

Conception des aménagements de production

Hydraulique et Géotechnique

**Manuel de l'inspecteur
en
exploration géotechnique**

Décembre 2007

RÉvision DÉcembre 2010



Conception des aménagements de production
hydraulique et géotechnique

Manuel de l'inspecteur en exploration géotechnique

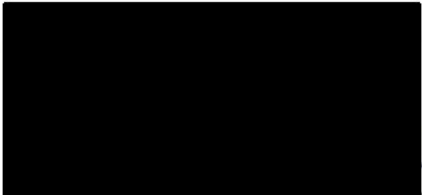
**Décembre 2007
Révisé décembre 2010**

Révision 2007 préparée par :

 07/12/20
André Whalen, ing.
Chargé d'équipe
Géologie et mécanique des roches


André Lavoie, tech.
Géotechnique

Approuvé par :

 07/12/20
Annick Bigras, ing., M.Sc.A.
Chef Géotechnique

Révision 2010 préparée par :



André Lavoie, technicien expert
Géotechnique

Approuvé par :



2010/12/9

André Rancourt, ing., PhD.
Chef Géotechnique par interim

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos

Liste des normes relatives à l'exploration géotechnique

Fascicule 1	Description des sols et des roches
Fascicule 2	Méthodes et rapport de forage
Fascicule 3	Installation de piézomètres dans un forage
Fascicule 4	Échantillonneur à paroi mince Osterberg
Fascicule 5	Essai d'eau sous pression dans le rocher
Fascicule 6	Essai au scissomètre Nilcon
Fascicule 7	Puits et tranchées d'exploration
Fascicule 8	Manutention, transport et entreposage des échantillons
Fascicule 9	Sécurité des intervenants au terrain

Avant-propos – version 2007

Le manuel de l'inspecteur en exploration géotechnique a pour but de fournir des directives aux inspecteurs ainsi que des explications sur les méthodes recommandées lors de l'exécution des divers types de sondages et des essais en place. À l'origine, Hydro-Québec et la Société d'Énergie de la Baie James veulent avant tout préciser avec ce document les méthodes recommandées pour leurs besoins spécifiques, plus particulièrement ceux qui concernent la conception des aménagements hydroélectriques.

La première version de ce manuel a été émise par le service Géologie et Mécanique des Sols de la SEBJ, lors des études géotechniques effectuées de 1978 à 1981 pour l'avant-projet NBR. Les fascicules ont par la suite été modifiés au service Géologie et Structures d'Hydro-Québec, pour répondre aux besoins de l'ensemble des sites à aménager, en tenant compte des documents émis par le Bureau de Normalisation du Québec. La version révisée a été émise pour commentaires en juillet 1990.

L'édition actuelle a été préparée par l'unité Conception des aménagements de production, Hydraulique et géotechnique, à Hydro-Québec Équipement. Cette deuxième révision était devenue nécessaire en raison, entre autres, de l'évolution considérable du recours à l'informatique au niveau des divers formulaires, du besoin d'uniformiser les procédures au niveau des essais d'eau sous pression dans le rocher, du besoin également de revoir la technique de mesure des blocs dans les puits d'exploration, en plus d'une mise à jour générale adaptée aux pratiques courantes.

Avant-propos – version 2010

La révision 2010 a pour but d'ajouter au manuel un nouveau fascicule, le numéro 9, consacré à la sécurité des intervenants au terrain lors des campagnes d'investigations. Aucune modification n'a été apportée aux autres fascicules émis en 2007.

Liste des normes relatives à l'exploration géotechnique

- ▶ **2501 - 025 (NQ)**

Sols – Analyse granulométrique des sols inorganiques

- ▶ **2501 - 130 (CAN/BNQ)**

Sols – Détermination du coefficient de perméabilité au bout d'un tubage de forage

- ▶ **2501 - 135 (CAN/BNQ)**

Sols – Détermination du coefficient de perméabilité par la méthode Lefranc

- ▶ **2501 – 140 (NQ)**

Sols – Essai de pénétration standard (STP) et échantillonnage au carottier fendu

- ▶ **2501 – 145 (NQ)**

Essai de pénétration dynamique au cône

- ▶ **NF P94 – 131 (Norme française AFNOR)**

Sols – Reconnaissance et essais – Essai d'eau Lugeon



Conception des aménagements de production
hydraulique et géotechnique

Manuel de l'inspecteur en exploration géotechnique

Fascicule 1

**Description des sols et des
roches**

Décembre 2007

DESCRIPTION DES SOLS

1. INTRODUCTION

L'identification des sols et des roches lors de l'exploration des sites doit être exacte, complète et suffisamment détaillée pour évaluer correctement leurs propriétés et leurs caractéristiques. La conception des ouvrages dépend d'abord des informations recueillies sur le terrain.

L'inspecteur étant sur le site même des sondages, il doit être en mesure de présenter un compte rendu complet des observations et résultats d'essais en place, compte rendu qui sera complété par les essais de laboratoire.

Ce fascicule indique la procédure à suivre pour présenter une description visuelle correcte des sols et quelques caractéristiques des sols et des roches à noter dans les rapports journaliers de forage, les rapports de puits, etc.

2. IDENTIFICATION ET DESCRIPTION DES SOLS AU CHANTIER

2.1. Échantillonnage

Les échantillons proviennent de différents types de sondages tels que les puits, les forages, les tranchées, les trous de tarières, etc. ; ils sont plus ou moins remaniés selon le type de sondage, la méthode d'avancement du tubage et le type d'échantillonneur. Quel que soit le volume ou l'état de l'échantillon, sa description visuelle par l'inspecteur fournit toujours des informations utiles qui pourront ultérieurement être complétées par des essais en laboratoire.

De même que le volume et l'état de l'échantillon, la technique de prélèvement influe sur la représentativité de l'échantillon et, éventuellement, sur certaines caractéristiques des sols ; l'inspecteur doit indiquer avec quel type d'échantillonneur le sol a été prélevé, et dans quelles conditions il se trouve .

L'échantillon recueilli dans le retour d'eau de lavage ne permet qu'une identification sommaire des sols en place. Aucun essai en laboratoire ne pouvant être effectué sur ces échantillons, il est inutile de les rapporter au laboratoire. L'inspecteur devra donc fournir les meilleurs renseignements possibles, en précisant quelles opérations ont précédé le lavage du tubage. Il s'aidera pour cela de la couleur et de la turbidité de l'eau de lavage (voir le fascicule 2).

2.2. Identification des sols

L'identification du type de sol représente la première étape dans la description. On considère trois types principaux : les sols granulaires, les sols à grains fins et les sols organiques. Un sol peut être composé granulométriquement d'un seul type mais, le plus souvent, c'est un mélange de types différents. On l'identifie par le type prédominant, en ajoutant les autres constituants.

La proportion en poids sec de chacune des composantes granulométriques est donnée à l'aide de la terminologie suivante :

« traces »	1 à 10 %	(ex. : sable avec <u>traces</u> de silt)
« un peu »	10 à 20 %	(ex. : sable avec <u>un peu</u> de silt)
« un adjectif »	20 à 35 %	(ex. : sable <u>silteux</u>)
« et »	35 à 50 %	(ex. : sable <u>et</u> silt)

Il est relativement facile de déterminer la proportion de chacun des constituants des sols granulaires. Dans le cas des sols à grains fins, qui sont plus difficiles à décrire visuellement, cette proportion est déterminée par le comportement du sol lors de certains essais.

Les sols granulaires

Ce sont les sols dont les particules retenues par le tamis 0,08 mm représentent plus de 50 % du poids sec de l'échantillon. Ces particules sont visibles à l'œil nu. Les sols granulaires comprennent quatre types, distingués par la dimension (diamètre) des particules : les blocs, les cailloux, le gravier et le sable.

	Dimensions en millimètres		
Blocs		> 300	
Cailloux	80	à	300
Gravier grossier	20	à	80
Gravier fin	5	à	20
Sable grossier	2	à	5
Sable moyen	0,4	à	2
Sable fin	0,08	à	0,4

Cette division découle de la classification unifiée des sols (USCS).

Le pourcentage de cailloux et de blocs n'apparaît généralement pas sur les courbes granulométriques ; les valeurs déterminées par l'inspecteur seront les seules retenues. Le pourcentage des blocs ayant une grande influence sur le coût des travaux, la détermination de ce pourcentage devra être faite avec soin. À cette fin, des photos de référence sont fournies au fascicule 7, ainsi que la technique de mesure des dimensions des blocs (lorsque requis).

Les sols à grains fins

Les sols à grains fins sont constitués de particules passant le tamis 0,08 mm. Ils comprennent les silts et les argiles, c'est-à-dire les particules qui ne sont pas visibles à l'œil nu.

Les sols organiques

Les sols organiques constituent une catégorie à part du fait de leurs caractéristiques particulières. Quand la matière végétale décomposée est prépondérante, ces sols sont considérés comme de la *tourbe* (voir section 3).

Les sols partiellement organiques portent le nom de sol dont ils sont en grande partie formés, suivi du mot *organique* (ex. : silt organique). Ils ont généralement une odeur et une couleur caractéristiques.

Les remblais

Les remblais doivent être identifiés comme tels en précisant quels éléments indiquent que les sols n'ont pas été mis en place naturellement. Les matériaux dont est constitué un remblai doivent être notés, en accordant une attention spéciale aux végétaux non décomposés.

2.3. Description de l'échantillon

La description de l'échantillon dans le rapport journalier de forage comprend le type de sol et les données suivantes :

<u>Sols granulaires</u>	<u>Sols à grains fins</u>
♦ Identification	♦ Identification
♦ Composition granulométrique	♦ Structure
♦ Forme des grains	♦ Plasticité
♦ Structure	♦ Humidité
♦ Humidité	♦ Consistance
♦ Compacité	♦ Sensibilité
♦ Couleur	♦ Couleur
♦ Odeur, matières organiques	♦ Odeur, matières organiques
♦ Gel	♦ Gel

2.3.1. Sols granulaires

Identification

L'identification d'un sol granulaire (blocs, cailloux, gravier et sable) doit être conforme aux indications de la section 2.2.

Il est important de bien noter la grosseur maximale des particules observées dans une tranchée ou une coupe. Dans les forages, la grosseur maximale des particules observables est cependant limitée par la dimension de l'échantillonneur. Si on doit forer un caillou ou un bloc qui empêche l'enfoncement du tubage, il faut en indiquer la longueur forée.

Un sol granulaire peut contenir un pourcentage appréciable de sol à grains fins, ce qui lui confère certaines des caractéristiques propres à ce groupe. La portion de sol à grains fins doit si possible être décrite tel qu'indiqué à la section 2.3.2.

Composition granulométrique Au chantier, on décrit la granulométrie de la façon suivante :

- ♦ Granulométrie uniforme : tous les grains sont approximativement de la même dimension.
- ♦ Granulométrie étalée : tous les types de sols sont présents dans des proportions à peu près équivalentes.
- ♦ Granulométrie discontinue : un ou plusieurs types de matériaux de grosseurs intermédiaires sont absents.

Forme de particules. Il faut donner un aperçu de la forme de gravier, des cailloux et des blocs. Ces particules peuvent être *cubiques*, *sphériques*, *allongées*, *aplaties*.

Selon la configuration des angles, on emploie les termes *angulaire*, *sub-angulaire*, *sub-arrondi* et *arrondi*. Les particules *angulaires* ont des angles aigus et des surfaces relativement planes et rugueuses. Les particules *sub-angulaires* sont semblables aux premières mais ont des angles émoussés. Les particules *sub-arrondies* ont des angles peu apparents. Les particules *arrondies* ont les côtés arrondis et ne présentent pas d'angle.

Ces termes sont particulièrement utiles dans le cas des tranchées de reconnaissance excavées dans les aires d'emprunt des sols granulaires ou de till.

Structure. La structure sert à décrire l'agencement macroscopique des différents types de sols. Cet agencement se perçoit facilement sur les parois des tranchées ou des coupes. Comme les échantillons prélevés par forage ont un volume restreint et sont généralement dans un état remanié, seuls quelques éléments de la structure pourront occasionnellement être identifiés sur place.

Les structures suivantes sont communes aux sols granulaires :

- ♦ **Stratification** : superposition de couches de granulométrie ou de couleur différente. Indiquer les types de sols, l'épaisseur, la forme et l'agencement de chaque couche, ainsi que les microstructures internes.
- ♦ **Lenticulaire** : inclusion dans la masse de terrain de cavités remplies de sols de types différents ; en indiquer les dimensions.

Humidité. Indiquer si l'échantillon est sec, humide ou saturé. Pour les tills ou les sols granulaires contenant un certain pourcentage de sols fins, la terminologie suivante est recommandée :

- ♦ **Très sec** : pressé dans la main, le sol ne montre aucune cohésion ni adhérence ;
- ♦ **Sec** : pressé dans la main, le sol n'humidifie pas ou très peu la paume, sans montrer de cohésion ;
- ♦ **Humide** : lorsqu'on manipule le sol, il tache les instruments ou la main avec adhérence des particules ;
- ♦ **Très humide** : le sol adopte facilement la forme de son contenant, sac ou récipient, et un peu d'eau libre est visible en surface par luisance.

Compacité. La compacité d'un sol granulaire se détermine par l'essai de pénétration standard (carottier fendu de 51 mm (2 po) de diamètre extérieur) décrit dans la norme NQ 2501-140, ainsi qu'avec l'essai CPT, et certaines méthodes géophysiques, dont le MASW. Les termes utilisés pour déterminer la compacité du sable sont fonction de l'indice de pénétration N :

N (coups/30 cm)	compacité
0 – 4	Très lâche
4 – 10	Lâche
10 – 30	Compact
30 – 50	Dense
50 et plus	Très dense

Couleur. La couleur d'un sol doit être notée avant que l'échantillon ne sèche. Dans le cas des sols granulaires, on n'indique que la couleur prédominante en termes simples.

Odeur et matières organiques. Quand le sol est à l'état humide, l'odeur qu'il dégage est souvent due à la présence de matières organiques. Indiquer également la présence de racines, de coquillages, etc.

Gel. Les sols gelés doivent être identifiés tels qu'on les prélève, en fonction de leur température et de leur rigidité, en apportant une attention particulière à la présence ou à l'absence de cristaux et de lentilles de glace.

2.3.2. Sols à grains fins

Identification. L'identification d'un sol à grains fins (silt ou argile), ou la portion de sols fins contenue dans un sol granulaire doit être conforme aux indications des essais qui suivent de manière à les identifier sur place.

Si un sol à grains fins contient du sable ou du gravier, noter la proportion et la grosseur maximale des particules, compte tenu de la dimension maximale permise par l'échantillonneur.

Essai de vibration

La surface d'un échantillon humide, agité vigoureusement dans la main, devient luisante avec apparition d'eau libre. En pressant l'échantillon entre les doigts, l'eau libre disparaît de la partie de l'échantillon qui subit une dilatation et deviendra mate ; avec le silt et le sable fin, la réaction est rapide et évidente ; avec l'argile, cela ne se produit pas ; elle reste luisante. Dans le cas d'argiles très sensibles, l'échantillon se liquéfie au remaniement, phénomène à ne pas confondre avec l'apparition d'eau libre.

Essai de lustre

Pour identifier un sol à grains fins, on peut y presser le plat d'une lame de couteau ou d'un ongle en appuyant fortement. Si la surface devient lustrée, on est en présence d'argile ; si la surface est mate, c'est du silt.

Essai de résistance à sec

La résistance offerte par un petit morceau de sol sec à grains fins broyé entre les doigts donne une indication des proportions relatives de silt ou d'argile. Si le sol se réduit rapidement en poudre, sa résistance à sec est faible, ce qui indique un pourcentage de silt ou de silt sableux. Si le sol se réduit facilement en petits morceaux, plutôt qu'en poudre, sa résistance à sec est moyenne, ce qui indique qu'il s'agit d'argile de plasticité moyenne ou d'argile silteuse.

Si la résistance à sec est très élevée, le morceau ne peut être broyé entre les doigts: on peut en déduire qu'il s'agit d'une argile très plastique.

En plus de ces essais, il faut savoir que l'argile humide colle aux doigts et ne se lave pas facilement, contrairement au silt que l'on peut broser quand il est sec. Si on frotte une petite quantité de sol entre les dents, une sensation granulaire indique la présence de sable ou de silt, sinon, il n'y a que de l'argile.

Structure. Le terme structure sert à décrire l'agencement macroscopique des sols entre eux sur une paroi naturelle ou excavée ou, parfois, à partir d'un échantillon obtenu avec un carottier fendu. L'échantillon extrait d'un tube à paroi mince permettra une description plus exacte en laboratoire.

Les différents types de structures sont les suivants :

- ♦ **Stratifiée** : superposition de couches de différents types de sols. On doit indiquer les types de sols, les proportions, l'épaisseur respective, la continuité des couches.
- ♦ **Varvée** : alternance régulière de couches argileuses minces généralement gris foncé et de couches plus silteuses ou sableuses de couleur généralement gris pâle.
- ♦ **Fissurée** : les fissures se remarquent quand le sol se fracture le long de plans définis, avec peu d'effort. La surface d'une fissure laisse souvent apparaître une légère décoloration.
- ♦ **Friable** : Certains sols cohésifs peuvent se réduire facilement en petits blocs plus résistants.

Plasticité. La plasticité peut se déterminer approximativement par un essai de résistance à sec (voir ci-dessus).

Humidité. L'humidité d'un échantillon peut s'évaluer sommairement. Les sols à grains fins, même échantillonnés avec un carottier fendu qui remanie le sol, sont peu modifiés par la présence d'eau dans le tubage en raison de leur très faible perméabilité. Les termes *très humide*, *humide*, *peu humide* ou *sec* peuvent être utilisés.

Consistance. La consistance d'un sol à grains fins est liée à sa résistance au cisaillement non drainé, mesurée en chantier (scissomètre Nilcon) ou en laboratoire. Les termes employés pour décrire la consistance sont les suivants :

<u>Consistance</u>	<u>Résistance au cisaillement</u> <u>(kPa)</u>
Très molle	< 12
Molle	12 – 25
Ferme	25 – 50
Raide	50 – 100
Très raide	100 – 200
Dure	> 200

On peut aussi déterminer la consistance approximative d'un sol cohésif de la façon suivante :

- ♦ Dure : Il est difficile de faire une marque sur de l'argile dure ou sur du silt dur avec l'ongle du pouce.
- ♦ Raide : Une forte pression du pouce marque ce sol.
- ♦ Ferme : Le pouce s'enfonce avec un effort modéré.
- ♦ Molle : Le pouce s'enfonce très facilement.

Il est cependant préférable d'utiliser un scissomètre ou un pénétromètre de poche.

Sensibilité. La sensibilité d'un sol est déterminée par la perte de résistance du sol (ramollissement sensible ou liquéfaction) lorsqu'il est remanié. Le rapport entre la résistance d'un sol à l'état intact et sa résistance après remaniement donne une indication de la sensibilité.

L'essai in situ au scissomètre Nilcon et certains essais de laboratoire effectués sur des échantillons non remaniés prélevés au moyen de tubes à paroi mince, permettent de mesurer la sensibilité. Au chantier, le technicien doit cependant noter si le sol est sensible ou non en remaniant une faible quantité de sol provenant de l'extrémité d'un tube à paroi mince avant de le sceller.

Couleur. La description de la couleur d'un sol à grains fins doit refléter la couleur prédominante de chaque couche. Dans ces types de sols, on trouve fréquemment des marbrures de couleurs différentes qu'il faut noter, de même qu'une stratification avec alternance de bandes pâles et de bandes foncées. Une structure lenticulaire est souvent mise en évidence par la couleur des lentilles qui diffère de la couleur prédominante de la couche principale. Le noir indique la plus souvent la présence de matières organiques.

Odeur. L'odeur qu'émet un sol à grains fins, à l'état humide, indique la présence de matières organiques.

Gel. Les sols gelés doivent être identifiés tels qu'on les prélève, en fonction de leur température et de leur rigidité, en portant une attention particulière à la présence ou à l'absence des cristaux ou de lentilles de glace.

3. DESCRIPTION DE LA TOURBE

La description visuelle des matériaux d'une tourbière est basée sur la classification de Von Post. Cette classification comporte 10 catégories qui varient en fonction de certaines caractéristique liées au degré de décomposition de la tourbe et des résultats d'essai de pressage dans la main. Cette classification est présentée au tableau 1.1.

L'échantillonnage de la tourbe se fait avec une tarière manuelle. Il existe des échantillonneurs spéciaux qui auront avantage à être utilisés. Il faut en outre identifier la couche du sol sous la tourbe.

Faire un essai de pressage dans la main pour établir la catégorie de la tourbe : observer l'eau de rejet, les matériaux passant entre les doigts et le résidu demeurant dans la main.

Dans la description de l'échantillon, on doit inclure les points suivants :

- ♦ Degré de décomposition
- ♦ Présence de boue organique
- ♦ Structure fibreuse

Déposer les échantillons dans des sacs de plastique résistants de manière à conserver l'eau libre ; les échantillons seront éventuellement soumis à des essais de teneur en eau et de brûlage.

4. DESCRIPTION DES ROCHES

L'inspecteur de forage a aussi pour tâche de décrire sommairement les diverses caractéristiques des carottes de roche. Bien que la description complète et détaillée soit faite par le géologue en laboratoire, l'information fournie par l'inspecteur permet une première évaluation des propriétés des roches et évite les pertes d'informations qui pourraient survenir.

Les éléments auxquels l'inspecteur doit porter attention sur le site de forage sont les suivants :

- | | |
|-----------------|------------------|
| 1) récupération | 5) friabilité |
| 2) R.Q.D. | 6) altération |
| 3) couleur | 7) joints |
| 4) texture | 8) type de roche |

Pour les éléments 3 à 8, des indications sommaires suffisent. Les notes ci-après sont plus détaillées que nécessaire pour mieux orienter la description au chantier.

4.1. Récupération

Le pourcentage de récupération d'une carotte de roche lors du forage est le rapport de la longueur totale de l'échantillon (après avoir mis tous les morceaux bout à bout) sur la longueur de la section forée (i.e. : la course).

$$\text{récupération (\%)} = \frac{\text{longueur récupérée}}{\text{longueur forée}} \times 100$$

Il est possible que la récupération soit supérieure à 100 % si une partie de l'échantillon précédent est restée au fond.

4.2. R.Q.D. (Rock quality designation)

Le R.Q.D. représente l'indice de qualité de la roche. Il se définit ainsi :

$$R.Q.D. (\%) = \frac{\text{longueur totale de tous les fragments de carottes mesurant 10 cm (4 po) ou plus}}{\text{longueur forée}} \times 100$$

Cette équation n'est valable qu'avec un carottier double de calibre N, muni d'un tube interne à rotation libre. De plus, le calcul du R.Q.D. n'est pas valable dans une roche sédimentaire finement stratifiée, ni dans une roche à structure schisteuse.

Les fractures observées sur une carotte de roche peuvent être d'origine naturelle ou artificielle. Dans le calcul du R.Q.D., les fractures artificielles provoquées par carottage ou manutention ne sont pas considérées. Les mesures du R.Q.D. se font à chaque course, sur le centre de la carotte, pour éviter des ambiguïtés concernant les angles des joints.

Les termes décrivant la qualité de la roche selon la valeur du R.Q.D. sont les suivants :

<u>R.Q.D. %</u>	<u>Qualificatif</u>
0 – 25	Très Mauvais
25 – 50	Mauvais
50 – 75	Moyen
75 – 90	Bon
90 -100	Excellent

4.3. Couleur

On détermine la couleur d'une carotte de roche sur une surface fraîche et *humide*. Indiquer les couleurs de base avec leur intensité (pâle ou foncée).

4.4. Texture

La texture de la roche est l'arrangement des grains entre eux tels que vu sur une surface fraîche. Pour la décrire, on note la dimension des grains, leurs formes et leur arrangement. La texture est qualifiée de la façon suivante :

Dimension

- ♦ Grains grossiers : taille du sable grossier (> 2 mm).
- ♦ Grains moyens : taille du sable fin ou moyen.
- ♦ Grains fins : taille du silt et de l'argile (non visible à l'œil nu).

<u>Forme</u>	<u>Arrangement</u>
♦ prismatique,	♦ en couches, lits,
♦ angulaire,	♦ granoclassé,
♦ arrondie	♦ homogène.
♦ en aiguille, etc.	

4.5. Structure

La structure de la roche est une caractéristique à plus grande échelle, soit l'agencement de plusieurs textures. Parmi les structures les plus courantes, signalons la foliation, ainsi que les structures gneissique, schisteuse et cataclastique (broyage et granulation).

4.6. Friabilité

Une roche est considérée comme friable si elle peut être effritée, pulvérisée ou réduite en poudre assez facilement.

4.7. Altération

L'altération se reconnaît au changement de couleur, de composition ou de texture de la roche près des surfaces exposées ou ayant été exposées aux agents physico-chimiques de l'eau ou de l'air. Généralement, l'altération apparaît dans les joints sous forme d'un changement de couleur, la roche devenant quelquefois plus friable.

Les termes suivants désignent le degré d'altération de la roche :

- ♦ Sain : Aucun signe visible d'altération.
- ♦ Peu altéré : Altération limitée aux surfaces des joints.
- ♦ Altéré : La masse rocheuse est altérée mais non friable.
- ♦ Très altéré : La masse rocheuse est friable.

4.8. Joints

En géologie, le terme *joint* est très général ; il désigne une cassure naturelle ou un plan de division qui interrompt brusquement la continuité d'une masse rocheuse. Les joints permettent d'en déterminer le degré de morcellement.

Les forages mettent en évidence les discontinuités existant dans la masse rocheuse. Leur identification exacte et leur description sont très importantes en génie géologique parce qu'ils permettent d'établir les caractéristiques structurales de la roche.

Un joint, même très peu ouvert est un plan de glissement potentiel dans une excavation, selon son orientation, et peut aussi devenir une voie préférentielle pour la circulation d'eau. Il est souvent possible de les localiser lors du carottage par suite d'une baisse de pression du fluide de refroidissement.

Les joints naturels de la roche doivent être distingués des cassures provoquées par l'action mécanique du carottage ou par la manutention. Ces cassures peuvent se produire suivant un plan de faiblesse de la roche ou suivant toute autre direction.

Les faces des cassures artificielles qui ont un aspect rugueux évident peuvent généralement être mises en contact parfait sur toute leur étendue. Ces faces ou cassures fraîches ne montrent évidemment aucun signe d'altération associé à une cassure naturelle. Les cassures artificielles

ne doivent pas être considérées comme des discontinuités dans la masse rocheuse, ni comptabilisées comme telles.

La description des joints dans une carotte doit inclure les points suivants :

Profondeur. Elle correspond au point d'intersection de l'axe de la carotte avec un joint. Si un joint apparaît à travers plusieurs morceaux de carottes, celui-ci ne sera identifié qu'une fois, soit au point d'intersection avec l'axe de la carotte :

Orientation. C'est l'angle que fait le joint avec l'axe de la carotte.

Surfaces. Elles sont planes (régulières), ondulées ou irrégulières. Noter la présence de surfaces polies et luisantes, qui sont l'indice de cisaillement.

Couleur. Noter la couleur de la surface d'un joint, surtout si elle diffère de la couleur de la roche. C'est un signe d'altération auquel il faut porter une attention particulière à proximité du joint, ou encore, un signe de minéralisation (ex. : calcite, chlorite dans une anorthosite ou une roche acide (claire), épidote, etc.

Espacement des joints. Distance moyenne entre deux discontinuités successives appartenant ou non à une même famille de joints.

<u>Espacement (cm)</u>	<u>12. Terme descriptif</u>
200 et plus	14. Très espacé
60 à 200	16. Espacé
20 à 60	18. Moyennement espacé
6 à 20	20. Rapproché
0 à 6	22. Très rapproché

Dans le rapport journalier, indiquer les mesures plutôt que le terme descriptif pour désigner l'espacement des joints.

Ouverture. Un joint est ouvert si ses surfaces sont rouillées et présentent des traces de circulation d'eau ou de transport de sols qui ont rempli le joint (argile, silt, sable). Pour fin de définition, on admet que tout autre joint est fermé.

4.9. Type de roche

Par type de roche, on entend le nom pétrographique attribué à une roche. Il ne devrait pas figurer dans la description de l'inspecteur, sauf s'il connaît le nom scientifique exact de la roche.

La terminologie servant à décrire le type de roche par l'inspecteur et par le géologue doit être simple, compréhensif et devrait être compatible avec celle des rapports géologiques régionaux.

Dans la description du type de roche, il faut noter les variations structurales apparaissant sous forme de zones à l'intérieur de la roche (failles, broyage, litage, clivage, schistosité, foliation, etc.). Il faut également identifier les zones de salbande (petites épaisseurs d'argile onctueuse parfois présentes au contact des épontes d'un filon ou d'une faille, et résultant d'un processus d'altération ou d'abrasion, et non d'un remplissage).

Tableau 1.1. Classification de la tourbe, méthode de Von Post

Class.	Description de l'échantillon			Essai de pressage dans la main		
	Degré de décomposition	Présence de boue organique	Structure fibreuse	Eau de rejet	Passant à travers les doigts	Résidu dans la main
H 1	Aucune décomposition	Aucune	_____	Claire et incolore	rien	Non pâteux
H 2	Presque non décomposé	Presque aucune		Colorée mais non boueuse		
H 3	Peu décomposé	Très peu	Très évidente	Boueuse		
H 4	Mal décomposé	Quelque peu	_____	Boueuse		
H 5	Assez décomposé	Plutôt boueux	Très évidente, mais un peu altérée	Très boueuse	Un peu	Très pâteux
H 6	Assez décomposé	Plutôt boueux	Évidente, mais moins facile à discerner	Consistance d'une purée et plus ou moins mêlée à la substance entre les doigts	1/3 de l'échantillon	Très pâteux, structure fibreuse plus évidente qu'avant pressage
H 7	Assez bien décomposé	Boureux	Encore visible		½ de l'échantillon	
H 8	Bien décomposé	Très boueux	Très difficile à discerner		2/3 de l'échantillon	
H 9	Presque complètement décomposé	Presque complètement boueux	Presque non visible		Presque tout l'échantillon	
H 10	Complètement décomposé	Complètement boueux	Non visible	Mêlée à la substance passant entre les doigts	Tout l'échantillon	Aucun



Conception des aménagements de production
hydraulique et géotechnique

Manuel de l'inspecteur en exploration géotechnique

Fascicule 2

Méthodes et rapport de forage

Décembre 2007

1. MANDAT ET TÂCHES DE L'INSPECTEUR

Durant une campagne d'exploration pour un aménagement hydroélectrique, la tâche de l'inspecteur consiste essentiellement à fournir au géologue/géotechnicien les données de terrain concernant les sols et les roches. De ce fait, l'inspecteur est chargé des tâches suivantes lors des travaux de forages :

1. Diriger les opérations de forage en vue de réaliser le programme d'échantillonnage et d'essais.
2. Exécuter ou superviser les opérations d'échantillonnage et les essais.
3. Manipuler, identifier et conserver les échantillons prélevés.
4. Procéder à la pose d'instruments.
5. Garder des notes précises et complètes de toutes les observations et mesures faites au cours des travaux de forage, d'échantillonnage et pendant les essais, en portant attention aux points suivants :
 - *le comportement de la foreuse* : vitesse d'enfoncement, vitesse de rotation, pression d'injection d'eau, vibrations, etc. Au besoin, les paramètres de forage, dont l'énergie de battage, peuvent être enregistrés électroniquement à la tête de la foreuse;
 - *à l'eau de forage* : retour d'eau (débit, couleur, quantité de matériaux en suspension) perte d'eau, venues artésiennes;
 - *les manœuvres de l'équipement de forage* : descente et arrachage des tiges, blocages, enfoncement des tiges sous leur propre poids, rebondissement des tiges au fond du trou quand elles sont battues, orientation des tiges, changement d'outils diamantés, etc. ;
 - *toutes les opérations liées à l'échantillonnage, aux essais ou à la mise en place d'instruments.*
6. Remplir dûment les formulaires de rapport de forage, tel que recommandé dans le présent fascicule.
7. Connaître le fonctionnement et les limites de l'appareillage, des outils et des instruments de manière à pouvoir les utiliser pleinement.
8. Aviser le responsable en ce qui concerne toute observation ou opération spéciale durant le forage.

L'inspecteur doit se conformer aux directives du présent fascicule. Cela ne signifie pas qu'il doit se limiter strictement au texte; il faut noter dans le rapport toute information jugée pertinente et de nature à améliorer la description des conditions géotechniques rencontrées.

2. RÉALISATION DES FORAGES

2.1. Forage dans les sols

Deux méthodes sont généralement retenues pour la progression des forages dans les sols : le tubage, qui sert surtout à maintenir les parois du trou, est enfoncé soit par rotation, soit de

préférence, par battage (méthode obligatoire pour les essais de perméabilité). Les tubages et les tiges de forage les plus fréquents, avec leurs dimensions, figurent au tableau 1.1.

