

CHAPITRE 2

GÉOLOGIE RÉGIONALE ET DESCRIPTION DU SITE

La région de Saguenay-Lac-Saint-Jean fait partie de la province géologique du Grenville, laquelle est une subdivision du Bouclier précambrien canadien. Cette province couvre toute la partie sud et centre du Québec. Le socle rocheux de cette région dont l'âge varie de 450 millions à un milliard d'années est presque entièrement recouvert de sédiments meubles s'étant principalement déposés lors de la dernière glaciation, celle du Wisconsin, datée de 80 000 à 10 000 ans avant aujourd'hui (Pagé, 1992; Hocq, 1994).

2.2 Topographie régionale

La topographie de la région est dominée par la vallée du graben du Saguenay. Ce fossé d'effondrement tectonique, correspond à un compartiment de la croûte terrestre qui s'est affaissé entre le massif du mont Valin au nord (800 à 900 m d'altitude) et celui du parc Laurentides au sud (600 à 800 m d'altitude). Topographiquement, ce graben forme une vallée orientée est-sud-est d'environ 50 km de largeur et de près de 300 km de longueur entre Tadoussac et Girardville. Le plancher du graben présente deux seuils : le premier entre l'Anse-Saint-Jean et Saint-Félix d'Otis s'élève à plus de 450 m et le second, entre Jonquière et Saint-Bruno, ne dépasse guère 200 m (Roy, 2007).

2.4 Stratigraphie des dépôts meubles de la région

Les sédiments meubles (argile, sable, gravier, cailloux) qui couvrent la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean sont d'origine, de nature, de morphologie et d'épaisseurs diverses (Robitaille et Allard, 1996). La stratigraphie de ces dépôts meubles a été documentée principalement par Tremblay (1971), Lasalle et Tremblay (1978), et Dion (1986a et 1986b).

Le retrait des glaces de la région du haut Saguenay s'est produit en cinq étapes entre 12 000 ans et 10 000 ans (Lasalle et Tremblay, 1978). Suite au retrait glaciaire, il y a eu l'invasion d'une mer (la mer Laflamme) dont le niveau maximal correspond à des points dont l'altitude actuelle est de 165 m au sud (Hébertville) et à 200 m au nord (Saint-Ludger-de-Milot). Par la suite, la remontée isostatique du continent a forcé cette mer à se retirer progressivement. C'est durant la période d'invasion marine que de grandes rivières ont déposé des deltas de sable progradant au dessus des argiles et boues marines. Au fur et à mesure du retrait de la mer provoqué par la remontée du continent, les rivières ont entaillé les dépôts antérieurs pour atteindre progressivement leur niveau actuel.

2.5 Description de la zone d'étude

Suite au retrait du glacier, le delta de la rivière Valin a été formé à l'embouchure de la rivière du même nom venant du nord, et se déversant vers le sud dans la mer Laflamme, alors en régression. Le surcreusement du lit de cette rivière a coupé ce delta en deux parties,

formant ainsi deux systèmes aquifères maintenant séparés : un à Saint-Honoré et l'autre à Saint-Fulgence (figure 2.1). Ce paléodelta est constituée d'un plateau sablonneux d'âge quaternaire qui occupe la partie est de la municipalité de Saint-Honoré et la partie ouest de la municipalité de Saint-Fulgence, pour une superficie d'environ 60 km². Son épaisseur atteint un maximum de 50 m et il repose sur le socle cristallin précambrien, soit directement ou sur une couche d'argile ou de till. L'examen des sections stratigraphiques (figures 2.2 localisée sur la figure 2.1) montre une succession de faciès sédimentaires à granulométrie croissante vers le haut, ceci est expliqué par la surmontée des dépôts sablonneux sur les argiles de la mer Laflamme lors la régression de la mer Laflamme.

Les aquifères de ce paléodelta ne sont pas confinés par un horizon moins perméable en surface (Tremblay, 2005). Donc, ils contiennent principalement une nappe libre qui se caractérise par une couche à perméabilité élevée qui affleure à la surface du terrain et s'étend jusqu'à la limite inférieure de l'aquifère (Todd, 1980; Banton et Bangoy, 1999). La limite inférieure est définie par un socle rocheux qui est composé de roches cristallines précambriennes, notamment de mangérite et d'anorthosite (Hébert et Lacoste, 1998). Quelques forages carottés dans le substratum sous les dépôts aquifères témoignent de sa nature cristalline (Laboratoires S.L., 2003). De plus, du calcaire ordovicien en discordance sur le socle rocheux affleure à quelques endroits sur le territoire de la municipalité de Saint-Honoré. Ce dernier est d'épaisseur variable et aucune information n'indique sa présence sous les dépôts meubles. Par contre, il n'est pas impossible que du calcaire ait été préservé sous l'aquifère sablonneux à l'intérieur des dépressions du socle (Tremblay, 2005).

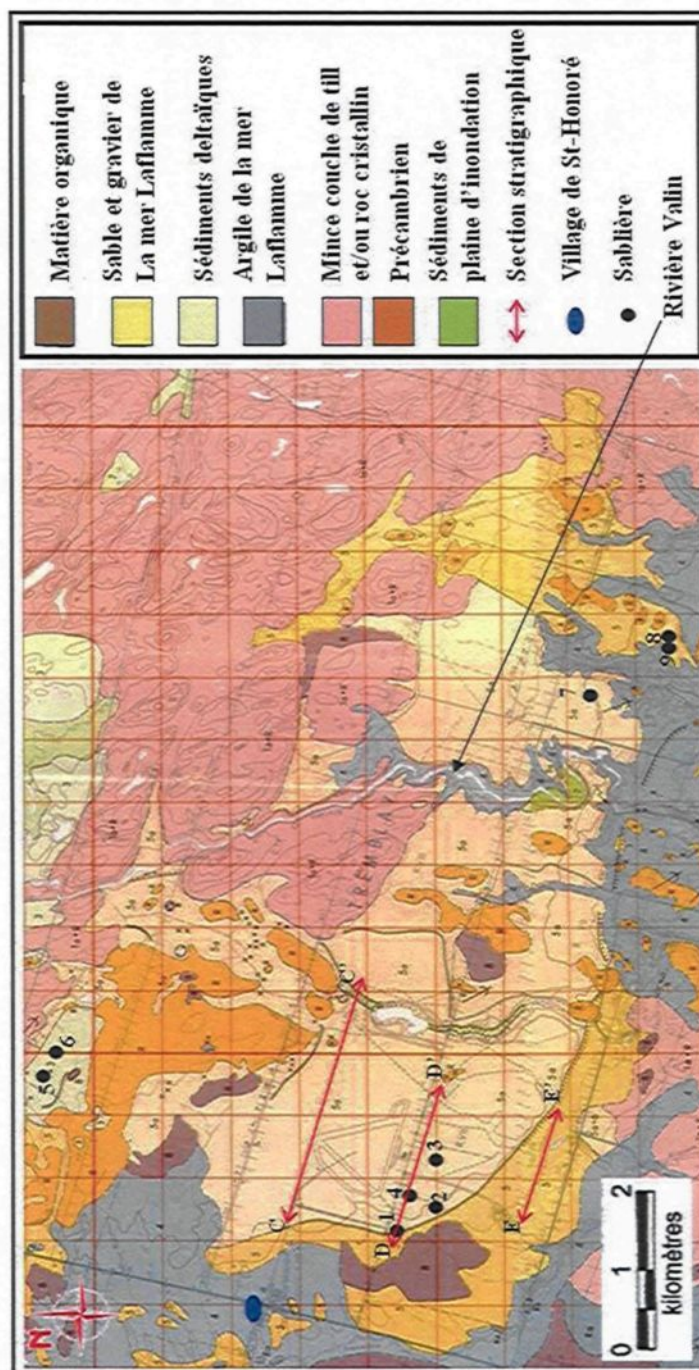


Figure 2.1 : Carte des dépôts meubles de la région de Saint-Honoré et Saint-Fulgence (d'après Lasalle et Tremblay, 1978; infographie par Antoine Rouleau).

