

# **B 3 G 2** Bureau d'études de Géologie, Géophysique et Géotechnique

ETUDES DE SOL – AVANT-PROJETS – FONDATIONS – TERRASSEMENTS – HYDROLOGIE – GEOPHYSIQUE –  
EXPERTISES – SUIVI DE CHANTIER

SAINT VIT, le 14 Avril 2025

Référence : QG/2025/19855-B

## **EXPLORATION DU SOMMEIL CHU JEAN MINJOZ** *Passerelle*

**Boulevard Alexandre Fleming**  
**25 - BESANCON**

**DIAGNOSTIC GEOTECHNIQUE**  
Mission G5

DESCRIPTION DE LA MISSION
---------------------------

Ce diagnostic géotechnique de type **G5** (selon la norme NF P 94-500) a été réalisé à la demande et pour le compte du **CHU BESANCON**.

Il intervient dans le cadre du projet de relocalisation des services de chirurgie ambulatoire, exploration du sommeil, médecine légale et médecine nucléaire, notamment avec la **construction d'une passerelle** reliant le niveau SS1 du bâtiment GRIS et le bâtiment BLIA.

*Ce diagnostic fait suite à notre précédent diagnostic concernant la construction d'une cage d'escaliers et ascenseurs réalisé dans le cadre du même projet de relocalisation des services de chirurgie ambulatoire, exploration du sommeil, médecine légale et médecine nucléaire (QG/2025/19855 du 30/01/2025).*

La passerelle est projetée au niveau SS1 à la jonction du bâtiment GRIS et du bâtiment BLIA. La zone n'est actuellement pas accessible pour des machines de forage. La configuration actuelle des lieux aurait permis uniquement la réalisation de sondages assez éloignés de la zone projet.

D'après notre connaissance du secteur et particulièrement dans l'enceinte du CHU, la réalisation de sondages éloignés du projet ne présente pas d'intérêt. En effet, le **sous-sol apparaît très karstifié** avec la présence d'un substratum calcaire (parfois marneux) dont la profondeur du toit varie brutalement, entrecoupé de poches argileuses voire de vides/cavités. Dans ces conditions, des reconnaissances réalisées à plusieurs dizaines de mètres du projet ne seraient pas représentatives de la configuration réelle du sous-sol au droit du projet.

De ce fait, après consultation des archives du CHRU, nous avons proposé la réalisation de ce présent diagnostic se basant sur les données disponibles, telles que les précédentes études géotechniques réalisées pour la construction du bâtiment existant, comportant des sondages réalisés à proximité immédiate du projet.

**Ce présent diagnostic permettra d'orienter vers une solution d'adaptation au sol de la future passerelle. Il restera toutefois théorique, basé sur des hypothèses.**

**Il devra donc impérativement être suivi d'une mission G3 (phase étude et suivi EXE)** comportant de nouvelles investigations une fois la zone rendue accessible. Le tout devra également être **supervisé dans le cadre d'une mission G4 (supervision étude et suivi).**

.../...

Rappel des étapes d'élaboration et de réalisation de tout projet (norme NF P 94-500) :

- ETAPE 1 : Etude Géotechnique Préalable (G1) :
  - Phase Etude de Site (ES) ;
  - Phase Principes Généraux de Construction (PGC)
- ETAPE 2 : Etude Géotechnique de Conception (G2) :
  - Phase Avant-projet (AVP) ;
  - Phase Projet (PRO) ;
  - Phase DCE / ACT.
- ETAPE 3 : Etude Géotechnique de Réalisation (G3 et G4) :
  - Etude et Suivi Géotechnique d'Exécution (G3)
    - Phase Etude ;
    - Phase Suivi ;
  - Supervision Géotechnique d'Exécution (G4)
    - Phase Supervision de l'Etude d'Exécution ;
    - Phase Supervision du Suivi d'Exécution ;
- Etude d'Eléments Géotechniques Spécifiques :
  - Diagnostic Géotechnique (G5)

*Vous trouverez en annexe :*

- *Le tableau 1 – Enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (NF P 94-500) ;*
- *Le tableau 2 – Classification des missions d'ingénierie géotechnique (NF P 94-500).*

.../...

## DESCRIPTION DU PROJET

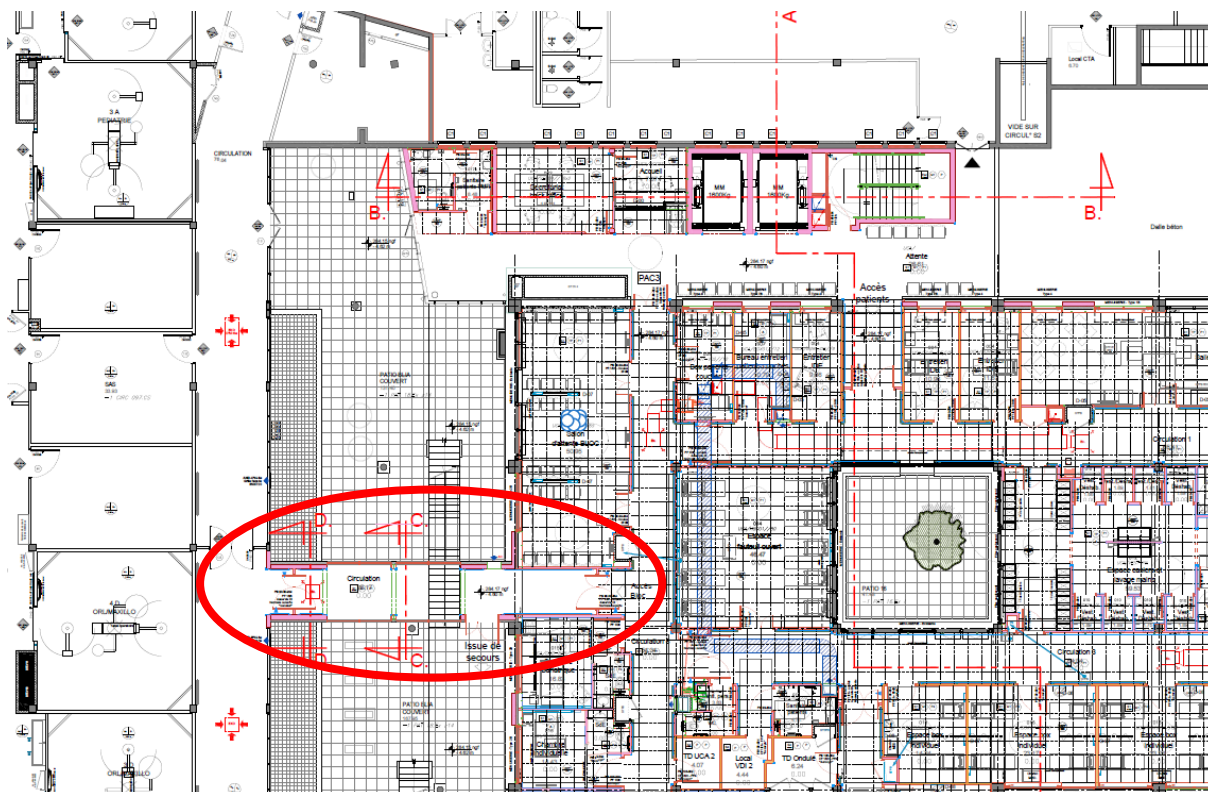
### - Localisation du projet :

Le projet est situé au 3 Boulevard Alexandre Fleming à BESANCON (25), au sein du bâtiment principal du CHU JEAN MINJOZ.



