

ÉTUDE GÉOTECHNIQUE G2 AVP

RAPPORT

Référence de la Proposition : 115707 SC MAS 01 a

Rédacteur : Simon COUTAZ

ADRESSE PROJET

66 avenue Maurice Bertaux. Lot AB

78500 SARTROUVILLE



Agence	N° Dossier	N° pièce	Mission	Rédigé par	Vérifié par	Validé par	Date	Commentaires / version
SC MAS	115707	1	G2 AVP	SC	-	SR	16/01/23	Version provisoire

Table des matières

1. SYNTHÈSE.....	3
2. MISSIONS GÉNÉRALITÉS TRAVAUX ENGAGÉS.....	4
2.1. MISSION - GÉNÉRALITÉS.....	4
2.2. DOCUMENTS EN NOTRE POSSESSION POUR LA RÉDACTION DE L'ÉTUDE	6
2.3. TRAVAUX EXÉCUTÉS – LIMITES DES MÉTHODES	6
2.4. NIVELLEMENT DES TÊTES DE SONDAGES	7
2.5. SCHÉMA D'IMPLANTATION DES SONDAGES	7
3. CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE	8
3.1. ÉTUDE DE SITE / SENSIBILITÉ	8
3.2. BILAN SENSIBILITÉ.....	10
3.3. NATURE DES SOLS / PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES.....	11
3.4. RECHERCHE DE CARRIÈRES.....	14
3.5. EAU PHRÉATIQUE	16
3.6. ESSAIS DE LABORATOIRE	17
3.7. SYNTHÈSE GÉOTECHNIQUE	18
4. PROJET.....	20
4.1. CONSTRUCTIONS ENVISAGÉES	20
5. GÉOTECHNIQUE DES FONDATIONS.....	22
5.1. TRAVAUX PRÉLIMINAIRES.....	22
5.2. REPORT DES CHARGES / PROPOSITIONS DE FONDATIONS.....	24
5.3. DIMENSIONNEMENT GÉOTECHNIQUE DES PIEUX.....	25
6. SOUTÈNEMENTS.....	29
6.1. CARACTÉRISTIQUES INTRINSÈQUES / ESTIMATIONS DE LA POUSSÉE DES TERRES	29
6.2. PROPOSITION DE TRAITEMENT DES DIFFÉRENTS LINÉAIRES.....	30
6.3. LINÉAIRE SANS MITOYEN : PROPOSITION DE VOILES PAR PASSES	30
7. NIVEAUX BAS.....	34
8. PROTECTION CONTRE LES EAUX.....	35
8.1. GÉNÉRALITÉS	35
8.2. NIVEAUX D'EAU DE RÉFÉRENCE	35
8.3. PRÉCONISATIONS EN PHASE PROVISOIRE DE CHANTIER.....	36
8.4. PRÉCONISATIONS EN PHASE SERVICE.....	36
9. ANNEXES.....	37
10. ANNEXES NON NUMÉROTÉES.....	42

1. SYNTHÈSE

Il s'agit d'une synthèse non technique résumant les informations à notre disposition actuellement (qui pourront évoluer avec les éventuelles reconnaissances complémentaires). Il s'agit d'un résumé et d'une aide à la lecture. Seul le rapport et ses annexes peut nous être opposable.

Client	COGEDIM 87, rue de Richelieu 75002 PARIS France
Mission	Étude géotechnique de conception phase G2 AVP
Projet	Le projet prévoit la construction de bâtiments de structure R+2 à R+7 en deux blocs (A et B) chacun sur deux niveaux de sous-sol.
Contexte Géologique	La parcelle se situe en bord de la plaine alluviale de la Seine, sur une parcelle sous-minée par une carrière souterraine de Calcaire Grossier. La succession lithologique rencontrée est la suivante : <ul style="list-style-type: none"> - Remblais - Marnes et Caillasses - Calcaire Grossier avec exploitation souterraine - Sables de Cuise
Aléas recherchés	Coupe lithologique du terrain Caractéristiques mécaniques des horizons géologiques Niveau de la nappe phréatique Caractéristiques de la carrière souterraine de Calcaire Grossier
Aléas résiduels	Difficultés de terrassements Difficultés de forage des pieux Traficabilité des plateformes Extension de la carrière souterraine, particulièrement sous le bloc de bâtiment A Niveaux d'assise, débords et type des fondations du bâtiment mitoyen au bloc B.
Fondations	Injection de comblement des carrières + pieux ancrés sous le plancher de carrière Bloc A : - Étude d'une optimisation de la zone à injecter sous réserve de sondages complémentaires - Variante en fondations superficielles à étudier en fonction du zonage précis de la carrière après interprétation des forages d'injection et de contrôle.
Soutènements	VPP en dehors du linéaire en mitoyenneté. Le mode de soutènement contre le bâtiment R+5 sera étudié une fois le nombre de sous-sols du bâtiment mitoyen connu.
Protection contre les eaux	Traditionnelle (projet hors nappe)
Niveau bas	Dallage possible.

2. MISSIONS GÉNÉRALITÉS TRAVAUX ENGAGÉS

2.1. MISSION - GÉNÉRALITÉS

Nous fournissons quelques éléments ci-après pour aider les lecteurs de ce présent rapport à comprendre quelles sont les limites liées aux missions géotechniques et donc à ce présent rapport. Bien entendu on se référera à la norme **NF P 94.500** novembre 2013 pour avoir une vision plus exhaustive.

Les missions géotechniques ont pour but d'appréhender le milieu naturel et de diminuer les aléas y afférant. Cette réduction de l'aléa se fait par étapes successives, allant du général au particulier, de la reconnaissance globale à la reconnaissance locale, en adaptant les investigations et les études à la sensibilité réelle du projet.

On trouve dans le tableau ci-dessous l'enchaînement des différentes missions, leurs objectifs et le niveau de management des risques attendus.

Enchaînement des missions G1 à G4	Mission d'ingénierie géotechnique et Phase de la mission		Objectifs à atteindre pour les ouvrages géotechniques	Niveau de management des risques géotechniques attendus
Étape 1 : Étude géotechnique préalable (G1)	Étude géotechnique préalable (G1) Phase Étude de Site (ES)		Spécificités géotechniques du site	Première identification des risques présentés par le site
	Étude géotechnique préalable (G1) Phase Principes Généraux de Construction (PGC)		Première adaptation des futurs ouvrages aux spécificités du site	Première identification des risques pour les futurs ouvrages
Étape 2 : Étude géotechnique de conception (G2)	Étude géotechnique de conception (G2) Phase Avant-projet (AVP)		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
	Étude géotechnique de conception (G2) Phase Projet (PRO)		Conception et justifications du projet	
	Étude géotechnique de conception (G2) Phase DCE / ACT		Consultation sur le projet de base / Choix de l'entreprise et mise au point du contrat de travaux	
Étape 3 : Études géotechniques de réalisation (G3/G4)	À la charge de l'entreprise	À la charge du maître d'ouvrage		
	Étude géotechnique d'exécution (G3) Phase Étude (indissociable de la phase Suivi)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision de l'étude d'exécution (indissociable de la phase Supervision du suivi)	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)
	Suivi géotechnique d'exécution (G3) Phase Suivi (indissociable de la phase Étude)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision du suivi d'exécution (indissociable de la phase Supervision de l'étude)	Exécution des travaux en toute sécurité et en conformité avec les attentes du maître d'ouvrage	
À toute étape d'un projet ou sur un ouvrage existant	Diagnostic géotechnique (G5)		Influence d'un élément géotechnique spécifique sur le projet ou sur l'ouvrage existant	Influence de cet élément géotechnique sur les risques géotechniques identifiés

Par ailleurs, la révision de la norme 94-500 permet aujourd'hui une correspondance simple entre les missions d'ingénierie généraliste et les missions géotechniques (voir page suivante).

Cette étude s'inscrit dans le cadre des missions géotechniques normalisées (NF P 94-500 – novembre 2013) comme une mission de type **G2** « phase avant-projet » (le détail des missions est repris en annexe).

INGÉNIERIE GÉOTECHNIQUE			INGÉNIERIE GÉNÉRALISTE	MISSION CONFIEE	
NFP 94-500 version 2013					
Étape 1	Étude géotechnique préalable	G1	Phase étude de site ES	ESQUISSE	
			Phase Principes généraux de constructions PGC	APS	
Étape 2	Étude géotechnique de conception	G2	Phase avant-projet (AVP)	APD	X
			Phase projet*	AVP	
			Phase DCE/ACT	PROJET	
				DCE	
Étape 3	Suivi géotechnique d'exécution	G3	Étude géotechnique d'exécution	EXE	
			Suivi géotechnique d'exécution	DET/AOR	
	Supervision géotechnique d'exécution	G4	Supervision de l'étude d'exécution	VISA	
			Supervision du suivi d'exécution	DET/AOR	
-	Diagnostic géotechnique	G5	Étude d'un élément particulier	-	

* Les missions G2 PRO ne comprennent pas ICI l'approche des coûts des ouvrages, des délais de réalisation ni l'établissement de plans de fondations ou de soutènement, ces prestations n'entrant pas dans le champ de compétence d'un BET Géotechnique stricto sensu. Si besoin, ces prestations seront confiées à un économiste de la construction et un BET Structures de Conception.

Réponses aux questions fréquemment posées :

Peut-on reprocher au géotechnicien un dépassement de délais, de quantités, de coût sur la base d'une mission G1 ?

La norme 94.500 indique que les missions de type G1 excluent toute approche des quantités, délais et coûts d'exécution des ouvrages qui entrent dans le cadre exclusif d'une mission d'étude géotechnique de conception phase projet.

Le respect de la norme est-il obligatoire ?

Le respect d'une norme NF n'est pas obligatoire. En revanche signer un contrat avec un prestataire qui la respecte revient tacitement à la respecter sauf à dégager le prestataire de ces engagements et responsabilités contractuelles.

Toutes les missions sont-elles obligatoires ?

La norme indique que toutes les missions doivent être réalisées, ce qui dans les faits est d'ailleurs toujours le cas, mais pas toujours par le géotechnicien. Ainsi, si ce n'est pas le géotechnicien qui rédige les pièces écrites, approuve les plans de l'entreprise et suit les travaux par exemple, ce sont ceux qui se sont substitués à lui qui ont de fait réalisé les missions correspondantes. Il appartient donc de vérifier dans ce cas que ces intervenants ont la compétence et les assurances pour réaliser ces missions.

Nous sommes à la disposition du lecteur pour apporter toutes les précisions nécessaires pour la bonne compréhension de ces missions. Un extrait des missions est fourni en annexe.

CONDITIONS D'EXPLOITATIONS DU PRÉSENT RAPPORT

Il s'agit d'investigations géotechniques qui ne peuvent, en aucun cas, détecter d'éventuelles pollutions des sols.

L'exploitation et l'utilisation de ce rapport doivent respecter les "conditions d'exploitation et de validité des études de sols" décrites en annexe.

Le maître d'ouvrage devra nous informer de la DROC (date réelle d'ouverture de chantier), et faire réactualiser le présent rapport en cas de modification du projet ou d'ouverture du chantier plus de 2 ans après la date du présent rapport.

SC MAS	115707	1	G2 AVP	SC	09/01/2023	Provisoire
Agence	N° dossier	N° pièce	Mission	Rédacteur	Date	État

2.2. DOCUMENTS EN NOTRE POSSESSION POUR LA RÉDACTION DE L'ÉTUDE

Nature du document	Référence	Date	Remarques
Rapports SEMOFI	C18-11231	09/12/2020	G1 ES/G5/Géophysique
Plan topographique	Foncier experts / S26617	15/11/2016	Échelle : 1/200
Plans du projet de l'îlot AB : Plan masse Plans des sous-sols Plan RDC	PC 2	30/11/2022	-

2.3. TRAVAUX EXÉCUTÉS – LIMITES DES MÉTHODES

Le relevé des coupes des sondages pressiométriques (de type destructif) a été réalisé en observant les remontées de cuttings (terrain détruit par l'outil de perforation et remonté en surface par la circulation de la boue de forage). Cette méthode est imprécise et ne permet pas une finesse de relevé d'un carottage. Le relevé des remontées de cuttings et les diagraphies instantanées correspondantes sont fournis en annexe.

Campagne géotechnique SEMOFI G2 AVP + G5

TYPE DE SONDRAGE ET D'ESSAIS IN SITU	RÉFÉRENCE	PROFONDEUR
Sondages pressiométriques Ø 63 mm	SP3 à SP8	15 m
Sondage carotté	SC 1	9 m
Essais pressiométriques	75 (15 par sondages)	Répartis dans les sondages
Sondages destructif Ø 63 mm	SD 4 SD 101 à 105	25 m 25m
Tests d'agressivité du sol sur les bétons	6	-
DATE DE RÉALISATION DES CAMPAGNES IN SITU : 2018 et 2020		

Campagne géotechnique SOL CONSEIL - G2 AVP

TYPE DE SONDRAGE ET D'ESSAIS IN SITU	RÉFÉRENCE	PROFONDEUR
Sondages pressiométriques Ø 63 mm	SP2.5 à 2.9	25 m
Essais pressiométriques	75 (15 par sondages)	Répartis dans les sondages
Sondages destructif Ø 63 mm	SD2.10 SD2.11	25m 25m
Tests d'agressivité du sol sur les bétons	6	-
DATE DE RÉALISATION DE LA CAMPAGNE IN SITU : du 15 au 27 novembre 2022		

Conformément à la normalisation en vigueur, les sondages ont tous été rebouchés en fin de campagne.

Remarque relative aux relevés piézométriques : Lorsque des piézomètres sont disponibles sur chantier (par exemple, dans le cadre d'un suivi piézométrique), nous prenons en compte ces mesures si elles nous sont communiquées. Dans le cas contraire, des mesures ponctuelles de niveau d'eau sont effectuées directement dans les trous de forage, avant leur obturation en fin de chantier. Sauf demande spécifique de la part du Maître de l'Ouvrage, qui doit alors faire la déclaration correspondante auprès de la Police de l'Eau, nous ne posons pas de piézomètre au sens strict du terme.

Remarque relative aux limites d'exploitation de cette étude :

- Ce rapport ne traite pas des VRD au sens large, ces études spécifiques restent du ressort de BET Spécialisés.
- Ce rapport ne traite pas de l'étude des grues de chantier et des grues mobiles qui devra être réalisée par un bureau d'étude spécialisé.

2.4. NIVELLEMENT DES TÊTES DE SONDAGES

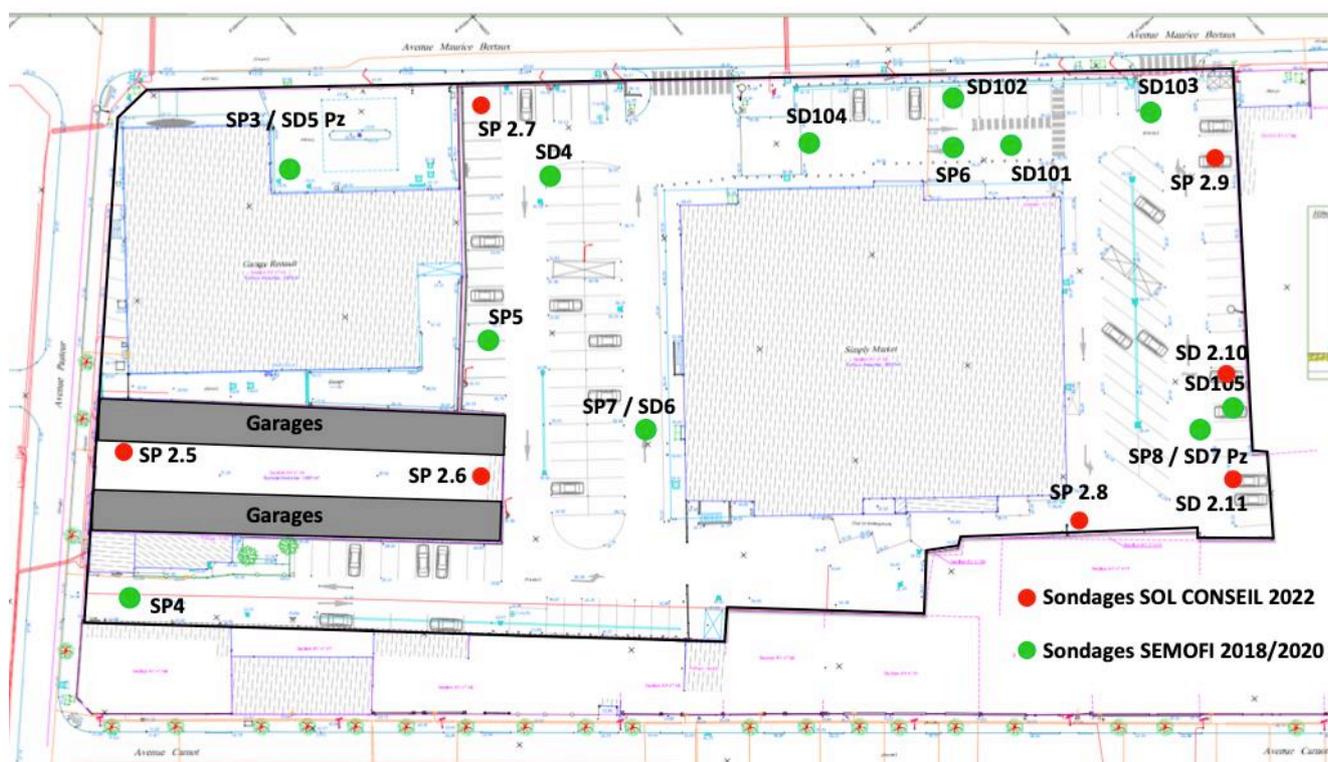
Les altimétries des têtes de sondages sont données à titre indicatif.

Elles sont extrapolées à partir d'un plan géométrique et devront être confirmées par un levé de géomètre. Si ce relevé montre des différences, le rapport devra être revu en conséquence.

Sondage	SP2.5	SP2.6	SP2.7	SP2.8	SP2.9	SD2.10	SD2.11
NGF extrapolé	33	33	34,9	35,3	35,4	35,4	35,4

2.5. SCHÉMA D'IMPLANTATION DES SONDAGES

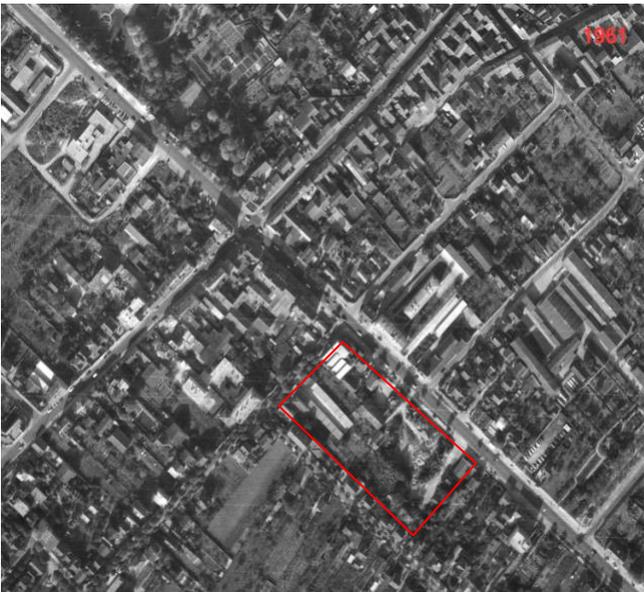
L'implantation fournie sur ce schéma peut présenter des imprécisions d'ordre plurimétriques. Si une implantation précise est requise, un relevé de géomètre sera alors nécessaire.



Implantation des sondages sur l'existant

3. CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE

3.1. ÉTUDE DE SITE / SENSIBILITÉ

VUES AÉRIENNES « REMONTER LE TEMPS »	
	
	<p>HISTORIQUE DU SITE ET ACTIVITÉS PASSÉES (d'après les archives des campagnes de photographies aériennes du site <i>Remonter le Temps</i>)</p> <p>Le site était auparavant occupé par des pavillons, démolis entre 1961 et 1967. Leur mode de fondations et la présence d'éventuels sous-sols ne sont pas connus.</p> <p>Les principaux bâtiments actuels ont été construit entre 1961 et 1968. Leurs modes de fondations ne sont pas connus.</p> <p>Les terrassements pourront donc mettre à jour d'anciennes infrastructures liées à ces activités et non « purgées » par les démolitions (<i>anciennes fondations, anciens massifs, fosses, réservoirs enterrés, anciens réseaux...</i>) sur des épaisseurs plus ou moins importantes.</p>
	<p>SITUATION GÉOLOGIQUE</p> <p>Le terrain se trouve en contexte de bordure de la plaine alluviale de la Seine, coté rive droite, à environ 500 m du fleuve.</p> <p>D'après la carte géologique à l'échelle 1/50.000 de PARIS, la suite lithologique attendue est la suivante :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Marnes et Caillasses (e5c), - Calcaire Grossier (e5a-b),

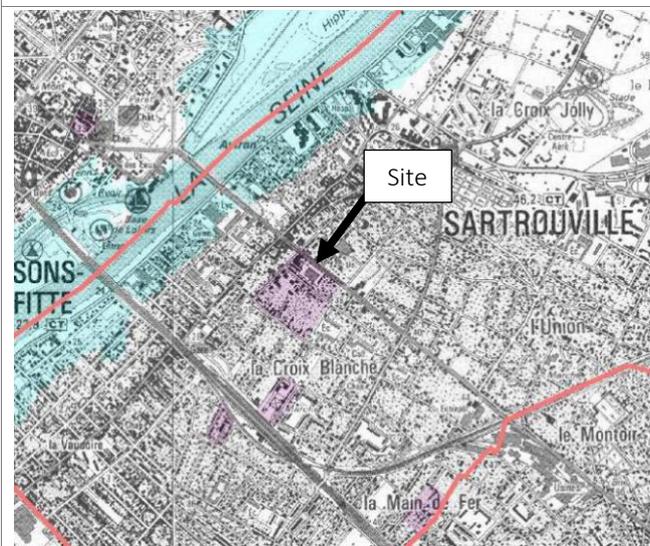


RETRAIT-GONFLEMENT DES ARGILES

La parcelle étudiée se situe dans une zone d'exposition faible vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement des argiles.

Ce risque est lié à la sensibilité des sols présents en surface qui ont été cartographiés par le BRGM.

- Exposition forte
- Exposition moyenne
- Exposition faible



PPR INONDATION

D'après la cartographie des risques naturels de la commune, la parcelle est en dehors de la zone inondable par débordement de la Seine. Le niveau de la nappe est attendue proche du niveau de la Seine qui s'écoule à l'altimétrie de 20,3 NGF.

