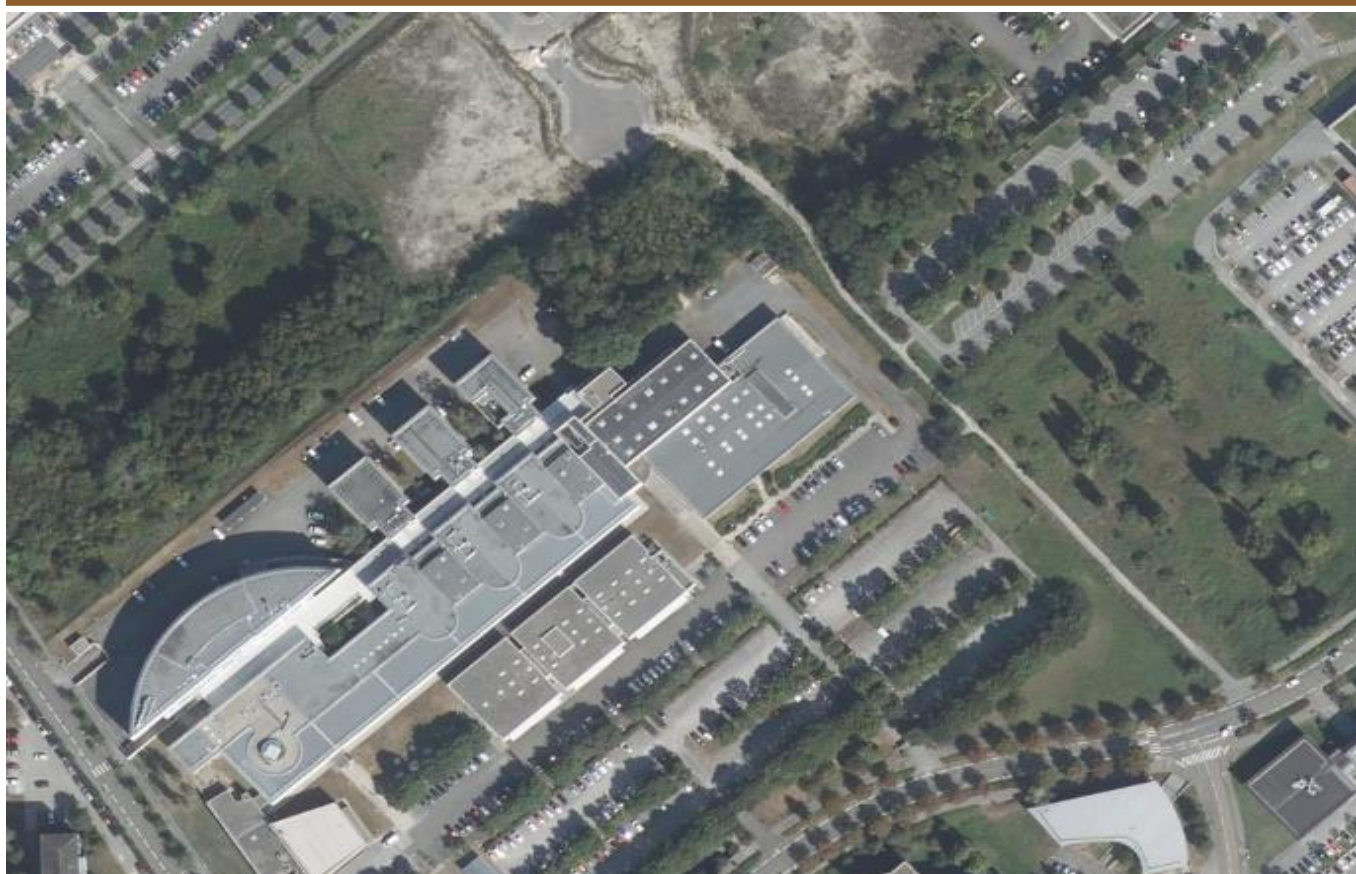


ETUDE GEOTECHNIQUE D'AVANT-PROJET (Mission G2 AVP)

Extension de l'École Nationale Supérieure de Mécanique et des Microtechniques

26, Rue de l'Épitaphe
BESANCON (25 000)



Rapport 2500512 v1 - Mars 2025



SUPMICROTECH - ENSMM
26, Rue de l'Épitaphe
25 000 BESANCON

Client

Nom	SUPMICROTECH – École Nationale Supérieure de Mécanique et des Microtechniques
Adresse	26, Rue de l'Épitaphe 25 000 BESANCON

ECR Environnement

Coordonnées Agence	Agence de Besançon 92, Rue de l'Esplanade Ouest 25 220 THISE Tel : 03 81 80 27 10 Mail : besancon@ecr-environnement.com
Responsable d'agence	A. MARION
Chargé d'affaires	C. LOBJOIE

Date	Indice	Observation / Modification	Rédacteur	Vérificateur
03/03/2025	0	-	C. LOBJOIE	A. MARION
14/03/2025	1	RF extérieures et essais d'eau	C. LOBJOIE	A. MARION

Rédacteur	Vérificateur
 C. LOBJOIE Chargé d'affaires	 A. MARION Responsable d'agence

SOMMAIRE

1.	INTRODUCTION.....	3
1.1.	OPERATION – INTERVENANTS	3
1.2.	MISSION	3
1.3.	INVESTIGATIONS REALISEES.....	4
1.4.	DOCUMENTS DE REFERENCE	4
2.	SITE ET PROJET	5
2.1.	PLAN DE SITUATION	5
2.2.	DESCRIPTION DU SITE.....	5
2.3.	CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE	6
2.4.	RISQUES NATURELS	6
2.5.	DESCRIPTION DU PROJET.....	8
3.	RESULTATS DES INVESTIGATIONS.....	10
3.1.	NIVELLEMENT	10
3.2.	LITHOLOGIE	10
3.3.	CARACTERISTIQUES GEOMECHANQUES	11
3.4.	HYDROGEOLOGIE.....	11
3.5.	DONNEES PARASISMQUES REGLEMENTAIRES	12
3.1.	FONDACTIONS EXISTANTES.....	13
4.	SYNTHESE	15
5.	PRECONISATIONS POUR LE PROJET	16
5.1.	TERRASSEMENTS GENERAUX.....	16
5.2.	NIVEAU BAS	17
5.3.	FONDACTIONS.....	17
5.4.	MITOYENNETES / AVOISINANTS	22
5.5.	DRAINAGE ET REMBLAIEMENTS PERIPHERIQUES.....	23
6.	OBSERVATIONS	24

ANNEXES

Annexe 1 : Extrait de la norme NF P 94-500

Annexe 2 : Conditions particulières

Annexe 3 : Résultats des investigations

1. INTRODUCTION

1.1. Opération – Intervenants

Opération : Extension de l'École Nationale Supérieure de Mécanique et des Microtechniques

Adresse : 26, Rue de l'Épitaphe – 25 000 BESANCON

Maître d'ouvrage : SUPMICROTECH ENSMM

BET Structure : B27

Architecte : B_CUBE architectes

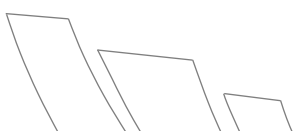
1.2. Mission

La présente étude a été réalisée par le bureau d'étude ECR Environnement, agence de Besançon, à la demande et pour le compte de SUPMICROTECH ENSMM. Elle honore notre offre 2500585 du 10/01/2025.

Il s'agit d'une mission de type G2 AVP (avant-projet) au sens de la norme NF P 94-500 de novembre 2013 sur les missions d'ingénierie géotechnique jointes en Annexe 1.

L'étude répond aux objectifs suivants :

- préciser le contexte géologique et hydrogéologique général du site ;
- reconnaître la nature et les caractéristiques géomécaniques des sols au stade de l'avant-projet ;
- reconnaître les niveaux d'eau (nappe, circulations, ...) ;
- définir les modes de fondation envisageables en fonction des éléments communiqués ;
- fournir les paramètres de dimensionnement des ouvrages géotechniques (fondations et dallage) ;
- étudier les conditions de faisabilité et de mise en œuvre des dallages et / ou du radier ;
- fournir les données parasismiques réglementaires (EC8) ;
- évaluer les sujétions d'exécution des travaux de terrassements et de fondations liées aux conditions géotechniques du site et aux caractéristiques du projet (terrassements, ...).



1.3. Investigations réalisées

La campagne d'investigations in-situ suivante a été réalisée pour les besoins de l'étude :

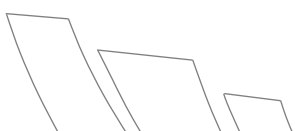
- 3 sondages pressiométriques (SP1 à SP3) descendus à 8.0 et 17.6 m de profondeur ;
- 2 sondages destructifs de reconnaissance géologique (SD1 et SD2) descendus entre 1.4 et 7.0 m de profondeur ;
- 2 sondages de reconnaissance de fondation (RF1 et RF2) descendus entre 1.10 et 1.15 m de profondeur ;
- 2 essais de perméabilité de type Matsuo à niveau variable (MA1 et MA2) réalisés dans des sondages à la pelle mécanique entre 0.0 et 0.5 / 1.3 m de profondeur.

L'implantation des sondages, les coupes des sondages et les résultats des essais in-situ sont joints en Annexe 3.

1.4. Documents de référence

Les documents suivants nous ont été fournis pour la conduite de l'étude :

- courriel de consultation daté du 06/01/2025 ;
- cahier des charges techniques réalisé par le BET B27 et daté du 17 décembre 2024 comprenant le plan de masse du projet et un plan d'implantation prévisionnel des sondages géotechniques.



