



SNC • LAVALIN

SNC-Lavalin inc.

591, rue Le Breton

Longueuil (Québec) Canada J4G 1R9

☎ 514.331.6913 📠 450.674.3370

Conception/Construction des assises des conduites de béton en présence d'eau

Pierre nette !!... Qui a dit qu'on pouvait utiliser de la pierre nette
comme assise des conduites ?!

Document préparé par :

Louis D'Amours, ing., M.Sc.A.
SNC-Lavalin inc.

N/Dossier n° : 688993
N/Document n° : 688993-EG-L01-00

Mars 2022

Distribution : Mme Nathalie Lasnier, ing. - Tubécon inc. (copie numérique)



Table des matières

1	Contexte	1
2	Principe de conception des assises sous une conduite en béton armé	2
3	Principe géotechnique relié à la mise en place d'une assise conforme (de type 1)	3
4	Description des méthodes de drainage temporaire en relation avec divers types de sol	4
5	Cas spéciaux (sur l'argile)	8
6	Pré-requis pour un bon déroulement de projet	9
6.1	Consultant en géotechnique	9
6.2	Concepteur du projet	10
6.3	Aux donneurs d'ouvrage	10
7	Conclusion	11

1 Contexte

Pierre nette !!... Qui a dit qu'on pouvait utiliser de la pierre nette comme assise des conduites ?! Il arrive souvent de se faire demander si l'entrepreneur peut utiliser de la pierre nette (pierre possédant un seul calibre nominal, tel pierre nette 20 mm (3/4")) directement sous l'assise des conduites.

La réponse rapide est non ! Pas du tout !

Si nous faisons une comparaison similaire :

Que répondiez-vous si l'entrepreneur voudrait diminuer la largeur des empattements des fondations d'un bâtiment à 1,0 m au lieu des 2,0 m exigés au devis.

Vous diriez : Non jamais ! Car ceci constitue un changement au design qui relève du concepteur... Et bien c'est la même chose dans le cas des assises de conduite.

Ainsi, nous tenterons de vous expliquer dans ce document, pourquoi la pierre nette est à proscrire, en plus de présenter des solutions lorsque les conditions de sols sont difficiles.

Le présent rapport traite de l'installation de conduites en béton armé. Toutefois, ce propos général de la présence d'eau dans les tranchées et de la gestion de cette dernière touche tous les types de conduites.

Mentionnons aussi à titre de référence que le *Manuel de construction et de réparation des structures* du Ministère des Transports du Québec, édition 2019, mentionne qu'il n'est pas recommandé d'utiliser de la pierre nette comme coussin de support.

Le présent rapport vise donc à expliquer la fonction structurale de l'assise dans le système conduite-sol ainsi qu'à proposer des solutions pour gérer les eaux dans les tranchées. Ceci dans le but de construire des ouvrages conformes à leurs fonctions.

2 Principe de conception des assises sous une conduite en béton armé

Les assises de conduite en béton armé sont conçues en fonction de type d'assise et du type de sol utilisé au-dessus de celles-ci.

La connaissance des charges agissant sur une conduite enfouie en fonction de la profondeur d'implantation de celle-ci et du type d'assise remonte au début des années 1930. Dans ces années, 3 types d'assise venaient diminuer ou augmenter la résistance à l'écrasement des conduites.

Dans les années 1970, l'American Concrete Pipe Association (ACPA) dirigea d'importants travaux de recherche pour parfaire les connaissances et établir 4 types d'assise qui viendront augmenter ou diminuer les pressions agissant sur les conduites. Ainsi, une assise de type 1 qui est une assise de grande qualité, tel que celle préconisée dans la norme NQ 1809-300, permettra l'utilisation de la conduite nécessitant une moins grande résistance à l'écrasement. Inversement, une assise de type 4, comme une assise sans compactage ou en pierre nette, nécessitera une conduite avec une plus grande résistance à l'écrasement. Ces études ont démontré que les assises de type 4 peuvent engendrer des efforts de 2,1 à 2,6 fois plus élevés sur ces conduites que les assises de type 1.

Il est important de comprendre que l'assise et l'enrobage (jusqu'à la mi-hauteur) viennent appuyer la paroi de béton de la conduite et permet à celle-ci de pouvoir reprendre de plus grande charge. Les matériaux constituant l'assise et l'enrobage se veulent portants et apportent une rigidité à l'ensemble conduite-assise-enrobage.

