Etude géotechnique – Mission G2-AVP

Etude n° PR.LUGT.24.0035 – 006 – Indice B – 11/09/2026

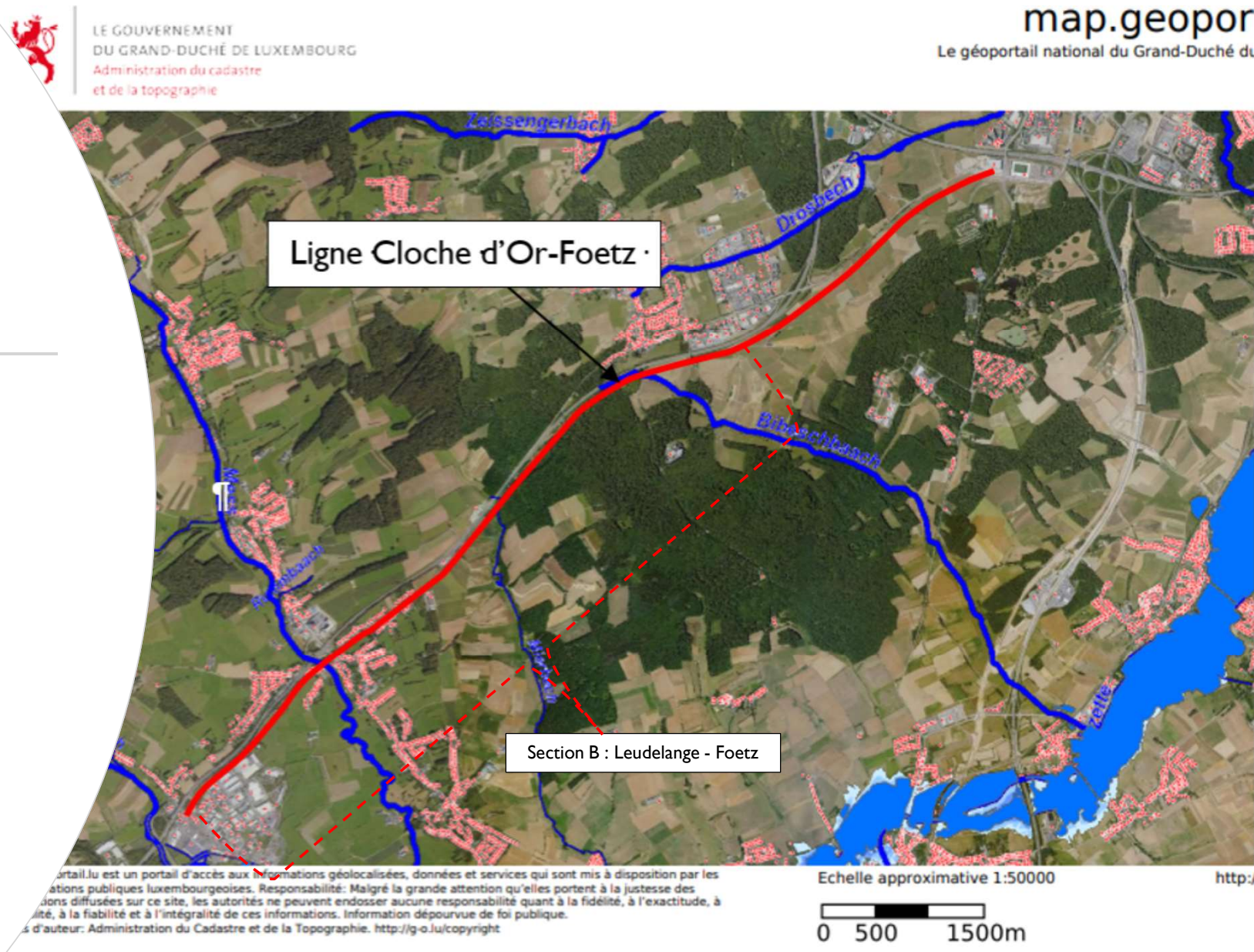
Construction de la ligne de tram rapide (variante Nord)

Section B : Leudelange-Foetz



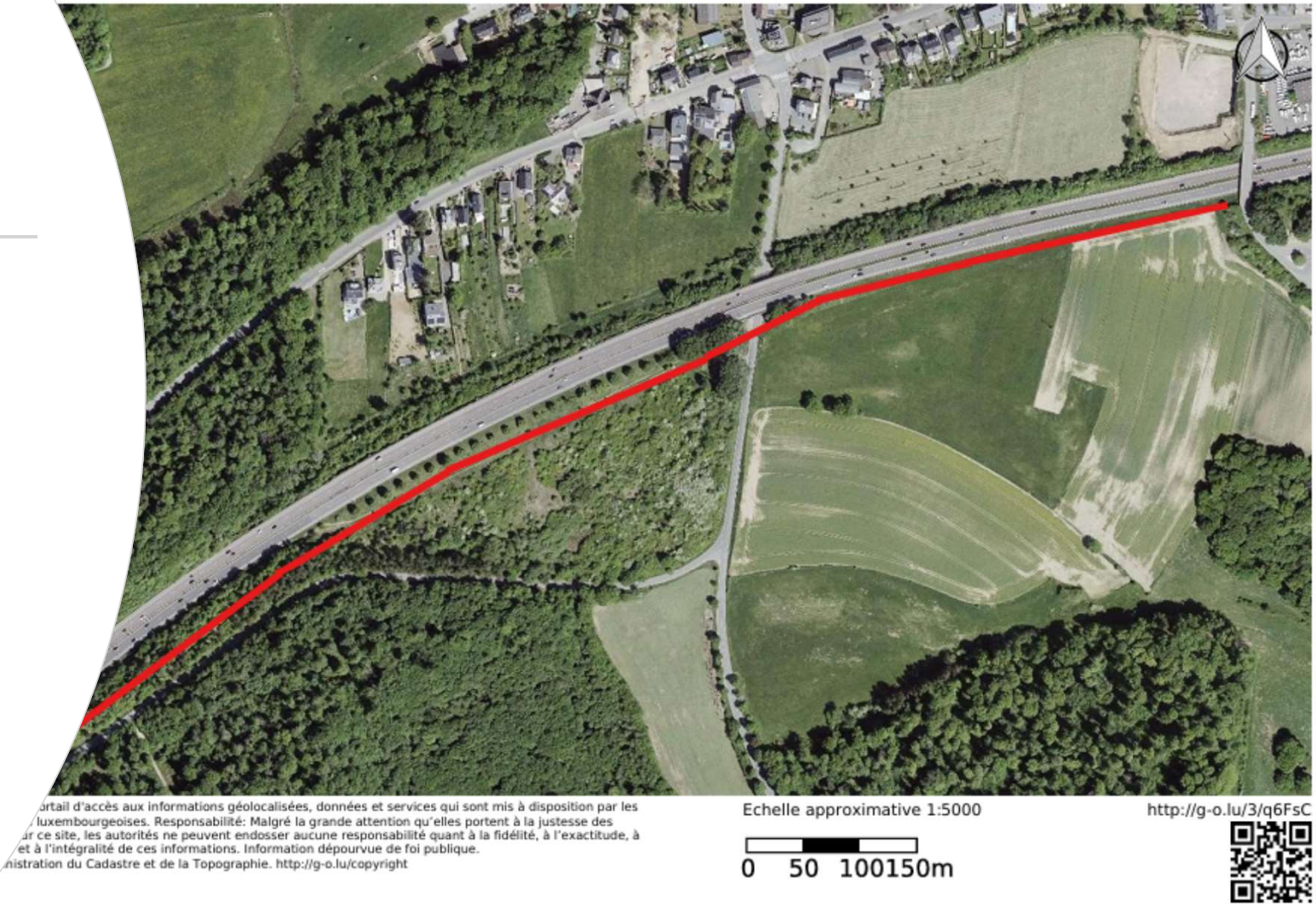
Description du site

- Vue générale



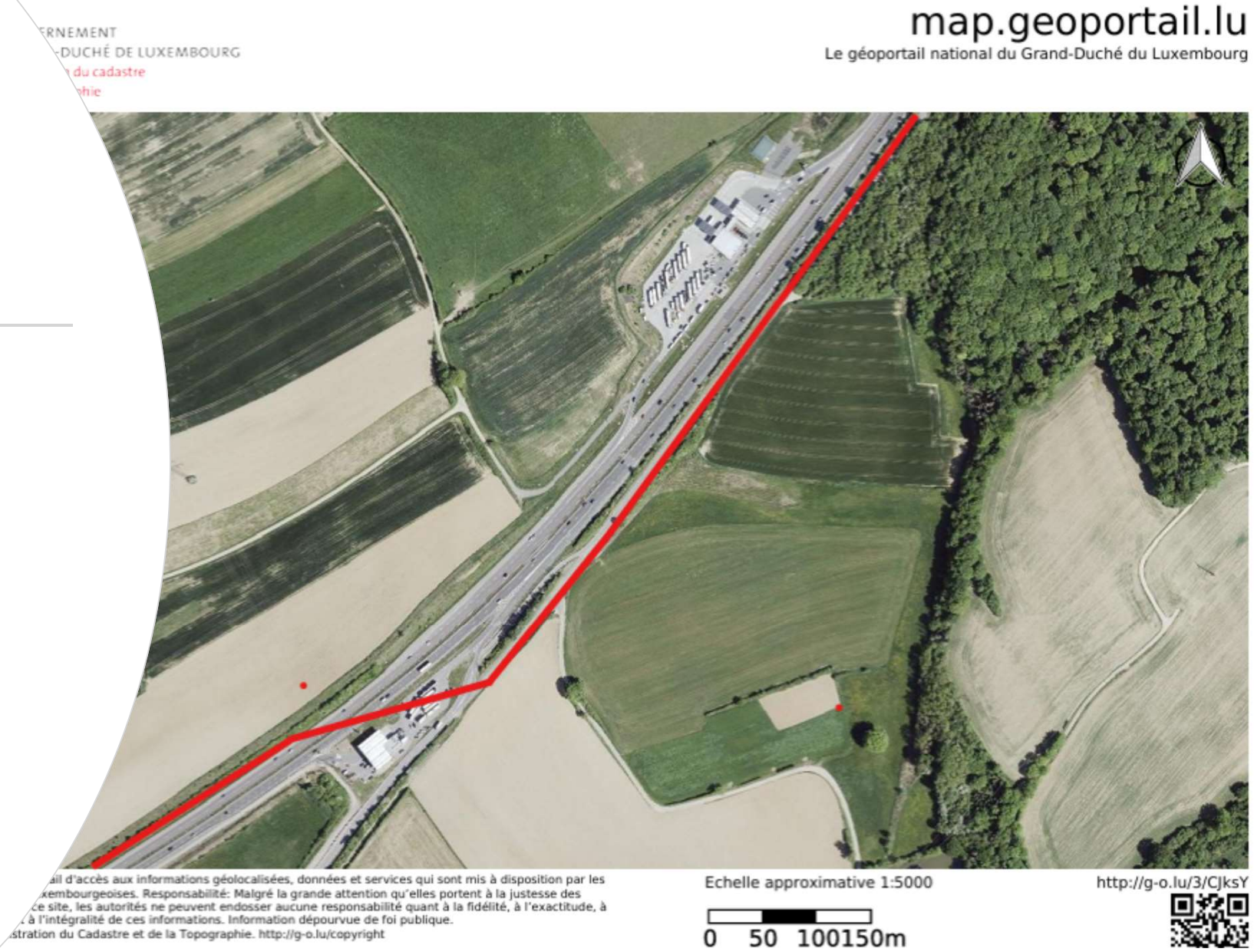
Description du site

- Vue générale

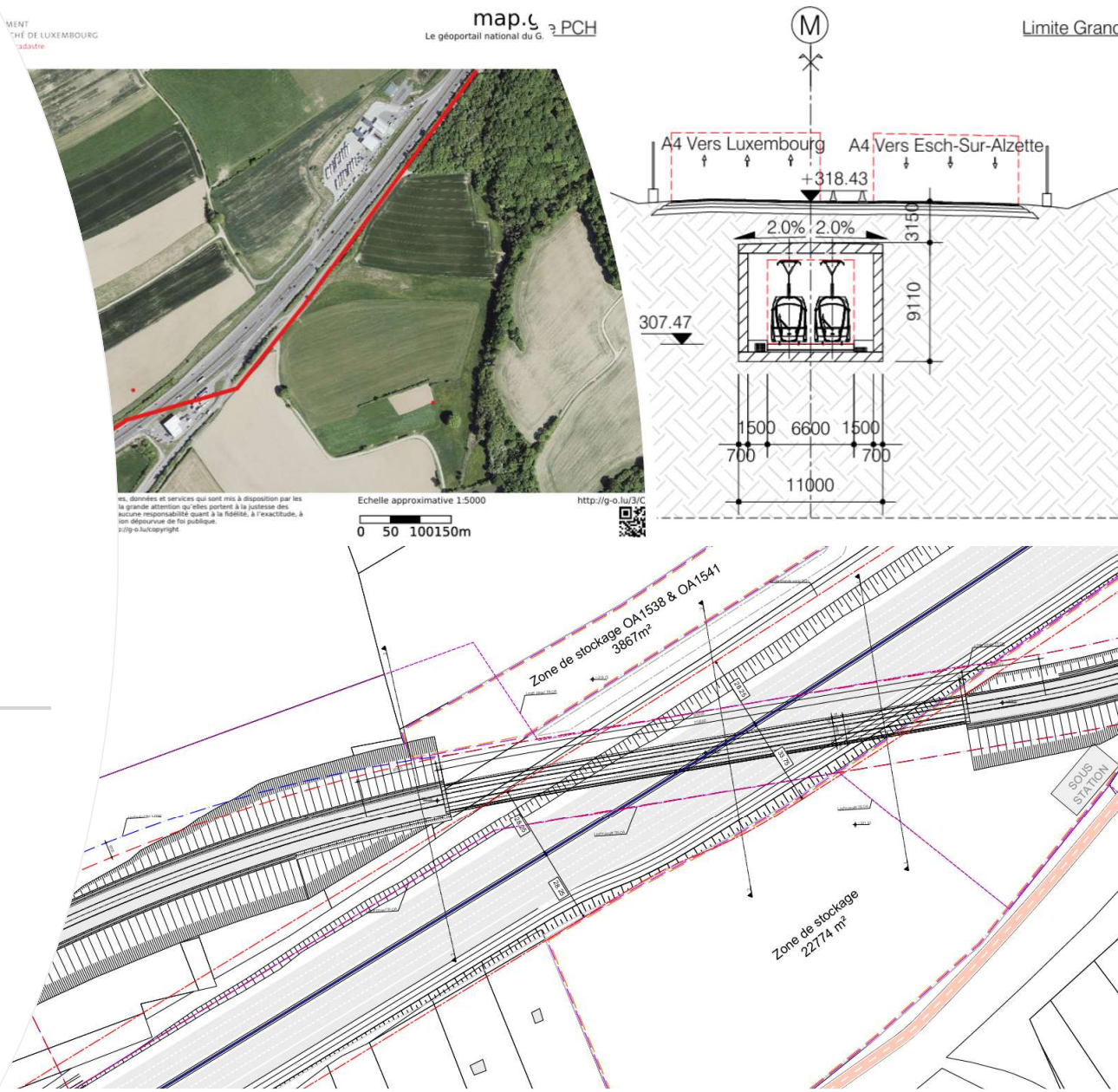


Description du site

- Vue générale

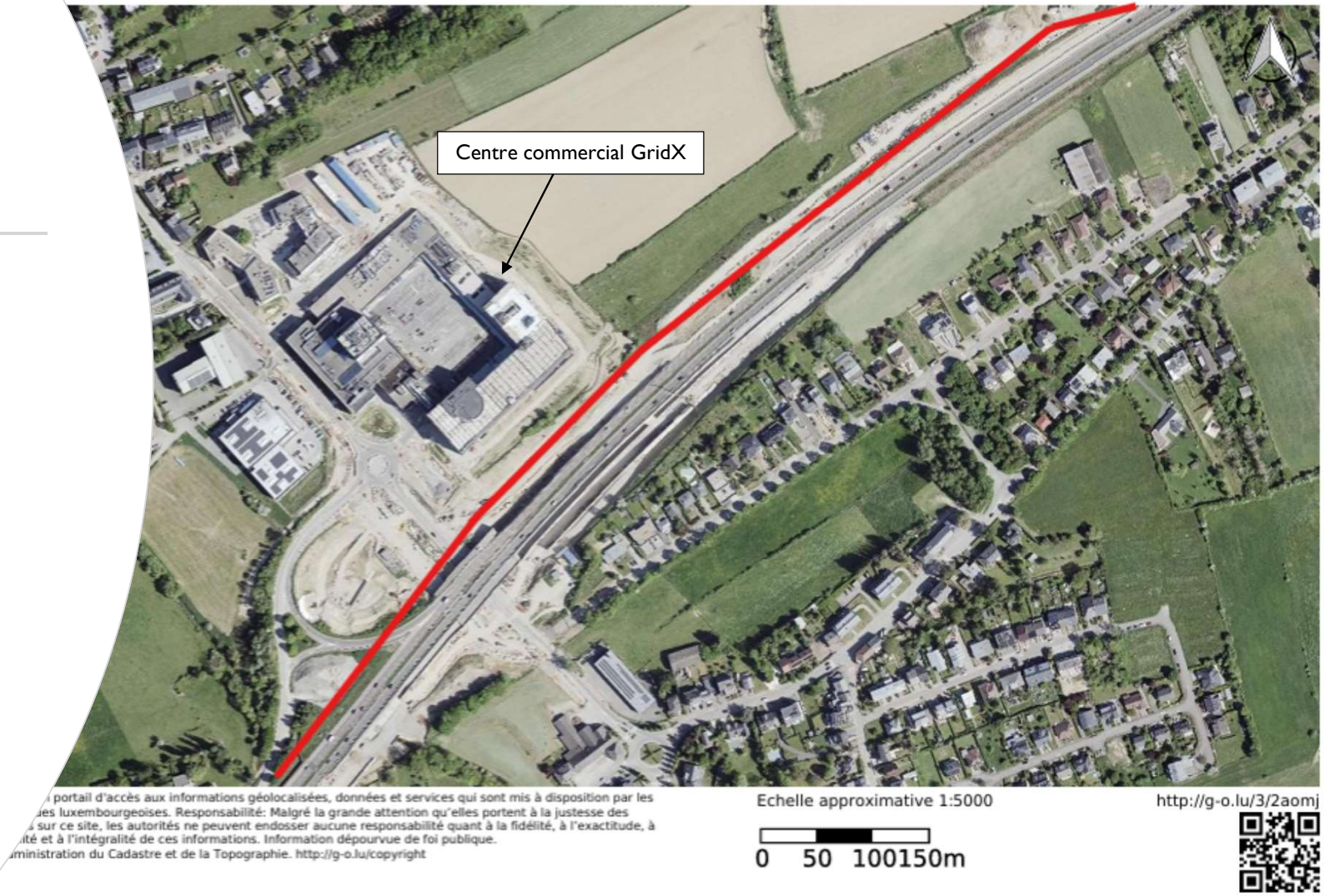


Ouvrage souterrain (tunnel) et de franchissement projetés – secteur Pontpierre Est