2. SITE ET PROJET

2.1. Plan de situation

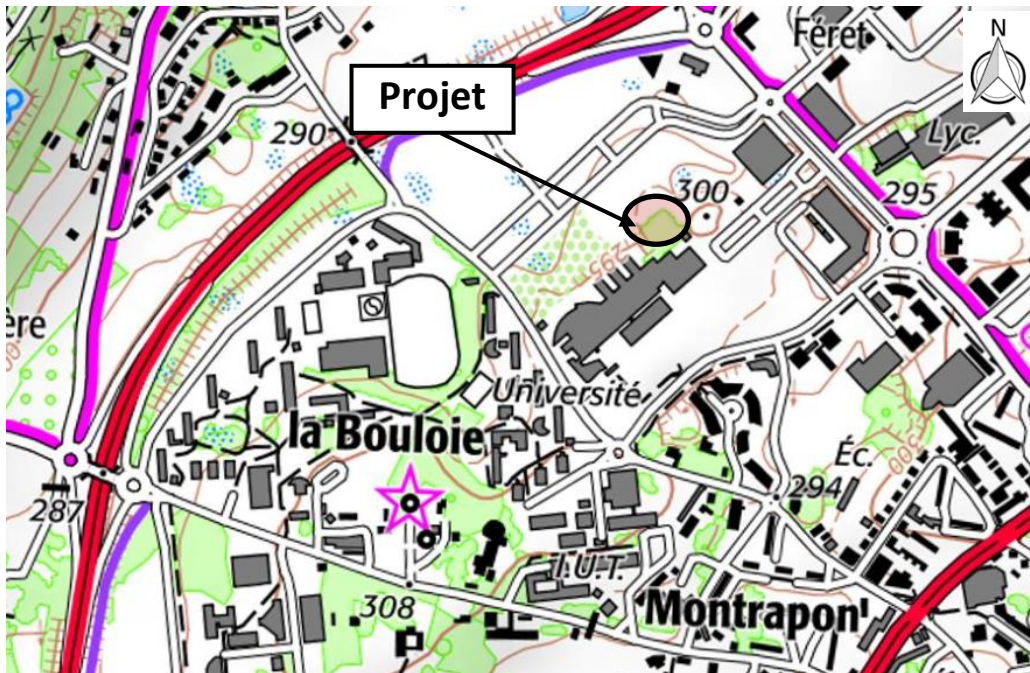


Fig. 1 - Extrait de la carte topographique 1/25 000, Géoportail (IGN)

2.2. Description du site

Le site est localisé au 26 Rue de l'Épitaphe sur la commune de Besançon (25).

Il est actuellement occupé par le bâtiment de l'École Nationale Supérieure de Mécanique et des Microtechniques, bordé au Nord par un espace boisée en marge de voiries en enrobé.

Le site est sensiblement plat au niveau des plateformes en enrobé et présente une dépression au droit de la partie boisée. Son altitude est comprise entre 296 et 299 m NGF environ.

2.3. Contexte géologique et hydrogéologique

D'après la carte géologique de BESANCON à l'échelle 1/50 000, le sous-sol du site est constitué, sous d'éventuels remblais et formations de couverture, par les calcaires du Bajocien supérieur (j_{1b}).

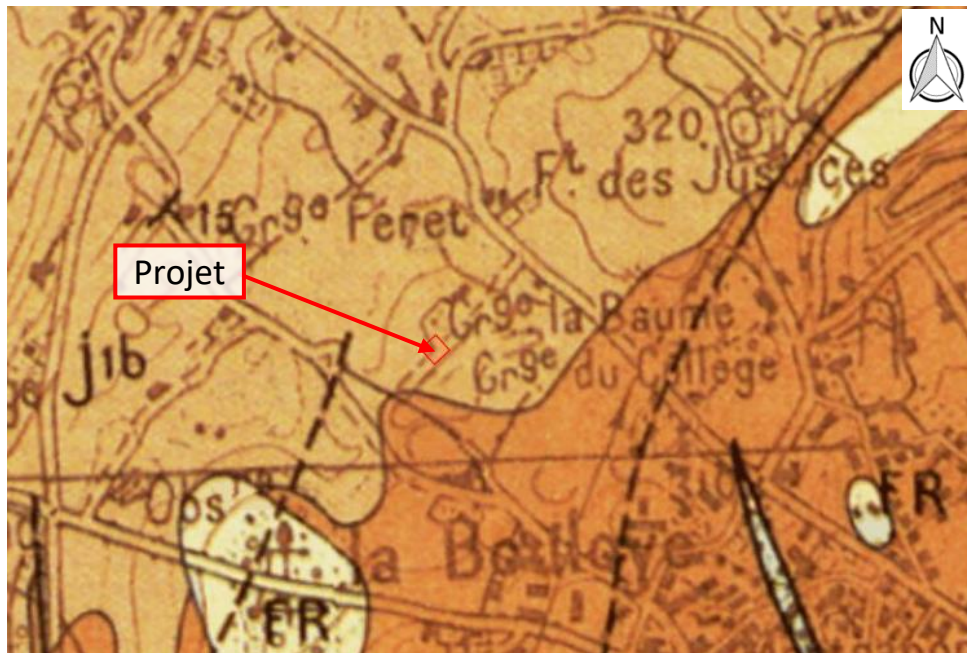


Fig. 2 – Extrait de la carte géologique 1/50 000, Infoterre (BRGM)

D'un point de vue hydrogéologique et d'après la banque de données du sous-sol (BRGM), ces formations ne sont a priori pas le siège d'une nappe à faible profondeur (< 10 m).

2.4. Risques naturels

Sismique (décret n°2010-1255 du 22/10/2010) :

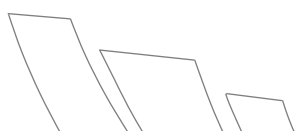
La commune de Besançon (25) est située en zone de sismicité 3 (aléa modéré).

La catégorie d'importance de l'ouvrage est a priori de classe II. Dans ces conditions, l'application des prescriptions parasismiques particulières de l'Eurocode 8 est obligatoire.

La classe de l'ouvrage devra être précisée par le maître d'ouvrage.

Inondation / mouvements de terrains :

D'après le site de prévention des risques majeurs « georisques.gouv.fr », cinq arrêtés de reconnaissance de catastrophe naturelle ont été pris sur la commune de Besançon (25) entre 1990 et 2019 suite à des inondations et des coulées de boue, dont un avec mouvements de terrains en 1999 et un par remontée de nappe en 2019.



La commune de Besançon (25) a fait l'objet d'un Plan de Prévention pour les Risques d'Inondations (PPRI du Doubs Central) approuvé le 28/03/2008. Toutefois, le projet est classé en zone blanche du PPRI, c'est à dire sans prescriptions particulières vis-à-vis du risque inondation.

D'après le site du BRGM « infoterre.fr », le site est classé en zone sans inondations de caves ni débordements de nappe (fiabilité moyenne).

Cavités souterraines :

D'après le site « carto2.geo » de la DDT 25, le site est classé en zone de forte densité de dolines avec notamment une quinzaine de dolines localisées à moins de 500 m autour de la zone d'étude.

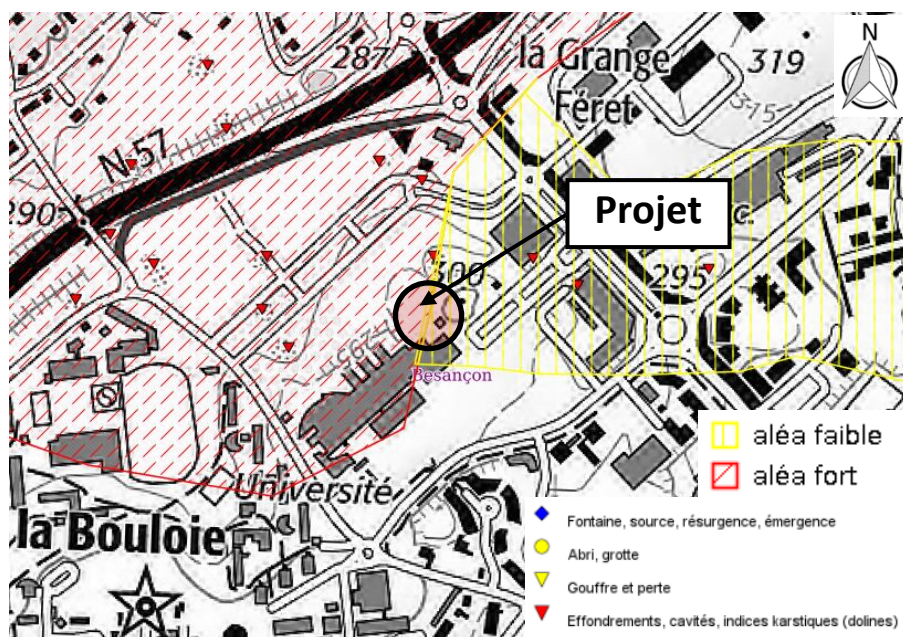


Fig. 3 - Extrait de la carte d'indices karstiques, Carto2.geo (DDT25)

Retrait / gonflement des sols argileux :

D'après le site de prévention des risques majeurs « georisques.gouv.fr », cinq arrêtés de reconnaissance de catastrophe naturelle ont été pris sur la commune de Besançon (25) entre 2006 et 2024 suite à des mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols.

D'après le site du BRGM « infoterre.fr », le site est classé en zone d'exposition moyenne vis-à-vis du risque de retrait / gonflement des sols.