Au Québec, l'assise et l'enrobage des conduites construits selon la norme 1809-300 constituent une assise de type 1. Une pierre nette (qui constitue un jeu de bille en quelque sorte) ne peut apporter cette rigidité et/ou portance. Il en serait de même si le degré de compactage des matériaux granulaires (CG-14) ne sont pas compactés de façon adéquate. Ainsi, les concepteurs choisissent la classe de la conduite en fonction principalement de la profondeur d'implantation de celle-ci. Il existe 5 classes de tuyau (I à V).

Or le changement du type d'assise de type I (conforme) à une de type 4 que l'on pourrait apparenter à une assise en pierre nette nécessitera, fort possiblement, un changement de classe de conduite, ce qui signifie d'un changement de design dont la responsabilité revient au concepteur du projet.

3 Principe géotechnique relié à la mise en place d'une assise conforme (de type 1)

Ici au Québec, la norme NQ 1809-300 implique la mise en place d'une assise de type I, soit une assise et un enrobage composés d'un matériau granulaire de type CG-14 compacté à 90 % de la valeur Proctor Modifié (PM).

De façon générale, il est aucunement nécessaire de considérer une capacité portante des sols en place sous l'assise des conduites car aucune charge n'est ajoutée. La conduite crée un vide qui constitue un allègement des pressions agissant sur les sols en place.

Les seules exceptions répertoriées sont celles en Abitibi sur des argiles très molles ou normalement consolidées où les tranchées remplies de pierre concassée (plus lourde que l'argile) sont venues ajouter des pressions trop élevées sur l'argile en place, rupturant le fond des tranchées ou engendrant des tassements importants.

Dans les sols pulvérulents (granulaires), il n'en demeure pas moins que lorsque nous sommes sous le niveau de l'eau souterraine (ou nappe phréatique), les sols en place semblent perdre leur portance, lors de l'excavation, si aucun drainage temporaire n'est effectué au préalable de façon adéquate.

Lorsqu'une excavation est effectuée sous la nappe phréatique, les pressions d'eau remontent à la surface du fond d'excavation et créent un fond instable sous l'effet de la bouillie. En effet, les pressions d'eau viennent mettre les particules granulaires en suspension, abaissant du fait même la portance. Il s'agit d'une situation temporaire que les méthodes de construction de l'entrepreneur doivent prendre en compte.

De façon générale, l'entrepreneur devrait abaisser le niveau d'eau souterraine 0,3 à 0,5 m sous le niveau des excavations afin d'obtenir un sol d'assise stable pour permettre la mise en place des assises de conduite.

Nous verrons au chapitre suivant, les diverses méthodes de drainage temporaire mise à la disposition des entrepreneurs pour rendre les fonds d'excavation stables.

4 Description des méthodes de drainage temporaire en relation avec divers types de sol

Il existe diverses méthodes pour effectuer du drainage temporaire, lorsque les excavations atteignent la nappe phréatique, afin d'obtenir un sol d'assise stable. Toutes méthodes vont toujours dépendre des éléments suivants qui sont présentés ci-après par ordre d'importance :

- 1) La nature et la compacité des sols qui sont indicatifs de la perméabilité intrinsèque des sols en place.
- 2) La hauteur de la nappe phréatique à rabaisser (différence entre le niveau de la nappe phréatique et le fond de l'excavation ou le niveau rabattu).
- 3) L'efficacité du système de drainage temporaire.
- 4) La profondeur de l'excavation.

Il est certain que la nature des sols est l'élément de la plus grande importance pour déterminer le type de drainage temporaire à préconiser. Le graphique de M. Léonard donne une très bonne indication de ceci en fonction de la granulométrie des sols.