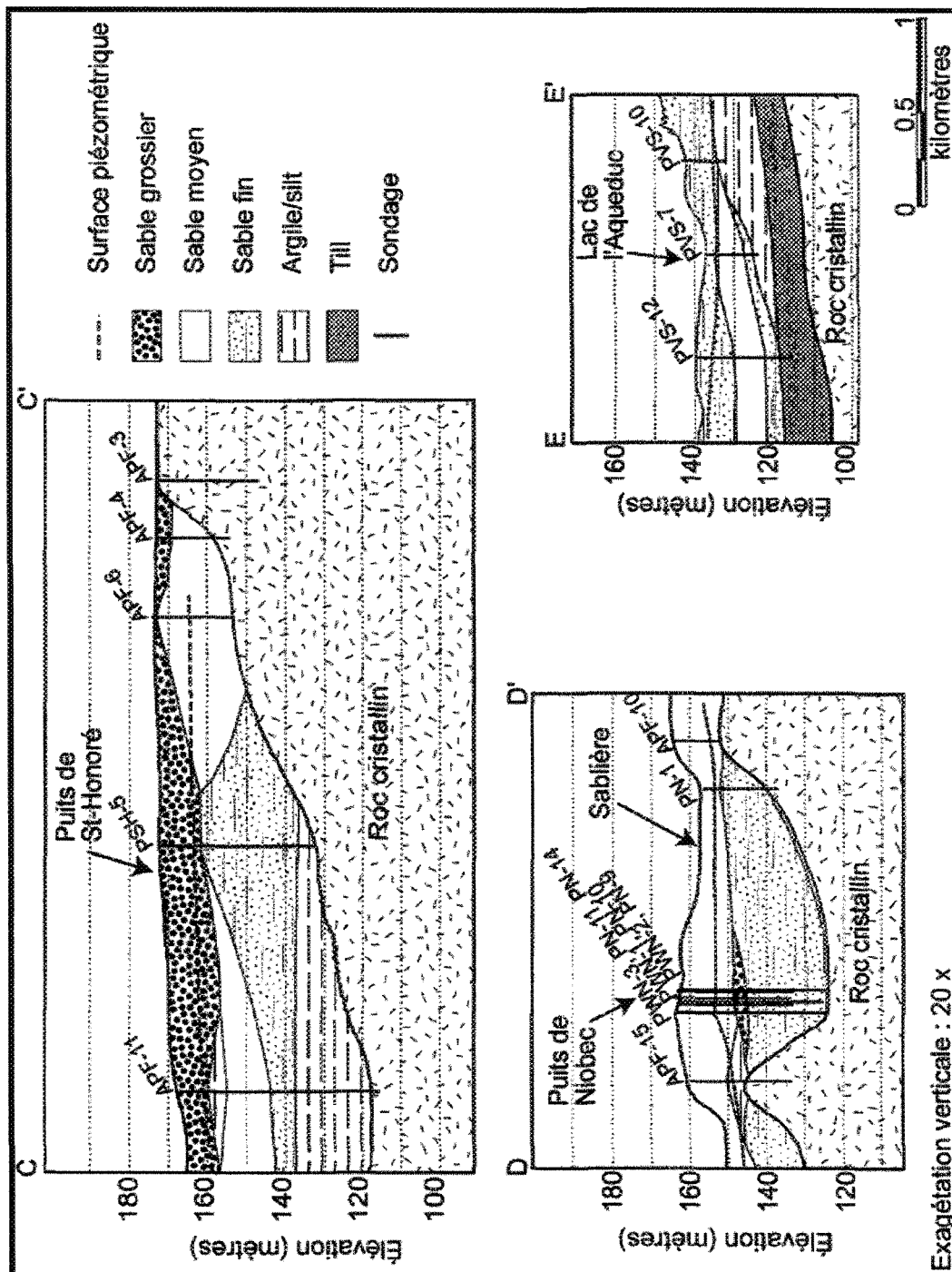


Figure 2.2 : Sections stratigraphiques CC', DD' et EE' (Tremblay, 2005).

CHAPITRE 3

DESCRIPTION DES LITHOFACIÈS IDENTIFIÉS DANS LES SABLIERES

Ce chapitre porte la démarche à suivre pour identifier les lithofaciès, les classifications adoptées dans la présente étude, ainsi que la description des lithofaciès identifiés sur les murs des sablières.

3.1 Identification des lithofaciès

Deux classifications de lithofaciès ont été utilisées dans le cadre de cette étude. La première est celle proposée par Miall (1978) (annexe A), mais elle a été utilisée seulement pour les lithofaciès de granulométrie fine. La deuxième est celle proposée par Zappa *et al.* (2006) et s'inspire de celle de Miall. Elle a été utilisée pour classer les lithofaciès de granulométrie grossière. La classe granulométrique principale est représentée par une lettre majuscule, par exemple G pour le gravier. La fraction de cette classe granulométrique est représentée par une lettre minuscule, par exemple f pour la fraction fine, et est placée avant la lettre majuscule de la classe granulométrique. La structure du lithofaciès est identifiée par une lettre en minuscule qui suit la lettre majuscule de la classe granulométrique. Si le lithofaciès montre une dominance des deux classes granulométriques, deux lettres

majuscules sont utilisées, par exemple SG pour un lithofaciès constitué de sable graveleux. Suivant ces deux classifications vingt lithofaciès ont été identifiés (tableau 3.1).

Un échantillon des lithofaciès identifiés dans les diverses sablières a été prélevé pour effectuer des analyses granulométriques. Les échantillons prélevés ont été mis d'abord au séchage dans un four, pour une durée minimale de 48 heures puis tamisés. Notons que les fractions fines ont été analysées par un hydromètre, suivant la procédure proposée par Robitaille et Tremblay (1997), en considérant les normes BNQ (1987).

La classification de Wentworth (1922) pour les sédiments non-consolidés (annexe B) a été utilisée pour établir les unités $^1(\Phi)$. Les fréquences cumulatives des différentes fractions granulométriques en (%) versus les diamètres en unité $^1(\Phi)$ des tamis ont servi à établir les courbes granulométriques (annexe C). Ces courbes ont été utilisées pour calculer l'écart type inclusif (équation 1). Ce coefficient a été utilisé parce qu'il inclut 90% de la distribution et que, par conséquent, il donne une meilleure estimation du tri de l'échantillon (Pettijohn *et al.* 1987). Le tri a été qualifié selon les termes de Folk (1968) (annexe D).

$$\sigma = \frac{\Phi_{84} - \Phi_{16}}{4} + \frac{\Phi_{95} - \Phi_5}{6.6} \quad (1)$$

$^1(\Phi) = -\log_2(\text{diamètre en mm})$

3.2 Description des lithofacies identifiés

Neuf sablières ont sélectionnées dans la zone d'étude (figure 2.1 et annexe E). Sur la base de la granulométrie et des structures sédimentaires, vingt lithofacies ont été identifiés (tableau 3.1), dont certains ont été observés à plus d'un endroit.

Tableau 3.1 : Lithofacies identifiés dans la zone d'étude.

Lithofacies	Code	Nombre d'observation	Site d'observation (Sablière)
Boue laminée	Fsc	1	6
Boue massive	Fm	1	9
Sable fin à laminations horizontales	fSh	1	1
Sable fin à rides	fSr	3	1, 4 et 6
Sable fin chaotique	fSc	1	1
Sable fin à laminations entrecroisées planaires	fSp	2	3 et 4
Sable fin à laminations entrecroisées en auge	fSt	1	7
Sable grossier à laminations horizontales	gSh	3	1, 2 et 5
Sable grossier à stratifications entrecroisées en auge	gSt	2	3 et 6
Sable grossier à laminations entrecroisées planaires	gSp	1	4
Sable grossier incliné	gSi	1	8
Sable graveleux à laminations horizontales	SGh	1	2
Sable graveleux à laminations entrecroisées en auge	SGt	2	6 et 7
Sable graveleux incliné	SGi	1	8
Gravier sablonneux à laminations horizontales	GSh	1	5
Gravier sablonneux à laminations entrecroisées en auge	GSt	1	3
Gravier sablonneux massif	GSm	1	9
Gravier à granule incliné	gGi	1	8
Gravier caillouteux massif	cGm	1	5
Gravier caillouteux à laminations Planaires	cGp	1	6

Sablère 1

Cette sablière, se trouve sur le territoire de la municipalité de Saint-Honoré, le long du chemin Volair. Deux faces ont été choisies pour mieux exploiter la diversité des lithofaciès présents. Sur la première face (figure 3.1), orientée à N310, trois lithofaciès ont été identifiés. Le lithofaciès fSh, est constitué de sable fin et montre des laminations horizontales. Il occupe la partie haute et la partie basse de la face, et il possède un tri modérément bon ($\sigma = 0.63$). Le lithofaciès gSh, est constitué également de sable à laminations horizontales, mais il est plus grossier que le précédent. Son épaisseur est de 0.40 m et il possède un tri modéré ($\sigma = 0.83$). Le lithofaciès fSr est constitué de sable fin avec des laminations entrecroisées de faibles amplitudes (des rides). Il se caractérise par un tri modéré ($\sigma = 0.82$) et son épaisseur sur la face est d'environ 0.40 m.

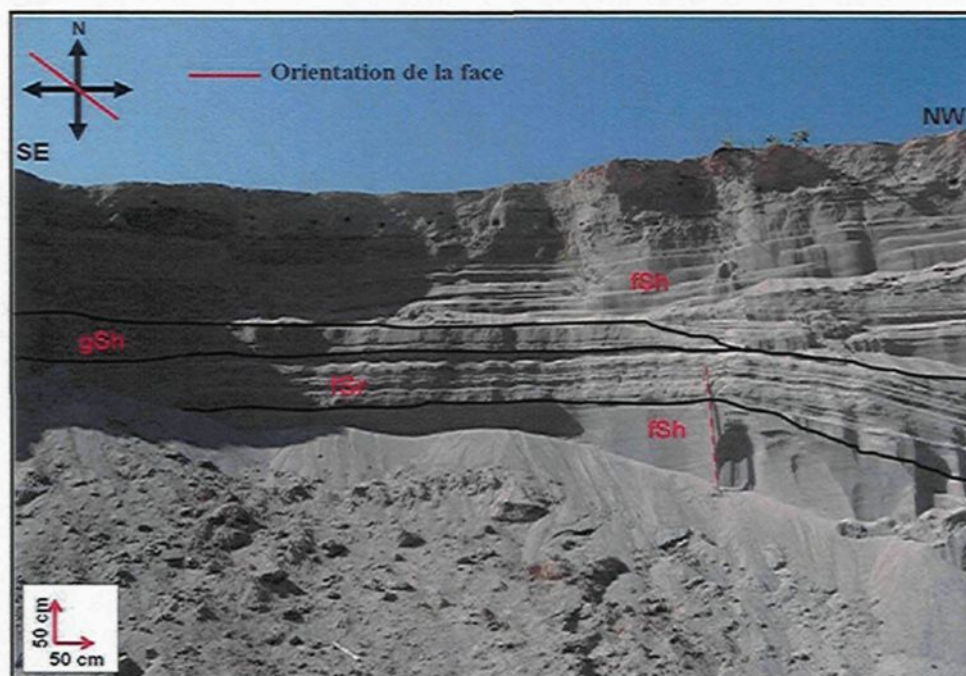


Figure 3.1 : Face 1, sablière 1.

