



Géoterra

Demandeur:

SAIEM

247, rue Jean Aicard
83300 DRAGUIGNAN

Avenue Victor Hugo
Commune de SALERNES (83)

**ÉTUDE GÉOTECHNIQUE G2 PRO POUR LE
CONFORTEMENT DE L'ANCIENNE ÉCOLE DES GARÇONS**

Affaire n°2023/0168/G2/PRO/TD

INDICE	DATE	REDACTION	VERIFICATION	OBSERVATIONS
1	25/03/25	T.DRUMEZ	P.BARNEOUD	PREMIERE DIFFUSION



Adresse postale : BP 540 - 83041 TOULON Cedex 9 - Tél. : 04 94 27 87 40 - contact@geoterra.com - www.geoterra.com

Adresse géographique : 42, avenue Irène et Jean-Frédéric Joliot Curie - Z.I. Toulon Est - 83130 LA GARDE

S.A.S.U. au capital de 10 000 € - RCS Toulon B 420 586 547 - SIRET 420 586 547 00036 - APE 742C - TVA intracommunautaire : FR46 420586547

Le présent rapport comporte 66 pages. Sauf autorisation écrite préalable, sa reproduction n'est autorisée que dans son intégralité. Toute modification ou utilisation frauduleuse sera passible de poursuites.

Un bureau d'études d'ingénierie géotechnique au service des bâtisseurs
Des outils performants et des conseils qui vont à l'essentiel

Nous menons nos expertises dans le souci permanent de vous fournir la connaissance la plus approfondie de votre terrain afin que vous puissiez prendre vos dispositions en toute connaissance de causes, avant travaux.

Nous faisons l'inventaire des risques naturels éventuels qui pourraient affecter votre terrain et nous évaluons les conséquences des travaux envisagés sur la sécurité des propriétés voisines. Nous répondons ainsi aux exigences des autorités municipales dans les zones où le plan d'occupation des sols est réglementé par un Plan de Prévention des Risques (P.P.R.). Une fois les risques identifiés par des observations de terrain, nous préconisons les solutions qui s'imposent pour que la sécurité des biens et des personnes soit assurée après construction. Nous formulons toutes les recommandations qui s'imposent afin que vos projets ne soient pas à l'origine du déclenchement d'évènements qui pourraient être préjudiciables à autrui (glissement de terrain, éboulement, modification du schéma de ruissellement des eaux pluviales).

L'analyse du sous-sol, qui va permettre de choisir et de dimensionner le type de fondations le plus adapté à votre projet, est effectuée en réalisant des reconnaissances in-situ sur votre terrain. Nous exécutons un nombre variable de sondages avec un pénétromètre hydraulique PAGANI TG 64-100, SOCOMAFOR 15 ou au pénétromètre dynamique portable DPM30 dans n'importe quelles situations d'accessibilité. Pour des bâtiments plus importants, pour des ouvrages d'art ou simplement pour détecter les anomalies profondes du sous-sol, nous pouvons exécuter tous les types de sondages avec enregistrement des paramètres de la foration, essais pressiométriques ou sondages carottés grâce à notre foreuse polyvalente EMCI E 4.50. Notre laboratoire de mécanique des sols nous permet de réaliser les principaux essais d'identification sur échantillons de sol ainsi que les essais mécaniques nécessaires au dimensionnement des voiries ou des plateformes support de dallage (essais PROCTOR, CBR ou essais à la plaque sur site).

Notre équipe d'ingénieurs et de techniciens spécialisés est à votre service pour effectuer tout type d'expertises sur bâtiments sujets à fissuration ou pour étudier toute solution de fondations spéciales, de la préconisation, au dimensionnement et jusqu'au suivi d'exécution. Notre bureau d'études est à votre disposition pour assurer toutes les missions géotechniques décrites dans la norme AFNOR NF P 94-500 de Novembre 2013 dans l'application de l'EUROCODE 7.

INTERVENTION DANS TOUTE LA RÉGION PACA



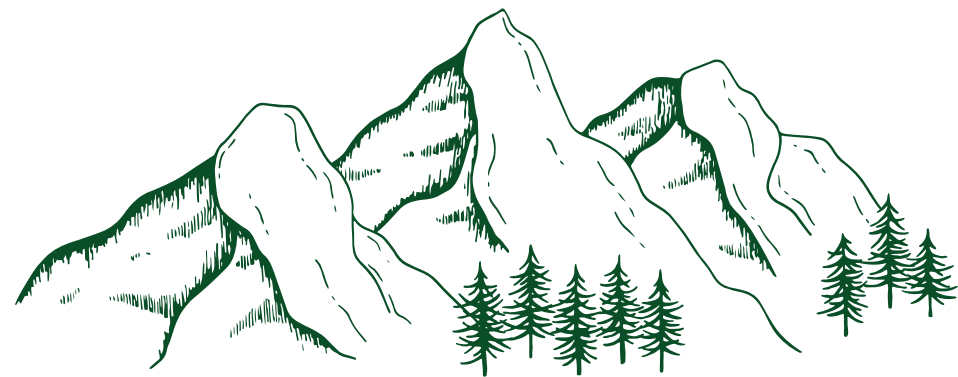
Géoterra

Bureau d'études géotechniques

42 avenue Irène et Jean-Frédéric Joliot Curie
Z.I. Toulon Est - 83130 LA GARDE

Adresse postale : B.P. 540 - 83041 TOULON Cedex 9

Tél : 04 94 27 87 40 - Fax : 04 94 27 89 98
contact@geoterra.com - www.geoterra.fr



SOMMAIRE

1	Objet de l'étude	3
2	Documents remis pour l'étude	4
3	Présentation du site et des existants	5
3.1	Caractéristiques du projet	5
3.2	Exigences du projet	6
3.3	Descentes de charges	7
4	Situation géographique	8
4.1	Description du site	8
4.2	Topographie	8
5	Géologie – Hydrogéologie	9
5.1	Contexte géologique	9
5.2	Hydrogéologie	9
6	Situation du terrain par rapport aux risques naturels	11
7	Synthèse des risques géotechniques	13
8	Investigations	14
8.1	Personnel	14
8.2	Sondages pressiométriques	14
8.3	Sondages pénétrométriques	14
8.4	Reconnaissances de fondations	15
9	Interprétation des résultats	17
9.1	Essais in situ	17
9.2	Essais en laboratoire	18
10	Confortement des fondations du bâtiment	19
10.1	État existant : fondations du bâtiment	19
10.2	Principe de confortement retenu	20
10.2.1	<i>Principe de l'injection de résine expansive</i>	20
10.2.2	<i>Application au projet</i>	20
10.2.3	<i>Contrôles</i>	21
10.3	Solution variante en micropieux	21
10.3.1	<i>Principe de la reprise en sous-œuvre par micropieux</i>	21
10.3.2	<i>Application au projet</i>	21
10.3.3	<i>Sujétions générales concernant la réalisation de micropieux</i>	26
10.3.4	<i>Effet de groupe</i>	27
10.3.5	<i>Frottement négatif</i>	27
10.3.6	<i>Déplacement latéral d'une couche compressible g(z)</i>	27
10.3.7	<i>Système de surveillance</i>	27
11	Confortement du mur de soutènement	28
11.1	État existant : fondations du mur	28
11.2	Principe de confortement retenu	28
11.3	Prédimensionnement du confortement	29
11.3.1	<i>Hypothèses géotechniques</i>	29
11.3.2	<i>Frottement latéral unitaire le long des clous</i>	29
11.3.3	<i>Corrosion sur les clous</i>	29
11.3.4	<i>Description de l'ouvrage</i>	29
11.4	Dispositions constructives	30
11.4.1	<i>Réalisation des clous</i>	30
11.4.2	<i>Essais sur clous</i>	31
12	Recommandations	31
13	Utilisation du rapport de l'étude	32

ANNEXES

- Situation sur un extrait de la carte I.G.N. au 1/25 000^{ème}.
- Situation sur un extrait cadastral et sur une vue aérienne.
- Plan d'implantation des sondages au 1/150^{ème}.
- Coupe des sondages pressiométriques SPI à SP3.
- Coupe des sondages destructifs SD1 et SD2.
- Courbes des essais au pénétromètre dynamique P1 à P7.
- Coupes des sondages de reconnaissance des fondations existantes RF1 à RF5.
- Résultats des essais en laboratoire.
- Schéma d'enchaînement des missions géotechniques.
- Classification des missions géotechniques.

I OBJET DE L'ÉTUDE

La **SAIEM** a confié à la société d'ingénierie géologique **GÉOTERRIA** une mission d'étude géotechnique dans le cadre du projet de confortement de l'ancienne École de garçons située à Salernes (83).

Cette étude correspond à une mission géotechnique normalisée de type G2 – Phase PRO (Norme Française NF-P-94 500 de novembre 2013).

Le projet a déjà fait l'objet d'un diagnostic géotechnique, mission G5, référencé 2023/0168/G5/TD en date du 27/06/23 réalisé par GEOTERRIA.

Les investigations entreprises dans le cadre de cette mission comprennent :

- **3 sondages pressiométriques** SPI à SP3 descendus entre **8,92 m et 10,01 m** de profondeur.
- **2 sondages destructifs** SD1 et SD2 descendus respectivement à **7,00 m et 7,01 m** de profondeur.
- **7 sondages au pénétromètre dynamique** PI à P7 descendus au refus entre **1,4 m et 6,0 m** de profondeur.
- **5 fouilles de reconnaissance des fondations** du bâtiment et du mur de soutènement existants RFI à RF5.
- **2 identifications GTR** selon la norme NF P 11-300, comprenant des mesures de teneur en eau, des analyses granulométriques, des détermination des limites d'Atterberg et des limites de retrait, sur les échantillons prélevés en pied du bâtiment et du mur, dans les fouilles RFI et RF3.

Ces sondages doivent permettre de fournir :

- **Le contexte géologique et hydrogéologique du sous-sol.**
- **La résistance des différents horizons lithologiques du sous-sol.**

L'interprétation de ces paramètres doit permettre de déterminer :

- **La définition des solutions de confortement envisagées et les hypothèses géotechniques nécessaires associées.**
- **Les caractéristiques géomécaniques de l'assise de fondation du projet.**
- **Les valeurs de contrainte de calcul, aux états limites ultime (qELU) et de service (qELS) de l'assise d'appui du projet.**
- **Les modalités de reprise en sous-œuvre des fondations existantes (type, profondeur).**
- **Les modalités de terrassement.**
- **Les modalités de drainage et d'évacuation des eaux.**

Notre mission ne comprend pas :

- **Le diagnostic structurel des existants et la définition des déformées admissibles.**
- **L'instrumentation et le suivi des désordres.**
- **L'étude hydrogéologique dont la détermination des niveaux NPHE.**

2 DOCUMENTS REMIS POUR L'ÉTUDE

Cette étude a été réalisée à partir des documents suivants :

Éléments fournis :

- Dossier de plans État des lieux – A.C.D.A.O. – réf. 1369 du 24/10/2018.
- Plans de fondations EDL et PROJET annotés avec les descentes de charge – BET SERENDIP – 21/03/2025.

Documents de référence :

- Norme NF P94-500 de novembre 2013 – Missions d'ingénierie géotechnique.
- Norme NF P94-261 - Eurocode 7 – Fondations superficielles.
- Norme NF P 94-262 - Eurocode 7 – Fondations profondes.
- Norme NF EN 1998-1 - Eurocode 8-5 – Application aux fondations (constructions parasismiques).
- Norme NF P ISO 476-4 - Essai pressiométrique Ménard.
- Norme NF P ISO 476-2 – Essai au pénétromètre dynamique.
- Norme NF P 94-050 - Mesure de la teneur en eau.
- Norme NF P94-051 - Détermination des limites d'Atterberg.
- Norme NF P 94-056 - Analyse granulométrique des sols.
- Norme NF P94-060 - Détermination de la limite de retrait.

3 PRÉSENTATION DU SITE ET DES EXISTANTS

3.1 CARACTÉRISTIQUES DU PROJET

Le projet concerne le confortement :

- Du bâtiment principal de l'ancienne École des garçons de Salernes, faisant suite à l'apparition de fissures en divers endroits de la structure.

Dans le cadre de la réhabilitation du bâtiment, quelques cloisons seront créées et des ouvertures seront pratiquées dans les murs porteurs, ce qui engendrera quelques modifications des descentes de charges apportées au niveau des fondations dont il faudra tenir compte au moment du confortement.

- Du mur de soutènement en partie Sud du terrain, qui présente des signes de basculement et qui fait déjà l'objet de mesures de soutènement supplémentaires (profilés métalliques, tirants hors-sol).





Les investigations entreprises dans le cadre du diagnostic géotechnique G5 du bâtiment et du mur de soutènement ont notamment mis en évidence :

- Pour le bâtiment : un système de fondation insuffisant, ancré à des profondeurs différentes (niveau RDC et niveau de cave R-I partiel) dans des formations argileuses. Compte-tenu des désordres observés, des solutions de confortement de sol ou de reprise en sous-œuvre des fondations ont été préconisées.
- Pour le mur de soutènement : un système de fondation insuffisant, et un basculement du mur sous l'effet de la poussée des terres. Compte-tenu des désordres observés, des solutions de reprise en sous-œuvre des fondations et des renforcements de la structure par réalisation d'ancrages traversants ont été préconisées.

3.2 EXIGENCES DU PROJET

À titre indicatif, conformément aux normes NF EN 1990 et NF EN 1997-1/NA, les exigences suivantes, relatives à la structure, ont été retenues vis-à-vis du projet :

- Durée d'utilisation : 50 ans.
- Classe de conséquence : CC2.
- Catégorie géotechnique : 2.

Ces hypothèses devront être validées par la Maîtrise d'Ouvrage.

4 SITUATION GÉOGRAPHIQUE

4.1 DESCRIPTION DU SITE

Le terrain est situé dans le centre de la commune de Salernes (83), entre l'avenue Victor Hugo et la rue de l'École.

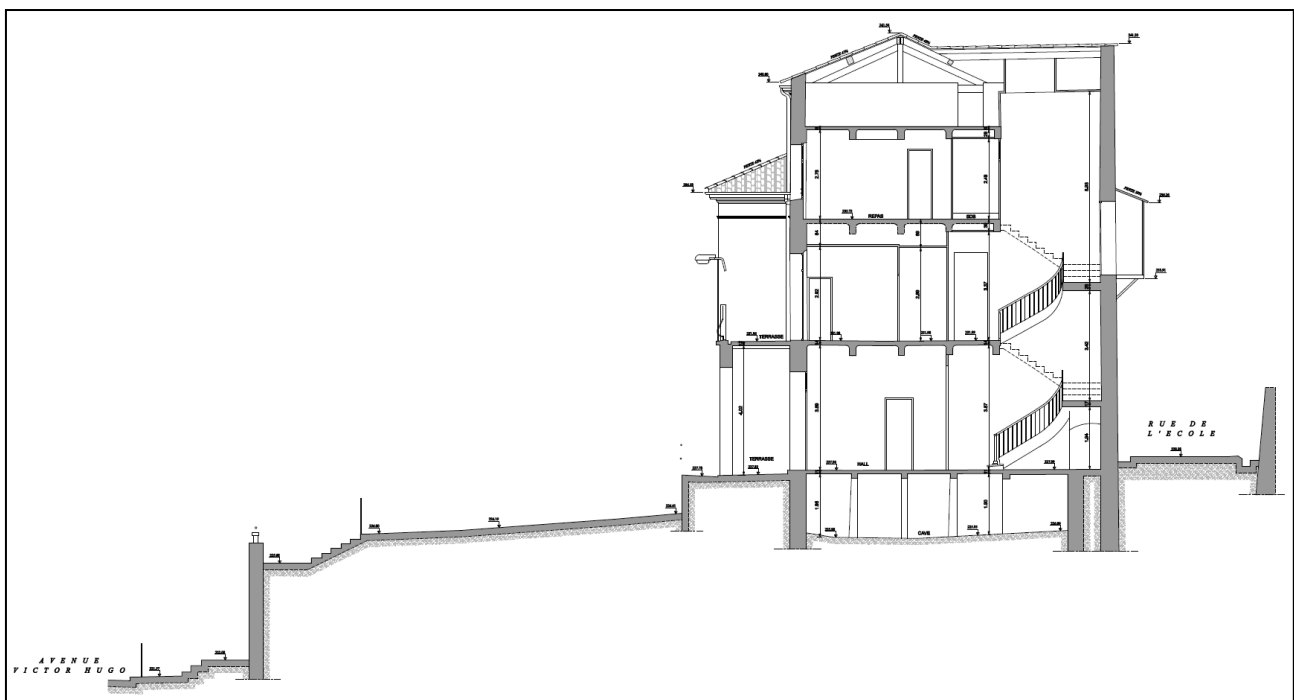
La parcelle concernée par le diagnostic est inscrite au cadastre sous la référence AI n°721, et présente une surface de 855 m².

On trouvera en annexes un extrait de la carte IGN et une vue aérienne sur lesquels le projet est repéré.

4.2 TOPOGRAPHIE

L'altitude des sondages a été déterminée par projection à partir du plan topographique fourni.

Le site présente une légère pente en direction du Sud-Ouest, et est délimité en limite Sud-Ouest par un mur de soutènement d'environ 4,35 m de hauteur qui surplombe l'Avenue Victor Hugo.



5 GÉOLOGIE – HYDROGÉOLOGIE

5.1 CONTEXTE GÉOLOGIQUE

D'après la carte géologique au 1/50 000^{ème} (feuille de Salernes) et nos sondages, la géologie locale du sous-sol est représentée par des sables (notés **e3**) en couverture de formations argileuses à passes marneuses (notées **e3-1**).

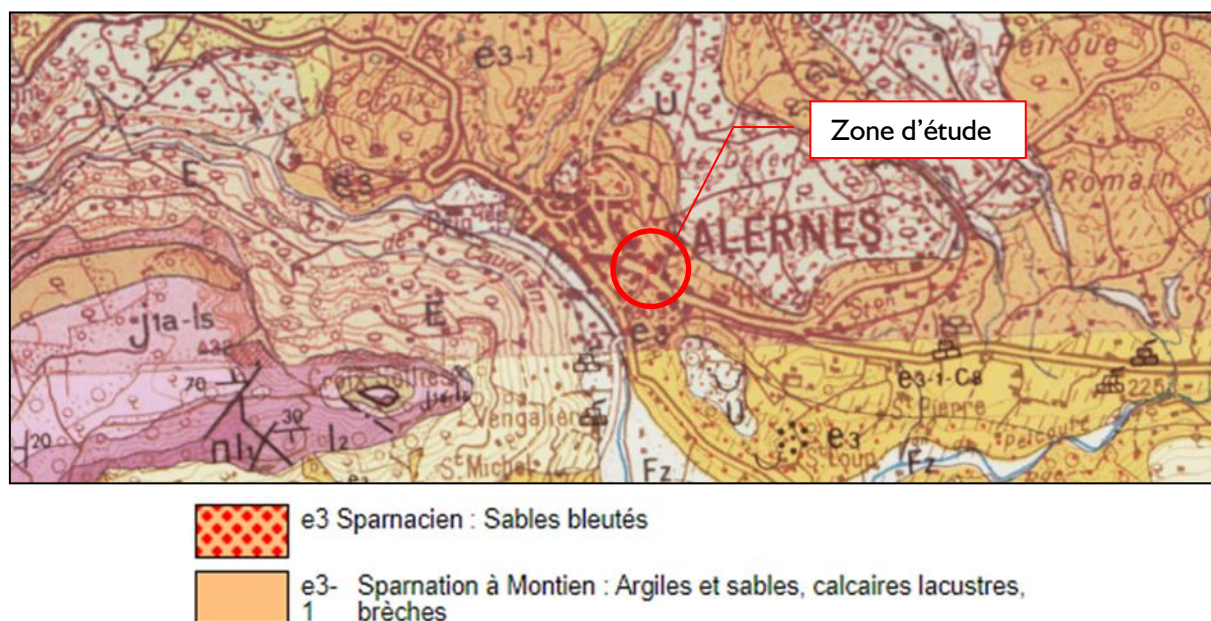


Figure 1 : Extrait de la carte géologique de Salernes au 1/50 000^{ème} – Source : InfoTerre BRGM

5.2 HYDROGÉOLOGIE

Sur le plan hydrogéologique, lors de la campagne de reconnaissance (du 30 mai au 21 juin 2023), il n'a pas été rencontré de venue d'eau lors de la réalisation des forages.

Cependant, des niveaux d'eau non stabilisés ont été relevés entre 7,0 m et 7,3 m de profondeur dans les sondages SP1 et SP2 en fin d'intervention.

Ces observations, ayant un caractère ponctuel et instantané, n'excluent pas la possibilité de circulations et de remontées d'eau plus importantes.

Compte tenu du contexte géologique et topographique, des venues d'eau par ruissellement et circulations préférentielles au gré des couches +/- perméables peuvent se produire et varier en fonction des saisons et des intempéries.

Une mission spécifique hydrogéologique de type G5 pourra être réalisée par le Maître d'Ouvrage (hors mission GÉOTERRIA). Ce type de mission nécessite la pose de piézomètres et la réalisation d'un suivi piézométrique sur une période minimale de 6 mois à 1 an (hors mission GÉOTERRIA).

Compte-tenu du contexte géologique et topographique, des venues d'eau par ruissellement et circulations préférentielles au gré des couches +/- perméables ou fracturées peuvent se produire et varier en fonction des saisons et des intempéries.

D'autre part, la parcelle étudiée :

- Est cartographiée dans une **zone non sujette** aux débordements de nappe et aux inondations de cave.

