

7 CONDITIONS HYDROGÉOLOGIQUES

7.1 Conditions géologiques spécifiques

Les résultats obtenus à partir de l'interprétation des différents forages réalisés dans le cadre de cette étude et des études antérieures réalisées sur d'autres parcelles de la propriété montrent que le lieu d'enfouissement sanitaire de Sainte-Cécile-de-Milton est positionné sur des dépôts de surface de nature et d'épaisseur variable mais faible, reposant directement sur le roc.

Globalement, les matériaux identifiés dans le cadre de la présente étude sont le reflet de ceux inventoriés sur la figure n° 2 de la carte des dépôts de surface, (annexe 2), c'est-à-dire que ces matériaux sont généralement de nature granulaire (bien qu'à l'occasion, des horizons plus silteux aient été observés), leur épaisseur excède rarement plus de 2,5 mètres, sauf au droit des forages TF-18-04 ($\pm 6,80$ mètres), TF-23-04 et TF-24-04 ($\pm 3,50$ mètres).

Sous les dépôts de surface, le roc, constitué d'ardoise rouge, a été rencontré. La partie supérieure de ce dernier est généralement fracturée, à tel point qu'à certains endroits, celui-ci a pu être traversé sur une profondeur de l'ordre de 500 mm en utilisant uniquement les tarières évidées comme outil de forage.

Sous l'horizon superficiel fracturé, le roc, constitué d'ardoise rouge de nature beaucoup plus compétente, a été rencontré. Le pendage des couches du massif rocheux varie généralement entre 50° et 70° par rapport à l'axe du forage, alors qu'une série de joints obliques, dont l'angle varie en moyenne entre 30° et 60°, a régulièrement été observée lors des prélèvements. À cet effet même, mentionnons d'ailleurs que dans certains secteurs, l'angle des fractures et des joints est sub-vertical (voir forage TF-13A-04) ou soit sub-horizontale (voir forage TF-16-04). Des interlits d'ardoise verte ont été régulièrement rencontrés en cours de forage. L'épaisseur de ces interlits verts, parfois gris, excède rarement plus de 100 mm d'épaisseur. Une seconde unité de roches sédimentaires a également été rencontrée au droit des forages TF-21-04 et TF-22-04. Dans ce cas, il s'agit d'un lit de grès gris verdâtre, légèrement oxydé, à l'intérieur duquel le réseau de fissures est principalement sub-horizontale. Finalement, une unité de roche plus compétente, associée à une roche intrusive, a été rencontrée à partir de 5 mètres de profondeur au droit du forage TF-13-04. L'angle des fissures et des joints varie entre 30° et 45° dans ce type de matériau.

En ce qui concerne la qualité du roc, les indices RQD (Rock Quality Designation) recueillis au cours du prélèvement des échantillons indiquent que la qualité du massif rocheux varie sensiblement d'un forage à l'autre. La qualité du roc, basée sur la valeur de RQD, est indiquée dans le rapport de chaque forage. La qualité moyenne des échantillons de roc prélevés est indiquée dans le tableau 5, elle varie généralement de qualité mauvaise à moyenne. Dans les forages TF-12A-04 et TF-25-04, le roc est de très mauvaise qualité. De fait, la présence de joints, de fractures, de fissures inventoriées lors de l'examen des échantillons de roc, jumelée au pourcentage de récupération du roc obtenu lors des prélèvements effectués à l'aide du carottier à double paroi, font en sorte que les données recueillies au cours de cet examen peuvent être considérées comme représentatives du contexte géologique qui prévaut à l'emplacement du L.E.S. de Sainte-Cécile-de-Milton.

7.2 Essais d'eau sous-pression

Des essais d'eau sous-pression, à charge constante, ont été réalisés dans le cadre des travaux visant à évaluer la conductivité hydraulique du massif rocheux au droit des forages TF-01-04 et TF-02-04,

tous les deux (2) localisés dans l'aire où l'enfouissement des déchets est projetée, soit un dans la partie est (TF-02-04) et l'autre dans la partie ouest (TF-01-04) de l'agrandissement.