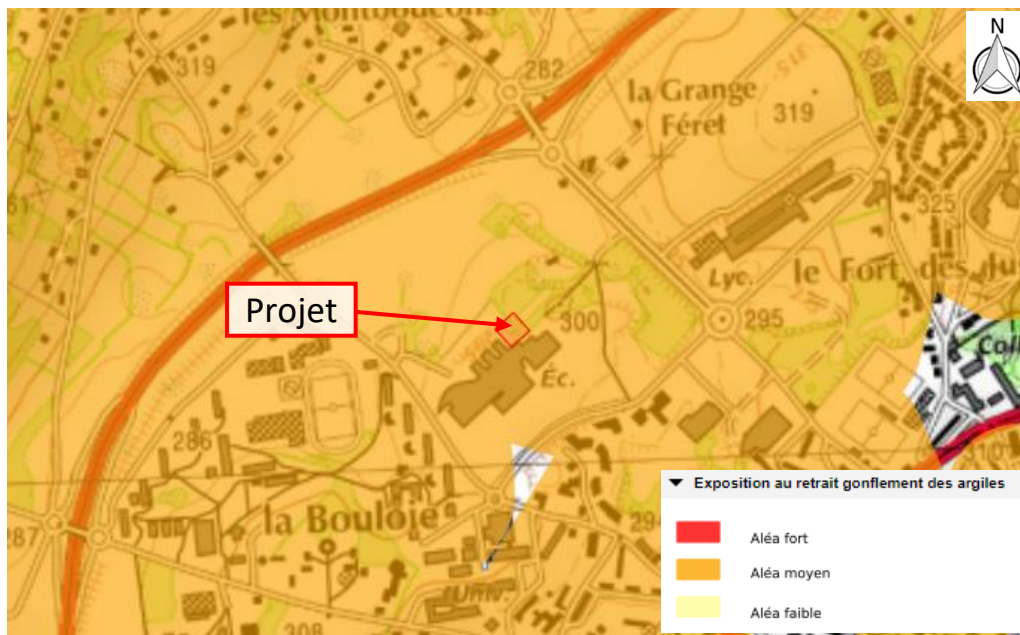


Fig. 4 - Extrait de la carte d'exposition au retrait / gonflement des argiles, Infoterre (BRGM)

2.5. Description du projet

Il est prévu la construction d'une extension au Nord du bâtiment de l'ENSMM. Par ailleurs, une construction dans une zone jardinière intérieure est prévue avec une structure rechargeant les fondations des murs des vestiaires de l'étage inférieur.

Le niveau bas du projet d'extension sera sensiblement positionné sur celui du terrain actuel et de l'existant. Il sera vraisemblablement traité en dallage sur terre-plein.

Les terrassements du projet ne consisteront donc qu'en un simple reprofilage du site avec des remblais relativement importants (pouvant atteindre environ 2.0 m localement) au droit de la zone boisée.

Les descentes de charges sous fondations et les surcharges d'exploitation sur dallages ne nous ont pas été communiquées dans le cadre de notre étude.

Le projet est mitoyen de l'existant dont il est l'extension.

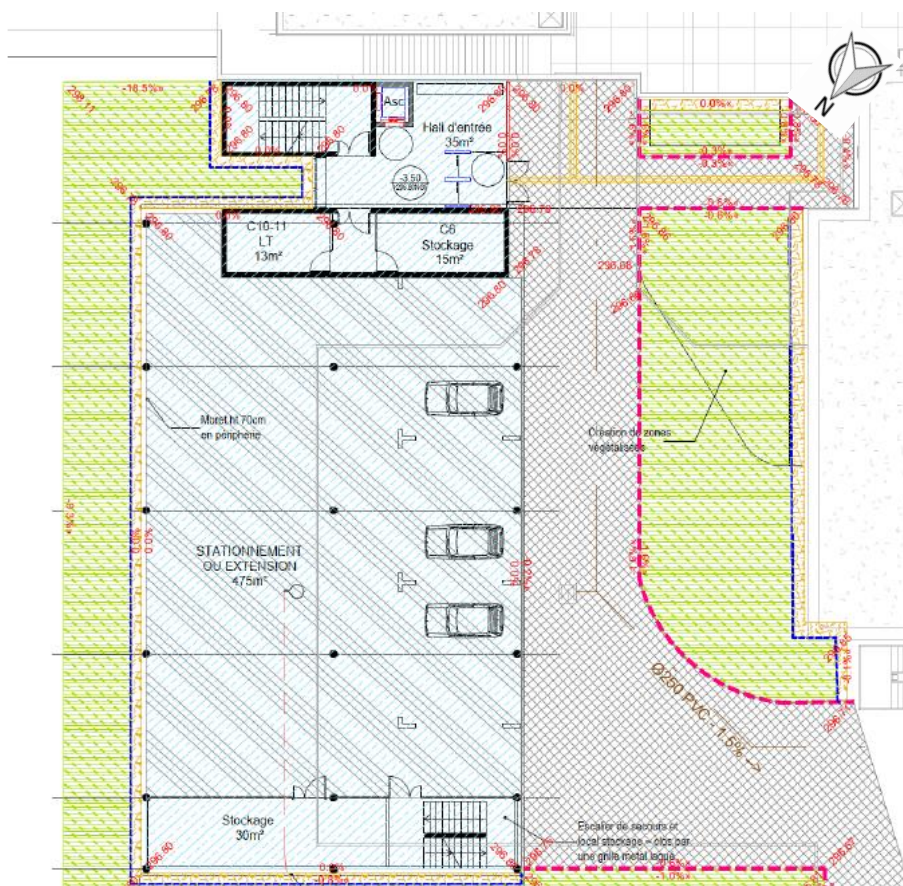


Fig. 4 - Extrait du plan de masse de l'extension fourni dans le CCTP de B27

3. RESULTATS DES INVESTIGATIONS

3.1. Nivellement

La position des sondages, des essais et du repère topographique figure sur le plan d'implantation des sondages en Annexe 3.

L'implantation a été réalisée au mieux des conditions d'accès, de la précision des plans remis pour la campagne de reconnaissance et de la présence des réseaux enterrés et aériens.

Les points de sondages ont été nivelés en prenant comme référence l'angle du bâtiment existant (cf. Plan d'implantation des sondages). Nous avons appliqué à ce point la cote altimétrique de 100.00 m NI (Nivellement Indépendant).

Les cotes altimétriques des têtes des sondages sont reportées dans le tableau suivant :

Sondage	SP1	SP2	SP3	SD1	SD2
Cote (m NI)	97.40	100.01	99.84	97.20	100.02

3.2. Lithologie

Les coupes des sondages sont jointes en Annexe 3. Les profondeurs citées dans le présent rapport ont été mesurées par rapport au niveau du terrain tel qu'il était lors de notre intervention (février 2025).

Les sondages ont permis d'établir la coupe lithologique suivante :

Formation 1 : Formations superficielles

Cette formation est constituée de terre végétale ou d'enrobé sur couche de forme. Elle a été reconnue visuellement de 0.0 à 0.6 / 1.0 m/TA (Terrain Actuel).

Formation 2 : Calcaires décomprimés

Cette formation est constituée de calcaires localement très décomprimés en blocs à matrice argileuse. Elle a été reconnue visuellement de 0.6 / 1.0 jusqu'au terme des sondages entre 8.0 et 17.6 m/TA. Elle présente des caractéristiques géomécaniques très hétérogènes, de faibles à très élevées dépendamment du degré de décompression. Les enregistrements des paramètres de forage indiquent que ces calcaires sont globalement sains au droit de SP1 mais présentent des degrés de décompression importants à très important au droit de SP2 de 1.0 à 6.0 m/TA, au droit de SP3 de 0.9 à 17.6 m/TA et de 1.0 à 6.4 m/TA au droit de SD2. Le calcaire sain correspond à du rocher compact peu décomprimé. La décompression se matérialise sous la forme soit d'une fracturation (rocher friable), soit d'un remplissage argileux (argiles de décalcification et/ou phénomène karstique).



Remarques :

- dans les sondages pressiométriques et destructifs, la description des terrains traversés et la position des interfaces comportent des imprécisions ou des interprétations inhérentes à la méthode de forage en petit diamètre.
- les coupes des sondages, et notamment les horizons décomprimés observés, ne constituent qu'une représentation ponctuelle (diamètre de foration de 64 mm) de l'état de décompression des calcaires. On gardera à l'esprit que l'état de décompression pourrait être sensiblement différent à d'autres emplacements entre les forages réalisés, d'autant plus que les coupes de sondages sont très variables entre elles (fortes variations verticales de l'état de décompression des calcaires sur de faibles variations en plan).

3.3. Caractéristiques géomécaniques

Les caractéristiques géomécaniques des formations sont reportées dans le tableau suivant :

Formation	Toit (m/TA)	Pression limite p_i^* (MPa)		Module pressiométrique E_M (MPa)	
		Mini	Maxi	Mini	Maxi
2 – calcaires décomprimés	0.6 à 1.0	0.25	> 3.00	2.4	308.0

3.4. Hydrogéologie

Au moment de nos investigations (février 2025), aucune venue d'eau n'a pu être mise en évidence compte tenu de la technique de foration employée (injection d'eau).

Toutefois, la présence de circulations aléatoires et intermittentes n'est pas à exclure :

- au sein des formations superficielles (formation 1) ;
- au toit des calcaires décomprimés (formation 2) ;
- via des circulations karstiques au droit des passées altérées et / ou fracturées des calcaires (formation 2).

Remarque importante :

Le niveau piézométrique d'une nappe est directement influencé par les conditions météorologiques, l'environnement et la perméabilité de l'aquifère. Ce qui peut se traduire par des remontées lors des périodes d'apport ou au contraire conduire à des baisses à la suite de périodes déficitaires.



3.5. Perméabilité des sols

Pour déterminer la perméabilité des sols, deux essais d'infiltration de type Matsuo en injection à niveau variable ont été menés au droit de sondages à la pelle mécanique.

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Essai	Profondeur (m/TA)	Formation	Perméabilité (m/s)
MA1	0.00 à 1.00	1 – formations superficielles ; 2 – Calcaires décomprimés	_*1
MA2	0.00 à 0.85	1 – formations superficielles ; 2 – Calcaires décomprimés	$3.10^{-4}*2$

*¹200 litres d'eau infiltrés en 1 minute ; *² 200 litres d'eau infiltrés en 10 minutes.

