

Sondages et essais – Etudes de sol
Géologie / Géotechnique - Instrumentation
Laboratoire - Expertises
53 route d'Esch
L-3340 HUNCHERANGE
Tél. : 27 93 48 0
contact@cg-lux.lu

Diffusion par courriel :

A l'attention de INEO, Monsieur Treigner (gtreigner@ineo-eng.lu)

AUTOPOLIS SA

GRASS

Rue Charles Kieffer

Construction d'un Hall à usage de concession automobile

Sondages et essais de sol

RAPPORT D'ETUDE GEOTECHNIQUE

<i>N° Affaire :</i>	<i>Année</i>		<i>N° Ordre</i>	Huncherange, le 12 juillet 2024
	L	24	065	
F. FILIPE	F. FILIPE	41		
<i>Nom</i>	<i>Nom</i>		Première diffusion	
<i>Etabli par</i>	<i>Vérifié par</i>	<i>Nombre de feuilles</i>	<i>Modifications - Observations</i>	

SOMMAIRE

I - MISSION	3
II - PROJET	4
III - ETUDE GEOTECHNIQUE	5
3.1 METHODE DE TRAVAIL.....	5
3.2 RESULTATS ET INTERPRETATION	6
3.2.1 LE SITE	6
3.2.2 NATURE DU SOL.....	6
3.2.3 L'EAU DANS LE SOL et HYDROGEOLOGIE DU SITE.....	7
3.2.4 CARACTERISTIQUES MECANIQUES.....	7
IV - FONDATIONS DE LA STRUCTURE DU BATIMENT	8
4.1 NIVEAUX D'ASSISE.....	9
4.2 CONTRAINTES AUX ETATS LIMITES	10
4.3 EVALUATION DES TASSEMENTS.....	12
4.4 CONSEILS DE MISE EN OEUVRE.....	13
V – DALLAGES	15
VI – LE PROBLEME DE L’EAU DANS LE SOL	16
VII – TERRASSEMENTS	18
7.1 TERRASSEMENTS EN DEBLAIS	18
7.2 TERRASSEMENTS EN REMBLAIS.....	19
VIII – REMBLAIS SUPPORT DE FONDATION	20
8.1 PREPARATION DE LA SURFACE DU TERRAIN	20
8.2 QUALITE DU MATERIAU DE REMBLAIS.....	21
8.3 MISE EN ŒUVRE ET RESULTATS.....	21
IX – VOIRIES : PREDIMENSIONNEMENT	22
9.1 METHODOLOGIE.....	22
9.2 COUCHE DE FORME	22
9.3 NOTES IMPORTANTES.....	25
9.4 CONSTITUTION DES CHAUSSEES	26
CONCLUSIONS.....	27
PLAN DE L'IMPLANTATION DES SONDAGES.....	29
EXTRAIT DE LA CARTE TOPOGRAPHIQUE.....	30

I - MISSION

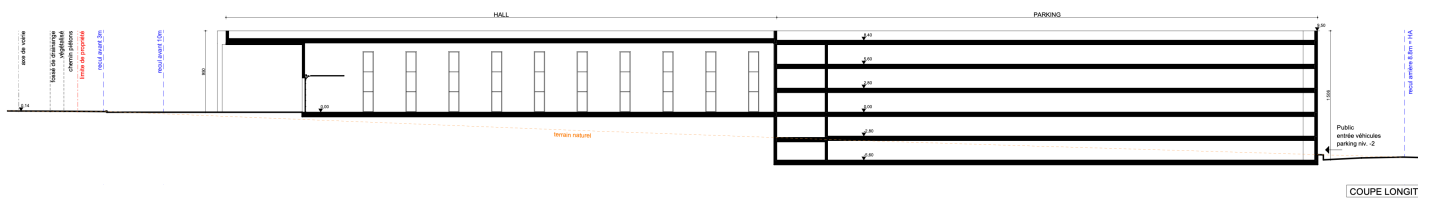
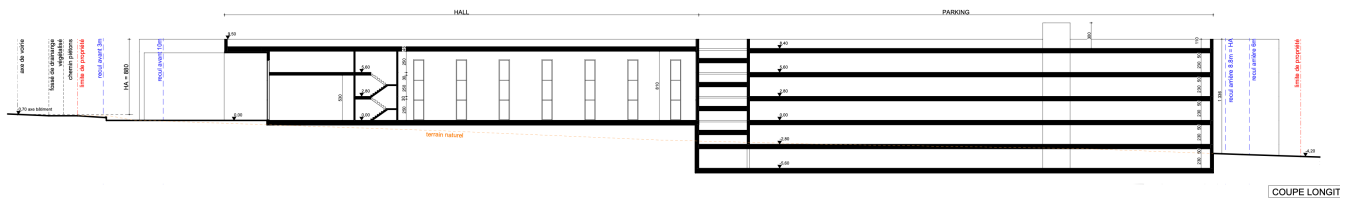
A la demande de AUTOPOLIS SA, notre société a réalisé 9 sondages de reconnaissance avec essais de sol au pressiomètre, dans le cadre de la construction d’un Hall à usage de concession automobile rue Charles Kieffer à GRASS.

Notre mission consistait en une étude d’avant-projet géotechnique.

- Elle est réalisée au stade de l’avant-projet de la maîtrise d’œuvre et s’appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées.
- Définir si besoin un programme d’investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport donnant les hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade de l’avant-projet, les principes de construction envisageables (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dallages et voiries, améliorations de sols, dispositions générales vis-à-vis des nappes et des avoisinants), une ébauche dimensionnelle par type d’ouvrage géotechnique et la pertinence d’application de la méthode observationnelle pour une meilleure maîtrise des risques géotechniques.

II - PROJET

Le projet consiste en la construction d’un hall industriel automobile de type RDC + mezzanine côté rue Charles Kieffer et d’un parking R+3 sur 2 niveaux de sous-sol en zone arrière (voir coupes ci-dessous)



Le niveau RDC hall est prévu à la cote de + 332,26 et à la cote de + 326,66 pour le niveau sous-sol -2 de la zone parking.

III - ETUDE GEOTECHNIQUE

3.1 METHODE DE TRAVAIL

Nous avons procédé à l’exécution de **9 sondages de reconnaissance au pressiomètre, notés CG1 à CG9**, descendus **aux profondeurs prévisionnelles suivantes** par rapport à la surface topographique au moment de notre chantier :

CG n°	Profondeur (mètre)	Situation
1 à 6	8,0	Bâtiment
7 à 9	3,0	Parkings / Voiries

Notés CG, leur implantation est reportée sur les plan annexé.

Les sondages ont été commencés en Ø 63 mm à la tarière hélicoïdale continue.

Des échantillons remaniés représentatifs des différentes couches traversées ont été prélevés au fur et à mesure de l’avancement pour leur identification géologique ; leur résistance a été mesurée au moyen d’essais au **pressiomètre**.

Les têtes de sondages ont été nivelées par nos soins et calées par rapport aux cotes présentes sur les plans du projet.

Elles sont données avec une précision de +/- 0,2 m.

Ces altitudes sont inscrites sur les feuilles de sondages annexées.

La coupe géologique de chacun des sondages et les résultats des essais sont joints sur les feuilles placées en annexe.

3.2 RESULTATS ET INTERPRETATION

3.2.1 LE SITE

La situation du terrain étudié est indiquée sur l’extrait de la carte topographique IGN placé en annexe.

Il s’agit actuellement d’un terrain enherbé libre de construction en pente vers le Sud.

3.2.2 NATURE DU SOL

Les 9 sondages de reconnaissance ont permis de distinguer les formations ci-après, de haut en bas :

■ Couche 1 :

- des **limons mous** de couleurs dominantes **brune à brun-roux** jusqu’à la profondeur de 1,0 mètres en CG2 (+ 331,0)

Ces limons (couche 1) sont coiffés par quelques décimètres de terre végétale.

■ Couche 2 :

- des **argiles** **marneuses à silteuses** de couleurs dominantes **brune , kaki et grise,**

Ces argiles (couche 2) sont coiffées par quelques décimètres de terre végétale.

■ Couche 3 :

- le **substratum altéré** composé de **marnes argileuses** de couleurs dominantes kaki et grise à passage de **marnes schistoïdes** dures grises à partir des profondeurs et cotes suivantes :

CG N°	Prof. (m)	Cote (m)
1	3,5	+ 328,2
2	2,8	+ 329,2
3	2,5	+ 327,4
4	3,3	+ 327,0
5	2,5	+ 327,3
6	1,8	+ 326,0
8	2,5	+ 328,2

3.2.3 L'EAU DANS LE SOL et HYDROGEOLOGIE DU SITE

L’eau dans le sol a été en cours de perforation à la profondeur de 4,8 mètres en CG3 (+ 325,1)

L’eau dans le sol a été relevé en fin de forage aux profondeurs et cotes suivantes :

CG N°	Prof. (m)	Cote (m)
5	6,2	+ 323,6
6	5,4	+ 322,4

Il s’agit de circulations d’eau anarchiques de types sources.

3.2.4 CARACTERISTIQUES MECANQUES

Les caractéristiques mécaniques mesurées au moyen d’essais au pressiomètre s’avèrent :

■ **Couche 1** :

- **Faibles** dans les *limons mous* avec un module pressiométrique (E_m) de 3,9 MPa, et une pression limite effective (P_l^*) de 0,30 MPa.

■ **Couche 2** :

- **Faibles à moyennes** dans les *argiles* avec un module pressiométrique (E_m) compris entre 4,0 et 12,1 MPa, et une pression limite effective (P_l^*) comprise entre 0,32 et 1,29 MPa.