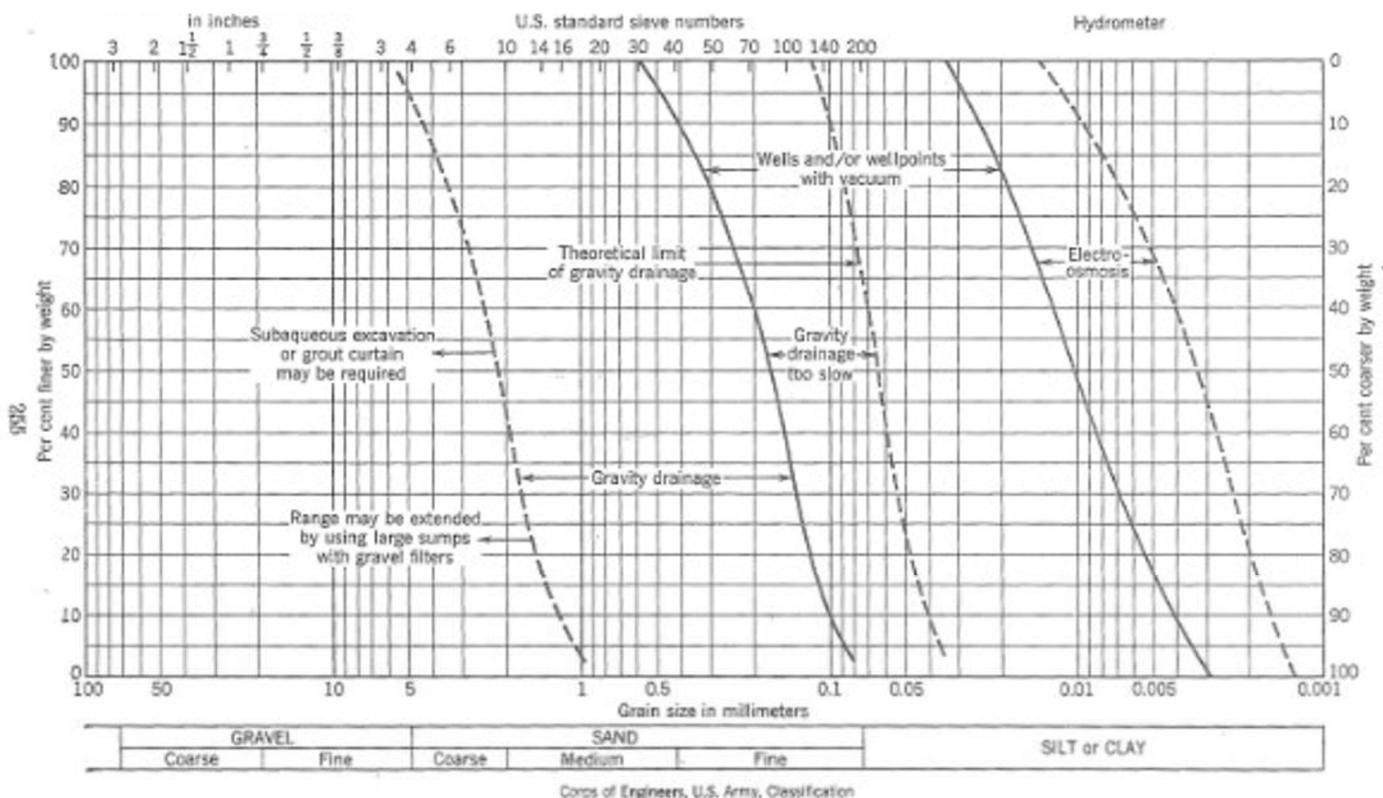


FIG. 3-11. Dewatering systems applicable to different soils. (Mortrench Corp.)

Figure 1: Drainage temporaire

Une constatation qui peut être relevée de ce graphique est que le drainage gravitaire est efficace pour un sable ou sable et gravier contenant moins de 10 % de particules fines (<80 µm). Nous entendons par drainage gravitaire la mise en place de pompe dans de petits puits plus bas que l'excavation, tel que présenté ci-après :