À une distance de 50 m environ vers le nord-est de la première face, se trouve la deuxième face (figure 3.2) orientée à N30. Deux lithofaciès ont été identifiés sur cette face. Le premier est le lithofaciès gSh, qui a déjà été décrit sur la première face. L'épaisseur de ses lits est d'environ 1.10 m et il occupe environ 42% de cette face. Le lithofaciès fSc est constitué de sable fin très compacté et montre des structures de liquéfaction plus au moins développées, de taille variable, sur toute son épaisseur. Ce lithofaciès chaotique occupe 48% de la face, avec une épaisseur d'environ 1.30 m. L'analyse granulométrique d'un échantillon prélevé de ce lithofaciès indique qu'il possède un tri modéré ($\sigma = 0.79$).

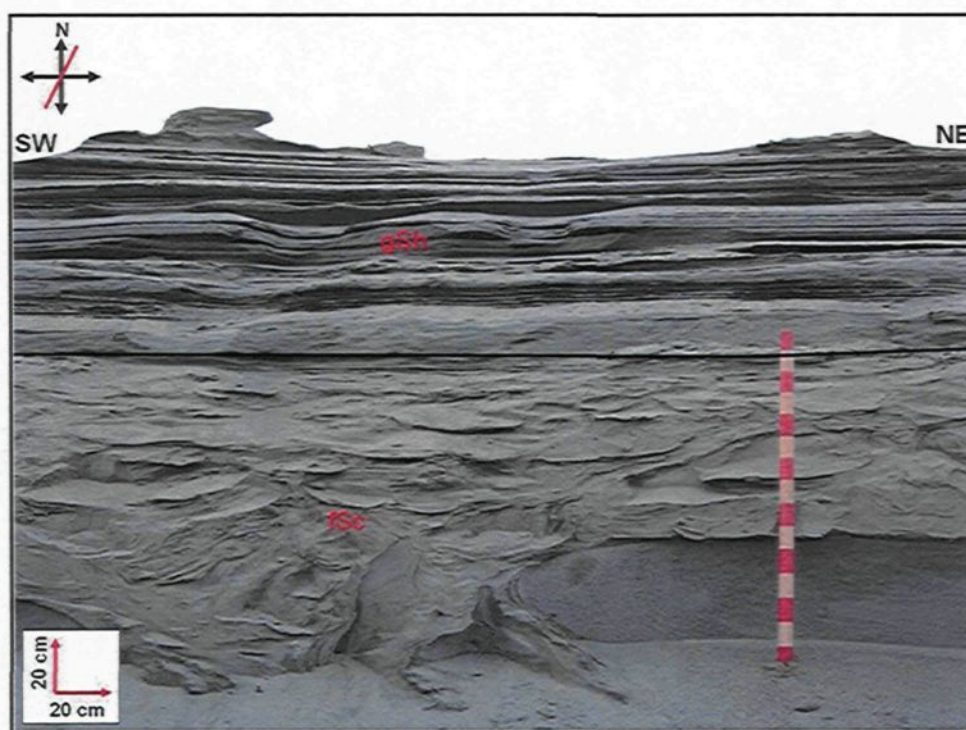


Figure 3.2 : Face 2, sablière 1.

Sablière 2

À une distance d'environ 467 m vers le sud-est de la première sablière, se trouve la deuxième sablière étudiée (figure 3.3). Une seule face orientée à N95 a été documentée et deux lithofaciès y ont été observés. Le lithofaciès gSh qui occupe 75% de la face avec une épaisseur d'environ 2.40 m. Ce lithofaciès a déjà été identifié dans la première sablière et il possède de nouveau un tri modéré ($\sigma = 1.00$). Le lithofaciès SGh, contient du matériel sablonneux à graveleux de laminations horizontales. Il a été identifié uniquement dans cette sablière. Son épaisseur est de 0.80 m et il possède un tri modéré ($\sigma = 0.86$).

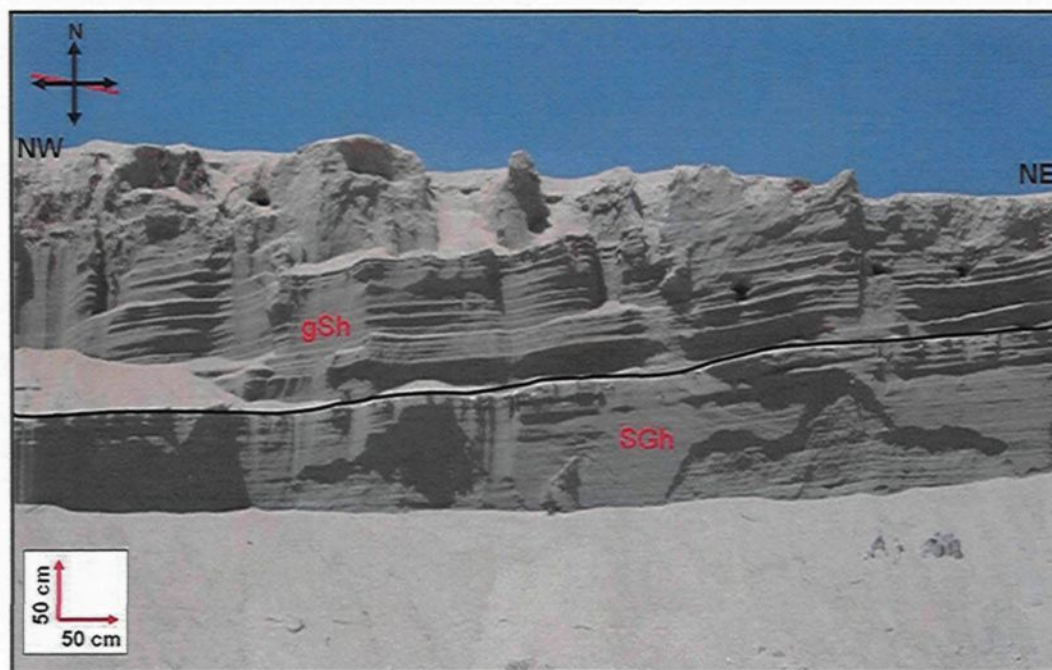


Figure 3.3 : Face investiguée dans la sablière 2.

Sablière 3

À une distance respective d'environ 1734 m et 1334 m, vers le sud-est de la première et de la deuxième sablière, se trouve la troisième sablière. Une seule face orientée à N340 a été étudiée (figure 3.4) et trois lithofaciès ont été identifiés. Le lithofaciès GSt, identifié uniquement dans cette sablière est constitué de gravier sablonneux à stratifications entrecroisées en auge. Il occupe environ 28% du total de la face. Le lithofaciès gSt qui occupe environ 19% de face a été observé deux fois, dont une sous forme d'une lentille de 2 m de longueur et 0.20 m d'épaisseur. L'analyse granulométrique montre que ce lithofaciès se caractérise par un tri pauvre ($\sigma = 1.11$). Le lithofaciès fSp qui occupe la majorité de la face (53%) est constitué de sable fin à laminations entrecroisées planaires. Ce lithofaciès possède un tri modéré ($\sigma = 0.87$).

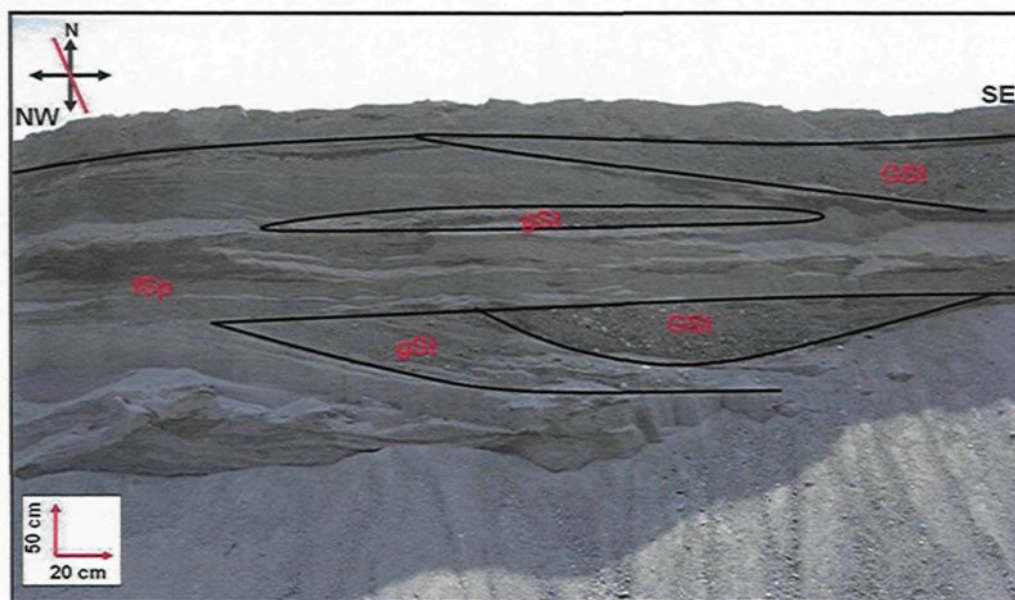


Figure 3.4 : Face investiguée dans la sablière 3.