Description du site

- Vue générale



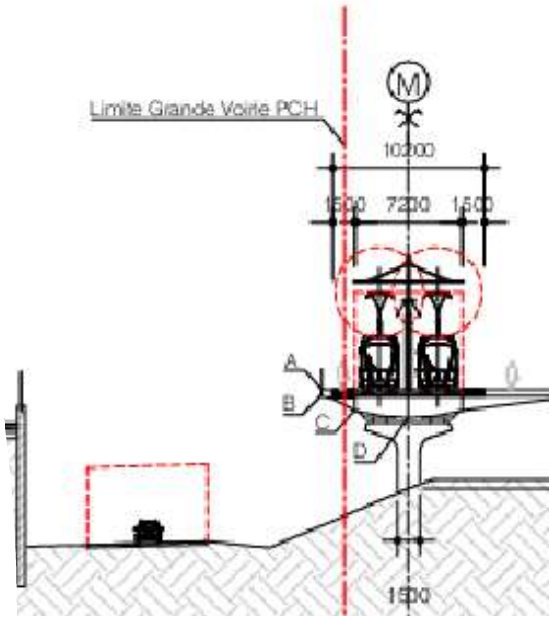
Description du site

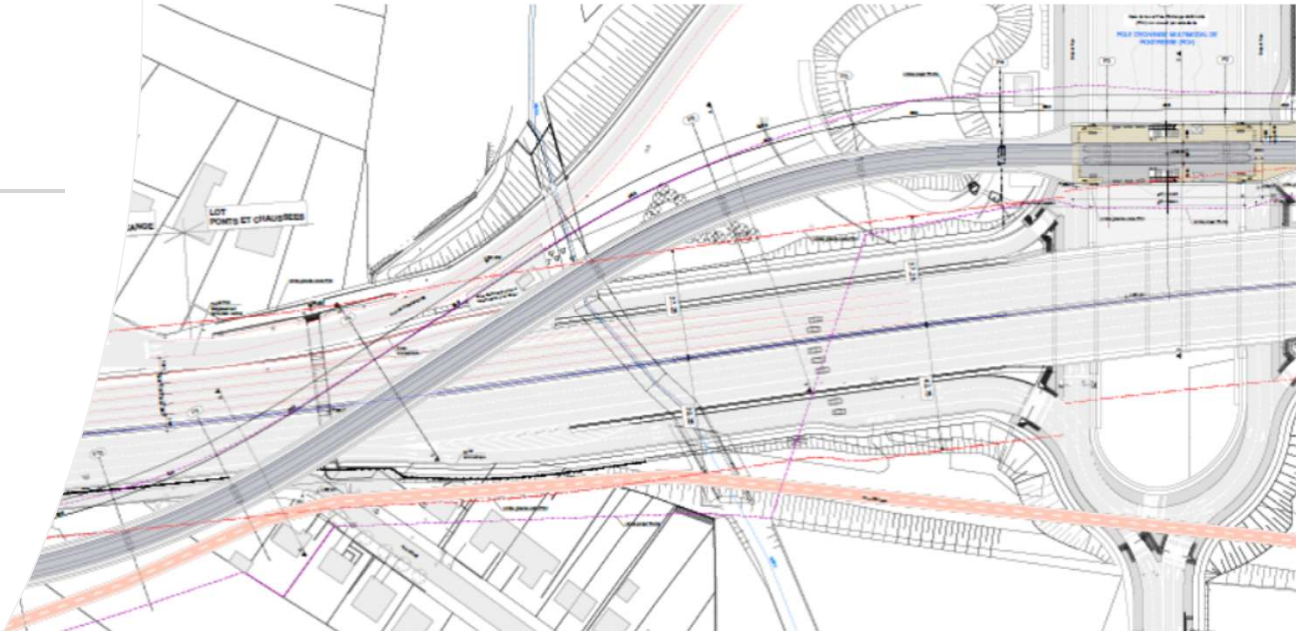
- Vue générale



Ouvrage souterrain (tunnel) et de franchissement projetés – secteur Pontpierre Ouest

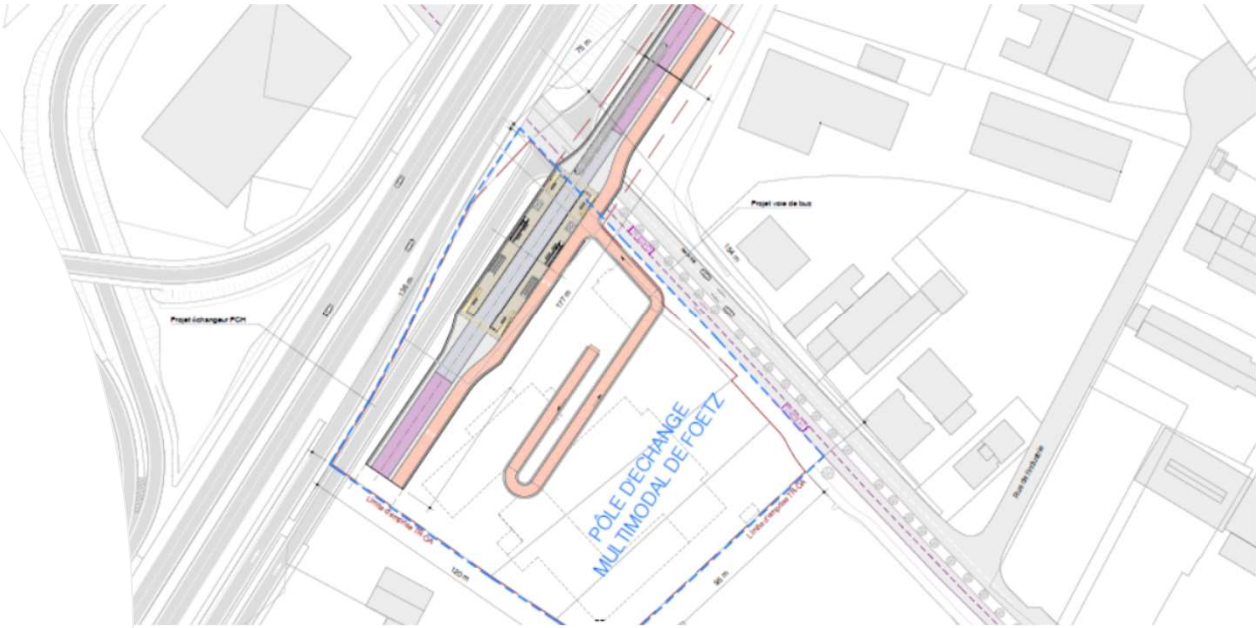


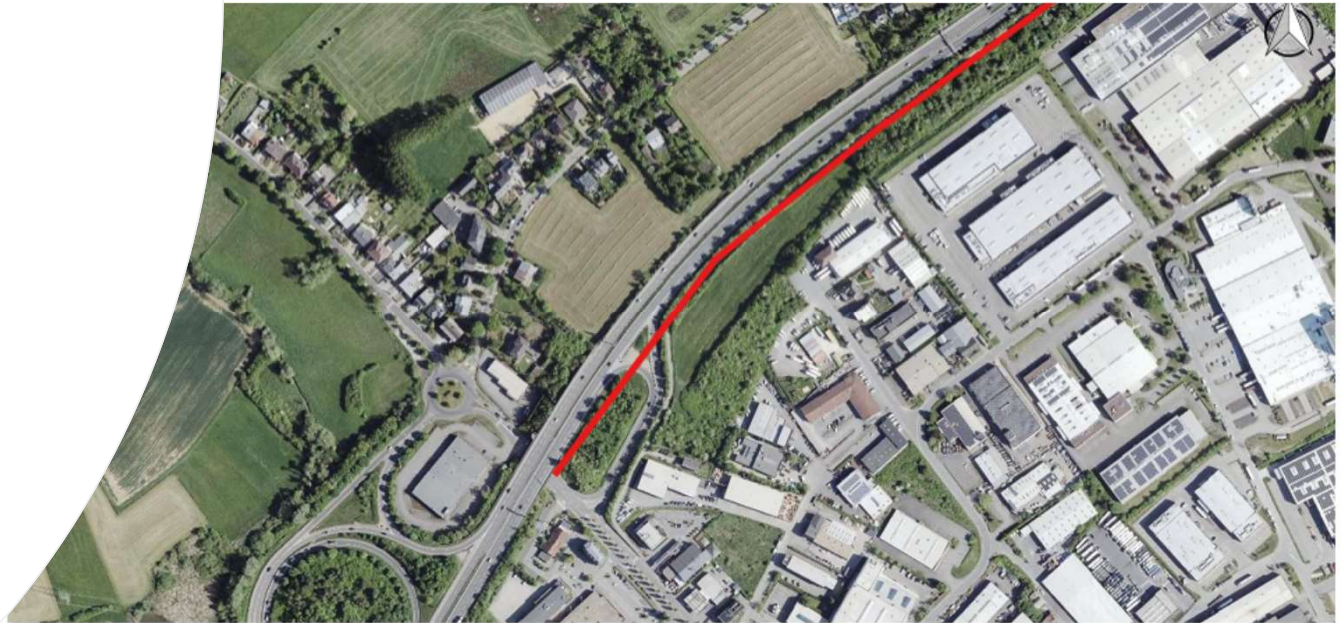




Description du site

- Vue générale





Description du site

- Vue générale (secteur Pontpierre)





Description du site

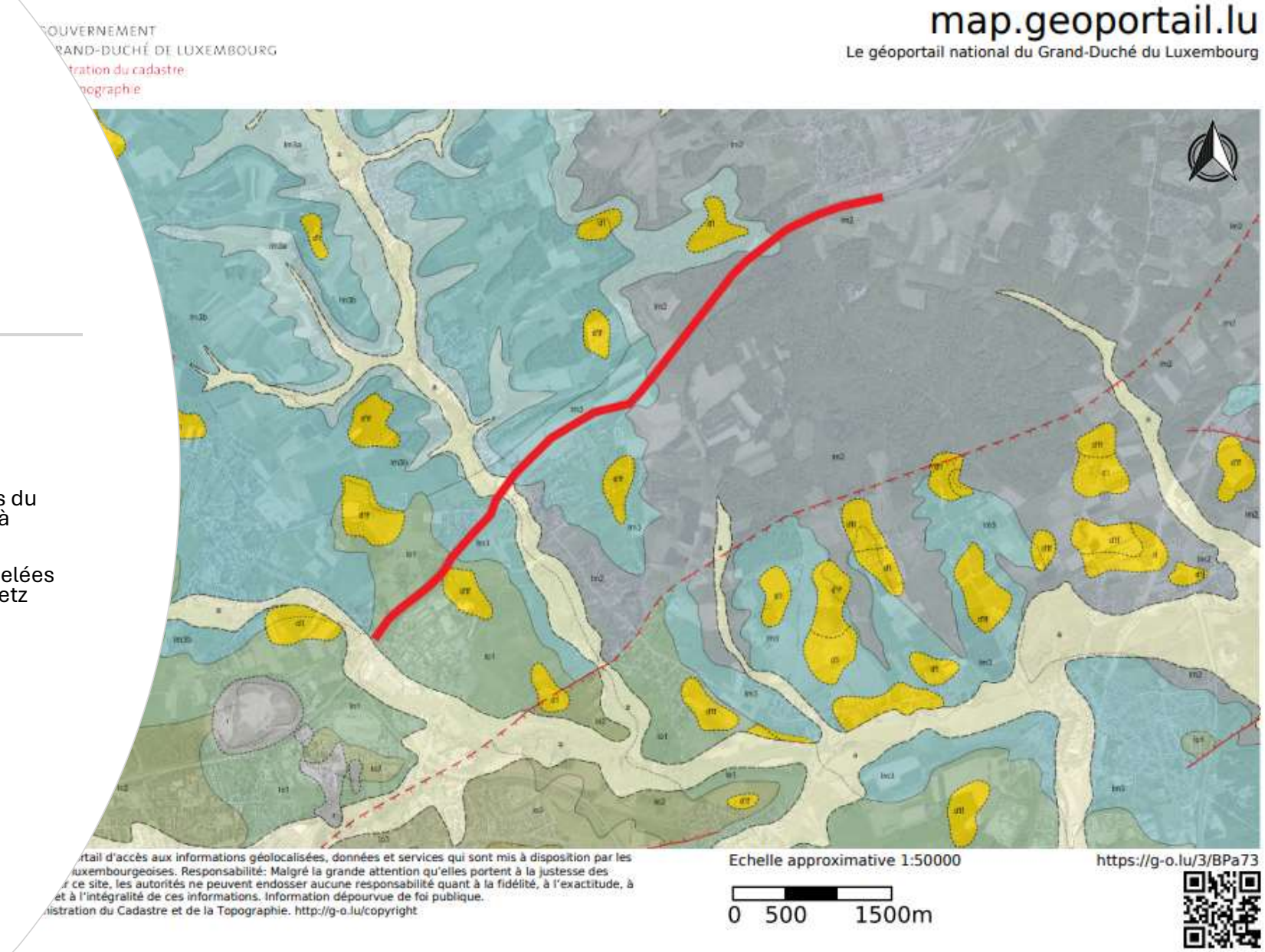
- Vue générale (secteur Foetz)





Description du site

- Géologie :
  - Remblais
  - Argiles d'altération
  - Marnes argileuses feuilletées grises du Pliensbachien (lm2 de Leudelange à Pontpierre Est, lm3 à Pontpierre)
  - Argilites marneuses feuilletées appelées aussi « schistes cartons » (lo1) à Foetz uniquement