Quelle que soit la méthode choisie, il est recommandé de débiter avec un tubage de grand calibre, de manière à pouvoir utiliser un échantillonneur à grand diamètre ou, si le tubage est descendu par rotation, à pouvoir télescoper par battage quand on fait les essais de perméabilité.

L'inspecteur doit discuter des objectifs prioritaires de la campagne d'exploration et des méthodes d'avancement du tubage avec le responsable de la campagne.

2.1.1. Forage par battage

Le forage par battage consiste à enfoncer un tubage muni à sa base d'un sabot tranchant (sabot de battage) de même diamètre que le tubage. Le battage se fait généralement à l'aide d'un marteau de 160 kg tombant sur un bloc de battage. Il faut noter le calibre du tubage, les opérations de télescopage de même que le nombre de coups nécessaires à son enfoncement par intervalle de 15 cm.

Il est généralement préférable de commencer le forage par battage avec un tubage HW et de le descendre jusqu'au socle rocheux ou jusqu'au refus. Après cette étape, continuer selon les directives de la campagne. Le tubage descendu par battage peut être laissé en place ou remplacé par un tubage avec trépan, de calibre semblable ou plus petit.

Il est difficile de fixer un critère de refus pour tous les forages. Il faut cesser de battre lorsque le tubage rencontre un obstacle (bloc, socle rocheux), c'est-à-dire quand le marteau rebondit fortement sur la tête de battage. Il est préférable de télescoper avec un tubage de diamètre inférieur pour continuer le forage, par rotation.

2.1.2. Forage par rotation du tubage

Le forage par rotation consiste à enfoncer un tubage muni à sa base d'un sabot de rotation serti de diamants. La rotation est accompagnée d'une pression continue appliquée à la tête du tubage. L'eau de refroidissement est pompée de l'intérieur et ressort du côté extérieur du tubage. Noter tous les changements de vitesse d'enfoncement. Munir la pompe d'un manomètre pour mieux observer toute variation de la pression d'injection d'eau.

Lorsque la profondeur exigée est atteinte, laver le tubage tel que recommandé à la section 2.1.4. En effet, il peut rester des particules dans le tubage, l'eau de refroidissement utilisée pour l'enfoncement du tubage n'ayant pas expulsé tous les sols. Prendre en note la qualité de l'eau de retour et les particules qu'elle contient de même que toute diminution du débit de retour.

Si on atteint la capacité limite de la foreuse à tourner le tubage, il faut télescoper avec un tubage de calibre inférieur.

Lorsqu'il est évident que le tubage est bien ancré dans le socle rocheux, ou un bloc, procéder au carottage de la roche.

2.1.3. Autres méthodes de forage

Les forages à l'air ou avec une tarière évidée sont réservés à des cas particuliers parce qu'ils laissent trop d'incertitude sur l'état des sols à l'extrémité du tubage. De plus, la cavité, de forme inconnue, ne permet de laisser en place une lanterne de forme connue lorsqu'il faut installer des piézomètres.

Les forages de type vibratoire (Sonic Drilling) sont parfois utilisés en raison de leur rapidité d'avancement. Ils seront utiles pour préciser le profil rocheux à de grandes profondeurs, et pour récupérer des échantillons remaniés.

Le forage à la boue est souvent exigé lorsque les épaisseurs de sols sont importantes ou lorsque le sol en place est relativement lâche. La densité supérieure de la boue augmente les chances de garder le trou de forage ouvert.

Pour le forage dans les noyaux de digues et barrages, et parfois dans les dépôts de till, on fera souvent appel à une technique qui combine l'utilisation de boues viscoplastiques et de carottiers de plus grand diamètre (calibres H ou P). Les pressions, vitesses d'enfoncement et débits d'injection seront alors réduits. D'autres techniques de forage peuvent aussi être considérées.

2.1.4. Lavage des sols dans le tubage

Les sols qui pénètrent dans le tubage doivent être enlevés par lavage à intervalle régulier; il faut les éliminer complètement lorsque le tubage a atteint la profondeur requise pour prélever un échantillon, pour réaliser un essai, pour mettre en place un instrument ou quand il y a refus. Ne pas laver au-dessous du niveau inférieur du tubage. Un lavage à intervalle régulier permet de mieux délimiter les couches qu'un lavage après un enfoncement du tubage à une grande profondeur.

On lave le trou à l'eau claire au moyen d'un train de tiges de petit calibre, muni à sa base d'un trépan percé de trous latéraux, produisant des jets d'eau horizontaux ou orientés vers le haut. Laver jusqu'à ce que l'eau de lavage qui remonte soit claire. Toujours remonter lentement les tiges de lavage et s'assurer que le tubage reste plein d'eau pendant cette opération pour éviter l'ensablement du trou par succion.

Utiliser la pompe à piston servant au refroidissement des couronnes diamantées ou, de préférence, une pompe à grand débit du même type que les pompes à incendie. La section intérieure des tiges et celle des joints entre les tiges doivent être suffisantes pour ne pas diminuer la capacité de la pompe. La section d'un tubage de calibre N ou H est souvent trop grande pour que le débit d'une pompe à piston puisse soulever les particules de gravier; une pompe à grand débit devient alors nécessaire pour éliminer les grosses particules qui, autrement, pourraient obstruer l'ouverture d'un carottier fendu.

Noter l'enfoncement du tubage avant le lavage, le débit de retour, l'aspect de l'eau et des particules qu'elle contient.

Le carottier diamanté est parfois pratique pour enlever les particules les plus grosses, plus particulièrement lorsque le carottier tourne avec le tubage lors de la pénétration de celui-ci (technique communément appelée Morrissette). Le succès de cette technique de nettoyage n'est cependant pas assuré et la présence de graviers au bout du tubage risque d'empêcher un

échantillonnage valable avec le carottier fendu. L'utilisation d'un trépan de type tricône permet également de laver le trou de forage dans les sols grossiers ou denses.

2.1.5. Cas particulier des cailloux et des blocs

Une des particularités des sols déposés par les glaciers et qui recouvrent une grande partie du socle rocheux au Québec est de contenir une forte proportion de blocs.

L'échantillonnage de la matrice devient alors relativement difficile avec le carottier fendu. Il faut traverser les blocs rencontrés avec un carottier de même calibre extérieur que l'intérieur du tubage et arrêter la course aussitôt le bloc traversé afin d'éviter de laver les particules fines de la matrice. Les variations de pression et les vibrations de la foreuse renseignent sur la taille du bloc. Lorsque le bloc est foré, on peut essayer de prélever un échantillon avec le carottier fendu, immédiatement sous le bloc.

Après avoir carotté le caillou ou le bloc avec un carottier de calibre inférieur au tubage battu, il est préférable de continuer le forage en essayant de briser le caillou ou le bloc obstruant le tubage, ou en augmentant le diamètre du trou carotté; pour augmenter le diamètre, utiliser des outils aléseurs conçus à cette fin. On peut arriver à briser un caillou ou un bloc de diamètre restreint à l'aide d'une pointe-pieu dont les tiges sont fixées au sommet du tubage, ce qui permet un battage simultané des tiges et du tubage. La nature et la longueur de la carotte devraient fournir la meilleure indication pour le choix de la méthode.

2.2. Forage dans le rocher

On doit normalement échantillonner la roche avec un carottier double, ou triple, de calibre N. Pour forer à de grandes profondeurs, on a habituellement recours à la méthode avec repêchage du carottier (connue aussi de son nom anglais : *wireline*).

Il faut relever en cours de forage tout changement brusque de la quantité et l'aspect du retour de l'eau de forage, de la vitesse d'enfoncement des tiges et de l'intensité des vibrations. Noter la pression de l'eau de refroidissement des couronnes diamantées : elle confirmera la présence de joints ouverts; souvent difficiles à voir sur les carottes.

2.2.1 Carottage du rocher

Les carottes renseignent sur la structure et la composition des différentes formations traversées. Il est donc particulièrement important d'obtenir la meilleure récupération possible et de placer avec soin les carottes dans les boîtes conçues à cet usage.

On peut améliorer la qualité de la récupération en utilisant une couronne à diamants peu usée et de dureté adaptée au type de roche en place, en diminuant la longueur forée, ou en modifiant la vitesse de rotation, la pression d'injection d'eau ou encore l'effort d'enfoncement. Un carottier triple sera souvent très avantageux.

L'utilisation d'un lubrifiant de tiges du type Cutwell, DD-2000 ou GS-550 est permise pour les forages réguliers et ceux destinés à la géocaméra (instrument pour photographier la paroi du forage). Tout autre produit doit être approuvé par le responsable de l'exploration.

Lorsque des relevés à la géocaméra sont prévus dans le trou de forage, celui-ci doit être lavé jusqu'à ce que l'eau de retour soit limpide. La limpidité de l'eau est une condition essentielle au succès du relevé. Il existe différents liquides pour désagréger la boue (eau de javel, etc) .

Récupérer soigneusement les débris de sable, de gravier, les parties boueuses et tous les matériaux retirés du carottier, et reconstituer le mieux possible la stratigraphie originale. Il est essentiel de déposer chaque morceau de carotte dans le sens et la position correspondant à ceux en place dans le trou.

La longueur du forage ou de la section forée est celle mesurée durant le forage et non pas celle de la carotte. La carotte peut être égale à la longueur forée, plus longue (trop brisée, éboulis de sable ou de gravier, récupération partielle de la course précédente, etc.) ou plus courte (perte, vides dans la roche, etc.) que la longueur forée.

Inscrire à chaque extrémité des rangées la profondeur correspondante. Inscrire sur des blocs de bois les profondeurs de chaque fin de course ainsi que les parties non récupérées des carottes et insérer ces blocs aux endroits appropriés.

Photographier les boîtes ouvertes contenant les carottes disposées dans l'ordre de prélèvement; mouiller la surface des carottes pour en faire ressortir leur couleur. Installer la caméra au-dessus du centre du plan des boîtes et s'assurer que la plan des boîtes est le plus parallèle possible au plan de la photo.

Les boîtes sont ensuite fermées solidement et étiquetées sur le couvercle, un côté et une des extrémités, de préférence avec une étiquette de métal ou l'équivalent. Indiquer les mentions suivantes :

- ♦ Site
- ♦ N° de forage (ce n° inclut l'année)
- ♦ Profondeur de _____ à _____
- ♦ Numéro d'ordre de la boîte (boîte n° _____ de _____)

Manipuler et transporter les boîtes avec soin, conformément aux indications du fascicule n° 8.

2.2.2 Orientation des joints

Plusieurs techniques permettent de déterminer l'orientation des joints. Le relevé à la géocaméra permet de visionner ces joints à même le massif; en plus de mesurer leur orientation, le relevé permet également d'établir leur ouverture.

En alternative à la géocaméra, l'orienteur de carottes permet également de déterminer l'orientation des joints, mais en orientant par rapport au trou chacune des carottes de roc prélevées. Deux techniques différentes permettent d'orienter les carottes.

Une première consiste à laisser glisser un poinçon dans le trou (trou incliné seulement), à chaque fin de course. Le poinçon laisse une marque sur la prochaine carotte à prélever, à son point bas. Une autre technique consiste à prendre l'empreinte du fond du trou (prochaine carotte à prélever) au moyen d'argile à modeler, descendue à l'intérieur d'une sonde excentrique.

2.2.3. Orientation des trous

L'orientation des trous inclinés ou très profonds doit être vérifiée à des intervalles établis lors de la planification de la campagne d'exploration. Elle est déterminée avec un instrument de type Tropari, ou avec une sonde gyroscopique de type Flexit. L'inspecteur doit s'assurer que les directives à cet effet lui ont été transmises.

2.3 Colmatage des trous

2.3.1. Cimentation de la partie dans la roche

L'inspecteur doit toujours vérifier si la cimentation du trou est requise avant d'autoriser le retrait du tubage. Si le colmatage est requis, le coulis eau-ciment doit avoir la consistance d'un liquide visqueux épais (rapport eau-ciment voisin de 1 : 1). Le ciment doit être du type « à prise rapide », pour réduire le volume de béton lessivé par écoulement dans les joints; on recommande d'utiliser un agent expansif à cause de la contraction importante du ciment, due au mélange qui contient beaucoup d'eau. La quantité de coulis nécessaire est donnée à la figure 2.1 pour les trous forés avec les carottiers de calibre N et B.

Le coulis est injecté par une pompe à piston au moyen d'un boyau ou des tiges servant à l'essai d'injection d'eau sous pression dans la roche. On détermine le volume de coulis nécessaire d'après le volume carotté (voir la figure 2.1). Il faudra vérifier périodiquement les niveaux cimentés dans la mesure où une certaine quantité de coulis sera absorbée par les joints. Ce volume peut être considérable si le massif rocheux est drainé.

S'il y a des éboulis ou des pertes d'eau importantes dans une zone de roche altérée, il faut, après les essais d'eau sous pression, cimenter le trou de forage; autrement, des éboulis pourront bloquer les tiges lors de la progression du forage. Après la prise du coulis, forer à nouveau le trou à travers la zone cimentée.

Mode d'opération :

1. Après avoir descendu des tiges ou le boyau au fond du forage, remplir le tout complètement de coulis en tenant compte du volume occupé par les tiges et le boyau.
2. Remonter le boyau ou les tiges au tiers de la profondeur totale et remplir à nouveau de coulis pour compenser la perte de volume due au retrait des tiges ou du boyau.
3. Répéter la même opération au quart de la profondeur restante ou jusqu'à ce qu'il n'y ait plus que quelques mètres à cimenter.
4. Cimenter les derniers mètres progressivement et arrêter à 30 cm sous la surface du socle rocheux.
5. À cet endroit, il suffit de laver le boyau et le tubage jusqu'à ce que le retour d'eau soit clair et que la pompe soit propre.

N.B. : Un boyau flexible pénètre difficilement dans un trou foré avec des tiges de calibre B : utiliser des tiges de calibre inférieur.

Après l'injection, attendre 1 h, puis mesurer le niveau du coulis. Si le trou de forage dans la roche n'est pas complètement cimenté, reprendre les opérations jusqu'à moins de 1 m sous le niveau du socle rocheux.

2.3.2. Obturation du forage dans les sols

Le forage doit obligatoirement être comblé adéquatement lorsqu'on se trouve à l'emplacement d'un ouvrage de retenue. Les matériaux utilisés doivent avoir une perméabilité comparable à celle des sols en place. Il faut surtout éviter que le forage draine les nappes perchées ou serve de point d'évacuation des eaux sous pression artésienne.

Dans les sols peu perméables, l'obturation peut se faire de deux façons :

- ♦ Avec un coulis de bentonite contenant environ 10 kg de bentonite pour 50 l d'eau; le pomper avec un train de tige inséré à l'intérieur du trou.
- ♦ Avec de la bentonite agglomérée en forme de pierre concassée.

Dans les sols perméables, obturer avec des sols de perméabilité s'approchant de celle des sols en place, en ne soulevant pas le tubage de plus de 1,5 m à la fois.

3. ACTIVITÉS RELIÉES AU FORAGE

Les forages menés lors d'une campagne d'exploration géotechnique visent à :

1. déterminer la nature et les caractéristiques des couches traversées;
2. prélever des échantillons;
3. réaliser des essais en place;
4. obtenir des informations sur les conditions d'eau rencontrées;
5. vérifier l'orientation des trous;
6. installer des instruments;
7. permettre des opérations spéciales (géocaméra, etc.)

3.1. Identification des couches traversées

L'inspecteur doit suivre les opérations de forage de manière à localiser et identifier la nature des couches traversées, conformément à son mandat (section 1). Les règles à suivre pour décrire correctement les sols et la roche sont présentées au fascicule 1.

3.2. Échantillonnage

Les types d'échantillonneur les plus courants sont le carottier fendu (voir norme NQ) pour les sols granulaires et l'échantillonneur à paroi mince pour les sols fins : dans ce cas, l'échantillonneur Shelby n'est recommandé que lorsque le piston stationnaire de type Osterberg (voir fascicule 4) ne peut pénétrer dans le sol.

D'autres types d'échantillonneurs peuvent servir à certaines applications ou à d'autres types de sols (P.F.R.A. NQ-3, PQ-3, Sonic drilling etc.) Pour échantillonner la roche de façon continue, on se sert d'un carottier à paroi double ou triple.

3.3. Essais en place

Les trois principaux types d'essais en place dans les sols sont l'essai de pénétration standard (norme NQ), l'essai de perméabilité (normes NQ) et l'essai au scissomètre (fascicule 6). Dans la roche, on pratique l'essai d'eau sous pression (fascicule 5), et occasionnellement l'essai de soulèvement hydraulique.

3.4. Relevé des variations du niveau d'eau

En cours de forage, le niveau d'eau dans un tubage doit être noté au début et à la fin de chaque arrêt prolongé; le noter aussi chaque soir et chaque matin, ou selon une fréquence prédéterminée. Toute baisse ou montée rapide du niveau d'eau doit aussi être notée. S'il y a perte d'eau importante, il est recommandé d'évaluer périodiquement avec une pompe, le débit maximum que peut absorber le milieu.

Si on détecte une venue d'eau artésienne, la pression correspondant à cette venue peut être mesurée à l'intérieur du tubage en le prolongeant d'au moins de 2 à 3 m au-dessus du terrain, suivant l'importance de ce phénomène. Il faut également évaluer le débit de cette venue et de sa durée, lorsqu'elle tend à diminuer. Pour les venues d'eau à pressions élevées, cette pression sera mesurée à l'aide d'un manomètre raccordé à un obturateur installé dans le trou de forage.

3.5. Pose de piézomètres

La mise en place des bouchons et de la lanterne des piézomètres se fait au fur et à mesure de l'extraction du tubage en mesurant et notant les volumes déversés et en mesurant et contrôlant toutes les opérations avec un pilon poussoir, tel que précisé au fascicule 3.

4. RAPPORT DE FORAGE

4.1. Mesures de profondeur

En plus de décrire les échantillons et de suivre le comportement de l'équipement de forage, la tâche principale de l'inspecteur consiste à prendre des mesures. Celles-ci doivent toujours être précises, au moins au centimètre près, et notées d'une façon systématique.

Les profondeurs (c'est-à-dire les limites entre les différentes couches et celles permettant de localiser les échantillons, essais, nappe d'eau, etc.) sont mesurées à partir de la surface du terrain naturel et à l'aide du système métrique (SI).

Quel que soit le forage, les mesures sont toujours prises le long de l'axe du trou. S'il s'agit d'un trou incliné, la profondeur réelle sera calculée ultérieurement en fonction de l'inclinaison. L'orientation du trou de forage est déterminée par arpentage sinon, à la boussole.

Dans le cas d'un forage dans la glace, mesurer la profondeur à partir de la surface de la glace, en s'assurant avec un repère ancré au sol que les fluctuations sont notées.

Sur l'eau, mesurer la profondeur à partir du niveau de l'eau; prendre la mesure le plus souvent possible sur un repère gradué fixé sous l'eau près de la rive, pour tenir compte des variations du niveau d'eau durant le forage.

L'inspecteur doit connaître en tout temps la limite inférieure du tubage dans les sols et du carottier dans la roche : il doit savoir quel est le nombre de raccords et la longueur de tiges de tous les calibres utilisés qui se trouvent dans le trou. Pendant l'échantillonnage ou le carottage, il faut aussi tenir compte de la longueur du sabot ou de la couronne diamantée, du manchon aléseur et de la longueur échantillonnée.

Les tubages, tiges, échantillonneurs et accessoires doivent être vissés à bloc pour assurer l'exactitude des mesures de profondeur ainsi que la rigidité et l'étanchéité du train de tiges.

4.2. Formulaires de rapport de forage

Pour rendre compte des opérations de forage, l'inspecteur doit utiliser la version la plus récente du formulaire G-37 « Rapport journalier de forage », (fig. 2.3), ou une version équivalente produite par sa firme, si approuvée par Hydro-Québec.

Si les observations et mesures sont notées directement sur les formulaires et non dans un carnet de notes, employer un support approprié pour ne pas salir ni mouiller les formulaires. De plus, il est important d'en faire une copie à la fin de chaque journée. Écrire clairement et lisiblement en évitant les abréviations et les symboles qui ne sont pas d'usage courant.

Les points à noter sont énumérés ci-après. Les figures 2.4 et suivantes sont des exemples de rapports de forage.

Pour certains essais tels que les mesures d'injection d'eau, les essais scissométriques et l'installation de piézomètres, la procédure d'exécution, les lectures et les calculs correspondants doivent être annexés au rapport.

4.2.1. Formulaire « Rapport journalier de forage » G-37

Le formulaire G-37 « Rapport journalier de forage », ou son équivalent, doit en principe contenir toutes les informations recueillies durant le forage. C'est en quelque sorte la référence de base pour l'interprétation ultérieure des données. Les informations spécifiées ci-dessous sont requises:

► Emplacement : _____

Nom ou numéro de l'ouvrage avec indications supplémentaires appropriées (ex. : barrage R-2; rive-gauche; digue PB-03, CH 12 + 60).

► Forage n° : _____

Numéro complet du trou de forage, se terminant par deux chiffres indiquant l'année.

► Inspecteur : _____

Nom complet de l'inspecteur de forage.

Dans la section principale du formulaire, inscrire toutes les données et opérations relatives à la stratigraphie, au maniement des tubages, à l'échantillonnage et aux essais ainsi que toutes remarques et observations effectuées. Les détails nécessaires sont les suivants :

► Niveau d'eau

Indiquer les données relatives aux relevés journaliers du niveau d'eau.

a) Heure : _____
Heure du relevé.

b) Prof. eau : _____ cm
Profondeur du niveau d'eau dans le tubage mesurée par rapport à la surface du sol. Si l'eau est à un niveau supérieur à celui du sol, ajouter le signe + devant le chiffre. S'il y a une venue artésienne, noter le débit lors de l'observation initiale et le niveau atteint dans le tubage rallongé pour permettre la mesure du niveau d'eau (ou la pression lue au manomètre).

c) Prof. trou : _____ cm
Profondeur du niveau du trou de forage mesurée par rapport à la surface du sol (et non du plancher). Cette profondeur peut différer de la profondeur du tubage si, par exemple, le tubage n'a pas été lavé avant le relevé ou si un échantillon a été prélevé en avant du tubage.

La profondeur mesurée le matin peut différer de celle atteinte la veille s'il y a eu remontée du sol durant l'arrêt : ne pas supposer à priori que ces profondeurs seront identiques; les mesurer à chaque reprise des travaux.

d) Prof. tubage : _____ cm
Profondeur de l'extrémité du tubage au moment du relevé.

► Stratigraphie

Cette colonne sert à décrire les sols rencontrés lors du forage, tel qu'expliqué dans le fascicule 1. Noter la profondeur des changements de couches par une ligne horizontale (si le contact est douteux, tracer une ligne discontinue). La profondeur des principales fissures ainsi que les limites évidentes des strates de la roche sont à indiquer ici.

► Tubage et nombre de coups/15 cm

Indiquer dans la colonne correspondant au tubage utilisé (à l'aide des symboles de la légende du formulaire G-37) les opérations relatives au tubage. Pour un forage par battage, indiquer le nombre de coups nécessaires pour enfoncer le tubage de 15 cm.

► Échantillonnage et carottage

Les colonnes sous cette rubrique devront être complétées, comme décrit ci-dessous, après avoir tracé en travers des colonnes deux lignes horizontales déterminant les limites supérieure et inférieure de l'échantillon.

a) Type et numéro

Inscrire entre les lignes les deux lettres correspondant au type d'échantillonneur. (Voir le code dans la légende)

Numéro de l'échantillon : suivre l'ordre numérique (1, 2, 3, etc.) indépendamment du type d'échantillonneur ou de la perte de l'échantillon.

L'utilisation d'un carottier à l'intérieur d'un tubage pour enlever le gravier (résidus de lavage) n'est pas considérée comme un échantillonnage et "l'échantillon" n'est pas numéroté comme tel.

b) État

Inscrire entre les lignes le symbole correspondant à l'état de l'échantillon. (voir les symboles courants dans la section « État de l'échantillon » de la légende du formulaire G-37.)

Les échantillons récupérés au moyen d'un carottier fendu ou d'un tube avec une ouverture longitudinale par laquelle pénètre l'échantillon sont toujours remaniés. Un échantillon récupéré au moyen d'un piston stationnaire Osterberg est généralement non remanié. Noter toute mauvaise manipulation ou variation de température pouvant affecter l'état de l'échantillon. Si l'examen du tube permet de déceler des dommages causés par la présence d'un gravier ou d'un caillou lors de l'échantillonnage, la possibilité de remaniement devrait être soulignée.

c) Récupération

Indiquer la longueur en cm de l'échantillon récupéré sur la longueur en cm d'enfoncement de l'échantillonneur (ex. : 15/45, soit 15 cm d'échantillon récupéré pour un enfoncement de 45 cm de l'échantillonneur).

d) Indices N ou RQD

- Dans les sols, inscrire le nombre de coups pour chacun des enfoncements successifs de 15 cm du carottier fendu (voir norme NQ 2501 - 140).
- Dans la roche, indiquer l'indice de qualité de la roche, RQD, en inscrivant les valeurs obtenues pour calculer cet indice (voir fascicule 1, section 4.2).

► Essais

Indiquer dans cette colonne à la profondeur correspondante, le symbole et le numéro des essais effectués en cours de forage. Les symboles à utiliser figurent dans la légende (ex. : K_B T-1, K_L -2, K_L -3, etc.)

Chacun des essais est numéroté par type, indépendamment de la numérotation de l'échantillonnage et de celui des essais d'un autre type.

► Description des opérations et des échantillons.

Cette section sert à décrire les opérations de forage et les échantillons. Noter chaque opération. Inscrire toutes les observations faites en cours de forage, ce qui comprend les observations liées aux différents essais décrits dans les autres fascicules du *Manuel de l'inspecteur*, soit le comportement de la foreuse, la pression de l'eau, le retour d'eau dans les sols et dans la roche, etc.

Tableau 2.1 Dimensions des tubages, des tiges de forage et des carottiers standards.

	calibre	diamètre extérieur		diamètre intérieur	
		mm	po	mm	po
tubage	EW	46,0	1,81	38,1	1,5
	AW	57,1	2,25	48,4	1,91
	BW	73,0	2,88	60,3	2,38
	NW	88,9	3,50	76,2	3,00
	HW	114,2	4,50	101,6	4,00
	PW	139,7	5,50	127,0	5,00
	SW	168,3	6,63	152,4	6,00
tige de forage	EW	34,9	1,38	22,2	0,88
	AW	44,4	1,75	30,9	1,22
	BW	54,0	2,13	44,5	1,75
	NW	66,7	2,63	57,1	2,25
	calibre	diamètre foré		diamètre de la carotte	
		mm	po	mm	po
carottier à couronne diamantée	XRT	29,8	1,18	18,7	0,74
	EXT	37,7	1,48	21,5	0,85
	AXT	48,0	1,89	30,1	1,19
	BX	60,0	2,36	42,0	1,66
	NX	75,7	2,98	54,7	2,15
	HX	99,2	3,91	76,2	3,0
	BQ	60,0	2,36	36,5	1,43
	NQ	75,7	2,98	47,66	1,87
	HQ	96,0	3,78	63,5	2,50
	PQ	122,6	4,83	85,0	3,34

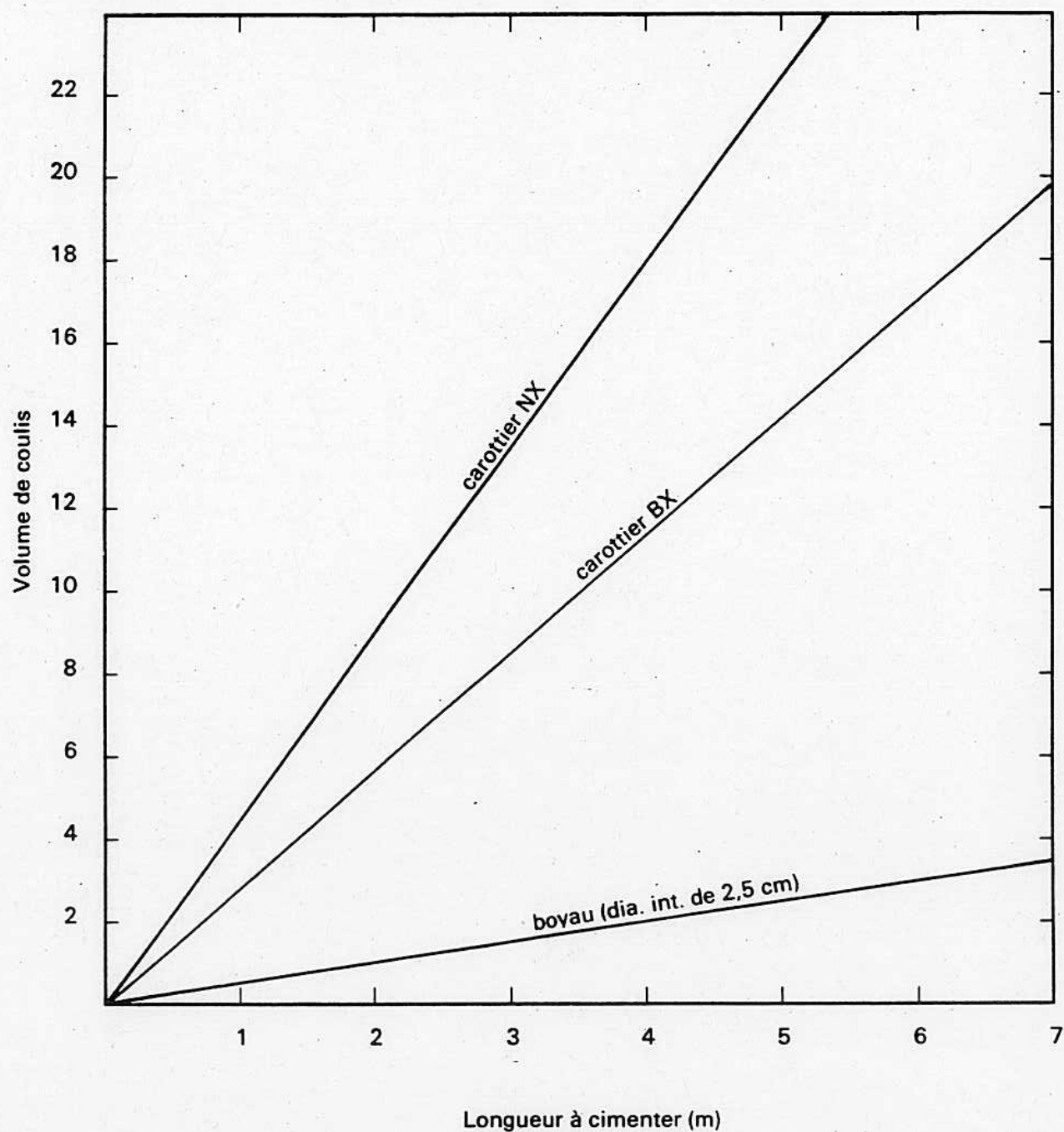


Figure 2.1 Volume de coulis pour la cimentation de la partie en rocher

Note : Le volume de coulis évalué à l'aide de ce tableau est un volume minimum ; il ne tient pas compte des pertes possibles d'eau dans les fissures du rocher.