### - Description du projet :

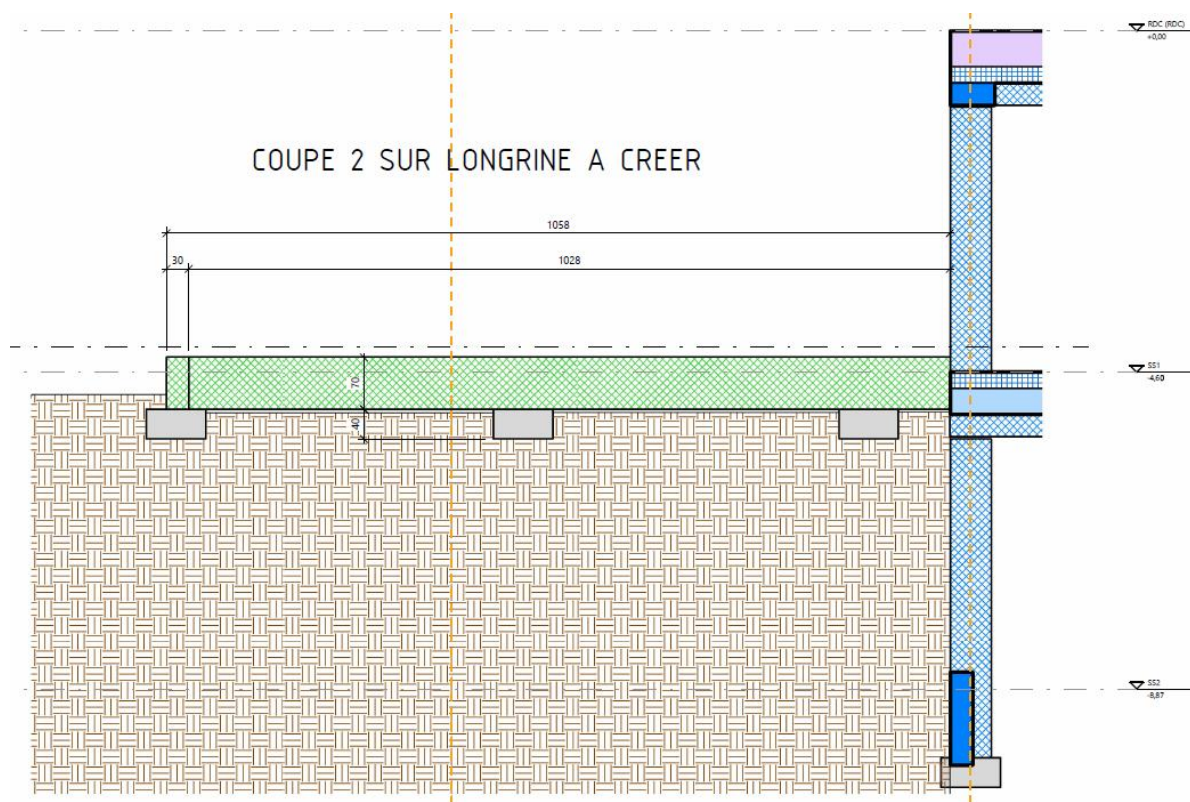
Le projet consiste en la réalisation d'une passerelle au niveau SS1, traversant un patio couvert existant à la jonction des bâtiments GRIS et BLIA.



.../...

A noter que le bâtiment GRIS comporte un niveau SS2 correspondant à un VS dans cette zone (ce qui n'est pas le cas du bâtiment BLIA).

Le niveau SS1 correspond à la cote +284,17 NGF (-4,60) et le niveau SS2 à la cote +279,90 NGF (-8,87).



Nous ne disposons pas non plus des charges/surcharges développées par le projet. Par hypothèse, nous considérerons des charges inférieures à 10 t ELS.

## CONTEXTE GEOLOGIQUE

D'après la carte géologique de BESANCON au 1/50 000<sup>e</sup>, le proche sous-sol apparaît hétérogène sous le bâtiment existant.

En effet, on note la présence en partie Sud-Est d'un substratum calcaire (Bathonien J2) partiellement recouvert d'alluvions fluviatiles non datées et d'argiles résiduelles ainsi qu'en partie Nord-Ouest d'un substratum marneux à calcaire (Callovien inférieur J3a /Oxfordien et Callovien supérieur J4).

Ces terrains ont subi la tectonique, comme en témoigne le contact discordant (faille) entre les différentes strates géologiques présentes.

.../...





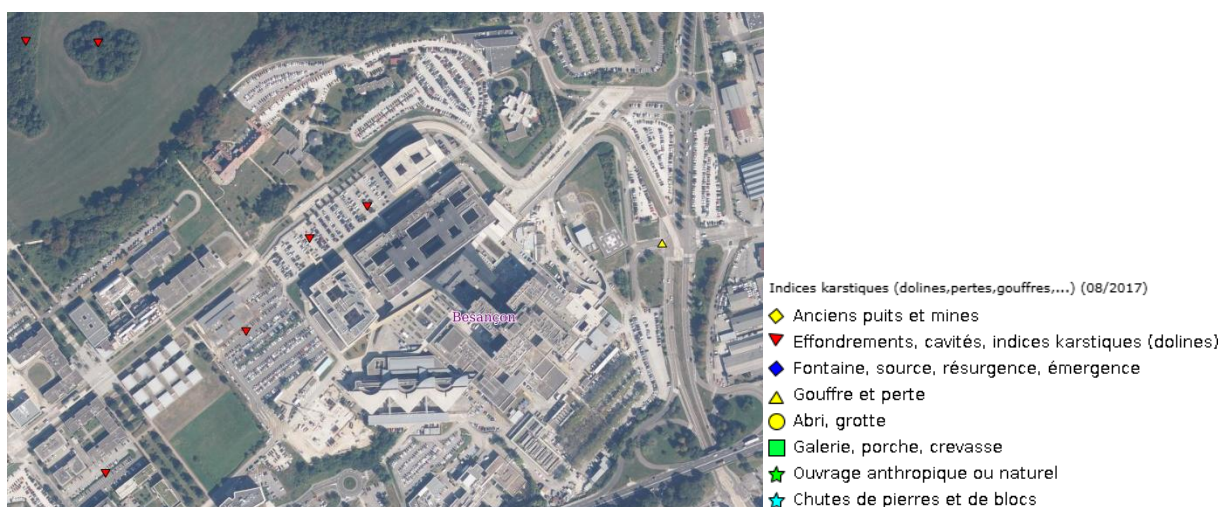
Extrait de la carte géologique de BESANCON au 1/50 000°

Ce substratum apparaît particulièrement karstifié dans le secteur. En effet, l'ensemble des investigations menées du début de la construction du CHU à nos jours révèle un sous-sol fortement impacté par l'aléa karstique avec la présence de dolines, failles, fissures, vides, cavités, poches et surépaisseurs argileuses, ...

Lors de la construction du bâtiment GRIS existant hôte du projet, des cavités et vides ont été identifiés, notamment dans le secteur du projet.

Pour illustrer l'importance de l'aléa karstique dans la zone, on rappellera également l'affaissement survenu le 08/08/2019 au droit du parking P6 du CHRU suite à une réactivation karstique due à une infiltration concentrée des EP.

On notera également que la DDT 25 renseigne la présence d'indices karstiques aux abords du site (anciens puits et mines, effondrement, cavités, dolines, ...).



.../...

- Contexte hydrogéologique :

La zone d'étude n'est pas sujette à la présence d'une nappe souterraine (nappe alluviale). Des circulations erratiques sont toutefois possibles.

## DONNEES GEOTECHNIQUES

Le CHU a conservé une partie des études géotechniques réalisées depuis le début de la construction du site.