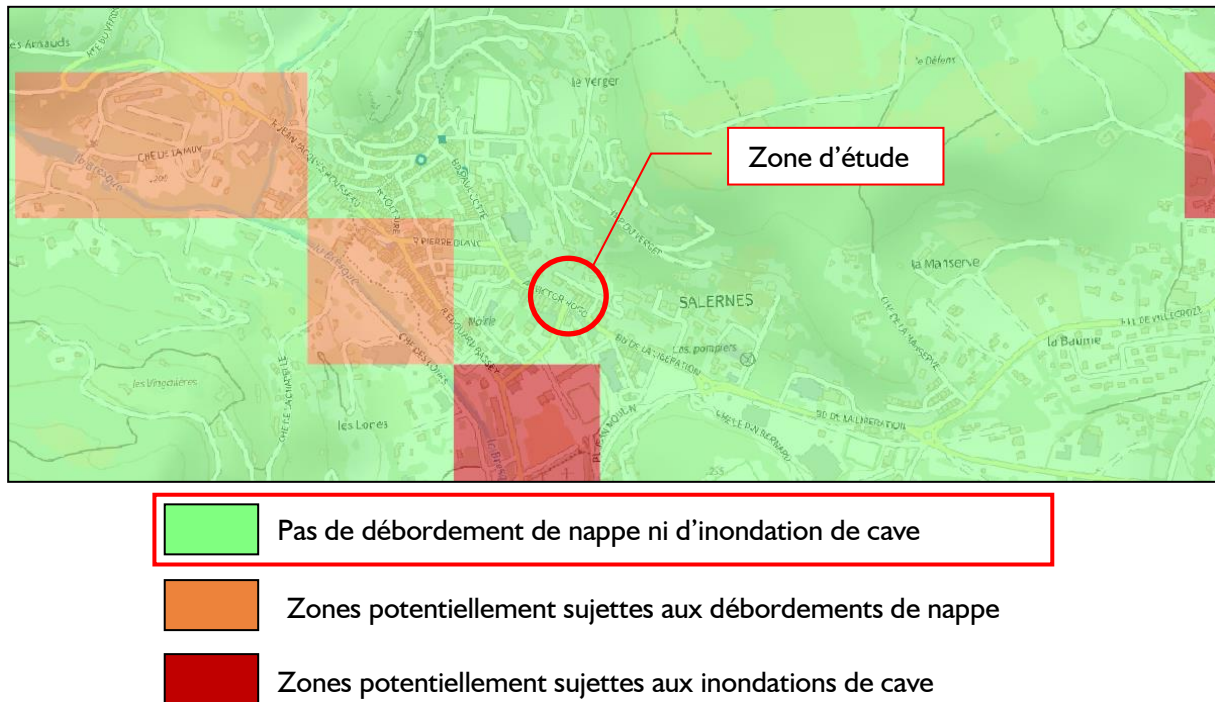


Figure 2 : Extrait de la carte vis-à-vis du risque de remontées de nappes – Source : géorisques.gouv.fr

- **N'est pas concerné** par l'Atlas des Zones Inondables de Salernes.

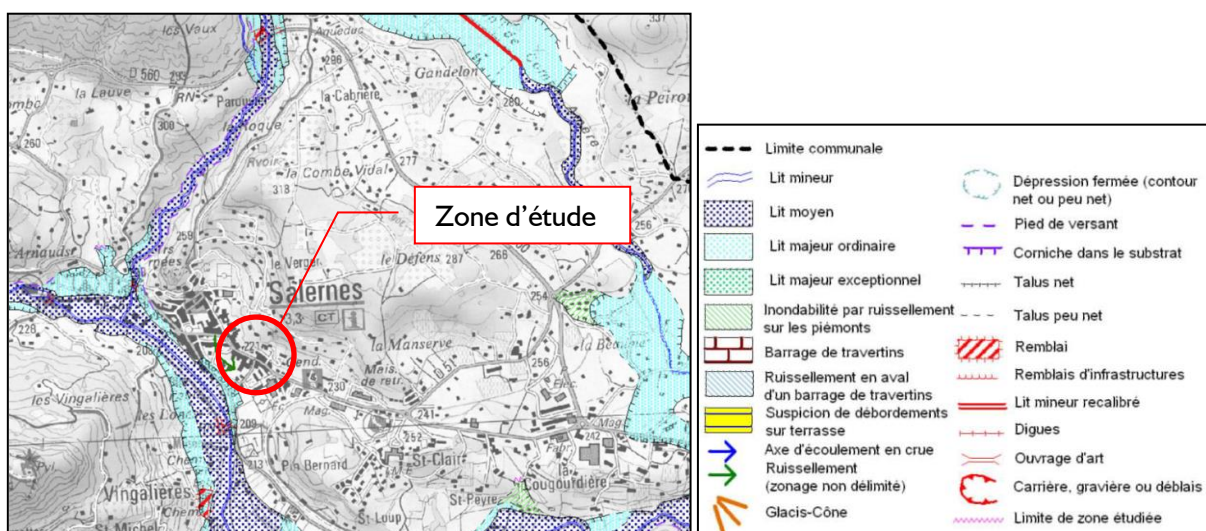
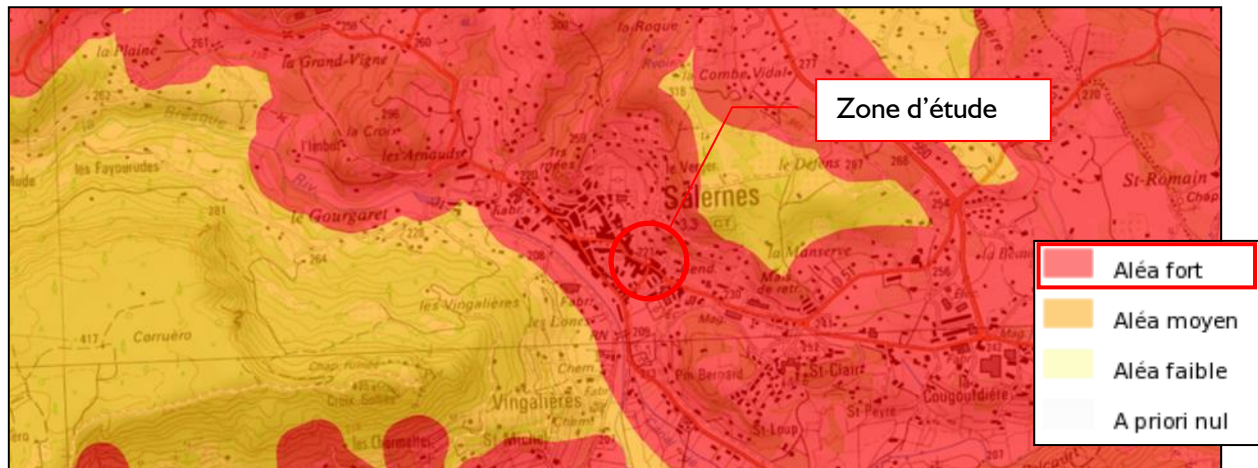


Figure 3 : Extrait de l'Atlas des Zones Inondables de Salernes – Source : var.gouv.fr

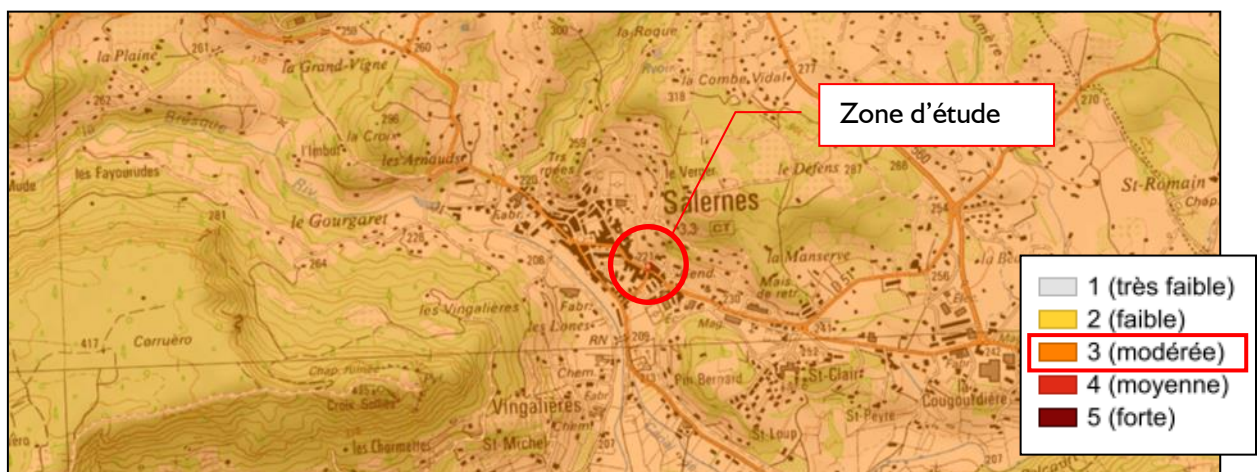
6 SITUATION DU TERRAIN PAR RAPPORT AUX RISQUES NATURELS

D'après les cartes du BRGM, le terrain étudié :

- Est localisé dans une zone d'**aléa fort** vis-à-vis du risque de retrait-gonflement des argiles.



- Est situé en **zone sismique 3 (aléa modéré)**, d'après le nouveau zonage sismique (décret N°2010-1255 du 22 Octobre 2010).



Selon l'**EUROCODE 8** et l'**arrêté du 22 octobre 2010**, les paramètres à prendre en compte sous condition de séisme sont :

- Accélération maximale de référence : $a_{GR} = 1,10 \text{ m/s}^2$.
- Catégorie d'importance de l'ouvrage (à valider par le Maître d'Ouvrage) : II.
- Coefficient d'importance de l'ouvrage γ_i : 1,0.
- Accélération nominale correspondante : $a_G = a_{GR} \cdot \gamma_i = 1,10 \text{ m/s}^2$.
- Classe de sol : C.
- Coefficient de Sol : $S = 1,5$.

D'après la norme NF P06-013 (Règles parasismiques PS 92), article 9.1.2, un sol est suspect de liquéfaction si, selon sa nature, il répond aux critères ci-après :

Sables, sables vasards et silts

- Degré de saturation S_r voisin de 100 %.
- Granulométrie uniforme correspondant à un coefficient d'uniformité C_u inférieur à 15.
- Diamètre à 50 % (D_{50}) compris entre 0,05 mm et 1,5 mm.
- Contrainte effective en l'état final du projet $\sigma'_v < 0,20 \text{ MPa}$.

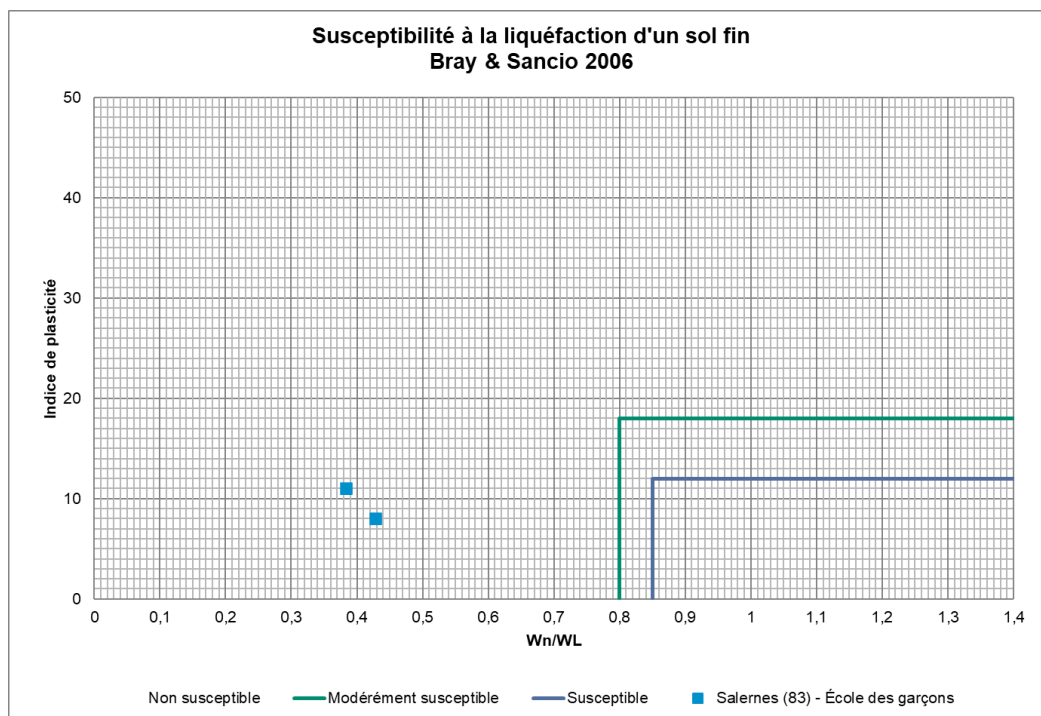
Sols argileux

- Diamètre à 15% (D_{15}) supérieur à 0,005 mm.
- Limite de liquidité W_L inférieure à 35 %.
- Teneur en eau naturelle W_N supérieure à $0,9 W_L$.
- Point représentatif sur le diagramme de plasticité (diagramme de Casagrande) se situant au-dessus de la droite « A » du dit diagramme.

Les résultats obtenus sur les échantillons testés en laboratoire et leur comparaison avec les différents critères correspondants (sol argileux) sont indiqués ci-après :

Critère	RF1	RF3
D_{15} supérieur à 0,005 mm	Possible	Possible
$W_L < 35 \%$	Non	Non
$W_N > 0,9 W_L$	Non	Non
Point représentatif sur le diagramme de plasticité se situant au-dessus de la droite « A » du dit diagramme	Non	Non

En complément des critères de la norme NF P06-013 (critères chinois), nous avons vérifié la susceptibilité des sols fins selon les critères de Bray et Sancio (2006) :



En conclusion, les sols testés **ne sont pas reconnus comme suspect de liquéfaction** au sens de la norme NF P06-013.

7 SYNTHÈSE DES RISQUES GÉOTECHNIQUES

La synthèse des différents risques géotechniques à prendre en compte pour le projet est présentée dans le tableau suivant :

Type de risque	Fort	Moyen	Faible	Très faible
Risque débordement de nappe et inondation de cave	Zone non sujette			
Risque inondations potentielles de cours d'eau et submersion marine	Zone non concernée			
Risque sismique		X		
Risque lié au retrait gonflement des argiles	X			

Pour la réalisation du projet, nous rappelons qu'il conviendra de respecter :

- Les prescriptions faites dans le présent rapport.
- Les dispositions du Plan Local d'Urbanisme (PLU).

8 INVESTIGATIONS

8.1 PERSONNEL

Quatre techniciens ont été mis à disposition sur ce chantier pour la réalisation des sondages et un ingénieur géotechnicien pour l'interprétation et l'exploitation des résultats.

8.2 SONDAGES PRESSIOMÉTRIQUES

Nous avons réalisé 3 sondages pressiométriques (notés **SPI** à **SP3**), et deux sondages destructifs (notés **SDI** et **SD2**), implantés conformément aux plans en annexes.

Ces sondages ont été exécutés en tarière hélicoïdale de 63 mm de diamètre.

La sondeuse utilisée est une EMCI E 4.50 d'une puissance de 48 CV.

Les enregistrements de paramètres de forages et les observations effectuées lors de l'exécution de ces sondages ont permis de dresser les coupes lithologiques présentées en annexes.

L'essai pressiométrique MÉNARD, exécuté conformément à la norme NF EN ISO 22476-4 de mai 2015, consiste à dilater radialement une sonde cylindrique tri-cellulaire placée dans le terrain grâce au sondage.

On mesure et on enregistre pour chaque essai, réalisé tous les mètres, les pressions appliquées par la sonde et les variations volumiques de celle-ci afin de déterminer la relation entre la pression appliquée au terrain et l'expansion de la sonde.

On se reportera à la norme NF EN ISO 22476-4 pour le descriptif détaillé du mode opératoire de l'essai.

À partir de la loi pression/déformation, on peut déduire les caractéristiques pressiométriques suivantes :

- La pression de fluage nette P_f^* qui définit la limite entre le comportement pseudo-élastique et plastique du sol.
- La pression limite nette P_l^* qui caractérise la résistance de rupture du sol et qui varie en fonction de sa consistance.
- Le module pressiométrique E_m qui définit le comportement pseudo-élastique du sol et dont la valeur est inversement proportionnelle à la déformation du sol.

8.3 SONDAGES PÉNÉTROMÉTRIQUES

Nous avons réalisé 7 sondages au pénétromètre dynamique (notés **P1** à **P7**) selon la norme NFP ISO 476-2. Ils sont répartis conformément aux implantations figurant sur les plans joints en annexes.

Pour les sondages P1, P2, P3, P4, P5 et P7, nous avons utilisé un pénétromètre dynamique semi-lourd automateur de marque PAGANI équipé d'un mouton de 64 kg.

Pour le sondage P6, nous avons utilisé un pénétromètre léger équipé d'un mouton de 21 kg.

Le principe consiste à enfoncer par battage régulier au moyen d'une masse tombant d'une hauteur constante, un train de tiges métalliques et cylindriques terminé par une pointe conique débordante d'une section de 10/20 cm² (léger/semi-lourd). La hauteur de chute est de 50/75 cm (léger/semi-lourd) et les

résultats traduisant le nombre de coups de mouton nécessaires à l'enfoncement de la pointe et du train de tiges, sont consignés tous les 10 cm. Cette technique permet de mesurer en continu la résistance dynamique du sol (notée q_d) opposée par le sol à la pénétration de la pointe.

La résistance dynamique du sol est calculée par la formule de battage dite "des Hollandais" exprimée en Méga Pascal à partir des caractéristiques techniques du pénétromètre et des paramètres des essais.

8.4 RECONNAISSANCES DE FONDATIONS

Nous avons procédé à l'ouverture de cinq fouilles de reconnaissance des fondations du bâtiment et du mur de soutènement existants.

Ces sondages ont été réalisés manuellement à la pelle/pioche.

Les observations réalisées à partir de ces sondages, dont les coupes détaillées cotées sont présentées en annexe, sont les suivantes :

Sondage RF1 (mur de soutènement) :

- Fondation en béton.
- Assise à 0,22 m de profondeur.
- Pas de débord.
- Sol d'assise constitué par des empierrements reposant sur de l'argile marron humide.



Sondage RF2 (mur mitoyen « garage ») :

- Mur et soubassement en pierres.
- Assise > à 1,80 m de profondeur.
- Pas de débord.

L'assise de la fondation n'a pas pu être déterminée compte tenu de la profondeur trop importante à atteindre manuellement.



Sondage RF3 (bâtiment principal côté cour) :

- Fondation en pierres.
- Assise à 0,90 m de profondeur.
- Pas de débord.
- Sol d'assise constitué par des argiles marron humides.

**Sondage RF4 (bâtiment principal côté Ouest) :**

- Fondation en pierres.
- Assise > à 1,70 m de profondeur.
- Pas de débord.

L'assise de la fondation n'a pas pu être déterminée compte tenu de la profondeur trop importante à atteindre manuellement.

**Sondage RF5 (cave du bâtiment principal) :**

- Mur et soubassements en pierres.
- Assise du mur à 0,10 m de profondeur.
- Pas de débord.
- Sol d'assise constitué par des argiles compactes humides.



Localement, la profondeur de garde à la sécheresse n'est pas respectée pour l'ensemble des fondations du mur de soutènement et du bâtiment principal hors-cave (fouilles RF1 et RF3). Le minimum requis étant de 1,50 m de profondeur par rapport au terrain extérieur fini dans ce type de contexte d'argiles sensibles aux variations de teneur en eau.

9 INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

9.1 ESSAIS IN SITU

L'ensemble des sondages a mis en évidence les couches suivantes :

- Couche C0 :
Remblais argileux.
Portance très faible.
- Couche C1 :
Argile.
Portance moyenne.
- Couche C2 :
Argile marneuse à marne argileuse.
Portance bonne à très bonne.

Profondeur de la base de la couche	Sondages (cote NGF)	SPI (225.90)	SP2 (226.10)	SP3 (226.10)	SD1 (226.50)	SD2 (226.70)
	C0 – Remblais argileux	-2,50 m	-2,00 m	-2,50 m	-	-
	C1 – Argile	-4,00 m	-5,20 m	-4,10 m	-4,50 m	-3,00 m
	C2 – Argile marneuse à marne argileuse	-10,00 m (arrêt)	-10,01 m (arrêt)	-8,92 m (arrêt)	-7,01 m (arrêt)	-7,00 m (arrêt)

Les valeurs caractéristiques de chaque couche de sol sont synthétisées dans le tableau ci-dessous :

Type de sol	P_l^* moyen (MPa)	E_m moyen (MPa)	q_d (MPa)	α
C0 – Remblais argileux	0,23	2,53	<2	2/3
C1 – Argile	0,63	7,21	2 à 10	2/3
C2 – Argile marneuse à marne argileuse	1,68	25,99	> 10	2/3

Avec :

- α Coefficient rhéologique des sols pour le calcul des tassements.
- P_l^* Pression limite nette (moyenne géométrique moins 1/2 écart-type).
- E_m Module pressiométrique (moyenne arithmétique moins 1/2 écart-type).
- q_d Résistance dynamique de pointe.

9.2 ESSAIS EN LABORATOIRE

Les essais en laboratoire ont permis de définir la classe LCPC/SETRA des matériaux à partir de leur granulométrie, de leur argilosité ainsi que de leur teneur en eau.

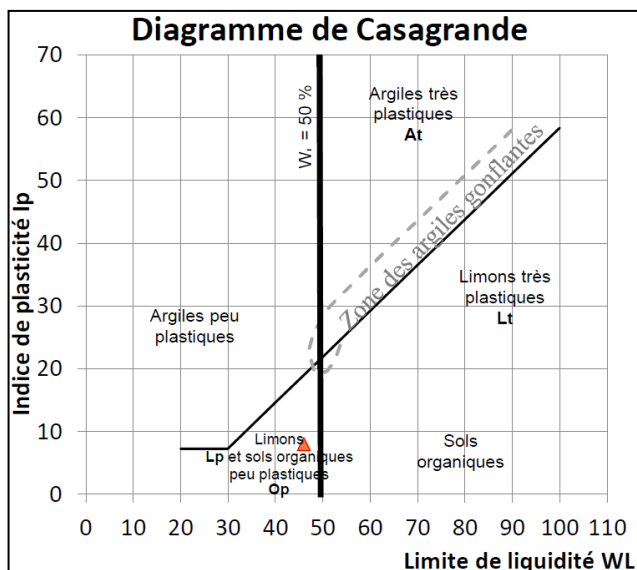
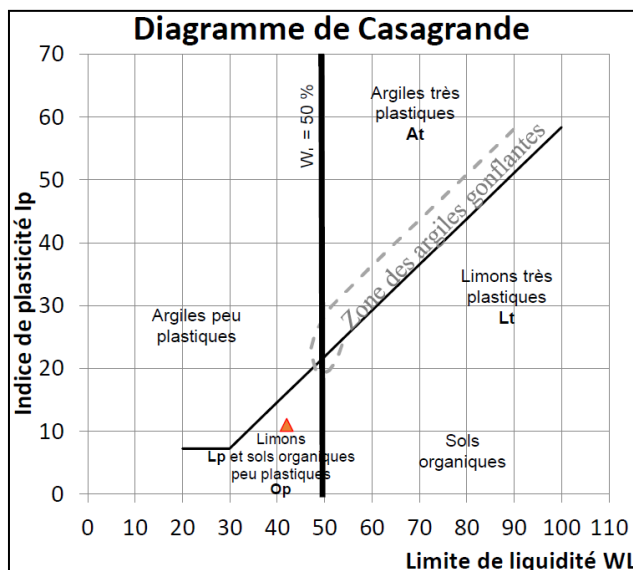
Les résultats sont reportés dans le tableau suivant :

Sondage		RF1	RF3
Profondeur de l'échantillon	(m/TN)	-0,30 m	-0,95 m
Nature		Argile limoneuse (potentiel remblai)	Argile limoneuse
Teneur en eau naturelle W_N	(%)	19,7	16,1
Limite de retrait W_R (XP P94-060-1)	(%)	24	15
Limites d'Atterberg	W_L (%)	46	42
	W_P (%)	38	31
	I_P (%)	8	11
Analyse granulométrique			
< 50 mm	(%)	100,0	100,0
< 20 mm	(%)	94,0	100,0
< 10 mm	(%)	87,1	98,9
< 5 mm	(%)	80,9	98,3
< 2 mm	(%)	75,1	97,1
< 1 mm	(%)	71,0	95,4
< 0,25 mm	(%)	50,1	79,5
< 0,08 mm	(%)	37,7	58,6
Classification GTR		A₁	A₁

Les résultats détaillés sont joints en annexe.