LÉGENDE POUR RAPPORT DE FORAGE :

<u>Tubage</u>		<u>État de l'échantillon</u>	
20 10 15	Enfoncement par	<u>Sym.</u>	<u>État</u>
	battage		Remanié
	Nb. de coups /15 cm		Non remanié
<u>Essai in situ</u>			Perdu
<u>Sym.</u>	<u>Essai</u>		Carotte de roche
KBT			
	Perméabilité en bout de tubage		
KL			
	Perméabilité Lefranc		
VN			
	Scissomètre Nilcon		
P			
	Injection d'eau dans la roche		
<u>Echantillonnage</u>		<u>Opération de forage</u>	
<u>Type</u>	<u>Echantillonneur</u>	<u>Sym.</u>	<u>Type</u>
CF	Carottier fendu	SB	Sabot de battage (NW, BW et PW)
PL	Échantillonneur avec ouverture sur paroi latérale	ST	Sabot de Tubage (NW, BW, PW et SW)
PS	Piston stationnaire Osterberg	TC	Trépan de carottier (NQ, NQ3 et PQ)
TM	Tube à paroi mince	TR	Tricone
CR	Carotte de roche	TA	Forage à la tarière évidée

fig. 2.2

feuille 3 de 4

FIRME

Projet: RAPIDE DES QUINZES				FORAGE NO: TF-3-94			
Emplacement: BARRAGE				Date: 3-10-94			
Contrat no:				Inspecteur: A. L. A. A. A.			
Coordonnées:		Enfoncement du tubage et nb. de coups /15 cm		Échantillonnage et Carottage		Essais	
N						Foreur: G. C.	
E						Aide: R. C.	
Cote en surface: m						Foreuse: RBS-25	
Description Stratigraphique		Prof. m		H		N	
				B ou autre		Type et No	
				État		Récup.	
				Coups /15cm ou R00		Symb. et No	
						Description des opérations et des échantillons	
Mélange de gravier et sable brun avec trace de silt.		5.00					
		10					
		20					
		30					
		40					
		50					
		60					
		70					
		80					
		90					
De 5.86 à 6.22 zone de cailloux		6.00					
		10					
		20					
		30					
		40					
		50					
		60					
		70					
		80					
		90					
Sable brun avec un peu de gravier à grossier avec trace de silt		7.00					
		10					
		20					
		30					
		40					
		50					
		60					
		70					
		80					
		90					
		8.00					



Projet BEAUHARDOIS III				Emplacement DIGUE OUEST				Sondage N° TFD-1-84			
Type de foreuse et n° BBS-15				Pendage du trou 90°				Date 8-05-84		de 7:00 à 18:00 heures	
COUPS 25 cm	PROF. (m)	ECHANTILLONS				PROFONDEUR		DESCRIPTION DES ECHANTILLONS ET OBSERVATIONS Type, dureté, couleur, consistance, texture, structure, foliation, diaclasses, fractures, perte ou venue d'eau cause de C.M., #diaclasses/course, etc...			
		ETAT	N°-TYPE	R.Q.D. PENET.	RECUP.	DE	A				
	12,5	Origine des mesures						HEURE _____ PROF. N.P. _____ PROF. TROU _____ PROF. TUBAGE _____			
	12,89					12,89	13,44	TM-10 vitesse de descente : 5 sec / po () pression à la foreuse : 75 lbs / po ² et les dernier 30 cm de 100 lbs / po ² à 175 lbs / po ² sur les dernier 25 cm : - description sol : argile silteuse plutôt saine avec présence de gravier grossier + grande humidité et plasticité moyenne - de consistance raide - on y remarque des parois rugueuses et M.O. (moules).			
	13,0	B	TM-10		0,55 / 0,55						
	13,5										
	14,0					12,89	14,42	TRPW pression à la foreuse : 0 à 25 lbs / po ² () viscosité de la boue : 67 lbs / litre la premier mètre la pression est très ins- table, se maintient entre 28 et 32 lbs / po ² avec des sauts de 35 à 40 lbs / po ² et une vitesse de descente lente 2 à 4 min / po on doit arrêter fréquemment pour stabiliser la pression - le dernier 0,52 m la pression se stabilise graduellement entre 17 et 20 lbs / po ² - vibration à la surface - présence de gravier.			
	14,5	B	TM-11		0,45 / 0,55						
	15,0										
	15,5					14,42	14,92	TM-11 - vitesse de descente : 5.5 sec / po () pression à la foreuse : 100 lbs / po ² et les dernier 30 cm elle varie de 100 à 225 lbs / po ² description sol : argile silteuse avec trace de sable et gravier, de couleur gris - brun plus plastique et de consistance raide à très raide - présence de gravier grossier au début de l'échantillon.			
	16,0										
	16,5					14,92	15,94	TRPW pression avec 1 mètre, descente constante et peu de vibration vitesse de descente 1 min / po pression à la foreuse : 0 à 25 lbs / po ² pression à la pompe : 19 à 21 lbs / po ² pression à la foreuse 100 = 4 1060 lbs / po ²			
	17,0							HEURE _____ PROF. N.P. _____ PROF. TROU _____ PROF. TUBAGE _____			
Foreur L. LEBLANC		Aides 2		Inspecteur RS		Vérifié par 2		Feuillet 2 de 3			



feuille 3 de 4

G-37, Aout 199

feuille 4 de 4

FIRME

Projet: <u>RESERVOIR BASIKATONG</u>				FORAGE NO: <u>TF-01-05</u>			
Emplacement: <u>DIGUF BITOBI-1</u>				Date: <u>22 SEPT 05</u>			
Contrat no: <u>G05235-E</u>				Inspecteur: <u>P.S.</u>			
Coordonnées:		N		E		m	
Cote en surface:		m		m		m	
Enfoncement du tubage et nb. de coups /15 cm		Échantillonnage et Carottage		Essais		Foreur: <u>D.B.</u>	
Aide: <u>V.B. M.C.</u>		Inclinaison: <u>90°</u>		Foreuse:			
Description Stratigraphique		Prof. m		H		N	
		B ou autre		Type et No		État	
		Récup.		Coups /15cm ou 100		Symb. et No	
Description des opérations et des échantillons							
<u>ROC</u> <u>Gneiss granitique sain.</u>		<u>9.00</u> <u>10</u> <u>20</u> <u>30</u> <u>40</u> <u>50</u> <u>60</u> <u>70</u> <u>80</u> <u>90</u> <u>10.00</u>		<u>CR16</u> <u>NQ</u>		<u>150</u> <u>150</u> <u>100</u>	
<u>Fin du forage à 10,44 m</u> <u>ESSAI PACKER de 8,50 à 10,44 m</u>		<u>11.00</u> <u>10</u> <u>20</u> <u>30</u> <u>40</u> <u>50</u> <u>60</u> <u>70</u> <u>80</u> <u>90</u> <u>12.00</u>					
<u>CR-16 de 8,86 à 10,44 m</u> <u>Gneiss granitique gris-rose, foliation bien marquée. Plusieurs joints de foliation</u> <u>AUCUNE PERTE DE RETOUR - 6000-10000</u> <u>Viscosité d'air: 120-130</u> <u>de roc - 1 ± 5°</u>							
Heure Niveau Prof. de l'eau d'eau Prof. du tubage Prof. du trou							



Conception des aménagements de production
hydraulique et géotechnique

Manuel de l'inspecteur en exploration géotechnique

Fascicule 3

**Installation de piézomètres dans un
forage**

Décembre 2007

1. INTRODUCTION

La mesure des pressions d'eau dans les sols constitue une donnée fondamentale en géotechnique. Ces pressions influencent directement les contraintes en place et, par conséquent, la conception des ouvrages. La pression d'eau se mesure avec un piézomètre.

Une pression d'eau dans un sol au niveau d'un capteur est égale à la hauteur de la colonne d'eau dans un tube qui serait installé au-dessus de ce capteur perméable à l'eau environnante et ouvert à la pression atmosphérique. Dans ces conditions, on peut déterminer la pression d'eau en mesurant directement le niveau d'eau dans le tube.

Il existe une grande variété de capteurs piézométriques dont une description sommaire est présentée ci-après. Le présent fascicule se limite aux piézomètres à tube ouvert installés par forage. Leur mise en place selon les normes est difficile et nécessite des précautions à chaque étape.

Les piézomètres à tube ouvert peuvent à l'occasion servir à faire des essais de perméabilité. Dans ce cas, il est nécessaire de connaître avec exactitude les dimensions de la lanterne et d'avoir la certitude que les bouchons sont imperméables.

1.1. Définitions

Piézomètre : désigne le capteur de pression d'eau, et la lanterne s'il y a lieu ; il inclut aussi le tube dans le cas des piézomètres à tube ouvert et hydraulique.

Piézomètre à tube ouvert : piézomètre avec un tube ouvert à la pression atmosphérique et posé dans le prolongement du capteur. Ce terme est préférable à « piézomètre hydraulique ».

Piézomètre Casagrande : piézomètre à tube ouvert avec un élément filtrant inséré dans une lanterne de sable et des bouchons de part et d'autre de la lanterne.

Tube perforé : tube de plastique perforé à plusieurs endroits et entouré d'un tissu résistant et perméable ; il sert à déterminer la profondeur de la nappe d'eau.

Piézomètre hydraulique (avec manomètre) : installation semblable à un tube ouvert, mais dont le niveau d'eau dépasse l'extrémité supérieure du tube à laquelle est fixé un manomètre ; la pression au niveau du capteur est égale à la différence de niveau entre le sommet du tube et le niveau du capteur plus la pression enregistrée par le manomètre.

Pour éliminer l'air qui s'accumule à l'intérieur du tube à cause de l'absence de circulation d'eau et qui fausse les résultats, les piézomètres hydrauliques doivent avoir une tubulure double. Cette tubulure permet une circulation d'eau désaérée à partir de la surface, circulation qui doit se faire périodiquement.

Le terme « piézomètre hydraulique » est fréquemment utilisé pour désigner un piézomètre à tube ouvert ; il est recommandé d'ajouter « avec manomètre » s'il s'agit d'un piézomètre hydraulique comme tel.

Piézomètre scellé : capteur de pression à corde vibrante ou pneumatique nécessitant un très faible écoulement par l'élément poreux. Pour le premier, la vibration de la corde qui varie en

fonction de la pression interstitielle est transmise par un câble électrique ; dans un piézomètre pneumatique, un gaz est injecté par une tubulure qui relie un capteur pneumatique à la surface, jusqu'à ce que la pression du gaz soit égale à la pression interstitielle.

Élément filtrant : désigne strictement l'élément poreux fixé à l'extrémité inférieure d'un tube ; il peut être en plastique, en métal ou en pierre poreuse.

Lanterne : cavité de forme cylindrique, pratiquée sous l'extrémité du tubage, comblée d'un matériau plus perméable que le sol en place, qui supporte les parois de la cavité.

Tube de mesure : tube métallique ou plastique, flexible ou rigide, qui relie l'élément filtrant à la surface pour mesurer le niveau piézométrique à la pression atmosphérique.

Bouchons : zones imperméables qui scellent le trou de forage de part et d'autre de la lanterne ; les bouchons sont constitués de bentonite.

2. MATÉRIEL REQUIS

2.1. Équipement de forage

Le tubage de calibre H ou N est enfoncé par rotation ou par battage, en particulier si le piézomètre sert à déterminer la perméabilité des sols adjacents ; l'enfoncement par battage réduit le risque de cavité due à l'écoulement le long du tubage. Une boue dégradable (GS550, DD2000, etc.) peut être utilisée lorsque le tubage est enfoncé par rotation. Il ne faut pas utiliser de boue bentonitique.

2.2. Eau de forage et de saturation des piézomètres

L'eau servant à la saturation du piézomètre, de même que l'eau de forage pendant la pose de la lanterne et de l'élément filtrant, doit être propre et claire pour éviter tout colmatage dû aux particules en suspension dans le tubage. Pour s'assurer de la qualité de l'eau, il est recommandé d'installer un réservoir de sédimentation sur la ligne d'alimentation en eau de la foreuse et, si nécessaire, d'y ajouter un filtre.

2.3. Éléments filtrants

Pour l'installation par forage, on recommande un élément filtrant en pierre poreuse ou en plastique poreux (polyéthylène) hydrophile, avec bouchon pour fermer l'extrémité inférieure, et un raccord de plastique compatible avec celui des tubes de mesure. Les dimensions suivantes sont recommandées :

Diamètre intérieur	15 à 40 mm
Diamètre extérieur	20 à 50 mm
Longueur	300 à 600 mm

2.4. Sable pour lanterne

Pour installer un piézomètre à tube ouvert, il faut qu'il y ait autour de l'élément filtrant, une zone filtre : la lanterne ; celle-ci accélérera le temps de réponse du piézomètre et préviendra le colmatage de l'élément filtrant par les sols en place ou la bentonite du bouchon. La lanterne est constituée de sable grossier uniforme ayant la granulométrie suivante :

Pourcentage des grains	
passant le tamis 4,75 mm	> 95 %
Retenu sur le tamis 2,0 mm	> 95 %

La granulométrie du sable peut être modifiée par le responsable selon la disponibilité des matériaux ou la nature du sol adjacent à la lanterne. La granulométrie doit être uniforme lorsque des essais de perméabilité sont prévus. Autrement, les résultats de l'essai pourront être faussés par une ségrégation entre les plus petites et les plus grosses particules d'un sable étalé. Il ne doit également pas y avoir de sable passant le tamis 0,425 mm ; son temps de sédimentation est long et il peut pénétrer entre les boulettes de Bentonite.

2.5. Bouchons de bentonite

Les bouchons pour sceller le trou de forage de part et d'autre de la lanterne sont constitués de bentonite granulaire (Enviroplug).

Leur vitesse de gonflement est facile à vérifier dans un récipient d'eau avant leur utilisation. Tout autre type de boulettes doit être approuvé lors de la planification de la campagne d'exploration.

2.6. Tube de mesure

Un tube de mesure est constitué de sections d'au moins 15 mm de diamètre intérieur et de 1,5 ou 3 m de long. Sauf indications contraires, utiliser des tubes en plastique PVC80 ou ABS.

Les raccords doivent être parfaitement étanches ; l'eau ne doit pénétrer dans le tube que par l'élément filtrant. Il est possible de vérifier la qualité de raccords vissés en assemblant plusieurs sections avec un capuchon, à la limite inférieure, et en descendant cet assemblage à l'intérieur d'un autre tube plein d'eau.

Les tubes doivent aussi être lisses à l'intérieur et à l'extérieur, pour ne pas obstruer le passage de la sonde de lecture jusqu'au niveau de l'élément filtrant, ainsi que la descente des matériaux de la lanterne et du bouchon et le passage de pilon-poussoir.

Les extrémités des sections doivent être usinées coniques, mâle ou femelle, et être collées à l'aide d'une colle agissant par dissolution du plastique, ou filetées selon un profil de filet conique qui, lors du vissage, devient parfaitement étanche. Dans ce dernier cas, on recommande de recouvrir la zone filetée de téflon en ruban ou en pâte. Par temps froid, essayer la colle sur un échantillon de tube pour s'assurer qu'elle prend correctement.

2.7. Tube perforé

Les tubes perforés sont des tubes plastiques rigides entourés d'un tissu résistant (jute ou géotextile) ; les dimensions suivantes sont recommandées :

- ♦ Diamètre intérieur > 15 mm
- ♦ Longueur de la partie perforée > 1,5 m
- ♦ Perforations : dia. De 2 à 4 mm (plus de 20/m, également réparties)

2.8. Sonde de lecture

On utilise une sonde électrique avec un câble gradué pour mesurer la profondeur de l'eau dans un tube piézométrique. La mesure est obtenue lorsque l'eau dans le tube ferme un circuit électrique à l'extrémité du câble.

L'inspecteur doit s'assurer que l'exactitude des marques sur le fil de la sonde a été vérifiée avec une chaîne d'arpentage et, plus particulièrement, que la distance entre l'endroit où le circuit se ferme à l'extrémité du fil et la première marque sur le fil est précise. Les sondes dont le fil s'est tordu à l'usage doivent être rejetées. Avec des sondes de mauvaise qualité, les erreurs sont très fréquentes.

2.9. Contrôle des niveaux de mise en place

Il est important de contrôler le niveau de mise en place des lanternes et des bouchons de bentonite agglomérée. Pour ce faire, on utilise généralement un ruban à mesurer avec un poids fixé à son extrémité. Pour les lanternes situées à faible profondeur, on peut également utiliser un pilon poussoir. Celui-ci permet également d'éviter que les boulettes de bentonite collent ou s'agglomèrent entre le tube de mesure et le tubage durant leur descente. Il faut donc que les tubes de mesure soient suffisamment rigides pour laisser passer librement le pilon, et que l'inspecteur puisse exercer facilement un mouvement et va-et-vient dans le tubage et avec un ou deux tubes de mesure dans le tubage.

3. PROFONDEUR D'INSTALLATION

Le responsable de l'exploration a la tâche de déterminer les profondeurs d'installation ainsi que le type et le nombre de piézomètres à installer.

Les objectifs du programme d'exploration et les informations obtenues pendant le forage sont les principales données dont il faudra tenir compte pour déterminer les profondeurs d'installation.

L'inspecteur devra cependant être en mesure de modifier les profondeurs prévues en fonction des observations obtenues jusqu'à la fin du forage. Il doit donc être au courant des objectifs de la campagne de manière à intervenir efficacement au besoin. Les indications qui suivent peuvent servir de guide pour le choix des profondeurs d'installation.

1. Lorsque les conditions hydrogéologiques ne sont pas hydrostatiques pendant la progression du forage, c'est-à-dire dans la plupart des cas (ex. : présence d'une couche de faible perméabilité, venues ou pertes d'eau dans le tubage, présence d'une nappe perchée, etc.),

un ou plusieurs piézomètres avec lanterne et bouchons imperméables doivent être installés à l'emplacement du forage.

2. Lorsque les conditions hydrogéologiques sont hydrostatiques, c'est-à-dire si, durant la progression du forage, les niveaux dans le tubage se stabilisent avec évidence au niveau de la nappe, un tube perforé, installé à quelques mètres sous ce niveau identifiable à celui d'une nappe d'eau hydrostatique, peut suffire si des essais de perméabilité ne sont pas requis.
3. Des tubes perforés doivent en principe être installés dans tous les forages. Leur profondeur doit dépasser d'au moins 1,5 m la profondeur de la nappe observée pendant le forage et d'au moins 5 m lorsque cette profondeur n'est pas apparue évidente d'après les niveaux d'au observés pendant le forage.
4. Il est souhaitable d'installer un piézomètre immédiatement au-dessus du socle rocheux ou à la limite inférieure du forage si le socle n'a pas été atteint.
5. La lanterne ne doit être installée que dans une seule couche, sauf si l'épaisseur de la couche où l'on veut mesurer les pressions interstitielles est plus mince que la longueur de l'élément filtrant.
6. On ne peut installer plus de deux piézomètres dans un même forage (tube perforé exclu), à cause de la difficulté de contrôler la mise en place des lanternes et des bouchons. Au besoin, faire un forage sans échantillonnage à proximité pour installer les autres piézomètres, en s'assurant que la cavité du forage adjacent a été comblée de manière à ne pas modifier l'écoulement dans le dépôt.
7. Les piézomètres ne sont installés sous le socle rocheux que lorsqu'il y a des indications spécifiques à cet effet, selon une procédure à préciser pour chaque cas.

Identification : à l'emplacement d'un forage, la numérotation des piézomètres et du tube perforé se fait de haut en bas plutôt que dans l'ordre d'installation, et en utilisant les abréviations suivantes :

- ♦ PZ : piézomètre à tube ouvert
- ♦ TOB : tube d'observation perforé

4. OPÉRATIONS DE FORAGE

4.1. Forage

Il est préférable d'enfoncer le tubage par battage pour éviter un certain délavage des sols pour l'écoulement autour du tubage (voir section 2.1). Les piézomètres sont mis en place lors du retrait de ce tubage qui est soulevé par battage.

Si un piézomètre est installé à la limite d'un forage, le bouchon inférieur devient inutile.

L'utilisation d'une foreuse avec tarière évidée n'est pas recommandée pour installer des piézomètres ; la tarière remanie les sols et ne laisse pas une cavité de forme définie lors de son retrait. De plus, des sols ayant pénétré d'une manière imprévisible dans le tubage pourront tordre les tubes de mesure suite à la rotation obligée du tubage lors de son retrait.

4.2. Retrait du tubage et remplissage

Lors de la mise en place des piézomètres, le tubage est retiré progressivement avec le marteau de 160 kg. Le début du retrait ne se fera qu'après la cimentation de la partie du forage dans la roche.

Il faut remplir le tour aux profondeurs où il n'y a ni bouchon, ni lanterne, avec un principe, des matériaux de perméabilité comparable à celle des sols en place (voir la section 3.6 du fascicule n° 2).

5. INSTALLATION DU PIÉZOMÈTRE

La procédure d'installation des lanternes et des bouchons décrite ci-après suppose que la cavité du forage n'est jamais laissée ouverte. Quoique laborieuse, cette procédure est essentielle pour éviter des éboulis et assure la continuité des bouchons ainsi que la géométrie cylindrique des lanternes. Elle n'est pas ailleurs possible que si l'inspecteur mesure continuellement la profondeur des matériaux dans le tubage.

Des retraits du tubage d'au plus 30 cm pour des tubages de calibre H ou N sont recommandés. S'il faut utiliser un tubage de calibre B, procéder par étapes d'au plus 15 ou 20 cm pour mieux contrôler les dimensions de la lanterne et des bouchons, malgré le faible diamètre de ce tubage.

À l'extrémité des tubages, les sols se comportent très souvent de façon imprévisible, de telle sorte que les quantités mises en place diffèrent des quantités prévues. Ceci est très fréquent avec les forages par rotation ; les cavités dues à l'écoulement à l'extérieur du tubage peuvent augmenter de beaucoup le volume prévu. Il est donc primordial de noter ces quantités à chaque étape pour assurer la fiabilité des mesures piézométriques et éventuellement, des essais de perméabilité.

5.1. Préparation

- ♦ Vérifier si la cavité du forage a été comblée avec le matériau de remplissage jusqu'au niveau prévu pour l'installation du bouchon inférieur ; il ne doit pas y avoir de sol à l'intérieur du tubage.
- ♦ Maintenir un niveau d'eau élevé dans le tubage pour éliminer les risques d'ensablement lors du retrait.
- ♦ Déterminer le volume nécessaire de bentonite et de sable pour chaque 30 cm de retrait du tubage ; utiliser les valeurs suivantes :

Tubage HW : 3,07 litres/30 cm de tubage

Tubage NW : 1,88 litres/30 cm de tubage

Tubage BW : 1,26 litres/30 cm de tubage

Ces valeurs ont été obtenues en considérant le diamètre extérieur du tubage ; en principe, il faudrait tenir compte du diamètre extérieur du sabot ou de la couronne diamantée ainsi que du volume occupé par le tube de mesure, s'il y a lieu.

- ♦ Utiliser un contenant en plastique gradué pour mesurer les volumes déversés dans le tubage.

- ♦ Saturer le sable dans un bac avant de le déverser dans le tubage afin d'en éliminer l'air ; ceci accélère la descente des particules et élimine les bulles d'air qui peuvent rester captives dans les pores de la lanterne ou de l'élément filtrant. Ces bulles pourront dans certains cas ralentir l'écoulement à cet endroit.

5.2. Mise en place du bouchon inférieur

1. Déverser les granules de bentonite dans le tubage pour combler 30 cm de forage et, sans attendre leur dépôt, les pousser sans appliquer d'effort.
2. Soulever le tubage sans attendre en laissant les tiges reliées au pilon-poussoir à l'intérieur pour s'assurer que les boulettes ne suivent pas le mouvement ascendant. Autrement, il faut exercer une pression manuelle pour les enfoncer.
3. Vérifier la limite supérieure du bouchon après chaque soulèvement et s'assurer que le tubage est presque vide.
4. Répéter l'opération jusqu'à ce que le bouchon dépasse 75 cm de longueur ou selon spécifications, s'assurer avec le pilon-poussoir en s'assurant que la limite supérieure du bouchon ne pénètre que de quelques centimètres dans le tubage.

Inscrire sur le formulaire d'installation du piézomètre les profondeurs et le volume déversé ainsi que le volume total.

5.3. Mise en place de l'élément filtrant et de la lanterne

Sauf indication contraire, la longueur de la lanterne doit se situer entre 0,9 et 1,2 m. Si un piézomètre devait être installé vis-à-vis une couche de faible épaisseur, la lanterne ne doit pas être plus longue que l'épaisseur de cette couche, sans toutefois être plus courte que l'élément filtrant.

1. S'assurer que l'eau dans le tubage est propre, conformément aux indications de la section 2.2.
2. Déterminer le volume de sable requis pour la première couche de la lanterne. Sa longueur doit être telle que le centre de l'élément filtrant est au centre de la lanterne et que l'élément filtrant est déposé sur cette première couche.
3. Déverser le sable préalablement saturé et attendre le temps nécessaire pour qu'il dépose au fond du forage (vitesse de descente d'environ 3 m/min).
4. Vérifier la limite supérieure atteinte avec le pilon-poussoir et remonter le tubage jusqu'à ce qu'il n'y ait que quelques centimètres de sable à l'intérieur du tubage. En remontant le tubage, laisser le pilon-poussoir à l'intérieur pour contrôler l'installation et éviter que le tubage soit vide. Noter toute anomalie dans le rapport.
5. Répéter l'opération, si nécessaire, jusqu'à ce que la colonne de sable ait atteint 30 cm selon le type d'élément filtrant. Utiliser le pilon-poussoir pour compacter légèrement la colonne de sable.
6. Descendre lentement l'élément filtrant préalablement saturé jusqu'au niveau du sable en joutant les longueurs du tube de PVC. Afin de vérifier le fonctionnement de l'élément filtrant et d'éliminer les sédiments (résidus de bentonite) en suspension dans le tubage, rattacher le

boyau de la pompe à piston sur le tuyau de PVC et faire circuler l'eau sous faible pression jusqu'à ce que le retour par le tubage soit propre et clair. Noter dans le rapport la limite supérieure de la colonne de sable sur laquelle repose l'élément filtrant.

7. Après la pose de l'élément filtrant, déverser du sable saturé par tranches de 30 cm de hauteur et relever le tubage en mesurant fréquemment la limite supérieure du sable avec le pilon-poussoir afin de s'assurer qu'il y a toujours quelques centimètres de sable dans le tubage.
8. Vérifier l'installation en déversant de l'eau dans le tubage et le tube de mesure. Leur niveau doit être identique et descendre au même rythme.

Il faut toujours s'assurer que le soulèvement du tubage n'entraîne pas le piézomètre. Poursuivre l'opération jusqu'à ce que le haut de la lanterne de sable dépasse de 30 cm la limite supérieure de l'élément filtrant.

Noter à chaque étape les quantités prévues et celles mises en place.

5.4. Mise en place du bouchon supérieur et vérification

La méthode de mise en place du bouchon supérieur est identique à celle du bouchon inférieur, sauf qu'il faut employer un pilon-poussoir évidé au milieu à cause de la présence d'un ou deux tubes de mesure. Ceci exige de vérifier systématiquement le niveau de remplissage ou le plus grand risque de collage des boulettes.

Mesurer et inscrire sur le formulaire la profondeur du haut du bouchon ainsi que le volume de bentonite déversé.

6. INSTALLATION D'UN TUBE PERFORÉ

Retirer le tubage en remplissant le trou de forage jusqu'à la profondeur requise (voir section 4.2).

Introduire le tube perforé.

Déverser du sable exempt de silt jusqu'à la limite supérieure des perforations pendant le retrait progressif du tubage.

Compléter le remplissage de préférence avec des sols peu perméables pour éviter que l'eau de ruissellement ne pénètre dans le trou tel que précisé ci-dessous.

7. PROTECTION EN SURFACE

Un cône de sol constitué de matériaux peu perméables (argile, sols silteux, mélange sol-bentonite) doit être placé autour des tubes de mesure afin d'empêcher la pénétration des eaux de ruissellement dans le trou de forage.

Laisser une longueur suffisante de tubes dépasser à la surface. Tenir compte du couvert de neige à venir pour les lectures hivernales.

Fermer les tubes à l'aide d'un capuchon ventilé. Si l'on ne dispose pas de capuchon au site du forage, fixer au sommet du tube un morceau de géotextile avec une broche.

Inscrire les indications suivantes sur une plaque fixée à chacun des tubes :

- ♦ Numéro du forage ;
- ♦ Numéro du piézomètre ou du tube d'observation ;
- ♦ Profondeur du bas de l'élément filtrant ou du tube d'observation ;

7.1. Protection supplémentaire

Pour des mesures à long terme, le piézomètre doit être protégé adéquatement. Introduire dans le forage sur une profondeur de 1,5 à 20 m, un tube d'acier d'environ 10 cm de diamètre muni d'un capuchon cadénassable et ventilé. Pour sceller la cavité de forage-surface, injecter si possible un coulis de ciment. Le tube protecteur dépassera la surface du sol d'au moins 1 m.

8. RELEVÉS

À la fin de l'installation, remplir chaque tube d'eau claire si la perméabilité des sols le permet et mesurer le niveau d'eau à intervalles réguliers jusqu'à ce qu'il se stabilise ; noter l'heure à chaque relevé.

8.1. Temps de réponse du piézomètre

Noter le niveau de l'eau à des intervalles de temps logarithmiques (15, 30 sec ; 1, 2, 4, 8, 15, 30, 60 min) jusqu'à ce que le niveau se stabilise. Noter l'heure de chacune des observations. La mesure de la perméabilité des sols adjacents au piézomètre s'effectue de la même façon.

Le niveau piézométrique peut prendre quelques heures, quelques jours ou même quelques semaines à se stabiliser si le sol est argileux. La mesure du temps de réponse, ou de la perméabilité des sols adjacents au piézomètre, n'est valable que plusieurs jours après la fin du forage si l'on a utilisé de la boue pour pratiquer le forage.

8.2. Lectures subséquentes

Si l'accès au site le permet, mesurer le niveau piézométrique régulièrement pour évaluer l'influence de conditions climatiques ou d'autres facteurs pouvant modifier les pressions interstitielles. Les précipitations importantes et les changements climatiques doivent également être notés dans le rapport. À la fin de la campagne d'exploration, effectuer un relevé de tous les instruments.

Lors d'une étude spéciale *(analyse de stabilité d'un talus ou d'un remblai, analyse d'écoulement, sondage dans un ouvrage de retenue, etc.), il faut normalement prendre les lectures selon une fréquence déterminée au début des travaux.

INSTALLATION D'UN PIÉZOMÈTRE TUBE OUVERT

Feuille de

		Projet: INVESTIGATION 2004, ROMAINE 2	
		Contrat N°:	Piézomètre N°: PZ-03-1-04
		Emplacement: AXE DU BARRAGE	Date: 2004-10-06
Profondeur du piézomètre: Haut (h_5): 359 cm Bas (h_4): 389 cm		Sol au niveau du piézomètre:	
		Forage N°: TF-03-04	
		Autres instruments installés:	

ÉLÉMENT FILTRANT	Type: ROCTEST CP1 Diamètre extérieur $D_{ef} = 2.6$ cm Longueur $L_{ef} = 30$ cm Profondeur du bas $h_{ef} = 389$ cm	Schéma de l'installation : PROFONDEUR (M) — 1.23 — 0.04 — 0.15 — 0.76 — 2.44 — 3.28 — 3.89 — 4.29 — 4.38 — 27.51
TUBE DE MESURE	Type: PVC 3/4" DIA FILETÉ Diamètre extérieur $D_{tm} = 2.6$ cm Diamètre intérieur $d_{tm} = 2.0$ cm Longueur hors-sol $h_1 = 68$ cm	
BOUCHON INFÉRIEUR	Matériau: COULIS DE CIMENT Volume déversé $V_{bi} = 115$ Litres Profondeur du bas $h_{bi} = 2.751$ cm Longueur $L_{bi} = h_{bi} - h_4 = 2322$ cm Essai de vérification: V théorique = 107 litres	
LANTERNE	Matériau: SABLE DE SILICE NO 4 Volume dévers $V_s = 6.5$ Litres Profondeur du bas $h_4 = 429$ cm Profondeur du haut $h_5 = 328$ cm Essai de vérification: V théorique = 6.27 litres	
BOUCHON SUPÉRIEUR	Matériau: BENTONITE 3/4" DIA Volume dévers $V_{bs} = 8$ Profondeur du haut $h_{bs} = 244$ cm Longueur $L_{bs} = 84$ cm Essai de vérification: V théorique = 5.2 litres	
REMPLISSAGE	Matériau: Sable de silice Profondeur des bouchons intermédiaires: _____ cm	

Calculs:

Volume de l'élément filtrant
 $V_{ef} = \frac{\pi}{4} D_{ef}^2 L_{ef} = \text{_____ cm}^3$

Volume du tube de mesure (partie dans la lanterne)
 $V_{tm} = \frac{\pi}{4} D_{tm}^2 (h_{ef} - L_{ef} - h_5) = \text{_____ cm}^3$

Volume de la lanterne
 $V_L = V_s + V_{tm} + V_{ef} = \text{_____ cm}^3$

Caractéristiques de la lanterne (à reporter sur la formule G-43 SI pour essais de perméabilité.)

Profondeur du bas $h_4 = \text{_____ cm}$
 Profondeur du haut $h_5 = \text{_____ cm}$
 Longueur $L = h_4 - h_5 = \text{_____ cm}$
 Diamètre $A = \frac{\sqrt{4 V_L}}{\pi L} = \text{_____ cm}$

Remarques :

Diamètre du forage	de (m)	à (m)
88.9 mm (NW)	0	4.38
75.7 mm (NQ)	4.38	27.51

Effectué par : _____	Calculé par : _____	Vérifié par : _____
Le : _____	Le : _____	Le : _____



Conception des aménagements de production
hydraulique et géotechnique

Manuel de l'inspecteur en exploration géotechnique

Fascicule 4

**Échantillonneur à paroi mince
Osterberg**

Décembre 2007

1. INTRODUCTION

L'échantillonnage de sols cohérents avec tubes à paroi mince a pour but d'obtenir les échantillons non remaniés nécessaires à la détermination des paramètres de résistance et de compressibilité du sol en laboratoire.

L'échantillonnage non remanié ne peut être réussi que si la pénétration de l'échantillon dans le tube, la remontée en surface et la manutention du tube sont exécutées d'une manière rigoureuse. Le présent fascicule a pour objectif de décrire le fonctionnement de l'échantillonneur Osterberg qui, lorsqu'il est utilisé correctement, permet une récupération d'un échantillon de la qualité attendue.