LÉGENDE

Risques naturels :

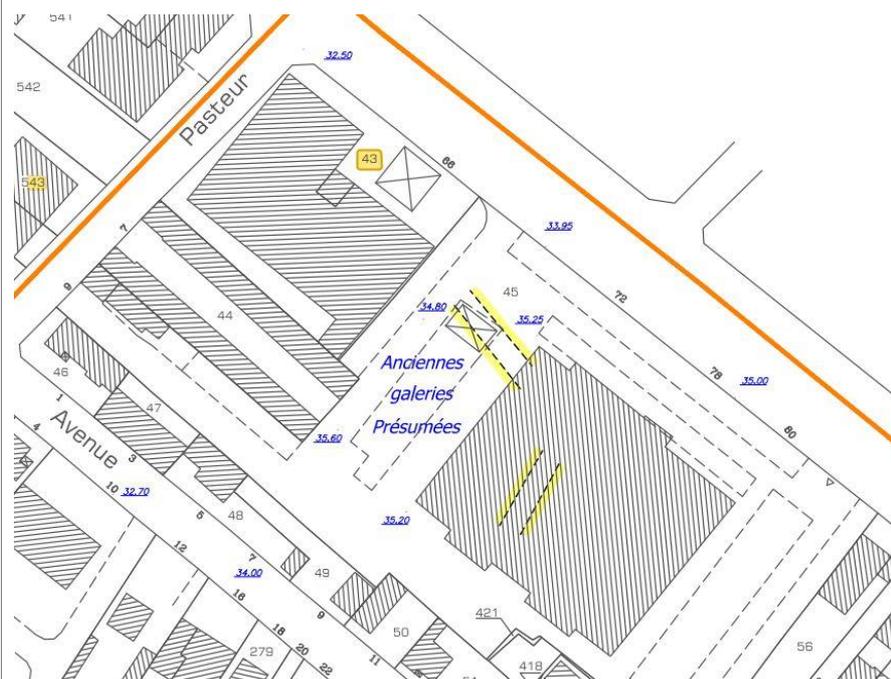
PPRi approuvé, PPRi prescrit ou article R111.3 du code de l'urbanisme

Périmètre de risque d'inondation

PPRn approuvé, PPRi prescrit ou article R111.3 du code de l'urbanisme

Périmètre de risque de mouvement de terrain

CARRIÈRES SOUTERRAINES



La parcelle se situe dans un périmètre à risque concernant la présence de carrières souterraines de Calcaire Grossier.

D'après la carte de l'Atlas des Carrières Souterraines du département des Yvelines (section AY) le terrain est sous miné par deux anciennes galeries mal référencées.

Des exploitations de l'étage supérieur du Calcaire sont répertoriées au Sud du site, avec présence de nombreux fontis.

3.2. BILAN SENSIBILITÉ

Type d'aléa	Niveau de risque
Retrait / gonflement des sols argileux	Aléa faible
Inondation par débordement d'un fleuve	Hors zone inondable
Mouvement de terrain	Hors zone d'aléa
Extraction souterraine de matériaux	Ancienne carrière souterraine de Calcaire Grossier suspectée.
Extraction à ciel ouvert de matériaux	Aléa faible. Pas d'exploitation de matériaux connue
Sismicité	Zone I très faible

3.3. NATURE DES SOLS / PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES

La campagne de reconnaissance effectuée a permis de mettre en évidence la suite lithologique suivante, au droit de nos sondages :

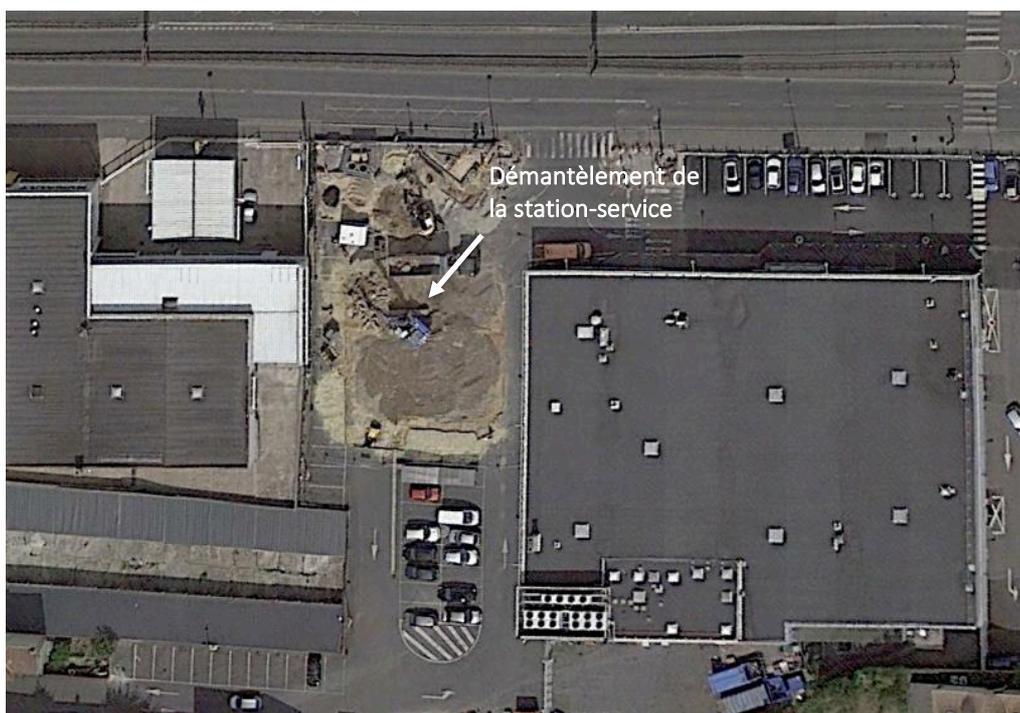
Terrains de couverture

En tête de forages, les sondages ont recoupé des remblais hétérogènes sur des épaisseurs variant de 1 à 2m. La présence d'Alluvions résiduelles est également possible, particulièrement à l'Ouest du site.

Rappelons que par nature, ces terrains peuvent présenter des variations brutales d'épaisseur et/ou de nature ou des sur-profondeurs localisées ; en particulier :

- à proximité des bâtiments mitoyens (*fondations, structures enterrées*),
- au niveau des réseaux, fosses ou cuves enterrés (*démolis ou existants*),
- au droit d'anciennes constructions,
- au voisinage des sous-sols actuels où l'on ne peut exclure des zones talutées par endroits.

On notera la présence d'une ancienne station-service sur le parking du supermarché, démantelée en 2017. À ce niveau, les sondages de l'étude pollution réalisée par SEMOFI indiquent **des remblais de 6 à 7 m de profondeur**.



Les caractéristiques pressiométriques relevées dans les remblais sont médiocres.

Marnes et Caillasses

Description lithologique

Sous les remblais, les sondages ont recoupé des marnes calcaire beige gris qui correspondent aux Marnes et Caillasse.

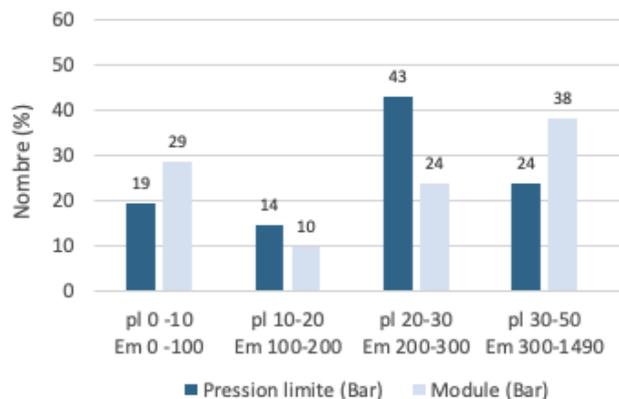
Elles ont été rencontrées jusqu'à 6m à 8m de profondeur ; soit jusqu'à 27 NGF / 26 NGF.

Répartition des pressions limites dans les Marnes et Caillasses

Cette formation renferme des bancs de calcaire indurés, avec quelques modules pressiométriques mesurés au-delà de 500 bar (15 %).

Caractéristiques pressiométriques

Les caractéristiques pressiométriques mesurées dans les Marnes et Caillasses sont assez hétérogènes, avec des valeurs majoritairement étalées entre 10 et 50 bar, mais également des passages altérés avec des valeurs inférieures à 10 bar. Une pression limite représentative de 15,0 bar peut être retenue.



Statistiques pressiométriques

Nombre de valeurs		21			
	Min	Max	Moyenne	Écart type σ	Moyenne - $\frac{1}{2} \sigma$
Pl (Bar)	2,8	> 50,0	20,4	10,7	15,0
Em (Bar)	10	1490	184	322	23

Calcaire Grossier

Description lithologique

Les Calcaire grossier sont représentés par un calcaire blanchâtre compact ; ils ont été rencontrés jusqu'à 17m à 19m de profondeur ; soit jusqu'à 15 NGF / 14 NGF.

Le Calcaire Grossier présente des bancs épais de calcaires rocheux, parfois silicifiés et très durs.

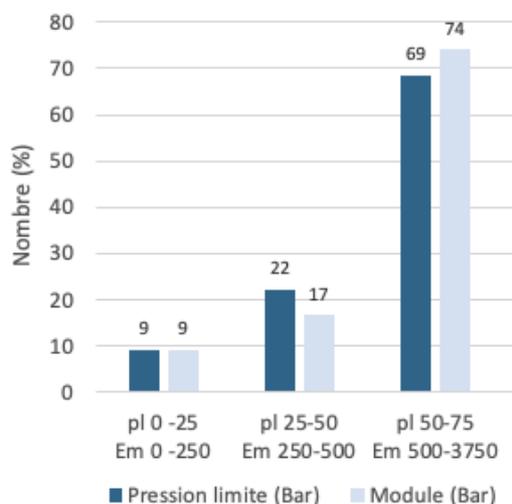
A sa base, le Calcaire Grossier inférieur devient plus sableux.

Cette formation a fait l'objet d'une exploitation souterraine sur différents niveaux (voir paragraphe 3.4).

Caractéristiques mécaniques

En dehors des niveaux d'exploitation, le Calcaire Grossier présente de très bonnes caractéristiques mécaniques ; ils correspondent à un « calcaire très raides » selon les normes d'application de l'Eurocode (*pression limite* > 40 Bar)

Répartition des valeurs pressiométriques dans le Calcaire Grossier



Statistiques pressiométriques

Nombre de valeurs			67		
	Min	Max	Moyenne	Écart type σ	Moyenne - $\frac{1}{2} \sigma$
Pl (Bar)	11,2	>70	>52,8	18,5	43,5
Em (Bar)	148	3750	897	716	539

Sables de Cuise

Description lithologique

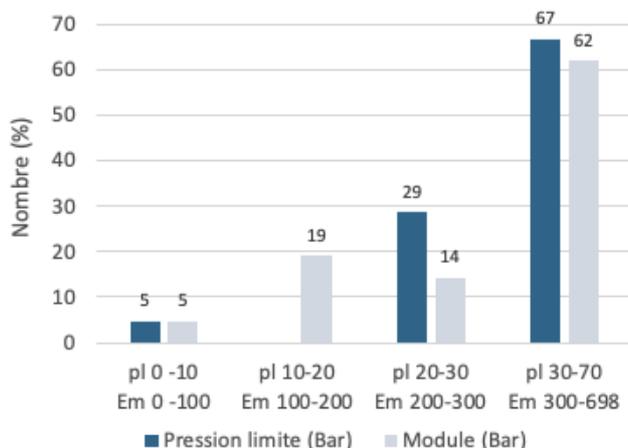
Les Sables de Cuise sont représentés par un sable fin grisâtre à noirâtre pouvant contenir des petits bancs argileux.

Ils ont été rencontrés jusqu'à 25m de profondeur ; soit la fin de nos sondages.

Caractéristiques mécaniques

Ces sables présentent de bonnes caractéristiques mécaniques ; ils correspondent à des « sables très denses » selon les normes d'application Eurocode (*pression limite* > 20 Bar).

Répartition des valeurs pressiométriques dans les Sables de Cuise



Statistiques pressiométriques

Nombre de valeurs			23		
	Min	Max	Moyenne	Écart type σ	Moyenne - $\frac{1}{2} \sigma$
Pl (Bar)	7,8	64,9	32,8	16,8	24,4
Em (Bar)	72	698	289	191	194

3.4. RECHERCHE DE CARRIÈRES

3.4.1. GÉNÉRALITÉS SUR LES DIAGRAPHIES INSTANTANÉES

Les résultats des enregistrements des paramètres de forage sont joints en annexes, sous forme de diagrammes où sont représentés :

- En abscisse :

- Les vitesses d'avancement instantanées en mètres/heures.
- La pression sur l'outil en Bar,
- La pression d'injection en Bar,
- Le couple de rotation en Bar,

- En ordonnée :

- Les profondeurs en mètres.

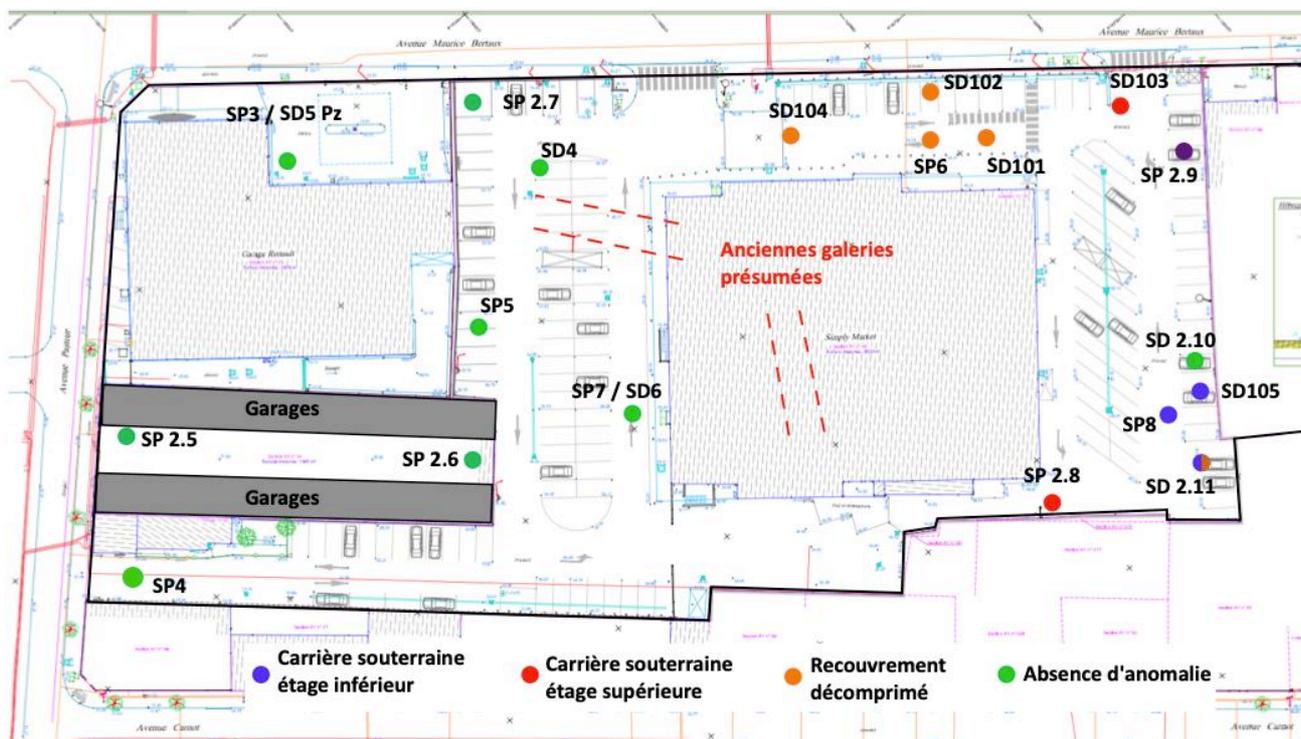
La vitesse de saturation de l'enregistreur utilisé correspondant à une chute libre est indiqué à la base des diagraphies pour chaque forage.

3.4.2. RÉSULTATS DES DIAGRAPHIES INSTANTANÉES

La description des anomalies par sondage est détaillée ci-après :

Sondage	Niveau anomalies	Hauteur	Interprétation		
			Description	$V_{\text{avancement}} / V_{\text{étalonnage}}$	PI (Bar)
-	m/TN m/NGF	m			
SP2.8	9,7-11,5 25,6 – 23,8	1,8	Carrière remblayée	= 50 à 75%	PI = 3,1/3,3 Bar
SP2.9	14,3-15,8 21,1 – 19,6	1,5	Carrière remblayée Remblais lâche	≈ 90%	PI = 0,7 Bar
SD2-11	0,0-13,5 35,4 – 21,9	13,5	Fontis probable ou ancien puits d'accès	≈ 60 à 75 %	-
SD101	0 – 11,0 35,4 – 24,4	11,0	Recouvrement décomprimé	< 70 %	-
SD102	0 – 11,0 35,3 – 24,3	11,0	Recouvrement décomprimé	< 85 %	-
SD103	5,8 – 11,0 29,6 - 24,4	5,2	Carrière avec amorce de fontis probable	70 à 100 %	-
SD104	0 – 10,0 35,4 – 25,4	10,0	Recouvrement décomprimé	40 à 75 %	-
SD105	4,0 – 14,0 31,3 – 21,3	10,0	Carrière avec départ de fontis	50 à 95 %	-
SD105	15,8 -19,4 19,5 – 15,9	10,0	Terrain décomprimé sous nappe	60 à 100 %	-
SP6	0 – 9,8 35,4 – 25,6	9,8	Recouvrement décomprimé	55 à 90 %	3,0 à 5,5 Bar
SP8	10,2 – 13,8 25,2 – 21,6	3,6	Carrière remblayée Remblais lâche	30 à 95 %	1,1 à 4,4 Bar

Le plan ci-après repère les sondages ayant recoupés des anomalies liées à une exploitation souterraine de Calcaire Grossier.



Carte des différents sondages présentant une anomalie.

3.4.3. CONCLUSIONS

Le site a fait l'objet d'une exploitation souterraine du Calcaire Grossier. L'exploitation est marquée sur la moitié Est du site, avec des anomalies quasi systématiques sur les sondages. La partie Ouest apparaît plus épargnée, bien qu'une galerie soit cartographiée sur la carte de l'IGC.

L'altimétrie des anomalies est également variable, avec à priori différents niveaux d'exploitation :

- Un premier niveau avec une base d'anomalies vers 24 / 25,5 NGF pouvant correspondre à l'étage supérieur
- Un second niveau avec une base d'anomalies vers 21,5/19,5 NGF pouvant correspondre à l'étage moyen ou inférieur

Les terrains de recouvrement de la carrière sont affectés par de nombreuses décompressions remontant parfois jusqu'en surface (7 sondages sur 10). Une autre hypothèse serait la présence d'une carrière à ciel ouvert mais qui apparaît moins probable du fait de l'existence ancienne de l'avenue Bertaux, présente sur les cartes de l'état-major (1820 - 1866).

Remarque : le sondage SD 105 réalisée lors de la campagne de reconnaissance de SEMOFI a mis en évidence des décompressions profondes, entre 19,5 et 15,9 NGF. Ces décompressions n'ont pas été retrouvées sur les forages SD 2.10 et SD 2.11 réalisés à proximité lors de notre campagne de sondages. Ces anomalies étant à priori sous le niveau de la nappe phréatique, attendu vers 20/21 NGF, (niveau de retenue normal de la Seine à 20,3 NGF) il est peu probable qu'elles soient liées aux problématiques de carrières souterraines. Il s'agit plus probablement de fracturations du Calcaire ou bien de phénomène de lançages dans le faciès sableux du Calcaire Grossier inférieur, liés à la méthode de forage

3.5. EAU PHRÉATIQUE

3.5.1. NIVEAU DE LA NAPPE ALLUVIALE

La nappe alluviale de la Seine devrait se trouver à un niveau proche de 20 / 21 NGF (*niveau de retenu normal de la Seine à 20,3 NGF*) soit environ à 15 m de profondeur.

Remarque : Au droit de l'îlot C, le niveau de la nappe a été mesuré à 20,9 NGF

3.5.2. VARIATIONS PHRÉATIQUES

Le niveau de la nappe correspond au niveau de la nappe alluviale et peut connaître des fluctuations en fonction des conditions climatiques et des variations de niveau de la Seine.

Les côtes de crue de la Seine au niveau du pont de Sartrouville sont indiquées ci-après pour information :

- Crue Centennale (1910) : 26,03 NGF
- Crue Cinquantennale (1955) : 25,53 NGF

3.6. ESSAIS DE LABORATOIRE

3.6.1. AGRESSIVITÉ DU MILIEU VIS-À-VIS DES BÉTONS

- Généralités

Les classes d'exposition des bétons vis-à-vis de leur environnement sont définies dans la norme NF EN 206 de novembre 2014. La norme définit les classes d'exposition correspondant aux attaques chimiques par les eaux souterraines et les sols de la façon suivante :

Pour les sols :

Classe d'exposition			XA1	XA2	XA3
caractéristique		norme			
SO ₄ ²⁻	mg/kg	EN 196-2	≥2000 et ≤3000	>3000 et ≤12000	>12000 et ≤24000
acidité	ml/Kg	prEN 16502	>200	non rencontré en pratique	

Il faut cependant rappeler que la définition de la seule exposition aux attaques chimiques ne permet pas de déterminer l'enrobage au sens de la norme EN 1992-1-1. Il convient de déterminer également la classe d'exposition vis-à-vis du risque de corrosion des armatures (XS ou XD). Quelques recommandations relatives à la composition des bétons en fonction des classes d'exposition sont résumées dans le tableau ci-dessous, extrait de la Norme :

Classes d'exposition	MARINS		CHLORES		CHIMIQUES		
	XS2/XS1	XS3	XD2	XD3	XA1	XA2	XA3
E _{eff} /Liant équivalent maximale	0,55	0,50	0,55	0,50	0,55	0,50	0,45
Classe de résistance minimale	C30/37	C35/45	C30/37	C35/45	C30/37	C35/45	C40/50
Teneur minimale en liant équivalent (kg/m ³)	330	350	330	350	330	350	385

Remarque : Pour des ouvrages géotechniques spéciaux (pieu, paroi moulée, micropieu...), des exigences complémentaires sont données en annexe D de la norme.