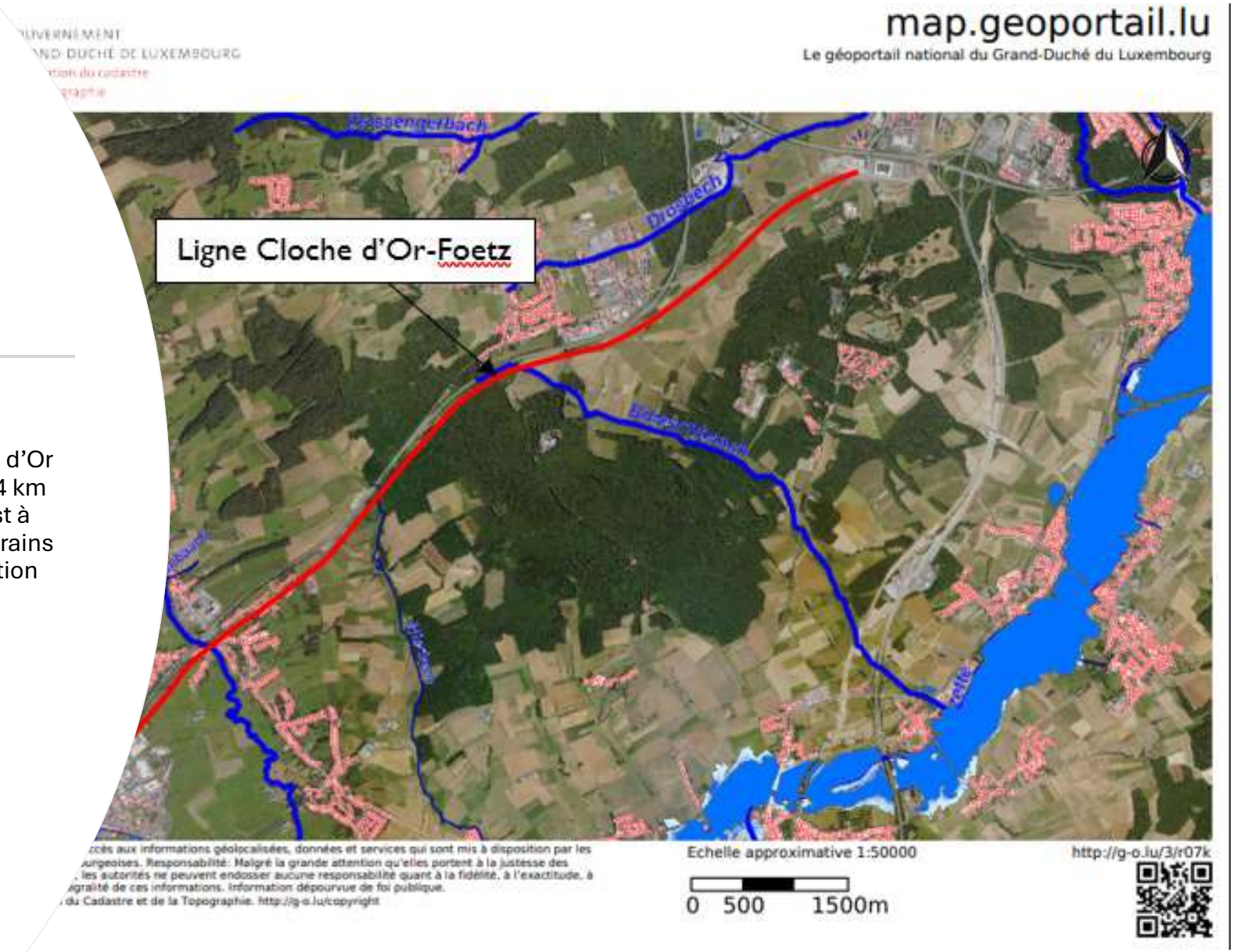


portail d'accès aux informations géolocalisées, données et services qui sont mis à disposition par les luxembourgeoises. Responsabilité: Malgré la grande attention qu'elles portent à la justesse des ce site, les autorités ne peuvent endosser aucune responsabilité quant à la fidélité, à l'exactitude, à et à l'intégralité de ces informations. Information dépourvue de foi publique.
Administration du Cadastre et de la Topographie. http://g-o.lu/copyright

Description du site

- Contexte hydrogéologique :

➢ Le tronçon section A entre Cloche d'Or et Leudelange est situé à environ 4 km de l'Alzette qui s'écoule au Sud-Est à environ 40 m en contrebas des terrains étudiés → pas de risque d'inondation en période de crue de l'Alzette.



Résultats des investigations

- Lithologie

Sondages	Enrobé	Remblais	Argiles molles	Argiles fermes à raides	Marnes
	Profondeur (en m) de la base de la couche (cote)				
SP24	-	0.4 (327.6)	-	4.7 (323.3)	>10.0 (<318.0)
SP25	-		-	4.7(324.3)	>15.0 (<314.0)
SP25b	-	1.9 (328.7)	-	8.5 (322.1)	>15.0 (<315.6)
SP26	-		-	2.5 (321.3)	>6.0 (317.8)
SP27	-	1.25 (319.75)	-	5.5 (315.5)	>8.0 (<313.0)
SP28	-		-	9.0 (311.7)	>15.0 (<305.7)
SP29	-	1.5 (316.3)	2.9 (314.9)	8.6 (309.2)	>15.0 (<302.8)
SP30	-	1.75(320.8)	-	>6.0 (<316.5)	-
SP31	-	>6.0 (319.8)	-	-	-
SP32	-	3.8 (325.4)		11.0 (318.2)	>15.0 (<314.2)
SP33	-	-	-	5.8 (340.2)	>15.0 (331.0)
SP34	-		-	4.5(343.0)	>15.0(337.5)
SP35			-	4.0(342.0)	>10.0(<336.0)
SP36			-	4.6(338.8)	>8.0(<335.4)
SP37	-	3.5(337.2)	-	-	>15.0(<325.7)
SP38	-	2.0(330.3)	-	>3.0(329.3)	-
SP39	-	-	-	>3.0(327.93)	-
SP40	-	1.6(325.8)	-	-	>3.0(<324.4)
SP41	-	2.5(322.5)	-	>4.0(321.0)	-
SP42	0.3(317.2)	1.3(316.2)	-	8.4(309.1)	>15.0(<302.5)
SP43	0.3(315.4)	1.3(314.4)	4.7(311.0)	>8.0(307.7)	-
SP44	0.3(312.1)	1.0(311.4)		12.5(299.9)	>15.0(<297.4)
SP45	0.2(311.4)	4.5(307.1)	-	>8.0(303.6)	-
SP46	0.3(312.4)	1.2(311.5)	-	4.5(308.2)	>6.0(<306.7)

Résultats des investigations

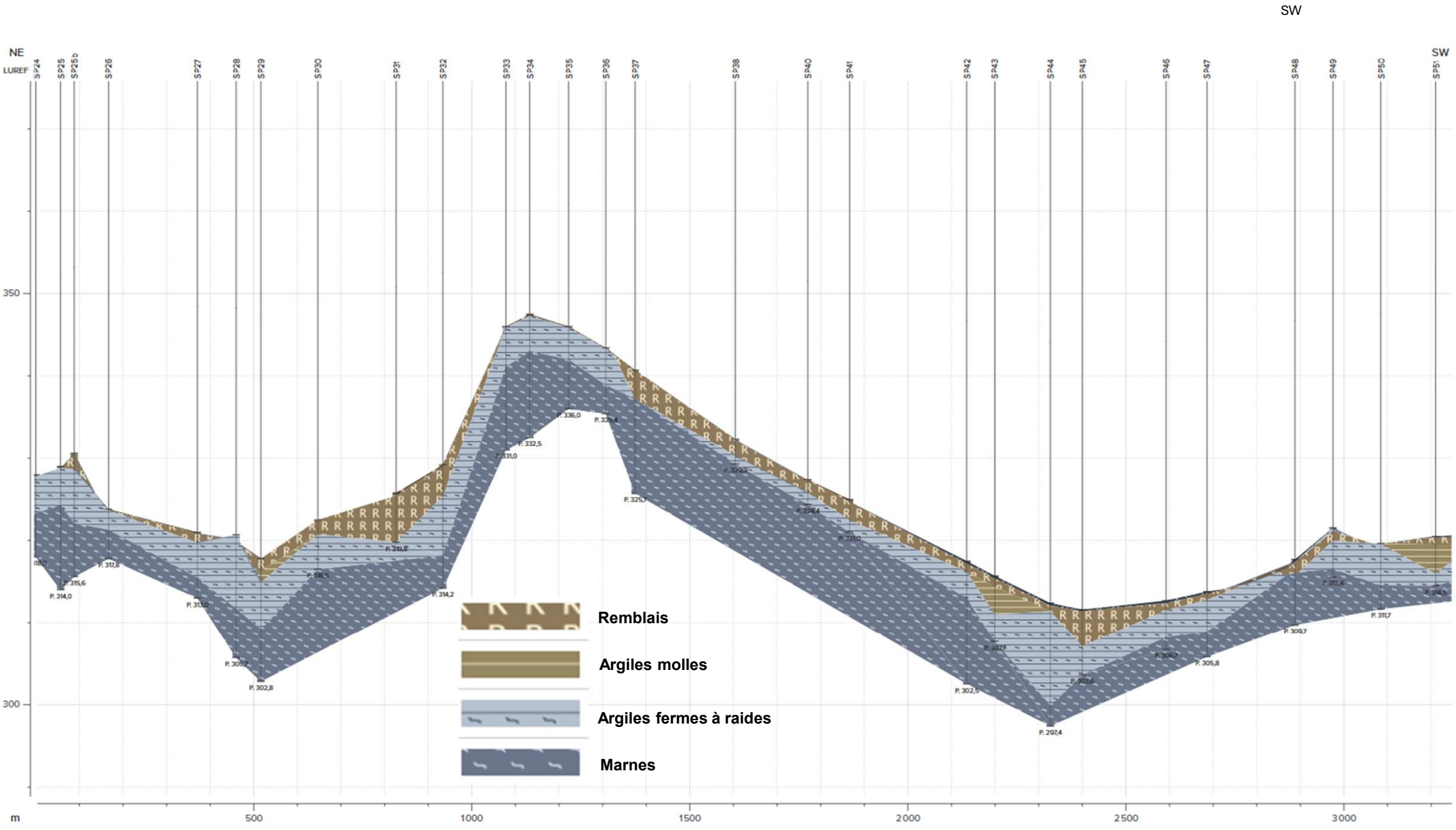
- Lithologie

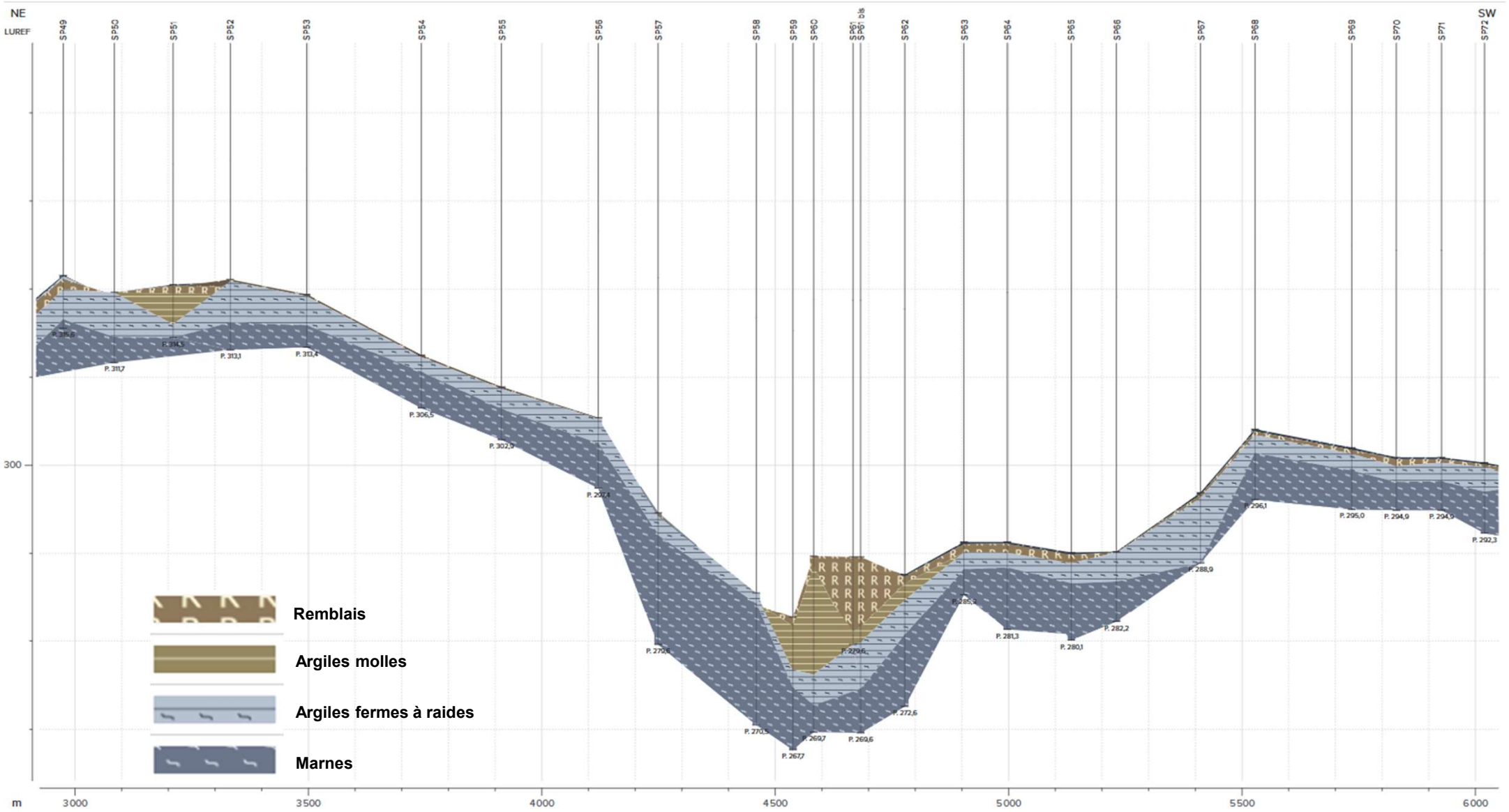
Sondages	Enrobé	Remblais	Argiles molles	Argiles fermes à raides	Marnes
	Profondeur (en m) de la base de la couche (cote)				
SP47	0.3(313.5)	1.0(312.8)	-	4.9(308.9)	>8.0(<305.8)
SP48	0.3(317.4)	2.0(315.7)	-	5.5(312.2)	>8.0(<309.7)
SP49	0.1(321.45)	1.6(320.0)	-	5.0(316.6)	>6.0(<315.6)
SP50	-	-	-	5.1(314.6)	>8.0(<311.7)
SP51	-	1.0(319.5)	4.5(316.0)	>6.0(314.5)	-
SP52	-	-	-	4.9(316.2)	>8.0(<313.1)
SP53	-	-	-	3.5(312.9)	>6.0(<310.4)
SP54	-	-	-	1.9(310.6)	>6.0(<306.5)
SP55	-	-	-	2.5(306.4)	>6.0(<302.9)
SP56	-	-	-	2.9(302.5)	>8.0(<297.4)
SP57		0.3(394.3)	-	2.5(292.0)	>15.0(<279.6)
SP58	-	-		1.2(284.3)	>15.0(<270.5)
SP59	-	1.0(281.7)	6.0(276.7)	8.0(274.7)	>15.0(<267.7)
SP60	-	1.2(288.5)	13.5(276.2)	17.0(272.7)	>20.0(<269.7)
SP61	-	>8.0(283.6)	-	-	-
SP61B	-	8.0(281.6)	9.8 (279.8)	15.0(274.6)	>20.0(<269.6)
SP62	0.2(287.4)	-	2.9 (284.7)	6.9(280.7)	>15.0(<272.6)
SP63	0.25(291.05)	1.2(290.1)	-	3.1(288.2)	>6.0(<285.3)
SP64	0.2(291.1)	1.2(290.1)	-	2.9(288.4)	>8.0(<283.3)
SP66	0.1(290.1)	-	-	3.4(286.8)	>8.0(<282.2)
SP67	0.25(296.65)	-	-	4.00(292.9)	>8.0(<288.9)
SP68	0.25(303.85)	-	-	2.7(301.4)	>8.0 (<296.1)
SP69	0.25(301.75)	-	-	2.6(299.4)	>6.0 (<296.0)
SP70	0.2(300.7)	1.0(299.9)	-	2.8(298.1)	>6.0(<294.9)
SP71	0.2(300.7)	-	-	2.7(298.2)	>6.0(<294.9)
SP72	0.2(300.1)	-	-	3.3(297.0)	>8.0(<292.3)
SP73	0.2 (299.25)	-	-	1.8(297.7)	>8.0(<291.5)

