

ETUDE GEOTECHNIQUE

Mission G2 PRO

Réaménagement de la Faculté des Sciences

2, Boulevard de Lavoisier
ANGERS (49)



Dossier 4415031 - Indice 02 - Juin 2025



RECTORAT DE L'ACADEMIE DE NANTES
4, Chemin de la Houssinière
44300 NANTES

CLIENT

NOM	RECTORAT DE L'ACADEMIE DE NANTES
ADRESSE	4, Chemin de la Houssinière 44300 NANTES
INTERLOCUTEUR	M. L'HULLIER

ECR ENVIRONNEMENT

AGENCE	Nantes
ADRESSE	ZA du Taillis 5, rue des Clairières 44 840 LES SORINIERES
TELEPHONE	02.40.49.82.82
MAIL	nantes@ecr-environnement.com

DATE	INDICE	OBSERVATION / MODIFICATION	REDACTEUR	VERIFICATEUR
21/03/2025	01	Mission G2 AVP	Maxime PAMBRUN	Fabien KNOEPFFLER
04/06/2025	02	Mission G2 PRO - Réaménagement de la Faculté des Sciences	Fabien KNOEPFFLER	Céline ROGER

SOMMAIRE

1.	PRESENTATION	4
1.1.	MISSION	4
1.2.	CADRE DE L'ETUDE.....	4
1.3.	LOCALISATION ET DESCRIPTION DU SITE	5
1.4.	CONTEXTE GEOLOGIQUE	6
1.5.	RISQUES NATURELS	7
1.6.	CONSISTANCE DES INVESTIGATIONS.....	7
2.	RÉSULTATS DES INVESTIGATIONS.....	8
2.1.	IMPLANTATION ET NIVELLEMENT	8
2.2.	LITHOLOGIE	8
2.3.	GEOMECHANIQUE.....	9
2.4.	HYDROGEOLOGIE	9
2.5.	RECONNAISSANCE DE FONDATION.....	9
2.6.	ESSAIS EN LABORATOIRE	10
2.6.1.	Identifications GTR	10
2.6.2.	Agressivité	10
3.	DONNEES DU PROJET.....	11
3.1.	DONNEES D'ENTREE.....	11
3.2.	DESCRIPTION DU PROJET.....	11
3.2.1.	Projet.....	11
3.2.2.	Bâtiment A	13
3.2.3.	Bâtiments B' et B	14
3.2.4.	Niveaux bas et terrassements	15
3.3.	PLAN DE FONDATION ET DESCENTES DE CHARGE	15
3.4.	COMBINAISONS D'ACTION	17
4.	SISMICITE ET LIQUEFACTION DES SOLS	17
5.	ETUDE DES OUVRAGES GEOTECHNIQUES	18
5.1.	FONDACTIONS SUPERFICIELLES	18
5.1.1.	Principe de fondations	18
5.1.2.	Modèle géotechnique.....	18
5.1.3.	Profondeur d'ancrage	19
5.1.4.	Contraintes de calculs.....	19
5.1.5.	Vérification au soulèvement.....	20
5.1.6.	Vérification au renversement / excentrement	20
5.1.7.	Vérification au glissement.....	21
5.1.8.	Vérification au poinçonnement	22
5.1.9.	Vérification au poinçonnement – cas particulier de l'ELU sismique	23
5.1.10.	Dimensionnement des fondations	24

5.1.11.	Remarques générales.....	24
5.1.12.	Evaluation des tassements.....	25
5.1.13.	Dispositions constructives	25
5.1.14.	Suggestions d'exécutions	26
5.2.	NIVEAUX BAS	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
6.	<u>TERRASSEMENTS GENERAUX</u>	26
6.1.	MOYENS D'EXTRACTION.....	26
6.2.	TRAFICABILITE	27
6.3.	STABILITE DES TALUS EN DEBLAIS ET EN REMBLAIS.....	27
7.	<u>EAU ET DRAINAGE</u>	27
7.1.	PHASE PROVISOIRE	27
7.2.	PHASE DEFINITIVE	28
7.3.	REMARQUE.....	28
8.	<u>MITOYENNETE</u>	29
9.	<u>CONDITIONS PARTICULIÈRES</u>	30

ANNEXES

- Annexe 1 : Extrait de la norme NF P 94-500 (2 pages)
 Annexe 2 : Implantation des sondages (1 page)
 Annexe 3 : Résultats des investigations in-situ (4 pages)
 Annexe 4 : Résultats des analyses laboratoires (8 pages)

1. PRESENTATION

1.1. Mission

Il s'agit d'une mission de type G2 PRO, suivant la Définition et la Normalisation des Missions du Géotechnicien établies en novembre 2013 (Norme NF P 94-500 présentée en annexe 1).