Les sols en présence sont classés **A₁** selon le GTR. Les sols **A₁** correspondent à des sols fins pouvant changer brutalement de consistance pour de faibles variations de teneur en eau.

D'après le diagramme de Casagrande amendé par Massonnet, les argiles en présence ne sont pas situées dans la zone des argiles gonflantes.

**RF1****RF3**

En revanche, la plage de retrait du sol identifiée ($W_p - W_R = 16\%$ pour RFI et 14% pour RF3) est très significative (environ 15%) et met en évidence **un sol très sensible aux phénomènes de retrait des argiles** lors de baisses de teneur en eau.

10 CONFORTEMENT DES FONDATIONS DU BÂTIMENT

10.1 ÉTAT EXISTANT : FONDATIONS DU BATIMENT

Les reconnaissances des fondations existantes RF3 et RF4 ont mis en évidence un principe de fondations en pierres ancrées dans l'argile à environ 0,9 m de profondeur par rapport au niveau de la cour extérieure au droit de RF3 (assise de la fondation à environ 225.5 NGF).

La profondeur de garde à la sécheresse n'est pas suffisante pour ces fondations. Le minimum requis étant de 1,50 m de profondeur par rapport au terrain extérieur fini dans ce contexte d'argiles sensibles.

La reconnaissance de fondations existantes RF5 réalisée dans la cave partielle du bâtiment a mis en évidence un principe de fondations en pierres ancrées dans l'argile compacte à environ 0,10 m de profondeur (assise de la fondation à environ 225.9 NGF au droit de RF5, soit jusqu'à environ 2,5 m de profondeur par rapport au niveau de la rue de l'école, en partie Nord du bâtiment).

10.2 PRINCIPE DE CONFORTEMENT RETENU

Pour le confortement des fondations du bâtiment, la Maîtrise d'Œuvre souhaite retenir la solution de **confortement par injection de résine**.

Remarque importante : le confortement devra éventuellement être associé à un renforcement de la structure du bâtiment et du mur de soutènement. Il sera nécessaire de faire réaliser un diagnostic structurel par un bureau d'études structure).

10.2.1 Principe de l'injection de résine expansive

L'injection de résine expansive est une technique de traitement de sol et de stabilisation d'ouvrages préventive et curative.

Cette technique représente une alternative non invasive à la réalisation de reprises en sous-œuvre structurales (de type plots ou micropieux). Cela consiste à injecter de la résine à l'état liquide sous les fondations d'un ouvrage existant. La résine pénètre dans le sol et, après expansion, elle permet de compacter et de stabiliser les terrains en place.

L'injection est pratiquée par l'introduction de canules dans des percements de diamètre compris généralement entre 12 et 28 mm réalisés dans les fondations existantes, et descendues dans toute l'épaisseur de la couche de sol à traiter. L'expansion de la résine est contrôlée, et se poursuit jusqu'à la limite du soulèvement des fondations du bâtiment traité. L'opération est ensuite interrompue.

La solution d'injection de résine a l'avantage d'être plus rapide et moins lourde en termes de travaux et plus économique qu'une solution de reprise en sous-œuvre classique.

Les travaux devront être effectués par une entreprise spécialisée possédant un cahier des charges validé favorablement par un organisme certifié (CSTB et/ou bureau de contrôle par exemple).

En l'absence de règlement normatif ou de guide technique nationale, l'appréciation de la faisabilité de cette méthode devra être validée par l'entreprise spécialisée réalisant les travaux (faisabilité dépendante entre autres, suivant le procédé de chaque entreprise, de la nature du sol à traiter, de la profondeur, de la géométrie des fondations).

10.2.2 Application au projet

Pour l'amélioration de la capacité portante sous les fondations existantes, on pourra donc réaliser un **traitement par injection de résine** au droit des sondages réalisés.

L'objectif du traitement par injection est d'améliorer et d'homogénéiser la capacité portante du terrain en place sous les fondations existantes. Considérant les descentes de charge projetées qui nous ont été transmises, et en considérant une géométrie de fondation de 47 cm de largeur sans débord selon les RF réalisées, **l'objectif de portance sera de 0,50 MPa à l'ELS après traitement**.

Remarque : si cet objectif n'est pas réalisable, il conviendra éventuellement de prévoir une reprise en sous-œuvre d'élargissement des semelles existantes, avant de procéder à l'injection. Une solution alternative de reprise en sous-œuvre par l'intermédiaire de micropieux pourra être envisagée (voir §10.3).

10.2.3 Contrôles

Une surveillance de la construction existante (suivi laser continu) devra être prévue pendant la phase d'injection et de réaction de l'ouvrage.

Des essais comparatifs au pénétromètre et au pressiomètre seront réalisés avant et après le traitement par injection de résine, afin de pouvoir évaluer l'efficacité de l'intervention. Ces essais viseront à vérifier la contrainte de sol après traitement, à évaluer l'amélioration homogène de la capacité portante sous les fondations, et à détecter d'éventuelles anomalies dans l'expansion de la résine.

10.3 SOLUTION VARIANTE EN MICROPIEUX

Si les objectifs de portance compatibles avec la DDC projetée ne peuvent pas être atteints par les techniques d'injection de résine, il conviendra d'envisager une solution de reprise en sous-œuvre des fondations par **micropieux**, afin de les établir dans un horizon plus stable et plus compact, associé si nécessaire à un renforcement de la structure (en fonction du diagnostic du bureau d'études structure).

10.3.1 Principe de la reprise en sous-œuvre par micropieux

La reprise en sous-œuvre de type micropieux consiste à reporter les charges dans les marnes argileuses. Les micropieux faiblement espacés devront être ancrés d'au moins **3,0 m dans les marnes argileuses** (leur longueur sera déterminée en fonction des charges à reprendre).

Dans le cadre de cette solution, un diagnostic de la structure existante devra être réalisé par un bureau d'études spécialisé. La réalisation de longrines de liaison entre micropieux et une rigidification de la structure (chaînage de renforts, ...) devront être prévus.

Les travaux devront être réalisés avec précautions afin de ne pas déchausser et déstabiliser l'ouvrage existant et son sol d'assise.

La reprise en sous-œuvre devra être réalisée de manière homogène sur l'ensemble de la construction.

10.3.2 Application au projet

10.3.2.1 Méthode de dimensionnement des micropieux

Compte-tenu des éléments reçus (descentes de charges), on pourra retenir les éléments suivants pour le dimensionnement des micropieux :

- Type de fondations profondes : **micropieux type II ou type III**.
- Nature du sol d'ancrage :
 - Pour l'extension : **argile marneuse à marne argileuse** (couche C2).
- Ancrage au minimum de **3,0 m** dans le sol d'ancrage.
- Frottement latéral négligé au minimum sur le premier mètre de terrain.

Les moyens mis en œuvre devront être adaptés afin de respecter l'ancrage dans les marnes argileuses.

À titre d'information, le toit des marnes argileuses a été reconnu aux profondeurs suivantes au droit des sondages réalisés :

Sondages	SP1	SP2	SP3	SD1	SD2
Toit des marnes argileuses (m/TN)	-4,0	-5,2	-4,1	-4,5	-3,0

La portance des pieux sera calculée selon la norme NF P 94-262 (Annexe F). Il sera retenu pour la suite du calcul la procédure **“Modèle de terrain”**.

$$R_c = R_b + R_s$$

Désignant :

- R_c Valeur de la portance de la fondation profonde.
- R_b Valeur de la résistance de pointe de la fondation profonde.
- R_s Valeur de la résistance de frottement axiale de la fondation profonde.

Remarque :

Pour les micropieux, il faut uniquement tenir compte de la valeur de la résistance de frottement axial, la valeur de résistance de pointe étant considérée comme nulle, d'où :

$$R_c = R_s$$

10.3.2.2 Modèle géotechnique

La procédure dite du **“Modèle de terrain”** consiste à déduire d'un modèle géotechnique du site, éventuellement découpé en zones homogènes, des valeurs caractéristiques $q_{b,k}$ et $q_{s,i,k}$ correspondant respectivement à la résistance de pointe et au frottement axial unitaire dans les différentes couches, puis à appliquer les formules générales **pour déterminer la portance caractéristique de la fondation profonde.**

Il est proposé de retenir le modèle géotechnique suivant

Type de sol	Profondeur de la base de la couche	$P_{i,moyen}^*$ (MPa)	$E_{m,moyen}$ (MPa)	α
C1 – Argile	-3,0 m à - 5,2 m	0,63	7,21	2/3
C2 – Argile marneuse à marne argileuse	Au-delà	1,68	25,99	2/3

10.3.2.3 Détermination de la résistance de frottement axial R_s

L'effort limite mobilisable par frottement axial, sur la hauteur concernée de fût de la fondation profonde, doit être calculé à partir de l'expression générale suivante :

$$R_s = P_s \int_0^D q_s(z) dz$$

Avec :

R_s Valeur de la résistance de frottement axial d'une fondation profonde.

P_s Périmètre du fût du pieu.

D Longueur de la fondation contenue dans le terrain.

$q_s(z)$ Valeur du frottement axial unitaire limite à la cote z .

Et :

$$q_s(z) = \alpha_{\text{pieu-sol}} * f_{\text{sol}}[p_i^*(z)]$$

Avec :

$p_i^*(z)$ Pression limite nette à la profondeur z .

$\alpha_{\text{pieu-sol}}$ Paramètre adimensionnel qui dépend à la fois du type de pieu et du type de sol défini dans le tableau F.5.2.1 de la norme NF P94-262.

f_{sol} Fonction qui ne dépend que du type de sol et des valeurs P_i^* .

$$f_{\text{sol}}(p_i^*) = (ap_i^* + b) * (1 - e^{-cp_i^*})$$

Les valeurs des paramètres a , b et c sont définies dans le tableau F.5.2.2 de la norme NF P 94 -262.

Micropieux type II : (classe I bis, catégorie I8)

Type de sol	P_i^* moyen (MPa)	$\alpha_{\text{pieu-sol}}$	Courbe	f_{sol} (kPa)	q_s max (kPa)	q_s retenu (kPa)
CI – Argile	0,63	1,25	Q1	37,27	90	46,59
C2 – Argile marneuse à marne argileuse	1,68	1,5	Q4	92,84	170	139,25

Micropieux type III : (classe 8, catégorie I9)

Type de sol	P_i^* moyen (MPa)	$\alpha_{\text{pieu-sol}}$	Courbe	f_{sol} (kPa)	q_s max (kPa)	q_s retenu (kPa)
CI – Argile	0,63	2,7	Q1	37,27	200	89,45
C2 – Argile marneuse à marne argileuse	1,68	2,4	Q4	92,84	320	222,80

10.3.2.4 Calcul de la valeur caractéristique de la portance $R_{c;k}$

$$R_{c;k} = R_{s;k}$$

Avec :

$$R_{s;k} = \sum_i A_{s;i} q_{s;i;k}$$

Et :

$$q_{s;i;k} = \frac{q_{s;i}}{\gamma_{R;d1} \gamma_{R;d2}}$$

Avec :

- $R_{c;k}$ Valeur caractéristique de la portance du terrain sous une fondation profonde.
- $R_{s;k}$ Valeur caractéristique de la résistance de frottement axial d'une fondation profonde.
- $q_{s;i;k}$ Valeur caractéristique de frottement axial unitaire limite de la fondation profonde pour la $i^{\text{ème}}$ couche de terrain.
- $\gamma_{R;d1}$ Valeur du coefficient partiel de modèle lié à la dispersion du modèle de calcul.
= 2,0 pour des micropieux de type II ou III.
- $\gamma_{R;d2}$ Valeur du coefficient partiel lié au calage des méthodes de calcul.
= 1,1

10.3.2.5 Calcul de la résistance à l'ELU $R_{c;d}$

La portance à l'ELU est égale à :

$$R_{c;d} = \frac{R_{s;k}}{\gamma_s}$$

Avec :

- $R_{c;d}$ Valeur de calcul de la portance du terrain sous une fondation profonde.
- γ_s Facteurs partiels.

Pour les micropieux en compression :

- = 1,10 pour un fût en compression – situations durables et transitoires.
- = 1,00 pour un fût en compression – situations accidentelles.

10.3.2.6 Calcul de la résistance à l'ELS $R_{c;cr;d}$

La portance à l'ELS est égale à :

$$R_{c;cr;d} = \frac{R_{c;cr;k}}{\gamma_{cr}}$$

Avec, pour des pieux sans refoulement de sol :

$$R_{c;cr;k} = 0,7 R_{s;k}$$

Avec :

$R_{c;cr;d}$ Valeur de calcul de la charge de fluage de compression.

$R_{c;cr;k}$ Valeur caractéristique de la charge de fluage de compression.

γ_{cr} Facteur partiel sur la charge de fluage de compression.

Pour les micropieux en compression :

= 0,9 pour un fût en compression – combinaisons caractéristiques.

= 1,1 pour un fût en compression – combinaisons quasi-permanentes

10.3.2.7 Dimensionnement

Le tableau suivant donne à titre indicatif, la charge mobilisable en tonnes pour des micropieux de type II et de type III de 250 mm de diamètre ancrés au minimum de 3,0 m dans les marnes argileuses. Le dimensionnement a été réalisé selon le sondage SP3.

D'après les descentes de charges fournies, par le BET SERENDIP, la charge maximale à reprendre à l'ELS est de 23,4 t/ml en compression.

Il faut noter que le frottement latéral a été négligé sur le premier mètre de terrain.

Sondage	SP2	
	Type II	Type III
Ø micropieux (m)	0,25	0,25
Section (m ²)	0,05	0,05
Périmètre (m)	0,79	0,79
R_s (t)	87,90	91,78
$R_{s;k}$ (t)	39,96	41,72
Résistance caractéristique $R_{c;k}$ (t)	39,96	41,72
Résistance à l'ELU $R_{c;d}$ (t) Situations durables et transitoires	36,32	37,92
Résistance à l'ELU $R_{c;d}$ (t) Situations accidentelles	39,96	41,72
Résistance caractéristique de fluage $R_{c;cr;k}$ (t)	27,97	29,20
Résistance à l'ELS $R_{c;cr;d}$ (t) Combinaisons caractéristiques	31,08	32,45
Résistance à l'ELS $R_{c;cr;d}$ (t) Combinaisons quasi-permanentes	25,43	26,55
Longueur du micropieu (m)	11,10	8,10

L'entreprise de fondations spéciales justifiera la force portante de chaque micropieu en fonction de la technique et du matériel retenu.

10.3.3 Sujétions générales concernant la réalisation de micropieux

Au démarrage des travaux de forages, le modèle géotechnique devra être vérifié et validé à partir d'essais d'informations et de conformité.

La profondeur du toit des marnes argileuses peut varier, il conviendra donc d'adapter la longueur des micropieux en fonction de ce dernier, tout en respectant l'ancrage minimum préconisé.

La réalisation des micropieux devra être contrôlée (par le contrôleur technique et le géotechnicien en charge de la mission G3) afin de constater d'une part, le bon respect des longueurs d'ancrage et d'autre part, les éventuelles modifications de technique de réalisation.

Il conviendra de s'assurer que le matériel adapté à la réalisation des micropieux ait fait l'objet de contrôles (tubes à manchettes, obturateurs, pompes d'injection...).

Les paramètres de forage et d'injection devront être enregistrés en continu.

Dans la conception de la structure, la liaison structure/micropieux sera étudiée avec précision.

Les micropieux seront réalisés selon les Règles de l'Art par une entreprise spécialisée et qualifiée en fondations profondes, conformément à la norme d'exécution des micropieux NF EN 14199.

Le type de micropieux et la technique de mise en œuvre devront prendre en compte :

- La compacité du sol.
- L'agressivité des terrains.
- La boulangerie des terrains.
- La perméabilité des terrains (pertes d'injections dans les remblais pouvant entraîner des surconsommations) et la présence éventuelle de nappe en charge.
- Les avoisinants et contraintes environnementales mitoyennes.

10.3.4 Effet de groupe

Lorsque la distance entre l'axe des pieux est au minimum de trois diamètres, il n'y a pas d'effet de groupe à considérer.

Le cas échéant, un coefficient limitateur de portance sera à considérer.

10.3.5 Frottement négatif

Des frottements négatifs se développent à l'interface micropieu / sol si le tassement du sol est plus important que celui du micropieu. Ceci se produit en particulier lorsqu'un chargement du sol intervient postérieurement à la réalisation des micropieux.

À notre connaissance aucun remblaiement postérieur ne sera réalisé au droit du projet. Dans le cas contraire, les micropieux devront être dimensionnés en prenant en compte cet effort parasite.

Ce point devra être vérifié notamment lors des études d'exécution dans le cas où :

- des remblaiements généraux seraient postérieurs à leur réalisation.
- la construction des ouvrages annexes soit située à proximité immédiate des micropieux (distance < 3 diamètres en première approche).

10.3.6 Déplacement latéral d'une couche compressible g(z)

Dans le cas d'un remblaiement dissymétrique à proximité de micropieux, la norme NF P 94-262 recommande de calculer la déformée du sol $g(z)$ sur la hauteur de sol compressible (D).

Selon les éléments transmis, aucun remblaiement dissymétrique ou chargement important ne sera mis en œuvre à proximité des fondations profondes. Le cas échéant, il conviendra de se référer à l'annexe K de la norme NF P 94-262.

10.3.7 Système de surveillance

En fonction de la technique de forage utilisée, des mesures de vibrations pourront être réalisées afin de garantir l'intégrité des bâtiments existants (respect de la circulaire de 1986).

10.3.8 Essais de contrôle

Les essais de contrôle suivants devront être réalisés :

- Des essais d'écrasement sur éprouvettes de coulis à 7 et 28 jours.
- Des essais de conformité et/ou de contrôle conformément à la norme NF P 94-262 article 8.9.

II CONFORTEMENT DU MUR DE SOUTÈNEMENT

II.1 ÉTAT EXISTANT : FONDATIONS DU MUR

La reconnaissance des fondations existantes RFI a mis en évidence un principe de fondations quasi-inexistant ancré sur des empierrements au sein d'argiles marron humides à 0,22 m de profondeur.

La profondeur de garde à la sécheresse n'est pas suffisante pour les fondations du mur. Le minimum requis étant de 1,50 m de profondeur par rapport au terrain extérieur fini dans ce contexte d'argiles sensibles.

II.2 PRINCIPE DE CONFORTEMENT RETENU

Pour le confortement du mur de soutènement, la Maîtrise d'Œuvre souhaite retenir la solution de **confortement par clouage**, ou solution similaire.

Remarque importante : le confortement devra éventuellement être associé à un renforcement de la structure du mur de soutènement. Il sera nécessaire de faire réaliser un diagnostic structurel par un bureau d'études structure.

Cette solution consiste à réaliser :

- Des clous ancrés dans les marnes,
- Une croix de Saint-André pour mettre en tension et répartir les efforts de traction sur le voile existant.
- Un système de barbacanes fonctionnel.

Les clous seront réalisés par forage.

Le paragraphe suivant propose un prédimensionnement des clous.

Le confortement sera à dimensionner suivant la norme « NF EN 14490 Exécution des travaux géotechniques spéciaux – Clouage ». Le dimensionnement du confortement par clouage devra être réalisé dans le cadre de la mission G3 – Phase Étude géotechnique d'exécution. Les travaux d'ancrage devront faire l'objet d'une mission G3- Phase Suivi géotechnique d'exécution.

11.3 PRÉDIMENSIONNEMENT DU CONFORTEMENT

11.3.1 Hypothèses géotechniques

En l'absence d'informations sur les remblais mis en œuvre à l'arrière du mur de soutènement amont, nous avons considéré par défaut les paramètres suivants (sécuritaire) :

- $\gamma_h = 20 \text{ kN/m}^3$
- $\phi' = 28^\circ$
- $C' = 0 \text{ kPa}$

11.3.2 Frottement latéral unitaire le long des clous

La valeur du frottement latéral unitaire le long des clous dans les marnes est issue des abaques de Clouterre (ADDITIF 2002).

Nous retenons une valeur **qs ;k de 106 kPa**.

Le frottement latéral sera négligé au sein des remblais.

11.3.3 Corrosion sur les clous

À défaut d'analyse d'agressivité des sols en place, nous considérons un sol corrosif. D'où, suivant le §F2.1.7 de la norme NF P94-270, une corrosion de 2,5 mm sur le rayon de la barre pour une durée de vie de 50 ans de l'ouvrage.

Toute optimisation de la valeur de corrosion devra faire l'objet d'analyse d'agressivité du sol avec mesure du pH du sol et de la résistivité pour classement suivant le tableau F2.1.3.1 de la norme NF P 94-270.

11.3.4 Description de l'ouvrage

Pour ce projet, nous avons considéré les caractéristiques suivantes :

Durée d'utilisation	50 ans (à confirmer par le Maître d'Ouvrage)
Dimensionnement au séisme	Non
Hauteur concernée	4,35 m
Nombre de lits de clous	2 positionnés en quinconce
Entraxe vertical entre les lits	1,5 m
Entraxe horizontal entre les lits	1,5 m
Type de clou (barre acier)	GEWI 32 mm
Diamètre forage Ø	100 mm
Inclinaison / l'horizontal	45°
Longueur clous	13 m
Type scellement clous	IGU

Les longueurs des clous seront à adapter en fonction des terrains effectivement rencontrés en phase travaux et des résultats des essais d'arrachement de conformité.