Sablière 4

Cette sablière se trouve le long du chemin Volair à une distance d'environ 667 m à l'est de la première sablière. Une face (figure 3.5) orientée à N65 a été étudiée, sur laquelle les couches montrent une inclinaison de 17° vers le nord-est. Trois principaux lithofaciès ont été observés. Le lithofaciès fSp qui occupe 12% de la face est constitué de sable fin et il possède un tri pauvre ($\sigma = 1.14$). Le lithofaciès gSp est constitué de sable grossier à laminations entrecroisées planaires et il possède un tri modéré ($\sigma = 0.88$). Il occupe 80% de la face et il a été identifié en bas, au sommet et au milieu de la face. Le lithofaciès fSr est constitué de sable fin avec des faibles laminations d'amplitudes (rides). Il occupe 8% de la face, avec une épaisseur des lits de l'ordre de 0.20 m. L'analyse granulométrique d'un échantillon prélevé de ce lithofaciès indique qu'il possède un tri pauvre ($\sigma = 1.48$).



Figure 3.5 : Face investiguée dans la sablière 4.

Sablière 5

Cette sablière se trouve à proximité du Chemin du Lac, sur le territoire de la municipalité de Saint-Honoré. Elle est éloignée de l'ensemble des quatre premières sablières, vers le nord-est, d'une distance d'environ 5 300 m. Une face orientée à N260 (figure 3.6) a été étudiée et trois lithofaciès y ont été observés. Le lithofaciès gSh occupe le sommet de la face avec une épaisseur de 0.80 m. Il possède un tri modéré ($\sigma = 0.87$). Le lithofaciès cGm est constitué de gravier à cailloux avec une structure massive. Ce lithofaciès a été identifié uniquement dans cette sablière et il occupe 50% de la superficie de la face étudiée. Le lithofaciès GSh, constitué de gravier sablonneux à structure horizontale, a été identifié uniquement dans cette sablière. Il occupe environ 21% de la face et il se présente sous forme d'une grande lentille de 0.50 m d'épaisseur.

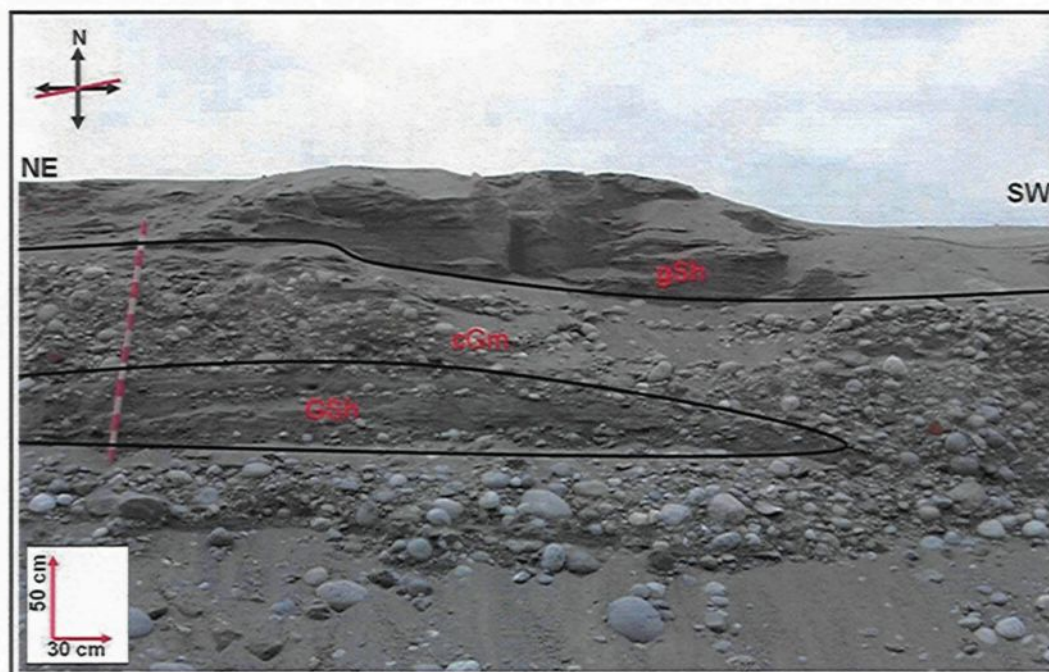


Figure 3.6 : Face investiguée dans la sablière 5.

Sablère 6

Cette sablière se trouve à une distance d'environ 267 m vers le sud-est de la cinquième sablière. Sur une face orientée à N260 (figure 3.7), cinq lithofaciès ont été identifiés. Le lithofaciès gSt se présente au sommet de la face avec une épaisseur de 1.12 m et il occupe 23% de la face. Il a un tri modéré ($\sigma = 0.73$). Le lithofaciès SGt montre des laminations entrecroisées en auge. Son épaisseur est de 0.72 m, il compte pour 15% de la face et il possède un tri modéré ($\sigma = 0.89$). Le lithofaciès fSr occupe 25 % de la face avec une épaisseur de 1.20 m et il possède un tri modéré ($\sigma = 0.64$). Le lithofaciès Fsc, constitué majoritairement d'argile laminée, occupe 8% de la face. Le lithofaciès cGp est constitué de gravier dominé par la présence de petits cailloux à structure planaire. Il occupe 28% de la face où il se présente en grande partie à la base, avec une épaisseur de 1.36 m.

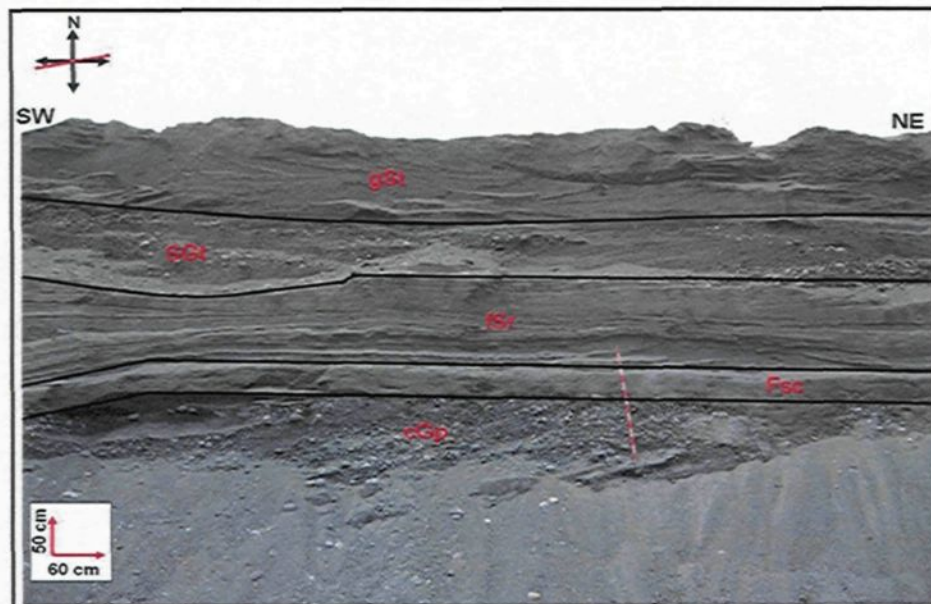


Figure 3.7 : Face investiguée dans la sablière 6.

Sablière 7

À proximité du rang Saint-Joseph, sur le territoire de la municipalité de Saint-Fulgence, se trouve la septième sablière étudiée. Une face orientée à N185 a été documentée (figure 3.8) et elle comprend deux principaux lithofaciès. Le lithofaciès fSt, constitué de sable fin, montre en général des laminations entrecroisées en auge. Il occupe 40% de la face et possède un tri modéré ($\sigma = 0.91$). Le lithofaciès SGt, qui est constitué de sable graveleux avec des laminations entrecroisées en auge; occupe les 60% de la face.