La mission porte exclusivement sur les travaux et ouvrages géotechniques relatifs au projet. Elle a pour objectif de dimensionner une solution de fondations, et d'évaluer les précautions à prendre en compte lors des travaux (terrassement, avoisinant, drainage...).

Ce rapport est indissociable de notre mission G2 AVP (4415031, Indice 01 daté de Mars 2025).

1.2. Cadre de l'étude

Cette étude a été réalisée par la société ECR Environnement – Z.A. du Taillis – 3-5, rue des Clairières – 44840 LES SORINIERES, à la demande et pour le compte :

- Rectorat Région Pays de la Loire
- Université Angers



L'équipe de maîtrise d'œuvre pour le projet est la suivante :

- Faber
- AUAS Ingénierie
- GAMBA



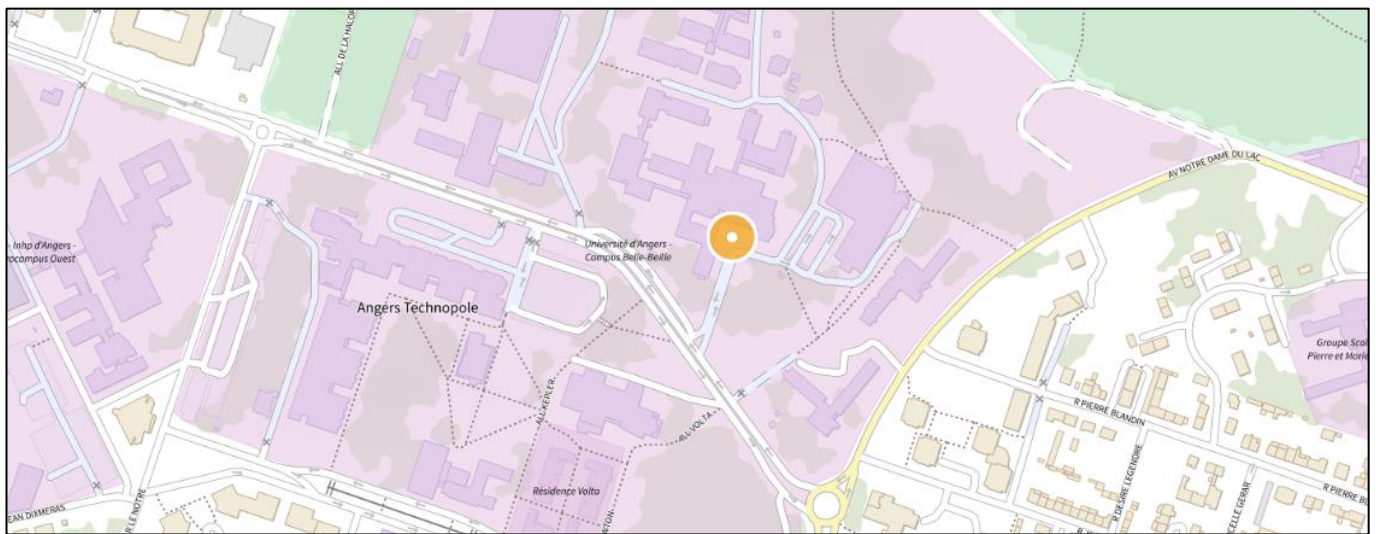
1.3. Localisation et description du site

Le projet se situe 2 Boulevard de Lavoisier au sein de la Faculté des Sciences de l'université de Angers (49). Il concerne les bâtiments A , B et B'.

Une esplanade en enrobés et espaces verts est présente au Sud et à l'Est de ces bâtiments.

Le bâtiment A est de type R+2, il possède un sous-sol partiel le long de sa façade Nord. Un vide sanitaire est présent sous le reste du bâtiment.

Les bâtiments B et B' sont respectivement de type R+0 et R+1 sans sous-sol. Les niveaux bas sont traités en dalle portée sur vide sanitaire.



Plan IGN de la zone d'étude



Vue aérienne



Photographie en direction du bâtiment A lors de notre intervention



Photographie en direction des bâtiments B(droite) et B' (en face à gauche) lors de notre intervention

La topographie globale du site est subhorizontale.

1.4. Contexte géologique

D'après la carte géologique d'Angers au 1/50.000 et notre expérience de la région, la succession géologique attendue au droit du site est la suivante :

- Éventuels remblais (non observables sur la carte),
- Schistes et arkoses.



