

The logo for Fondasol, featuring the word "fondasol" in a bold, orange, sans-serif font. The letter "o" is replaced by a stylized graphic of three overlapping curved segments in orange, blue, and grey, which also forms part of a larger circular graphic on the right side of the page.

**fondasol**

## LUXEMBOURG Mission G2 AVP

---

Rapport n° PR.LUGT.21.210– 001 – indice 0 – 11/03/2021



### Construction d'une tranchée couverte Tronçon 3 – Route d'Arlon - LUXEMBOURG

**AGENCE DE LUXEMBOURG**

47A rue de Sanem  
L-4485 SOLEUVRE

☎ 52 27 97

📠 52 27 96

✉ [luxembourg@fondasol.lu](mailto:luxembourg@fondasol.lu)

# SUIVI DES MODIFICATIONS ET MISES A JOUR

FTQ.261-B

Rév.	Date	Nb pages	Modifications	Rédacteur	Contrôleur
-	07/01/2022	42	1 <sup>ère</sup> diffusion	P.-Y. GOEURY	M. ZERHOUNI
A	11/03/2022	119	1 <sup>ère</sup> diffusion	P.-Y. GOEURY	M. ZERHOUNI
B					
C					

REV PAGE	-	A	B	C	REV PAGE	-	A	B	C	REV PAGE	-	A	B	C
1	X	X			41	X	X			81		X		
2	X	X			42	X	X			82		X		
3	X	X			43		X			83		X		
4	X	X			44		X			84		X		
5	X	X			45		X			85		X		
6	X	X			46		X			86		X		
7	X	X			47		X			87		X		
8	X	X			48		X			88		X		
9	X	X			49		X			89		X		
10	X	X			50		X			90		X		
11	X	X			51		X			91		X		
12	X	X			52		X			92		X		
13	X	X			53		X			93		X		
14	X	X			54		X			94		X		
15	X	X			55		X			95		X		
16	X	X			56		X			96		X		
17	X	X			57		X			97		X		
18	X	X			58		X			98		X		
19	X	X			59		X			99		X		
20	X	X			60		X			100		X		
21	X	X			61		X			101		X		
22	X	X			62		X			102		X		
23	X	X			63		X			103		X		
24	X	X			64		X			104		X		
25	X	X			65		X			105		X		
26	X	X			66		X			106		X		
27	X	X			67		X			107		X		
28	X	X			68		X			108		X		
29	X	X			69		X			109		X		
30	X	X			70		X			110		X		
31	X	X			71		X			111		X		
32	X	X			72		X			112		X		
33	X	X			73		X			113		X		
34	X	X			74		X			114		X		
35	X	X			75		X			115		X		
36	X	X			76		X			116		X		
37	X	X			77		X			117		X		
38	X	X			78		X			118		X		
39	X	X			79		X			119		X		
40	X	X			80		X			120				

# SOMMAIRE

<b>A.</b>	<b>Présentation de notre mission</b>	<b>5</b>
A.1.	Cadre de notre intervention	5
A.2.	Mission selon la norme NF P 94-500	5
A.3.	Programme d'investigations	5
A.4.	Méthodologie des sondages	6
A.5.	Essais pressiométriques	6
A.6.	Nivellement des sondages	7
A.7.	Documents à notre disposition pour cette étude	7
<b>B.</b>	<b>Synthèse géologique et géotechnique</b>	<b>8</b>
B.1.	Description du site	8
B.2.	Contexte géologique	10
B.3.	Contexte hydrogéologique	10
B.4.	Fortifications de la ville de Luxembourg	11
<b>C.</b>	<b>Résultats des investigations in situ</b>	<b>12</b>
C.1.	Résultats des sondages	12
C.2.	L'eau dans le sol	15
C.3.	Essais de laboratoire	16
<b>D.</b>	<b>Application au projet</b>	<b>20</b>
D.1.	Description générale du projet	20
D.2.	Classe géotechnique	20
D.3.	Rappel des contraintes du site – insertion du projet	20
D.4.	Travaux d'adaptation du projet au site	21
D.5.	Tranchée couverte	21
D.6.	Etude de la plateforme pour le nouveau Tramway en zone ouverte	25
D.7.	Etude de la sous-station	30
D.8.	Principes généraux de fondations	30
<b>E.</b>	<b>Mode d'assise des ouvrages</b>	<b>32</b>
E.1.	Contraintes de calcul sous charge verticale	32
E.2.	Estimation des tassements	32
<b>F.</b>	<b>Sujétions d'exécution et dispositions constructives</b>	<b>33</b>
F.1.	Sujétions générales	33
<b>G.</b>	<b>Predimensionnement des Micropieux des poteaux LAC (zone ouverte)</b>	<b>34</b>
G.1.	Conception	34
G.2.	Maquettes géotechniques	34

G.3. Calcul de la portance des pieux en compression et traction	35
G.4. Recommandations de réalisation et sujétions particulières	36
<b>ANNEXES</b>	<b>41</b>
<b>Conditions Générales de service</b>	<b>42</b>
<b>Enchaînement des missions types d'ingénierie GEOTECHNIQUE (Norme NF P94-500)</b>	<b>45</b>
<b>Missions types d'ingénierie géotechnique (Norme NF P94-500)</b>	<b>46</b>
<b>Annexe n°1 : Plan de Situation</b>	<b>47</b>
<b>Annexe n°2 : Plan d'implantation des sondages</b>	<b>48</b>
<b>Annexe n°3 : Coupe géologique des sondages</b>	<b>49</b>
<b>Annexe n°4: Coupes des Sondages « zone couverte »</b>	<b>50</b>
<b>Annexe n°5 : Coupes des Sondages « zone ouverte »</b>	<b>83</b>
<b>Annexe n°6 : Essais en laboratoire</b>	<b>95</b>



# A. PRESENTATION DE NOTRE MISSION

## A.1. Cadre de notre intervention

Dans le cadre de la réalisation du tronçon 3 situé route d'Arlon, la société **Luxtram** envisage notamment la Construction d'une tranchée couverte, à LUXEMBOURG.

L'étude géotechnique a été confiée à FONDASOL, Agence de Luxembourg, suite à l'acceptation du devis SQ.LUGT.21.10.018 par la commande n°4500002173 datée du 23/12/2021.

## A.2. Mission selon la norme NF P 94-500

Il s'agit d'une mission de type **G2 AVP** au sens de la norme NF P94-500 (Missions d'Ingénierie Géotechnique Types – Révision de Novembre 2013).

Cette étude a pour buts :

- Définir le contexte géotechnique et les niveaux d'eau du site ;
- Donner les hypothèses géotechniques pour la justification des ouvrages ;
- Prédimensionner les couches de formes granulaire sous plateforme ferroviaire ;
- Donner les recommandations particulières de conception et d'exécution liées à la géotechnique du site.

Les ébauches dimensionnelles réalisées dans le cadre de l'étude respectent l'ensemble des normes d'application de l'Eurocode 7.

Cette étude est conforme à l'Annexe Nationale Luxembourgeoise parties 1 et 2 de références respectives EN1997-1:2004/AN-LU:2011 et EN1997-2:2004/AN-LU:2011.

## A.3. Programme d'investigations

Nous avons réalisé sur l'ensemble du tronçon :

### Zone couverte :

- **8 sondages de reconnaissance géologique en Ø64 mm**, notés SP4 à SP7 et SP9 à SP13 descendus à 12 m de profondeur, avec **9 essais pressiométriques** par sondage.
- **2 carottés en Ø86 mm**, notés SC1 et SC2, descendus à 10 m de profondeur, avec prélèvement d'échantillons remaniés.
- **2 sondages reconnaissance géologique en Ø64 mm**, notés PH1 et PH2 descendus à 10 m de profondeur, dans chacun desquels nous avons réalisé 2 et 3 essais au phicomètre soit un total de 5 essais.
- **2 équipements piézométriques** à 10 m de profondeur protégés par un tête métallique de protection.

### **Zone ouverte :**

- **6 sondages de reconnaissance géologique en Ø64 mm**, notés SP1 à SP3, SP8, SP14 et SP15 descendus à 5 et 12 m de profondeur, avec **4 et 9 essais pressiométriques** par sondage.

### **Des essais de laboratoire** comprenant :

- 16 teneurs en eau ;
- 16 analyses granulométriques ;
- 16 valeurs de bleu
- 4 limites d'Atterberg ;
- 1 indice portant immédiat ;
- 6 masses volumiques ;
- 2 abrasivités Cerchar ;
- 6 essais de compression simple.

Les résultats des investigations ainsi qu'un plan d'implantation des sondages figurent en annexe à la fin du présent rapport.

## **A.4. Méthodologie des sondages**

Les sondages de reconnaissance ont été réalisés à l'aide d'une foreuse hydraulique de 70 CV, au carottier percussion de diamètre 60 mm dans les remblais, les sols argileux et sableux, et au taillant rotoperçusion de diamètre 64 mm dans les grès. Les forages carottés ont été réalisés au carottier rotation diamant de diamètre 86 mm.

Des échantillons remaniés représentatifs des différentes couches traversées ont été prélevés au fur et à mesure de l'avancement pour identification géologique, et les caractéristiques mécaniques des sols en place ont été mesurées au moyen d'essais pressiométriques MENARD, conformément à la procédure A de la norme EN ISO 22476-4.

## **A.5. Essais pressiométriques**

Les essais pressiométriques (norme EN ISO 22476-4) ont été réalisés au moyen d'une sonde standard de diamètre 60 mm dans les sols argileux et d'une sonde de diamètre 44 mm dans un tube fendu dans les remblais, sables gréseux et rocher.

### **Rappel des notations :**

- pf : pression de fluage (en MPa) ;
- pl : pression limite (en MPa) ;
- $E_M$  : module de déformation pressiométrique Ménard (module déviatorique).

On trouvera en annexe les résultats des essais pressiométriques.

## A.6. Nivellement des sondages

Le nivellement des sondages a été effectué par le bureau de géomètres GEOTOP. Les cotes altimétriques sont fournies dans le tableau ci-dessous :

Sondages	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5	SP6	SP7	SP8
Cotes altimétriques	326.6	325.3	325.75	327.15	327.0	325.2	320.1	316.25
Sondages	SP9	SP10	SP11	SP12	SP13	SP14	SP15	SC1
Cotes altimétriques	312.9	310.2	308.75	306.3	300.95	297.15	294.1	325.2
Sondages	SC2	PH1	PH2					
Cotes altimétriques	310.2	325.2	310.2					

## A.7. Documents à notre disposition pour cette étude

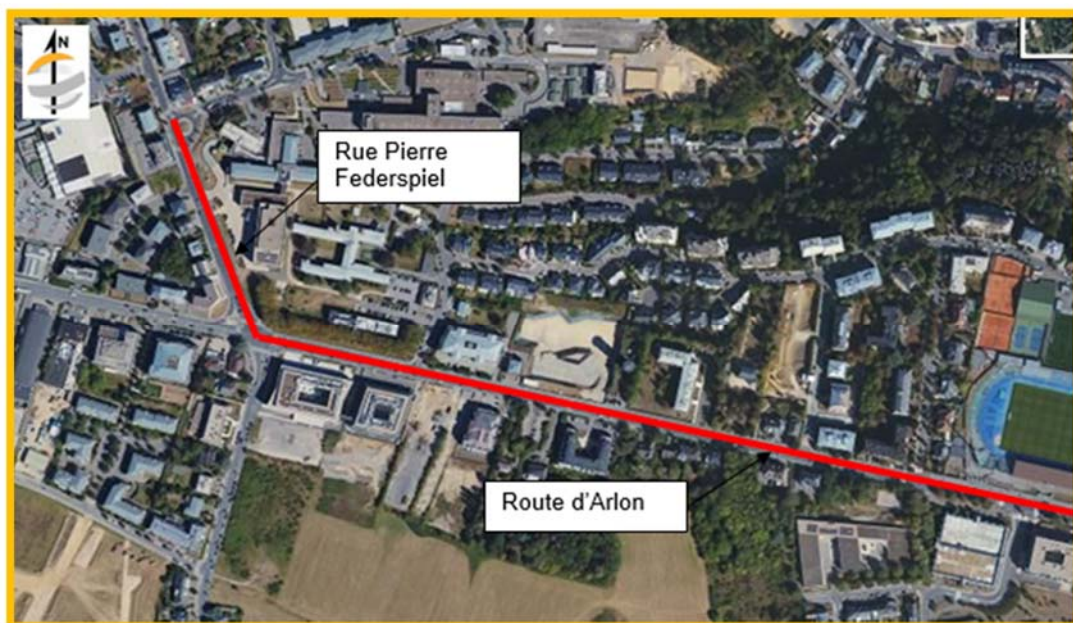
Pour mener à bien notre mission, nous disposons des éléments suivants :

- Vue aérienne du tracé sur lequel figure l'implantation des zones couvertes et non couvertes.

## B. SYNTHÈSE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

### B.1. Description du site

Le tronçon étudié est localisé route d'Arlon entre la rue Jean-François Bosch et jusqu'à l'intersection avec la rue Pierre Federspiel à Luxembourg. Le tronçon étudié dans ce rapport est limité à l'Est par la rue de Rollingregrund et à l'Ouest par la rue Pierre Federspiel. Le tracé emprunte successivement la route d'Arlon et bifurque pour rejoindre la rue Pierre Federspiel qui longe le Centre Hospitalier de Luxembourg (CHL).



Photographies aériennes du site étudié ([www.geoportail.lu](http://www.geoportail.lu))



Le tronçon concerné par notre étude s'étend sur environ 1 500 ml, et il se situe entre les cotes **294.1** et **327.15** au droit de nos sondages.



*Vue en direction du centre ville côté Est*



*Vue de la route d'Arlon située au niveau de l'extrémité Est du tracé*



*Vue sur la route d'Arlon en partie centrale du projet  
(emprise section couverte)*



*Vue de la route d'Arlon en direction de l'Ouest*

## B.2. Contexte géologique

D'après les renseignements fournis par la carte géologique de Luxembourg, nous devrions rencontrer successivement :

- Des remblais issus des structures de chaussées existantes sur des épaisseurs variables;

**En zone 1 (extrémité Ouest du tracé) :**

- Des argiles d'altération
- Des marnes gris bleu et bancs de calcaires du Sinémurien.

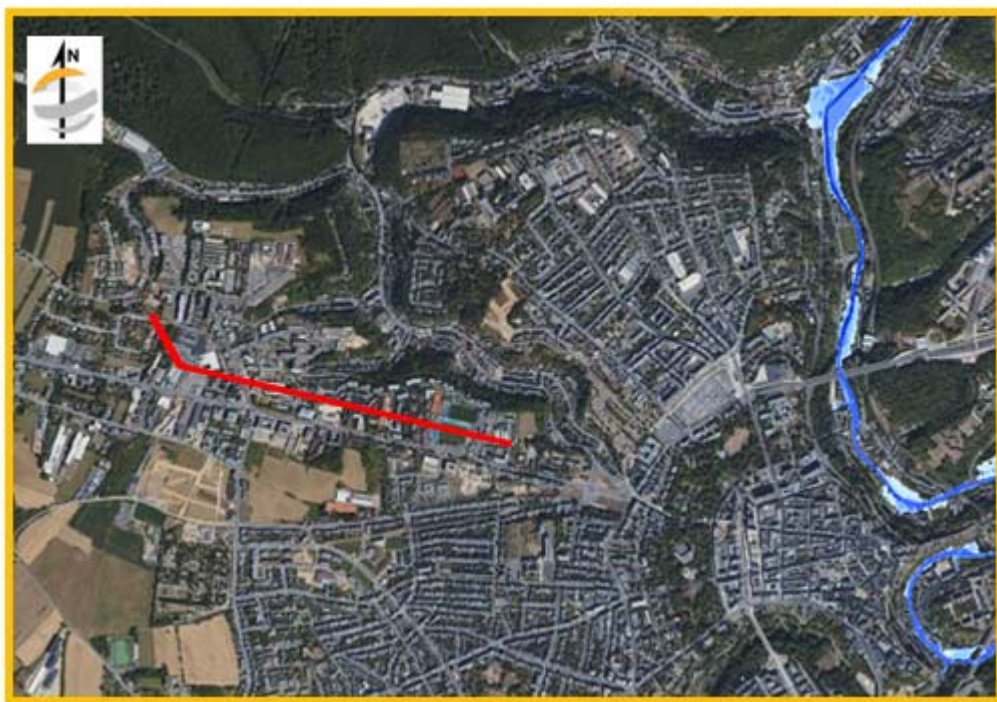
**En zones 2 et 3 (partie centrale jusqu'à l'extrémité Est du tracé):**

- Des sables gréseux d'altération
- Un substratum constitué par le grès de Luxembourg, couche « li<sup>2</sup> » de la carte géologique, correspondant à des grès jaunâtres à blanchâtres, et pouvant présenter des niveaux conglomératiques.



Extrait de la carte géologique de Luxembourg (ancienne Edition). Source : [www.geoportail.lu](http://www.geoportail.lu)

## B.3. Contexte hydrogéologique



Extrait de la carte d'aléa inondation HQ100



L'Alzette s'écoule à environ 1 km à l'Est du site et son altimétrie est bien plus basse (environ 50 m plus basse que le site). On ne devrait donc pas rencontrer la nappe dans les sondages.

Par ailleurs, d'après le projet de carte d'aléa inondation HQ10, HQ100 et HQ extrême, le site n'est pas situé en zone inondable.

#### B.4. Fortifications de la ville de Luxembourg

D'après l'extrait du plan de la ville et de l'ancienne Forteresse de Luxembourg, l'extrémité Est du tronçon 3 est situé à proximité des anciennes fortifications. Il est donc vraisemblable de rencontrer d'anciens vestiges enterrés, fossés remblayés, etc... jusqu'à des profondeurs importantes.



## C. RESULTATS DES INVESTIGATIONS IN SITU

### C.1. Résultats des sondages

#### C.1.1. Lithologie

Les sondages SPI à SP15 dans le cadre de cette mission ont permis de distinguer trois zones:

**Zone 1 (sondages SPI à SP3) :** Extrémité Ouest du tracé, section ouverte :

- Au droit du sondage SPI, une **couverture de terre végétale** sur 0.2 m d'épaisseur.
- Au droit des sondages SP2 et SP3, une **couche de roulement en enrobé bitumineux** sur 3 et 12 cm d'épaisseur surmontant des **remblais sablo-graveleux**, jusqu'à 0.6 à 0.8 m de profondeur.
- Des **argiles brunes ocres bariolées** à partir de 0.6 à 1 m de profondeur par rapport au niveau du terrain actuel, sous les cotes 325.15 et 325.6 jusqu'à 2 à 3.5 m de profondeur par rapport au niveau du terrain actuel.
- Des **argiles à blocs et bancs calcaires et marnes argileuses** jusqu'à 3.5 m de profondeur à la base du sondage SPI (5 m de profondeur par rapport au terrain actuel).
- Des **marnes à bancs calcaires très raides correspondant au substratum marneux** à partir de 3.5 m de profondeur par rapport au terrain actuel, sous les cotes 322.25 et 321.8 au droit de nos sondages jusqu'à leur base (5 m).

**Zone 2 (sondages SP4 à SP13, SC1 et SC2) :** section couverte :

- Une **couche de roulement en enrobé bitumineux** sur 5 à 10 cm d'épaisseur surmontant des **remblais sablo-graveleux de laitiers de hauts fourneaux** jusqu'à 0.5 à 0.8 m de profondeur.
- Au droit des sondages SP4, SP5, SP8 et SP9, des **argiles bariolées brun ocre +/- caillouteuses pouvant s'apparenter à des remblais anciens** jusqu'à 1.1 à 3.5 m de profondeur par rapport au niveau du terrain actuel.
- Au droit des sondages, SP6 à SP10, des **remblais de sables gréseux +/- limoneux et limons sableux** jusqu'à 2 à 4.6 m de profondeur par rapport au niveau de la voirie actuelle.
- Au droit des sondages SP9 à SP13, des **sables gréseux beige ocre +/- limoneux et caillouteux** à partir de 0.7 à 2 m de profondeur par rapport au niveau du terrain actuel jusqu'à 1.8 à 8 m de profondeur par rapport au niveau du terrain actuel.
- Au droit des sondages SP4 à SP6, des **marnes calcaires grises** altérées en tête de couche jusqu'à 3.7 à 6 m de profondeur.
- Le substratum constitué par des **grès fracturés à peu fracturés très raides** à partir de 2.5 à 8 m de profondeur par rapport au terrain actuel, sous les cotes 323.3 et 299.15 jusqu'à la base des sondages (12 m).



### Zone 3 (sondages SPI4 et SPI5) : Extrémité Est du tracé, section ouverte :

- Une **couche de roulement en enrobé bitumineux** sur 13 et 15 cm d'épaisseur surmontant des **remblais sablo-graveleux de laitiers de hauts-fourneaux** jusqu'à 0.9 à 1.3 m de profondeur.
- Au droit du sondage SPI5, des **remblais sableux et limoneux mous** jusqu'à 5 m de profondeur par rapport au terrain actuel (base du sondage). Ces sols pourraient s'apparenter à des remblais de comblement d'anciens fossés.
- Au droit du sondage SPI4, des **grès fracturés à peu fracturés correspondant au substratum** à partir de 1.3 m de profondeur par rapport au terrain actuel, sous la cote 295.15 jusqu'à la base du sondage (12 m).

**Tableau récapitulatif de la géologie du site**

Sondages	Zone	Enrobé/pavé	Terre végétale	Limon argileux	Remblais sablo-graveleux	Argile	Sable gréseux	Marne calcaire	Grès	Toit du grès
		Epaisseur (m)			Rencontré(e)s jusqu'à (m)					
SP1	1- ouverte	-	0.2	0.8	-	2.3	-	<5.0	-	-
SP2		0.12	-	-	0.8	2.0	-	<5.0	-	-
SP3		0.03	-	-	0.6	3.5	-	<5.0	-	-
SP4	2- couverte	0.09	-	-	0.7	3.5	-	6.0	<12.0	321.15
SP5		0.1	-	-	0.8	2.5	-	3.7	<12.0	323.3
SP6		0.15 (pavé)	-	-	5.5	-	-	10.0	<12.0	315.2
SP7		0.2 (pavé)	-	-	3.3	-	-	-	<12.0	316.75
SP8		0.1	-	-	0.7	2.5	-	-	<5.0	313.75
SP9		0.1	-	-	0.8	1.1	3.5	-	<12.0	309.4
SP10		0.09	-	2.0	0.5	-	5.4	-	<12.0	304.8
SP11		0.05	-	-	2.0	-	8.0	-	<12.0	300.75
SP12		0.06	-	-	0.7	-	3.2	-	<12.0	303.1
SP13		0.06	-	-	0.7	-	1.8	-	<12.0	299.15
SPI4	3- ouverte	0.13	-	-	1.3	-	-	-	<12.0	295.85
SPI5		0.15	-	-	0.9	-	<5.0	-	-	-
SCI	2- couverte	0.15 (pavé)	-	-	4.6	-	-	-	<12.0	320.6
SC2		0.09	-	-	0.5	-	5.4	-	<12.0	304.8

### C.1.2. Aspects géomécaniques

Les caractéristiques mécaniques mesurées au droit des sondages au moyen des essais pressiométriques, s'avèrent :

#### En zone I :

- *Médiocres à moyennes* dans les **argiles bariolées**, avec des  $pl^*$  variant entre 0.42 à 1.11 MPa.
- *Bonnes à très élevées* dans les **argiles à bancs calcaires** avec des  $pl^*$  variant entre 0.95 à 3.02 MPa, généralement supérieures à 2 MPa.
- *Très élevées* dans les **mares calcaires grises** jusqu'à 5 m de profondeur, avec des  $pl^*$  allant de 2.91 à plus de 4.73 MPa.

## En zone 2 :

- Médiocres dans les **remblais argileux**, avec une pression limite pressiométrique nette ( $pl^* = pl - po$ ) de 0.49 MPa (Une seule valeur ce qui n'est pas forcément représentatif).
- Médiocres à moyennes dans les **limons et argiles bariolées** avec des pressions limites pressiométriques nette ( $pl^* = pl - po$ ) variant de 0.4 à 0.86 MPa.
- Bonnes dans les **remblais sablo-caillouteux**, avec une pression limite pressiométrique nette ( $pl^* = pl - po$ ) de 1.65 MPa
- Faibles à moyennes dans les **sables gréseux limoneux s'apparentant à des remblais** avec des  $pl^*$  variant entre 0.28 et 1.88 MPa.
- Bonnes à très bonnes dans les **sables gréseux à cailloux**, avec des  $pl^*$  variant entre 1.95 et 4.7 MPa. Elles s'améliorent très rapidement avec la profondeur.
- Bonnes à très bonnes dans les **marnes grises**, avec des  $pl^*$  allant de 1.63 à plus de 4.7 MPa.
- Très élevées dans les **grès** fracturés à peu fracturés, avec des  $pl^*$  allant de 4.6 à plus de 5 MPa.

## En zone 3:

- Bonnes dans les **remblais sablo-caillouteux**, avec une pression limite pressiométrique nette ( $pl^* = pl - po$ ) de 1.65 MPa
- Faibles à moyennes, s'améliorant avec la profondeur dans les **sables gréseux limoneux s'apparentant à des remblais au droit du sondage SPI 5** avec des  $pl^*$  variant entre 0.33 et 0.93 MPa.
- Très élevées dans les **grès** fracturés à peu fracturés, avec des  $pl^*$  allant de 4.6 à plus de 5 MPa.

### C.1.3. Essais phicométriques

Cinq essais phicométriques ont été réalisés, à proximité des forages SP6 et SPI0, entre 1 m et 7 m de profondeur par rapport au niveau du terrain actuel. Les procès-verbaux sont fournis en annexe, le tableau suivant synthétise les résultats obtenus :

Forage	Prof. (m)	Nature des matériaux	Caractéristiques instantanées		Caractéristiques à long terme*	
			$\phi_i$ (°)	$c_i$ (kPa)	$\phi'$ (°)	$c'$ (kPa)
PH1 sur SPI0	1 m	Limon sableux	19	69	25	17
	4 m	Sable gréseux	19	0	25	0
	7 m	Grès à passages sableux	33	0	33	30
PH2 sur SP6	1.5	Sable gréseux	31	17	31	0
	3.0	Sable gréseux	38	21	38	0

\* selon les corrélations fournies par *Fondations et Ouvrages en Terre* (Hubert B., Philipponnat B. et al., Editions Eyrolles, 2019).

Les caractéristiques mécaniques des matériaux en place présentent une forte dispersion et pourraient donc ne pas être représentatifs de l'ensemble du terrain. **Par conséquent, de manière sécuritaire, nous proposons de retenir comme caractéristiques mécaniques à long terme :**

- un angle de frottement de 25° et une cohésion de 0 kPa dans les sables gréseux ;
- un angle de frottement de 25° et une cohésion de l'ordre de 10 à 15 kPa dans les terrains superficiels limoneux et argilo-sableux selon le degré d'altération ;
- un angle de frottement de 25° et une cohésion de l'ordre de 20 à 30 kPa dans les grès et marno-calcaire selon la compacité mesurée au pressiomètre. Par exemple  $c'=20$  kPa pour des  $p_l < 3.0$  MPa et  $c'=30$  kPa pour des  $p_l > 3$  MPa.

## C.2. L'eau dans le sol

Lors de notre intervention du 21/12/2021 au 28/01/2022, nous avons relevé des arrivées d'eau en cours et en fin de forage, mais seulement dans certains sondages localisés généralement en zone I :

Sondages	Cote du terrain actuel	Profondeur du sondage (m)	Arrivée d'eau en cours de forage (m)	Relevé du 08/03/2022
SP1	326.6	5.0	4.0 (322.6)	-
SP2	325.3	5.0	4.5 (320.8)	-
SP3	325.75	5.0	3.5 (322.25)	-
SP4	327.15	12.0	Non rencontré	-
SP5	327.0	12.0	Non rencontré	-
SP6	325.2	12.0	Non rencontré	-
SP7	320.05	12.0	Non rencontré	-
SP8	316.25	12.0	Non rencontré	-
SP9	312.9	12.0	Non rencontré	-
SP10	310.2	12.0	4.0 (306.2)	-
SP11	308.75	12.0	Non rencontré	-
SP12	306.3	12.0	Non rencontré	-
SP13	300.95	12.0	Non rencontré	-
SP14	297.15	12.0	Non rencontré	-
SP15	294.1	5.0	Non rencontré	-
SC1/SP6 +piézo	325.2	10.0	Non rencontré	6.90 (318.3)
SC2/SP10 +piézo	310.2	10.0	4.0 (306.2)	néant

Ces niveaux d'eaux correspondent à des circulations d'eau d'infiltration dans les fissures des bancs marno-calcaires ainsi que dans les sables gréseux, dont le débit et la profondeur dépendent essentiellement des conditions météorologiques. Toutefois, des arrivées d'eau de type sources peuvent être rencontrées également dans les fissures des grès en profondeur.

Notre intervention ponctuelle dans le cadre de la réalisation de l'étude confiée ne nous permet pas de fournir des informations hydrogéologiques suffisantes, dans la mesure où le niveau d'eau mentionné dans le rapport d'étude correspond nécessairement à celui relevé à un moment donné, sans possibilité d'apprécier la variation inéluctable des nappes et des circulations d'eau qui dépend notamment des conditions météorologiques.

### C.3. Essais de laboratoire

Dans le cadre du projet nous avons prélevé des échantillons remaniés au droit de 14 forages en vue de la réalisation des essais en laboratoire suivants :

- 16 teneurs en eau ;
- 16 analyses granulométriques ;
- 16 valeurs de bleu ;
- 4 limites d'Atterberg ;
- 1 indice portant immédiat ;
- 6 masses volumiques ;
- 2 essais d'abrasivité et de broyabilité ;
- 6 essais de compression simple.

On trouvera en annexe, le tableau récapitulatif des essais réalisés.

#### C.3.1. Analyses granulométriques

Des analyses granulométriques par tamisage ont été menées sur 16 échantillons remaniés prélevés dans les remblais sablo-caillouteux plus ou moins limoneux, dans les sables gréseux +/- caillouteux et dans des argiles au droit des sondages SC I, SPI à SP4 , SP7, SPI I à SPI4 entre le niveau du terrain actuel et 4 m de profondeur.

Au droit des sondages SP2, SP3 et SP7, le passant à 80 µm est compris entre 9.3 et 14.9 % et le Dmax est inférieur ou égal à 80 mm, indiquant des matériaux de classe D2 et B5 pour les remblais caillouteux comportant une fraction fine limoneuse selon le GTR.

Au droit des sondages SC I, SPI à SP4 le passant à 80 µm varie de 43 à 95.6 % et le Dmax est inférieur ou égal à 14 mm, indiquant des matériaux de classe A1 et A2 selon le GTR.

Au droit des sondages SC I, SPI I à SPI4, le passant à 80 µm est compris entre 11.3 et 31% et le Dmax est inférieur ou égal à 63 mm, indiquant des matériaux de classe B5 et localement B3 et B2

#### C.3.2. Valeurs de bleu

Des valeurs de bleu ont été réalisées sur des échantillons prélevés, ils aboutissent à :

- Des VBS comprises entre 0.02 et 0.03 g/100g pour les prélèvements réalisés dans les remblais sablo-graveleux au droit des sondages SP2, SP3 et SP7.

Il s'agit généralement de sols D2 selon le GTR et classe 3 selon la norme DIN 18300. Ce sont des sols sablo-graveleux insensibles aux variations de teneurs en eau. Les matériaux de cette classe ont généralement les qualités requises pour une réutilisation en couche de forme granulaire.

- Des VBS comprises entre 0.18 et 0.4 g/100g pour les prélèvements réalisés dans les sables gréseux au droit des sondages SC1, SPI1 à SPI4.

Il s'agit donc de sols B3, B5 selon le GTR et classe 3 selon la norme DIN 18300. Ce sont des sols sableux +/- limoneux et caillouteux comportant une fraction fine limoneuse +/- importante leur conférant une certaine sensibilité aux variations de teneurs en eau. Les matériaux B5 n'ont pas les qualités requises pour une réutilisation en couche de forme granulaire.

### C.3.3. Limites d'Atterberg

Une limite d'Atterberg a été réalisée sur un échantillon de sol argileux prélevé au droit des sondages SPI, SP3 et SP4, ils aboutissent à :

- Un indice de plasticité variant de 17.5 à 23.8 %

Il s'agit donc de sols A2 selon le GTR et classe 4 selon la norme DIN 18300. Il s'agit de sols argileux plastiques leur conférant une grande sensibilité aux variations de teneurs en eau. Ces sols changent brutalement de consistance pour de faibles variations de teneurs en eau.

### C.3.1. Indices portants immédiats

Avec un indice portant immédiat IPI de 12, la portance équivalente sur les sols argileux est P2-P3 correspondant à :  $20 \leq EV2 \leq 50$  MPa au moment de notre intervention.

### C.3.2. Classification au sens du GTR

Tableau récapitulatif de la classification GTR des sols rencontrés

Sondage	Nature du sol	Profondeur prélèvement (m)	Passant à 80 µm (%)	Valeur de bleu (g/100g)	Indice de plasticité	Indice portant immédiat	Classification selon GTR (NF P 11-300)
<b>SPI</b>	Argile	1.0-2.0	95.6	<b>2.97</b>	<b>22.9</b>	<b>12</b>	<b>A2 m</b>
<b>SC1</b>	Sable	2.0-3.0	11.2	<b>0.23</b>		-	<b>B2</b>
<b>SPI</b>	Argile	2.0-3.0	66.3	<b>0.39</b>		-	<b>A1</b>
<b>SP2</b>	Argile	3.0-4.0	43.0	<b>2.75</b>		-	<b>A2</b>
<b>SPI</b>	Argile	1.0-3.2	75.9		<b>20.0</b>	-	<b>A2</b>
<b>SP2</b>	Remblai sablo-graveleux	0.3-0.8	9.3	<b>0.02</b>		-	<b>D2</b>
<b>SP2</b>	Limon	1.0-2.0	61.2	<b>1.52</b>		-	<b>A1</b>
<b>SP3</b>	Remblai sablo-graveleux	0.03-0.6	14.9	<b>0.03</b>		-	<b>B5</b>
<b>SP3</b>	Argile	0.6-2.0	95.4	-	<b>23.8</b>	-	<b>A2</b>
<b>SP4</b>	Argile	1.0-2.5	79.9	-	<b>17.5</b>	-	<b>A2</b>
<b>SP7</b>	Remblai sablo-graveleux	0.2-0.6	9.6	<b>0.03</b>	-	-	<b>D2</b>
<b>SPI1</b>	Sable gréseux	1.0-2.0	11.3	<b>0.20</b>	-	-	<b>B3</b>
<b>SPI2</b>	Sable	1.0-2.0	29.5	<b>0.40</b>	-	-	<b>B5</b>
<b>SPI3</b>	Sable	0.3-0.7	14.0	<b>0.18</b>	-	-	<b>B5</b>
<b>SPI3</b>	Sable limoneux	1.0-1.8	31.0	<b>0.23</b>	-	-	<b>B5</b>
<b>SPI4</b>	Sable	0.3-1.3	18.0	<b>0.21</b>	-	-	<b>B5</b>

### C.3.3. Résistance à la compression simple sur roche

Les essais ont été réalisés sur des carottes de grès prélevées au droit des carottages SC1 et SC2 à différentes profondeurs.

Nous aboutissons aux résultats suivants :

Essai	Identification carotte	Résistance mécanique	
	Profondeur (m)	Charge de rupture (kN)	Rc (MPa)
SC1	6.2 à 6.4	78	22.15
SC1	7.6 à 7.9	123	35.0
SC1	8.7 à 9.0	122	34.62
SC2	6.5 à 6.75	179	50.87
SC2	7.1 à 7.2	37	10.48
SC2	9.6 à 10.0	94	26.57
	<b>moyenne</b>	<b>105.5</b>	<b>29.95</b>

On s'aperçoit que les résistances à la compression uniaxiale sont moyennes, classe RC4, généralement supérieures à 25 MPa sauf pour l'essai réalisé sur une carotte prélevée au droit du sondage SC2 entre 7.1 et 7.2 m de profondeur où Rc=10.5 MPa.

### C.3.4. Essai d'abrasivité et de broyabilité sur roche

Les essais ont été réalisés conformément à la norme NF P18-579 sur des carottes de grès prélevées au droit des carottages SC1 et SC2 à différentes profondeurs.

Nous aboutissons aux résultats suivants :

Essai	Identification carotte	Abrasive - Broyabilité	
	Profondeur (m)	Abrasive	Broyabilité
SC1	7.6 à 7.9	453	71.4
SC1	6.5 à 6.75	376	67.4
	<b>moyenne</b>	<b>414.5</b>	<b>138.8</b>

On s'aperçoit que les valeurs d'abrasivité sont inférieures à 500 ce qui correspond à une abrasivité plutôt faible.

### C.3.5. Masse volumique

Les essais ont été réalisés sur des carottes de grès prélevées au droit des carottages SC1 et SC2 à différentes profondeurs.

Nous aboutissons aux résultats suivants :

Essai	Identification carotte	Densité sèche
	Profondeur (m)	
SC1	6.2 à 6.4	2.371
SC1	7.6 à 7.9	2.455
SC1	8.7 à 9.0	1.978
SC2	6.5 à 6.75	2.432
SC2	7.1 à 7.2	1.963
SC2	9.6 à 10.0	2.334
	<b>moyenne</b>	<b>2.255</b>

### C.3.6. Classification au sens de la norme DIN 18300 et DIN 18196

A partir des résultats des sondages carottés avec essais pressiométriques et des essais en laboratoire, nous avons pu classer selon la norme DIN 18300 et 18196 et au sens du GTR 2000 les sols rencontrés.

Sol	Classification selon GTR 2000	Classification selon DIN 18300	Classification selon DIN 18196	Excavation
Remblai sablo-graveleux propres	D2-B3	Classe 3 et 7	GE-GW-GI	Sol facile à terrasser- Difficile <b>classe 7 si présence éléments indurés</b>
Remblai sablo-graveleux +/- limoneux	B5	Classe 3	UL-TL	Sol facile à terrasser
Argile	A1-A2	Classe 4	TL-TM	Sol facile à terrasser
Sable gréseux	B2-B5	Classe 3	UL-TL	Sol facile à terrasser
Marno-calcaire	Roche R3	Classe 7	-	Sol difficile à terrasser
Grès	Roche R2	Classe 7	-	Sol difficile à terrasser

Les remblais sablo-graveleux rencontrés en surface sont généralement classés D2 et B5 localement selon le GTR. Ces matériaux de par leur insensibilité aux variations de teneurs en eau ont les qualités requises pour être réutilisés en couche de forme pour l'obtention d'un module EV2 supérieur ou égale à 50 MPa.

Les sables gréseux +/- limoneux rencontrés sont classés B2, B3 et B5 selon le GTR. Ces sols de par leur sensibilité à l'eau n'ont pas les qualités requises pour une réutilisation en couche de forme sous chaussée.

## D. APPLICATION AU PROJET

### D.1. Description générale du projet

D'après les renseignements qui nous ont été fournis, il est prévu pour le tronçon situé route d'Arlon, la construction :

- De poteaux de support de ligne aérienne LAC en section ouverte, pour lesquels les descentes de charges ne nous ont pas encore été communiquées à la date de rédaction de ce rapport ;
- D'une tranchée couverte de 8 m de profondeur environ au moyen de deux parois de soutènement connectées par une dalle supérieure en béton armé ;
- D'une nouvelle plateforme pour le tramway, ce qui nécessite des terrassements sur une épaisseur moyenne d'environ 1/1.5 m par rapport au niveau du terrain actuel en section ouverte.

Les objectifs de portance et de compactage à atteindre sont les suivants :

- Sur la couche de forme granulaire :  $EV2 \geq 50$  MPa;
- Sur la plateforme supérieure des terrassements PST :  $EV2 \geq 30$  MPa ;
- Un taux de compactage  $K = EV2/EV1 \leq 2.0$ , dans tous les cas.

### D.2. Classe géotechnique

D'après l'Annexe Nationale Luxembourgeoise à l'Eurocode 7 (EN 1997-1 : 2004 / AN-LU : 2011) : « Calcul géotechnique – Partie 1 : règles générales », et selon le tableau 1 AN-LU définissant les catégories géotechniques 1 à 3 à considérer, le site se trouve en **classe géotechnique CG2**.

### D.3. Rappel des contraintes du site – insertion du projet

Les aléas géotechniques sont en relation avec :

#### La géologie :

- La présence d'un substratum marneux à bancs calcaires du côté de l'extrémité Ouest du tronçon, à priori hors emprise tranchée couverte et un substratum sur le reste du tronçon constitué par les grès de Luxembourg en direction de l'Est ;
- Des dénivellations du toit des substratums entre nos sondages nécessitant des approfondissements locaux des niveaux d'assise des fondations ;
- La présence possible d'anomalies et/ou d'anciens vestiges issus des anciennes fortifications de la ville de Luxembourg sur de fortes épaisseurs à proximité de l'extrémité Est du projet comme rencontré au droit du sondage SP15 ;
- Un degré de fracturation +/- important des grès de Luxembourg jusqu'à des profondeurs importantes.