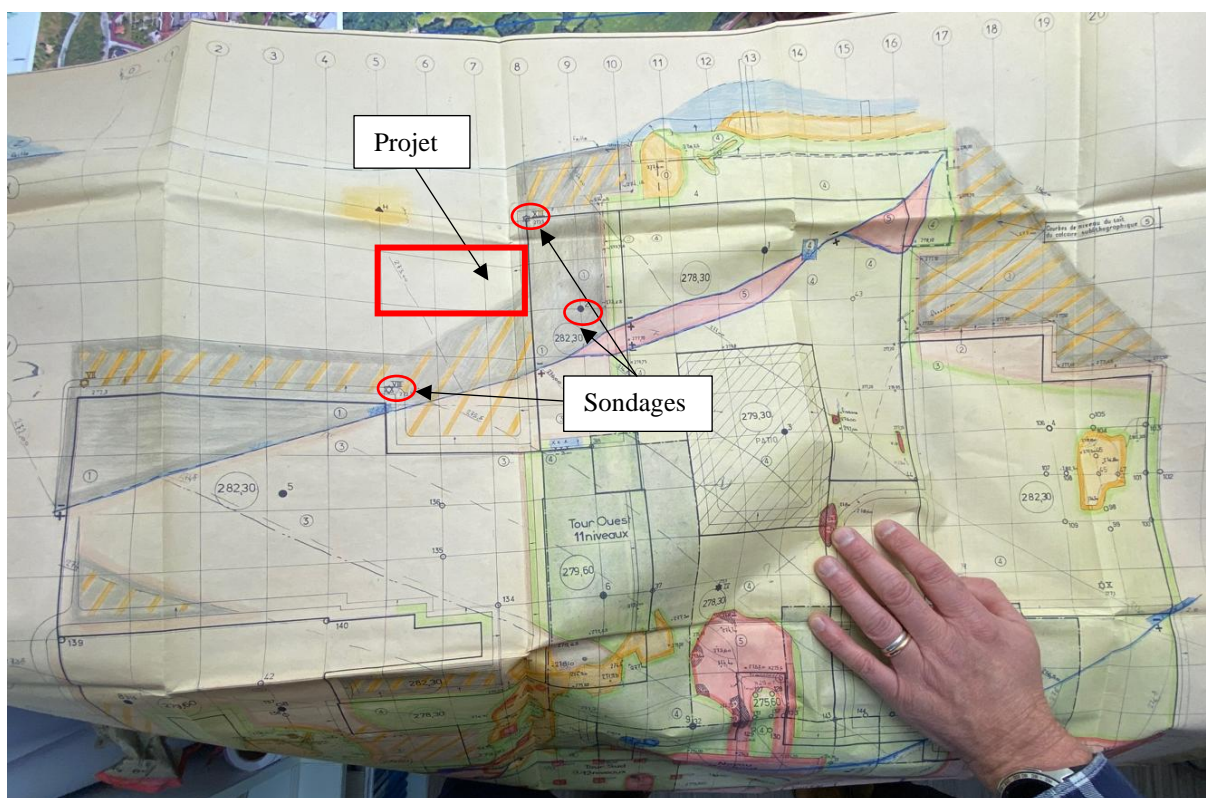
Parmi ces données, des travaux réalisés par l'entreprise SIMECSOL pour la construction du bâtiment « Gris », datés de 1976 à 1978, ont retenu notre attention.

Nous avons retenu pour notre analyse :

- Un plan lithologique ;
- Deux sondages carottés et un test de pénétration ;
- Un plan EXE.

Ces documents présentent un système de coordonnées du type A1 où les lettres désignent les lignes et les chiffres les colonnes.

Dans ce système de repère, le projet de passerelle se situe au niveau des lignes W/X et colonnes 6/7/8.



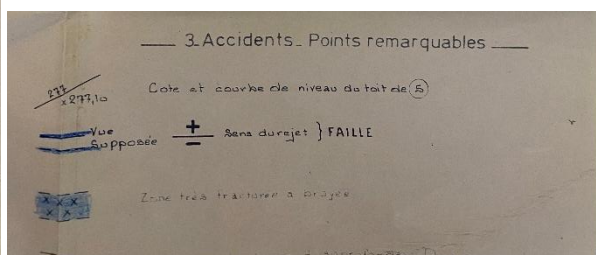
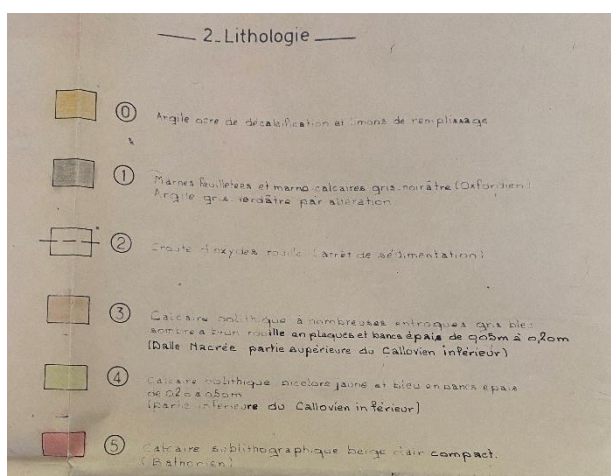
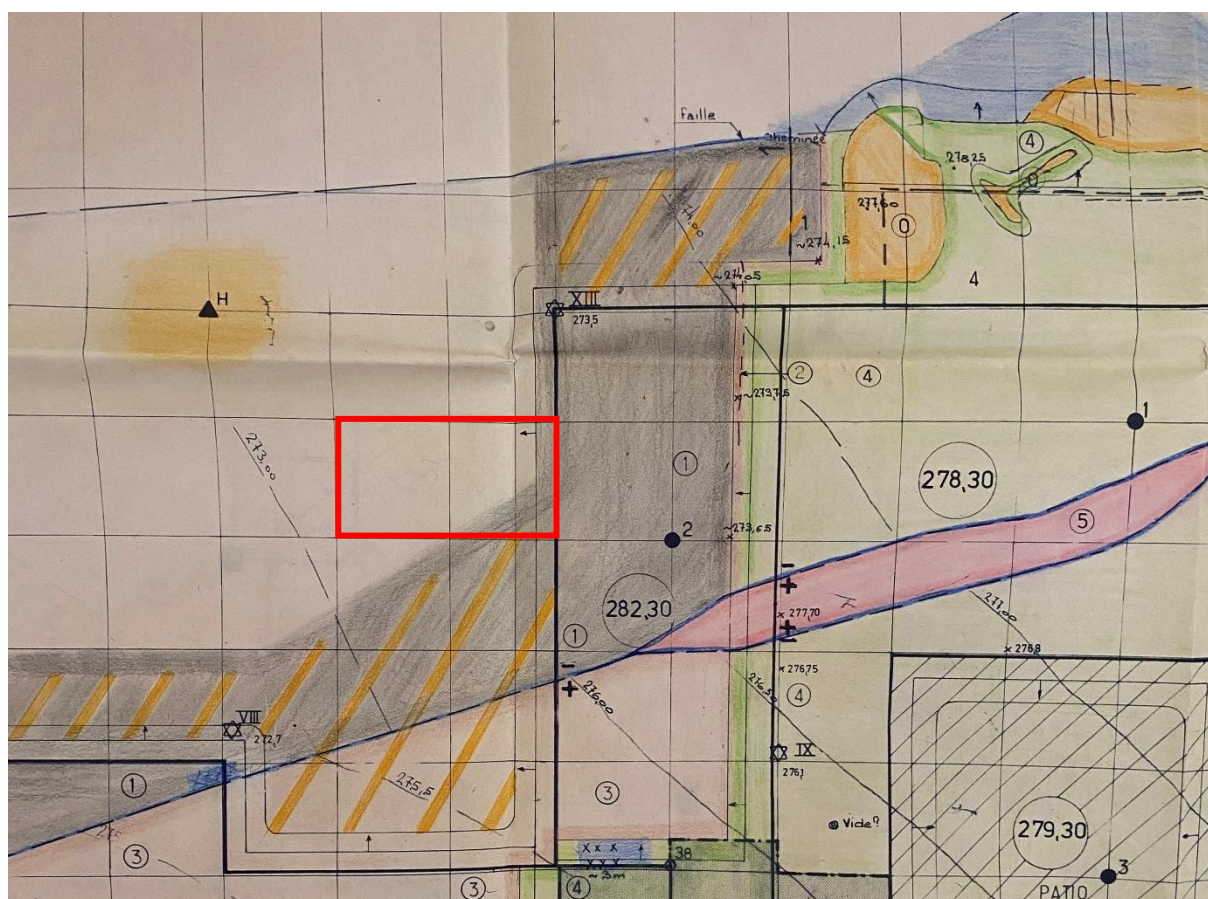
.../...



