



C.H.U PURPAN

**Construction d'une Gare de Transport
Automatisé Lourd (TAL) à l'Hôpital de
Purpan
TOULOUSE (31)**

**ETUDE GEOTECHNIQUE
DE PROJET (G₂) – phase PRO**



N°chrono : 3100031		Mission de type : G2	
Emission	Date	Rédacteur	Vérification / contrôle
1	30/10/2012	L.ARMAIGNAC	M.HUORT

Lorient

Rennes

Nantes

La Rochelle

Bordeaux

Bayonne

Lyon

Agence de Toulouse

ActiPark -6 allée de Longuetterre
ZA de Longuetterre - 31850 MONTRABE
Tél : 05.62.89.10.00/ Fax : 05.62.89.10.05
www.ecr-environnement.com

SARL au capital de 52 000 €
SIRET 504 457 821 00024
APE 7112B

N° TVA Intracommunautaire : FR 395 044 578 21

TABLE DES MATIERES

1	INTRODUCTION.....	1
1.1	Objet et missions géotechniques.....	1
1.2	Présentation du site et du projet.....	1
1.2.1	Cadre de l'étude.....	1
1.2.2	Présentation du projet.....	4
1.2.3	Contexte géologique.....	7
1.3	Documents remis pour l'étude.....	7
1.4	Rappel des résultats de la G12.....	7
1.5	Investigations géotechniques complémentaires.....	8
2	SYNTHESE GEOTECHNIQUE.....	9
2.1	Caractéristiques lithologiques.....	9
2.2	Caractéristiques géomécaniques.....	11
2.3	Hydrogéologie.....	12
2.4	Essais en laboratoire - analyse d'agressivité des eaux vis-à-vis des bétons.....	13
2.6	Remarques.....	13
2.6.1	Sismicité.....	13
2.6.2	Composantes anthropiques.....	13
2.6.3	Niveaux compacts.....	13
3	ORIENTATIONS GENERALES POUR LES DIFFERENTES PARTIES DE L'OUVRAGE.....	14
3.1	Contraintes sur ce projet en phase chantier.....	14
3.2	Contraintes sur ce projet en phase définitive.....	14
3.3	Conséquences de ces contraintes sur les ouvrages géotechniques.....	15
4	DIMENSIONNEMENT ET EXECUTION DE LA PAROI EN PIEUX SECANTS.....	15
4.1	Dimensionnement du soutènement.....	15
4.1.1	Méthode de calcul.....	15
4.1.2	Hypothèses.....	16
4.1.3	Prise en compte de la sécurité.....	17
4.1.4	Résultats des calculs.....	17
4.2	Justification de la paroi en fondations.....	18
4.3	Techniques d'exécution.....	18
4.4	Points Particuliers.....	19
4.4.1	Poutre de couronnement.....	19
4.4.2	Interruption de la paroi au niveau des escaliers.....	19
4.4.3	Injections d'étanchéité périphérique sous les galeries.....	19

4.5	Phasage des travaux, sujétions, problèmes spécifiques.....	19
5	DIMENSIONNEMENT ET EXECUTION DES FONDATIONS DES POTEaux INTERIEURS	20
5.1	Dimensionnement.....	20
5.1.1	Méthode de calcul.....	20
5.1.2	Contraintes limites	21
5.2	Précautions de mise en œuvre	21
6	NIVEAU BAS	22
6.1	Mise hors d'eau de l'ouvrage	22
6.2	Niveau bas	22
7	TERRASSEMENTS.....	23
8	RISQUES GEOLOGIQUES RESIDUELS ET INCERTITUDES A LEVER	25

ANNEXES

1 INTRODUCTION

1.1 Objet et missions géotechniques

A la demande du pôle logistique du CHU de Purpan, la société ECR Environnement - Agence de TOULOUSE - a réalisé cette étude géotechnique G₂ en Octobre 2012. Celle-ci s'inscrit dans le cadre du projet de construction d'une Gare de Transport Automatisé Lourd (TAL) entre l'hôpital des Enfants et l'hôpital Paule de Viguier et fait suite à notre étude géotechnique G₁₂ réalisée en Juillet 2012 (dossier 3100017).

Le présent rapport basé sur des investigations complémentaires a pour objectif de fournir :

- L'ensemble des informations récoltées lors de l'enquête documentaire et de la campagne de sondages (synthèse des campagnes G₁₂ et G₂),
- La définition du système de soutènement choisi par l'équipe de projet (SERIGE) pour réaliser l'excavation ;
- La définition du ou des systèmes de fondations adaptés aux sols rencontrés et aux constructions projetées ;
- les possibilités de réalisation de dallage pour le niveau bas ;
- le niveau de la nappe phréatique (définition des côtes de niveaux des plus hautes eaux et des eaux exceptionnelles) et les aspects liés aux conditions hydrauliques du site et aux fluctuations de la nappe, recommandations quant au maintien hors d'eau des ouvrages, à la stabilité vis-à-vis des sous-pressions éventuelles, et aux questions liées au drainage ;
- des sujétions particulières d'exécution des travaux liés à la nature des sous-sols et avoisinants.

Par référence à la classification des « Missions géotechniques normalisées » (Norme NFP 94-500), la présente étude est de type G₂-phase projet [Etude géotechnique de projet hors estimation coût, quantité et délais, et voit de ce fait l'étendue de sa mission limitée aux prestations correspondantes.

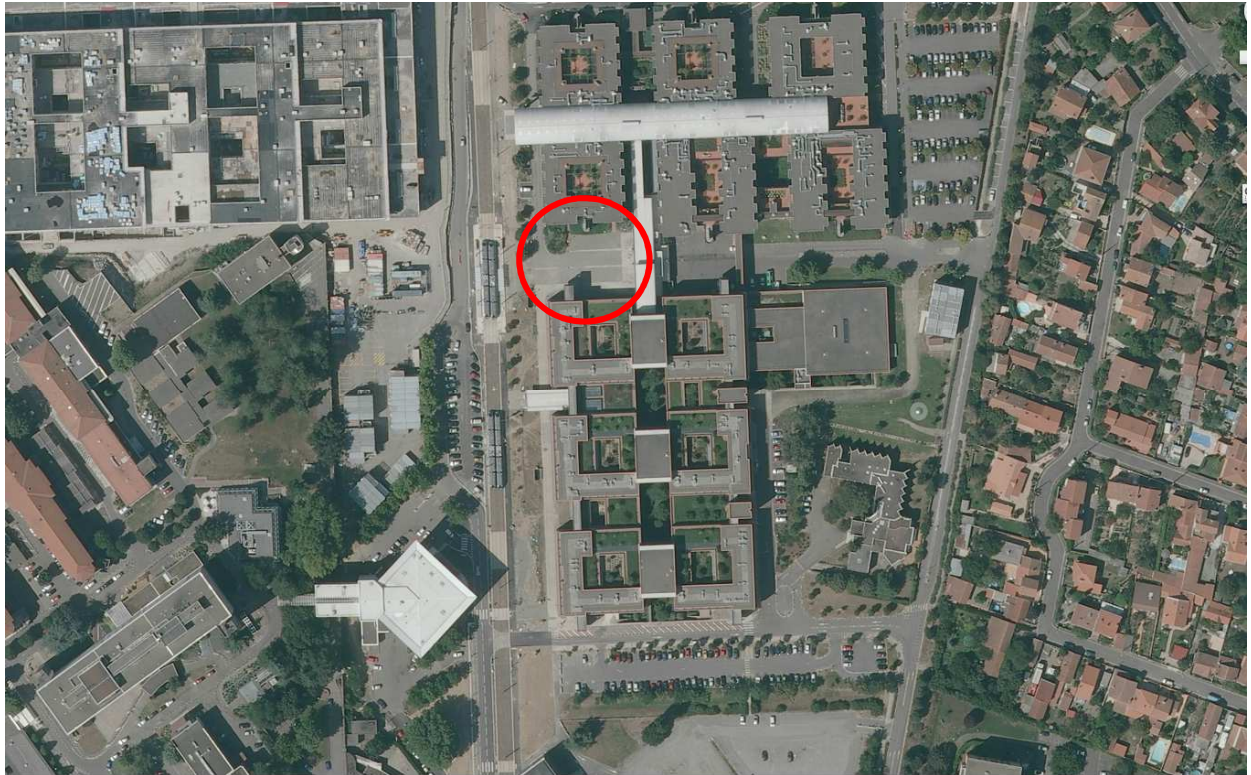
1.2 Présentation du site et du projet

1.2.1 Cadre de l'étude

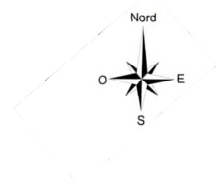
Le terrain est une zone piétonne plane d'environ 30 m x 35 m située entre l'hôpital des Enfants et l'hôpital Paule de Viguier.

D'après les données du Serige (bureau d'étude), les altitudes locales sont autour de 138,10 NGF. On notera sur le site les points particuliers suivants :

- ✓ Présence de réseaux enterrés divers sur l'emprise de la construction : surtout eaux pluviales descendant à 5 m de profondeur et éclairage des lampadaires mais aussi, réseau incendie et éventuellement autres réseaux restant à repérer ;
- ✓ Passage de galeries enterrées à -3,50 m /TN en bordure Ouest et en bordure Est du projet.



Vue aérienne du site

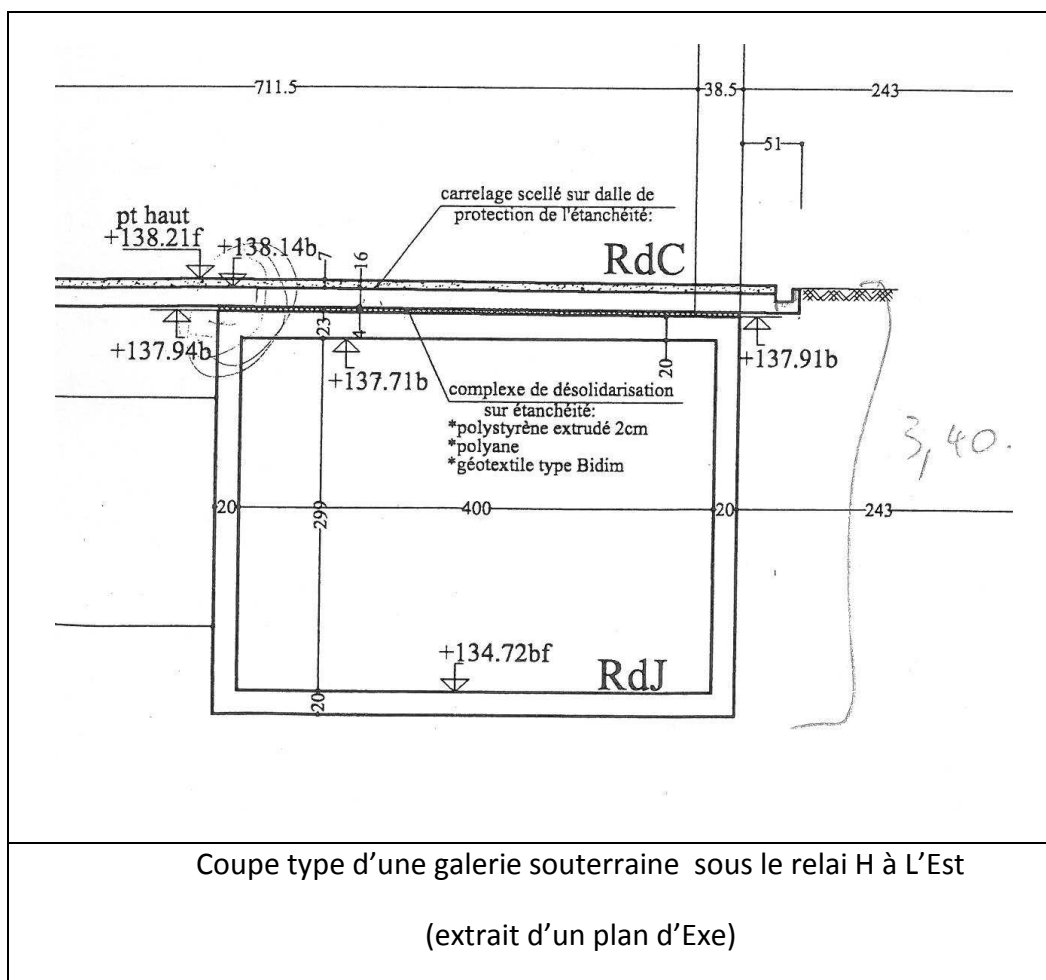




Vue panoramique du site vers le Nord (Hôpital des Enfants)



Vue panoramique du site vers le Sud (Hôpital Paule de Viguer)



1.2.2 Présentation du projet

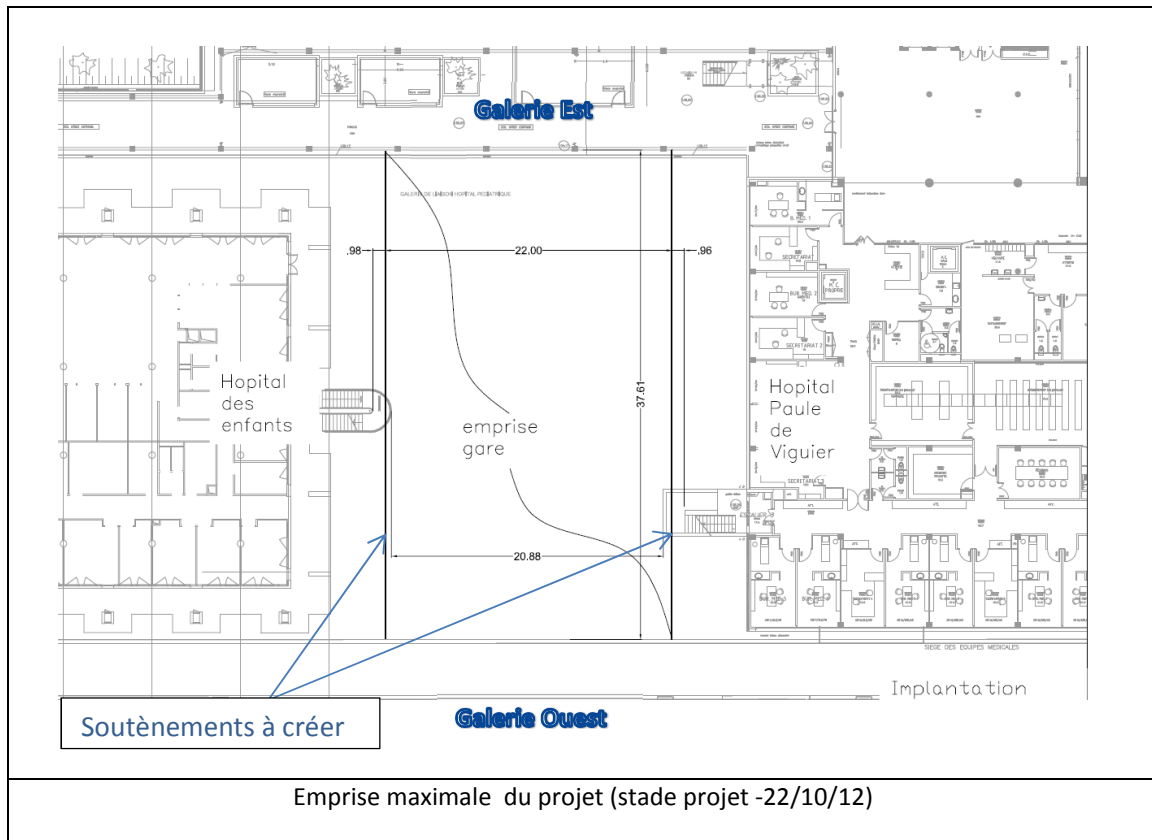
Le site de l'Hôpital PURPAN est en pleine mutation avec quatre bâtiments récents ou en construction, reliés entre eux et avec le bâtiment LOGISUD par un réseau de galeries à travers la mise en œuvre d'un système de transport automatisé lourd depuis le quai Hôpital des Enfants / Hôpital Paule de Viguier et le quai du bâtiment LOGISUD vers les étages des bâtiments Pierre Paul Riquet et Urgences-Réanimation-Médecine.

Dans le cadre de ce projet, il est prévu de créer une gare pour le système de transport automatisé lourd au niveau de la place centrale située entre l'Hôpital des Enfants, l'Hôpital Paule de Viguier, le relais H et la station de tramway.

Il s'agira d'un **ouvrage en béton armé comprenant uniquement un niveau en sous-sol** d'environ 780 m² (37 m x 22 m), calé entre les altitudes 134,3 et 134,7 NGF (légère pente descendante de l'Est vers l'Ouest), soit à -3,70m/TN actuel environ. Il sera ouvert sur les deux galeries enterrées existantes à l'Ouest et à l'Est, lesquelles reposent elles aussi entre 134,3 et 134,7NGF.

La charge au sol du niveau bas sera de 1 t/m² maximum. Ce bâtiment enterré devra reprendre, sur sa dalle haute, les charges de voiries existantes (aire de retournement pompier).

L'emprise maximale du projet est la suivante (donnée Serige à la date 22/10/12) :



On voit que le projet vient approcher sur ses deux longueurs les escaliers des deux hôpitaux. A cause de ces escaliers qui doivent être conservés et pour maintenir les circulations en surface en phase chantier, un **soutènement des terres sur les limites Nord et Sud du projet d'excavation est impératif en phase travaux**. Il est envisagé de réaliser une paroi en **pieux sécants**, ouvrage particulièrement adapté aux sols rencontrés et exempt de vibrations à l'exécution (forage en rotation).

La descente de charges du plancher haut sur la paroi de soutènement est donnée par Serige à :

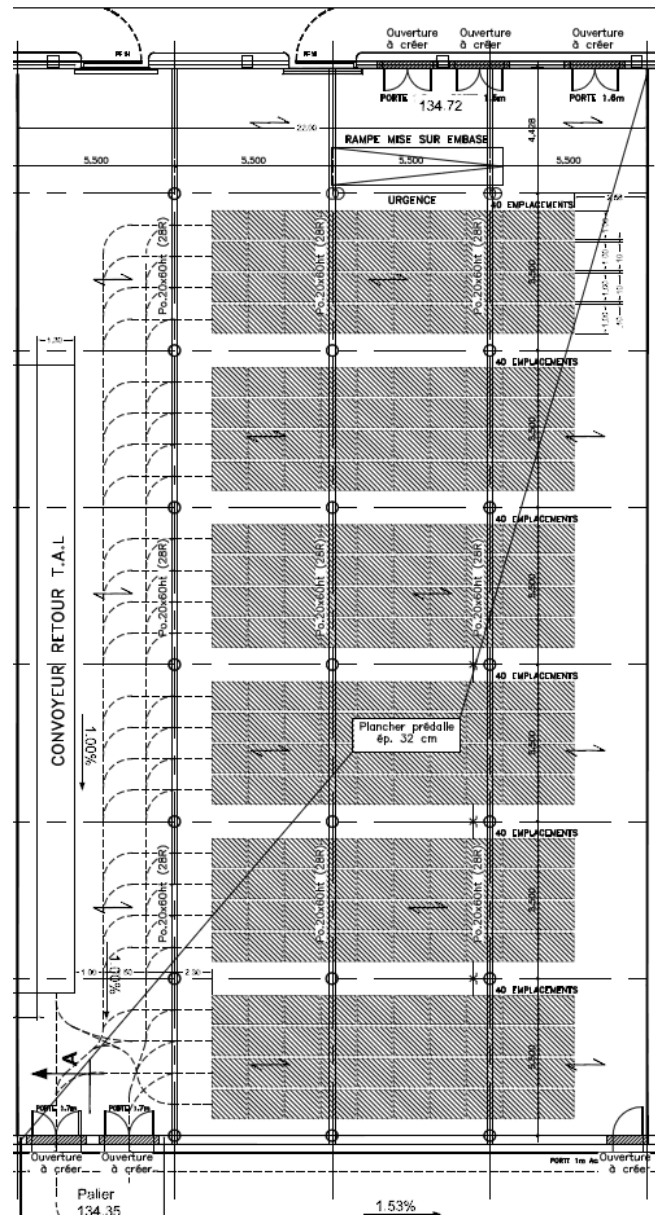
- charges permanentes $g = 2888 \text{ daN/ml}$;
- Charges d'exploitation $q = 2750 \text{ daN/ml}$ ou 13 tonnes/essieu (en tête de la paroi)

La trame des poteaux intérieurs est de $5,5 \text{ m} \times 5,5 \text{ m}$ et les poutres soutenant le plancher haut sont orientées dans le sens de la longueur.