### **La nature des matériaux :**

- La présence de sables gréseux très mous s'apparentant à des remblais jusqu'à une profondeur pouvant dépasser 5 m, avec présence possible de blocs ou vestiges enterrés nécessitant des purges-substitution importantes ;
- La présence de sables gréseux à cailloux et de grès fracturés à très fracturés jusqu'à des profondeurs pouvant atteindre 10 m, nécessitant la mise en œuvre de parois de soutènement préalable aux travaux de terrassement de la tranchée couverte ;
- La présence possible de passages très indurés dans les remblais sablo-graveleux de laitiers de hauts-fourneaux dans les marno-calcaires et dans les grès nécessitant des moyens de terrassement (brise roche hydraulique, fraise) et/ou de foration adaptés ;
- Du côté Ouest du tracé, la présence de sols argileux de compacité médiocre jusqu'à 2 m de profondeur et très sensibles aux variations de teneurs en eau nécessitant de réaliser de prévoir la mise en œuvre de couches de formes granulaires très épaisses.

### **L'hydrogéologie :**

- La présence de circulations d'eau d'infiltration à différentes profondeurs dans les fissures des bancs marno-calcaires et dans les grès en profondeur nécessitant la mise en œuvre d'un dispositif de drainage au droit de la tranchée couverte à raccorder à un exutoire non refoulable.

### **L'environnement (ZIG : Zone d'Influence Géotechnique) :**

- La présence des voiries existantes et de réseaux bordant le projet nécessitant des précautions lors des travaux de terrassement à proximité afin de ne pas les destabiliser ;
- La présence d'immeubles avoisinants localisés du côté Nord et du côté Sud du projet, nécessitant de limiter les vibrations lors des travaux de terrassement, de forage et de compactage ;
- La présence de nombreux réseaux et canalisations à dévier dans l'emprise du projet.

## **D.4. Travaux d'adaptation du projet au site**

**On évitera toute destabilisation des voiries existantes et des réseaux enterrés proches lors des travaux de terrassement.**

L'étude détaillée et exhaustive des principes d'exécution relève de l'étude géotechnique G2-PRO. Nous nous limiterons dans le cadre de la G2-AVP à lister les principes généraux.

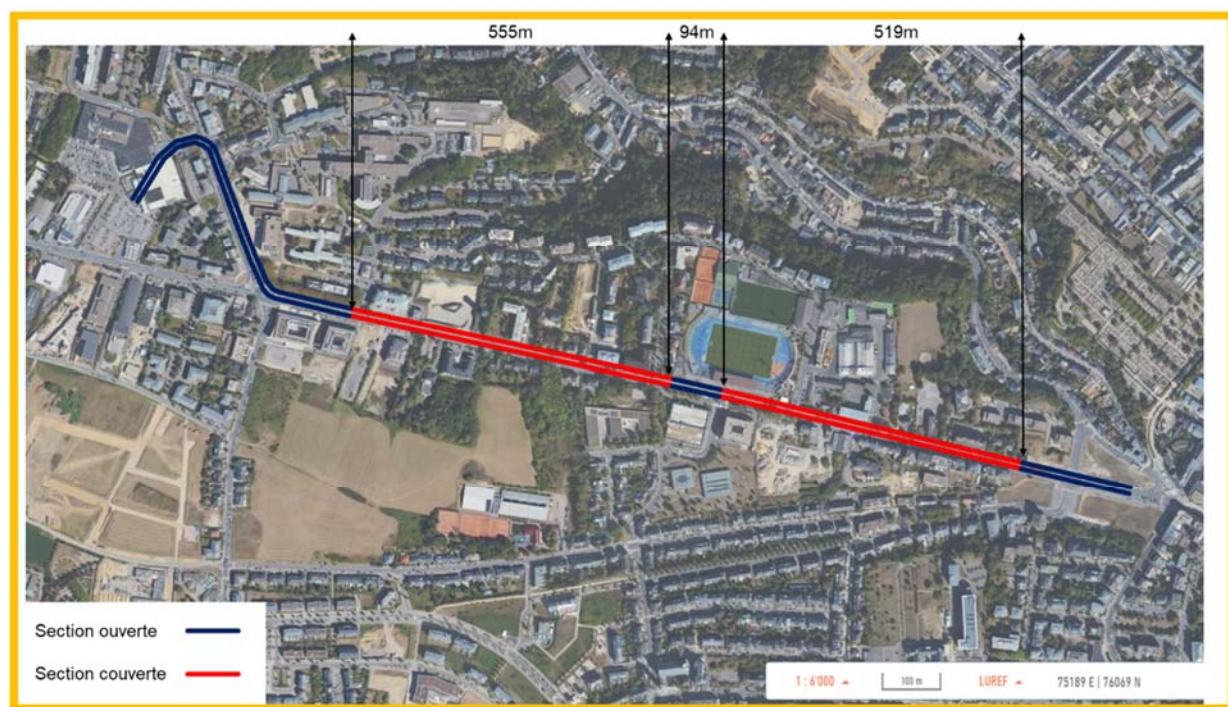
## **D.5. Tranchée couverte**

### **D.5.1. Soutènement**

Etant donné que la tranchée couverte est implantée route d'Arlon et concerne la quasi-totalité du tronçon, il ne sera pas possible de taluter sur ses côtés. Il faudra donc construire des ouvrages de soutènement.

Selon les zones, les sols à soutenir sont :

- **Zone 1 Côté Ouest du projet:** des sols argileux de compacité moyenne jusqu'à 3.5 m de profondeur surmontant un substratum marno-calcaire très compact rencontré sous les cotes 323.65 et 322.25 au droit des sondages SP3 et SP4.
- **Zones 2 et 3 emprise tranchée couverte jusqu'en limite Est du tronçon :** des sols sablo-limoneux plus ou moins caillouteux surmontant des grès sableux très fracturés à peu fracturés. Notons la présence d'une anomalie géologique détectée au droit du sondage SPI5 où le toit des grès n'a pas été rencontré jusqu'à la base de notre sondage (5m).



Du fait de cette configuration, on pourra envisager de part et d'autre de la section couverte, un soutènement de type paroi Parisienne ou paroi à pieux semi-jointifs. Cette paroi pourra être également intégrée à la structure de l'ouvrage.

\*Compte tenu du projet qui s'étend sur un grand linéaire, une solution de type paroi moulée n'est a priori pas recommandée car bien que présentant certains avantages, elle va nécessiter une installation de chantier **très conséquente** et demander plusieurs semaines pour la mettre en place et la déplacer au fur et à mesure de l'avancement du chantier.

De plus, le traitement des boues de forage sera très difficile à gérer en phase chantier car l'installation devra être déplacée au fur et à mesure de l'avancement du chantier ce qui induira des amenées-repli de matériels et des pertes de temps considérables.

Enfin, la présence de grès très compacts en profondeur conduira à des difficultés de forage et de creusement et nécessitera l'utilisation de foreuses de type hydrofraise d'où des cadences moins élevées.

L'entreprise doit également avoir une expérience et une technicité très pointue et être dotée de moyens adaptés à ce contexte et aux contraintes d'emprise de chantier qui seront certainement limitées.

Les parois de soutènement d'une hauteur proche voire supérieure à 8 m, devront être butonnées ou ancrées par des tirants en partie supérieure et ce quel que soit le mode d'excavation choisi pour la tranchée (terrassement à ciel ouvert ou terrassement en taupe). La mise en place de tirants et leur ancrage nécessitera de mobiliser des emprises de part et d'autre de la tranchée, ce qui peut s'avérer inadapté compte tenu de la présence d'ouvrages avoisinants. Une solution de butonnage, par exemple par la dalle de couverture de la tranchée ou par des butons semble a priori plus adaptée. (terrassement à ciel ouvert ou en taupe).

En première approche, les caractéristiques intrinsèques à prendre en compte dans la définition des soutènements seront :

#### **Zone 1 jonction avec la tranchée couverte côté Ouest (sondage SP4) :**

Couche	Prof. base (m)	pl* (MPa)	E <sub>M</sub> (MPa)	c' (kPa)	φ' (°)	γ' (kN/m³)
Argile	3.5	0.5	4.0	10	20	18
Marno-calcaires	<12	2.75	28	30	30	20

#### **Zones 2 et 3 tranchée couverte et jonction zone ouverte côté Est :**

Couche	Prof. base (m)	pl* (MPa)	E <sub>M</sub> (MPa)	c' (kPa)	φ' (°)	γ' (kN/m³)
Remblais sablo-graveleux +/- limoneux	2 à plus de 5 m	0.33	4	0	31	17
Sable gréseux à cailloux	3.2 à 8 m	1.22	16	0	30	19
Grès*	<12	> 4.7	>100	30	30	20-22

\*Rappelons qu'il est toujours possible de rencontrer des remplissages sableux et argileux au sein du grès comme rencontré au droit du sondage SP9, ainsi que des zones altérées / fragmentées. Le cas échéant, le butonnage sera à adapter sur chantier en fonction de la nature des matériaux excavés à une profondeur donnée.

Il faudra donc réaliser un suivi géologique en phase terrassements pour adaptations à l'avancement.

### **D.5.2. Conditions de terrassement dans l'emprise de la tranchée couverte**

Les terrassements dans les remblais sableux, dans les sols limoneux, argileux +/- caillouteux, dans les argiles de classe 4 et dans les sables gréseux de classe 3 peuvent être réalisés sans difficulté particulière pour une pelle hydraulique suffisamment puissante. Dans les marno-calcaires et dans les grès de classe 7 rencontrés à partir de 2 à 3.5 m de profondeur nécessiteront des moyens adaptés suffisamment puissants (brise roche hydraulique, godet roche, et ...).

Par ailleurs, les remblais sablo-graveleux constituant les structures de chaussées existantes nécessiteront l'utilisation de moyens de terrassement adaptés (pelle hydraulique puissante, brise-roche hydraulique, dent de déroctage...).

Lors des terrassements dans les marno-calcaires et dans le rocher très compacts de classe 7, il faudra de préférence une technique qui n'ébranle pas la structure des bâtiments avoisinants, sachant que les vibrations provoquées par le brise roche hydraulique ou par des trépons sont très agressives et très néfastes. L'utilisation d'une fraise est recommandée.

### D.5.3. Fracturation des grès

Le rocher apparait effectivement assez fracturé notamment au droit du carottage SC2.

Au sens de l'AFTES les RQD correspondent à un rocher de bonne qualité au droit du carottage SC1 et de qualité mauvaise à moyenne au droit du carottage SC2.

Le débit de la roche se fait essentiellement suivant les plans de litage qui sont généralement subhorizontaux.

Le carottage SC1 a recoupé quand même **plusieurs fractures subverticales et verticales** notamment entre 6.5 et 8.5 m de profondeur. Ces fractures sont bien exprimées dans les niveaux calcaireux clairs, mieux cimentés, plus compétents, plus raides. Elles ne s'expriment pas ou moins dans les passées moins calcaireuses, moins cimentées.

Le fait que l'on recoupe plusieurs fractures alors que les sondages sont verticaux suggère que ces fractures sont assez fréquentes.

### D.5.4. Classification des sols selon la norme DIN 18300

Il faudra terrasser:

#### Zone 1 :

- Dans les remblais sablo-graveleux (**classes 3 et 7 pour les remblais indurés**).
- Dans les sols argileux +/- caillouteux (**classe 4**).
- Dans les marno-calcaires (**classe 7**).

#### Zones 2 et 3 :

- Dans les remblais sablo-graveleux (**classe 3 et 7 pour les remblais indurés**).
- Dans les sables limoneux et cailloux gréseux (**classe 3**).
- Dans les grès sains (**classe 6 en tête de couche et 7**).

### D.5.5. Portance du sol support

Le niveau fini des plateformes des sections couvertes n'est pas connu précisément mis à part qu'il faudra terrasser jusque vers 8 m de profondeur par rapport au niveau du terrain actuel.

Dans ces conditions et selon les zones, les fonds de fouille seront constitués généralement par des grès calcaireux très compacts de classe 7 selon la norme DIN 18300 et nécessiteront l'utilisation du brise roche hydraulique. Du côté de la sortie Ouest de la tranchée couverte, en remontant vers la zone 1 les fonds de fouille seront constitués par des marno-calcaires qui présentent également de très bonnes compacités.

Au niveau du fond de fouille projeté, la circulation des engins de chantier ne posera pas de problèmes particuliers sur les grès calcaireux et les marno-calcaires très compacts. Dans ces conditions, la portance sera généralement supérieure à  $E_{v2} > 120 \text{ MPa}$  (cas d'une PST6AR3), 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 sur une épaisseur de l'ordre de **20 cm** en matériaux sablo-graveleux de type I, insensibles à l'eau. Par contre, au niveau de l'extrémité Ouest de la tranchée, raccordement avec la zone ouverte, la présence de sols argileux nécessitera la mise en œuvre d'une couche de forme granulaire dont l'épaisseur sera d'au-moins **70 cm**.

En période estivale, les grès calcaireux peuvent être réutilisés en sous-couche et en matériaux de substitution pour les purges sous plateforme ferroviaire en **section ouverte** après concassage et criblage pour une granulométrie 0/45 mm. En structure de chaussée, ces matériaux étant de densité moyenne (type 2) et probablement gélifs ne pourront pas être réutilisés en couche de forme.

#### D.5.6. Conditions de remblaiement en périphérie des ouvrages

Pour le remblaiement de l'espace de travail, il faudra mettre en œuvre un matériau sablo-graveleux de type concassé rocheux insensible à l'eau, de granulométrie 0/31.5 et/ou 0/45 mm compacté par couches minces n'excédant pas 0,3 m. Les grès calcaireux du site pourront être réutilisés en remblai après concassage et criblage.

#### D.5.7. Drainage

Les tranchées couvertes seront descendues vers 8 m de profondeur par rapport au niveau du terrain actuel.

Par conséquent, pour l'évacuation des eaux de ruissellement et d'infiltration, on devra prévoir la mise en place de dispositifs de drainage périphérique à relier à un exutoire ne pouvant refouler ou à une pompe de relevage.

Les drains seront largement dimensionnés, avec évacuation vers l'aval dans un réseau adapté. Sur les parties enterrées, on prévoira un massif filtrant contre les voiles ; ceux-ci seront munis d'un complexe étanche.

#### D.5.8. Stabilité en phase définitive

En phase définitive, il faudra concevoir les ouvrages pour qu'ils puissent reprendre :

- les poussées des terres au repos  $K_0$  et les poussées dues aux surcharges.

### D.6. Etude de la plateforme pour le nouveau Tramway en zone ouverte

#### D.6.1. Conditions de terrassement

Les conditions d'exécution peuvent poser des problèmes, de par :

- La présence de **remblais sablo-graveleux** comportant des éléments plus ou moins indurés nécessitant des moyens adaptés ;
- La présence de **remblais sableux limoneux de faible compacité** en zone 3 sur de fortes épaisseurs rencontrés au droit du sondage SPI 5 ;
- Des **sols supports constitués par des sols argileux mous en zone 1 et des remblais de sables limoneux de compacité médiocres en zone 3** très sensibles aux variations de teneurs en eau nécessitant la mise en œuvre de couches de formes granulaires épaisses.

Les terrassements dans les remblais sablo-caillouteux +/- limoneux nécessiteront ponctuellement des moyens adaptés suffisamment puissants (fraise et/ou pelle puissante équipée d'un brise roche hydraulique, etc...).

Les sols supports argileux classés A2 au sens du GTR ne poseront pas de problème de terrassement si leur état hydrique est moyen.

La présence d'un sol support argilo-limoneux mou rencontré à faible profondeur (entre 0.2 et 0.8 m de profondeur) en **zone I** (sondages SP1 à SP4) très sensible aux variations de teneurs en eau exigera de terrasser par temps sec non pluvieux. En période hivernale ou pluvieuse, il faudra prévoir des surépaisseurs de matériaux de couche de forme dans ces zones pour atteindre une portance  $EV2 \geq 50$  MPa.

La présence de remblais sableux mous rencontrés jusqu'à plus de 5 m de profondeur au droit du sondage SP15 posera des difficultés en phase terrassement et nécessitera la réalisation d'une purge-substitution importante.

#### D.6.2. Conditions de réemploi des remblais sablo-graveleux en place en remblai et couches de forme

Dans l'emprise de la future plateforme, les remblais sablo-graveleux « propres » issus des structures de chaussées existantes peuvent être classés généralement D2 selon le GTR.

Ces matériaux ont les qualités requises et peuvent être réutilisés en couche de forme granulaire directement sous la structure ferroviaire. Cependant leur quantité devrait être très limitée.

Ces remblais peuvent être éventuellement réutilisés en matériaux de substitution de purge pour l'obtention de modules EV2 supérieurs à 50 MPa.

**Une planche d'essai en début des travaux devra être réalisée ainsi que des essais en laboratoire d'identification pour vérifier les conditions de réutilisation.**

#### D.6.3. Drainage de la plateforme

Dans l'emprise de la zone I où les sols supports sont constitués par des sols argileux, il faudra prévoir, au fur et à mesure des terrassements, des formes de pentes dans les terrassements généraux avec collecte des eaux, pour éviter la stagnation d'eau sur les sols supports argileux et permettre un assèchement plus rapide après précipitation.

Enfin, les circulations d'eau d'infiltration et d'eau de ruissellement devront être captées au fur et à mesure, par l'intermédiaire de dispositifs de drainage à disposer en sous-face de la couche de forme granulaire. Ces dispositifs devront être raccordés au fur et à mesure de l'avancement des travaux à des exutoires non refoulables.

#### D.6.4. Détermination des portances des sols supports à -1.0 m sur l'ensemble du tronçon

Après décapage de la terre végétale et/ou des remblais sablo-graveleux et des argiles en place sur une épaisseur moyenne de 1 m, le sol support sera constitué par des sols argileux de compacité médiocre avec des modules EV2 équivalents inférieurs à 20 MPa.

Compte tenu des pressions limites  $p_l^*$  mesurées dans les argiles respectivement à 1.0 et 2 m de profondeur et des états hydriques des sols rencontrés, les modules EV2 peuvent être estimés au niveau du sol support théorique permettant ainsi de dimensionner l'épaisseur de la couche de forme à mettre en œuvre afin d'atteindre un module  $EV2 > 50$  MPa avant la mise en œuvre de la structure rigide de la plateforme ferroviaire.



Sondage	Zone	Nature des sols au niveau de la PST (-1.0 m)	Epaisseur restante après terrassement à -1.0 m (m)	Classe GTR	PI* mesurée au niveau de la PSTiARi	Portance mini estimée EV2 du sol support à -1.0 m	Cas de PSTiARi
SP1	1	Argile	>1.7	A2	0.7 MPa	20 MPa	<b>PST1ARI</b>
SP2		Argile	1.0	A2	0.6 MPa	20 MPa	<b>PST1ARI</b>
SP3		Argile	2.5	A2	0.42 MPa	15 MPa	<b>PST1ARI</b>
SP4		Argile	2.5	A2	0.5 MPa	15 MPa	<b>PST1ARI</b>
SP14	3	Grès	0.3	R2	1.65	40-50 MPa	<b>PST6AR2</b>
SP15		Sable gréseux remblai	<5.0	B5	0.4	12 MPa	<b>PST0AR0</b>

### D.6.5. Détermination des épaisseurs de couche de forme à mettre en œuvre en fonction de la nature et de la portance du sol support

#### D.6.5.1. Zone 1

Compte tenu de la présence de sols argileux de compacité médiocre vers 1.0 m de profondeur, il faudra mettre en œuvre les épaisseurs de couche de forme qui figurent dans le tableau ci-après.

Pour la zone 1, nous avons considéré :

- Le cas d'une **PST1-ARI** sur les **sols supports argileux mous** dans ce cas et pour une portance EV2 de l'ordre de **15 MPa**, il faudra une couche de forme de **0,75 m d'épaisseur minimum**.

#### D.6.5.2. Zone 3

Compte tenu de la présence de sols sableux +/- limoneux vers 1.0 m de profondeur, il faudra mettre en œuvre les épaisseurs de couche de forme qui figurent dans le tableau ci-après.

Pour la zone 3, nous avons considéré :

- Le cas d'une **PST0-AR0** sur les **sols supports sableux limoneux** dans ce cas et pour une portance EV2 de l'ordre de **20 MPa**, il faudra prévoir une purge jusqu'à une profondeur minimale de 2 m en matériaux rocheux d'apport puis une couche de forme de **0,7 m d'épaisseur minimum**.
- Le cas d'une **PST6-AR2** sur les sols supports constitué par les grès très compacts. Dans ce cas et pour une portance EV2 d'au-moins 50 MPa, il faudra une couche de forme granulaire constituée de matériaux sablo-graveleux insensibles à l'eau de type I sur **0,2 m d'épaisseur minimum**.

**Nota** : Ces épaisseurs sont données pour l'obtention d'une classe de **plateforme PF2 (EV2>50 MPa) sur la couche de forme**. Il faudra prévoir l'intercalation d'un géotextile non tissé intercalé entre le sol support et le remblai d'apport.

Ces épaisseurs sont données dans le cas d'un terrassement vers 1 m de profondeur par rapport au niveau du terrain existant.

#### Rappel des objectifs exigés

- Portance sur couche de forme :
  - $EV2 \geq 50 \text{ MPa}$  ;
  - $k = \frac{EV2}{EV1} \leq 2$ ,

### D.6.6. Réalisation des purges et substitutions

Dans le cas de rencontre de sols supports argileux très mous (cas de type PST0AR0), soit des modules  $EV2 < 5\text{-}10 \text{ MPa}$  ou non mesurables à l'essai à la plaque statique, il faudra prévoir des purges-substitutions. Ces substitutions seront également à prévoir au niveau de l'extrémité Est du tronçon, en zone 3 (sondage SPI5) où nous avons identifié des remblais de sables gréseux limoneux de faible compacité jusqu'à plus de 3 m de profondeur par rapport au niveau de la voirie actuelle.

Par conséquent, les matériaux de purge/substitution devront être constitués d'un concassé rocheux de bonne qualité de granulométrie 0/45 et/ou 45/90 mm bien gradué de classification R2I assimilé D3I selon le GTR ou de type I.

Le remblai de substitution devra être mis en œuvre par couches minces n'exédant pas 0.3 m d'épaisseur et soigneusement compactées.

### D.6.7. Exécution de la couche de forme granulaire

Afin d'atteindre les objectifs de portance, les matériaux devront être constitués d'un matériau sablo-graveleux ou rocheux d'apport de classification GTR D2I ou D3I ou de type I, de bonne qualité, insensible à l'eau et au gel, non évolutif, de granulométrie 0/45 mm.

Les matériaux devront être mis en œuvre par couches minces soigneusement compactées (0,3 à 0,4 m selon caractéristiques du compacteur utilisé)

Les objectifs à atteindre seront les suivants :

- L'objectif de portance à atteindre EV2 sur la couche de forme sera de 50 MPa.
- Il est nécessaire que les travaux de terrassement et de compactage soient sérieusement contrôlés au minimum par des essais à la plaque et des essais au pénétrodensitographe.

#### D.6.7.1. Modalités de compactage à respecter

On s'assurera :

- De réaliser de préférence les travaux dans de bonnes conditions météorologiques ;
- De compacter soigneusement la couche de forme granulaire;
- D'obtenir une portance  $EV2 \geq 50 \text{ MPa}^*$

**\*Nota** : nous recommandons l'utilisation d'un compacteur à pneus en complément du mono-vibrant lourd pour atteindre plus facilement les objectifs fixés.



Des essais de contrôles devront être réalisés au minimum par des essais à la plaque statique ou à la dynaplaque, après calage avec l'essai statique.

Une planche d'essais servant à définir la nature des matériaux d'apport à mettre en œuvre et les modalités de compactage devra être réalisée préalablement aux opérations de terrassement. On veillera à utiliser de préférence un compacteur mono-vibrant lourd de classe V4 ou V5 associé à un compacteur à pneus de classe P2 ou P3 pour garantir les objectifs de portances et de compactage fixés.

Les modalités indiquées ci-dessous seront les modalités minimales à respecter et serviront de base pour la réalisation de la planche d'essais :

Tableau de compactage pour la mise en œuvre d'un remblai sablo-graveleux 0/45 type I				
Modalités	Energie de compactage			
Type de compacteur	P2 (pneus)	P3 (pneus)	V4 (vibrant lourd)	V5 (vibrant lourd)
Q/S	0.030	0.045	0.075	0.090
Epaisseur de la couche (m)	0,3	0,4	0,3	0,35
Vitesse de compactage (km/h)	5.0	5.0	5.0	5.0
N (nombre de passes)	10	9	4	4

Les matériaux seront soigneusement compactés par couches dont les épaisseurs dépendront du type de compacteur utilisé, avec contrôle de portance et de compactage par essais à la plaque de type LCPC. Leur mise en place devra respecter les exigences du GTR.

#### D.6.7.2. Portance et déformabilité

Pour les couches supérieures du terrassement (sous-couche, couche de forme), le contrôle de la portance est une obligation pour vérifier le respect des critères de dimensionnement. Dans notre cas, l'objectif EV2 à atteindre sera de 50 MPa sur la couche de forme.

La réalisation de planches d'essai pour caler la méthodologie de mise en œuvre, et de planches de références pour caler les moyens de contrôle sera une nécessité.

La réalisation de planches d'essai préalables en forte épaisseur pourra permettre de vérifier que le module intrinsèque du matériau est bien conforme à celui pris en compte en étude.

Selon la zone, un géotextile non tissé de classe 4 devra être intercalé entre le sol support argileux et la couche de forme granulaire.

**Des essais à la plaque devront être réalisés au fur et à mesure des travaux de terrassement en pleine masse afin de vérifier la portance des sols supports argileux et/ou sablo-caillouteux avant la mise en œuvre des matériaux de couches de forme.**

## D.7. Etude de la sous-station

### D.7.1. Conditions de terrassement

Si l'on ne dispose pas de plans pour le local de la sous-station, celui-ci imposera qu'il soit enterré ou semi-enterré, ce qui nécessitera des terrassements dans les **remblais** et dans les sols **argileux et/ou sableux** selon l'implantation envisagée. Au vu de la sensibilité des matériaux aux variations de teneur en eau, les travaux de terrassements devront être effectués de préférence en période non-pluvieuse.

La plupart des remblais et les argiles devraient se terrasser aisément à la pelle hydraulique puissante (classes 3 à 4 selon la DIN 18300).

Cependant, nous rappelons qu'il n'est pas impossible de rencontrer des vestiges béton ou des passages indurés dans les remblais. Le cas échéant, il pourrait être nécessaire d'employer des moyens plus lourds (dent de déroctage, godet roche, BRH...).

### D.7.2. Blindage / talutage

Pour une profondeur de fouille n'excédant pas 3 m, on pourra retenir un talutage si l'espace latéral par rapport aux ouvrages proches (voiries, réseaux, etc.) le permet. Ce talutage s'effectuera avec une pente maximale de **3 Horizontal / 2 Vertical** (environ 34°) dans les remblais et dans les sols argileux et/ou sableux. Les talus provisoires devront être protégés des arrivées d'eau par la mise en place de polyanes.

## D.8. Principes généraux de fondations

### D.8.1. Pour le local technique

D'après les informations transmises, le local technique est prévu en partie centrale du tronçon.

Etant donné que les charges du local technique seront vraisemblablement assez faibles, celui-ci devrait pouvoir être fondé sur semelles filantes ou isolées sollicitant les grès de compacité très raide.

Une solution sur radier général est également envisageable, sollicitant les grès par l'intermédiaire d'une couche de forme granulaire constituée d'un matériau sablo-graveleux de bonne qualité, de type I soigneusement compacté sur une épaisseur minimum de 0.2 m par temps sec.

Les objectifs de portance et de compactage à atteindre seront les suivants :

- Module  $EV_2 > 40$  MPa
- Coefficient de compactage  $K = EV_2 / EV_1 < 2.0$

Les conditions d'assise et les sujétions de réalisation sont fournies dans le chapitre dédié.

### D.8.2. Principes généraux de fondation – radier de la tranchée

Au niveau d'assise prévu de la tranchée couverte, nos sondages ont rencontré soit un substratum marno-calcaire (zone 1), soit les grès de Luxembourg (zone 2) de compacité très élevée. Par conséquent, et malgré les descentes de charges a priori importantes, on pourra retenir d'asseoir les ouvrages sur radier ou semelles sollicitant indifféremment les marno-calcaires et/ou le grès sain.

En cas de rencontre d'un passage douteux (remplissage argileux, zone altérée / fragmentée, etc.), il conviendra de purger toute la zone douteuse et de la substituer par un gros béton sous semelle ou un concassé calcaire de granulométrie 0/50 mm sous radier qu'il conviendra alors de compacter soigneusement par couches minces afin d'atteindre un objectif de portance EV2 de 50 MPa en tête de substitution.

## E. MODE D'ASSISE DES OUVRAGES

Les calculs de capacité portante et de tassements des fondations superficielles dans le cadre de la présente ébauche dimensionnelle respectent les prescriptions de la norme NF P94-261 (norme d'application nationale française de l'Eurocode 7 pour les fondations superficielles).

Dans le cadre d'un AVP, nous nous limiterons à la reprise des charges verticales centrées ; la stabilité au glissement et à l'excentrement devront faire l'objet d'une mission G2-PRO.

### E.1. Contraintes de calcul sous charge verticale

A partir de 8 m de profondeur, la pression limite nette équivalente sous la base du radier et/ou des semelles est supérieure à 4 MPa dans les marno-calcaires et/ou dans les grès. On a alors dans ce cas une contrainte nette évaluée à :

$$q_{net} = k_p p l_e^* i_\delta i_\beta = 0.8 \times 4 \times 1 \times 1 = 3.2 \text{ MPa}$$

Avec  $i_\delta = i_\beta = 1$  pour des charges réputées verticales et éloignées de tout talus.

On a alors les contraintes de calcul qui valent, pour une assise dans les marno-calcaires et dans les grès sain et en négligeant  $q_0$  :

$$\begin{cases} q'_{ELS} = \frac{q_{net}}{\gamma_{R,d,v} \gamma_{R,v}} = \frac{3.2}{1.2 \times 2.3} = 1.15 \text{ MPa} \\ q'_{ELU} = \frac{q_{net}}{\gamma_{R,d,v} \gamma_{R,v}} = \frac{3.2}{1.2 \times 1.4} = 1.9 \text{ MPa} \end{cases}$$

Ces contraintes sont vraisemblablement surabondantes pour le projet, malgré des charges a priori élevées.

**Nota important :** nous insistons sur l'importance de respecter une assise sur les marno-calcaires et/ou les grès sains. En cas d'assise sur des anomalies comme les passages argileux moins compacts en zone I ou des passages très sableux, la contrainte de calculs ELS pourrait chuter fortement ce qui remettrait localement en cause la solution radier. Le cas échéant, il conviendra de respecter les préconisations des paragraphes précédents (purge et substitution de tous les passages douteux).

### E.2. Estimation des tassements

Du fait d'une assise dans le substratum de très forte compacité, les tassements seront très faibles, de l'ordre du millimètre au plus, d'autant plus que la pression amenée ne dépassera pas la pression de préconsolidation du grès et/ou des marno-calcaires.

Pour le calcul du ferrailage du radier, on pourra retenir un coefficient de réaction verticale  $k_v$  égal à 150 MPa/m.

## F. SUJETIONS D'EXECUTION ET DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES

### F.1. Sujétions générales

L'étude détaillée et exhaustive des principes d'exécution relève de l'étude géotechnique G2 Projet. Nous nous limiterons dans le cadre de la G2 AVP à lister les principes généraux.

Il conviendra :

#### **Terrassement :**

- Le terrassement des fondations nécessiteront l'usage du brise roche hydraulique, ces travaux ne devront pas induire de vibrations nuisibles aux structures voisines.
- On s'assurera que l'ensemble de la couche de forme sollicite le sol dans les conditions définies dans cette étude ; le sol d'assise sera parfaitement curé, non remanié et non soumis aux intempéries (le béton de propreté est à couler dès la fin de l'excavation).
- Tout sol douteux ou sol remanié détecté à l'ouverture des fouilles sera purgé et remplacé par du gros béton coulé pleine fouille.

#### **Fondations :**

- Les semelles pourront être terrassés de préférence à l'aide d'une fraise afin d'éviter les hors profils.
- Au droit des niveaux décalés, on pourra déroger à la règle 3H/2V entre fondations voisines. Toutefois, la justification sera à apporter en phase PRO selon l'importance des charges. En revanche, le comblement des espaces de travail à l'aplomb des semelles devra être réalisé à l'aide de béton maigre.

## G. PREDIMENSIONNEMENT DES MICROPIEUX DES POTEaux LAC (ZONE OUVERTE)

### G.1. Conception

La mise en place de poteaux LAC concerne uniquement les zones ouvertes hors emprise tranchée couverte et apportent vraisemblablement peu de charges verticales, mais en revanche la prise au vent des poteaux, les changements de direction de la ligne, et le givre dissymétrique engendrent des efforts horizontaux et des moments de renversement importants, qui sont dimensionnants pour les appuis.

Compte-tenu de ces efforts et de la présence de remblais, d'argiles molles et de sables gréseux jusqu'à des profondeurs importantes, une solution de type fondation superficielle n'est pas envisageable.

En section ouverte, on retiendra donc une structure à **3 ou 4 micropieux par poteau** pour reprendre les efforts horizontaux et les moments de renversement.

Nous proposons de réaliser des micropieux armés de type II (injection gravitaire ou basse pression). Ceux-ci devront être :

- Forés, tubés au moins jusqu'à la tête des marno-calcaires et/ou des grès;
- Descendus, selon les zones, d'au moins 1.5 m dans les marno-calcaire et/ou dans les grès de bonnes caractéristiques mécaniques pour être certain de bien les solliciter, ce qui correspond à une longueur minimale de 5 m par rapport au niveau du terrain actuel au droit de nos sondages.

Nous donnons ci-dessous les éléments nécessaires au Bureau d'Etude pour ce dimensionnement.

### G.2. Maquettes géotechniques

Au vu de l'importance du linéaire, plusieurs maquettes devront être réalisées pour la phase G2-PRO pour tenir compte des variations des épaisseurs de couches et leurs hétérogénéités en termes de caractéristiques mécaniques. Nous proposons de retenir à ce stade de l'étude, les maquettes suivantes :

Pour la **zone I** côté ouest du tronçon (sondages SPI à SP3):

Nature	Profondeur de la base (m/TA)	pl* (MPa)	Courbe	Catégorie	q <sub>s</sub> (kPa)
Remblais	1.0	Non pris en compte pour le calcul			
Argile bariolée ferme	2.0	0.6	Q1	4	46
Argile à bancs calcaires	3.5	1.0	Q1	I	46
Marno-calcaires	> 5	2.9	Q4	I	155

Pour la **zone 2** zone ouverte en partie centrale de la tranchée couverte (sondages SP9 et SPI4) :

Nature	Profondeur de la base (m/TA)	pl* (MPa)	Courbe	Catégorie	q <sub>s</sub> (kPa)
Remblais sableux et argileux	1.0	Non pris en compte pour le calcul			
Sable gréseux à cailloux	3.5	3.0	Q2	4	90
Grès altérés	9.5	3.5	Q5	I	184
Grès peu fracturés	> 12	4.5	Q5	I	200

Les calculs de portance et de résistance aux efforts horizontaux seront réalisés en phase PRO lorsque les descentes de charges nous auront été communiquées.

Pour la **zone 3** zone ouverte en partie Est de la tranchée couverte (sondages SPI4 et SPI5) :

Nature	Profondeur de la base (m/TA)	pl* (MPa)	Courbe	Catégorie	q <sub>s</sub> (kPa)
Remblais sableux et argileux	1.0	Non pris en compte pour le calcul			
Grès sableux altérés	7.0	2	Q5	I	90
Grès peu fracturés	> 12	4.7	Q5	I	200

Les calculs de portance et de résistance aux efforts horizontaux seront réalisés en phase PRO lorsque les descentes de charges nous auront été communiquées.

### G.3. Calcul de la portance des micropieux en compression et traction

Selon la norme NF P94-262 d'application nationale française de l'Eurocode 7 pour les fondations profondes par micropieux (procédure du modèle de terrain), la résistance caractéristique de frottement latéral se calcule de la manière suivante :

$$R_{s,k} = \pi B \sum_i h_i q_{s,k,i}$$

Où :

- $q_{s,k,i}$  sont les valeurs caractéristiques des contraintes de frottement axial fournis dans la maquette géotechnique ci-avant ;
- $\gamma_{R,d,1} = 2$  et  $\gamma_{R,d,2} = 1.1$  ;

Aucun effort de pointe n'est pris en compte pour des micropieux.

On a alors :

- Aux ELU :
  - Portance caractéristique :  $R_{c,k} = R_{s,k}$
  - Portance de calcul :  $R_{c,d} = \frac{R_{c,k}}{\gamma_t}$  avec  $\gamma_t = 1.1$  en compression et 1.15 en traction

- Aux ELS :
  - Portance caractéristique :  $R_{c,cr,k} = 0.7 R_{s,k}$
  - Portance de calcul :  $R_{c,d} = \frac{R_{c,cr,k}}{\gamma_{cr}}$  où  $\gamma_{cr} = 0.9$  aux ELS caractéristiques en compression et 1.1 en traction, et 1.1 aux ELS quasi-permanents en compression et 1.5 en traction.

Un calcul par zone est effectué en page suivante, de manière indicative, pour quelques longueurs de micropieux (allant de 5 m à 8 m), et pour un diamètre de forage de 200 mm.

## G.4. Recommandations de réalisation et sujétions particulières

### G.4.1. Vis-à-vis de la réalisation des micropieux

- L'exécution des micropieux devra être conforme aux normes EN 1536 et EN 14199 ;
- Les micropieux devront être de type forés, provisoirement tubés jusqu'en tête des marno-calcaires ou des grès très raides ;
- Les engins, les outils, et la méthodologie de forage sont de la responsabilité de l'entreprise exclusivement et devront permettre de respecter les diamètres et profondeurs prescrits ;
- L'entreprise devra prendre toutes les précautions nécessaires pour assurer la stabilité des parois des forages lors de l'exécution des pieux, et notamment prévoir un tubage sur toute la hauteur des remblais et argiles molles ;
- Nous attirons votre attention sur la présence possible de fissures dans les marno-calcaires et dans les grès fracturés ce qui pourrait engendrer des surconsommations importantes de coulis de ciment. Le cas échéant, il faudra mettre en œuvre une chaussette ou adapter la formulation du coulis.