- Analyse plan lithologique :

D'après le plan lithologique annoté et la légende disponible, le sous-sol au droit du projet serait majoritairement constitué par des terrains marneux à marno-calcaires gris noirâtre (pouvant s'altérer sous forme d'argiles gris verdâtre) dans lesquels sont intercalés des argiles ocre de décalcification et limons de remplissage.

Notons également la présence de calcaire oolithique bicolore jaune et bleu en bancs épais et de calcaire sub-lithographique beige clair compact à proximité ainsi que de failles supposées.



.../...



- Analyse sondages carottés (XIII et VII) et du test de pénétration (2) :

Le sondage carotté (XIII) réalisé à proximité du projet a été réalisé approximativement à la cote +284,00 NGF soit approximativement l'altimétrie du niveau SS1 correspond à la cote +284,17 NGF (-4,60). Ce sondage indique d'abord en surface et jusqu'à environ 3,50 m de profondeur, la présence de limon sableux jaune puis beige recouvrant un substratum calcaire  $\pm$  grossier à intercalations argileuses.

Le sondage carotté (VIII) réalisé à proximité du projet a été réalisé approximativement à la cote +283,30 NGF soit légèrement en dessous de l'altimétrie du niveau SS1 correspond à la cote +284,17 NGF (-4,60). Ce sondage indique d'abord en surface et jusqu'à environ 3,50 m de profondeur, la présence de limon sableux et argile jaunâtre recouvrant un substratum calcaire ± grossier à intercalations argileuses.

# SONDAGE CAROTTÉ XIII

CC1 Couronne Couronne  
CD1 Couronne Diamant

COTE NGS. 284,0

COUPE EN TERRAIN	ETAGE GEOLOGIQUE	DESCRIPTION DES TERRAINS	AVANCEMENT	NIVEAU D'EAU	EQUIPEMENT MECANIQUE	TUBAGE	PROF. TUBAGE	"L. M. CAROTTAGE
		Terre végétale graveleuse						
		Limon sableux jaune puis beige						
		Calcaire grossier rubanné gris noirâtre avec joints argileux noirs; nombreux passages fragmentés ou friables						
		Calcaire et argile jaunes						
		Calcaire moyen jaune et bleu peu fracturé						
		Calcaire moyen gris bleu avec petits passages rubannés et joints ligniteux noirs						
		Calcaire et argile jaunes Calcaire moyen friable jaune et bleu						
		Calcaire très fin (sublithographique) beige clair, non fracturé						

22 h. 76

111 550 le 22 h. 76

# SONDAGE CAROTTÉ VIII

CC1 Couronne Couronne  
CD1 Couronne Diamant

COTE NGS. 283,3

COUPE EN TERRAIN	ETAGE GEOLOGIQUE	DESCRIPTION DES TERRAINS	AVANCEMENT	NIVEAU D'EAU	EQUIPEMENT MECANIQUE	TUBAGE	PROF. TUBAGE	"L. M. CAROTTAGE
		Terre végétale						
		Limon sableux jaune avec quelques débris calcaires en tête						
		Argile compacte jaunâtre devenant grisâtre						
		Calcaire grossier rubanné gris bleu, fracturé idem jaune à gris						
		Argile jaune et calcaire Calcaire grossier jaune fracturé						
		Argile et calcaire argileux jaunes						
		Calcaire grossier assez tendre jaune, d'abord très fracturé puis fragmenté						
		Calcaire jaune fracturé surtout entre 9,4 et 10,0 m						
		Calcaire très fin (sublithographique) beige, en zones blanches peu fracturé						

14 h. 76

111 1000 le 15 h. 76

111 1500 le 14 h. 76

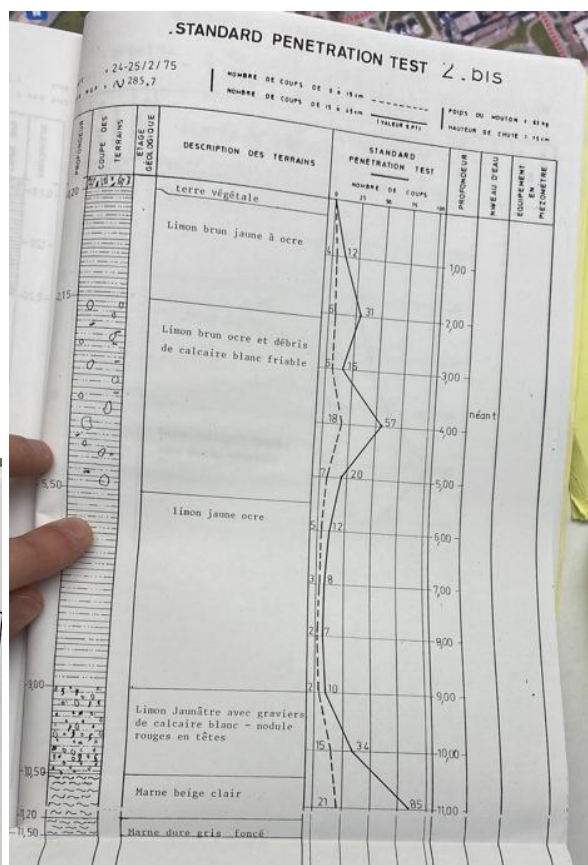
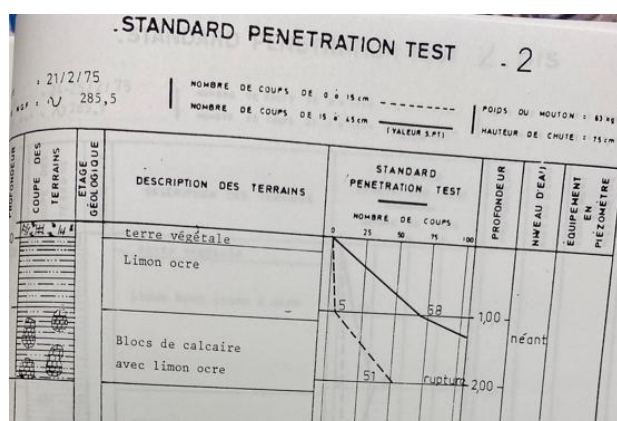
C.C.  
5"

C.D.  
116

Le test de pénétration (2) a été réalisé à la cote +285,5 NGF et se stoppe de manière précoce à environ 2,20 m de profondeur soit approximativement à la cote +283,3 NGF. Ce dernier indique la présence sur environ 1,20 m de limons meubles ocre recouvrant des blocs calcaires à matrice limoneuse ocre.