■ **Couche 3** :

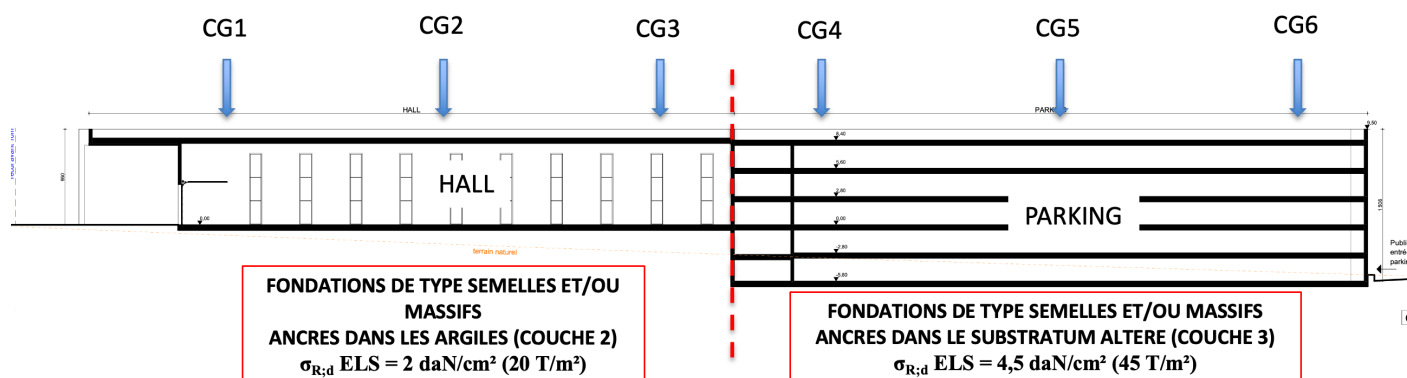
- **Bonnes** dans le *substratum altéré* avec un module pressiométrique (E_m) compris entre 15,5 à + de 100 MPa, et une pression limite effective (P_l^*) comprise entre 1,43 et + de 5,94 MPa.

IV - FONDATIONS DE LA STRUCTURE DU BATIMENT

De l'analyse des résultats des sondages et des essais présentés plus haut, il ressort principalement la présence d’une couche de limons mous (couche 1) surmontant directement des argiles molles à moyennement raides (couche 2)

Plus profond, les sondages font apparaître le substratum altéré (couche 3) de marnes compactes à dures.

Dans ces conditions et eu égard au niveau altimétriques prévu, il est possible d'envisager un système de fondations de type **SEMELLES et/ou MASSIFS** ancrés dans les **argiles (couche 2)** pour la zone Hall et de ancrés dans le **substratum altéré (couche 3)** pour la zone parking (voir schéma ci-dessous).



4.1 NIVEAUX D'ASSISE

a) Zone Hall (sondages CG1 à CG3) :

Les semelles et/ou les massifs seront ancrés au minimum de 0,5 mètre dans les **argiles (couche 2)** et à la **profondeur minimale de 1,5 mètre par rapport à la surface topographique au moment de notre chantier**, soit une profondeur d'assise de 1,5 mètre au droit de nos sondages et les cotes maximales d'assise suivantes :

CG N°	Cote (m)
1	+ 330,2
2	+ 330,5
3	+ 328,4

b) Zone Parking (sondages CG4 à CG6) :

Les semelles et/ou les massifs seront ancrés au minimum de 0,5 mètre dans le **substratum altéré (couche 3)** soit les profondeurs minimales et cotes maximales d'assise suivantes :

CG N°	Prof. (m)	Cote (m)
4	3,8	+ 326,5
5	3,0	+ 326,8
6	2,3	+ 325,5

Soit les profondeurs suivantes sous la cote du sous-sol -2 sans tenir compte de l'épaisseur des dallages et couche de forme :

CG N°	Prof. (m)
4	0,5
5	
6	1,2

➡ Notes :

- **Ancrage** = hauteur de pénétration de la fondation dans la couche d'assise, ici, les **argiles (couche 2) pour la zone Hall et le substratum altéré (couche 3) pour la zone parking**.
- L'épaisseur de la terre végétale et des limons mous (couche 1) et des argiles (couche 2) pouvant varier sensiblement entre les 9 sondages, seul le critère d'ancrage dans les **argiles (couche 2) pour la zone Hall et le substratum altéré (couche 3) pour la zone parking** devra être retenu, qui pourra conduire à un approfondissement du niveau des fondations. A cet effet, nous conseillons de commencer les fouilles des fondations au droit des sondages, afin de s'étalonner.

4.2 CONTRAINTES AUX ETATS LIMITES

a) Zone Hall (sondages CG1 à CG3) :

En appliquant la Norme d’Application Nationale de l’Eurocode 7 (Norme NF P 94-261) "Fondations superficielles", la contrainte de calcul q_{net} associée à la résistance nette du terrain est déterminée à partir de la relation suivante :

$$q_{\text{net}} = K_p P_{le}^* i_\delta i_\beta$$

- P_{le}^* : la pression limite nette équivalente au niveau d’assise retenu = 0,66 MPa en CG2
 K_p : facteur de portance pressiométrique (fonction des dimensions de la fondation) = 0,9
 i_δ : coefficient de réduction de portance lié à l’inclinaison du chargement = 1
 i_β : coefficient de portance lié à la proximité d’un talus de pente $\beta = 1$

Les valeurs de calcul de la résistance nette du terrain en terme de contrainte aux ELU et aux ELS pour une fondation uniformément chargée s’écriront :

$$\sigma_{R;d} = q_{\text{net}} / (\gamma_{R;d;v} \gamma_{R;v})$$

$$\sigma_{R;d(\text{ELU})} = 0,35 \text{ MPa}$$

$$\boxed{\sigma_{R;d(\text{ELS})} = 0,2 \text{ MPa}}$$

Avec $\gamma_{R;d;v} = 1,2$ et $\gamma_{R;v} = 1,4$ aux ELU et $\gamma_{R;d;v} = 1,2$ et $\gamma_{R;v} = 2,3$ aux ELS

Notes : 0,1 MPa = 1 bar = 1 daN/cm² = 100 kPa = 10 T/m² = 100 kN/m² = 0,1 MN/m²

b) Zone Parking (sondages CG4 à CG6) :

En appliquant la Norme d'Application Nationale de l'Eurocode 7 (Norme NF P 94-261) "Fondations superficielles", la contrainte de calcul q_{net} associée à la résistance nette du terrain est déterminée à partir de la relation suivante :

$$q_{net} = K_p P_{le}^* i_\delta i_\beta$$

P_{le}^* : la pression limite nette équivalente au niveau d'assise retenu = 1,43 MPa

K_p : facteur de portance pressiométrique (fonction des dimensions de la fondation) = 0,9

i_δ : coefficient de réduction de portance lié à l'inclinaison du chargement = 1

i_β : coefficient de portance lié à la proximité d'un talus de pente $\beta = 1$

Les valeurs de calcul de la résistance nette du terrain en terme de contrainte aux ELU et aux ELS pour une fondation uniformément chargée s'écriront :

$$\sigma_{R;d} = q_{net} / (\gamma_{R;d;v} \gamma_{R;v})$$

$$\sigma_{R;d(ELU)} = 0,75 \text{ MPa}$$

$$\boxed{\sigma_{R;d(ELS)} = 0,45 \text{ MPa}}$$

Avec $\gamma_{R;d;v} = 1,2$ et $\gamma_{R;v} = 1,4$ aux ELU et $\gamma_{R;d;v} = 1,2$ et $\gamma_{R;v} = 2,3$ aux ELS

Notes : 0,1 MPa = 1 bar = 1 daN/cm² = 100 kPa = 10 T/m² = 100 kN/m² = 0,1 MN/m²

4.3 EVALUATION DES TASSEMENTS

Les tassements totaux W et différentiels W' ont été calculés par la méthode pressiométrique L. MENARD au droit des 2 zones (hall et parking) :

a) Zone Hall (sondages CG1 à CG3) :

SITUATION	Fondations	Largeur (m)	Charge (kN ou kN/ml)	W (cm)	W' (cm)
HALL	Semelle continue	0,4	80	0,6	0,2
		0,6	120	0,8	0,3
		0,8	160	0,9	0,4
		1	200	1,0	0,4
		1,2	240	1,2	0,5
	Semelles isolées carrées et / ou massifs carrés	1	200	0,6	0,2
		1,3	338	0,8	0,3
		1,6	512	0,8	0,3
		1,9	722	0,9	0,4
		2,2	968	1,0	0,4
		2,5	1250	1,1	0,4

b) Zone Parking (sondages CG4 à CG6) :

SITUATION	Fondations	Largeur (m)	Charge (kN ou kN/ml)	W (cm)	W' (cm)
HALL	Semelle continue	0,4	180	0,4	0,2
		0,6	270	0,5	0,2
		0,8	360	0,6	0,2
		1	450	0,7	0,3
		1,2	540	0,9	0,4
	Semelles isolées carrées et / ou massifs carrés	1	450	0,4	0,2
		1,3	761	0,5	0,2
		1,6	1152	0,6	0,2
		1,9	1625	0,7	0,3
		2,2	2178	0,8	0,3
		2,5	2813	1,0	0,4

Note : 10 kN = 1 tonne

Ces tassements sont, a priori, admissibles pour le futur bâtiment ; ils sont soumis à l'appréciation du Bureau d'Etudes de Génie Civil.