Pour la réalisation de chaque essai, des obturateurs en caoutchouc gonflés à l'azote ont été installés au-dessus et en dessous de la section de forage à l'étude et ce, de manière à isoler la partie du massif rocheux pour laquelle on veut mesurer la perméabilité. Ainsi, une fois les obturateurs gonflés, une pression d'eau, dont la charge a préalablement été établie, est injectée (par le biais d'une tubulure qui traverse la partie centrale des obturateurs) à l'intérieur de la section du massif rocheux qui a été isolée par les obturateurs. Une fois les pressions stabilisées, l'essai d'injection d'eau à charge constante est amorcé. Ainsi, compte tenu que la pression d'eau est constante, des mesures visant à établir les volumes d'eau injectés à la pression choisie sont effectuées sur une certaine période de temps et ce, à intervalle régulier. Ce type d'essai, communément appelé « essai d'eau sous-pression à obturateur double » est celui qui a été utilisé pour établir le profil de perméabilité présent au droit du forage TF-02-04, alors que dans le cas du forage TF-01-04, le profil de perméabilité a été obtenu en utilisant la méthode dite à « obturateur simple ». Dans ce cas, un obturateur en caoutchouc est placé pratiquement au fond du forage et permet d'isoler uniquement la longueur désirée du massif rocheux. Une fois l'obturateur en place et bien gonflé, de l'eau sous-pression est injectée tout comme dans le cas de la méthode d'essai à obturateur double et ce, jusqu'à ce que des mesures de débits stables soient obtenues. Par la suite, l'obturateur est dégonflé puis remonté sur une distance équivalente à la longueur de la tige d'injection et l'obturateur est de nouveau regonflé pour l'essai suivant. Une fois le second essai terminé, les résultats obtenus lors du premier essai sont soustraits du second essai, de manière à établir la perméabilité réelle de la seconde section étudiée. Cette procédure est par la suite appliquée et ce, au fur et à mesure que l'on remonte l'obturateur le long de la paroi rocheuse.

Au total sept (7) essais sous pression ont été réalisés dont quatre (4) dans le forage TF-01-04 et trois (3) dans le forage TF-02-04. Les résultats des essais réalisés, en terme d'absorption, sont fournis dans les formulaires d'essai, joints à l'annexe 4 du rapport.

Le calcul de perméabilité des essais d'injection d'eau sous pression a été effectué selon l'expression suivante (Earth manual, 1985) :

$$K = [Q \ln (L/r)] / (2 \pi L H) \text{ pour } L \geq 10r$$

$$K = [Q \sin h^{-1} (L/2r)] / (2 \pi L H) \text{ pour } 10 r > L \geq r$$

Avec :

K = perméabilité

Q = le débit d'eau injectée durant l'essai;

L = longueur d'intervalle de l'essai;

H = Différence de la charge hydraulique d'eau lors de l'essai;

r = rayon du trou testé.

Le tableau 11 résume les coefficients de perméabilité calculés à différentes profondeurs et ce, à chacun des deux (2) forages.

TABLEAU 11 : COEFFICIENT DE PERMÉABILITÉ ET TRANSMISSIVITÉ DU ROC / FORAGES TF-01-04 ET TF-02-04

Numérotation des forages	Profondeur (m)	Longueur (m) d'intervalle de l'essai (L)	Coefficient de perméabilité (k) m/sec.	Transmissivité (T) m ² /sec.
TF-01-04	de 9,0 à 10,6	1,6	9×10^{-7}	$1,4 \times 10^{-6}$
	de 7,5 à 10,6	1,5	6×10^{-7}	9×10^{-7}
	de 6,0 à 10,6	1,5	5×10^{-7}	$7,5 \times 10^{-7}$
	de 4,4 à 10,6	1,6	5×10^{-7}	$8,0 \times 10^{-7}$
			K moy. = $6,25 \times 10^{-7}$	T moy. : $9,72 \times 10^{-7}$
TF-02-04	de 4,9 à 6,5	1,6	2×10^{-7}	$3,2 \times 10^{-7}$
	de 4,1 à 5,1	1,0	7×10^{-7}	7×10^{-7}
	de 3,1 à 4,1	1,0	8×10^{-8}	8×10^{-8}
			K moy. = $3,26 \times 10^{-7}$	T moy. : $3,66 \times 10^{-7}$

Les résultats de débit obtenus à partir des essais d'injection d'eau sous-pression réalisés au droit des forages TF-01-04 et TF-02-04, indiquent que le coefficient de perméabilité (k) estimé varie très peu d'un forage à l'autre. De fait, en établissant la perméabilité moyenne obtenue à chacun des essais, on obtient une perméabilité moyenne (k moy) de $6,25 \times 10^{-5}$ cm/sec. au droit du forage TF-01-04, alors que la perméabilité moyenne (k moy) est de $3,26 \times 10^{-5}$ cm/sec. au droit du second forage (TF-02-04).

