : Pierre concassée	19	0	35
	Résidus	16	0	28
	Tourbe	12	0	20
	Till	21	0	30
	Argile (LT)	16	0	26

Répertoire: \\CAQUE1DAT01\Projets\2016\1\161-07621-00\Environnement\2_TECH\6_DESIGN\1_LVR\TECH03_Stab_Digue int_pri\Annexe 2_SlopeW\\ 161-07480-00 Metanor_F-E-1-2016.gsz
Date: 2017-04-27
Méthode: Morgenstern-Price
Coef. sismique horiz.: 0,03
Profondeur minimum de surface de glissement: 2 m

Figure 4 **Cercles de rupture semi-circulaire de la digue interne principale – Condition drainée et chargement pseudo- statique (F-E-1-2016)**



Couleur	Nom	Poids unitaire (kN/m³)	Cohésion' (kPa)	Phi' (°)	Cohésion (kPa)
	Résidus	16	0	28	
	Tourbe	12	0	20	
	Argile	16			17
	Till	21	0	30	
	Remblai : Pierre concassée (2)	15,8	0	35	

Figure 5 **Cercles de rupture semi-circulaire de la digue interne principale – Condition non drainée et chargement statique, densité du remblai de la digue moindre (F-E-1-2016)**