Les valeurs de perméabilité mesurées sont bonnes dans les terrains du site.

À titre d'information, d'après les valeurs caractéristiques des perméabilités ci-dessous, les terrains sont très peu perméables :

K (m/s)	Niveau de perméabilité
$1 > k > 10^{-2}$	Très perméable
$10^{-2} > k > 10^{-4}$	Perméable
$10^{-4} > k > 10^{-6}$	Peu perméable
$10^{-6} > k > 10^{-8}$	Très peu perméable
$k < 10^{-8}$	Quasi imperméable

3.6. Données parasismiques réglementaires

Selon la norme EC8, les principales données parasismiques déduites des reconnaissances effectuées dans le cadre de cette étude sont les suivantes :

Données parasismiques réglementaires	
Zone de sismicité	Zone 3 – aléa modéré
Catégorie du bâtiment	III
Accélération	$a_{gr} = 1.1 \text{ m/s}^2$
Classe de sol	E
Coefficient de sol S	1.8 (argiles d'altération)
Coefficient d'importance Y_I	1.2 (pour un bâtiment de classe III)

La classe du bâtiment devra être confirmée par le maître d'ouvrage.



3.1. Fondations existantes

Afin de déterminer la géométrie des fondations existantes au droit des murs du vestiaire de l'ENSMM, deux reconnaissances de fondations ont été réalisées par la société SMBTP et ont été relevées par nos soins.

Les fondations intérieures au bâtiment présentent les caractéristiques suivantes :

Sondage	RF1	RF2
Ouvrage concerné	Local technique	Vestiaire
Type de soubassement	Parpaings	Parpaings
Hauteur du soubassement (m)	0.42	0.40
Profondeur du dessus de semelle (m/TA)	0.42	0.42
Type de fondation	Semelle filante en béton	Semelle filante en béton
Profondeur de la base de la fondation (m/TA)	0.57	0.55
Débord de la fondation par rapport au nu du soubassement (m)	0.12	0.15
Epaisseur de la fondation (m)	>0.15	>0.15
Epaisseur de l'ancrage dans le sol d'assise (m)	Non reconnue*	Non reconnue*
Nature du sol d'assise	2 – Calcaires	2 – Calcaires

*Refus sur calcaires ne permettant pas de reconnaître l'épaisseur totale de la semelle au sein des calcaires (ancrage).



Afin de déterminer la géométrie des fondations existantes au droit des murs extérieur de l'ENSMM, deux reconnaissances de fondations (RF1 et RF2) ont été réalisées par nos soins.

Les fondations intérieures au bâtiment présentent les caractéristiques suivantes :

Sondage	RF1	RF2
Ouvrage concerné	Bâtiment	Bâtiment
Type de soubassement	Parpaings	Parpaings
Hauteur du soubassement (m)	0.40	0.35
Profondeur du dessus de semelle (m/TA)	0.40	0.35
Type de fondation	Semelle filante en béton	Semelle filante en béton
Profondeur de la base de la fondation (m/TA)	1.10	1.15
Débord de la fondation par rapport au nu du soubassement (m)	0.12	0.55
Epaisseur de la fondation (m)	0.70	0.80
Epaisseur de l'ancrage dans le sol d'assise (m)	0.65	0.85
Nature du sol d'assise	2 – Calcaires	2 – Calcaires

Les coupes schématiques et les photographies des reconnaissances sont présentées en Annexe 3.



4. SYNTHÈSE

Contexte géotechnique :

- formations superficielles (formation 1) jusqu'à 0.6 / 1.0 m/TA ;
- calcaires décomprimés (formation 2) de caractéristiques géomécaniques faibles à très élevées au-delà ;
- aucune venue d'eau reconnue lors des investigations (février 2025) ;
- zone de sismicité 3 (aléa modéré).

Éléments importants à prendre en compte pour le projet :

- caractère rocheux des terrains dès 60 cm de profondeur localement ;
- zone d'aléa fort d'effondrement de cavités ;
- degré de décompression des calcaires (formation 2) très variable, localement très important.

Orientations à prendre en compte pour le projet :

Compte tenu des résultats des sondages, des essais et des caractéristiques du projet, on pourra s'orienter vers une solution de fondation du bâtiment par l'intermédiaire d'un radier généralisé ancré dans une substitution technique granulaire.

Une solution en fondations profondes de type pieux / micropieux pourrait être envisagée mais nécessiterait la réalisation de sondages complémentaires au droit des futurs appuis pour déterminer la profondeur à laquelle se trouve le substratum calcaire sain.



5. PRECONISATIONS POUR LE PROJET

5.1. Terrassements généraux

5.1.1. Principe

Le niveau bas du projet d'extension sera sensiblement positionné sur celui du terrain actuel et de l'existant. Il sera vraisemblablement traité en dallage sur terre-plein.

Les terrassements du projet ne consisteront donc qu'en un simple reprofilage du site avec des remblais relativement importants (pouvant atteindre environ 2.0 m localement) au droit de la zone boisée.

Des remblais sont prévus en périphérie du bâtiment. Ces derniers restent cependant uniquement à vocation paysagère (remblais non-techniques), hors zone de voirie. Ils devront présenter une pente de 3H/2V (3 Horizontal pour 2 Vertical) maximum.

Après décapage des formations superficielles (formation 1), le fond de forme se situera dans les calcaires décomprimés (formation 2).

5.1.2. Conditions de terrassement

Les terrassements des matériaux du site présenteront de fortes difficultés compte tenu de leur caractère rocheux (formation 2 de nature calcaire).

Les terrassements seront réalisés au moyen d'une pelle mécanique puissante assistée d'un BRH (Brise Roche Hydraulique). Nous attirons votre attention sur le fait que ces techniques gèrent d'importantes vibrations. Toutes les précautions seront prises afin de ne pas générer de désordres sur les constructions avoisinantes.

Les terrains du site ont pour partie une matrice de nature argileuse (passées décomprimées des calcaires), et sont donc sensibles à l'eau. Par conséquent, les travaux devront être réalisés dans des conditions météorologiques favorables pour permettre la circulation des engins sans détériorer la plateforme. Dans le cas contraire, des dispositions particulières pourront être nécessaires (ajout de matériaux granulaires, cloutage du fond de forme ...).

5.1.3. Drainage en phase chantier

En principe, les terrassements ne devraient pas recouper de venues d'eau au sein des terrains du site. Toutefois, à tout moment du chantier, toutes les dispositions seront prises pour garder la plateforme au sec (pentes des plateformes, cunettes, exutoire adapté, pompage ...).



5.1.4. Préparation de la plateforme

Après décapage des formations superficielles (formation 1), il conviendra de purger les éléments suivants sur toute leur épaisseur au droit des ouvrages :

- les éventuels remblais ;
- les éventuels matériaux évolutifs ;
- les éventuelles structures enterrées ;
- les éventuelles poches de matériaux médiocres, foisonnés ou décomprimés, et notamment des possibles poches d'argile de décalcification des calcaires (formation 2).

Le rattrapage éventuel des cotes du projet devra être réalisé avec des matériaux granulaires, non-gélifs, bien gradués, insensibles à l'eau (matériaux type D3, R21, R61, ou équivalent) et soigneusement compactés.

Les terrains en place sont sensibles à l'eau, il est donc recommandé de :

- réaliser les terrassements en situation météorologique favorable ;
- terrasser la dernière couche en rétro sans faire évoluer d'engins sur la pleine masse ;
- régler les plateformes avec des pentes suffisantes pour faciliter l'évacuation des eaux pluviales vers un exutoire adapté ;
- mettre en place les couches de forme à l'avancement des terrassements ;
- protéger les plateformes des intempéries (fermeture rapide, protection avec des bâches en polyane, ...).

5.2. Niveau bas

Le niveau bas du projet d'extension sera sensiblement positionné sur celui du terrain actuel et de l'existant. Il sera traité par l'intermédiaire du radier généralisé.

5.3. Fondations

5.3.1. Principe

Compte tenu de la qualité des terrains en place et des caractéristiques du projet, l'extension pourra être fondée par l'intermédiaire d'un radier généralisé ancré de façon homogène dans une substitution technique des calcaires décomprimés (formation 2).

Les fondations respecteront les critères suivants :

- un ancrage minimum de 0.3 m dans le sol support (substitution technique) ;
- un encastrement minimum de 0.9 m par rapport à la plus proche surface exposée aux intempéries (condition de mise hors gel des fondations), celui-ci pouvant être obtenu à l'aide d'une bêche périphérique.



5.3.2. Substitution technique généralisée

La substitution sera constituée :

- d'une base en matériaux 0/80 mm ;
- d'une couche de réglage de granulométrie 0/31.5 mm et de 10 cm d'épaisseur minimum en tête.

Il conviendra de respecter une épaisseur de substitution de 2.0 m minimum sur l'ensemble de l'emprise du radier généralisé.

La base de la substitution devra être drainée avec rejet des eaux vers un exutoire pérenne. La substitution devra être compactée par couche de 50 cm et devra présenter un débord latéral d'un mètre minimum.

Le remblai technique sera dressé avec une pente maximale de 3/2 (3 de base pour 2 de hauteur) tant en phase provisoire que définitive. Le phasage du chantier devra permettre de réceptionner par essais à la plaque le remblai technique avant mise en œuvre de la couche réglage et montage de la structure.