Les charges maximales reprises par les poteaux intérieurs sont données par Serige :

- charges permanentes $G = 33,3 \text{ tonnes}$
- Charges d'exploitation $Q = 40,5 \text{ tonnes}$.

Le plan des poteaux et poutres à l'intérieur de la gare est le suivant :

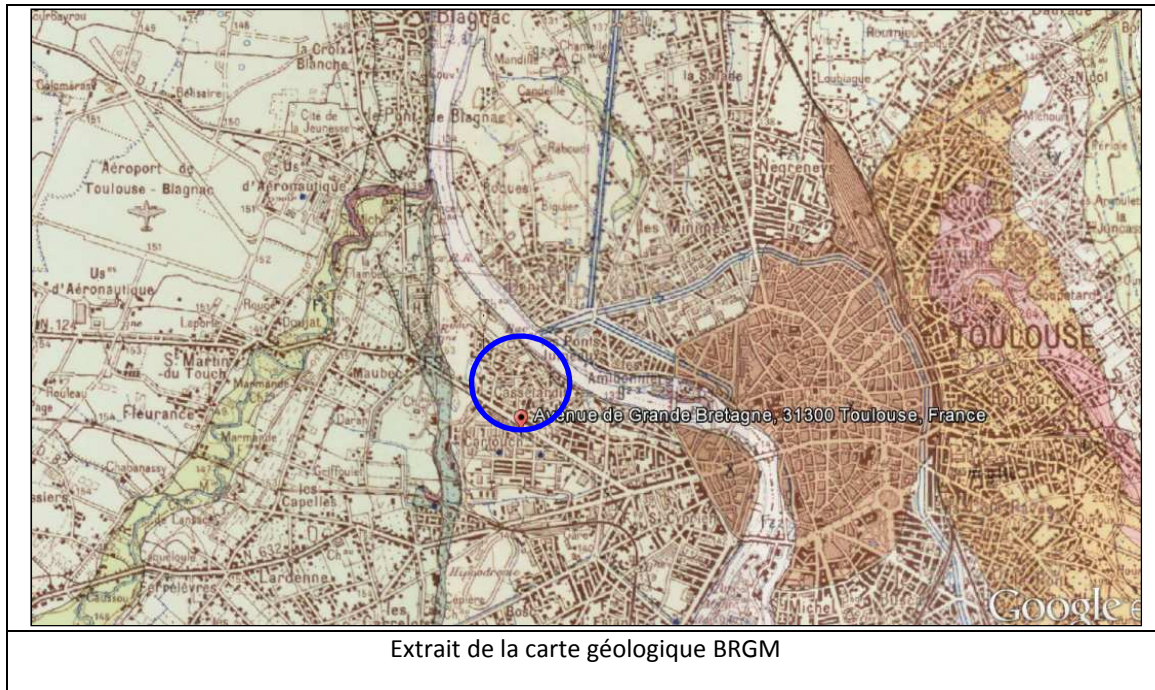


plan des poteaux et poutres à l'intérieur de la gare (stade projet)

Pour toutes différences importantes à ces hypothèses, il conviendra au responsable du projet de nous informer.

1.2.3 Contexte géologique

D'après la carte géologique du BRGM au 1/50000ème, feuille de Toulouse Ouest, le terrain devrait comporter (hors remblais divers liés à l'histoire de la construction du CHU) des limons puis des graves sableuses recouvrant le substratum molassique (g2-3).



Extrait de la carte géologique BRGM

Les archives des études du CHU dans ce secteur permettent de préciser les positions des couches en cotes NGF :

- Toit des graves vers 136 NGF ;
- Toit de la molasse vers 131 NGF ;

1.3 Documents remis pour l'étude

Les documents fournis afin de mener à bien cette étude sont :

- Le plan de situation de la zone d'étude ;
- Etudes géotechniques Sores et Fugro à proximité ;
- Un plan de masse au 1/200° et les descentes de charges (données fournies par SERIGE).

1.4 Rappel des résultats de la G12

Les investigations réalisées en phase G12 ont permis de mettre en évidence les contraintes géotechniques suivantes :

- sols de surface constitués de remblais sablo-graveleux et argilo-graveleux d'épaisseur comprise généralement entre 1,60 m et 1,90 m (sauf SD1 situé hors

projet : 3,80 m) et de compacité très aléatoire (forte en tête mais parfois médiocre ensuite) ;

- présence de l'horizon des graves sablo-argileuses repéré (hors zones ponctuelles proches des galeries) à partir de 2,00 m / 2,20 m ; cet horizon est de compacité variable ; il peut comporter une matrice fine limono-argileuse (Classe GTR C1B5) qui le rend très sensible à l'eau.

NB : En raison de différentes constructions et démolitions possibles sur ce site ainsi que de la mise en place de réseaux divers, des apports anthropiques (vestiges enterrés, ...) et des variations locales de ces profondeurs sont possibles.

- Nappe phréatique vers 5-6 m de profondeur -132/133 NGF environ (voir chapitre 2.3 - à confirmer par un suivi piézométrique régulier réalisé sur un cycle hydrologique complet).
- Hôpitaux avoisinants (Paule de Viguier et Enfants) probablement fondés sur pieux (à confirmer par CHU ou BE Serige) mais avec des inconnues subsistants quant aux points particuliers des deux cages d'escalier situées en limite de projet.
- Pas de débord notable (c'est-à-dire supérieur à 1 m) des piédroits des galeries Ouest et Est sur l'emprise du projet.

1.5 Investigations géotechniques complémentaires

En accord avec le CHU, les investigations de terrains complémentaires ont été menées sur les deux cotés Nord et Sud du projet ; elles ont consisté en :

- **4 essais au pénétromètre dynamique (PD3, PD4, PD4 et PD6)**, descendus au refus au battage du train de tiges ou jusqu'à 6,80 m de profondeur suivant les cas. Ces essais de type B réalisés avec un pénétromètre lourd, suivant la norme NFP 94-115 donnent la résistance de pointe à la rupture q_d (MPa) en fonction de la profondeur et permettent l'appréciation de la compacité des terrains traversés sur toute la hauteur ;
- **1 sondage destructif** à la tarière hélicoïdale diamètre 63 mm à 6 m de profondeur (**ST1**).

Afin de suivre l'évolution de la nappe phréatique, nous avons mesuré sur les deux **piézomètres**, la profondeur du niveau d'eau tous les mois. D'autre part, nous avons réalisé une **analyse d'agressivité des eaux vis-à-vis des bétons**.

Ces sondages et essais ont été réalisés conformément à l'implantation figurant sur le plan de localisation présenté en annexe. Suite à ce plan, on trouvera les coupes des sondages à l'échelle 1/100°.

2 SYNTHÈSE GEOTECHNIQUE

2.1 Caractéristiques lithologiques

On observe les sols suivants de haut en bas :

- des **remblais** constitués de graves sableuses , graves argileuses ou de sables graveleux suivant les points de sondage ; on relève des épaisseurs variant entre de 0,80 m à 2,00 m en limites Nord et Sud du projet et de 1,60 à 3,80 m à proximité des galeries (zones probablement plus remaniées lors de la réalisation de ces ouvrages) ;
- des **argiles marron** sur une faible épaisseur (0,30/0,50m) et uniquement en zone centrale ; elles sont probablement à rattacher aux limons d'inondation présents dans ce secteur ; la nature de ces sols fait que leur consistance est susceptible de varier avec les saisons et les conditions météorologiques ;
- les **graves sablo-argileuses** en tête puis sableuses à gros galets sur 4,00 m d'épaisseur en moyenne ; les teintes vont du marron au gris ;
- les **molasses** à partir de 6/7 m de profondeur ; elles sont de couleur beige à marron, marneuses puis calcaire et de consistance raide puis rapidement très raide ; ces couches ont été reconnues jusqu'à 12,60m de profondeur.

Les tableaux ci-après synthétisent les profondeurs (m) et cotes NGF auxquelles nos points de sondages ont reconnu les différentes couches telles que définies ci-avant (*NR* signifie : horizon Non Rencontré) :

Limite Nord du projet – Coté Hôpital des Enfants					
SONDAGE	PD1	PD5	ST1	PD6	SP2
Base des remblais	1,60m/ 136,50 NGF	NR	0,80m/ 137,30 NGF	NR	1,50m/ 136,60NGF
Base des argiles marron	2,00m/ 136,10NGF	NR	NR	NR	2,00m/ 136,10NGF
Base des graves	7,00m/ 131,10 NGF	>4,00m/ <134,00NGF	>6,00m/ <132,00 NGF	>4,00m/ <134,00NGF	6,30m/ 131,80 NGF
Toit des molasses	7,00m Soit 131,10 NGF	NR	NR	NR	6,30m Soit 131,80 NGF

Limite Sud du projet – Coté Hôpital Paule de Viguier				
SONDAGE	SP1	PD4	PD3	PD2
Base des remblais	1,70m/ 136,40NGF	1,60m/ 136,50 NGF	2,00m/ <i>136,10NGF</i>	1,40m/ 136,60 NGF
Base des argiles marron	2,20/ 135,90 NGF	2,00m/ 136,10 NGF	2,40m/ 135,70 NGF	1,80m/ 136,20 NGF
Base des graves	6,30/ 131,80 NGF	6,40m/ 131,70 NGF	6,40m/ 131,70 NGF	6,20m/ 131,90 NGF
Toit des molasses	6,30m Soit 131,80 NGF	6,40m Soit 131,70 NGF	6,40m Soit 131,70 NGF	6,20m Soit 131,90 NGF

En bordure des galeries enterrées			
SONDAGE	SD1	SD2	SD3
Base des remblais	3,80m/ 134,30NGF	1,60m/ 136,50 NGF	1,90m/ 136,20 NGF
Base des argiles marron	NR	NR	NR
Base des graves	>3,80m/ <134,00NGF	>4,00m/ <134,00NGF	>4,00m/ <134,00NGF
Toit des molasses	NR	NR	NR

Remarque : L'interprétation sur la nature des terrains traversés au droit des essais de pénétration dynamique a été faite par le géotechnicien.

Les remblais étant fortement compacts en PD5 et PD6, nous avons du réaliser un avant-trou de 1,50m environ à la tarière mécanique.

On observe des **hétérogénéités de compacité dans les graves** : elles sont peu compactes en PD3 et très compactes en PD5 et PD6.

La profondeur du toit de la molasse varie peu sur la zone : entre 131 et 132NGF.

2.2 Caractéristiques géomécaniques

A l'échelle de la zone d'étude, les caractéristiques pénétrométriques mesurées sont synthétisées dans le tableau ci-dessous :

Couche/ Faciès	PI* (MPa)			E _M (MPa)			q _d (MPa)		
	Min	Max	Moy	Min	Max	Moy	Min	Max	Moy
remblais	0,3	2,3	/	4	25	/	2	50	/
argiles marron	/	/	/	/	/	/	2	5	3
graves sablo-argileuses puis sableuses	0,6	1,65	1,0	7	17	12	2	50	7/8
molasses	2,0	2,9	2,4	26	81	40	10	>50	>10

Remarques: Les essais de pénétration PD3 et PD4 ont été arrêtés à 6,80m de profondeur (toit de la molasse ; en PD5 et PD6, le refus a été rencontré dans les graves ; aucun essai pressiométrique n'a pu être effectué dans les argiles marron car cette couche est peu épaisse.

Les caractéristiques mécaniques apparaissent donc :

- Fortes en tête puis médiocres à la base des remblais : ces couches sont de compacité très hétérogène (d'où l'absence de valeurs moyennes dans notre tableau car non significatives);
- Faibles dans les argiles marron ; la nature argileuse de ces sols et leur position en surface fait que leur consistance est susceptible de varier avec les saisons et les conditions météorologiques ;
- Moyennes à fortes voire très fortes dans les graves à galets avec des résistances dynamiques en « dents de scie » ; les valeurs minimales correspondent probablement à des lentilles sableuses. On note systématiquement une chute des caractéristiques mécaniques (qd, PL) à la base des graves vers 6-7 m, à corrélérer à la zone de battement de la nappe à ces profondeurs.
- fortes à très fortes dans le substratum molassique très raide.

2.3 Hydrogéologie

Les premières mesures dans les piézomètres révèlent les niveaux de nappe suivants :

Piézomètre Diam. 33/40 mm	PZ1 tube 9m coté Est (relai H)			
Cote NGF. de la tête de piézomètre	138,10			
Date de la mesure	24 juillet 2012	4 septembre 2012	4 octobre 2012	30 octobre 2012
Profondeur du niveau d'eau (m/TN)	5,20	5,90	6,20	4,90
Cote NGF. du niveau d'eau	132,90	132,20	131,90	133,20

Piézomètre Diam. 33/40 mm	PZ2 tube 9 m côté Ouest (Tram)			
Cote NGF. de la tête de piézomètre	138,10			
Date de la mesure	24 juillet 2012	4 septembre 2012	4 octobre 2012	30 octobre 2012
Profondeur du niveau d'eau (m/TN)	5,10	5,50	6,00	4,80
Cote NGF. du niveau d'eau	133,00	132,60	132,10	133,30

Dans ce secteur, la nappe phréatique baigne la base des graves et est soutenue par le substratum molassique. Au vu de ces cotes, il semble exister un faible gradient hydraulique de l'Ouest vers l'Est. Les mesures à cette époque ne peuvent pas être considérées comme représentatives du niveau des plus hautes eaux (NPHE). L'estimation du NPHE doit être appréhendée à partir du suivi piézométrique régulier réalisé sur un cycle hydrologique complet. Ce suivi est prévu sur les ouvrages mis en place dans le cadre de la présente étude sur une durée de 6 mois (jusqu'à février 2013), ce qui nous semble insuffisant (une année complète au minimum).

On considère généralement dans ce secteur une fluctuation de 1,50 m. Néanmoins, La présence de bâtiments en cours ou terminés autour de ce site avec des niveaux enterrés peut perturber les écoulements donc ce niveau phréatique ; c'est pourquoi seul un suivi sur au moins 6 mois (idéalement 12 mois) permettra de caler les niveaux E.B, E.H et E.E, tels que définis dans la norme NFP 11-221.

A titre indicatif, on rappelle les niveaux donnés par l'étude Sores sur l'hôpital Paule de Vigiuer voisin en 1997, à savoir : EB = 132,80 NGF ; EH = 133,80 NGF ; EE = 134,40 NGF.

2.4 Essais en laboratoire - analyse d'agressivité des eaux vis-à-vis des bétons

Les analyses en laboratoire réalisées selon la norme NF EN206-1 permettent de classer les eaux de nappe en eaux non agressives (voir PV en annexe : classe XA0).

2.6 Remarques

2.6.1 Sismicité

Selon le décret n°2010-1255 du 22 octobre 2010 portant sur la délimitation des zones de sismicité du territoire français et entré en vigueur depuis le 01 mai 2011, le projet se situe en zone de sismicité 1 (très faible).

2.6.2 Composantes anthropiques

En raison des différentes constructions et démolitions possibles sur ce site, des apports anthropiques (vestiges enterrés, ...) sont très probables ; aucun signe de pollution n'a été détecté au droit de nos sondages. Cependant, en l'absence de données historiques concernant l'occupation du site, un risque éventuel ne peut être écarté.

2.6.3 Niveaux compacts

Les graves peuvent être très denses en partie supérieure comme en témoignent les fortes résistances à la pénétration en PD5 et PD6 par exemple.

La molasse peut renfermer des bancs calcaires très durs.

3 ORIENTATIONS GENERALES POUR LES DIFFERENTES PARTIES DE L'OUVRAGE

3.1 Contraintes sur ce projet en phase chantier

Les travaux de l'Entreprise ne devront pas altérer l'état de fonctionnement pendant toute la durée des travaux, des réseaux enterrés et des installations existantes aux abords du chantier en particulier, les deux escaliers des deux hôpitaux (Paule de Viguier et Enfants) devront rester opérationnels.

A cause de ces escaliers qui doivent être conservés et pour maintenir les circulations en surface en phase chantier, un soutènement des terres sur les limites Nord et Sud du projet d'excavation est impératif en phase travaux. Il est envisagé de réaliser **une paroi autostable en pieux sécants**, ouvrage particulièrement adapté aux sols rencontrés et exempt de vibrations à l'exécution. Cette paroi pourra aussi jouer un rôle de fondation en reprenant les charges du plancher haut.

La fouille projetée venant aux abords de ces deux escaliers, la paroi n'est pas réalisable à ces endroits car ces structures empêchent toute intervention de la machine de pieux ; les parois Nord et Sud seront donc discontinues, car arrêtées au niveau de ces ouvrages et un soutènement différent devra être mis en œuvre. Rappelons que des inconnues subsistent quant aux fondations de ces escaliers : sur l'hôpital des Enfants (Nord), il semble qu'il n'y ait pas de débord du massif du côté de la fouille à créer (voir coupe RF1) ; sur l'hôpital Paule de Viguier, nous n'avons pas pu faire d'observations en raison des anciennes structures enterrées présentes à 0,60m de profondeur (voir coupe RF2).

D'autre part, les deux galeries Ouest et Est ne doivent pas être impactées par les travaux ; on sait qu'il n'y a pas de débord notable (c'est-à-dire supérieur à 1 m) des piédroits des galeries Ouest et Est sur l'emprise du projet. Ces galeries qui sont très probablement fondées superficiellement en radier dans les graves ne doivent pas être déstabilisées par les travaux de terrassement ou de fondations à proximité.

3.2 Contraintes sur ce projet en phase définitive

Les charges amenées par le nouvel ouvrage ne doivent pas générer de tassements sur les existants. Les deux Hôpitaux (Paule de Viguier et Enfants) sont probablement fondés sur pieux (à confirmer par CHU ou B.E Serige) et ne devraient donc pas être exposés.

Le niveau bas de l'ouvrage (cote 134,50NGF en moyenne) doit rester sec et donc ne pas être infiltré par des éventuelles remontées de nappe.

3.3 Conséquences de ces contraintes sur les ouvrages géotechniques

Les parois en pieux sécants atteignant la molasse (voir fiche au chapitre 4) et jouant un rôle de fondation en reprenant les charges du plancher haut, on se doit, afin de garder un **système de fondation homogène**, de fonder les poteaux intérieurs de l'ouvrage aussi dans la molasse.