## Caractéristiques du pieu :

Type de micropieu : **Micropieu type I ou II**

Fluide de forage : ..... ☒ Air ☐ Boue

Tubage : ..... ☐ Aucun ☒ Provisoire ☐ Perdu

Jusque base couche : ..... **2**

Travailler uniquement en pointe : ..... ☐

Résistances exprimées en : ..... **kN**

## Modèle de terrain :

Couche	Prof. base (m)	Désignation couche	Terrain selon P94-262	pl* (MPa)	Cat.	Courbe	$\alpha_{\text{pieu,sol}}$ (-)	$f_{\text{sol}}$ (-)	$q_{s,\text{lim}}$ (kPa)	$q_s$ (kPa)
1	1	remblai	Non pris en compte	1	4	0	0	0	0	0
2	2	argile	Argile % CaCO <sub>3</sub> < 30 % Limon	0.6	4	1	1.25	37	90	46
3	3.5	Argile caillouteuse	Argile % CaCO <sub>3</sub> < 30 % Limon	1	1	1	1.1	42	90	46
4	10	marno-calcaire	Marne et calcaire marneux	2.9	1	4	1.5	103	170	155
5										0
6										0
7										0
8										0
9										0

## Résultats :

Résistances en kN

Résistances en kN								Portance géotechnique								Résistance à la traction						
								R <sub>b,k</sub>	R <sub>s,k</sub>	aux ELS			aux ELU			R <sub>s,k</sub>	aux ELS			aux ELU		
										R <sub>c,cr,k</sub>	R <sub>c,cr,d</sub>		R <sub>c,k</sub>	R <sub>c,d</sub>			R <sub>t,cr,k</sub>	R <sub>t,cr,d</sub>		R <sub>t,k</sub>	R <sub>t,d</sub>	
Type	Diamètre (mm)	Longueur (m/PF)		pl <sub>e</sub> * (MPa)	D <sub>e</sub> (m)	k <sub>p,max</sub>	k <sub>p</sub>			ELS qp	ELS car		ELU fond	ELU acci		ELS qp	ELS car		ELU fond	ELU acci		
1	200	5		2.90	1.67	0.00	0.00	0	99	69	63	77	99	90	99	99	69	46	63	99	86	94
2	200	6		2.90	2.00	0.00	0.00	0	143	100	91	111	143	130	143	143	100	67	91	143	125	136
3	200	7		2.90	2.00	0.00	0.00	0	187	131	119	146	187	170	187	187	131	87	119	187	163	179
4											0	0		0	0			0	0		0	0
5											0	0		0	0			0	0		0	0
6											0	0		0	0			0	0		0	0

**Caractéristiques du pieu :**

Type de micropieu : Micropieu type I ou II

Fluide de forage : ☒ Air ☐ Boue

Tubage : ☐ Aucun ☒ Provisoire ☐ Perdu

Jusque base couche : 2

Travailler uniquement en pointe : ☐

Résistances exprimées en : kN

**Modèle de terrain :**

Couche	Prof. base (m)	Désignation couche	Terrain selon P94-262	pl* (MPa)	Cat.	Courbe	$\alpha_{\text{pieu,sol}}$ (-)	$f_{\text{sol}}$ (-)	$q_{s,\text{lim}}$ (kPa)	$q_s$ (kPa)
1	1	remblai	Non pris en compte	1.5	4	0	0	0	0	0
2	2	sable gréseux	Sable, grave	3	4	2	1.4	88	90	90
3	3.5	grès altéré	Roche altérée ou fragmentée	3.5	1	5	1.6	115	200	184
4	10	grès peu altéré	Roche altérée ou fragmentée	4.5	1	5	1.6	125	200	200
5										0
6										0
7										0
8										0
9										0

**Résultats :**

Résistances en kN

Résistances en kN								Portance géotechnique								Résistance à la traction						
								R <sub>b,k</sub>	R <sub>s,k</sub>	aux ELS			aux ELU			R <sub>s,k</sub>	aux ELS			aux ELU		
										R <sub>ter,k</sub>	R <sub>ter,d</sub> ELS qp	R <sub>ter,d</sub> ELS car	R <sub>c,k</sub>	R <sub>c,d</sub> ELU fond	R <sub>c,d</sub> ELU acci		R <sub>ter,k</sub>	R <sub>ter,d</sub> ELS qp	R <sub>ter,d</sub> ELS car	R <sub>tk</sub>	R <sub>td</sub> ELU fond	R <sub>td</sub> ELU acci
Type	Diamètre (mm)	Longueur (m/PF)		pl <sub>e</sub> * (MPa)	D <sub>e</sub> (m)	k <sub>p,max</sub>	k <sub>p</sub>															
1	200	5		4.50	1.89	0.00	0.00	0	272	190	173	211	272	247	272	224	157	104	142	224	195	213
2	200	6		4.50	2.00	0.00	0.00	0	353	247	225	275	353	321	353	291	204	136	185	291	253	277
3	200	7		4.50	2.00	0.00	0.00	0	435	304	277	338	435	395	435	358	251	167	228	358	311	341
4											0	0		0	0			0	0		0	0
5											0	0		0	0			0	0		0	0
6											0	0		0	0			0	0		0	0

## Caractéristiques du pieu :

Type de micropieu : Micropieu type I ou II

Fluide de forage : ☒ Air ☐ Boue

Tubage : ☐ Aucun ☒ Provisoire ☐ Perdu

Jusque base couche : 2

Travailler uniquement en pointe : ☐

Résistances exprimées en : kN

## Modèle de terrain :

Couche	Prof. base (m)	Désignation couche	Terrain selon P94-262	pl* (MPa)	Cat.	Courbe	$\alpha_{\text{pieu,sol}}$ (-)	$f_{\text{sol}}$ (-)	$q_{s,\text{lim}}$ (kPa)	$q_s$ (kPa)
1	1.3	remblai	Non pris en compte	1	4	0	0	0	0	0
2	7	gres sableux	Sable, grave	2	4	2	1.4	73	90	90
3	12	gres	Roche altérée ou fragmentée	4.7	1	5	1.6	127	200	200
4										0
5										0
6										0
7										0
8										0
9										0

## Résultats :

Résistances en kN

Résistances en kN								Portance géotechnique								Résistance à la traction						
								R <sub>b,k</sub>	R <sub>s,k</sub>	aux ELS			aux ELU			R <sub>s,k</sub>	aux ELS			aux ELU		
										R <sub>c,cr,k</sub>	R <sub>c,cr,d</sub> ELS qp	ELS car	R <sub>c,k</sub>	R <sub>c,d</sub> ELU fond	ELU acci		R <sub>t,cr,k</sub>	R <sub>t,cr,d</sub> ELS qp	ELS car	R <sub>t,k</sub>	R <sub>t,d</sub> ELU fond	ELU acci
Type	Diamètre (mm)	Longueur (m/PF)		pl,* (MPa)	D <sub>e</sub> (m)	k <sub>p,max</sub>	k <sub>p</sub>															
1	200	5		2.00	2.00	0.00	0.00	0	136	95	86	106	136	124	136	112	78	52	71	112	97	107
2	200	6		2.00	2.00	0.00	0.00	0	173	121	110	134	173	157	173	142	99	66	90	142	124	135
3	200	7		4.70	0.85	0.00	0.00	0	209	147	133	163	209	190	209	172	121	80	110	172	150	164
4	200	8		4.70	1.43	0.00	0.00	0	291	204	185	226	291	264	291	240	168	112	152	240	208	228
5											0	0		0	0			0	0		0	0
6											0	0		0	0			0	0		0	0

Les calculs et valeurs dimensionnelles donnés dans le présent rapport ne sont que des ébauches destinées à donner un premier aperçu des sujétions techniques d'exécution et ne constituent pas un dimensionnement du projet.

Le présent rapport conclut la mission d'étude géotechnique de type G2 AVP confiée à FONDASOL dans le cadre de l'aménagement du projet.

**Selon la norme NF P 94-500, elle doit être suivie, par une mission d'étude géotechnique de projet G2PRO, visant notamment à :**

- Traiter les aléas importants identifiés pour ce projet.
- Vérifier la stabilité du site.
- Définir la géométrie des ouvrages géotechniques (fondations sur micropieux, fondations superficielles, plateforme tramway soutènement, talutages,...).
- Fixer tous les paramètres du sol et d'interactions sol-structure permettant la justification par le calcul des ouvrages.
- Evaluer les tassements et les déplacements prévisibles des ouvrages.
- Préciser les sujétions de réalisation, notamment le phasage des travaux, le suivi spécifique avec mesures prédéfinies et des valeurs seuils associées ainsi que les adaptations possibles à mettre en œuvre en phase exécution.

Ces points pourront nécessiter un programme d'investigations complémentaires.

La mission G2-PRO a également été confiée à FONDASOL.

**Pierre-Yves GOEURY**

## ANNEXES





# CONDITIONS GENERALES DE SERVICE

## 1. Formation du Contrat

Toute commande par le co-contractant (« le Client »), qui a reçu un devis de la part de FONDASOL, ou l'une quelconque de ses filiales (ci-après le « Prestataire »), quelle qu'en soit la forme (par exemple bon de commande, lettre de commande, ordre d'exécution ou acceptation de devis, sans que cette liste ne soit exhaustive) et ses avenants éventuels, constituent l'acceptation totale et sans réserve des présentes conditions générales par ledit Client, que ce dernier ait contresigné les conditions générales ou non, ou qu'il ait émis des conditions contradictoires. Tout terme de la commande, quelle qu'en soit la forme, et de ses avenants éventuels, qui serait en contradiction avec les présentes conditions générales ou le devis, serait réputé de nul effet et inapplicable, sauf s'il a fait l'objet d'une acceptation écrite expresse non équivoque par le Prestataire. Cette acceptation ne peut pas résulter de l'exécution des Prestations prévues au devis et/ou à la commande, quelle qu'en soit la forme, et/ou avenant éventuel, ou de l'absence de réponse du Prestataire sur ledit terme.

Les présentes conditions générales prévalent sur toutes autres conditions y compris contenues dans la commande (quelle que soit sa forme) du Client ou dans les accusés de réception des échanges de données informatisés, sur portail électronique, dans la gestion électronique des achats ou dans les courriers électroniques du Client. Aucune exception ou dérogation n'est applicable sauf si elle est émise par le Prestataire ou acceptée expressément, préalablement et de manière non équivoque par écrit par le Prestataire. À ce titre, toute condition de la commande ne peut être considérée comme acceptée qu'après accord écrit exprès et non-équivoque du Prestataire. Le contrat est constitué par le dernier devis émis par le Prestataire, les présentes conditions générales, la commande ou l'acceptation de devis ou lettre de commande du Client et, à titre accessoire et complémentaire les conditions de la commande expressément acceptées et spécifiquement indiquées par écrit par le Prestataire comme acceptées (le « Contrat »).

## 2. Entrée en vigueur

Le Contrat n'entrera en vigueur qu'à la réception par le Prestataire de l'acompte prévu au Contrat ou suivant les conditions particulières du devis, ou, le cas échéant, de l'accusé de réception de commande et/ou de réception de paiement émis par le Prestataire. Sauf disposition contraire des conditions particulières du devis, les délais d'exécution par le Prestataire de ses obligations au titre du Contrat commencent quinze (15) jours ouvrés après la date d'entrée en vigueur du Contrat.

## 3. Prix

Les prix sont établis aux conditions économiques en vigueur à la date d'établissement du devis. Préalablement au Contrat, les prix sont valables selon la durée mentionnée au devis et au maximum pendant deux (2) mois à compter de la date du devis. À l'entrée en vigueur du Contrat, les prix sont fermes et définitifs pour une durée de six (6) mois mis à jour tous les six (6) mois par application de l'indice « Sondages et Forages TP 04 » pour les investigations in situ et en laboratoire, et par application de l'indice « SYNTec » pour les prestations d'études, l'Indice de base étant le dernier indice publié à la date d'émission du devis.

Les prix mentionnés dans le Contrat ou le devis ne comprennent pas la TVA, les taxes sur les ventes, les droits, les prélèvements, les taxes sur le chiffre d'affaires, les droits de douane et d'importation, les surtaxes, les droits de timbre, les impôts retenus à la source et toutes les autres taxes similaires qui peuvent être imposées au Prestataire, à ses employés, à ses sociétés affiliées et/ou à ses représentants, dans le cadre de l'exécution du Contrat (les « Impôts »), qui seront supportés par le Client en supplément des prix indiqués. Le Prestataire restera toutefois responsable du paiement de tous les impôts applicables en France.

Au cas où le Prestataire serait obligé de payer l'un des Impôts mentionnés ci-dessus, le Client remboursera le Prestataire dans les trente (30) jours suivant la réception des documents correspondants justifiant le paiement de celui-ci. Au cas où ce remboursement serait interdit par toute législation applicable, le Prestataire aura le droit d'augmenter les prix indiqués dans le devis ou spécifiés dans le Contrat du montant des Impôts réellement supportés.

Sauf indication contraire dans le devis, les prix des Prestations relatifs à des quantités à réaliser, quelle qu'en soit l'unité (notamment sans que cela ne soit exhaustif, profondeurs, mètres linéaires, nombre d'essais, etc) ne sont que des estimatifs sur la base des informations du Client, en conséquence seules les quantités réellement réalisées seront facturées sur la base des prix unitaires du Contrat.

## 4. Obligations générales du Client

**4.1** Le terme « Prestations » désigne exclusivement les prestations énumérées dans le devis du Prestataire comme étant comprises dans le devis à la charge du Prestataire. Toute prestation non comprise dans les Prestations, ou dont le prix unitaire n'est pas indiqué au Contrat, fera l'objet d'un prix nouveau à négocier.

**4.2** Par référence à la norme NF P 94-500, il appartient au maître d'ouvrage, au maître d'œuvre ou à toute entreprise de faire réaliser impérativement par des ingénieries compétentes chacune des missions géotechniques (successivement G1, G2, G3 et G4 et les investigations associées) pour suivre toutes les étapes d'élaboration et d'exécution du projet. Si la mission d'investigations est commandée seule, elle est limitée à l'exécution matérielle de sondages et à l'établissement d'un compte rendu factuel sans interprétation et elle exclut toute activité d'étude, d'ingénierie ou de conseil, ce que le Client reconnaît et accepte expressément.

La mission de diagnostic géotechnique G5 engage le géotechnicien uniquement dans le cadre strict des objectifs ponctuels fixés et acceptés expressément par écrit.

**4.3** Sauf disposition contraire expresse du devis, le Client obtiendra à ses propres frais, dans un délai permettant le respect du délai d'exécution du Contrat, tous les permis et autorisations d'importation nécessaires pour l'importation des matériels et équipements et l'exécution des Prestations dans le pays où les matériels et équipements doivent être livrés et où les Prestations doivent être exécutées. En plus de ce qui précède et sauf à ce que l'une ou plusieurs des obligations suivantes soient expressément et spécifiquement intégrées aux Prestations et au bordereau de prix, le Client devra également, notamment, sans que cela ne soit exhaustif :

- Payer au Prestataire les Prestations conformément aux conditions du Contrat ;
- Communiquer en temps utile toutes les informations et/ou documentations nécessaires pour l'exécution du Contrat et notamment, mais pas seulement, tout élément qui lui paraîtrait de nature à compromettre la bonne exécution des Prestations ou devant être pris en compte par le Prestataire ;
- Permettre un accès libre et rapide au Prestataire à ses locaux et/ou au site où sont réalisées les Prestations y compris pour la livraison des matériels et équipements nécessaires à la réalisation des Prestations et notamment, mais pas seulement, les machines de forage ;
- Approuver tous les documents du Prestataire conformément au devis et à défaut dans un délai de deux jours au plus ;
- Préparer ses installations pour l'exécution du Contrat, et notamment, sans que cela ne soit exhaustif, décider et préparer les implantations des forages, fournir eau et électricité, et veiller, le Client étant toujours responsable de ses installations, à ce que le Prestataire dispose en permanence de toutes les ressources nécessaires pour exécuter le Contrat, sauf

accord spécifique contraire dans le Contrat. Si le Personnel du Client est tenu d'exécuter un travail lié au Contrat incluant, mais sans s'y limiter, l'assemblage ou l'installation d'équipements, ce personnel sera qualifié et restera en permanence sous la responsabilité du Client. Le Client conservera le droit exclusif de diriger et de superviser le travail quotidien de son personnel. Dans ce cas, le Prestataire ne sera en aucun cas responsable d'une négligence ou d'une faute du personnel du Client dans l'exécution de ses tâches, y compris les conséquences que cette négligence ou faute peut avoir sur le Contrat. Par souci de clarté, tout sous-traitant du Prestataire imposé ou choisi par le Client restera sous l'entière responsabilité du Client ;

- fournir, conformément aux articles R.554-1 et suivants du même chapitre du code de l'environnement, à sa charge et sous sa responsabilité, l'implantation des réseaux privés, la liste et l'adresse des exploitants des réseaux publics à proximité des travaux, les plans, informations et résultats des investigations complémentaires consécutifs à sa Déclaration de projet de Travaux (DT). Ces informations sont indispensables pour permettre les éventuelles déclarations d'intentions de commencement de travaux (DICT) (le délai de réponse, est de 7 à 15 jours selon les cas, hors jours fériés) et pour connaître l'environnement du projet. En cas d'incertitude ou de complexité pour la localisation des réseaux sur le domaine public, il pourra être nécessaire de faire réaliser, à la charge du Client, des fouilles manuelles ou des avant-trous à la pelle mécanique pour les repérer. Les conséquences et la responsabilité de toute détérioration de ces réseaux par suite d'une mauvaise communication sont à la charge exclusive du Client.

- Déclarer aux autorités administratives compétentes tout forage réalisé, notamment, sans que cela ne soit exhaustif, de plus de 10 m de profondeur ou lorsqu'ils sont destinés à la recherche, la surveillance ou au prélèvement d'eaux souterraines (piézomètres notamment).

**4.4** La responsabilité du Prestataire ne saurait être engagée en aucun cas pour quelque dommage que ce soit à des ouvrages publics ou privés (notamment, à titre d'exemple, des ouvrages, canalisations enterrés) dont la présence et l'emplacement précis ne lui auraient pas été signalés par écrit préalablement à l'émission du dernier devis et intégrés au Contrat.

## 5. Obligations générales du Prestataire

Le Prestataire devra :

- Exécuter avec le soin et la diligence requis ses obligations conformément au Contrat, toujours dans le respect des spécifications techniques et du calendrier convenus entre les Parties par écrit ;
- Respecter toutes les règles internes et les règles de sécurité raisonnables qui sont communiquées par le Client par écrit et qui sont applicables dans les endroits où les Prestations doivent être exécutées par le Prestataire ;
- S'assurer que son personnel reste à tout moment sous sa supervision et direction et exercer son pouvoir de contrôle et de direction sur ses équipes ;
- Procéder selon les moyens actuels de son art, à des recherches consciencieuses et à fournir les indications qu'on peut en attendre, étant entendu qu'il s'agit d'une obligation de moyen et en aucun cas d'une obligation de résultat ou de moyens renforcée ;
- Faire en sorte que son personnel localisé dans le pays de réalisation des Prestations respecte les lois dudit pays.

Le Prestataire n'est solidaire d'aucun autre intervenant sauf si la solidarité est explicitement prévue et expressément agréée dans le devis et dans ce cas la solidarité ne s'exerce que sur la durée de réalisation sur site du Client du Contrat.

En cas d'intervention du Prestataire sur site du Client, si des éléments de terrain diffèrent des informations préalables fournies par le Client, le Prestataire peut à tout moment décider que la protection de son personnel n'est pas assurée ou adéquate et suspendre ses Prestations jusqu'à ce que les mesures adéquates soient mises en œuvre pour assurer la protection du personnel, par exemple si des traces de pollution sont découvertes ou révélées. Une telle suspension sera considérée comme un Imprévu, tel que défini à l'article 14 ci-dessous.

## 6. Délais de réalisation

À défaut d'engagement précis, ferme et expresse du Prestataire dans le devis sur une date finale de réalisation ou une durée de réalisation fixe et non soumise à variations, les délais d'intervention et d'exécution données dans le devis sont purement indicatifs et, notamment du fait de la nature de l'activité du Prestataire, dépendante des interventions du Client ou de tiers, ne sauraient en aucun cas engager le Prestataire. Les délais de réalisation sont soumis aux ajustements tels qu'indiqués au Contrat. À défaut d'accord exprès spécifique contraire, il ne sera pas appliqué de pénalités de retard. Nonobstant toute clause contraire, les pénalités de retard, si elles sont prévues, sont plafonnées à un montant total maximum et cumulé pour le Contrat de 5% du montant total HT du Contrat.

- Le Prestataire réalise le Contrat sur la base des informations communiquées par le Client. Ce dernier est seul responsable de l'exactitude et de la complétude de ces données et transmettra au Prestataire toute information nécessaire à la réalisation des Prestations. En cas d'absence de transmission, d'inexactitude de ces données ou d'absence d'accès au(x) site(s) d'intervention, quelles que soient les hypothèses que le Prestataire a pu prendre, notamment en cas d'absence de données ou d'accès, le Prestataire est exonéré de toute responsabilité et les délais de réalisation sont automatiquement prolongés d'une durée au moins équivalente à la durée de correction de ces données et de reprise des Prestations correspondantes.

## 7. Formalités, autorisations et accès, obligations d'information, dégâts aux ouvrages et cultures

À l'exception d'un accord contraire dans les conditions spécifiques du devis ou dans les cas d'obligations législatives ou réglementaires non transférable par convention à la charge du Prestataire, toutes les démarches et formalités administratives ou autres, pour l'obtention des autorisations et permis de pénétrer sur les lieux et/ou d'effectuer les Prestations sont à la charge du Client. Le Client doit obtenir et communiquer les autorisations requises pour l'accès du personnel et des matériels nécessaires au Prestataire en toute sécurité dans l'enceinte des propriétés privées ou sur le domaine public. Le Client doit également fournir tous les documents et informations relatifs aux dangers et aux risques de toute nature, notamment sans que cela ne soit exhaustif, ceux cachés, liés aux réseaux, aux obstacles enterrés, à l'historique du site et à la pollution des sols, sous-sols et des nappes. Le Client communiquera les règles pratiques que les intervenants doivent respecter en matière de santé, sécurité, hygiène et respect de l'environnement. Il assure également en tant que de besoin la formation du personnel, notamment celui du Prestataire, sur les règles propres à son site, avant toute intervention sur site. Le Client sera responsable de tout dommage corporel, matériel ou immatériel, consécutif ou non consécutif, résultant des événements mentionnés au présent paragraphe et qui n'aurait pas été mentionné au Prestataire.

Lorsque les Prestations consistent à mesurer, relever voire analyser ou traiter des sols pollués, le Prestataire a l'obligation de prendre les mesures nécessaires pour protéger son personnel dans la réalisation desdites Prestations, sur la base des données fournies par le Client.

Les forages et investigations de sols et sous-sols peuvent par nature entraîner des dommages sur le site en ce compris tout chemin d'accès, en particulier sur la végétation, les cultures et les ouvrages existants, sans qu'il y ait négligence ou faute de la part du Prestataire. Ce dernier n'est en aucun cas tenu de remettre en état ou réparer ces dégâts, sauf si la remise en état et/ou les réparations font partie des Prestations, et n'est en aucun cas tenu d'indemniser le Client ou les tiers pour lesdits dommages inhérents à la réalisation des Prestations.

#### 8. Implantation, nivellement des sondages

À l'exception des cas où l'implantation des sondages fait partie des Prestations à réaliser par le Prestataire, ce dernier est exonéré de toute responsabilité dans les événements consécutifs à ladite implantation et est tenu indemne des conséquences liées à la décision d'implantation, tels que notamment, sans que cela ne soit exhaustif, le retard de réalisation, les surcoûts et/ou la perte de forage. Les Prestations ne comprennent pas les implantations topographiques permettant de définir l'emprise des ouvrages et zones à étudier ni la mesure des coordonnées précises des points de sondages ou d'essais. Les éventuelles altitudes indiquées pour chaque sondage (qu'il s'agisse de cotes 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.

#### 9. Hydrogéologie - Géotechnique

**9.1** Les niveaux d'eau indiqués dans le rapport final d'exécution des Prestations correspondent uniquement aux niveaux relevés au droit des sondages exécutés et au moment précis du relevé. En dépit de la qualité de l'étude les aléas suivants subsistent, notamment la variation des niveaux d'eau en relation avec la météo ou une modification de l'environnement des études et Prestations. Seule une étude hydrogéologique spécifique permet de déterminer les amplitudes de variation de ces niveaux et les PHEC (Plus Hautes Eaux Connues).

**9.2** L'étude géotechnique s'appuie sur les renseignements reçus concernant le projet, sur un nombre limité de sondages et d'essais, et sur des profondeurs d'investigations limitées qui ne permettent pas de lever toutes les incertitudes inévitables à cette science naturelle. En dépit de la qualité de l'étude, des incertitudes subsistent du fait notamment du caractère ponctuel des investigations, de la variation d'épaisseur des remblais et/ou des différentes couches, de la présence de vestiges enterrés et de bien d'autres facteurs telle que la variation latérale de faciès. Les conclusions géotechniques ne peuvent donc conduire à traiter à forfait le prix des fondations compte tenu d'une hétérogénéité, naturelle ou du fait de l'homme, toujours possible et des aléas d'exécution pouvant survenir lors de la découverte des terrains. Si un caractère évolutif particulier a été mis en lumière (notamment à titre d'exemple glissement, érosion, dissolution, remblais évolutifs, tourbe), l'application des recommandations du rapport nécessite une actualisation à chaque étape du projet notamment s'il s'écoule un laps de temps important avant l'étape suivante.

**9.3** L'estimation des quantités des ouvrages géotechniques nécessite, une mission d'étude géotechnique de conception G2 (phase projet). Les éléments géotechniques non décelés par l'étude et mis en évidence lors de l'exécution (pouvant avoir une incidence sur les conclusions du rapport) et les incidents importants survenus au cours des travaux (notamment glissement, dommages aux avoisinants ou aux existants) doivent obligatoirement être portés à la connaissance du Prestataire ou signalés aux géotechniciens chargés des Prestations de suivi géotechnique d'exécution G3 et de supervision géotechnique d'exécution G4, afin que les conséquences sur la conception géotechnique et les conditions d'exécution soient analysées par un homme de l'art.

#### 10. Pollution - dépollution

Lorsque l'objet de la Prestation est le diagnostic ou l'analyse de la pollution de sols et/ou sous-sols, ou l'assistance à la maîtrise d'œuvre ou la maîtrise d'œuvre de prestations de dépollution, le Client devra désigner un coordonnateur de Sécurité et de Protection de la Santé sur le site (SPS), assister le Prestataire pour l'obtention des autorisations nécessaires auprès des autorités compétentes, fournir au Prestataire toute information (notamment visite sur site, documents et échantillons) nécessaire à l'obtention des Certificats d'Acceptation Préalable de Déchets ainsi que pour l'obtention des autorisations nécessaires au transport, au traitements et à l'élimination des terres, matériaux, effluents, rejets, déchets, et plus généralement de toute substance polluante.

Sauf s'il s'agit de l'objet des Prestations tel que précisé au devis, notre devis est réalisé sur la base d'un site sur lequel il n'existe aucun danger potentiel lié à la présence de produits radioactifs. Les missions d'assistance à maîtrise d'œuvre ou de maîtrise d'œuvre seront exercées conformément à l'objectif de réhabilitation repris dans le devis. À défaut d'une telle définition d'objectif, ces missions ne pourront commencer.

#### 11. Rapport de mission, réception des Prestations par le Client

Sauf disposition contraire du Contrat et sous réserve des présentes conditions générales, la remise du dernier document à fournir dans le cadre des Prestations marque la fin de la réalisation des Prestations. La fin de la réalisation des Prestations sur site du Client est marquée par le départ autorisé du personnel du Prestataire du site. L'approbation du dernier document fourni dans le cadre des Prestations doit intervenir au plus tard deux semaines après sa remise au Client. À défaut de rejet explicite et par écrit par le Client dans ce délai, le document sera considéré comme approuvé. L'émission de commentaires ne vaut pas rejet et n'interrompt pas le délai d'approbation. Le Prestataire répondra aux commentaires dans les dix (10) jours de leur réception. À défaut de rejet explicite et par écrit par le Client dans les cinq (5) jours de la réception des réponses aux commentaires ou du document modifié, le document sera considéré comme approuvé. Si le Client refuse le document et que le document n'est toujours pas approuvé deux (2) mois après sa remise initiale, les Parties pourront mettre en œuvre le processus de règlement des litiges tel que défini au Contrat. À défaut de mise en œuvre de ce processus, le rapport sera considéré comme approuvé définitivement trois mois après la date de sa remise initiale au Client.

#### 12. Réserve de propriété, confidentialité

Les coupes de sondages, plans et documents établis par le Prestataire dans le cadre des Prestations ne peuvent être utilisés, publiés ou reproduits par des tiers sans son autorisation. Le Client ne peut pas les utiliser pour d'autres ouvrages sans accord écrit préalable exprès du Prestataire. Le Client s'engage à maintenir confidentielle et à ne pas utiliser pour tout autre objectif que celui prévu au Contrat ou pour le compte de tiers, toute information se rapportant au savoir-faire, techniques et données du Prestataire, que ces éléments soient brevetés ou non, dont le Client a pu avoir connaissance au cours des Prestations ou qui ont été acquises ou développées par le Prestataire au cours du Contrat, sauf accord préalable écrit exprès du Prestataire.

#### 13. Propriété Intellectuelle

Si dans le cadre du Contrat, le Prestataire met au point, développe ou utilise une nouvelle technique, celle-ci est et/ou reste sa propriété exclusive. Le Prestataire est libre de déposer tout brevet s'y rapportant. Le Prestataire est titulaire des droits d'auteur et de propriété sur les résultats et/ou données compris, relevés ou utilisés dans les ou, au cours des, Prestations et/ou développés, générés, compilés et/ou traités dans le cadre du Contrat. Le Prestataire concède au Client, sous réserve qu'il remplisse ses obligations au titre du Contrat, un droit non exclusif de reproduction des documents remis dans le cadre des Prestations pour la seule utilisation des besoins de l'exploitation, la maintenance et l'entretien du site Client concerné.

En cas de reproduction des documents remis par le Prestataire dans le cadre des Prestations, le Client s'engage à indiquer la source en portant sur tous les documents diffusés intégrant lesdits

documents du Prestataire, quelle que soit leur forme, la mention suivante en caractères apparents : « *source originelle : Groupe Fondasol – date du document : JJJJ/MM/AAAA* » sans que ces mentions ne puissent être interprétées comme une quelconque garantie donnée par le Prestataire. Le Client s'engage à ce que tout tiers à qui il aurait été dans l'obligation de remettre l'un ou les documents, se conforme à l'obligation de citation de la source originelle telle que prévue au présent article.

#### 14. Modifications du contenu des Prestations en cours de réalisation

La nature des Prestations et des moyens à mettre en œuvre, les prévisions des avancements et délais, ainsi que les prix sont déterminés en fonction des éléments communiqués par le Client et ceux recueillis lors de l'établissement du devis. Des conditions imprévisibles par le Prestataire au moment de l'établissement du devis touchant à la géologie et éléments de terrains et découvertes imprévues, aux hypothèses de travail, au projet et à son environnement, à la législation et aux règlements, à des événements imprévus, survenant au cours de la réalisation des Prestations (l'ensemble désigné par les « Imprévus ») pourront conduire le Prestataire à proposer au Client un ou des avenant(s) avec notamment application des prix du bordereau du devis, ou en leur absence, de nouveau prix raisonnables et des délais de réalisation mis à jour. À défaut d'un refus écrit exprès du Client dans un délai de sept (7) jours à compter de la réception de la proposition d'avenant ou de modification des Prestations, ledit avenant ou modification des Prestations devient pleinement effectif et le Prestataire est donc rémunéré du prix de cet avenant ou de cette modification des Prestations, en sus. En cas de refus écrit exprès du Client, le Prestataire est en droit de suspendre immédiatement l'exécution des Prestations jusqu'à confirmation écrite expresse du Client des modalités pour traiter de ces Imprévus et accord des deux Parties sur lesdites modalités. Les Prestations réalisées à cette date sont facturées et rémunérées intégralement, sans que le Client ne puisse faire état d'un préjudice. Le temps d'immobilisation du personnel du Prestataire est rémunéré selon le prix unitaire indiqué dans le bordereau de prix du devis. Dans l'hypothèse où le Prestataire notifie qu'il est dans l'impossibilité d'accepter les modalités de traitement des Imprévus telles que demandées par le Client, ce dernier aura le droit de résilier le Contrat selon les termes prévus à l'article 19.2 (Résiliation).

#### 15. Modifications du projet après fin de mission, délai de validité du rapport

Le rapport de fin de mission, quel que soit son nom, constitue une synthèse des Prestations telle que définie au Contrat. Ce rapport et ses annexes forment un ensemble indissociable. Toute interprétation, reproduction partielle ou totale, ou utilisation par un autre maître de l'ouvrage, un autre constructeur ou maître d'œuvre, ou conseil desdits maître d'ouvrage, constructeur ou maître d'œuvre pour un projet différent de celui objet du Contrat est interdite et ne saurait en aucun cas engager la responsabilité du Prestataire à quelque titre que ce soit. La responsabilité du Prestataire ne saurait être engagée en dehors du cadre de la mission objet du rapport. Toute modification apportée au projet, au site, à l'ouvrage et/ou à son environnement non révélé expressément au Prestataire lors de la réalisation des Prestations ou dont il lui a été demandé de ne pas tenir compte, rend le rapport caduc, dégage la responsabilité du Prestataire et engage celle du Client. Le Client doit faire actualiser le dernier rapport émis dans le cadre du Contrat en cas d'ouverture du chantier (pour lequel le rapport a été émis) plus d'un an après remise dudit rapport. Il en est de même notamment en cas de travaux de terrassements, de démolition ou de réhabilitation du site (à la suite d'une contamination des terrains et/ou de la nappe) modifiant entre autres les qualités mécaniques, les dispositions constructives et/ou la répartition de tout ou partie des sols sur les emprises concernées par l'étude géotechnique.

#### 16. Force Majeure

Le Prestataire ne sera pas responsable, de quelque manière que ce soit, de la non-exécution ou du retard d'exécution de ses obligations à la suite d'un événement de Force majeure. La Force majeure sera définie comme un événement qui empêche l'exécution totale ou partielle du Contrat et qui ne peut être surmonté en dépit des efforts raisonnables de la part de la Partie affectée, qui lui est extérieure. La Force Majeure inclura, notamment les événements suivants: catastrophes naturelles ou climatiques, pénurie de main d'œuvre qualifiée ou de matières premières, incidents majeurs affectant la production des agents ou sous-traitants du Prestataire, actes de guerre, de terrorisme, sabotages, embargos, insurrections, émeutes ou atteintes à l'ordre public.

Tout événement de Force Majeure sera notifié par écrit à l'autre Partie dès que raisonnablement possible. Si l'événement de Force Majeure se poursuit pendant plus de deux (2) mois et que les Parties ne se sont pas mises d'accord sur les conditions de poursuite du Contrat, l'une ou l'autre des Parties aura le droit de résilier le Contrat, sur préavis écrit d'au moins trente (30) jours adressé à l'autre Partie, auquel cas la stipulation de la clause de Résiliation du Contrat s'appliquera.

Quand l'événement de Force Majeure aura cessé de produire ses effets, le Prestataire reprendra l'exécution des obligations affectées dès que possible. Le délai de réalisation sera automatiquement prolongé d'une période au moins équivalente à la durée réelle des effets de l'événement de Force Majeure. Tous frais supplémentaires raisonnablement engagés par le Prestataire suite à l'événement de Force Majeure seront remboursés par le Client au Prestataire contre présentation de la preuve de paiement associée et de la facture correspondante.

#### 17. Conditions de paiement, acompte, retenue de garantie

Aucune retenue de garantie n'est appliquée sur les paiements des Prestations.

Dans le cas où le Contrat nécessite une intervention d'une durée supérieure à un mois, des factures mensuelles intermédiaires sont établies et envoyées par le Prestataire pour paiement par le Client. Les paiements interviennent à réception et sans escompte. L'acompte dont le montant est défini dans les conditions particulières du devis est déduit de la facture ou décompte final(e).

En cas de sous-traitance par le Client au Prestataire dans le cadre d'un ouvrage public, les factures du Prestataire sont réglées directement et intégralement par le maître d'ouvrage, conformément à la loi n°75-1334 du 31/12/1975.

En l'absence de paiement au plus tard le jour suivant la date de règlement figurant sur la facture, il sera appliqué à compter dudit jour et de plein droit, un intérêt de retard égal au taux d'intérêt appliqué par la Banque Centrale Européenne à son opération de refinancement la plus récente majorée de 10 points de pourcentage. Cette pénalité sera exigible sans qu'un rappel ou mise en demeure soit nécessaire à compter du jour suivant la date de règlement figurant sur la facture. En sus de ces pénalités de retard, le Client sera redevable de plein droit des frais de recouvrement exposés ou d'une indemnité forfaitaire de 40 €.

Si la carence du Client rend nécessaire un recouvrement contentieux, le Client s'engage à payer, en sus du principal, des frais, dépens et émoluments ordinairement et légalement à sa charge et des dommages-intérêts éventuels, une indemnité fixée à 15% du montant TTC de la créance avec un minimum de 500 euros. Cette indemnité est due de plein droit, sans mise en demeure préalable, du seul fait du non-respect de la date de paiement. Les Parties reconnaissent expressément qu'elle constitue une évaluation raisonnable de l'indemnité de recouvrement et de l'indemnisation des frais de recouvrement.

Un désaccord quelconque dans le cadre de l'exécution des Prestations ne saurait en aucun cas constituer un motif de non-paiement des Prestations réalisées et non soumises à contestation précise et documentée. La compensation est formellement exclue. En conséquence, le Client s'interdit de déduire le montant des préjudices qu'il allègue du prix des Prestations facturé ou de retenir les paiements.

#### 18. Suspension

L'exécution du Contrat ne peut être suspendue par le Prestataire que dans les cas suivants :

- (i) En cas d'Imprévus,
- (ii) En cas de violation par le Client d'une ou plusieurs de ses obligations contractuelles,
- (iii) En cas de Force Majeure.

Quand l'un des événements mentionnés ci-dessus se produit, le Prestataire a le droit de notifier au Client son intention de suspendre l'exécution du Contrat. Dans ce cas, le délai de réalisation

sera prolongé d'une période équivalente à la durée de cette suspension et tous les frais associés engagés par le Prestataire suite à cette suspension seront remboursés par le Client contre présentation des preuves de paiement associées, en ce compris l'indemnité d'immobilisation au taux prévu au devis. Le Prestataire peut soumettre la reprise des obligations suspendues au remboursement par le Client au Prestataire des sommes mentionnées ci-dessus.

Si l'exécution du Contrat est suspendue pendant une période de plus de deux (2) mois, le Prestataire aura le droit de résilier le Contrat immédiatement sur préavis écrit d'au moins trente (30) jours, auquel cas les stipulations de l'article « Résiliation » (19.2 et suivants) du Contrat s'appliqueront. À partir du moment où les obligations du Prestataire ou le Contrat sont suspendus pendant une durée égale ou supérieure à deux (2) mois, les Prestations seront considérées comme finies et acceptées par le Client.

#### 19. Résiliation

Toute procédure de résiliation est obligatoirement précédée d'une tentative de négociation et résolution amiable du différend.

##### 19.1 Résiliation pour manquement

Si l'une des Parties commet une violation substantielle du Contrat, l'autre Partie peut demander, par écrit, que la Partie défaillante respecte les conditions du Contrat. Si dans un délai de trente (30) jours, ou dans un autre délai dont les Parties auront convenu, après la réception de cette demande, la Partie défaillante n'a pas pris de mesures satisfaisantes pour respecter le Contrat, la Partie non défaillante peut, sans préjudice de l'exercice des autres droits ou recours dont elle peut disposer, résilier le Contrat en remettant à la Partie défaillante une notification écrite à cet effet.

##### 19.2 Résiliation pour insolvabilité ou événement similaire ou après suspension prolongée

Si l'une ou l'autre des Parties est en état de cessation des paiements ou devient incapable de répondre à ses obligations financières, ou après une suspension supérieure à deux (2) mois, l'autre Partie peut, sans préjudice de l'exercice des autres droits ou recours dont elle peut disposer, résilier le Contrat en remettant à la première Partie une notification à cet effet. Cette résiliation entrera en vigueur à la date où ladite notification de résiliation est reçue par la première Partie.

##### 19.3 Indemnisation pour résiliation

En cas de résiliation du Contrat en totalité ou en partie par le Client ou le Prestataire, conformément aux stipulations des Articles 19.1 ou 19.2, le Client paiera au Prestataire :

- Le solde du prix des Prestations exécutées conformément au Contrat, à la date de résiliation non encore payées, et
- Les coûts réellement engagés par le Prestataire jusqu'à la date de résiliation pour la réalisation des Prestations y compris si certaines Prestations ne sont pas terminées,
- les coûts engagés par le Prestataire suite à la résiliation, y compris, mais sans s'y limiter, tous les frais liés à l'annulation de ses contrats de sous-traitance ou de ses contrats avec ses propres fournisseurs et les frais engagés pour toute suspension prolongée (le cas échéant), et
- un montant raisonnable pour compenser les frais administratifs et généraux du Prestataire du fait de la résiliation, qui ne sera en aucun cas inférieur à quinze (15) pour cent du prix des Prestations restant à effectuer à la date de résiliation.

En cas de résiliation du Contrat due à un événement de Force Majeure conformément à l'Article 16, le Client paiera au Prestataire les montants mentionnés aux alinéas (i), (ii) et (iii) ci-dessus et tous les autres frais raisonnables engagés par le Prestataire suite à l'événement de Force Majeure et à la suspension associée.

##### 19.4 Effets de la résiliation

La résiliation du Contrat en totalité ou en partie, pour quelque raison que ce soit, n'affectera pas les stipulations du présent article et des articles concernant la propriété intellectuelle, la confidentialité, la limitation de responsabilité, le droit applicable et le règlement des différends.

#### 20. Répartition des risques, responsabilités

**20.1** Le Prestataire n'est pas tenu d'avertir son Client sur les risques encourus déjà connus ou ne pouvant être ignorés du Client compte-tenu de sa compétence. Le devoir de conseil du Prestataire vis-à-vis du Client ne s'exerce que dans les domaines de compétence requis pour l'exécution des Prestations spécifiquement confiées. Tout élément nouveau connu du Client après la fin de la réalisation des Prestations doit être communiqué au Prestataire qui pourra, le cas échéant, proposer la réalisation d'une prestation complémentaire. À défaut de communication des éléments nouveaux ou d'acceptation de la prestation complémentaire, le Client en assumera toutes les conséquences. En aucun cas, le Prestataire ne sera tenu pour responsable des conséquences d'un non-respect de ses préconisations ou d'une modification de celles-ci par le Client pour quelque raison que ce soit. L'attention du Client est attirée sur le fait que toute estimation de quantités faite à partir des données obtenues par prélèvements ou essais ponctuels sur le site objet des Prestations possède une représentativité limitée et donc incertaine par rapport à l'ensemble du site pour lequel elles seraient extrapolées.