La réalisation du remblai technique nécessitera les dispositions suivantes :

- mettre en place un géotextile à l'interface entre le fond de forme et le remblai technique afin d'assurer un rôle anticontaminant ;
- mettre en place les matériaux par couches successives conformément aux prescriptions du GTR2000, l'épaisseur de chacune des couches du remblai ne dépassera pas les valeurs indiquées dans les recommandations du GTR2000, en tenant compte de la classe de sol et du type d'engin de compactage ;
- contrôler régulièrement la portance et la qualité du remblai par des essais de chargement à la plaque au minimum tous les 0.5 m ;
- contrôler le remblai technique finalisé à l'aide d'essais au pénétromètre dynamique et d'essais de chargement à la plaque.

5.3.3. Contrôle du remblai technique

La structure du remblai sera contrôlée en cours de réalisation par des essais de chargement à la plaque réalisés selon le mode opératoire du LCPC. En fonction des objectifs, les critères de réception à atteindre seront les suivants :

En cours de mise en œuvre du remblais :

- $EV2 > 50 \text{ MPa}$;
- $EV2/EV1 < 2.2$.

Tête du remblai (fondations) :

- $EV2 > 80 \text{ MPa}$;
- $EV2/EV1 < 2.0$.



5.3.4. Méthodologie pour le dimensionnement des fondations

La justification par calcul des fondations superficielles sera établie selon les dispositions relatives au calcul des fondations superficielles aux ELS et ELU (Etats Limites de Service et Etats Limites Ultimes) suivant les recommandations de l'Eurocode 7 (NF P 94-261).

Portance (ELU et ELS)

La vérification de l'état-limite de portance s'effectue en satisfaisant l'inégalité suivante pour tous les cas de charge et de combinaisons de charge aux états limites ultimes (ELU) et de services (ELS) :

$$V_d - R_0 \leq R_{v;d} \quad [NF P 94-261 - \text{formule 9.1.1}]$$

Avec :

V_d : valeur de calcul de la composante verticale de la charge transmise par la fondation superficielle au terrain ;

R_0 : valeur du poids du volume de sol après travaux ($R_0 = A \times q_0$) avec A , la surface de la semelle et q_0 , la contrainte totale verticale à la base de la fondation après travaux en faisant abstraction de celle-ci ;

$R_{v;d}$: valeur de calcul de la résistance nette du terrain sous la fondation superficielle.

Pour une fondation superficielle, $R_{v;d}$ se détermine au moyen de la formule suivante :

$$R_{v;d} = \frac{R_{v;k}}{\gamma_{R;v}} \quad \text{avec} \quad R_{v;k} = \frac{A' q_{net}}{\gamma_{R;d;v}} \quad [NF P 94-261 - \text{formule 9.1.3 et 9.1.4}]$$

D'où, il vient :

$$R_{v;d} = \frac{R_{v;k}}{\gamma_{R;v}} = \frac{A' q_{net}}{F_{global}}$$

Avec :

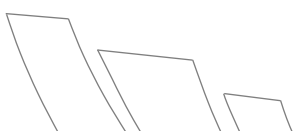
A' : valeur de la surface effective de la semelle ;

q_{net} : contrainte associée à la résistance nette du terrain sous la fondation superficielle ;

$R_{v;k}$: valeur caractéristique de la résistance nette du terrain sous la fondation superficielle ;

F_{global} : facteur de sécurité global combiné ($F_{global} = \gamma_{R;v} \cdot \gamma_{R;d;v}$) avec :

- $\gamma_{R;v}$: valeur du facteur partiel pour les situations durables et transitoires ;
- $\gamma_{R;d;v}$: coefficient de modèle associé à la méthode de calcul utilisée.



Au final, on obtient :

$$V_d \leq \frac{A' q_{net}}{\gamma_{R;d} \gamma_{R;d;\gamma}} = \frac{A' q_{net}}{F_{global}}$$

Avec :

A' : surface effective de la semelle (en fonction de la géométrie de la fondation (cf. NF P 94-261 Annexe Q) ;

q_{net} : contrainte associée à la résistance nette du terrain (cf. NF P 94-261 Annexe D.2.1) ;

$\gamma_{R;d}$; facteur partiel de portance (1.4 aux ELU fondamentaux, 1.2 aux ELU accidentels, 2.3 aux ELS (cf. NF P 94-261 § 9.1, 9.7. et 13.4) ;

$\gamma_{R;d;\gamma}$; facteur partiel de modèle (1.2 aux ELU fondamentaux, aux ELU accidentels et aux ELS (cf. NF P 94-261 Annexe D.1)).

Détermination de la contrainte nette du terrain (q_{net}) sous les fondations superficielles à partir de l'essai pressiométrique

$$q_{net} = k_p \cdot p_{le}^* \cdot i_\delta \cdot i_\beta \quad [NF P 94-261 Equation D.2.1]$$

Avec :

k_p : facteur de portance ;

p_{le}^* : pression limite nette équivalente ;

i_δ : coefficient de réduction lié à l'inclinaison du chargement ;

i_β : coefficient de réduction lié à la proximité d'un talus.

Glissement (ELU)

En fonction des efforts horizontaux prévus sur l'ouvrage, il conviendra également de satisfaire les conditions de non glissement. Ce point pourra être étudié en phase projet.

Excentricité

La vérification des excentricités s'effectue en satisfaisant les inégalités données aux paragraphes 9.5 et 13.3 de la norme NF P 94-261 relative aux fondations superficielles.

5.3.5. Contraintes de calcul (Etats limites)

D'après les différentes vérifications présentées ci-dessus, il vient, dans le cas du projet étudié, que les conditions à satisfaire sont :

- V_d ELU Accidentels / $A' < i_\delta \cdot i_\beta \cdot 190$ kPa ;
- V_d ELU Fondamentaux / $A' < i_\delta \cdot i_\beta \cdot 160$ kPa ;
- V_d ELS Quasi Permanents et Caractéristiques / $A' < i_\delta \cdot i_\beta \cdot 100$ kPa.



Fondation	Formation d'ancrage	Contraintes de calcul (kPa)		
		ELU A	ELU F	ELS QP et C
Radier généralisé	Substitution technique	190	160	100

Pour rappel, les conditions d'excentricité données au paragraphe 9.5 et 13.3 de la norme NF P 94-261 relative aux fondations superficielles devront également être satisfaites.

5.3.6. Hypothèse de dimensionnement du radier

Les hypothèses à retenir pour le dimensionnement du radier sont les suivantes, obtenues à partir des essais pressiométriques réalisés :

Formation	Epaisseur (m)	α	Module E_s (MPa)
Substitution technique	2.0	1/4	50
3 – calcaires fracturés	6.0 à 15.36	1/2	50

5.3.7. Estimation des tassements

Les tassements du dallage peuvent être évalués à partir des essais pressiométriques grâce à la relation suivante :

$$S = \frac{\alpha \times q \times h}{E_M}$$

Avec :

S : Tassement (m) ;

α : coefficient rhéologique du sol ;

h : hauteur de sol déformable (m) ;

q : contrainte appliquée sur le sol (t/m^2) ;

E_M : Module pressiométrique du sol (t/m^2).

Pour une contrainte appliquée de 50 kPa à l'ELS, et pour autant que les conditions de sols et d'eau rencontrées soient en accord avec les hypothèses retenues, les tassements maximums du radier seront de l'ordre de 2 centimètres.

Ces tassements devront être pris en compte par le BET Structures dans la conception du projet.

Dans tous les cas, et une fois les descentes de charges et les plans de fondations connus, il conviendra impérativement de valider les tassements au stade du projet lors d'une mission G2 PRO.



5.3.8. Modules de réaction sous radier

Pour une contrainte appliquée de 50 kPa à l'ELS, le module de réaction sous radiers sera le suivant :

Situation	Calcaires
Contraintes sous radiers à l'ELS (kPa)	50
Tassement (cm)	< 0.10
Kv (MPa/m)	> 500

5.3.9. Recommandations de conception et de mise en œuvre des fondations

Les dispositions constructives suivantes devront être respectées :

- régler horizontalement le fond de fouille ;
- contrôler la qualité et l'homogénéité du fond de fouille ;
- purger les éventuelles poches de matériaux médiocres, foisonnés ou décomprimés (calcaires décomprimés, argiles de décalcification des calcaires, ...) et les substituer par du matériaux granulaire compacte ;
- mettre en place des joints de construction entre les parties d'un même bâtiment présentant des descentes de charges et/ou un mode de fondations hétérogène ;
- mettre en œuvre une bêche périphérique pour éviter tout glissement plan de l'ouvrage et pour respecter la conditions de mise hors-gel des fondations ;
- respecter les règles de la norme NF P 94-261 concernant les fondations assises à des niveaux décalés ou à proximité de talus (pente de 3 pour 2 entre les fondations) ;
- blinder les fouilles au-delà de 1.30 m/TA ;
- couler les fondations immédiatement après ouverture des fouilles afin d'éviter toute décompression des terrains.

5.4. Mitoyennetés / Avoisinants

On note la proximité du bâtiment dont le projet est l'extension.

Toutes les précautions seront prises pour éviter les désordres sur les fondations existantes tant en phase provisoire qu'en phase définitive. En phase projet, une fois les ouvrages calés en plan et en altimétrie, il conviendra de définir les éventuelles reprises en sous-œuvre à réaliser en fonction des interactions potentielles entre les fondations des ouvrages (pente minimale de 3 Horizontal pour 2 Vertical entre les fondations conformément à la Norme NF P 94-261).



Il conviendra de respecter une des solutions suivantes pour les fondations du projet :

- Soit descendre les fondations jusqu'à la même profondeur que les fondations mitoyennes existantes ;
- Soit respecter les règles des fondations assises à des niveaux décalés (pente de 3 pour 2 entre les fondations ; Cf. 5.3.8) ;
- Soit reprendre en sous-œuvre les fondations mitoyennes existantes jusqu'au même niveau que les fondations du projet.