Les deux longueurs Nord et Sud de paroi en pieux sécants vont constituer un écran étanche et peuvent donc perturber les écoulements de la nappe, avec des conséquences sur le niveau phréatique difficiles à anticiper : remontée ou abaissement du niveau local ?

Par conséquent, au vu de ces incertitudes sur l'amplitude de battement de la nappe en phase définitive, il nous semble prudent de prévoir, à ce stade du projet, pour le niveau bas :

- Soit un plancher porté avec cuvelage ;
- Soit la création d'une enceinte quasi-étanche jusqu'à la molasse en injectant les graves sous les galeries (les autres côtés de la gare étant fermés par la paroi en pieux sécants) assortie d'un tapis drainant sous le niveau bas et de fosses avec pompes de relevage qui évacueront les éventuels débits d'infiltration, lors de remontées exceptionnelles de la nappe. On pourra alors envisager un dallage sur terre-plein pour le niveau bas avec les joints d'étanchéité adéquats.

4 DIMENSIONNEMENT ET EXECUTION DE LA PAROI EN PIEUX SECANTS

4.1 Dimensionnement du soutènement

Cette paroi à pieux sécants joue à la fois rôle de soutènement et de fondation. Les descentes de charges étant faibles ($G+Q= 5,6 \text{ t/ml}$), c'est le soutènement qui est dimensionnant et qui sera donc étudié ici. La justification en fondation est fournie au chapitre 4.2.

4.1.1 Méthode de calcul

Les calculs de justification sont réalisés à l'aide du logiciel KREA version 3. Il s'agit de calculer les efforts internes et les déformations d'un écran de soutènement lors des différentes phases d'excavation, ainsi que les efforts externes représentés d'une part par les réactions du sol, et, d'autre part, par les liaisons externes. L'écran, de hauteur prédéterminée, est supposé de longueur infinie de telle sorte que l'analyse du sol est faite en déformations planes.

La méthode de calcul utilisée est la méthode de calcul aux coefficients de réaction (de type MISS-K1 par référence à la norme d'application de l'Eurocode 7). Elle est fondée sur la modélisation des soutènements par des éléments de poutre sur appuis élasto-plastiques.

En complément du calcul MISS-K1, K-Réa permet également d'effectuer, pour les écrans de type écran simple, 3 types de vérifications aux ELU selon la norme NF P 94-282, qui est la norme française d'application de l'Eurocode 7 pour les calculs des écrans de soutènement.

La norme NF P 94-282 représente le texte d'application de l'Eurocode 7 (NF EN 1997) au calcul des écrans de soutènement verticaux, que ces écrans soient auto-stables (écrans dits « en

console ») ou réalisés avec des appuis (écrans dits « ancrés »). Ce texte fixe le cadre des vérifications aux états limites ultimes (ELU) à mener vis-à-vis des principaux risques de ruine des écrans de soutènement :

- Vérification du défaut de butée des terrains (1) ;
- Vérification de la résistance de la structure de l'écran et de ses appuis (2) ;
- Vérification de l'équilibre vertical de l'écran (3) ;
- Vérification de la stabilité hydraulique (4) ;
- Vérification de la stabilité du massif d'ancrage (5) ;
- Vérification de la stabilité d'ensemble (6) ;

Le logiciel K-Réa offre la possibilité de mener, pour chaque phase d'un projet écran simple, les vérifications (1), (3) et (5) conformément à la norme NF P 94-282. Il fournit également les éléments nécessaires à la vérification (2). Les vérifications (4) et (6) doivent être menées à l'aide de programmes de calcul spécifiques.

4.1.2 Hypothèses

Le projet tel que défini conduira à excaver les terrains suivants sur 4 m de profondeur (cote 134 NGF).

- Paroi : pieux sécants diamètre 600mm en béton ferrailés un sur deux ;
Ecran considéré rugueux pour les poussées et butées ;
Produit d'inertie $106\,000\text{ kN.m}^2$ (module du béton = 10GPa);
Ancrage dans les molasses au minimum de 3 diamètres car les pieux de la paroi font aussi fondations, donc au minimum $6,50\text{m} + 1,80\text{m} =$ arrondi à $8,50\text{m}$ de profondeur par rapport au terrain actuel (cote 129,60 NGF).
- Profil de calcul : section courante de la paroi éloignée des ouvrages avoisinants que sont les escaliers ou les galeries.
- Situation envisagée : on examine la phase chantier (phase provisoire) qui est dimensionnante car en phase définitive, la paroi sera butonnée par le plancher haut et les pieux seront chargés, ce qui va dans le sens de la sécurité. On admet des déplacements modérés en tête de paroi car il n'y a pas d'ouvrage avoisinant fondé superficiellement (hors cas particulier des escaliers-voir chapitres 4.4, 7 et 8). Le Maître d'ouvrage précisera à son marché de travaux les déplacements maximum admissibles en phase chantier.
- Sols : la reconnaissance réalisée a permis de définir les caractéristiques physiques et mécaniques suivantes pour les formations du site :

Sol	Poids volumique (kN/m ³)	C' (kPa)	Φ' (°)	Coeff. Rhéologique α	pl* (MPa)	Em (MPa)
Remblais et argiles marron (0 à 2 m)	19	0	25	0,50	0,6	6
Graves (2 à 6,50 m)	20	0	32	0,33	1	12
Molasse peu altérée >6,50m	21	35	25	0,50	2,4	40

Remarques : L'angle de frottement dans les graves est estimé par corrélation avec les essais pressiométriques (formule de L. Ménard, avec p_i^ la pression limite nette équivalente en MPa). Les caractéristiques ci-dessus pourront être validées et éventuellement optimisées en étude d'Exe G3, notamment sur la base d'un sondage carotté complémentaire avec essais de laboratoire dans ces trois horizons.*

- Eau: nappe à 133 NGF (niveau mesuré sur la période du suivi à ce jour).
- Surcharges : une surcharge de 10 kPa est considérée en tête de paroi afin de tenir compte de la circulation de véhicules légers pendant le chantier.

4.1.3 Prise en compte de la sécurité

Dans le cas ici d'un calcul mené avec vérifications ELU, pour chaque phase, deux calculs sont réalisés :

- Un calcul « ELS » basé sur un modèle MISS réalisé sans pondération sur les caractéristiques des sols et des surcharges. Les résultats de ce calcul sont strictement identiques à ceux d'un calcul « sans vérifications ELU » : déplacements, pressions mobilisées, et efforts (V, M) ;
- Un calcul « ELU » : ici dans le cas de l'écran en console (paroi auto stable), le calcul est mené à l'aide d'un modèle aux équilibres limites (MEL) conformément aux dispositions de la norme NF P 94282. Ce modèle est réalisé en appliquant des facteurs de pondérations partielles sur les actions (poussées, eau, surcharges...) et sur les résistances (butées, contre butée...). Il conduit aux résultats suivants :
 - Valeurs de calcul des pressions mobilisées ;
 - Valeurs de calcul des efforts (Vd, Md).

Ces résultats sont accompagnés des vérifications suivantes :

- Vérification du défaut de butée ;
- Vérification de la résultante verticale.

4.1.4 Résultats des calculs

Le détail des calculs est fourni en annexes, et le tableau ci-après récapitule les valeurs obtenues :

<u>calcul ELS</u>	Déplacement max (en tête)	Moment max	Effort tranchant max
	32mm	163kN.m	78kN

<u>calcul ELU</u> modèle aux équilibres limites (MEL)	Déplacement max (en tête)	Moment max	Effort tranchant max
efforts	/	251kN.m	199kN
Vérification du défaut de butée	Ok : pas de défaut		
Vérification de l'équilibre vertical	Ok : équilibre		

NB : les calculs menés sur K-Réa sont réalisés pour une longueur unitaire (1 ml) de paroi. Ainsi les données et les résultats se rapportent à cette longueur unitaire.

La vérification de la résistance interne de la paroi (béton et aciers) sera faite par le bureau d'étude de structures.

4.2 Justification de la paroi en fondations

Les charges à reprendre seront celles du plancher haut (G+Q=56 kN/ml), lesquelles seront réparties sur la paroi grâce à une poutre de couronnement.

La paroi est considérée comme continue sur 0,50 m de largeur (largeur réduite de 0,60 m à 0,50 m du fait des pieux sécants). Ces charges peuvent être reprises en tenant compte uniquement du terme de pointe dans la molasse. En effet, suivant la méthode pressiométrique du DTU 13-2 (norme NF P 11.212), si Q_p est défini comme le terme de pointe :

La charge nominale Q_N de service à comparer aux sollicitations ELS est :

$$Q_N = \frac{Q_p}{3}$$

$$\text{Avec } Q_p = A \cdot q_p$$

avec : A : Aire de la section de pointe de la paroi

q_p : Contrainte limite en pointe donnée par $q_p = q_0 + K (P_{le} - p_0)$

K : Facteur de portance fonction du sol, du type de pieu et de son encastrement : 1,6

P_{le} : Pression limite équivalente : 2400kPa

p_0 et q_0 : Pressions horizontale et verticale totales des terres

Dans la couche d'ancrage (molasse) : $q_p = 3800 \text{ kPa}$ - (ancrage minimum de trois diamètres).

$Q_N = 630 \text{ kN/ml de paroi}$

Nb : La charge nominale Q_N est limitée par la charge intrinsèque Q_i du matériau constituant le fût du pieu et le D.T.U. limite la contrainte dans le fût béton des pieux à 5 MPa au minimum.

4.3 Techniques d'exécution

Les pieux pourront être réalisés à la tarière creuse avec enregistrement de paramètres.

Ils seront forés d'abord à raison de un sur deux sans ferrailage puis les pieux intermédiaires seront mis en place pour recouper les pieux de la maille initiale (« remordu ») et seront ferrailés.

La proximité de bâtiments et leur usage interdisent l'utilisation du trépan ou l'utilisation de pieux battus.

Les caractéristiques du béton seront vérifiées par confection et épreuve de cylindres témoins en vue de la réalisation de mesure en compression simple.

Un suivi des déformations de la paroi sera conduit pendant et après terrassements.

4.4 Points Particuliers

4.4.1 Poutre de couronnement

Une poutre de couronnement en béton armé repartira les charges du plancher haut sur la paroi (dimensionnement par le bureau d'études de structures).

4.4.2 Interruption de la paroi au niveau des escaliers

Le tracé actuel des parois projetées venant tangenter les deux escaliers, des pieux sécants ne peuvent être réalisés contre ces escaliers compte tenu de l'espace de travail nécessaire à la machine (1 m environ de l'ouvrage). Si les accès le permettent, on peut envisager, par exemple, de passer en micropieux (paroi « micro-berlinoise ») car la machine est une foreuse de plus petite taille.

4.4.3 Injections d'étanchéité périphérique sous les galeries

Au vu des diverses incertitudes sur la zone de battement de la nappe en phase définitive, si on veut s'affranchir d'un cuvelage, il nous semble prudent de prévoir, à ce stade du projet, la création d'une enceinte quasi-étanche jusqu'à la molasse en injectant les graves sous les galeries (les autres côtés de la gare étant fermés par la paroi en pieux sécants). Le but de ce traitement n'est pas de renforcer les sols mais de constituer une barrière étanche dans les graves jusqu'aux molasses.

Il s'agira par des forages inclinés réalisés depuis le fond de fouille d'injecter les graves sous les galeries par un coulis (bentonite+ ciment ou gels de silicates par exemple). Comme pour tout travail d'injection sous un ouvrage, des dispositions seront prises pour surveiller les pressions d'injections de façon à ne pas entraîner de mouvements sur les galeries.

4.5 Phasage des travaux, sujétions, problèmes spécifiques

Avant tout travaux, les dispositions constructives habituelles de surveillance et de protection devront être prises de façon à assurer la stabilité des structures et aménagements en place, à court et à long terme (au minimum contrôle topographique du toutes les semaines en phase chantier).

On étudiera en phase G3 les adaptations de l'exécution des parois à proximité des galeries et les solutions techniques pour le soutènement provisoire et définitif à l'aplomb de ces escaliers.

5 DIMENSIONNEMENT ET EXECUTION DES FONDATIONS DES POTEAUX INTERIEURS

Par obligation d'**homogénéité** vis-à-vis de la paroi périphérique qui reporte une partie des charges du plancher haut dans la molasse, les poteaux intérieurs devront être fondés eux aussi par **puits ou plots ancrés de 0,20 m dans la molasse** ; cette obligation est d'autant plus justifiée ici que l'on a rencontré des lentilles sableuses dans les graves sus-jacentes, ce qui pourrait entraîner des tassements différentiels sur l'ouvrage. La molasse a été repérée entre les cotes 131 et 132 NGF, soit entre 2 et 3 m sous le niveau de fond de fouille de l'ouvrage projeté. Ces fondations pourront avantageusement être réalisées selon une technique de pieux (voir chapitre 5.2)

5.1 Dimensionnement

5.1.1 Méthode de calcul

La méthode utilisée est la méthode pressiométrique décrite dans le D.T.U 13-12 de Mars 1988 "*Règles pour le calcul des fondations superficielles*".

Pour une semelle sous charge verticale centrée de largeur B et de longueur L et d'encastrement D, la contrainte ultime q_u s'écrit : $q_u = K_p \cdot P_{le}^* + \gamma D$

avec : K_p : Facteur de portance
 P_{le}^* : Pression limite nette équivalente
 γD : Poids des terres autour de la semelle

La contrainte de calcul q à comparer aux sollicitations ELU est : $q_{ELU} = q_u / 2$

La contrainte de service p à comparer aux sollicitations ELS est : $p_{ELS} = \gamma D + (q_u - \gamma D) / 3$

Le tassement final s de la fondation est la somme de deux termes :

$$S_c = \frac{\alpha}{9 E_M} (\sigma - \gamma D) \delta_c \cdot B \quad \text{Tassement dit de consolidation}$$

$$S_d = \frac{2}{9 E_M} (\sigma - \gamma D) \cdot B_o \left(\frac{\delta_d}{B_o} \right)^\alpha \quad \text{Tassement dit déviatorique}$$

Où : $B_o = 0,6 \text{ m}$

σ : Composante normale de la contrainte du sol sous la fondation pour l'état limite de service

E_M : Module pressiométrique du sol

γD : Poids des terres extraites

δ_c et δ_d : Coefficients de forme de la fondation

5.1.2 Contraintes limites

Les valeurs suivantes seront retenues pour la justification des fondations :

Contrainte de calcul : $q_{ELU} = 0,75 \text{ MPa (75t/m}^2\text{)}$
Contrainte de service : $q_{ELS} = 0,50 \text{ MPa (50 t/m}^2\text{)}$

Les tassements prévisibles sont les suivants :

- Dimension de la fondation : 1,2m x 1,2m
- Descentes de charges verticales : 70 tonnes
- Contrainte au sol : 500kPa
- Tassement prévisible : 0,4cm

Ces tassements sont faibles et ne génèrent pas de tassements différentiels prohibitifs.

5.2 Précautions de mise en œuvre

Ces fondations semi-profondes devront obligatoirement s'ancrer de 0,20m dans les molasses (marnes et argiles marneuses avec banc calcaires possibles). Ces couches ont été trouvées aux sondages entre 131 et 132 NGF.

Les puits devront être coulés immédiatement après terrassements après s'être assuré de l'homogénéité du fond des excavations en purgeant le cas échéant, les poches plus tendres. En cas de doute à l'ouverture des fouilles, nous recommandons la visite d'un géotechnicien.

Compte tenu de la présence de la nappe présente à la base des graves (voir chapitre 2.3) et de la compacité variable de celles-ci (lentilles sableuses – voir PD3 par exemple), la mauvaise tenue des fouilles est probable ce qui nécessitera de prévoir un tubage provisoire ou un blindage de ces puits ainsi que le bétonnage au tube plongeur. C'est pourquoi une solution adaptée consiste à opter pour des puits forés réalisés selon la technique de pieux.

Une partie de ces travaux de fondations devra se faire à proximité des galeries existantes. Celles-ci sont fondées très probablement en superficiel (radier) dans les graves. Il conviendra donc de prendre des dispositions constructives habituelles de surveillance et de protection, lors des fouilles de fondations des poteaux situés contre ces galeries.

Les bâtiments avoisinants, étant éloignés d'environ 10 m des poteaux à fonder, on ne doit pas craindre à priori d'efforts parasites sur leurs fondations.

6 NIVEAU BAS

6.1 Mise hors d'eau de l'ouvrage

Dans l'attente de la définition des niveaux EH, EB et EE (voir chapitre 2.3), nous conseillons, à ce stade du projet, de prévoir pour le niveau bas :

- Soit un plancher porté avec cuvelage ;
- Soit la création d'une enceinte quasi-étanche jusqu'à la molasse en injectant les graves sous les galeries (les autres côtés de la gare étant fermés par la paroi en pieux sécants) assortie d'un tapis drainant sous le niveau bas et de fosses avec pompes de relevage qui évacueront les éventuels débits d'infiltration, lors de remontées exceptionnelles de la nappe. On pourra alors envisager un dallage sur terre-plein pour le niveau bas avec les joints d'étanchéité adéquats. (voir chapitre suivant).

6.2 Niveau bas

On pourra mettre le niveau bas en dallage sur terre-plein à condition de respecter les dispositions énoncées au chapitre précédent ainsi que les modalités de réalisation suivantes :

- 1) Purge des éventuelles poches médiocres (lentilles sableuses) et des sols détériorés par les engins de terrassement ou par les eaux de pluie.
- 2) Compactage de la plate-forme à 95 % de l'Optimum Proctor Normal (O.P.N.). Cette opération ne sera réalisable que si les graves argilo-sableuses ne présentent qu'une teneur en eau faible. Dans le cas contraire, (à la suite d'intempéries par exemple ou pour des travaux en saison pluvieuse), on devra envisager le décapage supplémentaire de 15 à 20 cm, mise en place d'un non-tissé et d'une couche de fondation de 20 cm- minimum en matériaux d'apport graveleux propres compactés à 95 % de l'Optimum Proctor Modifié (OPM).
- 3) Mise en place d'une forme en grave concassée 0/20 mm ou 0/40 mm, de 0,40 cm d'épaisseur et compactée à 95 % de l'Optimum Proctor Modifié (OPM) et compactée et contrôlée.
- 4) Mise en place d'un drainage périphérique autour de l'ouvrage pour recueillir les éventuelles venues d'eau (de surface ou fuites de réseaux).

Pour le calcul, on retiendra comme module des graves sous le dallage : $E_s = 10$ à 15 MPa.

7 TERRASSEMENTS

Avant tout travaux, les dispositions constructives habituelles de surveillance et de protection devront être prises de façon à assurer la stabilité des structures et aménagements en place, à court et à long terme (au minimum contrôle topographique des galeries et des escaliers toutes les semaines en phase chantier).

Le projet tel que défini conduira à excaver les terrains suivants sur 4 m de profondeur (cote 134 NGF) :

- des **remblais** hétérogènes en compacité et constitués de graves sableuses, graves argileuses ou de sables graveleux ; on relève des épaisseurs variant entre de 0,80 m à 2,00 m en limites Nord et Sud du projet et de 1,60 à 3,80 m à proximité des galeries (zones probablement plus remaniées lors de la réalisation de ces ouvrages);
- des **argiles marron** sur une faible épaisseur (0,30/0,50m) et uniquement en zone centrale ;
- les **graves sablo-argileuses marron à grises**.