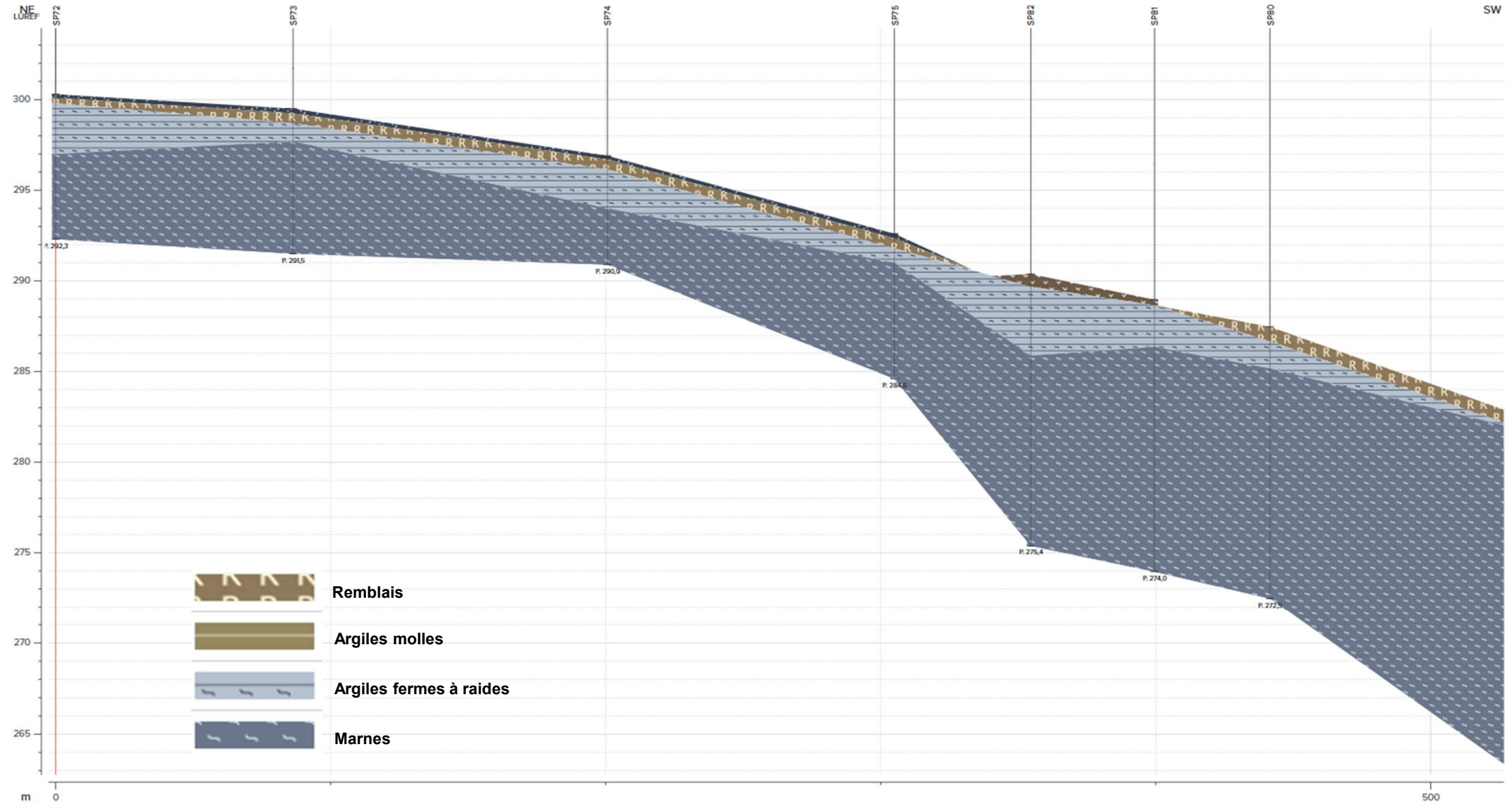
Résultats des investigations

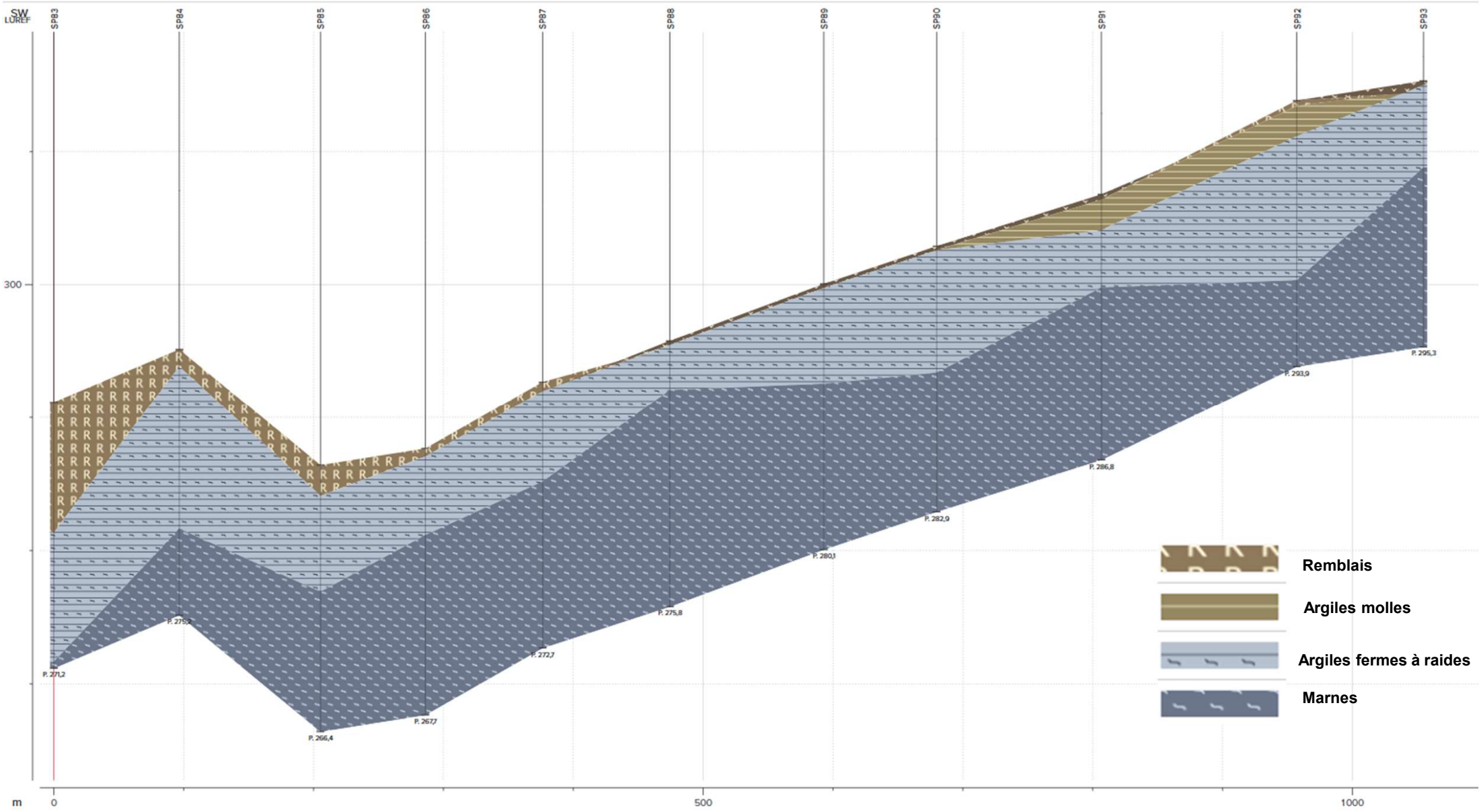
- Lithologie

Sondage	Enrobé	Remblais	Argiles molles	Argiles fermes à raides	Marnes
	Profondeur (en m) de la base de la couche (cote)				
SP74	0.2(296.7)	-	-	2.9(294.0)	>6.0(<290.9)
SP75	0.25(292.35)	-	-	1.6(291.8)	>8.0(<284.6)
SP77	-	0.7(281.17)	-	-	>20.0(<262.4)
SP78	-	-	10.0 (306.4)	12.5 (303.9)	>20.0 (<296.4)
SP79	-	1.0(325.2)	-	4.5 (321.17)	>20.0(<306.2)
SP80	-	0.8(286.67)	1.5 (286.0)	2.3(285.17)	>15.0(<272.5)
SP81	-	-	-	2.6(286.36)	>15.0(273.96)
SP82	-	-	-	1.8(288.58)	>15.0(<275.38)
SP83	-	9.8(281.37)	-	17.5(273.67)	>20.0(<271.165)
SP84	-	1.3(293.85)	4.5 (290.65)	13.5(281.65)	>20.0(<275.15)
SP85	-	2.3(284.11)	5.5 (280.9)	9.5(276.91)	>20.0(<266.41)
SP86	-	0.6(287.06)	-	5.7(281.96)	>20.0(<267.67)
SP87	-	0.7(291.99)	-	5.5(287.19)	>20.0(<272.7)
SP88	-	-	2.2(293.59)	3.7(292.09)	>20.0(<275.8)
SP89	-	-	1.5 (298.6)	7.5(292.57)	>20.0 (<280.07)
SP90	-	-	1.5(301.4)	9.5(293.4)	>20.0(<282.90)
SP91	-	-	1.2(305.6)	7.0(299.8)	>20.0(<286.8))
SP92	-	0.4(313.45)	1.5 (312.35)	4.8 (309.05)	>20.0(< 300.35)
SP93	-	-	-	2.7(312.63)	>20.0 (<295.33)
SP94	-	-	-	4.5	>20.0
SCA2	-	0.18 (321.52)	0.5 (321.2)	5.0 (316.7)	>20.0 (<301.7)
SCA1		0.4		3.0	>20.0
L1	-	-	>1.2	-	-
L2	-	-	>1.15	-	-


SW
NE
SW
LUREF
S24
S25
S25b
S26
S27
S28
S29
S30
S31
S32
S33
S34
S35
S36
S37
S38
S40
S41
S42
S43
S44
S45
S46
S47
S48
S49
S50
S51
350
300
m
500
1000
1500
2000
2500
3000
Remblais
Argiles molles
Argiles fermes à raides
Marnes


NE
SW
LUREF
SP49
SP50
SP51
SP52
SP53
SP54
SP55
SP56
SP57
SP58
SP59
SP60
SP61
SP62
SP63
SP64
SP65
SP66
SP67
SP68
SP69
SP70
SP71
SP72
P. 315,0
P. 314,5
P. 311,7
P. 313,1
P. 313,4
P. 306,5
P. 302,9
P. 297,4
P. 270,6
P. 270,5
P. 267,7
P. 269,7
P. 269,6
P. 272,6
P. 229,6
P. 285,2
P. 281,3
P. 280,1
P. 282,2
P. 288,9
P. 296,1
P. 295,0
P. 294,9
P. 294,9
P. 292,3
300
m
3000
3500
4000
4500
5000
5500
6000
Remblais
Argiles molles
Argiles fermes à raides
Marnes


NE
LUREF
SW
SP72
SP73
SP74
SP75
SP82
SP81
SP80
300
295
290
285
280
275
270
265
m
0
500
P. 292,3
P. 291,5
P. 290,9
P. 284,6
P. 275,4
P. 274,0
P. 272,5
Remblais
Argiles molles
Argiles fermes à raides
Marnes


SW
LUREF
SP83
SP84
SP85
SP86
SP87
SP88
SP89
SP90
SP91
SP92
SP93
300
P. 271,2
P. 275,2
P. 266,4
P. 267,7
P. 272,7
P. 275,8
P. 280,1
P. 282,9
P. 286,8
P. 293,9
P. 295,3
Remblais
Argiles molles
Argiles fermes à raides
Marnes
m
0
500
1000

Résultats des investigations

- Essais pressiométriques

Essais pressiométriques							
Formation	**Pression limite nette p_{LM}^* (MPa)**			**Module pressiométrique E_M (MPa)**			**Nb valeurs**
	Min	Max	Moyenne géométrique	Min	Max	Moyenne harmonique	
Remblais	0.06	4.4	0.47	2.9	269.8	11.99	57
Argiles molles	0.05	0.5	0.16	1.0	18.2	3.31	37
Argiles fermes à très raides	0.06	4.91	0.71	0.4	557.1	11.36	250
Marnes	0.48	4.95	3.9	13.0	586.2	175.99	357

Résultats des investigations

- Arrivées d'eau

Sondage	Niveau d'eau			
	En cours de forage		En fin de forage	
	Prof. (m)	Cote	Prof.(m)	Cote
SP24	-	-	4.5	323.5
SP25	-	-	3.8	325.2
SP25bis	-	-	-	-
SP26	4.0	319.8	2.4	321.4
SP27	6.5	314.5	4.2	316.8
SP28	5.5	315.2	2.1	318.6
SP29	13.5	304.3	5.7	312.1
SP30	-	-	-	-
SP31	3.0	322.8	1.8	324.0
SP32	13.0	316.2	9.7	319.5
SP33	-	-	12.0	334.0
SP34	-	-	-	-
SP35	-	-	-	-
SP36	-	-	-	-
SP37	-	-	11.5	329.2
SP38	-	-	-	-
SP39	-	-	-	-
SP40	-	-	-	-
SP41	-	-	-	-
SP42	-	-	-	-
SP43	-	-	-	-
SP44	-	-	5.1	307.3
SP45	6.5	305.1	3.7	307.9
SP46	-	-	3.8	308.9
SP47	-	-	4.6	309.2
SP48	-	-	-	-
SP49	-	-	-	-
SP50	4.0	315.65	-	-

Sondage	Niveau d'eau			
	En cours de forage		En fin de forage	
	Prof. (m)	Cote	Prof. (m)	Cote
SP51	5.0	315.5	-	-
SP52	-	-	4.0	317.1
SP53	-	-	-	-
SP54	5.0	307.5	-	-
SP55	5.0	303.9	-	-
SP56	6.0	299.4	-	-
SP57	-	-	-	-
SP58	5.5	280.0	-	-
SP59	2.0 et 8.0	280.7 et 274.7	-	-
SP60	10.0	279.7	-	-
SP61	10.0	279.6	-	-
SP61bis	10.0 et 15.0	279.6 et 274.6	-	-
SP62	6.0	281.6	-	-
SP63	-	-	-	-
SP64	-	-	-	-
SP65	-	-	-	-
SP66	-	-	-	-
SP67	-	-	-	-
SP68	-	-	-	-
SP69	-	-	-	-
SP70	-	-	-	-

Résultats des investigations

- Arrivées d'eau

➢ Ces niveaux correspondent vraisemblablement à des circulations d'eau de ruissellement et d'infiltration de type sources dans les litages des argiles et dans les fissures des marnes.

➢ Il est toujours possible de rencontrer des circulations d'eau d'infiltration et de ruissellement à différentes profondeurs dont le débit et la profondeur dépendront essentiellement des conditions météorologiques et des saisons.

Sondage	Niveau d'eau			
	En cours de forage		En fin de forage	
	Prof. (m)	Cote	Prof. (m)	Cote
SP71	-	-	-	-
SP72	-	-	-	-
SP73	-	-	-	-
SP74	-	-	-	-
SP75	-	-	-	-
SP77	14.0	268.4	-	-
SP78	9.0	307.4	4.7	311.7
SP79	7.0	319.2	3.2	323.0
SP80	5.0	282.5	-	-
SP81	10.0	279.0	8.5	280.5
SP82	3.0	287.4	10.8	279.6
SP83*	10.0	281.2	-	-
SP84*	-	-	18.0	277.15
SP85	7.5	278.9	-	-
SP86*	-	-	15.0	272.7
SP87*	-	-	10.8	281.9
SP88*	-	-	13.0	282.8
SP89*	-	-	4.0	296.1
SP90*	-	-	10.3	292.6
SP91*	-	-	9.0	297.8
SP92*	-	-	2.0	311.85

Résultats des investigations

- Arrivées d'eau (relevé piézométrique du 17/07/2026)

➢ Le 17/07/2026, les niveaux d'eau mesurés au droit des sondages SCA1 et SCA2 équipés en piézomètre se trouvaient entre 8.03 et 9.32 m de profondeur par rapport au niveau du terrain actuel, sous les cotes respectives 310.87 et 312.38 soit environ 3.4 à 4.91 au-dessus du niveau fini du radier du passage inférieur dont la cote est fixée à 307.47.

Sondage	Profondeur niveau d'eau	Cote niveau d'eau
SCA1	8.03	310.87
SCA2	9.32	312.38

Résultats des investigations

- Essais en laboratoire

Éch.	Nature	w_n (%)	$C_{63\mu m}$ (%)	$C_{80\mu m}$ (%)	w_L (%)	I_P (%)	VBs (g)	IPI (%)	Classe GTR 2000	Classe GTR 2023
SP50 (0.5-2m)	Argiles	8.2	82.8	83.5	42	18	-	34.9	A2	F2
SP52 (0.2-2m)	Argiles	13.6	79.2	81.6	47	25	-	-	A2	F3
SP54 (1-2m)	Argiles	21.3	79.9	81.3	40	15	-	-	A2	F2
SP55 (0.1-2m)	Argiles	15.6	86.3	87.5	38	12	-	25.3	A1	F1
SP56 (0.05-2m)	Argiles	31.5	92.1	92.4	42	17	-	0.1	A2th	F2th
SP57 (0.1-2m)	Marnes argileuses	10.0	97.2	97.7	47	22	-	-	A2	F2
SP58 (0.2-2m)	Argiles	12.2	82.0	83.6	41	18	-	25.0	A2	F2
SP59 (0.0-0.9m)	Remblais sablo-graveleux	3.4	16.3	17.4	-	-	0.25	-	B5	I1
SP59 (1-2m)	Argiles	6.6	86.8	88.0	43	18		-	A2	F2
SP61 (1-2m)	Remblais sablo-graveleux	4.1	-	-	-	-	0.32	-	-	-
SP62 (1-2m)	Argiles	20.3	86.0	87.1	51	23	-	13.5	A2m	F3

Résultats des investigations

Éch.	Nature	w_n (%)	$C_{63\mu m}$ (%)	$C_{80\mu m}$ (%)	w_L (%)	I_P (%)	VBs (g)	IPI (%)	Classe GTR 2000	Classe GTR 2023
SP64 (1-2m)	Argiles	15.7	83.4	84.8	44	19	-	23.1	A2	F2
SP65 (1.2-2m)	Argiles	12.1	88.4	89.4	44	16	-	11.3	A2m	F2m
SP67 (0.6-2m)	Argiles limoneuses	16.2	93.5	94.4	53	27	-	18.6	A3	F3
SP68 (0.65-2m)	Argiles	14.7	87.9	88.4	55	24	-	18.5	A2	F3
SP70 (1-2m)	Argiles	29.1	89.0	89.6	66	33	-	5.4	A3m	F3m
SP72 (0.5-2m)	Argiles	27.4	89.3	89.7	63	29	-	10.0	A3	F3
SP73 (0.8-2m)	Argiles	25.5	87.6	88.3	59	25	-	11.3	A2m	F3
SP74 (0.75-2m)	Argiles	6.8	88.9	89.1	63	28	-	16.7	C1A3	F3
SP75 (0.8-2m)	Argiles	17.0	52.8	53.9	56	21	-	18.4	A2	F2
SP80 (0.4m)	Remblais sablo-graveleux	12.0	6.7	7.3	-	-	0.14	-	B3 insensible à l'eau	G3---
SP82 (1.25m)	Argiles	44.4	87.3	88.8	89	33	-	-	A3ts	F3ts
SP88 (1m)	Argiles	27.3	85.8	86.9	38	14	-	-	A2th	F2th

Résultats des investigations

- Essais en laboratoire

➢ **Les remblais sablo-graveleux (comportant peu de fines)** rencontrés dans l'emprise des voiries existantes sont généralement classés **G1 à G3 selon le GTR**. Ces matériaux étant insensibles à l'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 remblais sablo-graveleux+/- limoneux classés I1** pourront être éventuellement réutilisés en couche de forme traitée selon certaines conditions (voir chapitre dédié).