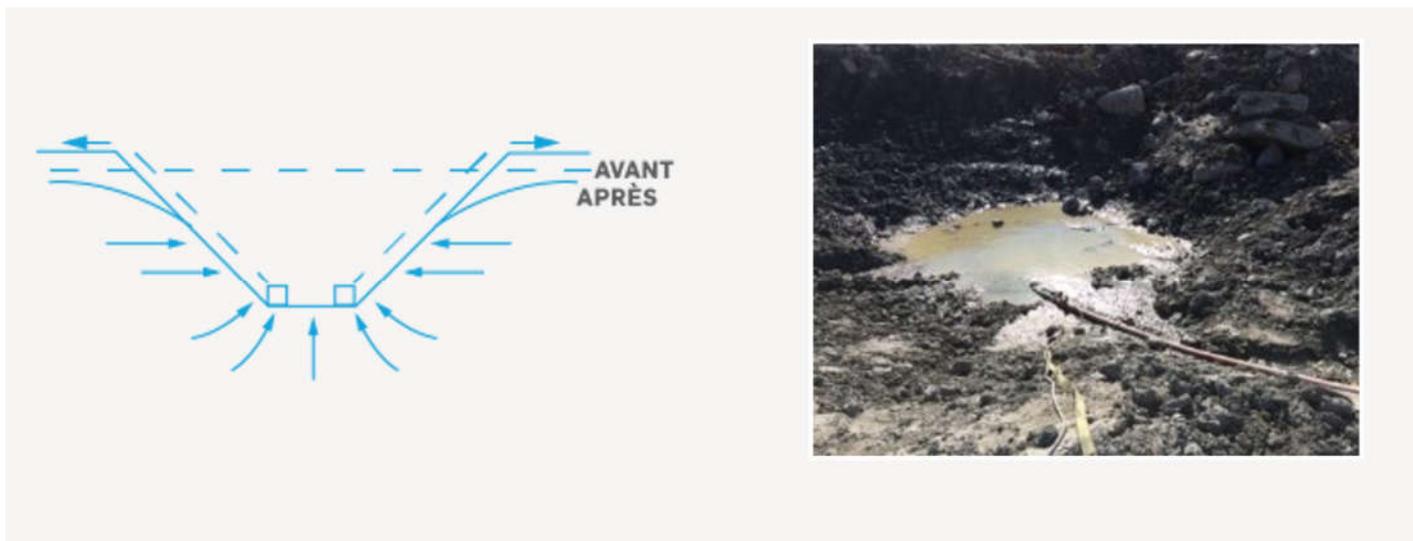


Figure 2 : Pompage dans les tranchées ou puits

Toutefois, lorsque les sols deviennent plus fins (donc moins sujet à se drainer rapidement) ou encore lorsque les infiltrations deviennent très importantes, il aurait lieu à mettre en place un tapis drainant afin d'améliorer le pompage de l'eau pénétrant dans l'excavation.

Ce tapis drainant doit être relié aux puits de pompage et serait constitué de pierre nette 20 mm enrobé d'un géotextile afin d'éviter la migration de particules fines qui engendrerait des tassements si cette migration est permise. Ce tapis drainant doit être mis en place sous l'assise en CG-14 compacté pour conserver un type d'assise de type 1, tel que présenté ci-après.