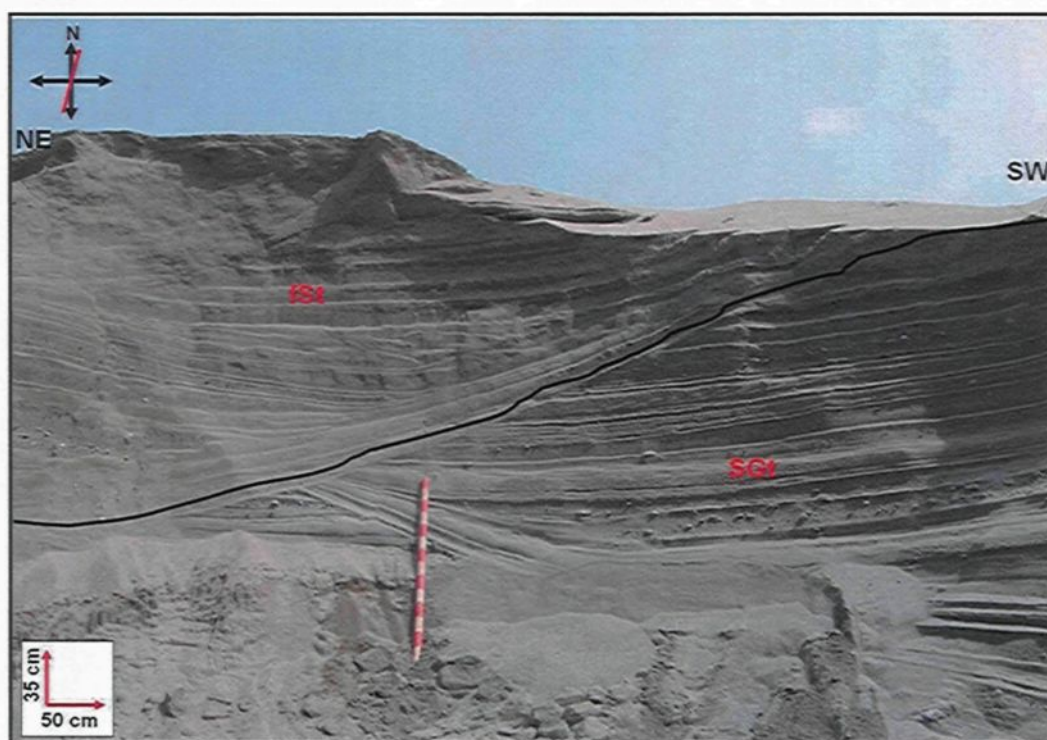


Figure 3.8 : Face investiguée dans la sablière 7.

Sablière 8

Près du rang Saint-Louis à Saint-Fulgence, se trouve la huitième sablière sélectionnée. Cette dernière est éloignée d'environ 1470 m vers le sud-est de la septième sablière. Une face orientée à N260 (figure 3.9) a été sélectionnée. Les lits y sont tous inclinés de 14° vers le sud-ouest, et recoupés par des failles normales. Sur cette face, trois lithofaciès ont été observés. Le lithofaciès gSi est constitué de sable grossier à lits inclinés, et son épaisseur varie entre 0.30 et 0.60 m. Il occupe environ 17% de la face et il possède un tri pauvre ($\sigma = 1.09$). Le lithofaciès SGi contient du matériel sablonneux à graveleux dont les lits sont inclinés. Il représente environ 33% de la face. Le lithofaciès gGi a été identifié exclusivement dans cette sablière. Il occupe 50% de la face étudiée avec une épaisseur varie entre 0.80 et 3.00 m.

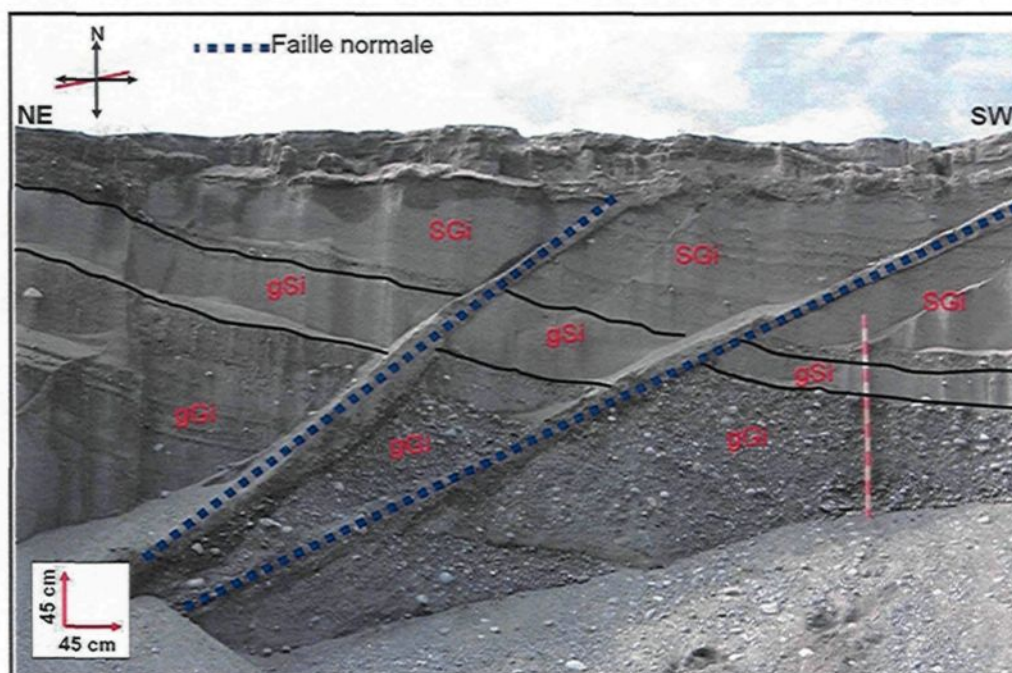


Figure 3.9 : Face investiguée dans la sablière 8.

Sablière 9

Juste à côté de la huitième sablière, à une distance de 133 m vers le sud-ouest, se trouve la neuvième et dernière sablière sélectionnée pour cette étude. Une seule face (figure 3.10) orientée à N175 a été documentée. Deux lithofaciès principaux y ont été identifiés. Le lithofaciès GSm est constitué de gravier sablonneux de structure massive. Il a été identifié uniquement dans cette sablière. Il représente environ 37% de la face où il occupe le sommet pour une épaisseur de 1.40 m. Le lithofaciès Fm, composé essentiellement d'argile massive, n'a été identifié que dans cette sablière. Il représente 63% de la face et son épaisseur est d'environ 2.40 m.

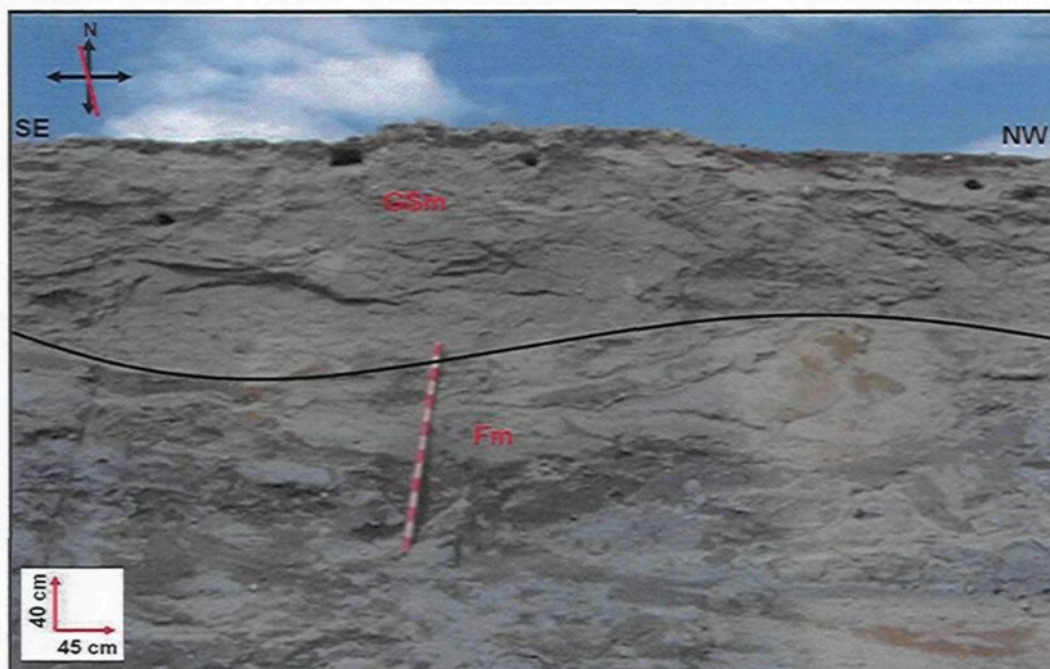


Figure 3.10 : Face investiguée dans la sablière 9.

CHAPITRE 4

MÉTHODES D'ESTIMATION DES PARAMÈTRES HYDRAULIQUES

Ce chapitre porte sur la description des méthodes qui ont été utilisées pour l'estimation des paramètres hydrauliques que sont la conductivité hydraulique et la porosité, soit directement *in situ* sur les faces de sablières ou à partir des échantillons qui y ont été prélevés.

4.1 Estimation *in situ* de la conductivité hydraulique

Plusieurs instruments ont été développés permettant l'estimation *in situ* de la conductivité hydraulique dont certains sont utilisés dans les milieux granulaires non saturés (Chossat, 2005). En particulier, le mini-infiltromètre à disque et l'infiltromètre à tension ont été les deux instruments utilisés pour notre campagne de mesure *in situ*.