➢ Les **sols argileux** rencontrés dès la surface du terrain actuel sont classés **F1 à F3 selon le GTR**. Ces matériaux n'ont pas les qualités requises pour une réutilisation en couche de forme sous chaussée. Ils pourront être réutilisés en remblais généraux si leur état hydrique est moyen à sec ou après avoir été traité à la chaux.

Éch.	Nature	w_n (%)	$C_{63\mu m}$ (%)	$C_{80\mu m}$ (%)	w_L (%)	I_P (%)	VBs (g)	IPI (%)	Classe GTR 2000	Classe GTR 2023
SCA1 (2.5 m)	Limon argilo sableux marron	15.3	78.3	81.7	40	10	-	-	A1	F1
SCA2 (2.5 m)	Argile marron	17.8	83.1	84.7	60	29	-	-	A3ts	F3ts
SCA2 (4.95 m)	Limon argilo sableux marron	13.2	69.9	73.4	37	11	-	-	A1	F1
SP84 (1.65 m)	Limon argilo sableux marron	1.7	60.6	62.4	46	16	-	-	A2ts	F2ts
SP86 (0.35 m)	Grave sableuse grise	3.4	6.7	7.6			0.14	-	B3- insensible à l'eau	G3---
SP89 (1.15 m)	Argile limoneuse marron clair	7.2	92.4	93.1	49	20	-	-	A2ts	F2ts

Terrassements

- Classification des matériaux

Sol	Classification selon GTR 2023	Classification selon DIN 18300	Classification selon DIN 18196	Excavation
Remblai sablo-graveleux propres	G1-G2	Classe 3 et 7*	GE-GW-GI	Sol facile à terrasser- *Difficile **classe 7 si présence d'éléments indurés**
Remblai sablo-graveleux +/- limoneux	I1	Classe 3	GU	Sol facile à terrasser
Remblai argileux	F2-F3	Classe 4	TL-TM	Sol moyennement facile à terrasser
Argiles molles	F1-F2	Classe 4	TL-TM	Sol moyennement facile à terrasser
Argiles fermes à très raides	F3	Classe 5	TA	Sol difficile à terrasser (sols collants)
Marnes raides à très raides	Roche CI	Classe 6 à 7	-	Sol difficile à terrasser (roches indurées)

Terrassements

Conditions de terrassement

Problématiques	*Préconisations*
Gestion de la terre végétale	Décapage puis stockage de la terre végétale pour : • Réutilisation dans les aménagements paysagers ; • Ou mise en décharge adaptée.
Nécessité d'un brise roche hydraulique et/ou hydrofaise	BRH requis pour : • Couche d'enrobé de surface ; • Remblais sablo-graveleux indurés ; • Marnes raides à très raides.
Sols argileux	Présence de **sols argileux très sensibles à l'eau** → terrassement à réaliser de préférence par temps sec, hors période pluvieuse.
Travaux en période humide	En période hivernale ou pluvieuse : prévoir une **surépaisseur de couche de forme**, voire un **cloutage du fond de fouille**, notamment dans la zone des sondages **SP28, SP43, SP51, SP59, SP60, SP62, SP78, SP91 et SP92** (sols mous).
Traitement des sols à la chaux et/ou au liant routier	Solution envisageable en remplacement des couches de forme granulaires, sous réserve de réaliser des essais d'aptitude pour contrôler les gonflements volumiques (**Gv ≤ 5 %**) pour traitement à la chaux et les performances mécaniques (classe de résistance à la compression diamétrale **Rt ≥ 0,25 MPa** pour un traitement chaux+ciment). Si cette solution est retenue, une **étude de formulation de niveau 1 minimum selon le GTS 2000** devra être réalisée.

Terrassements

Plateforme en remblais

- **Tassements absolus de l'ordre de 3 cm** dans les zones prévoyant des remblais sur des hauteurs importantes (de l'ordre de 8m au maximum dans le secteur Pontpierre).

- **Durée de consolidation** supposée rapide, compte-tenu de l'état globalement normalement consolidé à sur-consolidé des sols argileux.

- Principes généraux de mise en œuvre :
  - Décapage préalable de la terre végétale et des terrains médiocres (sols mous, évolutifs ou altérés).
  - L'assise des remblais devra être horizontale avec des redans dans le cas où il faut adosser les nouveaux remblais à des talus existants.

Terrassements

Plateforme en remblais

- Maquette géotechnique (caractéristiques de cisaillement)

Couche	c' (kPa)	φ' (°)	γ (kN/m³)
Remblais d'apport en matériaux granulaires	2	*33*	20
Remblais argileux traités à la chaux seule	20	*20*	19
Remblais sablo-graveleux en place	1	27	18
Argiles molles	7	18	18
Argiles fermes à raides	12	22	18
Marnes	25	30	20

- Stabilités des talus définitifs en remblais - résultats

Talus définitifs en remblais			
Nature des matériaux	Angle de talus	Hauteur (m)	Stabilité assurée
Argiles traitées	3H/2V	8	Oui
Remblais granulaires	2H/1V	8	

Terrassements

Plateforme en déblais – réalisation des remblais généraux

Thème	Exigences / Recommandations
Limite déblais / remblais	La limite déblais-remblais (point 0) devra être purgée puis reconstituée avec des matériaux traités ou granulaires sur une **épaisseur minimale de 1 m**, afin de garantir une **portance minimale de 30 MPa** avant la mise en œuvre des couches de forme.
Exécution du remblai	Les sols argileux classés **F1 à F3** (GTR 2023) sont réutilisables en remblais courants après traitement à la chaux. Le dosage devra être adapté selon les essais et la teneur en eau afin d'améliorer les performances mécaniques.
Teneur en eau	Valeur d'IPI à obtenir sur le matériau traité sera de 7 à 15. Le traitement pourra être arrêté ou poursuivi avec une réduction du dosage lorsque **l'IPI sera compris entre 10 et 20**.
Avantage du traitement	Le traitement permet de **reprendre rapidement les travaux après un épisode pluvieux** et améliore la gestion des conditions météorologiques.
Conditions d'exécution	Les travaux doivent être réalisés **dans de bonnes conditions météorologiques**.
Mise en œuvre	Le traitement comprend : • Épandage du liant; • Malaxage des terres lors du déblai et de leur reprise ; • Réglage et compactage afin d'assurer une bonne homogénéité du mélange sol–chaux.
Compactage	Compactage à l'aide d'un **compacteur à pieds dameurs**, associé à un **compacteur mono-vibrant de classe V4 ou V5**, afin d'assurer un compactage efficace. Les remblais traités seront réalisés par **couches de 30 cm maximum** après compactage.
Contrôle de portance	**EV2 ≥ 30 MPa** sur le fond de forme et sur les couches intermédiaires de remblai. Résistance après mise en œuvre : **30 à 35 MPa**.

Terrassements

Plateforme en déblais – réutilisation des argiles en couche de forme traitée

Thème	Exigences / Recommandations
Principe du traitement	Les sols argileux rencontrés sont sensibles aux variations de teneur en eau et sont moyennement plastiques. Leur emploi en couche de forme nécessite un traitement soit avec des liants hydrauliques routiers associés à de la chaux, soit avec un mélange de chaux et de ciment. Le traitement vise à stabiliser durablement le matériau en lui conférant une bonne homogénéité à l'aide d'un malaxeur à outils.
Faisabilité de la solution	Dans un premier temps, réaliser des essais d'aptitude, puis dans un second temps une étude de formulation de niveau 2 minimum.
Prétraitement	Cette solution est intéressante en prétraitant l'arase de la plateforme à la chaux vive. Le prétraitement à la chaux vive des arases en déblais et en remblais est nécessaire afin d'obtenir une portance minimale **EV2 ≥ 30 MPa** avant la réalisation de la couche de forme traitée.
Conditions de mise en œuvre	Intervenir uniquement en période estivale (d'avril à octobre), hors période de gel-dégel. Un délai de **7 jours** doit être respecté entre la réalisation des traitements et la circulation sur la couche de forme traitée (**Rc > 1 MPa**).
Objectifs attendus	- **EV2 > 50 MPa (PF2) et k < 2,0.** - **Objectif de densification q_3** : $\rho_{d,M}$ = **98,5 %** $\rho_{d,OPN}$

Terrassements

Plateforme en déblais – conditions de réemploi des remblais sablo-graveleux en couche de forme

Thème	Exigences / Recommandations
Classification GTR	Dans l'emprise de la future plateforme, les remblais sablo-graveleux « propres » rencontrés dans les voiries existantes peuvent être classés **G1 et G2** selon le GTR.
Réemploi en couche de forme	Ces matériaux, peu sensibles à l'eau, peuvent être réutilisés en couche de forme ainsi qu'en matériaux de substitution pour obtenir des modules **EV2 supérieurs à 50 MPa**. Toutefois, les quantités réutilisables restent limitées.
Cas des remblais +/- limoneux	Localement, les remblais sablo-graveleux peuvent contenir des passages sablo-limoneux, augmentant leur sensibilité à l'eau. Ils ne pourront généralement pas être réutilisés en couche de forme mais pourront être employés en remblai sous certaines conditions.
Sols argileux	Les sols argileux classés **F1 à F3** sont sensibles à l'eau et ne présentent pas les qualités requises pour une réutilisation en couche de forme ou en sous-couche sous plateforme. Ils devront être **purgés et évacués**.
Recommandations en début de chantier	Une **planche d'essai** en début de chantier devra être réalisée, accompagnée d'**essais d'identification en laboratoire**, afin de vérifier les conditions de réutilisation des matériaux.

Terrassements

Cas de PST – épaisseur de couche de forme (concept general)

Nature du sol PST	Type de terrassement	Cas de PSTiARi	Epaisseur de couche de forme
Argiles molles	Déblais/profil rasant	PST0AR0	1.25 m + Géotextile
Argiles fermes à raides		PST1AR1	0.75 m + Géotextile
Marnes		PST3AR2	0.30 m + Géotextile
Argiles traitées à la chaux	Remblais	PST3-AR2	0.30 m

Terrassements

Cas de PST – épaisseur de couche de forme (concept general)

Sondage	Nature des sols au niveau de la PST	Epaisseur restante après terrassement (m)	Classe GTR	pl* mesurée au niveau de la PSTi-ARi (MPa)	Portance mini EV2 du sol support après terrassement (MPa)	Type de terrassement	Cas de PSTi-ARi	Epaisseur de couche de forme pour l'obtention EV2=45 MPa y compris purge
SP24	Argiles traitées	-	F2	-	35	Remblais (traités CaO)	**PST4-AR2**	0,30 m
SP25	Argiles traitées	-	F2	-	35	Remblais (traités CaO)	**PST4-AR2**	0,30 m
SP26	Argiles traitées	-	F2	-	35	Remblais (traités CaO)	**PST4-AR2**	0,30 m
SP27	Argiles traitées	-	F2	-	35	Remblais (traités CaO)	**PST4-AR2**	0,30 m
SP28	Argiles traitées	-	F2	-	35	Remblais (traités CaO)	**PST4-AR2**	0,30 m
SP29	Argiles traitées	-	F2	-	35	Remblais (traités CaO)	**PST4-AR2**	0,30 m
SP30	Argiles fermes	>4.25	F2	0.56	12	Profil rasant	**PST1-AR1**	0,75 m +geotextile
SP31	Marnes argileuses	>2.5	CI	3.0	60	Déblais (12.5m)	**PST3-AR2**	0,30 m + geotextile
SP32	Marnes argileuses	>2.5	CI	3.0	>100	Déblais (12.5m)	**PST3-AR2**	0,30 m + geotextile
SP33	Marnes argileuses	<1	CI	2.5	60	Déblais (4.5m)	**PST3-AR2**	0,30 m + geotextile

Terrassements

Cas de PST – épaisseur de couche de forme (concept general)

Sondage	Nature des sols au niveau de la PST	Epaisseur restante après terrassement (m)	Classe GTR	PI* mesurée au niveau de la PSTiARi (MPa)	Portance mini EV2 du sol support après terrassement (MPa)	Type de terrassement	Cas de PSTiARi	Epaisseur de couche de forme pour l'obtention EV2=45 MPa y compris purge
SP34	Argiles fermes	2.5	F2	2.0	35	Déblais (2m)	**PST1AR1**	0.75 m +geotextile
SP35	Argiles fermes	2.5	F2	1.25	15	Déblais (1.5m)	**PST1AR1**	0.75 m +geotextile
SP36	Argiles fermes	4.5	F2	1.45	20	Profil rasant	**PST1AR1**	0.75 m +geotextile
SP37	Remblais argilo-graveleux	2.5	F2	1.15	10	Profil rasant	**PST0AR0**	1.25 m +geotextile
SP38	Argiles fermes	>1	F2	0.69	15	Profil rasant	**PST1AR1**	0.75m +geotextile
SP39	Argiles traitées à la CaO	-	F2	-	35	Remblais (traités CaO)	**PST3AR2**	0.30 m
SP40	Argiles traitées à la CaO	-	F2	-	35	Remblais (traités CaO)	**PST3AR2**	0.30 m
SP41	Argiles traitées à la CaO	-	F2	-	35	Remblais (traités CaO)	**PST3AR2**	0.30 m
SP42	Argiles traitées à la CaO	-	F2	-	35	Remblais (traités CaO)	**PST4AR2**	0.30 m
SP43	Argiles traitées à la CaO	-	F2	-	35	Remblais (traités CaO)	**PST3AR2**	0.30 m

Terrassements

Cas de PST – épaisseur de couche de forme (concept general)

Sondage	Nature des sols au niveau de la PST	Epaisseur restante après terrassement (m)	Classe GTR	PI* mesurée au niveau de la PSTiARi (MPa)	Portance mini EV2 du sol support après terrassement (MPa)	Type de terrassement	Cas de PSTiARi	Epaisseur de couche de forme pour l'obtention EV2=45 MPa y compris purge
SP44	Argiles molles	11.5	F2	0.21	5	Profil rasant	**PST0AR0**	1.25 m +geotextile
SP45	Argiles traitées à la chaux	-	F2	-	30	Remblais (traités CaO)	**PST3AR2**	0.30 m
SP46	Argiles fermes	3.3	F2	0.96	20	Profil rasant	**PST1AR1**	0.75 m +geotextile
SP47	Argiles fermes	<1	F2	1.43	20	Déblais (4m)	**PST1AR1**	0.75 m +geotextile
SP48	Argiles fermes	3.5	F2	0.79	15	Profil rasant	**PST1AR1**	0.75 m +geotextile
SP49	Argiles fermes	3.4	F2	1.13	20	Profil rasant	**PST1AR1**	0.75 m +geotextile
SP50	Argiles fermes	3.1	F2	1.19	20	Déblais (2m)	**PST1AR1**	0.75 m +geotextile
SP51	Argiles molles	1	F1	0.35	5	Déblais (3.5m)	**PST0AR0**	1.25 m +geotextile
SP52	Argiles fermes	2.9	F2	1.11	20	Déblais (2m)	**PST1AR1**	0.75 m +geotextile
SP53	Argiles fermes	3.3	F2	1.10	20	Profil rasant	**PST1AR1**	0.75 m +geotextile

Terrassements

Cas de PST – épaisseur de couche de forme (concept general)

Sondage	Nature des sols au niveau de la PST	Epaisseur restante après terrassement (m)	Classe GTR	PI* mesurée au niveau de la PSTiARi (MPa)	Portance mini EV2 du sol support après terrassement (MPa)	Type de terrassement	Cas de PSTiARi	Epaisseur de couche de forme pour l'obtention EV2=45 MPa y compris purge
SP54	Argiles fermes	1.7	F2	2.8	30	Profil rasant	**PST1AR1**	0.75 m + géotextile
SP55	Argiles fermes	<1m	F2	2.6	30	Déblais (2m)	**PST1AR1**	0.75 m + géotextile
SP56	Argiles fermes	<1m	F2	2.5	30	Déblais (2m)	**PST1AR1**	0.75 m + géotextile
SP57	Marnes	>12m	CI	4.9	50	Déblais (3.5m)	**PST3AR2**	0.30 m + géotextile
SP58	Argiles fermes	<1m	F2	1.21	20	Déblais	**PST1AR1**	0.75 m + géotextile
SP59	Argiles traitée sà la CaO	-	F2	-	35	Remblais (traités CaO)	**PST3AR2**	0.30 m
SP60	Argiles traitées à la CaO	-	F2	-	35	Remblais (traités CaO)	**PST3AR2**	0.30 m
SP61+ SP61bis	Argiles traitées à la CaO	-	F2	-	35	Remblais (traités CaO)	**PST3AR2**	0.30 m
SP62	Argiles traitées à la CaO	-	F2	-	35	Remblais (traités CaO)	**PST3AR2**	0.30 m
SP63	Argiles traitées à la CaO	-	F2	-	35	Remblais (traités CaO)	**PST3AR2**	0.30 m