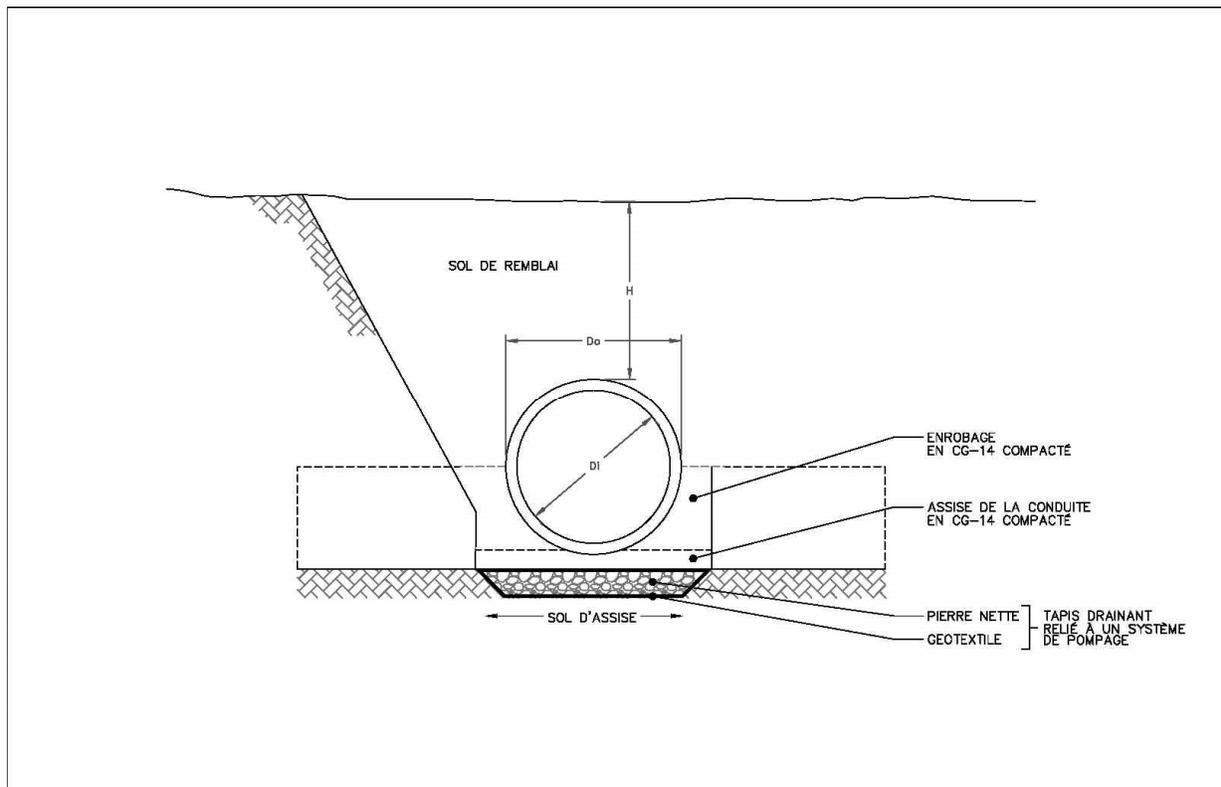


Figure 3 : Mise en place de tapis drainant sous l'assise de conduite

L'épaisseur du tapis drainant dépendra des sols en place et la hauteur de la nappe phréatique à rabattre, mais de façon générale, l'épaisseur de ce tapis drainant ne doit pas dépasser l'épaisseur de l'assise des conduites.

Voilà où devrait aller la pierre nette ! si on veut l'utiliser dans la préparation d'une assise adéquate

Toutefois, lorsque les sols deviennent moins perméables (avec plus de particules fines, généralement autour plus de 20 à 30 %), il devient difficile d'abaisser la nappe phréatique de façon gravitaire. Dans de tel contexte, il y a lieu de consulter un hydrogéologue pour concevoir un système de drainage temporaire adéquat et efficace. L'utilisation de pointes filtrantes, tel que présenté ci-après, ou de puits de pompage profonds s'avèrera possiblement nécessaire.



Figure 4 : Méthode de pompage avec pointes filtrantes (well points)

5 Cas spéciaux (sur l'argile)

Lorsqu'on excave dans l'argile, les infiltrations d'eau sont négligeables et l'instabilité du fond d'excavation est reliée à un autre phénomène, soit un soulèvement du fond causé par les sous-pressions agissant sous le dépôt argileux.

Lorsqu'on excave dans un dépôt d'argile à une profondeur moindre que la limite inférieure du dépôt d'argile, il faut toujours vérifier le facteur de sécurité au soulèvement du fond. Le croquis qui suit ainsi que les calculs présentés ci-bas démontrent, dans ce cas, que le facteur de sécurité est de 0,53 et qu'un soulèvement du fond d'excavation sera imminent. L'état de la pratique demande de maintenir un facteur de sécurité supérieur de 1,4. Pour des calculs plus raffinés, où la résistance au cisaillement de l'argile est prise en compte, il aurait lieu de se référer à l'article de Y. Hong, C.W.W.Ng and L.Z.Wang intitulé « Initiation and failure mechanism of base instability of excavation in clay triggered by hydraulic uplift ».

Cet état de fait (soulèvement de fond potentiel) devrait être mentionné dans les rapports d'étude géotechnique qui accompagnent les plans et devis. Les solutions pour y remédier consistent à mettre en place des drains de sable, préalablement aux excavations, ou encore des puits de pompage profond, pour équilibrer ou diminuer les pressions d'eau agissant sous le dépôt d'argile.

Cette situation ne change en rien la nécessité de construire une assise et un enrobage avec un matériau granulaire CG-14 compacté.