5.5. Drainage et remblaiements périphériques

Afin d'assurer la pérennité des ouvrages, on conseillera de protéger toutes les parties enterrées contre les infiltrations d'eau au moyen d'un dispositif drainant (ex : drains périphériques réalisés selon les règles de l'art).

Le remblaiement autour des ouvrages et le drainage périphérique seront réalisés suivant les recommandations du DTU 20.1. Le drainage périphérique devra faire l'objet d'un entretien régulier pour assurer son bon fonctionnement dans le temps.



6. OBSERVATIONS

Cette étude a été réalisée au stade de l'avant-projet (mission G2 AVP). Nous rappelons que conformément à la norme NF P 94 500 de novembre 2013 sur les missions d'ingénierie géotechnique, des études complémentaires doivent être réalisées au stade du projet et de l'exécution pour une analyse détaillée des ouvrages géotechniques.



Annexe 1

Extrait de la norme NF P 94 500

Extrait de la Norme NF P 94-500 - Novembre 2013

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)

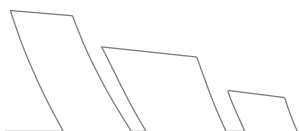
Elle est réalisée au stade du projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées suffisamment représentatives pour le site.

- 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.



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 géotechnique seront réalisés ultérieurement, conformément à l'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étape 2 et/ou 3).



Annexe 2

Conditions particulières

CONDITIONS PARTICULIERES

Le présent rapport ou procès-verbal ainsi que toutes annexes constituent un ensemble indissociable.

La société ECR ENVIRONNEMENT serait dégagée de toute responsabilité dans le cas d'une mauvaise utilisation de toute communication ou reproduction partielle de ce document, sans accord écrit préalable. En particulier, il ne s'applique qu'aux ouvrages décrits et uniquement à ces derniers.

Si en l'absence de plans précis des ouvrages projetés, nous avons été amenés dans le présent rapport à faire une ou des hypothèses sur le projet, il appartient à notre client ou à son maître d'œuvre de communiquer par écrit à la société ECR ENVIRONNEMENT ses observations éventuelles sans quoi, il ne pourrait en aucun cas et pour aucune raison nous être reproché d'avoir établi notre étude pour le projet que nous avons décrit.

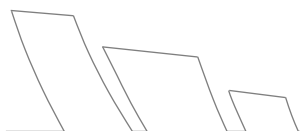
Cette étude est basée sur des reconnaissances dont le caractère ponctuel ne permet pas de s'affranchir des aléas des milieux naturels, et ne peut prétendre traduire le comportement du sol dans son intégralité.

Ainsi, tout élément nouveau mis en évidence lors de l'exécution des fondations ou de leurs travaux préparatoires et n'ayant pu être détecté lors de la reconnaissance des sols (ex. : remblais anciens ou nouveaux, cavités, hétérogénéités localisées, venue d'eau, etc.) doit être signalé à ECR ENVIRONNEMENT qui pourra reconsidérer tout ou une partie du rapport. Pour ces raisons, et sauf stipulation contraire explicite de notre part, l'utilisation de nos résultats pour chiffrer à forfait le coût de tout ou une partie des ouvrages d'infrastructure ne saurait en aucun cas engager notre responsabilité.

De même, des changements concernant l'implantation, la conception ou l'importance des ouvrages par rapport aux hypothèses de base de cette étude, peuvent conduire à modifier les conclusions et prescriptions du rapport et doivent être portés à la connaissance d'ECR ENVIRONNEMENT.

La société ECR ENVIRONNEMENT ne saurait être rendue responsable des modifications apportées à son étude que dans le cas où elle aurait donné son accord écrit sur lesdites modifications.

Les altitudes indiquées pour chaque sondage (qu'il s'agisse de cote de références rattachées à un repère arbitraire ou de cotes NGF) ne sont données qu'à titre indicatif. Seules font foi les profondeurs mesurées depuis le sommet des sondages et comptées à partir du niveau du sol au moment de la réalisation des essais. Pour que ces altitudes soient garanties, il convient qu'elles soient relevées par un Géomètre-Expert. Il en va de même pour l'implantation des sondages sur le terrain



Annexe 3

Résultats des investigations



BESANCON (25)
Extension d'un bâtiment de l'ENSMM
Ecole Nationale Supérieure de Mécanique et Microtechniques