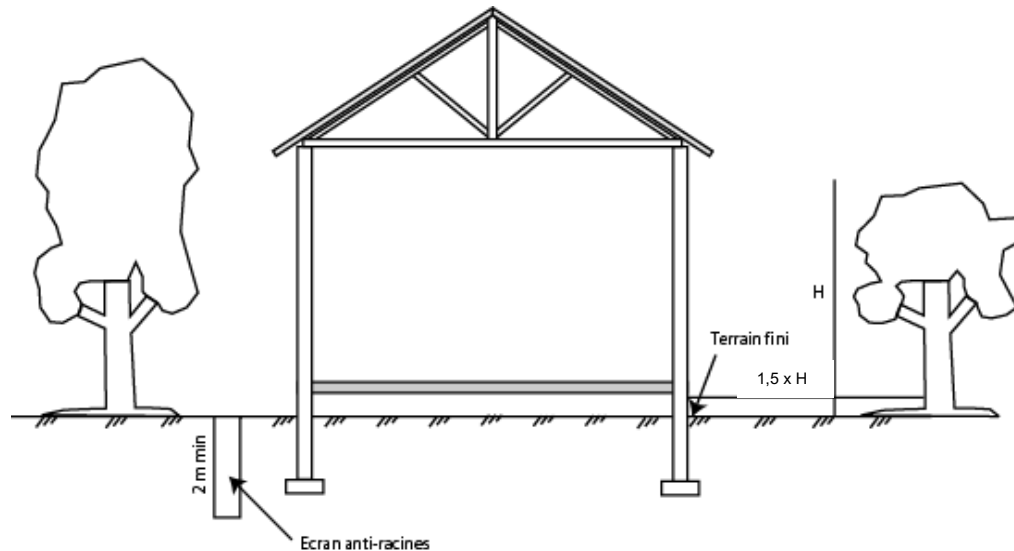
4.4 CONSEILS DE MISE EN OEUVRE

- Vérification soigneuse des matériaux extraits des fouilles pour assurer le bon ancrage des semelles et/ou des massifs dans les ***argiles (couche 2) pour la zone Hall et le substratum altéré (couche 3) pour la zone parking***; purger le cas échéant toutes poches de terre végétale, de limons mous (couche 1) ou d’argiles (couche 2), de remblais ou de sol mou que l’on pourrait encore éventuellement rencontrer au niveau d’assise retenu, ce qui pourra conduire à un approfondissement du niveau de fondations entre les sondages.
- Bétonner aussitôt après terrassement, et pleine fouille, pour éviter les phénomènes d’altération et de décomposition des ***argiles (couche 2) pour la zone Hall et le substratum altéré (couche 3) pour la zone parking*** particulièrement sensibles à l’eau, car cette altération pourrait induire des tassements supplémentaires non négligeables à ceux calculés précédemment.
- La largeur minimale des semelles sera de 0,4 mètre pour les semelles continues, et de 0,7 mètre pour des semelles isolées et des massifs.
- La profondeur minimale des semelles et/ou des massifs au-dessous du terrain fini extérieur sera partout au moins égale à 1,5m, ceci pour assurer leur mise hors gel et hors zone de sécheresse.
- Si des semelles ou des massifs voisins doivent être fondés à des niveaux différents, on respectera la règle $H/L < 2/3$ indiquée dans le D.T.U. 13.12, à moins de dispositions spéciales (voir schéma ci-dessous).



- La distance minimale entre la construction et les arbres et arbustes sera de $1,5 H$ pour un arbre isolé et/ou pour un rideau d’arbres et haies, H étant la hauteur prévisible de l’arbre adulte.

Dans l’impossibilité de respecter ces distances comme dans le cas d’arbres existants à proximité, il conviendra de mettre en place une barrière anti-racines de 2 m de hauteur minimale



Il convient d’attendre le retour à l’équilibre hydrique avant de construire sur un terrain récemment défriché.

V – DALLAGES

Les dallages envisagés ici sont en partie des **dallages de bureaux et de parking pour véhicules légers** soumis à des charges d'exploitation inférieures ou égales à 10 kN/m² et/ou 10 kN concentrées.

Si les dallages de fond sont mis en œuvre sur les terrassements (dallages sur terre plein), on respectera les précautions de réalisation suivantes :

1. **Purge et substitution de la totalité de la terre végétale et des limons mous (couche 1)**, des éventuelles poches médiocres et des sols détériorés par les engins de terrassement ou par les eaux de pluie.
2. **Cloutage**, c'est-à-dire incorporation par compactage et jusqu'à refus d'éléments inertes et durs 50/200mm **sur 30 cm** ou équivalents (concassé de calcaire, grave laitier inerte, par exemple) ; c'est la meilleure solution pour obtenir l'effet de "couche enclume".
3. Mise en place des remblais de substitution ou d'alignement de niveau traités en couche de forme, et/ou d'une **couche de forme de 40 cm d'épaisseur minimale**, en concassé calcaire 0/50 ou 0/20 mm, ou en grave non traitée, compactée à 95 % de l'Optimum Proctor Modifié (O.P.M.), ou matériau équivalent **inerte** (hérisson).

Pour la zone parking prévue sur sous-sol, cette couche de forme sera traitée en tapis drainant voir chapitre VI l'eau dans le sol

4. Contrôle de la couche de forme à l'aide d'essais de plaque type **Westergaard**. La valeur minimale du coefficient de réaction **k_w** devra être de **50 MPa/m, soit 5 bar/cm, avec un module EV2 minimal de 60 MPa**. Ces essais à la plaque devront être réalisés par notre société « *Compétence Géotechnique Luxembourg* », sachant que dans le cas contraire, notre société ne peut être engagée sur une quelconque responsabilité vis-à-vis de la bonne portance de ces remblais de reconstitution de sol.
5. Réalisation du dallage en le désolidarisant si possible de la structure et des fondations.

AVERTISSEMENTS :

- Les **laitiers** de hauts fourneaux classés GTR 92 F8 sont des matériaux qui peuvent dans certaines circonstances encore mal identifiées, générer des gonflements inacceptables. Il y a lieu de s'assurer au préalable de leur inertie chimique par des analyses et surtout par une garantie d'inertie écrite par le fournisseur. Utiliser par exemple, un concassé de laitier cristallisé et conforme à la norme NF P 18-302,
- Les **crasses** et les **sables d'aciérie** sont proscrits.
- L'utilisation de **schistes houillers** ou de **crasse de houillères non brûlés** est interdite du fait de leur autocombustion potentielle. Utiliser des schistes houillers rouges à violets, totalement brûlés, de classe GTR 92 F31.

VI – LE PROBLEME DE L’EAU DANS LE SOL

- L’eau dans le sol a été relevé en fin de forage aux profondeurs et cotes suivantes :

CG N°	Prof. (m)	Cote (m)
5	6,2	+ 323,6
6	5,4	+ 322,4

Il s’agit de circulations d’eau anarchiques de types sources.

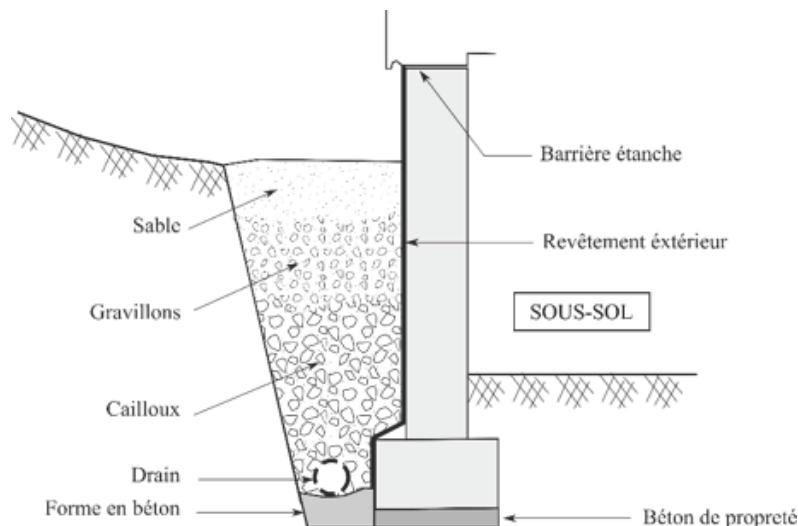
- Dans ces conditions, en cas de réalisation de parties enterrées, il sera nécessaire de prévoir :

- ✓ **En phase chantier**, un drainage soigné du fond de forme avec fossés drainants périphériques et tranchées transversales, reliés à des puisards. Les puisards permettront d’évacuer les eaux en phase chantier.

Une mauvaise maîtrise des eaux météorologiques ou des eaux de circulation de type sources en phase chantier entraînera une forte dégradation du fond de forme pouvant engendrer de fortes surépaisseurs de couche de forme, voire un changement de mode de fondation.

- ✓ **En phase définitive**, la protection des parties creuses enterrées du projet (sous-sol, etc) contre les eaux infiltrées qui circulent de façon anarchique dans les terrains superficiels, par un système de drainage périphérique collectant ces eaux et les évacuant vers un exutoire existant ou à construire, fiable et pérenne.

En l’absence d’exutoire des pompes de relevages seront à prévoir, il sera nécessaire de prévoir qu’elles fonctionnent en continu en période hivernale et pluvieuse.



Si la réalisation d’un drainage périphérique n’est pas envisagée, le cuvelage du sous-sol et le traitement aux sous-pressions des dallages sera à prévoir.

De même, pour la zone sous-sol, le massif de substitution en matériaux granulaires sous dallages sera traité en tapis drainant relié au drainage périphérique pour assurer une bonne évacuation des eaux de circulation.

- Des dispositifs constructifs empêchant l’humidité de remonter dans les structures seront prévus ; par exemple, une barrière ou membrane d’étanchéité est nécessaire à la base des murs et sous le dallage pour éviter les remontées capillaires.

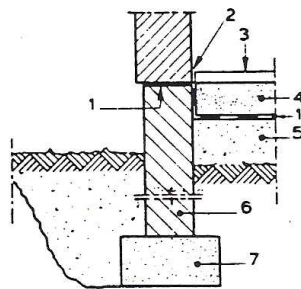


Fig. 56 — Dalle sur sol.

- | | |
|--------------------------------------|--|
| 1. barrière ou membrane d'étanchéité | 5. couche anti-capillaire (éventuellement) |
| 2. joint | 6. mur de fondation |
| 3. revêtement | 7. fondation |
| 4. dalle sur sol | |

VII – TERRASSEMENTS

7.1 TERRASSEMENTS EN DEBLAIS

Les terrassements dans les sols en place pourront s’effectuer avec une pelle mécanique standard.

Dans ces conditions, au vu des sols rencontrés sur site et si l’espace disponible est suffisant, les talus seront dressés dans les sols en place avec les pentes maximales suivantes :

- **1 Vertical pour 3 Horizontal** dans les *limons mous (couche 1)*
- **2 Vertical pour 3 Horizontal** dans les *argiles (couche 2)*
- **1 Vertical pour 1 Horizontal** dans le *substratum altéré (couche 3)*.