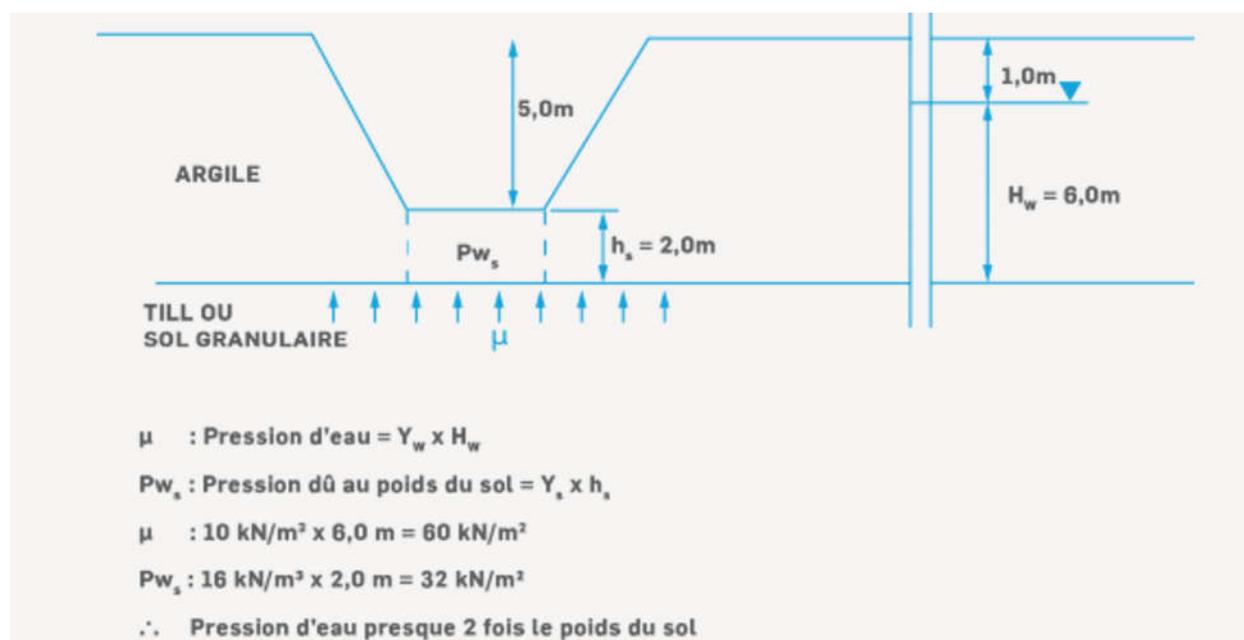


Figure 5 : Stabilité des fonds d'excavation (situation particulière dans l'argile)

6 Pré-requis pour un bon déroulement de projet

Cette section se veut un élément de réflexion ou de conseils afin d'assurer un bon déroulement de projet lorsque les conduites de béton armé doivent être mis en place sous le niveau de l'eau souterraine.

Nous présentons des suggestions ou des conseils autant aux donneurs d'ouvrage, qu'aux consultants et qu'aux entrepreneurs.

En premier lieu, il est important de comprendre que la responsabilité du drainage temporaire revient à l'entrepreneur car il s'agit d'une condition temporaire dont les méthodes de construction doivent tenir compte. Toutefois, il n'est pas de rigueur de lancer toute cette responsabilité à l'entrepreneur sans l'avertir soit dans l'étude géotechnique effectuée au préalable, soit dans les plans et devis ou encore même dans le bordereau de soumission. Les sous-sections qui suivent adressent ces éléments.

6.1 Consultant en géotechnique

Pour la conception des plans et devis pour la mise en place de conduite de béton armé (aqueduc, égout pluvial ou sanitaire), il est de rigueur d'effectuer une étude géotechnique où les forages atteindront une profondeur d'au moins 1,0 à 2,0 m sous l'assise des conduites. Le nombre de forages dépendra de la longueur des conduites, de leur profondeur et surtout de la variabilité du profil géologique anticipé. Les forages devraient être instrumentés à l'aide de piézomètre (tube ouvert pour sol granulaire et de type Casagrande pour les sols fins (silt ou argile)) pour ainsi mesurer le niveau de l'eau souterraine, de façon adéquate.