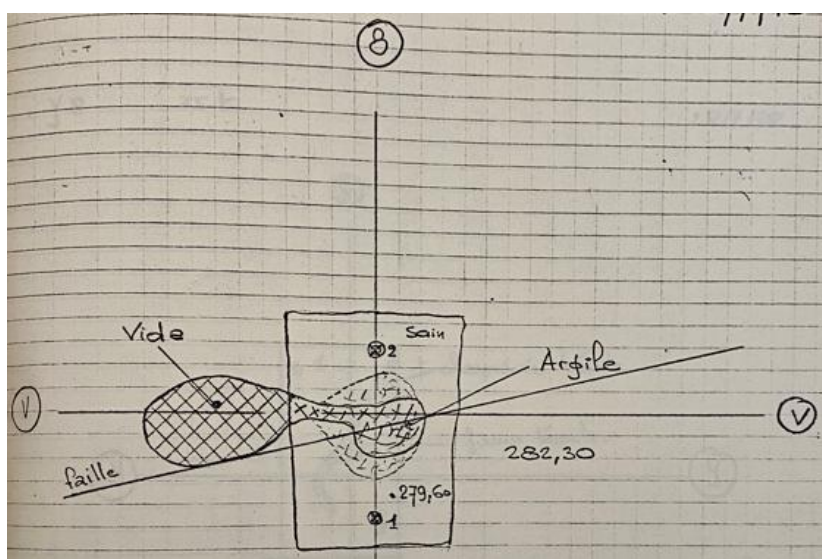
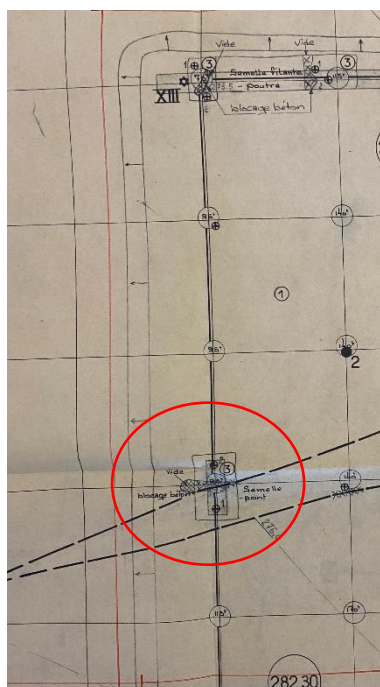
Un second test (2bis) a été réalisé. Ce dernier révèle la présence de terrain limoneux peu portant jusqu'à environ 10,50 m de profondeur, recouvrant les premiers termes d'un substratum marneux.

...../.....



- Analyse des plans EXE :

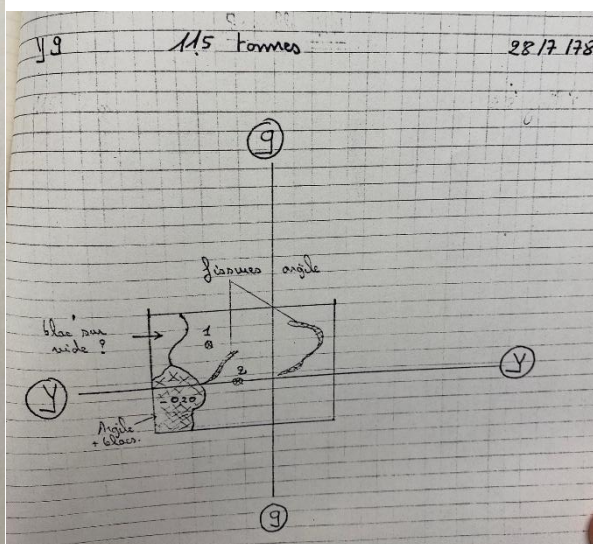
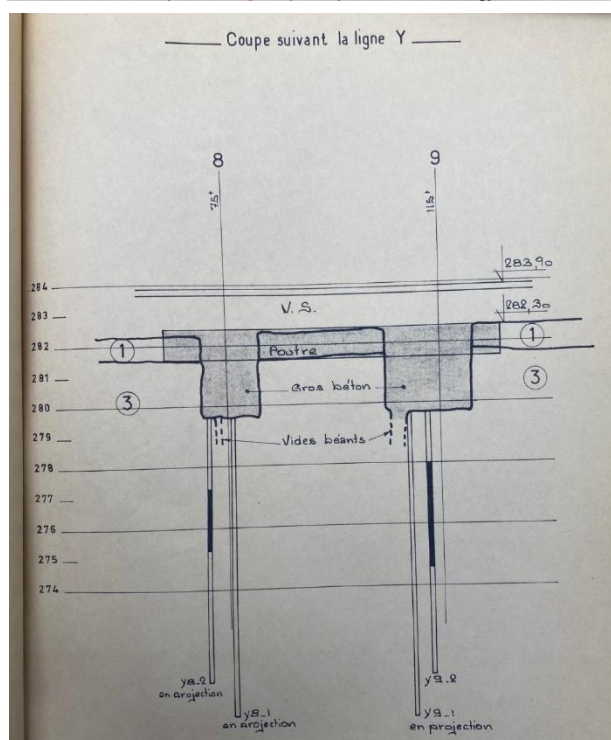
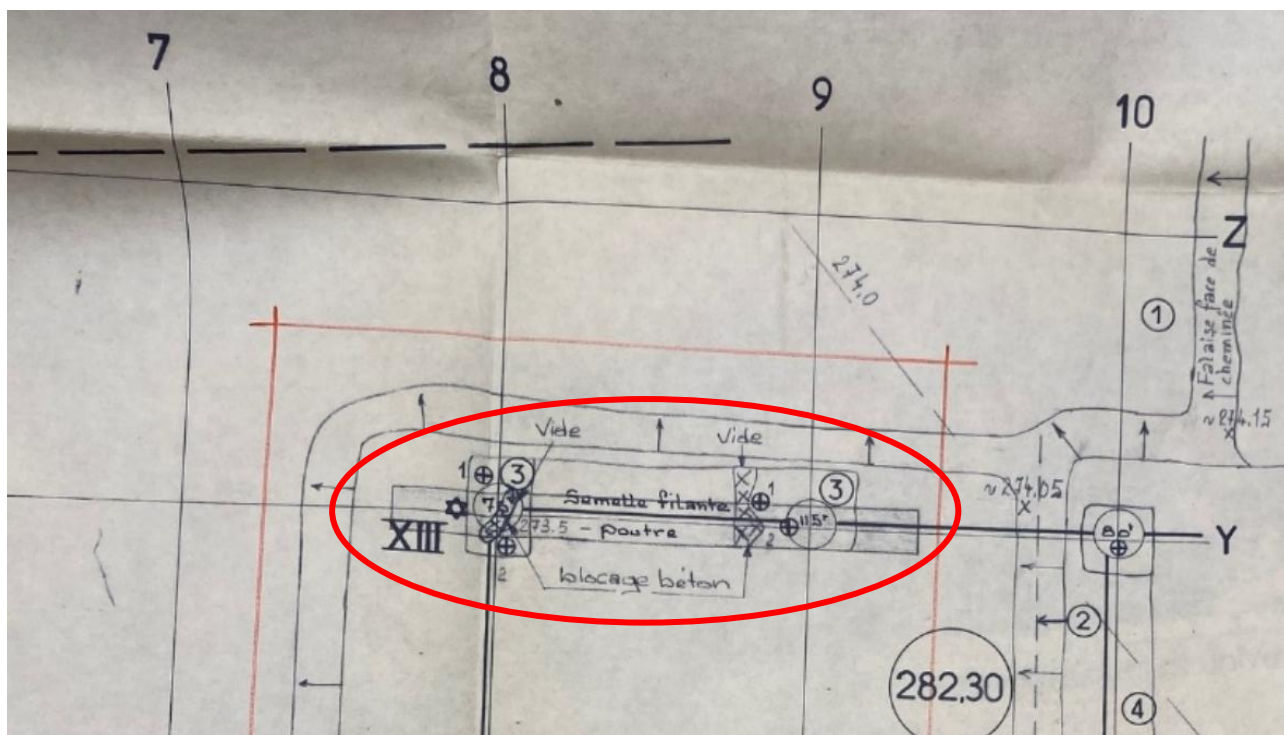
D'après les plans EXE à notre disposition, à proximité immédiate du projet, au croisement de la ligne V et de la colonne 8, un vide partiellement comblé d'argile a été identifié lors de la réalisation des fondations existantes (en lien avec un système de faille).