Bien entendu, en phase chantier, ces talus seront immédiatement et impérativement protégés des intempéries par un polyane, sous peine de l’apparition de glissements.

De même, à la découverte de sources, ces dernières seront immédiatement captées, drainées et évacuées en totalité des talus pour éviter leur déstabilisation, ainsi qu’une altération des matériaux en place.

Toujours afin d’éviter leur déstabilisation, aucune surcharge ne sera placée en tête de ces talus, déblai ou matériel, à moins de justifications émanant du Géotechnicien.

Si ces précautions ne peuvent être respectées, des soutènements seront à prévoir.

En l’absence de mesures spécifiques In Situ ou en laboratoire, les soutènements seront calculée en considérant les hypothèses de sol estimées ci-après :

Nature du sol	Couche n°	Long terme*	
		ϕ' (degré)	c' (kPa)
Limons mous	1	17*	0*
Argiles	2	17*	10*
Substratum altéré	4	25*	50*

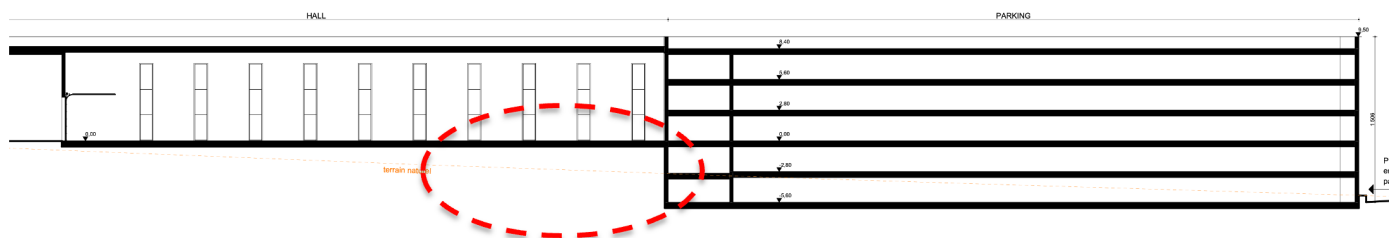
(*) Valeurs obtenues en corrélation avec les essais pressiométriques

Ces parois seront calculées par un Bureau d’Etude Technique statique spécialisé, de manière à reprendre les poussées des sols au cours de l’excavation, ainsi que celles des avoisinants.

Toutes précautions seront prises pendant les travaux, et constructives à long terme, pour ne pas endommager les ouvrages du domaine public (trottoirs et rues).

7.2 TERRASSEMENTS EN REMBLAIS

Dans le cadre de la réalisation du sous-sol -2 du projet, des remblais seront prévus sur des hauteurs conséquentes notamment à l'arrière des murs du sous-sol de la zone parking (voir zone concernée ci-dessous)



La classification GTR des matériaux existants sur place a été réalisée d'après notre expérience professionnelle, repris dans le tableau ci-après :

Nature du sol	Couche	Classe GTR
Limons mous	1	A ₁ à A ₂
Argiles	2	A ₃ à A ₄
Substratum altéré	3	R ₃

En tout état de cause, la réutilisation des matériaux extraits du site en remblais sous dallages ou voiries est vivement déconseillée eu égard à leur forte sensibilité à l'eau.

La meilleure solution est d'utiliser des matériaux rocheux type R₂, R₄, R₆ pour la mise en place de nouveaux remblais.

De plus, des matériaux rocheux permettront un bon drainage arrière des murs du sous-sol.

Les talus en remblais en matériaux type support de fondations comme explicités ci-après seront réalisés avec des talus de 2 Vertical pour 3 Horizontal.

Ces remblais seront traités en remblais support de fondations tel que décrit au chapitre suivant.

VIII – REMBLAIS SUPPORT DE FONDATION

Le projet implique la mise en place d’une forte quantité de remblais en zone basse du site.

Les remblais mis en place seront traités en remblais type support de fondation tels qu’explicités ci-après.

8.1 PREPARATION DE LA SURFACE DU TERRAIN

1. Décapage de la terre végétale.
2. **Purge et substitution de la totalité des limons mous (couche 1)**, des éventuelles poches médiocres et des sols détériorés par les engins de terrassement ou par les eaux de pluie,
3. **Cloutage du fond de forme**, c’est à dire incorporation par compactage et jusqu’à refus d’éléments 50/200 mm ou équivalente **sur 30 cm**. Le cloutage permet de bénéficier d’un effet d’enclume pour le compactage des premières couches de remblai.

8.2 QUALITE DU MATERIAU DE REMBLAIS

Le matériau de remblai devra répondre aux recommandations “Caractéristiques des matériaux de remblai supports de fondation” LCPC-SETRA de 1980.

Ces matériaux seront choisis sauf justifications spéciales parmi les classes GTR 92 suivantes :

R2, R4, R6 (Concassé de roches -calcaire, par exemple)

On s’assurera également que les matériaux de remblais soient peu gélifs.

8.3 MISE EN ŒUVRE ET RESULTATS

Les remblais seront mis en œuvre et compactés par couches selon les recommandations précitées.

Le taux de compactage à atteindre au droit des futures constructions sera au minimum de 95 % de l’O.P.N..

Le contrôle obligatoire par essais de plaques devra permettre d’atteindre tous les 0,8 mètre de matériaux mis en place :

- $EV2 > 50 \text{ MPa}$ et $EV2/EV1 < 2,5$,
- $K_w \text{ Westergaard} > 50 \text{ MPa/m}$ (5 bar/cm).

De plus, pour les zones de plus de 1 mètre de nouveaux remblais mis en place, notamment en zone arrière des murs de soutènement des sous-sols de la zone parking, des essais au pénétromètre dynamique lourd (norme NF P 94-115) seront réalisés avec un objectif de compactage q3 sous dallages et q4 sous voiries.

Les talus des futurs remblais mis en place et compactés, en l’absence d’une étude spécifique de cisaillement, seront dressés avec une pente maximale de 2 vertical pour 3 horizontal.

Une bande sans surcharge d’une largeur minimale de 1 mètre sera laissée en tête de talus pour éviter toute déformation.

IX – VOIRIES : PREDIMENSIONNEMENT

9.1 METHODOLOGIE

Le trafic des voiries sera constitué de véhicule léger et de poids lourds avec un trafic estimé de **poids lourds de 50 passages/jour/sens**.

Nous avertir si ce n’est pas le cas.

Le pré dimensionnement suivant a été réalisé par transposition des techniques classiquement utilisées pour la constitution des voiries neuves.

9.2 COUCHE DE FORME

La purge et substitution de la terre végétale et des limons mous (couche 1) est à prévoir.

Le sol support des voiries sera composé en majorité par des argiles (couche 2) très sensibles aux conditions météorologiques, la pluie en particulier.

Il est entendu que l’entreprise est responsable de sa couche de forme en appliquant les règles de l’art, c’est à dire les GTR 92, même dans le cadre de travaux traités au forfait. Le géotechnicien ne saurait être tenu comme responsable dans le cadre de son pré dimensionnement, car il n’est maître ni de la compétence de l’entreprise, ni de la météorologie de la période d’exécution du chantier.

La couche de forme sera contrôlée par des essais à la plaque, type Westergaard.

La couche de forme sera contrôlée par des essais à la plaque, type Westergaard ; la valeur cible sera $k_w = 5 \text{ bar/cm}$, avec une valeur minimale du module EV2 de 50 MPa.

Les travaux seront réalisés de préférence en période sèche pour minimiser l’épaisseur de la couche de forme, comme celle indiquée § 8.2.2.

En période pluvieuse la PST chutera à 0 et des purges seront à prévoir.

Actuellement, la partie supérieure de terrassements PST est de 1 avec une classe d'arase de 1.

Pour obtenir PF2, les épaisseurs de couches de forme seront les suivantes au stade du pré-dimensionnement :

1. **Décapage de la terre végétale,**
2. **Purge des limons mous (couche 1),** des éventuelles poches médiocres et des sols détériorés par les engins de terrassement ou par les eaux de pluie.
3. Réalisation d'un **cloutage**, c'est-à-dire incorporation par compactage et jusqu'à refus d'éléments inertes et durs 50/200 mm ou équivalents (concassé de calcaire, grave laitier inerte, par exemple) **sur au moins 30 cm** ; c'est la meilleure solution pour obtenir l'effet de "couche enclume".
4. Mise en place d'une **couche de forme de 30 cm d'épaisseur minimale,** en concassé calcaire 0/50 ou 0/20 mm, ou en grave non traitée, compactée à 95 % de l'Optimum Proctor Modifié (O.P.M.), ou matériau équivalent **inerte** (hérisson).
5. Contrôle de la couche de forme à l'aide d'essais de plaque type **Westergaard**. La valeur minimale du coefficient de réaction **k_w** devra être de **50 MPa/m, soit 5 bar/cm, avec un module EV2 minimal de 60 MPa**. Ces essais à la plaque devront être réalisés par notre société "*Compétence Géotechnique*", sachant que dans le cas contraire, notre société ne peut être engagée sur une quelconque responsabilité vis-à-vis de la bonne portance de ces remblais de reconstitution de sol.