Le mini-infiltromètre à disque

Le mini-infiltromètre (figure 4.1) est un instrument facile à utiliser sur le terrain et il permet de réaliser *in situ* des essais d'infiltration adaptés à la texture du sol. Il a été utilisé pour estimer la conductivité hydraulique pour tous les lithofaciès identifiés. Cet instrument

de 32.70 cm de longueur est constitué d'un cylindre transparent en polycarbonate de 3.10 cm de diamètre, fermé au sommet par un bouchon et reposant à sa base sur un disque fabriqué de matériel poreux. Le cylindre est séparé en deux parties superposées limitées par une barrière étanche. La partie au dessus de la barrière est destinée principalement à régler la pression et la partie au dessous de la barrière est un réservoir d'eau gradué, permettant la lecture de la baisse du niveau d'eau. Le disque à la base est fabriqué en acier inoxydable et équipé sur la face destinée à être en contact avec le sol d'une paroi poreuse, assurant un bon contact avec le sol. Deux tubes sont en contact indirect dans la partie supérieure du cylindre (chambre des bulles) qui est remplie partiellement d'eau; ils permettent de régler le potentiel de l'eau au niveau de la surface du sol, pour que l'eau quitte le mini-infiltromètre à disque et s'infiltré dans le sol.

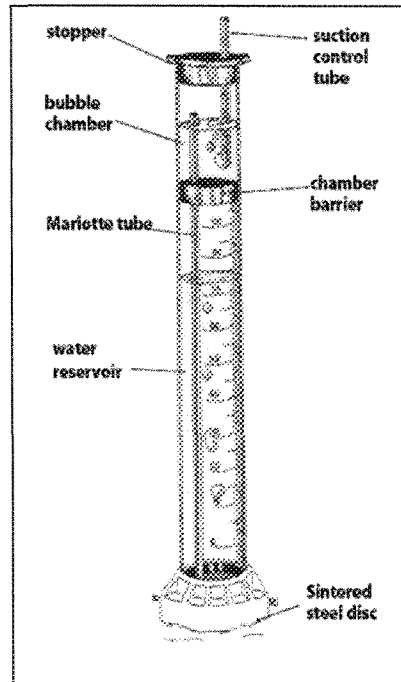


Figure 4.1 : Le mini-infiltromètre à disque (Decagon, 2005)

La procédure d'utilisation du mini-infiltromètre à disque s'appuie principalement sur la mise en eau par le remplissage partiel de la chambre des bulles par de l'eau propre. Une fois que cette chambre des bulles est remplie partiellement d'eau, le tube de commande de tension est glissé complètement vers la barrière étanche, puis l'infiltromètre est mis à l'envers. Ensuite, le disque poreux est enlevé et le réservoir d'eau est également rempli. La valeur de tension de l'eau est choisie selon la nature du sol. Pour les sols sablonneux, il est recommandé d'utiliser une hauteur de tension de 6 cm. En revanche, une hauteur de tension de 0.50 cm est recommandée pour les sols compactés. La surface du sol sur laquelle est appliqué l'instrument doit être horizontale et plane. Pour conduire l'essai d'infiltration, il est suggéré 1) de noter le niveau d'eau dans l'infiltromètre, 2) de le mettre en contact avec la surface du sol, 3) de déclencher le chronomètre et 4) de noter le volume d'eau dans l'infiltromètre pour des intervalles de temps réguliers.

La conductivité hydraulique K (cm/s) est calculée suivant la relation 2 (plus de détails sur cette relation se trouvent en annexe F) :

$$K = C_2 / A_2 \quad (2)$$

Où :

C_2 : coefficient fonction du taux d'infiltration de l'eau dans le sol et le temps (cm.s^{-1}).

A_2 : coefficient adimensionnel dépendant de la texture du sol et de la valeur de tension h_0 choisie (tableau 4.1).

Tableau 4.1 : Les valeurs du coefficient adimensionnel A_2 (Decagon, 2005).

Texture	α	n	h_0						
			-0.5	-1.0	-2.0	-3.0	-4.0	-5.0	-6.0
Sable	-0.145	-2.68	2.9	2.5	1.8	1.3	0.9	0.7	0.5
Sable limoneux	-0.124	-2.28	3.0	2.8	2.5	2.2	1.9	1.6	1.4
Limon sableux	-0.075	-1.89	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.1	4.1
Limon	-0.036	-1.56	5.6	5.8	6.4	7.0	7.7	8.4	9.2
Silt	-0.016	-1.37	8.1	8.3	8.9	9.5	10.1	10.8	11.5
Limon silteux	-0.020	-1.41	7.2	7.5	8.1	8.7	9.4	10.1	10.9
Limon sableux argileux	-0.059	-1.48	3.3	3.6	4.3	5.2	6.3	7.6	9.1
Limon argileux	-0.019	-1.31	6.0	6.2	6.8	7.4	8.0	8.7	9.5
Limon silteux argileux	-0.010	-1.23	8.1	8.3	8.7	9.1	9.6	10.1	10.6
Argile sableux	-0.027	-1.23	3.4	3.6	4.2	4.8	5.5	6.3	7.2
Argile silteux	-0.005	-1.09	6.2	6.3	6.2	6.7	6.9	7.1	7.3
Argile	-0.008	-1.09	4.1	4.2	4.4	4.6	4.8	5.1	5.3

Pour évaluer le coefficient C_2 , Zhang (1997) propose une méthode simple et efficace qui se base sur la représentation graphique des valeurs de la hauteur d'eau infiltrée dans le sol, en fonction de la racine carrée du temps. La conversion du volume d'eau infiltrée dans le sol (ml) en hauteur d'eau infiltrée (I , en cm) se fait suivant l'expression (3) décrite dans Chossat (2005).

$$I = \frac{V_{t_0} - V_t}{S} \quad (3)$$

Où :

V_t : volume relevé (ml) au temps t .

V_{t_0} : volume relevé (ml) au temps t_0

S : surface du disque ($S = 15.9 \text{ cm}^2$).

Pour chaque essai réalisé, le graphique de la hauteur d'eau infiltrée versus la racine carrée du temps (figure 4.2) est construit, à l'aide d'un logiciel fourni par le vendeur de

l'instrument (*Decagon*) et utilisant le programme *Excel*. Une équation quadratique de deuxième degré (relation 4) est alors ajustée aux données obtenues.

$$y = ax^2 + bx \quad (4)$$

L'ajustement de cette équation aux données de terrain à l'aide du logiciel permet d'estimer le coefficient C_2 , lequel correspond à la constante a qui multiplie la variable x^2 . Sur l'exemple de la figure 4.2, le coefficient C_2 est de 0.0028 cm.s^{-1} . Tandis que la valeur 0.0575 correspond au coefficient C_1 qui sert au calcul de la sorptivité.

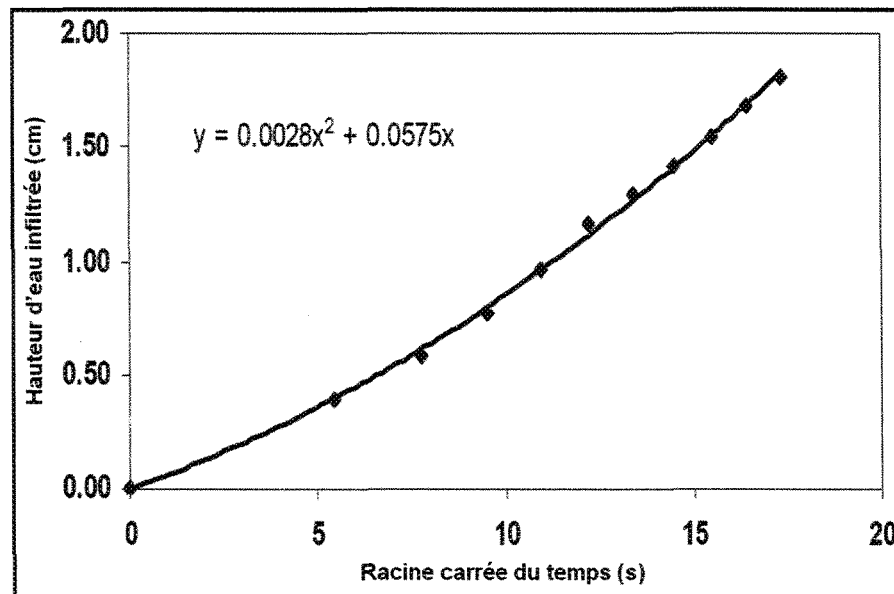


Figure 4.2 : Exemple d'une courbe de la hauteur d'eau infiltrée dans le sol versus la racine carrée du temps (Decagon, 2005).

L'infiltromètre à tension

La méthode de mesure d'infiltration à l'aide de l'infiltromètre à tension a été mise au point par Touma (1984), et par Reynolds et Elrick, (1990 et 1991); des informations sur

sa procédure sont données par Revol (1994). Un infiltromètre à tension monté par le professeur Jean Caron, du Département des Sols et de Génie Agroalimentaire à l'Université Laval à Québec a été utilisé dans le cadre de cette étude.