**20.2** Le Prestataire est responsable des dommages qu'il cause directement par l'exécution de ses Prestations, dans les conditions et limites du Contrat. À ce titre, il est responsable de ses Prestations dont la déféctuosité lui est imputable. Nonobstant toute clause contraire dans le Contrat ou tout autre document, la responsabilité totale et cumulée du Prestataire au titre du ou en relation avec le Contrat sera plafonnée au prix total HT du Contrat et à dix mille (10 000) euros pour tout Contrat dont le prix HT serait inférieur à ce montant, quel que soit le fondement de la responsabilité (contractuelle, délictuelle, garantie, légale ou autre). Nonobstant toute clause contraire dans le Contrat ou tout autre document, il est expressément convenu que le Prestataire ne sera pas responsable des dommages immatériels consécutifs et/ou non-consécutifs à un dommage matériel et ne sera pas responsable des dommages tels que, notamment, la perte d'exploitation, la perte de production, le manque à gagner, la perte de profit, la perte de contrat,

la perte d'image, l'immobilisation de personnel ou d'équipements, que ceux-ci soient considérés directs ou non.

**20.3** Le Prestataire sera garanti et indemnisé en totalité par le Client contre tous recours, demandes, actions, procédures, recherches en responsabilité de toute nature de la part de tiers au Contrat à l'encontre du Prestataire du fait des Prestations.

#### 21. Assurances

Le Prestataire bénéficie d'un contrat d'assurance au titre de la responsabilité décennale afférente aux ouvrages soumis à obligation d'assurance, conformément à l'article L.241-I du Code des assurances. **À ce titre et en toute hypothèse y compris pour les ouvrages non soumis à obligation d'assurance, les ouvrages dont la valeur HT (travaux et honoraires compris) excède au jour de la déclaration d'ouverture de chantier un montant de 15 M€ HT doivent faire l'objet d'une déclaration auprès du Prestataire.** Il est expressément convenu que le Client a l'obligation d'informer le Prestataire d'un éventuel dépassement de ce seuil, et accepte, de fournir tous éléments d'information nécessaires à l'adaptation de la garantie. Au-delà de 15 M€ HT de valeur de l'ouvrage, le Client prend également l'engagement, de souscrire à ses frais un Contrat Collectif de Responsabilité Décennale (CCRD), contrat dans lequel le Prestataire sera expressément mentionné parmi les bénéficiaires. Le Client prendra en charge toute éventuelle sur-cotisation qui serait demandée au Prestataire par rapport aux conditions de base de son contrat d'assurance. Par ailleurs, les ouvrages de caractère exceptionnel, voire inhabituels sont exclus du contrat d'assurance en vigueur et doivent faire l'objet d'une cotation particulière. À défaut de respecter ces engagements, le Client en supportera les conséquences financières. Le maître d'ouvrage est tenu d'informer le Prestataire de la DOC (déclaration d'ouverture de chantier).

Toutes les conséquences financières d'une déclaration insuffisante quant au coût de l'ouvrage seront supportées par le Client.

#### 22. Changement de lois

Si à tout moment après la date du devis du Prestataire au Client, une loi, un règlement, une norme ou une méthode entre en vigueur ou change, et si cela augmente le coût de réalisation des Prestations, ou si cela affecte plus généralement l'une des conditions du Contrat, tel que, mais sans que ce ne soit limitatif, le délai de réalisation ou les garanties, le prix du Contrat sera ajusté en fonction de l'augmentation des coûts subie par le Prestataire du fait de ce changement et supporté par le Client. Les autres conditions du Contrat affectées seront ajustées de bonne foi pour refléter ce/ces changement(s).

#### 23. Interprétation, langue

En cas de contradiction ou de conflit entre les termes des différents documents composant le Contrat tel qu'indiqué en article 1, les documents prévalent l'un sur l'autre dans l'ordre dans lequel ils sont énoncés audit article 1. Sauf clause contraire spécifique dans le devis, tout rapport et/ou document objet des Prestations sera fourni en français. Les titres des articles des présentes conditions générales n'ont aucune valeur juridique ni interprétative.

#### 24. Cessibilité de Contrat, non-renonciation

Le Contrat ne peut être cédé, en tout ou en partie, par le Client ou le Prestataire à un tiers sans le consentement exprès, écrit, préalable de l'autre Partie. La sous-traitance par le Prestataire n'est pas considérée comme une cession au titre du présent article. Le fait que le Prestataire ne se prévale pas à un moment donné de l'une quelconque des stipulations du Contrat et/ou tolère un manquement par le Client à l'une quelconque des obligations visées dans le Contrat ne peut en aucun cas être interprété comme valant renonciation par le Prestataire à se prévaloir ultérieurement de l'une quelconque desdites stipulations.

#### 25. Divisibilité

Si une stipulation du Contrat est jugée par une autorité compétente comme nulle et inapplicable en totalité ou en partie, la validité des autres stipulations du Contrat et le reste de la stipulation en question n'en sera pas affectée. Le Client et le Prestataire remplaceront cette stipulation par une stipulation aussi proche que possible de la stipulation rendue invalide, produisant les mêmes effets juridiques que ceux initialement prévus par le Client et le Prestataire.

#### 26. Litiges - Attribution de juridiction

LE PRESENT CONTRAT EST SOUMIS AU DROIT FRANÇAIS ET TOUT LITIGE RELATIF AUDIT CONTRAT (SA VALIDITE, SON INTERPRETATION, SON EXISTENCE, SA REALISATION, DEFECTUEUSE OU TOTALE, SON EXPIRATION OU SA RESILIATION NOTAMMENT) SERA SOUMIS EXCLUSIVEMENT AU DROIT FRANÇAIS.

À DÉFAUT D'ACCORD AMIABLE DANS UN DELAI DE 30 JOURS SUIVANT L'ENVOI D'UNE CORRESPONDANCE FAISANT ETAT D'UN DIFFEREND, TOUT LITIGE SERA SOUMIS POUR RESOLUTION AUX JURIDICTIONS DU RESSORT DU SIÈGE SOCIAL DU PRESTATAIRE QUI SONT SEULES COMPÉTENTES, ET AUXQUELLES LES PARTIES ATTRIBUENT COMPÉTENCE EXCLUSIVE, MÊME EN CAS DE DEMANDE INCIDENTE OU D'APPEL EN GARANTIE OU DE PLURALITÉ DE DÉFENDEURS. LA LANGUE DU CONTRAT ET DE TOUT RÈGLEMENT DES LITIGES EST LE FRANÇAIS.

**NOVEMBRE 2018**



# ENCHAINEMENT DES MISSIONS TYPES D'INGENIERIE GEOTECHNIQUE (NORME NF P94-500)

Le Maître d'Ouvrage doit associer l'ingénierie géotechnique au même titre que les autres ingénieries à la Maîtrise d'Œuvre et ce, à toutes les étapes successives de conception, puis de réalisation de l'ouvrage. Le Maître d'Ouvrage, ou son mandataire, doit veiller à la synchronisation des missions d'ingénierie géotechnique avec les phases effectives à la Maîtrise d'Œuvre du projet.

L'enchaînement et la définition synthétique des missions d'ingénierie géotechnique sont donnés ci-après. Deux ingénieries géotechniques différentes doivent intervenir : la première pour le compte du Maître d'Ouvrage ou de son mandataire lors des étapes 1 à 3, la seconde pour le compte de l'entreprise lors de l'étape 3.

Enchaînement des missions GI à G4	Phases de la maîtrise d'œuvre	Mission d'ingénierie géotechnique et Phase de la mission		Objectifs à atteindre pour les ouvrages géotechniques	Niveau de management des risques géotechniques attendu	Prestations d'investigations géotechniques à réaliser
<b>Étape 1 : Étude géotechnique préalable (G1)</b>		<b>Étude géotechnique préalable (G1) Phase Étude de Site (ES)</b>		Spécificités géotechniques du site	Première identification des risques présentés par le site	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
	Étude préliminaire, Esquisse, APS	<b>Études géotechnique préalable (G1) Phase Principes Généraux de Construction (PGC)</b>		Première adaptation des futurs ouvrages aux spécificités du site	Première identification des risques pour les futurs ouvrages	Fonctions des données existantes et de la complexité géotechnique
<b>Étape 2 : Étude géotechnique de conception (G2)</b>	APD/AVP	<b>Étude géotechnique de conception (G2) Phase Avant-projet (AVP)</b>		Définition et comparaison des solutions envisageables pour le projet	Mesures préventives pour la réduction des risques identifiés, mesures correctives pour les risques résiduels avec détection au plus tôt de leur survenance	Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	PRO	<b>Études géotechniques de conception (G2) Phase Projet (PRO)</b>		Conception et justifications du projet		Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	DCE/ACT	<b>Étude géotechnique de conception (G2) Phase DCE/ACT</b>		Consultation sur le projet de base/choix de l'entreprise et mise au point du contrat de travaux		
<b>Étape 3 : Études géotechniques de réalisation (G3/G4)</b>		A la charge de l'entreprise	A la charge du maître d'ouvrage			
	EXE/VISA	<b>Étude de suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Étude (en interaction avec la phase suivi)</b>	<b>Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision de l'étude géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase supervision du suivi)</b>	Étude d'exécution conforme aux exigences du projet, avec maîtrise de la qualité, du délai et du coût	Identification des risques résiduels, mesures correctives, contrôle du management des risques résiduels (réalité des actions, vigilance, mémorisation, capitalisation des retours d'expérience)	Fonction des méthodes de construction et des adaptations proposées si des risques identifiés surviennent
	DET/AOR	<b>Étude et suivi géotechniques d'exécutions (G3) Phase Suivi (en interaction avec la Phase Étude)</b>	<b>Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision du suivi géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision de l'étude)</b>	Exécution des travaux en toute sécurité et en conformité avec les attentes du maître d'ouvrage		Fonction du contexte géotechnique observé et du comportement de l'ouvrage et des avoisinants en cours de travaux
<b>À toute étape d'un projet ou sur un ouvrage existant</b>	Diagnostic	<b>Diagnostic géotechnique (G5)</b>		Influence d'un élément géotechnique spécifique sur le projet ou sur l'ouvrage existant	Influence de cet élément géotechnique sur les risques géotechniques identifiés	Fonction de l'élément géotechnique étudié

Classification des missions d'ingénierie géotechnique en page suivante

Février 2014

# MISSIONS TYPES D'INGENIERIE GEOTECHNIQUE (NORME NF P94-500)

L'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étapes 1 à 3) doit suivre les étapes de conception et de réalisation de tout projet pour contribuer à la maîtrise des risques géotechniques. Le maître d'ouvrage ou son mandataire doit faire réaliser successivement chacune de ces missions par une ingénierie géotechnique. Chaque mission s'appuie sur des données géotechniques adaptées issues d'investigations géotechniques appropriées.

## ETAPE 1 : ETUDE GEOTECHNIQUE PREALABLE (G1)

Cette mission exclut toute approche des quantités, délais et coûts d'exécution des ouvrages géotechniques qui entre dans le cadre de la mission d'étude géotechnique de conception (étape 2). Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire. Elle comprend deux phases:

### Phase Étude de Site (ES)

Elle est réalisée en amont d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS pour une première identification des risques géotechniques d'un site. - Faire une enquête documentaire sur le cadre géotechnique du site et l'existence d'avoisinants avec visite du site et des alentours.

- 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 pour le site étudié un modèle géologique préliminaire, les principales caractéristiques géotechniques et une première identification des risques géotechniques majeurs.

### Phase Principes Généraux de Construction (PGC)

Elle est réalisée au stade d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS pour réduire les conséquences des risques géotechniques majeurs identifiés. Elle 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 de synthèse des données géotechniques à ce stade d'étude (première approche de la ZIG, horizons porteurs potentiels, ainsi que certains principes généraux de construction envisageables (notamment fondations, terrassements, ouvrages enterrés, améliorations de sols).

## ETAPE 2 : ETUDE GEOTECHNIQUE DE CONCEPTION (G2)

Cette mission permet l'élaboration du projet des ouvrages géotechniques et réduit les conséquences des risques géotechniques importants identifiés. Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire et est réalisée en collaboration avec la maîtrise d'œuvre ou intégrée à cette dernière. Elle comprend trois phases:

### Phase Avant-projet (AVP)

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.

### Phase Projet (PRO)

Elle est réalisée au stade du projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées suffisamment représentatives pour le site. - Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.

- Fournir un dossier de synthèse des hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade du projet (valeurs caractéristiques des paramètres géotechniques en particulier), des notes techniques donnant les choix constructifs des ouvrages géotechniques (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dallages et voiries, améliorations de sols, dispositions vis-à-vis des nappes et des avoisinants), des notes de calcul de dimensionnement, un avis sur les valeurs seuils et une approche des quantités.

### Phase DCE / ACT

Elle est réalisée pour finaliser le Dossier de Consultation des Entreprises et assister le maître d'ouvrage pour l'établissement des Contrats de Travaux avec le ou les entrepreneurs retenus pour les ouvrages géotechniques.

- Établir ou participer à la rédaction des documents techniques nécessaires et suffisants à la consultation des entreprises pour leurs études de réalisation des ouvrages géotechniques (dossier de la phase Projet avec plans, notices techniques, cahier des charges particulières, cadre de bordereau des prix et d'estimatif, planning prévisionnel).
- Assister éventuellement le maître d'ouvrage pour la sélection des entreprises, analyser les offres techniques, participé à la finalisation des pièces techniques des contrats de travaux.

## ETAPE 3 : ETUDES GEOTECHNIQUES DE REALISATION (G3 et G4, distinctes et simultanées)

### ETUDE ET SUIVI GEOTECHNIQUES D'EXECUTION (G3)

Cette mission permet de réduire les risques géotechniques résiduels par la mise en œuvre à temps de mesures correctives d'adaptation ou d'optimisation. Elle est confiée à l'entrepreneur sauf disposition contractuelle contraire, sur la base de la phase G2 DCE/ACT. Elle comprend deux phases interactives:

#### Phase Étude

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Étudier dans le détail les ouvrages géotechniques: notamment établissement d'une note d'hypothèses géotechniques sur la base des données fournies par le contrat de travaux ainsi que des résultats des éventuelles investigations complémentaires, définition et dimensionnement (calculs justificatifs) des ouvrages géotechniques, méthodes et conditions d'exécution (phasages généraux, suivis, auscultations et contrôles à prévoir, valeurs seuils, dispositions constructives complémentaires éventuelles).
- Élaborer le dossier géotechnique d'exécution des ouvrages géotechniques provisoires et définitifs: plans d'exécution, de phasage et de suivi.

#### Phase Suivi

- Suivre en continu les auscultations et l'exécution des ouvrages géotechniques, appliquer si nécessaire des dispositions constructives prédéfinies en phase Étude.
- Vérifier les données géotechniques par relevés lors des travaux et par un programme d'investigations géotechniques complémentaire si nécessaire (le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats).
- Établir la prestation géotechnique du dossier des ouvrages exécutés (DOE) et fournir les documents nécessaires à l'établissement du dossier d'interventions ultérieures sur l'ouvrage (DIUO).

### SUPERVISION GEOTECHNIQUE D'EXECUTION (G4)

Cette mission permet de vérifier la conformité des hypothèses géotechniques prises en compte dans la mission d'étude et suivi géotechniques d'exécution. Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire et est réalisée en collaboration avec la maîtrise d'œuvre ou intégrée à cette dernière. Elle comprend deux phases interactives:

#### Phase Supervision de l'étude d'exécution

- Donner un avis sur la pertinence des hypothèses géotechniques de l'étude géotechnique d'exécution, des dimensionnements et méthodes d'exécution, des adaptations ou optimisations des ouvrages géotechniques proposées par l'entrepreneur, du plan de contrôle, du programme d'auscultation et des valeurs seuils.

#### Phase Supervision du suivi d'exécution

- Par interventions ponctuelles sur le chantier, donner un avis sur la pertinence du contexte géotechnique tel qu'observé par l'entrepreneur (G3), du comportement tel qu'observé par l'entrepreneur de l'ouvrage et des avoisinants concernés (G3), de l'adaptation ou de l'optimisation de l'ouvrage géotechnique proposée par l'entrepreneur (G3).
- Donner un avis sur la prestation géotechnique du DOE et sur les documents fournis pour le DIUO.

### A TOUTES ETAPES : DIAGNOSTIC GEOTECHNIQUE (G5)

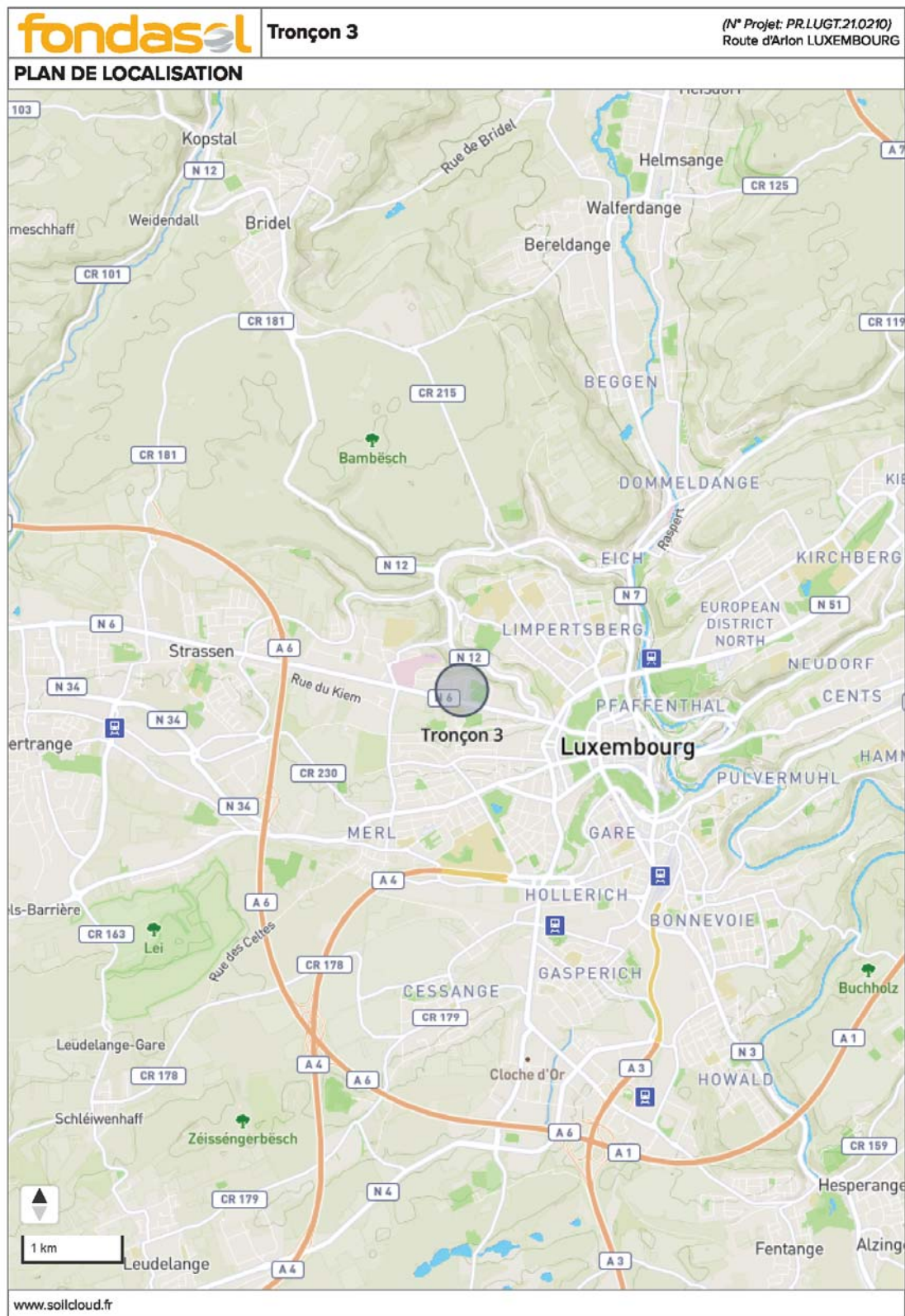
Pendant le déroulement d'un projet ou au cours de la vie d'un ouvrage, il peut être nécessaire de procéder, de façon strictement limitative, à l'étude d'un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques, dans le cadre d'une mission ponctuelle. Ce diagnostic géotechnique précise l'influence de cet ou ces éléments géotechniques sur les risques géotechniques identifiés ainsi que leurs conséquences possibles pour le projet ou l'ouvrage existant.

- Définir, après enquête documentaire, un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Étudier un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques (par exemple soutènement, causes géotechniques d'un désordre) dans le cadre de ce diagnostic, mais sans aucune implication dans la globalité du projet ou dans l'étude de l'état général de l'ouvrage existant.

Si ce diagnostic conduit à modifier une partie du projet ou à réaliser des travaux sur l'ouvrage existant, des études géotechniques de conception et/ou d'exécution ainsi qu'un suivi et une supervision géotechniques seront réalisés ultérieurement, conformément à l'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étape 2 et/ou 3).

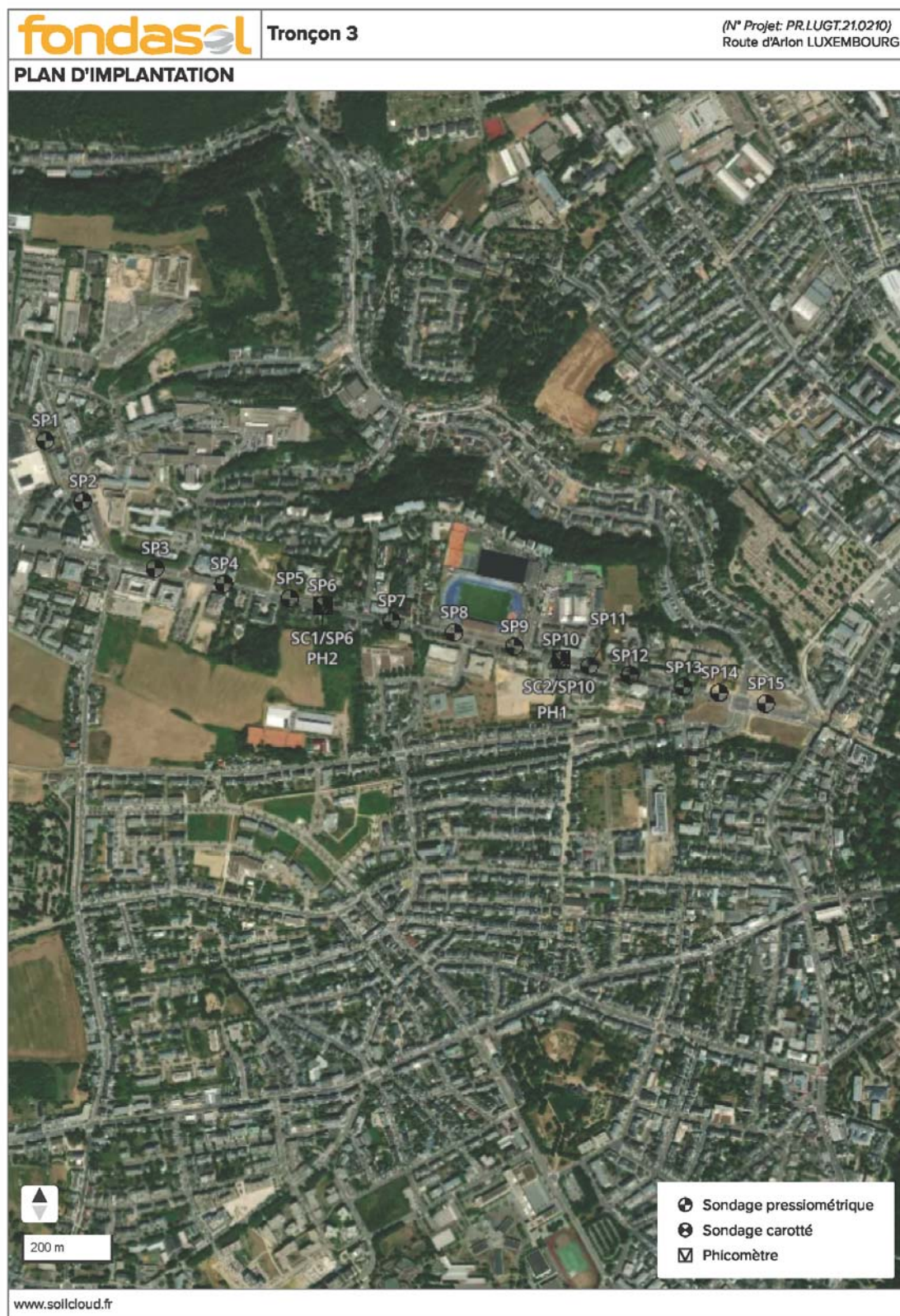
Février 2014

# ANNEXE N°I : PLAN DE SITUATION

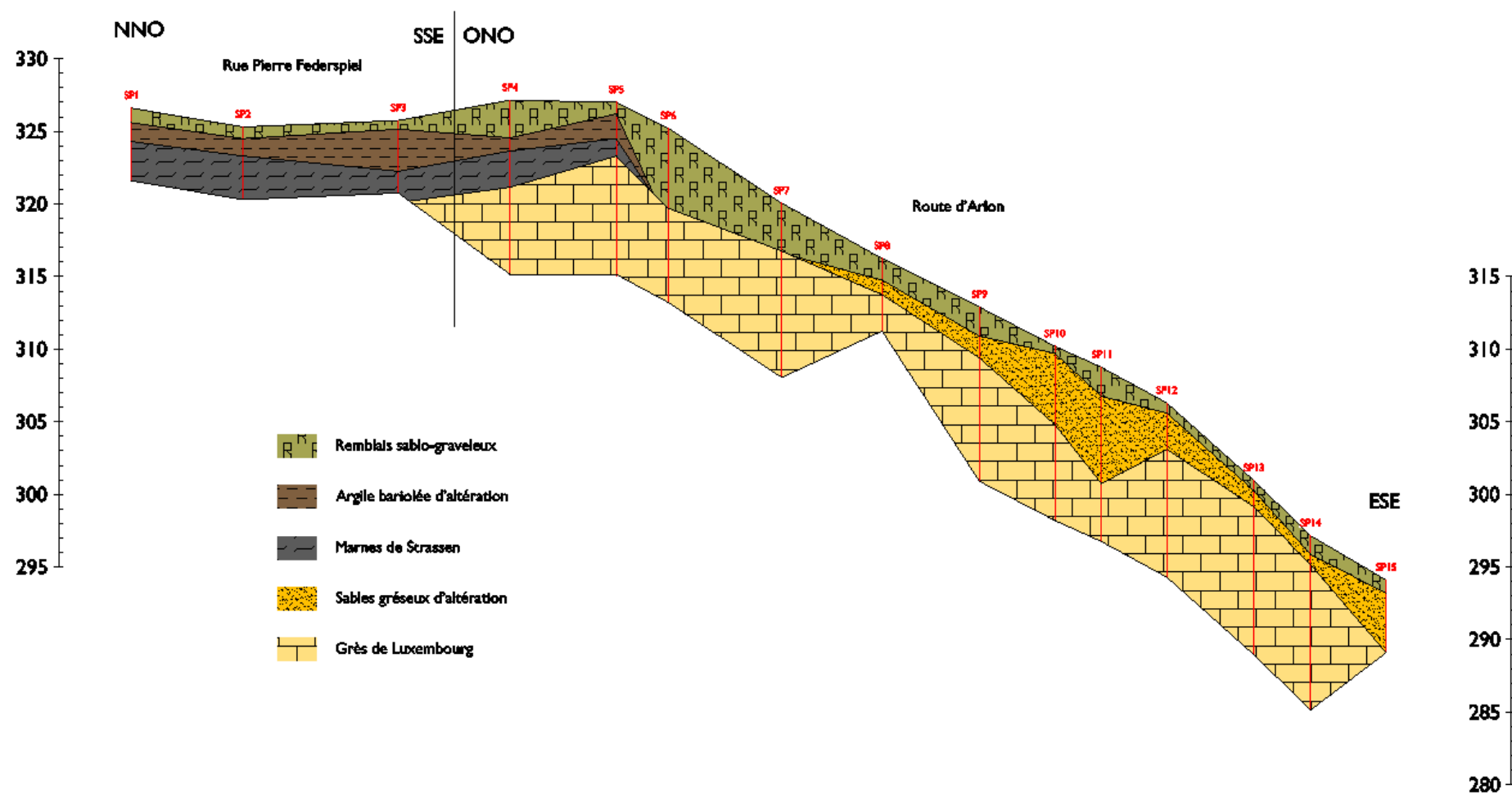




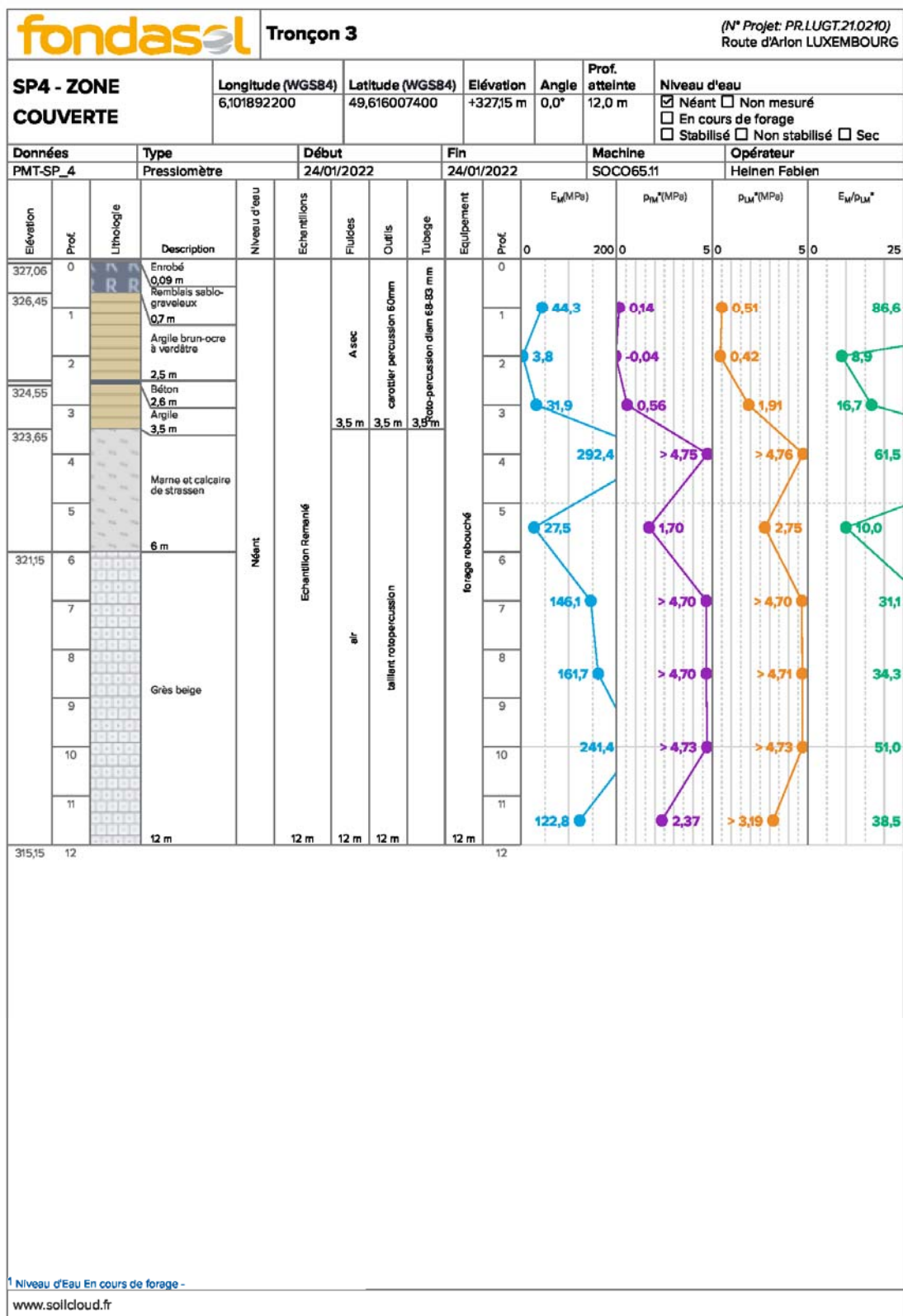
## ANNEXE N°2 : PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES





## ANNEXE N°3 : COUPE GEOLOGIQUE DES SONDAGES

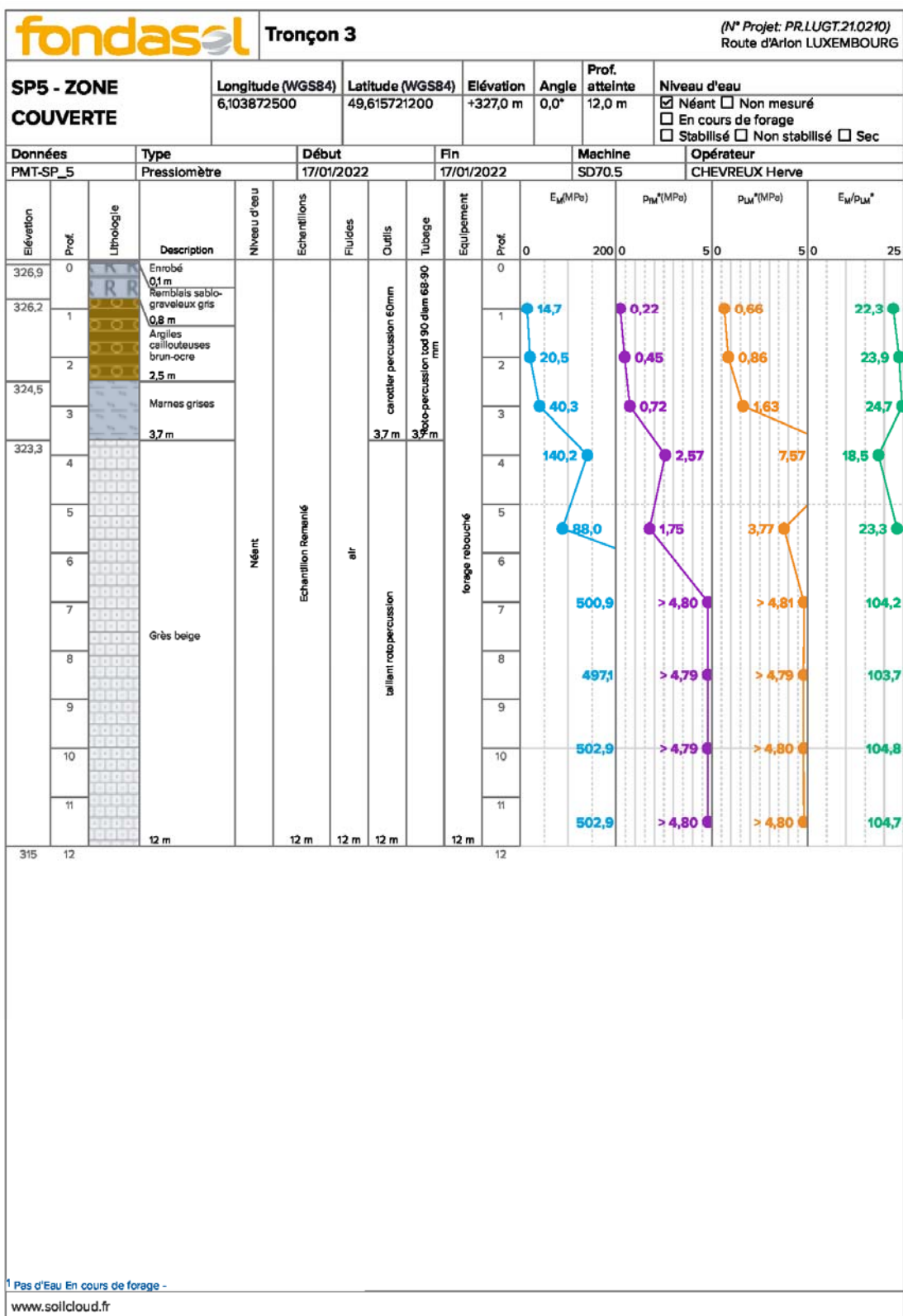


# ANNEXE N°4: COUPES DES SONDAGES « ZONE COUVERTE »

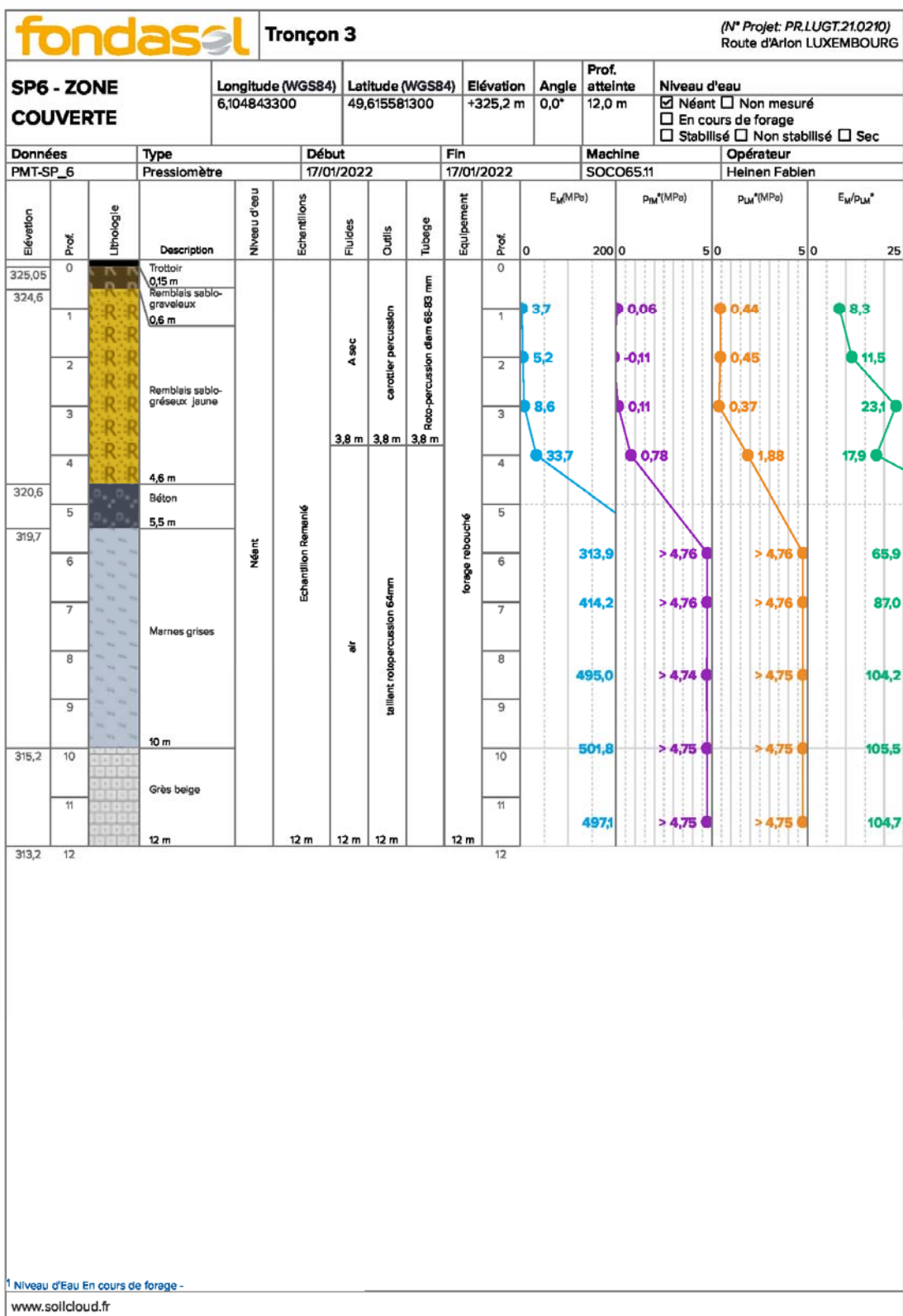




		<b>Tronçon 3</b>		(N° Projet: PR.LUGT.21.0210) Route d'Arion LUXEMBOURG	
<b>RAPPORT PHOTOGRAPHIQUE</b>					
<b>Sondage</b> SP4 - Zone couverte		<b>Type</b> Carotté	<b>Elévation</b> +327,15 m	<b>Prof. atteinte</b> 12,0 m	
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border-left: 1px dashed black; border-right: 1px dashed black; padding: 0 10px; text-align: center;">           0,0 m         </div> <div style="flex-grow: 1; position: relative;">  </div> <div style="border-left: 1px dashed black; border-right: 1px dashed black; padding: 0 10px; text-align: center;">           2,0 m         </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;"> <b>SP4</b> </div>					
<div style="position: absolute; bottom: 10px; left: 10px;"> <a href="http://www.solcloud.fr">www.solcloud.fr</a> </div>					



