

DOSSIER 96 GEO 110

Sainte-Marie, le 28 avril 1997

TUNNEL SOUS LE BARACHOIS A SAINT-DENIS

(RAPPORT D'ETUDE GEOTECHNIQUE)

Destinataire : DDE/Service PROSPET

A la demande de la Direction Départementale de l'Équipement, Service PROSPET, le LRR a été chargé de l'étude géotechnique de l'ouvrage de tunnel sous le Barachois à Saint-Denis (Réunion).

Nous présentons ci-après :

I - Cadre de l'étude, but de la mission, moyens d'investigations, référentiels et documents remis.

II - Analyse des résultats des sondages et essais.

III - Interprétation.

IV - Conclusions - Investigations complémentaires

I - CADRE DE L'ETUDE, BUT DE LA MISSION, MOYENS D'INVESTIGATIONS ET REFERENTIELS

1 - Cadre de l'étude

a - Généralités

Le projet consiste en la traversée de Saint-Denis en tunnel de 800 m sous le boulevard Labourdonnais. Les problèmes majeurs résident :

- en la traversée de la rivière de Saint-Denis avec la présence d'alluvions instables et noyées.
- d'autre part le substratum est en fait composé d'alternances de basaltes métriques, de niveaux sableux ou scoriacés moins épais de l'ordre du mètre mais pouvant avoir localement une épaisseur plus importante. Ce sont les niveaux sableux et plus particulièrement les zones de surépaisseur qui pourront constituer l'autre difficulté pour l'exécution du tunnel, dans la mesure où ces matériaux présentent une cohésion très faible (voire nulle).
- enfin, ces alternances sont favorables au stockage de poches d'eau qui peuvent provoquer un débordement hydraulique brutal en phase de creusement.

La cote du fil rouge est calée vers 20 à 25 m/TN.

Cette étude ne s'intéressera qu'au problème de la traversée de la rivière Saint-Denis.

b - Géologie

Il ressort à l'analyse de cartes géologiques et du rapport de M. CHEMIN que les formations géologiques concernées dans le secteur de Saint-Denis sont :

- des remblais hétérogènes grossiers à caractéristiques médiocres.
- des alluvions graveleuses à sableuses avec une fraction limono-sableuse importante.
- des alluvions anciennes grossières avec une fraction fine faible.
- des limons d'altération argileux bruns plastiques et hétérogènes.
- le substratum constitué de bancs rocheux métriques à plurimétriques alternant avec des niveaux meubles à scories et grattons lâches et altérés. Il ne s'agit pas d'un substratum véritable au sens géologique du terme caractérisé par son côté hétérogène.

c - Sitologie :

Le site étudié correspond au lit majeur de la rivière Saint-Denis de plus ou moins canalisé par la réalisation de quais en remblais. La topographie est subplane avec un léger dénivelé au niveau du lit mineur. La zone est urbanisée.

2 - But de la mission :

Notre mission a consisté en :

- l'établissement d'un programme de reconnaissance
- le suivi des opérations de sondage dont la réalisation a été confiée à Forintech
- l'interprétation et la synthèse des résultats
- la définition des principes généraux de terrassements et la réalisation du tunnel

Il s'agit d'une mission de type G_{11} au sens des missions normalisées de l'USG que l'on pourrait qualifier de macrofaisabilité.

Nous rappelons ci-après d'une manière simplifiée les missions normalisées.

G_0 : Exécution de forages, essais et mesures géotechniques

G_1 : Etude de faisabilité géotechnique

G_{11} sans prédimensionnement

G_{12} avec prédimensionnement

G_2 : Etude de projet géotechnique

G_{21} : Etude de conception géotechnique

G_{22} : Etude géotechnique d'exécution

G_{23} : Suivie et contrôle géotechnique d'exécution

G_3 : Expertise géotechnique

G_{31} : Sur ouvrage non achevé

G_{32} : Sur ouvrage sinistré

Le rapport d'étude sera réalisé par la Société des Métros de Marseille.