Dans le cas de la transmissivité (T) de la formation rocheuse présente à l'emplacement de ces deux (2) forages, les valeurs obtenues varient également très peu d'un forage à l'autre. Ainsi, la transmissivité du socle rocheux estimée au droit du forage TF-01-04 est de $9,7 \times 10^{-7}$ m²/sec., alors que la valeur estimée au droit du forage TF-02-04 est de $3,7 \times 10^{-7}$ m²/sec.

7.3 Niveaux de la nappe phréatique

Les relevés piézométriques ont été mesurés le 7 juin 2004, le 18 février 2005 et le 12 mai 2005 dans les différentes installations piézométriques mises en place en périphérie de la zone d'étude, à l'intérieur du site Roland Thibault inc. Le tableau 12 indique la profondeur de la nappe phréatique et son élévation à l'emplacement de chaque forage.

Selon les trois (3) relevés effectués, les niveaux piézométriques mesurés sont situés sous le niveau de la surface existante du terrain, ce qui permet de conclure à l'absence d'une nappe sous pression artésienne. Cependant, dans certains piézomètres comme TF-18-04 et TF-19-04, le niveau d'eau mesuré en juin 2004 était situé à 0,14 m et 0,33 m sous la surface du terrain existant, soit très proche de la surface.

TABLEAU 12 : NIVEAUX STATIQUES DE LA NAPPE D'EAU SOUTERRAINE (JUN 2004, FÉVRIER 2005 ET MAI 2005)

Numérotation des forages	Élévation de terrain (m)	Nature du substrat	Profondeur de la nappe d'eau (m) Juin 2004	Profondeur de la nappe d'eau (m) Février 2005	Élévation de la nappe d'eau (m) Juin 2004	Élévation de la nappe d'eau (m) Février 2005	Élévation de la nappe d'eau (m) Mai 2005
TF-12-04	73,83	Roc sain	1,69	1,96	72,14	71,87	72,11
TF-12A-04	73,83	Roc fracturé + dépôt de surface	1,34	1,29	72,49	72,54	72,17
TF-13-04	74,72	Roc sain	1,97	1,94	72,75	72,78	72,74
TF-13A-04	74,72	Roc fracturé	2,05	1,72	72,67	73,00	72,91
TF-14-04	68,48	Roc sain	0,52	1,15	67,96	67,33	67,98
TF-15-04	68,48	Roc fracturé	0,47	0,59	68,01	67,89	67,89
TF-16-04	66,67	Roc sain	0,50	1,68	66,17	64,99	66,09
TF-17-04	66,67	Roc fracturé	0,45	1,48	66,22	65,19	66,13
TF-18-04	67,16	Roc fracturé	0,33	1,49	66,83	65,67	66,62
TF-19-04	67,16	Dépôt graveleux	0,14	1,41	67,02	65,75	66,81
TF-20-04	68,87	Roc sain	0,56	1,13	68,31	67,74	68,05
TF-20A-04	68,87	Roc fracturé + dépôt de surface	0,51	1,05	68,36	67,82	68,09
TF-21-04	83,30	Roc sain	1,41	1,49	81,89	81,81	81,95
TF-22-04	83,30	Roc fracturé + dépôt de surface	1,53	1,74	81,77	81,56	81,73
TF-23-04	83,67	Roc sain	0,87	1,08	82,80	82,59	82,60
TF-24-04	83,67	Roc fracturé + dépôt de surface	0,98	0,88	82,69	82,79	82,53
TF-25-04	72,08	Roc sain	0,91	1,75	71,17	70,33	70,37
TF-1-2005A	68,88	Dépôt de surface	-	-	-	-	68,09
TF-1-2005B	68,84	Roc	-	-	-	-	67,98
TF-2-2005A	87,75	Dépôt de surface	-	-	-	-	87,34
TF-2-2005B	87,82	Roc	-	-	-	-	86,71

Globalement, les mesures effectuées en juin 2004 indiquent que le niveau de la nappe d'eau souterraine variait entre 0,14 m et 2,05 m par rapport à la surface du terrain, alors qu'en février 2005, il variait entre 0,59 m et 1,96 m. En juin 2004, deux (2) secteurs présentaient des niveaux d'eau souterraine plus profonds qu'ailleurs; il s'agit du secteur des forages TF-12-04 et TF-13-04 localisés au nord/nord-ouest du site à l'étude et le secteur des forages TF-21-04 et TF-22-04 localisé à l'autre extrémité du site, soit dans le secteur sud/sud-est. Dans le premier cas (secteur TF-12-04 et TF-13-04), la profondeur de la nappe varie entre 1,34 m et 2,05 m, alors que dans le second cas (TF-21-04 et TF-22-04), cette dernière est un peu moins profonde et varie entre 1,41 m et 1,53 m. Ailleurs, l'ensemble des autres lectures indique que le niveau de la nappe d'eau souterraine se situe très près de la surface avec des profondeurs de moins de 1 mètre.