**RAPPEL DES
DIFFERENTS CAS POSSIBLES DE P.S.T. (cf. fascicule I § 3.3.2)**

Cas de P.S.T	Schéma	Description	Classe de l'arase	Commentaires
P.S.T. n°0		Sols A, B ₂ , B ₄ , B ₅ , B ₆ , C ₁ se trouvant dans un état hydrique (th). Contexte Zones tourbeuses, marécageuses ou inondables. PST dont la portance risque d'être quasi nulle au moment de la réalisation de la chaussée ou au cours de la vie de l'ouvrage.	AR0	La solution de franchissement de ces zones doit être recherchée par une opération de terrassement (purge, substitution) et/ou de drainage (fossés profonds, rabattement de la nappe...) de manière à pouvoir reclasser le nouveau support obtenu au moins en classe AR1.
P.S.T. n°1		Sols Matériaux des classes A, B ₂ , B ₄ , B ₅ , B ₆ , C ₁ , R ₁₂ , R ₁₃ , R ₃₄ et certains matériaux C ₂ , R ₄₃ et R ₆₃ dans un état hydrique (h). Contexte. PST en matériaux sensibles de mauvaise portance au moment de la mise en œuvre de la couche de forme (A) et sans possibilité d'amélioration à long terme (B).	AR1	Dans ce cas de PST, il convient : - soit de procéder à une amélioration du matériau jusqu'à 0,5 m d'épaisseur par un traitement principalement à la chaux vive et selon une technique remblai. On est ramené au cas de PST 2, 3 ou 4 selon le contexte - soit d'exécuter une couche de forme en matériau granulaire insensible à l'eau de forte épaisseur (en admettant une légère réduction si l'on intercale un géotextile anticontaminant à l'interface PST - couche de forme).
P.S.T. n°2		Sols Matériaux des classes A, B ₂ , B ₄ , B ₅ , B ₆ , C ₁ , R ₁₂ , R ₁₃ , R ₃₄ et certains matériaux C ₂ , R ₄₃ et R ₆₃ dans un état hydrique (m). Contexte PST en matériaux sensibles à l'eau de bonne portance au moment de la mise en œuvre de la couche de forme (A). Cette portance peut cependant chuter à long terme sous l'action des infiltrations des eaux pluviales et d'une remontée de la nappe (B).	AR1	Bien que les exigences requises à court terme pour la plate-forme support puissent être éventuellement obtenues au niveau de l'arase, il est cependant quasiment toujours nécessaire de prévoir la réalisation d'une couche de forme. Si l'on peut réaliser un rabattement de la nappe à une profondeur suffisante, on est ramené au cas de PST 3.
P.S.T. n°3		Sols Mêmes matériaux que dans le cas de PST 2. Contexte PST en matériaux sensibles à l'eau, de bonne portance au moment de la mise en œuvre de la couche de forme (A) mais pouvant chuter à long terme sous l'action de l'infiltration des eaux pluviales (B).	AR1 AR2	En l'absence de mesures de drainage à la base de la chaussée et d'imperméabilisation de l'arase, même situation que celle décrite dans le cas PST 2 Classement en AR2 si des dispositions constructives de drainage à la base de la chaussée et d'imperméabilisation de l'arase permettent d'évacuer les eaux et d'éviter leur infiltration dans la PST.
P.S.T. n°4		Sols Mêmes matériaux qu'en PST 1 sous réserve que la granularité permette leur traitement. Contexte PST en matériaux sensibles à l'eau (en remblai ou rapportés en fond de déblai hors nappe) améliorés à la chaux ou aux liants hydrauliques selon une technique "remblai" et sur une épaisseur de 0,30 à 0,50 m. L'action du traitement est cependant durable.	AR2	La portance de l'arase peut être localement élevée mais la dispersion n'autorise pas un classement supérieur. La décision de réalisation d'une couche de forme sur cette PST dépend du projet et des valeurs de portance de l'arase mesurées à court terme (après prise du liant).
P.S.T. n°5		Sols B ₁ et D ₁ et certains matériaux rocheux de la classe R ₄₃ . Contexte PST en matériaux sableux fins insensibles à l'eau, hors nappe, posant des problèmes de traficabilité.	AR2 AR3	La portance de l'arase de cette PST dépend beaucoup de la nature des matériaux. Classement en AR3 si le module EV2 de l'arase est supérieur à 120 MPa. Les valeurs de portance à long terme peuvent être assimilées aux valeurs mesurées à court terme. La nécessité d'une couche de forme sur cette PST ne s'impose que pour satisfaire les exigences de traficabilité.
P.S.T. n°6		Sols Matériaux des classes D ₃ , R ₄₁ , R ₂₁ , R ₂₃ , R ₃₀ , R ₃₃ , R ₄₁ , R ₄₂ , R ₆₂ ainsi que certains matériaux C ₂ , R ₂₃ , R ₄₃ et R ₆₃ . Contexte PST en matériaux graveleux ou rocheux insensibles à l'eau mais posant des problèmes de réglage et/ou de traficabilité.	AR3 AR4	Classement en AR3 si EV2 ≥ 120 MPa et en AR4 si EV2 ≥ 200 MPa. Les valeurs de portance à long terme peuvent être assimilées aux valeurs mesurées à court terme. La nécessité d'une couche de forme ne s'impose que pour les exigences à court terme (nivellement et traficabilité) et peut donc se réduire à une couche de fin réglage.

(A) Comportement de la PST à la mise en œuvre de la couche de forme

(B) Situation pendant la "phase de construction" de la chaussée.

9.3 NOTES IMPORTANTES

- L’entreprise appliquera les règles en vigueur, les règles G.T.R. 92 (document SETRA).

Elle ne pourra pas mettre en cause la responsabilité du géotechnicien dans le cadre de son pré dimensionnement et de la norme NF P 94-500, si la nécessité du chantier demande l’épaississement de la couche de forme.

- L’entreprise devra adopter une épaisseur de couche de forme conforme à l’état réel du sol support à l’époque du chantier en appliquant le fascicule II, au besoin en augmentant son épaisseur pour obtenir $PF = 2$. Dans les conditions météorologiques exceptionnellement défavorables (PST proche de 0 et AR 0), et s’il est impossible d’attendre que le terrain s’assainisse, la solution devra être recherchée par une opération de terrassement supplémentaire (purge, substitution, ou les deux), et/ou de drainage (fossés profonds) à pouvoir reclasser le nouveau support obtenu au moins en classe AR1.

9.4 CONSTITUTION DES CHAUSSEES

Dans ces conditions, avec PF2, et un trafic poids lourds correspondant à 50 passages PL maximum par jour et par sens, on obtient les épaisseurs de structures suivantes :

Q2 / PF2	Norme	Classe	Epaisseur
BBME	NF P 98-141	2 ou 3	5 cm
GNT	NF EN 13285	1	15 cm
GNT	NF EN 13285	1	23 cm
Total = 43 cm			

avec :

GNT = Grave non traitée ou concassé calcaire.

D’autres variantes de constitution de chaussées et parkings peuvent être envisagées en fonction des matériaux disponibles localement.

On devra s’assurer de la compatibilité des différentes couches et que la portance est équivalente à celle indiquée pour les structures précédentes.

La composition de l’enduit tiendra compte des efforts d’arrachage par les manœuvres des camions de livraison.

Vérification au gel :

La mise hors gel nécessitera la mise en œuvre d’une **couche de forme non gélive** en Grave Non Traitée d’une épaisseur minimale de **50 cm en considérant un Hiver Courant** et **60 cm en considérant un Hiver Rigoureux Non Exceptionnel**.

CONCLUSIONS

Les 9 sondages demandés ont reconnu :

Couche 1 : des **limons mous**, jusqu’à la profondeur de 1 mètre en CG2 (+ 331,0),

Couche 2 : des **argiles moyennement raides**,

Couche 3 : le **substratum altéré de marnes compactes**, à partir de la profondeur de 1,8 mètre en CG6 (+ 326,0) à 3,5 mètres en CG1 (+ 328,2).

✧ ✧ ✧

L’eau dans le sol a été relevé en fin de forage aux profondeurs et cotes suivantes :

CG N°	Prof. (m)	Cote (m)
5	6,2	+ 323,6
6	5,4	+ 322,4

Il s’agit de circulations d’eau anarchiques de types sources.

✧ ✧ ✧

Le futur bâtiment sera fondé sur **SEMELLES et/ou MASSIFS** :

- a) Pour la zone Hall (sondages CG1 à CG3) **ancrés d’au moins de 0,5 m dans les argiles (couche 2) et à la profondeur minimale de 1,5 mètre par rapport à la surface topographique au moment de notre chantier**, soit une profondeur d’assise de 1,5 mètre au droit des sondages CG1 à CG3.

Ces fondations seront dimensionnées sur la base de la valeur de calcul de la **résistance nette des argiles (couche 2)**, à la profondeur minimale de 1,5 mètre par rapport à la surface topographique au moment de notre chantier, en terme de contrainte aux ELS $\sigma_{R;d}$ de 2 daN/cm² (20 T/m²) pour une fondation uniformément chargée.

- b) Pour la zone parking (sondages CG4 à CG6) **ancrés d’au moins de 0,5 m dans le substratum altéré (couche 3)**.

Ces fondations seront dimensionnées sur la base de la valeur de calcul de la **résistance nette du substratum altéré (couche 3)** en terme de contrainte aux ELS $\sigma_{R;d}$ de 4,5 daN/cm² (45 T/m²) pour une fondation uniformément chargée.

✧ ✧ ✧

Si les dallages sont mis sur terre-plein, respecter les préconisations du chapitre V.

✧ ✧ ✧

Les suggestions dues à l’eau dans le sol sont données au chapitre VI.