2. PRINCIPE DE L'ÉCHANTILLONNEUR OSTERBERG

L'échantillonneur de type Osterberg, du nom de son inventeur J.O. Osterberg, est un échantillonneur à paroi mince qui utilise un piston stationnaire maintenu au niveau supérieur du sol à échantillonner pendant l'enfoncement du tube par application d'une pression d'eau. Le principe d'opération illustré à la figure 4.1 est le suivant :

- a. l'échantillonneur muni d'un tube est vissé à des tiges de forage et descendu au fond d'un trou ;
- b. les tiges de forage sont immobilisées de façon à reprendre l'effort d'enfoncement du tube ;
- c. une pression d'eau appliquée dans l'échantillonneur par l'intermédiaire des tiges a pour effet de pousser un piston mobile auquel est fixé le tube pour que celui-ci s'enfonce graduellement dans le sol ;
- d. dès que le piston a atteint sa pleine course, la pression est relâchée par une ouverture dans la tige guide du piston ; l'eau retourne en surface à l'intérieur du tubage ;
- e. l'ensemble tiges et échantillonneur est tourné afin de couper l'échantillon à sa base avant de remonter lentement l'échantillonneur en surface.

3. ÉQUIPEMENT

3.1. Équipement de forage

Le forage est normalement exécuté avec un tubage de calibre HW (diamètre intérieur 101.6 mm) pour maintenir la paroi du trou. La foreuse est équipée de systèmes mécaniques qui permettent de battre et de nettoyer le tubage de façon à obtenir un trou de forage sans débris au fond du tubage.

L'opération de l'échantillonneur Osterberg nécessite l'utilisation d'une pompe à eau dont la pression peut atteindre au moins 4 120 kPa (600 lb/po²).

3.2. Échantillonneur

L'échantillonneur Osterberg comprend plusieurs composantes, tel que montré à la figure 4.2. Les principales sont les suivantes :

- ♦ la tête de l'échantillonneur qui relie les tiges de forage à l'échantillonneur ;
- ♦ un cylindre stationnaire fixé à la tête ;
- ♦ un piston mobile sur lequel est fixé le tube d'échantillonnage ;
- ♦ une tige-guide qui maintient en place le piston stationnaire tout en assurant un déplacement axial du piston mobile lorsque la pression est appliquée ;

- ♦ des soupapes qui permettent l'amenée et l'évacuation de l'eau ou qui éliminent la pression d'air lors de l'enfoncement du tube.

Pour obtenir un bon fonctionnement de l'échantillonneur, il faut s'assurer que toutes ses composantes sont propres, libres de rouille, de poussière et bien graissées. Cette vérification est importante pour garantir l'étanchéité des joints et le libre fonctionnement du cylindre. Tous les joints doivent être en bon état. Il faut remplacer les joints usés ou brisés, vérifier le bon fonctionnement de la soupape à bille ainsi que le dégagement des ouvertures d'aération.

Au début de la campagne et lorsque nécessaire, les joints d'étanchéité suivants devront être vérifiés :

- ♦ entre le cylindre et la tête de l'échantillonneur
- ♦ entre le piston mobile et le cylindre
- ♦ entre le piston mobile et le tube à paroi mince
- ♦ entre la tige-guide et le piston mobile
- ♦ entre le piston stationnaire et le tube à paroi mince

Il est prévisible qu'une perte d'échantillon sera due à une mauvaise étanchéité au joint entre le tube à paroi mince et le piston stationnaire.

3.3. Tubes à paroi mince

Les tubes à paroi mince utilisés avec l'échantillonneur Osterberg ont les caractéristiques suivantes :

- ♦ diamètre extérieur : 76,2 mm (3 po)
- ♦ longueur totale du tube : 914,4 mm (36 po)
- ♦ épaisseur des parois : 1,65 mm (jauge 16)
- ♦ la géométrie des tubes doit être conforme aux spécifications données à la figure 4.2. et inscrite dans le rapport journalier de forage ;
- ♦ les tubes doivent présenter une surface intérieure unie et lisse et être parfaitement ronds, sans rayures, bosses ou encoches ;
- ♦ les tubes doivent être propres, libres de rouille et de poussière et huilés sans excès à l'intérieur ; les soudures apparentes sont à proscrire.
- ♦ leur extrémité doit être effilée et sans écorchures ; elle doit être biseautée du côté extérieur sur 6 à 8 mm de longueur.

Un capuchon de plastique doit protéger la trousse coupante de la sortie de l'atelier d'usinage jusqu'au moment où le tube est inséré dans l'échantillonneur ; il sera avantageusement réutilisé après le coulage du bouchon de cire.

L'inventeur de l'appareil prescrivait des tubes ayant une trousse coupante de diamètre interne réduit. Le rétrécissement recommandé était de 1 % par rapport au diamètre interne du tube. L'expérience acquise lors de la campagne d'exploration pour complexe NBR a cependant démontré que dans les argiles sensibles, la récupération était meilleure avec des tubes de diamètre interne uniforme.

Les tubes à paroi mince sont très sensibles aux déformations sous l'effet des sollicitations extérieures. Il faut les entreposer à l'abri des chocs, des intempéries, de la chaleur ou du gel (voir fascicule 8).

3.4. Assemblage

L'assemblage entre le tube, l'échantillonneur et les tiges de forage nécessite les vérifications suivantes :

- ♦ toutes les pièces doivent être bien fixées entre elles ;
- ♦ toutes les pièces mobiles doivent être en état de fonctionner sans frottement excessif ;
- ♦ l'assemblage doit être bien aligné afin d'assurer un enfoncement rectiligne du tube.

3.5. Équipements divers

Le technicien doit disposer du matériel suivant au site de forage :

- ♦ étiquettes d'identification ;
- ♦ contenants pour le transport des tubes ;
- ♦ mélange de scellage : constitué de 25 % vaseline jaune et de 75 % cire. (1 : 3) ;
- ♦ réchaud pour fondre le mélange ;
- ♦ un chiffon pour nettoyer la partie interne du tube où la cire sera coulée.

4. MODE D'OPÉRATION DE L'ÉCHANTILLONNEUR

4.1. Avancement du forage

Lorsque la base du tubage a atteint la profondeur prescrite pour le prélèvement, il faut le nettoyer suivant une méthode qui assure le non remaniement du sol.

Ne pas utiliser une sonde de lavage avec un jet d'eau dirigé vers le bas ; elle doit être munie de jets d'eau latéraux ou vers le haut. Il est important de toujours retirer lentement la sonde de lavage pour éviter le relâchement des sols par succion au fond du trou. En tout temps, il faut maintenir le tubage plein d'eau.

Il est nécessaire de bien nettoyer le tubage pour éviter que les sols collés à l'intérieur ne soient entraînés vers le fond au moment de la descente de l'échantillonneur.

L'outil de lavage recommandé est une tarière à jets munie d'un tube de sédimentation et d'ailettes latérales pour racler les parois inférieures du tubage et éliminer les sols jusqu'à la limite inférieure du forage (pièce Acker n° 32077 ou semblable).

Nettoyer le tubage immédiatement avant le prélèvement. Si les opérations de forage doivent être interrompues pour quelques heures ou plus, il faut nettoyer le trou seulement à la reprise des opérations pour ne pas modifier l'état des contraintes en place. Si, lorsque le nettoyage est terminé, une difficulté technique survient et retarde l'échantillonnage, il est recommandé de recommencer les opérations à environ 0,3 m plus bas.

4.2. Échantillonnage

4.2.1. Mise en place de l'échantillonneur

1. Fixer le tube sur le piston mobile au moyen des quatre vis prévues à cet effet, après s'être assuré qu'il est conforme aux exigences du paragraphe 3.2.

Ne pas utiliser un tube difficile à mettre en place ; les tubes doivent ultérieurement s'enlever sans heurt de façon à ne pas remanier l'échantillon. Il est déconseillé de fixer le tube trop à l'avance.

2. Pousser à la main et complètement, le tube et le piston mobile à l'intérieur de l'échantillonneur de façon à ne pas endommager la trousse coupante. S'assurer que le tube ne dépasse pas la tête du piston stationnaire de plus de 2 cm.
3. Descendre l'échantillonneur au fond du forage. Vérifier la profondeur de prélèvement en comparant la longueur du tubage, y compris le sabot de battage, avec la longueur des tiges et de l'échantillonneur. Noter la profondeur de prélèvement dans le rapport journalier de forage.
4. Une fois l'échantillonneur en place, fixer solidement les tiges de forage à la tête de la foreuse ; celles-ci agiront comme contrepoids lors de l'application de la pression dans l'échantillonneur. S'assurer également que la foreuse est fixée adéquatement à la plateforme de forage.

4.2.2. Prélèvement

L'échantillonneur Osterberg est actionné avec une pression d'eau fournie par une pompe.

Les pompes doivent être munies d'une soupape pour contrôler la pression maximum appliquée. On ne dépassera en aucun cas la pression de 4 120 kPa (600 lbs/po²) ; cette pression équivaut à une poussée d'environ 2 100 kg.

Dès que la pompe est actionnée, le mouvement du tube vers le bas est automatique ; le technicien doit cependant rester attentif au fonctionnement de l'équipement et au retour d'eau et noter la pression maximale atteinte par la pompe.

La conception de l'échantillonneur limite l'enfoncement du tube à la longueur permmissible ; à la fin de la pénétration, la pression est relâchée par une ouverture située à la base de la tige-guide (voir figures 4.1B et 4.1C). L'eau est alors évacuée dans le tubage et sa remontée en surface confirme la fin de l'échantillonnage.

Lorsque l'enfoncement est complété, arrêter la pompe et attendre 5 minutes avant de tourner les tiges de deux tours pour cisailer l'échantillon à la base.

Les échantillons doivent être prélevés en accordant une période d'attente de 5 minutes avant et après avoir tourné les tiges. Ces attentes permettent d'augmenter l'adhérence entre les échantillons d'argiles et le tube ; il pourrait être nécessaire de les prolonger dans certaines argiles très sensibles.

4.3. Remontée de l'échantillonneur

L'échantillonneur doit être remonté très lentement, surtout lorsque le tube se trouve sous la limite inférieure du tubage ; l'échantillon est soumis à une succion élevée à cette étape de la remontée. La vitesse de remontée doit rester uniforme en évitant les vibrations et les chocs, tout en gardant le tubage plein d'eau.

Le détachement du tube et du piston doit être fait lentement et avec la plus grande délicatesse. Le retrait du piston exerce une succion sur l'échantillon. Un trou perforé avec une perceuse ou un trait de scie pourra être occasionnellement requis pour éliminer cet effet de succion. Il ne faut jamais utiliser de clé anglaise pour cette opération.

4.4. Cas d'enfoncement partiel

Il peut arriver que le tube de l'échantillonneur s'arrête à mi-course à cause de la rigidité du sol. Cette situation est perceptible lorsqu'une forte poussée est ressentie à la tête de la foreuse et qu'il n'y a pas de retour d'eau. Il faut alors retirer l'échantillonneur du trou de forage et vérifier le

degré de récupération. S'il est insatisfaisant, on peut tenter un échantillonnage avec un tube à paroi mince de type Shelby après avoir enfoncé et nettoyé le tubage jusqu'à la profondeur atteinte par l'échantillonneur.

4.5. Fréquence des échantillons

Répéter les opérations décrites aux sections 4.1 à 4.5 à intervalles de 1.5 m ou suivre les exigences du programme d'exploration. Si un échantillonnage est requis, ne pas descendre le tubage à moins de 2 cm au-dessus de la limite antérieure atteinte par l'échantillonneur.

5. SCELLAGE, IDENTIFICATION ET TRANSPORT DES TUBES

5.1. Scellage

Après avoir enlevé le tube, mesurer la longueur de l'échantillon récupéré ainsi que la longueur enfoncée et les inscrire dans le rapport et sur l'étiquette. Décrire également l'état du tube d'une façon sommaire (ex. tube intact, rainure probablement due à un caillou, trousse coupante légèrement abîmée, etc.).

Enlever la partie de sol très remanié à l'extérieur supérieure du tube. Un excès d'argile remaniée pourra signifier que la procédure de lavage est incorrecte et qu'en conséquence celle-ci devra être modifiée. Dans l'extrémité inférieure, enlever délicatement au moins 2 cm de sol, mesurer à nouveau la longueur de l'échantillon et sceller les deux extrémités après avoir éliminé l'argile et asséché l'intérieur du tube avec un chiffon.

Le sol extrait du tube pour appliquer le mélange de scellage servira à la description de l'échantillon en précisant surtout si l'argile est sensible ou non, suivant les recommandations du fascicule 1 ; cette description doit apparaître dans le rapport de forage.

Le bouchon de cire fabriqué au chantier ne doit pas avoir plus de deux cm d'épaisseur à chaque extrémité du tube ; des bouchons trop épais peuvent provoquer un remaniement lors de l'extraction. Le mélange ne doit pas être trop chaud et il doit être appliqué en plusieurs couches.

5.2. Identification et rapport

Fixer sur le tube une étiquette d'identification insérée dans une enveloppe étanche, en y inscrivant avec une encre indélébile :

- ♦ le nom du site
- ♦ le numéro de forage
- ♦ le numéro de l'échantillon
- ♦ la profondeur
- ♦ la longueur récupérée et la longueur enfoncée
- ♦ la date
- ♦ le nom du technicien
- ♦ la description du sol

Il faut aussi inscrire à deux endroits sur le tube même, le numéro du forage et de l'échantillon.

Les mêmes indications seront notées dans le rapport journalier de forage, en ajoutant la pression de l'eau maximale atteinte par la pompe lors de l'enfoncement du tube.

5.3. Transport

Faire en sorte que le tube contenant l'échantillon ne soit jamais exposé au gel, à une chaleur excessive ou aux vibrations. Durant le transport, le tube doit toujours être entouré d'un matériau isolant. (Voir fascicule 8).

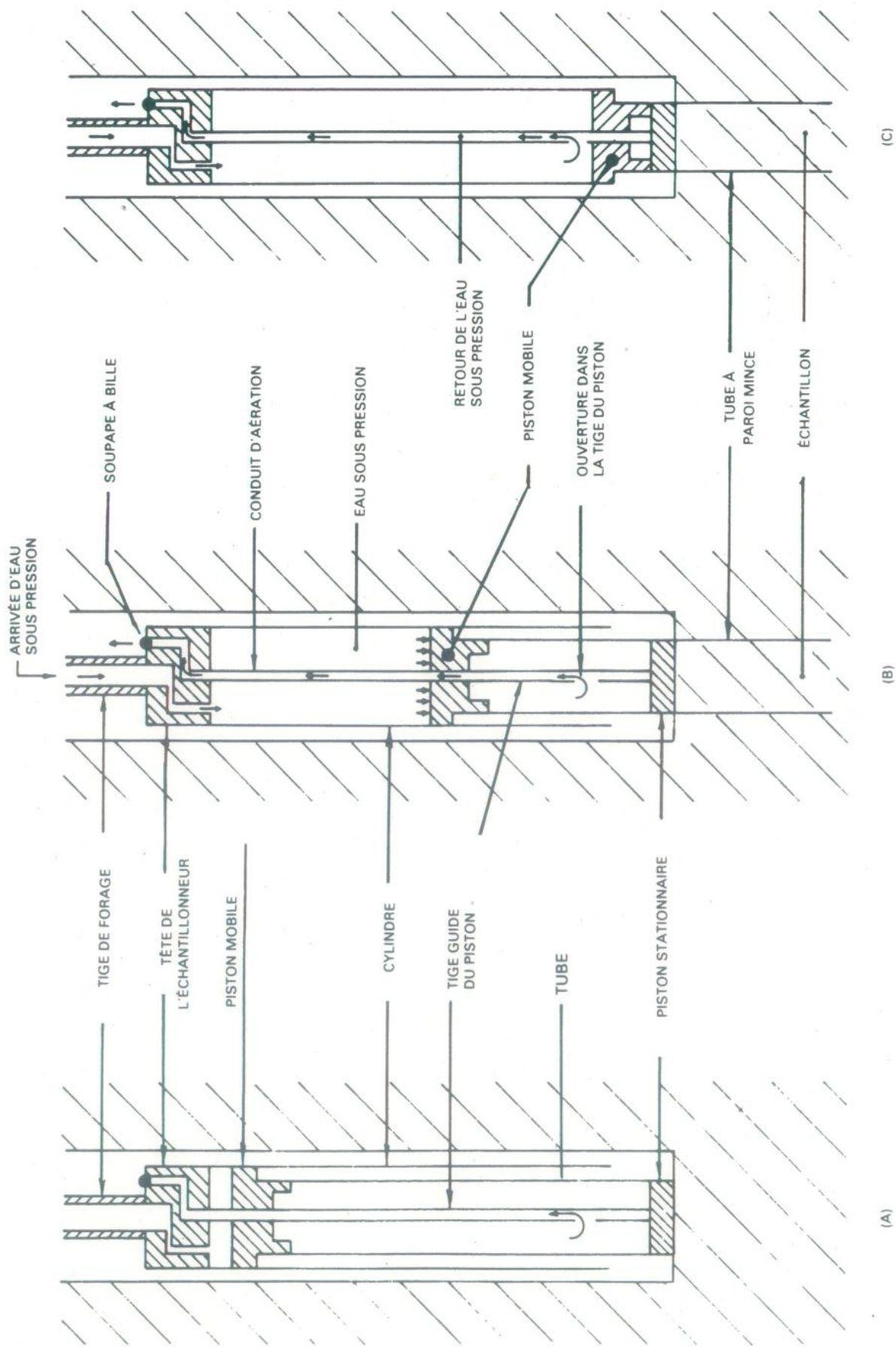


Figure 4.1 Fonctionnement de l'échantillonneur Osterberg

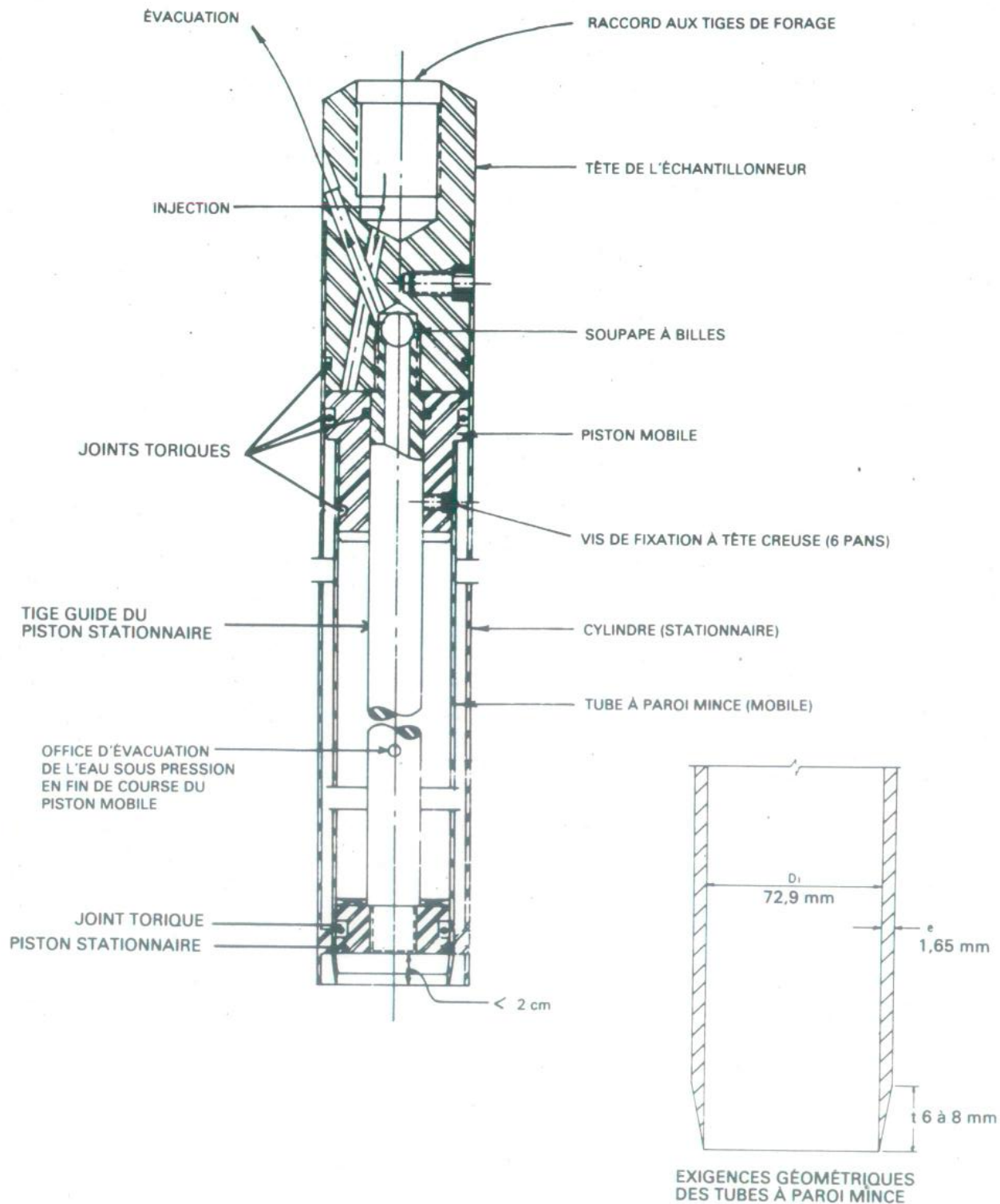


Figure 4.2 Détails de l'échantillonneur à piston stationnaire Osterberg

Manuel de l'inspecteur en exploration géotechnique

Fascicule 5

Essais d'eau sous pression dans le rocher

- **Essai de type à palier de pression unique**
- **Essai de type LUGEON**

Décembre 2007

1. INTRODUCTION

Les essais d'eau sous pression dans le rocher ont pour but d'évaluer la perméabilité (ou conductivité hydraulique) du massif rocheux à un endroit localisé. Le principe consiste à mesurer la quantité d'eau absorbée par le rocher à une pression constante établie en surface, sur une longueur de forage donnée, à une profondeur déterminée, ainsi que pour une durée déterminée.

Deux différents types d'essais sont normalement effectués, à savoir l'essai de type à palier de pression unique, ainsi que l'essai de type Lugeon. Le choix du type d'essai à réaliser et la définition des profondeurs d'essai sont normalement spécifiés au programme des travaux. Dans certains cas, les pressions à appliquer dans les essais seront également définies au programme.

1.1. Définitions

Volume d'absorption : il s'agit du volume total d'eau absorbé pendant toute la durée de l'essai, à une pression donnée (palier de pression).

Débit d'absorption : il s'agit du volume d'eau absorbé par le rocher, par minute et par mètre linéaire de forage. Il s'exprime donc en litres par minute, par mètre (l/min/m).

Unité Lugeon : débit d'absorption de un (1) litre par minute, par mètre linéaire de forage et sous une pression nette d'injection de 1000 kPa (1 MPa).

Passe d'essai : portion du trou de forage dans laquelle est effectué l'essai. La longueur de la passe d'essai correspond donc à l'espacement entre les deux obturateurs (obturateur double), ou à l'espacement entre l'obturateur et le fond du trou (obturateur simple). Cette longueur est normalement de trois (3) mètres.

Pression d'essai (ou pression d'injection): la pression d'essai est celle mesurée au collet du trou. Il s'agit normalement de celle lue au manomètre de la pompe, lorsque la pompe est sensiblement au même niveau que le collet du trou.

Pression effective : la pression effective est celle agissant au niveau de la passe d'essai, soit celle appliquée à l'intérieur des fractures ouvertes, incluant la pression d'eau souterraine en place. La pratique établie vise à limiter la pression effective au poids des terres.

Pression nette d'injection : c'est la pression ajoutée au niveau de la passe d'injection, soit la pression effective moins la pression d'eau souterraine.

1.2. Appareillage

Le système requis pour effectuer l'essai d'eau sous pression est illustré à la figure 5.1. Il comprend les éléments suivants :

1.2.1. Réservoir

Le réservoir à eau doit être d'une capacité suffisante pour assurer une alimentation continue en cours d'essai.

1.2.2. Pompe

Une pompe à pression régulisée et d'une capacité suffisante pour atteindre et maintenir la pression d'essai spécifiée pendant les durées requises doit être utilisée. Cette pompe doit pouvoir fournir un débit minimum de 90 l/min sous une pression constante de 4 MPa.

Lorsqu'une pompe à piston est utilisée, elle doit être munie d'un amortisseur de type pneumatique ou préférentiellement de type hydraulique comportant une chambre à air dont le

volume est d'au moins 3 000 cm³. Cet élément permet de stabiliser presque complètement la pression lue au manomètre.

1.2.3. Vannes de contrôle et dispositif de retour d'eau

La vanne utilisée doit être à fermeture progressive afin de permettre le réglage de la pression d'injection requise. Cette vanne sera située sur le circuit d'injection immédiatement en amont du manomètre.

L'excédent d'eau est retourné par un tuyau ou un boyau dans le réservoir servant à l'alimentation en eau et pouvant servir à la mesure du débit d'eau injecté.

D'autres vannes peuvent être installées en divers points de la tuyauterie soit pour protéger un appareil d'un excès de pression soit pour aider au contrôle de la pression ou du débit.

1.2.4. Mesure des débits

Un système calibré, étalonné et d'une précision de un (1) l/min dans la gamme des pressions appliquées, doit être utilisé pour mesurer le débit d'eau injecté. Celui-ci peut être mesuré soit par une règle graduée placée directement dans le réservoir d'alimentation soit par un débitmètre installé sur la portion de la conduite d'injection située à l'aval du dispositif de retour d'eau (voir figure 5.1).

1.2.5. Manomètre

Un manomètre de type Bourdon, calibré et étalonné, doit être utilisé pour mesurer la pression de l'essai. La plage de lecture du manomètre doit être conforme au niveau de pressions anticipées pour les essais. La précision de la lecture doit être d'au moins 5 % de la pression d'essai anticipée.

La calibration de l'appareil doit avoir été vérifiée avant d'effectuer une série d'essais. Pour ralentir les mouvements brusques de l'aiguille indicatrice de pression, il est recommandé d'introduire de la glycérine dans le manomètre.

Le manomètre est localisé au sommet du train de tiges ou du tubage qui relie le système de pompage aux obturateurs installés en profondeur dans le trou de forage.

1.2.6. Système d'obturation

Un système d'obturation comprenant un (1) ou deux (2) obturateur(s), selon le cas, sera utilisé pour délimiter la passe d'essai dans le rocher à injecter. Une fois dilaté, l'obturateur permet d'assurer un contact étanche avec la paroi rocheuse de la cavité cylindrique.

Seul l'obturateur de type pneumatique est acceptable, dans lequel l'obturation est assurée par l'injection de gaz dans des cellules gonflables.

1.2.7. Boyaux et tuyauterie

Un ensemble de boyaux, de tuyaux et de tiges (ou tubages) servent à raccorder les divers éléments requis pour l'essai d'injection. Dans le système pneumatique, on utilise pour l'injection d'eau une tubulure de plastique, ou parfois des tiges, alors que pour le gonflement des obturateurs, on a recours à du boyau haute pression.

Tous les boyaux, les tuyaux, les tiges et tous les raccords nécessaires à la réalisation de l'essai doivent être en bon état. Les tiges et, principalement, les tubulures doivent être en mesure de résister à la pression maximale prévue pour la série d'essais et être choisies de façon à minimiser les pertes de charge en cours d'injection.

1.2.8. Alimentation en eau

Une alimentation en eau claire et exempte de toute particule en suspension doit être utilisée.

1.3. Préparation de l'essai

1.3.1. Exécution du trou de forage

Le forage doit être exécuté à l'aide d'un carottier muni à son extrémité d'une couronne diamantée. Une eau claire doit être utilisée comme fluide de forage.

L'utilisation d'additif au fluide de forage n'est pas recommandée car elle est de nature à influencer les résultats de l'essai à cause du colmatage possible des micro-fissures.

1.3.2. Diamètre du trou de forage

Le diamètre de forage qui convient le mieux à ce type d'essai est le calibre NQ (76 mm). Un diamètre plus petit réduit sensiblement le débit injectable à cause des contraintes imposées à l'écoulement par une tubulure de diamètre réduit.

1.3.3. Lavage du trou

Avant l'essai, le trou foré doit être lavé soigneusement à l'eau claire jusqu'à l'obtention d'une eau de retour exempte de toute particule en suspension.

1.3.4. Étanchéité des obturateurs

Le système d'obturation est introduit dans le trou foré et amené à la profondeur d'essai.

Les obturateurs sont dilatés en place de manière à isoler complètement la passe d'essai et à éliminer toutes les possibilités de fuite entre l'obturateur et la paroi du forage. La pression appliquée dans la cellule gonflable doit être au moins égale à deux (2) fois la somme de la pression lue au monomètre et de celle qui correspond au poids de la colonne d'eau s'exerçant ou pouvant s'exercer au niveau de la passe d'essai.

1.3.5. Appareil de mesure

Tous les appareils de mesure utilisés pour l'essai doivent avoir été préalablement vérifiés et étalonnés,

1.3.6. Étanchéité du système

Tout le système et en particulier tous les raccordements doivent être complètement étanches.

1.3.7. Système d'injection

Le système d'injection doit être relié dans l'ordre suivant (voir figure 5.1) :

- ♦ alimentation en eau et réservoir;
- ♦ pompe;
- ♦ amortisseur hydraulique (pour les pompes à piston);
- ♦ dispositif de retour d'eau;
- ♦ vannes;
- ♦ système de mesure de débit;
- ♦ manomètre en tête du train de tiges;
- ♦ train de tiges avec le système d'obturation.

1.3.8. Niveau d'eau stabilisé

Pour l'essai de type Lugeon, le niveau d'eau stabilisé doit être préalablement mesuré dans le train de tiges ou à l'aide d'un capteur de pression situé au niveau de la passe d'essai.

1.4. Présentation des résultats

Le compte rendu d'essai doit contenir toutes les mesures recueillies en cours d'essai, lesquelles seront consignées sur un formulaire semblable à celui présenté à la figure 5.3; le formulaire doit fournir minimalement les informations suivantes :

- ♦ le nom du projet;
- ♦ l'emplacement de l'essai (ouvrage);
- ♦ la date de l'exécution de l'essai;
- ♦ le numéro du forage, son pendage et son orientation;
- ♦ les éléments suivants qui doivent être mesurés selon l'axe du forage et à partir de la surface du sol : la longueur du forage, la profondeur de l'essai et la longueur de la passe d'essai;
- ♦ la pression appliquée dans les obturateurs;
- ♦ le niveau stabilisé de la nappe phréatique;
- ♦ le diamètre du forage au niveau de la passe d'essai;
- ♦ le type de pompe et sa capacité (amortisseur si présent);
- ♦ le diamètre intérieur des conduits d'injection d'eau;
- ♦ la plage de lecture du manomètre;
- ♦ le type d'obturateur pneumatique utilisé (simple ou double);
- ♦ la pression résiduelle lue au manomètre après l'essai;
- ♦ toutes les anomalies détectées au cours de l'essai;
- ♦ le graphique pression-débit (essai Lugeon).

2. ESSAI DE TYPE À PALIER DE PRESSION UNIQUE

2.1. Pressions d'essai

La pression applicable au manomètre doit être égale à **15 kPa** par mètre de roc et **5 kPa** par mètre de sol situés au-dessus de la passe d'essai, jusqu'à un maximum de 1000 kPa. Ce critère s'applique autant pour les forages sur l'eau que les forages sur terre.

Dans les forages inclinés, l'épaisseur du couvert de sol et de roc sera mesurée verticalement, et non pas selon l'axe du trou de forage. De plus, lorsque le trou de forage se trouve à proximité d'un escarpement, l'épaisseur du couvert correspondra à la plus courte distance entre la passe d'essai et la surface du terrain. Voir la figure 5.2. qui illustre différentes situations

2.2. Réalisation de l'essai

1. Mettre la pompe en marche avec le dispositif de retour d'eau ouvert puis, par la fermeture progressive de la vanne de contrôle, augmenter la pression jusqu'à la valeur d'essai.
2. Maintenir cette pression constante et mesurer le volume d'eau injecté durant des périodes successives et égales de 2 minutes. Lorsque deux débits égaux (différents de moins de 5 %) et successifs sont obtenus, le débit est considéré stabilisé et l'essai se termine.
3. Fermer la vanne de contrôle et enregistrer, après deux (2) minutes d'attente, la pression résiduelle au manomètre.

NOTE : S'il y a des doutes sur le résultat de l'essai, par exemple lorsqu'il y a une remontée d'eau à l'extérieur des tiges, il faut reprendre l'essai en déplaçant de quelques centimètres, vers le haut ou vers le bas, le système d'obturation.

2.3. Calcul des absorptions

Les valeurs d'absorption (A) apparaissant sur les rapports d'essais d'eau ainsi que sur les rapports de forage sont en fait les débits d'absorption (l/min/m) et se calculent comme suit:

$$A = V / (t \cdot L)$$

où :

V = volume d'absorption (volume constant absorbé), en litres;

t = temps écoulé, en minutes;

L = longueur de la passe d'essai, en mètres.