3 - Moyens d'investigations

Les investigations ont été réalisées par Forintech.

Elles ont comporté :

- * 2 sondages de reconnaissance géologique à 30 m de profondeur notés S3 et S7 en 64 mm selon la norme NFP 94-110 avec essais pressiométriques selon une maille de principe de 1,50 m permettant la mesure de :

E : module pressiométrique

pf : pression de fluage

pl : pression limite brute laquelle après estimation de

po : pression horizontale des terres permet celle de

pl - po : pression limite nette

Il a été procédé à l'enregistrement en continu de la vitesse d'avancement. Les autres paramètres de forages, pression sur l'outil (P.O), pression d'injection du fluide n'ont pas pu être enregistrés.

- * 2 sondages mixtes notés S5 et S6 en destructif jusqu'à 20 m de profondeur, avec enregistrement de paramètres de forages poursuivi au-delà au carottier double 143 K2 selon

la norme NFP 94-202 jusqu'à 40 m et 42 m. Le sondage S6 a été poursuivi en destructif en fond de trou sur environ 2 m.

Ces 4 sondages ont du être tubés provisoirement pour remédier aux problèmes d'instabilité des parois du forage.

* 9 essais Lefranc à chaque variable selon la norme.

Les essais Lugeon prévus ont du être abandonnés, étant inadaptés à la géologie rencontrée.

En laboratoire le LRR a exécuté :

* 3 analyses granulométriques selon la norme P 94-056.

* 3 VBS selon la norme P 94-068.

* 2 résistances à la compression simple.

Le nivellement des points de forage a été effectué par Mer MECHY, Géomètre expert.

Il a été défini:

| | | | |
|------|-------------|------------|--------|
| - S3 | x=151253.87 | y=77919.48 | z=3.52 |
| - S5 | x=151338.18 | y=77940.25 | z=3.78 |
| - S6 | x=151403.39 | y=77927.49 | z=2.98 |
| - S7 | x=151434.22 | y=77930.64 | z=5.35 |

4 - Référentiels et documents remis

* Référentiels :

Pour cette étude, nous avons utilisé les documents suivants :

- norme P 94-011 : Reconnaissance des sols et essais
- norme P 94-202 : Prélèvement des sols et des roches
- norme P 94-132 : Essai Lefranc
- norme NFP 94-110 : Essai pressiométrique
- DTU 11-1 : Sondages et reconnaissances de sols.
- norme P 94-056 : Analyse granulométrique
- norme P 94-068 : Valeur de bleu

* Documents remis :

Pour cette étude il nous a été remis :

- une vue en plan du projet
- un profil en long
- un rapport de M. CHEMIN

II - ANALYSE DES RESULTATS DES SONDAGES ET ESSAIS

1 - Géologie

L'analyse des enregistrements de paramètres, l'observation des carottés, et les informations relevées lors de nos suivis de sondages nous ont amené à changer les limites de couches proposées par le sondeur (attention au retard de remonté des cuttings).