.../...



De plus, lors de notre précédent diagnostic, nous avons également observé le relevé de vides béants au niveau des fouilles de fondations mitoyennes au projet de cage d'ascenseurs situé à proximité. Ces vides ont a priori été comblés de gros béton et un pontage a été réalisé à l'aide d'une poutre.



.../...



## CONCLUSIONS

D'après les données à notre disposition, **le projet se situe dans une zone non épargnée par le phénomène karstique.**

En effet, on observe la présence d'un sous-sol à la **lithologie hétérogène**, constitué par un **substratum calcaire à marneux** dont la profondeur varie brutalement et dans lesquels ont été identifiés des **vides**, **poches argileuses** et rejets de **failles**. Le tout recouvert de terrains limoneux à argileux meubles à  $\pm$  de blocs.

Les documents EXE établis lors de la réalisation des fondations existantes font état de **vides béants** ayant nécessité des comblements en gros béton et un pontage à l'aide de poutres.

On notera que les terrains ont vraisemblablement été remaniés lors de la construction du bâtiment BLIA. La présence de remblais est probable notamment le long du niveau SS2 du bâtiment GRIS (cône de remblai).

*Ces éléments confirment le non intérêt de réaliser des sondages éloignés du projet à ce stade et la nécessité de réaliser des investigations complémentaires au début de la phase EXE au droit du projet dans le cadre d'une mission G3.*

## REMARQUE PRELIMINAIRE

Compte tenu de notre analyse et de la configuration du projet (*niveau SS2 en contrebas du projet situé en SS1, sous-sol hétérogène avec possible présence de terrains meubles peu portants en surface, probable présence d'un cône de remblais le long du SS2, ...*), en première approche, nous retiendrons une solution de fondations profondes de type micropieux couplés à des dalles portées.

Ces micropieux devront atteindre le substratum calcaire ou marneux en profondeur.

La solution de fondations superficielles n'est à ce stade pas justifiable. Les terrains superficiels étant probablement hétérogènes tant en nature que consistance (limon, argiles, calcaire et/ou remblais) il résulterait un risque de tassements tant absolus que différentiels non acceptables. De plus, des fondations superficielles diffuseraient les charges en direction du mur enterré du SS2 du bâtiment GRIS pour lequel nous n'avons pas d'information.

.../...

## FONDATEMENTS DE LA STRUCTURE PAR MICROPIEUX

Comme évoqué en remarque préliminaire, en première approche, on s'orientera vers une **solution de fondations profondes de type micropieux**.

Ces micropieux devront être **ancrés au sein du substratum calcaire** (*de minimum 3 diamètres*).

Nous donnerons ci-après les paramètres géotechniques à prendre en compte pour le dimensionnement de micropieux, et réaliserons un **prédimensionnement** selon des charges hypothétiques.

Nous rappelons que les résultats fournis ci-après ne sont donnés qu'à titre indicatif et qu'une note de calcul détaillée devra être établie, **dans le cadre d'une mission G3**, par l'entreprise de micropieux en prenant en compte les dernières modifications du projet et les caractéristiques réelles de son matériel. En tout état de cause, cette note de calcul justificative devra recevoir l'agrément du bureau de contrôle et/ou du bureau d'étude structure.

### - Prédimensionnement en compression des micropieux à l'Eurocode 7 :

Nous utiliserons la procédure « **Modèle de terrain** » qui consiste à établir un modèle géotechnique de terrain à partir de nos sondages.

Hypothèse du type de pieux : **Micropieux de type III (type 19, classe 8)**.

*Si l'entreprise retenue souhaite réaliser une variante elle devra le justifier et s'engager sur son exécution. En cas de non aboutissement on devra forcément revenir à une technique de micropieux de type III.*

Selon la norme NF P 94-262, La résistance maximale ( $R_c$ ) pouvant être reprise par un pieu correspond à la somme de la résistance de pointe ( $R_b$ ) et la résistance de frottement axial ( $R_s$ ).

$$R_c = R_b + R_s$$

Dans le cas de micropieux (diamètre < 0,30 m), le terme de pointe  $R_b$  est négligé et seul le frottement latéral est pris en compte dans leur dimensionnement.

$$R_c = R_s$$

- Le **terme de frottement latéral** s'écrit :

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

Avec :

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

$$F_{\text{sol}} (Pl^*) = (a Pl^* + b) \cdot (1 - e^{-c Pl^*})$$

.../...

Avec :

- $P_s$  : périmètre du pieu ;
- $q_{s(Z)}$  : valeur du frottement axial unitaire à la cote Z ;
- D : longueur du pieu contenue dans le terrain ;
- $\alpha_{\text{pieu-sol}}$  : paramètre adimensionnel qui dépend à la fois du type de pieu et du type de sol défini dans le tableau F.5.2.1 ;
- $F_{\text{sol}}$  : fonction qui ne dépend que du type de sol et des valeurs de  $PI^*$  ;
- Les valeurs des paramètres a, b et c sont définies dans le tableau F.5.2.2 pour des valeurs de pression limite nette  $PI^*$  en MPa et des valeurs  $F_{\text{sol}}$  en MPa.

**Tableau F.5.2.2 — Valeurs numériques des paramètres a, b et c des courbes  $f_{\text{sol}}$  — Méthode pressiométrique**

Type de sol	Argile % CaCO <sub>3</sub> < 30% Limon Sols intermédiaires	Sols intermédiaires Sable Grave	Craie	Marne et Calcaire- Marneux	Roche altérée ou fragmentée
Choix de la courbe	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5
a	0,003	0,01	0,007	0,008	0,01
b	0,04	0,06	0,07	0,08	0,08
c	3,5	1,2	1,3	3	3

**Tableau F.5.2.1 — Choix des valeurs de  $\alpha_{\text{pieu-sol}}$  — Méthode pressiométrique**

N°	Abréviation	Technique de mise en œuvre	Argile % CaCO <sub>3</sub> < 30% Limon Sols intermédiaires	Sols intermédiaires Sable Grave	Craie	Marne et Calcaire- Marneux	Roche altérée ou fragmentée
1	FS ##	Foré simple (pieux et barrettes)	1,1	1	1,8	1,5	1,6
2	FB ##	Foré boue (pieux et barrettes)	1,25	1,4	1,8	1,5	1,6
3	FTP	Foré tubé (virole perdue)	0,7	0,6	0,5	0,9	—
4	FTR	Foré tubé (virole récupérée)	1,25	1,4	1,7	1,4	—
5	FSR, FBR, PU ##	Foré simple ou boue avec rainurage ou puits	1,3	—	—	—	—
6	FTC, FTCD (c)	Foré tanière continue simple rotation ou double rotation	1,5	1,8	2,1	1,6	1,6
7	VM	Vissé moulé	1,9	2,1	1,7	1,7	—
8	VT	Vissé tubé	0,6	0,6	1	0,7	—
9	BPF**, BPR**	Battu béton préfabriqué ou précontraint	1,1	1,4	1	0,9	—
10	BE**	Battu enrobé (béton – mortier – coulis)	2	2,1	1,9	1,6	—
11	BM**	Battu moulé	1,2	1,4	2,1	1	—
12	BAF**	Battu acier fermé	0,8	1,2	0,4	0,9	—
13	BAO** #	Battu acier ouvert	1,2	0,7	0,5	1	1
14	HB** #	H battu	1,1	1	0,4	1	0,9
15	HBI**	H battu injecté IGU ou IRS	2,7	2,9	2,4	2,4	2,4
16	PP** #	Palplanches battues	0,9	0,8	0,4	1,2	1,2
17	M1	Micropieu type I	—	—	—	—	—
18	M2	Micropieu type II	—	—	—	—	—
19	PIGU, MIGU	Pieu ou micropieu injecté (type III)	2,7	2,9	2,4	2,4	2,4
20	PIRS, MIRS	Pieu ou micropieu injecté (type IV)	3,4	3,8	3,1	3,1	3,1

\*\* Il convient de se reporter à l'article A.10 pour le calcul du périmètre.