Cet instrument, représenté sur la figure 4.3, est constitué de : 1) un réservoir d'eau gradué permettant la lecture de la hauteur d'eau qui s'est infiltrée dans le sol; 2) un tube d'alimentation en air (T) pour ajuster la pression; placé à l'intérieur du réservoir d'eau, il coulisse dans le bouchon de caoutchouc; 3) un petit bouchon, placé à la base du tube d'alimentation en air pour empêcher l'écoulement avant le démarrage de l'essai; et 4) un cylindre en cuivre à enfoncer dans le sol.

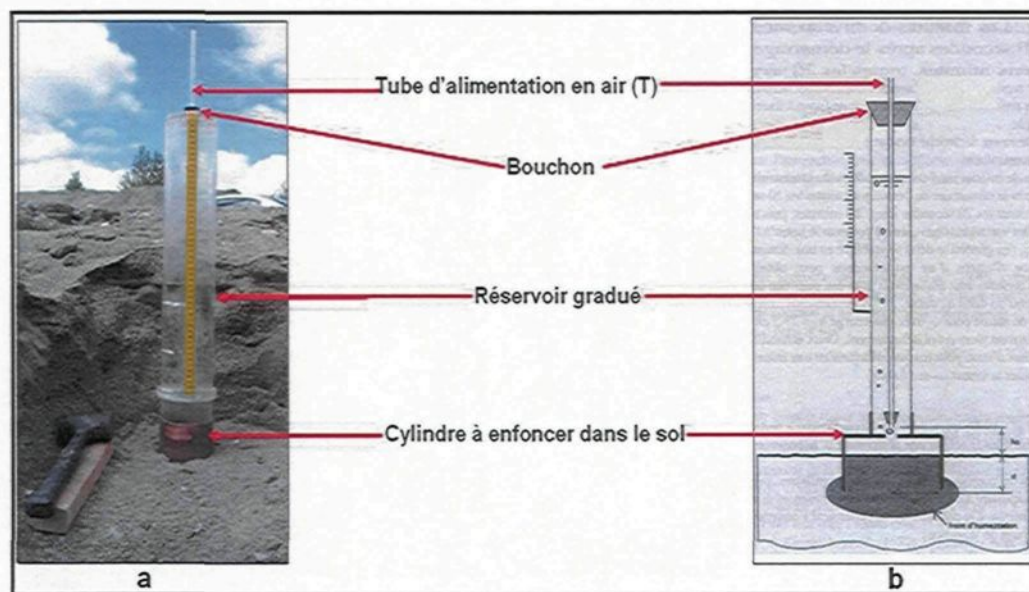


Figure 4.3 : Infiltrmètre à tension : a) l'appareil utilisé dans cette étude; b) modèle d'infiltrmètre à tension (Revol, 1994).

Pour le bon fonctionnement de l'infiltromètre à tension, il est suggéré de poursuivre les étapes suivantes : 1) enfoncer le cylindre en cuivre dans le sol à une profondeur d ; cette dernière sert au calcul du facteur de forme G (équation 5); un enfoncement de 10 cm est recommandé car il permet de mettre en égalité la valeur de la pression h et la hauteur d'eau H à l'intérieur de cylindre; 2) remplir le réservoir d'eau; 3) installer le réservoir au-dessus du cylindre et mettre le pied en contact avec la surface du sol; 4) soulever le tube d'alimentation en air; le trou situé à la base du réservoir est alors ouvert et l'eau s'écoule rapidement dans le cylindre; dès que les dernières bulles d'air s'échappent, le tube d'alimentation en air est placé à une valeur de pression h donnée; cette dernière sert au calcul de la hauteur d'eau H à l'intérieur de cylindre et 5) déclencher le chronomètre dès que le régime permanent est atteint. À l'aide des graduations du réservoir d'eau, il faut alors noter la hauteur du niveau d'eau dans le réservoir en fonction du temps; ceci permet d'estimer la hauteur d'eau infiltrée dans le sol à chaque intervalle de temps.

La conductivité hydraulique K (m/s) en utilisant l'infiltromètre à tension est calculée à l'aide de la relation 5 (plus d'informations sur cette dernière se trouvent en annexe G) :

$$K = \frac{Q_s}{\frac{aH}{G} + \pi a^2 + \frac{a}{\alpha G}} \quad (5)$$

Q_s : Débit calculé par le produit de hauteur de chute d'eau (en cm) et la surface du réservoir (69.4 cm^2), divisé par l'intervalle de temps, puis le résultat est transformé en m^3/s .

H : Hauteur d'eau à l'intérieur de cylindre.

a : Rayon du cylindre (0.05 m).

α : Constante de l'ordre de 36 m^{-1} .

G : Facteur de forme égal à $0.316 (d/a) + 0.184$

4.2 Estimation de la conductivité hydraulique à partir de la granulométrie

Vukovic et Soro (1992) ont compilé plusieurs expressions empiriques permettant l'estimation de la conductivité hydraulique en utilisant des paramètres de la distribution de la taille des grains d'un échantillon. Les expressions empiriques de Beyer, de Hazen et de Slichter ont été utilisées, parce que chacune de ces expressions s'applique sur une gamme limitée du diamètre effectif d_{10} ; la combinaison des trois expressions permet de couvrir une gamme plus large de valeur de d_{10} . De plus, les expressions de Hazen et de Slichter s'expriment en fonction de la porosité; alors il était intéressant d'estimer la conductivité en fonction de nos propres valeurs de porosité.

Expression empirique de Beyer (1964)

$$K = C.d_{10}^2 \quad (6)$$

Où :

K : Conductivité hydraulique (m/s)

d_{10} : diamètre effectif (mm)

$C = 4.5 \times 10^{-3} \log 500/n$

n : Coefficient d'uniformité égal d_{60}/d_{10}

L'application de cette expression est limitée à des valeurs de diamètre effectif d_{10} à l'intérieur de la gamme : $0.06 \text{ mm} < d_{10} < 0.60 \text{ mm}$. De plus, elle n'a pas été appliquée pour les lithofaciès pour lesquels des valeurs du coefficient d_{60} n'étaient pas disponibles. Cette limite de d_{60} affecte les échantillons de forte granulométrie parce qu'il n'y avait pas de tamis avec des ouvertures assez grandes; il n'y avait alors pas assez de matériel avec ces fortes granulométries dans l'échantillon.

d_{10} et d_{60} représentent respectivement les diamètres des particules au percentile 10 et au percentile 60 de la répartition granulométrique.

Expression empirique de Hazen (1892)

$$K = A.C.\tau.d_{10}^2 \quad (7)$$

K : Conductivité hydraulique (cm/s)

A : Si K est exprimée en cm/s, $A=0.00116$.

d_{10} : Diamètre effectif (mm)

τ : $0.70 + 0.03t$ où t : température de l'eau souterraine; supposée 10°C .

C : Coefficient empirique [$C = 400+40(p-26)$, et p est la porosité]

Dans quelques cas cette expression n'a pas pu être appliquée parce qu'une valeur de porosité n'était pas disponible. En effet l'échantillonnage de quelques lithofaciès pour estimer la porosité, a présenté des difficultés à cause de la granulométrie trop grossière. De plus, cette expression est limitée en fonction du diamètre effectif d_{10} tel que : $0.10 \text{ mm} < d_{10} < 3 \text{ mm}$.

Expression empirique de Slichter (1897-1898)

$$K = 4960 \times M \times d_{10}^2 \quad (8)$$

K : Conductivité hydraulique (m/J)

d_{10} : Diamètre effectif (mm).

M : Paramètre fonction de la porosité (tableau 4.2).

Tableau 4.2 : Les paramètres M en fonction de la porosité (Vukovic et Soro, 1992)

n	M	n	M	n	M	n	M
0.26	0.01187	0.32	0.02356	0.38	0.04154	0.44	0.06776
0.27	0.01350	0.33	0.02601	0.39	0.04525	0.45	0.07295
0.28	0.01517	0.34	0.02878	0.40	0.04922	0.46	0.07838
0.29	0.01694	0.35	0.03163	0.41	0.05339	0.47	0.08455
0.30	0.01905	0.36	0.03473	0.42	0.05789		
0.31	0.02122	0.37	0.03808	0.43	0.06267		

Considérant ses limites d'application cette expression n'a été appliquée que pour les lithofaciès qui se caractérisent par un diamètre effectif d_{10} tel que : $0.01 \text{ mm} < d_{10} < 5 \text{ mm}$.

4.3 Estimation *in situ* de la porosité

Un porosimètre-échantillonneur conçu et fabriqué à l'UQAC (figure 4.4) a été utilisé pour l'estimation de la porosité partielle. Il est constitué de : 1) un tube d'échantillonnage de 10.14 cm de diamètre et 20.40 cm de longueur; il est fermé de façon étanche à sa base, alors que son autre extrémité est ouverte et la paroi est taillée en biseau de façon à faciliter son enfoncement tout en minimisant la perturbation du sol échantillonné; 2) un réservoir d'alimentation en eau gradué; 3) un tuyau qui conduit l'eau entre le réservoir d'alimentation en eau et le tube d'échantillonnage; 4) une vanne de commande permettant de stopper l'alimentation en eau; et 5) un support permettant de maintenir le réservoir d'alimentation en eau à une hauteur plus élevée que le tube d'échantillonnage.