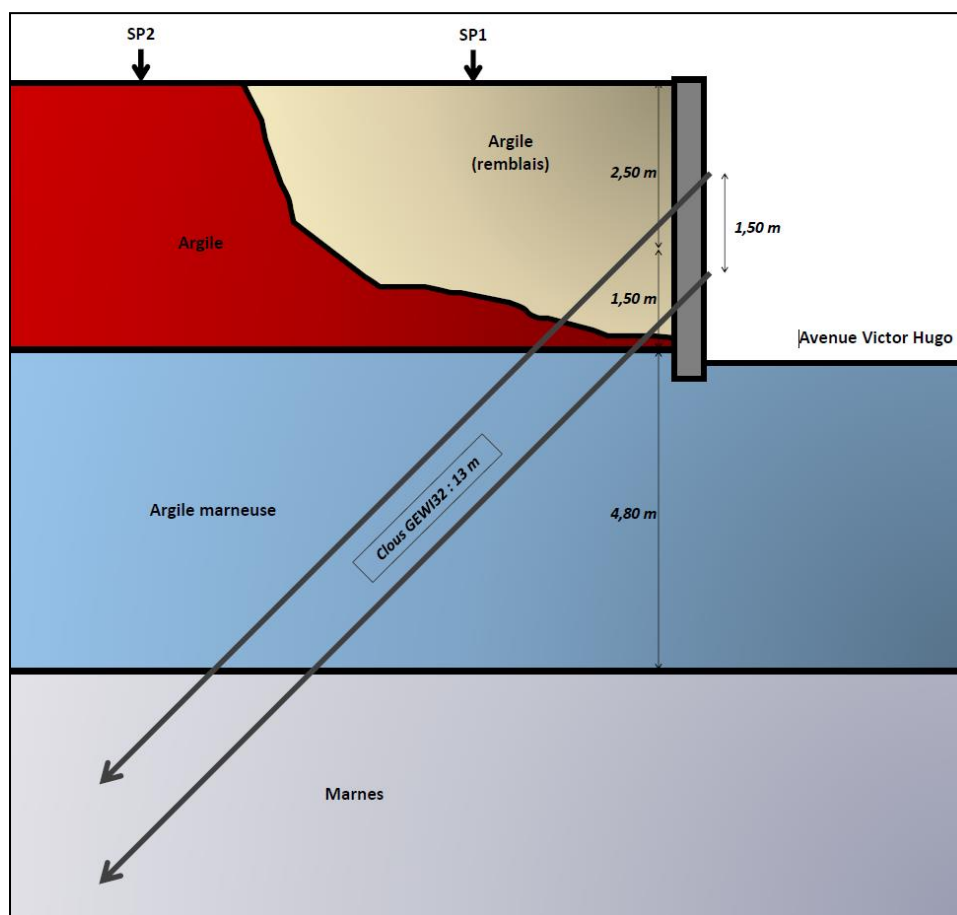


Schéma de principe

11.4 DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES

Les études d'exécution et l'exécution des travaux de clouage devront respecter les normes en vigueur.

11.4.1 Réalisation des clous

La position des lits de clous devra être définie en phase EXE en fonction de la position des réseaux et des fondations des avoisinants.

La technique de réalisation des clous sera à définir par l'entreprise de travaux spéciaux.

La technique de forage prévue devra être adaptée pour assurer la stabilité du forage et éviter un remaniement des terrains.

La méthode d'exécution des clous prévue par l'entreprise devra être adaptée aux conditions de terrains. Elle devra permettre d'obtenir :

- sur toute la longueur du clou, le diamètre nominal défini par les études d'exécution,
- la bonne tenue de la paroi du forage,
- un enrobage continu de l'armature.

Si nécessaire, en particulier dans les remblais, un tubage à l'avancement devra être prévu et/ou utilisation de fluides de forage adaptés.

L'attention de l'Entreprise est attirée sur les risques de perte de coulis de scellement au sein des remblais notamment.

La méthode d'exécution devra être validée par des essais sur clous.

Lors du forage des clous, il conviendra d'être particulièrement vigilant sur les éventuels changements de faciès et/ou de nature de terrain.

Des fiches de suivi de l'exécution des clous devront être établis à l'avancement :

- Fiche géologique pour chaque forage,
- Fiche technique pour chaque forage avec entre autres : date et heure de réalisation du forage et de l'injection, inclinaison/verticalité, longueur de l'ancrage réalisé, nature et quantités de produit de scellement réellement mises en place, toutes autres observations particulières.

Si des différences par rapport aux hypothèses retenues (stratigraphie horizontale, épaisseurs des formations) sont mises en évidence, des adaptations du dimensionnement devront être réalisées par l'entreprise dans le cadre de sa mission G3. Ces adaptations seront soumises pour avis au bureau de contrôle et au bureau d'étude géotechnique en charge de la mission G4.

11.4.2 Essais sur clous

Des clous d'essai seront à réaliser conformément à la norme NF P94-270. Les valeurs de q_s seront déterminées au moyen d'essais d'arrachement. Le nombre minimal d'essai par couche sera défini conformément à la norme NF P94-270. Ces essais seront à effectuer avant le démarrage des travaux de paroi clouée. Des essais de contrôle sur clous seront à effectuer au fur et à mesure des travaux.

12 RECOMMANDATIONS

Suivant le tableau 2 "Classification des missions types d'ingénierie géotechnique" de la norme NF P94-500 joint en annexe, cette étude doit être complétée par la mission G2 DCE visant notamment à vérifier avant l'envoi du DCE aux entreprises, que les préconisations de l'étude G2 sont bien prises en compte dans éléments techniques du DCE relatifs aux ouvrages géotechniques ; puis par la mission G2 ACT visant à vérifier la conformité des solutions des offres techniques des Entreprises avec la conception des ouvrages géotechniques.

Il est très vivement conseillé d'adjoindre une mission de type G3 (étude et suivi géotechniques d'exécution) à la charge de l'Entreprise et une mission G4 (supervision géotechnique d'exécution) à la charge de la Maîtrise d'Ouvrage afin notamment d'adapter les dispositions préconisées dans la présente étude G2 PRO compte tenu des éventuels aléas géotechniques résiduels.

GÉOTERRIA reste à la disposition des intervenants pour tout complément d'information relatif aux conclusions de la présente étude, dans le respect des conditions d'utilisation du rapport d'étude.

13 UTILISATION DU RAPPORT DE L'ÉTUDE

1. Le présent rapport et ses annexes constituent un ensemble indissociable ; la mauvaise utilisation qui pourrait en être faite lors d'une communication ou à l'issue d'une reproduction partielle sans l'accord écrit de la **SASU GÉOTERRIA** ne saurait en aucun cas engager la responsabilité de celle-ci.
2. Les modifications de conception et d'implantation par rapport aux données de la présente étude seront susceptibles de conduire à modifier les conclusions et prescriptions du rapport et doivent être portées à la connaissance de la **SASU GÉOTERRIA**.
3. Des éléments nouveaux mis en évidence lors de l'exécution des fondations et n'ayant pu être détectés au cours des opérations de reconnaissance (par exemple : venues d'eaux importantes, vides de grande taille, hétérogénéité localisée, etc.) peuvent rendre caduques tout ou partie des conclusions du rapport.
4. Ces éléments nouveaux ainsi que tout incident important survenant en cours des travaux (éboulement de fouille, glissement de talus, dégâts occasionnés aux constructions périphériques, etc.) doivent être signalés à la **SASU GÉOTERRIA** pour lui permettre éventuellement de reconsidérer et d'adapter les solutions initialement préconisées.
5. La **SASU GÉOTERRIA** ne saurait être rendue responsable des modifications apportées à son étude que dans la mesure où elle aurait donné, par écrit, son accord sur lesdites modifications.

Nous précisons que cette étude géotechnique bénéficie d'une responsabilité civile et d'une responsabilité décennale par notre police souscrite auprès de SMA BTP, sous réserve de l'application des recommandations faites et en fonction des plans qui nous ont été transmis et annexés au présent rapport.

Fait à La Garde, le 25 mars 2025

Thibaut DRUMEZ
Ingénieur géotechnicien

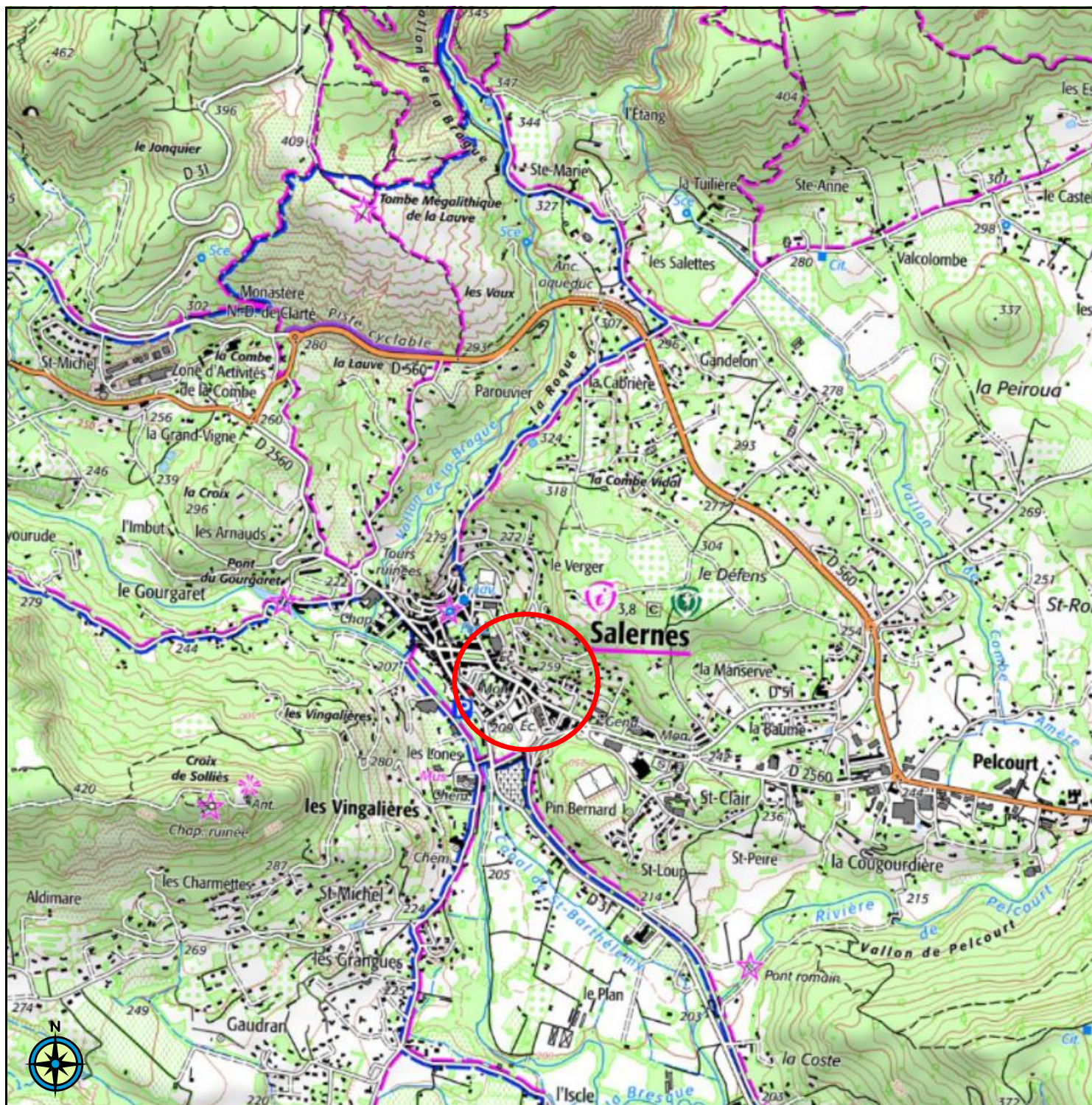


Samuel TURLE
Directeur



GÉOTERRIA
Géotechnique
B.P. 540 - 83041 TOULON CEDEX 9
Tél. 04.94.27.87.40 - www.geoterria.com
S.A.R.L. Au Capital de 10 000 €
RCS Toulon B 420 586 547 - APE 742 C

ANNEXES



Géoterrria
Bureau d'Études géotechniques

SAIEM

Confortement de l'ancienne École de garçons

Avenue Victor Hugo

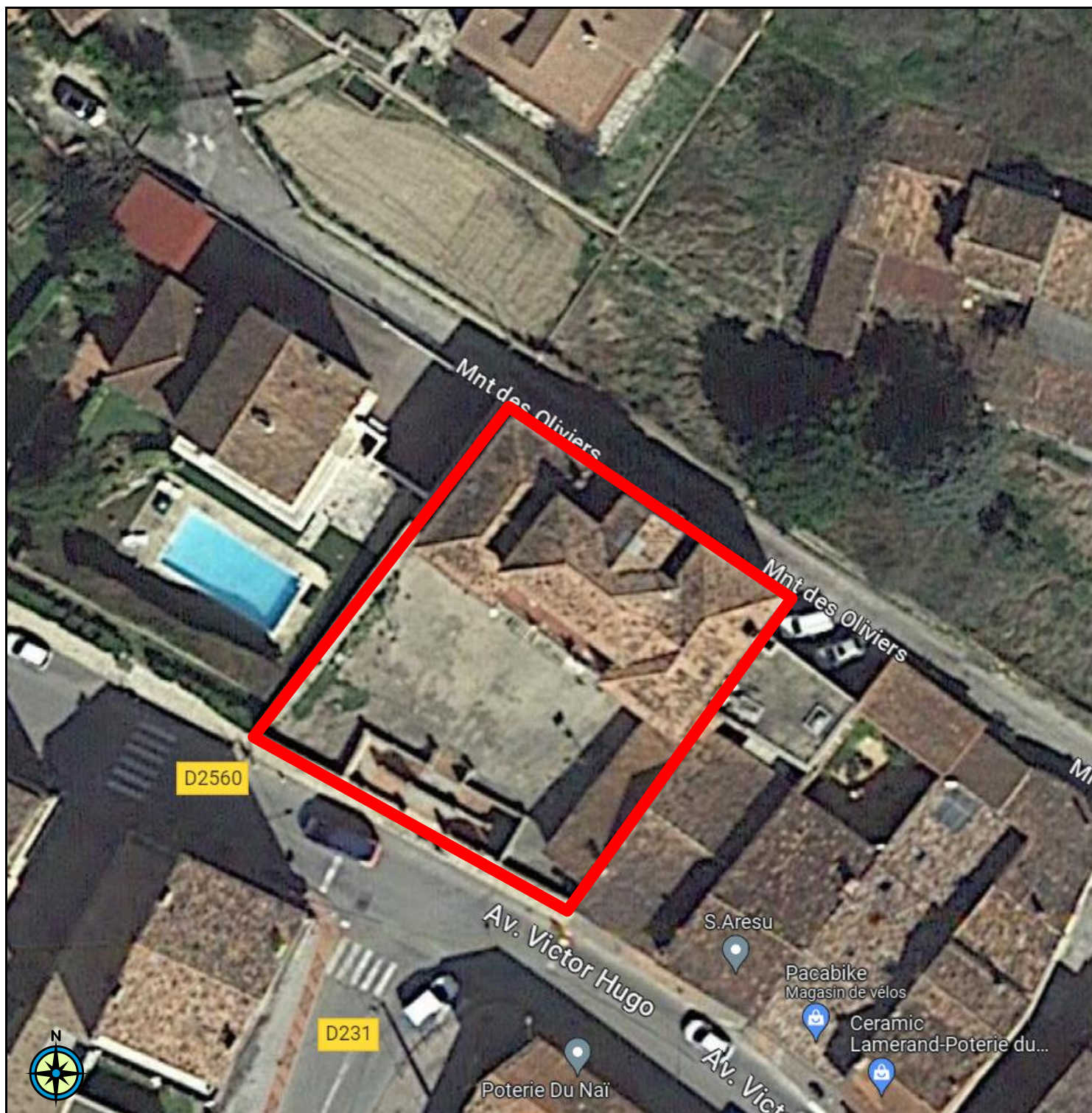
SALERNES (83)

SITUATION GÉOGRAPHIQUE

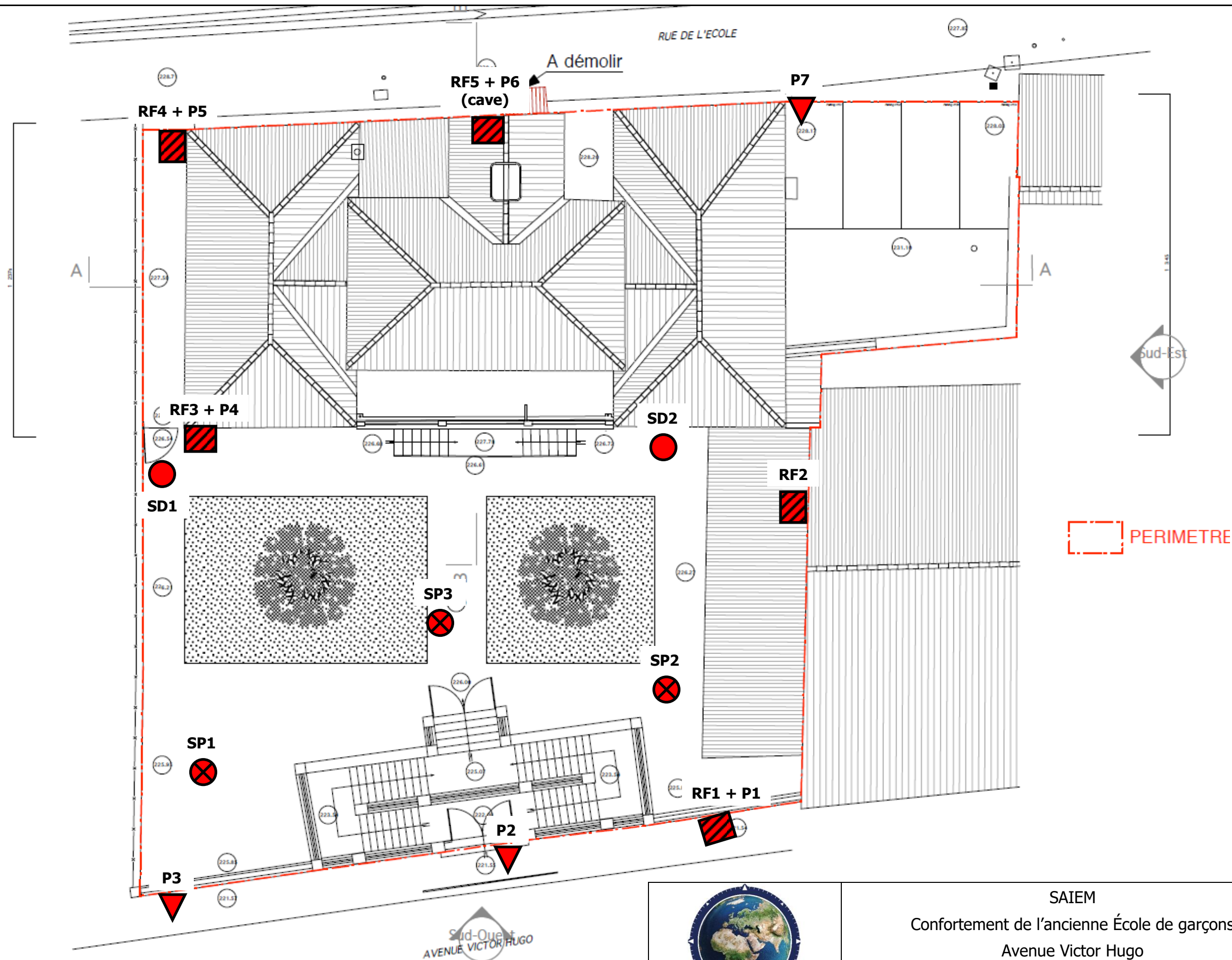
Dossier N : A23.0168

Date : 25/03/2025

-



	<p>SAIEM</p> <p>Confortement de l'ancienne École de garçons</p> <p>Avenue Victor Hugo</p> <p>SALERNES (83)</p>		
	<p>PLAN DE SITUATION</p>		
	<p>Dossier N : A23.0168</p>	<p>Date : 25/03/2025</p>	<p>-</p>





Géoterra

Bureau d'études géotechniques

SALERNES (83)

Type: Destructif

Sondage : SP1

Date début : 31/05/2023

Date fin : 31/05/2023

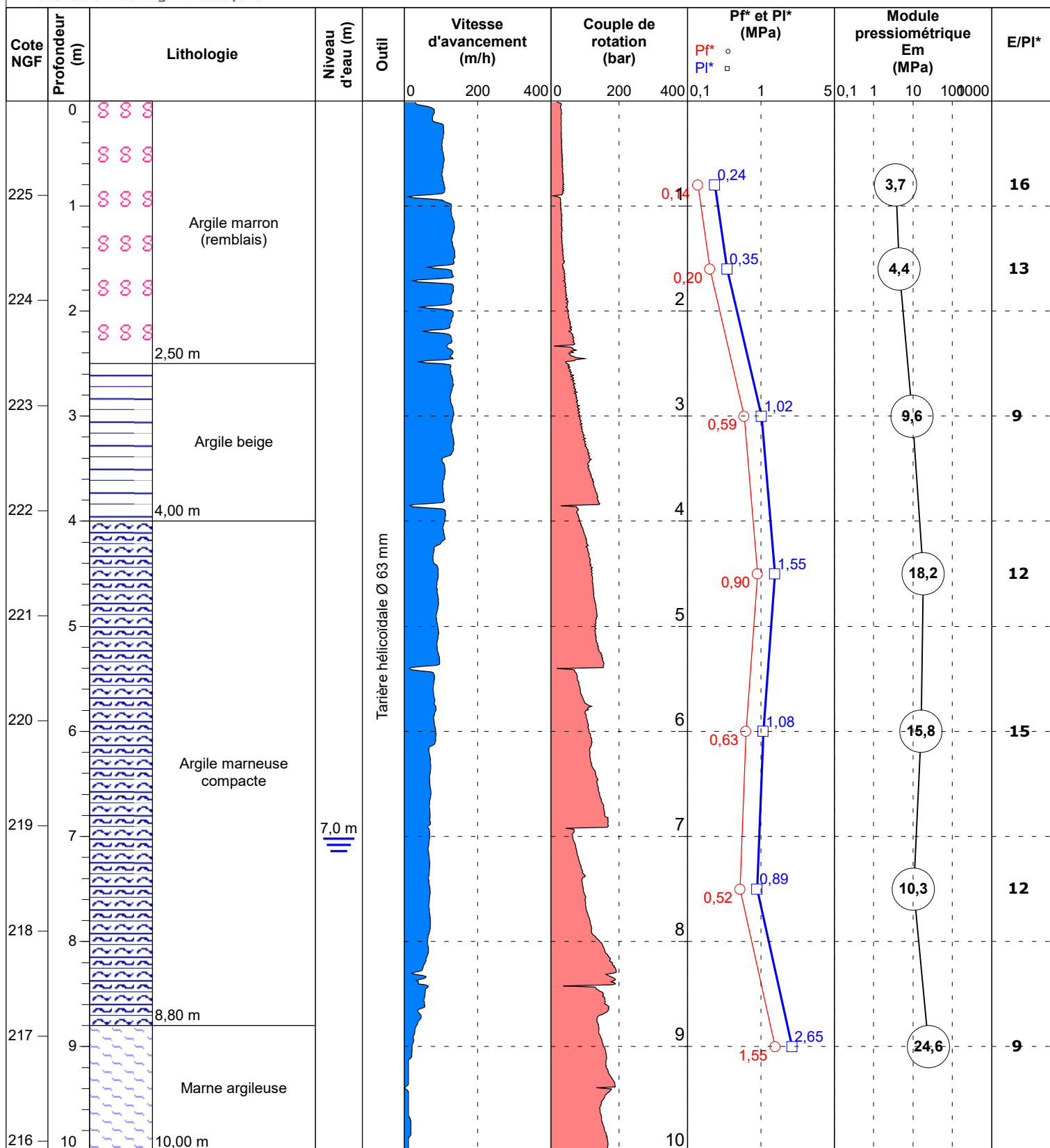
Profondeur : 10,00 m

Cote NGF : 225.90 NGF

Machine : EMCI E 4.50

Remarques :