.../...



Selon la procédure du modèle de terrain, la **charge limite** d'un micropieu s'écrit :

$$R_{c;k} = R_{s;k} = \frac{R_s}{\gamma_{R;d1} \cdot \gamma_{R;d2}}$$

Avec :

- $\gamma_{R;d1}$  et  $\gamma_{R;d2}$  : coefficients de modèle définis dans le tableau F.2.1

Tableau F.2.1 — Valeur des coefficients de modèle pour la méthode pressiométrique

	Procédure du « pieu modèle » (utilisation des coefficients $\xi$ ou de l'Annexe D de la norme NF EN 1990)		Procédure du « modèle de terrain »	
	Procédure du « modèle de terrain »		$\gamma_{R,d1}$	$\gamma_{R,d2}$
	Compression	Traction		
Pieux non ancrés dans la craie de classe 1 à 7 hors pieux de catégorie 10 et 15	1,15	1,4	1,1	
Pieux ancrés dans la craie de classe 1 à 7 hors pieux de catégorie 10 et 15	1,4	1,7		
Pieux de catégorie 10, 15, 17, 18, 19 et 20 dans les sables, les sols intermédiaires et les roches	1,4	1,7		
Pieux de catégorie 10, 15, 17, 18, 19 et 20 dans l'argile, les craies et les marnes	2,0	2,0		

La **valeur de la charge de fluage en compression** d'un micropieu peut s'écrire :

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

La **valeur de résistance totale (aux ELS quasi permanentes)** s'écrit :

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

Avec :

- $\gamma_{cr}$  : facteur partiel de résistance dans le tableau 12.2.1.2

Tableau 12.2.1.2 — Facteurs partiels de résistance ( $\gamma_R$ ) pour les fondations profondes – ELS – Combinaisons quasi permanentes

Résistance	Symbole	Valeurs
Fût en compression	$\gamma_{cr}$	1,1
Fût en traction (y compris micropieux)	$\gamma_{s;cr}$	1,5

**Nous utiliserons les paramètres suivants pour le dimensionnement des micropieux, selon l'Eurocode 7 :**

Le modèle de terrain et les paramètres retenus sont théoriques, extrapolés à partir de notre connaissance du secteur. Il conviendra d'ajuster le modèle dans le cadre de la mission G3 en phase EXE.

.../...

Modèle de terrain et paramètres correspondants :

Nature du terrain	PI* (Bars)	$\alpha_{\text{pieu-sol}}$	$f_{\text{sol}}  p ^{*(z)}$ (KPa)	$Q_s$ (KPa)	$Q_s \text{ max}$ (KPa)
Remblai	_*	_*	_*	_*	_*
Terrains meubles	_*	_*	_*	_*	_*
Substratum calcaire	25	2,4	105	252	320

- Le frottement latéral a été négligé au sein des remblais et terrains meubles
- La pression limite considérée dans le substratum calcaire a été extrapolée à partir de notre connaissance du secteur

Nature du terrain	Compression	
	$\gamma_{R,d1}$	$\gamma_{R,d2}$
Remblai	_*	_*
Terrains meubles	_*	_*
Substratum calcaire	1,4*	1,1*

\*valeurs issues du tableau F.2.1. (Fonction du type de pieu retenu)

### Détail du calcul dans le cas d'un micropieu de diamètre Ø15 cm réalisé aux ELS quasi permanentes :

Paramètres du micropieu considérés :

Diamètre : 0,15 m ;

Ancrage : 4,50 m dans le substratum calcaire ;

#### Résistance latérale :

$$R_{s;k} = \frac{P_s \int_0^D q_{s.(z)} dz}{\gamma_{R;d1} \cdot \gamma_{R;d2}}$$

$$R_{s;k} = (\pi \cdot 0,15) \left( 4,50 \frac{2,4 \cdot 10,5}{1,4 \cdot 1,1} \right)$$

$$R_{s;k} = 34,7 \text{ t}$$

#### Valeur caractéristique de la charge de fluage en compression :

$$R_{c;cr;k} = 0,7 \cdot R_{s;k} = 0,7 \times 34,7 = 24,3 \text{ t}$$

#### Portance totale aux ELS quasi permanentes pour un micropieu de Ø 15 cm et un ancrage de 4,50 m dans le substratum calcaire :

$$R_{c;cr;d} = R_{c;cr;k} / \gamma_{cr} = 24,3 / 1,1 = 22,1 \text{ t ELS quasi permanentes}$$

.../...

On notera qu'en augmentant le diamètre et/ou l'ancrage des micropieux, la charge admissible pourra être augmentée.

Un appui peut également être doublé, couplé à un système de poutre pour reprendre les plus fortes charges.

À titre indicatif le tableau suivant donne les valeurs de portance totale aux ELS quasi permanentes ( $R_{c,cr,d}$ ) pour différentes épaisseurs d'ancrage au sein du **substratum calcaire** selon différents diamètres de micropieu :

Portance totale aux ELS quasi permanentes ( $R_{c,cr,d}$ ) en t					
Ancrage (m)	Diamètre (m)				
	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
1,5	4,9	7,4	9,8	12,3	14,7
3	9,8	14,7	19,6	24,5	29,4
4,5	14,7	22,1	29,4	36,8	44,1
6	19,6	29,4	39,2	49,0	58,9

#### - Sujétions d'exécution :

Dans tous les cas, on devra également vérifier qu'en tête de micropieux la **résistance conventionnelle à la compression du béton** n'est pas dépassée (*fonction du béton utilisé et du type de micropieux*).

A noter que le toit substratum calcaire est susceptible de varier d'un micropieu à l'autre. On ancrera donc les micropieux en conséquence (profondeur /longueur variable). On respectera également l'élancement pour les micropieux les plus courts.

On prendra en compte la possible présence de **blocs indurés et/ ou de vestiges au sein des remblais**. Il sera peut-être nécessaire de franchir localement des vestiges ou blocs indurés et de s'ancrer nécessairement au-delà dans le substratum calcaire reconnu sur des épaisseurs convenables.

Dans tous les cas il est **indispensable que l'assise de chaque micropieu soit bien descendue au sein du substratum calcaire compact**. Toute assise dans les horizons sus-jacents est à proscrire.

L'entreprise devra justifier aussi bien dans sa note de calcul que dans son exécution cette notion **d'assise des micropieux dans le substratum calcaire** (*assise, ancrage, frottements pris en compte...*) et quelle que soit la méthode de pieux retenue.

Les micropieux seront réalisés, selon les recommandations de la norme NF P 94-262 et en appliquant les Règles de l'Art, par une entreprise spécialisée dans le domaine des fondations spéciales.