1.5. Risques naturels

D'après les données officielles du Portail de la Prévention des Risques Majeurs (<https://www.georisques.gouv.fr/>), les risques majeurs sont à retrouver dans le tableau suivant :

Risque concerné	Niveau de risque
Inondation	A priori nul
Séisme	Faible
Mouvement de terrain	Existant (anciennes ardoisières à proximité)
Retrait gonflement des argiles	Modéré
Radon	Important

1.6. Consistance des investigations

Lors de la mission G2AVP, nous avons réalisé les investigations suivantes au droit du projet :

In situ :

- 2 sondages pressiométriques (SP1 et SP2), réalisés à la tarière mécanique Ø 63 mm et descendus à 10.0 m. Ils ont permis de déterminer les caractéristiques mécaniques des sols rencontrés (pressions de fluage, modules pressiométriques et pressions limites).
- 1 sondage géologique (T1) réalisé à la tarière mécanique Ø 63 mm et descendu à 3.0 m.
- 1 reconnaissance des fondations existantes (RF1) : à la pelle mécanique descendue jusqu'à l'assise des fondations.

Les sondages ont été réalisés en Février 2025 à l'aide d'une sondeuse de marque ECOFORE de type CE 302.

La répartition des sondages au droit des ouvrages est la suivante :

- Corniche bât A : SP2 et T1
- Ascenseur bât B' : SP1 et RF1

En laboratoire :

- 1 identification GTR, comprenant 1 analyse granulométrique, 1 mesure de la teneur en eau et 1 détermination de la valeur au bleu.
- 1 analyse de l'agressivité des sols vis-à-vis des bétons.

Aucune investigation complémentaire n'a été réalisée dans le cadre de l'étude G2 PRO.



2. RÉSULTATS DES INVESTIGATIONS

2.1. Implantation et nivellement

La position des sondages figure sur le plan d'implantation en annexe 2.

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

Le nivellement des points de sondage a été réalisé à partir du seuil du bâtiment A (voir plan d'implantation) fixée arbitrairement à la cote +100.0 m Ref.

L'altitude du terrain actuel au droit des sondages est le suivant :

Sondage	SP1	SP2	T1
Altitude sondage	99.44	99.52	99.54

2.2. Lithologie

Les coupes de sondages sont jointes en annexe 3.

Les profondeurs citées dans le présent rapport ont été mesurées par rapport au Terrain Actuel (**m/TA**) tel qu'il était lors de notre intervention (Février 2025).

La profondeur de la base des couches (m/TA) est synthétisée dans le tableau suivant :

Sondage	SP1 (ascenseur bât B)	SP2 (corniche bât A)	T1 (corniche bât A)
Remblais / Enrobés	0.4	0.4	0.7
Altération argilo-sableuse	2.6	1.4	1.7
Altérites schisteuses	4.7	3.0	>3.0
Schistes	>10.0	>10.0	-

Remarque :

- ces profondeurs n'impliquent en rien qu'il ne puisse exister d'anomalie de la stratigraphie entre sondages. En particulier, la position exacte des interfaces entre couches ne saurait se déduire d'une simple extrapolation des relevés de sondages.
- Les limites indiquées entre les formations d'altération argilo-sableuse et altérites schisteuses restent purement indicatives, en effet, ces formations sont issues de l'altération progressive des schistes en direction de la surface.



2.3. Géomécanique

Les essais pressiométriques ont permis de mettre en évidence des caractéristiques mécaniques résumées dans le tableau suivant :

Formations	Pressions Limites (MPa)			Modules pressiométriques (MPa)		
	Min	Max	Moyenne géométrique	Min	Max	Moyenne harmonique
Altération argilo-sableuse	1.22	1.53	1.36	13.7	20.4	16.0
Altérites schisteuses	1.70	2.38	1.97	24.7	34.3	28.7
Schistes	1.05	2.53	1.77	12.2	35.9	19.6

2.4. Hydrogéologie

Lors de notre intervention (février 2025), les niveaux d'eau suivants ont été enregistrés lors de notre intervention :

Sondage	SP1	SP2	T1
Altitude sondage	99.44	99.52	99.54
Venue d'eau en cours de sondage (m/TA)	7.60	-	-
Niveau d'eau fin sondage (m/TA)	6.36	6.80	-

Remarque : ce constat ayant un caractère ponctuel et instantané, il ne permet pas de préciser les variations de la nappe, qui peut remonter fortement en période pluvieuse.

2.5. Reconnaissance de fondation

Un sondage de reconnaissance de fondation a été réalisé au droit du bâtiment B'.