Compte tenu des niveaux piézométriques mesurés à ce jour, la fouille devrait être réalisée hors d'eau (Voir chapitre 2.3).

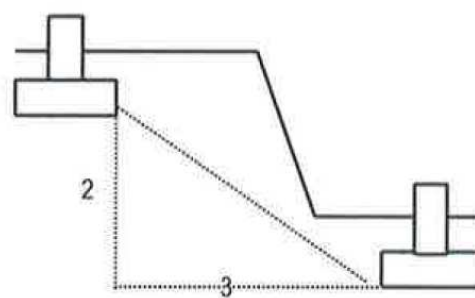
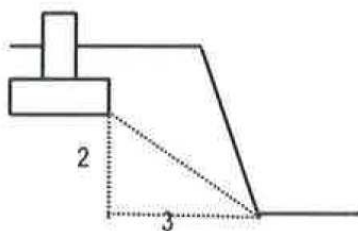
Dans les sols graveleux (remblais de surface puis graves en place) qui peuvent être localement très compacts, les terrassements pourront faire appel à des engins de forte puissance.

Pour d'éventuels talus provisoires à exécuter en phase chantier, on adoptera des pentes de talutage maximales de 2H/1V dans les remblais et argiles marrons et de 1H/1V dans les graves sablo-argileuses.

Afin d'éviter que la portance des couches de graves sablo-argileuses ne soit altérée en fond de fouille (passage à l'état hydrique humide voire très humide de sols de type B5), un système de collecte et d'évacuation de l'ensemble des eaux de ruissellement sera mis en place pendant la fouille.

Vis à vis des galeries Est et Ouest très probablement fondées dans les graves, la fouille devrait descendre au maximum à 0,50 m sous celles-ci (pour mettre en place la couche de forme sous dallage par exemple). Nous recommandons de décaisser et substituer par plots au pied des galeries pour limiter l'impact de ces terrassements sur la stabilité de ces ouvrages.

Dans le cas où les escaliers serait fondés dans les graves, au-dessus du fond de fouille (voir chapitre 8- Incertitudes à lever), on sera contraint de les reprendre en sous-œuvre de façon à respecter la règle du DTU13.12 demandant de respecter une pente maximale de 3/2 (3 horizontalement pour 2 verticalement) entre les pieds de talus de la fouille et les arêtes de fondations isolées voisines :



Durant les travaux, les abords seront drainés pour éviter l'arrivée en fond de fouille des eaux de toute nature.

8 RISQUES GEOLOGIQUES RESIDUELS ET INCERTITUDES A LEVER

Rappelons d'abord que compte tenu de l'hétérogénéité possible des terrains et de la maille de répartition de nos investigations, il convient d'être prudent quant à l'extrapolation entre les points de sondages des différentes interfaces lithologiques et géomécaniques reconnues. En raison des différents constructions et démolitions possibles sur ce site, des apports anthropiques (vestiges enterrés, ...) sont très probables.

Au stade de l'étude géotechnique d'exécution [mission G₃], il faudra étudier impérativement lever les incertitudes et étudier les points suivants :

- Au niveau des escaliers : il reste à déterminer leurs niveaux de fondations et à concevoir et dimensionner les soutènements provisoires et définitifs lors de la fouille à leur aplomb ; indiquons ici qu'on pourra envisager de passer la paroi ponctuellement en micropieux si les limites Nord et Sud de la gare sont compatibles avec l'accès d'une foreuse.
- Les niveaux de nappe EH, EB et EE seront définis grâce au suivi piézométrique en cours assorti d'une enquête hydrogéologique menée sur la base des nombreuses données acquises par les différents travaux et études sur le CHU. Ils serviront pour le dimensionnement du tapis drainant sous dallage ou pour fixer le niveau haut du cuvelage ;
- Les précautions d'exécution des pieux des parois à proximité des galeries devront être étudiées afin de ne pas déstabiliser ces existants ;
- Si la solution d'injection des graves sous les galeries est retenue, il faudra déterminer la porosité des graves pour s'assurer de l'efficacité du traitement.

D'autre part, afin de respecter la règle du DTU 13-2 qui oblige une reconnaissance de sols sous les pieux à 5 m minimum sous leur pointe, il faudra réaliser au moins un sondage pressiométrique complémentaires descendant à 15 m de profondeur.

Les conclusions de ce présent rapport sont données sous réserves des conditions particulières jointes.

CONDITIONS PARTICULIERES

.....

Le présent rapport ou Procès verbal ainsi que toutes annexes, constituent un ensemble indissociable.

La Société E.C.R. ENVIRONNEMENT serait dégagée de toute responsabilité dans le cas d'une mauvaise utilisation de toute communication ou reproduction partielle de ce document, sans accord écrit préalable. En particulier, il ne s'applique qu'aux ouvrages décrits et uniquement à ces derniers.

Si en l'absence de plans précis des ouvrages projetés, nous avons été amenés dans le présent rapport à faire une ou des hypothèses sur le projet, il appartient à notre client ou à son maître d'œuvre de communiquer par écrit à la société ECR ENVIRONNEMENT ses observations éventuelles sans quoi, il ne pourrait en aucun cas et pour aucune raison nous être reproché d'avoir établi notre étude pour le projet que nous avons décrit.

Cette étude est basée sur des reconnaissances dont le caractère ponctuel ne permet pas de s'affranchir des aléas des milieux naturels, et ne peut prétendre traduire le comportement du sol dans son intégralité.

Ainsi, tout élément nouveau mis en évidence lors de l'exécution des fondations ou de leurs travaux préparatoires et n'ayant pu être détecté lors de la reconnaissance des sols (ex. : remblais anciens ou nouveaux, cavités, hétérogénéités localisées, venue d'eau, etc.) doit être signalé à E.C.R. ENVIRONNEMENT qui pourra reconsidérer tout ou une partie du Rapport. Pour ces raisons, et sauf stipulation contraire explicite de notre part, l'utilisation de nos résultats pour chiffrer à forfait le coût de tout ou une partie des ouvrages d'infrastructure ne saurait en aucun cas engager notre responsabilité.

De même, des changements concernant l'implantation, la conception ou l'importance des ouvrages par rapport aux hypothèses de base de cette étude, peuvent conduire à modifier les conclusions et prescriptions du Rapport et doivent être portés à la connaissance d'E.C.R. ENVIRONNEMENT.

La Société E.C.R. ENVIRONNEMENT ne saurait être rendue responsable des modifications apportées à son étude que dans le cas où elle aurait donné son accord écrit sur les dites modifications.

Les altitudes indiquées pour chaque sondage (qu'il s'agisse de cote de références rattachées à un repère arbitraire ou de cotes NGF) ne sont données qu'à titre indicatif. Seules font foi les profondeurs mesurées depuis le sommet des sondages et comptées à partir du niveau du sol au moment de la réalisation des essais. Pour que ces altitudes soient garanties, il convient qu'elles soient relevées par un Géomètre-Expert. Il en va de même pour l'implantation des sondages sur le terrain.

Annexes

Implantation des sondages G12 et G2

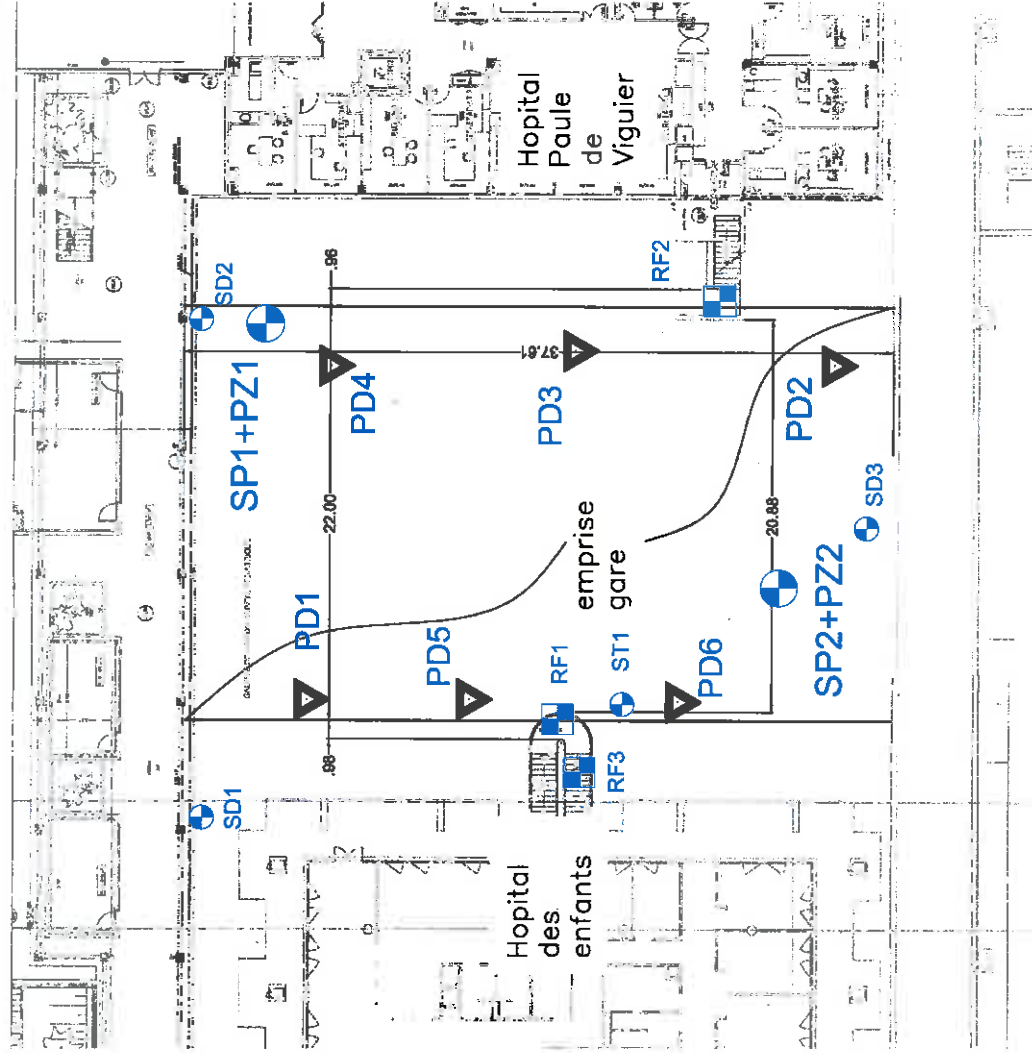
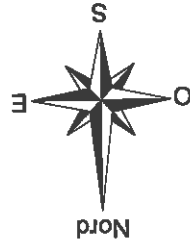
RF : Sondage sur fondation (à la pelle mécanique)

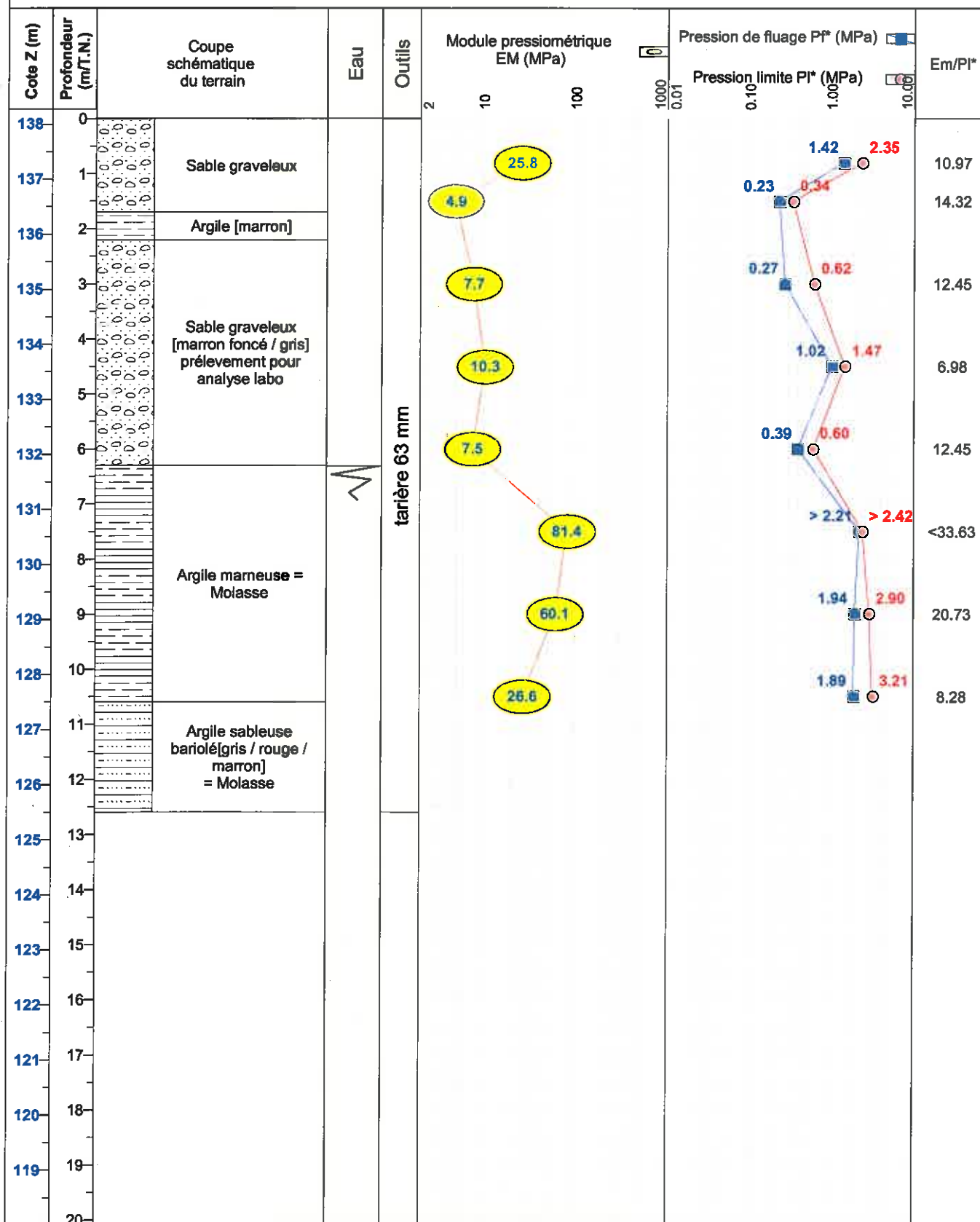
SD : Sondage sur fondation (à la tarière)

ST : Sondage à la tarière

SP : Sondage pressiométrique
(équipé en piézomètre)

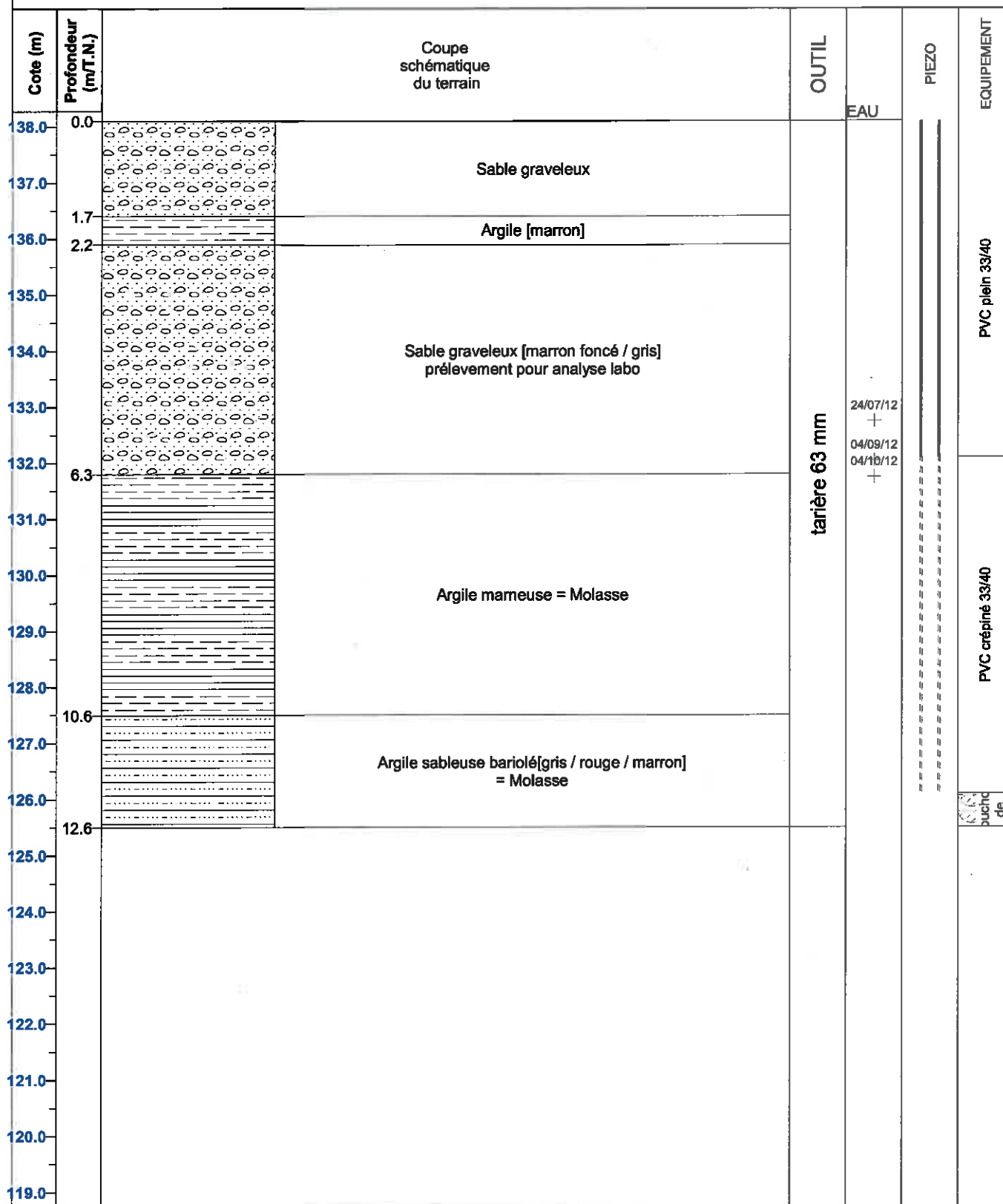
PD : essai de pénétration dynamique

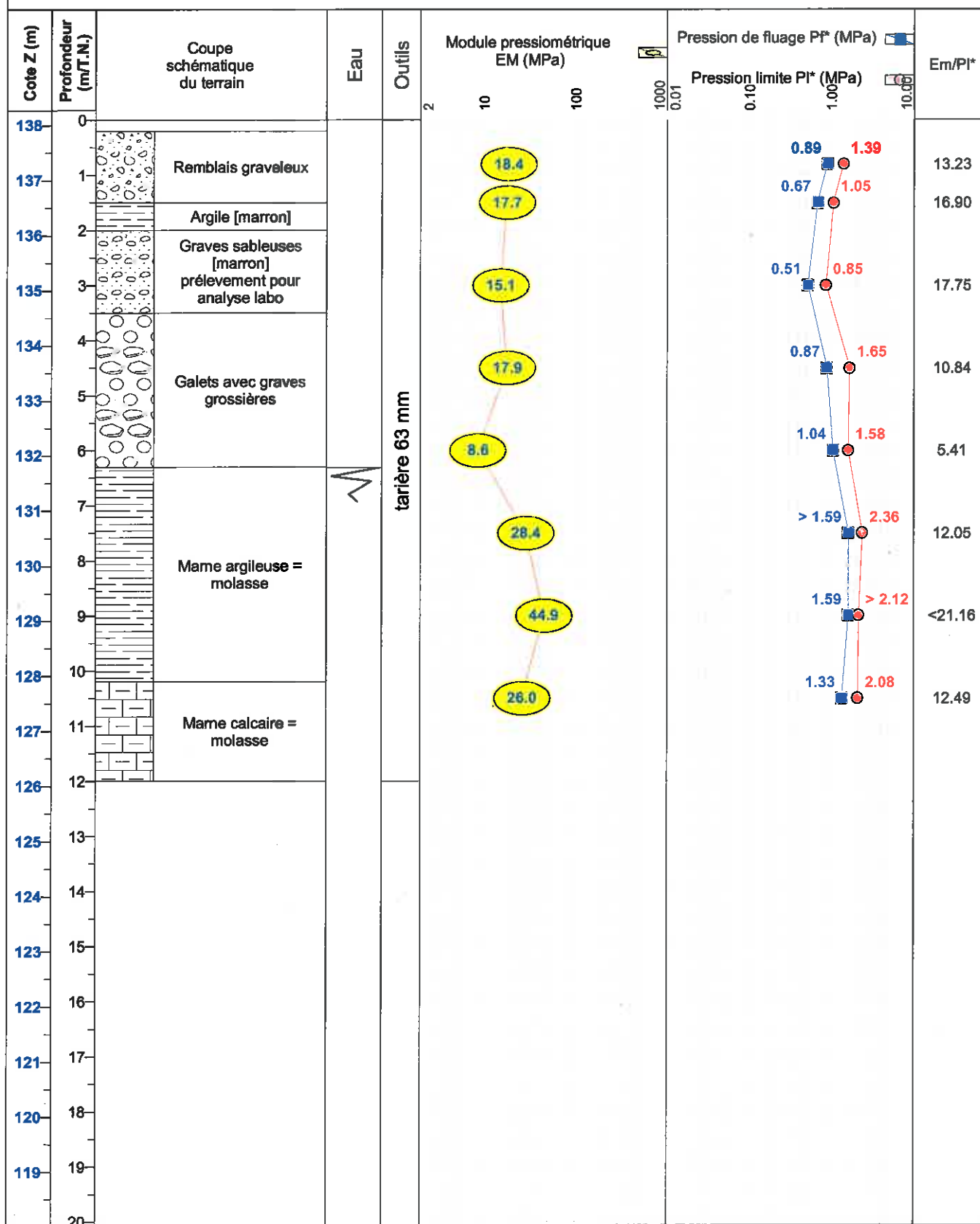




Observations : Forage équipé en piézomètre (voir coupe du PZ1)