Numéro de dossier : 23.0168





Géoterra

Bureau d'études géotechniques

SALERNES (83)

Type: Destructif

Sondage : SP2

Date début : 30/05/2023

Date fin : 30/05/2023

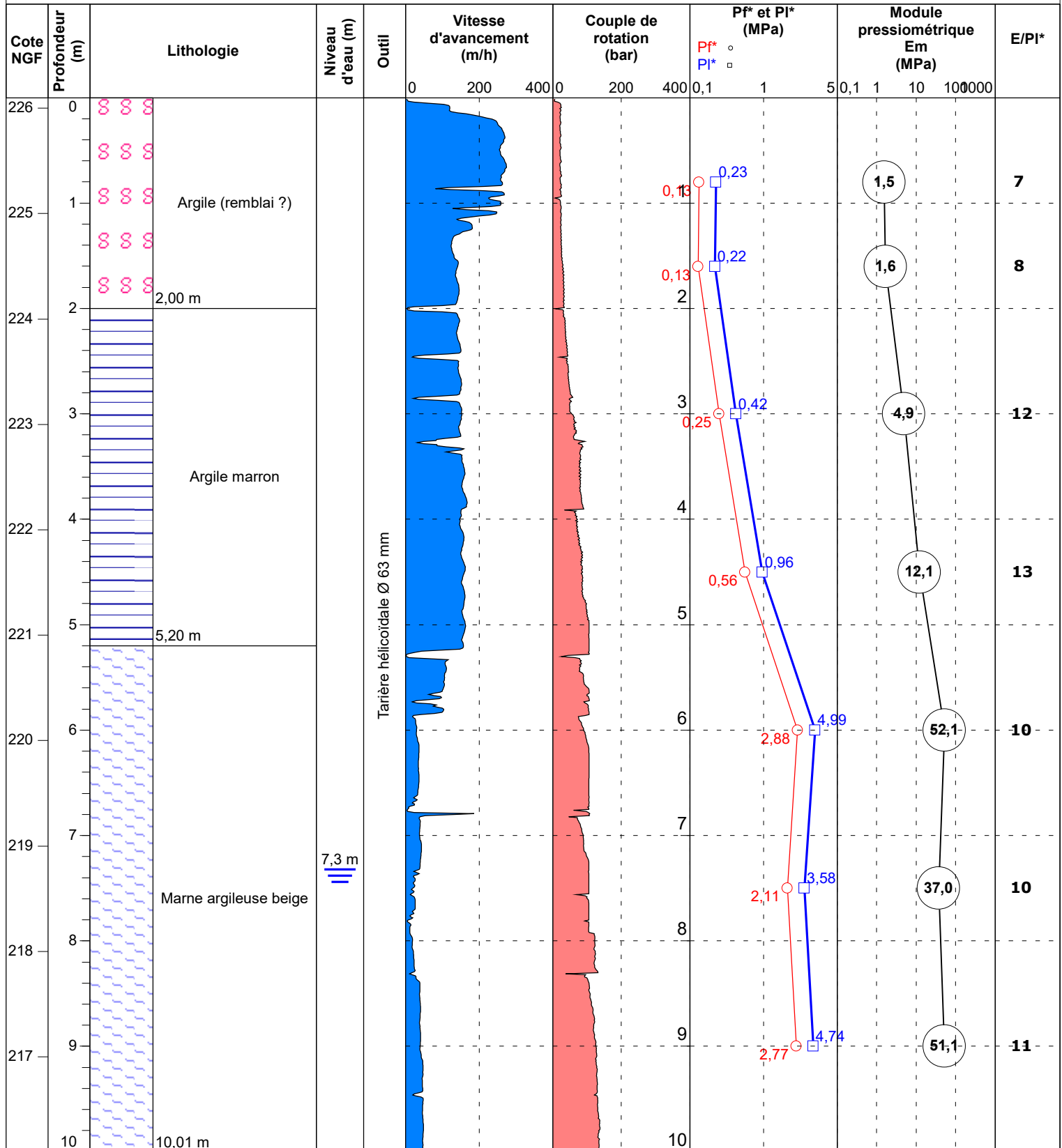
Profondeur : 10,01 m

Cote NGF : 226.10 NGF

Machine : EMCI E 4.50

Remarques :

Numéro de dossier : 23.0168





Géoterra

Bureau d'études géotechniques

SALERNES (83)

Type: Destructif

Sondage : SP3

Date début : 30/05/2023

Date fin : 30/05/2023

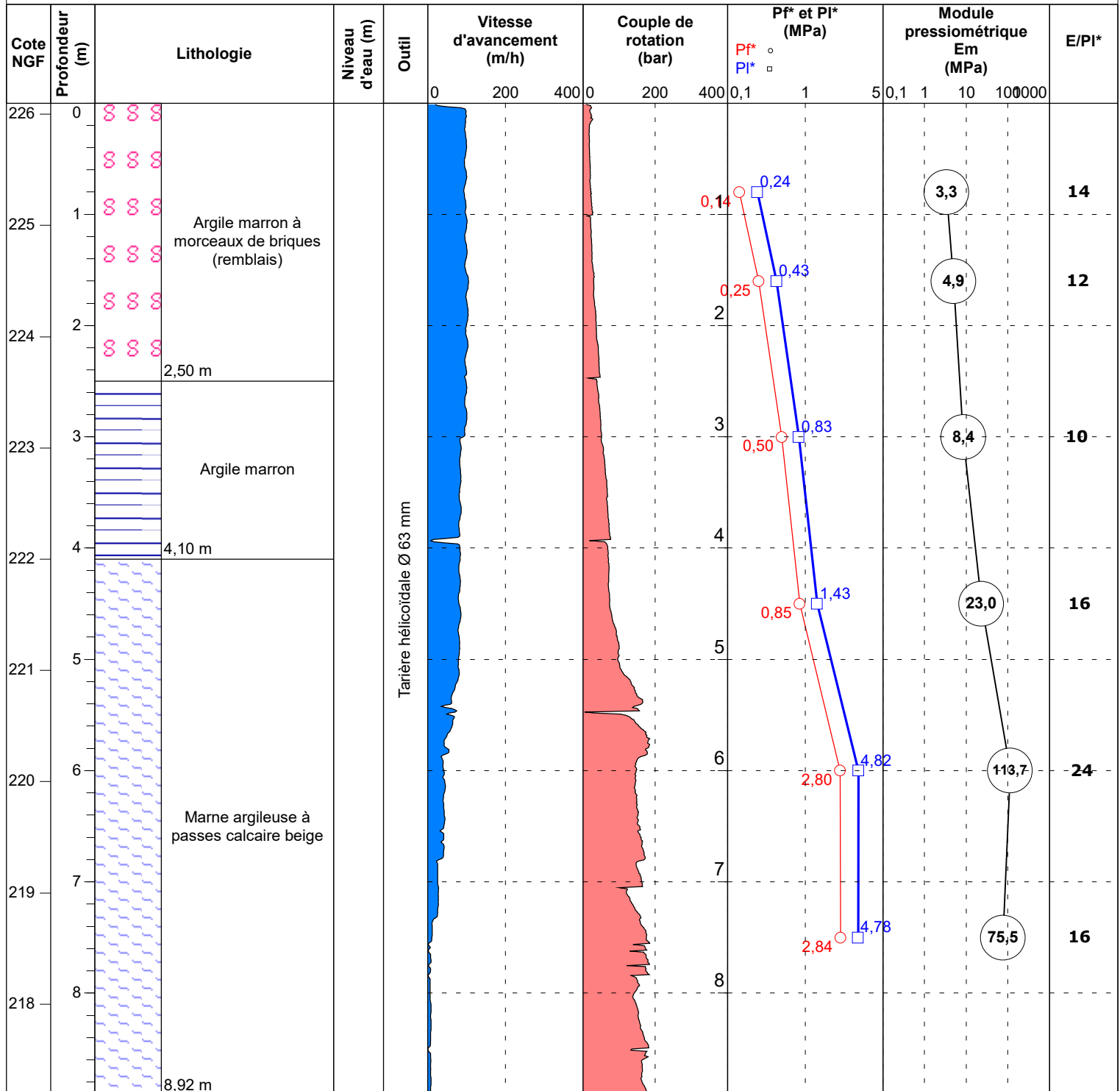
Profondeur : 8,92 m

Cote NGF : 226.10 NGF

Machine : EMCI E 4.50

Remarques : Pas de venue d'eau pendant le forage.

Numéro de dossier : 23.0168



EXGTE 3.23/LB2EPF587FR



Géoterra

Bureau d'études géotechniques

SALERNES (83)

Type: Destructif

Sondage : SD1

Date début : 31/05/2023

Date fin : 31/05/2023

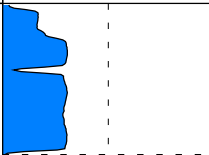
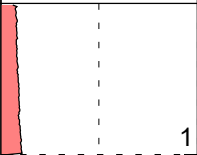
Profondeur : 7,01 m

Cote NGF : 226.50 NGF

Machine : EMCI E 4.50

Remarques : Pas de venue d'eau pendant le forage.

Numéro de dossier : 23.0168

Cote NGF	Profondeur (m)	Lithologie	Niveau d'eau (m)	Outil	Vitesse d'avancement (m/h)	Couple de rotation (bar)	Pf* et PI* (MPa)			Module pressiométrique Em (MPa)				E/PI*
					0 200 400	0 200 400	Pf* PI*	0,1 1 5	0,1 1 10 100000					
226	0	Argile marron		Tarière hélicoïdale Ø 63 mm			0,1 1 5	0,1 1 10 100000						
	1												1	
225	2												2	
224	3												3	
223	4	Argile marneuse compacte					4	0,1 1 5	0,1 1 10 100000					
222	5						5							
221	6						6							
220	7						7							

EXGTE 3.23/LB2EPF587FR



Géoterra

Bureau d'études géotechniques

SALERNES (83)

Type: Destructif

Sondage : SD2

Date début : 30/05/2023

Date fin : 30/05/2023

Profondeur : 7,00 m

Cote NGF : 226.70 NGF

Machine : EMCI E 4.50

Remarques : Pas de venue d'eau pendant le forage.

Numéro de dossier : 23.0168

Cote NGF	Profondeur (m)	Lithologie	Niveau d'eau (m)	Outil	Vitesse d'avancement (m/h)	Couple de rotation (bar)	Pf* et PI* (MPa)			Module pressiométrique Em (MPa)				E/PI*
							Pf* PI*							
	0				0 200 400	0 200 400	0,1 1 5	0,1 1 10 100000						
226	1	Argile marron		Tarière hélicoïdale Ø 63 mm			1							
225	2						2							
224	3						3							
223	4	Marne argileuse beige					4							
222	5						5							
221	6						6							
220	7						7							

EXGTE 3.23/LB2EPF587FR



Géoterrria

Bureau d'études géotechniques

CHANTIER : Avenue Victor Hugo - SALERNES (83)

CLIENT : SAIEM

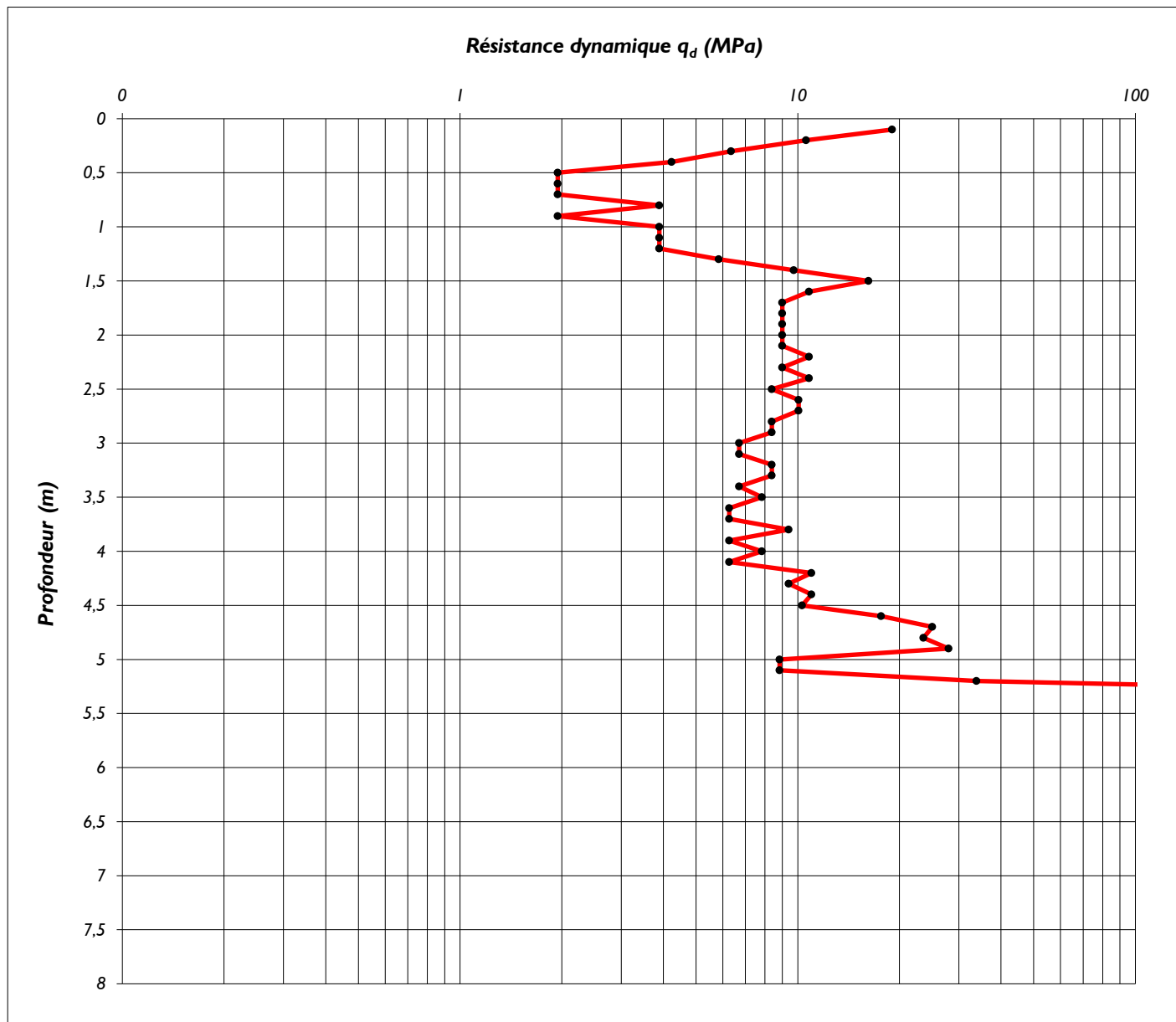
SONDAGE : PI

DATE : 01/06/2023

PROFONDEUR : 5,3 m

Cote NGF : 221.55

SONDAGE AU PÉNÉTROMÈTRE DYNAMIQUE



PAGANI TG 63/100

Profondeur de la nappe :

Indeterminée

Masse du mouton	64 kg
Hauteur de chute	0,75 m
Masse équipement mobile	2,2 kg
Longueur tige	1 m
Masse tige	6,35 kg
Section pointe	20 cm ²

Contexte géologique : Argile (Sparnacien à Montien)

Observations:

Refus



Arrêt volontaire





Géoterrria

Bureau d'études géotechniques

CHANTIER : Avenue Victor Hugo - SALERNES (83)

CLIENT : SAIEM

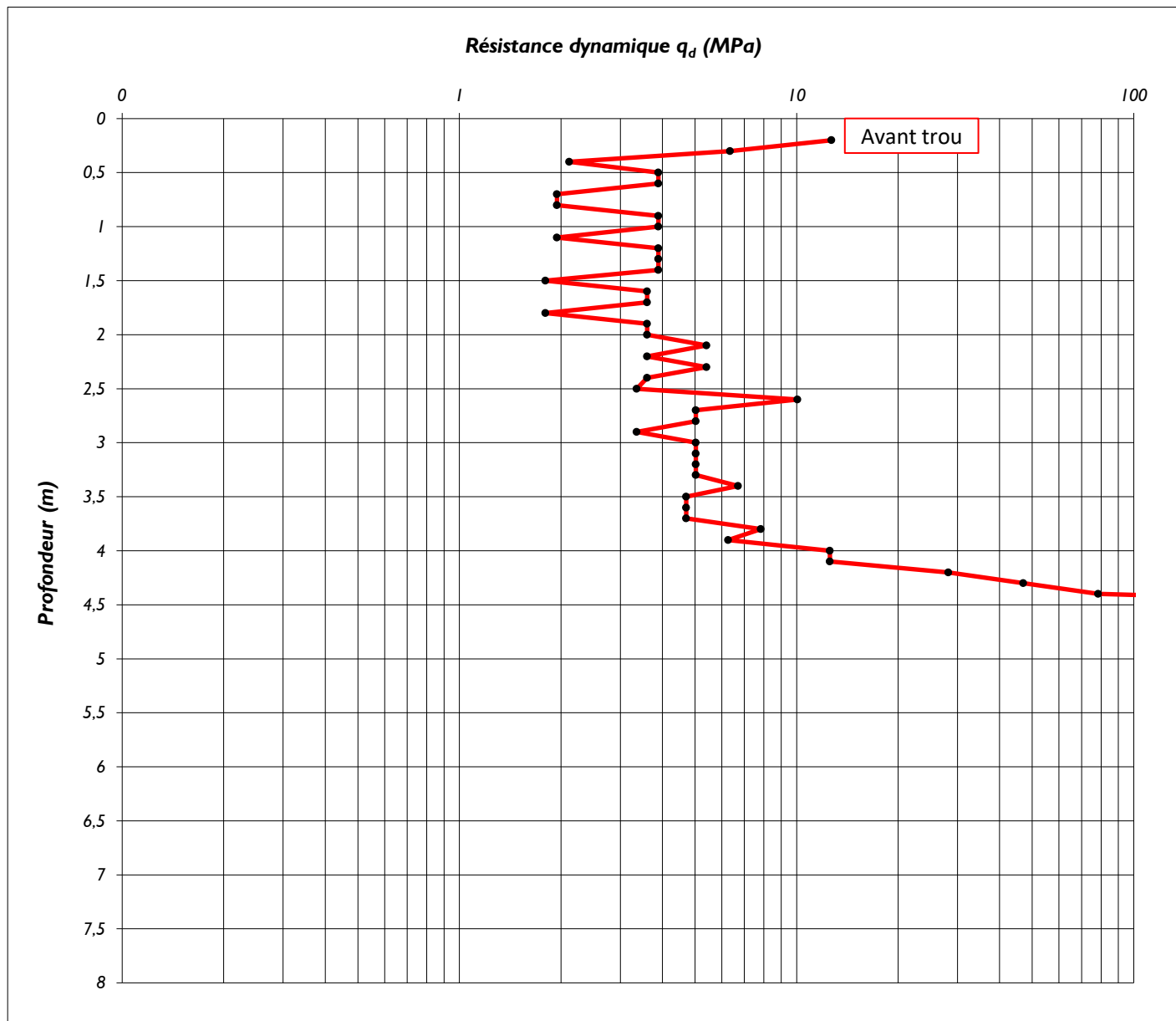
SONDAGE : P2

DATE : 01/06/2023

PROFONDEUR : 4,4 m

Cote NGF : 221.55

SONDAGE AU PÉNÉTROMÈTRE DYNAMIQUE



PAGANI TG 63/100

Profondeur de la nappe :

Indeterminée

Masse du mouton	64 kg
Hauteur de chute	0,75 m
Masse équipement mobile	2,2 kg
Longueur tige	1 m
Masse tige	6,35 kg
Section pointe	20 cm ²

Contexte géologique : Argile (Sparnacien à Montien)

Observations:

Refus



Arrêt volontaire





Géoterrria

Bureau d'études géotechniques

CHANTIER : Avenue Victor Hugo - SALERNES (83)

CLIENT : SAIEM

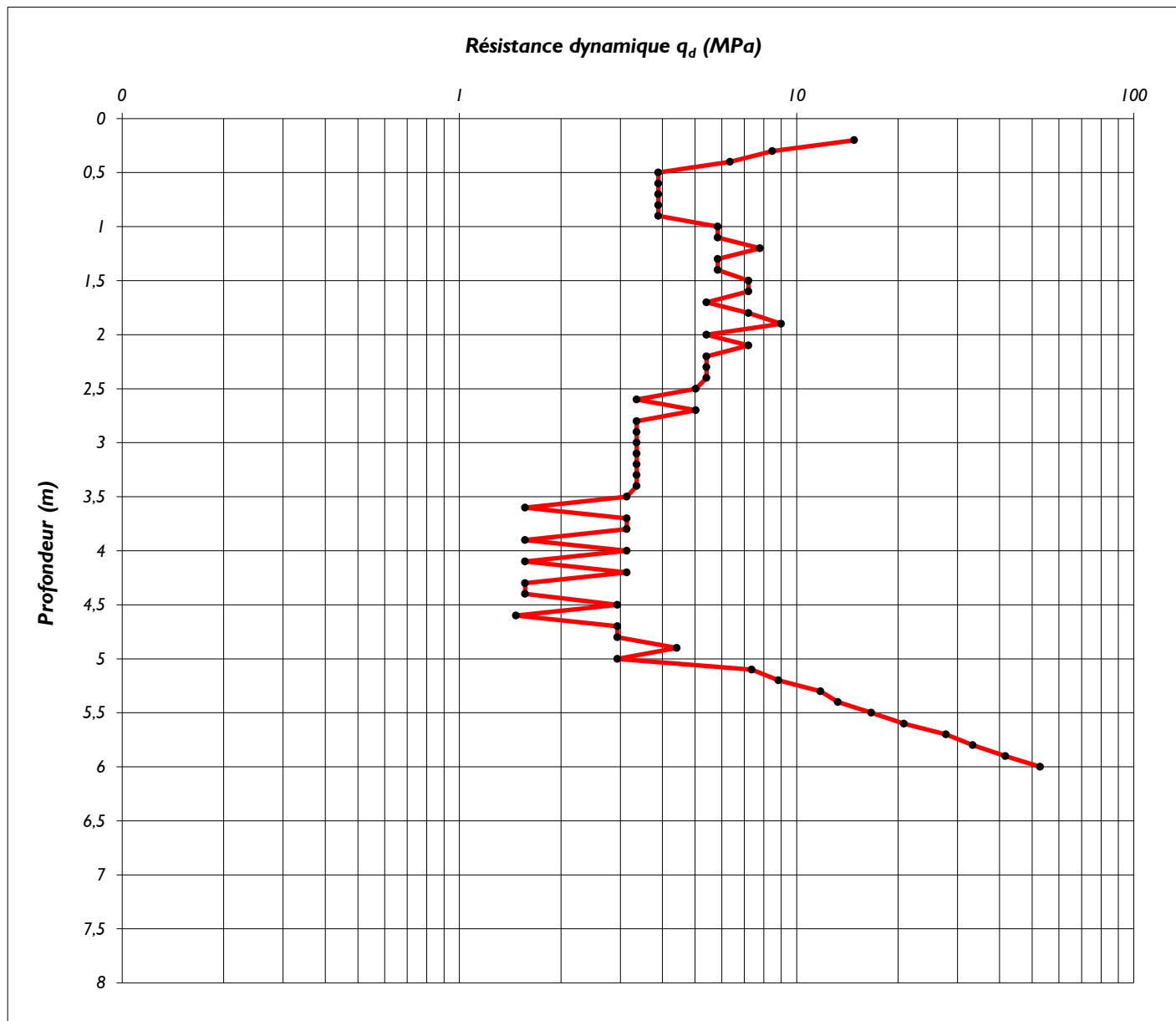
SONDAGE : P3

DATE : 01/06/2023

PROFONDEUR : 6 m

Cote NGF : 221.55

SONDAGE AU PÉNÉTROMÈTRE DYNAMIQUE



PAGANI TG 63/100

Profondeur de la nappe :