<b>fondasol</b>		<b>Tronçon 3</b>		(N° Projet: PR.LUGT.21.0210) Route d'Arlon LUXEMBOURG	
<b>RAPPORT PHOTOGRAPHIQUE</b>					
<b>Sondage</b> SP5 - Zone couverte		<b>Type</b> Carotté		<b>Elévation</b> +327,0 m	
				<b>Prof. atteinte</b> 12,0 m	
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border-left: 1px dashed black; border-right: 1px dashed black; padding: 0 10px; text-align: center;">           0,0 m         </div> <div style="flex-grow: 1; text-align: center;"> </div> <div style="border-left: 1px dashed black; border-right: 1px dashed black; padding: 0 10px; text-align: center;">           2,0 m         </div> </div> <p style="text-align: center; margin-top: 10px;">SP5</p>					
<a href="http://www.solcloud.fr">www.solcloud.fr</a>					

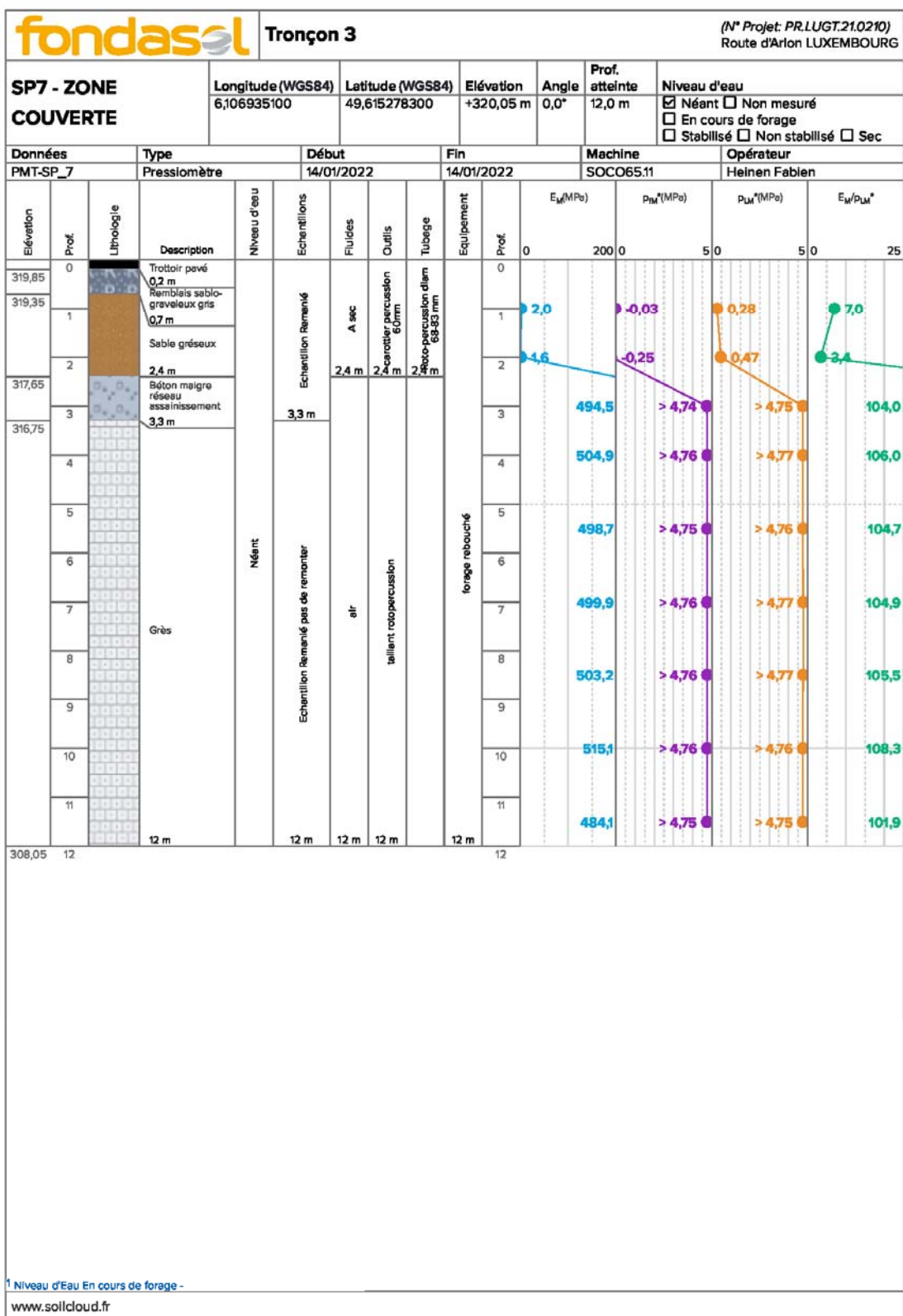




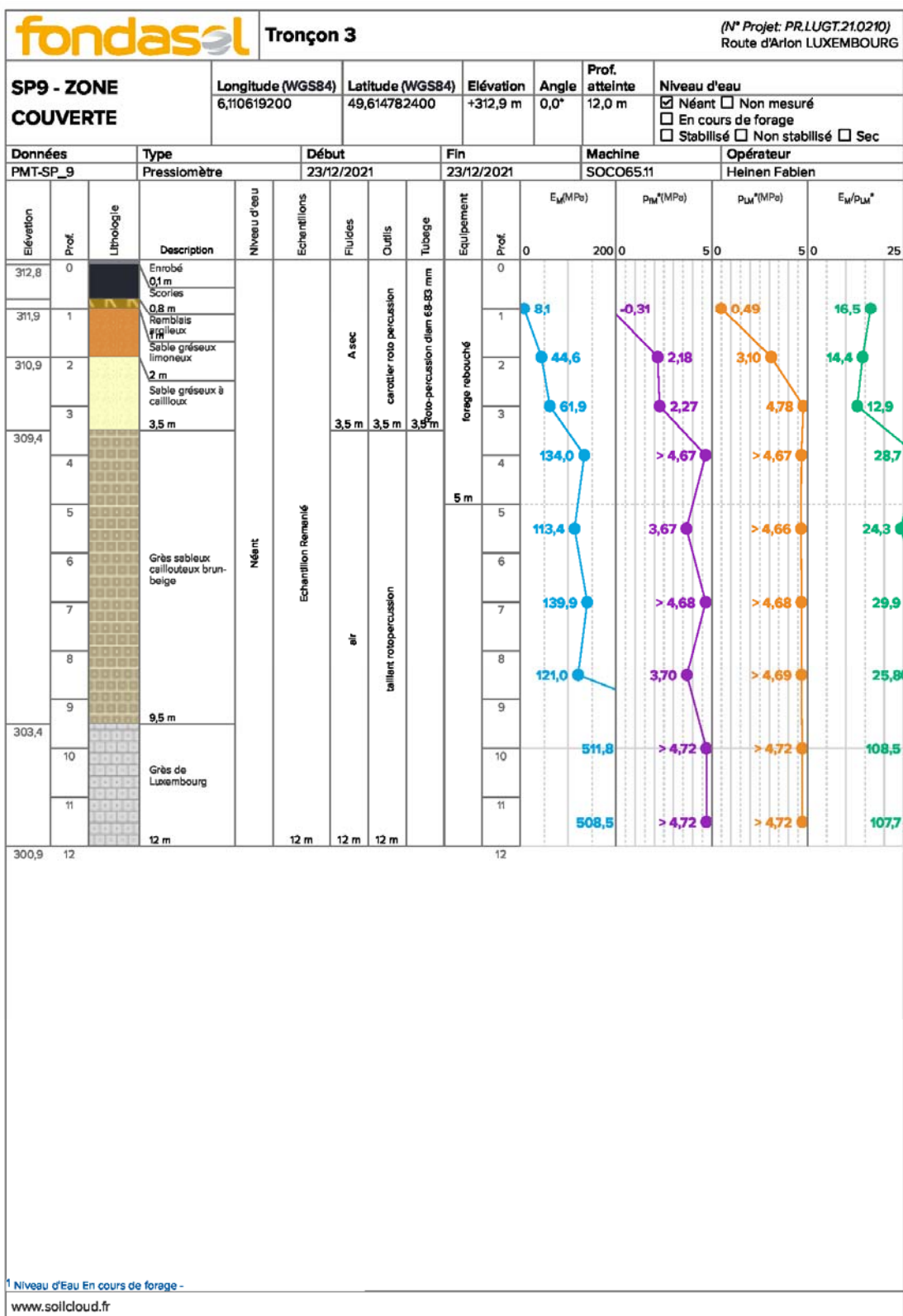
fondasol		Tronçon 3		(N° Projet: PR.LUGT.21.0210) Route d'Arlon LUXEMBOURG	
RAPPORT PHOTOGRAPHIQUE					
Sondage		Type	Elévation	Prof. atteinte	
SP6 - Zone couverte		Carotté	+325,2 m	12,0 m	
0,0 m					2,0 m
2,0 m					4,0 m
4,0 m					6,0 m
<p>www.soilcloud.fr</p>					

<b>fondasol</b>		<b>Tronçon 3</b>		(N° Projet: PR.LUGT.21.0210) Route d'Arlon LUXEMBOURG	
<b>RAPPORT PHOTOGRAPHIQUE</b>					
<b>Sondage</b> SP6 - Zone couverte		<b>Type</b> Carotté	<b>Elévation</b> +325,2 m	<b>Prof. atteinte</b> 12,0 m	
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 15%;"> </div> <div style="width: 60%;"> <p>             DATE: 25/10/12              CHANTIER: LUXTRAM - 315 ARlon              AFFAIRE n°: PR. LUX 21.0210              FORAGE n°: SC 6           </p> </div> <div style="width: 20%;"> <p>             PROFONDEUR de: 8,00 m              à: 8,00 m              CAISSE n°: 4 15           </p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 10px;"> <div style="width: 15%;">6,0 m</div> <div style="width: 70%; text-align: center;"> </div> <div style="width: 15%;">8,0 m</div> </div> <p style="text-align: center; margin-top: 5px;">SP6</p> <hr/> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 15%;"> </div> <div style="width: 60%;"> <p>             DATE: 25/10/12              CHANTIER: LUXTRAM - 315 ARlon              AFFAIRE n°: PR. LUX 21.0210              FORAGE n°: SC 6           </p> </div> <div style="width: 20%;"> <p>             PROFONDEUR de: 8,00 m              à: 10,00 m              CAISSE n°: 5 15           </p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 10px;"> <div style="width: 15%;">8,0 m</div> <div style="width: 70%; text-align: center;"> </div> <div style="width: 15%;">10,0 m</div> </div> <p style="text-align: center; margin-top: 5px;">SP6</p> <div style="height: 200px; border: 1px solid black; margin-top: 20px;"></div>					
<a href="http://www.solcloud.fr">www.solcloud.fr</a>					

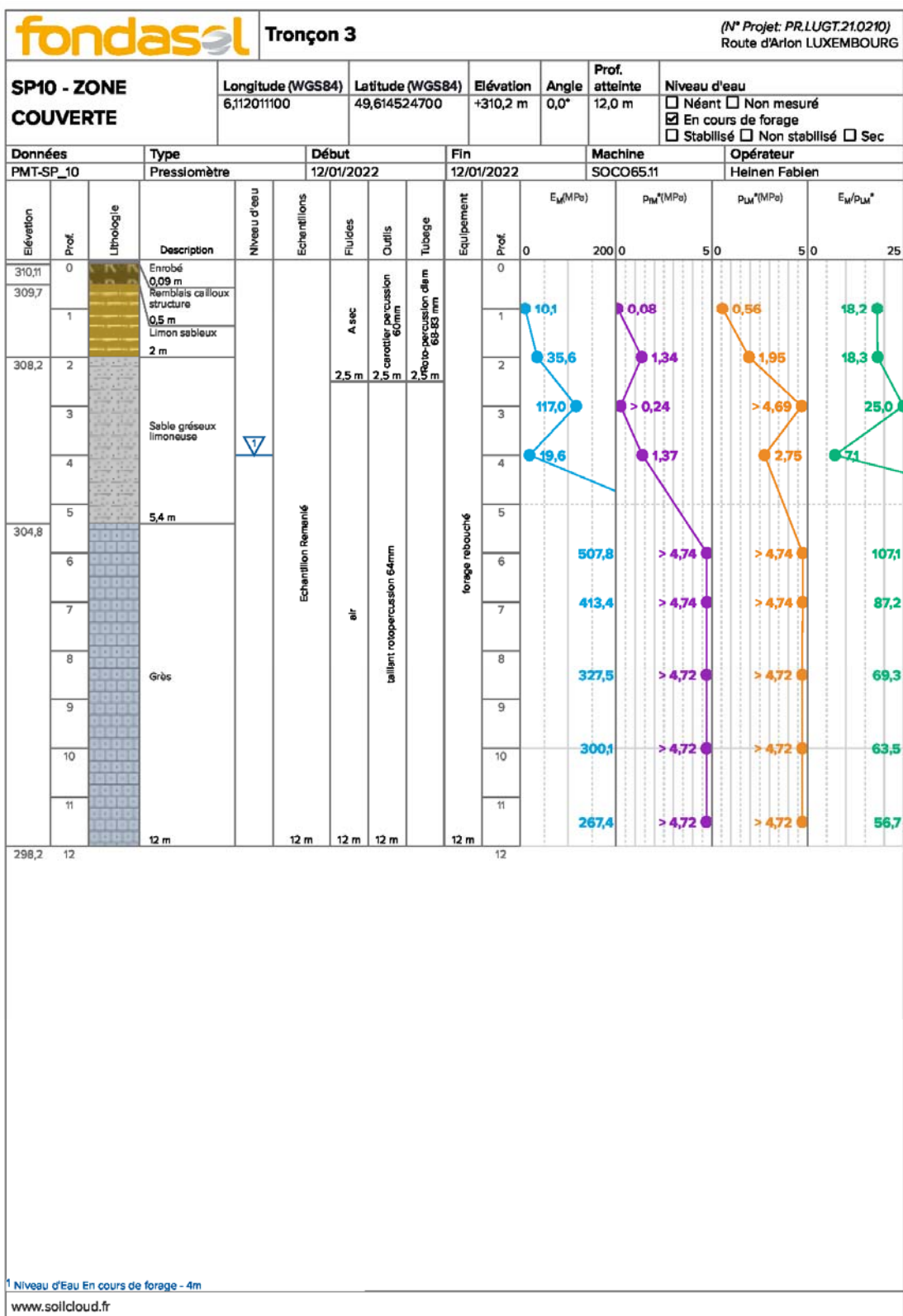







<b>fondasol</b>		<b>Tronçon 3</b>		(N° Projet: PR.LUGT.21.0210) Route d'Arion LUXEMBOURG	
<b>RAPPORT PHOTOGRAPHIQUE</b>					
<b>Sondage</b> SP7 - Zone couverte		<b>Type</b> Carotté		<b>Elévation</b> +320,05 m	
				<b>Prof. atteinte</b> 12,0 m	
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border-left: 1px dashed black; padding-left: 10px; text-align: center;">0,0 m</div> <div style="flex-grow: 1; text-align: center;"> </div> <div style="border-right: 1px dashed black; padding-right: 10px; text-align: center;">2,0 m</div> </div>					
<b>SP7</b>					
<a href="http://www.soilcloud.fr">www.soilcloud.fr</a>					



		<b>Tronçon 3</b>		(N° Projet: PR.LUGT.21.0210) Route d'Arlon LUXEMBOURG	
<b>RAPPORT PHOTOGRAPHIQUE</b>					
<b>Sondage</b> SP9 - Zone couverte		<b>Type</b> Carotté	<b>Elévation</b> +312,9 m	<b>Prof. atteinte</b> 12,0 m	
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border-left: 1px dashed black; border-right: 1px dashed black; padding: 0 10px; text-align: center;"> <div style="margin-bottom: 5px;">0,0 m</div>  <div style="margin-top: 5px;">2,0 m</div> </div> <div style="margin-left: 10px; text-align: center;"> <b>SP9</b> </div> </div>					
<a href="http://www.soilcloud.fr">www.soilcloud.fr</a>					

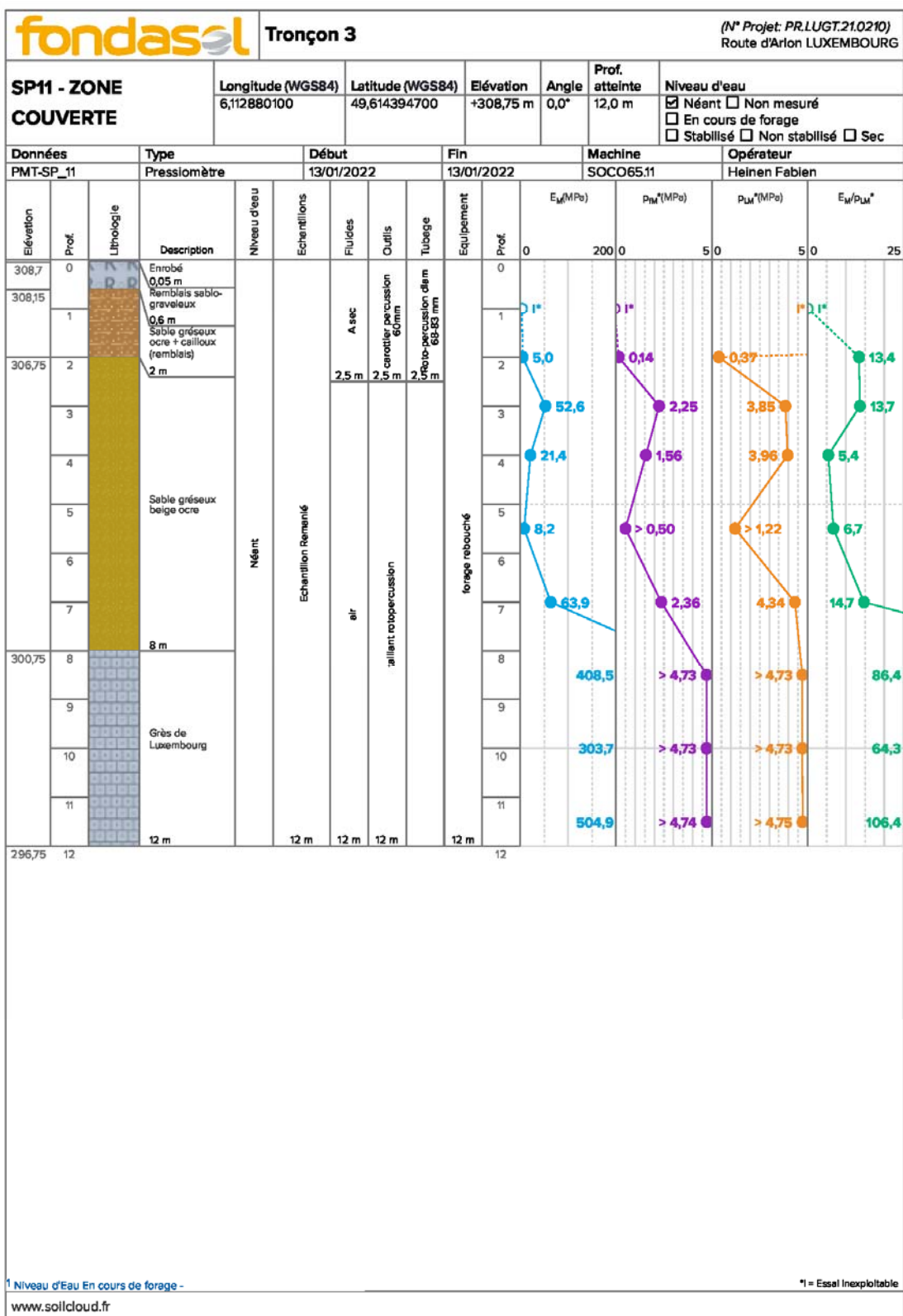




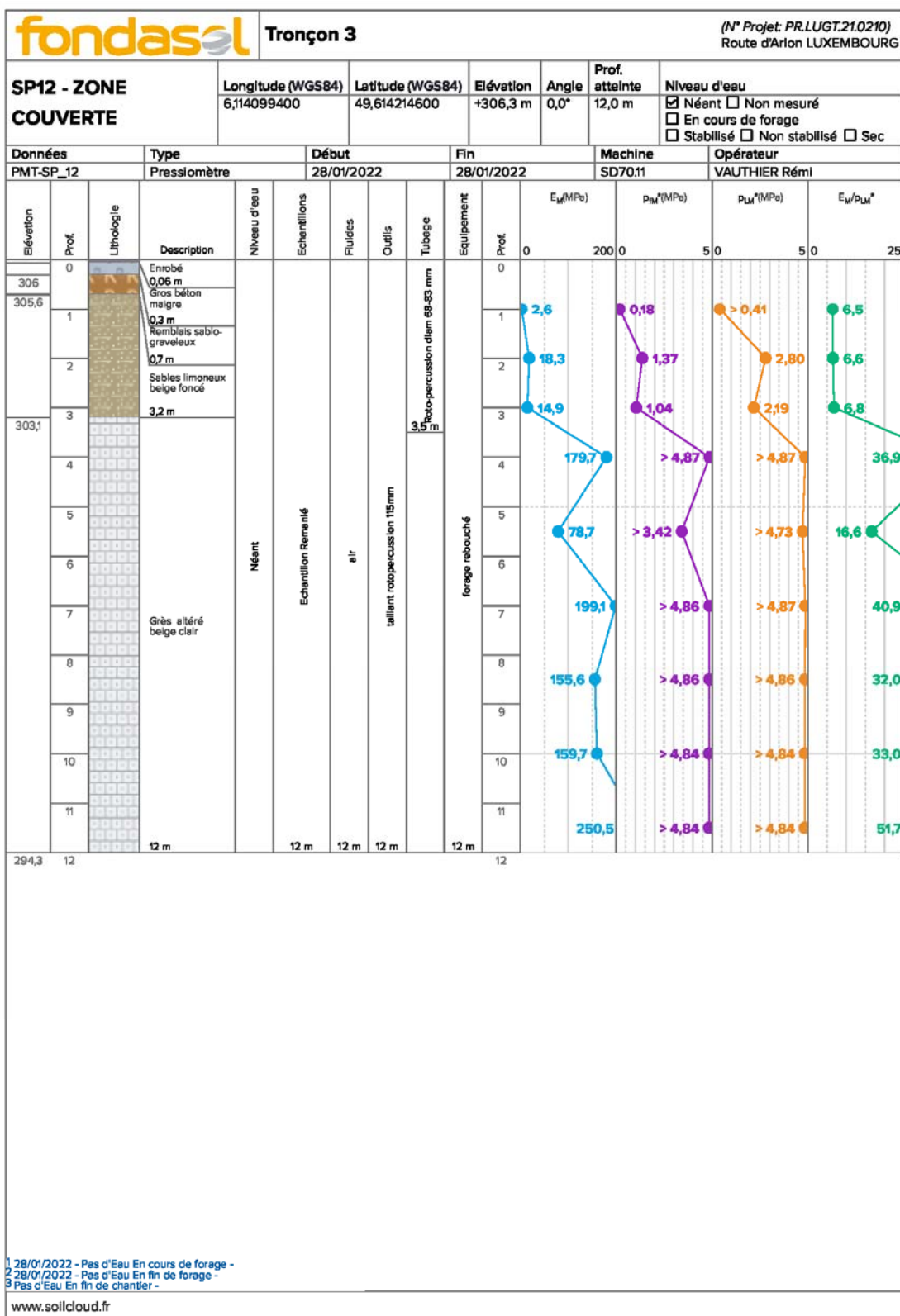
fondasol		Tronçon 3		(N° Projet: PR.LUGT.21.0210) Route d'Arion LUXEMBOURG	
RAPPORT PHOTOGRAPHIQUE					
Sondage		Type	Elévation	Prof. atteinte	
SP10 - Zone couverte		Carotté	+310,2 m	12,0 m	
0,0 m					3,0 m
SP10					
3,0 m					6,0 m
SP10					
6,0 m					9,0 m
SP10					
www.solcloud.fr					















<b>fondasol</b>		<b>Tronçon 3</b>		(N° Projet: PR.LUGT.21.0210) Route d'Arlon LUXEMBOURG	
<b>RAPPORT PHOTOGRAPHIQUE</b>					
<b>Sondage</b> SP10 - Zone couverte		<b>Type</b> Carotté		<b>Elévation</b> +310,2 m	
				<b>Prof. atteinte</b> 12,0 m	
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-right: 10px;">         9,0 m       </div> <div style="flex-grow: 1; position: relative;"> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-left: 10px;">         10,0 m       </div> </div>					
SP10					
<a href="http://www.solcloud.fr">www.solcloud.fr</a>					



<b>fondasol</b>		<b>Tronçon 3</b>		(N° Projet: PR.LUGT.21.0210) Route d'Arlon LUXEMBOURG	
<b>RAPPORT PHOTOGRAPHIQUE</b>					
<b>Sondage</b> SP11 - Zone couverte		<b>Type</b> Carotté		<b>Elévation</b> +308,75 m	
				<b>Prof. atteinte</b> 12,0 m	
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border-left: 1px dashed black; border-right: 1px dashed black; padding: 0 10px; text-align: center;"> <div style="margin-bottom: 10px;">0,0 m</div> <div style="margin-top: 10px;">2,0 m</div> </div> <div style="margin-left: 10px; text-align: center;"> <p>SP11</p> </div> </div>					
<a href="http://www.solcloud.fr">www.solcloud.fr</a>					



fondasol		Tronçon 3				(N° Projet: PR.LUGT.21.0210) Route d'Arion LUXEMBOURG								
SP13 - ZONE COUVERTE		Longitude (WGS84) 6,115708700	Latitude (WGS84) 49,613976700	Elévation +300,95 m	Angle 0,0°	Prof. atteinte 12,0 m	Niveau d'eau <input checked="" type="checkbox"/> Néant <input type="checkbox"/> Non mesuré <input type="checkbox"/> En cours de forage <input type="checkbox"/> Stabilisé <input type="checkbox"/> Non stabilisé <input type="checkbox"/> Sec							
Données		Type	Début		Fin		Machine		Opérateur					
PMT-SP13		Pressiomètre	22/12/2021		22/12/2021		SOCO65.11		Heinen Fabien					
Elévation	Prof.	Lithologie	Description	Niveau d'eau	Echantillons	Fluides	Outils	Tubage	Equipement	Prof.	$E_M$ (MPa)	$P_M$ (MPa)	$P_{UM}$ (MPa)	$E_M/P_{UM}$ *
300,65	0		Enrobé 0,06 m							0				
300,25	1		Béton 0,3 m			A sec	carotier	60mm		1				
299,15	2		Remblais sablo-graveleux de laitières de HF 0,7 m			2 m	2	Perçusion	140-160 mm diam 63-83 mm	2	219,9	> 4,75	> 4,76	46,2
	3		Sable graveleux brun 1,8 m							3				
	4		Grès beige peu fracturé							4				
	5		Grès beige peu fracturé							5				
	6		Grès beige peu fracturé							6				
	7		Grès beige peu fracturé							7				
	8		Grès beige peu fracturé							8				
	9		Grès beige peu fracturé							9				
	10		Grès beige peu fracturé							10				
	11		Grès beige peu fracturé							11				
288,95	12									12				




\* Niveau d'Eau En cours de forage -

www.soilcloud.fr

<b>fondasol</b>		<b>Tronçon 3</b>		(N° Projet: PR.LUGT.21.0210) Route d'Arion LUXEMBOURG	
<b>RAPPORT PHOTOGRAPHIQUE</b>					
<b>Sondage</b> SP13 - Zone couverte		<b>Type</b> Carotté		<b>Elévation</b> +300,95 m	
				<b>Prof. atteinte</b> 12,0 m	
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border-left: 1px dashed black; border-right: 1px dashed black; padding: 0 10px; text-align: center;">           0,0 m         </div> <div style="flex-grow: 1; position: relative;"> </div> <div style="border-left: 1px dashed black; border-right: 1px dashed black; padding: 0 10px; text-align: center;">           2,0 m         </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 5px;"> <b>SP13</b> </div>					
<a href="http://www.solcloud.fr">www.solcloud.fr</a>					



fondasol			Tronçon 3					(N° Projet: PR.LUGT.21.0210) Route d'Arlon LUXEMBOURG				
<b>SC1/SP6 - ZONE COUVERTE</b>			Longitude (WGS84)	Latitude (WGS84)	Élévation	Angle	Prof. atteinte	Niveau d'eau				
			6,104843300	49,615581300	+325,2 m	0,0°	10,0 m	<input type="checkbox"/> Néant <input type="checkbox"/> Non mesuré <input type="checkbox"/> En cours de forage <input type="checkbox"/> Stabilisé <input type="checkbox"/> Non stabilisé <input type="checkbox"/> Sec				
Début		Fin		Machine		Opérateur						
17/01/2022		17/01/2022		SOCO65.11		Heinen Fabien						
Élévation	Prof.	Lithologie	Description				Niveau d'eau	Echantillons	Fluides	Outils	Tubage	Équipement
325,05	0		Pavé grisâtre				Echantillon Remanié	A sec	carotier roto percussion	carotier roto percussion	Roto-percussion diam 98-114 mm	pléomètre ouvert, jesse pvc
324,6	1		0,15 m Remblais sablo-graveleux gris									
	2		0,6 m Sable gréseux beige-ocre									
	3		3,8 m									
321,4	4		Béton									
320,6	5		4,6 m Marge grise									
319,7	6		5,5 m									
	7		Grès calcaire fin fracturé beige. Débit de roche en éléments décimétriques à pluri-décimétriques selon plan de litage généralement subhorizontaux et localement oblique. Passage plus fracturé à partir de 9,3 m de profondeur.									
	8											
	9											
315,2	10		10 m				10 m	10 m	10 m			
<p><sup>1</sup> Niveau d'Eau En cours de forage -</p> <p>www.soilcloud.fr</p>												

<b>fondasol</b>		<b>Tronçon 3</b>		(N° Projet: PR.LUGT.21.0210) Route d'Arion LUXEMBOURG	
<b>RAPPORT PHOTOGRAPHIQUE</b>					
<b>Sondage</b>		<b>Type</b>	<b>Elévation</b>	<b>Prof. atteinte</b>	
SC1 - Zone couverte		Carotté	+325,2 m	10,0 m	
0,0 m				2,0 m	
		Ref. 1			
2,0 m				4,0 m	
		Ref. 2			
4,0 m				6,0 m	
		Ref. 3			
www.soilcloud.fr					

<b>fondasol</b>		<b>Tronçon 3</b>		(N° Projet: PR.LUGT.21.0210) Route d'Arion LUXEMBOURG	
<b>RAPPORT PHOTOGRAPHIQUE</b>					
<b>Sondage</b> SC1 - Zone couverte		<b>Type</b> Carotté		<b>Elévation</b> +325,2 m	
				<b>Prof. atteinte</b> 10,0 m	
6,0 m					8,0 m
	Ref. 4				
8,0 m					10,0 m
	Ref. 5				
www.soilcloud.fr					

fondasol			Tronçon 3					(N° Projet: PR.LUGT.21.0210) Route d'Arlon LUXEMBOURG				
SC2/SP10 - ZONE COUVERTE			Longitude (WGS84)	Latitude (WGS84)	Élévation	Angle	Prof. atteinte	Niveau d'eau				
			6,112011100	49,614524700	+310,2 m	0,0°	10,0 m	<input type="checkbox"/> Néant <input type="checkbox"/> Non mesuré <input type="checkbox"/> En cours de forage <input type="checkbox"/> Stabilisé <input type="checkbox"/> Non stabilisé <input type="checkbox"/> Sec				
Début		Fin		Machine			Opérateur					
11/01/2022		11/01/2022		SOCO65.11			Heinen Fabien					
Élévation	Prof.	Lithologie	Description				Niveau d'eau	Echantillons	Fluides	Outils	Tubage	Équipement
310,11	0		Enrobé									
			0,09 m									
309,7			Remblais sablo-graveleux gris									
			0,5 m									
	1		Limon argilo-sableux brun-beige									
			2 m									
308,2	2											
	3											
	4		Sable gréseux beige-ocre									
	5		5,4 m									
304,8	6											
	7		Grès calcaire fin très fracturé beige									
	8		Débit de roche en éléments décimétriques selon plan de litage subhorizontaux.									
	9		Nombreuses fractures subhorizontales au carottage de 7.3m à 8.3 de profondeur.									
			10 m									
300,2	10											

1 Niveau d'Eau En cours de forage - 4m

www.soilcloud.fr



Sondage	Type	Elévation	Prof. atteinte
SC2/SP10 - Zone couverte	Carotté	+310,2 m	10,0 m

[www.soilcloud.fr](http://www.soilcloud.fr)



fondasol		Tronçon 3				(N° Projet: PR.LUGT.21.0210) Route d'Arlon LUXEMBOURG			
PHI 1	Longitude (WGS84)	Latitude (WGS84)	Élévation	Angle	Prof. atteinte	Niveau d'eau			
	6,117362000	49,357504000	+325,2 m	0,0°	10,0 m	<input type="checkbox"/> Néant <input type="checkbox"/> Non mesuré <input type="checkbox"/> En cours de forage <input type="checkbox"/> Stabilisé <input type="checkbox"/> Non stabilisé <input type="checkbox"/> Sec			
Début		Fin		Machine		Opérateur			
31/01/2022		31/01/2022		SOCO65.11		Heinen Fabien			
Élévation	Prof.	Lithologie	Description	Niveau d'eau	Echantillons	0,09 m	0,09 m	0,09 m	0,09 m
325,11	0		Enrobé						
324,7			Structure route calcaire						
	1		0,5 m						
			Limons sableux						
	2		2 m						
323,2									
	3								
	4		Sable gréseux						
	5		5,4 m						
319,8									
	6								
	7		Grès						
	8								
	9								
	10		10 m						
315,2									
<p>1 Niveau d'Eau En cours de forage - 4m</p> <p>www.soilcloud.fr</p>									

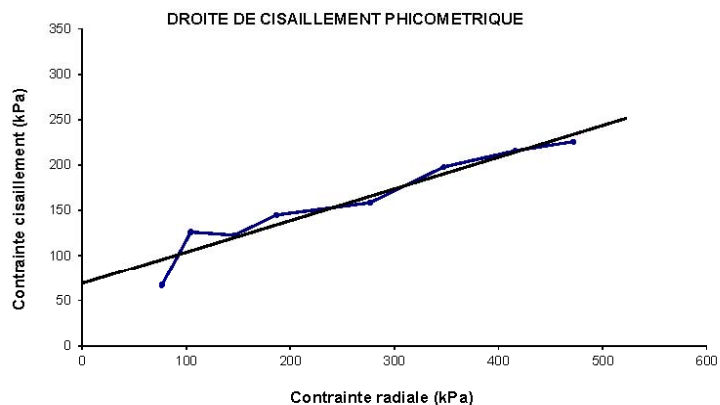
# **ESSAI DE CISAILLEMENT AU PHICOMETRE**

réalisé selon la norme XP P94-120

Phicomètre v4.2

FTQ 233-10

AFFAIRE N° : PR.LUGT.21.02.10  
 CHANTIER : Luxembourg - Tronçon 3  
 SONDAGE N° : PHI  
 DATE : 12/01/2022  
 PROFONDEUR ESSAI : 1.00 m  
 NATURE DU SOL : Limons sableux



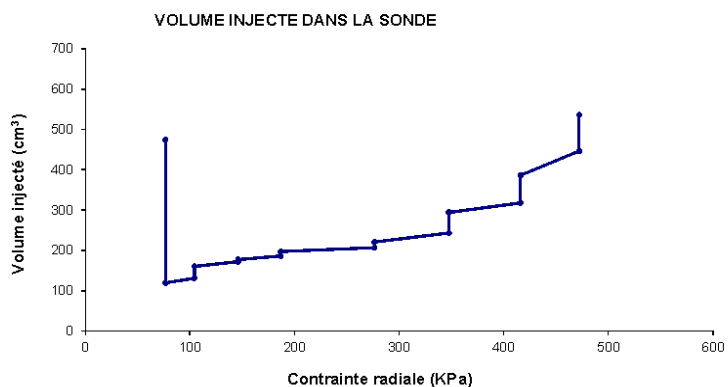
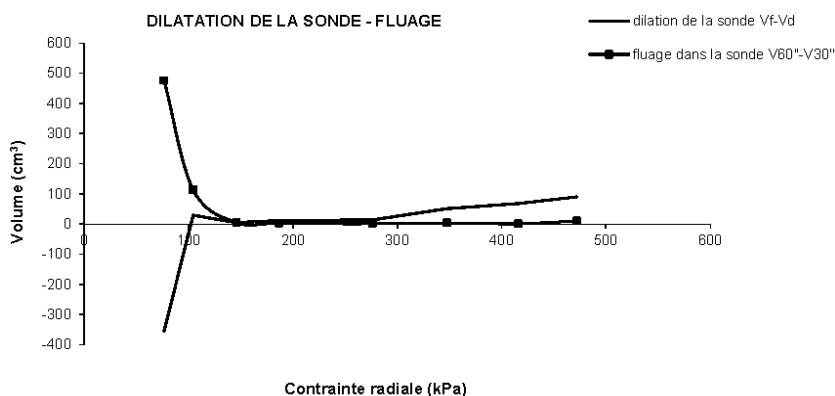
## **RESULTATS**

**Angle de frottement in-situ**

$$\phi_i = 19^\circ$$

**Cohésion in-situ**

$$c_i = 69 \text{ kPa}$$



## **OBSERVATIONS**

# **ESSAI DE CISAILLEMENT AU PHICOMETRE**

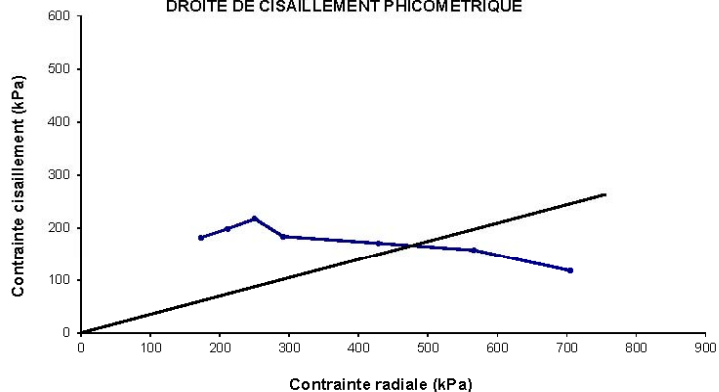
réalisé selon la norme XP P94-120

Phicomètre v4.2

FTQ 233-10

AFFAIRE N° : PR.LUGT.21.02.10  
 CHANTIER : Luxembourg - Tronçon 3  
 SONDAGE N° : PHI  
 DATE : 12/01/2022  
 PROFONDEUR ESSAI : 4.00 m  
 NATURE DU SOL : Sable

DROITE DE CISAILLEMENT PHICOMETRIQUE



## **RESULTATS**

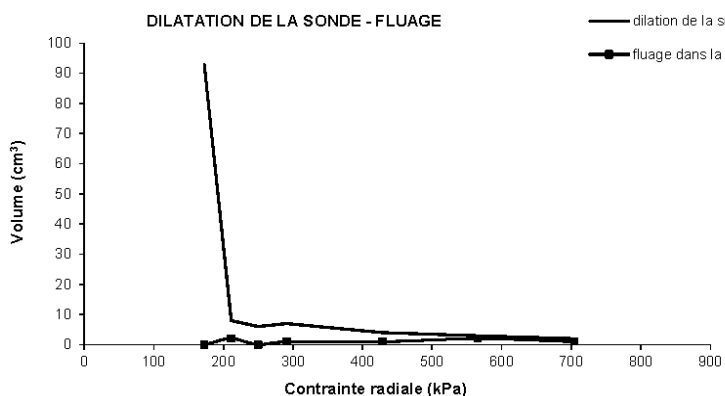
**Angle de frottement in-situ**

$$\phi_i = 19^\circ$$

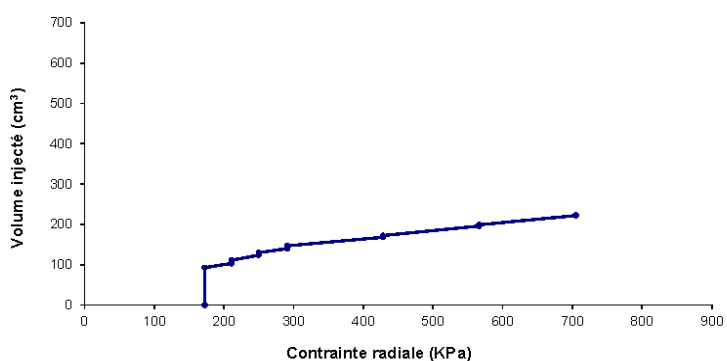
**Cohésion in-situ**

$$c_i = 0 \text{ kPa}$$

DILATATION DE LA SONDE - FLUAGE



VOLUME INJECTE DANS LA SONDE



## **OBSERVATIONS**

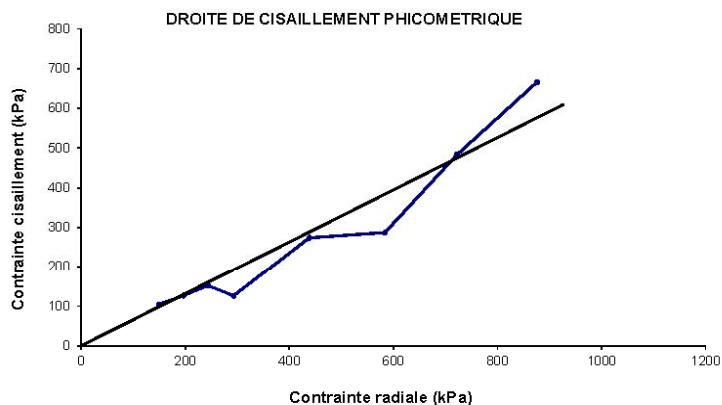
# **ESSAI DE CISAILLEMENT AU PHICOMETRE**

réalisé selon la norme XP P94-120

Phicomètre v4.2

FTQ 233-10

AFFAIRE N° : PR.LUGT.21.0210  
 CHANTIER : Luxembourg - Tronçon 3  
 SONDAGE N° : PHI  
 DATE : 13/01/2022  
 PROFONDEUR ESSAI : 7.00 m  
 NATURE DU SOL : Sable