- Agressivité du sol vis-à-vis des bétons

Des essais d'agressivité des sols suivant la norme NF EN 206-1 ont été réalisés sur des échantillons issus de sondages à la tarière. Les résultats complets sont disponibles en annexe. Le tableau ci-dessous résume les classes d'exposition des sols :

Échantillons	Profondeur (m)	Nature	Classe d'exposition
E1	4,5 / 6,0	Marnes et Caillasses	> XA3
E2	0,5	Remblais	XA2
E3	3,0 / 4,5	Marnes et Caillasses	> XA3
E4	4 / 9,0	Marnes et Caillasses	< XA1
E5	5 / 6,0	Marnes et Caillasses	> XA3
E6	3 / 5	Marnes et Caillasses	XA2

- Remarques

Les dispositions à prendre pour prémunir les ouvrages de l'agressivité du milieu ne relèvent pas de la compétence du BET Géotechnique.

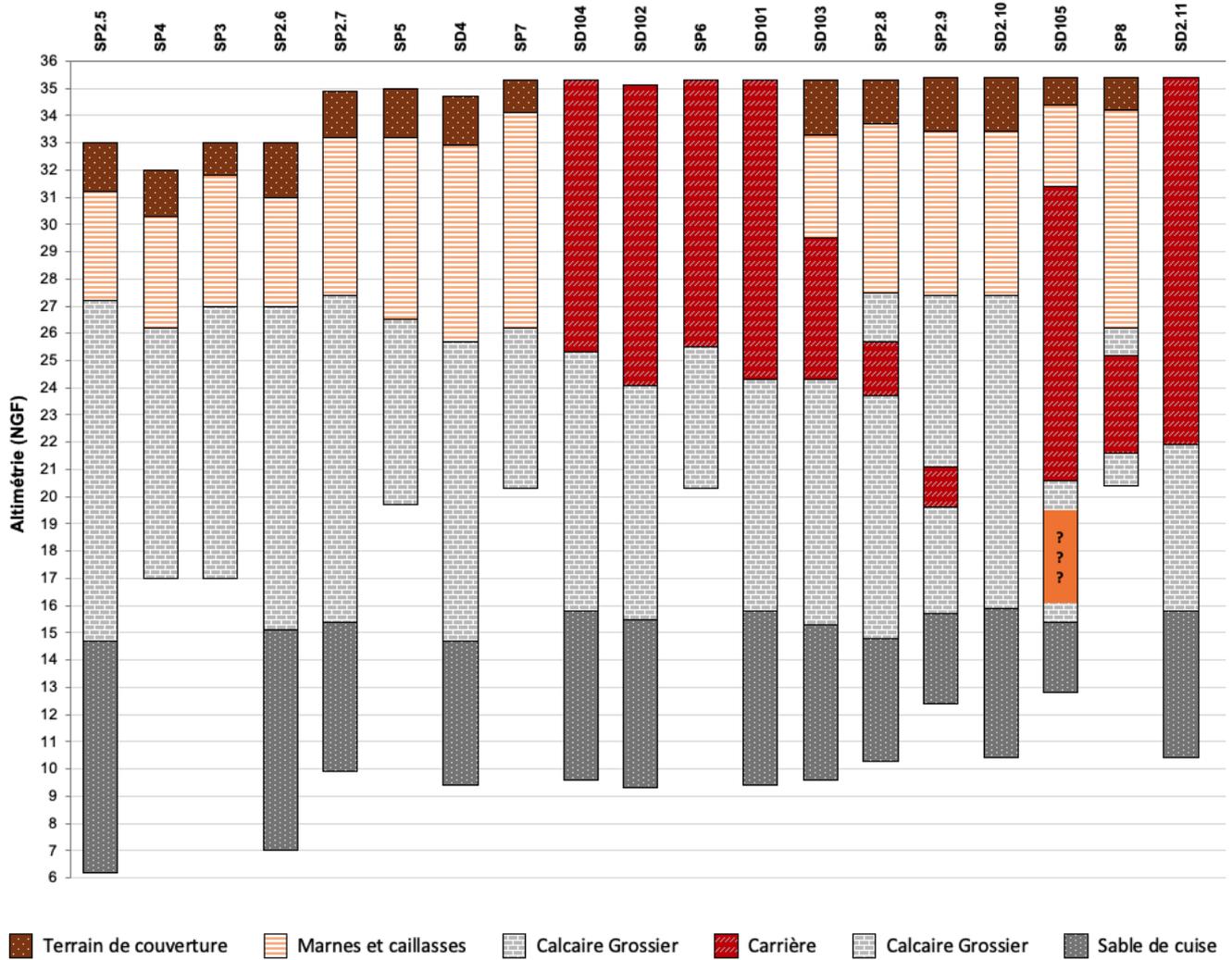
De même le BET Géotechnique n'a pas compétence dans le domaine de la fabrication des bétons. Il indique simplement la classe d'agressivité du milieu en fonction des analyses effectuées (voir ci-dessus).

La formulation des bétons la plus appropriée pour le chantier incombe au BET structure et à l'entreprise. Ces derniers définissent la classe à prendre en compte en fonction de l'exposition des ouvrages. L'entreprise est libre d'effectuer un nouvel échantillonnage du milieu si elle le juge nécessaire afin d'affiner les paramètres d'agressivité et optimiser ses formulations

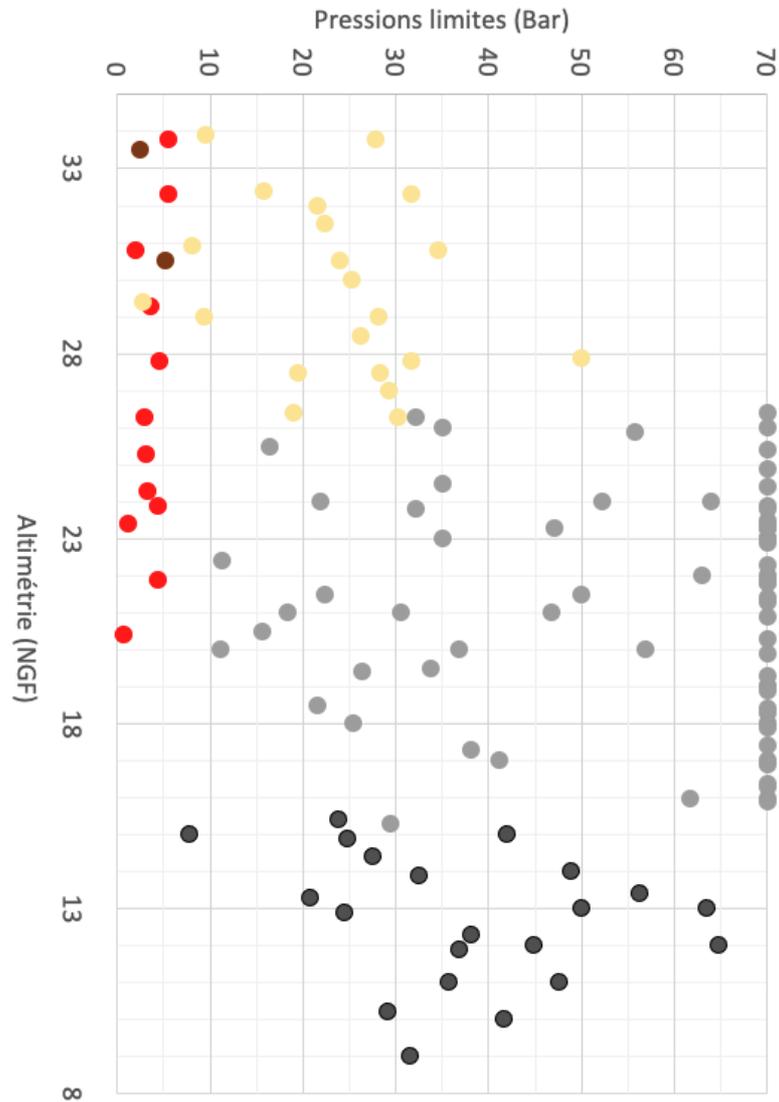
3.7. SYNTHÈSE GÉOTECHNIQUE

3.7.1. MODÈLE STRATIGRAPHIQUE INTERPRÉTÉ ET RÉPARTITION DES RÉSULTATS PRESSIOMÉTRIQUES

Les figures ci-dessous indiquent les logs stratigraphiques interprétés au droit de chaque sondage et la répartition des pressions limites de rupture / modules pressiométriques avec la profondeur.



Logs stratigraphiques interprétés



3.7.2. MODÈLES GÉOMÉCANIQUES

Le tableau ci-dessous indique les modèles géomécaniques à retenir pour le dimensionnement des ouvrages géotechniques.

Zones sous minées par l'exploitation souterraine de Calcaire Grossier

Couche de sol	Base (NGF)	Pl (Bar)	Em (Bar)	α
Recouvrement de carrière	19,5 / 24,5	< 5,0	< 50	1
Calcaire Grossier	15 - 16	50	500	1/2
Sables de Cuise	-	25	280	1/3

Zones hors exploitation souterraine de Calcaire Grossier

Couche de sol	Base (NGF)	Pl (Bar)	Em (Bar)	α
Terrain de couverture	31 - 33	2,5	20	1
Marnes et Caillasses	26 - 27	15	180	1/2
Calcaire Grossier	15 - 16	50	500	1/2
Sables de Cuise	-	25	280	1/3

4. PROJET

4.1. CONSTRUCTIONS ENVISAGÉES

4.1.1. CATÉGORIE D'OUVRAGE

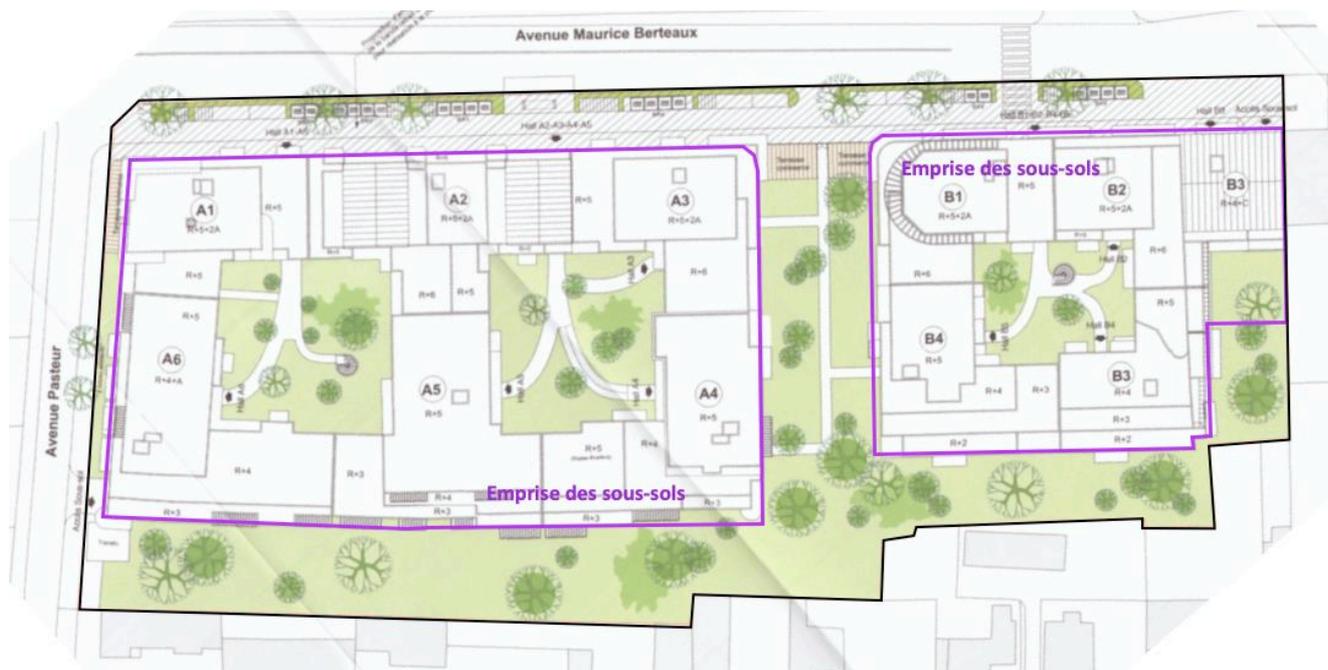
Le projet pourrait être classé selon l'Eurocode 7 dans les catégories suivantes :

Catégorie géotechnique	2	Ouvrages classiques et fondations sans risque, condition de terrain et chargements exceptionnels
Classe de conséquence	CC2	Effets modérés sur les personnes ou les constructions avoisinantes
Catégorie de durée d'utilisation	4	50 ans : structure courante de génie civil et de bâtiment

La complexité d'un projet est à fixer par le Maître d'ouvrage ou son représentant avant le début des études. Elle est à préciser le cas échéant au fur et à mesure de leur avancement.

4.1.2. CONTENU ARCHITECTURAL

Le projet prévoit dans le lot A-B la construction d'un complexe immobilier de type R+4/R+7 sur 2 niveaux de sous-sols.



Extrait du plan de masse du lot AB avec emprise des sous-sols

Les côtes des niveaux finis des infrastructures sont indiquées dans le tableau ci-après :

Niveaux	Cotes (NGF) Bâtiment A	Cotes (NGF) Bâtiment B
RDC	33,11 / 34,50	35 / 36,15
R-1	30,11 / 31,38	32 / 32,36
R-2	27,61 / 28,86	29,5 / 29,86
Fond de fouille	27,3 / 28,5	29,2 / 29,5

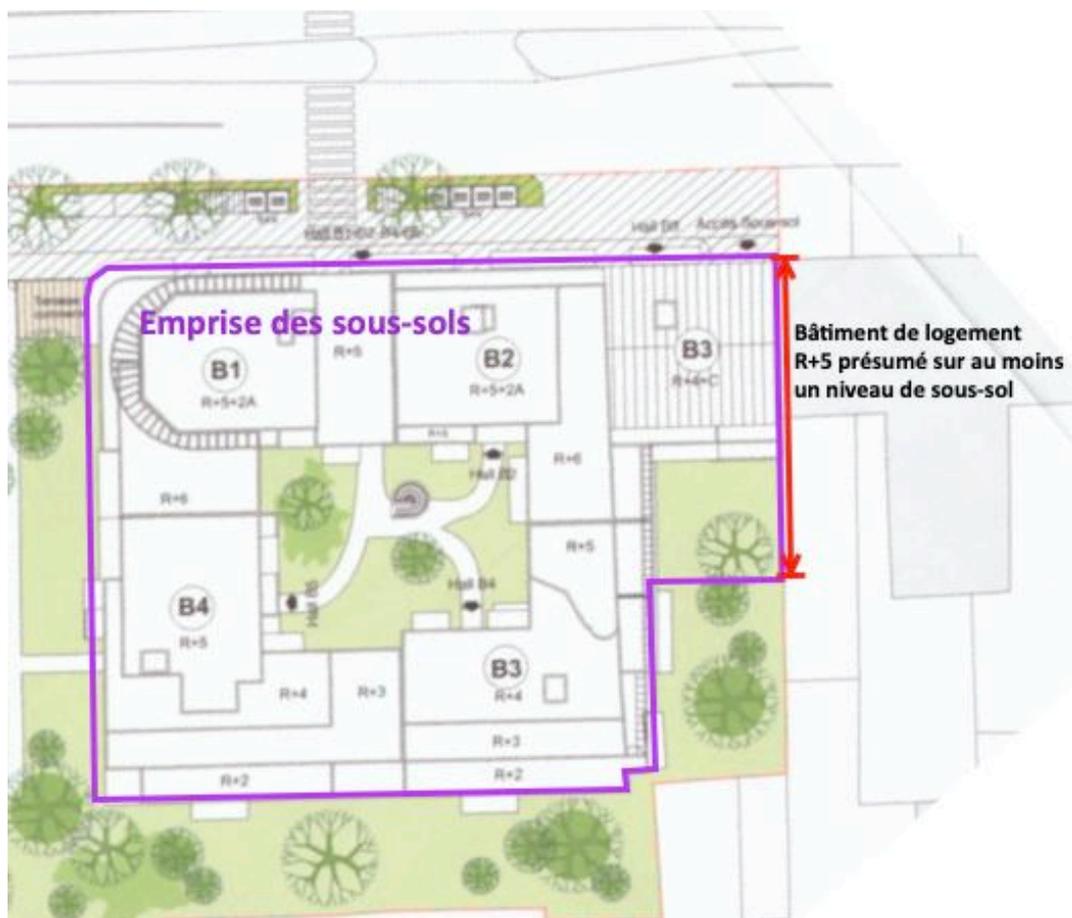
4.1.3. DESCENTE DE CHARGES

La descente de charges du projet n'est pas établie à ce stade. En première approche, nous retiendrons comme hypothèse la gamme de charges ELS (G+Q) suivante :

- Appuis isolés : 250 t à 400 t
- Appuis filants : 30 t/ml à 60 t/ml

4.1.4. DÉFINITIONS DES DIFFÉRENTS LINÉAIRES MITOYENS

Le bâtiment B sera mitoyen à un immeuble d'habitation de structure R+5, qui possède à priori au moins un niveau de sous-sol.



Une mesure altimétrique du niveau bas du bâtiment mitoyen pourra être effectuée avant les terrassements afin d'établir une hypothèse de niveau de fondation dans le cadre de la conception des soutènements du projet à ce niveau.

Ce niveau de fondation sera ensuite vérifié après les travaux de démolition des existants ou au démarrage des terrassements par des fouilles de reconnaissance afin de recalculer si besoin les hypothèses de calcul des soutènements et adapter le projet en cas de débord de fondation.

5. GÉOTECHNIQUE DES FONDATIONS

5.1. TRAVAUX PRÉLIMINAIRES

Préalablement à la réalisation des infrastructures, il conviendra de combler la carrière souterraine avec :

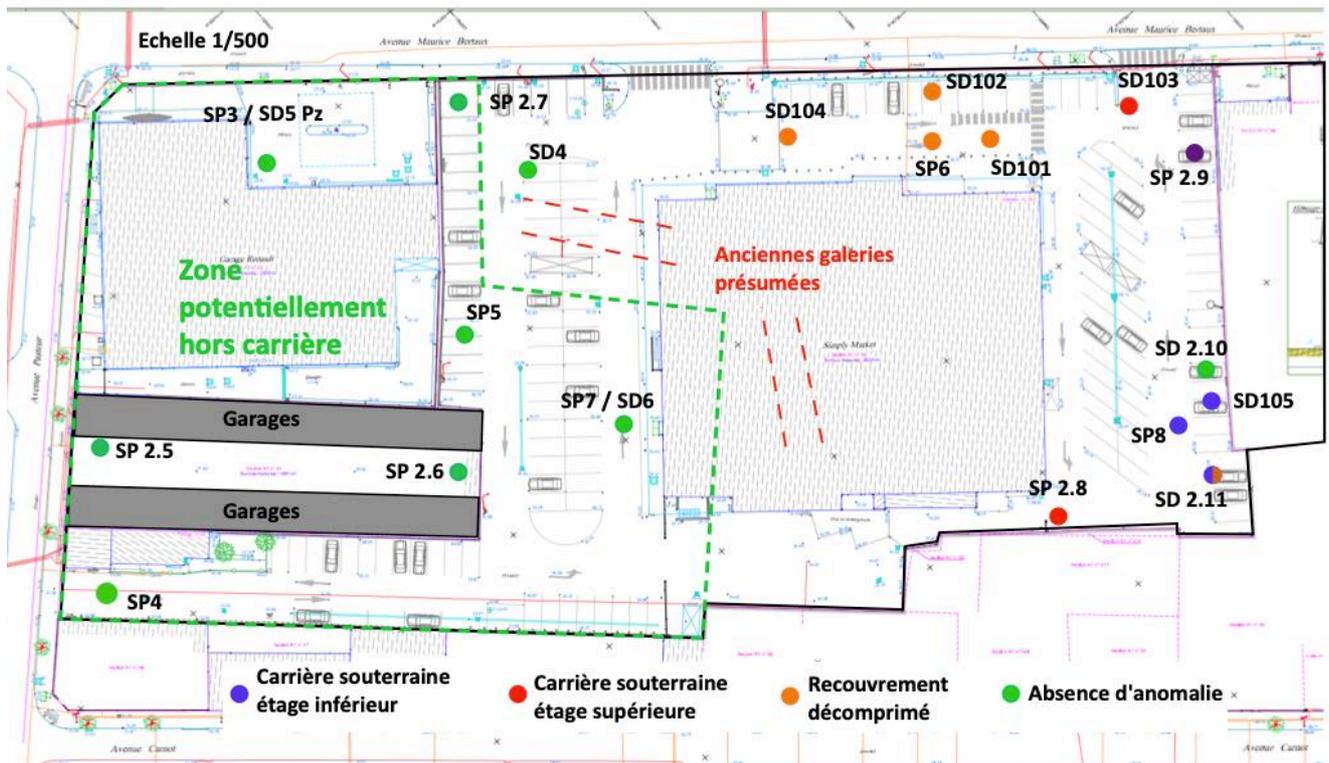
- Un comblement par injection gravitaire et une injection de clavage,
- Le traitement des fontis reconnus et de ceux qui seraient découverts par les forages d'injection.

Ces travaux devront être conformes à la notice de l'Inspection Générale des Carrières intitulée « Notice technique d'injection gravitaire, clavage et traitement des fontis préalables à la mise en œuvre de fondations profondes » en date du 06/01/2003, dont nous rappelons ci-après quelques directives.

5.1.1. Zonage des travaux

En l'état actuel des connaissances la réalisation des travaux d'injection doit être prévue sur la totalité du terrain.

La réalisation d'une campagne de forages de reconnaissance complémentaires pourrait être envisagée afin de vérifier l'absence d'exploitation du Calcaire Grossier sur la partie Ouest du site. La réalisation de ces sondages complémentaires pourrait avoir lieu une fois le site libre de ces contraintes d'exploitation actuelles (*garage automobile et Supermarché*).



Repérage des zones potentiellement hors carrière

Remarque : La réalisation de sondages carottés au droit de la zone affectée par des décompressions du recouvrement peut également être envisagée afin de préciser la nature de ces décompression (fontis ou remblais de carrière à ciel ouvert). En cas de remblais de carrière à ciel ouvert, la réalisation d'injection ne serait pas nécessaire.

5.1.2. Maillage des forages d'injections – Équipement

A l'intérieur du périmètre de confinement des injections, les dimensions minimales du maillage seront de 5,0 m par 5,0 m. Pour les pieux situés en limite de parcelle, l'espacement de forages ne devra pas être supérieur à 2,5 m sauf si la parcelle voisine a déjà été traitée par injections.