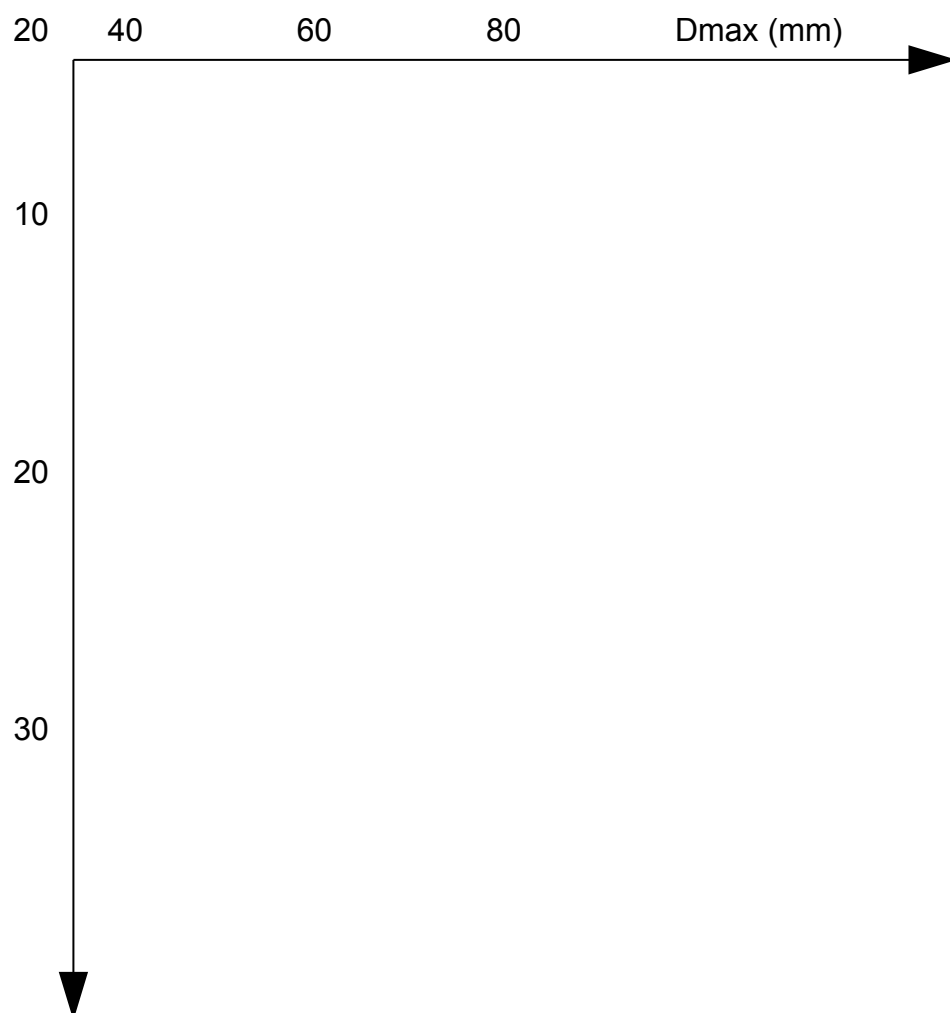
Nous proposons donc la succession suivante :

- * en tête, 1,50 m à 1,80 m d'épaisseur, on trouve **une grave sableuse à cailloux et débris ou blocs** interprétée comme des **remblais** (couche n° 1).
- * puis jusqu'à une profondeur de 8,50 m à 10,50 m/TN on trouve un ensemble de formations que l'on a qualifié **d'alluvions récentes** constituées par :
 - en partie sommitale des **blocs dans une matrice sablo-limoneuse (couche n° 2)**.
 - en partie basale des **blocs de grande taille dans une matrice sableuse (couche n° 3)**.
- * ensuite on trouve 4 horizons distincts que l'on interprète comme des **alluvions anciennes** constitués de haut en bas par :
 - une **grave et des sables limoneux à blocs** sur 10 à 11 m d'épaisseur (couche n° 4),
 - puis des **graves sableuses à blocs** sur 2,50 à 5,00 m d'épaisseur (couche n° 5).
 - ensuite des **sables fins limoneux noirs à cailloux ou blocs** sur 5,80 m à 8,50 m d'épaisseur (couche n° 6).
 - enfin sur 7,50 m à 7,90 m d'épaisseur, on trouve **blocs de petite taille dans une matrice sablo-graveleuse** (couche n° 7).
- * Enfin sur plus de 4 m, on trouve **des bancs métriques de basalte intercalés à des niveaux meubles à cailloux roulés**. Cet horizon a été interprété comme le substratum remanié composé soit :
 - par des blocs issus du substratum repris par les alluvions.
 - par des coulées périmétriques qui ont recouvert des alluvions à épisodes ponctuels et ont été plus ou moins remaniées.