NOTE : Le présent essai n'exige pas de connaître exactement la pression d'eau appliquée au niveau de l'essai puisque la norme impose une pression définie au manomètre localisé en surface. Pour cette raison, la valeur A n'est qu'indicative de l'absorptivité de la roche. La pression nette au niveau de l'essai peut être établie par calcul en tenant compte de la pression lue au manomètre, des pertes de charges dans la tuyauterie et, enfin, des conditions hydrauliques. Certains appareillages plus sophistiqués (pour les essais de soulèvement hydraulique) possèdent un capteur de pression au niveau de l'essai.

3. ESSAI DE TYPE LUGEON

3.1. Caractéristiques de l'essai

Les caractéristiques de l'essai Lugeon sont détaillées dans la norme française NF P94-131.

La pression maximale d'essai est de 980 kPa et elle est atteinte en 5 paliers égaux d'une durée d'injection de 10 minutes chacun. Une fois cette pression maximale atteinte, on réduit celle-ci en 4 paliers égaux décroissants et d'une durée de 10 minutes chacun. La durée de chaque période d'injection n'est calculée qu'à partir de l'instant où le débit est stabilisé. Le responsable du projet peut dans certaines circonstances diminuer la pression maximale utilisée pour l'essai ainsi que le nombre de paliers (Essai LUGEON modifié).

La longueur recommandée des passes d'essai varie entre 1 m et 5 m, en fonction de la facturation du rocher.

3.2. Réalisation de l'essai

Mettre la pompe en marche avec le dispositif de retour d'eau ouvert. Par ajustement progressif de la vanne, augmenter la pression jusqu'à la valeur requise. Maintenir la pression constante. Lorsque le débit est stabilisé, mesurer le volume injecté pour une période de 10 minutes et enregistrer les résultats.

Reprendre les mêmes opérations pour chacun des paliers de pression considérés.

3.3. Pressions nettes d'injection

Les modalités de calcul de la pression nette d'injection sont indiquées à la figure 5.3.

Puisque la pression nette d'injection n'est normalement pas mesurée par un capteur placé directement dans la zone d'essai, les pressions lues au manomètre devront être corrigées en tenant compte du niveau d'eau stabilisé, de la colonne d'eau entre le manomètre et le milieu de la passe d'essai et des pertes de charge dans la tuyauterie. Ces dernières devront être déterminées à l'aide d'abaques ou par étalonnage. Toutes les mesures, sauf les pertes de charge, doivent être ramenées à la verticale si le forage est incliné.

3.4. Absorption d'eau

Le débit d'absorption d'eau est calculé à l'aide de l'équation suivante :

$$A = Q/L$$

A : absorption, en litre par minute et par mètre;

Q : débit absorbé, en litre par minute;

L : longueur de la passe d'essai, en mètres.

Pour calculer les unités Lugeon à partir des absorptions obtenues, la formule est la suivante :

$$\text{unités Lugeon} = A \cdot \frac{1000 \text{ kPa}}{\text{Pression nette d'injection (kPa)}}$$

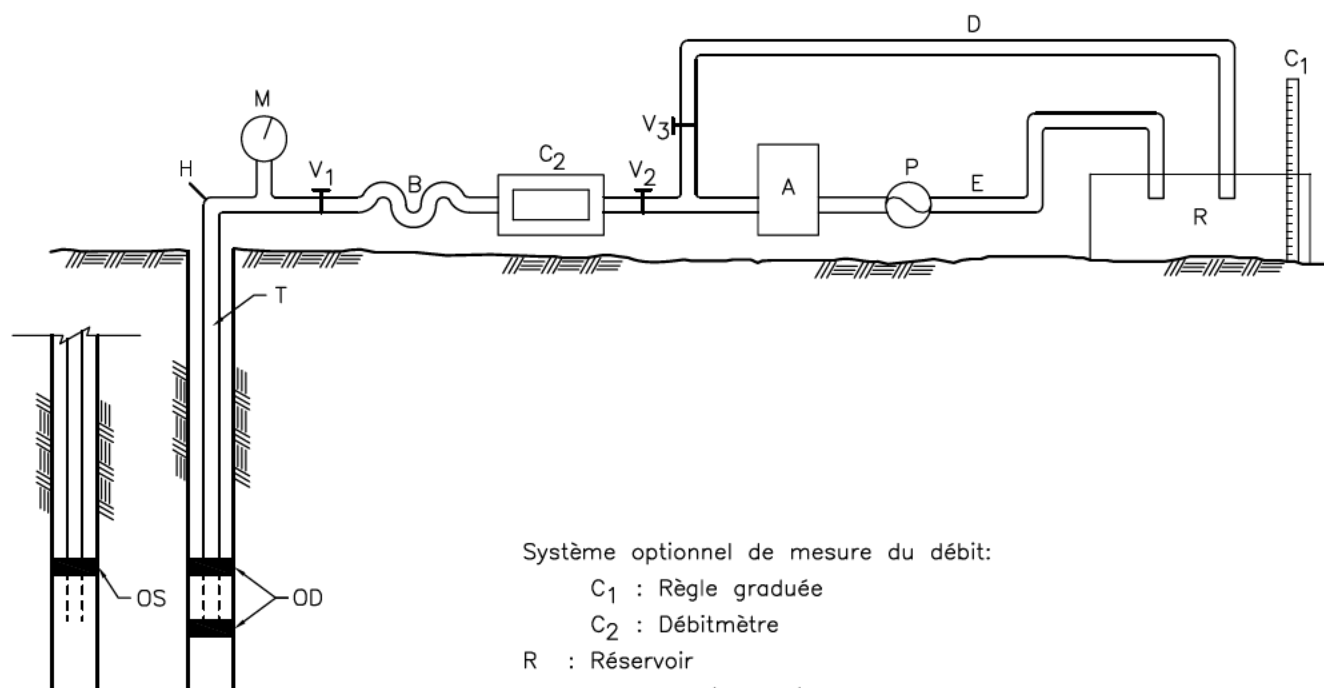
Cette règle de trois suppose une relation linéaire entre les pressions, ce qui n'est pas strictement le cas. Toutefois, cette relation est généralement acceptée, compte tenu des approximations qui sont faites dans l'utilisation de ces résultats.

3.5. Interprétation des résultats

Lorsque les pressions nettes d'injection et les absorptions sont calculées, le diagramme des absorptions en fonction de ces pressions est établi. On peut alors déterminer le nombre d'unités Lugeon qui correspond à la pente de la courbe obtenue au niveau de pression considéré.

Un essai qui se déroule correctement, doit donner un cycle réversible. Si tel n'est pas le cas, les courbes permettront de choisir le point le plus représentatif des essais en tenant compte de phénomènes tels que : écoulement turbulent, colmatage, claquage ou débouillage du massif rocheux.

La figure 5.4 présente un certain nombre de courbes caractéristiques d'essais d'eau avec modification de la géométrie du milieu.



Système optionnel de mesure du débit:

C₁ : Règle graduée

C₂ : Débitmètre

R : Réservoir

E : Boyau d'alimentation en eau

P : Pompe

A : Amortisseur (si pompe à piston)

D : Dispositif de retour d'eau

V₁ : Valve de contrôle du débit

V₂ : Valve de protection du débitmètre

V₃ : Valve de contrôle secondaire

B : Boyau de raccord

M : Manomètre

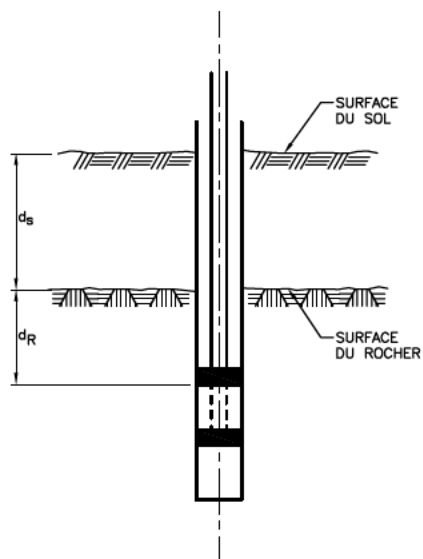
H : Raccordement entre le train de tiges
et le système d'injection

T : Train de tiges

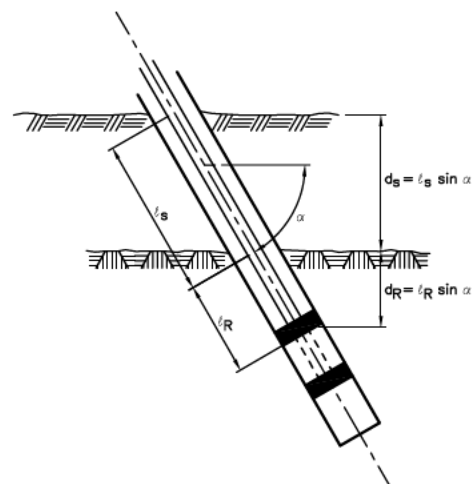
OD : Système d'obturation avec obturateur double

OS : Système d'obturation avec obturateur simple

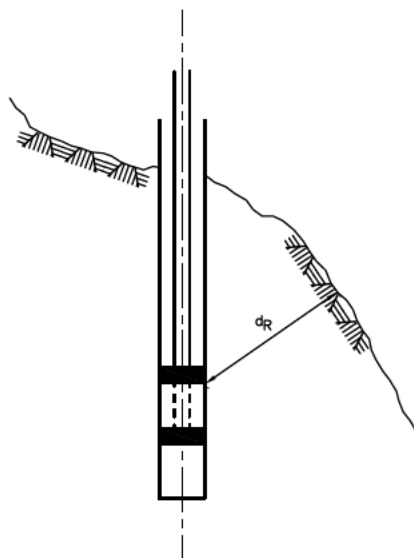
FIGURE 5.1
ESSAI D'EAU SOUS PRESSION DANS LE ROCHER
SYSTÈME D'INJECTION



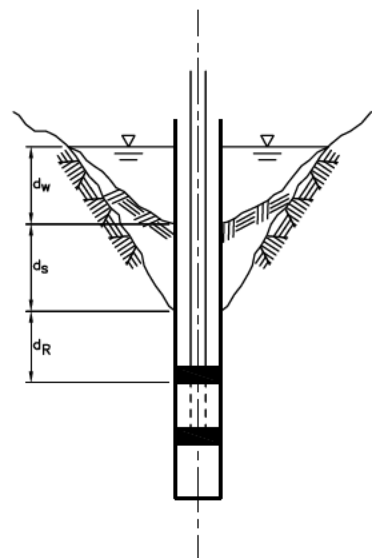
a) FORAGE VERTICAL
 $P = 5d_s + 15d_R$



b) FORAGE INCLINÉ
 $P = 5d_s + 15d_R$



c) FORAGE PRÈS D'UNE PENTE
 $P = 15d_R$



d) FORAGE EN RIVIÈRE
 $P = 5d_s + 15d_R$

d_w : PROFONDEUR DE L'EAU
 d_s : ÉPAISSEUR DU SOL
 d_R : ÉPAISSEUR DU ROC

FIGURE 2
 ESSAI D'EAU À PALIER DE PRESSION UNIQUE
 CALCUL DE LA PRESSION D'ESSAI (MAXIMUM 1000 kPa)

$$h_r = \frac{P_m}{\gamma_w} + h_c - h_e - h_p$$

h_r : Pression nette d'injection en hauteur d'eau (mètre).

P_m : Pression au manomètre en surface (kPa).

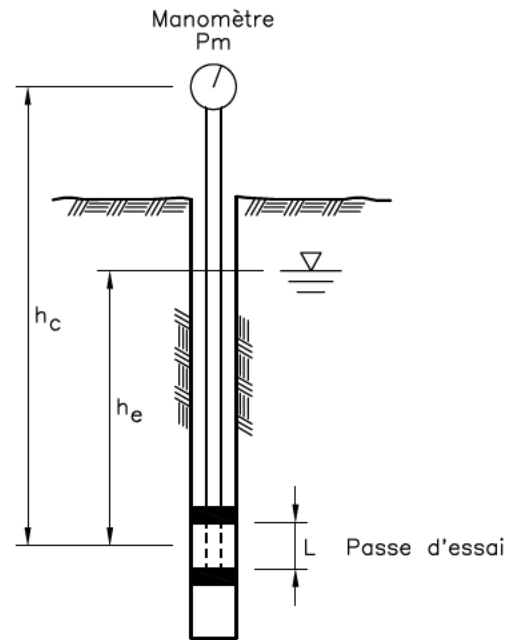
γ_w : Poids volumique de l'eau (kN/m^3).

h_c : Différence d'élévation entre le manomètre et le milieu de la passe d'essai (mètre).

h_e : Différence d'élévation entre le niveau d'eau stabilisé avant l'essai et le milieu de la passe d'essai (mètre).

h_p : Pertes de charge dans la tuyauterie entre le manomètre et la passe d'essai exprimées en hauteur d'eau (mètre).

L : Longueur de la passe d'essai.



NOTE : Pour convertir en kPa une pression exprimée en terme de hauteur d'eau, il suffit de la multiplier par le poids volumique de l'eau ($9,8 \text{ kN/m}^3$).

FIGURE 5.3
CALCUL DE LA PRESSION NETTE D'INJECTION

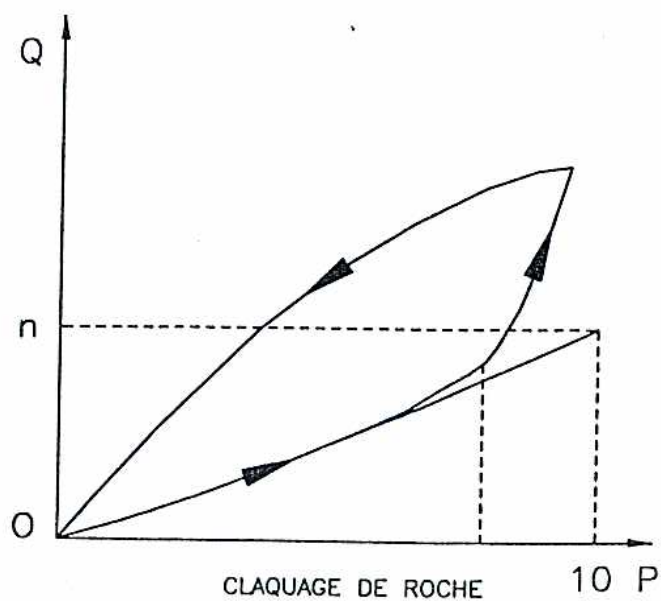
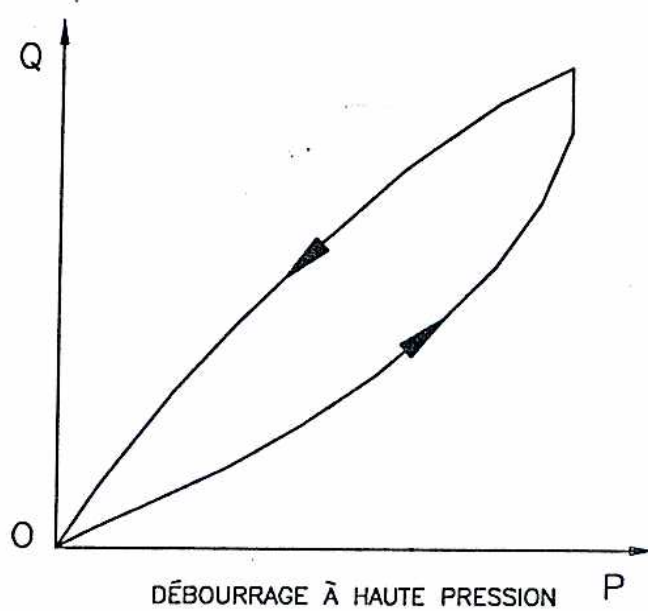
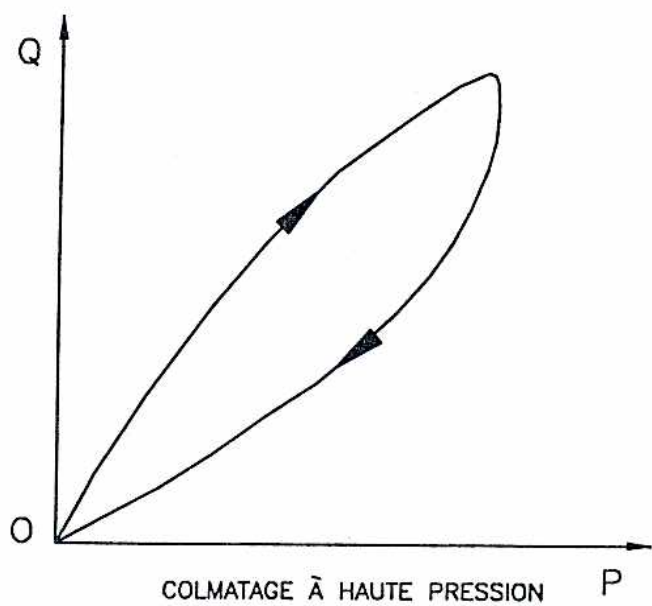
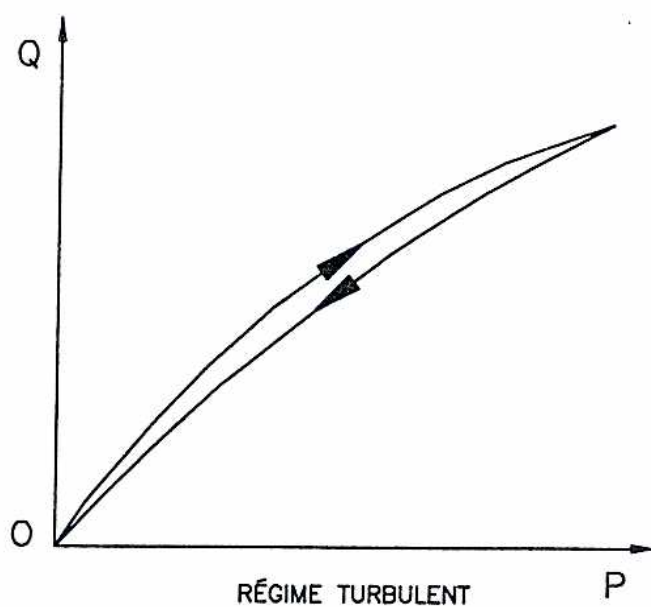
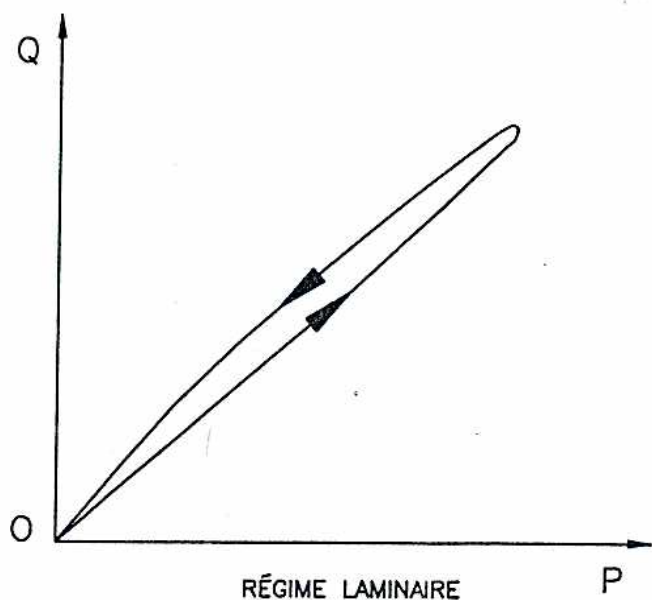


FIGURE 3
DIFFÉRENTES FORMES
DE COURBES D'ESSAI LUGEON

ESSAI D'EAU SOUS PRESSION EN ROCHER

Page 1 de 9

Firme : LMQ (1987) inc.		Projet : Aménagement de La Tuque		Forage n° : TF-25-06	
Contrat : P008915-0100		Emplacement : Groupe 4		Date : 2006-11-28	
Manomètre no : _____		Baril n° : _____		Capacité : L	
No d'inventaire : _____		Type d'obturateur			
Plage de pression : 0 à 200 kPa		Simple ☐		Double ☒	
Calibre du forage : NQ		Diamètre _____ cm		Longueur 2,02 m	
Profondeur du rocher : 0,71 m				Diamètre 7,57 cm	
Profondeur du forage : 14,15 m					

Profondeur		Pression P (kPa)	Lecture initiale		Lecture finale		Débit Q (L/min)	Absorpt. A (L/min m)	Remarques (p. ex. pression après 2 minutes)
Z _{haut} (m)	Z _{bas} (m)		t _i (min)	B _i (L)	t _f (min)	B _f (L)			
10,58	12,60	19	0	10461,5	1	10471,0	9,5	4,7	Pression statique
			1	10471,0	2	10480,5	9,5	4,7	avant essai = 0 kPa
			2	10480,5	3	10489,0	8,5	4,2	(9h35)
			3	10489,0	4	10497,0	8,0	4,0	
			4	10497,0	5	10505,0	8,0	4,0	
			5	10505,0	6	10513,0	8,0	4,0	
		38	0	10527,0	1	10540,0	13,0	6,4	
			1	10540,0	2	10552,0	12,0	5,9	
			2	10552,0	3	10565,0	13,0	6,4	
			3	10565,0	4	10577,0	12,0	5,9	
			4	10577,0	5	10589,0	12,0	5,9	
			5	10589,0	6	10601,0	12,0	5,9	
		56	0	10614,0	1	10630,0	16,0	7,9	
			1	10630,0	2	10646,0	16,0	7,9	
			2	10646,0	3	10662,0	16,0	7,9	
			3	10662,0	4	10677,0	15,0	7,4	
			4	10677,0	5	10694,0	17,0	8,4	
			5	10694,0	6	10710,0	16,0	7,9	
			6	10710,0	7	10726,0	16,0	7,9	
		75	0	10751,0	1	10770,0	19,0	9,4	
			1	10770,0	2	10789,0	19,0	9,4	
			2	10789,0	3	10807,0	18,0	8,9	
			3	10807,0	4	10827,0	20,0	9,9	
			4	10827,0	5	10847,0	20,0	9,9	
			5	10847,0	6	10867,0	20,0	9,9	

$$A = \frac{Q}{Z_{bas} - Z_{haut}}$$

$$Q = \frac{B_f - B_i}{t_f - t_i}$$

Pour transformer des lb/po² en kPa, multiplier par 6,9
kPa en lb/po², multiplier par 0,14

Effectué par : Luc Gauthier	Calculé par : Marie-Eve Lemire	Vérifié par : Marie-Eve Lemire
Date : 2006-11-28	Date : 2007-01-22	Date : 2007-01-22



Conception des aménagements de production
hydraulique et géotechnique

Manuel de l'inspecteur en exploration géotechnique

Fascicule 6

Essai au scissomètre Nilcon

Décembre 2007

1. INTRODUCTION

Le scissomètre de chantier sert à mesurer la résistance au cisaillement non remaniée (c_u) in situ d'un sol cohérent. À partir de cette valeur, on détermine la stabilité d'un remblai à construire sur le site à l'étude. Les valeurs mesurées sont également utilisées pour caractériser un site.

Le présent fascicule explique la façon de procéder pour évaluer cette résistance à l'aide de l'appareil. Le mode d'utilisation présenté s'applique au scissomètre connu sous le nom de scissomètre Nilcon, dont l'usage a été recommandé par le comité de spécialistes sur les argiles du complexe NBR (Nottaway-Broadback-Rupert).

2. RÉSUMÉ DE L'ESSAI

L'essai de cisaillement consiste à introduire dans un sol non remanié un scissomètre, appareil constitué de 4 ailettes soudées perpendiculairement les unes par rapport aux autres le long d'une tige, et à mesurer le couple (force de rotation) nécessaire pour cisainer l'argile sur une surface cylindrique. Cette force est alors convertie pour calculer la résistance au cisaillement unitaire sur la surface du cylindre.

L'essai étant généralement effectué sans tubage, il faut soustraire le couple dû à la friction des tiges pour évaluer correctement la résistance au cisaillement autour des ailettes. L'appareil Nilcon est muni à cette fin d'un raccord pivotant fixé à faible distance au-dessus des ailettes. Ce raccord permet de mesurer le couple dû à la friction du sol le long des tiges sur les 15 premiers degrés de rotation.

La figure 6.1 montre l'appareil sur son support de montage ; il peut aussi être utilisé avec tubage.

L'inconvénient majeur concernant le contrôle de l'exécution de cet essai est le « bouchonnage » possible des ailettes. Il arrive fréquemment que l'argile reste collée aux ailettes près de l'axe ; durant l'enfoncement, cette argile cause des déformations qui réduisent la résistance au cisaillement. Les calculs de stabilité en sont modifiés, ce qui entraîne la mise en place d'un surplus de remblai. Ceci aurait été évité avec des mesures correctes.

Il faut donc prendre toutes les précautions nécessaires et, selon le cas, indiquer clairement dans le rapport ce qui a été observé. La section 4.4 précise la procédure à suivre.

3. ÉQUIPEMENT

Les figures 6.1 à 6.6 donnent une vue d'ensemble de l'appareil ainsi que ses pièces mécaniques, qui sont décrites ci-après.

3.1. Scissomètre

Le scissomètre est composé de quatre ailettes fixées à une tige centrale. La hauteur des ailettes est d'environ deux fois le diamètre du scissomètre tel d'indiqué à la figure 6.3. Il existe trois tailles d'ailettes. Pour des besoins d'uniformisation et de qualité des essais, on en recommande une : 6,5 cm de diamètre et de 13 cm de hauteur.

Des ailettes plus petites ne seront utilisées que si la résistance maximale ne peut être atteinte avec les dimensions recommandées. Si, après un essai, on constate que la résistance maximale atteinte avec de petites ailettes aurait pu être atteinte avec les ailettes recommandées (6 cm x 13 cm), le scissomètre devra être retiré, changé et l'essai repris 50 cm plus bas. Dans les argiles très molles, il faut l'autorisation du responsable pour utiliser les ailettes de grandes dimensions.

L'extrémité inférieure des ailettes est légèrement biseautée pour favoriser une légère rotation du scissomètre dans le sens des aiguilles d'une montre pendant l'enfoncement. Cette rotation du scissomètre sans rotation des tiges est possible grâce au raccord pivotant.

Toujours vérifier et nettoyer les ailettes avant usage. Aucun défaut (encoche, cassure, déformation, trou de rouille) n'est toléré car cela peut influencer sur le résultat. Lorsque les ailettes sont remontées à la surface, l'inspecteur en vérifie l'état et note les anomalies observées.

3.2. Raccord pivotant

Installé immédiatement au-dessus du scissomètre, le raccord pivotant permet une rotation des tiges de 15° sans rotation des ailettes. Un schéma du raccord dont la partie inférieure peut tourner librement par rapport à la partie supérieure est montré à la figure 6.4.

S'assurer avant chaque sondage que la rotation de 15° n'offre pas de résistance anormale. De plus, vérifier fréquemment l'état du protecteur de caoutchouc du raccord et le changer dès qu'il est endommagé. Un enduit de graisse de silicone augmentera la durée de vie du protecteur.

3.3. Tiges du scissomètre

Les tiges du scissomètre, en acier, sont conçues de façon à empêcher la rotation des tiges les unes par rapport aux autres lorsqu'elles sont bien vissées. Elles sont encochées à chaque extrémité de façon à être serrées avec des clés ouvertes. Elles doivent être lisses pour assurer une prise correcte de l'embrayage (voir section 3.1.).

Ne pas employer de clés anglaises : les marques qu'elles laissent favorisent le collage de l'argile sur les tiges et augmentent la friction sur les tiges pendant l'essai. Les tiges sont aussi plus difficiles à nettoyer au moment de leur remisage.

Toujours s'assurer que les tiges assemblées sont droites ; pour le vérifier, on roule un train de quelques tiges assemblées sur un support rectiligne. S'assurer également que les tiges sont fixées solidement les unes aux autres. Des tiges mal vissées se resserreront dès que le couple requis pour cisailier l'argile autour du scissomètre dépassera le couple appliqué au serrage, ce qui perturbera le mouvement régulier des ailettes et pourra réduire la résistance au cisaillement mesurée.

Nettoyer les tiges après chaque usage ; les sols collés aux tiges s'accumulent facilement dans l'embrayage sous l'unité d'enregistrement et bloquent son fonctionnement.

3.4. Unité d'enregistrement

Le scissomètre Nilcon comporte un enregistreur qui trace automatiquement les courbes d'essai sur un disque de papier ciré. Le couple appliqué est enregistré radialement et la rotation angulaire tangentielllement.

L'unité d'enregistrement doit demeurer dans son coffre en acier servant au transport lorsqu'on ne s'en sert pas. Il ne faut pas laisser l'unité sous la pluie ou la neige ; éviter les coups et les chutes. Inclure quelques petits outils, surtout des clés mâles métriques (Allen) dans le coffre pour effectuer certaines réparations d'urgence. Le papier ciré doit être gardé à l'abri du soleil et des intempéries.

L'unité d'enregistrement (figure 6.2) est composée des parties suivantes :

- a. *Un couvercle amovible transparent*, retenu par deux écrous, pour la mise en place du disque de papier ciré où s'enregistre la courbe de résistance. Le disque est maintenu par une

rondelle fixée au centre du couvercle. Celui-ci doit donc être vissé convenablement pour éviter que le traceur n'entraîne le papier.

Lorsque le couvercle est enlevé, il faut s'assurer que le plateau en aluminium reste sec ; s'il est mouillé, le disque de papier ciré pourra y adhérer pendant l'essai et ne suivra pas le mouvement de rotation des tiges.

Le couvercle transparent se compose d'un anneau métallique entourant un disque de matière plastique. La différence de coefficient de dilatation thermique de ces deux matériaux cause des déformations pouvant endommager le couvercle quand il est exposé à des températures extrêmes. La température sous le couvercle pouvant devenir excessive quand la tête de lecture est exposée au soleil, il est recommandé d'installer un pare-soleil au besoin.

- b. *Un engrenage à manivelle* pour appliquer le couple aux tiges du scissomètre. L'engrenage permet deux vitesses de rotation : rapide ou lent.

L'engrenage *rapide* sert à tracer la ligne de référence et à ramener le traceur à zéro à la fin d'un essai. Pour ce faire, insérer la manivelle sur la tige d'engrenage rapide qui est poussée à fond ; le rapport d'engrenage est alors faible : 64 tours de manivelle correspondent approximativement à un tour des tiges.

L'engrenage *lent* sert à l'essai de cisaillement ; la manivelle est insérée sur la tige de cet engrenage après que la tige d'engrenage rapide ait été sortie d'environ 1 cm ; 2 048 tours de manivelle correspondent approximativement à un tour des tiges.

- c. *Un embrayage*, à la base de l'unité d'enregistrement, est relié au système d'engrenage ; il transmet le mouvement de la manivelle aux tiges du scissomètre lorsqu'il est engagé. (Voir les détails de la bague d'embrayage à la figure 6.5, ainsi que les principales pièces qui la composent).

L'embrayage est la pièce d'équipement qui cause le plus de difficulté de fonctionnement, surtout à cause des saletés qui s'y accumulent. Il faut le démonter et le nettoyer régulièrement, s'assurer avant de quitter le laboratoire qu'il fonctionne correctement et signaler dès que possible tout défaut de fonctionnement.

Voici comment fonctionne l'embrayage :

Tiges dégagées :

Dans cette position, le ressort est tendu, la vis qui retient le ressort et la vis de blocage sont alignées verticalement et la bague est en position basse. Pour ce faire, tourner la bague dans le sens des aiguilles d'une montre (en regardant vers le bas) tout en l'abaissant (vers le sol).

Dégager les tiges de la tête de lecture pour enfoncer et retirer les tiges, pour tracer la ligne de référence, ainsi que pour faire la rotation des tiges pour l'essai remanié ou pour permettre le jeu libre du raccord pivotant.

Tiges engagées

Dans cette position, le ressort est partiellement détendu, la vis de blocage est décalée d'environ $\frac{1}{4}$ de tour par rapport à la vis qui retient le ressort et la bague est en position relevée. Pour ce faire, pousser la bague vers le haut et la tourner dans le sens inverse des aiguilles d'une montre (en regardant vers le bas).

Le ressort maintiendra la bague dans cette position. Les tiges doivent être engagées avec la tête de lecture pour les essais de cisaillement intact et remanié.

Remarques

- ♦ *S'assurer avant chaque essai que le ressort de la bague d'embrayage est placé correctement, c'est-à-dire qu'il ne passe pas au-dessus de la vis de blocage. Remplacer le ressort si nécessaire.*
- ♦ *Ne pas forcer le ressort lorsqu'on manie la bague d'embrayage.*
- ♦ *Ne pas déplacer les tiges avec l'embrayage engagé : ceci l'endommagerait.*

3.5. Support de montage

Le scissomètre Nilcon a été mis au point pour des essais dans un sol argileux sans forage. Il lui faut un support de montage pour la tête de lecture. Celui-ci est constitué d'un cadre horizontal ancré dans le sol avec des tarières à vis et sur lequel on fixe un cadre vertical. Deux pivots à la base du cadre vertical et un bras diagonal ajustable permettent d'assurer la verticalité de ce dernier (voir figure 6.1).