Contrat 2500512

Date début : 13/02/2025

Cote NI : 97.40 m

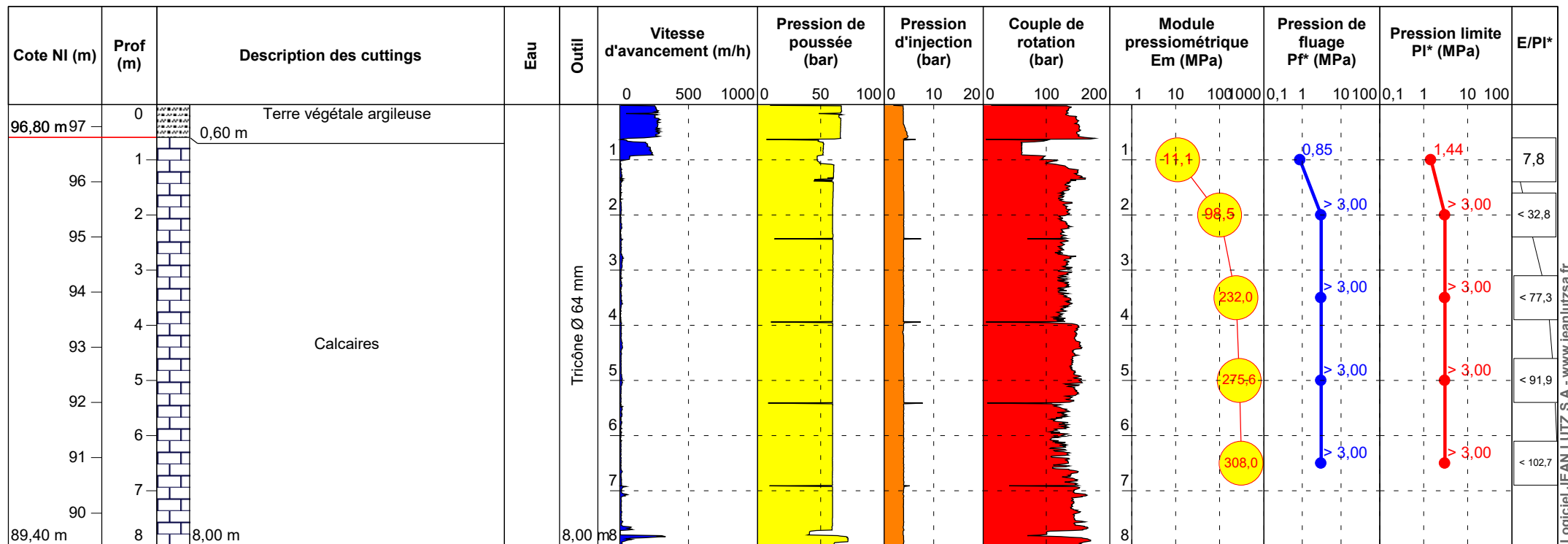
Profondeur : 0,00 - 8,00 m

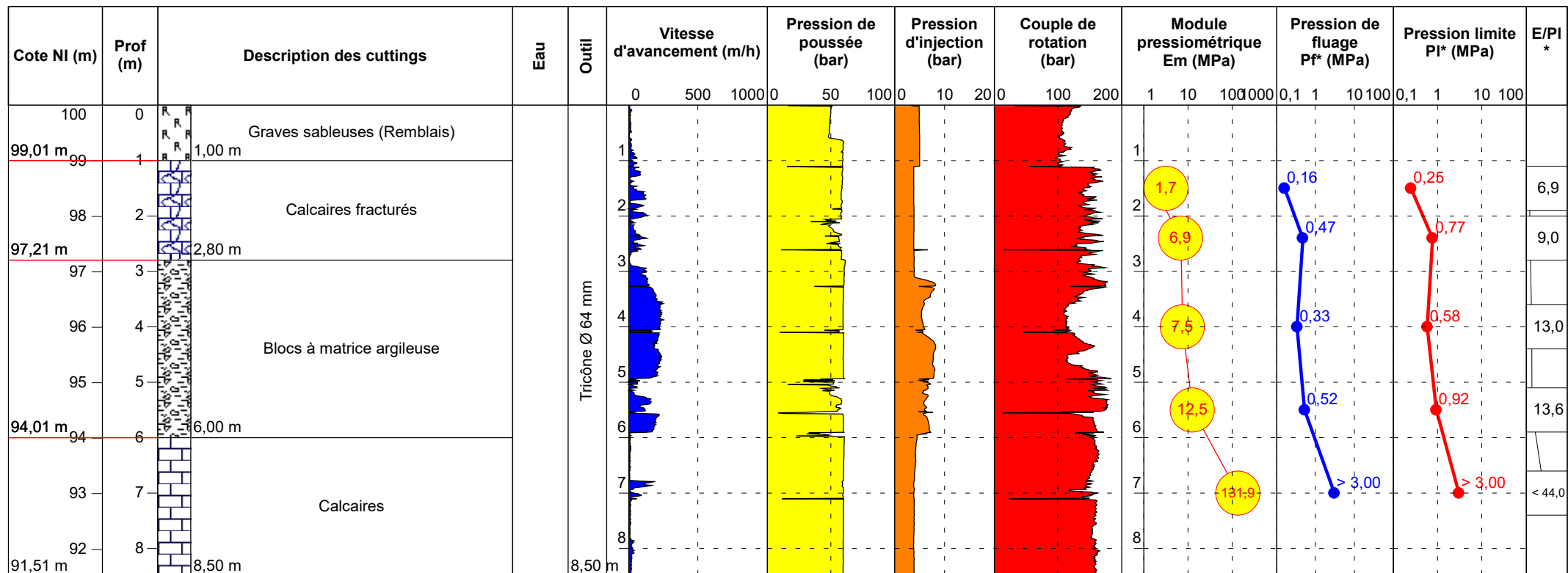
Machine : GEO 205

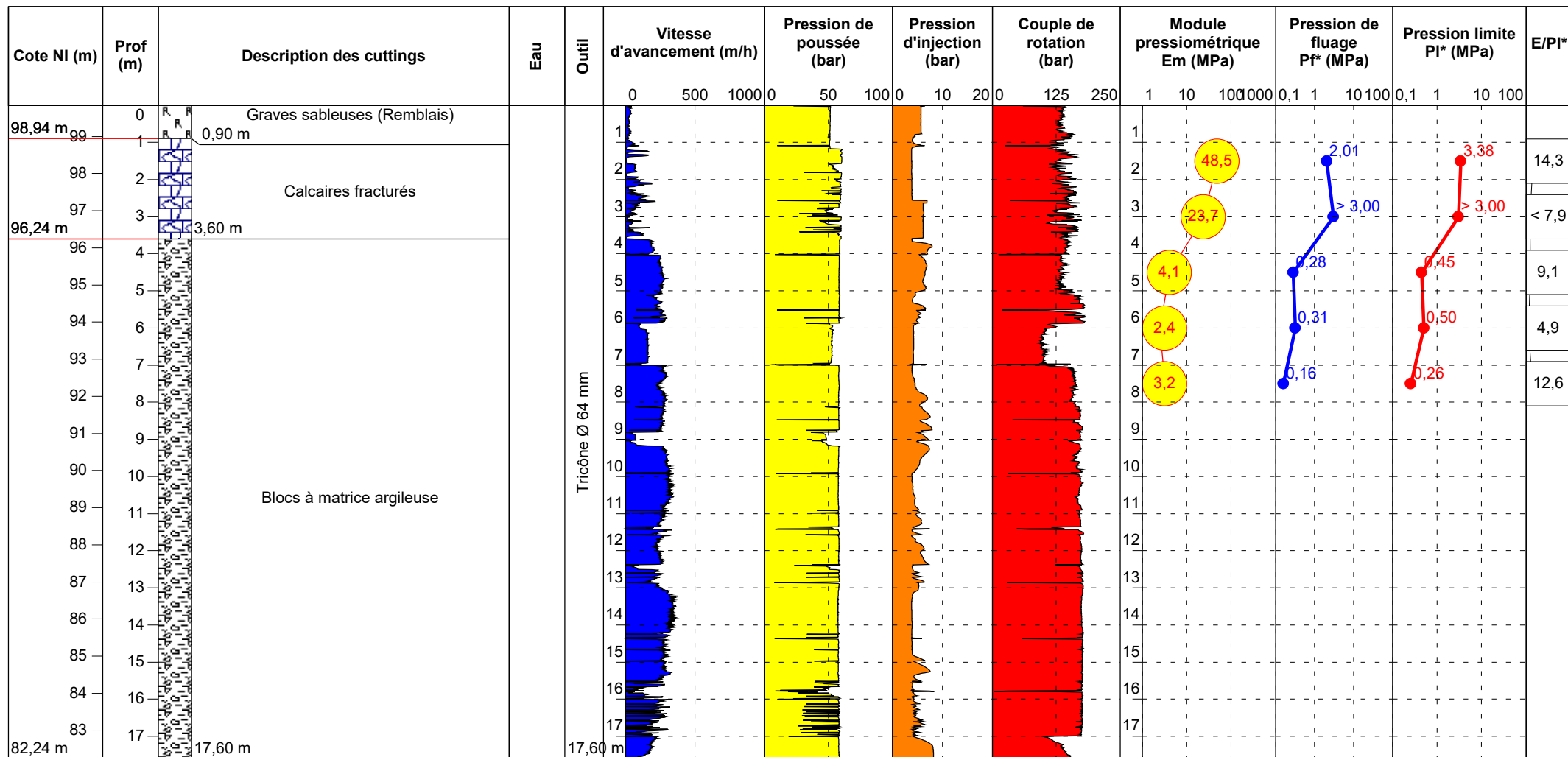
1/100

Forage : SP1

EXGTE 3.20/LB2EPF587FR

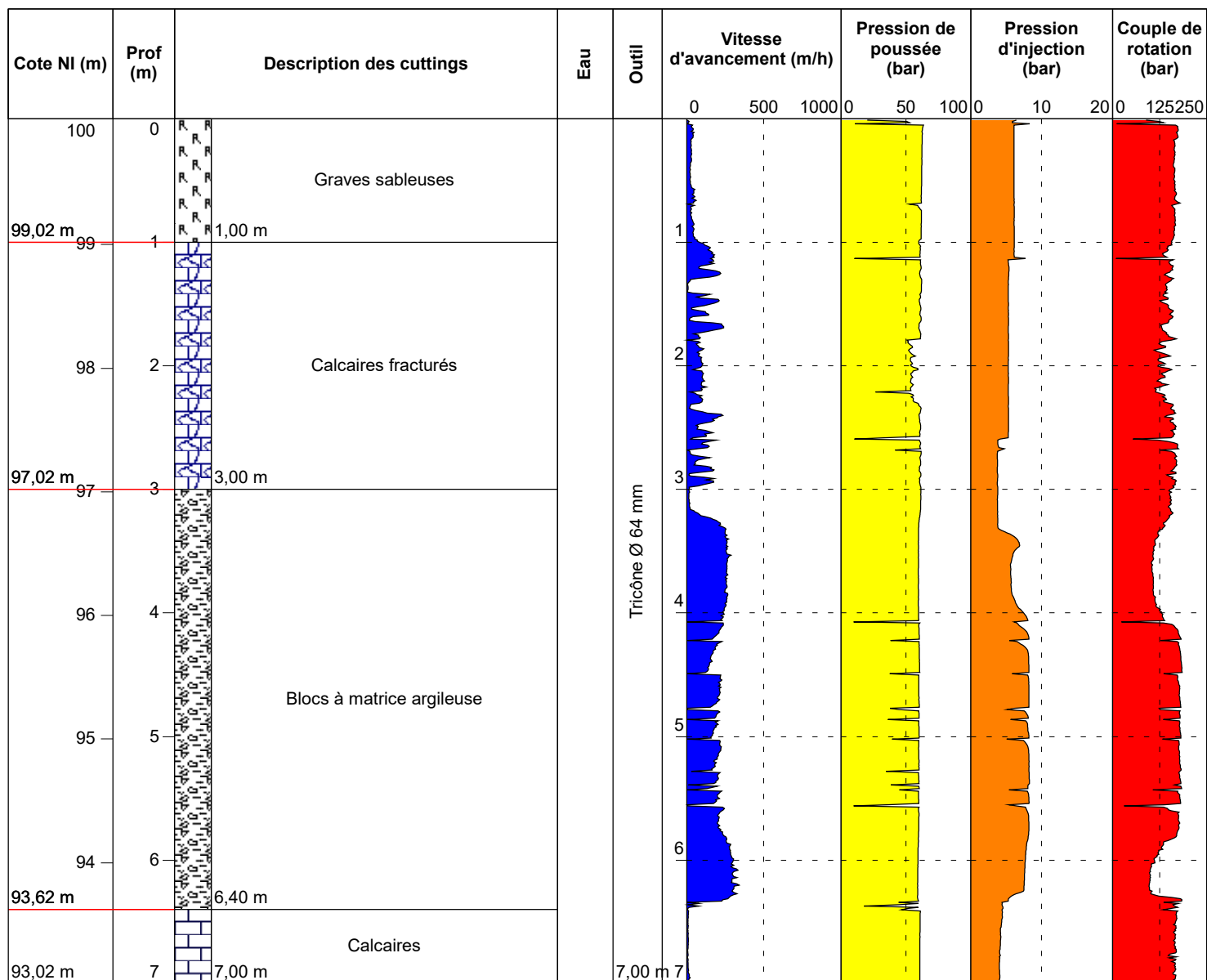








Cote m NI	Prof (m)	Description des cuttings	Eau	Outil	Vitesse d'avancement (m/h)	Pression de poussée (bar)	Pression d'injection (bar)	Couple de rotation (bar)
					0 500 1000	0 50 100	0 5 10	0 125 250
97 — 96,80 m	0 0,40 m	Terre végétale		Tricône Ø 64 mm				
96,20 m	1,00 m	Blocs à matrice argileuse						
96 — 95,80 m	1,40 m	Calcaires						