Terrassements

Cas de PST – épaisseur de couche de forme (concept general)

Sondage	Nature des sols au niveau de la PST	Epaisseur restante après terrassement (m)	Classe GTR	PI* mesurée au niveau de la PSTiARi (MPa)	Portance mini EV2 du sol support après terrassement (MPa)	Type de terrassement	Cas de PSTiARi	Epaisseur de couche de forme pour l'obtention EV2=45 MPa y compris purge
SP64	Argiles fermes	1.7	F2	1.48	20	Profil rasant	**PST1AR1**	0.75 m + géotextile
SP65	Argiles traitées à la CaO	-	F2	-	35	Remblais (traités CaO)	**PST3AR2**	0.30 m
SP66	Argiles traitées à la CaO	-	F2	-	35	Remblais (traités CaO)	**PST3AR2**	0.30 m
SP67	Argiles fermes	3m	F2	1.25	20	Profil rasant	**PST1AR1**	0.75m + géotextile
SP68	Marnes	>3m	CI	4.9	50	Déblais (5m)	**PST3AR2**	0.30 m + géotextile
SP69	Argiles fermes	1.6	F2	1.4	15	Profil rasant	**PST1AR1**	0.75 m + géotextile
SP70	Argiles fermes	1.8	F2	1.5	20	Profil rasant	**PST1AR1**	0.75 m + géotextile
SP71	Argiles fermes	1.7m	F2	0.96	15	Profil rasant	**PST1AR1**	0.75 m + géotextile
SP72	Argiles fermes	2.3m	F2	1.5	20	Légers déblais	**PST1AR1**	0.75 m + géotextile
SP73	Argiles fermes	<1m	F2	1.69	20	Déblais (1.5m)	**PST1AR1**	0.75 m + géotextile

Terrassements

Cas de PST – épaisseur de couche de forme (concept general)

Sondage	Nature des sols au niveau de la PST	Epaisseur restante après terrassement (m)	Classe GTR	PI* mesurée au niveau de la PSTiARi (MPa)	Portance mini EV2 du sol support après terrassement (MPa)	Type de terrassement	Cas de PSTiARi	Epaisseur de couche de forme pour l'obtention EV2=45 MPa y compris purge
SP74	Argiles fermes	<1m	F2	2.39	20	Déblais (3.0m)	**PST1AR1**	0.75 m + géotextile
SP75	Argiles fermes	0.6	F2	1.41	20	Profil rasant	**PST1AR1**	0.75 m + géotextile
SP77	Argiles traitées à la CaO	-	F2	-	35	Remblais (traités CaO)	**PST3AR2**	0.30 m
SP78	Argiles traitées à la CaO	-	F2	-	35	Remblais (traités CaO)	**PST3AR2**	0.30 m
SP79	Argiles traitées à la CaO	-	F2	-	35	Remblais (traités CaO)	**PST3AR2**	0.30 m
SP80	Argiles traitées à la CaO	-	F2	-	35	Remblais (traités CaO)	**PST3AR2**	0.30 m
SP81	Argiles traitées à la CaO	-	F2	-	35	Remblais (traités CaO)	**PST3AR2**	0.30 m
SP82	Argiles fermes	-	F2	-	15	Profil rasant	**PST1AR1**	0.75 m + géotextile
SP83	Ouvrage aérien							
SP84								

Terrassements

Cas de PST – épaisseur de couche de forme (concept general)

Sondage	Nature des sols au niveau de la PST	Epaisseur restante après terrassement (m)	Classe GTR	PI* mesurée au niveau de la PSTiARi (MPa)	Portance mini EV2 du sol support après terrassement (MPa)	Type de terrassement	Cas de PSTiARi	Epaisseur de couche de forme pour l'obtention EV2=45 MPa y compris purge
SP85	Ouvrage aérien							
SP86	Argiles traitées à la CaO	-	F2	-	35	Remblais (traités CaO)	PST3AR2	0.30 m
SP87	Argiles traitées à la CaO	-	F2	-	35	Remblais (traités CaO)	PST3AR2	0.30 m
SP88	Argiles traitées à la CaO	-	F2	-	35	Remblais (traités CaO)	PST3AR2	0.30 m
SP89	Argiles molles	~2.5	F2	0.35	10	Déblais	PST0AR0	1.25 m + géotextile
SP90	Argiles fermes	~2.0	F2	0.54	10	Déblais	PST1AR1	0.75 m + géotextile
SP91	Argiles fermes	~2.0	F2	0.88	38	Déblais	PST1AR1	0.75 m + géotextile
SP92	Marnes	~12.0	CI	>4.5	>100	Déblais	PST3AR2	0.30 m + géotextile
SP93	Marnes	~10.0	CI	>4.5	>100	Déblais	PST3AR2	0.30 m + géotextile
SP94	Marnes	~8.0	CI	>4.5	>100	Déblais	PST3AR2	0.30 m + géotextile
SCA1	Marnes	~8.0	CI	>4.5	>100	Déblais	PST3AR2	0.30 m + géotextile
SCA2	Marnes	~8.0	CI	>4.5	>100	Déblais (tunnel)	PST3AR2	0.30 m + géotextile

Terrassements

Réalisation de la couche de forme

Type de couche de forme	Couche de forme granulaire	Couche de forme traitée
Matériaux utilisés	Matériaux sablo-graveleux ou rocheux d'apport classés **G11ins** ou de **type 1**, de bonne qualité, non évolutifs, insensibles à l'eau et au gel, de granularité **0/45 mm**.	Sols traités à la **chaux vive** puis avec un **liant hydraulique** (chaux + ciment ou chaux + liant hydraulique routier).
Mise en œuvre	Mise en œuvre par **couches minces** de **0,30 à 0,40 m**, soigneusement compactées.	Prétraitement des arases sur une **épaisseur minimale de 0,35 m (à confirmer par étude de formulation)**, suivi de la mise en œuvre des matériaux préalablement excavés et traités. Réalisation uniquement en **période estivale**.
Objectif de portance	Atteindre un module **EV2 ≥ 50 MPa**, correspondant à une **plate-forme PF2**.	Prétraitement permettant d'obtenir **EV2 > 30 MPa** avant traitement, puis **EV2 ≥ 50 MPa** après réalisation de la couche de forme (PF2).
Avantages	Solution simple utilisant des matériaux granulaires de bonne qualité.	- Réduction de la sensibilité au gel des sols argileux (« peu gélifs ») - Diminution de l'épaisseur nécessaire de la couche de forme grâce au traitement. - Réemploi des matériaux directement sur place
Contrôles et essais	Contrôle du compactage et de la portance par essais à la plaque et au pénétrodensitographe.	Validation préalable par **essais d'aptitude**, **étude de formulation (niveau 1 minimum)** et réalisation d'une **planche d'essai** en début de chantier.
Résultat attendu	Obtention d'une **plate-forme PF2** avec **EV2 ≥ 50 MPa**,	
Protection après réalisation	-	Protection immédiate par un **enduit de cure gravillonné monocouche** ou **bicouche**.

Modalités de compactage

Remblais granulaires

Modalités de compactage pour la mise en œuvre d'un remblai sablo-graveleux 0/45 type I				
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**

Modalités de compactage

Remblais granulaires

	Consignes de compactage					
Type de compacteur	VP4	VP5	V4		V5	
Epaisseur de la couche (m)	0,35	0,35	0.3	0.35	0.35	0.40
Vitesse du compactage (km/h)	2	2.5	2.5	2.0	2.5	2.0
N (nombre de passes)*	9	7	9	10	9	10

**Nombre de passes à adapter en fonction des conditions météorologiques. Des problèmes de feuilletage peuvent survenir notamment en conditions évaporantes. Le cas échéant, il faudra prévoir le rabotage des centimètres supérieurs*

Maquette géotechnique – fondations profondes

Variante Nord (section B)
SP83

Section B Pontpierre SP83- variante Nord								
Nature	Profondeur de la base (m/TA)	pl* (MPa)	Pf* (MPa)	Em (MPa)	Kf (MPa)	α (-)	$q_{s,k}$ compr. Forés tubés (kPa)	$q_{s,k}$ compr. micropieux (kPa)
Remblais et argiles molles	10.00	-	0.35	8.00	29.71	0.67	0.00	0
Argiles fermes à raides	17.50	0.50	0.30	8.00	29.71	0.67	34.00	19
Marnes très raides	>20	5.00	4.50	300.00	1348.06	0.50	134.00	77

Maquette géotechnique – fondations profondes

Variante Nord (section B Pontpierre)
SP84-SP94

Section B Pontpierre SP84-SP94- variante Nord								
Nature	Profondeur de la base (m/TA)	pl* (MPa)	Pf* (MPa)	Em (MPa)	Kf (MPa)	α (-)	$q_{s,k\ compr.}$ (kPa)	$q_{s,k\ compr.\ micropieux}$ (kPa)
Remblais	2.5	-	0.2	7		0.33	0	0
Argiles molles	5.50	-	0.15	2.00	7.43	0.67	0.00	0
Argiles fermes à raides	12.50	1.15	0.50	10.00	37.13	0.67	42.00	24
Marnes très raides	>20	6.00	4.50	250.00	1123.38	0.50	134.00	77

Maquette géotechnique – fondations profondes

Variante Nord (section B Foetz)
SP75, SP77, SP80-SP82

Section B Foetz SP75, SP77, SP80-SP82								
Nature	Profondeur de la base (m/TA)	pl* (MPa)	Pf* (MPa)	Em (MPa)	Kf (MPa)	α (-)	$q_{s,k\ compr.}$ (kPa)	$q_{s,k\ compr.\ micropieux}$ (kPa)
Remblais et argiles molles	1.5	-	0.2	6	22.28	0.67	0	0
Argiles fermes à raides	3.00	1.30	0.60	22.00	81.69	0.67	43.00	25
Marnes très raides	>15	6.00	5.00	400.00	1797.41	0.50	110.00	77

Fondations profondes – portance pieux forés tubés OA (SP83)

fondasol

Portance géotechnique d'une fondation profonde
par la procédure du modèle de terrain

Projet :	Luxtram - Tram rapide
N° de projet :	LUGT.24.0035
Commentaires :	SP83

version 8.0-24.05.13

Caractéristiques du pieu :

Type de pieu : ..... Foré

Fluide de forage : ..... ◉ Air ○ Boue
Tubage : ..... ○ Aucun ◉ Provisoire ○ Perdu
Jusque base couche : 2

Classe du béton : C30/37
Pieu de pont : Contrôle renforcé : .....
Ferraillage sur toute hauteur : ..... ☐

Travailler uniquement en pointe : ..... ☐
Résistances exprimées en : ..... kN

Maquette géotechnique :

Couche	Prof. base (m)	Désignation couche	Terrain selon P94-262	pl* (MPa)	Cat.	Courbe	$\alpha_{pieu,sol}$ (-)	f_{sol} (-)	$q_{s,max}$ (kPa)	q_s (kPa)	$q_{s,k}$ compr.	$q_{s,k}$ traction
1	10	Remblais	Non pris en compte		4	0	0	0	0	0	0	0
2	17.5	Argiles fermes	Argile % CaCO3 < 30 % Limon	0.5	4	1	1.25	34	90	43	34	28
3	30	Marnes très raides	Marne et calcaire marneux	5	1	4	1.5	120	170	170	134	110
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												

Résultats :

Résistances en kN

Type	Diamètre de forage (mm)	Diamètre de tubage (mm)	Longueur (m/PF)		pl_e^* (MPa)	D_e (m)	$k_{p,max}$	k_p	Portance géotechnique							Résistance géotechnique à la traction							Effort normal résistant du béton		
									$R_{b,k}$	$R_{s,k}$	aux ELS			aux ELU			$R_{s,k}$	aux ELS			aux ELU					
											$R_{c;cr;k}$	$R_{c;cr;d}$		$R_{c,k}$	$R_{c,d}$			$R_{t;cr;k}$	$R_{t;cr;d}$		$R_{t,k}$	$R_{t,d}$		ELS	ELU fond.	ELU acci.
												ELS qp	ELS car		ELU fond	ELU acci			ELS qp	ELS car		ELU fond	ELU acci			
1	600	600	19		5.00	1.95	1.45	1.29	1444	859	1323	1203	1471	2303	2094	2303	706	494	329	449	706	614	672	1864	3314	4143
2	600	600	20		5.00	2.85	1.45	1.43	1595	1112	1576	1433	1751	2708	2461	2708	914	640	426	581	914	794	870	1864	3314	4143
3	880	880	21		5.00	4.03	1.45	1.41	3395	2003	3099	2818	3444	5398	4907	5398	1645	1152	768	1047	1645	1431	1567	4010	7129	8912
4	880	880	22		5.00	4.93	1.45	1.45	3486	2374	3405	3095	3783	5860	5327	5860	1950	1365	910	1241	1950	1696	1858	4010	7129	8912
5																										
6																										
7																										
8																										

Fondations profondes – portance pieux forés tubés OA (SP84-SP94)

fondasol

Portance géotechnique d'une fondation profonde
par la procédure du modèle de terrain

Projet :	Luxtram - Tram rapide
N° de projet :	LUGT.24.0035
Commentaires :	SP84-SP94

version 8.0-24.05.13

Caractéristiques du pieu :

Type de pieu : ..... Foré

Fluide de forage : ..... (●) Air ( ) Boue
Tubage : ..... ( ) Aucun (●) Provisoire ( ) Perdu
Jusque base couche : 3

Classe du béton : C30/37
Pieu de pont : Contrôle renforcé : .....
Ferraillage sur toute hauteur : ..... ☐

Travailler uniquement en pointe : ..... ☐
Résistances exprimées en : ..... kN

Maquette géotechnique :

Couche	Prof. base (m)	Désignation couche	Terrain selon P94-262	pl* (MPa)	Cat.	Courbe	$\alpha_{pieu,sol}$ (-)	f_{sol} (-)	$q_{s,max}$ (kPa)	q_s (kPa)	$q_{s,k}$ compr.	$q_{s,k}$ traction
1	2.5	Remblais	Non pris en compte		4	0	0	0	0	0	0	0
2	5.5	Argiles molles	Non pris en compte		4	0	0	0	0	0	0	0
3	12.5	Argiles fermes à raides	Argile % CaCO3 < 30 % Limon	1.15	4	1	1.25	43	90	53	42	35
4	30	Marnes très raides	Marne et calcaire marneux	6	1	4	1.5	128	170	170	134	110
5												
6												
7												
8												
9												
10												

Résultats :

Résistances en kN

									Portance géotechnique							Résistance géotechnique à la traction							Effort normal résistant du béton		
											aux ELS			aux ELU			aux ELS				aux ELU				
Type	Diamètre de forage (mm)	Diamètre de tubage (mm)	Longueur (m/PF)		pl_e^* (MPa)	D_e (m)	$k_{p,max}$	k_p	$R_{b,k}$	$R_{s,k}$	$R_{c;cr;k}$	$R_{c;cr;d}$ ELS qp	$R_{c;cr;d}$ ELS car	$R_{c,k}$	$R_{c,d}$ ELU fond	$R_{c,d}$ ELU acci	$R_{s,k}$	$R_{t;cr;k}$	$R_{t;cr;d}$ ELS qp	$R_{t;cr;d}$ ELS car	$R_{t,k}$	$R_{t,d}$ ELU fond	$R_{t,d}$ ELU acci	ELS	ELU fond.	ELU acci.
1	600	600	14		6.00	2.36	1.45	1.35	1816	936	1564	1421	1737	2753	2502	2753	769	538	359	489	769	669	733	1864	3314	4143
2	880	880	15		6.00	3.71	1.45	1.38	3979	1745	3211	2919	3567	5724	5203	5724	1433	1003	669	912	1433	1246	1365	4211	7486	9357
3	880	880	16		6.00	4.52	1.45	1.45	4183	2116	3573	3248	3970	6299	5727	6299	1738	1217	811	1106	1738	1512	1656	4211	7486	9357
4																										
5																										
6																										
7																										
8																										

Fondations profondes – portance pieux forés tubés OA (Secteur Foetz SP75-SP77, SP80-SP82)

fondasol

Portance géotechnique d'une fondation profonde
par la procédure du modèle de terrain

Projet :	Luxtram - tram rapide
N° de projet :	LUGT.24.0035
Commentaires :	Secteur FOETZ

version 8.0-24.05.13

Caractéristiques du pieu :

Type de pieu : ..... Foré

Fluide de forage : ..... ◉ Air ○ Boue
Tubage : ..... ○ Aucun ◉ Provisoire ○ Perdu
Jusque base couche : 2

Classe du béton : C30/37
Pieu de pont : Contrôle renforcé : .....
Ferraillage sur toute hauteur : ..... ☐

Travailler uniquement en pointe : ..... ☐
Résistances exprimées en : ..... kN

Maquette géotechnique :