.../...



L'entreprise vérifiera que son matériel permet d'atteindre les niveaux d'ancrage demandés. Celle-ci devra s'assurer que les moyens utilisés sont compatibles avec les ouvrages existants et avec la nature du sol (agressivité, abrasivité, ...).

Il appartient au Bureau d'Etudes Structure de vérifier la tenue des micropieux vis-à-vis des efforts parasites de type efforts longitudinaux, poussée latérale, efforts sismiques...

Les micropieux devront être calculés de manière à reprendre les efforts horizontaux (liés au vent, à la neige, aux surcharges et fondations de l'existant, ...) et **les efforts sismiques** (calcul de déplacement...), rappelons que le projet est situé en zone de sismicité 3 modérée.

**On s'assurera de l'absence de toute interférence pour les micropieux trop proches (distance entre deux micropieux < 3 Ø).** Le cas échéant on devra prendre en compte l'effet de groupe associé.

D'autres types de micropieux sont envisageables et devront nécessairement faire l'objet d'un dimensionnement et d'une justification de la méthode retenue par l'entreprise choisie.

**Pour rappel, un fois le site rendu accessible en phase EXE, il conviendra de mener une étude spécifique de type G3 avec sondages destructifs de contrôle au droit de chaque appui afin de vérifier la profondeur la qualité et la continuité dudit substratum calcaire. Ces investigations complémentaires permettraient de vérifier l'absence d'anomalies importantes, ou bien, dans les secteurs concernés de cerner leur géométrie afin notamment d'étudier la possibilité d'adaptations structurelles (décalage de micropieux, pontage des anomalies les plus profondes, tubage des vides...)**

N.B. :

Compte tenu du contexte karstique, des fissures ou vides pourraient être rencontrés nécessitant un tubage pour limiter les surconsommations de béton et le bétonnage du karst. On devra neutraliser et tuber les forages jusqu'à la base des vides puis de dimensionner le micropieu en frottement au-delà du tubage.

Les longueurs des micropieux seront ajustées dans tous les cas à la profondeur réelle du toit du substratum calcaire sain (au-delà des vides) rencontré au droit de chaque micropieu afin de réaliser les ancrages nécessaires au bon dimensionnement des micropieux.

Précisons qu'une exécution soignée est indispensable et que le repérage des vides (épaisseur notamment) devra être très précis et signalé lors des travaux par l'entreprise dans le cadre de sa mission G3 (et relevés dans le DOE notamment). De plus les micropieux concernés devront tous faire l'objet d'un essai de contrôle.

Il sera nécessaire d'adapter en cours d'exécution la profondeur d'ancrage des micropieux au sein du substratum calcaire notamment en cas de rencontre de surépaisseurs argileuses ou anomalies karstiques. **La mission G3 de l'entreprise devra être superviser en mission G4.**

.../...

- Redent :

On veillera à ce que les fondations projetées n'interfèrent pas avec celles existantes, et réciproquement, notamment pour éviter tout cisaillement sur les micropieux.

Rappelons qu'il conviendra de prendre toutes les mesures nécessaires lors des travaux de terrassements et de compactage pour ne pas déstabiliser les fondations existantes, ni les déchausser.

- Dallage :

Compte tenu du contexte (intérieur bâtiment) et de la présence d'une galerie au niveau inférieur, les planchers projetés devront être portés comme le reste des structures (micropieux).

### CLASSIFICATION SISMIQUE DU SOL

- Zone de **sismicité 3 modérée**, d'après le zonage Sismique (Eurocode 8 -Mai 2011) ;
- Sol de **Classe E** : substratum calcaire recouvert par plus de 5 ml de matériaux moins résistants.
- Paramètre de sol  $S = 1,8$  (NF EN 1998-1) pour une classe de sol E.
- Catégorie d'importance IV (*à confirmer par le maitre d'ouvrage*) ;
- Valeur de l'accélération horizontale  **$ag = 1,54 \text{ m/s}^2$**  ;

**Lors de la réalisation des travaux (fouilles, terrassements, compactage...), on prendra toutes les précautions qui s'imposent afin de garantir la stabilité des ouvrages avoisinants (bâtiments, voiries, réseaux, ...).**

Selon la configuration définitive du projet, le présent rapport devra être suivi des études **G3 et G4** (selon l'enchaînement des missions géotechniques de la norme NF P 94-500).

Nous restons à la disposition des concepteurs pour préciser et adapter nos conclusions.

SAINT VIT, le 14 Avril 2025		Référence : <b>QG/2025/19855-B</b>	
<b>Rédacteur</b>		<b>Superviseur</b>	
Q. GALLICE		B. NICEY	

## **CLASSIFICATION DES MISSIONS TYPE** **D'INGENIERIE GEOTECHNIQUE**

(Tableaux 1 et 2 de la norme NF P 94-500 - novembre 2013)



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 avec détection au plus tôt de leur survenance	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		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**

<p>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.</p>
<p><b>ÉTAPE 1 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE PRÉALABLE (G1)</b></p> <p>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 :</p> <p><u>Phase Étude de Site (ES)</u></p> <p>Elle est réalisée en amont d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS pour une première identification des risques géotechniques d'un site.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Faire une enquête documentaire sur le cadre géotechnique du site et l'existence d'avoisinants avec visite du site et des alentours.</li> <li>— Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.</li> <li>— Fournir un rapport donnant pour le site étudié un modèle géologique préliminaire, les principales caractéristiques géotechniques et une première identification des risques géotechniques majeurs.</li> </ul> <p><u>Phase Principes Généraux de Construction (PGC)</u></p> <p>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.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.</li> <li>— 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).</li> </ul>
<p><b>ÉTAPE 2 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE DE CONCEPTION (G2)</b></p> <p>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 :</p> <p><u>Phase Avant-projet (AVP)</u></p> <p>Elle est réalisée au stade de l'avant-projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.</li> <li>— 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.</li> </ul> <p><u>Phase Projet (PRO)</u></p> <p>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.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.</li> <li>— 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.</li> </ul> <p><u>Phase DCE / ACT</u></p> <p>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.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— 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).</li> <li>— 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.</li> </ul>

Tableau 2 — Classification des missions d'ingénierie géotechnique (suite)

<p><b>ÉTAPE 3 : ÉTUDES GÉOTECHNIQUES DE RÉALISATION (G3 et G 4, distinctes et simultanées)</b></p> <p><b>ÉTUDE ET SUIVI GÉOTECHNIQUES D'EXECUTION (G3)</b></p> <p>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 :</p> <p><u>Phase Étude</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.</li> <li>— 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).</li> <li>— Élaborer le dossier géotechnique d'exécution des ouvrages géotechniques provisoires et définitifs : plans d'exécution, de phasage et de suivi.</li> </ul> <p><u>Phase Suivi</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Suivre en continu les auscultations et l'exécution des ouvrages géotechniques, appliquer si nécessaire des dispositions constructives prédéfinies en phase Étude.</li> <li>— 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).</li> <li>— 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)</li> </ul> <p><b>SUPERVISION GÉOTECHNIQUE D'EXECUTION (G4)</b></p> <p>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 :</p> <p><u>Phase Supervision de l'étude d'exécution</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— 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.</li> </ul> <p><u>Phase Supervision du suivi d'exécution</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— 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).</li> <li>— donner un avis sur la prestation géotechnique du DOE et sur les documents fournis pour le DIUO.</li> </ul> <p><b>DIAGNOSTIC GÉOTECHNIQUE (G5)</b></p> <p>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.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Définir, après enquête documentaire, un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.</li> <li>— 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.</li> <li>— 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).</li> </ul>
---