Dans les zones de fontis, le maillage sera resserré au minimum à 3,5 m par 3,5 m avec un minimum de deux forages d'injection par fontis reconnu. Le repérage des fontis s'effectue aussi bien lors de l'étude géotechnique qu'en phase chantier.

L'équipement des forages (diamètres, nature des tubes : lisses, crépinés, tube à manchettes, double ou triple équipement...) est défini dans le CCTP Injections.

5.1.3. Composition des coulis et mise en œuvre

Voir CCTP Injections.

5.1.4. Contrôles

A la fin des travaux, des **forages destructifs de contrôle** avec enregistrement des paramètres seront à prévoir pour vérifier le bon remplissage des carrières. Des sondages pressiométriques seront également réalisés au droit des fontis traités afin d'apprécier l'amélioration des caractéristiques mécaniques des terrains injectés.

Le nombre de forages de contrôle devra être au minimum d'un forage pour 10 forages d'injection (arrondi à l'unité supérieure) avec un minimum de 3 unités. Ce nombre sera augmenté dans des cas particuliers tels que découverte de fontis ou de ciels tombés, quantités injectées importantes au droit d'un forage.

Ces forages de contrôle devront être prévus **28 jours** au minimum après la fin des travaux d'injection (clavage compris).

Les résultats des contrôles feront l'objet d'un rapport (mission géotechnique type G5) dans lequel le géotechnicien s'engagera clairement sur l'efficacité des travaux d'injection réalisés.

Les forages de contrôle montrant des vides résiduels ou des terrains insuffisamment traités entraîneront la réalisation de nouveaux forages avec injections et de nouveaux contrôles à la charge de l'entreprise spécialisée.

5.2. REPORT DES CHARGES / PROPOSITIONS DE FONDATIONS

5.2.1. CHOIX D'UN MODE DE FONDATION PAR PIEUX

Le fond de fouille sera ici constitué par la Formation des Marnes et Caillasses, localement décomprimées par les phénomènes de fontis mis en évidence.

Au droit des zones affectée par l'exploitation souterraine, la réalisation de fondations par pieux ancrés sous le plancher de carrières sera nécessaire, du fait de la faible hauteur de recouvrement entre le fond de fouille et le toit de l'exploitation, ainsi que par les nombreux phénomènes de décompression du recouvrement mis en évidence par les sondages.

A l'issu des travaux d'injection et des sondages de contrôle associés, un zonage précis des zones du terrain affectées par l'exploitation souterraine de Calcaire Grossier pourra être effectué. En fonction des résultats, il pourra être étudié une optimisation du système de fondation au droit des zones non affectées par l'exploitation souterraine :

- Par un modèle de calcul des pieux plus favorable
- Par une solution de fondations superficielles sous réserve de pouvoir séparer structurellement les bâtiments sur pieux des bâtiments sur semelles.

Au stade actuel des connaissances, la totalité des bâtiments du bloc B est d'ores et déjà à prévoir sur pieux.

Pour la justification des fondations, on devra respecter la norme d'application nationale de l'Eurocode 7 - **NF P 94-262** « Fondations profondes » (Juillet 2012 + Amendement A1 juillet 2018).

5.2.2. PRÉPARATION DES PLATEFORMES

Pour la circulation de la machine de forage, la mise en œuvre d'une **plateforme de travail** sera nécessaire. L'épaisseur de la couche à réaliser et les conditions de réception seront définies par l'entreprise de pieux en fonction des besoins liés à la machine utilisée (*critère de réception E_{v2} généralement calé à 50 MPa*). Les anciennes infrastructures, réseaux... seront correctement remblayées pour assurer le passage des machines en toute sécurité (*le présent rapport et tous les essais réalisés ne permettent pas d'apprécier ce risque*).

La plateforme sera correctement assainie et entretenue pour maintenir sa portance quelles que soient les conditions climatiques.

5.2.3. TYPES DE PIEUX PROPOSÉS

Étant donné la nature des terrains en présence, l'environnement du projet, le niveau phréatique et l'intensité des charges, les techniques de forage envisageables sont, a priori :

- pieux forés simple.
- pieux forés tubés.

Technique de mise en œuvre	Classe	Catégorie	Abréviation	Norme de référence
Pieu foré simple	1	1	FS	NF EN 1536
Pieu foré tubé (virole récupérée)	1	4	FTR	NF EN 1536

Remarque : Des essais de tenue des parois de forage des pieux sont à prévoir au démarrage du chantier, notamment en cas de recoupement du niveau de la nappe phréatique.

5.3. DIMENSIONNEMENT GÉOTECHNIQUE DES PIEUX

5.3.1. GÉNÉRALITÉS

Généralités sur le principe de dimensionnement

Pour la justification des fondations, il convient de respecter la norme d'application nationale de l'Eurocode 7 - **NF P 94-262** « Fondations Profondes » (Juillet 2012 + Amendement A1 de Juillet 2018). Nous présentons ci-après un pré-dimensionnement issu de la norme d'application Eurocode 7.

Dans le cas de la traction :

$$Fd_n < \frac{0,7 R_{s,k}}{\gamma_{s,cr}}$$

Avec :

- F_{c,d}** : valeur de calcul de la charge en compression axiale.
- Ab** : surface de la pointe du pieu
- Ple** : pression limite nette équivalente sous la pointe du pieu
- P** : périmètre du pieu
- Kp** : facteur de portance (méthode pressiométrique)
- q_{si}** : frottement latéral unitaire limite de la couche « i »
- hi** : hauteur de la couche « i »

La portance d'un pieu en compression axiale aux ELU est considérée comme étant la somme de deux termes : Résistance de Pointe et Frottement latéral mobilisé :

$$R_b (= Kp * Ple * Ab) + R_s (= P \sum_i q_{si} h_i)$$

Deux types de dimensionnement peuvent être menés : la procédure « Modèle de Terrain et la procédure « Pieu Modèle ».

- Dans la procédure « Modèle de Terrain » :

$$F_{cd} < \frac{R_{b,k}}{\gamma_b} + \frac{R_{s,k}}{\gamma_s}$$

avec $R_{b,k} = \frac{R_b}{\gamma_{R,d1} \gamma_{R,d2}}$ et $R_{s,k} = \frac{R_s}{\gamma_{R,d1} \gamma_{Rd2}}$
- Dans le cas de la traction :

$$F_{cd} < \frac{R_{s,k}}{\gamma_{s,t}}$$
- La charge de fluage en compression aux ELS (Fd) est définie comme :

$$Fd < \frac{0,5 R_{b,k}}{\gamma_{cr}} + \frac{0,7 R_{s,k}}{\gamma_{cr}}$$

Détail des coefficients partiels de résistance (procédure Terrain Modèle)

MODÈLE DE TERRAIN	γ _{R,d1}	γ _{R,d2}	
Compression	1,15	1,1	
Traction	1,4	1,1	
	γ _b	γ _s	γ _{s,t}
ELU durable sismique	1,1	1,1	1,15
ELU Accidentel	1	1	1,05
	γ _{cr}	γ _{s,cr}	
ELS Caractéristiques	0,90	1,1	
ELS quasi permanent	1,1	1,5	

Dans la procédure « Pieu Modèle », chaque sondage sert de modèle pour un pieu unique. La portance est déterminée par l'intermédiaire d'une comparaison avec la portance minimale obtenue et la moyenne des résultats, chaque terme étant minoré à l'aide de jeux de coefficients partiels dépendant de la densité des investigations réalisées.

Justification EC7

ELU STR : admissibilité de la compression du béton. Vérification du moment de flexion dans les pieux.
 ELU GEO : vérification portance : terme de pointe et frottement latéral
 ELS GEO : si besoin vérification des tassements

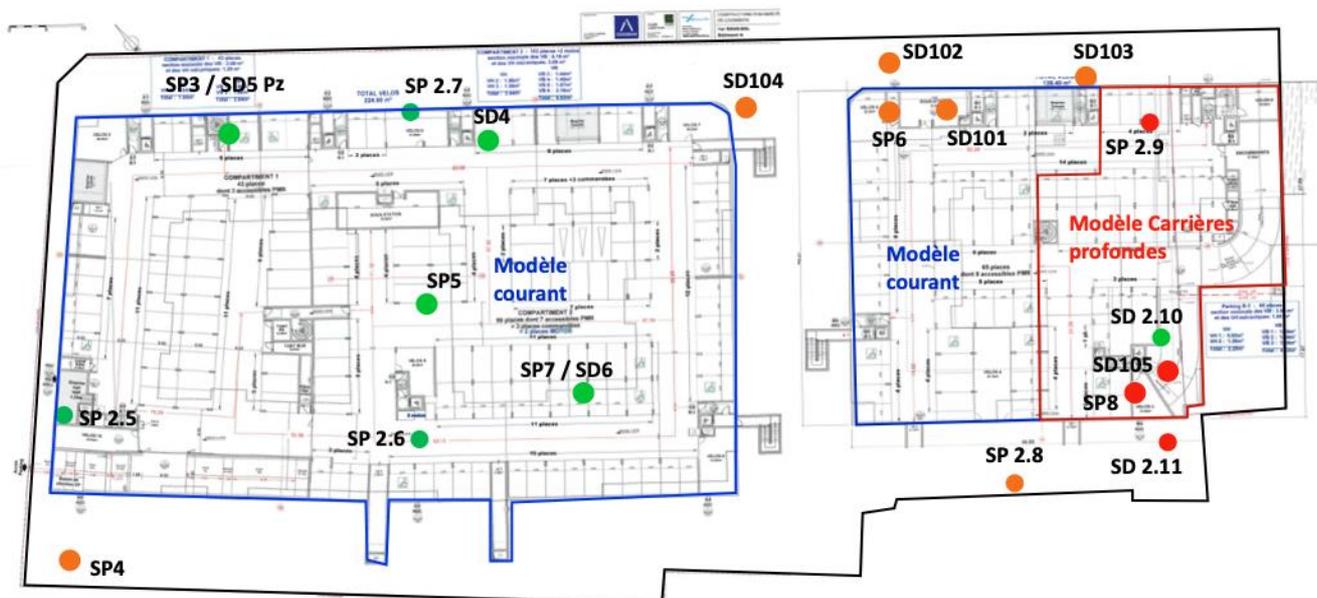
5.3.2. PROPOSITION D'UNE PROCÉDURE MODÈLE DE TERRAIN

Dans la démarche « modèle de terrain », nous présentons ci-dessous les schémas de calcul à prendre en compte pour les fondations profondes de type foré simple.

Pour tout changement de méthode, les coefficients de frottements seront réévalués conformément aux documents normatifs.

Conformément à la norme NF P 94-262, l'encastrement effectif dans la couche porteuse devra au minimum être pris égal à 3 diamètres ou 1,5 m pour des pieux de diamètres supérieurs à 0,5 m.

Deux modèles de calculs distincts sont proposés à ce stade afin de tenir compte des anomalies profondes détectées en limite Est du site :



Répartition des modèles de calcul de pieux proposée à ce stade

Ces répartitions seront à réévaluer à l'issue de la campagne des travaux d'injections de la carrière et des sondages de contrôles.

Modèle courant : Pieux forés simple - Classe 1 - Catégorie 1 – Hors effet de groupe

Formation	Base	Catégorie sol	Frottement latérale			Pointe		
			α pieu/sol	pl*	qs	ple*	Kp max	
-	NGF	-	-	Bar	kPa	Bar	-	
Recouvrement de la Carrière + exploitation	24,0	1	Terrain neutralisé					
Calcaire Grossier	15,5	4	1,6	50,0	200	50,0	1,45	
Sables de Cuise	-	2	1,0	25,0	81	25,0	1,10	

Modèle Carrières profondes : Pieux forés simple - Classe 1 - Catégorie 1 – Hors effet de groupe

Formation	Base	Catégorie sol	Frottement latérale			Pointe		
			α pieu/sol	pl*	qs	ple*	Kp max	
-	NGF	-	-	Bar	kPa	Bar	-	
Recouvrement de la Carrière + exploitation	19,5	1	Terrain neutralisé					
Calcaire Grossier	15,5	4	1,6	50,0	200	50,0	1,45	
Sables de Cuise	-	2	1,0	25,0	81	25,0	1,10	

5.3.3. EXEMPLES DE CAPACITÉS PORTANTES

À titre d'exemple, pour des fondations profondes avec ancrage dans le Calcaire Grossier, sans effet de groupe, les fiches et les charges portantes seront voisines des valeurs suivantes :

Zone courante

Pieux forés simple - Classe 1 - Catégorie 1 – Hors effet de groupe							
Diamètre pieu	Arase sup. pieu	Arase inf. pieu	Longueur pieu	Charge ELS Caractéristique	Portance ELU Fondamentale	σELS compr. béton	σlim compr. béton
m	NGF	NGF	m	t	t	MPa	MPa
0,62	27,5	21,5	6,0	151	219	5,00	6,92
0,82	27,5	20,5	7,0	273	394	5,16	6,92
0,82	27,5	19,5	8,0	311	442	5,88	6,92
1,02	27,5	19,5	8,0	430	620	5,26	6,92

Zone carrières profondes

Pieux forés simple - Classe 1 - Catégorie 1 – Hors effet de groupe							
Diamètre pieu	Arase sup. pieu	Arase inf. pieu	Longueur pieu	Charge ELS Caractéristique	Portance ELU Fondamentale	σELS compr. béton	σlim compr. béton
m	NGF	NGF	m	t	t	MPa	MPa
0,62	27,5	21,5	6,0	151	219	5,00	6,92
0,82	27,5	20,5	7,0	273	394	5,16	6,92
0,82	27,5	19,5	8,0	311	442	5,88	6,92
1,02	27,5	19,5	8,0	430	620	5,26	6,92

L'arase inférieure des pieux sur la zone carrières profondes est volontairement limité à 16,5 NGF afin de limiter la hauteur de terrain sous nappe à traverser à la formation du Calcaire Grossier. Des doublets de pieux sont donc à prévoir en cas de charges lourdes sur cette zone.

5.3.4. REMARQUES SUR LE BÉTON ARMÉ

Le pré-dimensionnement des pieux est volontairement adapté afin de respecter dans le béton une contrainte en compression moyenne admissible.

Conformément à la norme NF P 94-262 (EC7), la contrainte limite maximale de calcul des pieux forés à l'état limite de service (ELS) est égale à : $\sigma < 0,3 \times k_3 \times f_{ck}^*$

La valeur du coefficient k3 peut être optimisée à 1,2 dans le cas d'un contrôle renforcé de la qualité et de la continuité du fût par des contrôles détaillés dans le tableau 6.4.1.2 de la norme NF P 94-262 (*auscultation par transparence, impédance, etc...*).

Conformément à l'EC7, la résistance de calcul conventionnelle du béton vaut :

$$f_{ck}^* = \inf(f_{ck}(t); C_{max}; f_{ck}) \frac{1}{k_1 k_2}$$

Avec :

f_{ck} : Résistance caractéristique du béton ;

C_{max} : Valeur tenant compte des sujétions de mise en œuvre du béton, coulis ou mortier suivant la technologie

utilisée (tableau 6.4.1.1 de NF P94-262) ;

k_1 et k_2 : coefficient tenant compte des conditions de mise en œuvre.

Concernant les armatures des pieux, les règles de l'art suivantes sont à prendre en compte :

- **Cas des pieux soumis à des efforts de flexion** : Si les efforts provenant de la construction ne produisent pas que des compressions centrées sur l'axe du pieu", alors les pieux devront être armés en conséquence (*voir paragraphe « Cas de sollicitations latérales »*).
- **Armatures minimales** : Elles seront prévues conformément aux normes en vigueur : 0,5% de la section du pieu si $\phi_{\text{pieux}} < 800$ mm ; Min [0,25% Section pieux ; 25 cm²] si $\phi_{\text{pieux}} > 800$ mm.
Rappelons par ailleurs, qu'en cas d'arase basse de recépage supérieure à 2 m sous le niveau de la plateforme de travail, les pieux doivent être armés.

6. SOUTÈNEMENTS

6.1. CARACTÉRISTIQUES INTRINSÈQUES / ESTIMATIONS DE LA POUSSÉE DES TERRES

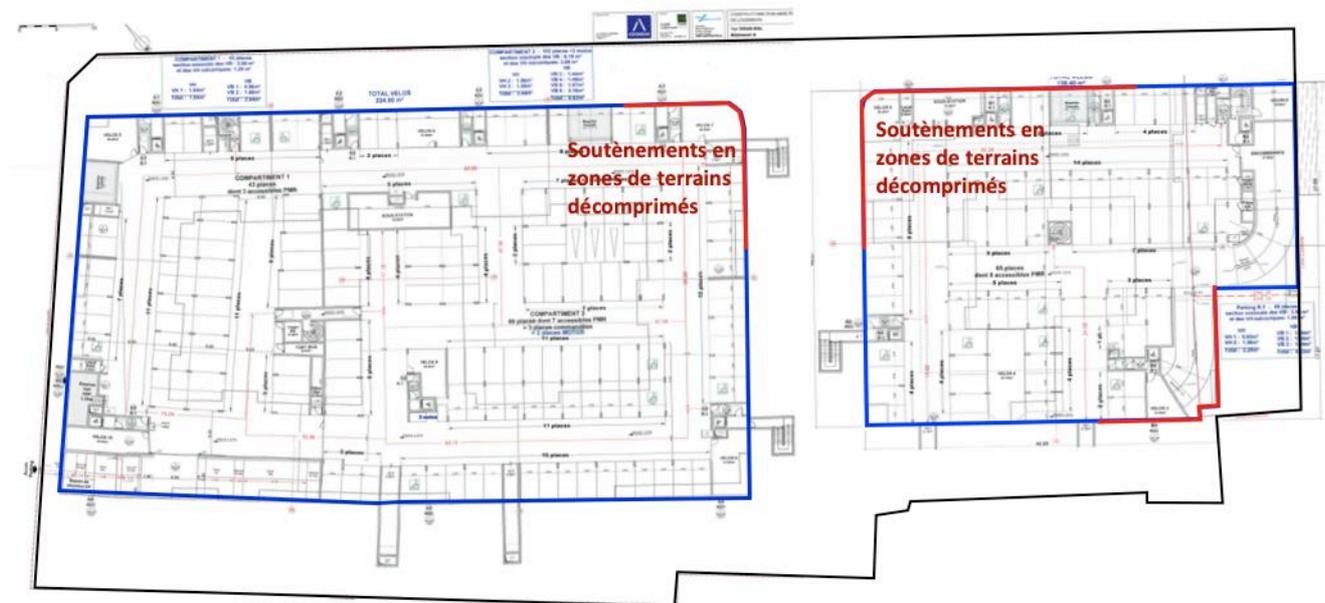
6.1.1. GÉNÉRALITÉS ET MODÈLE DE TERRAIN

Généralités sur le principe de dimensionnement	
Pour la justification des murs, il convient de respecter la norme d'application nationale de l'Eurocode 7 - NF P 94-281 « Murs » (Avril 2014).	
Pour la justification des écrans fichés, il convient de respecter la norme d'application nationale de l'Eurocode 7 – NF P 94-282 « Écrans » (Mars 2009 + Amendement A1 de Février 2015).	
Pour la justification des écrans cloués, il convient de respecter la norme d'application nationale de l'Eurocode 7 - NF P 94-270 « Remblais renforcés et massifs en sol cloué » (Octobre 2020).	
Justification EC7	
ELU STR : Vérification du moment de flexion dans le soutènement.	
ELU GEO : Vérification Butée Mobilisable/Butée Mobilisée. Vérification au glissement pour les murs. Vérification du glissement généralisé.	
ELU GEO : Vérification de la portance si l'élément est porteur.	
ELS GEO : Vérification de la déformée.	

Les paramètres de sol à retenir pour les calculs de soutènement sont résumés dans le tableau ci-après :

Couche de sol	Épaisseur	γ	ϕ_u / ϕ'	C_u / C'	δ/ϕ poussée	K_a
-	(m)	kN/m ³	°	kPa	-	-
Remblais	2,0*	20	30	0	0	0,33
Marnes et Caillasses	Fond de fouille	20	30	10	0	0,33

*La présence de terrains décomprimés par des phénomènes de fontis doit être prise en compte dans le calcul des soutènements de manière spécifique, avec prise en compte des paramètres des remblais sur toute la hauteur du soutènement. La figure ci-dessous repère les linéaires concernés à ce stade :



Une réévaluation des zones impactées devra être faite après analyse des forages d'injections et de contrôle des travaux d'injection.

6.1.2. DRAINAGE DES EAUX D'INFILTRATION

La fouille ne recoupera pas une nappe phréatique pérenne et, à ce titre, aucune poussée d'eau n'est à considérer en phase provisoire. Nous considérons que les eaux d'infiltration sont drainées en phase chantier par la mise en place d'un géocomposite vertical de drainage relié à des barbacanes / pissettes. Le géocomposite devra être compatible avec la méthodologie du béton projeté.

6.1.3. SURCHARGES

Une surcharge chantier de 10 kPa est considérée en tête de voile pour les linéaires sans bâtiment mitoyens.

Une surcharge spécifique sera à prendre en compte au niveau du bâtiment mitoyen à fouille, une fois l'altimétrie du niveau bas du mitoyen connu.

6.2. PROPOSITION DE TRAITEMENT DES DIFFÉRENTS LINÉAIRES

Avec des fonds de fouilles compris entre 27,3 – 29,5 NGF pour un terrain naturel allant de 32,0 à 36,0 NGF, les terrassements atteindront 5 à 6,5 m de hauteur environ.

En l'absence de bâtiments mitoyens à la fouille, la réalisation des soutènements par la méthodologie des voiles par passes alternées.

Au droit du bâtiment mitoyen R+5 à la fouille, la technique de soutènement sera définie une fois le nombre de sous-sols du bâtiment connu. La réalisation d'un linéaire de paroi composite à ce niveau n'est pas à exclure à ce stade.

6.3. LINÉAIRE SANS MITOYEN : PROPOSITION DE VOILES PAR PASSES

6.3.1. FAISABILITÉ DES VOILES PAR PASSES / GÉNÉRALITÉS

▪ Vérification préalable de la stabilité des passes

La faisabilité des voiles par passes est conditionnée par la tenue des terres pendant le temps nécessaire à la réalisation complète d'une passe donnée.

Il conviendra donc de réaliser, avant ouverture du chantier, des puits d'essai de stabilité in situ pour chaque formation géologique concernée et sur une durée minimale de 24 heures. Les dimensions d'ouverture du puits d'essai (talus taillés à la verticale) seront les dimensions d'ouverture prévues augmentées de 1 m en périmétrie (par exemple le puits d'essai aura une largeur de 5m et une hauteur de 2,5m pour valider une passe de 3m de largeur x 1,5m de hauteur).