Reconnaissance de fondation RF1

Affaire : Extension de l'ENSMM

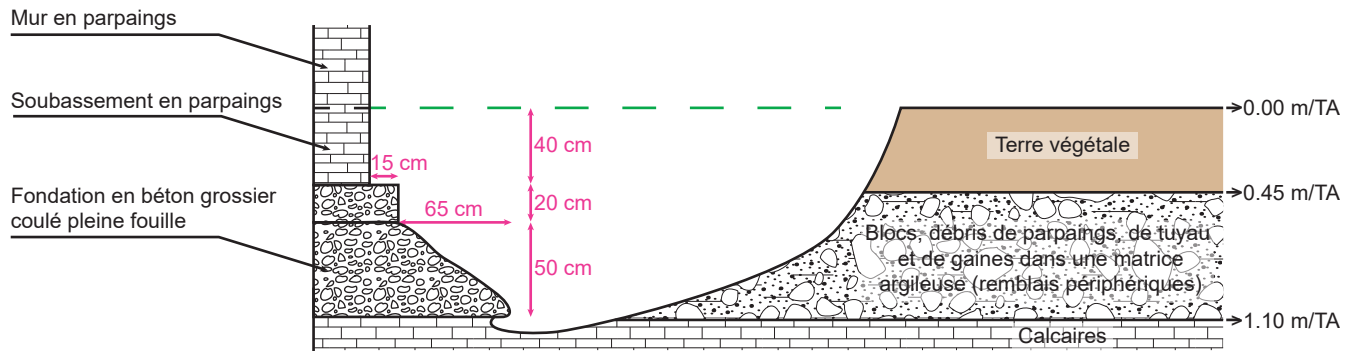
Client : Supmicrotech ENSMM

N° dossier : 2500512 - **Date :** 11/03/2025

Vue en coupe : Échelle 1/40



Vue en coupe



Photographie



Reconnaissance de fondation RF2

Affaire : Extension de l'ENSMM

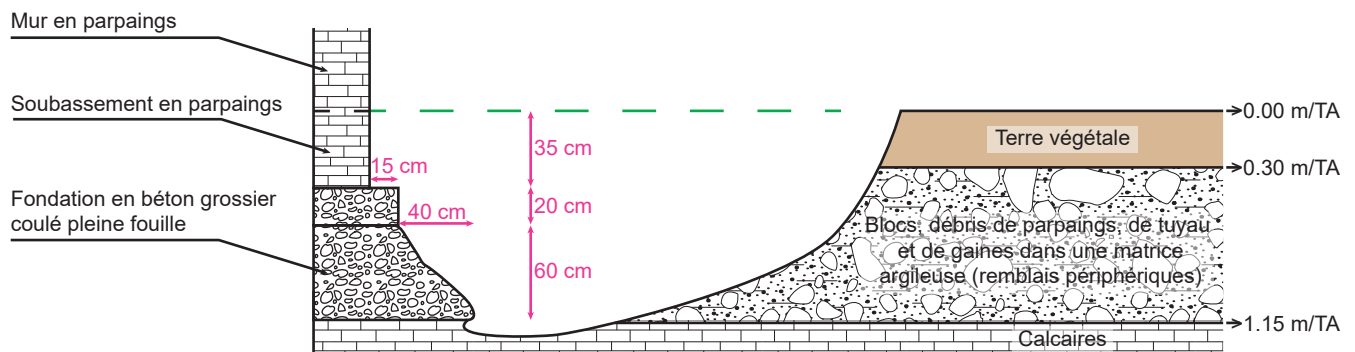
Client : Supmicrotech ENSMM

N° dossier : 2500512 - **Date :** 11/03/2025

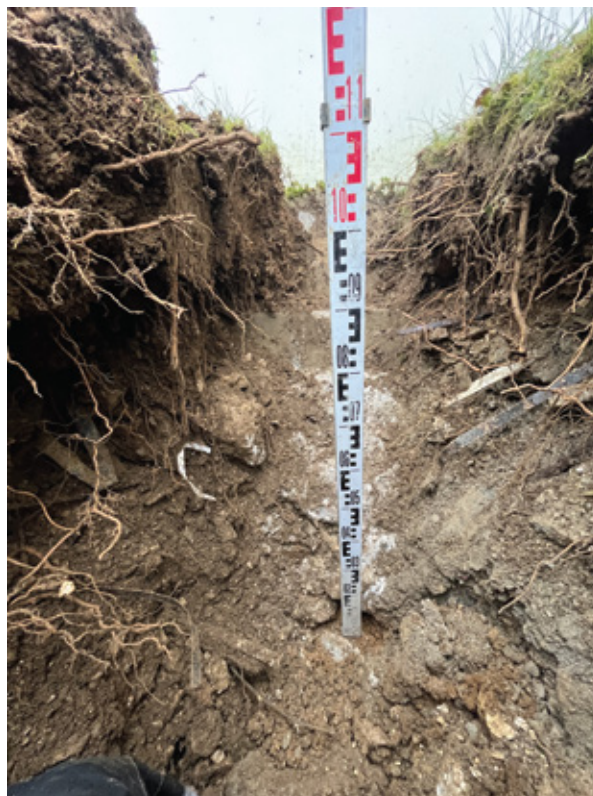
Vue en coupe : Échelle 1/40



Vue en coupe

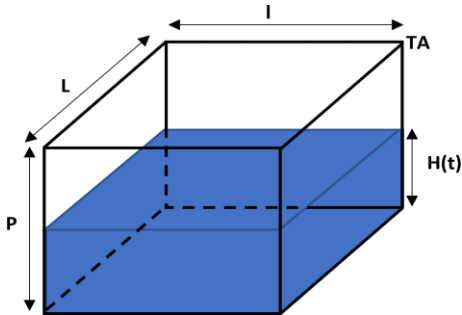


Photographie



ESSAI DE PERMEABILITE

Essai à la fosse (MATSUO) à charge variable

Lithologie testée	Remblais à blocs et matrice argileuse sur calcaires	Saturation du sol	Oui
		Durée de l'essai [min]	60
			
Longueur de la fouille (L) [m]	0,90		
Largeur de la fouille (I) [m]	0,50		
Profondeur de la fouille / TA (P) [m]	0,85		
Profondeur de la nappe / TA [m]	/		
NB: TA = Terrain actuel (niveau de la surface)			
Observations	/		

Temps t [min]	Charge hydraulique H(t) [m]	Variations de charge $\Delta H(t)$ [m]
0	0,260	0,000
1	0,210	0,050
5	0,060	0,010
6	0,050	0,010
7	0,040	0,010
8	0,030	0,010
9	0,010	0,020
10	0,000	0,010
20		
30		
40		
50		
60		

Profondeur de l'essai:

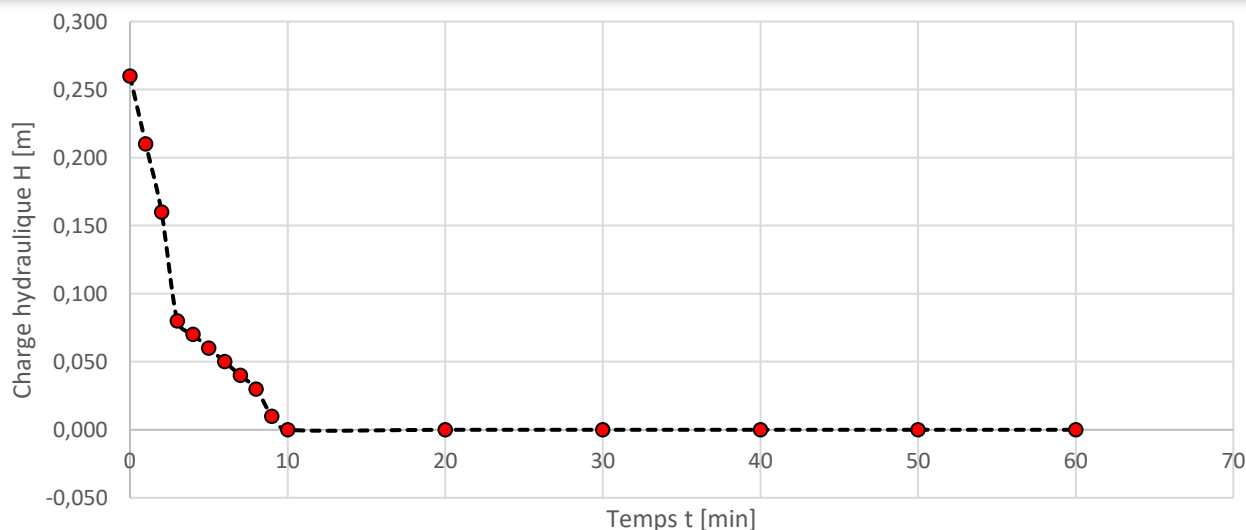
Niveau supérieur	0,59 m/TA
Niveau inférieur	0,85 m/TA

Le coefficient de perméabilité final a été obtenu en réalisant une moyenne des moyennes pondérées des perméabilités (calculées à partir de $t(0)$ et par intervalles de temps) comprises entre 1 et 10 min.

Coefficient de perméabilité K :

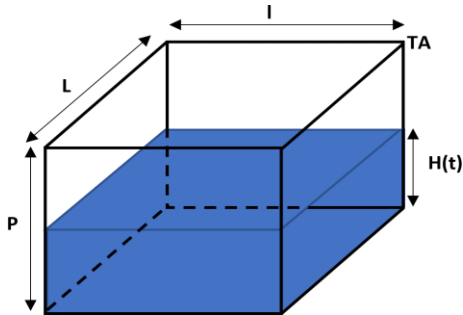
$$K = 3,0E-04 \text{ m/s}$$

$$= 1063,698 \text{ mm/h}$$



ESSAI DE PERMEABILITE

Essai à la fosse (MATSUO) à charge variable

Lithologie testée		Remblais à blocs et matrice argileuse sur calcaires		Saturation du sol		Oui	
				Durée de l'essai [min]		25	
							
Longueur de la fouille (L) [m]		1,50					
Largeur de la fouille (I) [m]		0,50					
Profondeur de la fouille / TA (P) [m]		0,70					
Profondeur de la nappe / TA [m]		/					
NB: TA = Terrain actuel (niveau de la surface)							
Observations		Fosse à sec au bout de 25 min					

Temps t [min]	Charge hydraulique H(t) [m]	Variations de charge $\Delta H(t)$ [m]
0	0,240	0,000
1	0,220	0,020
5	0,160	0,020
10	0,140	0,020
15	0,100	0,040
20	0,060	0,040
25	0,000	0,060

Profondeur de l'essai:

Niveau supérieur	0,46 m/TA
Niveau inférieur	0,70 m/TA

Le coefficient de perméabilité final a été obtenu en réalisant une moyenne des moyennes pondérées des perméabilités (calculées à partir de $t(0)$ et par intervalles de temps) comprises entre 1 et 25 min.

Coefficient de perméabilité K :

$$K = 1,1E-04 \text{ m/s}$$

$$= 413,572 \text{ mm/h}$$