La poursuite en destructif du sondage S6 laisse supposer que l'on entre progressivement dans le substratum et que celui ci est plus franc vers 43 m.

On note une répartition des blocs différente selon les horizons, traitée dans le paragraphe 2-d.

Le schéma suivant donne et rappelle une estimation du Dmax des éléments en fonction de la profondeur.



2 - Géotechnique

a) Essais en laboratoire

* Analyses granulométriques.

Les résultats sont reportés dans le tableau suivant.

| Sondage | Profondeur | Dmax | < 20 mm | < 2 mm | < 0,4 mm | < 80 μ m |
|---------|------------|-------|---------|--------|----------|--------------|
| S3 | 21 m | 12 mm | 100 % | 90,1 % | 37,1 % | 13,1 % |
| S3 | 24 m | 7 mm | 100 % | 99,3 % | 95,7 % | 70,1 % |
| S3 | 27 m | 40 mm | 82,7 % | 40 % | 24,5 % | 16,8 % |

Il faut garder à l'esprit que les carottes ont été réalisées sur des carottes de 86 à 115 mm et que les éléments les plus gros ont été écrêtés, donc les passants sont surestimés.

* Valeurs de Bleu :

On a 0,49 \int VBS \int 1,57

* Essais de compression simple :

Ces essais réalisés sur des blocs sont intéressants car ils vont permettre d'optimiser le choix des outils de toutes les méthodes dites ∇ no-digs ∇ .

On a S5 32.50 m Rc = 8.9 MPa ($\gamma = 2.89$)
 S6 35.60 m Rc = 5.3 MPa ($\gamma = 2.76$) (fracture selon un plan existant.)

Il s'agit de matériaux de classe R4.

b - Essais pressiométriques :

Les valeurs clés sont rappelées dans le tableau suivant :

| Lithologie | | n° couche | Compacité (MPa) | Remarque |
|--|------------------------|--------------|--|---------------------------------|
| grave sableuse à cailloux et débris | remblais | 1 | E = 8,2 MPa pl - po = 1,37 MPa | Valeur moyenne |
| blocs dans une matrice sablo limoneuse | alluvions récentes | 2 | 7,4 \int E \int 4,7 MPa 1,34 \int pl - po \int 4,76 MPa | Valeurs moyennes à fortes |
| blocs de grande taille dans une matrice sableuse | alluvions récentes | 3 | E \int 40,3 MPa pl - po \int 5 MPa | Valeurs très fortes |
| graves et sables limoneux à blocs | alluvions anciennes | 4 | 16,6 \int E \int 65 MPa 1,94 \int pl - po \int 5,6 MPa | Valeurs moyennes à fortes |
| graves sableuses à blocs | alluvions anciennes | 5 | E \int 39,1 MPa pl - po \int 39,1 MPa | Valeurs fortes |
| sables fins limoneux noirs | alluvions | 6 | 28,1 \int E \int 75,9 MPa | Valeurs |

| | | | | |
|--|---------------------|---|---|---------------------|
| à cailloux et blocs | anciennes | | 2,91 \int $p_l - p_o$ \int 4,25 MPa | moyennes |
| blocs de petites tailles dans une matrice sablo-graveleuse | alluvions anciennes | 7 | E \int 88,9 MPa $p_l - p_o$ \int 5 MPa | Valeurs très fortes |
| bancs métriques de basalte intercalés de niveaux meubles à cailloux roulés | substratum remanié | 8 | ? | |

On note que les valeurs pressiométriques sont homogènes.