Si une couche granulaire recouvre le dépôt d'argile, il faut creuser un avant-trou avec une pelle ou une tarière pour ne pas détériorer les ailettes. On peut au besoin utiliser un trépied motorisé ou toute autre technique appropriée.

La base est fixée au sol au moyen de tarières à vis pour maintenir l'appareil fixe lors du fonçage du scissomètre et pendant les essais. Dans les tourbières, il faut souvent des tarières plus longues que celles fournies avec l'appareil, ou à plus grand diamètre.

La section verticale sur laquelle est placée l'unité d'enregistrement est munie de deux chaînes reliées à un système d'engrenage à manivelle. Celles-ci permettent d'enfoncer les tiges du scissomètre avec un effort limité. L'intensité de cet effort doit être notée dans le rapport d'essai. L'inspecteur notera aussi tout changement subi de résistance pouvant indiquer la présence d'une mince couche de nature différente ou une série de strates.

Une force excessive exercée sur l'engrenage à manivelle, conjuguée avec un appareil mal ajusté, peut endommager les chaînes d'entraînement et les engrenages, ou déformer les tiges par flambage. Faire ajuster l'appareil par un laboratoire qualifié au besoin.

Essai avec tubage protecteur :

Dans un forage ou pour traverser une couche dure avec un tubage, on fixe la tête de lecture au sommet du tubage avec un adaptateur. Il faut enfoncer les tiges à la main à moins que ce ne soit trop difficile : on utilise alors une foreuse, lentement, sans effort exagéré, pour ne pas endommager les ailettes.

L'inspecteur doit installer des rondelles-guides de plastique (voir section 4.1.2) qui servent à aligner les tiges dans le tubage si l'on effectue un essai entre deux échantillons. Ces rondelles sont fixées à des intervalles réguliers correspondant à deux longueurs de tige. On cherche ainsi à éviter toute distorsion latérale des tiges et tout frottement des tiges avec le tubage.

4. PROCÉDURE D'ESSAI

4.1. Montage et préparation

4.1.1. Essai avec le support de montage

1. Fixer solidement la plaque de base avec des tarières à vis à l'aide de la manivelle servant au fonçage des tiges. S'assurer de l'horizontalité de l'axe de rotation du support vertical avec un niveau de charpentier.

2. Fixer le support à chaînes verticalement et serrer les boulons de fixation. L'axe des tiges doit être vertical en tout temps. Vérifier soigneusement avec un niveau de charpentier.
3. Placer la tête d'enregistrement sur le support vertical et la fixer au moyen du loquet de façon que la manivelle puisse fonctionner librement.
4. Insérer un disque de papier sur l'unité d'enregistrement et fixer le couvercle.
5. Tracer la ligne de référence zéro sur le disque après s'être assuré que l'embrayage est dégagé des tiges. Au moyen de l'engrenage rapide, faire suivre au traceur un tour complet dans le sens des aiguilles d'une montre (voir section 3.4).

Pour tracer la ligne de référence, ne pas faire tourner le traceur dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, ni faire tourner le disque de papier ciré à la main : on n'obtient pas ainsi une ligne de référence précise.

6. Assembler le scissomètre, le raccord pivotant et quelques tiges en les insérant au centre de l'unité d'enregistrement. Lors du montage, compter les tiges disponibles de manière à pouvoir vérifier la profondeur d'un essai à partir du nombre de tiges enfoncées.

Pour fixer les tiges entre elles, toujours se servir des clés ouvertes fournies et non de clés anglaises. Par contre, pour fixer le raccord pivotant aux tiges, on se sert d'une clé anglaise en prenant soin de ne pas briser le caoutchouc ; placer la clé dans la zone indiquée à la figure 6.4.

Les tiges doivent être verticales et parallèles aux chaînes du support vertical pour prévenir leur flambage durant le fonçage. La verticalité est primordiale, surtout au début de l'enfoncement ; il est préférable de creuser à la pelle un trou d'environ 30 cm de profondeur pour s'en assurer.

7. Placer une des clés dans l'encoche d'une tige de façon à former un point d'appui pour le joug reliant les deux chaînes et faire pénétrer le scissomètre à la profondeur désirée ; celle-ci est toujours mesurée à partir de l'extrémité inférieure du scissomètre.

4.1.2. Essai avec tubage protecteur

1. Forer et échantillonner tel que prévu.
2. Durant le lavage, éviter de remanier le sol sous la limite inférieure du tubage. Utiliser une sonde de lavage avec des jets latéraux ou dirigés vers le haut. Maintenir le tubage plein d'eau.
3. Mettre en place le scissomètre et les tiges en intercalant les rondelles-guides tous les 2 m.
Ces rondelles-guides sont tenues en place par des rondelles métalliques insérées entre deux tiges (figure 6.6.). La dimension des rondelles-guides dépend du calibre du tubage. Entre la première rondelle et le scissomètre, la distance doit être supérieure à celle entre le bas du tubage et l'endroit de l'essai.
4. Pousser le scissomètre de façon continue jusqu'à 0,5 m en avant du tubage dans le sol intact. On doit toujours connaître la longueur du tubage et des tiges de façon à être sûr de la profondeur des ailettes.
5. Installer l'unité d'enregistrement sur le tubage avec un adaptateur.
6. Suivre les étapes 4, 5 et 6 de la section 4.1.1.

4.2. Déroulement de l'essai

Les opérations décrites en 4.1 étant effectuées, l'essai de détermination de la résistance peut commencer. Le déroulement de l'essai est identique pour les deux types de montage.

4.2.1. Essai non remanié (NR)

Une fois le scissomètre en place à la profondeur voulue, l'essai doit débuter après un temps d'attente de 3 minutes.

1. Engager l'embrayage lent situé à la base de l'unité d'enregistrement (voir section 3.4.c)
2. Le taux de cisaillement est de 2 tours de manivelle par seconde, avec l'engrenage à vitesse lente, quelle que soit la profondeur. Le cisaillement de l'argile avec l'engrenage rapide donne de faux résultats.
3. Durée de l'essai : la courbe tracée sur le disque du papier ciré comporte un premier palier indiquant la friction entre les tiges et le sol ; après une rotation de 15°, la résistance augmente jusqu'au pic indiquant la rupture du sol ; c'est la mesure recherchée. Il faut poursuivre l'essai avec une rotation d'au moins 30° après le pic.

Si la résistance au cisaillement de l'argile dépasse la capacité de l'appareil, le marqueur atteindra le centre du disque. Interrompre l'essai quand le pointeur est à 1 cm de l'anneau au centre du couvercle.

4. Replacer ensuite la manivelle sur l'engrenage rapide et ramener le pointeur à zéro (ligne de référence). Souvent le pointeur ne retombe pas exactement sur la ligne de référence. À l'essai suivant, le pointeur devrait se replacer correctement.

4.2.2. Essai remanié (R)

L'essai remanié consiste à mesurer la résistance de l'argile quand sa structure a été complètement détruite ; il faut le faire pour tous les essais d'un sondage si celui-ci est destiné à des essais remaniés. Voici la marche à suivre :

1. Une fois le pointeur remanié à zéro après l'essai NR, désengager l'embrayage et, avec une clé, effectuer précisément 20 rotations des tiges dans le sens des aiguilles d'une montre. Puis les tourner dans le sens inverse pour rétablir le jeu libre dans le raccord pivotant. Prendre garde de ne pas dévisser les tiges. Ordinairement, on peut sentir le jeu libre des tiges après une faible rotation. Il faut souvent une rotation supérieure au jeu libre de 15° du raccord pivotant pour compenser la torsion des tiges si l'essai est profond et que la friction des tiges est élevée.
2. Engager l'embrayage et mesurer la résistance avec l'engrenage lent et la vitesse de rotation de la manivelle à 2 tours/seconde.

L'essai remanié doit commencer moins de 2 minutes après avoir tourné les tiges pour éviter que la résistance de l'argile augmente, par thixotropique ou en raison d'autres phénomènes. Si plus de 2 minutes se sont écoulées, il faut reprendre l'opération au début, soit tourner les tiges 20 fois avant la mesure.

4.3. Identification et changement de profondeur

1. L'essai (R ou NR) terminé, désengager l'embrayage. Enlever le couvercle et inscrire sur le disque enregistreur les données suivantes :
 - ♦ site et ouvrage
 - ♦ numéro de sondage
 - ♦ localisation et chaînage du sondage
 - ♦ profondeur de l'essai (limite inférieure du scissomètre)
 - ♦ numéro de l'appareil
 - ♦ dimension des ailettes

- ♦ nom de l'inspecteur
 - ♦ date de l'essai
 - ♦ NR au dessus de la courbe de l'essai non remanié
 - ♦ R au-dessus de la courbe de l'essai remanié
2. Ajouter une tige et la serrer convenablement.
 3. Mesurer la distance nécessaire sur la tige pour atteindre la nouvelle profondeur d'essai et la marquer de façon à bien identifier le moment d'arrêt.
 4. Avant de descendre les tiges en position pour l'essai, il faut les tourner légèrement dans le sens contraire des aiguilles d'une montre (25 à 30°). Il arrive fréquemment que le biseau à l'extrémité des ailettes ne suffise pas à assurer la rotation du scissomètre sans rotation des tiges ; une rotation inverse de 25 à 30° prévient cette anomalie. Ne jamais effectuer cette manœuvre après l'enfoncement des ailettes.
 5. Enfoncer les tiges à la profondeur requise. Éviter toute rotation des tiges quand le scissomètre est à la profondeur prévue pour l'essai.
 6. Mener l'essai sur un nouveau disque de papier ciré si, d'après les mesures antérieures, il y a possibilité de chevauchement des courbes. Un disque ne doit servir qu'à un seul essai non remanié accompagné d'un essai remanié ou de deux essais non remaniés.

4.4. Bouchonnage du scissomètre

Si un essai est réalisé dans une couche molle sous-jacente à une couche d'argile ferme et collante, les résultats peuvent être faussés par suite du « bouchonnage » du scissomètre au passage de cette couche : l'argile de la couche raide peut coller aux ailettes et remanier l'argile de la couche molle durant l'enfoncement. La résistance mesurée dans la couche molle est alors anormalement faible.

Vu les graves conséquences du bouchonnage sur les résultats et, de ce fait, sur le calcul de stabilité, il est recommandé de remonter le scissomètre à la surface après un essai à 2 m sous la limite supérieure de l'argile, de nettoyer les ailettes, de les enduire d'huile et de les redescendre de façon continue jusqu'à l'essai suivant ; il faut vérifier que la mesure n'a pas été faussée chaque fois qu'il y a un doute. Noter également dans le rapport de sondage toutes les vérifications faites.

4.5. Retrait des tiges

1. Dégager l'embrayage et retirer l'unité d'enregistrement du support vertical.
Toujours remettre l'unité d'enregistrement dans sa boîte pour ne pas l'endommager.
2. Insérer une clé dans une des encoches des tiges au-dessus du joug pour qu'elles puissent s'y accrocher ; remonter les tiges avec la manivelle.
3. Une brusque augmentation de l'effort pour remonter indique que les ailettes sont coincées. Éviter de trop forcer : mieux vaut redescendre les tiges de quelques centimètres et les tourner légèrement dans le sens des aiguilles d'une montre, avant de remonter le train de tiges de nouveau. Si un sondage est réalisé avec le tubage, il est possible que les ailettes s'accrochent à l'extrémité inférieure du tubage. Remonter le tubage pourra, dans ce cas, faciliter le retrait du scissomètre sans l'endommager.
4. Décrire les sols adhérant aux ailettes.
5. Nettoyer immédiatement les tiges, les ailettes et le raccord pivotant. Vérifier leur état et les huiler pour éviter la rouille. Indiquer dans le rapport tout bris ou déformation ; les pièces

doivent être réparées ou remplacées avant tout nouvel essai. Entre chaque essai, les ailettes et le raccord pivotant doivent être protégés des chocs et gardés au sec.

5. ANALYSE DES RÉSULTATS ET CALCULS

L'analyse des résultats comprend l'interprétation des courbes tracées sur le papier ciré et sa présentation sur la formule « Essai au scissomètre de chantier (Nilcon) ». Un enregistrement typique de résultats d'essais non remanié et remanié tels qu'ils apparaissent sur papier ciré est présenté à la figure 9.7.

Le système d'enregistrement est conçu de façon à ce que la distance radiale « a » entre la ligne de référence zéro et un point de la courbe soit directement proportionnelle au couple « M » appliqué aux tiges. La relation linéaire entre la distance « a » et le couple est :

$$M = K a$$

où K = constante de calibration

a = distance radiale (cm)

La constante « K » est déterminée par le fabricant. Elle est en principe valable pour la durée de vie de l'appareil si l'équipement est utilisé selon les spécifications. On recommande une vérification et un nettoyage annuels par un laboratoire qualifié, surtout si l'appareil est utilisé intensivement. La constante « K » diffère pour chaque instrument ; indiquer le numéro de l'instrument et la constante « K » sur tous les disques de papier ciré et dans le rapport.

5.1. Courbe d'un essai non remanié

La courbe enregistrée sur le disque se caractérise par une mesure initiale de la friction des tiges, suivie d'une augmentation régulière de la résistance jusqu'à la valeur maximale, puis d'une diminution rapide plus ou moins prononcée et, enfin, d'un palier représentant la résistance à grande déformation ; cette valeur a tendance à diminuer légèrement avec la rotation du scissomètre. (Voir un exemple à la figure 9.7).

Les irrégularités brusques résultent souvent d'une mauvaise manipulation : tiges mal serrées, embrayage défectueux. Le gravier ou des végétaux causent généralement des déviations moins prononcées.

L'interprétation des sections de la courbe est la suivante :

- a. Friction des tiges : Ce palier est identifié par l'arc de cercle « F » de la figure 9.7. On remarque d'abord une augmentation de la résistance jusqu'à un certain maximum, suivi d'une résistance stable sur un arc de cercle d'environ 15°. Ce palier sert à mesurer la friction engendrée par le frottement des tiges avec le sol de même que, théoriquement, la friction à l'intérieur de la tête de lecture elle-même et la friction permettant la rotation du raccord pivotant.

Le moment de friction « a_f » doit être mesuré juste avant la cassure dans la courbe. Cette valeur est la plus représentative parce que c'est la plus proche de celle existant au moment du cisaillement de l'argile autour des ailettes.

- b. Couple maximum : La deuxième zone, identifiée par la lettre « S » à la figure 9.7, représente le couple requis pour cisailer le sol avec le scissomètre, plus le frottement des tiges.

La valeur « a_s » est mesurée au maximum de la courbe ; indiquer sur le disque son emplacement. La résistance au cisaillement du sol est directement proportionnelle à « a_s - a_f ».

- c. Couple à grande déformation : Après l'enregistrement du couple maximum, la courbe de l'essai qui a été prolongée pour au moins 30° donne certaines indications sur le type d'argile et sa résistance à grande déformation.

5.2. Courbe d'un essai remanié

La friction des tiges est enregistrée de la même façon que pour l'essai non remanié. Cependant, le couple maximum est atteint beaucoup plus vite ; plus ou moins constant, il n'est pas suivi d'une chute significative. Une rotation de 30° après la valeur maximale suffit pour cette mesure.

Dans un dépôt d'argile très sensible, il arrive fréquemment que le couple total (somme de la friction des tiges et de la résistance au cisaillement autour du scissomètre) soit plus ou moins égal au couple dû à la friction des tiges seulement. Une rotation totale de 30° suffira à confirmer ce phénomène.

5.3. Calculs

La résistance au cisaillement se calcule à l'aide de la formule :

$$c_u = 9,82 C K (a_s - a_f)$$

c_u = résistance au cisaillement (kPa)

9,82 = facteur de conversion d'unités

K = constante de calibration de l'appareil

C = constante, fonction de la dimension des ailettes

C : ailettes

0,2 : 5 x 11 (cm)

0,1 : 6,5 x 13 (cm)

0,05 : 8 x 17 (cm)

a_s = distance radiale maximale atteinte par le pointeur sur le disque (mm)

a_f = distance radiale de friction atteinte par le pointeur pendant la friction des tiges seulement (mm)

5.4. Présentation des résultats

Tous les renseignements demandés sur la formule doivent y figurer. Il est important de noter tous les phénomènes observés durant l'essai :

- ♦ épaisseur de tourbe en surface ;
- ♦ difficultés rencontrées pour l'ancrage du support de montage ;
- ♦ difficultés pour pénétrer le sol ;
- ♦ présence de sable grossier ou gravier ;
- ♦ refus sur une couche dure (arrêt brusque) ou à cause de la résistance de l'argile qui devient de plus en plus raide ;
- ♦ état des ailettes avant et après l'essai ;
- ♦ argile collée aux ailettes (bouchonnage) ;
- ♦ profondeurs auxquelles il ya eu vérification du bouchonnage.

Les disques ou une photocopie vraie grandeur des résultats seront remis au représentant d'Hydro-Québec, selon ce qui aura été entendu au préalable.

6. FRÉQUENCE DES ESSAIS

Suivre les exigences du programme d'exploration. Les règles générales sont les suivantes :

6.1. Essai avec le support de montage

Essai non remanié : faire un essai à tous les demi-mètres dans la couche altérée, au moins jusqu'à 3 mètres sous la limite supérieure de l'argile ; poursuivre avec des essais à tous les mètres jusqu'au refus à l'enfoncement.

Essai remanié : à chaque site, les essais non remaniés d'au moins 25 % des profils scissométriques seront tous suivis d'un essai remanié.

6.2. Essai avec tubage protecteur

Faire un essai non remanié et un essai remanié entre chaque échantillon.

Si les essais au scissomètre se font à proximité du lieu d'un forage, il faut indiquer le numéro de ce forage sur le rapport de scissomètre et vice versa ; si possible, faire les essais à la même profondeur que les échantillons. Il est alors fortement recommandé d'examiner le rapport détaillé du forage et d'analyser les courbes des essais scissométriques en fonction de la description des sols au même niveau.

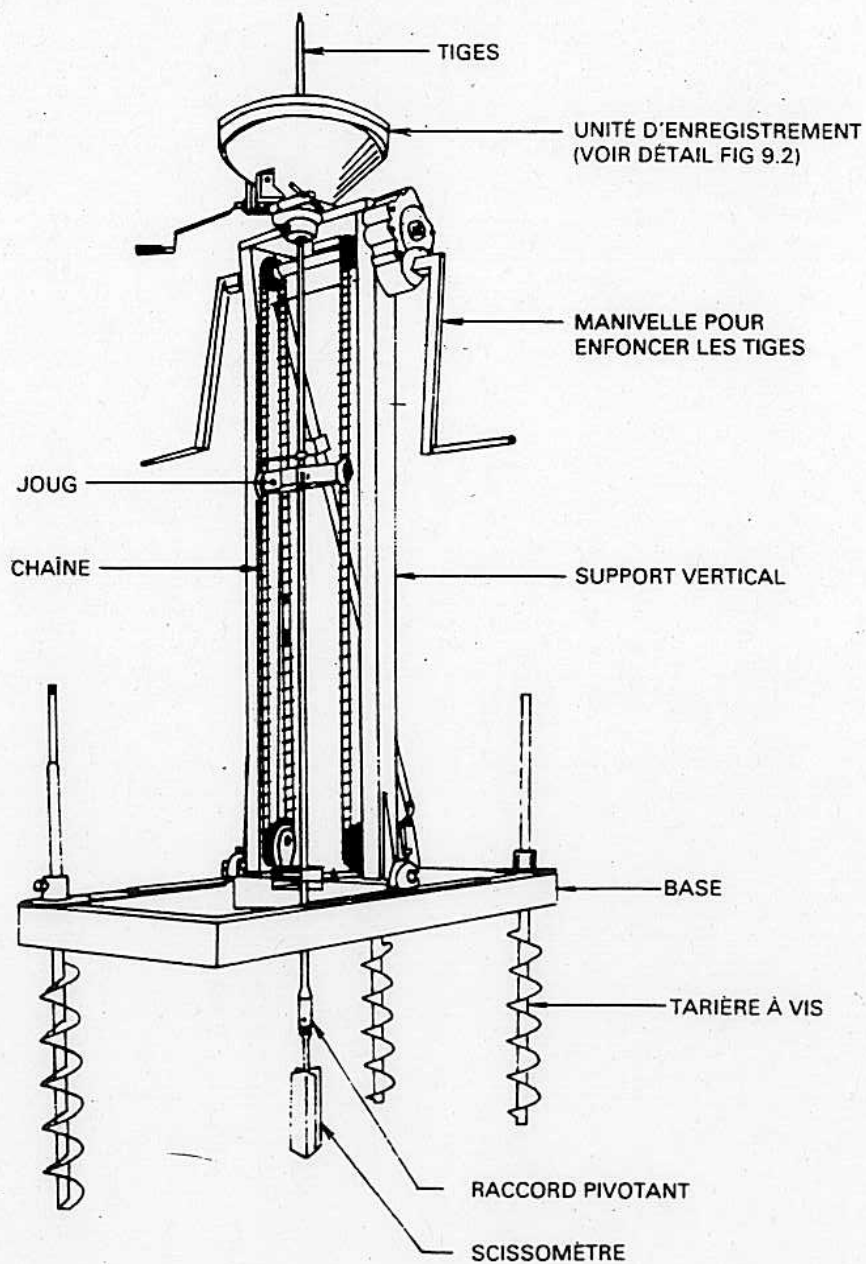


Figure 6.1 Vue générale du scissomètre de chantier Nilcon
(COURTOISIE DE ROCTEST LTÉE)

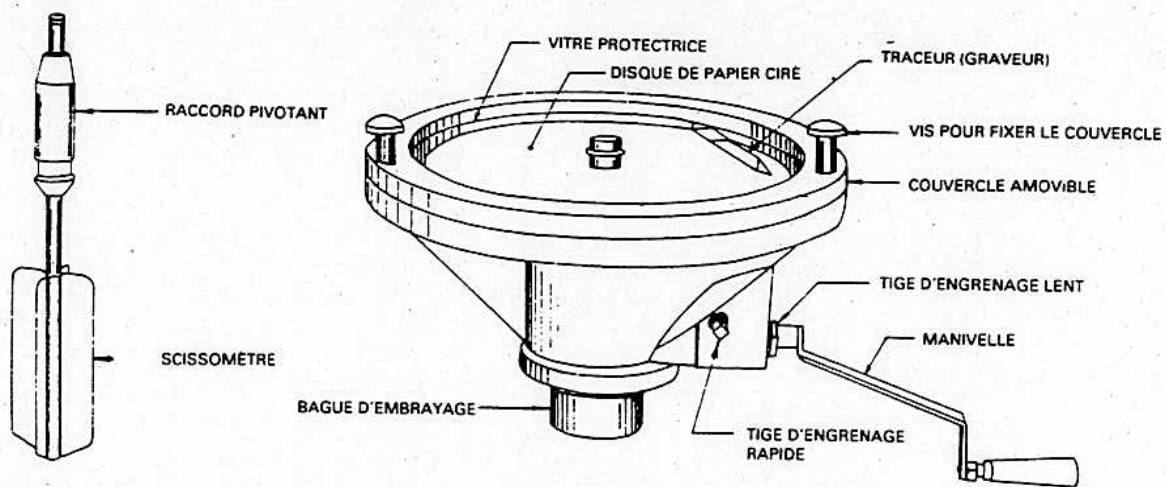


Figure 6.2 Schéma du scissomètre Nilcon et de l'unité d'enregistrement
(COURTOISIE ROCTEST LTÉE)

Dimensions courantes	
Hauteur (H)	Diamètre (D)
11,0 cm	5,0 cm
13,0 cm	6,5 cm
17,2 cm	8,0 cm

← Ailettes recommandées

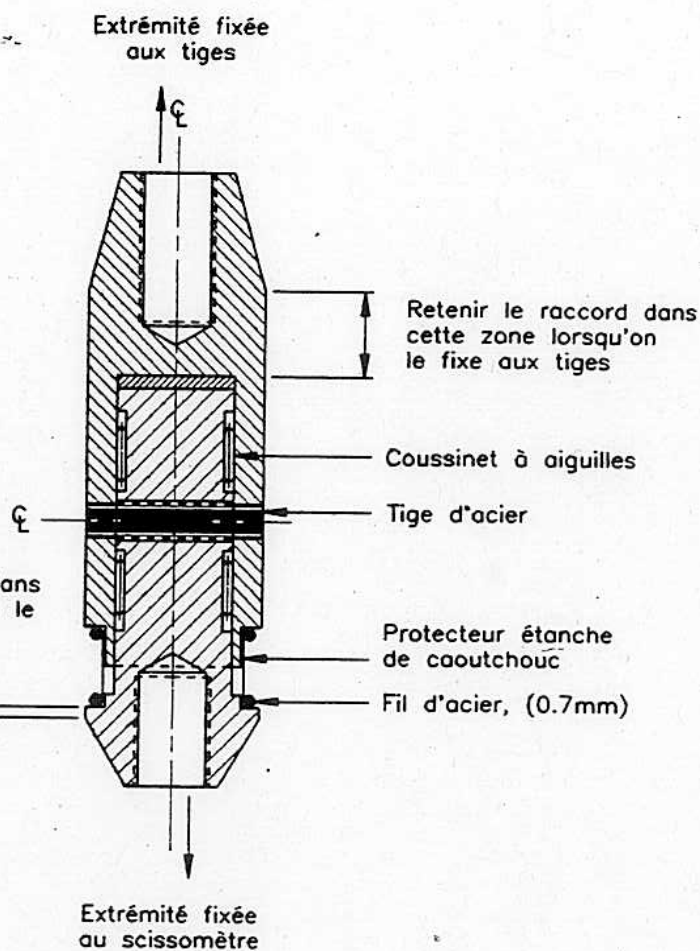
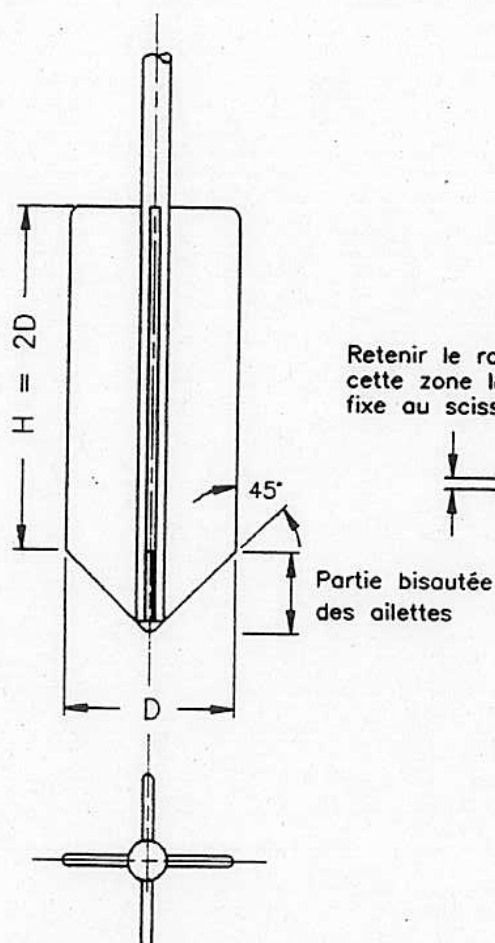
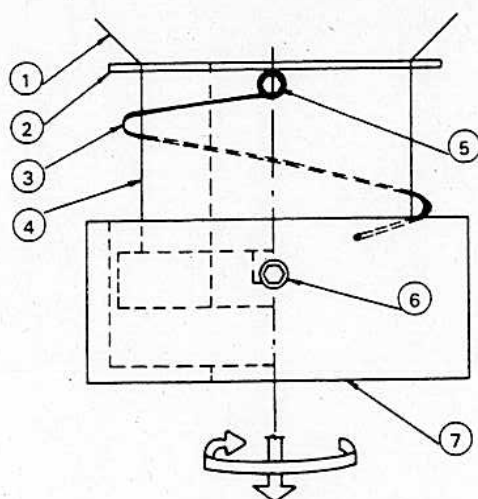
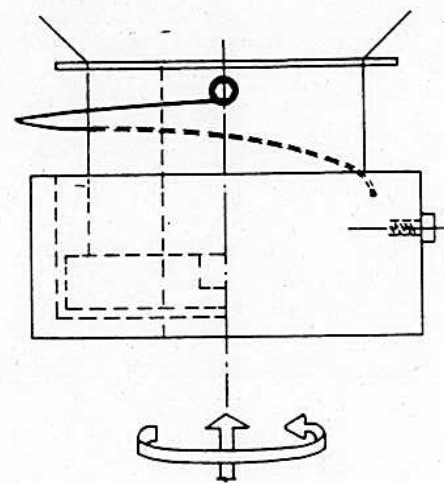


Figure 6.4
Détails du raccord pivotant Nilcon

Figure 6.3 Dimensions du scissomètre



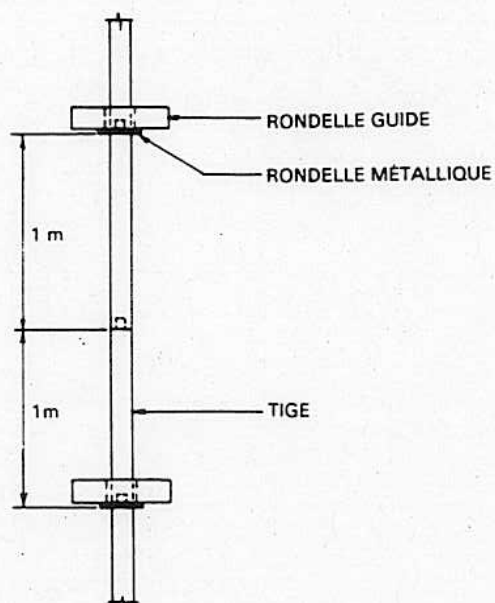
TIGE DÉGAGÉE



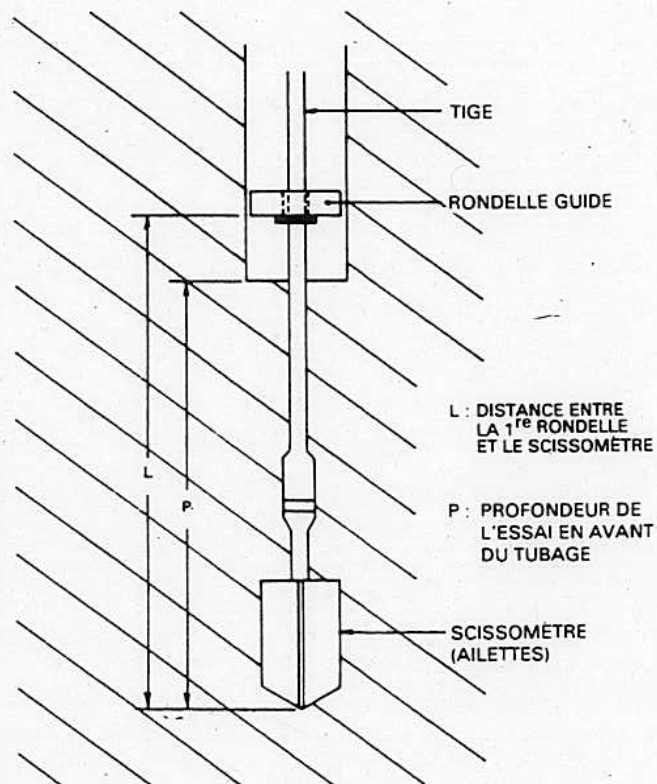
TIGE ENGAGÉE

- LÉGENDE :**
- | | | | |
|---|-------------------------|---|---|
| ① | UNITÉ D'ENREGISTREMENT | ③ | VIS DE RETENUE DU RESSORT |
| ② | PLAQUE DE FIXATION | ⑥ | VIS À TÊTE CREUSE SERVANT AU BLOCAGE DE |
| ③ | RESSORT | ⑦ | PARTIE MOBILE |
| ④ | PARTIE À L'ENREGISTREUR | | |

Figure 6.5 Bague d'embrayage du scissomètre Nilcon



A : DISPOSITION DES RONDELLES GUIDES



B : POSITION DE LA PREMIÈRE RONDELLE

Figure 6.6 Essai avec avant-trou



Conception des aménagements de production
hydraulique et géotechnique

Manuel de l'inspecteur en exploration géotechnique

Fascicule 7

**Puits et tranchées
d'exploration**

Décembre 2007

1. INTRODUCTION

L'exploration des bancs d'emprunt dont les sols servent au remblayage ou à la production d'agrégats se fait habituellement par des puits d'exploration. Leur profondeur ne dépasse pas quelques mètres à cause du mode d'excavation ; ils ne servent qu'à décrire la partie supérieure d'un dépôt. Si on prévoit extraire de grandes quantités de matériaux dans un même dépôt, il faut pratiquer une ou plusieurs excavations plus profondes avec l'équipement approprié et une technique qui permet de confirmer les volumes disponibles. Ces excavations profondes sont appelées « tranchées d'exploration ».

Le présent fascicule présente les méthodes d'identification et d'échantillonnage des sols à partir de ce type de sondages réalisés lors d'une campagne d'exploration de bancs d'emprunt ; la même procédure peut aussi s'appliquer aux puits servant à d'autres objectifs, tels que la construction de routes d'accès, la caractérisation géotechnique des sites à aménager, etc.