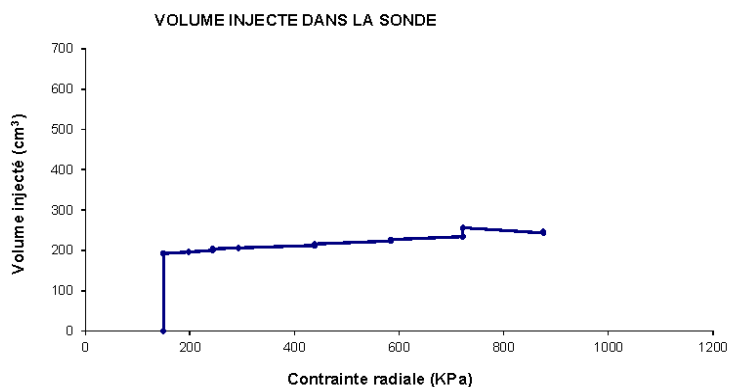
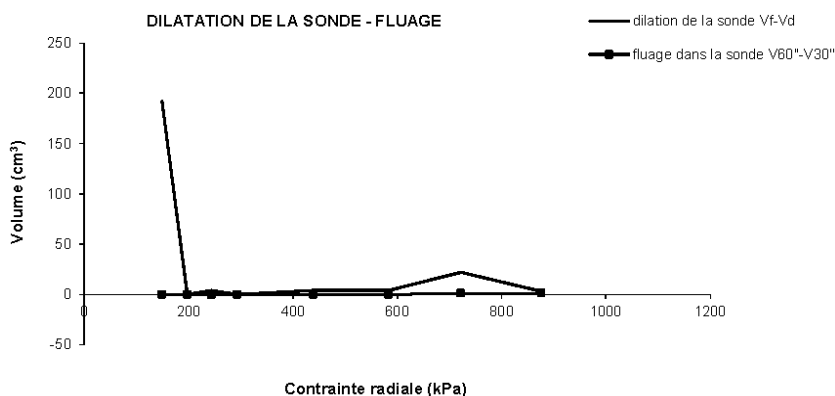
## **RESULTATS**

**Angle de frottement in-situ**

$$\phi_i = 33^\circ$$

**Cohésion in-situ**

$$c_i = 0 \text{ kPa}$$



## **OBSERVATIONS**

fondasol		Tronçon 3					(N° Projet: PR.LUGT.21.0210) Route d'Arion LUXEMBOURG			
<b>PHI 2</b>	Longitude (WGS84)	Latitude (WGS84)	Élévation	Angle	Prof. atteinte	Niveau d'eau				
	6,117396200	49,357521400	+310,2 m	0,0°	10,0 m	<input type="checkbox"/> Néant <input type="checkbox"/> Non mesuré <input type="checkbox"/> En cours de forage <input type="checkbox"/> Stabilisé <input type="checkbox"/> Non stabilisé <input type="checkbox"/> Sec				
Début		Fin		Machine		Opérateur				
31/01/2022		31/01/2022		SOCO65.11		Heinen Fabien				
Elévation	Prof.	Lithologie	Description	Niveau d'eau	Echantillons	Fluides	Outils	Tubage	Equipement	
310,05	0		Trottoir de grès			0,15 m	0,15 m			
309,6			Scories							
	1		0,6 m							
	2		Sable jaune							
	3		3,8 m							
306,4	4		Béton maigre réseau assainissement							
305,6			4,6 m			4,6 m	4,6 m	4,6 m		
	5		Argile mameuse							
304,7			5,5 m							
	6									
	7									
	8		Grès							
	9									
300,2	10		10 m							
<p>1 Niveau d'Eau En cours de forage -</p> <p>www.soilcloud.fr</p>										



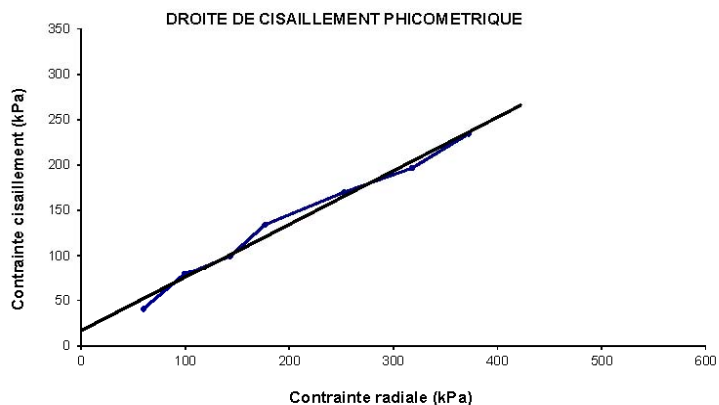
# **ESSAI DE CISAILLEMENT AU PHICOMETRE**

réalisé selon la norme XP P94-120

Phicomètre v4.2

FTQ 233-10

AFFAIRE N° : PR.LUGT.21.02.10  
 CHANTIER : Luxembourg - Tronçon 3  
 SONDAGE N° : PH2  
 DATE : 18/01/2022  
 PROFONDEUR ESSAI : 1.50 m  
 NATURE DU SOL : Sable



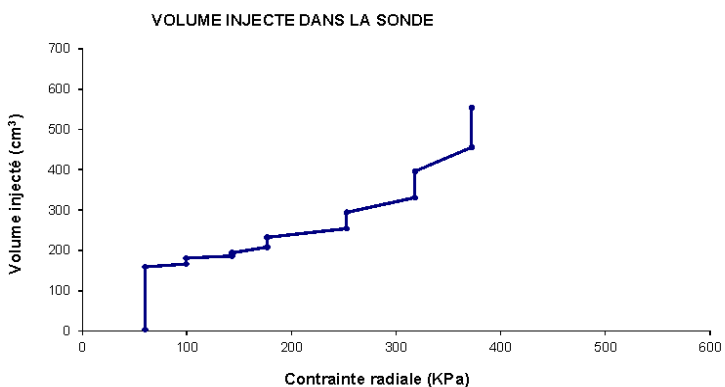
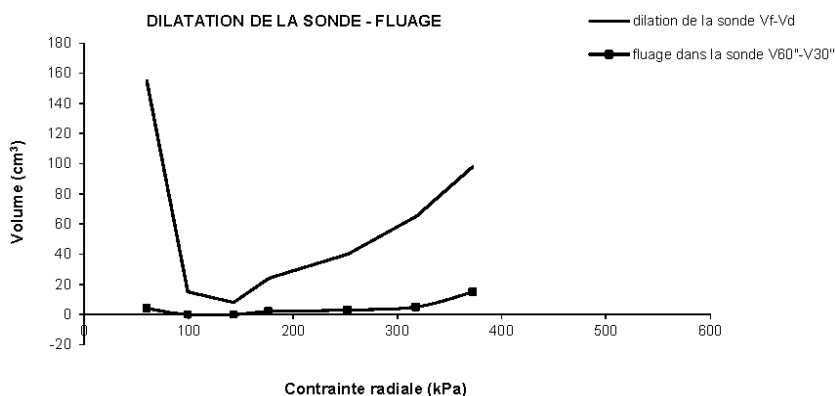
## **RESULTATS**

**Angle de frottement in-situ**

$$\phi_i = 31^\circ$$

**Cohésion in-situ**

$$c_i = 17 \text{ kPa}$$



## **OBSERVATIONS**

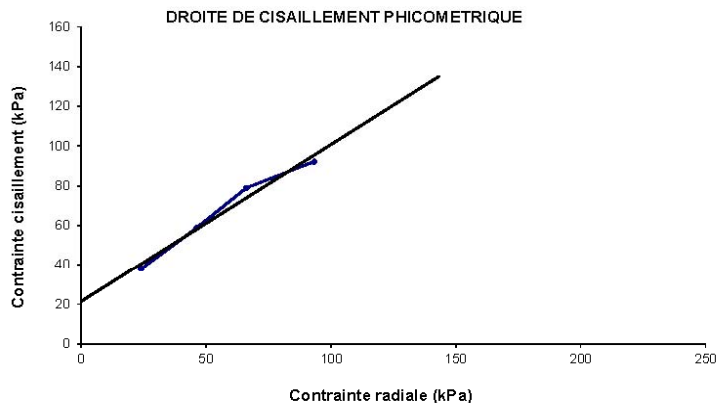
# **ESSAI DE CISAILLEMENT AU PHICOMETRE**

réalisé selon la norme XP P94-120

Phicomètre v4.2

FTQ 233-10

AFFAIRE N° : PR.LUGT.21.02.10  
 CHANTIER : Luxembourg - Tronçon 3  
 SONDAGE N° : PH2  
 DATE : 18/01/2022  
 PROFONDEUR ESSAI : 3.00 m  
 NATURE DU SOL : Sable



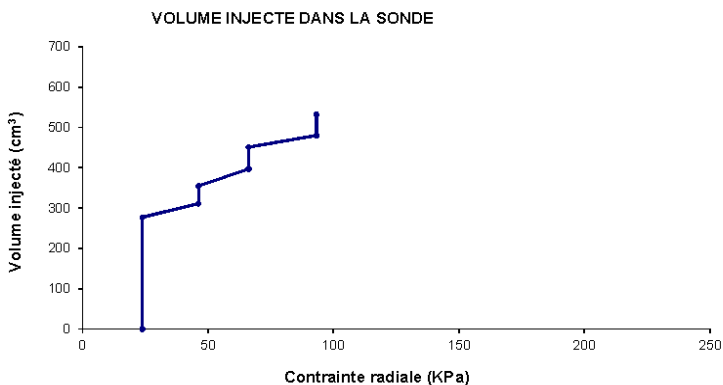
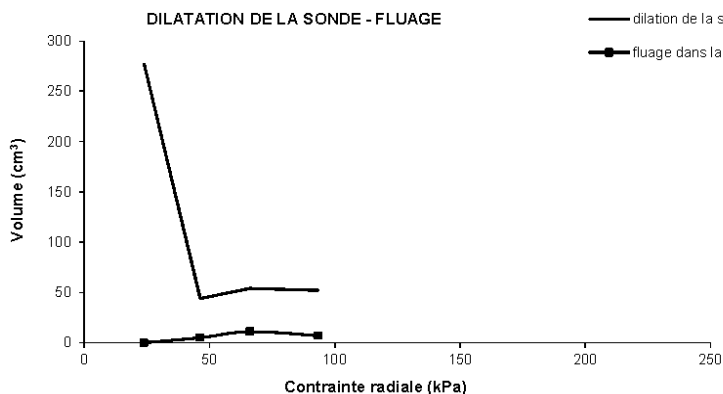
## **RESULTATS**

**Angle de frottement in-situ**

$$\phi_i = 38^\circ$$

**Cohésion in-situ**

$$c_i = 21 \text{ kPa}$$



## **OBSERVATIONS**

fondasol		Tronçon 3			(N° Projet: PR.LUGT.21.0210) Route d'Arion LUXEMBOURG	
<b>PHI 1</b>	Longitude (WGS84)	Latitude (WGS84)	Élévation	Angle	Prof. atteinte	Niveau d'eau
	6,117362000	49,357504000	+325,2 m	0,0°	10,0 m	<input type="checkbox"/> Néant <input type="checkbox"/> Non mesuré <input type="checkbox"/> En cours de forage <input type="checkbox"/> Stabilisé <input type="checkbox"/> Non stabilisé <input type="checkbox"/> Sec
Données	Type	Début		Fin		Machine
PHI 1	Piézomètre ouvert	31/01/2022		31/01/2022		SOCO65.11
						Opérateur
						Heinen Fabien

**Sondage**

Prof.	P	10,0 m
Diamètre	D	- mm

**Niveau d'eau**

En cours de forage	H <sub>w</sub>	5,5 m
Après équipement	H <sub>w</sub>	5,0 m

**Tube**

<input checked="" type="checkbox"/> PVC		
Diamètre intérieur	D <sub>i</sub>	51,0 mm
Diamètre extérieur	D <sub>e</sub>	60,0 mm
Crépines	Fente	1,0 mm
	De	1,0 à 10,0 m
Bouchon de fond	<input checked="" type="checkbox"/> Oui	
Hauteur hors sol	H <sub>t</sub>	0,0 m

**Mise en place**

Bouchon d'argile	De	0,0 à 0,7 m
Hauteur cimentation	De	- à - m
Gravier calibré	De	0,7 à 10,0 m
	- / -	mm
Chaussette	De	0,0 à 0,0 m

**Protection**

Tête métallique	<input checked="" type="checkbox"/> Non	
Cadenas	<input checked="" type="checkbox"/> Non	
Bouche à clef	<input checked="" type="checkbox"/> Oui	
Regard béton	<input checked="" type="checkbox"/> Non	
Diamètre protection	D <sub>p</sub>	80,0 mm
Hauteur hors sol	H <sub>p</sub>	0,0 m

www.solcloud.fr

<b>fondasol</b>		<b>Tronçon 3</b>		(N° Projet: PR.LUGT.21.0210) Route d'Arion LUXEMBOURG			
<b>SC2/SP11 - ZONE COUVERTE</b>		Longitude (WGS84)	Latitude (WGS84)	Élévation	Angle	Prof. atteinte	Niveau d'eau
		6,12011100	49,614524700	+310,2 m	0,0°	10,0 m	<input type="checkbox"/> Néant <input type="checkbox"/> Non mesuré <input type="checkbox"/> En cours de forage <input type="checkbox"/> Stabilisé <input type="checkbox"/> Non stabilisé <input type="checkbox"/> Sec
Données	Type	Début	Fin	Machine		Opérateur	
SC10	Piézomètre ouvert	11/01/2022	11/01/2022	SOCO65.11		Heinen Fabien	

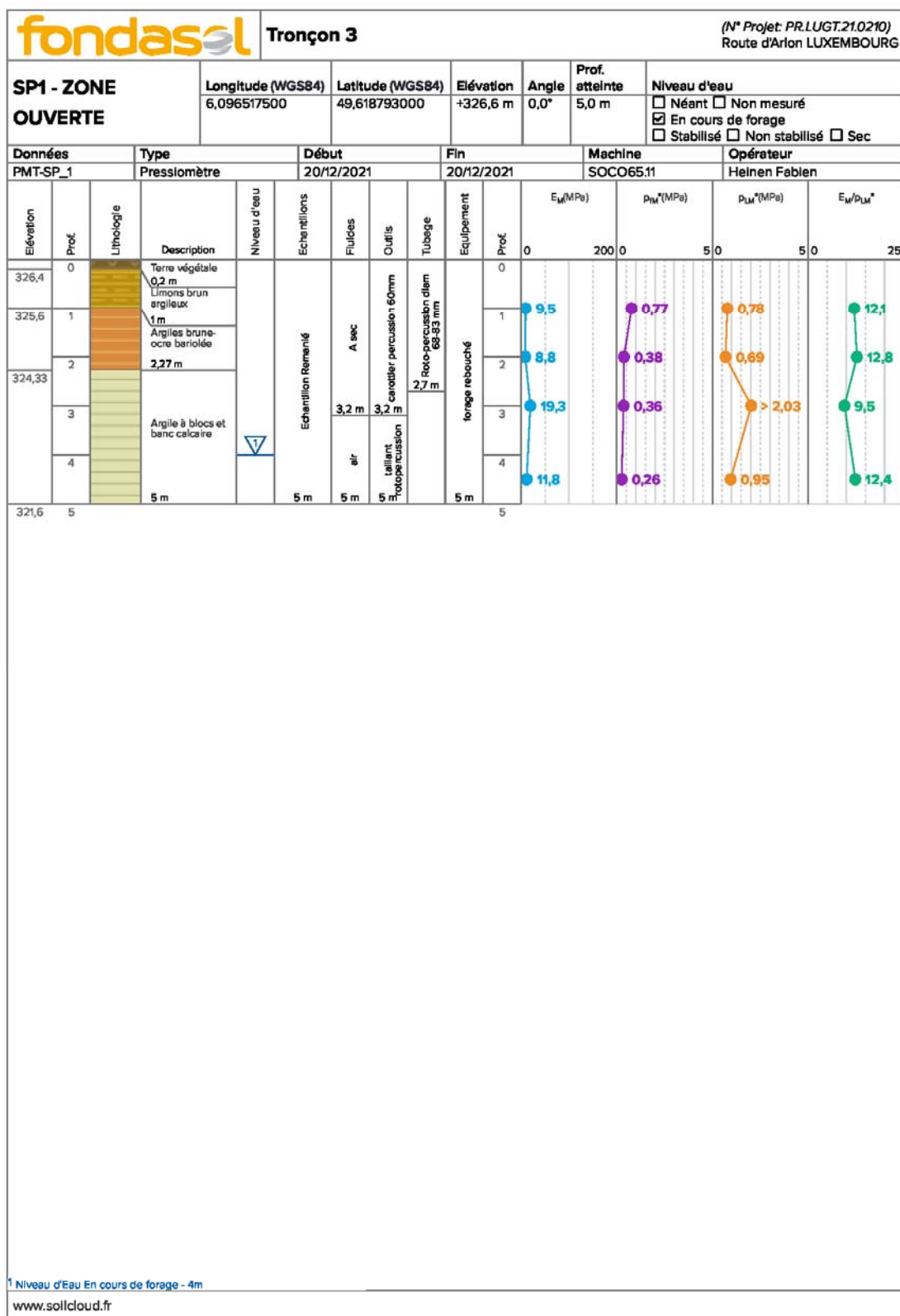
  

**Sondage**

Prof.	P	10,0 m
Diamètre	D	- mm
<b>Niveau d'eau</b>		
En cours de forage	H <sub>w</sub>	4,0 m
Après équipement	H <sub>w</sub>	4,0 m
<b>Tube</b>		
<input checked="" type="checkbox"/> PVC		
Diamètre intérieur	D <sub>i</sub>	51,0 mm
Diamètre extérieur	D <sub>e</sub>	60,0 mm
Crépines	Fente	1,0 mm
	De	1,0 à 10,0 m
Bouchon de fond	<input checked="" type="checkbox"/> Oui	
Hauteur hors sol	H <sub>t</sub>	0,0 m
<b>Mise en place</b>		
Bouchon d'argile	De	0,15 à 0,8 m
Hauteur cimentation	De - à -	m
Gravier calibré - / - mm	De	0,8 à 10,0 m
Chaussette	De	0,0 à 0,0 m
<b>Protection</b>		
Tête métallique	<input checked="" type="checkbox"/> Non	
Cadenas	<input checked="" type="checkbox"/> Non	
Bouche à clef	<input checked="" type="checkbox"/> Oui	
Regard béton	<input checked="" type="checkbox"/> Non	
Diamètre protection	D <sub>p</sub>	70,0 mm
Hauteur hors sol	H <sub>p</sub>	0,0 m

www.solcloud.fr

# ANNEXE N°5 : COUPES DES SONDAGES « ZONE OUVERTE »

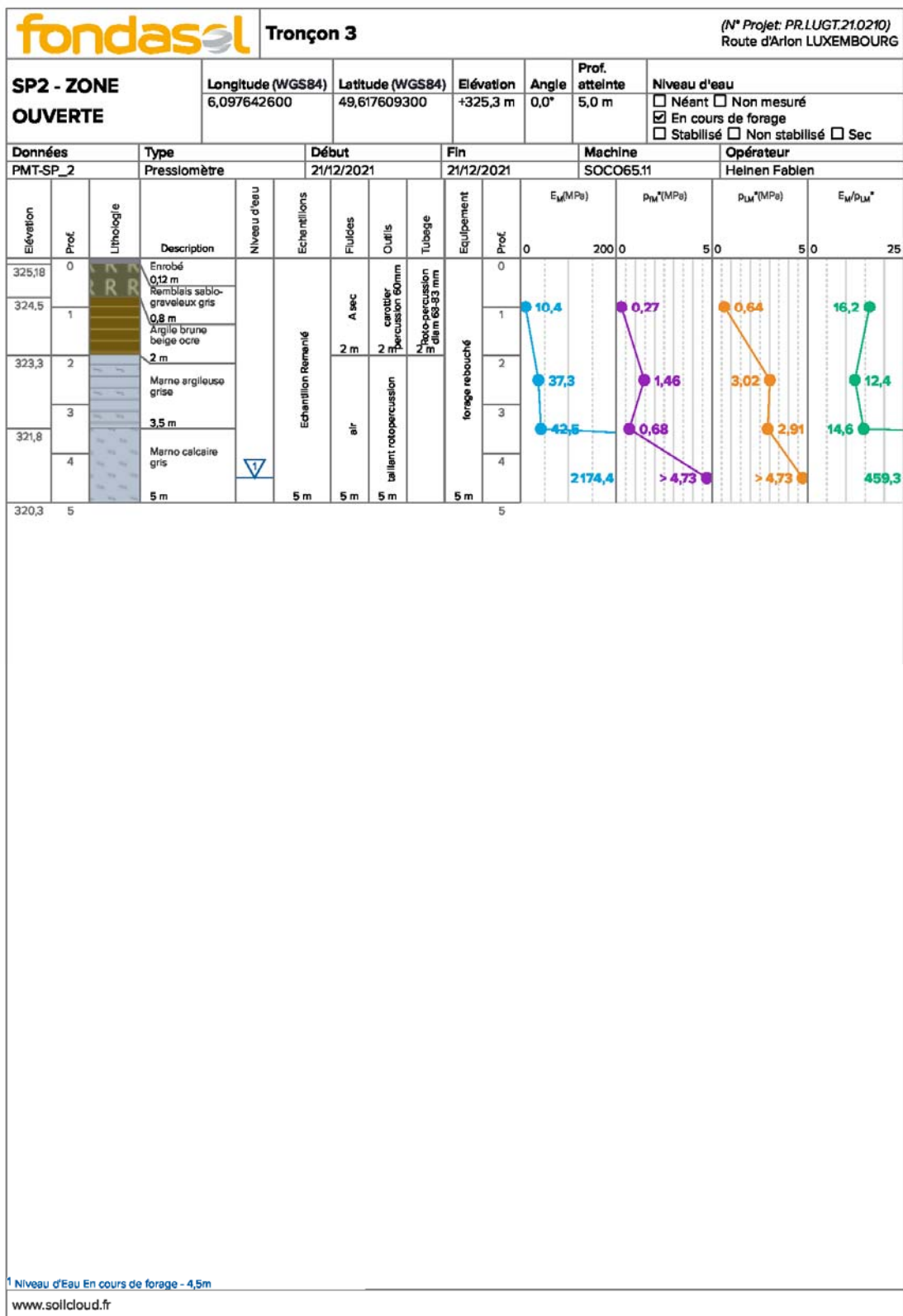






**RAPPORT PHOTOGRAPHIQUE**

Sondage	Type	Élévation	Prof. atteinte
SP1 - Zone ouverte	Carotté	+326,6 m	5,0 m



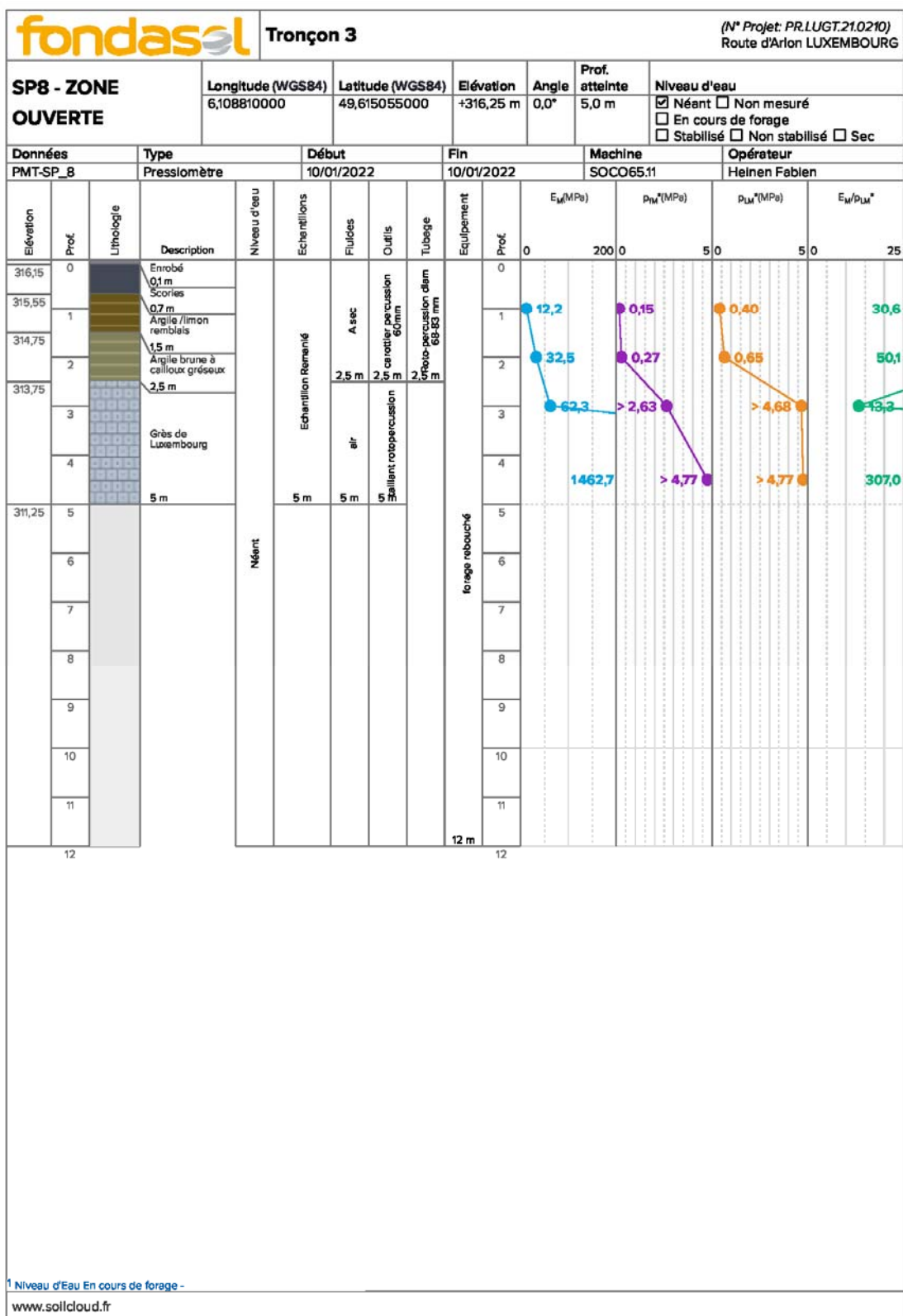




		<b>Tronçon 3</b>		(N° Projet: PR.LUGT.21.0210) Route d'Arion LUXEMBOURG	
<b>RAPPORT PHOTOGRAPHIQUE</b>					
<b>Sondage</b> SP2 - Zone ouverte		<b>Type</b> Carotté		<b>Elévation</b> +325,3 m	
				<b>Prof. atteinte</b> 5,0 m	
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1;">  </div> <div style="flex: 1; text-align: center;"> <p>0,0 m</p> <p>2,0 m</p> <p>SP2</p> </div> </div>					
<a href="http://www.solcloud.fr">www.solcloud.fr</a>					

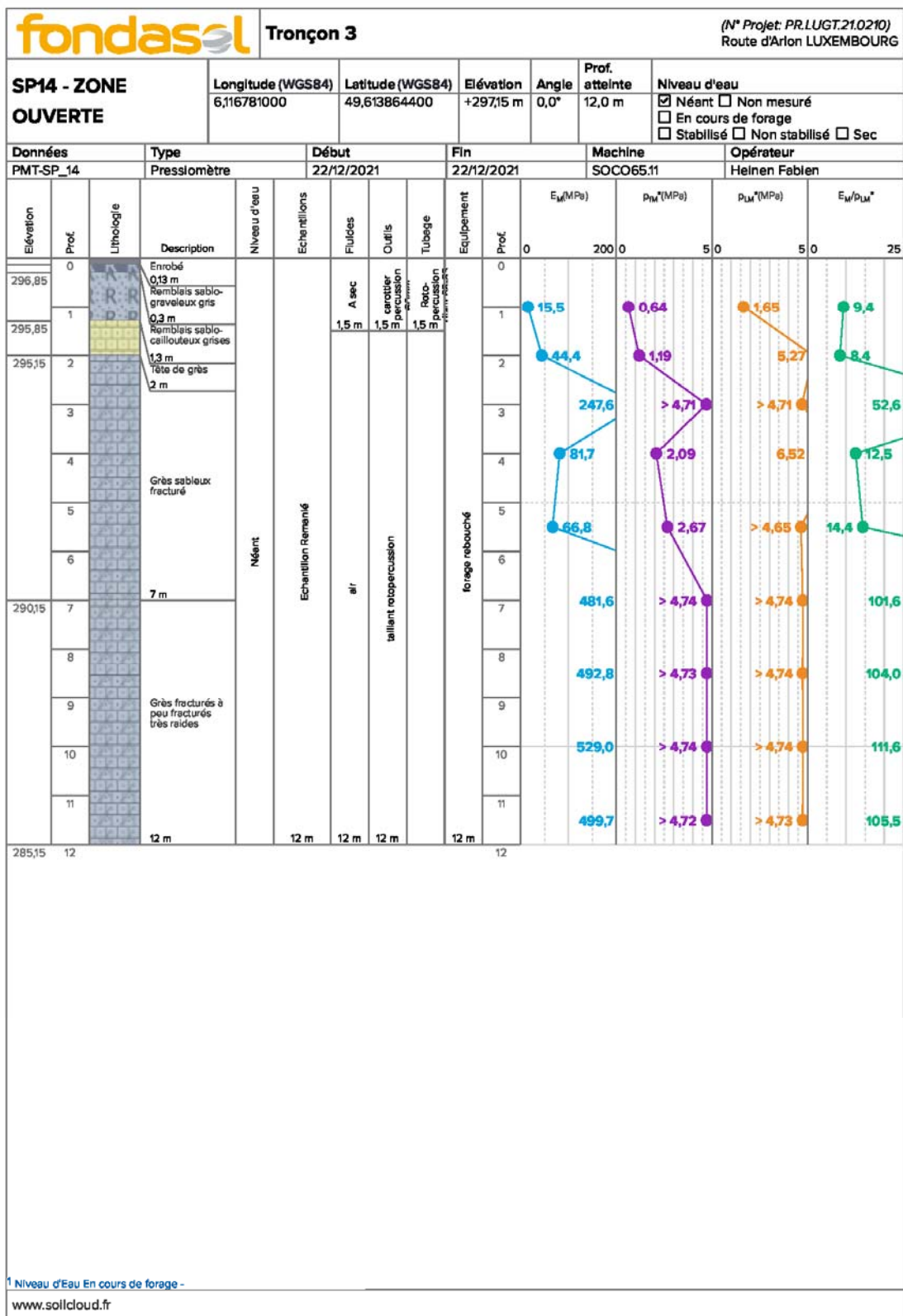




<b>fondasol</b>		<b>Tronçon 3</b>		(N° Projet: PR.LUGT.21.0210) Route d'Arion LUXEMBOURG	
<b>RAPPORT PHOTOGRAPHIQUE</b>					
<b>Sondage</b> SP3 - Zone ouverte		<b>Type</b> Carotté		<b>Elévation</b> +325,75 m	
				<b>Prof. atteinte</b> 5,0 m	
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg); margin-right: 10px;">0,0 m</div> <div style="writing-mode: vertical-rl; margin-left: 10px;">2,0 m</div> </div> <p style="text-align: center; margin-top: 10px;"><b>SP3</b></p>					
<a href="http://www.solcloud.fr">www.solcloud.fr</a>					

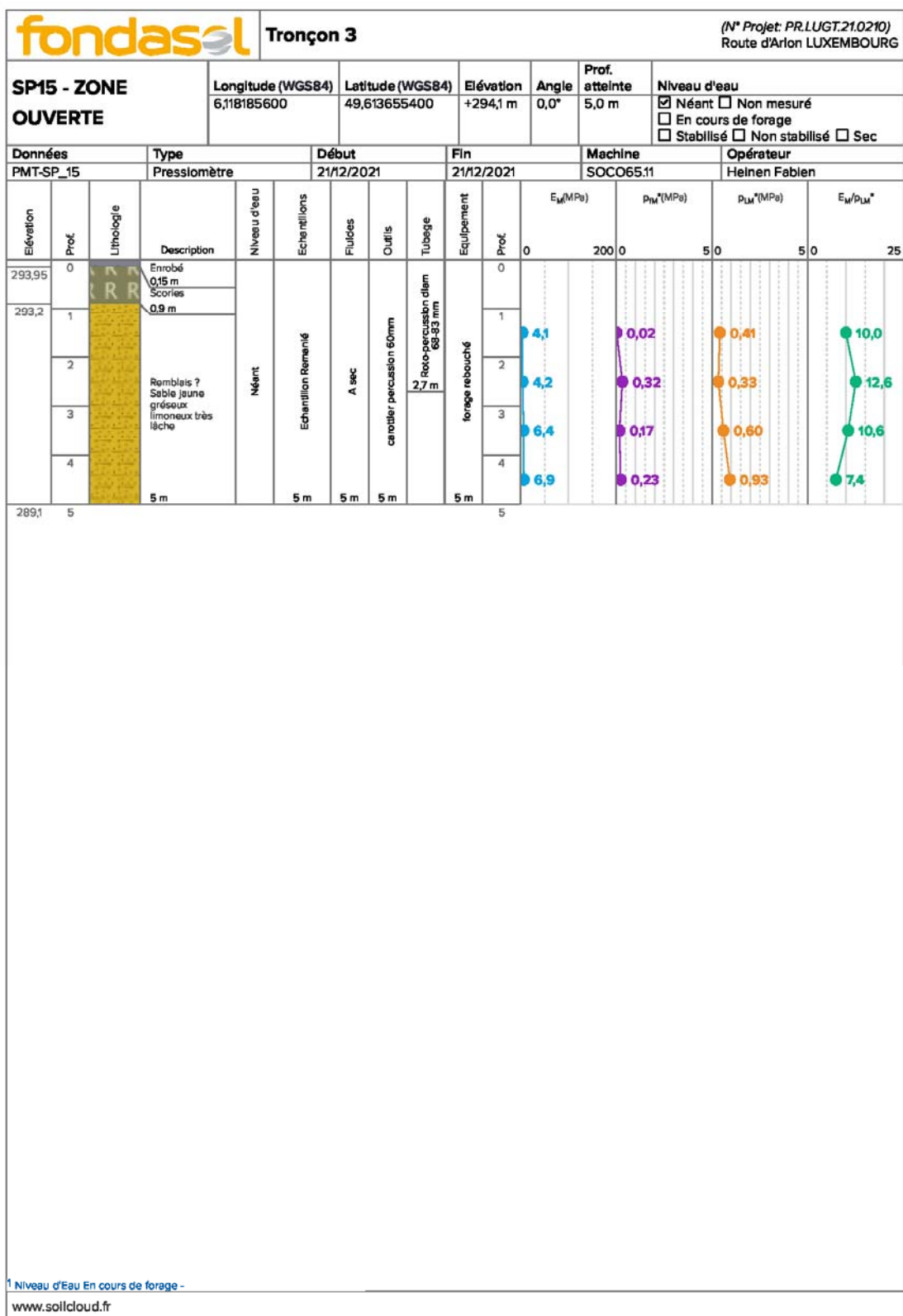






		<b>Tronçon 3</b>		(N° Projet: PR.LUGT.21.0210) Route d'Arlon LUXEMBOURG	
<b>RAPPORT PHOTOGRAPHIQUE</b>					
<b>Sondage</b> SP8 - Zone ouverte		<b>Type</b> Carotté		<b>Elévation</b> +316,25 m	
				<b>Prof. atteinte</b> 5,0 m	
0,0 m				2,0 m	
SP8					
<div style="text-align: right;">www.solcloud.fr</div>					




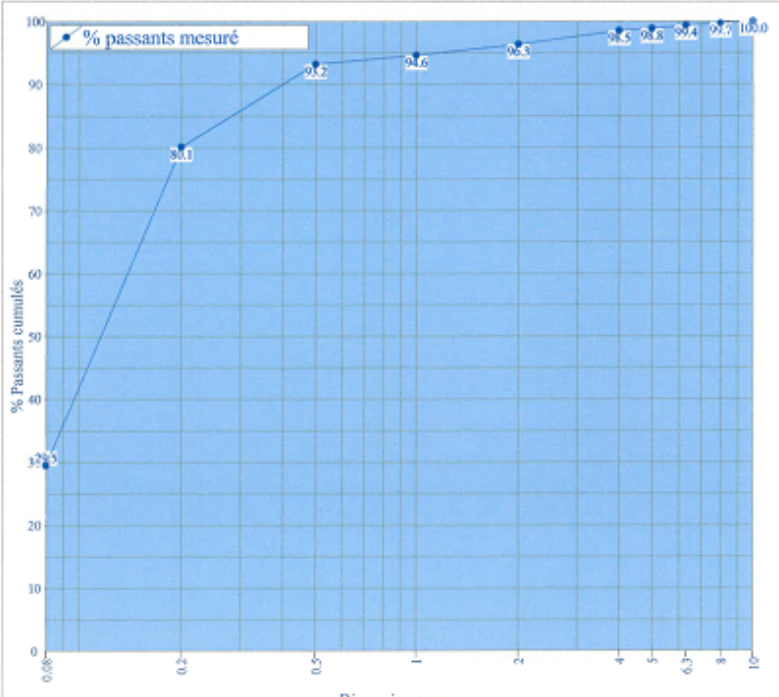
		<b>Tronçon 3</b>		(N° Projet: PR.LUGT.21.0210) Route d'Arion LUXEMBOURG	
<b>RAPPORT PHOTOGRAPHIQUE</b>					
<b>Sondage</b> SP14 - Zone ouverte		<b>Type</b> Carotté	<b>Elévation</b> +297,15 m	<b>Prof. atteinte</b> 12,0 m	
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border-left: 1px dashed black; border-right: 1px dashed black; padding: 0 10px; text-align: center;">           0,0 m         </div> <div style="flex-grow: 1; text-align: center;">  </div> <div style="border-left: 1px dashed black; border-right: 1px dashed black; padding: 0 10px; text-align: center;">           2,0 m         </div> </div>					
<b>SP14</b>					
<a href="http://www.solcloud.fr">www.solcloud.fr</a>					





		<b>Tronçon 3</b>		(N° Projet: PR.LUGT.21.0210) Route d'Arion LUXEMBOURG	
<b>RAPPORT PHOTOGRAPHIQUE</b>					
<b>Sondage</b>		<b>Type</b>		<b>Elévation</b>	
SP15 - Zone ouverte		Carotté		+294,1 m	
<b>Prof. atteinte</b>		5,0 m			
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg); margin-right: 10px;">0,0 m</div> <div style="flex-grow: 1;">  </div> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg); margin-left: 10px;">2,0 m</div> </div>					
SP15					
<a href="http://www.solcloud.fr">www.solcloud.fr</a>					

# ANNEXE N°6 : ESSAIS EN LABORATOIRE

		<b>LABOROUTE CHAMPAGNE ARDENNE</b> 2 ter, Avenue du Piémont 52100 VALCOURT Tel: 03.25.56.13.16 laboroute-champagne@wanadoo.fr		<b>Rapport d'essais selon NF P 11-300 - GTR</b>																							
Page 1/1																											
<b>Lieu de prélèvement : Voir informations Sol</b> <b>Sol :</b> IDENTIFICATION GTR			<b>Client : FONDASOL LUXEMBOURG</b> 47 A rue de Sanem Luxembourg																								
<b>Dossier CC22/078 : Dossier LUGT 21210 - LUXTRAM - Tronçon D3 - ROUTE D'ARLON</b>																											
<b>Prélèvement n° CE 22/0147</b>		prélevés le 03/02/2022 (Réalisé le 15/02/2022)																									
<b>Agent préleveur</b>		ENTREPRISE																									
<b>Mode de prélèvement</b>		Sondage																									
<b>Fait par</b>		LEGLAIVE R.																									
<b>Observations</b>																											
<b>INFORMATIONS SOL</b>																											
Lieu de prélèvement		ROUTE D'ARLON																									
N° de Sondage		SP12																									
Profondeur		1.00 à 2.00 m																									
Description du matériau		Sable beige																									
<b>ESSAIS</b>		<b>Valeur</b>		<b>Norme</b>																							
Teneur en fines		29.5 %		EN 933-1																							
Teneur en eau par séchage		8.9 %		EN 1097-5																							
Valeur au Bleu d'un Sol		0.40 g		P 94-068																							
Classification GTR		B5		NF P 11-300																							
<b>Analyse granulométrique</b>																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tamais</th> <th>%tamaisat</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>10.000</td><td>100.0</td></tr> <tr><td>8.000</td><td>99.7</td></tr> <tr><td>6.300</td><td>99.4</td></tr> <tr><td>5.000</td><td>98.8</td></tr> <tr><td>4.000</td><td>98.5</td></tr> <tr><td>2.000</td><td>96.3</td></tr> <tr><td>1.000</td><td>94.6</td></tr> <tr><td>0.500</td><td>93.2</td></tr> <tr><td>0.200</td><td>80.1</td></tr> <tr><td>0.080</td><td>29.5</td></tr> </tbody> </table>	Tamais	%tamaisat	10.000	100.0	8.000	99.7	6.300	99.4	5.000	98.8	4.000	98.5	2.000	96.3	1.000	94.6	0.500	93.2	0.200	80.1	0.080	29.5					
Tamais	%tamaisat																										
10.000	100.0																										
8.000	99.7																										
6.300	99.4																										
5.000	98.8																										
4.000	98.5																										
2.000	96.3																										
1.000	94.6																										
0.500	93.2																										
0.200	80.1																										
0.080	29.5																										
<b>CLASSEMENT SELON NF P 11-300</b> B5		Responsable laboratoire, HILAIRE E.																									