Toutefois, il est intéressant de constater que le rapport $E/(p_l - p_o)$ est beaucoup plus important dans les couches 5, 6 et 7 traduisant la présence de matériau mieux ∇ consolidés ∇ .

c - Granulométrie :

Les analyses granulométriques réalisées montrent que le passant à 80 μ m peut être très variable ; compte-tenu du fait que les matériaux testés sont issus de carottes de 86 mm, il faut garder à l'esprit que ces pourcentages sont surévalués. La présence de blocs d'une taille supérieure à 86 mm est indéniable.

Ceux-ci sont bien représentés :

- en tête ou l'on peut constater des éléments de 800 mm,
- dans les alluvions anciennes. Il n'est pas facile de donner le diamètre maximal des blocs car il est rare que les carottages traversent les blocs dans leur épaisseur maximale. Les blocs sont de petite taille dans la couche 7 (300 mm) mais apparemment plus gros dans les couches 4 et 6 (500 à 600 mm).

d - Dureté et abrasivité :

On retiendra que les blocs sont issus de roche de classe 7 dans l'échelle de dureté. Il s'agit de matériaux fortement abrasifs.

e - Tenue des parois de forage :

Les matériaux sont apparus instables et ont nécessité la mise en place d'un tubage provisoire en forage.

3 - Essais de perméabilité

Les essais consistent à aménager une cavité à la base du forage, tubé jusqu'au toit de la cavité par remplissage de gravillonnage.

L'essai consiste à mesurer la quantité d'eau absorbée par la cavité pendant un temps donné et sous une pression connue (charge d'eau dans le tube) et après saturation.

a) Interprétation selon la formule Lefranc :

Le coefficient de perméabilité est obtenu à l'aide de la formule :

$$K=Q(t) / h(t). m . B$$

avec :

B = diamètre du forage section droite

C = coefficient de cavité selon l'essai Lefranc ($C = 2 \pi L (\ln (2L/D))$)

h(t) = variation de la charge hydraulique par unités de temps.

Les résultats suivants ont été obtenus :

| Sondage | Nature des sols | Profondeur de l'essai en m | | B Diamètre du forage en m | C | Q(t) (m/s ³) | h(t) (m) | h(t).C.B | Coefficient de perméabilité k en m/s |
|---------|-------------------------|----------------------------|----------|------------------------------|-------|-----------------------------|---------------|----------------|--------------------------------------|
| | | de | à | | | | | | |
| S5 | alluvions récentes (3) | 5,6 | 6,5 | 0,152 | 16,19 | $2,9.10^{-5}$ | $4,7.10^{-3}$ | $11,5.10^{-2}$ | $2,5.10^{-3}$ |
| S5 | alluvions anciennes (4) | 9 | 10 | 0,152 | 16,19 | $7,4.10^{-4}$ | $4,1.10^{-2}$ | 10^{-1} | $7,3.10^{-3}$ |
| S5 | alluvions anciennes (4) | 9 | 10 (bis) | 0,152 | 16,19 | $7,4.10^{-4}$ | $4,1.10^{-2}$ | 10^{-1} | $7,3.10^{-3}$ |
| S5 | alluvions anciennes (4) | 14 | 15 | 0,152 | 16,19 | $1,6.10^{-4}$ | $8,5.10^{-3}$ | $2,1.10^{-2}$ | $7,6.10^{-3}$ |
| S5 | alluvions anciennes (5) | 21 | 22 | 0,152 | 16,19 | $1,04.10^{-4}$ | $1,4.10^{-2}$ | $3,5.10^{-2}$ | $3,1.10^{-3}$ |
| S6 | alluvions récentes (3) | 6 | 7 | 0,168 | 15,56 | $5,6.10^{-5}$ | $2,5.10^{-3}$ | $2,2.10^{-2}$ | $5,4.10^{-3}$ |
| S6 | alluvions anciennes (4) | 10,5 | 11,5 | 0,168 | 15,56 | $7,5.10^{-4}$ | $3,4.10^{-3}$ | $2,2.10^{-3}$ | $8,4.10^{-3}$ |
| S6 | alluvions anciennes (4) | 15 | 15,6 | 0,168 | 7,41 | $4,8.10^{-4}$ | $2,2.10^{-2}$ | $2,7.10^{-2}$ | $1,8.10^{-2}$ |
| S6 | alluvions anciennes (5) | 22,5 | 23,9 | 0,140 | 26,3 | $6,3.10^{-4}$ | $6,3.10^{-3}$ | $1,6.10^{-3}$ | $3,9.10^{-3}$ |