Dans le cas des mesures effectuées en février 2005, celles-ci sont passablement différentes puisque dans la majorité des cas, le niveau de la nappe d'eau se situe plus profond que 1 mètre, ce qui pourrait être dû au rabattement habituellement observé en période hivernale.

En mai 2005, deux (2) nouveaux forages numérotés TF1-2005A et B et TF2-2005A et B ont été réalisés dans la partie centrale située au sud-ouest du L.E.S. Ces nouveaux forages avaient pour but de recueillir de l'information supplémentaire en regard avec la position de la nappe d'eau souterraine. Pour cette raison, deux (2) nouveaux tubes de mesures à section crépinée ont été installés à chacun de ces forages, soit un à l'intérieur du dépôt meuble et/ou du roc fracturé (portant la codification A) et un à l'intérieur du roc sain (portant la codification B). Suite à la mise en place de ces nouvelles installations, de nouvelles mesures ont été effectuées sur l'ensemble des piézomètres utilisés pour le suivi de la nappe d'eau souterraine. Globalement, les résultats de ce relevé indiquent que le comportement de la nappe d'eau souterraine s'apparente à celui observé lors du relevé de juin 2004.

De plus, tout comme dans le cas des résultats obtenus dans le cadre des études effectuées dans la partie située au nord de la propriété, des gradients hydrauliques verticaux ont été observés entre le roc sain et le roc altéré. De fait, les études antérieures avaient mis en évidence une différence d'élévation entre le niveau de l'eau souterraine présent dans le roc sain et celui présent à l'intérieur du dépôt de surface qui, pour les fins de l'étude, incluait également l'horizon de roc fracturé identifié régulièrement sur une profondeur de l'ordre de 1,0 m dans la partie superficielle du socle rocheux. Ainsi, cette différence d'élévation entre les deux (2) niveaux de la nappe d'eau a pour effet de générer soit un écoulement vertical descendant ou ascendant. Dans le cadre de la présente étude, ces types d'écoulement ont été observés au droit de cinq (5) forages qui ont été réalisés un à côté de l'autre et dont les piézomètres ont été scellés dans des unités lithologiques distinctes. Ainsi, en observant les valeurs mesurées au droit des forages TF-12-04 et TF-12A-04, on note une différence d'élévation de la nappe d'eau souterraine de ± 350 mm (juin 2004), de ± 670 mm (février 2005) et de 60 mm (mai 2005) entre les deux (2) unités lithologiques. Dans ce cas, le niveau de la nappe d'eau souterraine mesurée en juin 2004 et en février 2005 au droit du piézomètre installé dans le roc est plus profond que celui installé dans le till et / ou le roc fracturé, ce qui a pour effet de créer un écoulement vertical descendant. Ailleurs, le même phénomène se produit au droit des forages TF-20-04 et TF-20A-04, mais dans ce cas, la différence d'élévation entre les deux (2) nappes est beaucoup moins importante, soit ± 50 mm en juin 2004, ± 80 mm en février 2005 et ± 20 mm en mai 2005. Dans le cas des forages TF-13-04 et TF-13A-04, c'est plutôt le phénomène inverse qui s'est produit en juin 2004, c'est-à-dire que le niveau de la nappe est un peu plus élevé dans le roc que dans le dépôt de surface (± 80 mm), ce qui génère cette fois un écoulement vertical dit ascendant, alors qu'en février c'est plutôt le niveau de l'eau souterrain dans le roc fracturé qui est plus élevé (± 220 mm) inversant ainsi l'écoulement vertical. En mai 2005, la situation est redevenue semblable à celle de février 2004 (bien que beaucoup moins prononcée), c'est-à-dire que le niveau d'eau ou niveau du roc est plus profond que dans le roc fracturé (± 140 mm) ce qui, encore une fois, génère un écoulement vertical descendant. En ce qui a trait aux

mesures effectuées au droit des nouveaux tubes de mesures installés lors de la campagne réalisée au printemps 2005, dans les deux cas, on note que l'écoulement vertical est descendant puisque les mesures de niveau d'eau obtenues dans le roc sont moins profondes (± 120 mm au droit du forage TF-1-2005A et ± 630 mm au droit du forage TF-2-2005B) que celles mesurées dans le till et/ou le roc fracturé.

Le tableau 12 présenté au début de cette sous-section, indique les élévations de la nappe mesurées dans ces secteurs.