✧ ✧ ✧

Les précautions quant aux terrassements et à la mise en place de remblais support de fondation, sont exposées aux chapitres VII et VIII

✧ ✧ ✧

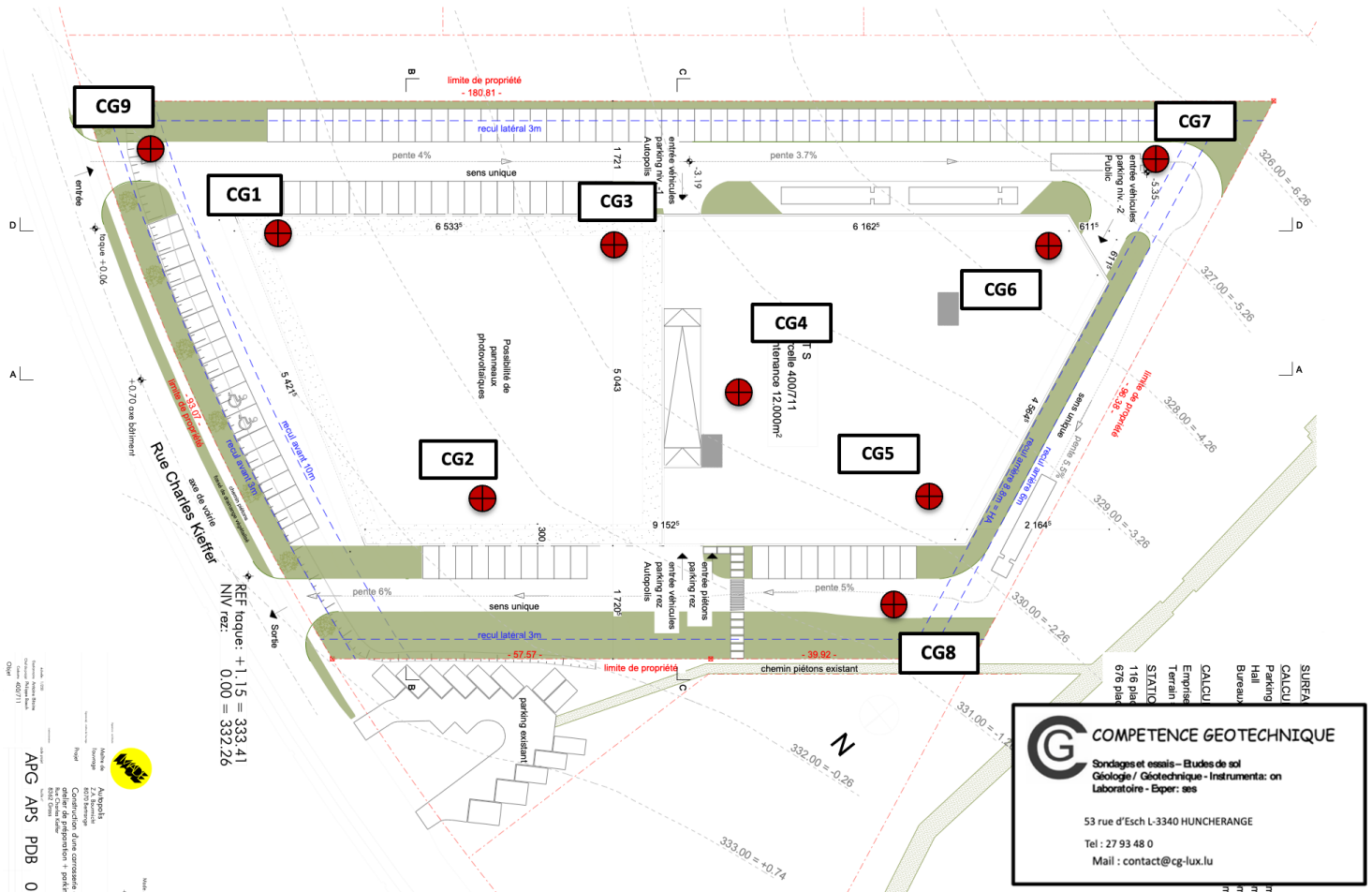
prédimensionnement des chaussées et parking est donné au chapitre IX.

✧ ✧ ✧

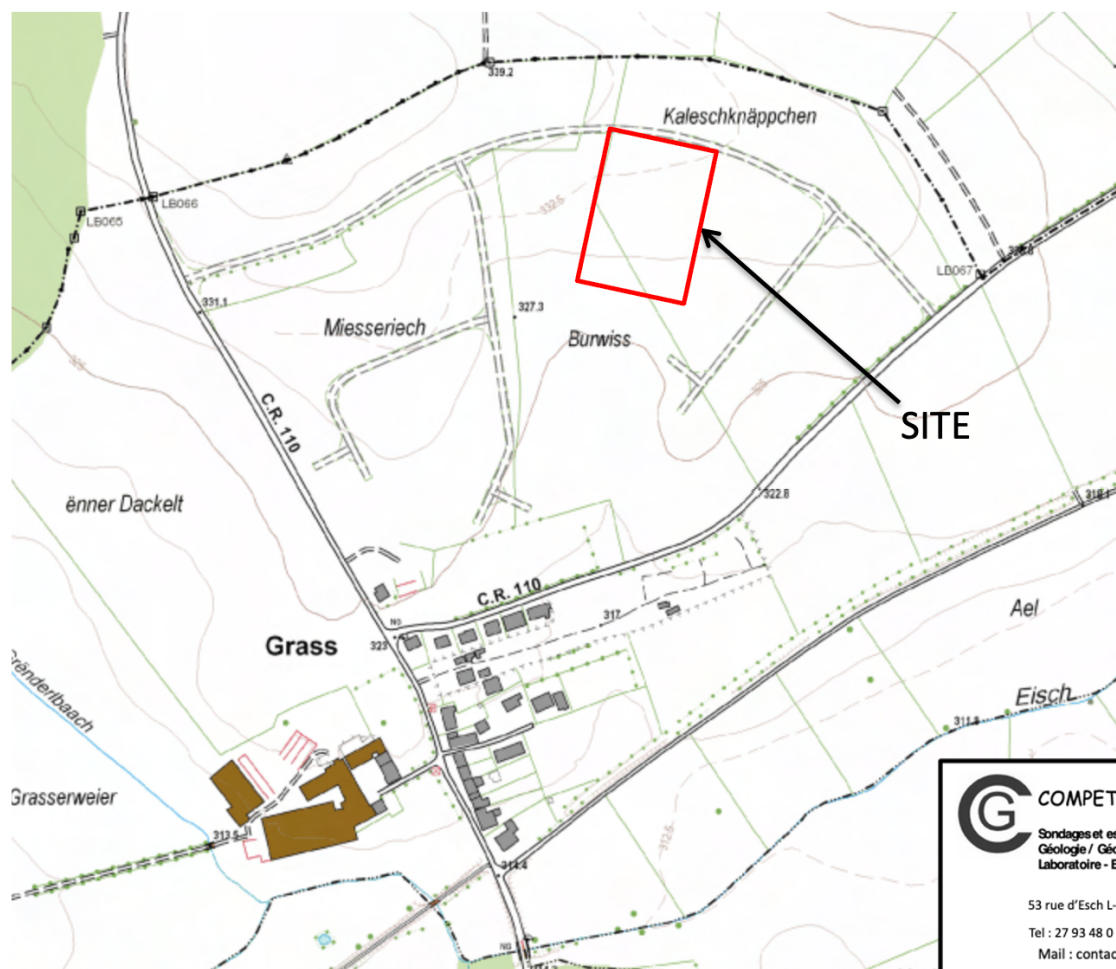
Les éléments nouveaux mis en évidence au cours des travaux de terrassement et/ou de fondation, qui n’auraient pu être détectés au moment de la présente étude géotechnique, doivent nous être immédiatement signalés, de façon à étudier les éventuelles adaptations.

L’Ingénieur chargé du dossier
F. FILIPE

F. FILIPE
Gérant



EXTRAIT DE LA CARTE TOPOGRAPHIQUE



COMPETENCE GEOTECHNIQUE

Sondages et essais - Etudes de sol
Géologie / Géotechnique - Instrumenta: on
Laboratoire - Exper: ses

53 rue d'Esch L-3340 HUNCHERANGE

Tel : 27 93 48 0

Mail : contact@cg-lux.lu



Sondages et Essais — Etudes de sol
Conseil en Géologie/Géotechnique
Ingénierie — Instrumentation
Laboratoire — Expertises
53 route d'Esch
L-3340 HUNGERANGE
contact@cg-lux.lu

Dossier : L24-065

Chantier : GRASS

Rue Charles Kieffer - Construction d'une Hall Automobile

Client : AUTOPOLIS SA

SONDAGE : CG2

Élévation		Données		Type	Début		Fin		Machine		Opérateur	
+332,0 m		PMT-CG2		Pressiomètre	02/07/2024		02/07/2024		Socomafor 35		Levy	
Élévation	Prof.	Lithologie	Descriptions	Stratigraphie	Niveau d'eau	Niveau RDC +332,26		pLM* [MPa]		Outils		
332	0		LIMON argileux brun à racines	TV		0	100	0	6	0	6	
331,4			0,6 m LIMON argileux brun à racines	0,6 m								
331	1		1 m ARGILE marneuse brun à kaki	LIMONS MOUS 1 m								
	2			ARGILES								
329,2			2,8 m	2,8 m								
	3		MARNE altérée argileuse kaki à grise									
	4											
327,3			4,7 m									
	5		MARNE altérée grise	SUBSTRATUM ALTÉRÉ								
	6											
	7											
324	8		8 m	8 m							8 m	



Sondages et Essais — Etudes de sol
Conseil en Géologie/Géotechnique
Ingénierie — Instrumentation
Laboratoire — Expertises
53 route d'Esch
L-3340 HUNCHERANGE
contact@cg-lux.lu