Le rapport d'étude géotechnique doit discuter du drainage temporaire, non en détail car il s'agit d'une méthode de construction mais plutôt en terme de devis de performance. Ainsi, il pourrait être mentionné que le niveau de l'eau souterraine doit être abaissé de 0,3 m ou 0,5 m sous le niveau des assises de conduite.

Dans le cas où la conception et la mise en place du système de drainage temporaire deviendra complexe de par la nature des sols présents et du niveau d'eau souterraine à rabaisser, il y aurait lieu d'élaborer des suggestions de système de drainage (tel que des pointes filtrantes par exemple) afin d'assurer le succès du projet. Il deviendra aussi important d'aviser l'entrepreneur que le système de drainage temporaire doit être mis en place avant l'excavation des sols.

De plus, il y aurait lieu de recommander que des piézomètres soient mis en place afin de vérifier si le système permet d'atteindre le rabattement nécessaire, soit 0,5 m (ou 0,30 m) sous les fonds d'excavation.

Par ailleurs, il devrait également aviser l'entrepreneur que le rabattement de l'eau souterraine dans un sol de faible perméabilité comme les dépôts de sols fins ne se fait pas instantanément et il peut prendre plusieurs jours, voire 1 à 3 semaines, le tout étant également relié à la conception du système de drainage temporaire.

6.2 Concepteur du projet

Le concepteur du projet, soit celui préparant les plans et devis du projet, doit prendre en considération les informations et recommandations contenues dans ce rapport d'étude géotechnique et le devis devrait revenir établir la performance du drainage temporaire exigé afin d'assurer le succès du projet et ne pas se fier aux normes NQ 1809-300, NQ 1809-900 ou encore le CCDG qui n'élaborent rien de spécifique de ce côté (pour le drainage temporaire).

Dans les cas complexes, il pourrait y être spécifié des éléments obligatoires (par exemple, la mise en place de pointes filtrantes ou encore exiger une méthode conçue par un hydrogéologue retenu par l'entrepreneur). Dans un tel cas, il y aurait lieu d'établir une ligne du bordereau de prix pour la mise en place d'un tel système de drainage temporaire (forfaitaire) ainsi qu'une autre ligne pour son entretien (24 h/24, 7 sur 7) avec un coût à la semaine ou au mois.

6.3 Aux donneurs d'ouvrage

Il n'est pas souhaitable de pousser toute la responsabilité du drainage temporaire chez l'entrepreneur sans lui donner certaines directives ou exigences. Le donneur d'ouvrage doit inciter les consultants à bien circonscrire cet élément afin d'assurer le succès du projet.

Le cas contraire apportera des potentiels de réclamation, des retards, des frustrations de part et d'autre et finalement des coûts additionnels pour tous les intervenants.

7 Conclusion

Tel qu'il a été démontré, l'utilisation de la pierre nette en tant qu'assise aux conduites de béton armé est à proscrire car il constitue un changement de design que seul le concepteur peut autoriser.

De façon générale, l'utilisation d'une assise en pierre nette implique un changement de la classe de conduite à utiliser car une assise de type 4 (en pierre nette) est très néfaste à la résistance à l'écrasement ou à la fissuration des conduites. La pierre nette étant un jeu de billes très peu rigide, n'apporte aucun support aux parois de la conduite.

À titre d'exemple, une conduite de classe III installée à 5,0 m de profondeur avec une assise de type 4 en pierre nette au lieu d'une assise de type 1 tel que prévu nécessitera un changement de classe de conduite, soit une conduite de classe V. Tout un changement de coût au niveau de la conduite !

Au niveau des consultants (géotechnicien et ingénieur-conseil), il y aurait lieu de se concerter pour faire ressortir les éléments de drainage temporaire nécessaires au succès du projet, pour que les entrepreneurs les prennent en considération dans l'élaboration de leur prix.

Aux entrepreneurs, nous les incitons à bien lire les rapports d'étude géotechnique pour bien comprendre et concevoir les méthodes de construction en conséquence. D'autre part, la pierre nette ne doit être utilisée qu'en tant que tapis drainant sous l'assise prévue en CG-14 compacté, tout en l'entourant d'un géotextile pour éviter la migration des particules fines environnantes.