Indeterminée

Masse du mouton	64 kg
Hauteur de chute	0,75 m
Masse équipement mobile	2,2 kg
Longueur tige	1 m
Masse tige	6,35 kg
Section pointe	20 cm ²

Contexte géologique : Argile (Sparnacien à Montien)

Observations:

Refus



Arrêt volontaire





Géoterrria

Bureau d'études géotechniques

CHANTIER : Avenue Victor Hugo - SALERNES (83)

CLIENT : SAIEM

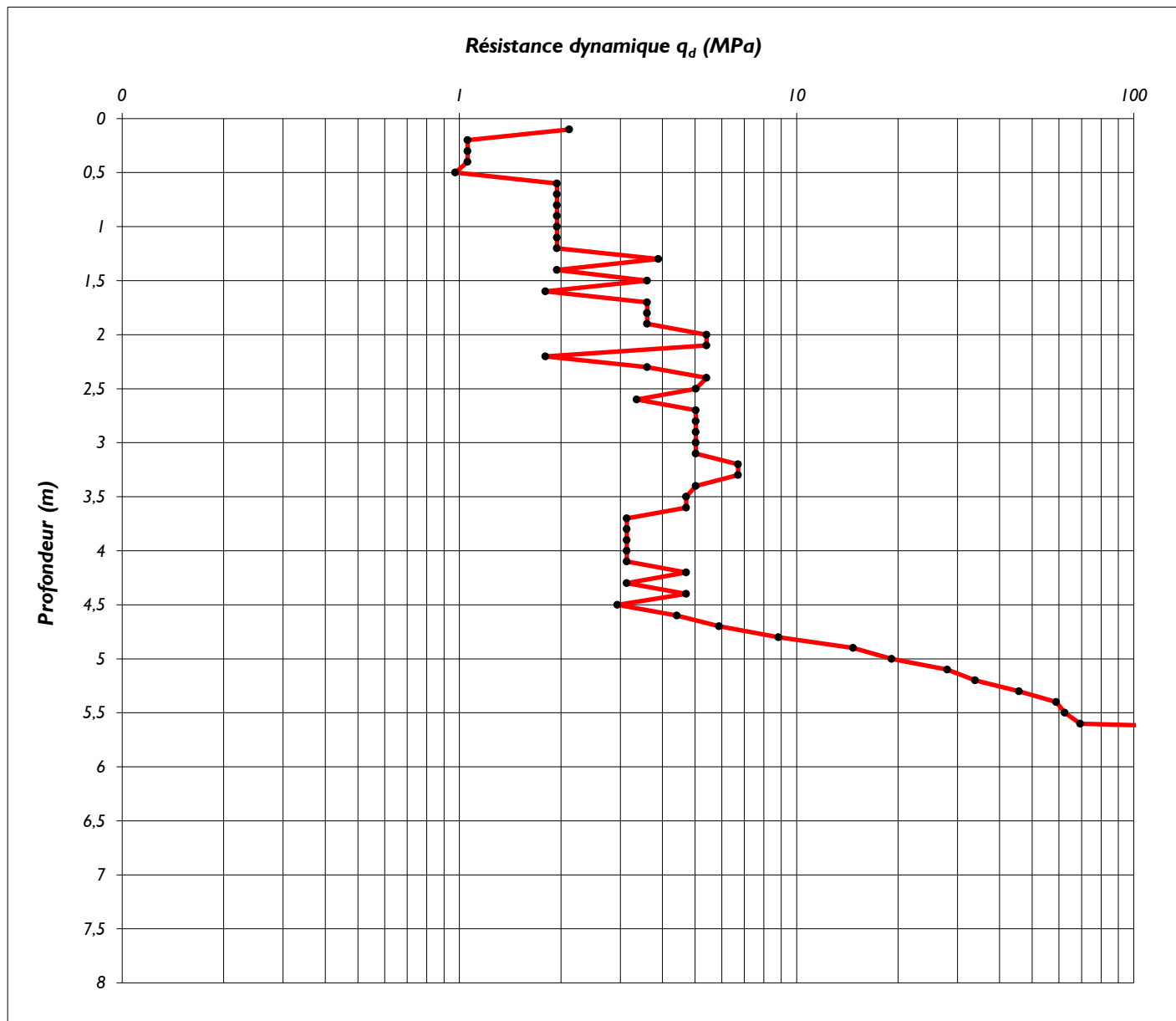
SONDAGE : P4

DATE : 01/06/2023

PROFONDEUR : 5,6 m

Cote NGF : 226.55

SONDAGE AU PÉNÉTROMÈTRE DYNAMIQUE



PAGANI TG 63/100

Profondeur de la nappe :

Indeterminée

Masse du mouton	64 kg
Hauteur de chute	0,75 m
Masse équipement mobile	2,2 kg
Longueur tige	1 m
Masse tige	6,35 kg
Section pointe	20 cm ²

Contexte géologique : Argile (Sparnacien à Montien)

Observations:

Refus



Arrêt volontaire





Géoterra

Bureau d'études géotechniques

CHANTIER : Avenue Victor Hugo - SALERNES (83)

CLIENT : SAIEM

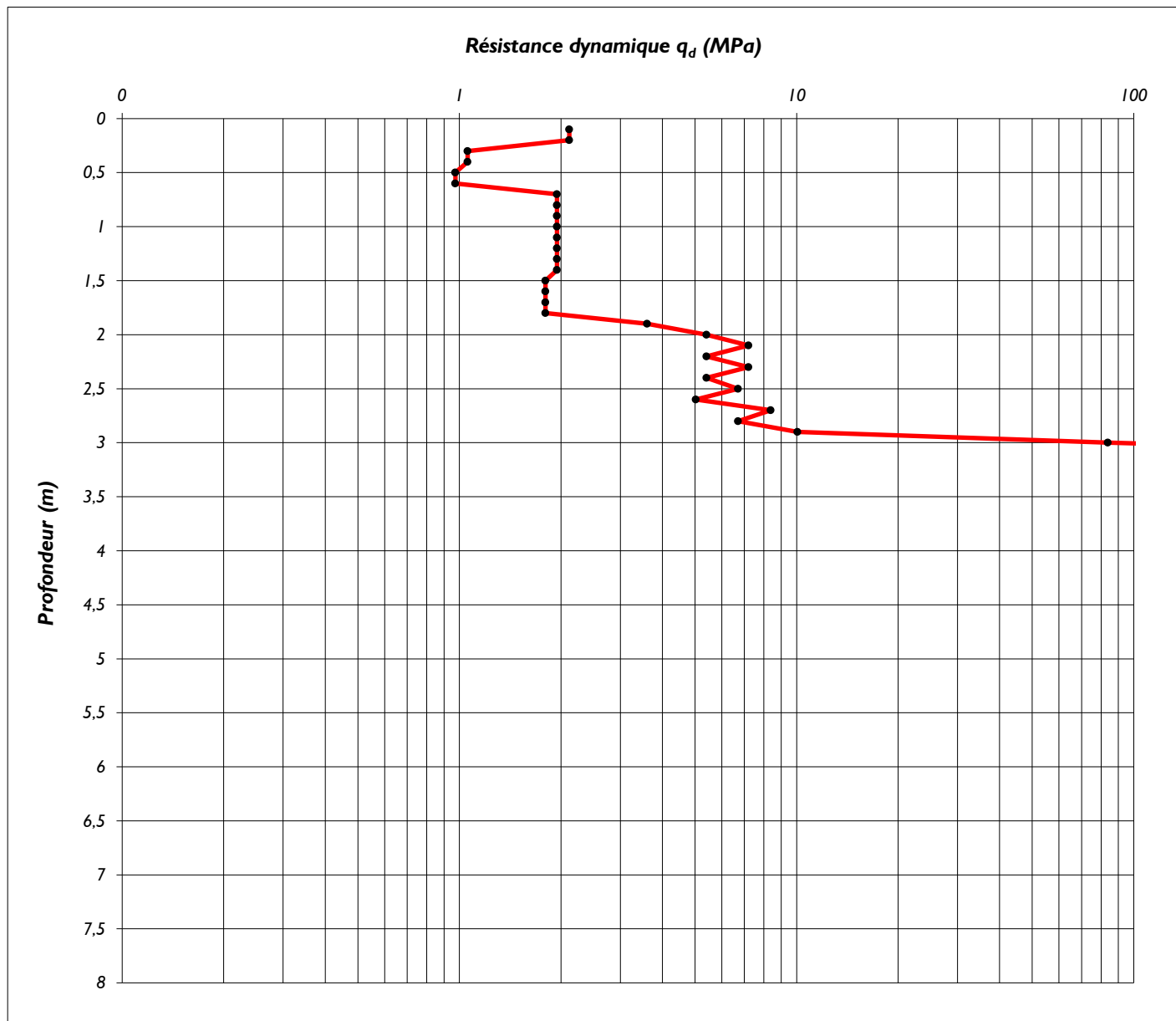
SONDAGE : P5

DATE : 01/06/2023

PROFONDEUR : 3 m

Cote NGF : 228.50

SONDAGE AU PÉNÉTROMÈTRE DYNAMIQUE



PAGANI TG 63/100

Profondeur de la nappe :

Indeterminée

Masse du mouton	64 kg
Hauteur de chute	0,75 m
Masse équipement mobile	2,2 kg
Longueur tige	1 m
Masse tige	6,35 kg
Section pointe	20 cm ²

Contexte géologique : Argile (Sparnacien à Montien)

Observations:

Refus



Arrêt volontaire





Géoterrria

Bureau d'études géotechniques

CHANTIER : Avenue Victor Hugo - SALERNES (83)

CLIENT : SAIEM

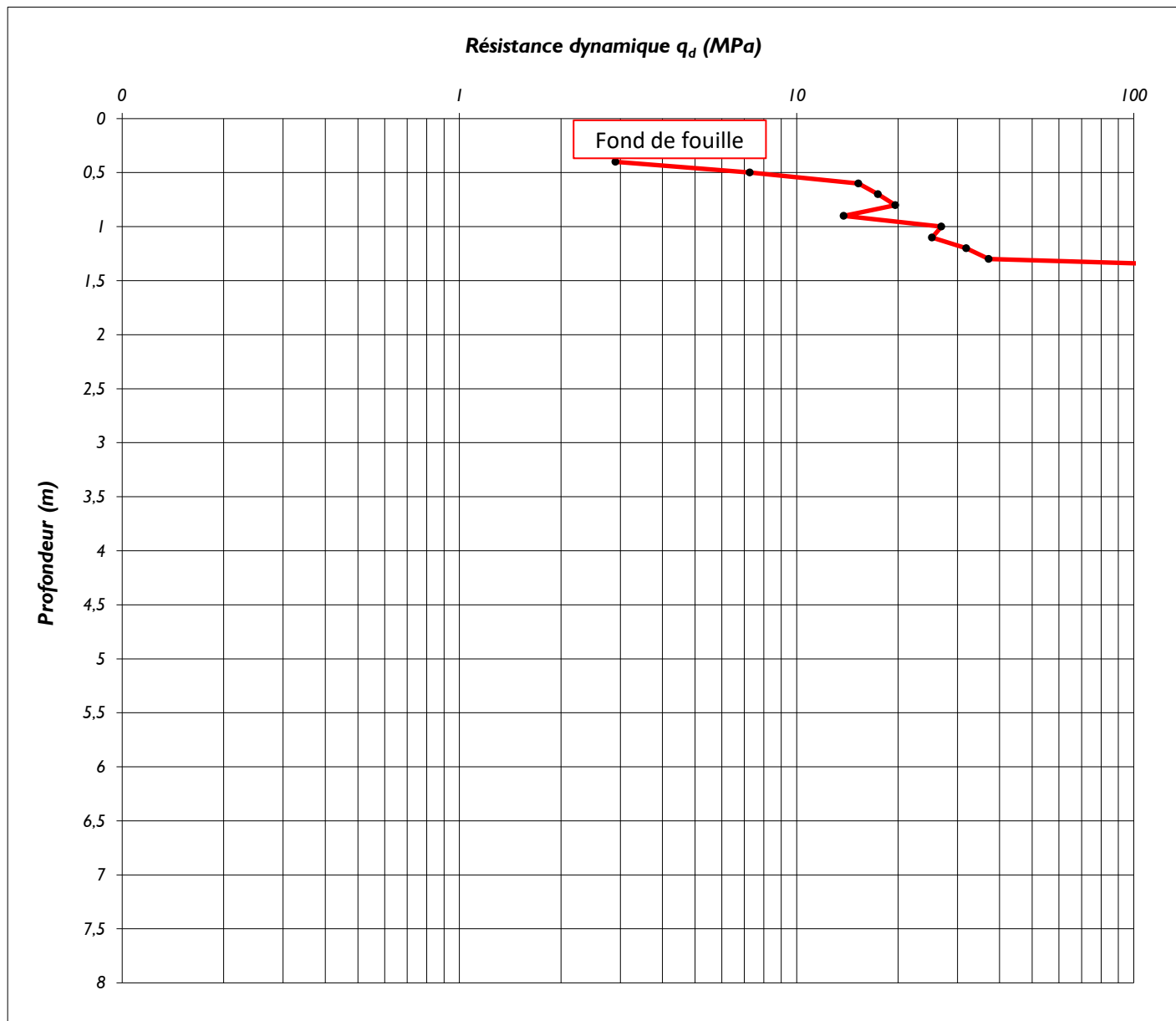
SONDAGE : P6

DATE : 21/06/2023

PROFONDEUR : 1,4 m

Cote NGF : 225.75

SONDAGE AU PÉNÉTROMÈTRE DYNAMIQUE



Pénétromètre léger 21 kg/50 cm

Profondeur de la nappe :

Indeterminée

Masse du mouton	21 kg
Hauteur de chute	0,5 m
Masse équipement mobile	6,43 kg
Longueur tige	1 m
Masse tige	2,9 kg
Section pointe	10 cm ²

Contexte géologique : Argile (Sparnacien à Montien)

Observations:

Refus



Arrêt volontaire





Géoterra

Bureau d'études géotechniques

CHANTIER : Avenue Victor Hugo - SALERNES (83)

CLIENT : SAIEM

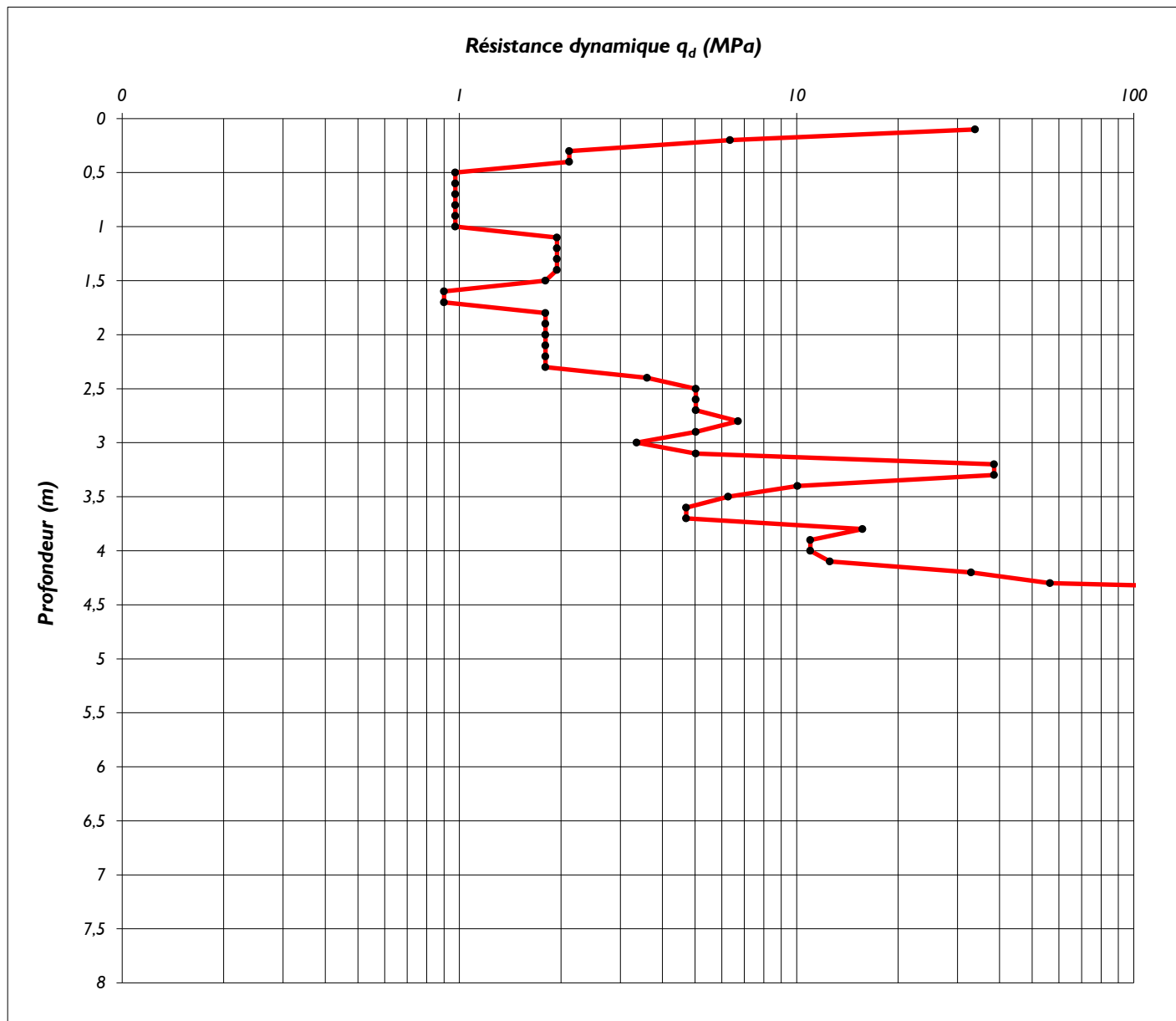
SONDAGE : P7

DATE : 01/06/2023

PROFONDEUR : 4,4 m

Cote NGF : 228.15

SONDAGE AU PÉNÉTROMÈTRE DYNAMIQUE



PAGANI TG 63/100

Profondeur de la nappe :

Indeterminée

Masse du mouton	64 kg
Hauteur de chute	0,75 m
Masse équipement mobile	2,2 kg
Longueur tige	1 m
Masse tige	6,35 kg
Section pointe	20 cm ²

Contexte géologique : Argile (Sparnacien à Montien)

Observations:

Refus



Arrêt volontaire



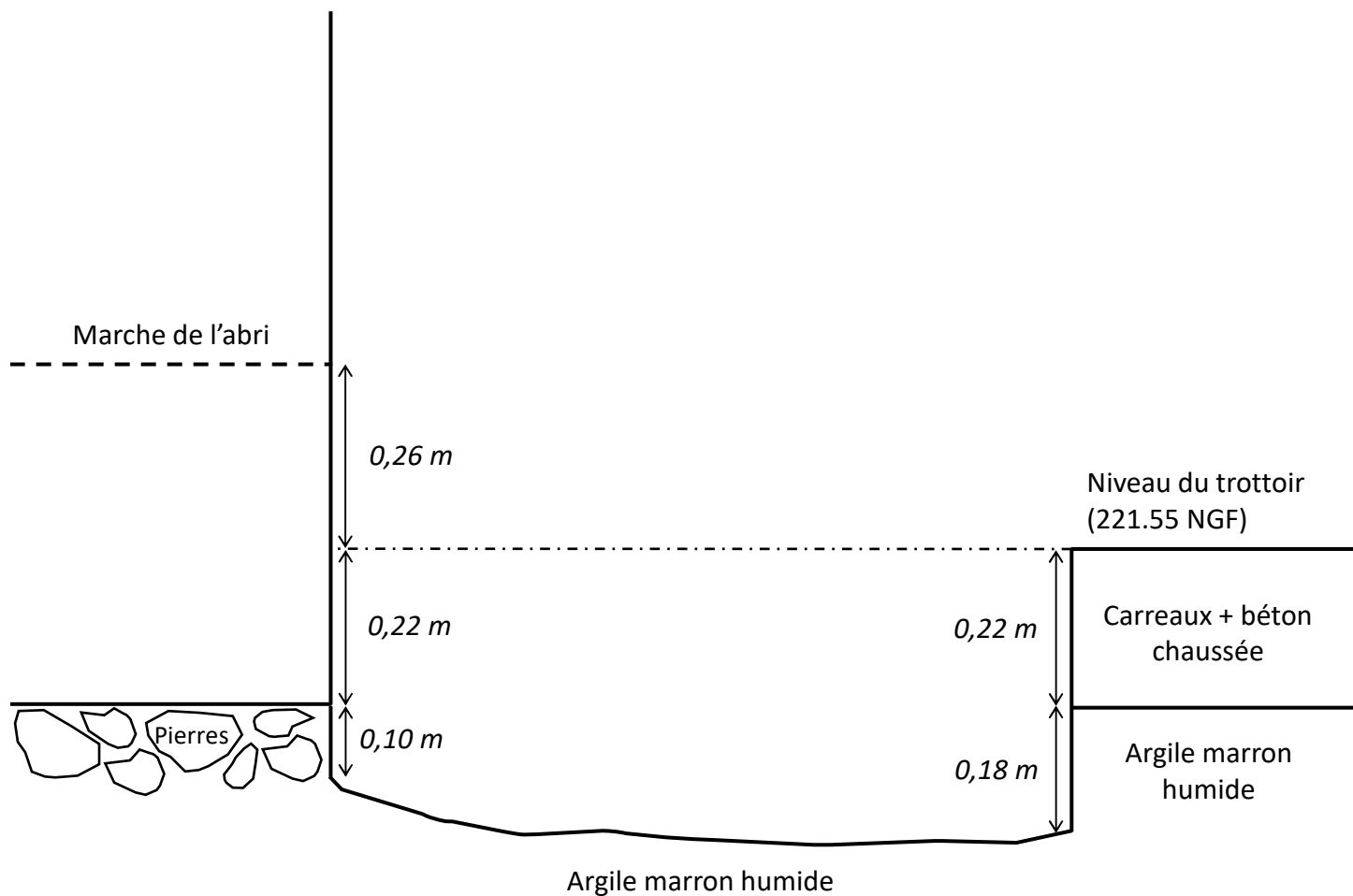
Commune de SALERNES (83)
Avenue Victor Hugo