2. OBJECTIFS GÉNÉRAUX

Les puits sont des sondages qui permettent de décrire avec une grande précision la nature des sols environnants. L'inspecteur doit noter toutes les informations pertinentes en décrivant les sols (voir fascicule 1.) Une attention particulière doit être accordée au pourcentage de cailloux et blocs, compte tenu de l'importance qu'a cette donnée pour exploiter un banc d'emprunt ou mener des travaux d'excavation.

2.1. Conditions de sol

Les puits de faible profondeur (moins de 2 m) donnent des indications limitées sur les qualités des matériaux quand le dépôt étudié est destiné à un remblai de barrage ; en effet, sur environ 1 m, les sols sont souvent trop oxydés ou contiennent trop de matières organiques pour être utilisables. Aussi, lorsque le type de sol le permet, le sondage sera continué avec une tarière.

Les tranchées devraient avoir environ 6 m de profondeur pour confirmer de façon satisfaisante que le dépôt peut être exploité sur une grande épaisseur.

Pour les puits profonds et tranchées, il est préférable de faire la description et l'échantillonnage en deux étapes (0 – 3 m, 3 – 6 m). Pour les puits et tranchées présentant des risques de glissement, prévoir des pentes d'excavation sécuritaires, selon les conditions de sols. Un plan de travail devra alors être approuvé par le responsable des travaux.

3. DESCRIPTION VISUELLE

3.1. Description générale

Il faut noter sur le formulaire « Rapport de puits d'exploration » (voir figure 7.2) la date, le type d'équipement utilisé, les dimensions de l'excavation ainsi que toutes observations pertinentes.

La pile de sols excavés ainsi que la face décrite seront photographiées à l'aide d'une caméra numérique ; le numéro du puits ou de la tranchée et une règle graduée servant d'échelle doivent figurer sur chaque photo.

3.2. Description des sols

L'inspecteur ne doit jamais entrer dans l'excavation, à moins que celle-ci respecte les dispositions du Code de sécurité pour les travaux de construction, de la Loi sur la santé et la sécurité du travail. Un extrait de la Loi est fourni à la fin de ce fascicule. En cas de non respect de ces dispositions, la description de puits se fera obligatoirement à partir de la surface.

L'échantillonnage doit se faire au moyen du godet de la pelle hydraulique. Le cas échéant, il peut demander qu'un palier intermédiaire soit excavé.

Si les deux faces du puits ou de la tranchée sont de stratigraphie nettement différente, il faut les décrire sur deux formulaires séparés en indiquant l'emplacement de la face (ex. : nord)

Les limites des différentes couches de sol sont dessinées à l'échelle. Chaque couche de sol est identifiée et décrite sur le formulaire (voir les indications du fascicule 1). Décrire avec soin les particules de plus de 80 mm qui ne seront pas échantillonnées (dimension, arrondi, sphéricité, distribution, lithologie, altération, type de roche).

Bien indiquer sur le formulaire la dimension moyenne de la plus grosse particule ; si elle est beaucoup plus grosse que les autres, il faut le préciser dans la description. Lorsqu'un bloc de très grandes dimensions par rapport aux autres se trouve à proximité du puits, noter sa présence ainsi que sa dimension moyenne.

3.3. Pourcentage de cailloux et blocs (diamètre > 80 mm)

Le pourcentage des grosses particules rencontrées à chaque puits d'un banc d'emprunt doit être évalué, vu les conséquences sur les coûts d'exploitation. Lorsqu'il est élevé, l'exploitation du banc d'emprunt peut être remise en question, de sorte que cette donnée devient d'importance majeure.

À moins d'avis contraire au programme d'exploration, le pourcentage de cailloux et blocs ne sera établi par mesures granulométriques que dans le premier puits, de façon à avoir une référence fiable. Dans les puits subséquents, les pourcentages seront établis par évaluation visuelle. À cette fin, des photographies de référence sont montrées à la fin de ce fascicule.

3.3.1. Évaluation par mesures granulométriques

a) Pourcentage de blocs (diamètre > 300 mm)

Le pourcentage de blocs dans le puits est approximativement égal à la somme de la masse des blocs, divisée par la masse totale des matériaux excavés, et multipliée par 100. Pour que ce pourcentage soit établi correctement, il faut que l'inspecteur mesure chaque bloc retiré pendant l'excavation, ainsi que les dimensions de l'excavation.

Un pourcentage élevé de blocs peut être difficile à déterminer à partir de leurs masses individuelles. Une évaluation visuelle déduite des dimensions des plus gros blocs, du nombre de blocs, des difficultés d'excavation, du déplacement du site de l'excavation, etc., sera alors requise. La façon dont le pourcentage de cailloux et de blocs a été établi doit toujours être indiquée clairement de manière à ce qu'il soit possible de juger de la fiabilité de ce pourcentage.

Masse totale des blocs : Durant l'excavation, on évalue la masse de chaque bloc en utilisant la méthode du coefficient de forme. Dans cette méthode, la masse du bloc est obtenue en multipliant sa masse volumique (que l'on suppose égale à 2,65 sauf indication contraire) par son volume, qui correspond au produit de ses dimensions (D^3) et du coefficient de forme.

La relation entre la masse (M) et la dimension (D) de chaque bloc est alors la suivante:

$$M = C_f p_r D^3$$

C_f : Coefficient de forme

P_r : Masse du roc [kg/m³]

D : Dimension d'une pierre [m]

$$\text{et } D = \sqrt[3]{(a \times b \times c)} \quad \text{ou: } D^3 = (a \times b \times c)$$

Pour obtenir la dimension (D), l'inspecteur doit donc mesurer les trois plus grandes dimensions principales et perpendiculaires (a, b, c), tel qu'illustré à la figure 7.3. Quant au coefficient de forme, de façon simplifiée, celui-ci représente la proportion de volume qu'occuperait le bloc à l'intérieur d'une boîte rectangulaire de mêmes dimensions a , b et c . Ainsi, à titre d'exemples théoriques, le coefficient de forme d'une sphère est de 0,5 tandis que celui d'un cône circulaire est de 0,25.

Masse totale des matériaux excavés : La masse totale des matériaux excavés est égale au produit du volume de la tranchée par la densité des sols en place. Pour calculer le volume d'un puits, on évalue sa longueur et sa largeur à différents niveaux ainsi que sa profondeur moyenne (en ne considérant, s'il y a lieu, que l'épaisseur de la couche où il y a des blocs). La densité sera 2,2 pour un dépôt de sable et gravier et 2,3 pour un dépôt de till. S'il s'agit d'un sable uniforme, on considère la densité égale à 1,9.

b) Pourcentage de cailloux (diamètre compris entre 80 et 300 mm).

Pour établir ce pourcentage, on détermine la granulométrie directement au chantier, à l'aide de trois tamis de 80, 150 et 225 mm, et d'une balance portative de 100 kg (type Tumbold H-4745). La procédure générale pour l'analyse granulométrique par tamisage des cailloux est illustrée à la figure 7.1.

L'échantillon doit avoir une masse minimale de 2 000 kg (environ 1 m³ de matériau). Il sera prélevé sur une face du puits, dans une zone représentative, et sur une colonne verticale à section constante, en excluant la couche de surface. Cette opération est faite avec le godet de la pelle, en prenant soin de récupérer toutes les particules arrachées à la paroi. Déposer le matériau sur une toile étendue à côté du puits et calculer la granulométrie en pesant les particules retenues sur chaque tamis et celles passant le tamis 80 mm.

Le pourcentage de cailloux de l'échantillon s'établit ainsi : diviser la masse de cailloux (somme des particules retenues sur le tamis 80 mm) par la masse totale de l'échantillon (masse des cailloux plus masse passant le tamis 80 mm), puis multiplier par 100.

Ce pourcentage sera réduit de manière à tenir compte du pourcentage des particules de plus de 300 mm lorsqu'on déterminera la granulométrie complète des sols du puits. Procéder ainsi : multiplier le pourcentage de cailloux par

$$[(100 - \% \text{ de blocs})/100]$$

De la même façon, le pourcentage de particules passant le tamis 80 mm déterminé en laboratoire sera corrigé en fonction des mesures prises au site d'excavation. Procéder ainsi : multiplier le pourcentage passant chaque tamis par

$$[100 - (\% \text{ de blocs} + \% \text{ de cailloux})]/100.$$

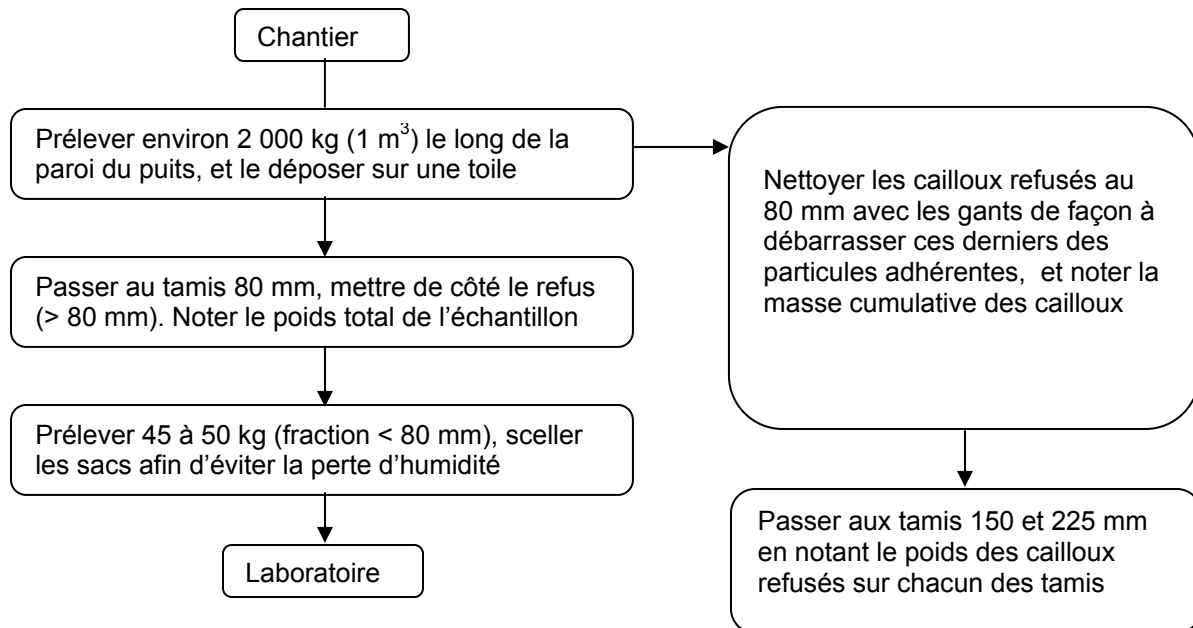


Figure 7.1 - Détermination du pourcentage de cailloux par tamisage (80 – 300 mm)

Procédure générale

3.3.2. Évaluation visuelle de la proportion de cailloux

La proportion de cailloux (80 mm < dia. < 300 mm) peut être établie en comparant la paroi à l'étude avec une photo ou, de préférence, plusieurs photos de parois de puits creusés dans le même type de sol, dont le pourcentage de cailloux a été évalué par mesures granulométriques. En comparant la densité apparente des cailloux visibles sur ces photos, on établit la proportion sur la paroi étudiée. Des photographies de référence sont montrées à la fin du fascicule.

3.4. Teneur en eau et nappe d'eau

La teneur en eau des sols et la profondeur de la nappe d'eau dans un puits ou une tranchée sont des facteurs qui peuvent conditionner l'utilisation du banc d'emprunt. C'est pourquoi il faut décrire les zones de suintement, les zones de sol humide, les venues d'eau et, si possible, évaluer leur

début ; pour ce faire, on peut mesurer la durée de remplissage d'une partie des puits dont on a estimé le volume.

3.5. Observations supplémentaires

Durant les travaux, toute observation utile est notée sur le formulaire, plus particulièrement :

- ♦ la cause de l'arrêt du sondage : capacité de l'équipement, refus sur un bloc ou le socle rocheux, éboulement, nappe d'eau ;
- ♦ la densité en place selon la difficulté ou la facilité d'excavation ;
- ♦ l'emplacement des éboulis sur une des parois ;
- ♦ la profondeur de la pénétration du gel et la présence de lentilles de glaces.

4. ÉCHANTILLONNAGE

4.1. Types d'échantillons

a) Échantillons pour teneur en eau (T-E)

Les échantillons pour teneur en eau doivent être prélevés immédiatement, sans attendre la fin de l'excavation du puits, et mis dans des contenants hermétiques. Les conserver à l'abri du soleil ainsi que du gel et les transporter dès que possible au laboratoire. Inscrire le numéro d'ordre avec les lettres T/E (teneur en eau) sur le contenant, sur un papier imperméable et indélébile placé dans le sac ainsi que sur le formulaire : ainsi, la teneur en eau sera mesurée dès que l'échantillon arrivera au laboratoire.

b) Échantillons en vrac

Les échantillons en vrac servent surtout aux analyses granulométriques et quelquefois aux essais Proctor. Ces échantillons sont prélevés de façon homogène sur toute l'épaisseur d'une couche.

Pour réduire le volume de l'échantillon et conserver sa représentativité, on recommande de procéder par quartage (voir fig. 7.4) après avoir déposé l'échantillon sur une toile et avoir enlevé les particules de plus de 80 mm ; la masse de l'échantillon à conserver doit correspondre, pour les analyses granulométriques, à celle donnée au tableau 7.1. L'inspecteur devra choisir, selon les directives du responsable, les puits où des échantillons pour essais Proctor seront requis. Pour ces essais, la masse devra être d'au moins 30 kg.

L'échantillon est inséré dans un sac de plastique en prenant soin de conserver tous les sols fins. Le sac de plastique bien identifié est fermé hermétiquement et introduit dans un sac de toile, ou un deuxième sac de plastique, pour éviter les perforations, fréquentes lorsque les sacs sont lourds. L'identification de l'échantillon se fait sur le sac même, ainsi qu'au moyen d'une étiquette isolée dans un sac étanche (Ziploc).

Tableau 7.1. Masse sèche des échantillons (gros granulats)

Grosseur nominale maximale des particules	Masse minimale de l'échantillon
--	------------------------------------

Mm	Kg
10	2
14	4
20	8
28	12
40	20
56	30
80	45

Source : Norme NQ 2501-025 (Sols-Analyse granulométrique des sols inorganiques)

4.2. Fréquence d'échantillonnage

Sauf indication contraire du responsable, suivre les règles ci-après pour échantillonner les puits de reconnaissance :

- ♦ Dans la couche superficielle, généralement composée de terre noire ou de matières organiques, on ne prélève en principe aucun échantillon, surtout si le puits a été creusé dans un banc d'emprunt. Mesurer cette couche et la décrire sur le formulaire pour évaluer l'importance du décapage qui sera éventuellement effectué.
- ♦ Le prélèvement d'échantillons à plus ou moins 1 m de profondeur est généralement inutile dans les dépôts de till. Ce sont souvent des sols lessivés ou oxydés inutilisables qui seront éliminés par décapage. Décrire et mesurer cette couche correctement.
- ♦ Les échantillons pour teneur en eau sont prélevés dans toutes les couches de sols fins, ou à chaque horizon identifié, et à des intervalles de 1 m dans les dépôts de till.
- ♦ Prélever des échantillons en vrac sur toute l'épaisseur de chacune des couches identifiées et ayant plus de 1 m d'épaisseur.

5. REMBLAYAGE

Remblayer tous les puits et tranchées après la description, l'échantillonnage et la prise des photos, sauf indication contraire du responsable.

Un puits peut avoir été creusé à un emplacement où ce type d'excavation destructive est indésirable, comme dans la fondation d'un barrage devant reposer sur le sol. Il est donc recommandé, plus particulièrement sur le site éventuel d'un barrage, de remblayer l'excavation de manière à reconstituer dans la mesure du possible, l'état antérieur du site. Pour éviter de laisser des vides entre les blocs, recompacter les sols par couche d'au plus 30 cm avec le godet de la pelle. Il importe surtout de remettre en surface la couche végétale qui aura été déposée à un endroit réservé à cette fin.

Sur le site d'un barrage existant, les matériaux ainsi que la mise en place doivent respecter les exigences de conception de l'ouvrage.

RAPPORT DE SONDAGE						
PROJET :		BASKATONG		SONDAGE :		PV-15-05
ENDROIT :		DEPOT SG-P-1A		DATE :		23 OCT 05
DOSSIER :		GOS 235-F		TECHNICIEN :		P. S.
ÉCHANTILLON			STRATIGRAPHIE			
TYPE et NUMERO	PROF. (m)	ÉTAT	PROF. (m)	DESCRIPTION	% CAILLOU (80-300 mm)	% BLOC (> 300 mm)
			353550			
			5172500			
			0,15	Terre végétale et racines.		
			0,40	Sable, un peu de silt et de gravier, brun oxydé. Nombreuses racines.		
			0,65	Sable un peu de gravier, traces de silt, brun oxydé. Quelques racines.	20%	0%
VR-1	1,20	X	1,05	Sable et gravier, traces de silt. Gravier sub-arrondis. Racines et matière organique. Brun oxydé.	0%	0%
2 sacs	1,70	X	1,75	Sable moyen à grossier, un peu de gravier, traces de silt, brun.	15%	0%
	2,00	X		Sable grossier et gravier, traces de silt, brun. Gravier et cailloux arrondis. Devient grisâtre vers le bas.	20%	
VR-2	a	X		Sable moyen à fin uniforme, traces de silt. Gris-beige. Stratifié.	0%	0%
2 sacs	3,00	X	3,30			
	3,40	X	3,90			
VR-3	3,70	X	3,90			
1 sac (pochet)						
				Fin du sondage à 3,90 m. Refus sur couche de blocs. Les parois s'effondrent trop pour pouvoir évaluer cette couche de blocs.		
DIFFICULTÉ D'EXCAVATION :			INFILTRATION D'EAU :		ÉTAT DES PAROIS :	
☐ normale ☒ difficile entre Raison ☐ bloc ☐ grande profondeur ☐ sol très dense ☒ E bouillonnement			☒ aucune infiltration d'eau ☐ suintement à/entre ☐ faible à/entre ☐ moyenne à/entre ☐ abondante à/entre ☐ locale à/entre		☐ stable ☒ instable entre 0,00 et 3,90	
RAISON DE LA FIN DU SONDAGE :			☒ Arrêt : ☐ profondeur demandée atteinte ☒ effondrement des parois ☐ profondeur max. de l'appareil		☒ Refus : ☐ roc ☒ blocs ☐ sol très dense	
DIMENSIONS DE L'EXCAVATION (m)			ÉQUIPEMENT :			
			☐ rétrocaveuse marque _____ modèle _____ ☒ pelle hydraulique marque KOMATSU modèle PC-150 ☐ tarière manuelle diamètre _____ ☐ hélicoïdale ☐ godet ☐ tarière mécanique diamètre _____ ☐ autre spécifier _____			
REMARQUES : La paroi EST du puit a été décrite.						

Figure 7.2 Rapport de puits d'exploration

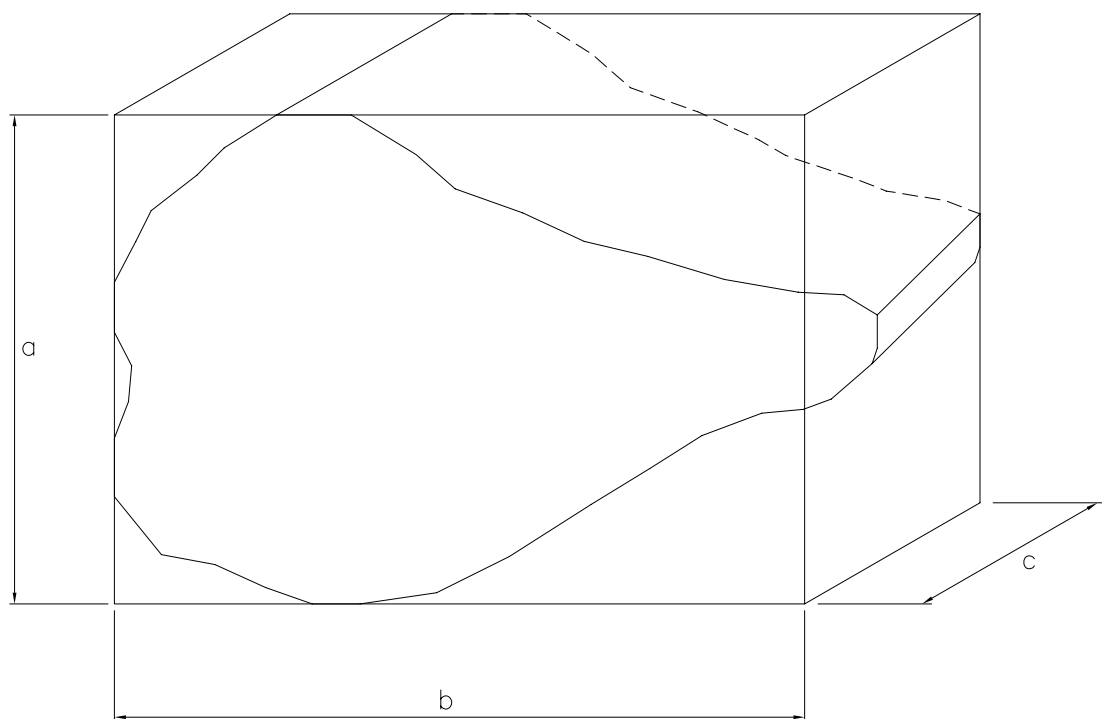
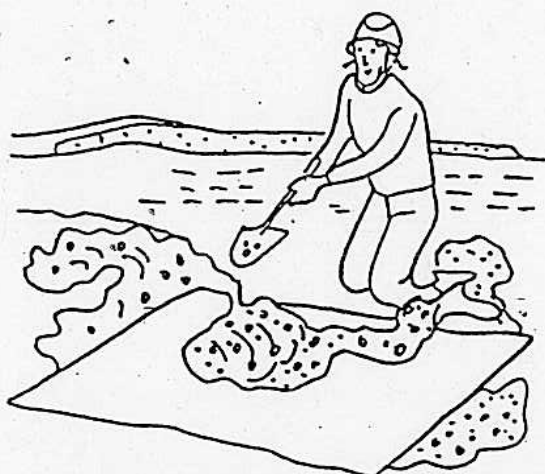
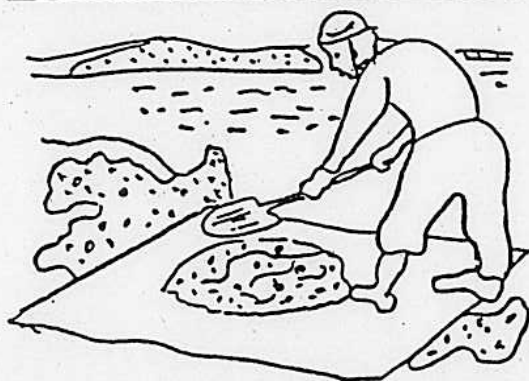


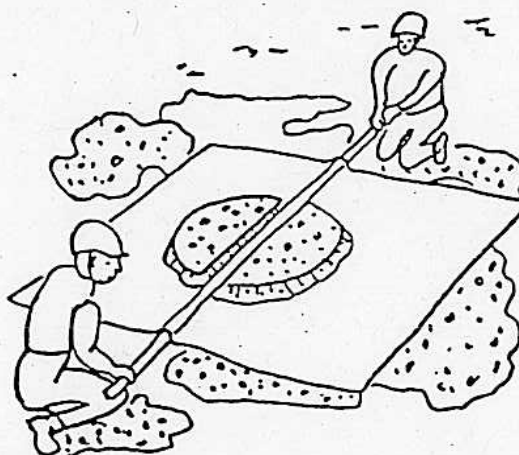
FIGURE 7.1
CALCUL DES DIMENSIONS D'UN BLOC



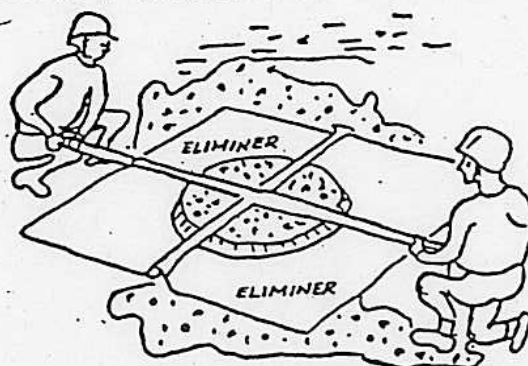
1. Déposer le sol recueilli sur une toile. Verser chaque pelletée au centre du cône ainsi produit pour que le sol se répartisse également de tous les côtés. (Eviter la concentration de particules grossières d'un côté du tas)



2. Aplanir le cône avec une pelle de manière à produire une couche circulaire d'épaisseur uniforme.



3. Insérer un bâton ou tuyau sous la toile au centre de la couche; lever ce bâton ou tuyau pour diviser la couche en deux parties. Retirer le bâton en laissant le pli à l'endroit de la division.



4. Insérer le bâton sous la toile à angle droit avec la première division, lever le bâton pour diviser la couche en quatre parties.
5. Eliminer deux quarts diamétralement opposés en prenant soin que toutes les particules fines soient enlevées.
6. Remélanger le matériau restant en prenant alternativement une pelletée de chaque quart. Répéter le quartage jusqu'à obtention de la quantité désirée.



PHOTOGRAPHIE DU Puits D'EXPLORATION PU-491-03

Figure 7.5
Pourcentage de cailloux: 35

ESKER
DÉPÔT 81A



PHOTOGRAPHIE DU Puits D'EXPLORATION PU-490-03

PUITS D'EXPLORATION PU-438-05



Fascicule 7

Annexe 1

Extrait du:

Code de sécurité pour les travaux de construction
(Loi sur la santé et la sécurité du travail)

SECTION 111

CHANTIERS DE CONSTRUCTION

§ 3.15. Creusements, excavations et tranchées

3.15.1. Services publics:

1. Avant d'entreprendre un creusement, l'employeur doit vérifier s'il y a des canalisations souterraines dans le périmètre des travaux à exécuter et, le cas échéant, situer leur emplacement exact sur le terrain.
2. Ces canalisations peuvent être débranchées temporairement, déplacées ou laissées en place, à condition:
 - a) que le service de voirie ou de distribution ait approuvé au préalable le procédé de creusage;
 - b) qu'on adopte une méthode de travail propre à empêcher tout dommage aux conduites; et
 - c) que des appuis soient mis en place provisoirement.

R.R.Q., 1981, c. S-2.1, r. 6, a. 3.15.1; D. 807-92, a. 9.

3.15.2. Construction voisine: S'il existe un danger que le creusement projeté menace la stabilité des constructions voisines et, par suite, la sécurité des travailleurs, il faut procéder au soutènement ou à la reprise des fondations en sous-oeuvre et une copie des plans et devis des travaux doit être conservée sur le chantier.

R.R.Q., 1981, c. S-2.1, r. 6, a. 3.15.2; D. 807-92, a. 10.

3.15.3. 1. L'employeur doit s'assurer que les parois d'une excavation ou d'une tranchée sont étançonnées solidement, avec des matériaux de qualité et conformément aux plans et devis d'un ingénieur. Aucun étançonnement n'est exigé dans les cas suivants:

- 1° lorsque la tranchée ou l'excavation est faite à même du roc sain ou lorsqu'aucun travailleur n'est tenu d'y descendre;
- 2° lorsque les parois de la tranchée ou de l'excavation ne présentent pas de danger de glissement de terrain et que leur pente est inférieure à 45° à partir de moins de 1,2 mètre du fond;
- 3° lorsque les parois de la tranchée ou de l'excavation ne présentent pas de danger de glissement de terrain et qu'un ingénieur atteste qu'il n'est pas nécessaire d'étançonner, compte tenu de la pente, de la nature du sol et de sa stabilité. Une copie de l'attestation de l'ingénieur doit être disponible en tout temps sur le chantier de construction.

On entend par roc sain, un roc qui ne peut être excavé autrement qu'à l'aide d'explosifs.

2. L'étançonnement doit se prolonger de 300 millimètres en dehors de l'excavation, sauf dans le cas d'une tranchée creusée sur une voie publique lorsque cette tranchée doit être recouverte pour rétablir la circulation lors des périodes où il ne s'y fait pas de travaux. Lorsque le blindage de l'étançonnement est constitué d'éléments non jointifs, la prolongation de 300 millimètres en dehors de l'excavation doit être munie d'une plinthe de 300 millimètres de largeur.

3. L'étançonnement des parois doit être effectué au fur et à mesure de l'avancement des travaux à moins qu'il puisse se faire avant le début du creusage.

4. Au cours des travaux, l'employeur doit s'assurer que les parois sont inspectées et entretenues de façon à ce qu'il n'y ait jamais:

- a) de pierre ou de matériaux susceptibles de s'en détacher; et
- b) de masse surplombante.

Lorsque les parois ont subi des contraintes environnementales ou climatiques, les inspections doivent être plus fréquentes.

5. Il est interdit:
 - a) de déposer des matériaux à moins de 1,2 mètre du sommet des parois;
 - b) de circuler ou de stationner des véhicules ou des machines à moins de 3 mètres du sommet des parois, à moins qu'un étançonnement renforcé n'ait été prévu en conséquence;
 - c) de laisser les parois se détériorer.
6. Les étançons doivent être enlevés par une personne expérimentée ou sous sa surveillance:
 - a) de bas en haut; et
 - b) seulement aux endroits où les travailleurs n'ont plus accès.

R.R.Q., 1981, c. S-2.1, r. 6, a. 3.15.3; D. 807-92, a. 11.

3.15.4. Moyens d'accès et surveillance: L'employeur doit voir à placer une échelle à tous les 15 mètres linéaires de tranchée ou par fraction de 15 mètres. Il doit également faire en sorte qu'une échelle suive constamment la progression des travaux.

Les échelles doivent prendre appui sur le fond de la tranchée et s'élever jusqu'à au moins 1 mètre au-dessus du sol.

Lorsque des travailleurs sont dans une tranchée, l'employeur doit poster une personne expérimentée en surface afin de déceler les failles, les éboulements ou toute autre source de danger.

R.R.Q., 1981, c. S-2.1, r. 6, a. 3.15.4; D. 807-92, a. 12.

3.15.5. Barricades et barrières:

1. Des barricades ou barrières d'au moins 900 millimètres de hauteur doivent être installées au sommet de toute excavation ou tranchée:

- a) dont la profondeur excède 3 mètres; ou
- b) pouvant être une source de danger pour les travailleurs ou le public.

2. Abrogé.

R.R.Q., 1981, c. S-2.1, r. 6, a. 3.15.5; D. 995-91, a. 9.

3.15.6. Assèchement: Toute excavation ou tranchée doit être maintenue raisonnablement asséchée.

R.R.Q., 1981, c. S-2.1, r. 6, a. 3.15.6; D. 807-92, a. 13.

3.15.7. Caissons:

1. Aucun travailleur ne doit pénétrer dans un caisson à moins:

- a) d'être protégé par un étançonnement en acier qui doit:
 - i. être de résistance suffisante;
 - ii. couvrir toute la profondeur au-dessus du travailleur qui y travaille; et
 - iii. dépasser le sol d'au moins 300 millimètres;
- b) d'utiliser une sellette conformément à l'article 3.9.17;
- c) supprimé;

- d) d'être sous la surveillance constante d'un autre travailleur jusqu'à ce qu'il soit remonté;
- e) d'accompagner chaque charge de matériaux évacués s'il ne peut se loger en dehors du caisson;
- f) que ne soit contrôlée toute accumulation d'eau ou de boue à l'intérieur du caisson;
- g) que les dispositions de la sous-section 3.21 ne soient satisfaites.

2. Aucun travailleur ne doit pénétrer dans la base élargie d'un caisson à moins que cette section ne soit étanchéifiée solidement ou qu'un ingénieur n'atteste que, compte tenu de la nature du sol et de sa stabilité, un tel étanchéifiement n'est pas nécessaire. Une copie de cette attestation doit être disponible en tout temps sur le chantier de construction.

R.R.Q., 1981, c. S-2.1, r. 6, a. 3.15.7; D. 807-92, a. 14; D. 329-94, a. 62; D. 35-2001, a. 21.

3.15.8. Puits:

- 1. Les parois des puits doivent être étanchéifiées conformément à l'article 3.15.3.
- 2. Pendant les travaux de fonçage, aucun travailleur ne peut descendre dans le puits à moins que les dispositions de la sous-section 3.21 ne soient satisfaites.

R.R.Q., 1981, c. S-2.1, r. 6, a. 3.15.8; D. 807-92, a. 15.

3.15.9. Forage: Une perforatrice doit être munie:

- a) de tuyaux fournissant l'eau dans les trous lors du forage; ou
- b) d'un système d'aspiration mécanique des poussières produites par les foreuses.