Si cette stabilité des terres n'était pas assurée, il y aurait lieu de procéder à des blindages voire examiner une méthodologie différente de réalisation des VCT (par exemple une paroi composite).

▪ Réalisation

Quel que soit le résultat des tests mentionnés plus haut, dans un souci de sécurité, nous conseillons de limiter les dimensions des passes à 1,5 m de hauteur pour 3,0 m de largeur.

Les précautions d'exécution suivantes seront à respecter :

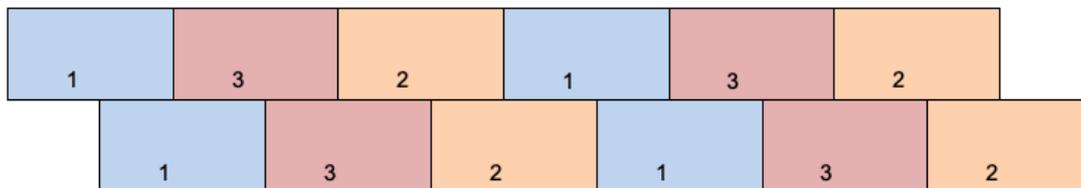
- Le respect du principe d'alternance des passes,
- Le respect des dimensions de passes, définies au préalable,
- La bonne mise en place du butonnage provisoire et ses semelles préfabriquées,
- L'exécution des semelles définitives sur des supports propres, sains et non remaniés,
- Les conditions d'exécution de la bêche en pied de voile si de besoin.

Tout manquement à ces règles de bonne exécution peut avoir des conséquences fatales sur la stabilité des voiles contre-terre.

L'entreprise procédera à une vérification régulière du bandage des boutons et procédera aux recalages nécessaires si de besoin.

▪ **Principe d'alternance des passes**

Les passes seront réalisées en alternance afin de bénéficier d'un effet de voûte. Le schéma ci-dessous illustre le principe d'alternance proposé :



▪ **Prise en compte d'une bêche en pied de voile**

La mise en place d'une bêche en pied de voile est assujettie :

- À sa justification théorique peu aisée (voir norme),
- Aux conditions d'exécution qui le plus souvent ne permettent pas la mobilisation correcte de la butée sur la hauteur de la bêche (terrain remanié, bêche coffrée une face, etc...).

Dans la pratique, le voile reposera sur sa semelle filante coulée à pleine fouille mais nous recommandons de ne pas tenir compte de cet aspect stabilisateur dans la note de calcul des voiles contre-terre.

▪ **Préconisations d'exécution**

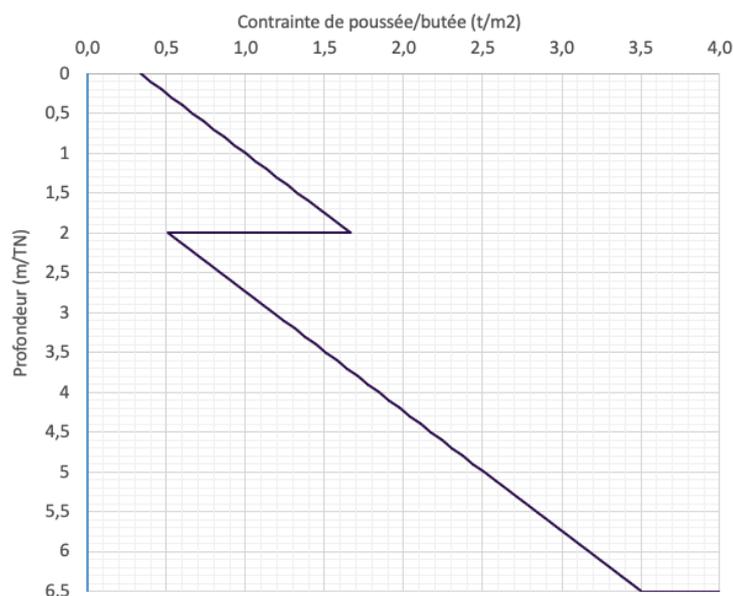
La présence d'éléments durs au sein des remblais (blocs béton, dalles ou éléments de démolition) et des marnes (bancs, rognons ou blocs) nécessitera l'usage d'engins de terrassement adaptés (piqueur ou BRH). Dans la mesure du possible, les blocs déchaussés seront évacués et les dépressions ainsi créées comblées en gros béton.

L'usage du BRH à proximité immédiate de constructions mitoyennes reste à l'appréciation du Maître d'Œuvre mais doit être limité et exceptionnel.

6.3.2. PRÉ-DIMENSIONNEMENT

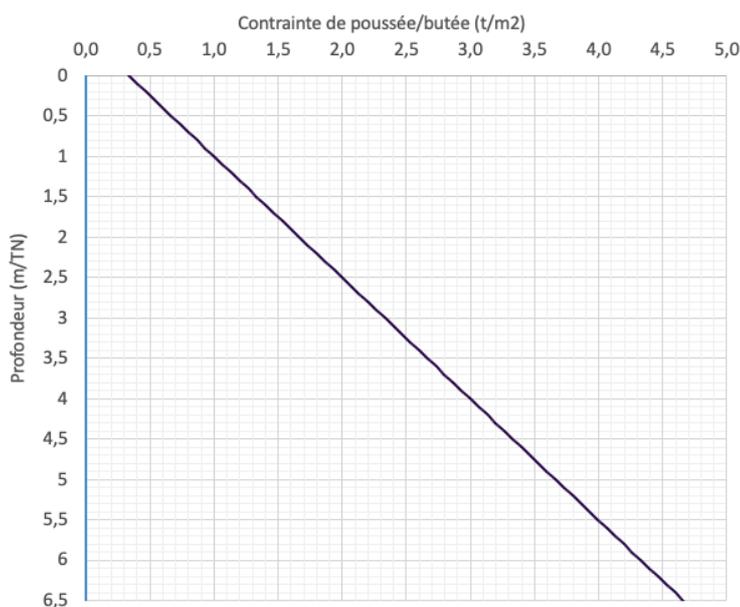
Remarque : Nous ne nous intéressons ici qu'au butonnage définitif des voiles par passes (avant mise en place des infrastructures butonnantes), les phases provisoires restent du ressort de l'entreprise spécialisée. Dans certains cas, en particulier pour des fouilles de grande hauteur, il est également nécessaire de justifier les phases provisoires.

▪ **Diagramme de poussée des terres zone courante (ELS)**



*Poussée totale ELS pour 5,0 m: 6,5 t/ml
 Poussée totale ELS pour 6,5 m: 11,0 t/ml*

▪ **Diagramme de poussée des terres zone de terrain décomprimé (ELS)**



*Poussée totale ELS pour 5,0 m: 10,0 t/ml
 Poussée totale ELS pour 6,5 m: 16,2 t/ml*

▪ Reprise des poussées de terre

Les poussées de terre sont reprises par des butons :

- Soit des butons d'angle,
- Soit des butons obliques assis sur des semelles dédiées en fond de fouilles.
- Soit des butons obliques butés sur les longrines/têtes de pieu en fond de fouilles.

Comme mentionné précédemment, le voile est stabilisé par 2 lits de butons au minimum afin de garantir son équilibre statique.

▪ Semelles des butons

Justification EC7

ELU STR : Calcul BA de la semelle.
ELU GEO : Vérification portance.
ELU GEO : Vérification au glissement.

Les semelles servant d'assise aux butons obliques seront correctement ancrées au sein des Marnes et Caillasses.

Pour une résultante des charges inclinée à 45° sur l'horizontale, la contrainte de dimensionnement des semelles de butons sera limitée à **2,5 Bar** sous réserve d'un parfait respect des règles de l'art en matière d'exécution (fond de fouille parfaitement propre et nettoyé à la main) et d'un encastrement minimum de 0,4m.

Dans les zones de terrains décomprimés, malgré la réalisation de travaux d'injection de consolidation, nous demandons une limitation de la contrainte des semelles de butons à **1,5 bar**.

La bonne exécution de ces semelles reste un point crucial dans la proposition de réalisation des VPP (*voir ci-dessous*).

▪ Remarques importantes

Toute passe ouverte sera équipée dans la journée (excavation, ferrailage, bétonnage et butonnage).

Une attention particulière sera apportée à l'impact des semelles de butons une fois le fond de fouille atteint par rapport aux semelles/tête de pieux/longrines du projet.

Ceci permettra d'anticiper les démontages précoces de butons et d'assurer la stabilité du voile jusqu'à butonnage définitif par les planchers ou par des refends.

De la même façon, la réalisation des longrines BA devra faire l'objet d'une attention particulière. En aucun cas, on ne devra déchausser les semelles de bouton pour ferrailer et couler ces éléments.

Pendant toute la durée des terrassements, il conviendra de procéder à une surveillance régulière des ouvrages mitoyens à l'aide de cibles de géomètre avec au minimum un relevé hebdomadaire. Avant le début des terrassements, toute fissure sera équipée de jauges type "Saugnac" ou de témoins en plâtre. Des contrôles réguliers de ces témoins seront également réalisés.

7. NIVEAUX BAS

D'après les résultats de nos reconnaissances, et selon les terrassements envisagés (niveau bas à 27,61 / 29,86 NGF), les terrains en fond de fouille seront représentés par les Marnes et Caillasses permettant d'envisager la réalisation d'un dallage.

Remarque : Les zones de terrain décomprimés auront fait l'objet de travaux de consolidation par injection.

La conception et la réalisation du dallage devront respecter le DTU 13.3 Dallage de décembre 2021.

Cette solution suppose un fond de fouille sain, non soumis aux intempéries et validé avant coulage (*vérification des teneurs en eau notamment*) car les risques de mouvements ultérieurs sont directement liés à la qualité des travaux d'exécution. Les périodes climatiques défavorables pourront entraîner des arrêts de chantier, voire imposer la réalisation d'un plancher porté (*impossibilité de réaliser un compactage satisfaisant sans traitement préalable*).

▪ Règles de conception

Les dallages devront être fractionnés pour canaliser la fissuration et désolidarisés des murs.

Pour les calculs de dallage, on prendra, en avant-projet, un module d'élasticité du sol support calculé avec : α (*coefficient rhéologique*) = 0,5 et $E_M = 50$ Bar (E_M correspondant au module pressiométrique), soit $E_s = 100$ Bar. Cette valeur relativement faible est prise afin de tenir compte de la présence des terrains décomprimés par les phénomènes de fontis. Les sondages de contrôle des injections pourront vérifier l'obtention de cette valeur après les travaux de consolidation.

La réalisation d'une couche de forme d'au moins 0,2 m d'épaisseur sera nécessaire (*y compris au-dessus des semelles de fondation*).

Pour la couche de forme, on devra vérifier que les matériaux mis en œuvre respectent les critères de l'annexe A.2.2 du DTU 13.3. Les sous-produits industriels (*notamment les graves de déconstruction*) sont à exclure. Dans le cas spécifique des graves chaulées, il conviendra impérativement d'avoir l'aval du bureau de contrôle et du maître d'œuvre d'exécution avant mise en œuvre. La Fiche Technique Produit devra préciser la teneur en sulfates solubles dans l'eau (*NF EN 1744-1*). Les graves chaulées seront, dans tous les cas, interdites si la nappe est susceptible de remonter au niveau de la couche de forme.

▪ Préconisations d'exécution

Les terrains remaniés par les terrassements, et les éventuels sols détrempés, seront purgés. La PST sera compactée afin de détecter les zones de moindre portance qu'il faudra purger. Les zones purgées feront l'objet de mise en place de remblais techniques (*matériaux d'apport nobles insensibles à l'eau, compactage par couches minces de 30 cm...*).

▪ Contrôles de la déformabilité du support

Un contrôle de la déformabilité du support du dallage sera réalisé par essais à la plaque, avec un minimum de 3 points plus 1 point pour 1000m². Le critère de réception dépend de l'intensité de chargement du dallage :

$E_{v2} > 50$ MPa pour une charge d'exploitation < 20 kPa (répartie) ou 20kN (concentrée)

$E_{v2} > 70$ MPa pour une charge d'exploitation > 20 kPa (répartie) ou 20kN (concentrée)

En cas d'essai à la dynaplaque (module E_{v2} équivalent), il sera nécessaire de prévoir un calage entre la dynaplaque et la plaque.

▪ Contrôles de la compacité du support

Un contrôle de la compacité du support du dallage sera réalisé par essais au pénétromètre dynamique, avec un minimum de 3 points plus 1 point pour 1000m². Le critère de réception est à **minima q3**.

Remarque : Il est permis de ne pas mesurer la compacité par l'intermédiaire d'essais au pénétromètres dynamiques sous certaines conditions (*voir DTU Dallage, A.2.4*).

8. PROTECTION CONTRE LES EAUX

8.1. GÉNÉRALITÉS

Quelques rappels

Dans la pratique, toutes les infrastructures des ouvrages enterrés sont potentiellement exposées à des venues d'eau.

- Soit par à l'action d'une nappe phréatique dont le niveau fluctue dans le temps.
- Soit par d'autres mécanismes : débordement d'un fleuve, eaux d'infiltrations diverses : pluies, réseau enterré...

On appelle cuvelage un revêtement d'imperméabilisation ou un revêtement d'étanchéité appliqué sur la structure interne ou externe de l'ouvrage potentiellement immergé par les mécanismes décrits plus haut et cela afin de le soustraire à la pénétration de l'eau.

En d'autres termes, le cuvelage est l'addition d'une structure béton dimensionnée en conséquence et un revêtement d'étanchéité ou d'imperméabilisation décrit par le DTU 14.1. Les règles du Béton Armé définissent la quantité des aciers, leurs diamètres et leurs positions pour la limitation de la fissuration dans le béton (on parle de fissuration préjudiciable ou très préjudiciable).

La quantité d'aciers dépend des pressions hydrauliques dans les ouvrages : le calcul est réalisé sur la base du niveau de l'eau E retenue par le maître d'ouvrage + 50 cm.

L'action de l'eau dépend de son niveau, on distingue selon l'Eurocode 0 et le DTU 14.1 (P11- 221 de novembre 2020) :

- Le niveau des plus basses eaux « **EB** » ou niveau quasi-permanent, correspond au niveau d'être dépassé pendant 50% du temps de référence,
- Le niveau des eaux fréquentes « **EF** », correspond au niveau d'être dépassé pendant 1 % du temps de référence,
- Le niveau des hautes eaux « **EH** », ou niveau caractéristique correspondant à la période de retour de 50 ans,
- Le niveau exceptionnel et conventionnel de l'eau « **EE** », correspondant aux plus hautes eaux prévisibles ou niveau retenu pour l'inondation et qui donne les actions accidentelles.

On classe les ouvrages immergés selon leur type d'étanchéité :

- Ouvrages à **structure relativement étanche** pour lesquels il est admis un léger passage d'eau (moyenne annuelle < 500 cm³/j/m²) à débit contrôlé et éventuellement récupéré. Dans ce cas, c'est le béton par sa compacité et sa résistance qui s'oppose au passage de l'eau. On adjoint alors dans la masse du béton un adjuvant hydrofuge qui diminue la porosité du béton et limite les arrivées d'eau. La qualité du béton, le ferrailage et la reprise des joints sont conformes au DTU 14.1.
- Ouvrages étanchés par un revêtement intérieur **d'imperméabilisation** (cristallisation...) ou **d'étanchéité** (résines spéciales encore peu courantes...). La qualité du béton, le ferrailage et la reprise des joints sont conformes au DTU 14.1. Dans les deux cas, et si le support ne se fissure pas, le revêtement empêche le passage de l'eau liquide mais seule l'étanchéité dispose d'un pare vapeur.
- Ouvrages étanchés par un **revêtement extérieur d'étanchéité** (cuvelage par extradoss), à base de produits plastiques, élastiques-plastiques ou élastiques. La qualité du béton, le ferrailage et la reprise des joints sont conformes au DTU 14.1.

Pour des ouvrages non concernés par la nappe et pour un simple usage de stationnement de véhicule, des pénétrations d'eau ne compromettent pas l'utilisation des locaux. Dans ce cas, des géo-composites drainants peuvent être mis en place derrière les voiles contre-terre avec pour exutoire des barbacanes percées en pied de voiles et se déversant par des cunettes internes dont l'exutoire final sera la fosse de relevage des eaux de parking

8.2. NIVEAUX D'EAU DE RÉFÉRENCE

Le niveau de la nappe phréatique au droit du site est attendu vers 20/21 NGF, soit à plus de 6 m sous les futurs fonds de fouilles.

Les côtes de crue de la Seine au niveau du pont de Sartrouville sont également inférieures au niveau des futurs fonds de fouille.

- Crue Centennale (1910) : 26,03 NGF
- Crue Cinquantennale (1955) : 25,53 NGF

8.3. PRÉCONISATIONS EN PHASE PROVISoire DE CHANTIER

En phase provisoire, pour un projet sur 2 niveaux de sous-sol, les terrassements ne recouperont pas le niveau de la nappe phréatique. Cependant, les terrassements généraux peuvent rencontrer quelques venues d'eau sous forme de poches dans les terrains de couverture.

Des pompages de surface seront ainsi à prévoir afin de récupérer les eaux météoriques et assainir les fouilles. Les fonds de fouille seront dressés avec une légère pente et seront équipés de dispositifs de drainage afin de réaliser la totalité des infrastructures dans les meilleures conditions, c'est-à-dire, hors d'eau, et assurer la traficabilité des engins de chantier.

8.4. PRÉCONISATIONS EN PHASE SERVICE

Un projet sur 2 niveaux de sous-sols (*niveau bas à 27,61 – 29,86 NGF*) n'est pas concerné par les battements phréatiques dans le contexte géologique défini plus haut.

La protection des infrastructures concerne donc les eaux d'infiltrations naturelles ou accidentelles qui s'accumulent contre les voiles et provoquent de l'humidité ou des infiltrations au travers des voiles béton.

Dans les zones de parkings ouverts, on pourra prévoir la réalisation de barbacanes avec rigoles en pied de mur. Ceci suppose d'accepter des traces d'humidité ou des infiltrations dans la face intérieure des murs du sous-sol. La mise en place d'un géocomposite vertical de drainage (*type ENKADRAIN ou ALVÉODRAIN*) permettra de répartir les arrivées d'eau et assurer le passage de l'eau dans les barbacanes. L'eau des cunettes devra pouvoir s'évacuer gravitairement vers les postes de relevage.

Dans les zones de caves ou locaux techniques peu sensibles, il conviendra de prévoir un dispositif de drainage et protection périphérique (*cf. DTU 20.1*). Toutefois, sa mise en œuvre pourra s'avérer délicate en cas de voiles contre-terre et nécessitera dans ce cas la mise en place d'un géocomposite vertical de drainage avec un drain collecteur en partie basse, ou bien l'étanchéité du voile.

Dans les locaux techniques sensibles (*postes électriques, machineries d'ascenseurs...*) un revêtement d'imperméabilisation (voire une véritable étanchéité) peut être demandé afin de garantir du bon fonctionnement des installations qu'ils abritent.

Nous restons à la disposition du Maître d'Ouvrage pour tous renseignements complémentaires.

Le Contrôle interne,

Sébastien ROMIEUX

Le Responsable de l'étude

Simon COUTAZ

9. ANNEXES

DANS LE CORPS DU RAPPORT - NUMÉROTÉES

- MISSIONS

- RELEVÉS DES REMONTÉES DE CUTTINGS

PIÈCES JOINTES – NON NUMÉROTÉES

- LOGS PRESSIOMÉTRIQUES ET DIAGRAPHIES

- ESSAIS EN LABORATOIRE

- LIMITE D'EXPLOITATION DU RAPPORT

MISSIONS

L'enchaînement de chacune de ces 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 pertinentes issues d'investigations géotechniques appropriées.

ÉTAPE 1 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE PRÉALABLE (G1)

Cette mission, comprenant deux phases, 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.

Phase Étude de Site (ES)

Elle est réalisée en amont d'une étude préliminaire ou d'esquisse ou d'APS et permet une première identification des risques géotechniques d'un site.

- Faire une enquête documentaire sur le cadre géotechnique du site et l'existence d'avoisnants 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 ou d'esquisse ou d'APS et permet de réduire les conséquences sur les futurs ouvrages des risques géotechniques majeurs identifiés en cas de survenance. Elle s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques pertinentes.

- 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 une synthèse des données géotechniques à ce stade d'étude (première approche de la ZIG, horizons porteurs potentiels, modes de fondations possibles, contraintes pour les terrassements et la création d'ouvrages enterrés, améliorations de sols possibles) ainsi que certains principes généraux de construction envisageables.

ÉTAPE 2 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE DE CONCEPTION (G2)

Cette mission, comprenant trois phases, permet l'élaboration du projet des ouvrages géotechniques et réduit les conséquences des risques géotechniques importants identifiés en cas de survenance. 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.

Phase Avant-projet (AVP)

Elle est réalisée au stade de l'avant-projet global. Elle s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques pertinentes.

- 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 avoisnants), 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 global. Elle s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques pertinentes et 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 comprenant la 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 avoisnants), certaines notes de calcul de dimensionnement, une approche des quantités et des valeurs seuils.

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 le client pour la sélection des entreprises, analyser les offres techniques, participer à la finalisation des pièces techniques des contrats de travaux.

ÉTAPE 3 : ÉTUDES GÉOTECHNIQUES DE RÉALISATION (G3 et G4, distinctes et simultanées)

ÉTUDE ET SUIVI GÉOTECHNIQUES D'EXÉCUTION (G3)

Se déroulant en deux phases interactives et indissociables, 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.

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 du dossier d'interventions ultérieures sur l'ouvrage (DIUO).

SUPERVISION GÉOTECHNIQUE D'EXÉCUTION (G4)

Se déroulant en deux phases indissociables, 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.

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 dossier des ouvrages exécutés (DOE) et du dossier d'interventions ultérieures sur l'ouvrage (DIUO).

DIAGNOSTIC GÉOTECHNIQUE (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).

INTERPRÉTATION DES REMONTÉES DE CUTTINGS

Les coupes des sondages destructifs données ci-après sont fournies à titre indicatif. Compte tenu de la méthode de relevé (*observation des remontées de cuttings*), ces coupes sont imprécises et ne pourront nous être opposables dans le cadre d'un marché forfaitaire de fondations, même si les quantités estimées par l'entreprise venaient à être différentes de celles réellement mises en place.

Seul un criblage par carottage ou puits à la pelle, réalisé dans le cadre des missions G2/G3/G4, permettrait d'engager notre responsabilité sur les quantités et coût relatifs aux fondations.