Demandeur : SAIEM

**Diagnostic géotechnique G5 de l'ancienne École de
garçons de Salernes**

*Coupe schématique au 1/10^{ème} de la fouille de reconnaissance de
fondation RFI*

Mur de soutènement



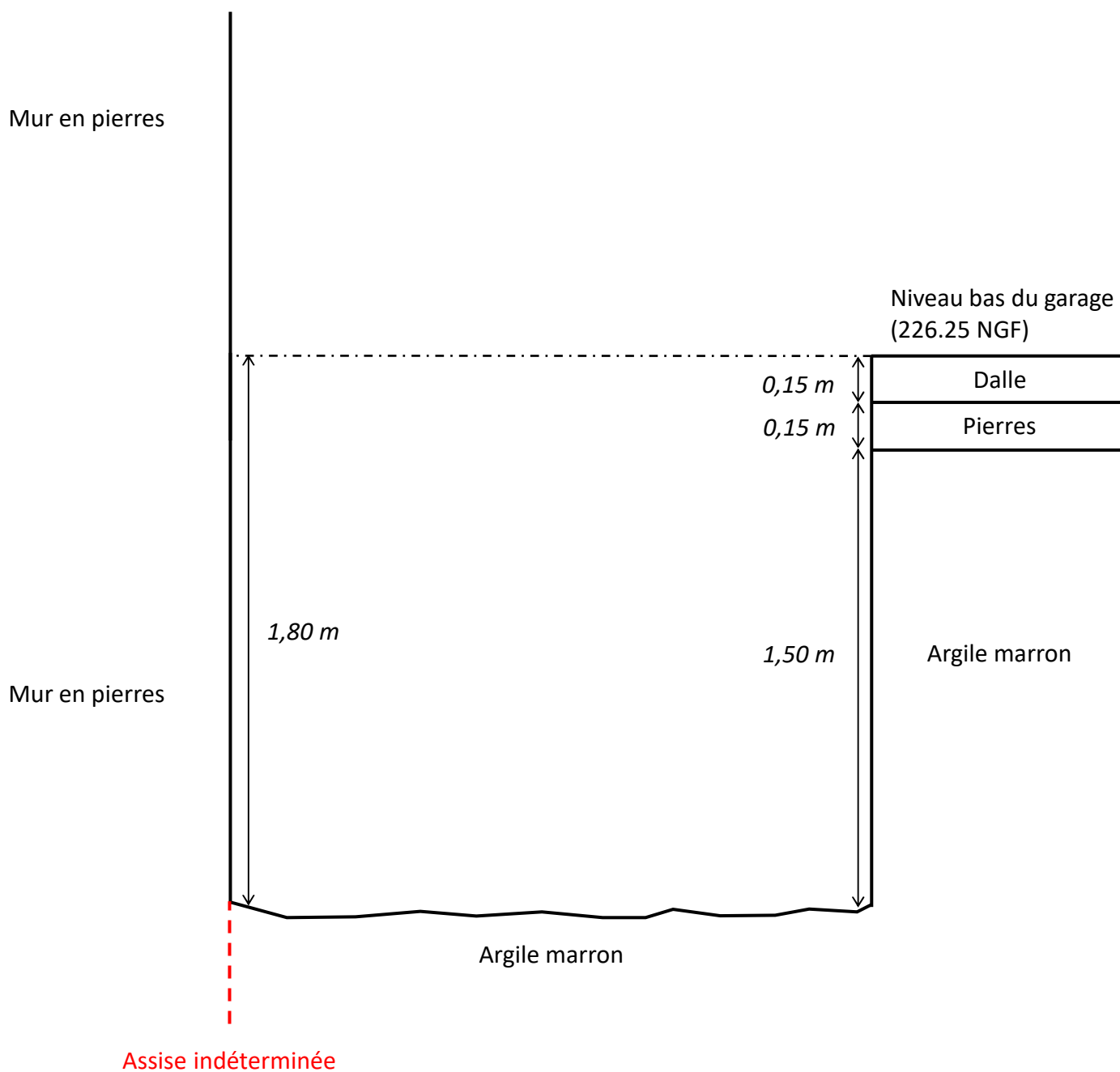
Commune de SALERNES (83)
Avenue Victor Hugo

Demandeur : SAIEM

**Diagnostic géotechnique G5 de l'ancienne École de
garçons de Salernes**

*Coupe schématique au 1/20^{ème} de la fouille de reconnaissance de
fondation RF2*

Mur mitoyen garage



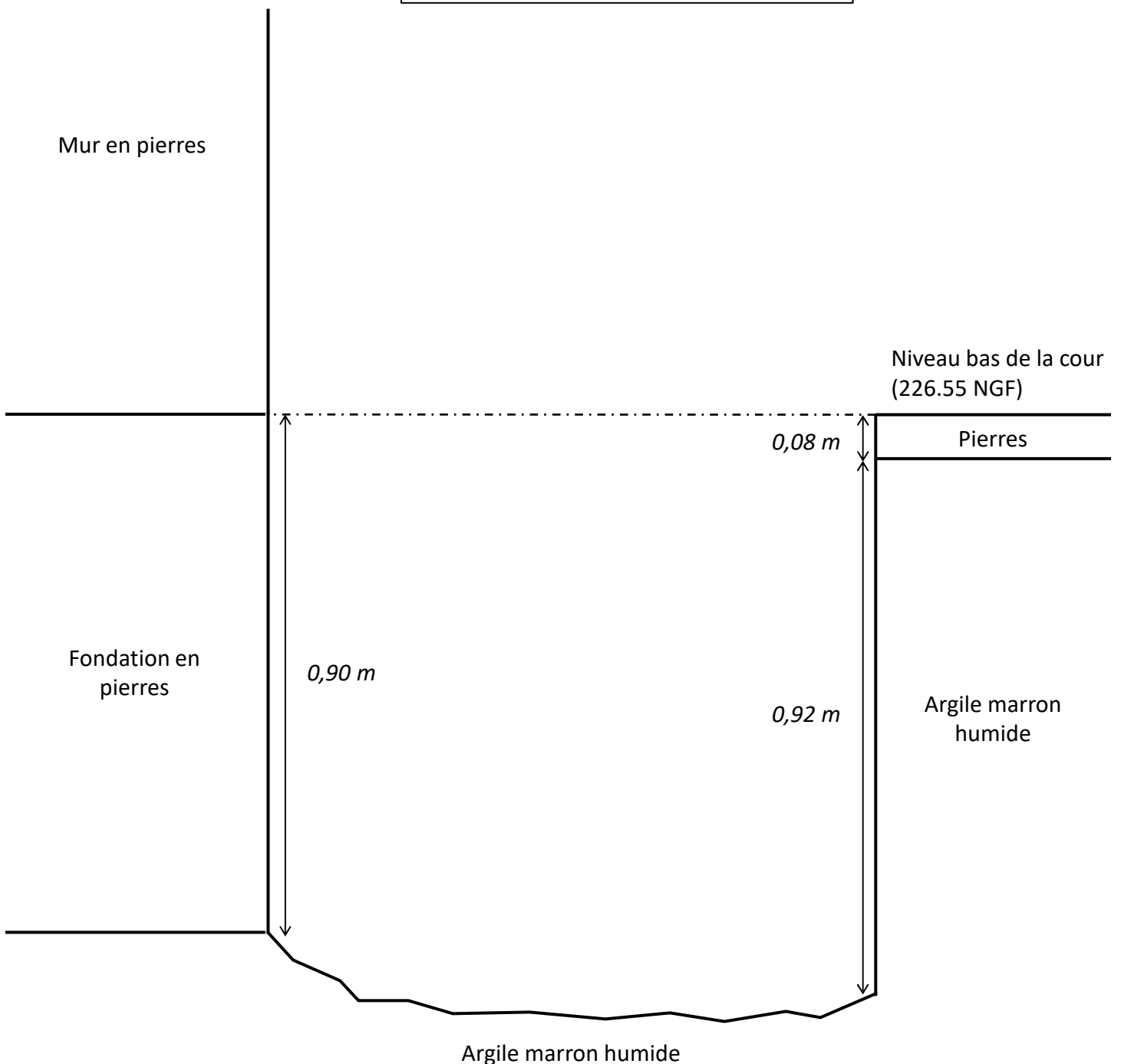
Commune de SALERNES (83)
Avenue Victor Hugo

Demandeur : SAIEM

**Diagnostic géotechnique G5 de l'ancienne École de
garçons de Salernes**

*Coupe schématique au 1/10^{ème} de la fouille de reconnaissance de
fondation RF3*

Bâtiment principal côté cour



Commune de SALERNES (83)
Avenue Victor Hugo

Demandeur : SAIEM

**Diagnostic géotechnique G5 de l'ancienne École de
garçons de Salernes**

*Coupe schématique au 1/20^{ème} de la fouille de reconnaissance de
fondation RF4*

Bâtiment principal côté Ouest

Mur en pierres

Niveau bas extérieur
(228.50 NGF)

0,02 m

Bitume

0,75 m

1,68 m

Remblais argileux
marron humide

Fondation en
pierres

0,95 m

Remblais argileux marron humide

Assise indéterminée

Commune de SALERNES (83)
Avenue Victor Hugo

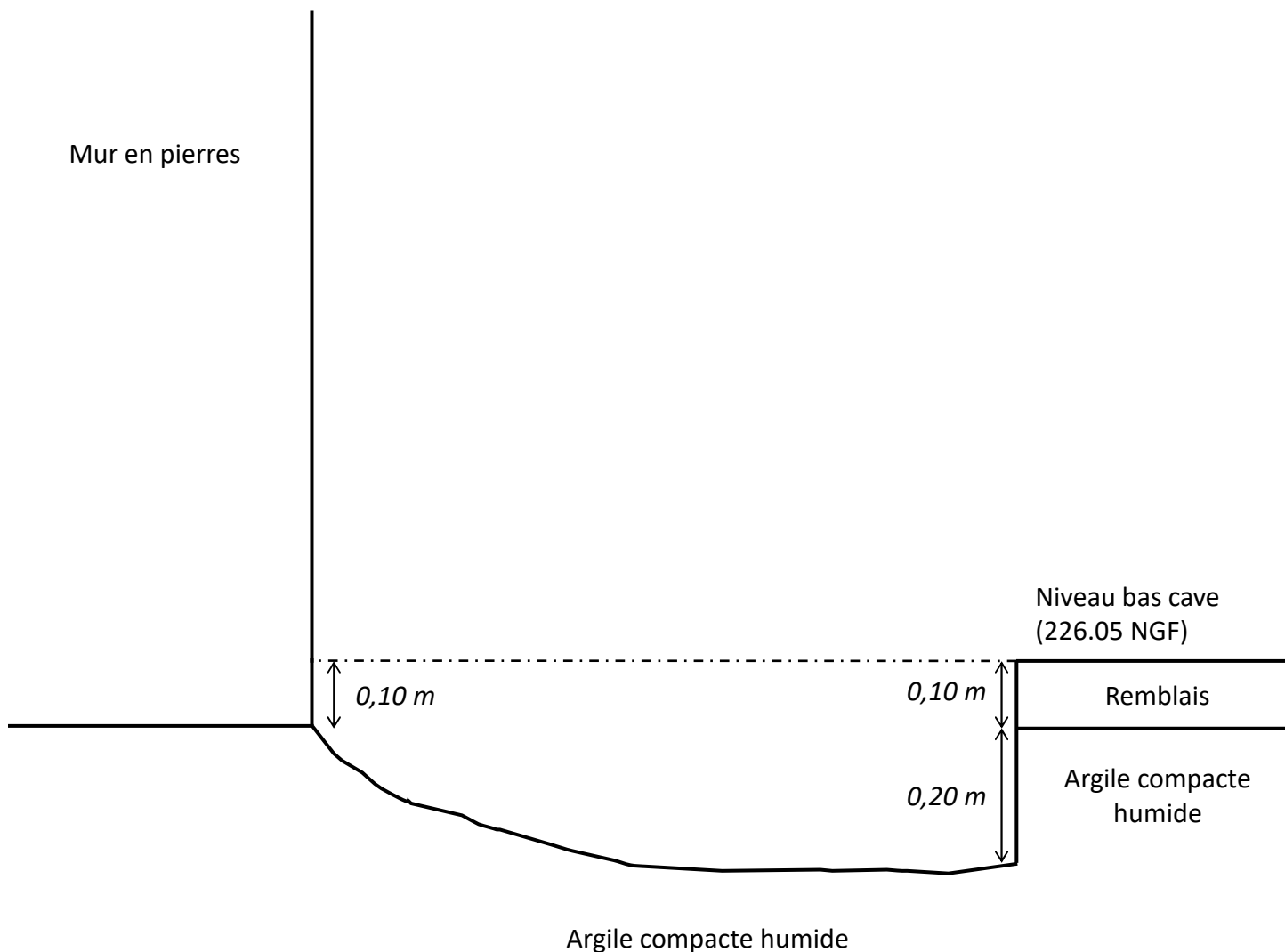
Demandeur : SAIEM

***Diagnostic géotechnique G5 de l'ancienne École de
garçons de Salernes***

*Coupe schématique au 1/10^{ème} de la fouille de reconnaissance de
fondation RF5*

Bâtiment principal cave

Mur en pierres



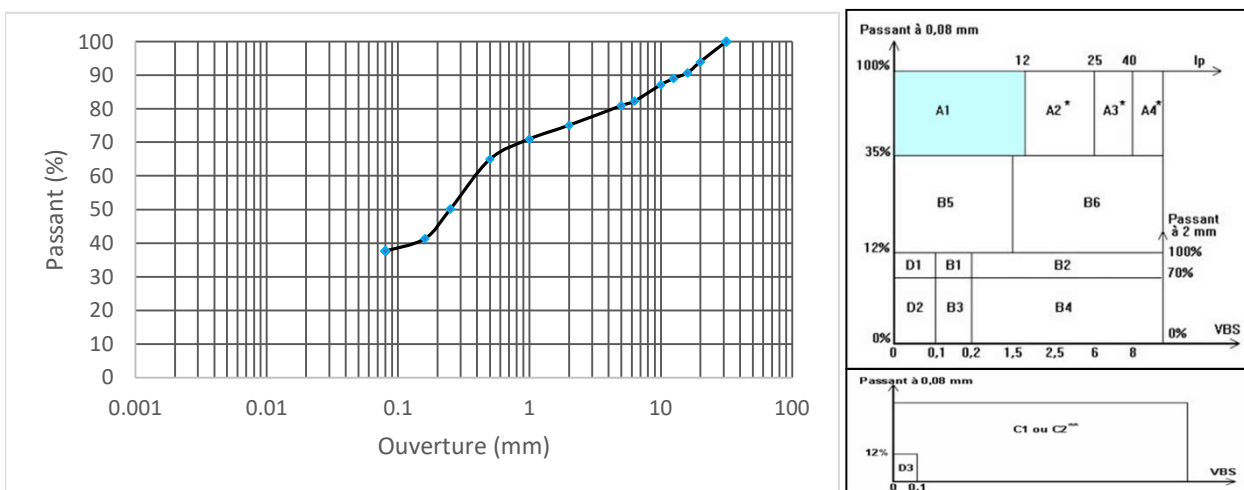
Classification des matériaux

Norme NF P 11-300

Dossier :	A23.0168	Sondage :	RF1
Affaire :	Salernes	Profondeur (m) :	NC
Chargé d'Affaire :	Thibaut Drumez	Date prélèvement :	30/05/2023
Demandeur/Client :	NC	Date essais :	18/06/2023
		Nature :	Argile limoneuse (Remblai ?)

Observations: Réagit au HCl

PARAMETRES DU MATERIAU



Granularité	Dmax (mm)	Analyse granulométrique - NF P94-056 et NF P94-057				
		Tamis (mm)	50	2 (sur 0/50)	0,08 (sur 0/50)	0,002 (sur 0/50)
	31.5	Passant (%)	100.0	75.1	37.7	

Argilosité	NF P94-051 et NF P94-052-1			NFP90-060-1	NF P94-068
	W _L (%)	W _P (%)	I _P (%)	W _{RE} (%)	VBS (g/100g)
	46	38	8	24	

Etat hydrique	NF P94-050	NF P94-051	NF P94-078	NF P94-093
	W _N	I _c	I _{PI}	W _N /W _{OPN}
	19.7%			

CLASSIFICATION GTR	A1
---------------------------	-----------

Analyse Granulométrique

Normes NF P94-056 et NF P94-057

Dossier :	A23.0168	Sondage :	RF1
Affaire :	Salernes	Profondeur (m) :	NC
Chargé d'Affaire :	Thibaut Drumez	Date prélèvement :	30/05/2023
Demandeur/Client :	NC	Date essais :	18/06/2023
		Nature :	Argile limoneuse (Remblai ?)

Observations:

RESULTATS

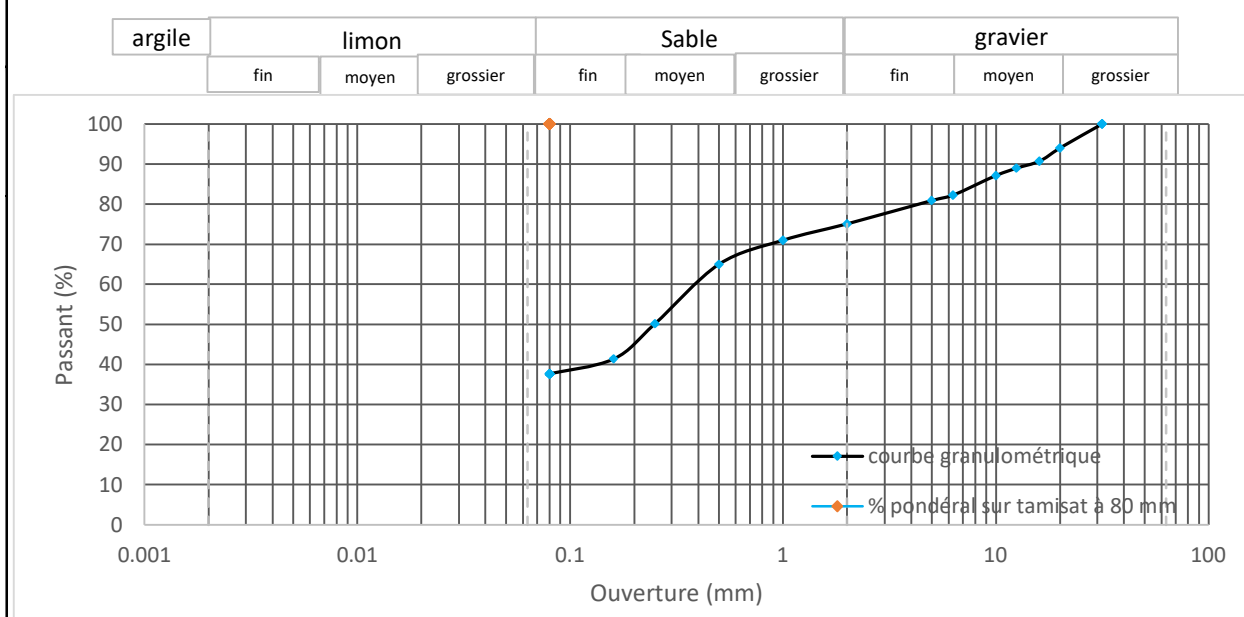
Dm:	31.5	% d'éléments > Dm:	0.0%
-----	------	--------------------	------

Analyse par tamisage - NF P94-056

Tamis (mm)	50	20	10	5	2	1	0.25	0.08
Passant (%)	100.0	94.0	87.1	80.9	75.1	71.0	50.1	37.7

Analyse par sédimentation - NF P94-057

D (μm)								
Passant (%)								



D ₁₀ (mm)	D ₁₅ (mm)	D ₃₀ (mm)	D ₅₀ (mm)	D ₆₀ (mm)
		< 0.08	0.2487	0.4165

C _c	C _u

L'Ingénieur responsable :
APC INGENIERIE
P.A. de la Biliais Deniaud - 3, Rue Albert de Dion
44360 VIGNEUX DE BRETAGNE
Tél. : 02.40.86.80.01
Fax : 02.40.85.29.77

S. TURLE

Limites d'Atterberg

Normes NF P94-051 et NF P94-052-1

Dossier :	A23.0168	Sondage :	RF1
Affaire :	Salernes	Profondeur (m) :	NC
Chargé d'Affaire :	Thibaut Drumez	Date prélevement :	30/05/2023
Demandeur/Client :	NC	Date essais :	18/06/2023
		Nature :	Argile limoneuse (Remblai?)