La reproduction de ce rapport d'essai n'est autorisée que sous sa forme intégrale. Il comporte 1 page(s).  
Les résultats présentés ne concernent que les échantillons soumis aux essais.

**LABOROUTE CHAMPAGNE ARDENNE**

2 ter, Avenue du Piémont  
52100 VALCOURT  
Tel:03.25.56.13.16 laboroute-champagne@wanadoo.fr

**Rapport d'essais  
selon NF P 11-300 - GTR**

Page 1/1

**Lieu de prélèvement :** Voir informations Sol  
**Sol :** IDENTIFICATION GTR

**Client :** FONDASOL LUXEMBOURG  
47 A rue de Sanem  
Luxembourg

**Dossier CC22/078 :** Dossier LUGT 21210 - LUXTRAM - Tronçon D3 - ROUTE D'ARLON

Prélèvement n° <b>CE 22/0148</b>	prélevés le 03/02/2022 (Réalisé le 15/02/2022)
Agent préleveur	ENTREPRISE
Mode de prélèvement	Sondage
Fait par	LEGLAIVE R.
Observations	

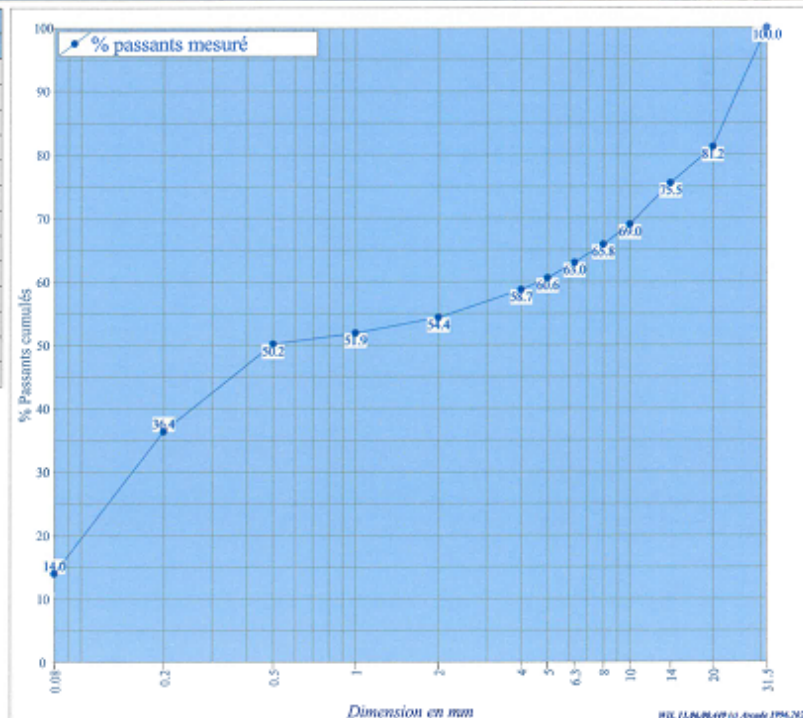
**INFORMATIONS SOL**

Lieu de prélèvement	ROUTE D'ARLON
N° de Sondage	SP13
Profondeur	1.00 à 2.00 m
Description du matériau	Grave sableuse

ESSAIS	Valeur	Norme
Teneur en fines	14.0 %	EN 933-1
Teneur en eau par séchage	15.5 %	EN 1097-5
Valeur au Bleu d'un Sol	0.18 g	P 94-068
Classification GTR	B5	NF P 11-300

**Analyse granulométrique**

Tamis	%tamisé
31.500	100.0
20.000	81.2
14.000	75.5
10.000	69.0
8.000	65.8
6.300	63.0
5.000	60.6
4.000	58.7
2.000	54.4
1.000	51.9
0.500	50.2
0.200	36.4
0.080	14.0


**CLASSEMENT SELON NF P 11-300**

B5

**Responsable laboratoire, HILAIRE E.**

La reproduction de ce rapport d'essai n'est autorisée que sous sa forme intégrale. Il comporte 1 page(s).  
Les résultats présentés ne concernent que les échantillons soumis aux essais.



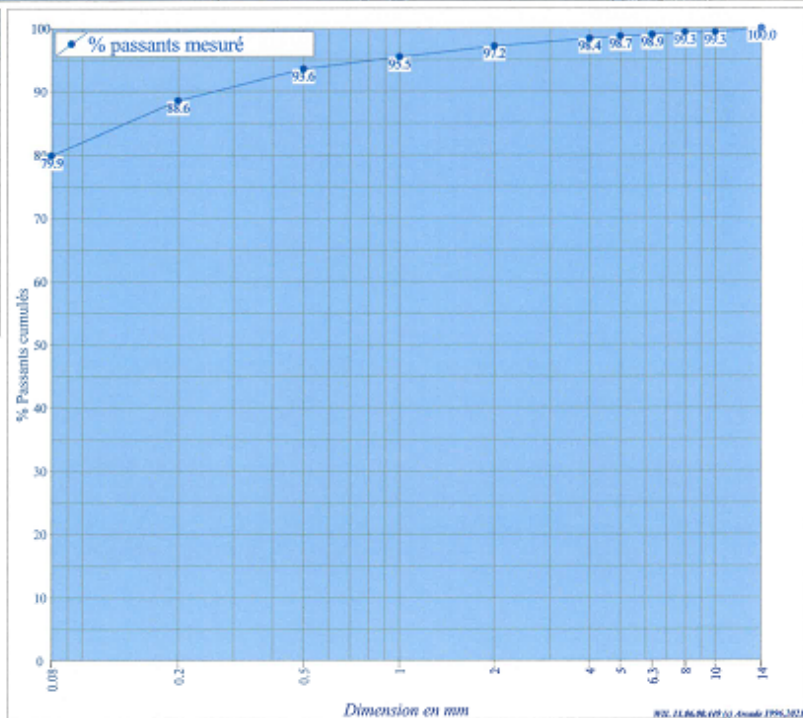
**Lieu de prélèvement : Voir informations Sol**  
**Sol : IDENTIFICATION GTR**
**Client : FONDASOL LUXEMBOURG**  
47 A rue de Sanem  
Luxembourg

**Dossier CC22/078 : Dossier LUGT 21210 - LUXTRAM - Tronçon D3 - ROUTE D'ARLON**
**Prélèvement n° CE 22/0149** prélevés le 03/02/2022 (Réalisé le 15/02/2022)  
**Agent préleveur** ENTREPRISE  
**Mode de prélèvement** Sondage  
**Fait par** LEGLAIVE R.  
**Observations**
**INFORMATIONS SOL**
**Lieu de prélèvement** ROUTE D'ARLON  
**N° de Sondage** SP4  
**Profondeur** 1.00 à 1.50 m  
**Description du matériau** Argile marron

ESSAIS	Valeur	Norme
Teneur en fines	79.9 %	EN 933-1
Teneur en eau par séchage	23.2 %	EN 1097-5
Classification GTR	A2	NF P 11-300

**Analyse granulométrique**

Tamis	% tamisé
14.000	100.0
10.000	99.3
8.000	99.3
6.300	98.9
5.000	98.7
4.000	98.4
2.000	97.2
1.000	95.5
0.500	93.6
0.200	88.6
0.080	79.9


**CLASSEMENT SELON NF P 11-300**

A2

**Responsable laboratoire, HILAIRE E.**

La reproduction de ce rapport d'essai n'est autorisée que sous sa forme intégrale. Il comporte 7 pages (s).  
Les résultats présentés ne concernent que les échantillons soumis aux essais.

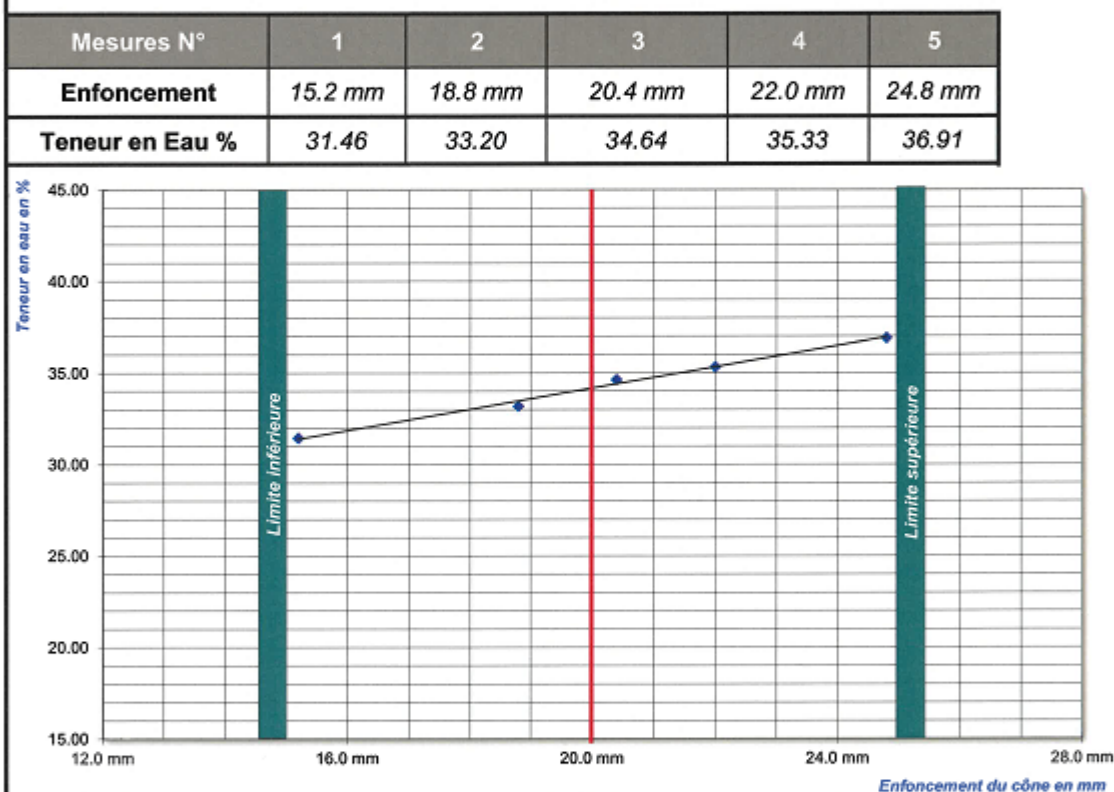
# PROCES-VERBAL

## DETERMINATION DES LIMITES D'ATTERBERG

CONFORME A LA NORME NF EN ISO 17892-12

N° DOSSIER :	CC 22/078	TYPE DE MATERIAU :	Argile marron
N° ENREGISTREMENT :	CE 22/0149	MODE DE PRELEVEMENT :	SP4 1.00 à 1.50 m
AGENT PRELEVEUR :	ENTREPRISE	LIEU DE PRELEVEMENT :	Tronçon D3 - LUXTRAM
OPERATEUR LABO :	LEGLAIVE R.	SOCIETE EXPLOITANTE :	FONDASOL Luxembourg
Dossier LUGT 21210		ANALYSE LE :	16/02/2022

### METHODE AU CONE



Teneur en eau de plasticité	W = 16.25 %	<b>W Moyen</b> <b>16.65 %</b>	W = 16.33 %	<b>W Moyen</b> <b>16.68 %</b>
	W = 17.06 %		W = 17.04 %	
Limite de liquidité : <b>W<sub>L</sub></b> = 34.2	Indice de plasticité <b>I<sub>p</sub></b> = 17.5			
Limite de plasticité : <b>W<sub>P</sub></b> = 16.7				
Teneur en eau du sol : <b>W<sub>n</sub></b> = 23.18 %	Indice de consistance <b>I<sub>c</sub></b> = 0.63			

### Conclusion :

Matériau classé A2 selon NF P 11-300.

Le 16/02/2022  
HILAIRE E.



**Lieu de prélèvement :** Voir informations Sol  
**Sol :** IDENTIFICATION GTR

**Client :** FONDASOL LUXEMBOURG  
47 A rue de Sanem  
Luxembourg

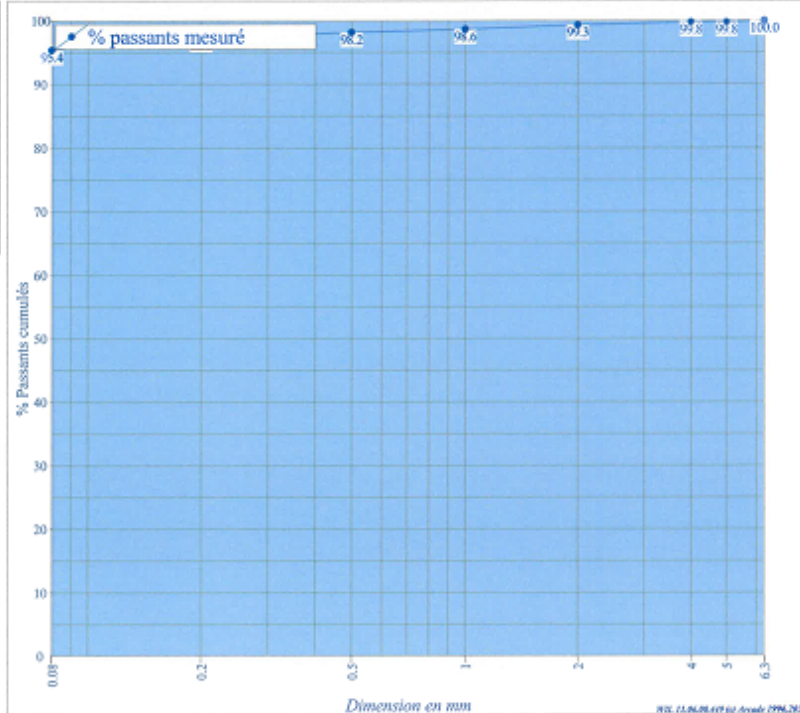
**Dossier CC22/078 :** Dossier LUGT 21210 - LUXTRAM - Tronçon D3 - ROUTE D'ARLON

<b>Prélèvement n°</b> CE 22/0150	prélevés le 03/02/2022 (Réalisé le 15/02/2022)
<b>Agent préleveur</b>	ENTREPRISE
<b>Mode de prélèvement</b>	Sondage
<b>Fait par</b>	LEGLAIVE R.
<b>Observations</b>	

INFORMATIONS SOL		
Lieu de prélèvement	ROUTE D'ARLON	
N° de Sondage	SP3	
Profondeur	0.60 à 2.00 m	
Description du matériau	Argile brune	

ESSAIS	Valeur	Norme
Teneur en fines	95.4 %	EN 933-1
Teneur en eau par séchage	21.4 %	EN 1097-5
Classification GTR	A2	NF P 11-300

Analyse granulométrique	
Tamis	% tamisé
6.300	100.0
5.000	99.8
4.000	99.8
2.000	99.3
1.000	98.6
0.500	98.2
0.200	97.5
0.080	95.4


**CLASSEMENT SELON NF P 11-300**

A<sub>2</sub>
**Responsable laboratoire, HILAIRE E.**

La reproduction de ce rapport d'essai n'est autorisée que sous sa forme intégrale. Il comporte 7 page(s).  
Les résultats présentés ne concernent que les échantillons soumis aux essais.

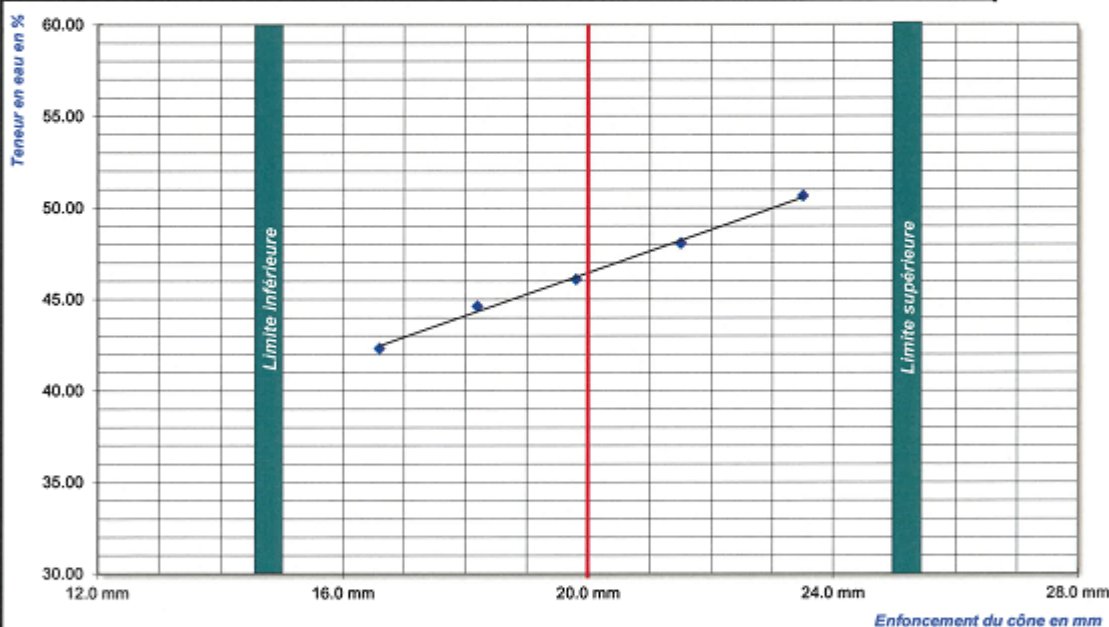
# **PROCES-VERBAL** **DETERMINATION DES LIMITES D'ATTERBERG**

CONFORME A LA NORME NF EN ISO 17892-12

N° DOSSIER :	CC 22/078	TYPE DE MATERIAU :	Argile brune
N° ENREGISTREMENT :	CE 22/0150	MODE DE PRELEVEMENT :	SP3 0.60 à 2.00 m
AGENT PRELEVEUR :	ENTREPRISE	LIEU DE PRELEVEMENT :	Tronçon D3 - LUXTRAM
OPERATEUR LABO :	LEGLAIVE R.	SOCIETE EXPLOITANTE :	FONDASOL Luxembourg
Dossier LUGT 21210		ANALYSE LE : 18/02/2022	

## METHODE AU CONE

Mesures N°	1	2	3	4	5
Enfoncement	16.6 mm	18.2 mm	19.8 mm	21.5 mm	23.5 mm
Teneur en Eau %	42.34	44.63	46.12	48.07	50.66



Teneur en eau de plasticité	W = 23.50 %	W Moyen 23.22 %	W = 22.68 %	W Moyen 22.13 %
	W = 22.94 %		W = 21.59 %	
Limite de liquidité : $W_L =$	46.5	Indice de plasticité $I_p = 23.8$		
Limite de plasticité : $W_P =$	22.7			
Teneur en eau du sol : $W_n =$	21.35 %	Indice de consistance $I_c = 1.06$		

### Conclusion :

Matériau classé A2 selon NF P 11-300.

Le 18/2/2019  
HILAIRE E.

**LABOROUTE CHAMPAGNE ARDENNE**

2 ter, Avenue du Piémont  
52100 VALCOURT  
Tel: 03.25.56.13.16 laboroute-champagne@wanadoo.fr

**Rapport d'essais  
selon NF P 11-300 - GTR**

Page 1/1

**Lieu de prélèvement : Voir informations Sol**  
**Sol : IDENTIFICATION GTR**

**Client : FONDASOL LUXEMBOURG**  
47 A rue de Sanem  
Luxembourg

**Dossier CC22/078 : Dossier LUGT 21210 - LUXTRAM - Tronçon D3 - ROUTE D'ARLON**

**Prélèvement n° CE 22/0151** prélevés le 03/02/2022 (Réalisé le 15/02/2022)

**Agent préleveur** ENTREPRISE

**Mode de prélèvement** Sondage

**Fait par** LEGLAIVE R.

**Observations**

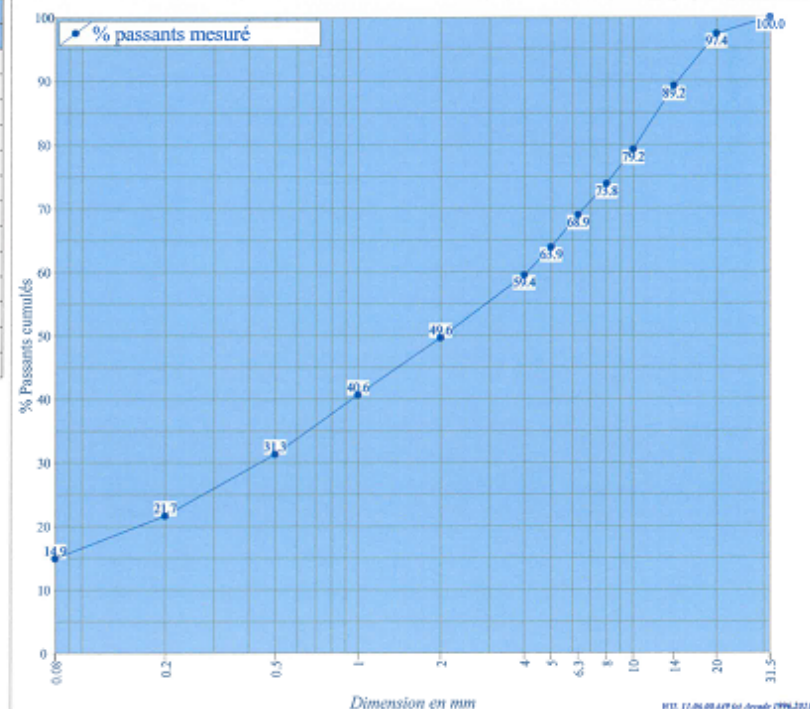
**INFORMATIONS SOL**

Lieu de prélèvement	ROUTE D'ARLON
N° de Sondage	SP3
Profondeur	0.03 à 0.60 m
Description du matériau	Grave sableuse brune

ESSAIS	Valeur	Norme
Teneur en fines	14.9 %	EN 933-1
Teneur en eau par séchage	10.2 %	EN 1097-5
Valeur au Bleu d'un Sol	0.03 g	P 94-068
Classification GTR	B5	NF P 11-300

**Analyse granulométrique**

Tamais	%tamisé
31.500	100.0
20.000	97.4
14.000	89.2
10.000	79.2
8.000	73.8
6.300	68.9
5.000	63.9
4.000	59.4
2.000	49.6
1.000	40.6
0.500	31.3
0.200	21.7
0.080	14.9



**CLASSEMENT SELON NF P 11-300**

B5

**Responsable laboratoire, HILAIRE E.**

La reproduction de ce rapport d'essai n'est autorisée que sous sa forme intégrale. Il comporte 7 page(s).  
Les résultats présentés ne concernent que les échantillons soumis aux essais.



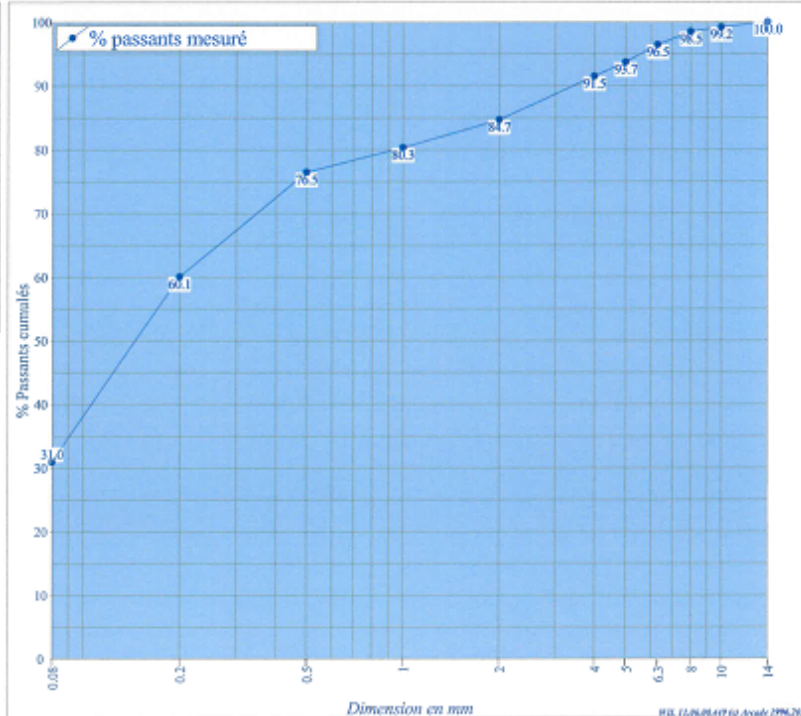
**Lieu de prélèvement : Voir informations Sol**  
**Sol : IDENTIFICATION GTR**
**Client : FONDASOL LUXEMBOURG**  
**47 A rue de Sanem**  
**Luxembourg**
**Dossier CC22/078 : Dossier LUGT 21210 - LUXTRAM - Tronçon D3 - ROUTE D'ARLON**

<b>Prélèvement n° CE 22/0152</b>	prélevés le 03/02/2022 (Réalisé le 15/02/2022)
<b>Agent préleveur</b>	ENTREPRISE
<b>Mode de prélèvement</b>	Sondage
<b>Fait par</b>	LEGLAIVE R.
<b>Observations</b>	

INFORMATIONS SOL		
Lieu de prélèvement	ROUTE D'ARLON	
N° de Sondage	SP13	
Profondeur	1.00 à 1.80 m	
Description du matériau	Sable limoneux brun à gravillons	

ESSAIS	Valeur	Norme
Teneur en fines	31.0 %	EN 933-1
Teneur en eau par séchage	18.8 %	EN 1097-5
Valeur au Bleu d'un Sol	0.23 g	P 94-068
Classification GTR	B5	NF P 11-300

Analyse granulométrique	
Tamais	%tamisat
14.000	100.0
10.000	99.2
8.000	98.5
6.300	96.5
5.000	93.7
4.000	91.5
2.000	84.7
1.000	80.3
0.500	76.5
0.200	60.1
0.080	31.0


**CLASSEMENT SELON NF P 11-300**

B5

**Responsable laboratoire, HILAIRE E.**

La reproduction de ce rapport d'essai n'est autorisée que sous sa forme intégrale. Il comporte 1 page(s).  
Les résultats présentés ne concernent que les autorisations données aux essais.

**Lieu de prélèvement : Voir informations Sol**  
**Sol : IDENTIFICATION GTR**
**Client : FONDASOL LUXEMBOURG**  
**47 A rue de Sanem**  
**Luxembourg**
**Dossier CC22/078 : Dossier LUGT 21210 - LUXTRAM - Tronçon D3 - ROUTE D'ARLON**

Prélèvement n° <b>CE 22/0153</b>	prélevés le 03/02/2022 (Réalisé le 15/02/2022)
Agent préleveur	ENTREPRISE
Mode de prélèvement	Sondage
Fait par	LEGLAIVE R.
Observations	

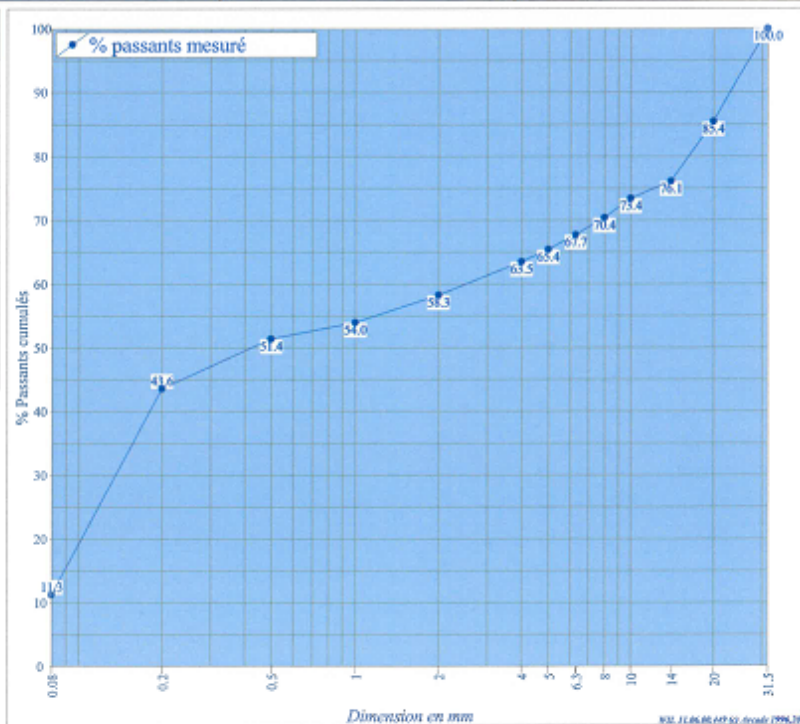
**INFORMATIONS SOL**

Lieu de prélèvement	ROUTE D'ARLON
N° de Sondage	SP11
Profondeur	1.00 à 2.00 m
Description du matériau	Sable graveleux beige

ESSAIS	Valeur	Norme
Teneur en fines	11.3 %	EN 933-1
Teneur en eau par séchage	13.5 %	EN 1097-5
Valeur au Bleu d'un Sol	0.20 g	P 94-068
Classification GTR	B3	NF P 11-300

**Analyse granulométrique**

Tamis	% tamisé
31.500	100.0
20.000	85.4
14.000	76.1
10.000	73.4
8.000	70.4
6.300	67.7
5.000	65.4
4.000	63.5
2.000	58.3
1.000	54.0
0.500	51.4
0.200	43.6
0.080	11.3


**CLASSEMENT SELON NF P 11-300**

B3

**Responsable laboratoire, HILAIRE E.**

La reproduction de ce rapport d'essai n'est autorisée que sous sa forme intégrale. Il comporte 1 page(s).  
Les résultats présentés ne concernent que les échantillons soumis aux essais.



**Lieu de prélèvement : Voir informations Sol**  
**Sol : IDENTIFICATION GTR**
**Client : FONDASOL LUXEMBOURG**  
47 A rue de Sanem  
Luxembourg

**Dossier CC22/078 : Dossier LUGT 21210 - LUXTRAM - Tronçon D3 - ROUTE D'ARLON**
**Prélèvement n° CE 22/0154** prélevés le 03/02/2022 (Réalisé le 15/02/2022)

**Agent préleveur** ENTREPRISE

**Mode de prélèvement** Sondage

**Fait par** LEGLAIVE R.

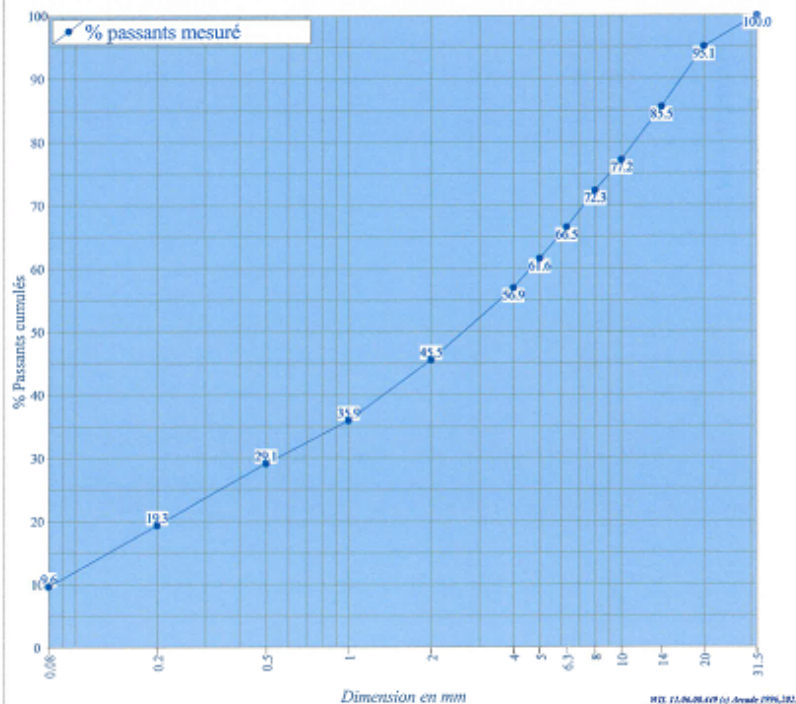
**Observations**
**INFORMATIONS SOL**

Lieu de prélèvement	ROUTE D'ARLON
N° de Sondage	SP7
Profondeur	0.20 à 0.60 m
Description du matériau	Grave

ESSAIS	Valeur	Norme
Teneur en fines	9.6 %	EN 933-1
Teneur en eau par séchage	9.1 %	EN 1097-5
Valeur au Bleu d'un Sol	0.03 g	P 94-068
Classification GTR	D2	NF P 11-300

**Analyse granulométrique**

Tamie	%tamisé
31.500	100.0
20.000	95.1
14.000	85.5
10.000	77.2
8.000	72.3
6.300	66.5
5.000	61.6
4.000	56.9
2.000	45.5
1.000	35.9
0.500	29.1
0.200	19.3
0.080	9.6


**CLASSEMENT SELON NF P 11-300**

D2

**Responsable laboratoire, HILAIRE E.**

La reproduction de ce rapport d'essai n'est autorisée que sous sa forme intégrale. Il comporte 1 page(s).  
Les résultats présentés ne concernent que les échantillons soumis aux essais.

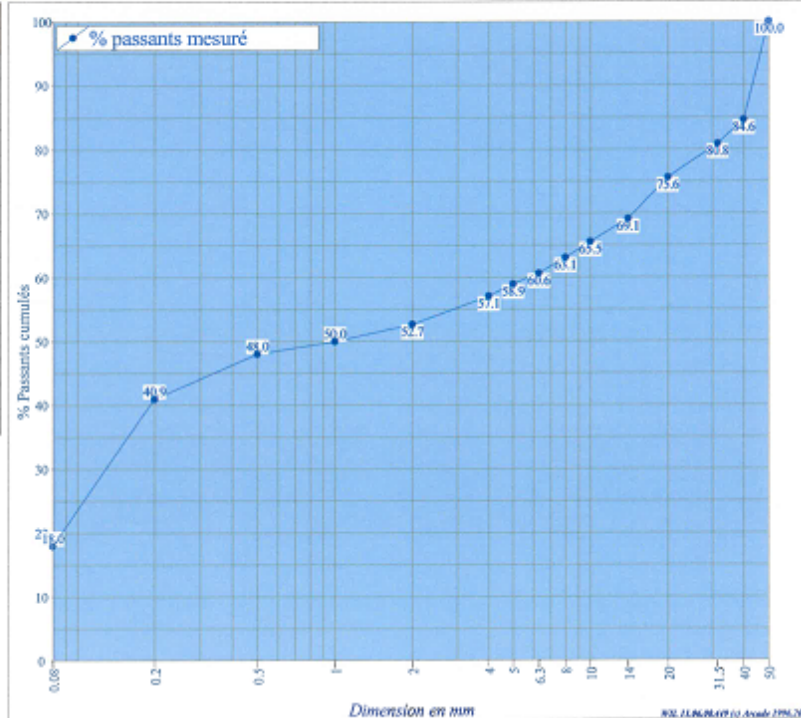
**Lieu de prélèvement : Voir informations Sol**  
**Sol : IDENTIFICATION GTR**
**Client : FONDASOL LUXEMBOURG**  
**47 A rue de Sanem**  
**Luxembourg**
**Dossier CC22/078 : Dossier LUGT 21210 - LUXTRAM - Tronçon D3 - ROUTE D'ARLON**

<b>Prélèvement n° CE 22/0155</b>	prélevés le 03/02/2022 (Réalisé le 15/02/2022)
<b>Agent préleveur</b>	ENTREPRISE
<b>Mode de prélèvement</b>	Sondage
<b>Fait par</b>	LEGLAIVE R.
<b>Observations</b>	

INFORMATIONS SOL		
Lieu de prélèvement	ROUTE D'ARLON	
N° de Sondage	SP14	
Profondeur	0.30 à 1.30 m	
Description du matériau	Sable beige à grave	

ESSAIS	Valeur	Norme
Teneur en fines	18.0 %	EN 933-1
Teneur en eau par séchage	8.5 %	EN 1097-5
Valeur au Bleu d'un Sol	0.21 g	P 94-068
Classification GTR	B5	NF P 11-300

Analyse granulométrique		
Tamais	%tamisé	
50.000	100.0	
40.000	84.6	
31.500	80.8	
20.000	75.6	
14.000	69.1	
10.000	65.5	
8.000	63.1	
6.300	60.6	
5.000	58.9	
4.000	57.1	
2.000	52.7	
1.000	50.0	
0.500	48.0	
0.200	40.9	
0.080	18.0	


**CLASSEMENT SELON NF P 11-300**

B5

**Responsable laboratoire, HILAIRE E.**

La reproduction de ce rapport d'essai n'est autorisée que sous sa forme intégrale, il comporte 1 page(s).  
Les résultats présentés ne concernent que les échantillons soumis aux essais.