- Sondage SP 2.5

Profondeur (m)	Nature du terrain
0 – 0,1	Dalle béton
0,1 – 1,0	Sable marron noirâtre (Remblais)
1,0 – 1,8	Sable marron roux
1,8 – 7,5	Sable beige jaunâtre
7,5 – 10,8	Marne beige, veines verdâtres
10,8 – 11,5	Perte d'injection
11,5 – 12,0	Marne crème jaunâtre
12,0 – 25,0	Perte d'injection

- Sondage SP 2.6

Profondeur (m)	Nature du terrain
0 – 0,1	Dalle béton
0,1 – 0,8	Remblais
0,8 – 3,3	Sable marron clair beige, petits graviers et rognons
3,3 – 12,0	Marne beige + grains + petits rognons
12,0 – 25,0	Perte d'injection

- Sondage SP 2.7

Profondeur (m)	Nature du terrain
0 – 2,0	Remblais
2,0 – 9,0	Marno calcaire blanchâtre
9,0 – 25,0	Perte d'injection

▪ Sondage SP2.8

Profondeur (m)	Nature du terrain
0 – 1,6	Remblais
1,6 – 20,0	Marne calcaire blanchâtre
20,0 – 25,0	Sable grisâtre

▪ Sondage SP2.9

Profondeur (m)	Nature du terrain
0 – 2,0	Remblais
2,0 – 6,9	Marno calcaire blanchâtre
6,9 – 25,0	Perte d'injection

▪ Sondage SD2.10

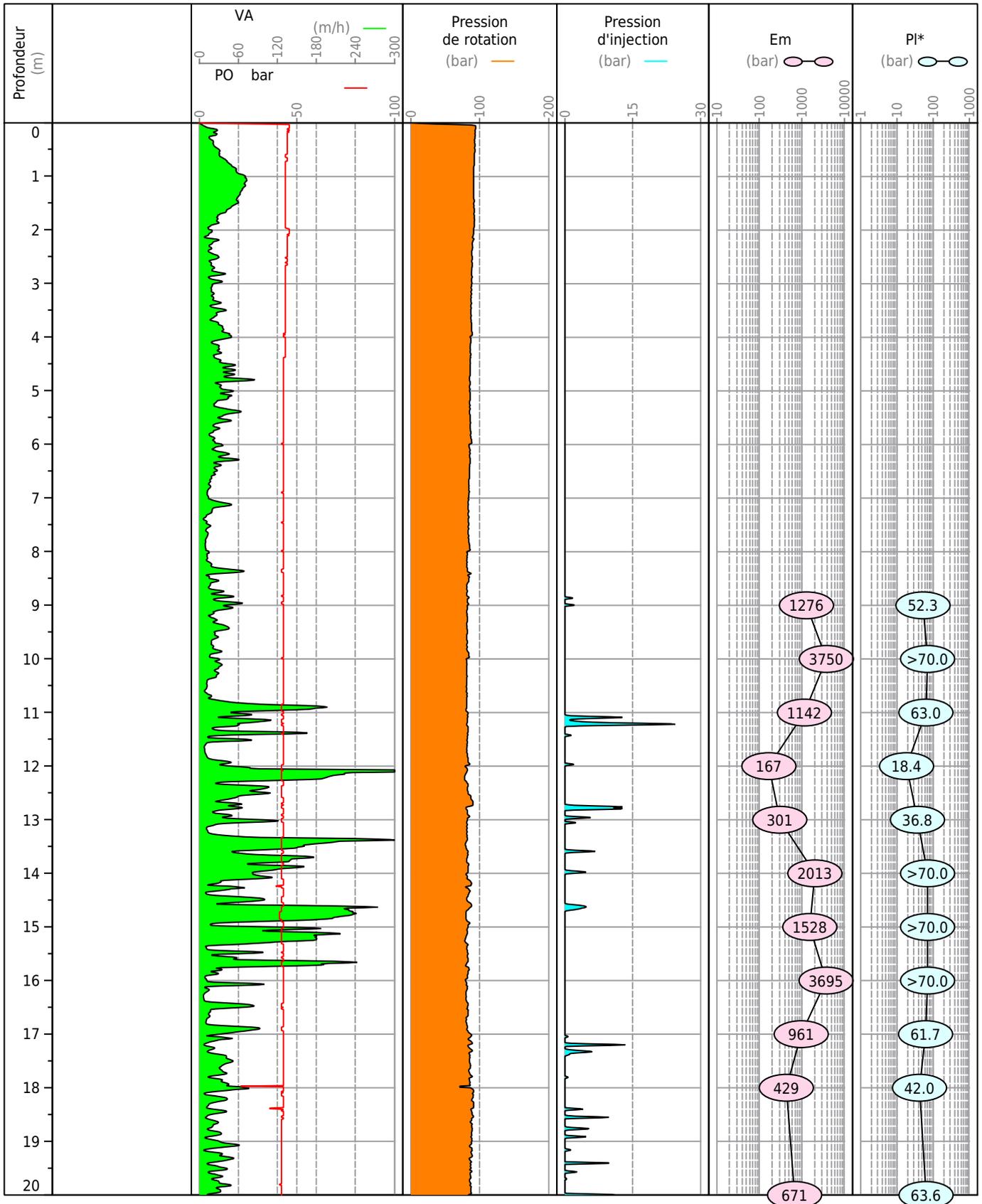
Profondeur (m)	Nature du terrain
0 – 0,8	Remblais
0,8 – 9,3	Marno calcaire blanc
9,3 – 25,0	Perte d'injection

▪ Sondage SD2.11

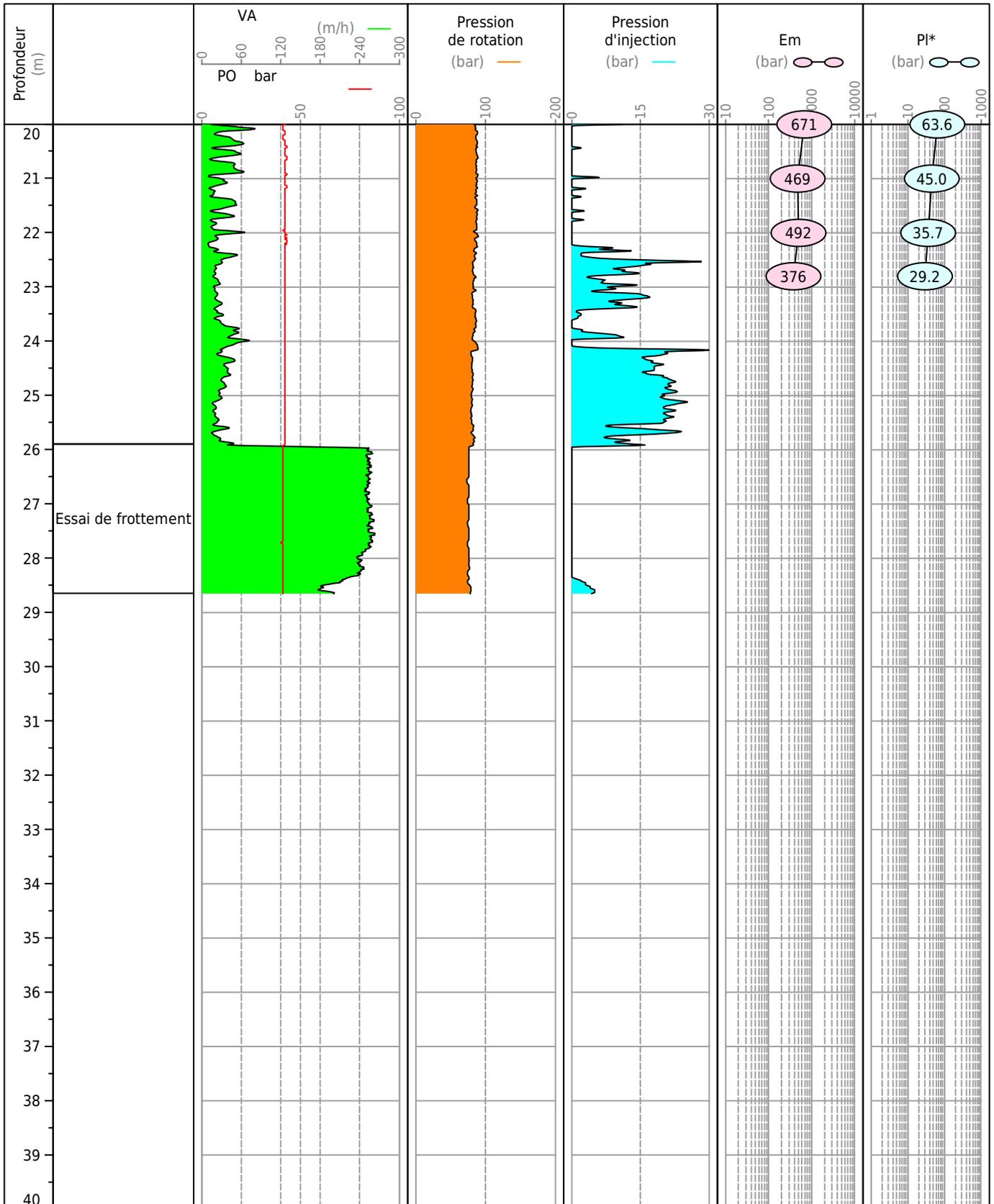
Profondeur (m)	Nature du terrain
0 – 2,0	Remblais
2,0 – 25,0	Terrain décomprimé. Absence de remontée