Couche	Prof. base (m)	Désignation couche	Terrain selon P94-262	pl* (MPa)	Cat.	Courbe	$\alpha_{pieu,sol}$ (-)	f_{sol} (-)	$q_{s,max}$ (kPa)	q_s (kPa)	$q_{s,k}$ compr.	$q_{s,k}$ traction
1	1.5	Remblais et Argiles molles	Non pris en compte		4	0	0	0	0	0	0	0
2	3	Argiles fermes à raides	Argile % CaCO3 < 30 % Limon	1.3	4	1	1.25	43	90	54	43	35
3	30	Marnes très raides	Marne et calcaire marneux	6	1	4	1.5	128	170	170	110	91
4										0		
5										0		
6										0		
7										0		
8										0		
9										0		
10										0		

Résultats :

Résistances en kN

									Portance géotechnique							Résistance géotechnique à la traction							Effort normal résistant du béton		
											aux ELS			aux ELU				aux ELS			aux ELU				
Type	Diamètre de forage (mm)	Diamètre de tubage (mm)	Longueur (m/PF)		pl_e^* (MPa)	D_e (m)	$k_{p,max}$	k_p	$R_{b,k}$	$R_{s,k}$	$R_{c;cr;k}$	$R_{c;cr;d}$ ELS qp	$R_{c;cr;d}$ ELS car	$R_{c,k}$	$R_{c,d}$ ELU fond	$R_{c,d}$ ELU acci	$R_{s,k}$	$R_{t;cr;k}$	$R_{t;cr;d}$ ELS qp	$R_{t;cr;d}$ ELS car	$R_{t,k}$	$R_{t,d}$ ELU fond	$R_{t,d}$ ELU acci	ELS	ELU fond.	ELU acci.
1	600	600	6		6.00	3.33	1.45	1.45	1945	881	1589	1445	1766	2826	2569	2826	724	507	338	461	724	629	689	1957	3480	4350
2	880	880	8		6.00	5.33	1.45	1.45	4183	2036	3516	3197	3907	6219	5653	6219	1672	1170	780	1064	1672	1454	1592	4211	7486	9357
3	880	880	9		6.00	6.33	1.45	1.45	4183	2407	3776	3433	4196	6590	5991	6590	1977	1384	923	1258	1977	1719	1883	4211	7486	9357
4																										
5																										
6																										
7																										
8																										

Fondations profondes – portance micropieux pour poteaux LAC (Pontpierre SP83)

fondasol

Portance géotechnique d'une fondation profonde
par la procédure du modèle de terrain

Projet :	Luxtram - tram rapide
N° de projet :	LUGT.24.0035
Commentaires :	SP83

version 8.0-24.05.13

Caractéristiques du pieu :

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

Fluide de forage : ..... (•) Air ( ) Boue
Tubage : ..... ( ) Aucun (•) Provisoire ( ) Perdu
Jusque base couche : 2

Catalogue pour l'armature : ..... Dywidag
Perte à la corrosion : ..... mm

Résistances exprimées en : ..... kN

Maquette géotechnique :

Couche	Prof. base (m)	Désignation couche	Terrain selon P94-262	pl* (MPa)	Cat.	Courbe	$\alpha_{pieu,sol}$ (-)	f_{sol} (-)	$q_{s,max}$ (kPa)	q_s (kPa)	$q_{s,k}$ compr.	$q_{s,k}$ traction
1	10	Remblais et argiles molles	Non pris en compte		4	0	0	0	0	0	0	0
2	17.5	Argiles fermes à raides	Argile % CaCO3 < 30 % Limon	0.5	4	1	1.25	34	90	43	19	19
3	30	Marnes très raides	Marne et calcaire marneux	5	1	4	1.5	120	170	170	77	77
4										0	0	0
5										0	0	0
6										0	0	0
7										0	0	0
8										0	0	0
9										0	0	0
10										0	0	0

Résultats :

Résistances en kN

											Portance géotechnique						Résistance géotechnique à la traction							Effort normal résistant de l'acier		
													aux ELS			aux ELU				aux ELS			aux ELU				
Type	Diamètre de forage (mm)	Diamètre de tubage (mm)	Armature	Longueur (m/PF)		pl_e* (MPa)	D_e (m)	$k_{p,max}$	k_p	$R_{b,k}$	$R_{s,k}$	$R_{c;cr;k}$	$R_{c;cr;d}$ ELS qp	$R_{c;cr;d}$ ELS car	$R_{c,k}$	$R_{c,d}$ ELU fond	$R_{c,d}$ ELU acci	$R_{s,k}$	$R_{t;cr;k}$	$R_{t;cr;d}$ ELS qp	$R_{t;cr;d}$ ELS car	$R_{t,k}$	$R_{t,d}$ ELU fond	$R_{t,d}$ ELU acci	ELS	ELU fond.	ELU acci.
1	250	250	GEWI 32	22		5.00	2.50	0.00	0.00	0	388	272	247	302	388	353	388	388	272	181	247	388	337	369	-	402	402
2	250	250	DYWIDAG 26.5	24		5.00	2.50	0.00	0.00	0	509	356	324	396	509	463	509	509	356	238	324	509	443	485	-	524	524
3																											
4																											
5																											
6																											
7																											
8																											

Fondations profondes – portance micropieux pour poteaux LAC (Pontpierre SP84-SP94)

fondasol

Portance géotechnique d'une fondation profonde
par la procédure du modèle de terrain

Projet :	Luxtram - Tram rapide
N° de projet :	LUGT.24.0035
Commentaires :	SP84-SP94

version 8.0-24.05.13

Caractéristiques du pieu :

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

Fluide de forage : ..... (●) Air ( ) Boue

Tubage : ..... ( ) Aucun (●) Provisoire ( ) Perdu

Jusque base couche : 3

Catalogue pour l'armature : ..... Dywidag

Perte à la corrosion : ..... mm

Résistances exprimées en : ..... kN

Maquette géotechnique :

Couche	Prof. base (m)	Désignation couche	Terrain selon P94-262	pl* (MPa)	Cat.	Courbe	$\alpha_{pieu,sol}$ (-)	f_{sol} (-)	$q_{s,max}$ (kPa)	q_s (kPa)	$q_{s,k}$ compr.	$q_{s,k}$ traction
1	2.5	Remblais	Non pris en compte		4	0	0	0	0	0	0	0
2	5.5	Argiles molles	Non pris en compte		4	0	0	0	0	0	0	0
3	12.5	Argiles fermes à raides	Argile % CaCO3 < 30 % Limon	1.15	4	1	1.25	43	90	53	24	24
4	30	Marnes très raides	Marne et calcaire marneux	6	1	4	1.5	128	170	170	77	77
5										0		
6										0		
7										0		
8										0		
9										0		
10										0		

Résultats :

Résistances en kN

										Portance géotechnique							Résistance géotechnique à la traction							Effort normal résistant de l'acier		
												aux ELS			aux ELS				aux ELS			aux ELS				
Type	Diamètre de forage (mm)	Diamètre de tubage (mm)	Armature	Longueur (m/PF)		pl_e^* (MPa)	D_e (m)	$k_{p,max}$	k_p	$R_{b,k}$	$R_{s,k}$	$R_{c;cr;k}$	$R_{c;cr;d}$ ELS qp	$R_{c;cr;d}$ ELS car	$R_{c;k}$	$R_{c;d}$ ELU fond	$R_{c;d}$ ELU acci	$R_{s,k}$	$R_{t;cr;k}$	$R_{t;cr;d}$ ELS qp	$R_{t;cr;d}$ ELS car	$R_{t;k}$	$R_{t;d}$ ELU fond	$R_{t;d}$ ELU acci	ELS	ELU fond.	ELU acci.
1	250	250	GEWI PLUS 28	17		6.00	2.50	0.00	0.00	0	406	284	259	316	406	369	406	406	284	190	259	406	353	387	-	413	413
2	250	250	GEWI 40	19		6.00	2.50	0.00	0.00	0	528	369	336	411	528	480	528	528	369	246	336	528	459	503	-	628	628
3																											
4																											
5																											
6																											
7																											
8																											

Fondations profondes – portance micropieux pour poteaux LAC (secteur Foetz SP75, SP77, SP80-SP82)

fondasol

Portance géotechnique d'une fondation profonde
par la procédure du modèle de terrain

Projet :	Luxtram - tram rapide
N° de projet :	LUGT.24.0035
Commentaires :	Secteur FOETZ

version 8.0-24.05.13

Caractéristiques du pieu :

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

Fluide de forage : ..... (●) Air ( ) Boue

Tubage : ..... ( ) Aucun (●) Provisoire ( ) Perdu

Jusque base couche : 2

Catalogue pour l'armature : ..... Dywidag

Perte à la corrosion : ..... mm

Résistances exprimées en : ..... kN

Maquette géotechnique :

Couche	Prof. base (m)	Désignation couche	Terrain selon P94-262	pl* (MPa)	Cat.	Courbe	$\alpha_{pieu,sol}$ (-)	f_{sol} (-)	$q_{s,max}$ (kPa)	q_s (kPa)	$q_{s,k}$ compr.	$q_{s,k}$ traction
1	1.5	Remblais et Argiles molles	Non pris en compte		4	0	0	0	0	0	0	0
2	3	Argiles fermes à raides	Argile % CaCO3 < 30 % Limon	1.3	4	1	1.25	43	90	54	25	25
3	30	Marnes très raides	Marne et calcaire marneux	6	1	4	1.5	128	170	170	77	77
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												

Résultats :

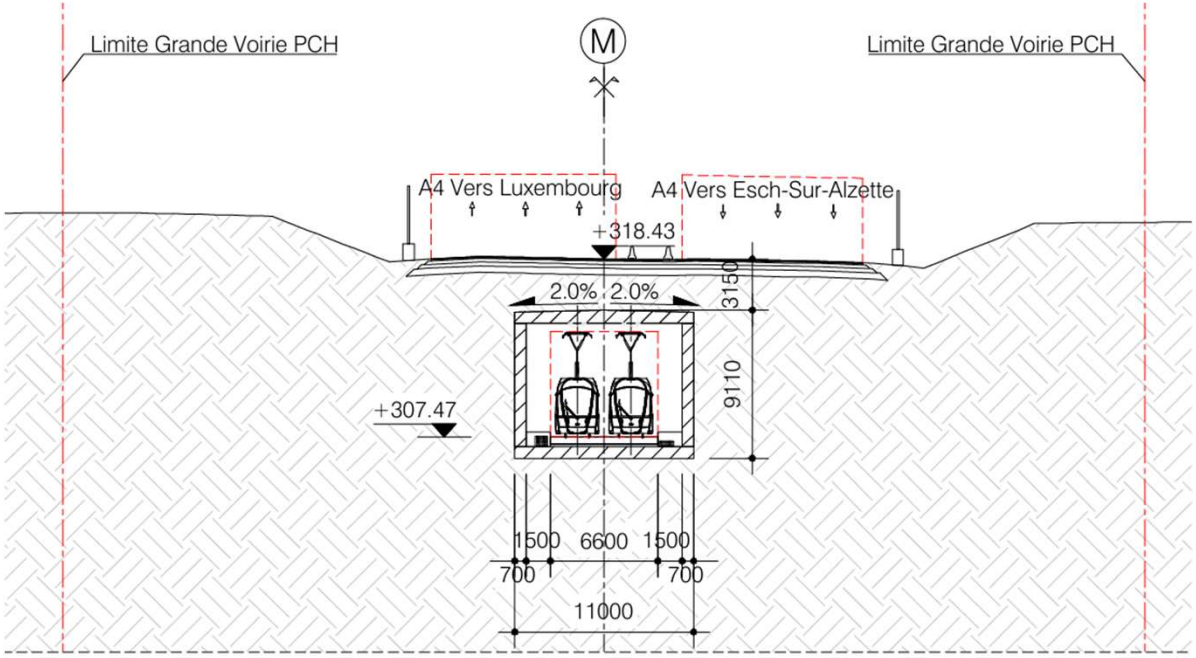
Résistances en kN

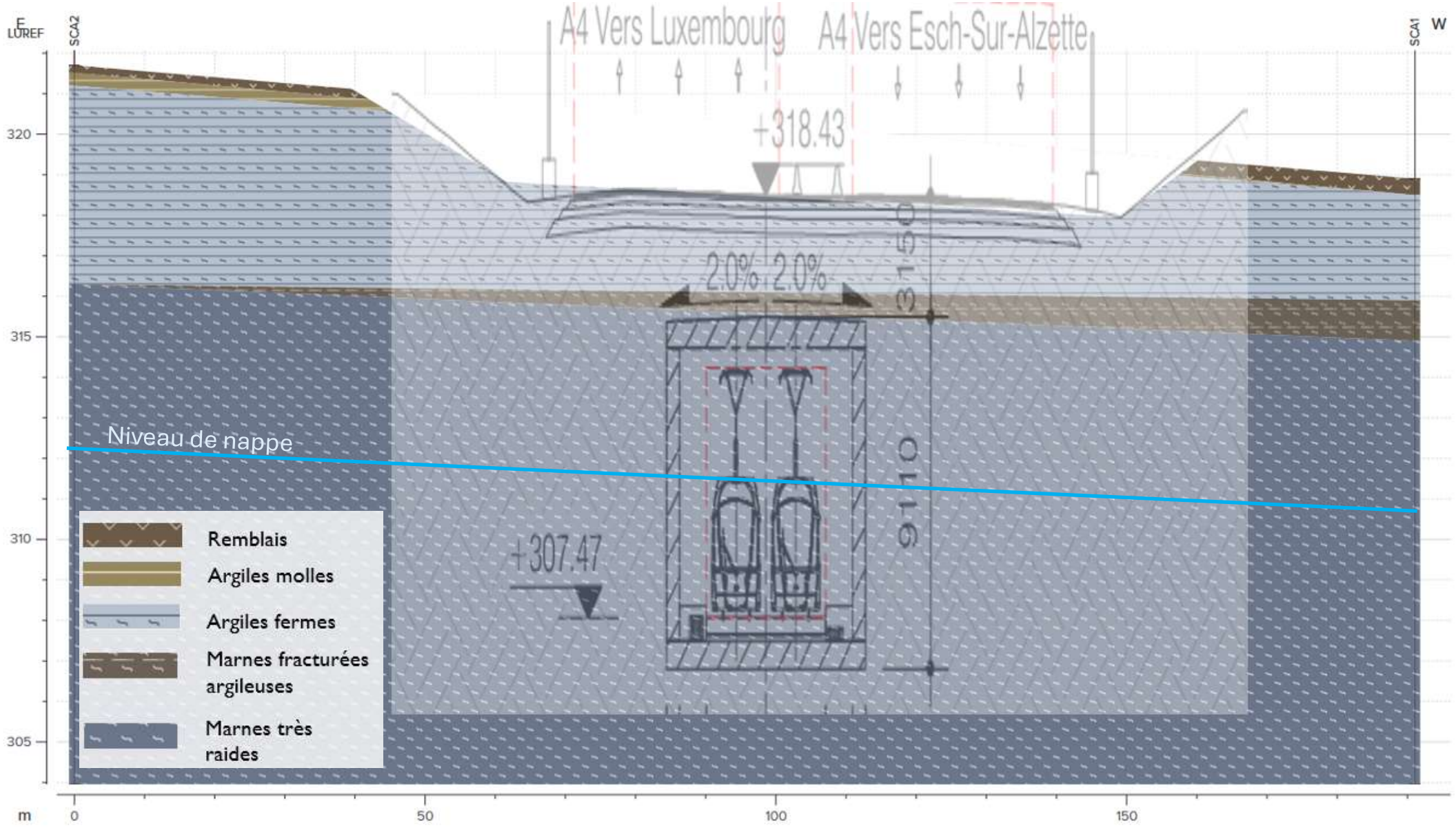
Type	Diamètre de forage (mm)	Diamètre de tubage (mm)	Armature	Longueur (m/PF)		pl_e^* (MPa)	D_e (m)	$k_{p,max}$	k_p	Portance géotechnique								Résistance géotechnique à la traction								Effort normal résistant de l'acier		
										$R_{b,k}$	$R_{s,k}$	aux ELS			aux ELU			$R_{s,k}$	aux ELS			aux ELU			ELS	ELU fond.	ELU acci.
												$R_{c;cr;k}$	$R_{c;cr;d}$ ELS qp	$R_{c;cr;d}$ ELS car	$R_{c;k}$	$R_{c;d}$ ELU fond	$R_{c;d}$ ELU acci		$R_{t;cr;k}$	$R_{t;cr;d}$ ELS qp	$R_{t;cr;d}$ ELS car	$R_{t;k}$	$R_{t;d}$ ELU fond	$R_{t;d}$ ELU acci			
1	250	250	GEWI 32	9		6.00	2.50	0.00	0.00	0	393	275	250	306	393	357	393	393	275	183	250	393	342	374	-	402	402
2	250	250	DYWIDAG 26.5	11		6.00	2.50	0.00	0.00	0	515	360	327	400	515	468	515	515	360	240	327	515	447	490	-	524	524
3																												
4																												
5																												
6																												
7																												
8																												