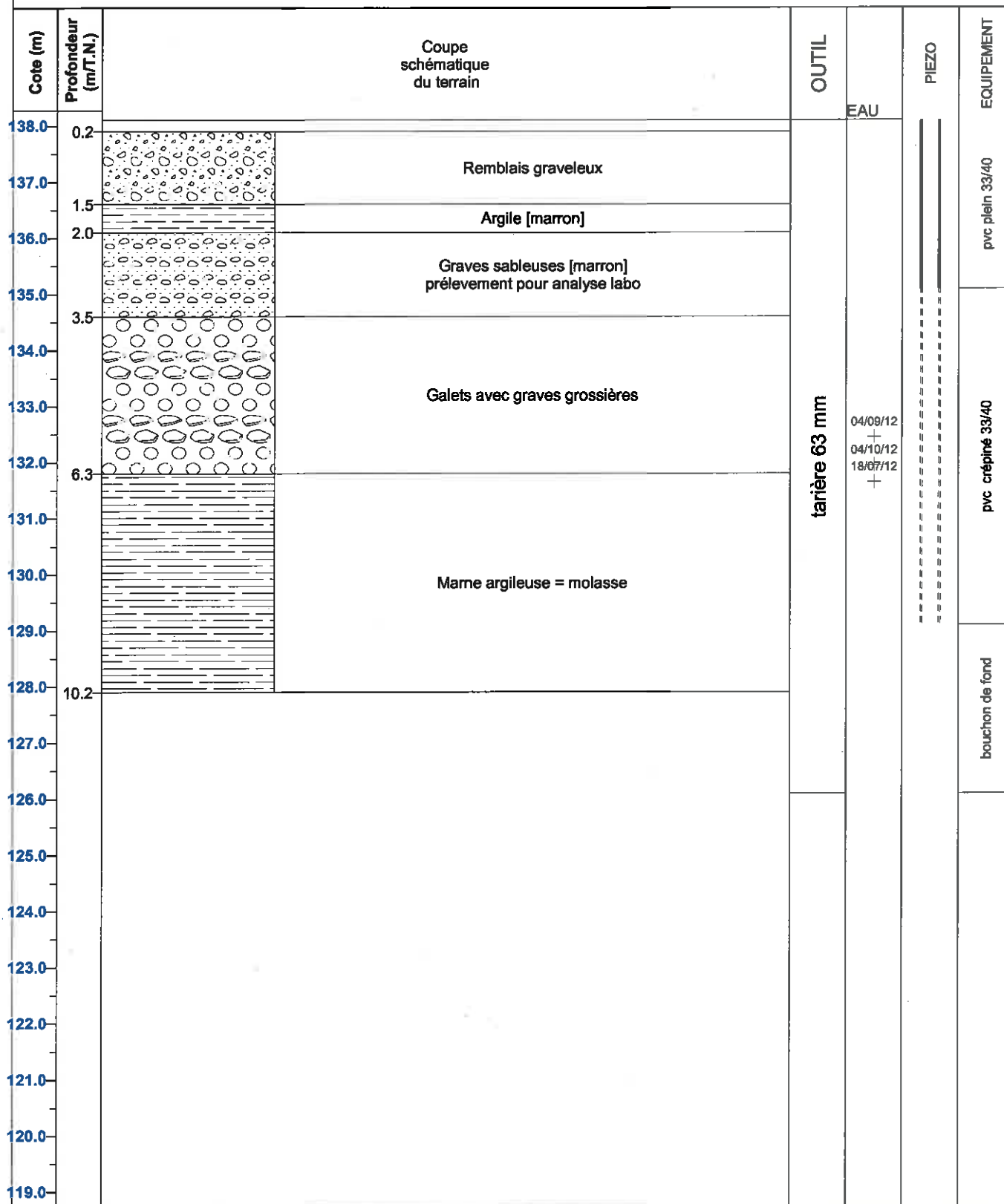
CPV (Type/n°série) :

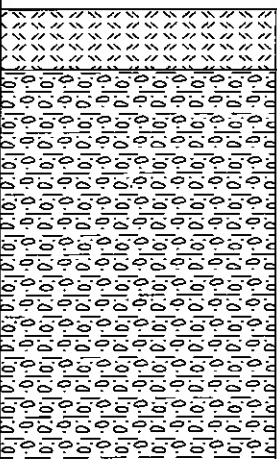


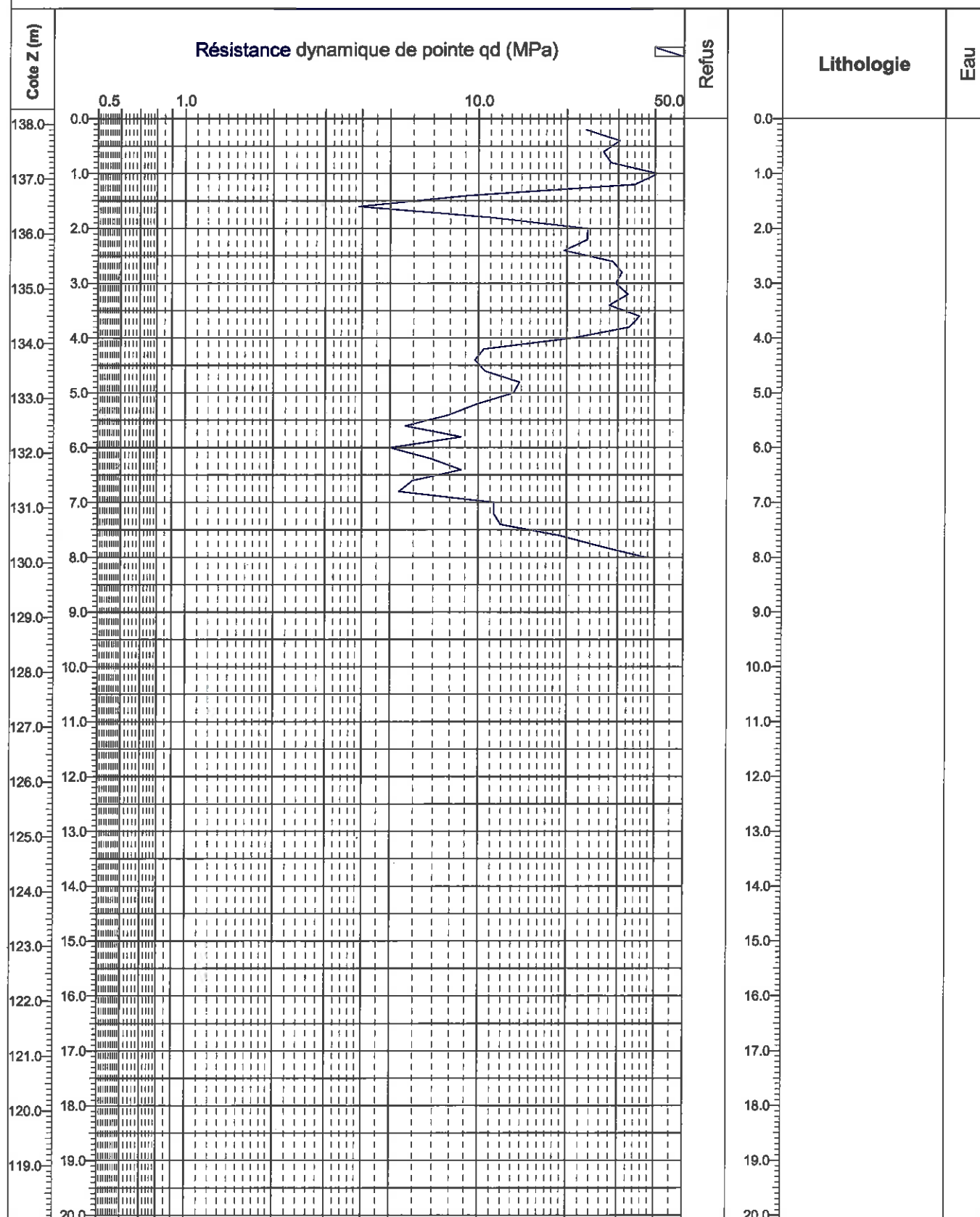


Observations : Forage équipé en piézomètre (voir coupe du PZ2)

CPV (Type/n°série) :

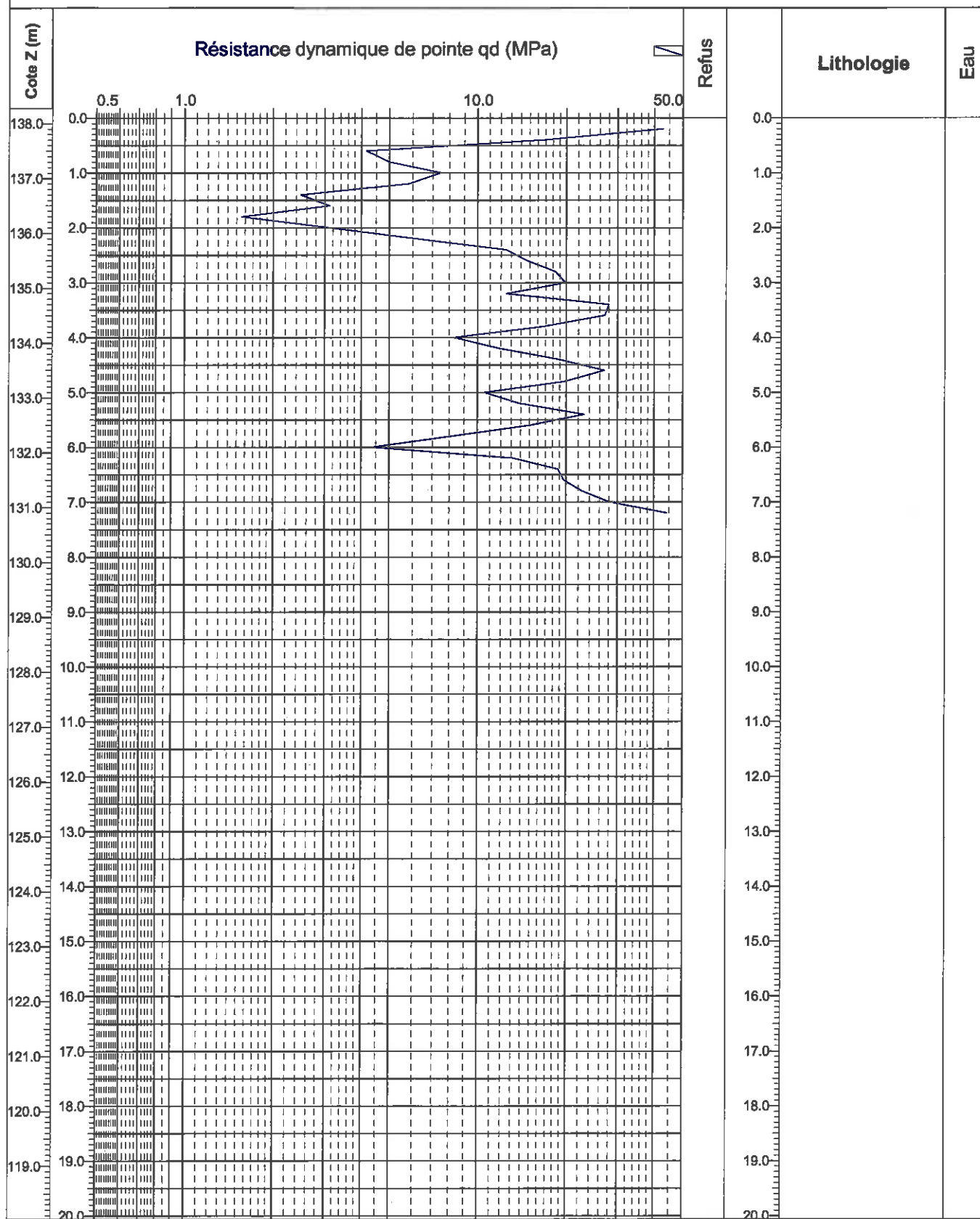


Cote Z (m)	Profondeur (m/TN)	Coupe schématique du terrain	Eau	Outils
138	0.0			
137	1.0			
136	2.0	Graves très compactes	non déterminé - trou éboulé	tarière 63 mm
135	3.0			
134	4.0			
133	5.0			
132	6.0			
131	7.0			
130	8.0			
129	9.0			
128	10.0			
127	11.0			
126	12.0			
125	13.0			
124	14.0			
123	15.0			
122	16.0			
121	17.0			
120	18.0			
119	19.0			
Observations : arrêt à 6m-situé entre PD6 et PD5		Agence Toulouse		



Observations : arrêt à 8 m

Agence Toulouse



Observations : refus à 7,20 m

Agence Toulouse



ENVIRONNEMENT

INGENIERIE DU SOL ET DE L'ENVIRONNEMENT

Dossier: 3100031

Site : CHU PURPAN, TOULOUSE
(31)

Sondage : PD3

Client : CHU Purpan

Type : Pénétromètre dynamique

Etude : PROJET DE GARE T.A.L-
phase G2

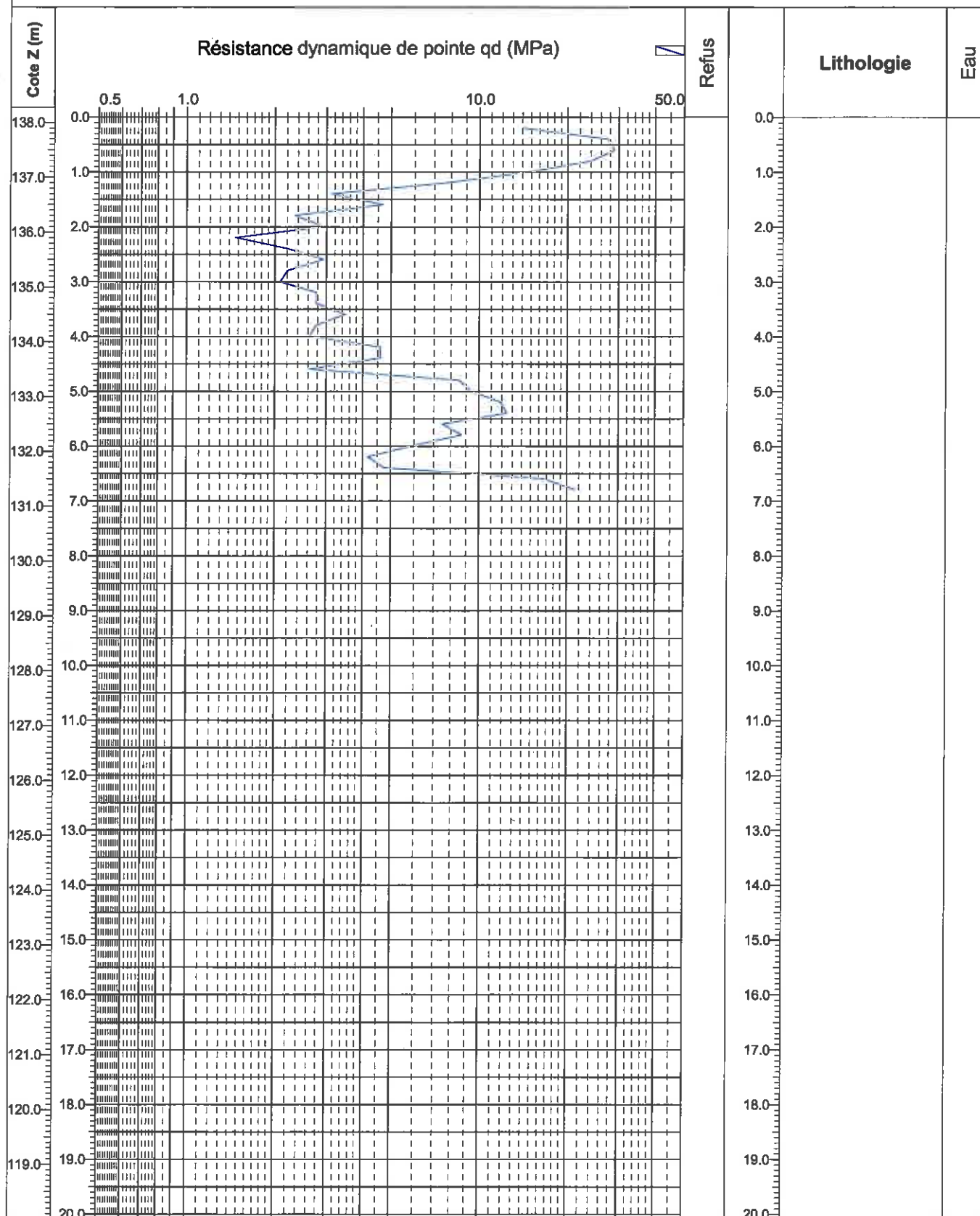
Z: 138,1 m NGF

Date : 04/10/2012

X:

Y:

Echelle : 1 / 100



Observations : ARRET à 6,8 m

Agence Toulouse

**ENVIRONNEMENT**

INGENIERIE DU SOL ET DE L'ENVIRONNEMENT

Dossier: 3100031

Site : CHU PURPAN, TOULOUSE
(31)Sondage : **PD4**

Client : CHU Purpan

Type : Pénétromètre dynamique

Etude : PROJET DE GARE T.A.L-
phase G2

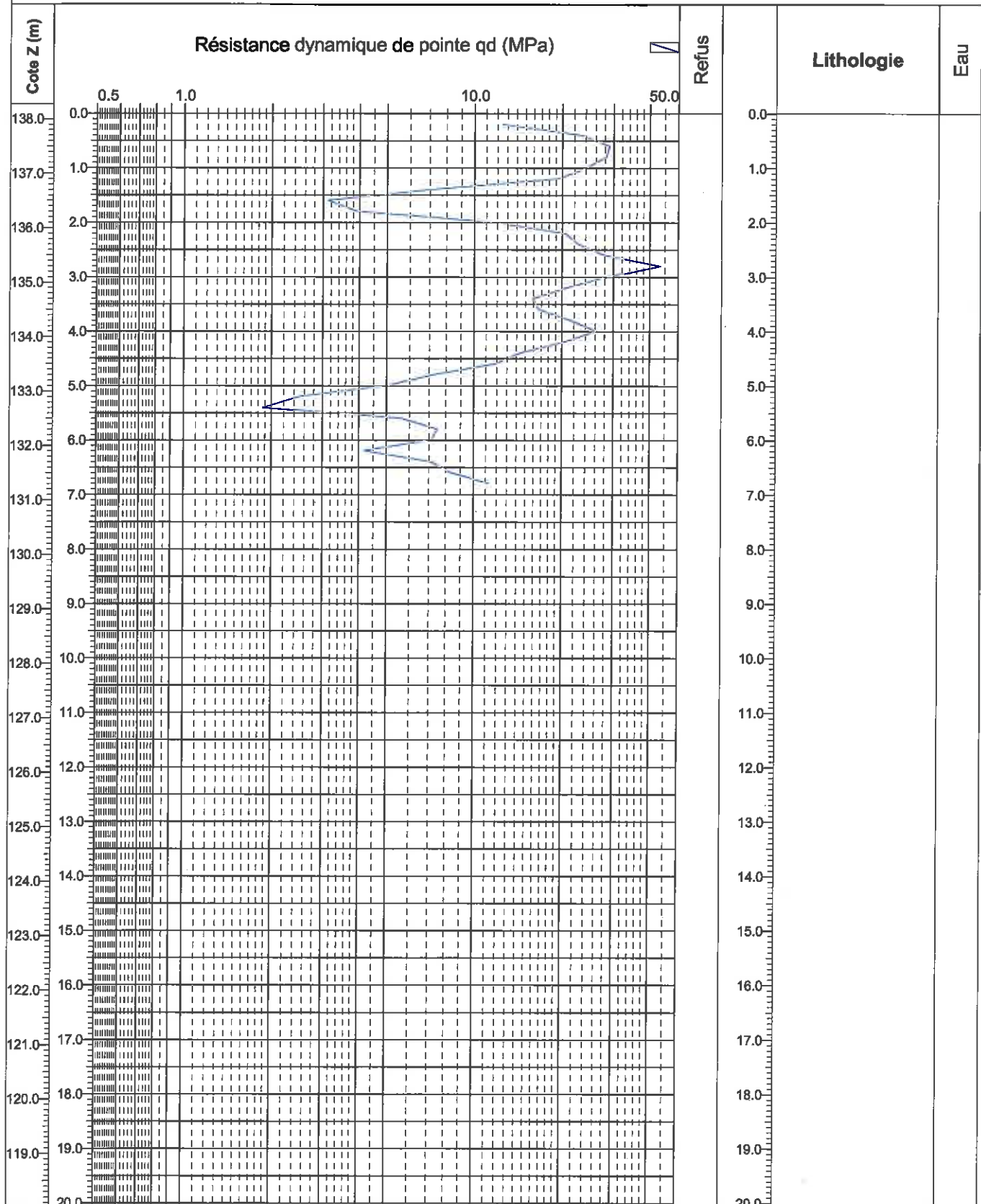
Z: 138,1 m NGF

Date : 04/10/2012

X:

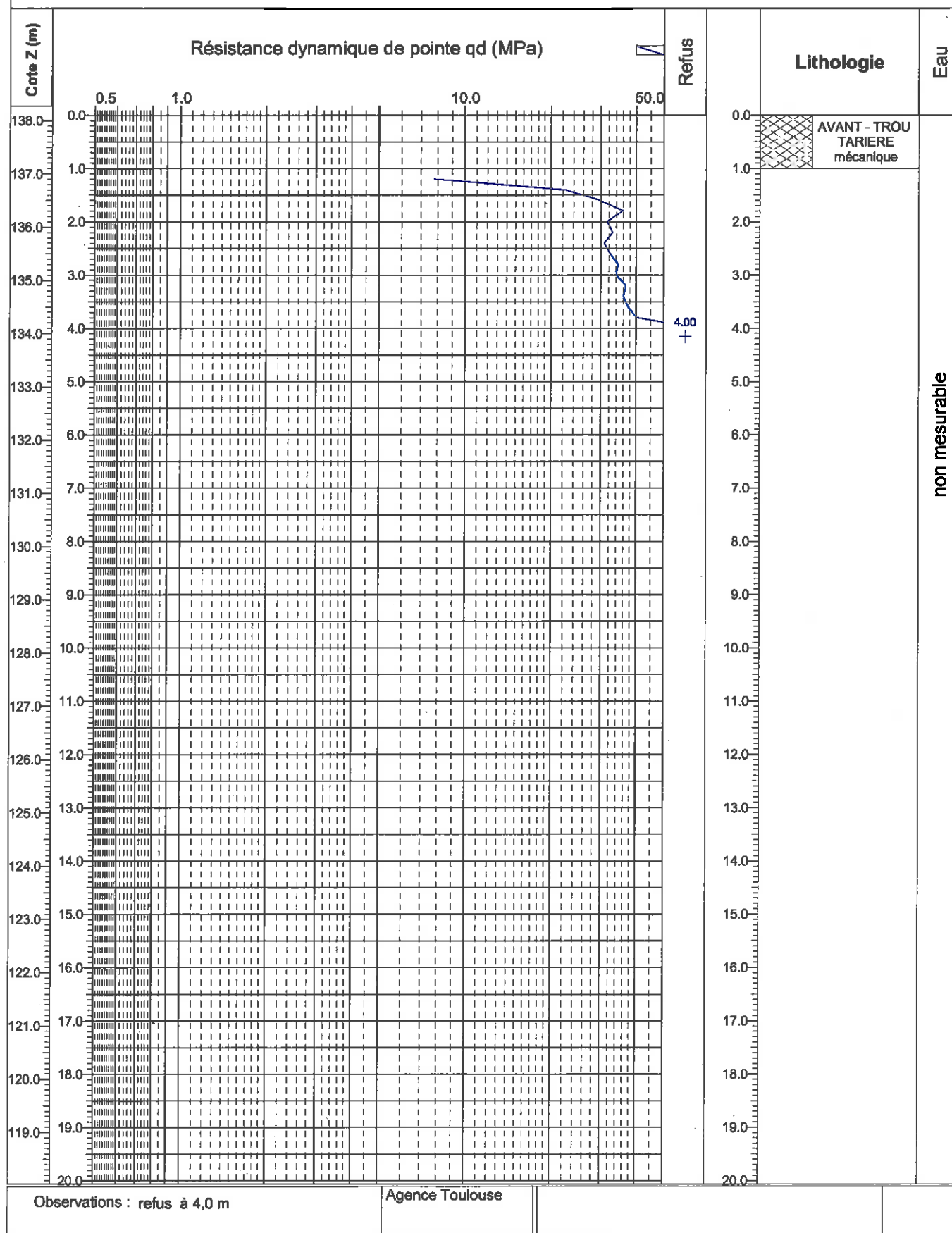
Y:

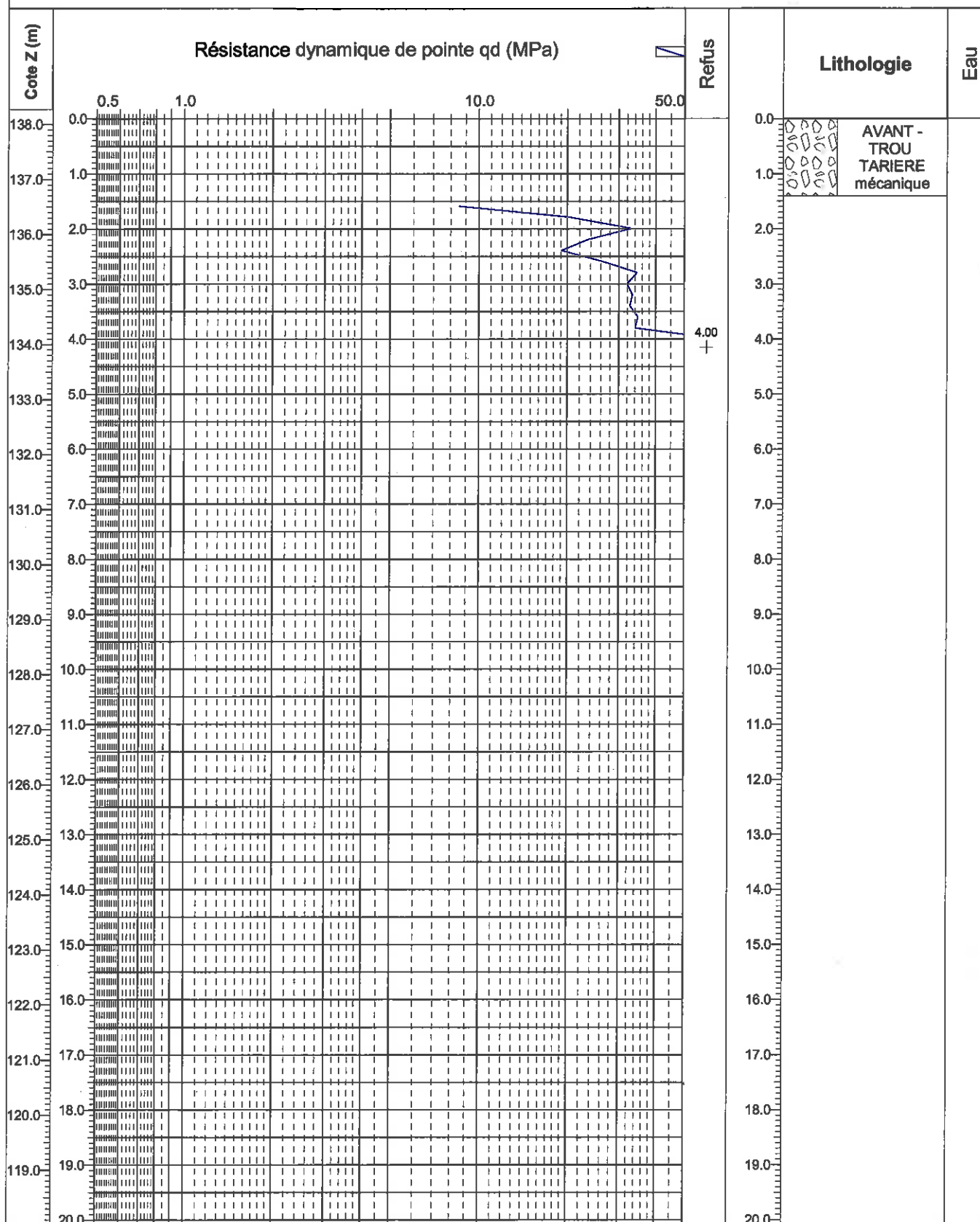
Echelle : 1 / 100



Observations : ARRET à 6,8 m

Agence Toulouse





Observations : refus à 4,0 m

Agence Toulouse

**ENVIRONNEMENT**

INGENIERIE DU SOL ET DE L'ENVIRONNEMENT

Dossier: 3100017

Site : CHU Purpan,
TOULOUSE(31)Sondage : **SD1**

Client : CHU Purpan

Type : Destructif

Etude : PROJET DE GARE T.A.L

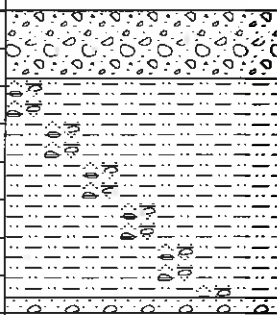
Z: 138,1 m NGF

Date : 19/07/2012

X:

Y:

Echelle : 1 / 100

Cote Z (m)	Profondeur (m/TN)	Coupe schématique du terrain	Eau	Outils
138	0.0		néant	tarriere 63 mm
137	1.0			
136	2.0	remblai=argile sablo-graveleuse		
135	3.0	sable grossier graveleux	néant	tarriere 63 mm
134	4.0			
133	5.0			
132	6.0			
131	7.0			
130	8.0			
129	9.0			
128	10.0			
127	11.0			
126	12.0			
125	13.0			
124	14.0			
123	15.0			
122	16.0			
121	17.0			
120	18.0			
119	19.0			
Observations : Pas de fondation rencontrée/sondage en pied de poteau / voir position précise sur photo			Agence Toulouse	

**ENVIRONNEMENT**

INGENIERIE DU SOL ET DE L'ENVIRONNEMENT

Dossier: 3100017

Site : CHU Purpan,
TOULOUSE(31)Sondage : **SD2**

Type : Destructif

Client : CHU Purpan

Z: 138,1 m NGF

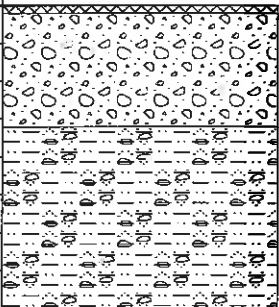
Date : 19/07/2012

Etude : PROJET DE GARE T.A.L

X:

Y:

Echelle : 1 / 100

Cote Z (m)	Profondeur (m/TN)	Coupe schématique du terrain	Eau	Outils
138	0.0			
137	1.0	remblai = sable graveleux	néant	tarrière 63 mm
136	2.0	argile sablo-graveleuse		
135	3.0			
134	4.0			
133	5.0			
132	6.0			
131	7.0			
130	8.0			
129	9.0			
128	10.0			
127	11.0			
126	12.0			
125	13.0			
124	14.0			
123	15.0			
122	16.0			
121	17.0			
120	18.0			
119	19.0			
Observations : Pas de fondation rencontrée/sondage en pied de poteau / voir position précise sur photo				

**ENVIRONNEMENT**

INGENIERIE DU SOL ET DE L'ENVIRONNEMENT

Dossier: 3100017

Site : CHU Purpan,
TOULOUSE(31)Sondage : **SD3**

Type : Destructif

Client : CHU Purpan

Z: 138,1 m NGF

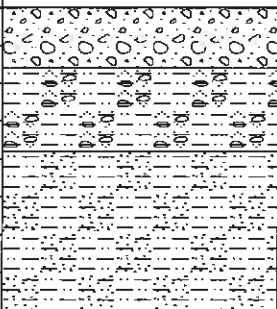
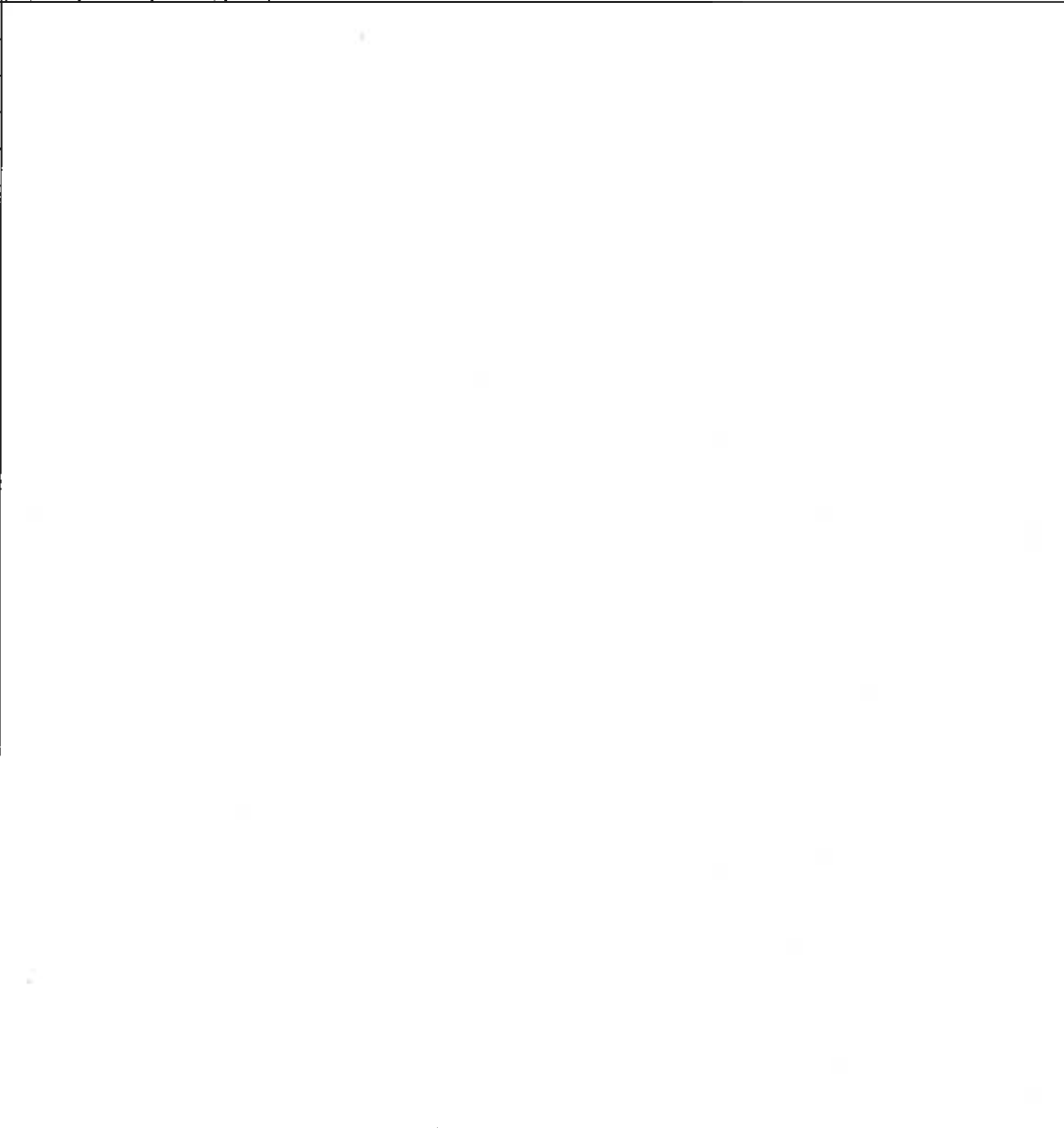
Date : 19/07/2012

Etude : PROJET DE GARE T.A.L

X:

Y:

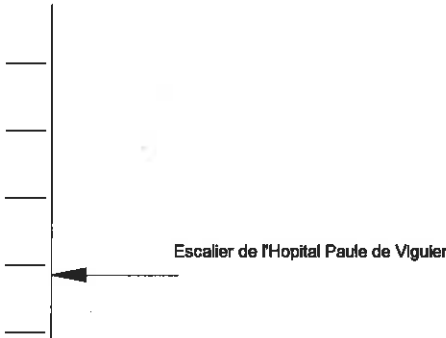
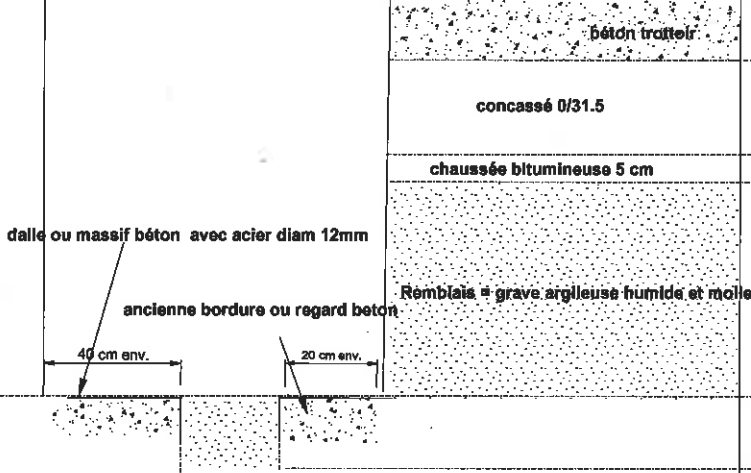

Echelle : 1 / 100

Cote Z (m)	Profondeur (m/TN)	Coupe schématique du terrain	Eau	Outils
138	0.0			tarifère 63 mm
137	1.0			
136	2.0			
135	3.0		néant	
134	4.0			
133	5.0			
132	6.0			
131	7.0			
130	8.0			
129	9.0			
128	10.0			
127	11.0			
126	12.0			
125	13.0			
124	14.0			
123	15.0			
122	16.0			
121	17.0			
120	18.0			
119	19.0			

Observations : Pas de fondation rencontrée/voir position précise sur photo

Agence Toulouse

FONDATION		VUE EN COUPE DE LA FOUILLE	LITHOLOGIE	
Cote NGF	Prof. (m)		Prof. (m)	Facies
			0,00	
		<p>PHOTOGRAPHIE</p>		

FONDATION		VUE EN COUPE DE LA FOUILLE		LITHOLOGIE	
Cote NGF	Prof. (m)			Prof. (m)	Facies
	0,00			0,00	
	0,60			0,10 0,30 0,35 0,60	
		<p>PHOTOGRAPHIE</p> 		0,80	Arrêt de la fouille

FONDATION		VUE EN COUPE DE LA FOUILLE	LITHOLOGIE	
Cote NGF	Prof. (m)		Prof. (m)	Facies
	0,00		0,00	
	0,20		0,20	
	1,50		Arrêt	
		PHOTOGRAPHIE	de la fouille	

Dossier

CE RGT 07.226 / 3100017



CHANTIER:

CHU Purpan, Toulouse

DATE:

juillet 2012.

Echantillon	point de prélèvement	SP1	SP2
	profondeur en mètres	2,2/6,3	2,0/3,5

Teneur en eau	W nat en %	5,3	6,4
---------------	------------	-----	-----

Essai au bleu de méthylène

fraction de sol choisie		0-2mm	0-2mm
%de passant sur la fraction de sol	0/50mm	60,1	65,6
valeur de bleu sur fraction choisie de sol	Vb	0,7	0,9
valeur de bleu sur le sol	VBS	0,4	0,6

Analyse granulométrique par tamisage à sec après lavage

pourcentage (sol sec) passant à	20mm	100	98,0
	10mm	88,6	90,6
	5mm	76,6	77,1
	2mm	60,1	65,6
	400µm	44,4	48,5
	80µm	24,3	32,5

(C1)B5

(C1)B5

proche (C1)A1



	CERTIFICAT D'ANALYSES		Codification : 3701 ALCON	RA - Ed 04
			Vitré : 11825624	
	Agressivité vis-à-vis du béton		Date : 23/10/2012	Page 1 sur 1

RESULTATS


Project reference : 11825624
Project name : CHU PURPAN 11825624

Classe d'agressivité selon NF EN 206-1 :

Echantillon : Eau PZ1	EAU	Degré d'agressivité	XA0
Paramètre	Méthode	Résultat	Unité
Mesure du pH	NFT 90-008	7,5	
Titre Alcalimétrique simple (TA)	NF EN ISO 9963-1	<2,00	°F
Titre Alcalimétrique Complet	NF EN ISO 9963-1	24,8	°F
Anhydride carbonique agressif	Calcul	0,00	mg/l CO2
Nitrates	NF EN ISO 13395 adaptée	25,1	mg/l NO3
Chlorures	NF EN ISO 15682 adaptée	40,9	mg/l Cl
Ammonium	NF T 90-015-2 adaptée	<0,05	mg/l NH4
Sulfates	NF T 90-040 adaptée	73,0	mg/l SO4
Métaux solubles			
Calcium		83,1	mg/l
Potassium		2,52	mg/l
Sodium		46,3	mg/l
Magnésium		17,0	mg/l

Ces analyses ont été sous-traitées



XA0 : Environnement non agressif.
XA1 : Environnement à faible agressivité chimique.
XA2 : Environnement d'agressivité chimique modérée.
XA3 : Environnement à forte agressivité chimique

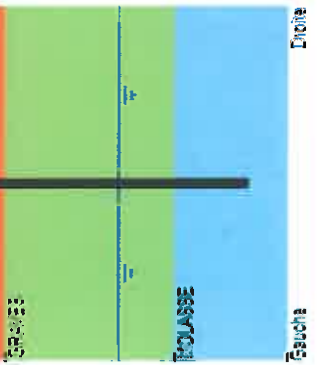
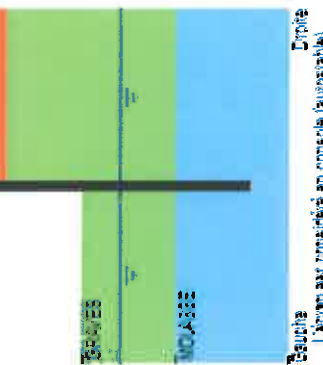

	FONCTION	NOM	DATE	VISA
VERIFICATEUR	CHARGE D'AFFAIRE	G. BARBAN	23/10/12	

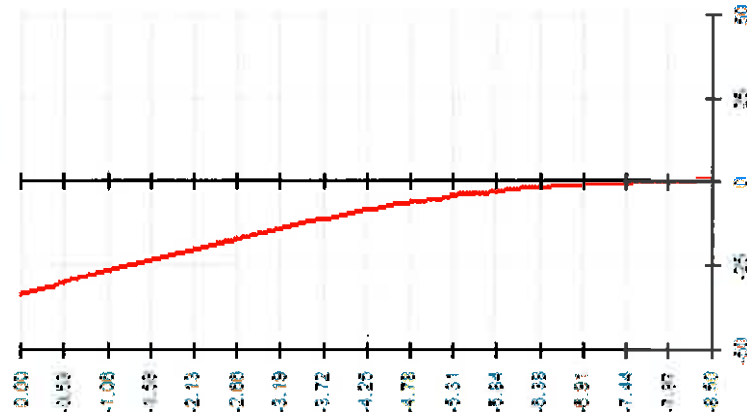
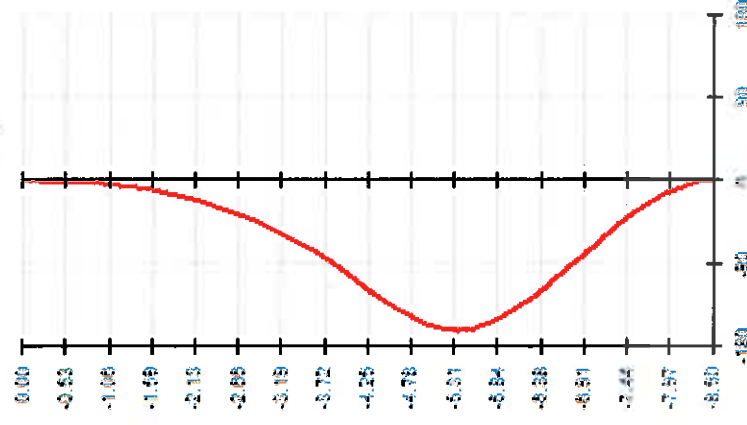
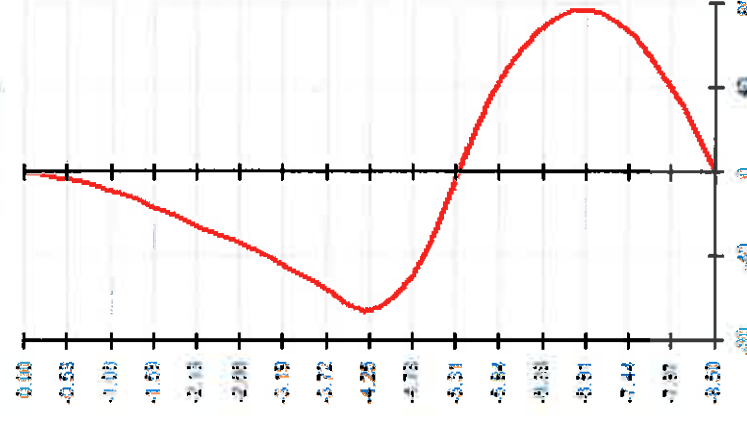
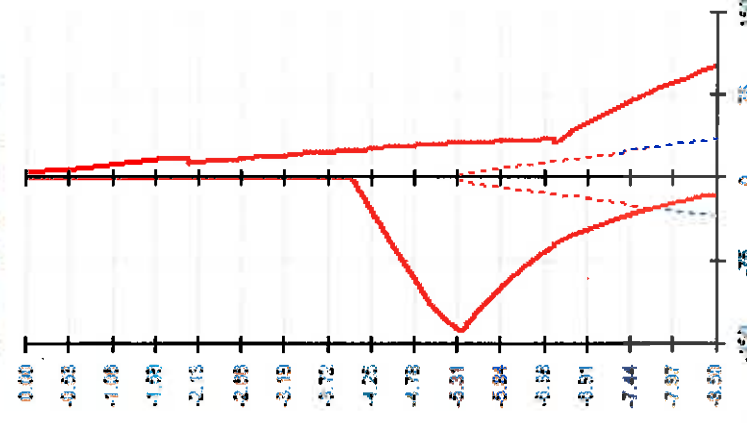
C2S - Le St Hilaire - 45 rue P.S. LAPLACE - 13290 AIX EN PROVENCE
Tel : 04 91 11 88 17 Fax : 04 91 11 88 01 Email : courrier@c2s-analyses.com

Système de Management de la Qualité certifié :



 v.3.0.2	AFFAIRE 3100017										
	PIEUX SECANTS -GARE TAL PURPAN										
DONNEES											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>SURCHARGE CAQUOT</th> <th>Phase</th> <th>z [m]</th> <th>q [kN/m²]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0.000</td> <td>10.00</td> </tr> </tbody> </table>				SURCHARGE CAQUOT	Phase	z [m]	q [kN/m²]	1	1	0.000	10.00
SURCHARGE CAQUOT	Phase	z [m]	q [kN/m²]								
1	1	0.000	10.00								
			Calcul réalisé par : ECR ENVIRONNEMENT								
			ELS								

<div> <div>K-Rea</div> <div>v.3.0.2</div> </div>	<div>AFFAIRE 3100017</div>	<div>PIEUX SECANTS -GARE TAL PURPAN</div>
<div>SYNTHESE PHASAGE</div>		
<div> <div>PHASE INITIALE</div> <div> <div>+↑</div> <div>REVELAIS</div> <div>  </div> </div> </div>	<div> <div>PHASE 1</div> <div> <div>+↑</div> <div>REVELAIS</div> <div>  </div> </div> </div>	
	<div> <div>- excavation (côté gauche) : zh [m] = -4.000 zw [m] = -5.000</div> <div>- excavation (côté droite) : zh [m] = 0.000 zw [m] = -5.000</div> <div>q [kN/m²] = 10.00</div> </div>	
<div>  <div>TERRASOL</div> </div>	<div>Calcul réalisé par : ECR ENVIRONNEMENT</div>	<div>ELS</div>

AFFAIRE 3100017		PIEUX SECANTS -GARE TAL PURPAN	
RESULTATS (Phase 1)			
<div><div>Déplacements [mm]</div><div>Dmax = 0.656 Dmin = -32.921</div></div>	<div><div>Moment [kNm]</div><div>M.k max = 0.000 M.k min = -163.007</div></div>	<div><div>Effort Tranchant [kN]</div><div>V.k max = 77.945 V.k min = -65.649</div></div>	<div><div>Pression terres/eau [kN/m²]</div><div>P max = 102.231 P min = -139.620 Pw max = 35.000 Pw min = -35.000</div></div>
TERRASOL		Calcul réalisé par : ECR ENVIRONNEMENT	
		ELS	

RESULTATS

PHASE 1

- excavation (côté gauche) : zh [m] = -4.000 zw [m] = -5.000
- excavation (côté droite) : zh [m] = 0.000 zw [m] = -5.000 q [kN/m²] = 10.00

Le calcul a convergé au bout de 5 itérations.

Niveau [m]	Rotation [rad]	Déplacement [mm]	Moment M.k [kNm]	M.d [kNm]	Tranchant		Etat du sol		Pression des terres		Pression d'eau		Pression verticale		Poussée mobilisable		Butée mobilisable		Pressions diff.	
					V.k [kN]	V.d [kN]	gauche	droite	gauche [kN/m²]	droite [kN/m²]	gauche [kN/m²]	droite [kN/m²]	gauche [kN/m²]	droite [kN/m²]	gauche [kN/m²]	droite [kN/m²]	gauche [kN/m²]	droite [kN/m²]	P.k [kN/m²]	P.d [kN/m²]
0.00	0.00605	-32.92	0.00	-	0.00	-	excavation	poussée	0.00	4.06	0.00	0.00	0.00	10.00	0.00	4.06	0.00	30.68	4.06	-
-0.20	0.00605	-31.71	-0.09	-	-0.97	-	excavation	poussée	0.00	5.60	0.00	0.00	0.00	13.80	0.00	5.60	0.00	42.34	5.60	-
-0.40	0.00605	-30.50	-0.41	-	-2.24	-	excavation	poussée	0.00	7.15	0.00	0.00	0.00	17.60	0.00	7.15	0.00	54.00	7.15	-
-0.60	0.00605	-29.29	-1.01	-	-3.82	-	excavation	poussée	0.00	8.69	0.00	0.00	0.00	21.40	0.00	8.69	0.00	65.66	8.69	-
-0.80	0.00605	-28.08	-1.96	-	-5.72	-	excavation	poussée	0.00	10.23	0.00	0.00	0.00	25.20	0.00	10.23	0.00	77.31	10.23	-
-1.00	0.00604	-26.87	-3.32	-	-7.92	-	excavation	poussée	0.00	11.77	0.00	0.00	0.00	29.00	0.00	11.77	0.00	88.97	11.77	-
-1.20	0.00604	-25.66	-5.14	-	-10.43	-	excavation	poussée	0.00	13.32	0.00	0.00	0.00	32.80	0.00	13.32	0.00	100.63	13.32	-
-1.40	0.00603	-24.45	-7.51	-	-13.24	-	excavation	poussée	0.00	14.86	0.00	0.00	0.00	36.60	0.00	14.86	0.00	112.29	14.86	-
-1.60	0.00601	-23.25	-10.46	-	-16.37	-	excavation	poussée	0.00	16.40	0.00	0.00	0.00	40.40	0.00	16.40	0.00	123.95	16.40	-
-1.80	0.00598	-22.05	-14.08	-	-19.80	-	excavation	poussée	0.00	17.95	0.00	0.00	0.00	44.20	0.00	17.95	0.00	135.61	17.95	-
-2.00	0.00595	-20.86	-18.41	-	-23.55	-	excavation	poussée	0.00	19.49	0.00	0.00	0.00	48.00	0.00	19.49	0.00	147.26	19.49	-
-2.20	0.00595	-20.86	-18.41	-	-23.55	-	excavation	poussée	0.00	13.87	0.00	0.00	0.00	48.00	0.00	13.87	0.00	285.65	13.87	-
-2.40	0.00591	-19.67	-23.40	-	-26.44	-	excavation	poussée	0.00	15.03	0.00	0.00	0.00	52.00	0.00	15.03	0.00	309.45	15.03	-
-2.60	0.00587	-18.49	-29.00	-	-29.58	-	excavation	poussée	0.00	16.18	0.00	0.00	0.00	56.00	0.00	16.18	0.00	333.26	16.18	-
-2.80	0.00580	-17.32	-35.24	-	-32.91	-	excavation	poussée	0.00	17.34	0.00	0.00	0.00	60.00	0.00	17.34	0.00	357.06	17.34	-
-3.00	0.00573	-16.17	-42.18	-	-36.50	-	excavation	poussée	0.00	18.50	0.00	0.00	0.00	64.00	0.00	18.50	0.00	380.86	18.50	-
-3.20	0.00565	-15.03	-49.85	-	-40.31	-	excavation	poussée	0.00	19.65	0.00	0.00	0.00	68.00	0.00	19.65	0.00	404.67	19.65	-
-3.40	0.00554	-13.91	-58.32	-	-44.36	-	excavation	poussée	0.00	20.81	0.00	0.00	0.00	72.00	0.00	20.81	0.00	428.47	20.81	-
-3.60	0.00542	-12.82	-67.61	-	-48.63	-	excavation	poussée	0.00	21.96	0.00	0.00	0.00	76.00	0.00	21.96	0.00	452.28	21.96	-
-3.80	0.00529	-11.75	-77.78	-	-53.14	-	excavation	poussée	0.00	23.12	0.00	0.00	0.00	80.00	0.00	23.12	0.00	476.08	23.12	-
-4.00	0.00513	-10.70	-88.88	-	-57.88	-	excavation	poussée	0.00	24.28	0.00	0.00	0.00	84.00	0.00	24.28	0.00	499.88	24.28	-
-4.20	0.00495	-9.69	-100.95	-	-62.85	-	butée	poussée	0.00	25.43	0.00	0.00	0.00	88.00	0.00	25.43	0.00	523.69	25.43	-
-4.40	0.00476	-8.76	-113.37	-	-68.65	-	butée	poussée	22.89	26.54	0.00	0.00	3.85	91.85	1.11	26.54	22.89	546.58	3.66	-
-4.60	0.00454	-7.87	-125.93	-	-74.26	-	butée	poussée	45.78	27.66	0.00	0.00	7.69	95.69	2.22	27.66	45.78	569.47	-18.12	-
-4.80	0.00430	-7.02	-137.82	-	-80.68	-	butée	poussée	68.97	28.77	0.00	0.00	11.54	99.54	3.34	28.77	68.97	592.35	-39.90	-
-5.00	0.00404	-6.21	-148.23	-	-86.91	-	butée	poussée	91.55	29.88	0.00	0.00	15.39	103.39	4.45	29.88	91.55	615.24	-61.68	-
-5.20	0.00376	-5.46	-156.36	-	-93.96	-	butée	poussée	114.44	30.99	0.00	0.00	19.23	107.23	5.56	30.99	114.44	638.13	-83.45	-
-5.40	0.00348	-4.77	-161.46	-	-101.65	-	butée	poussée	128.18	31.66	1.54	1.54	21.64	109.54	6.23	31.66	128.18	651.86	-96.52	-
-5.60	0.00318	-4.13	-163.01	-	-109.61	-	butée	poussée	139.62	32.21	3.46	3.46	23.46	111.46	6.78	32.21	139.62	663.31	-107.41	-
-5.80	0.00289	-3.54	-160.75	-	-117.90	-	élastique	poussée	122.37	32.77	5.38	5.38	25.39	113.39	7.34	32.77	151.06	674.75	-89.61	-
-6.00	0.00260	-3.01	-155.18	-	-126.36	-	élastique	poussée	106.82	33.32	7.31	7.31	27.31	115.31	7.89	33.32	162.51	686.20	-73.50	-
-6.20	0.00233	-2.54	-148.87	-	-135.33	-	élastique	poussée	92.95	33.88	9.23	9.23	29.23	117.23	8.45	33.88	173.95	697.64	-59.07	-
-6.40	0.00207	-2.12	-136.37	-	-144.86	-	élastique	poussée	80.68	34.44	11.15	11.15	31.15	119.15	9.00	34.44	185.40	709.09	-46.24	-
-6.60	0.00184	-1.71	-124.15	-	-154.96	-	élastique	poussée	69.88	34.99	13.08	13.08	33.08	121.08	9.56	34.99	196.84	720.53	-34.89	-
-6.80	0.00162	-1.41	-110.64	-	-165.61	-	élastique	poussée	60.44	35.55	15.00	15.00	35.00	123.00	10.12	35.55	208.29	731.97	-24.89	-