10. ANNEXES NON NUMÉROTÉES

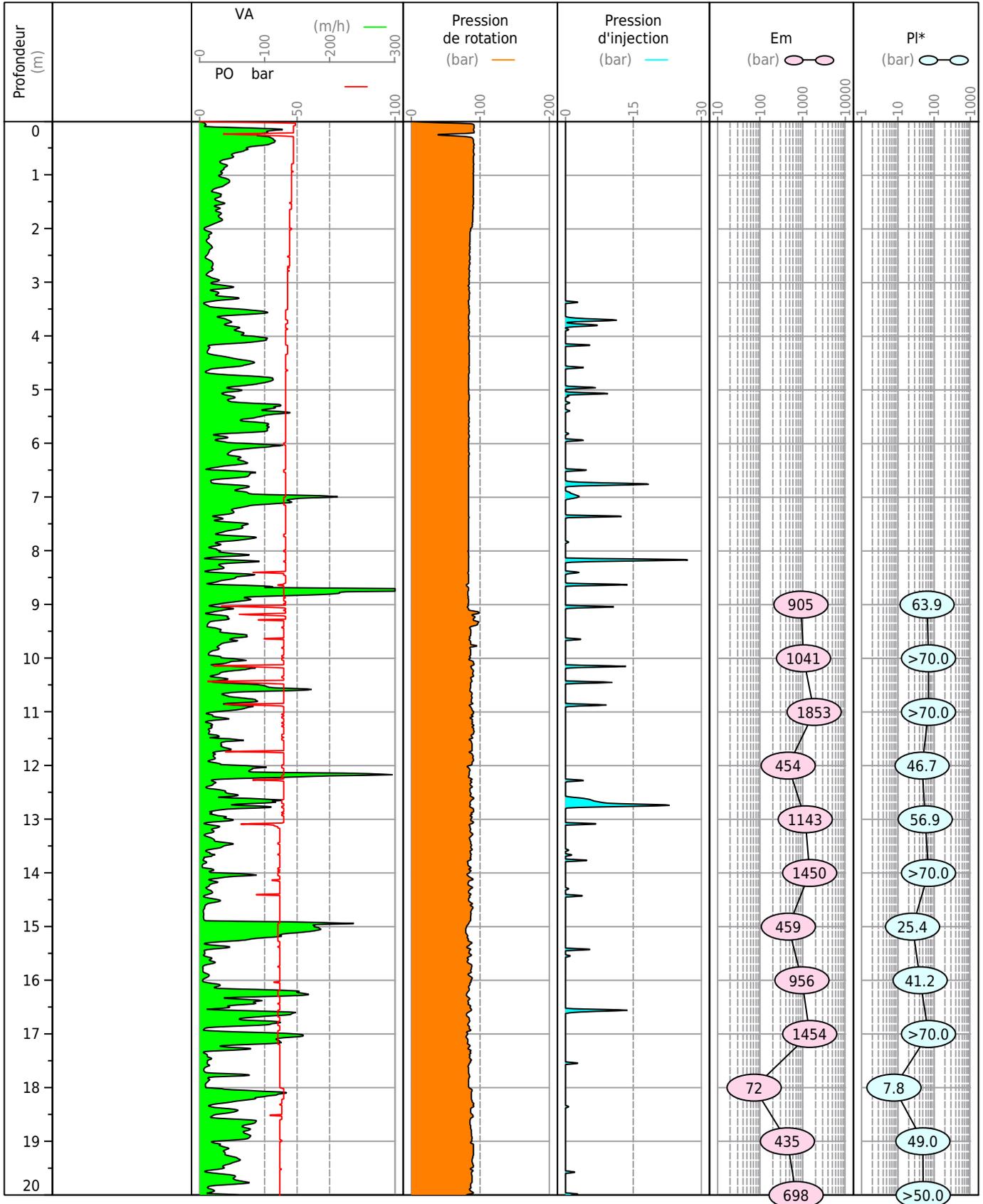
Z : 33.00 m



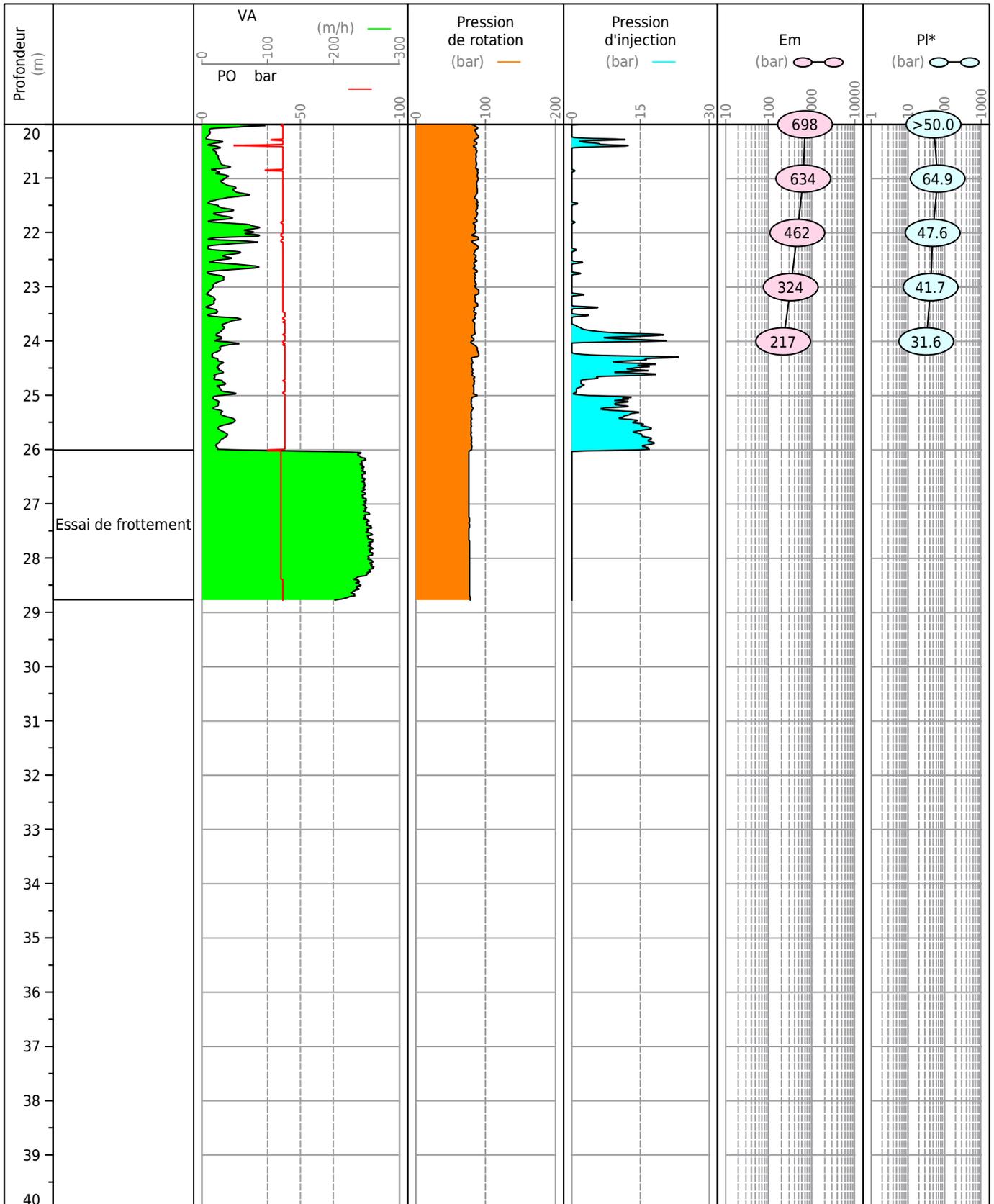
Z : 33.00 m



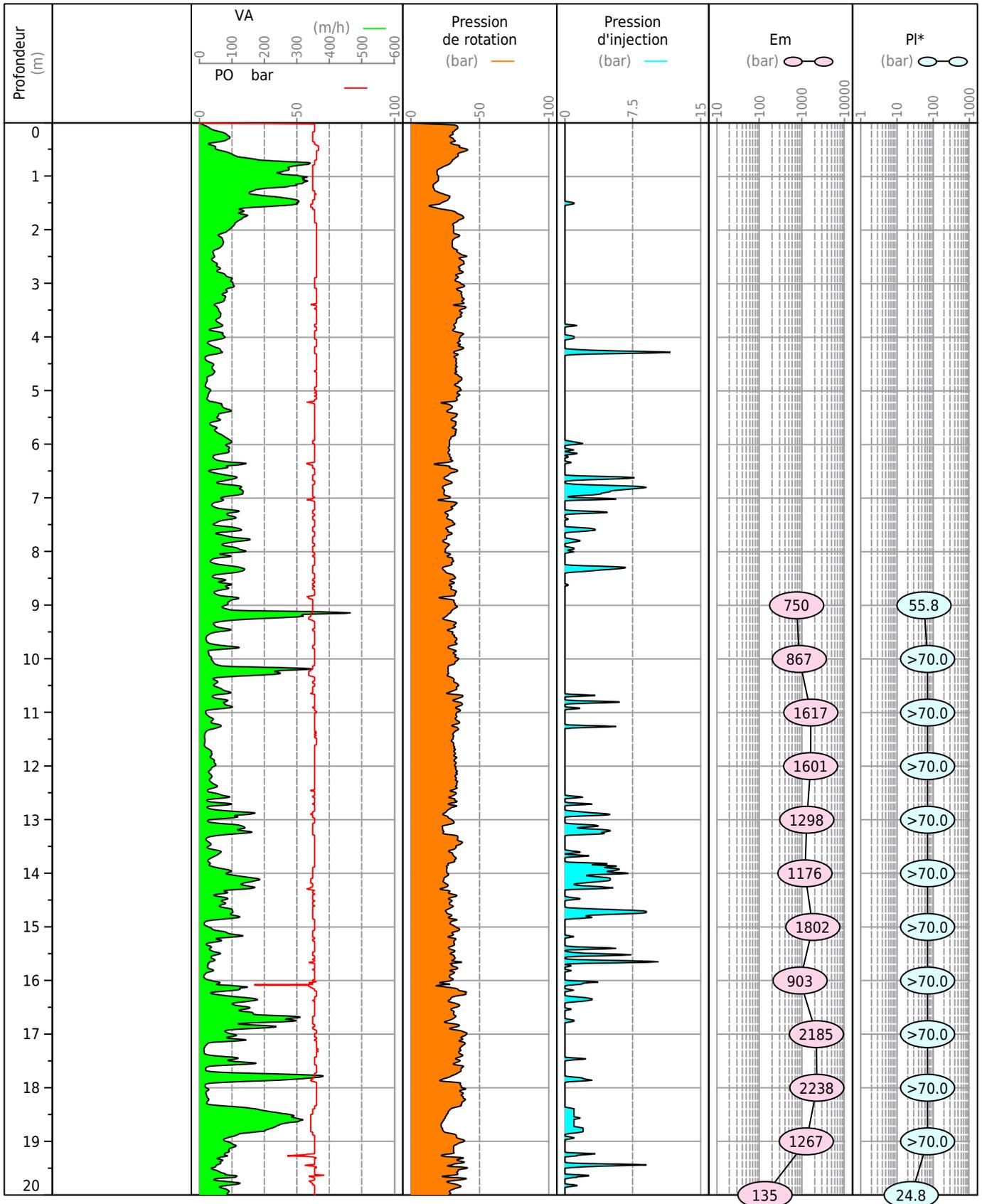
Z : 33.00 m



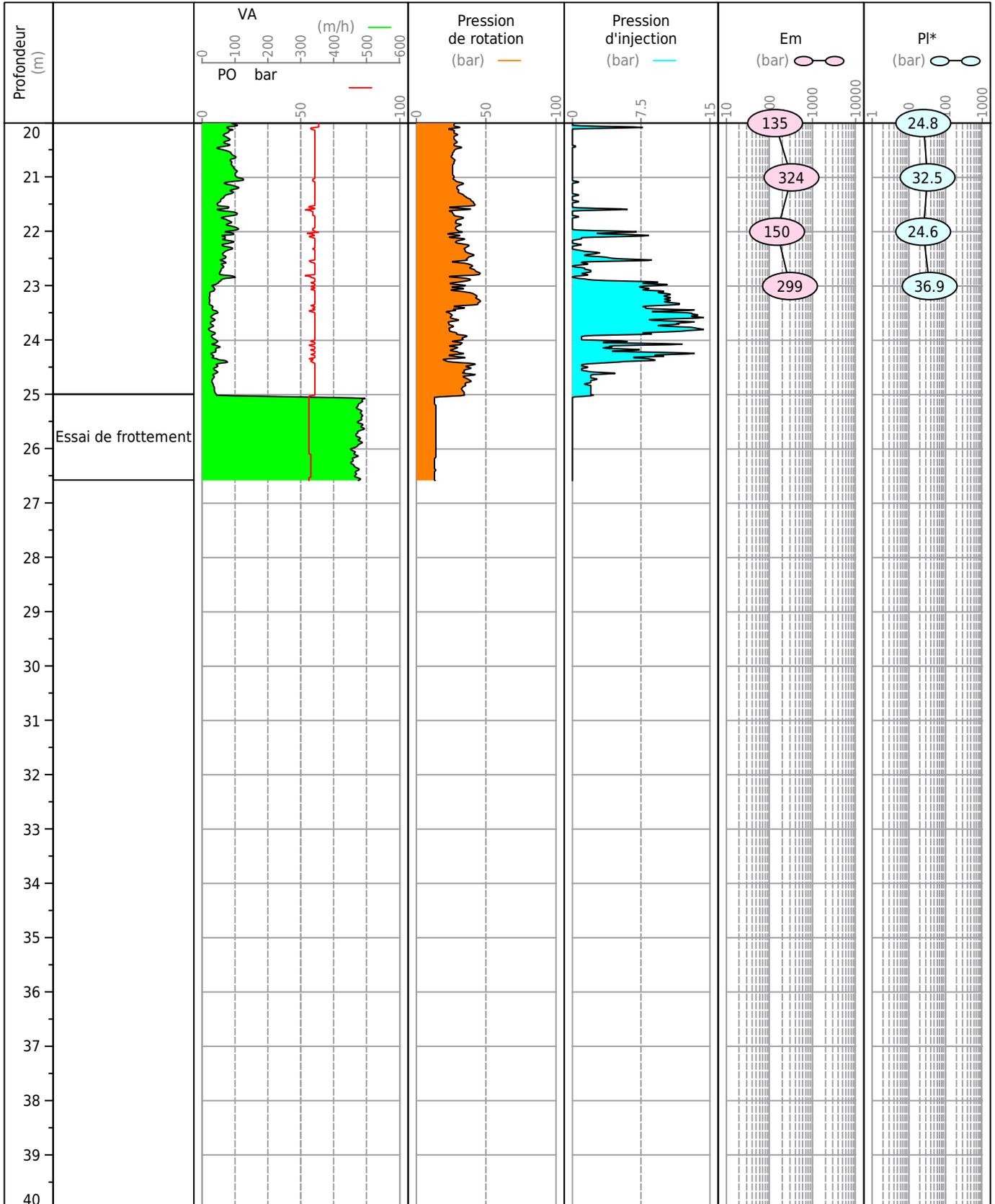
Z : 33.00 m



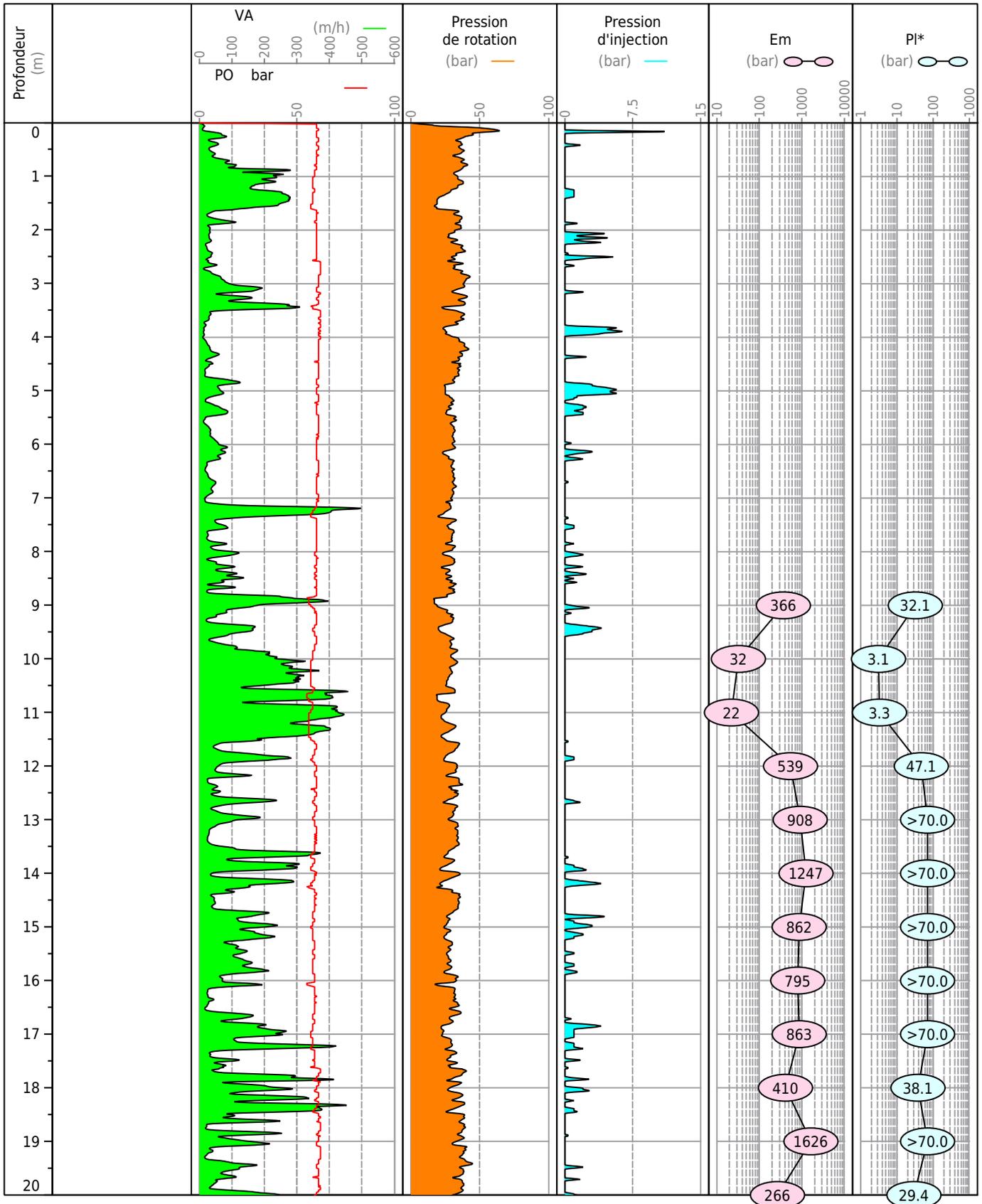
Z : 34.90 m



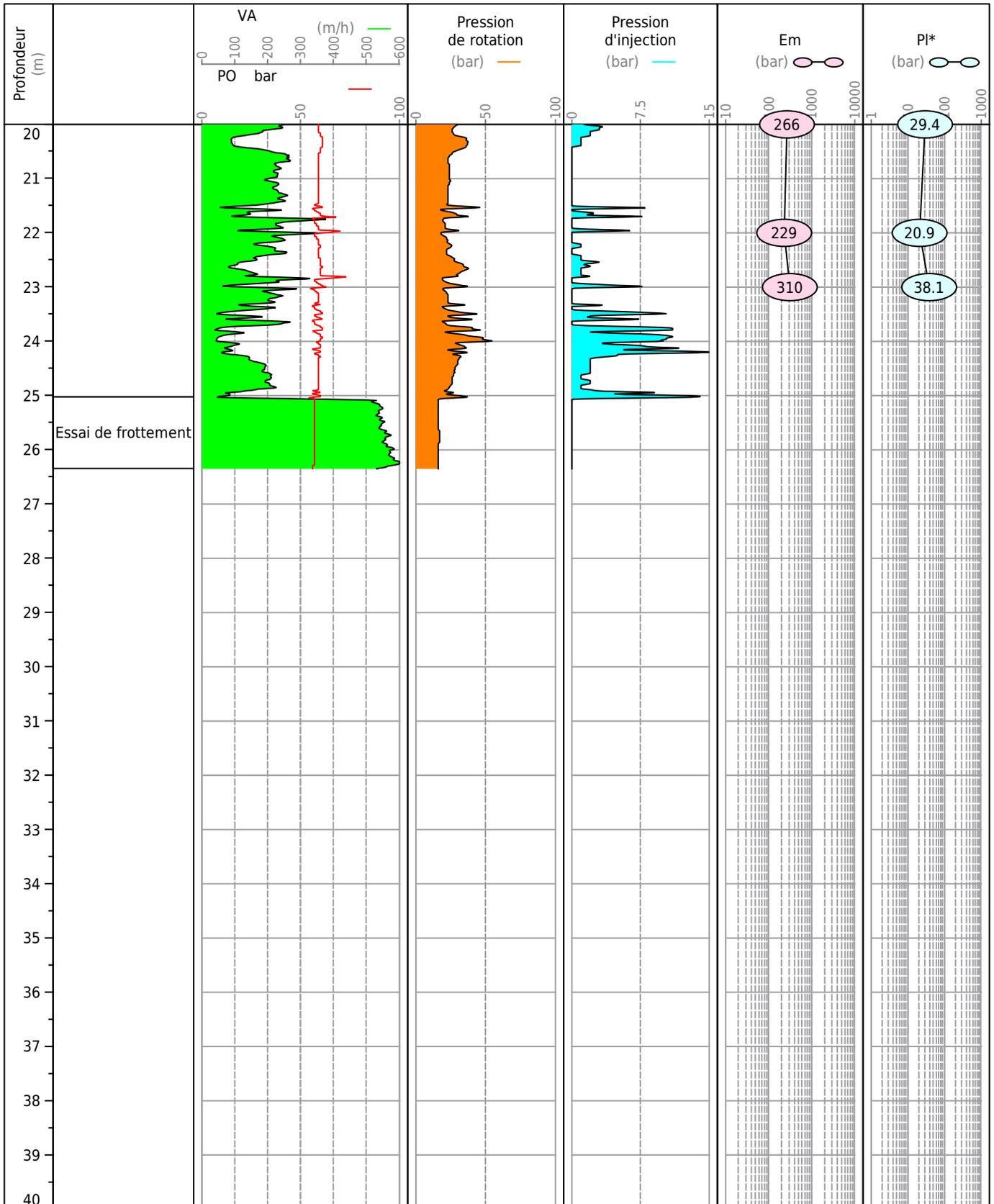
Z : 34.90 m



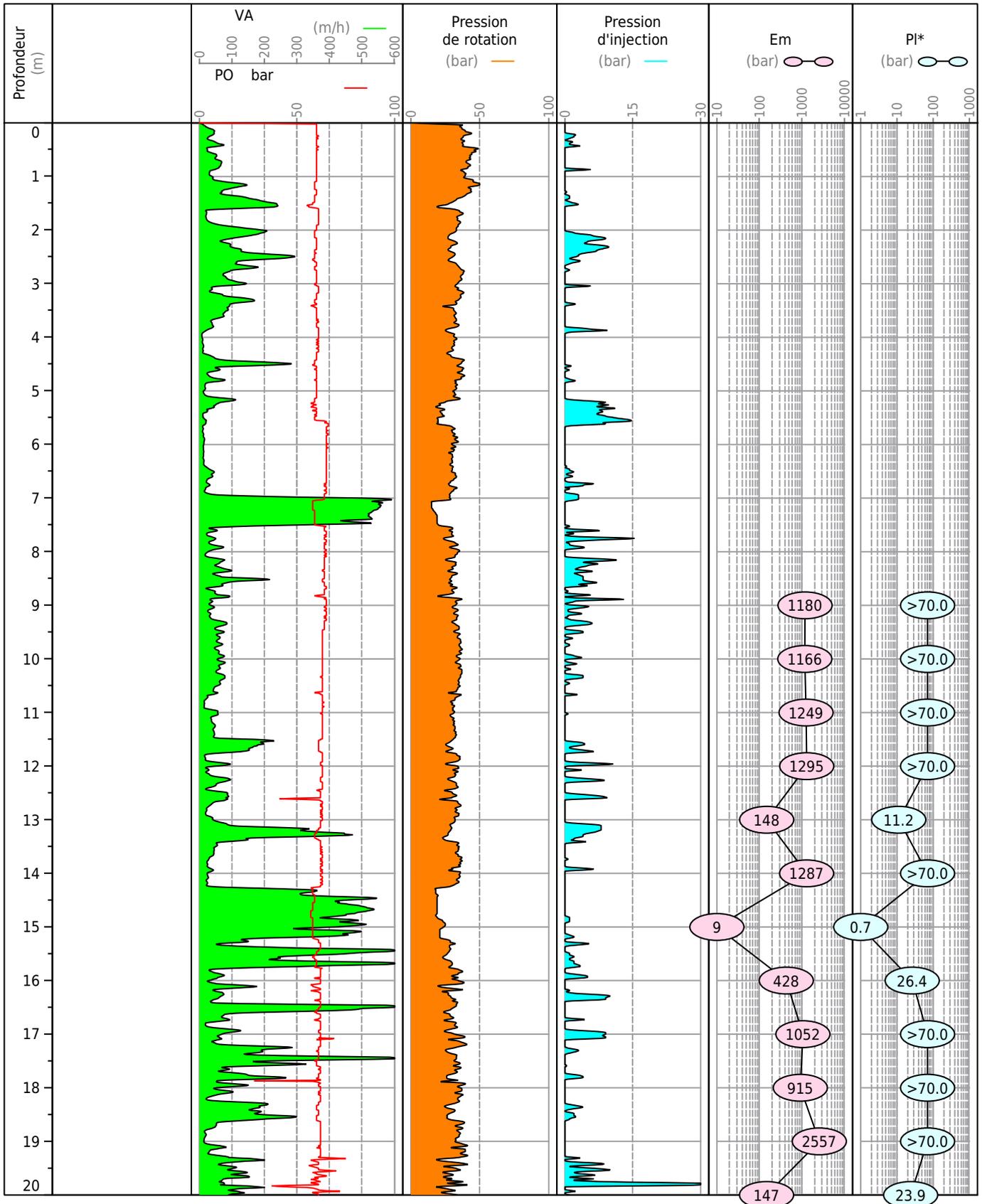
Z : 35.30 m



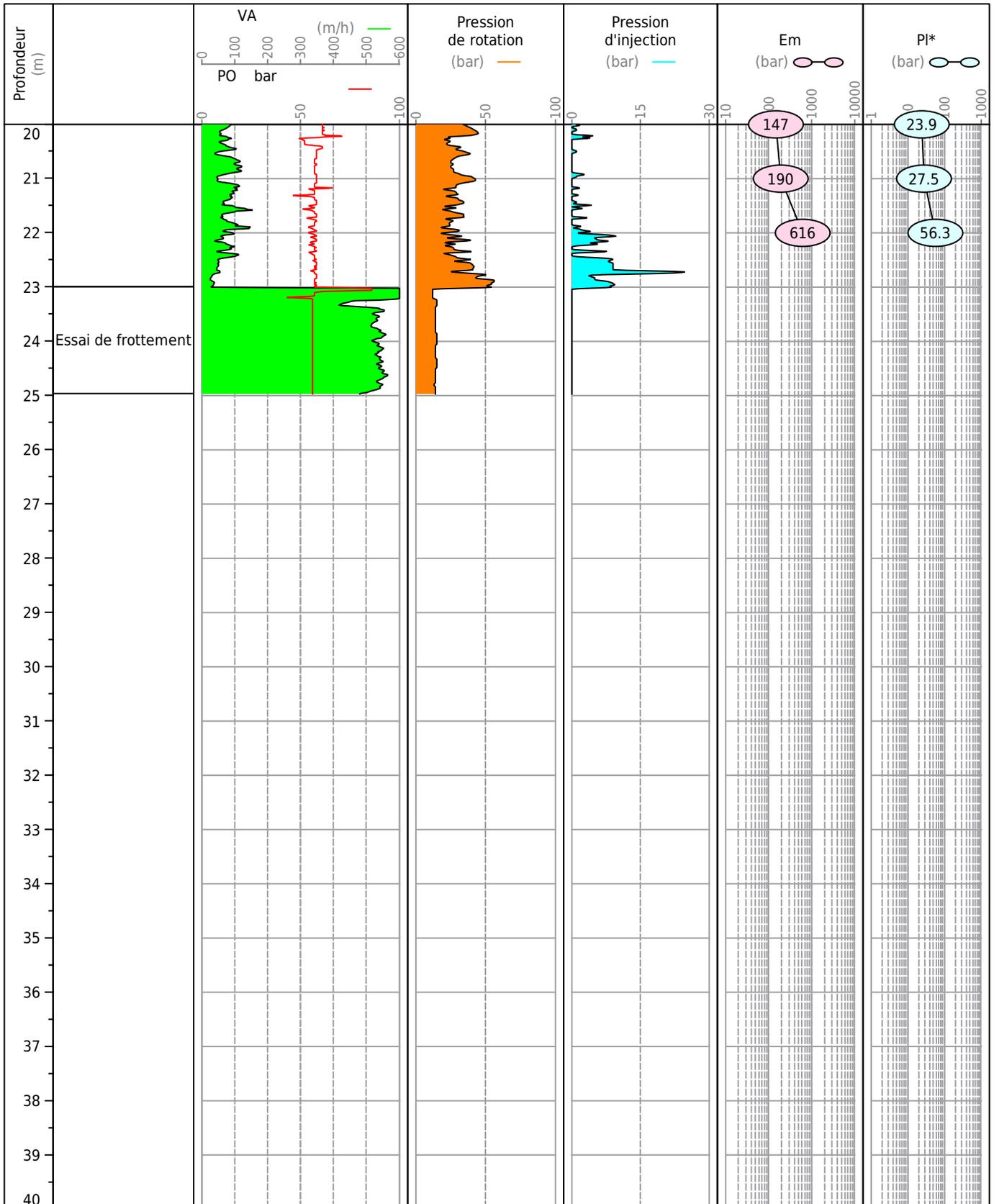
Z : 35.30 m

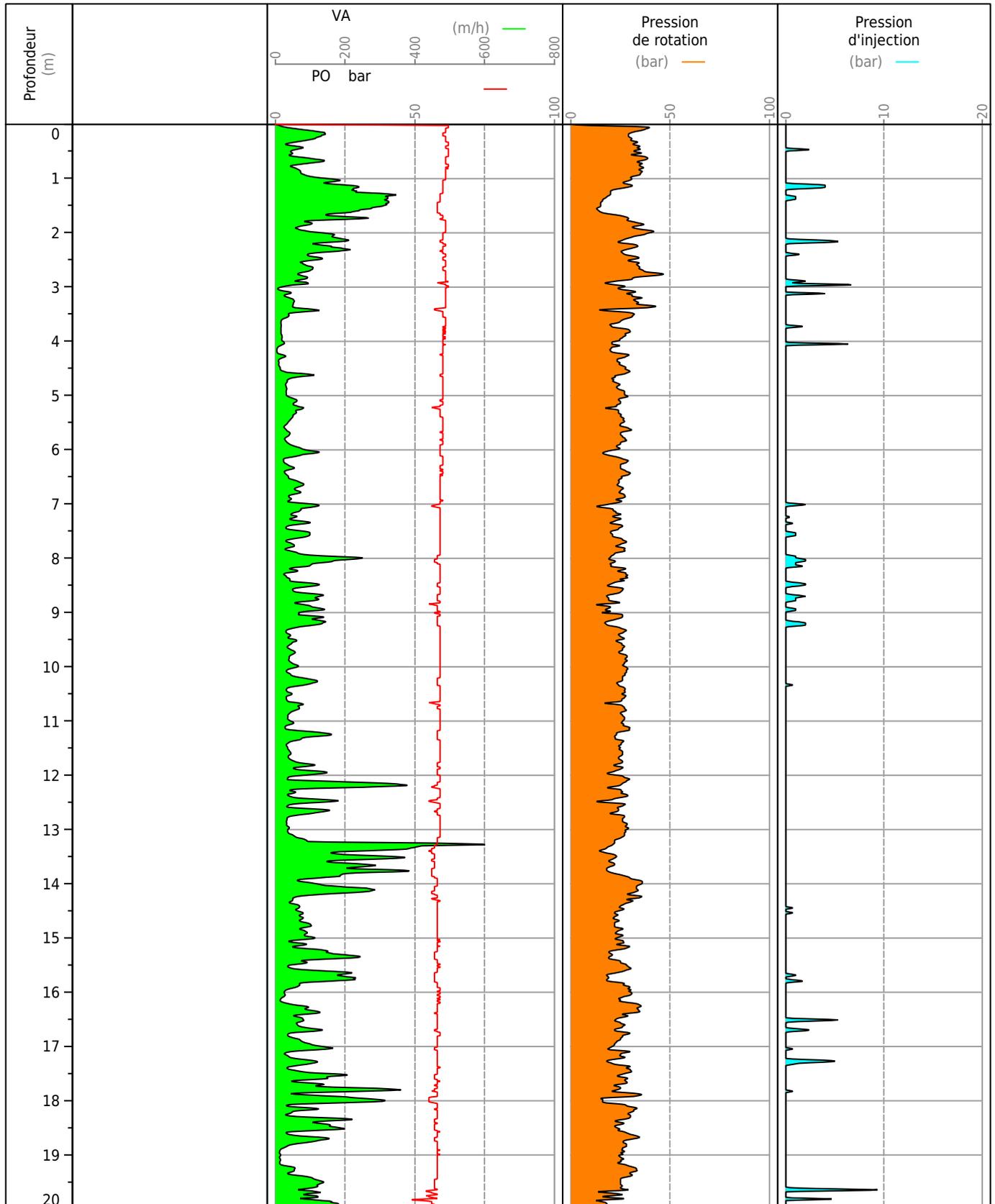


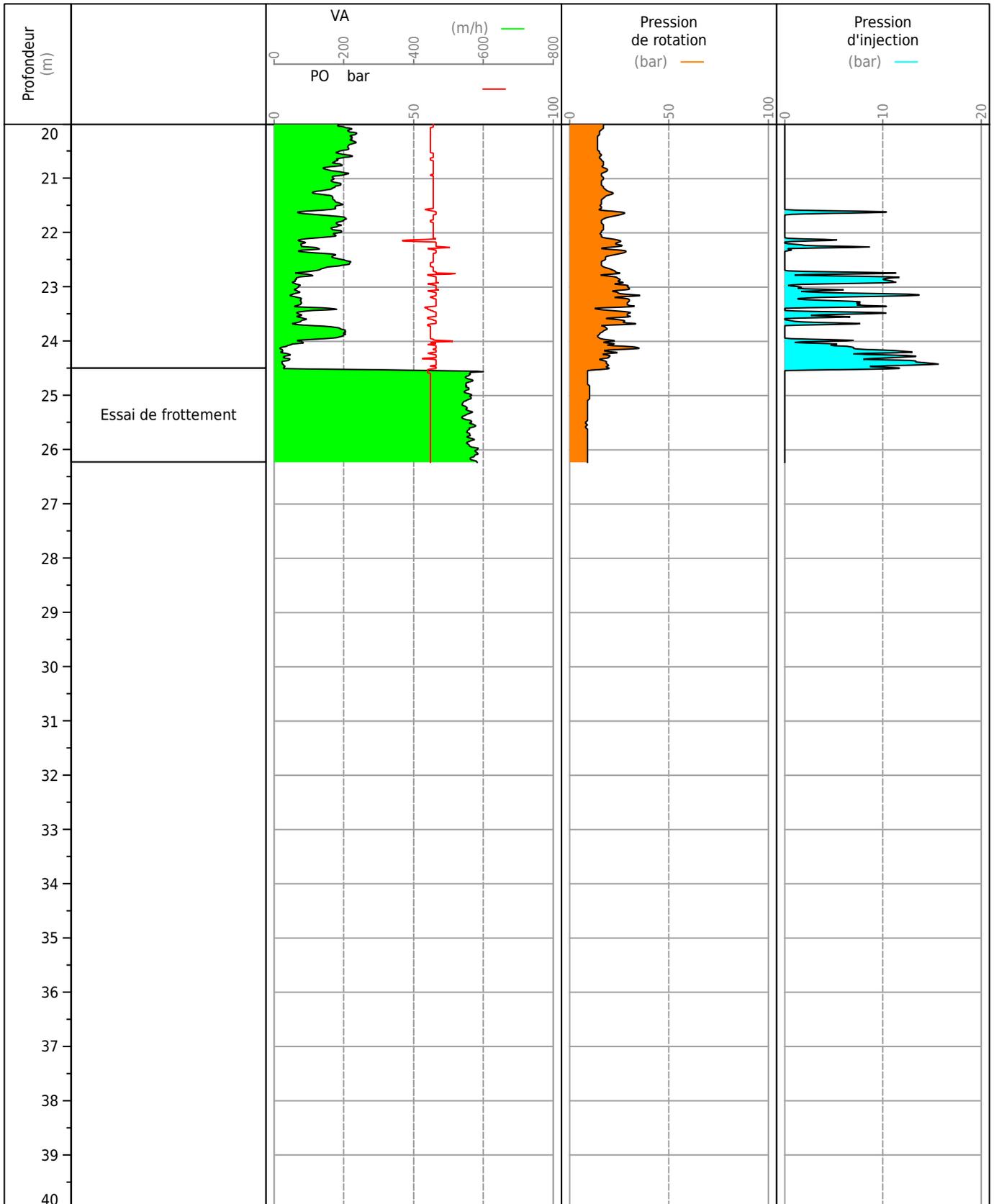
Z : 35.40 m

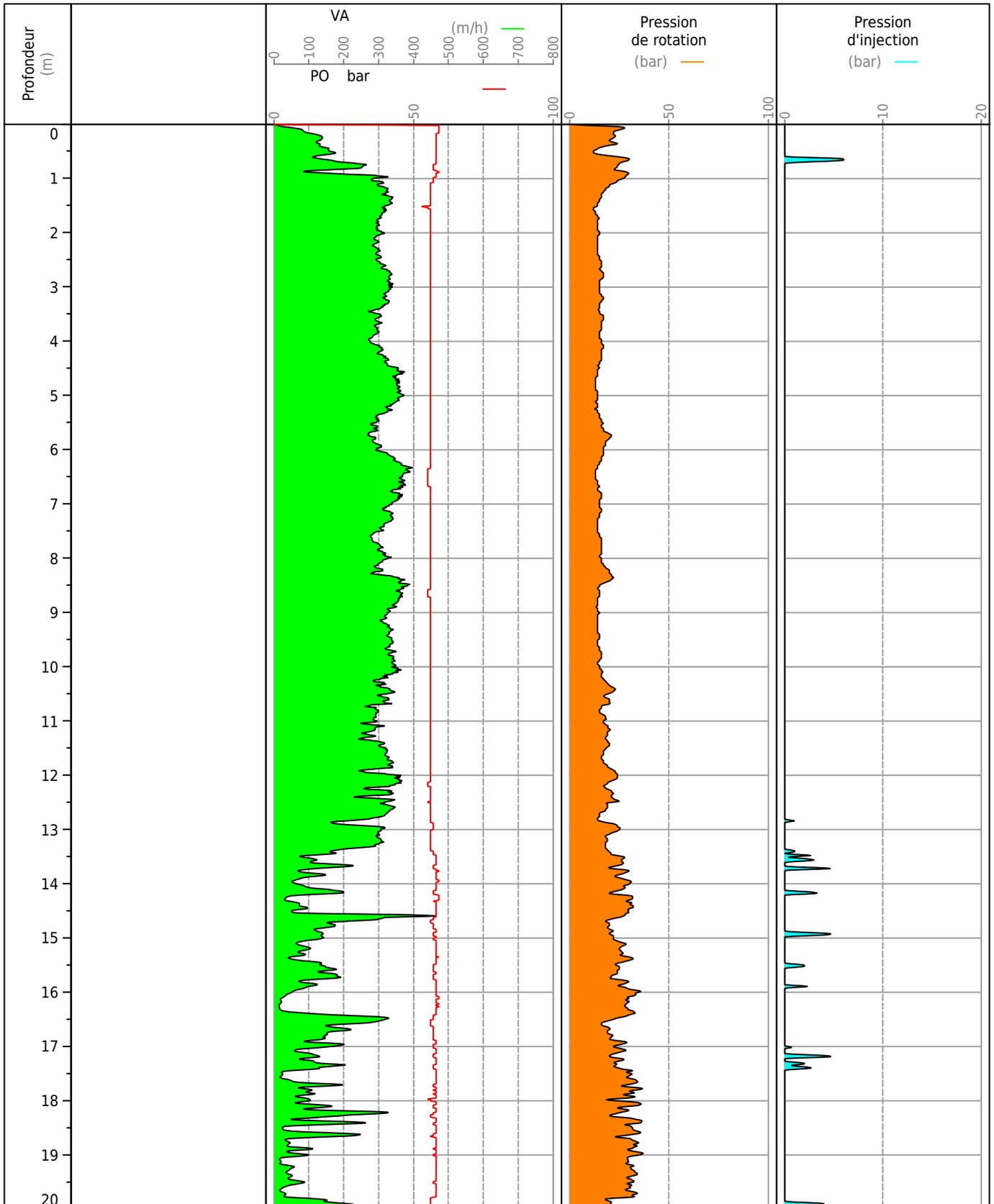


Z : 35.40 m

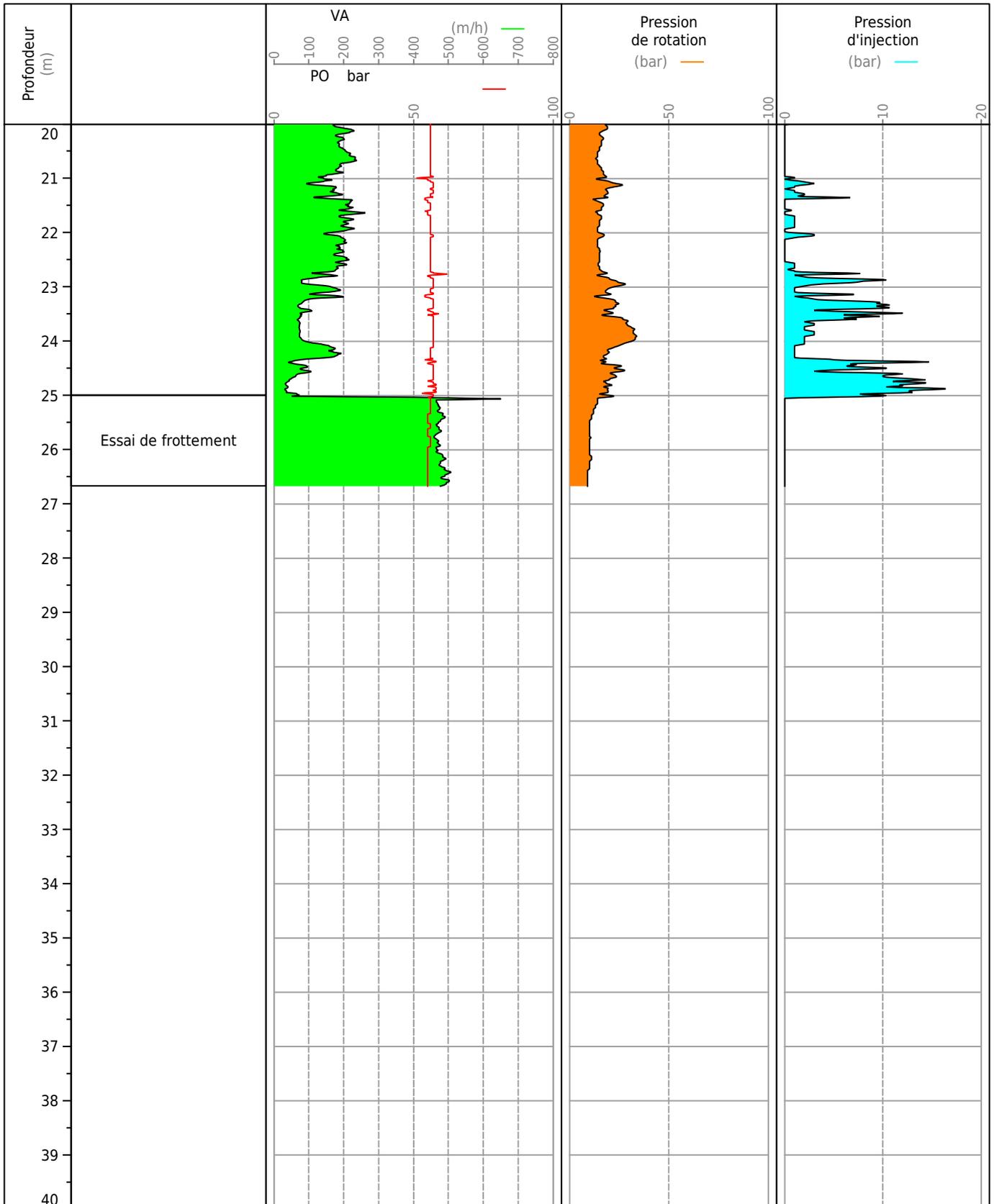








Z : 35.40 m



Suivi par :

WESSLING France, 3 Avenue de Norvège, ZA de Courtaboeuf, 91140 Villebon-Sur-Yvette

SOL CONSEIL
Monsieur Simon Coutaz
ZA de l'Europe
12 rue René Cassin
91300 MASSY

N° rapport d'essai	UPA23-001034-1
N° commande	UPA-00030-23
Interlocuteur (interne)	D. Cardon
Téléphone	+33 164 471 475
Courrier électronique	David.Cardon@wessling.fr
Date	10.01.2023

Rapport d'essai

115707



Les résultats ne se rapportent qu'aux échantillons soumis à l'essai et tels qu'ils ont été reçus.

Les résultats des paramètres couverts par l'accréditation EN ISO/CEI 17025 sont marqués d'un (A).

La portée d'accréditation COFRAC n°1-1364 essais du laboratoire WESSLING de Lyon (St Quentin Fallavier) est disponible sur le site www.cofrac.fr pour les résultats accrédités par ce laboratoire.

Le COFRAC est signataire des accords de reconnaissance mutuels de l'ILAC et de l'IEA pour les activités d'essai.

Les organismes d'accréditation signataires de ces accords pour les activités d'essai reconnaissent comme dignes de confiance les rapports couverts par l'accréditation des autres organismes d'accréditation signataires des accords des activités d'essai.

Ce rapport d'essai ne peut être reproduit que sous son intégralité et avec l'autorisation des laboratoires WESSLING.

Les laboratoires WESSLING autorisent leurs clients à extraire tout ou partie des résultats d'essai envoyés à titre indicatif sous format excel uniquement à des fins de retraitement, de suivi et d'interprétation de données sans faire allusion à l'accréditation des résultats d'essai.

Les données fournies par le client sont sous sa responsabilité et identifiées en italique.

Le 10.01.2023

N° d'échantillon		23-000416-01	23-000416-02	23-000416-03	23-000416-04
Désignation d'échantillon	Unité	BT1 (4,5-6)	AT11 (0,05 - 0,8)	BT2 (3-4,5)	AT4 (4-9)

Analyse physique

Matières sèches - NF ISO 11465 - Réalisé par WESSLING Lyon (France)

Matière sèche	% masse MB	81,1 (A)	92,8 (A)	78,9 (A)	90,3 (A)
---------------	------------	----------	----------	----------	----------

Paramètres globaux / Indices

Degré d'acidité Baumann-Gully - DIN EN 16502 - Réalisé par WESSLING Lyon (France)

Degré d'acidité	ml/kg MS	21 (A)	23 (A)	36 (A)	11 (A)
-----------------	----------	--------	--------	--------	--------

Préparation d'échantillon

Minéralisation à l'acide chlorhydrique (agressivité vis-à-vis des bétons) - DIN 4030-2 - Réalisé par WESSLING Lyon (France)

Minéralisé à l'acide chlorhydrique		09/01/2023 (A)	09/01/2023 (A)	09/01/2023 (A)	09/01/2023 (A)
------------------------------------	--	----------------	----------------	----------------	----------------

Cations, anions et éléments non métalliques

Sulfates (SO4) - Méthode interne : SO4-IC-Agressivité béton - Réalisé par WESSLING Lyon (France)

Sulfates (SO4)	mg/kg MS	55000 (A)	6400 (A)	33000 (A)	1500 (A)
----------------	----------	-----------	----------	-----------	----------

MS : Matières sèches

MB : Matières brutes

Informations sur les échantillons

Date de réception :	03.01.2023	03.01.2023	03.01.2023	03.01.2023
Type d'échantillon :	Sol	Sol	Sol	Sol
Date de prélèvement :	02.01.2023	02.01.2023	02.01.2023	02.01.2023
Heure de prélèvement :	16:44	16:44	16:44	16:44
Récipient :	250ml VBrun WES002	250ml VBrun WES002	250ml VBrun WES002	250ml VBrun WES002
Température à réception (C°) :	11	11	11	11
Début des analyses :	03.01.2023	03.01.2023	03.01.2023	03.01.2023
Fin des analyses :	10.01.2023	10.01.2023	10.01.2023	10.01.2023
Préleveur :	client	client	client	client

Le 10.01.2023

N° d'échantillon		23-000416-05	23-000416-06
Désignation d'échantillon	Unité	AT7 (4,8-6)	AT9 (3-5,5)

Analyse physique

Matières sèches - NF ISO 11465 - Réalisé par WESSLING Lyon (France)

Matière sèche	% masse MB	83,3 (A)	90,2 (A)		
---------------	------------	----------	----------	--	--

Paramètres globaux / Indices

Degré d'acidité Baumann-Gully - DIN EN 16502 - Réalisé par WESSLING Lyon (France)

Degré d'acidité	ml/kg MS	20 (A)	<5 (A)		
-----------------	----------	--------	--------	--	--

Préparation d'échantillon

Minéralisation à l'acide chlorhydrique (agressivité vis-à-vis des bétons) - DIN 4030-2 - Réalisé par WESSLING Lyon (France)

Minéralisé à l'acide chlorhydrique		09/01/2023 (A)	09/01/2023 (A)		
------------------------------------	--	----------------	----------------	--	--

Cations, anions et éléments non métalliques

Sulfates (SO4) - Méthode interne : SO4-IC-Agressivité béton - Réalisé par WESSLING Lyon (France)

Sulfates (SO4)	mg/kg MS	130000 (A)	4900 (A)		
----------------	----------	------------	----------	--	--

MS : Matières sèches

MB : Matières brutes

< : résultat inférieur à la limite de quantification

Informations sur les échantillons

Date de réception :	03.01.2023	03.01.2023		
Type d'échantillon :	Sol	Sol		
Date de prélèvement :	02.01.2023	02.01.2023		
Heure de prélèvement :	16:44	16:44		
Récipient :	250ml VBrun WES002	250ml VBrun WES002		
Température à réception (C°) :	11	11		
Début des analyses :	03.01.2023	03.01.2023		
Fin des analyses :	10.01.2023	10.01.2023		
Préleveur :	client	client		

Le 10.01.2023

Informations sur vos résultats d'analyses :

Les seuils de quantification fournis n'ont pas été recalculés d'après la matière sèche de l'échantillon.

Les seuils sont susceptibles d'être augmentés en fonction de la nature chimique de la matrice.

Les résultats des échantillons reçus à une température supérieure à 8°C, sont rendus avec réserve pour les analyses réalisées par WESSLING Lyon.

Approuvé par :

Olivier GUILLAUME

Responsable de laboratoire environnement

Le 10 janvier 2023

CONDITIONS D'EXPLOITATION ET DE VALIDITÉ DES ETUDES DE SOLS.

Les recommandations et indications ci-après ont pour but d'éviter tout sinistre au cours et à la suite de la réalisation des ouvrages et consécutifs à une exploitation défectueuse du rapport d'étude de sol.