Observations:

MESURE DE LA LIMITE DE LIQUIDITÉ AU CÔNE (NF P 94-052-1)

Mesures	1	2	3	4	5
Enfoncement (mm)	24.6	22.4	19.7	15.9	
Teneur en eau (%)	51.9	49.8	48.4	44.9	

MESURE DE LA LIMITE DE PLASTICITE (NF P 94-051)

Mesures	1	2	3	moyenne
Teneur en eau (%)	38.7	37.6		38.1

LIMITE DE LIQUIDITÉ AU CÔNE

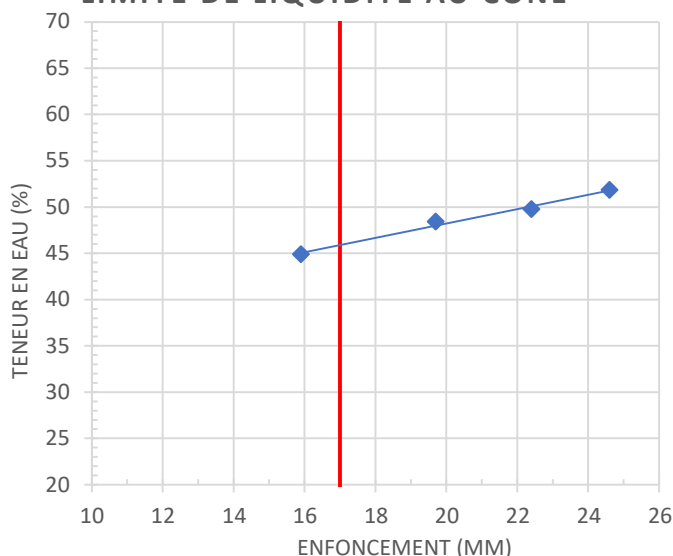
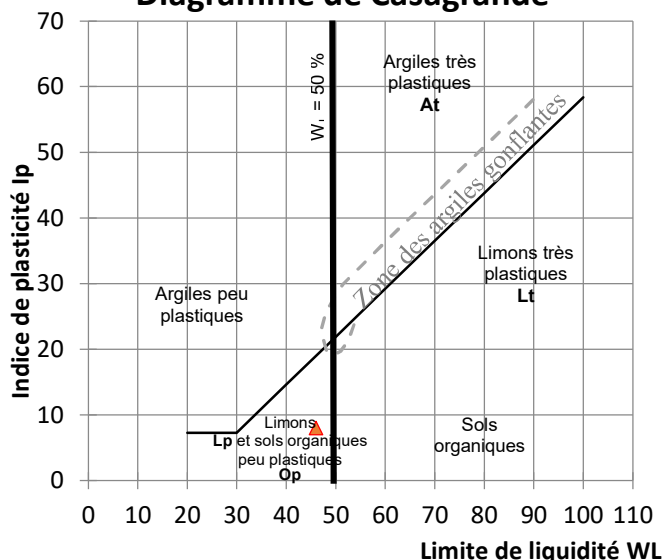


Diagramme de Casagrande



RÉSULTATS

Teneur en eau équivalente $w_{<0,4}$	27.0%
Limite de liquidité w_L	46
Limite de plasticité w_p	38
Indice de plasticité I_p	8
Indice de liquidité I_L	-1.4
Indice de consistance I_C	2.38

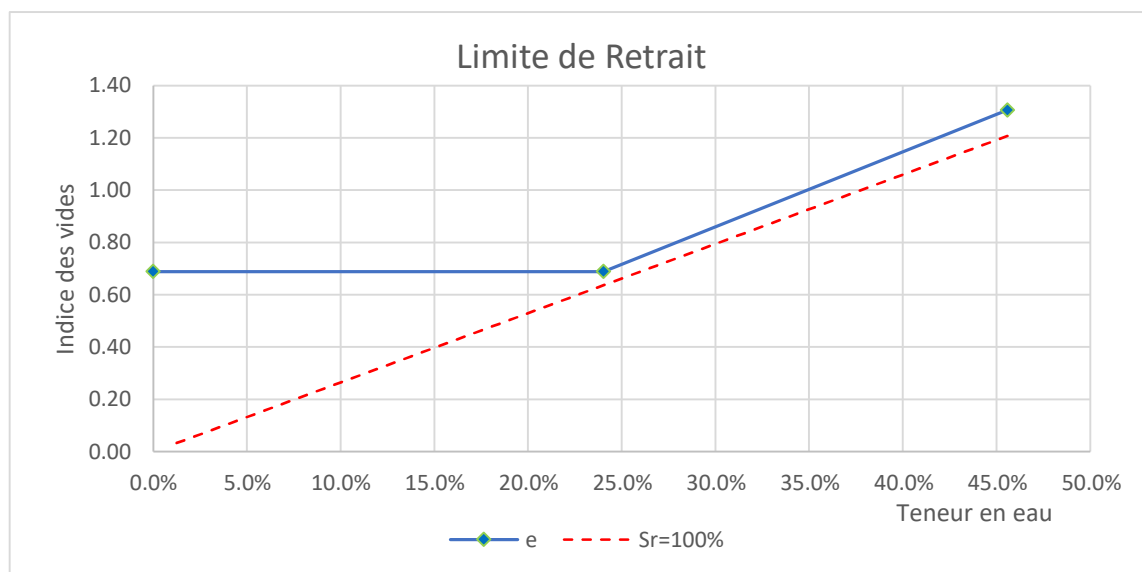
L'Ingénieur responsable :
APC INGENIERIE
 P.A. de la Biliais Deniaud - 3, Rue Albert de Dion
 44360 VIGNEUX DE BRETAGNE
 Tél. : 02.40.86.80.01
 Fax : 02.40.85.29.77
 S. TURLE

Determination de la Limite de Retrait

Selon la norme NF P 90-060-1

Dossier :	A23.0168	Sondage :	RF1
Affaire :	Salernes	Profondeur (m) :	NC
Chargé d'Affaire :	Thibaut Drumez	Date prélèvement :	30/05/2023
Demandeur/Client :	NC	Date essais :	18/06/2023
		Nature :	Argile limoneuse (Remblai ?)

PARAMETRES		
	initiaux	finaux
Volume V:	84.9	62.1
Teneur en eau W:	45.6%	0.0%
masse volumique sèche γ_d :	1.15	1.57
indice des vides e:	1.31	0.69
masse volumique des grains γ_s :	2.65	t/m3
		(estimée)



RESULTATS

Limite de Retrait W_{RE}

24%

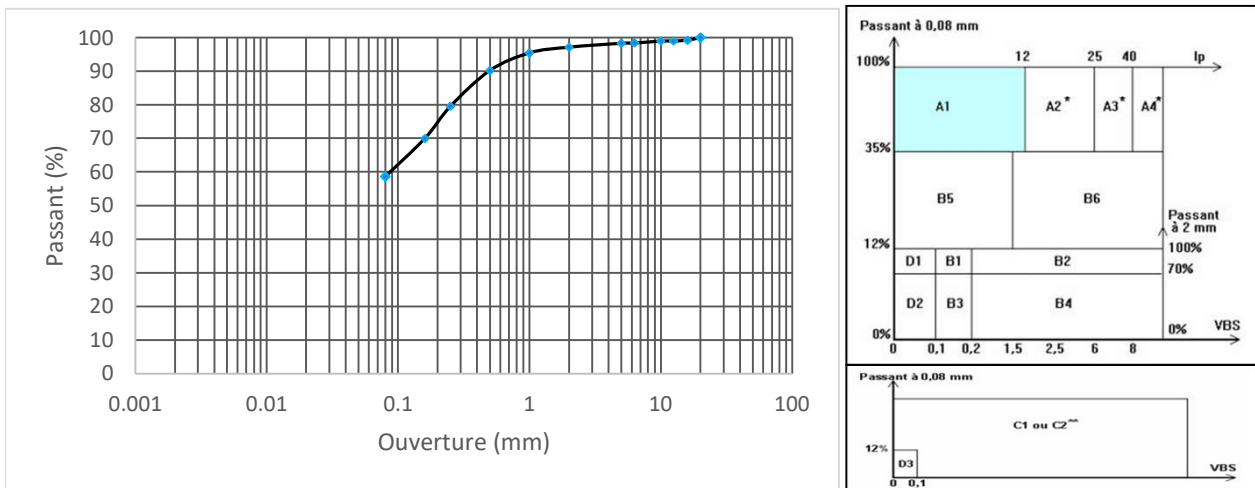
Classification des matériaux

Norme NF P 11-300

Dossier :	A23.0168	Sondage :	RF3
Affaire :	Salernes	Profondeur (m) :	NC
Chargé d'Affaire :	Thibaut Drumez	Date prélèvement :	30/05/2023
Demandeur/Client :	NC	Date essais :	18/06/2023
		Nature :	Argile limoneuse

Observations: Réagit au HCl

PARAMETRES DU MATERIAU



Granularité	Dmax (mm)	Analyse granulométrique - NF P94-056 et NF P94-057				
		Tamis (mm)	50	2 (sur 0/50)	0,08 (sur 0/50)	0,002 (sur 0/50)
	20	Passant (%)	100.0	97.1	58.6	

Argilosité	NF P94-051 et NF P94-052-1			NFP90-060-1	NF P94-068
	W _L (%)	W _P (%)	I _p (%)	W _{RE} (%)	VBS (g/100g)
	42	31	11	15	

Etat hydrique	NF P94-050	NF P94-051	NF P94-078	NF P94-093
	W _N	I _c	I _{PI}	W _N /W _{OPN}
	16.1%	2.12		

CLASSIFICATION GTR	A1
---------------------------	-----------

Analyse Granulométrique

Normes NF P94-056 et NF P94-057

Dossier :	A23.0168	Sondage :	RF3
Affaire :	Salernes	Profondeur (m) :	NC
Chargé d'Affaire :	Thibaut Drumez	Date prélèvement :	30/05/2023
Demandeur/Client :	NC	Date essais :	18/06/2023
		Nature :	Argile limoneuse

Observations:

RESULTATS

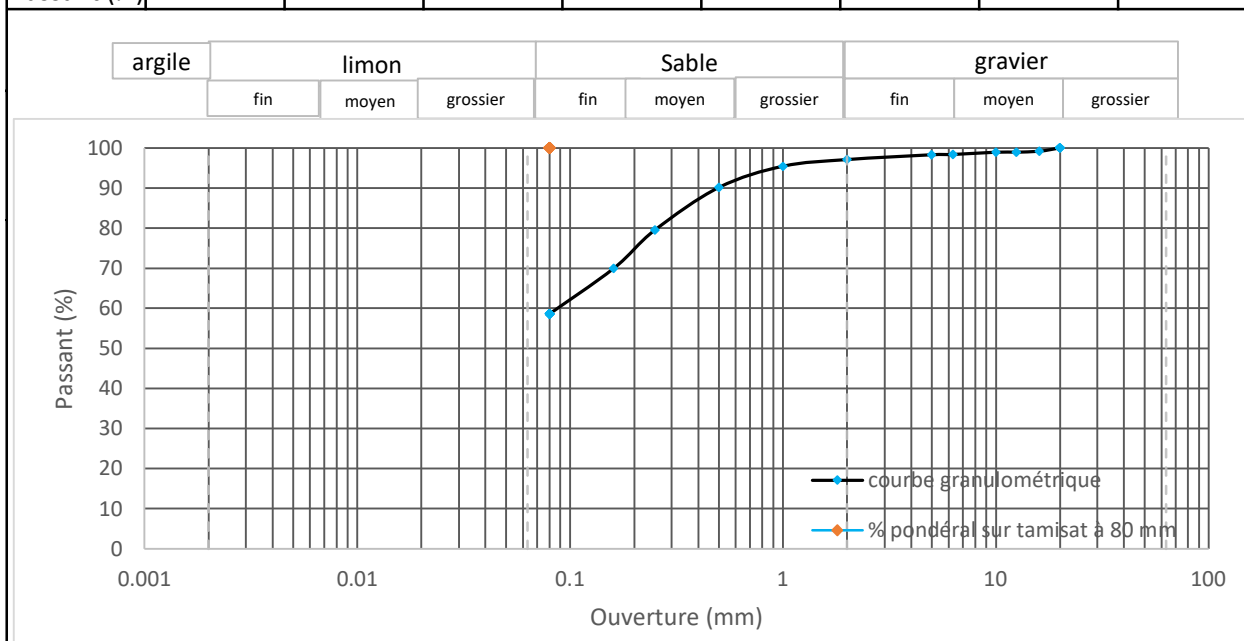
Dm:	20	% d'éléments > Dm:	0.0%
-----	----	--------------------	------

Analyse par tamisage - NF P94-056

Tamis (mm)	50	20	10	5	2	1	0.25	0.08
Passant (%)	100.0	100.0	98.9	98.3	97.1	95.4	79.5	58.6

Analyse par sédimentation - NF P94-057

D (μm)								
Passant (%)								



D ₁₀ (mm)	D ₁₅ (mm)	D ₃₀ (mm)	D ₅₀ (mm)	D ₆₀ (mm)
			< 0.08	0.0898

C _c	C _u

L'Ingénieur responsable :
APC INGENIERIE
P.A. de la Biliais Deniaud - 3, Rue Albert de Dion
44360 VIGNEUX DE BRETAGNE
Tél. : 02.40.86.80.01
Fax : 02.40.85.29.77

S. TURLE

Limites d'Atterberg

Normes NF P94-051 et NF P94-052-1

Dossier :	A23.0168	Sondage :	RF3
Affaire :	Salernes	Profondeur (m) :	NC
Chargé d'Affaire :	Thibaut Drumez	Date prélevement :	30/05/2023
Demandeur/Client :	NC	Date essais :	18/06/2023
		Nature :	Argile limoneuse

Observations:

MESURE DE LA LIMITE DE LIQUIDITÉ AU CÔNE (NF P 94-052-1)

Mesures	1	2	3	4	5
Enfoncement (mm)	24.2	21.6	19.1	17.1	14.9
Teneur en eau (%)	46.3	45.1	43.3	41.7	40.1

MESURE DE LA LIMITE DE PLASTICITE (NF P 94-051)

Mesures	1	2	3	moyenne
Teneur en eau (%)	30.5	31.3		30.9

LIMITE DE LIQUIDITÉ AU CÔNE

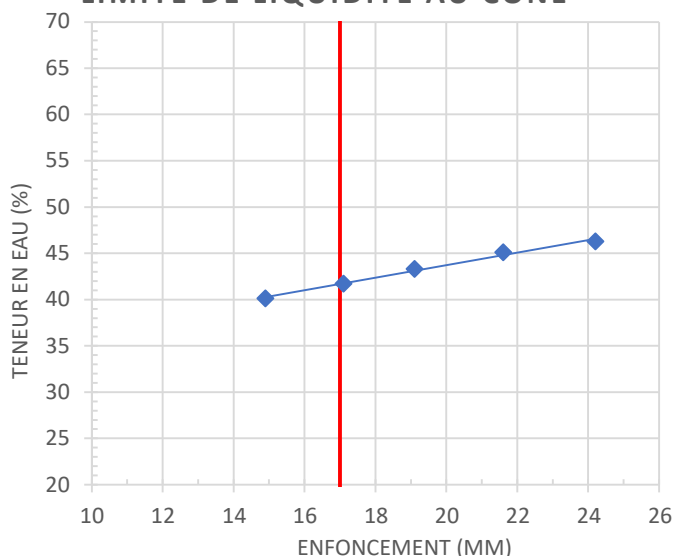
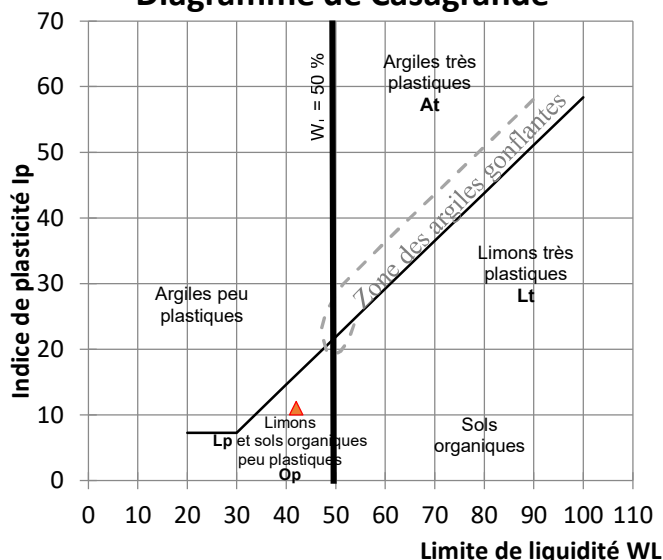


Diagramme de Casagrande



RÉSULTATS

Teneur en eau équivalente $w_{<0,4}$	18.7%
Limite de liquidité w_L	42
Limite de plasticité w_p	31
Indice de plasticité I_p	11
Indice de liquidité I_L	-1.1
Indice de consistance I_c	2.12

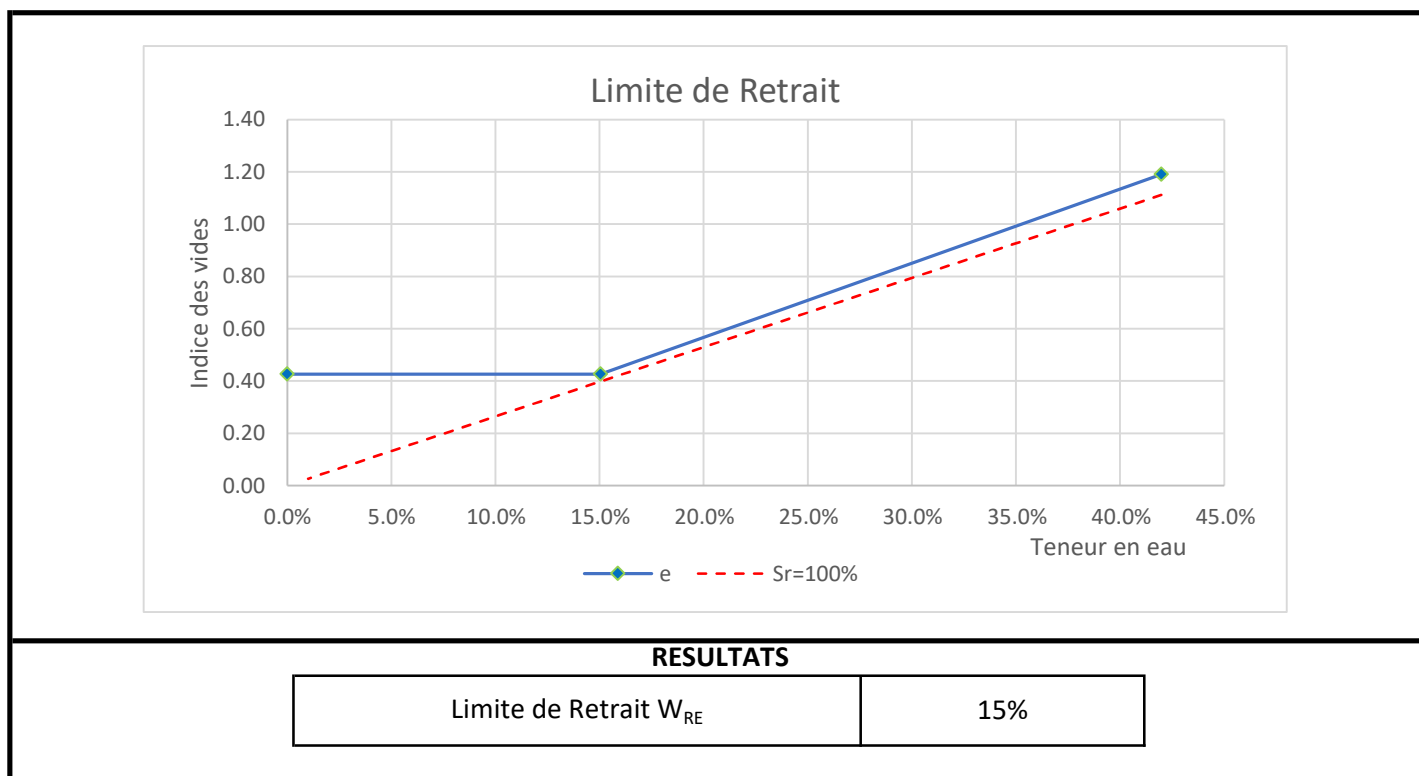
L'Ingénieur responsable :
APC INGENIERIE
P.A. de la Biliais Deniaud - 3, Rue Albert de Dion
44360 VIGNEUX DE BRETAGNE
Tél. : 02.40.86.80.01
Fax : 02.40.85.29.77
 S. TURLE

Determination de la Limite de Retrait

Selon la norme NF P 90-060-1

Dossier :	A23.0168	Sondage :	RF3
Affaire :	Salernes	Profondeur (m) :	NC
Chargé d'Affaire :	Thibault Drumez	Date prélèvement :	30/05/2023
Demandeur/Client :	NC	Date essais :	18/06/2023
		Nature :	Argile limoneuse

PARAMETRES		
	initiaux	finaux
Volume V:	85.2	55.5
Teneur en eau W:	42.0%	0.0%
masse volumique sèche γ_d :	1.21	1.86
indice des vides e:	1.19	0.43
masse volumique des grains γ_s :	2.65	t/m3
		(estimée)



4.2.4 - Tableaux synthétiques

Tableau 1 – Enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique

Enchaînement des missions G1 à G4	Phases de la maîtrise d'œuvre	Mission d'ingénierie géotechnique (GN) et Phase de la mission		Objectifs à atteindre pour les ouvrages géotechniques	Niveau de management des risques géotechniques attendu	Prestations d'investigations géotechniques à réaliser
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	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
	Étude préliminaire, esquisse, APS	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	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
Étape 2 : Étude géotechnique de conception (G2)	APD/AVP	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	Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	PRO	Étude géotechnique de conception (G2) Phase Projet (PRO)		Conception et justifications du projet	avec détection au plus tôt de leur survenance	Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	DCE/ACT	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			
	EXE/VISA	Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Étude (en interaction avec la phase Suivi)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision de l'étude géotechnique d'exécution (en interaction avec 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)	Fonction des méthodes de construction et des adaptations proposées si des risques identifiés surviennent
	DET/AOR	Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Suivi (en interaction avec la phase Étude)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision du suivi géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision de l'étude)	Exécution des travaux en toute sécurité et en conformité avec les attentes du maître d'ouvrage		Fonction du contexte géotechnique observé et du comportement de l'ouvrage et des avoisinants en cours de travaux
À toute étape d'un projet ou sur un ouvrage existant	Diagnostic	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	Fonction de l'élément géotechnique étudié

Tableau 2 – Classification des missions d'ingénierie géotechnique

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

ÉTAPE 1 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE PRÉALABLE (G1)

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

Phase Étude de Site (ES)

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

- Faire une enquête documentaire sur le cadre géotechnique du site et l'existence d'avoisinants avec visite du site et des alentours.
- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport donnant pour le site étudié un modèle géologique préliminaire, les principales caractéristiques géotechniques et une première identification des risques géotechniques majeurs.

Phase Principes Généraux de Construction (PGC)

Elle est réalisée au stade d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS pour réduire les conséquences des risques géotechniques majeurs identifiés. Elle s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées.

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport de synthèse des données géotechniques à ce stade d'étude (première approche de la ZIG, horizons porteurs potentiels, ainsi que certains principes généraux de construction envisageables (notamment fondations, terrassements, ouvrages enterrés, améliorations de sols).

ÉTAPE 2 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE DE CONCEPTION (G2)

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

Phase Avant-projet (AVP)

Elle est réalisée au stade de l'avant-projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées.

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

Phase Projet (PRO)

Elle est réalisée au stade du projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées suffisamment représentatives pour le site.

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un dossier de synthèse des hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade du projet (valeurs caractéristiques des paramètres géotechniques en particulier), des notes techniques donnant les choix constructifs des ouvrages géotechniques (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dallages et voiries, améliorations de sols, dispositions vis-à-vis des nappes et des avoisinants), des notes de calcul de dimensionnement, un avis sur les valeurs seuils et une approche des quantités.

Phase DCE / ACT

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

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

Tableau 2 – Classification des missions d'ingénierie géotechnique**ÉTAPE 3 : ÉTUDES GÉOTECHNIQUES DE RÉALISATION (G3 et G 4, distinctes et simultanées) ÉTUDE ET SUIVI GÉOTECHNIQUES D'EXECUTION (G3)**

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

Phase Étude

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

Phase Suivi

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

SUPERVISION GÉOTECHNIQUE D'EXECUTION (G4)

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

Phase Supervision de l'étude d'exécution

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

Phase Supervision du suivi d'exécution

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

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).