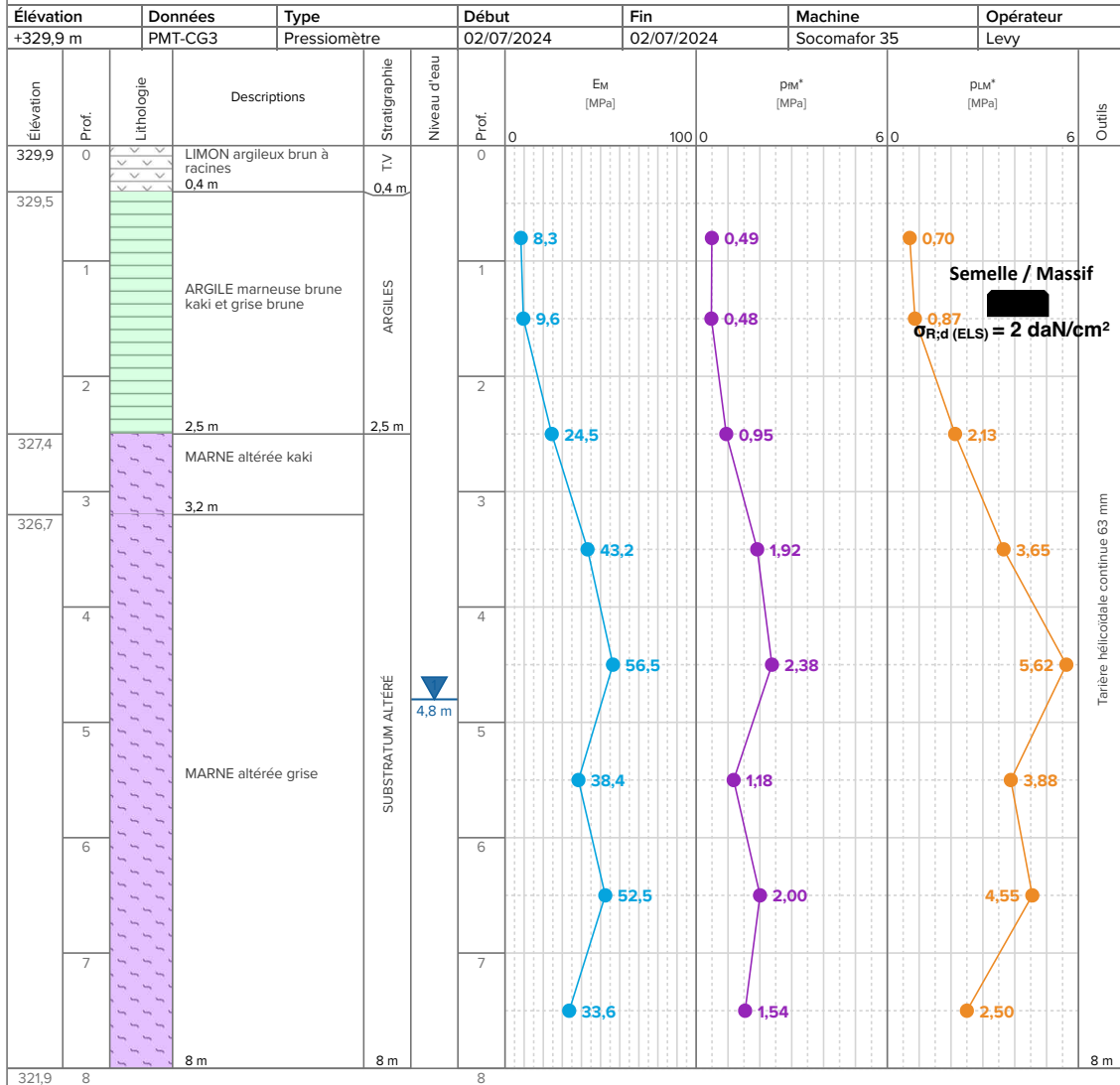
SONDAGE : CG3

Dossier : L24-065

Chantier : GRASS

Rue Charles Kieffer - Construction d'une Hall Automobile

Client : AUTOPOLIS SA



1 02/07/2024 - en cours de forage 4,8m

Edité par Compétence Géotechnique

GRASS

soilcloud.tech



Sondages et Essais — Etudes de sol
Conseil en Géologie/Géotechnique
Ingénierie — Instrumentation
Laboratoire — Expertises
53 route d'Esch
L-3340 HUNCHERANGE
contact@cg-lux.lu

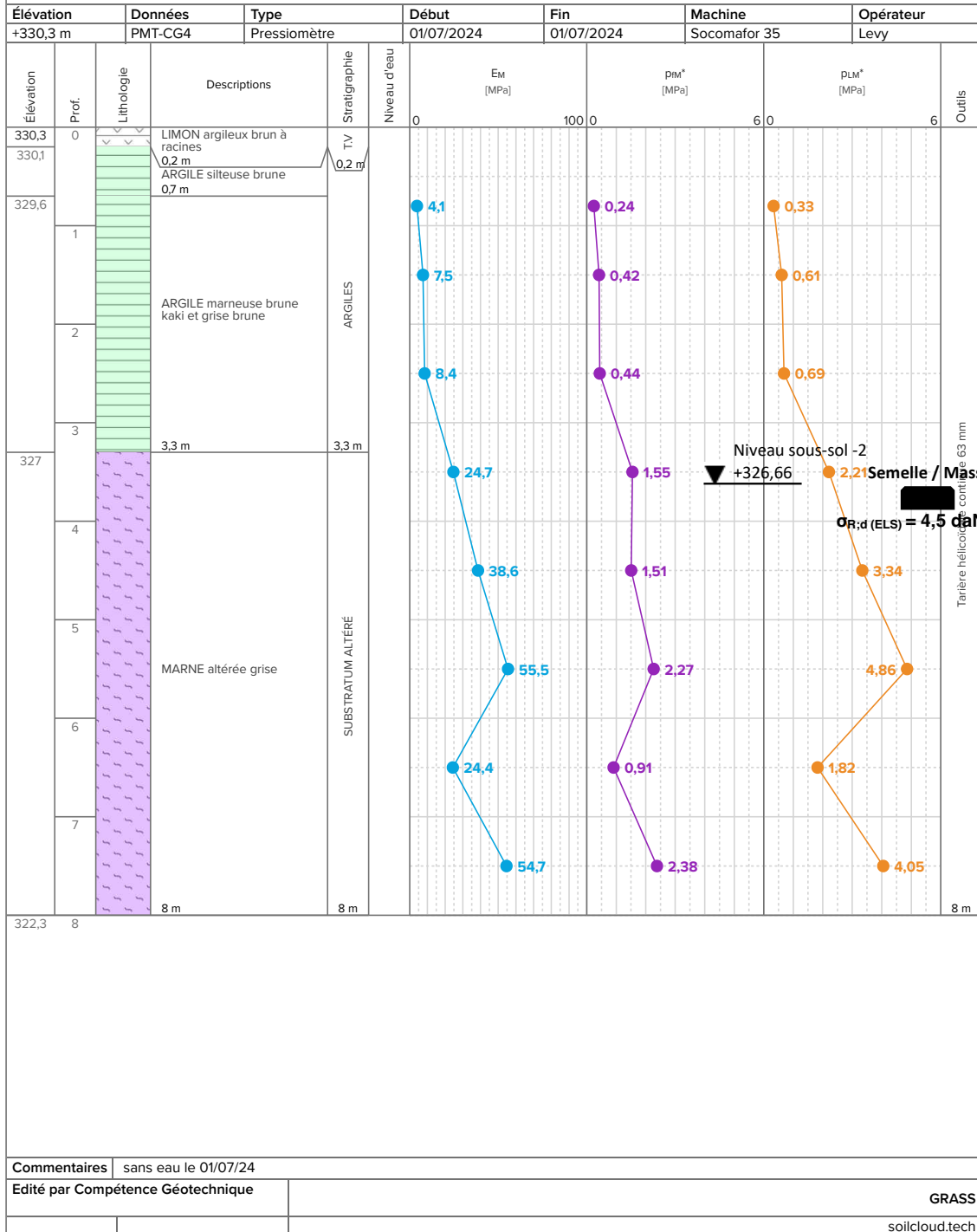
SONDAGE : CG4

Dossier : L24-065

Chantier : GRASS

Rue Charles Kieffer - Construction d'une Hall Automobile

Client : AUTOPOLIS SA





Sondages et Essais — Etudes de sol
Conseil en Géologie/Géotechnique
Ingénierie — Instrumentation
Laboratoire — Expertises
53 route d'Esch
L-3340 HUNCHERANGE
contact@cg-lux.lu