RESULTATS


PHASE 1

Niveau [m]	Rotation [rad]	Déplacement [mm]	Moment		Tranchant		Etat du sol		Pression des terres		Pression d'eau		Pression verticale		Poussée mobilisable		Butée mobilisable		Pressions diff.	
			M.k [kNm]	M.d [kNm]	V.k [kN]	V.d [kN]	gauche	droite	gauche [kN/m²]	droite [kN/m²]	gauche [kN/m²]	droite [kN/m²]	gauche [kN/m²]	droite [kN/m²]	gauche [kN/m²]	droite [kN/m²]	gauche [kN/m²]	droite [kN/m²]	P.k [kN/m²]	P.d [kN/m²]
-6.50	0.00162	-1.41	-110.84	-	73.01	-	élastique	élastique	60.12	31.05	15.00	15.00	35.00	123.00	0.00	5.35	256.62	526.60	-29.07	-
-6.70	0.00143	-1.11	-95.57	-	77.10	-	élastique	élastique	52.77	40.93	17.00	17.00	37.20	125.20	0.00	6.24	263.37	533.35	-11.84	-
-6.90	0.00126	-0.84	-80.01	-	77.94	-	élastique	élastique	46.44	49.80	19.00	19.00	39.40	127.40	0.00	7.13	270.12	540.10	3.36	-
-7.10	0.00113	-0.60	-64.58	-	75.92	-	élastique	élastique	40.97	57.81	21.00	21.00	41.60	129.60	0.00	8.03	276.87	546.85	16.84	-
-7.30	0.00102	-0.39	-49.81	-	71.35	-	élastique	élastique	36.19	65.14	23.00	23.00	43.80	131.80	0.00	8.92	283.62	553.60	28.95	-
-7.50	0.00094	-0.19	-36.20	-	64.45	-	élastique	élastique	31.94	71.82	25.00	25.00	46.00	134.00	0.00	9.81	280.37	560.35	39.99	-
-7.70	0.00088	-0.01	-24.17	-	55.43	-	élastique	élastique	28.08	78.32	27.00	27.00	48.20	136.20	0.00	10.71	297.12	567.10	50.25	-
-7.90	0.00084	0.16	-14.16	-	44.41	-	élastique	élastique	24.48	84.46	29.00	29.00	50.40	138.40	0.00	11.60	303.87	573.85	59.98	-
-8.10	0.00082	0.33	-6.54	-	31.47	-	élastique	élastique	21.04	90.44	31.00	31.00	52.60	140.60	0.00	12.49	310.62	580.60	69.41	-
-8.30	0.00082	0.49	-1.70	-	18.66	-	élastique	élastique	17.67	96.35	33.00	33.00	54.80	142.80	0.00	13.39	317.37	587.35	78.68	-
-8.50	0.00081	0.66	0.00	-	0.00	-	élastique	élastique	14.32	102.23	35.00	35.00	57.00	145.00	0.00	14.28	324.12	594.10	87.91	-

butée mobilisable [kN] = 886

butée mobilisée [kN] = 282

rapport (1) = 3.145

K-Rea v.3.0.2	AFFAIRE 3100017 PIEUX SECANTS -GARE TAL PURPAN
SYNTHESE PHASAGE	
<div> <div> <div>PHASE INITIALE</div> <div> <div>REMBLAIS</div> <div>GRAVES</div> <div>MOLASSE</div> <div>Gauche</div> <div>Droite</div> </div> </div> <div> <div>PHASE 1</div> <div> <div>REMBLAIS</div> <div>PROVISOIRE</div> <div>GRAVES</div> <div>MOLASSE</div> <div>Gauche</div> <div>Droite</div> </div> </div> </div> <p>L'écran est considéré en coupe de symétrie.</p>	
<div> <div>paramètres contre-butée :</div> <div> <div>REMBLAIS</div> <div>$\delta p/\phi = -0.33$; $k_{pc} = 0$; $k_{py} = 3.068$</div> <div>GRAVES</div> <div>$\delta p/\phi = -0.86$; $k_{pc} = 0$; $k_{py} = 5.951$</div> <div>MOLASSE</div> <div>$\delta p/\phi = -0.33$; $k_{pc} = 4.264$; $k_{py} = 3.068$</div> </div> <div> <div>excavation (côté gauche) : $z_h [m] = -4.000$</div> <div>$z_w [m] = -5.000$</div> <div>excavation (côté droite) : $z_h [m] = 0.000$</div> <div>$z_w [m] = -5.000$</div> <div>$q [kN/m^2] = 10.00$</div> <div>Permanente</div> </div> </div>	
	<div> <div>Calcul réalisé par : ECR ENVIRONNEMENT</div> <div>MEL (ELU)</div> </div>

K-Rea v.3.0.2		AFFAIRE 3100017																	
Vérifications		PIEUX SECANTS -GARE TAL PURPAN																	
COEFFICIENTS PARTIELS																			
Cas général - Surcharges		Cas général - Butée																	
<table><tr><td>Nature</td><td></td></tr><tr><td>Phase</td><td>1</td></tr><tr><td>Durable</td><td>1.11</td></tr><tr><td>Provisoire</td><td></td></tr></table>		Nature		Phase	1	Durable	1.11	Provisoire		<table><tr><td>Nature</td><td>Butée</td></tr><tr><td>Phase</td><td>Mobilisable</td></tr><tr><td>Durable</td><td>1 / 1.4</td></tr><tr><td>Provisoire</td><td>1 / 1.1</td></tr></table>		Nature	Butée	Phase	Mobilisable	Durable	1 / 1.4	Provisoire	1 / 1.1
Nature																			
Phase	1																		
Durable	1.11																		
Provisoire																			
Nature	Butée																		
Phase	Mobilisable																		
Durable	1 / 1.4																		
Provisoire	1 / 1.1																		
Pondération des moments et efforts tranchants Ymt = 1.35		Ecran autostable - Surcharges sur l'écran																	
Equilibre vertical :		<table><tr><td>Nature</td><td>Favorable</td><td>Défavorable</td></tr><tr><td>Phase</td><td>1</td><td>1.35</td></tr><tr><td>Durable</td><td></td><td>1.5</td></tr><tr><td>Provisoire</td><td></td><td></td></tr></table>		Nature	Favorable	Défavorable	Phase	1	1.35	Durable		1.5	Provisoire						
Nature	Favorable	Défavorable																	
Phase	1	1.35																	
Durable		1.5																	
Provisoire																			
Pondération appliquée aux efforts verticaux dus aux tirants Ytv = 1.35		Ecran autostable - Pressions terre/eau																	
Pondération appliquée à la résultante verticale des pressions des terres Ypv = 1.35		<table><tr><td>Nature</td><td>Ye</td><td>Ya</td><td>Yb</td></tr><tr><td>Phase</td><td>Eau</td><td>Poussée</td><td>Butée</td></tr><tr><td>Durable</td><td>1.35</td><td>1.35</td><td>1 / 1.4</td></tr><tr><td>Provisoire</td><td>1.35</td><td>1.35</td><td>1 / 1.1</td></tr></table>		Nature	Ye	Ya	Yb	Phase	Eau	Poussée	Butée	Durable	1.35	1.35	1 / 1.4	Provisoire	1.35	1.35	1 / 1.1
Nature	Ye	Ya	Yb																
Phase	Eau	Poussée	Butée																
Durable	1.35	1.35	1 / 1.4																
Provisoire	1.35	1.35	1 / 1.1																
Kranz :																			
Pondération appliquée sur l'effort d'ancrage de référence Y1 = 1.35																			
Sécurité appliquée sur l'effort d'ancrage déstabilisant Y2 = 1.1																			
RESULTATS DES VERIFICATIONS																			
PHASE 1 - Provisoire																			
L'écran est considéré en console (autostable).																			
La méthode D a été utilisée pour cette phase.																			
La butée pour cette phase est considérée à gauche.																			
Vérification du défaut de butée :																			
Vérification de la hauteur de flèche :																			
Point de pression nulle : z0 = -4.34 m																			
Point de moment nul : zc = -7.56 m																			
Côte du pied de l'écran : zp = -8.50 m																			
r0 = z0 - zc = 3.22 m																			
fb = z0 - zp = 4.16 m																			
fb / r0 = 1.293 (> 1.2)																			
Vérification de la contre-butée :																			
Point de transition :																			
Contre-butée nécessaire à l'équilibre des efforts horizontaux :																			
Contre-butée mobilisable sous zn :																			
Facteur de mobilisation :																			
Cm.d > Ct.d																			
Coefficients partiels intervenant lors des vérifications :																			
Pondération des surcharges appliquées sur l'écran : Yq = valeur dépendant de la nature de chaque action.																			
Pondération des pressions de l'eau : Ye = 1.35																			
Pondération des valeurs de poussées : Ya = 1.35																			
Sécurité appliquée sur les valeurs de butées : Yb = 1.1																			
Le défaut de butée est justifié pour cette phase.																			
Vérification de l'équilibre vertical :																			
Poids propre P de la palplanche :																			
Pd = 127.50 kN																			
Résultantes des pressions des terres au dessus de zn :																			
zn = 6.99 m																			
Ct.d = 339.32 kN																			
Cm.d = 921.41 kN																			
α = 0.255																			
Charge verticale ELU de 4.12 kN à transmettre en pied de l'écran.																			
Equilibre vertical OK si portance en pointe garantie.																			
Pv1+.d = 29.62 kN (Ya = 1.35)																			
Pv2+.d = -124.06 kN (Yb = 1/1.1)																			
Résultantes des pressions des terres sous zn :																			
Pv1-.d = -28.94 kN (Yb = 1/1.1)																			
Pv2-.d = 0.00 kN (Ya = 1.35)																			
Résultante verticale Pv des pressions des terres sur la hauteur de l'écran :																			
Pvd = -123.38 kN																			
Résultante verticale Tv des efforts dus aux tirants connectés à l'écran :																			
Tvd = 0.00 kN (Ytv = 1.35)																			
Résultante verticale Fv des surcharges "linéiques" appliquées sur la hauteur de l'écran :																			
Fvd = 0.00 kN (Yq = valeur dépendant de la nature de chacune des actions.)																			
Résultante ELU des efforts verticaux :																			
Rvd = Pd + Pvd + Fvd + Tvd = 4.12 kN																			
Charge verticale ELU de 4.12 kN à transmettre en pied de l'écran.																			
Equilibre vertical OK si portance en pointe garantie.																			
TERRASOL		Calcul réalisé par : ECR ENVIRONNEMENT																	
Fichier de sauvegarde du Projet : C:\Program Files (x86)\Terrasol\KRea v3\Exemples\Exemple 3\Exemple Iolo.KRP		calculé le 24/10/2012 à 18:14																	
Page : 4		Page : 4																	

MEL (ELU)

RESULTATS

PHASE 1 - Provisoire

L'écran est considéré en console (autostable).

- paramètres contre-butée :

REMBLAIS $\delta p/\phi = -0.33$; $kpc = 0$; $kpy = 3.068$

GRAVES $\delta p/\phi = -0.66$; $kpc = 0$; $kpy = 5.951$

MOLASSE $\delta p/\phi = -0.33$; $kpc = 4.264$; $kpy = 3.068$

- excavation (côté gauche) : $zh [m] = -4.000$ $zw [m] = -5.000$

- excavation (côté droite) : $zh [m] = 0.000$ $zw [m] = -5.000$ $q [kN/m^2] = 10.00$ Permanente

Niveau [m]	Rotation [rad]	Déplacement [mm]	Moment		Tranchant		Etat du sol		Pression des terres		Pression d'eau		Pression verticale		Poussée mobilisable		Butée mobilisable		Pressions diff.	
			M.k [kNm]	M.d [kNm]	V.k [kN]	V.d [kN]	gauche	droite	gauche [kN/m ²]	droite [kN/m ²]	gauche [kN/m ²]	droite [kN/m ²]	gauche [kN/m ²]	droite [kN/m ²]	gauche [kN/m ²]	droite [kN/m ²]	gauche [kN/m ²]	droite [kN/m ²]	P.k [kN/m ²]	P.d [kN/m ²]
0.00	-	-	-	0.00	-	0.00	-	-	0.00	4.06	0.00	0.00	-	-	0.00	4.06	0.00	30.68	-	5.48
-0.20	-	-	-	-0.12	-	-1.30	-	-	0.00	5.60	0.00	0.00	-	-	0.00	5.60	0.00	42.34	-	7.56
-0.40	-	-	-	-0.55	-	-3.03	-	-	0.00	7.15	0.00	0.00	-	-	0.00	7.15	0.00	54.00	-	9.65
-0.60	-	-	-	-1.36	-	-5.16	-	-	0.00	8.69	0.00	0.00	-	-	0.00	8.69	0.00	65.66	-	11.73
-0.80	-	-	-	-2.64	-	-7.72	-	-	0.00	10.23	0.00	0.00	-	-	0.00	10.23	0.00	77.31	-	13.81
-1.00	-	-	-	-4.48	-	-10.69	-	-	0.00	11.77	0.00	0.00	-	-	0.00	11.77	0.00	88.97	-	15.89
-1.20	-	-	-	-6.95	-	-14.08	-	-	0.00	13.32	0.00	0.00	-	-	0.00	13.32	0.00	100.63	-	17.98
-1.40	-	-	-	-10.13	-	-17.88	-	-	0.00	14.86	0.00	0.00	-	-	0.00	14.86	0.00	112.29	-	20.06
-1.60	-	-	-	-14.12	-	-22.10	-	-	0.00	16.40	0.00	0.00	-	-	0.00	16.40	0.00	123.95	-	22.14
-1.80	-	-	-	-19.00	-	-26.74	-	-	0.00	17.95	0.00	0.00	-	-	0.00	17.95	0.00	135.61	-	24.23
-2.00	-	-	-	-24.85	-	-31.79	-	-	0.00	19.49	0.00	0.00	-	-	0.00	19.49	0.00	147.26	-	26.31
-2.00	-	-	-	-24.85	-	-31.79	-	-	0.00	13.87	0.00	0.00	-	-	0.00	13.87	0.00	285.65	-	18.73
-2.20	-	-	-	-31.59	-	-35.69	-	-	0.00	15.03	0.00	0.00	-	-	0.00	15.03	0.00	309.45	-	20.29
-2.40	-	-	-	-39.14	-	-39.90	-	-	0.00	16.18	0.00	0.00	-	-	0.00	16.18	0.00	333.26	-	21.85
-2.60	-	-	-	-47.57	-	-44.43	-	-	0.00	17.34	0.00	0.00	-	-	0.00	17.34	0.00	357.06	-	23.41
-2.80	-	-	-	-56.94	-	-49.27	-	-	0.00	18.50	0.00	0.00	-	-	0.00	18.50	0.00	380.86	-	24.97
-3.00	-	-	-	-67.30	-	-54.42	-	-	0.00	19.65	0.00	0.00	-	-	0.00	19.65	0.00	404.67	-	26.53
-3.20	-	-	-	-78.73	-	-59.88	-	-	0.00	20.81	0.00	0.00	-	-	0.00	20.81	0.00	428.47	-	28.09
-3.40	-	-	-	-91.27	-	-65.65	-	-	0.00	21.96	0.00	0.00	-	-	0.00	21.96	0.00	452.28	-	29.65
-3.60	-	-	-	-105.01	-	-71.74	-	-	0.00	23.12	0.00	0.00	-	-	0.00	23.12	0.00	476.08	-	31.21
-3.80	-	-	-	-119.99	-	-78.14	-	-	0.00	24.28	0.00	0.00	-	-	0.00	24.28	0.00	499.88	-	32.77
-4.00	-	-	-	-136.29	-	-84.85	-	-	0.00	25.43	0.00	0.00	-	-	0.00	25.43	0.00	523.69	-	34.33
-4.00	-	-	-	-136.29	-	-84.85	-	-	0.00	25.43	0.00	0.00	-	-	0.00	25.43	0.00	523.69	-	34.33
-4.19	-	-	-	-153.09	-	-89.59	-	-	0.00	26.54	0.00	0.00	-	-	0.00	26.54	0.00	546.58	-	15.03
-4.34	-	-	-	-166.66	-	-90.72	-	-	0.00	27.41	0.00	0.00	-	-	0.00	27.41	0.00	564.39	-	0.00
-4.39	-	-	-	-170.54	-	-90.63	-	-	0.00	27.66	0.00	0.00	-	-	0.00	27.66	0.00	589.47	-	-4.28
-4.58	-	-	-	-187.74	-	-87.95	-	-	0.00	28.77	0.00	0.00	-	-	0.00	28.77	0.00	592.35	-	-23.59
-4.77	-	-	-	-204.08	-	-81.57	-	-	0.00	29.88	0.00	0.00	-	-	0.00	29.88	0.00	615.24	-	-42.90
-4.96	-	-	-	-218.90	-	-71.43	-	-	0.00	30.99	0.00	0.00	-	-	0.00	30.99	0.00	638.13	-	-82.20
-5.15	-	-	-	-231.40	-	-58.37	-	-	0.00	31.66	1.54	1.54	-	-	0.00	31.66	126.18	651.86	-	-73.79

K-Rea v.3.0.2	AFFAIRE 3100017 PIEUX SECANTS -GARE TAL PURPAN
RESULTATS (Phase 1) - L'écran est considéré en console (autostable).	<div data-bbox="263 1142 1292 1612"> <p>Moment [kNm]</p> <p>M.d max = 0.000 M.d min = -251.185</p> </div> <div data-bbox="263 660 1292 1131"> <p>Effort Tranchant [kN]</p> <p>V.d max = 199.615 V.d min = -90.717</p> </div> <div data-bbox="263 168 1292 649"> <p>Pression terres/eau [kN/m²]</p> <p>P.d max = 137.917 P.d min = -238.093</p> </div>
	<p>Calcul réalisé par : ECR ENVIRONNEMENT</p> <p>MEL (ELU)</p>