Le premier alinéa ne s'applique pas lorsque:

- a) le forage est horizontal et à ciel ouvert; et
- b) le forage est effectué au moyen d'un jumbo n'utilisant qu'un seul marteau-perforateur; et
- c) le foreur est à plus de 4 mètres de l'orifice du trou et utilise un appareil respiratoire conforme à l'article 2.10.9.

Pour l'application du paragraphe *b* du deuxième alinéa, on entend par «jumbo»: un appareil de forage composé d'un chariot automoteur à un ou plusieurs bras hydrauliques portant chacun un marteau-perforateur.

R.R.Q., 1981, c. S-2.1, r. 6, a. 3.15.9; D. 807-92, a. 16.

3.15.10. Âge minimal: Tout travail dans les excavations et tranchées est interdit aux travailleurs de moins de 18 ans.

R.R.Q., 1981, c. S-2.1, r. 6, a. 3.15.10.

§ 3.16. Manutention et entreposage des matériaux

3.16.1. Généralités:

- 1. Tous les matériaux d'un chantier de construction doivent être utilisés, déplacés ou transportés sur le chantier ou déchargés d'un véhicule ou d'une pile de façon à ne pas compromettre la sécurité des travailleurs et du public.
- 2. La charge imposée à un ouvrage permanent ou provisoire lors de l'entreposage de matériaux ne doit pas excéder la charge permise.



Conception des aménagements de production
hydraulique et géotechnique

Manuel de l'inspecteur en exploration géotechnique

Fascicule 8

**Manutention, transport et entreposage
des échantillons**

Décembre 2007

1. INTRODUCTION

Une fois l'échantillon de sol ou de roche prélevé et inséré dans son contenant, une série de soins doivent être apportés au site du prélèvement, durant son transport et son entreposage. Ceci s'applique plus particulièrement aux échantillons prélevés dans un état à peu près intact (non remanié) avec un tube à paroi mince ou avec un carottier spécial.

Le but du fascicule est de préciser les soins requis par les échantillons de sols, en incluant quelques indications pour les échantillons de roche. Le degré d'intégrité d'un échantillon lorsqu'il parvient au laboratoire influence directement la qualité sinon les résultats des essais sur cet échantillon ainsi que la description de sa micro-structure. Les impacts, les vibrations, le gel ou la surchauffe sont les principales causes qui affectent directement l'intégrité d'un échantillon.

2. MANUTENTION DES ÉCHANTILLONS

Les tubes à paroi mince (type Shelby ou Osterberg) renfermant de l'argile sensible doivent être manipulés en tout temps avec le plus grand soin. Une partie significative, sinon la totalité du contenu de ces tubes deviendra rapidement liquide si le tube est échappé, cogné régulièrement ou soumis aux vibrations d'un plancher sur lequel est fixé un moteur en marche. Les propriétés fondamentales de ce type de sol sont rapidement et définitivement modifiées au moindre incident de manutention.

Les échantillons de sol prélevés par mode de carottage doivent être placés délicatement dans des boîtes appropriées. Les parties d'échantillons réservées aux essais de densité ou de teneur en eau doivent être entourées d'une pellicule plastique dans les plus brefs délais.

3. ENTREPOSAGE SUR LE SITE DU FORAGE

3.1. Échantillons de sol

L'entreposage est fait sur le site de forage jusqu'à la fin de la période de travail. Tous les échantillons doivent être rapportés au laboratoire le jour même des prélèvements.

Il faut en toute circonstance éviter le gel des échantillons ; ce phénomène affecte particulièrement l'argile. Le faible gonflement de l'eau interstitielle après qu'elle a gelé brise la structure du sol qui perd ainsi ses propriétés à l'état intact.

De plus, il faut prévenir tout réchauffement excessif d'un échantillon par une source artificielle de chaleur ou par exposition aux rayons du soleil. Ne pas placer les tubes à paroi mince trop près des fournaies utilisées pour chauffer les abris de foreuses ou l'eau de forage.

Les échantillons, tout particulièrement les tubes à paroi mince, doivent aussi être protégés des vibrations et des chocs. En période de gel, comme il est impossible de garder les tubes à l'extérieur de l'abri, on devra les placer à l'intérieur, mais hors de la zone de travail. Les tubes seront déposés sur un coussin de caoutchouc mousse pour les soustraire aux vibrations dues à la foreuse ou à d'autres moteurs.

3.2. Échantillons de roche

Les carottes de roche sont placées dans des boîtes de bois conçues à cette fin, permettant de disposer les carottes dans le sens et la position correspondant à ceux en place dans le trou de forage, en évitant que deux rangées de carottes successives ne soient en contact direct, tel que détaillé au fascicule 2.

Les fragments ou les échantillons susceptibles de sortir des rainures doivent être entourés d'une pellicule plastique.

Les boîtes de roche restent ordinairement sur les sites de forage jusqu'à la fin du forage. Les boîtes doivent être déposées dans un endroit stable, hors de la zone de travail. Lorsqu'une boîte est remplie, la fermer et l'attacher immédiatement après s'être assuré que les profondeurs sont indiquées correctement.

Chaque boîte doit être clairement identifiée selon les indications données dans le fascicule 2. Les inscriptions doivent être permanentes.

4. TRANSPORT DES ÉCHANTILLONS

Les échantillons en tubes (non remaniés) doivent être emballés et transportés de façon à ce qu'ils soient protégés contre les vibrations (tel le plancher d'un hélicoptère, d'un véhicule), les chocs, les variations de température et surtout le gel.

Les échantillons de sol remanié contenus dans des sacs sont rassemblés dans de plus grand sacs de coton. Ces échantillons doivent être en tout temps à l'abri du gel et de la chaleur. Ils ne doivent pas être soumis à de grandes vibrations.

4.1. Échantillons en tube

Le transport des échantillons en tube à paroi mince du site de forage au laboratoire ou à un camp de base est généralement effectué par un véhicule terrestre (camion, chenillette). Lorsque les conditions de transport le permettent, l'inspecteur portera les tubes lui-même ; autrement, ils seront placés sur un coussin en caoutchouc mousse épais à l'intérieur du véhicule.

Les tubes ne doivent jamais être placés dans la soute d'un hélicoptère ou dans la boîte d'un camion si ces endroits ne sont pas chauffés par grand froid et couverts de caoutchouc mousse pour réduire l'effet des vibrations. Les tubes ne doivent jamais être déposés directement sur le plancher d'un véhicule. Il est préférable de les placer entre les essieux avant et arrière d'un véhicule de manière à minimiser les impacts sur la route.

Pour le transport sur de longues distances (entre deux camps d'exploration, d'un camp à la ville, etc.), les tubes doivent être placés dans des boîtes ne contenant que 2 tubes et dont les dimensions sont d'environ 35 cm x 35 cm x 100 cm. Les tubes doivent être séparés entre eux ainsi que des parois de la boîte par 5 cm de caoutchouc mousse.

Si le transport se fait par avion, on doit doubler la protection de mousse et on doit s'assurer que la boîte est placée dans une soute à l'abri du gel.

Chaque boîte doit être clairement identifiée sur le dessus, un côté et une extrémité.

Les inscriptions doivent être permanentes. Indiquer le nombre d'échantillons, leur provenance et leur destination, inscrire selon l'usage les mentions « FRAGILE – CRAINT LE GEL – MANIPULER AVEC SOIN ».

L'expérience a montré que des échantillons extraits de tube et cirés selon les techniques en vigueur pouvaient supporter plus facilement un transport sur de longues distances. Il est donc recommandé qu'un technicien de laboratoire procède à l'extraction des échantillons dès que possible lorsque ceux-ci doivent être transportés sur de longues distances.

4.2. Échantillons carottés (sols)

Les sacs de polyéthylène se déchirent ou se perforent facilement. Ils doivent être transportés dans des boîtes solides, des sacs de coton ou tout autre contenant propice au transport de ce type de marchandises. Chaque échantillon doit être identifié quant à sa provenance (dépôt, site), sa profondeur, la date du prélèvement et le rang de l'échantillon par rapport au nombre total recueilli au même sondage.

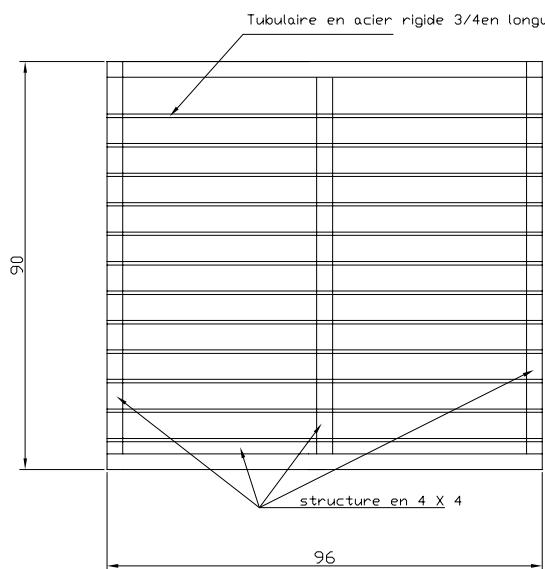
Les contenants doivent également être identifiés clairement quant au nombre d'échantillons qu'ils contiennent, leur provenance et leur destination.

Les échantillons pouvant servir pour des évaluations de la teneur en eau naturelle doivent être scellés hermétiquement et protégés du soleil et du gel. La teneur en eau de ces échantillons doit être mesurée le plus rapidement possible.

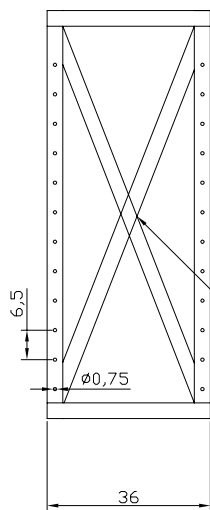
4.3. Carottes de roche

Durant le transport, on doit veiller à ne pas renverser, cogner ou échapper les boîtes pour éviter le bris de carottes. Pour le transport, les boîtes doivent être attachées solidement.

À la fin de la campagne d'exploration, toutes les boîtes doivent être entreposées généralement sur des tablettes spécialement conçues à cet effet, à un endroit désigné par le responsable. Lorsqu'il n'y a pas d'endroit disponible, les boîtes de carottes seront entreposées sur des étagères érigées à l'intérieur d'un conteneur, tel que détaillé à la figure 8.1.



FACADE ASSEMBÉE EN MODULE DE 96 po
ENVIRON 120 BOITE DE CAROTTE DE RDC PAR MODULE (8 pi)

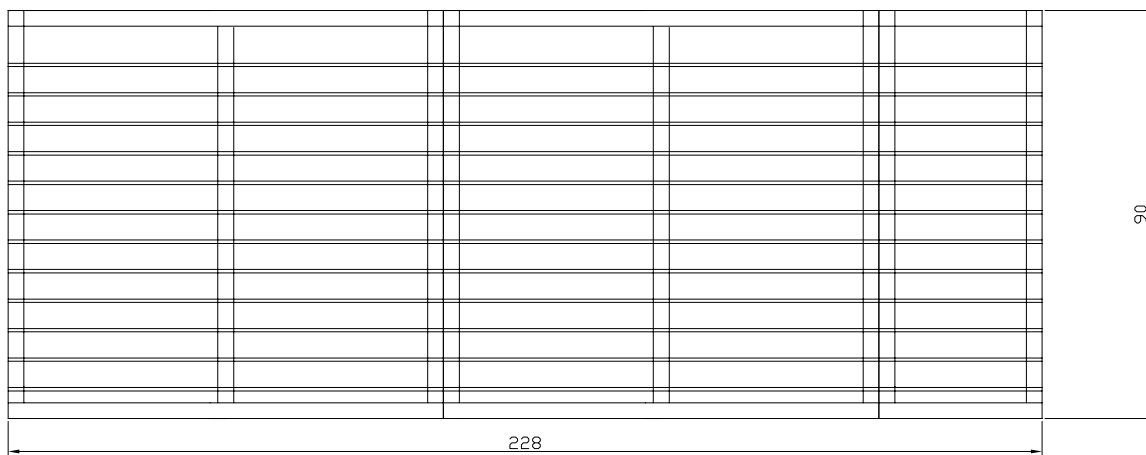


VUE DES CÔTÉS ET DU CENTRE AVEC ENTRETOISES

Entretoise en 2 X 4



FACADE ASSEMBÉE EN MODULE DE 36 po (si nécessaire)



POUR CONTENEUR DE 8 pi X 20 PI ASSEMBLAGE DE 2 MODULE DE 8 pi ET UN DE 3 pi



Conception des aménagements de production
Hydraulique et géotechnique

Manuel de l'inspecteur En Exploration géotechnique

Fascicule 9

Sécurité des intervenants au terrain

Décembre 2010

INTRODUCTION

Ce document a pour but de fournir des lignes directrices concernant la sécurité des intervenants au terrain lors de la réalisation d'une campagne d'investigations géologiques et géotechniques. Il fait partie intégrante du « Manuel de l'inspecteur » de l'unité Conception des aménagements des production, hydraulique et géotechnique (CAPHG).

Il s'adresse d'abord aux firmes de géotechnique (laboratoires d'investigations) et à leurs sous-traitants qui réalisent les relevés au terrain.

Il s'adresse également au personnel de l'unité Conception des aménagements des production, hydraulique et géotechnique devant se rendre sur le site des relevés, de façon sporadique ou à temps plein.

La réalisation des relevés au terrain et des activités de construction hors chantier de construction est assujettie en terme de sécurité au « Guide-cadre de prévention en santé et en sécurité du travail » (GCP) d'Hydro-Québec Équipement et services partagés. Le présent document traite d'informations spécifiques sur les pratiques de sécurité à suivre lors de la réalisation de relevés géologiques et géotechniques. Il ne remplace pas le guide-cadre, ni les encadrements et directives d'Hydro-Québec en vigueur sur ses chantiers de construction et dans ses installations (centrales, postes et lignes).

1. GUIDE-CADRE DE PRÉVENTION EN SANTÉ ET EN SÉCURITÉ DU TRAVAIL

Le GCP s'applique à toute activité effectuée par un fournisseur interne ou externe lorsque les deux critères suivants sont retrouvés simultanément et ce, peu importe le cadre organisationnel dans lequel l'activité est effectuée :

- Mobilisation du personnel à un site de travail autre que la place d'affaires de l'employeur;
- Activité de nature autre qu'une activité de construction.

Le GCP explique les différents cadres organisationnels décrivant le contexte d'un site de travaux d'investigations à un moment donné. Il énumère les rôles et obligations du gestionnaire de projet, du fournisseur interne ou externe (un laboratoire d'investigations par exemple), du travailleur (incluant les employés de l'unité CAPHG) et du spécialiste en sécurité. Il traite des équipements de protection individuels, des premiers secours (formation, équipement), des moyens de communication et de transport, ainsi que de différentes formalités (mesures à l'accueil, en déplacement, etc.). Enfin, des annexes décrivent les exigences à respecter pour la préparation d'un plan de sécurité spécifique, ainsi que lors de la réalisation de travaux dans des circonstances particulières (à proximité ou au-dessus de l'eau, sur couvert de glace, en terrain dangereux, etc.).

Le gestionnaire de projet transmet une copie du GCP à la firme de géotechnique qui doit s'engager par écrit à le respecter.

2. PLAN DE SÉCURITÉ SPÉCIFIQUE

Les firmes de géotechnique mandatées pour réaliser des relevés géologiques et géotechniques au terrain doivent présenter un plan de sécurité spécifique au responsable désigné d'Hydro-Québec.

Ce plan est un document de planification de la prévention au travail, propre à un fournisseur et valide pour la durée du contrat : il inclut les types de relevés et de travaux, les activités pouvant représenter des risques pour la santé et la sécurité des travailleurs, ainsi que les moyens de prévention spécifiques aux activités liées à un ou plusieurs sites des travaux. Ce plan doit aussi contenir les points suivants :

- organisation des relevés;
- organisation de la santé sécurité au chantier;
- localisation des installations et des travaux;

- nature des relevés techniques et des activités de support logistique;
- organigramme avec rôle et responsabilité des effectifs;
- liste du personnel avec qualifications et CV;
- certification des équipements;
- responsabilités et obligations de la firme de géotechnique, des contremaîtres, des travailleurs;
- accueil du personnel;
- tâches, outils, équipements, matériaux, méthodes pratiques;
- équipements personnels et collectifs de sécurité (lunettes, bottes, dossards, gants, casques, protecteur d'ouïe, harnais, vêtements appropriés à l'emploi);
- carte de localisation du projet et pyramide des distances;
- en milieu isolé, liste des coordonnées en latitude, longitude et MTM nad83 des principaux points de travaux (peuvent être fournies par HQ si requis);
- plan de communication et structure d'alerte.

Le représentant d'Hydro-Québec s'assure de l'application par le fournisseur de son plan de sécurité spécifique et lui fournit un support logistique. Ce support couvre les services de transport aérien, de bureautique et de télécommunication.

La firme de géotechnique doit prévoir des réunions de sécurité généralement aux 2 semaines en présence du représentant d'Hydro-Québec. Les ordres du jour sont fonction de la nature des travaux et des problèmes de santé et sécurité relevés ou prévisibles.

Le plan de sécurité spécifique s'applique à tous les travailleurs et visiteurs au chantier (personnel de la firme de géotechnique, d'Hydro-Québec, des consultants, etc.).

3. ASPECTS PARTICULIERS POUR LES INVESTIGATIONS GÉOLOGIQUES ET GÉOTECHNIQUES

Pour faciliter l'atteinte des objectifs, des informations sont diffusées à tout le personnel, des actions sont posées et des pratiques sont instaurées pour les différents aspects relatifs aux travaux et relevés.

4.1. Accueil

L'accueil est fait par le représentant d'Hydro-Québec et/ou le responsable chantier de la firme de géotechnique pour le personnel d'Hydro-Québec, les consultants, les visiteurs au chantier et pour les pilotes d'hélicoptère. Le responsable chantier s'occupe aussi de la séance d'accueil pour son personnel. L'information transmise est fonction de la nature des interventions prévues pour les travailleurs.

4.2. Santé

Les travailleurs, qu'ils proviennent d'Hydro-Québec, de firmes de géotechnique ou d'entrepreneurs et qui ont à travailler de façon régulière sur le chantier, sont tenus de passer un examen médical et de transmettre, avant le début des travaux, les résultats de cet examen en utilisant le formulaire 963-1504 d'Hydro-Québec préparé à cet effet. Cette mesure ne s'applique pas pour les visiteurs occasionnels. Le certificat signé par le médecin examinateur est transmis au Centre de santé d'Hydro-Québec Équipement. Le travailleur se présente avec une copie du certificat.

4.3. Visiteurs

Toute personne qui se rend sur un site d'investigations géologiques et géotechniques doit se conformer au plan de sécurité spécifique en vigueur. C'est le cas entre autres du personnel d'Hydro-Québec et de celui des firmes externes qui désirent se rendre ponctuellement sur place dans le cadre de leur travail.

Avant de partir, les visiteurs doivent contacter le responsable désigné d'Hydro-Québec sur place, afin de planifier leur séjour et de s'informer des mesures de sécurité auxquelles ils seront assujettis, notamment en ce qui concerne les équipements de sécurité personnels à apporter.

4.4. Premiers soins et premiers secours

Des trousse de premiers soins doivent être disponibles au bureau de chantier, dans les hélicoptères et aux sites des travaux. Les équipes transporteront avec elles des trousse individuelles ou d'équipe. Le contenu des trousse de survie est fonction du nombre de personnes, de la nature et de la localisation des travaux. Les déplacements en forêt se feront toujours avec un minimum de 2 personnes. Une partie ($\pm 10\%$) des travailleurs devra avoir suivi des cours de secourisme en milieu de travail. Ces personnes seront clairement identifiées.

4.5. Communications, moyens de localisation et d'orientation

Toutes les équipes sur le terrain et tous les hélicoptères sont équipés de téléphones satellitaires ou cellulaires selon la réception des signaux disponibles et de radios avec les fréquences d'Hydro-Québec pour permettre une communication entre les équipes terrain, la base d'opération et les hélicoptères. Certaines équipes ont leur propre radio FM pour la communication sol-sol entre elles.

La liste des numéros de téléphone est mise à jour régulièrement. Nous tenons également une liste à jour des numéros de téléphone de tous les pilotes et de leurs mécaniciens, de nos entrepreneurs, ainsi que des services de santé et d'urgence (SQ, SOPFEU, ambulances, Médévac, Sécurité civile, MRC, Transports Québec, Transports Canada – Sécurité Maritime).

Pour les campagnes d'investigations éloignées, tous les responsables d'équipe doivent utiliser un appareil GPS de poche afin de pouvoir s'orienter et bien cibler les différents sites de travail pour les puits, les lignes sismiques, les forages, etc. De plus, en cas d'urgence cet appareil fournit en temps réel la position exacte des équipes de travail.

4.6. Équipements de protection personnelle et directive

Les bûcherons et les aides bûcherons travaillant au déboisement des zones d'investigation géotechnique doivent porter les équipements de protection personnelle requis par le code de sécurité pour les travaux de construction (casque avec visière, pantalons, imperméables, bottes de sécurité, gants, dossards, extincteur personnel).

Le personnel affecté aux activités de logistique ou de soutien à d'autres activités utilise les équipements de protection personnelle adaptés à leurs conditions de travail (casque, lunettes, gants, dossards, imperméables, bottes de sécurité). En milieu forestier et pour les travaux en présence d'hélicoptères, le port de la veste de visibilité est obligatoire pour tous.

Le personnel de sondage (puits et forages) utilise les équipements de protection personnelle appropriés (casque, lunettes, gants, bottes de sécurité, dossards pour l'élinguage, imperméables). Dans le cas des excavations de puits et de tranchées, le surveillant ne doit pas descendre dans le fond d'une excavation de plus de 1,2 m de profondeur pour effectuer l'échantillonnage, lequel doit se faire à partir de la surface et du godet de l'excavatrice (référer à la loi sur la santé et la sécurité du travail, chapitre 3.15).

Souvent en milieu forestier isolé, plusieurs personnes demandent une protection supplémentaire contre l'intrusion des ours près des équipes. Il existe sur le marché, dans les boutiques spécialisés, différents moyens pour éloigner les bêtes (poivre de cayenne, alerte sonore, etc.). Lorsque nécessaire, la firme de géotechnique doit fournir aux travailleurs ce qu'ils demandent pour éloigner les ours. Cependant, lorsque le transport hélicopté est utilisé, tous ces moyens de défense peuvent être considérés comme matière dangereuse ou une arme au sens de la loi et il faut valider avec le transporteur s'il est en mesure de les acheminer jusqu'au lieu de travail.

Des avis avec un plan de localisation et des coordonnées sont affichés tous les matins afin de signaler la présence de relevés sismiques (sautages à l'explosif sur terre et dans l'eau) ou la

présence de câbles d'acier le long de la rivière. Les câbles sont rendus plus visibles par la présence de ruban phosphorescent orange. Toutes les équipes de travail doivent en prendre connaissance avant leur départ le matin afin d'éviter tout accident potentiel.

4.7. Hélicoptères

Seul l'usage d'hélicoptères affrétés auprès de l'unité de Transport aérien d'Hydro-Québec est permis pour l'ensemble des relevés. Le représentant d'Hydro-Québec est responsable de la gestion de la flotte d'hélicoptères qui servira à transporter le personnel et les équipements aux différents sites de relevés. Chacun des appareils est équipé d'une trousse de premiers soins, d'une trousse de survie, d'un téléphone satellitaire, de radios FM, d'un extincteur et d'une radiobalise (ELT), et la plupart sont équipés d'un système de localisation GPS en continu suivi par les responsables des compagnies. Compte tenu de la topographie accidentée de certains secteurs, des conditions météorologiques adverses et du transport d'élingues, nous devons hausser les exigences de base sur demande à l'unité Transport aérien quant au nombre d'heures de vol exigées et l'habileté des pilotes à élinguer sur les appareils en cause.

À chaque soir, le responsable d'Hydro-Québec prépare pour le lendemain les plans de vol de tous les hélicoptères avec le type d'hélicoptère, l'immatriculation, le nom du pilote et son numéro de téléphone satellitaire, le nom des passagers avec leur numéro de téléphone (voir exemple en annexe), la prévision des déplacements et l'horaire de travail. Les plans de vol sont suivis par des préposés radio installés au poste Montagnais pour l'est de la province jusqu'à Québec et à l'aéroport de Némiscau pour le reste de la province, ainsi que par le responsable à la base pour les investigations. Les pilotes doivent se rapporter régulièrement et signaler leur présence lorsqu'ils sont en déplacement sur le territoire. Pour certains secteurs de la province, des liens doivent être maintenus avec le coordonnateur des forces armées de l'OTAN, car les zones d'étude d'Hydro-Québec sont parfois comprises dans leur zone de pratique de vol à basse altitude (secteur nord de la Romaine et de la rivière Petit Mécatina par exemple).

On retrouve à l'endos des plans de vol les informations concernant, s'il y a lieu, le transport de matières dangereuses.

À chaque matin, le pilote procède à un rappel des principales règles de sécurité concernant le déplacement des passagers lors de l'atterrissage ou du décollage des appareils.

Les travaux d'élinguage des pièces et équipements lourds sont faits en majorité par des appareils ASTAR 350 B-2, BA et Bell 205. Les charges sont préparées par un élingueur qui s'assure de la préparation et de la réception des charges et qui voit à former et / ou à conseiller le personnel de terrain concerné par ces travaux. Le déplacement des pièces lourdes est planifié le soir précédent, de façon à préparer le plan de vol pour le lendemain et à s'assurer que les équipes concernées seront prêtes pour l'envoi et la réception des charges. En plus des exigences du guide cadre à la réception des charges pour le déplacement des foreuses, il est obligatoire d'avoir 2 personnes à la réception de la charge et un signaleur avec radio FM en simplex avec le pilote. De plus pour les charges lourdes, il est nécessaire d'avoir des câbles guides pour stabiliser la charge avant de la fixer.

Souvent dans les campagnes d'envergure, il y a des « hélipads » avec marches pour les passagers et des rampes d'approche pour les barils aux caches à carburant. Des manches à vent et des extincteurs sont mis en place aux caches. Il est interdit de fumer aux aéroports et aux caches à carburant.

À chaque matin nous affichons, pour l'ensemble des pilotes et des équipes, les prévisions météorologiques détaillées de la région disponible sur le site Internet de Nav Can, de même que les prévisions pour les prochains jours. En cas de conditions météorologiques douteuses, un hélicoptère "éclaireur" est envoyé vers les sites afin de transmettre un rapport plus détaillé pour chacun des sites de travail. Un suivi des changements de conditions est fait à partir de la base et des différentes équipes au terrain.

4.8. Travail et transport sur l'eau et travaux sur glace

Parfois, des équipes doivent utiliser des chaloupes pour se déplacer sur les plans d'eau et y réaliser des relevés et des échantillonnages ou simplement pour se rendre à leur lieu de travail.

Pour tous ces cas, les propriétaires des chaloupes et des barges les auront fait immatriculer et auront obtenu les permis appropriés de Transport Canada – Sécurité Maritime. Les embarcations et les barges seront équipées avec le matériel demandé par la nouvelle réglementation tout en tenant compte des directives internes d'Hydro-Québec à ce sujet. Se référer au guide-cadre de prévention en santé et sécurité à l'annexe II – B qui traite des travaux à proximité ou au-dessus de l'eau. Pour tous les travaux sur un couvert de glace se référer au guide-cadre de prévention en santé et sécurité à l'annexe II-D et pour les travaux en terrain dangereux à l'annexe II-G

4.9. Survie en forêt

Toutes les équipes qui travaillent en forêt sont ramenées à la base à chaque jour et nous exerçons un suivi serré des conditions météorologiques, afin de s'assurer du retour quotidien du personnel en toute sécurité. Le risque de dormir en forêt advenant un bris ou une défectuosité d'un hélicoptère est très faible compte tenu du nombre d'hélicoptères de remplacement immédiatement disponibles et de la qualité de la couverture des communications.

Advenant l'obligation de coucher en forêt, signalons que chaque hélicoptère est équipée d'une trousse d'urgence pour le pilote et ses passagers et que les caches à carburant possèdent un abri d'urgence et des kits d'urgence pour plus ou moins 10 personnes pour une durée de quelques jours. Plusieurs équipes transportent souvent avec elles un minimum d'équipement leur permettant de passer au moins une nuit en forêt et toutes les équipes au terrain ont à leur disposition une trousse de survie aux différents sites des travaux .

4.10. Mesures d'urgence et accidents / incidents

Le plan d'urgence en cas d'incident ou d'accident grave identifie les rôles et les responsabilités des intervenants, le schéma de communication, les interventions requises, les ressources humaines et matérielles disponibles, les autorités concernées, les adresses et numéros de téléphones de tous les intervenants et la fréquence des mises à jour.

Toute blessure est rapportée et les travailleurs reçoivent les premiers soins et premiers secours. Un registre des accidents et des premiers secours est tenu (nom des blessés, date et heure, description des blessures, nature des premiers soins). Les consultants et les entrepreneurs doivent aviser immédiatement le responsable d'Hydro-Québec de tout événement qui a ou qui aurait pu causer des blessures ou des dommages matériels significatifs et, s'il y a lieu, suggérer des moyens de les corriger. Ils doivent également aviser, à l'intérieur de 24 heures, la CSST dans les cas suivants : décès d'un travailleur, accident d'un travailleur impliquant un arrêt de travail pendant 10 jours ouvrables, des blessures à plusieurs travailleurs entraînant un arrêt pendant au moins 1 journée, des dommages matériels de plus de 50 000 \$.

Les consultants et les entrepreneurs préparent le formulaire d'enquête et d'analyse d'Hydro-Québec sur tout accident ou incident survenu dans les relevés et les travaux, s'assurent qu'un rapport est rédigé et prennent les mesures nécessaires pour en éviter la répétition. Ils transmettent le rapport d'enquête au responsable d'Hydro-Québec. Ce dernier, de pair avec les consultants et les entrepreneurs, s'assure de l'application des recommandations contenues dans le rapport d'enquête.

Dans le cas d'un déversement accidentel important, le responsable d'Hydro-Québec est avisé. Ce dernier verra alors à prendre les mesures nécessaires.

Les listes téléphoniques suivantes sont mises à jour sur une base régulière par le responsable d'Hydro-Québec.

- Personnel Hydro-Québec et consultants au bureau de la base
- Téléphones satellitaires des pilotes d'hélicoptère et des équipes au terrain (Hydro-Québec et consultants)
- Bande FM d'Hydro-Québec pour la couvertures du Projet
- Entrepreneurs et compagnies sous contrat avec Hydro-Québec
- Organismes publics

Références :

- Consignes de sécurité pour les passagers d'hélicoptères (unité Transport aérien, septembre 2003) ;
- Guide-cadre de prévention en santé et en sécurité du travail

ANNEXE A

EXEMPLES DE PRÉPARATIONS DE VOL POUR LES ÉQUIPES TERRAINS

27-oct-10 Chantier Romaine 3 Route principale

ÉQUIPES DE TRAVAIL

Tous les départs à 7:00 Route km 74 à 103

			PILOTE	voyage no aller	voyage no retour
ROUTE 1	Téléphone	endroit			
Maxime Servant		99+300	GMGN	1	2
Marius Mestokosho	881 622 413 165		Christian Roquebrune		
Mike Kaltush			881-651-478-787		
Jimmy Tremblay	881 651 424 786	km 96+070	retour 10 :15 hre		
Simon Bariault	route 3	en montant			
ROUTE 2	Téléphone	endroit			
Yan Lévesque	881 651 424 790	89+400	G0VH	1	2
Canuel Biroté			Rémy Leduc		
Kevin Quoquochi			881-651-424-789		
Danny Chapados	équipe Jimmy				
	Téléphone	endroit			
Jean Paquin	881 651 424 814	89 +000	GMGN	2	1
Gilles Boivin			Christian Roquebrune		
Catherine Avril			881-651-478-787		
	Téléphone	endroit			
Antoine Proux	881 651 424 225	84 +000	G0VH	2	1
Christian			Rémy Leduc		
			881-651-424-789		

RETOUR À 16:45 pour le 2 ième voyage

Liste téléphonique

Steeve Edwards	Hydro-Québec	418-538-7676	Poste 2430
André Lavoie	Hydro-Québec	418-538-7676	Poste 2430
Éric Levesques	Hydro-Québec	418-538-7676	Poste 2430
Gérald Paquet	Arpentage	418-538-7676	Poste 2456
Chrystian Déry	Arpentage	418-538-7676	Poste 2455
URGENCE		418-538-7677	Poste 2911

Fréquences Radio

Canal	RX	TX	PL	Nom
2				Route 2
5				Simplex 1
6				Simplex 2

Note : Ces plans de vol sont spécifiques aux investigations Géotechniques et n'excluent en rien l'obligation des pilotes de faxer un plan de vol au poste de surveillance Montagnais pour l'est de la Province, ces plans de vols et toutes les informations nécessaires sont disponibles au bureau de chantier des investigations, d'ailleurs il y a une étroite collaboration pour le suivi des aéronefs entre la base locale et les postes de commande d'Hydro-Québec.