SONDAGE : CG5

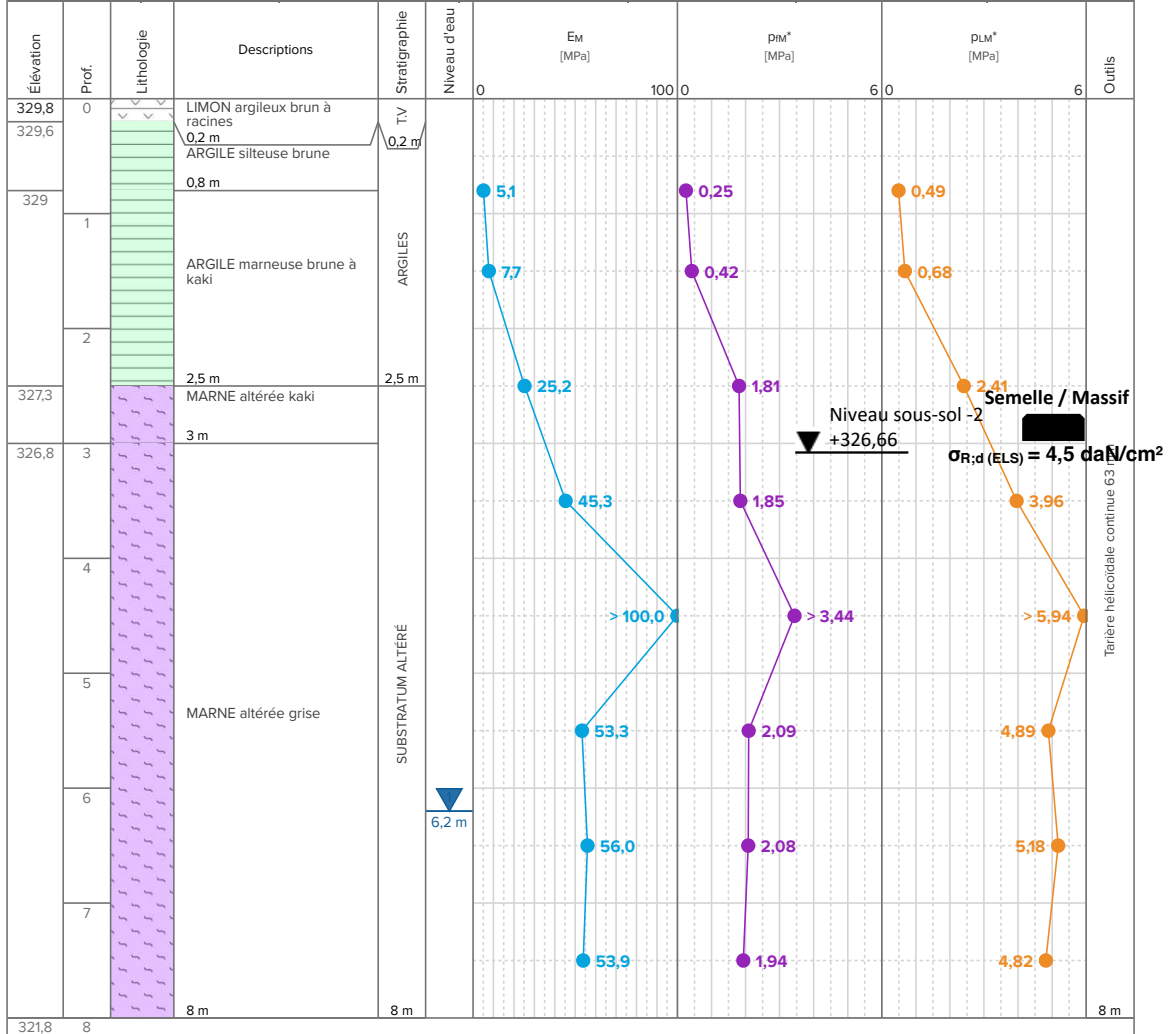
Dossier : L24-065

Chantier : GRASS

Rue Charles Kieffer - Construction d'une Hall Automobile

Client : AUTOPOLIS SA

Élévation	Données	Type	Début	Fin	Machine	Opérateur
+329,8 m	PMT-CG5	Pressiomètre	28/06/2024	28/06/2024	Socomafor 35	Levy



1 28/06/2024 - en cours de forage 6,2m

Edité par Compétence Géotechnique

GRASS

soilcloud.tech



Sondages et Essais — Etudes de sol
Conseil en Géologie/Géotechnique
Ingénierie — Instrumentation
Laboratoire — Expertises
53 route d'Esch
L-3340 HUNCHERANGE
contact@cg-lux.lu

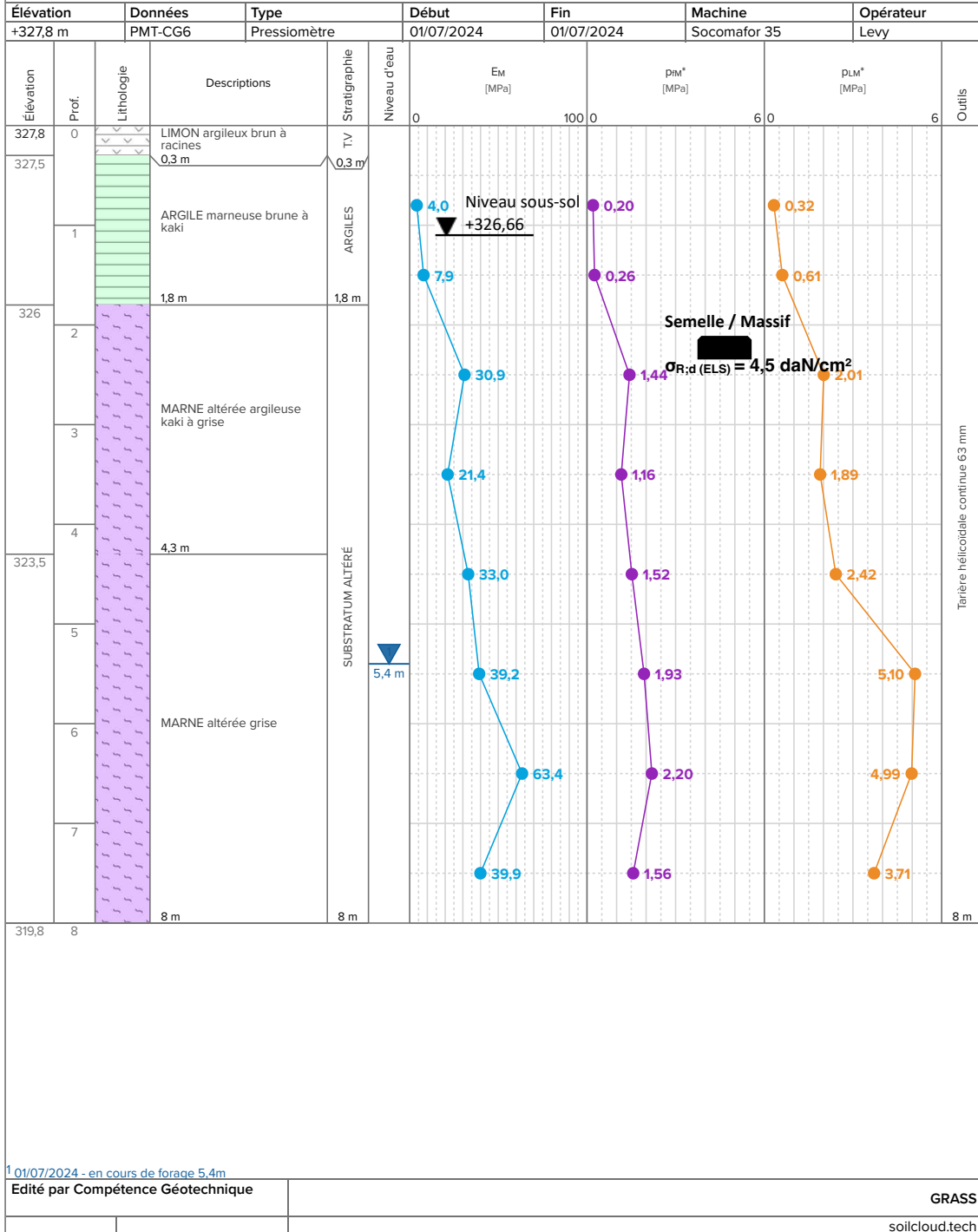
SONDAGE : CG6

Dossier : L24-065

Chantier : GRASS

Rue Charles Kieffer - Construction d'une Hall Automobile

Client : AUTOPOLIS SA



1 01/07/2024 - en cours de forage 5,4m

Edité par Compétence Géotechnique

GRASS

soilcloud.tech



Sondages et Essais – Etudes de sol
Conseil en Géologie/Géotechnique
Ingénierie – Instrumentation
Laboratoire – Expertises
53 route d'Esch
L-3348 HUNCHERANGE
contact@cg-lux.lu

SONDAGE : CG7

Dossier : L24-065

Chantier : GRASS

Rue Charles Kieffer - Construction d'une Hall Automobile

Client : AUTOPOLIS SA

Élévation		Données		Type	Début		Fin		Machine	Opérateur				
+327,0 m		PMT-CG7		Pressiomètre	28/06/2024		28/06/2024		Socomafor 35	Levy				
Élévation	Prof.	Lithologie	Descriptions	Stratigraphie	Niveau d'eau	Em [MPa]		p1M* [MPa]		pLM* [MPa]		Outils		
327	0		LIMON argileux brun à racines	TV		0	100	0	6	0	6	Tarière hélicoïdale continue 63 mm		
326,8			0.2 m											
			ARGILE silteuse brun roux											
326,2	1		0.8 m	ARGILES										
			ARGILE marneuse brune à kaki											
	2													
	3		3 m	3 m								3 m		
324	3													

soilcloud.tech

Votre correspondant :
FILIPUZZI STEPHANIE
Service Grands Comptes
Tél. : (+352) 437 43 45 80
Email : grandscomptes@foyer.lu

P.LEU. 0B007 .ARI

COMPETENCE GEOTECHNIQUE LUXEMBOURG
SARL
53, RTE. D'ESCH
L - 3340 HUNCHERANGE

Concerne : police **Responsabilité Civile**
Architectes - Ingénieurs n° 20254818

Leudelange, le 16 janvier 2024

ATTESTATION D'ASSURANCE

La Compagnie 'FOYER ASSURANCES S.A.', avec siège social à L-3372 Leudelange, 12, rue Léon Laval, certifie par la présente que le susdit preneur d'assurance est couvert dans le cadre de la police n°20254818 contre les conséquences pécuniaires de la Responsabilité Civile légale, soit la responsabilité professionnelle, tant contractuelle que délictuelle ou quasi délictuelle, y compris la responsabilité décennale, qu'il peut encourir dans l'exercice normal, à titre libéral, de son activité professionnelle, que ces missions comportent ou non exécution de travaux sous sa direction ou sous sa surveillance en raison de dommages corporels, matériels ou immatériels causés à autrui.

Activité(s) exercée(s) :

- Bureau d'ingénieurs-conseils en génie civil
- Contrairement à ce qui est écrit avant, l'activité principale est : Ingénieurs en géologie et géotechnique

Les garanties dans le contrat sont limitées à:

1. Responsabilité Civile Professionnelle

€ 2.500.000,00 par sinistre et par année d'assurance avec limitation à € 750.000,00 pour les dommages matériels et immatériels confondus.

Le montant de la franchise par sinistre est fixé à 10,00% du sinistre avec un minimum de € 1.250,00 et un maximum de € 6.200,00.

2. Responsabilité Civile Exploitation

€ 2.500.000,00 par événement assuré avec limitation à € 750.000,00 pour les dommages matériels et immatériels consécutifs confondus.

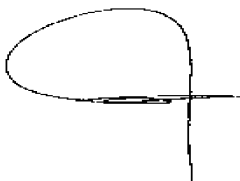
Période de validité de l'attestation : du 01.01.2024 au 31.12.2024

L'assurance est valable dans le monde entier sauf Etats-Unis et Canada.

La présente attestation ne peut engager la Compagnie au-delà des clauses, conditions et limitations fixées dans la police d'assurance mentionnée sous rubrique. Les garanties d'assurance sont susceptibles d'être amendées de sorte que l'exactitude des indications ci-avant ne peut être garantie au-delà de la date d'émission de la présente.

FOYER ASSURANCES

Société Anonyme



Franck MARCHAND
Dirigeant agréé



Marc LAUER
Chief Executive Officer