b) Interprétation selon la méthode de la percolation

La perméabilité k est donnée par $k = \frac{Q}{S}$ avec

Q = (volume infiltré/temps de mesure).

S = surface développée = surface de la paroi mouillée + surface du fond de trou

soit dans les exemples précédents :

$$S = \Pi (2.R.h + R^2) \text{ en m}^2 \text{ (h hauteur mouillée et R du tubage)}$$

soit

$$k \text{ m/s} = \frac{V \text{ m}^3 / t}{\Pi (2.R.h + R^2)}$$

Il s'agit d'une estimation car on ne tient pas compte de l'effet de cavité.

| Sondage | Nature des sols | Profondeur de l'essai en m | | Diamètre du forage en m | V m ³ | t s | Coefficient de perméabilité k en m/s |
|---------|-----------------|----------------------------|-------------|-------------------------|----------------------|-----|--------------------------------------|
| | | de | à | | | | |
| S5 | 3 | 5,6 | 6,5 | 0,152 | 1,1.10 ⁻¹ | 300 | 4,7.10 ⁻⁴ |
| S5 | 4 | 9,00 | 10,0 | 0,152 | 8,9.10 ⁻² | 60 | 1,8.10 ⁻³ |
| S5 | 4 | 9,00 | 10,00 (bis) | 0,152 | 1,4.10 ⁻¹ | 60 | 2,9.10 ⁻³ |
| S5 | 4 | 14 | 15 | 0,152 | 1,4.10 ⁻¹ | 300 | 5,9.10 ⁻⁴ |
| S5 | 4 | 21 | 22 | 0,152 | 3,6.10 ⁻² | 60 | 7,2.10 ⁻⁴ |
| S6 | 4 | 6 | 7 | 0,168 | 4,0.10 ⁻² | 60 | 6,0.10 ⁻⁴ |
| S6 | 4 | 10,5 | 11,5 | 0,168 | 1,5.10 ⁻² | 60 | 2,55.10 ⁻⁴ |
| S6 | 4 | 15 | 15,6 | 0,168 | 3,8.10 ⁻² | 60 | 4,4.10 ⁻⁴ |
| S6 | 4 | 22,5 | 23,9 | 0,140 | 1,7.10 ⁻¹ | 300 | 5,0.10 ⁻⁴ |

c) Commentaire des perméabilités mesurées :

Les perméabilités mesurées apparaissent plus faibles si on les calcule avec la méthode de la percolation, il s'agit alors de valeurs assez faibles pour les matériaux rencontrés :

Les essais d'eau ont donné :

$$2,55. 10^{-4} \text{ K } \text{ à } 4,4. 10^{-2} \text{ m/s}$$

$$\text{soit } 10^{-4} \text{ à } 10^{-2} \text{ m/s}$$

$$\text{en prenant } \frac{1}{\bar{K}} = \frac{1}{K_1} + \dots + \frac{1}{K_n}$$

$$\text{il vient } \bar{K} \approx 1,1.10^{-3} \text{ m/s}$$

Les forages ont été réalisés avec un fluide de forage à base de polycol. Malgré toutes les précautions prises et la destruction du cake par du chlore, il est possible que les perméabilités aient été influencées.

4 - Hydrogéologie

Les sondages ont montré une nappe calée entre 3,40 m et 4,00 m/TN au moment des sondages.

Tous les forages ont été équipés en piézomètre.

La partie comprise entre 0 et 20 m a été composée d'un tube lisse avec un bouchon étanche à 20 m.