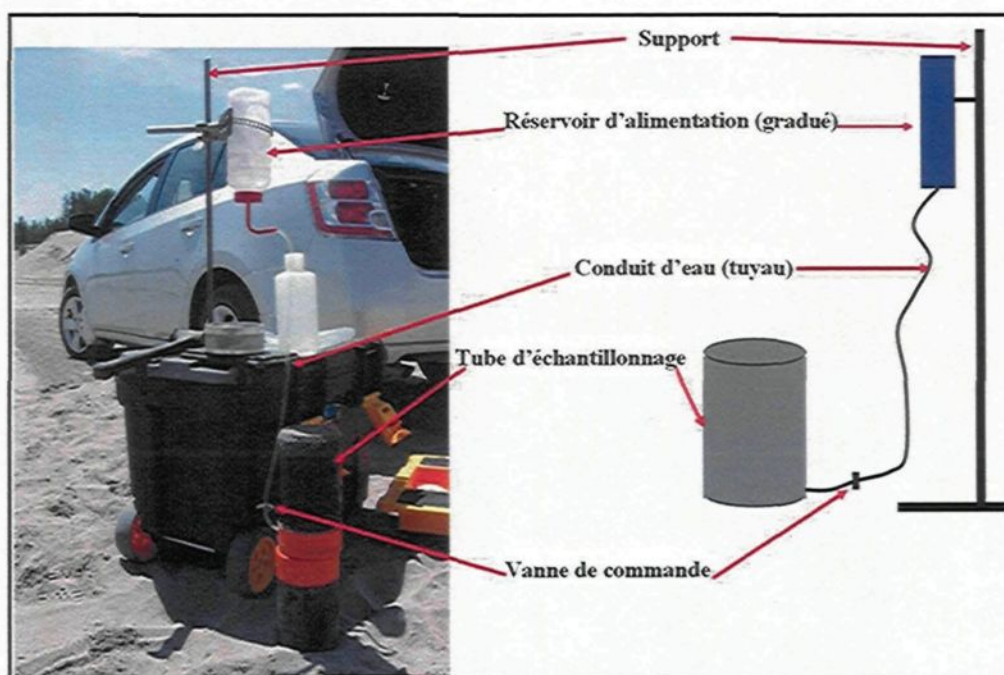


Figure 4.4 : Le porosimètre-échantillonneur fabriqué à l'UQAC.

Après le prélèvement d'un échantillon à l'horizontale dans la paroi de sablière à l'aide du tube d'échantillonnage, ce dernier est placé à la verticale près du niveau du sol. Le tuyau partant du réservoir d'alimentation qui est rempli d'eau est alors connecté au tube d'échantillonnage au point d'injection qui est situé à sa base. Ceci assure l'évacuation de l'air vers le haut et par conséquent un remplissage relatif des vides par l'eau. Dès que les premières traces d'eau apparaissent à la surface du tube d'échantillonnage (figure 4.5), le débit d'injection est alors réduit à l'aide de la vanne de commande; puis, à la saturation totale de l'échantillon la vanne de commande est fermée complètement.

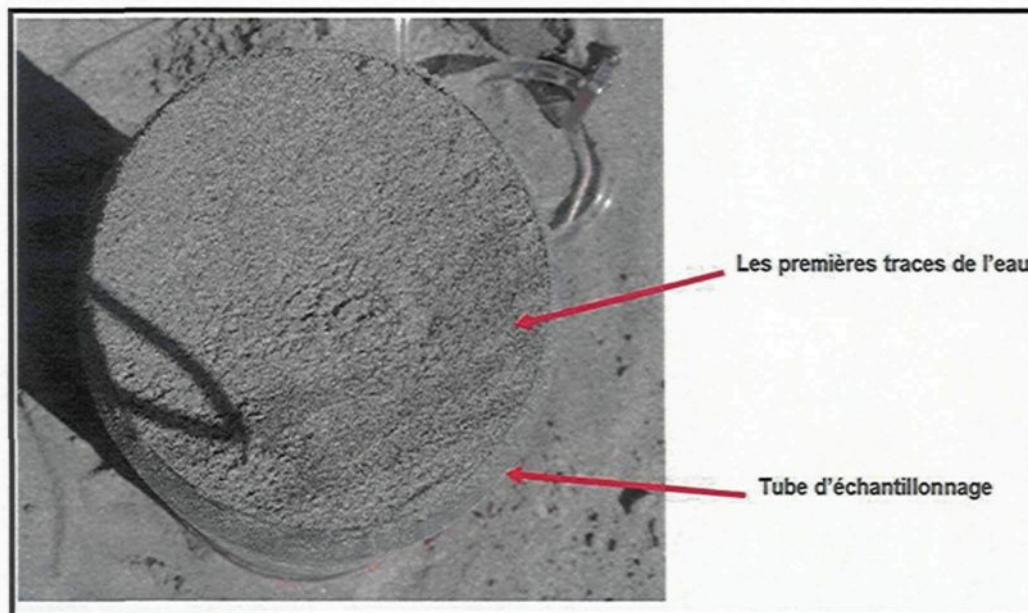


Figure 4.5 : L'apparition des premières traces d'eau lors de l'essai du porosimètre.

Le calcul de la porosité partielle n_p est basé sur le rapport du volume d'eau injecté V_{ei} sur le volume total V_t de l'échantillon :

$$n_p = \frac{V_{ei}}{V_t} \text{ (en \%)} \quad (9)$$

Où :

n_p : porosité partielle

V_{ei} : volume d'eau injecté

V_t : volume total représenté par le volume du tube d'échantillonnage ($V_t = 1646.56 \text{ cm}^3$).

Pour l'estimation de la porosité totale, il faudra prendre en considération le taux d'humidité initiale de l'échantillon. Par définition, l'humidité (*moisture content*), notée θ , exprimée en pourcentage, est la teneur en eau d'un milieu poreux non saturé, exprimée en rapport de volumes ou de poids (Castany, 1998). Afin d'estimer le taux d'humidité initiale, un second échantillon considéré non remanié a été prélevé à chaque endroit où un prélèvement a été fait à l'aide du porosimètre-échantillonneur. Notons que la distance entre ces deux points de prélèvement ne dépasse pas généralement 30 cm. Le second échantillon a été prélevé à l'aide d'un petit pot métallique de 5 cm de diamètre et 3.6 cm de profondeur (figure 4.6). Notons que l'échantillonnage de quelques lithofaciès a présenté des difficultés à cause de leur granulométrie trop grossière.

Les échantillons prélevés ont été pesés en laboratoire, avant de les mettre au séchage à 105 °C. Après une durée de 48 heures de séchage, ils ont été pesés à nouveau et l'humidité a été déterminée suivant la relation (10) décrite par Castany, (1998) :

$$\theta = \frac{P_i - P_s}{P_i} \quad (10)$$

Où :

θ : humidité initiale de l'échantillon (%)

P_i : poids initial de l'échantillon humide (g)

P_s : poids de l'échantillon sec (g)

La porosité totale est obtenue alors en additionnant le taux d'humidité initiale de l'échantillon (θ) à la valeur de porosité partielle (n_p) obtenue par l'essai d'injection réalisé sur le terrain.

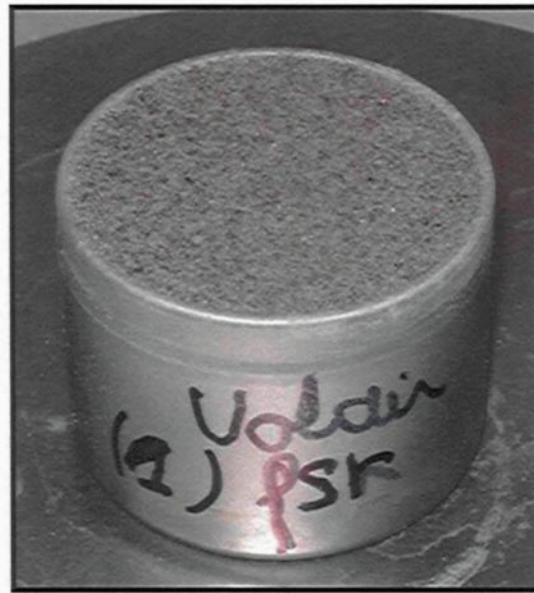


Figure 4.6 : Le petit pot métallique rempli d'un échantillon.

4.4 Estimation de la porosité en laboratoire

Black *et al.* (1965) ont décrit une expression qui permet d'estimer la porosité en laboratoire. Elle s'écrit comme suit :

$$S_t = 100[(\rho_p - D_b) / \rho_p] \quad (11)$$

Où :

S_t : la porosité totale (%).

ρ_p : la densité des particules considérée ici égale à 2.65 g/cm³.

D_b : la densité volumique (*bulk density*) (g/cm³).

Les échantillons utilisés pour estimer l'humidité ont été aussi utilisés pour déterminer la densité volumique en se basant sur la relation (12) décrite également dans Black *et al.* (1965) :

$$D_b = \frac{P_s}{V_t} \quad (12)$$

Où :

D_b : la densité volumique (*bulk density*) (g/cm³)

P_s : poids de l'échantillon après séchage (g)

V_t : volume du pot métallique en (70.63 cm³)