Etude du tunnel-cadre – secteur Pontpierre Est

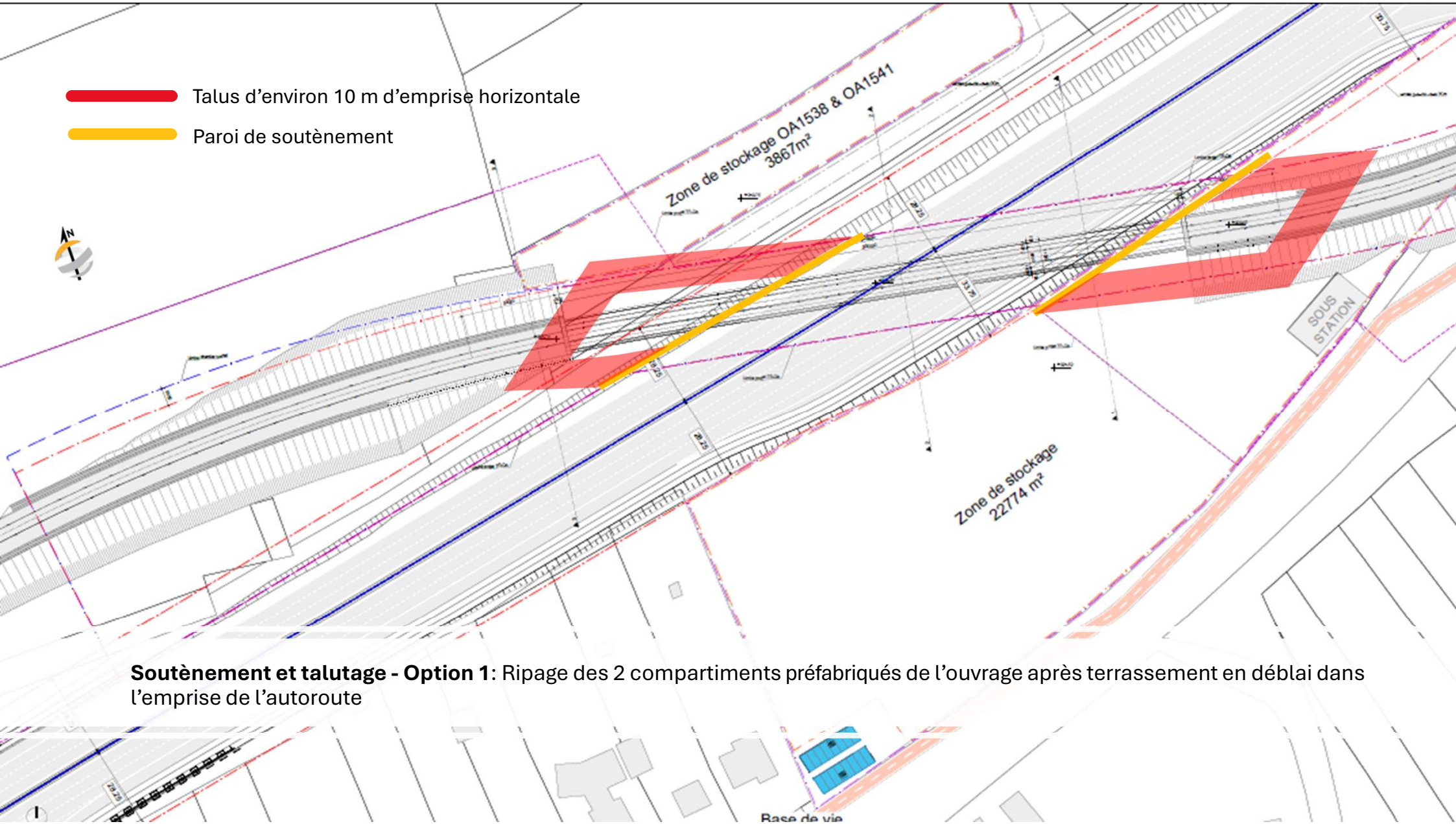
Caractéristiques générales

- **Niveaux finis du tunnel-cadre** : entre les cotes 308.38 (coté Sud-Est) et 305.69 (côté Nord-Ouest).
- Modes de réalisation envisagés :
  - Réalisation de parois de soutènement provisoires tirantées de type Berlinoise de part et d'autre de l'autoroute
  - Préfabrication de l'ouvrage en demi-travée de part et d'autre de l'axe de l'autoroute puis terrassement en déblai et ripage et assemblage des 2 compartiments nécessitant la fermeture complète de l'autoroute
  - Préfabrication de l'ouvrage de part et d'autre de l'axe de l'autoroute après realization d'une paroi de soutènement en pieux secants dans l'axe de l'autoroute puis ouverture en alternance d'une voie pour ripage d'un compartiment et fermeture. Même procédé pour la deuxième partie.
- Présence d'une nappe "perchée" liée vraisemblablement à la présence d'arrivées d'eau de type sources circulant dans les litages des argiles et dans les fissures des marnes en profondeur.

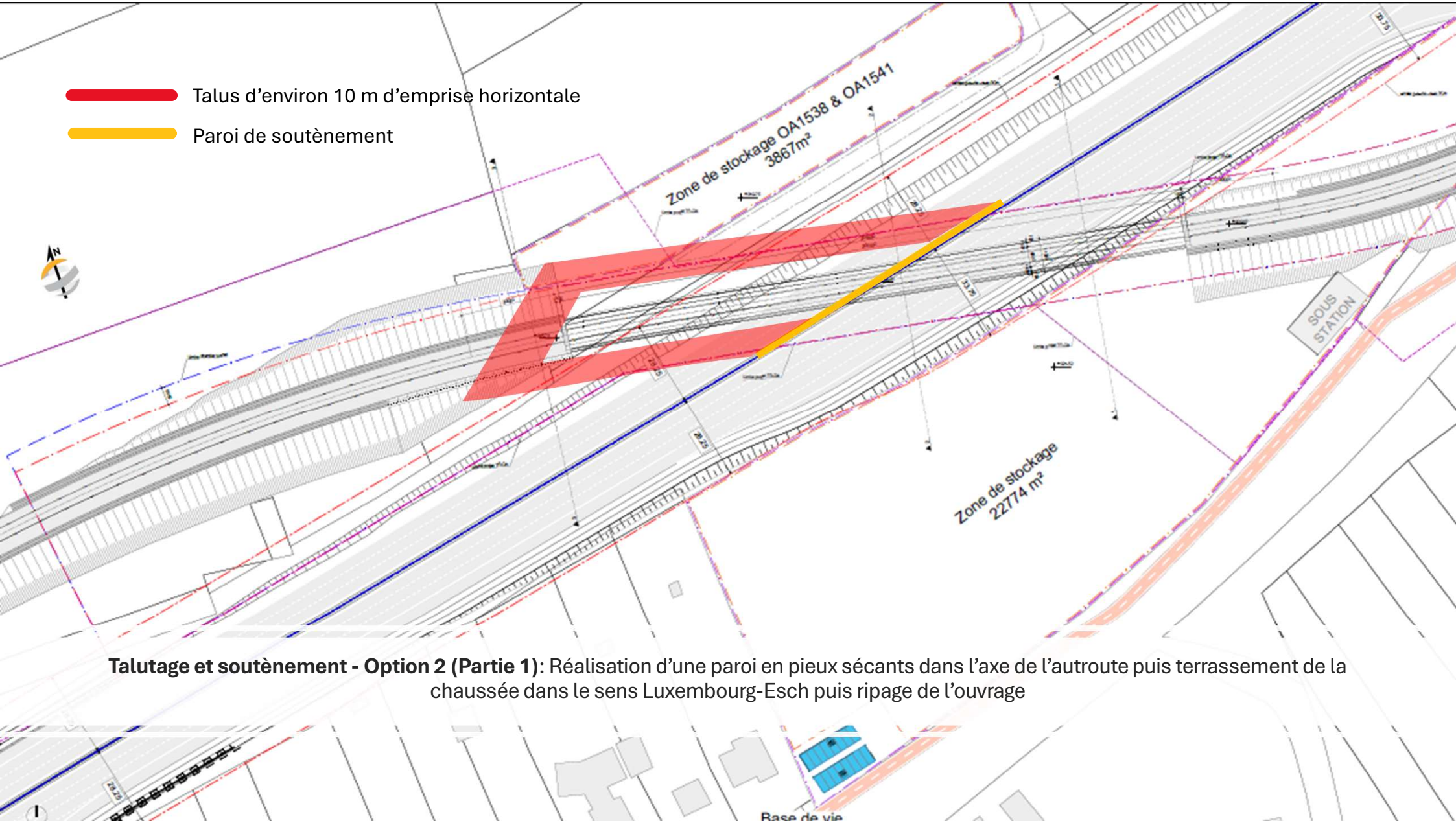




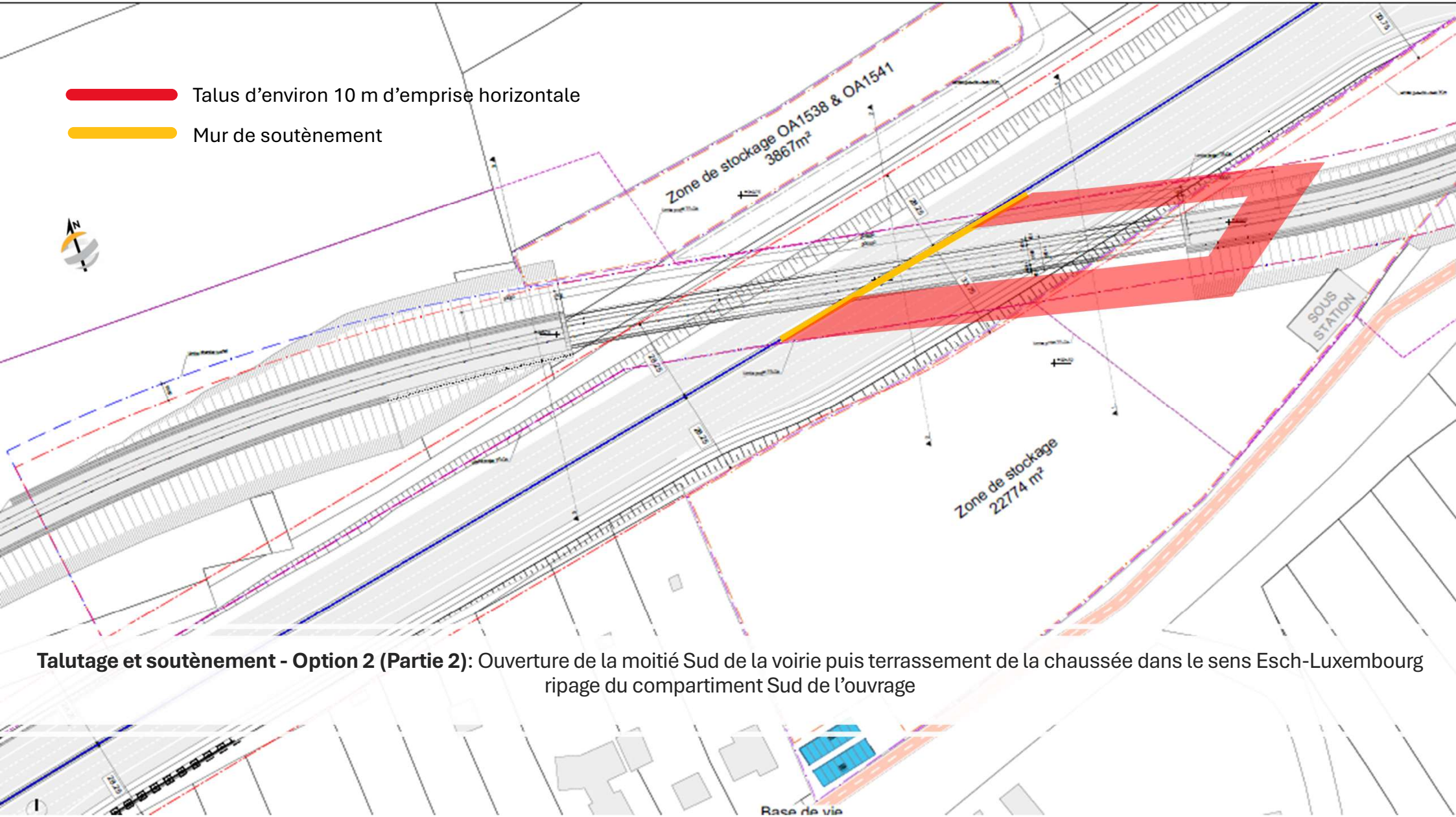
E
LUREF
SCA2
SCA1
W
A4 Vers Luxembourg
A4 Vers Esch-Sur-Alzette
+318.43
2.0%
2.0%
3150
9110
Niveau de nappe
+307.47
320
315
310
305
m
0
50
100
150
Remblais
Argiles molles
Argiles fermes
Marnes fracturées argileuses
Marnes très raides



Soutènement et talutage - Option 1: Ripage des 2 compartiments préfabriqués de l'ouvrage après terrassement en déblai dans l'emprise de l'autoroute



Talutage et soutènement - Option 2 (Partie 1): Réalisation d'une paroi en pieux sécants dans l'axe de l'autroute puis terrassement de la chaussée dans le sens Luxembourg-Esch puis ripage de l'ouvrage



Talutage et soutènement - Option 2 (Partie 2): Ouverture de la moitié Sud de la voirie puis terrassement de la chaussée dans le sens Esch-Luxembourg ripage du compartiment Sud de l'ouvrage

Etude du tunnel-cadre – secteur Pontpierre Est

Caractéristiques des talus provisoires

Les angles de talus à respecter en phase chantier seront :

Talus provisoires en déblais		
Nature des matériaux	Angle de talus	Profondeur base couche (m/crête de talus)
Remblais sablo-graveleux	3H/2V	1.5
Argile	1H/1V	5
Marne	2H/3V	> 11

Etude du tunnel-cadre – secteur Pontpierre Est

Caractéristiques des parois de soutènement

Le type de paroi de soutènement à respecter en phase chantier seront :

Option de réalisation envisagée	Caractéristiques	Type de parois proposées
1	Non étanche Butonnée ou ancrée par des tirants	Paroi berlinoise avec boisage bois associée à un pompage adapté de part et d'autre de l'autoroute
2		Paroi à pieux sécants ou semi-jointif à réaliser dans l'axe de l'autoroute afin de travailler par demi-section et réduire la période d'interruption de trafic

La maquette géotechnique à considérer est la suivante :

Couche	c' (kPa)	φ' (°)	γ (kN/m³)
Remblais d'apport en matériaux granulaires	2	*33*	20
Remblais argileux traités à la chaux seule	20	*20*	19
Remblais sablo-graveleux en place	1	27	18
Argiles molles	7	18	18
Argiles fermes à raides	12	22	18
Marnes	25	30	20

Etude du tunnel-cadre – secteur Pontpierre Est

Gestion des eaux souterraines – Phase provisoire

- La fouille du projet recoupera une nappe « perchée » liées à des circulations d'eau d'infiltration de type sources et un rabattement de cette dernière sera à prévoir durant les travaux de construction du tunnel-cadre .

- Le phasage des travaux sera réalisé en deux temps :

  - Dans un premier temps, nous recommandons de réaliser les travaux de terrassement par la **zone de préfabrication aval (côté Nord).** En effet**,** les hauteurs de déblai atteindront environ 10 m, ceci facilitera l'écoulement gravitaire des eaux rencontrées dans les fonds de déblai qui s'écouleront suivant la pente du terrain vers le Nord-Oues. Ce procédé permettra de réduire sensiblement les arrivées d'eau dont une partie aura été préalablement drainée lors des terrassements la **zone de préfabrication côté Sud**.

- Un pompage permanent sera nécessaire durant la phase de terrassement des zones de préfabrication et dans l'emprise de l'autoroute jusqu'aux opérations de ripage du tunnel-cadre depuis les aires de préfabrication jusqu'à son emplacement définitif. Compte-tenu de la nature argileuse et marneuse des sols rencontrés, les débits devraient être assez importants au début des travaux de terrassement mais devraient toutefois diminuer par la suite.

Les débits de pompage à considérer seront déterminer avec précision dans le cadre d'une étude hydrogéologique complémentaire. Le présent document sera mis à jour dans une version indicée.

Etude du tunnel-cadre – secteur Pontpierre Est

Gestion des eaux souterraines – Phase service

- Compte-tenu des niveaux d'eaux mesurés lors de la présente étude, le niveau bas du projet se situera sous le niveau de la nappe, notamment en situation de hautes eaux. Une étude hydrogéologique, basée sur un suivi piézométrique et la realisation d'essais de pompage, permettra de définir les niveaux d'eau caractéristiques à prendre en compte.
- Le choix du dispositif de protection adapté à la destination de l'ouvrage doit être fait par le maître d'ouvrage et les concepteurs en regard des documents réglementaires en vigueur.Les dispositions nécessaires à la protection des parties enterrées des ouvrages vis-à-vis des eaux souterraines et au dimensionnement des infrastructures sous les éventuels effets de ces eaux ne pourront être définies qu'à l'issue d'une étude hydrogéologique.

- Les deux aspects suivants devront être étudiés par le BE statique en phase APD :
  - Protection des parties enterrées vis-à-vis des entrées d'eau.
  - **Stabilité STR** : les poussées hydrostatiques sur les éléments composant la structure devront être prises en compte dans le dimensionnement.
  - **Stabilité UPL** : il conviendra de vérifier la stabilité au soulèvement général de l'ouvrage enterré sous l'action de la poussée d'Archimède.



www.groupefondasol.com