La partie de 20 m à la base du forage a été équipée d'un tube crépiné protégée par un massif filtrant.

Après forage et après repos le niveau d'eau était calé entre 2,50 m et 3,70 m/TN.

Il y a donc continuité entre les différents aquifères potentiels.

La nappe la plus importante est la nappe alluviale (nappe libre).

Le niveau donné ne reflète pas forcément le niveau maximum des P.H.E.

En effet, des fluctuations sont possibles. Celles-ci peuvent être liées :

- soit à des causes naturelles (crue de nappe liée à un épisode pluvieux).
- soit artificielles (travaux dans le voisinage).

On tablera sur **$K = 10^{-3} \text{ m/s}$**

Il s'agit de matériaux de **classe K4** dans la classification de l'AFTES.

Le LRR procédera à un suivi piézométrique.

III - INTERPRETATIONS

1 - Analyses du problème d'un point de vue géotechnique :

a- Généralités

On retiendra :

* Géologie :

- présence en tête d'une faible épaisseur de remblai
- puis des alluvions récentes à blocs
- puis les alluvions anciennes à blocs avec une importante masse de sable à la base
- le substratum franc est supposé présent vers 42 à 43 m/TN en S6.

* Hydrogéologie :

Présence d'une nappe calée vers 3,40 m à 4,00 m/TN et en relation directe avec la nappe alluviale noyant des formations grossières à perméabilité moyenne.

* Environnement :

Le tracé s'inscrit :

- en permanence sous des bâtiments (immeuble sous la rue Labourdonnais).
- dans la traversée de la rivière de Saint-Denis.

b- Définition du niveau de pose

Le niveau de pose défini dans le projet qui nous a été présenté est composé par les sables fins limoneux noirs à cailloux ou blocs de la couche n° 6 des alluvions anciennes. Il s'agit de matériaux noyés et pulvérulents défavorables aux travaux sans tranchée.

Nous pensons qu'il est préférable de remonter le projet et de caler celui-ci dans les graves sableuses à blocs de la couche 5 car:

- cet horizon est plus compact $p_l - p_o > 5 \text{ MPa}$.
- cette formation est plus facilement injectable

La recherche d'un niveau de pose constitué par le substratum (alternances de basalte et de scories) supposé vers 43 m en S6 imposerait dans le meilleur des cas un fil rouge vers 50 m n'est pas réaliste.

c- Aptitude au creusement

* foration :

Les matériaux présents sont issus de blocs d'origine volcaniques. Ils sont assez abrasifs et de forte dureté. En carottage, il a fallu utiliser une couronne diamant pour traverser les blocs. Les outils devront être adaptés en conséquence.

* tenue des parois :

Le niveau de pose prévu traverse un horizon de sables limoneux noirs et de cailloux ou petits blocs. Il s'agit de matériaux pulvérulents donc la tenue des parois sera mauvaise, elle le sera d'autant plus que ces matériaux sont noyés. On aura par conséquent intérêt comme indiqué dans le paragraphe relatif au choix du niveau de pose, de relever le fil rouge afin de suivre le niveau de grave sableuse à cailloux ou blocs (couche 5).

* Interaction sol/travaux :

La perméabilité des niveaux riches en blocs induit des pertes de fluides qu'il faut contrôler afin d'éviter toute pollution accidentelle de la nappe exploitée. On prévoira des boues alourdies avec une viscosité adaptée aux venues d'eaux et éventuellement des additifs de coupe pour l'abrasivité.

2 - Etude de la solution tunnel de base

a- Généralités

Nous avons vu dans les paragraphes précédents que les matériaux se prêtaient très mal aux travaux souterrains de part leur côté pulvérulent et par la présence d'eau.

Nous avons suggéré de remonter le niveau de pose afin de bénéficier d'un horizon :

- plus compact
- plus facilement injectable.