L'ensemble des mesures de niveaux d'eau effectuées en date du 7 juin 2004, du 18 février 2005 et du 12 mai 2005, a permis de dresser un portrait de l'écoulement des eaux souterraines. Ainsi, afin de permettre une meilleure visualisation des gradients horizontaux, deux (2) cartes piézométriques avec des courbes d'élévation du niveau de l'eau souterraine ont été tracées (une pour le roc sain et le roc fracturé) à tous les mètres et ce, à l'aide du logiciel Inroad (voir figures n° 4 et 5 de l'annexe 2). Ces deux (2) cartes sont établies à partir de relevés piézométriques de mai 2005. Compte tenu de la variation saisonnière de la nappe d'eau, les cartes établies ne reflètent pas forcément les niveaux critiques observés. **Il est à noter que dû à l'espacement important entre les forages réalisés, nous avons dû imposer des valeurs à certains endroits du site afin que les courbes d'élévation du niveau de l'eau souterraine montrées sur les cartes piézométriques ne dépassent pas l'élévation de la surface du terrain existant. À l'endroit des puits d'exploration PU-08 et PU-09, l'élévation de la nappe souterraine a été fixée à 74,0 et 78,0 m respectivement.**

Globalement, les cartes qui représentent les profils de l'écoulement des eaux souterraines indiquent que les secteurs TF-21-04, TF-22-04, TF-23-04, TF-24-04 et TF-2-2005A situés au sud-est du site constituent les points hauts dans le profil piézométrique, alors que les forages TF-16-04 à TF-19-04 situés au sud-ouest représentent quant à eux les deux (2) secteurs bas du profil. Quant à l'écoulement souterrain, la disposition des courbes d'Iso-potentiel indique dans les deux (2) cas (le roc sain et le roc fracturé) que l'écoulement s'effectue en direction ouest/nord-ouest et que la vitesse d'écoulement est assez régulière entre la courbe de l'élévation 87,00 m et celle de 68,00 m. Par la suite, la distance entre les courbes augmente sensiblement ce qui indique un ralentissement de la vitesse d'écoulement dans la partie aval de l'aire projetée (secteur des forages TF-16-04 à TF-19-04). Ainsi, à partir des courbes d'Iso-potentiel tracées sur les cartes piézométriques, il est facile de calculer les gradients hydrauliques (i) de la nappe d'eau souterraine. Dans le cas du roc sain, le gradient hydraulique moyen est de l'ordre de 0,028 ou 2,8 % dans la partie sud de la propriété alors qu'au nord-est du site, le gradient hydraulique est un peu plus élevé avec une valeur de 0,037 ou 3,7 %. Les gradients hydrauliques mesurés suivent plus ou moins la pente moyenne du terrain. En ce qui concerne la porosité efficace du socle rocheux, on considère qu'une valeur entre 0 et 10 % est représentative d'un roc ayant cette composition. Pour fins de calculs, une valeur moyenne de porosité de 5 % a été utilisée dans le calcul de la vitesse d'écoulement. Ainsi, en utilisant la moyenne des conductivités obtenues au droit des forages TF-01-04 et TF-02-04, on obtient une vitesse d'écoulement de 11,00 mètres par année dans la partie la plus rapide du site, alors qu'elle est de 8,28 mètres par année dans la partie la plus lente du site. Toutefois, si on suppose que la porosité efficace du socle rocheux est de 2 %, on obtient des vitesses d'un peu plus de 27,00 mètres dans le cas le plus rapide et d'un peu plus de 20,00 mètres dans le cas le plus lent.

Dans le cas du roc fracturé, le profil d'écoulement de l'eau souterraine est pratiquement similaire à celui du roc sain sauf que dans la partie sud on observe des gradients hydrauliques un peu plus élevés (ce qui indique une vitesse d'écoulement un peu plus rapide). Ainsi, en considérant que ce type de matériaux se comportera comme un matériau granulaire grossier et que ce matériau favorisera un écoulement préférentiel de l'eau souterraine, il est permis d'estimer que la perméabilité de cet horizon sera de l'ordre de $1,0 \times 10^{-6}$ m/sec. De plus, en considérant que la porosité efficace pour un calcaire fissuré varie entre 2 % et 10 %, on peut estimer qu'en raison de la qualité du roc la porosité efficace sera de l'ordre de 10 %. Donc, en prenant comme gradient hydraulique moyen 0,0248 pour la partie nord du site et 0,0305 pour la partie sud, on obtient des vitesses d'écoulement qui correspondent à 7,71 mètres/année pour la partie nord et à 9,48 mètres/année pour la partie sud du site.