Le non respect de ces recommandations et indications dégagerait contractuellement la responsabilité du bureau d'étude de sols.

Les différents intervenants dans les projets et travaux liés aux sols doivent passer en revue les recommandations et indications ci-après afin de vérifier qu'elles sont effectivement prises en compte.

RECOMMANDATIONS ESSENTIELLES :

1/ Ce **RAPPORT** et toutes ces annexes identifiées constitue **un ensemble indissociable.**

Les deux exemplaires de référence en sont les deux originaux conservés un par le client et le second par notre Société.

Ce rapport ne devient la **propriété du client qu'après paiement** intégral du prix de la prestation. Le client est responsable de son usage et de sa diffusion. Dans ce cadre, toute utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou reproduction **partielle** ne saurait engager la responsabilité de notre Société.

En particulier l'utilisation même partielle de ces résultats et conclusions par un **autre Maître d'Ouvrage** ou par un autre Maître d'œuvre ou pour tout autre ouvrage que celui de la présente mission ne pourra en **aucun cas engager la responsabilité de notre Société** et pourra faire l'objet de poursuites judiciaires à l'encontre du contrevenant.

Dans le cas d'un **nouveau Maître d'Ouvrage** sur le même projet, un **nouveau contrat de louage d'ouvrage** (pour satisfaire l'article 1792-1°) doit être établi avec mise à jour du rapport d'étude et de nos assurances.

2/ RECONNAISSANCE PAR POINTS :

Cette étude est basée sur un **nombre limité de sondages et de mesures.**

Il est précisé que cette étude repose sur une reconnaissance par points dont la maille **ne permet pas de lever la totalité des aléas**, toujours possibles dans le milieu naturel.

En effet des hétérogénéités, discontinuités et aléas d'exécution peuvent apparaître compte tenu du rapport entre volume échantillonné ou testé et le volume sollicité par l'ouvrage, et ce d'autant plus que ces singularités éventuelles sont limitées en extension.

De ce fait, sauf précision contraire dans ce rapport, les conclusions de ce rapport ne peuvent être utilisées pour une forfaitisation.

Les éléments nouveaux mis en évidence lors de l'exécution de ces travaux pouvant avoir une influence sur les conclusions du présent rapport, doivent immédiatement être signalés au géotechnicien chargé du **suivi géotechnique d'exécution (mission G4).**

3/ DURÉE LIMITÉE DE VALIDITÉ DU RAPPORT :

La modification naturelle ou artificielle de facteurs déterminants pour la construction peut rendre caduc tout ou partie des résultats et conclusions précisées dans ce rapport d'étude.

3.1 : Éléments géologiques, hydrogéologiques et géotechniques :

De nombreux éléments liés à la géologie, l'hydrogéologie et à la géotechnique de l'ouvrage ont un **caractère évolutif** :

- glissement – érosion – dissolution – remblais évolutif (physique ou chimique) – tourbe – niveau d'eau fluctuant et hygrométrie correspondante – variation climatique exceptionnelle : gel, dessiccation, inondation – évolution sismique ou volcaniques – etc.

3.2 : Environnement, voisinage, topographie :

Les modifications de l'environnement, du voisinage et de la topographie, changent l'hydrogéotechnique du site et souvent les dispositions constructives :

- sous-sol proches ou mitoyens – parois étanches – drainage – pompage permanent ou provisoire – collecteur souterrains – tunnel et tunnelier – remblaiement ou excavation du site, etc.

3.3 : Conditions juridiques :

De nouvelles Lois ou Jurisprudences peuvent modifier les obligations et responsabilités. Les conditions juridiques des contrats et des assurances sont modifiées en conséquence. On notera en particulier les nouvelles missions géotechniques en cours de normalisation.

3.4 : Connaissances techniques et technologiques :

L'évolution des connaissances techniques et scientifiques, ainsi que les modifications des technologies de constructions peuvent rendre périmées nos conclusions.

Aussi les conclusions de ce rapport d'étude sont valables pour un chantier ouvert (DROC) dans un délai de 2 ANS à compter de la date d'émission.

Au delà de ce délai, il est indispensable que nous soyons consultés par le Maître d'Ouvrage et le Maître d'œuvre afin de **réactualiser le rapport**, après vérification des divers facteurs. L'exploitation des conclusions au delà du délais de 2 ans, en l'absence de réactualisation ne pourra contractuellement engager notre responsabilité.

4) MODIFICATION DU PROJET :

Ce rapport est établi pour un projet donné à la date de l'étude, à partir de plans, esquisses et renseignements transmis.

Toute modification apportée au projet, soit pour des raisons techniques, soit pour des raisons économiques, implantation, forme, niveaux altimétriques, nombre d'étages ou de sous-sol (etc...) **doit être communiquée au BET de sols** rédacteur de l'étude. Lui seul pourra déterminer les conséquences de ces changements sur ses conclusions de l'étude de sol.

Ces modifications pourront faire l'objet d'une **note complémentaire** ou d'un nouveau rapport, éventuellement après un complément de reconnaissance.

Nous ne saurions être tenus responsables des modifications intervenues après cette étude qu'après avoir donné notre avis écrit sur les dites modifications, que celles-ci portent sur les dimensionnements et dispositifs préconisés dans le présent rapport ou sur l'ouvrage lui-même.

Le Maître d'Ouvrage doit nous informer officiellement de **l'ouverture réelle du chantier**, afin que les couvertures d'assurances soient effectives :

Assurances décennales à la **Date Réelle d'Ouverture du Chantier (D.R.O.C)**
Assurance Responsabilité Civile Professionnelle lors **d'un sinistre à partir de l'ouverture du chantier.**

L'absence de cette information risque d'entraîner la non couverture par une compagnie d'assurances.

Le présent rapport constitue le compte rendu de la mission géotechnique normalisée définie par la lettre de commande, visée et acceptée par notre société, au titre de laquelle il a été établi et dont les références sont rappelées en tête du présent document.

Selon le projet de normalisation de ces missions, chacune ne couvre qu'un domaine spécifique de la conception ou de la construction.

Il appartient au Maître d'Ouvrage et à son Maître d'œuvre de veiller à ce que toutes les missions géotechniques utiles au bon achèvement de l'ouvrage soient engagées avec les moyens et délais opportuns, et confiées à des hommes de l'art.

A défaut d'autres positions contractuelles, la remise du rapport fixe la fin de la mission.