Des sondages complémentaires sont évidemment nécessaires.

b- Entrée en terre et puits d'accès

Le problème des entrées en terre ne fait pas l'objet de la présente étude qui traite seulement de la traversée de la rivière Saint-Denis.

Les puits d'accès feront l'objet de travaux d'injection sur toute leur hauteur.

c- Corps de tunnel

Il ressort de l'étude géologique que le contexte est particulièrement difficile impliquant notamment pour la traversée de la rivière Saint-Denis :

- l'utilisation d'un tunnelier avec bouclier à confinement de boue et front pressurisé.
- des injections depuis la surface en auréole autour de la zone de travail avec compte-tenu de la perméabilité des matériaux, l'utilisation de silicates sur les premières phases.
- des injections à l'avancement à travers le bouclier du tunnelier.

Compte tenu de la présence de blocs, on s'orientera vers une évacuation des déchets assurée par bandes transporteuses ou berlines.

Une évacuation par voie humide (marinage hydraulique) étant impossible.

Dans la zone urbaine on devra probablement localement substituer au fluide de forage un mortier de bourrage et injecter celui-ci à la pression maintenue dans la chambre d'abattage.

Ces deux derniers points impliquent des opérations de traitement de sols complémentaires qui seront très conséquentes.

3 - Etude d'une solution variante de tunnel sous faible couverture ou tranchée couverte réalisée en méthode traditionnelle

a- Tracé courant

On peut en variante envisager de s'orienter vers une solution tunnel sous faible couverture ou tranchée couverte réalisée en méthode traditionnelle.

Outre le problème de circulation, on risque avec la solution tranchée couverte d'être confronté à des problèmes d'ordre géométrique, compte tenu de la faible largeur de la rue Labourdonnais.

Une solution tunnel sous faible couverture en méthode traditionnelle est par contre envisageable. Les problèmes seront liés au choix de la pression dans la chambre d'abattage qui ne devra pas influencer ou perturber l'environnement et à la gestion de la nappe.

Une étude spécifique devra être réalisée pour vérifier la faisabilité de cette solution. Elle devra notamment identifier la position de la nappe.

b - Traversée de la rivière Saint-Denis

La grosse difficulté de cette variante réside dans la gestion des eaux superficielles qui interdit la réalisation des travaux en période cyclonique.

Cela implique également de travailler par partie.

Le phasage pourrait être du type suivant :

- mise en place d'un système de batardeaux et busage provisoire
- mise en place d'un système de pointes filtrantes ou équivalent
- terrassement avec une pente maximum 1B/1H à la pelle puissante (avec BRH pour augmenter le rendement).
- réalisation de l'ouvrage avec un dispositif anti-affouillement et un système compensateur de la charge hydraulique.
- basculement du dispositif de dérivation provisoire des eaux sur la partie traitée et réitération de l'opération.

IV - Conclusions / Investigations complémentaires

Cette étude était une étude de macro faisabilité qui visait à vérifier la faisabilité de la traversée de la rivière Saint-Denis en tunnel, lancer des pistes de réflexion et orienter les investigations complémentaires et optimiser le niveau de pose.

En fonction du choix de ce dernier on adoptera le programme de reconnaissance complémentaire.

Compte tenu du projet celui-ci sera important. Pour la seule traversée de la rivière Saint-Denis, celui ci ne comportera pas moins de :

- une campagne géophysique type sismique réflexion ou radar géologique (on évitera toute solution de sismique réfraction compte tenu des problèmes d'inversions de vitesses) afin d'isoler le niveau de pose et vérifier la position du toit du substratum.
- des sondages carottés pour prélèvements d'échantillons et essais en laboratoire (à adapter en fonction du niveau de pose). Ceux-ci comprendront cependant obligatoirement des essais triaxiaux sur les sables.
- un forage gros diamètre pour essais de pompage.
- un plot d'essai d'injection.

Le responsable du laboratoire

J-P. BOUCHET