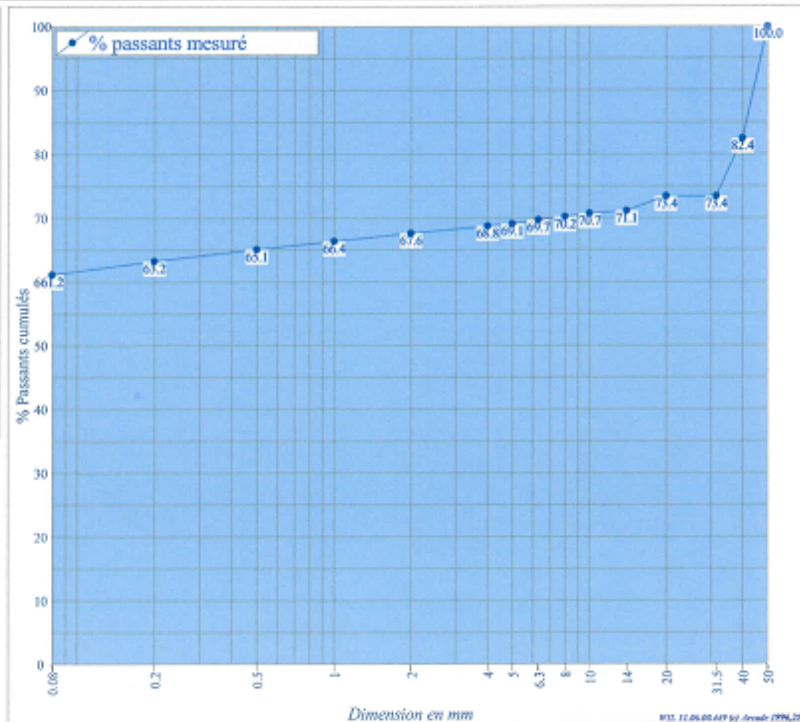
**Lieu de prélèvement : Voir informations Sol**  
**Sol : IDENTIFICATION GTR**
**Client : FONDASOL LUXEMBOURG**  
**47 A rue de Sanem**  
**Luxembourg**
**Dossier CC22/078 : Dossier LUGT 21210 - LUXTRAM - Tronçon D3 - ROUTE D'ARLON**

Prélèvement n° <b>CE 22/0156</b>	prélevés le 03/02/2022 (Réalisé le 15/02/2022)
Agent préleveur	ENTREPRISE
Mode de prélèvement	Sondage
Fait par	LEGLAIVE R.
Observations	

INFORMATIONS SOL		
Lieu de prélèvement	ROUTE D'ARLON	
N° de Sondage	SP2	
Profondeur	1.00 à 2.00 m	
Description du matériau	Limon argileux brun à grave	

ESSAIS	Valeur	Norme
Teneur en fines	61.2 %	EN 933-1
Teneur en eau par séchage	14.9 %	EN 1097-5
Valeur au Bleu d'un Sol	1.52 g	P 94-068
Classification GTR	A1	NF P 11-300

Analyse granulométrique		
Tamais	%tamisé	
50.000	100.0	
40.000	82.4	
31.500	73.4	
20.000	73.4	
14.000	71.1	
10.000	70.7	
8.000	70.2	
6.300	69.7	
5.000	69.1	
4.000	68.8	
2.000	67.6	
1.000	66.4	
0.500	65.1	
0.200	63.2	
0.080	61.2	


**CLASSEMENT SELON NF P 11-300**

A1

**Responsable laboratoire, HILAIRE E.**

La reproduction de ce rapport d'essai n'est autorisée que sous sa forme intégrale. Il comporte 1 page(s).

Les résultats présentés ne concernent que les échantillons soumis aux essais.

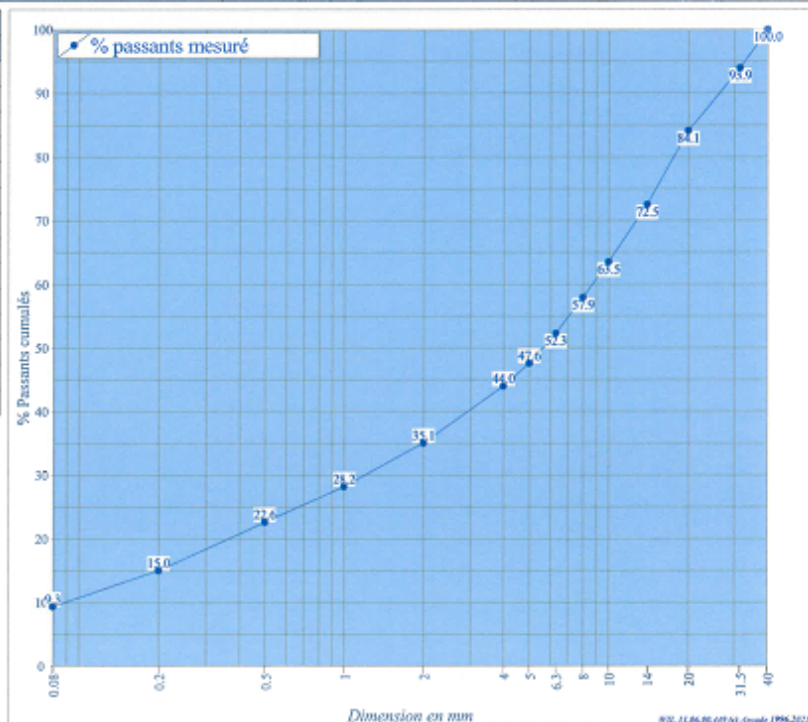


**Lieu de prélèvement : Voir informations Sol**  
**Sol : IDENTIFICATION GTR**
**Client : FONDASOL LUXEMBOURG**  
**47 A rue de Sanem**  
**Luxembourg**
**Dossier CC22/078 : Dossier LUGT 21210 - LUXTRAM - Tronçon D3 - ROUTE D'ARLON**
**Prélèvement n° CE 22/0157** *prélevés le 03/02/2022 (Réalisé le 15/02/2022)*  
**Agent préleveur** ENTREPRISE  
**Mode de prélèvement** Sondage  
**Fait par** LEGLAIVE R.  
**Observations**
**INFORMATIONS SOL**
**Lieu de prélèvement** ROUTE D'ARLON  
**N° de Sondage** SP2  
**Profondeur** 0.30 à 0.80 m  
**Description du matériau** Grave

ESSAIS	Valeur	Norme
Teneur en fines	9.3 %	EN 933-1
Teneur en eau par séchage	8.9 %	EN 1097-5
Valeur au Bleu d'un Sol	0.02 g	P 94-068
Classification GTR	D2	NF P 11-300

**Analyse granulométrique**

Tamis	%tamisé
40.000	100.0
31.500	93.9
20.000	84.1
14.000	72.5
10.000	63.5
8.000	57.9
6.300	52.3
5.000	47.6
4.000	44.0
2.000	35.1
1.000	28.2
0.500	22.6
0.200	15.0
0.080	9.3


**CLASSEMENT SELON NF P 11-300**

D2

**Responsable laboratoire, HILAIRE E.**

La reproduction de ce rapport d'essai n'est autorisée que sous sa forme intégrale. Il comporte 1 page(s).  
Ces résultats présentés ne concernent que les échantillons soumis aux essais.

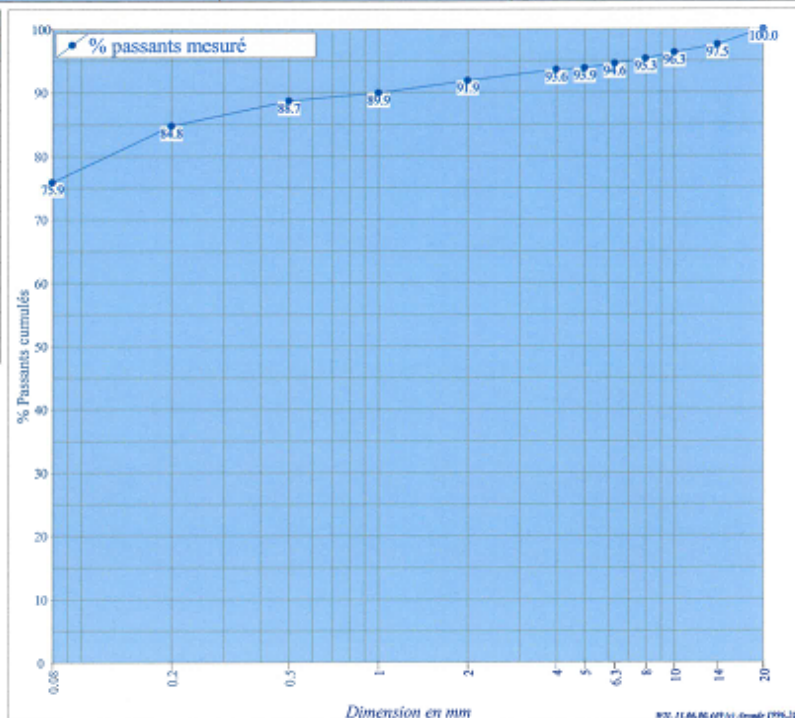
**Lieu de prélèvement : Voir informations Sol**  
**Sol : IDENTIFICATION GTR**
**Client : FONDASOL LUXEMBOURG**  
**47 A rue de Sanem**  
**Luxembourg**
**Dossier CC22/078 : Dossier LUGT 21210 - LUXTRAM - Tronçon D3 - ROUTE D'ARLON**

Prélèvement n° <b>CE 22/0158</b>	prélevés le 03/02/2022 (Réalisé le 15/02/2022)
Agent préleveur	ENTREPRISE
Mode de prélèvement	Sondage
Fait par	LEGLAIVE R.
Observations	

INFORMATIONS SOL		
Lieu de prélèvement	ROUTE D'ARLON	
N° de Sondage	SP1	
Profondeur	1.00 à 3.20 m	
Description du matériau	Argile brune	

ESSAIS	Valeur	Norme
Teneur en fines	75.9 %	EN 933-1
Teneur en eau par séchage	27.1 %	EN 1097-5
Classification GTR	A2	NF P 11-300

Analyse granulométrique	
Tamis	% tamisé
20.000	100.0
14.000	97.5
10.000	96.3
8.000	95.3
6.300	94.6
5.000	93.9
4.000	93.6
2.000	91.9
1.000	89.9
0.500	88.7
0.200	84.8
0.080	75.9


**CLASSEMENT SELON NF P 11-300**

A2

**Responsable laboratoire, HILAIRE E.**

La reproduction de ce rapport d'essai n'est autorisée que sous sa forme intégrale. Il comporte 1 page(s).  
Les résultats présentés ne concernent que les échantillons soumis aux essais.



# PROCES-VERBAL

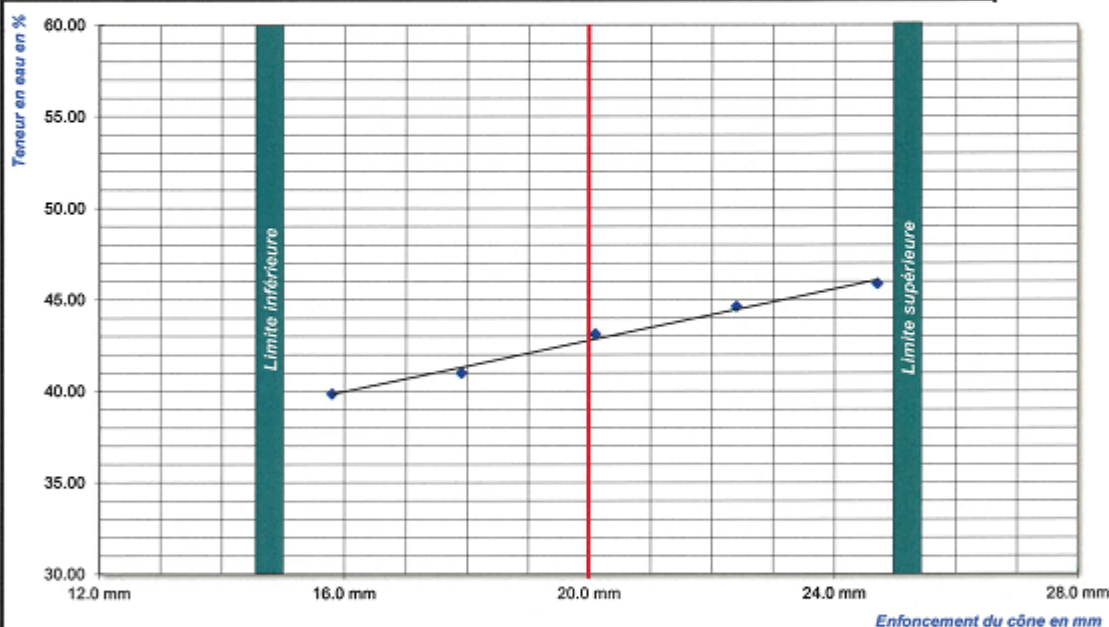
## DETERMINATION DES LIMITES D'ATTERBERG

CONFORME A LA NORME NF EN ISO 17892-12

N° DOSSIER :	CC 22/078	TYPE DE MATERIAU :	Argile brune
N° ENREGISTREMENT :	CE 22/0158	MODE DE PRELEVEMENT :	SP1 1.00 à 3.20 m
AGENT PRELEVEUR :	ENTREPRISE	LIEU DE PRELEVEMENT :	Tronçon D3 - LUXTRAM
OPERATEUR LABO :	LEGLAIVE R.	SOCIETE EXPLOITANTE :	FONDASOL Luxembourg
Dossier LUGT 21210		ANALYSE LE :	16/02/2022

### METHODE AU CONE

Mesures N°	1	2	3	4	5
Enfoncement	15.8 mm	17.9 mm	20.1 mm	22.4 mm	24.7 mm
Teneur en Eau %	39.87	41.02	43.14	44.64	45.88



Teneur en eau de plasticité	W = 22.80 %	W Moyen 22.64 %	W = 22.64 %	W Moyen 22.88 %
	W = 22.49 %		W = 23.12 %	
Limite de liquidité : $W_L$ = 42.8	Indice de plasticité $I_p$ = 20.0			
Limite de plasticité : $W_P$ = 22.8				
Teneur en eau du sol : $W_n$ = 27.06 %	Indice de consistance $I_c$ = 0.79			

### Conclusion :

Matériau classé A2 selon NF P 11-300.

Le 16/02/2022  
HILAIRE E.

## LABORROUTE CHAMPAGNE ARDENNE

2 ter, Avenue du Piémont  
52100 VALCOURT  
Tel:03.25.56.13.16 laboroute-champagne@wanadoo.fr

Rapport d'essais  
selon NF P 11-300 - GTR

Page 1/1

Lieu de prélèvement : Voir informations Sol  
Sol : IDENTIFICATION GTR

Client : FONDASOL LUXEMBOURG  
47 A rue de Sanem  
Luxembourg

Dossier CC22/078 : Dossier LUGT 21210 - LUXTRAM - Tronçon D3 - ROUTE D'ARLON

Prélèvement n° CE 22/0159 prélevés le 03/02/2022 (Réalisé le 15/02/2022)

Agent préleveur ENTREPRISE

Mode de prélèvement Sondage

Fait par LEGLAIVE R.

Observations

## INFORMATIONS SOL

Lieu de prélèvement ROUTE D'ARLON

N° de Sondage SC1/SP6

Profondeur 2.00 à 3.00 m

Description du matériau Sable brun à gravillons

## ESSAIS

## Valeur

## Norme

Teneur en fines 11.2 % EN 933-1

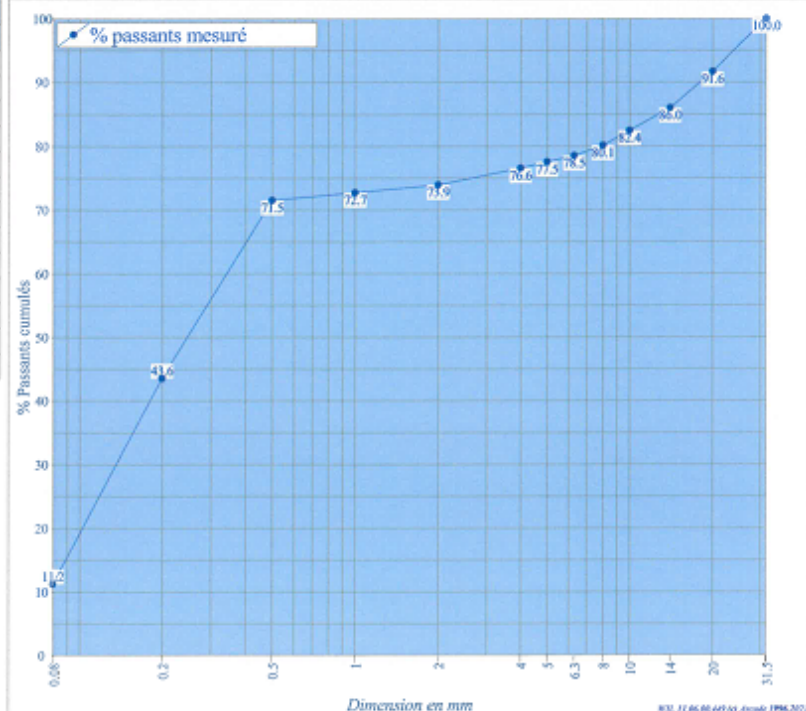
Teneur en eau par séchage 12.2 % EN 1097-5

Valeur au Bleu d'un Sol 0.23 g P 94-068

Classification GTR B2 NF P 11-300

## Analyse granulométrique

Tamis	%tamisé
31.500	100.0
20.000	91.6
14.000	86.0
10.000	82.4
8.000	80.1
6.300	78.5
5.000	77.5
4.000	76.6
2.000	73.9
1.000	72.7
0.500	71.5
0.200	43.6
0.080	11.2



## CLASSEMENT SELON NF P 11-300

B<sub>2</sub>

Responsable laboratoire, HILAIRE E.

La reproduction de ce rapport d'essai n'est autorisée que sous sa forme intégrale. Il comporte 1 page(s).  
Les résultats présentés ne concernent que les échantillons soumis aux essais.

# LABORROUTE CHAMPAGNE ARDENNE

2 ter, Avenue du Piémont  
52100 VALCOURT  
Tel: 03.25.56.13.16 laboroute-champagne@wanadoo.fr

## Rapport d'essais selon NF P 11-300 - GTR

Page 1/1

Lieu de prélèvement : Voir informations Sol  
Sol : IDENTIFICATION GTR

Client : FONDASOL LUXEMBOURG  
47 A rue de Sanem  
Luxembourg

Dossier CC22/078 : Dossier LUGT 21210 - LUXTRAM - Tronçon D3 - ROUTE D'ARLON

Prélèvement n° CE 22/0191	prélevés le 03/02/2022 (Réalisé le 01/03/2022)
Agent préleveur	ENTREPRISE
Mode de prélèvement	Sondage
Fait par	LEGLAIVE R.
Observations	

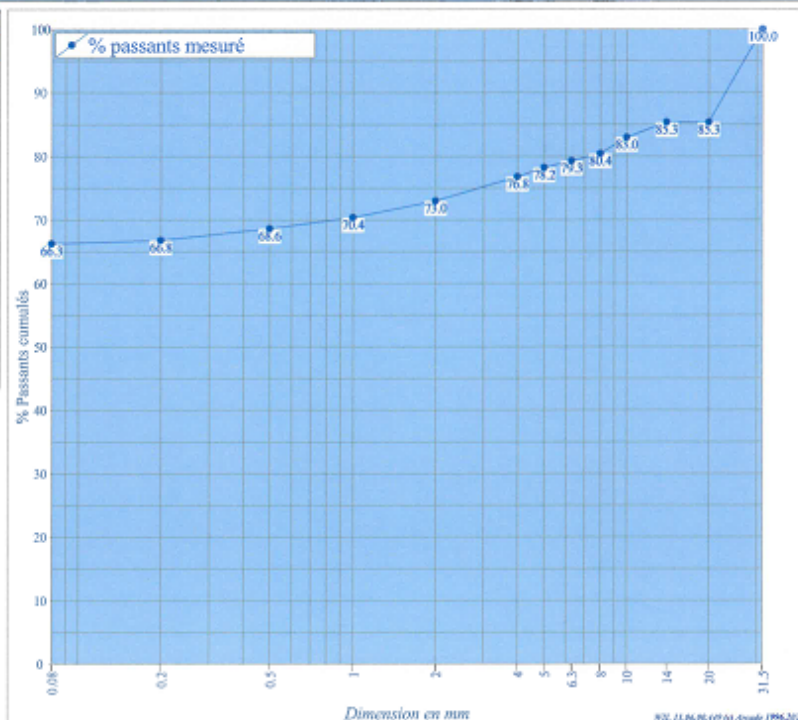
### INFORMATIONS SOL

Lieu de prélèvement	ROUTE D'ARLON
N° de Sondage	SC1
Profondeur	2.00 à 3.00 m

ESSAIS	Valeur	Norme
Teneur en fines	66.3 %	EN 933-1
Teneur en eau par séchage	26.0 %	EN 1097-5
Valeur au Bleu d'un Sol	0.39 g	P 94-068
Classification GTR	A1	NF P 11-300

### Analyse granulométrique

Tamais	%tamisé
31.500	100.0
20.000	85.3
14.000	85.3
10.000	83.0
8.000	80.4
6.300	79.3
5.000	78.2
4.000	76.8
2.000	73.0
1.000	70.4
0.500	68.6
0.200	66.8
0.080	66.3



CLASSEMENT SELON NF P 11-300

A1

Responsable laboratoire, HILAIRE E.

La reproduction de ce rapport d'essai n'est autorisée que sous sa forme intégrale. Il comporte 1 page(s).  
Les résultats présentés ne concernent que les échantillons soumis aux essais.



**Lieu de prélèvement : Voir informations Sol**  
**Sol :** IDENTIFICATION GTR

**Client : FONDASOL LUXEMBOURG**  
47 A rue de Sanem  
Luxembourg

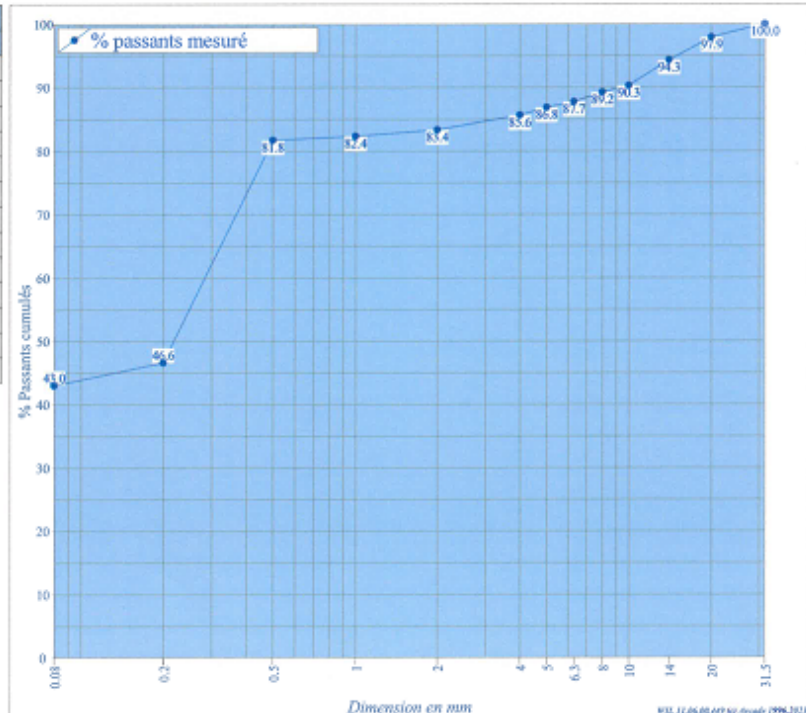
**Dossier CC22/078 : Dossier LUGT 21210 - LUXTRAM - Tronçon D3 - ROUTE D'ARLON**

Prélèvement n° <b>CE 22/0195</b>	prélevés le 03/02/2022 (Réalisé le 01/03/2022)
Agent préleveur	ENTREPRISE
Mode de prélèvement	Sondage
Fait par	LEGLAIVE R.
Observations	

INFORMATIONS SOL		
Lieu de prélèvement	ROUTE D'ARLON	
N° de Sondage	SC2	
Profondeur	3.00 à 4.00 m	

ESSAIS	Valeur	Norme
Teneur en fines	43.0 %	EN 933-1
Teneur en eau par séchage	13.6 %	EN 1097-5
Valeur au Bleu d'un Sol	2.75 g	P 94-068
Classification GTR	A2	NF P 11-300

Analyse granulométrique		
Tamie	% tamisé	
31.500	100.0	
20.000	97.9	
14.000	94.3	
10.000	90.3	
8.000	89.2	
6.300	87.7	
5.000	86.8	
4.000	85.6	
2.000	83.4	
1.000	82.4	
0.500	81.8	
0.200	46.6	
0.080	43.0	


**CLASSEMENT SELON NF P 11-300**

A2

**Responsable laboratoire, HILAIRE E.**

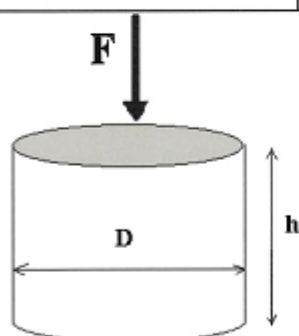
Le reproduction de ce rapport d'essai n'est autorisée que sous sa forme intégrale, il comporte 1 page(s)  
Les résultats présentés ne concernent que les autorisations données aux essais.

# **PROCES VERBAL** **D'ESSAIS DE RESISTANCE SUR**

## ***Eprouvette calcaire***

N° DOSSIER :	CC 22/078	MODE DE PRELEVEMENT :	Carottage
N° ENREGISTREMENT :	CE 22/0193 à 198	LIEU :	Rte d'ARLON - Tronçon 3
AGENT PRELEVEUR :	ENTREPRISE	SOCIETE EXPLOITANTE :	FONDASOL LUX.
OPERATEUR LABO :	OSVALD G.		
DATE DE PRELEVEMENT :	03/02/2022	DATE D'ECRASEMENT :	24/02/2022

Référence échantillon	N°	Dimensions Diam x h (mm)	Charge rupture F (kN)	RC (MPa)
CE22/0192 - SC1 6.20 à 6.40 m	1	67,0 x 134,0	78	22,15
CE22/0193 - SC1 7.60 à 7.90 m	2	67,0 x 134,0	123	34,99
CE22/0194 - SC1 8.70 à 9.00 m	3	67,0 x 134,0	122	34,62
CE22/0196 - SC2 6.50 à 6.75 m	4	67,0 x 134,0	179	50,87
CE22/0197 - SC2 7.10 à 7.20 m	5	67,0 x 67,0	37	10,48
CE22/0198 - SC2 9.60 à 10.00 m	6	67,0 x 134,0	94	26,57



**Conclusions :**

Le 11/03/22  
 S. RAPIN

*Hugues*



# MASSE VOLUMIQUE

## Compte-Rendu d'Essai

Conforme à la NF EN 12697-6 Août 2012

### Méthode par pesée hydrostatique

Numéro de Dossier : **CC 22/078**  
Numéro d'Enregistrement : **CE 22/0192 à 198**  
Entreprise : **FONDASOL LUX.**

Lieu de prélèvement : **LUXTRAM - Tronçon D3**  
**Route d'ARLON**  
Mode prélèvement : **Sondages carottés**

Agent Préleveur : **Entreprise**  
Prélevé le : **03/02/2022**

Opérateur : **LABOROUTE LORRAINE**  
Analysé le : **01/03/2022**

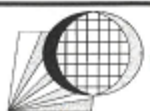
CE 22/0192 à 198	Densité sèche (t/m3)
CE22/0192 - SC1 6.20 à 6.40 m	2.371
CE22/0193 - SC1 7.60 à 7.90 m	2.455
CE22/0194 - SC1 8.70 à 9.00 m	1.978
CE22/0196 - SC2 6.50 à 6.75 m	2.432
CE22/0197 - SC2 7.10 à 7.20 m	1.963
CE22/0198 - SC2 9.60 à 10.00 m	2.334

### Conclusions :

Le : **11/03/22**

S. RAPIN

*[Signature]*



**LABOROUTE  
CHAMPAGNE  
ARDEENNE**

SARL au capital de 30 000 Euros  
2 Ter Avenue du Piémont - 52 100 VALCOURT  
Tél : 03.25.56.13.16 Fax : 03.25.56.12.84

## PROCES VERBAL

### Essai de d'Abrasivité et de Broyabilité

Conforme à la Norme NFP 18-579

N° DOSSIER :	CC22/078	MODE PRELEVEMENT :	Sondages carottés
N° ENREGISTREMENT :	CE22/0193 et 196	LIEU DE PRELEVEMENT :	Tronçon D3 - Route d'ARLON
AGENT PRELEVEUR :	ENTREPRISE	SOCIETE EXPLOITANTE :	FONDASOL Luxembourg
OPERATEUR LABO :	Laboroute Lorraine		
PRELEVE LE :	03/02/2022	ANALYSE LE :	01/03/2022

#### Principe de l'essai :

L'essai consiste à mesurer le pouvoir d'abrasion des roches et granulats (abrasivité) par rapport à un matériau étalon en acier. Il permet de fournir, par évolution de la granularité de la prise d'essais dans l'abrasimètre, une indication sur la résistance de la roche ou du granulat à la fragmentation (broyabilité).

Référence échantillon	Mesures	Abrasivité $A_{ar} = ((M_{p1} - M_{p2}) / M_{g1}) * 10^6$	Broyabilité $Br = ((M_{g1} - M_{g2}) / M_{g2}) * 100$
CE 22/0193 SC1 7.60 à 7.90 m	Mg1 = 500.0 g Mg2 = 143.0 g Mp1 = 45.59 g Mp2 = 45.36 g	<b>Abr = 453</b>	<b>Br = 71.4</b>
CE 22/0196 SC2 6.50 à 6.75 m	Mg1 = 500.0 g Mg2 = 163.0 g Mp1 = 45.31 g Mp2 = 45.12 g	<b>Abr = 376</b>	<b>Br = 67.4</b>
	Mg1 = g Mg2 = g Mp1 = g Mp2 = g	<b>Abr =</b>	<b>Br =</b>
	Mg1 = g Mg2 = g Mp1 = g Mp2 = g	<b>Abr =</b>	<b>Br =</b>
	Mg1 = g Mg2 = g Mp1 = g Mp2 = g	<b>Abr =</b>	<b>Br =</b>

Mg1 : Masse initial d'échantillon  
Mg2 : Refus au tamis de 1,6mm après essais

Mp1 : Masse palette avant essais  
Mp2 : Masse palette après essais

#### Commentaires :

Le 1 / 03 / 2022

S. RAPIN

# PROCES VERBAL

## PROCTOR - Indices IPI - I<sub>CBR</sub>

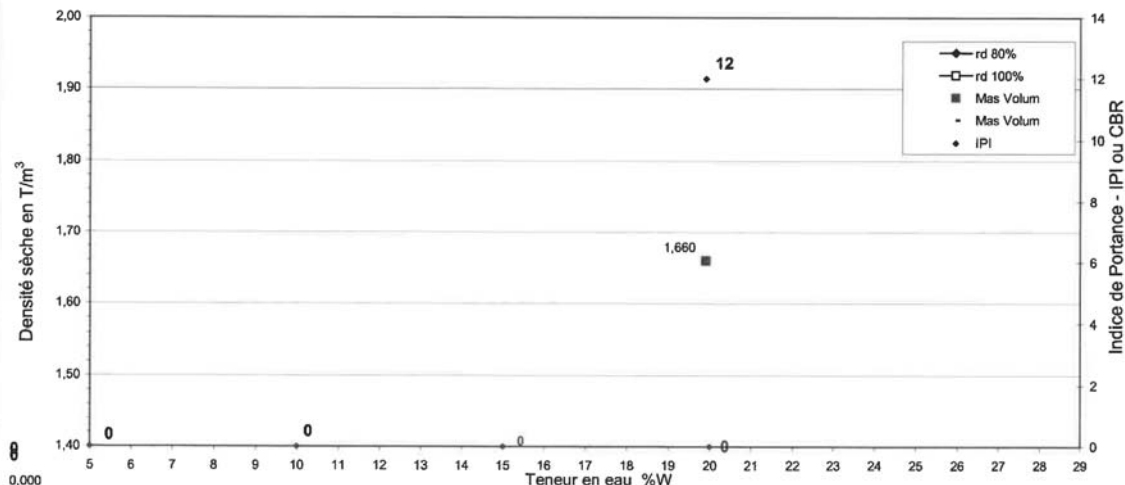
Conforme aux Normes NF P94-093 & NF P94-078

<b>MOULE NORMAL</b>	<input type="checkbox"/>	<b>ESSAI PROCTOR</b>	<b>NORMAL</b>	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>CBR</b>	<input checked="" type="checkbox"/>		<b>MODIFIE</b>	<input type="checkbox"/>
<b>Essais réalisés</b>	< 5 mm	<input type="checkbox"/>	<b>Refus à 5 mm</b>	<input type="checkbox"/>
<b>sur des éléments</b>	< 20 mm	<input checked="" type="checkbox"/>	<b>Refus à 20 mm</b>	<input type="checkbox"/> 0%
<b>Poinçonnement</b>	<b>IPI</b>	<b>avec ANNEAU de</b>	<b>20 KN</b>	

<b>N° ENREGISTREMENT</b>	LE 216776	<b>N° DOSSIER</b>	LC 21/1293
<b>SOCIETE EXPLOITANTE</b>	FONDASOL Luxembourg	<b>DATE PRELEVEMENT</b>	23/12/2021
<b>CHANTIER</b>	LUXTRAM Route d'Arlon PRLUGT21.0210	<b>DATE DE L'ESSAI</b>	04/01/2022
<b>LIEU DE PRELEVEMENT</b>	SP1 - LUXTRAM	<b>AGENT PRELEVEUR</b>	ENTREPRISE
<b>TENEUR EN EAU NATURELLE</b>	19,9%	<b>OPERATEUR LABO</b>	ZAAIM M.
<b>MATERIAUX</b>	SP1 (1-2m)	<b>MODE PRELEVEMENT</b>	Sondage

Masse volumique des particules solides du sol :  $\rho_s$  **Mg/m<sup>3</sup>** Calculé  
( Valeurs de références : Sables : 2,65 à 2,68 T/m<sup>3</sup> - Limons : 2,68 à 2,72 T/m<sup>3</sup> - Argiles : 2,72 à 2,75 T/m<sup>3</sup> )

### COURBE PROCTOR - COURBE POINÇONNEMENT



	% Eau*	Densité Sèche (t/m <sup>3</sup> )	IPI
Point 1	19,9	1,660	12

#### \* Caractéristiques

Sur prise d'essai  
-Densité sèche **1,660** t/m<sup>3</sup>  
-Teneur en eau **19,9** %

\* Note : Détermination de la teneur en eau conforme à la Norme NF P 94-050

#### Conclusions :

Sol classe A<sub>2</sub> m à 1 m

Le 05 / 01 / 20 22

S. RAPIN

Site : FONDASOL LUXEMBOURG  
 Sol : SOL

 Client : FONDASOL LUXEMBOURG  
 47A Rue de Sanem  
 4485 SANEM

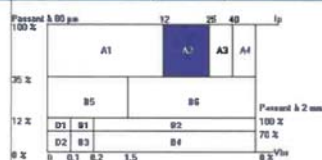
Dossier LC 21/1293 : Identification GTR - PRLUGT21-210-LUXTRAM - Route d'ARLON

 Prélèvement n° LE 21/6776  
 Agent préleveur: ENTREPRISE  
 Mode: Sondage  
 Opérateur Labo: M.ZAAIM  
 NFP11300  
 Norme NF P 11-300  
 Matériaux utilisés pour remblai et couche de forme

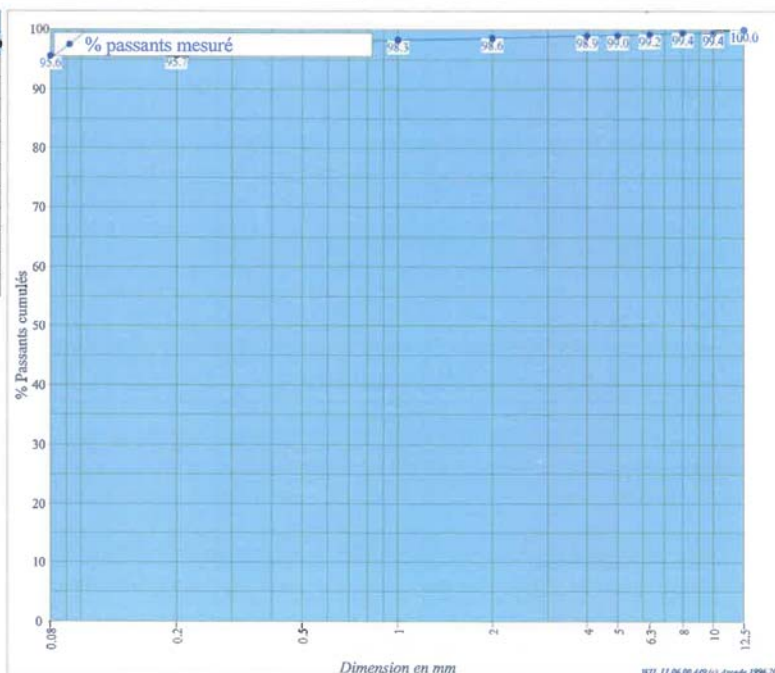
**INFORMATION SOL**

Lieu de Prélèvement	N° de Sondage	Profondeur (m)
LUXTRAM Route d'ARLON	SP1	1 - 2

ESSAIS	Minimum	Valeur	Maximum	U	Norme
Teneur en eau par séchage		19.9 %			EN 1097-5
Teneur en fines		95.6 %			EN 933-1
Valeur de Bleu d'un Sol		2.970 g			P 94-068
Classification GTR		A2			NF P 11-300



Tamais	mini	%tamais	maxi	Incertitude
12.500		100.0		
10.000		99.4		
8.000		99.4		
6.300		99.2		
5.000		99.0		
4.000		98.9		
2.000		98.6		
1.000		98.3		
0.500		98.0		
0.200		95.7		
0.080		95.6		



CONCLUSION	OBSERVATION	S.RAPIN - GERANT
Sol classe A2 selon NF P 11-300		le 05/01/2022

 La reproduction de ce rapport d'essai n'est autorisée que sous sa forme intégrale. Il comporte 1 page(s).  
 Les résultats présentés ne concernent que les échantillons soumis aux essais.  
 Ce produit a été contrôlé selon une organisation qualité conforme à la norme ISO 9001 certifiée par l'AFAQ N°1997/8523



# PROCES-VERBAL

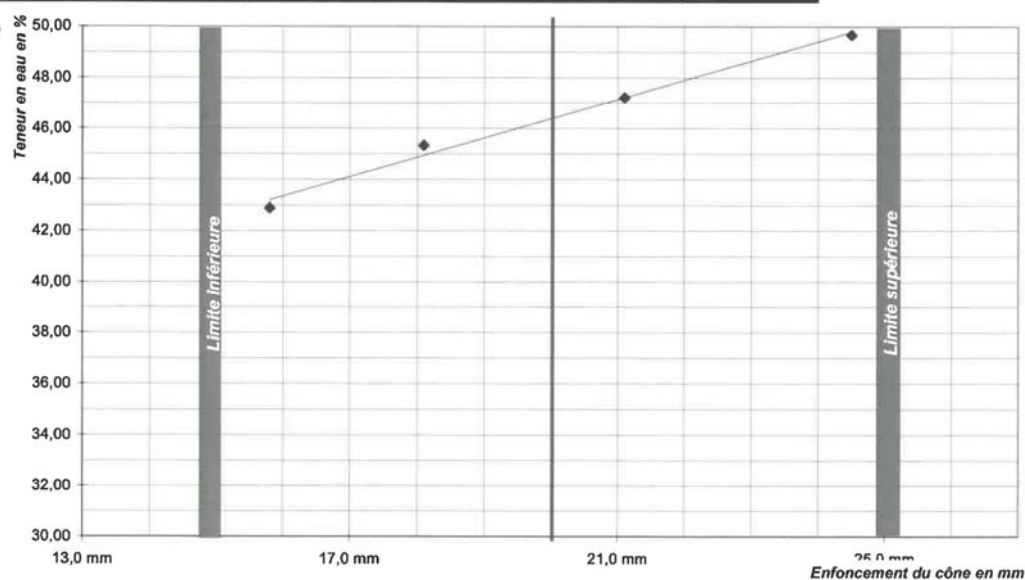
## DETERMINATION DES LIMITES D'ATTERBERG

CONFORME A LA NORME NF EN ISO 17892-12

N° DOSSIER :	LC 21/1293	TYPE DE MATERIAU :	SP1 (1-2m)
N° ENREGISTREMENT :	LE 21/6776	MODE DE PRELEVEMENT :	Sondage
AGENT PRELEVEUR :	ENTREPRISE	LIEU DE PRELEVEMENT :	LUXTRAM Route d'Arion PRLUGT21.0210
OPERATEUR LABO :	ZAAIM M.	SOCIETE EXPLOITANTE :	FONDASOL LUXEMBOURG
PRELEVE LE :	23/12/2021	ANALYSE LE :	10/01/2022

### METHODE AU CONE

Mesures N°	1	2	3	4
Enfoncement	24,5 mm	21,1 mm	18,1 mm	15,8 mm
Teneur en Eau %	49,68	47,21	45,32	42,89



Teneur en eau de plasticité	W = 23,86 %	W Moyen	W = 22,98 %	W Moyen
	W = 23,68 %		W = 23,10 %	
Limite de liquidité : W <sub>L</sub> =	46,3	Indice de plasticité		
Limite de plasticité : W <sub>p</sub> =	23,4			
		I <sub>p</sub> = 22,9		
Teneur en eau du sol : W <sub>n</sub> =	19,90 %	Indice de consistance I <sub>c</sub> = 1,15		

### Conclusion :

**Matériau classé A2 selon NF P 11-300**

Le 10/01/2022

S. RAPIN

Ce produit a été contrôlé selon une organisation qualité conforme à la norme ISO 9001 certifiée par l'AFAC N° 1997/8523





[www.groupefondasol.com](http://www.groupefondasol.com)

**AGENCE DE LUXEMBOURG**

47A rue de Sanem  
L-4485 SOLEUVRE

☎ 52 27 97

📠 52 27 96

✉ luxembourg@fondasol.lu