Les résultats sont à retrouver dans le tableau suivant, la coupe du sondage est à retrouver en annexe au présent rapport :

Nom / Emplacement	Fondation reconnue	Profondeur de la fouille (m/TA)	Débord	Profondeur d'ancrage de la fondation	Formation d'assise de la fondation
RF1 (bât B')	Semelle filante en béton	1.2	30 cm	0.9 m / TN	Schiste altéré (Altération argilo-sableuse dans notre modèle géologique)



2.6. Essais en laboratoire

2.6.1. Identifications GTR

Un essai d'identification GTR a été réalisé sur les échantillons prélevés au droit du sondage T1.

Sondage	ST1
Profondeur (m/TA)	0.7 à 1.1
Faciès	Altération argilo-sableuse
Teneur en eau (%)	19.3
VBS	1.25
D max (mm)	< 10
Passant à 2 mm (%)	77.8
Passant à 80 µm (%)	64.8
Classification GTR 92	A1 / F1

2.6.2. Agressivité

Un essai d'agressivité eaux et sols vis-à-vis du béton a été réalisé dans le cadre de notre mission G2 AVP et confié au laboratoire EUROFINs pour analyse. Les résultats sont résumés dans le tableau suivant et les procès-verbaux à retrouver en annexe.

Sondage	SP1
Profondeur	0.4 à 2.6
Nature échantillon	Altération argilo-sableuse
Agressivité Sol	<XA1
Agressivité Eau	XA2

Les formulations des bétons employés pour les fondations et parties enterrées devront répondre à ces contraintes chimiques.



3. DONNEES DU PROJET

3.1. Données d'entrée

La rédaction du rapport de Mission G2 AVP s'est appuyé sur les documents transmis suivants :

Document	Source/Emetteur	Date
Dossier APD avec coupes et plans	FABER	Décembre 2024
Notice sismique	AUAS Ingénierie	18.12.2024

Dans le cadre de la présente étude G2 PRO, les plans de fondation STR01 comprenant leurs descentes de charge associées nous ont été communiqués le 03/06/2025 (AUAS Ingénierie).

3.2. Description du projet

3.2.1. Projet

Notre étude se focalise sur les bâtiments A, B et B'. La notice sismique indique les éléments suivants :

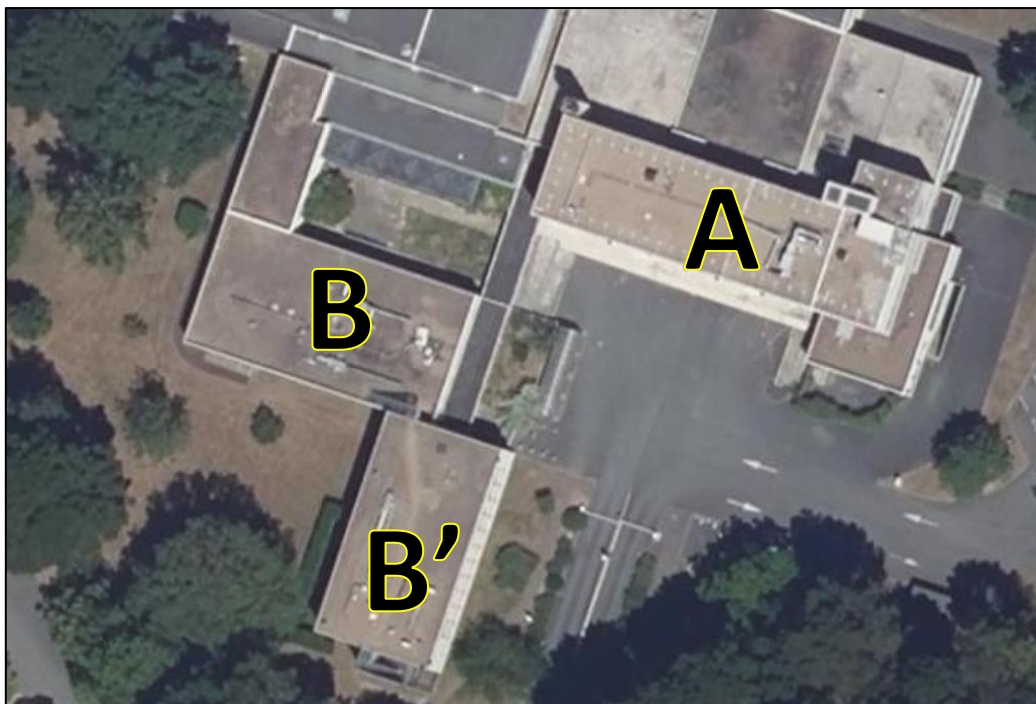
« La présente opération concerne la rénovation énergétique et rénovation fonctionnelle partielle des bâtiments A, A', B, B', C, C' et D de la faculté des sciences à Angers (49).

Les principales interventions sur la structure dans le cadre du projet sont les suivantes :

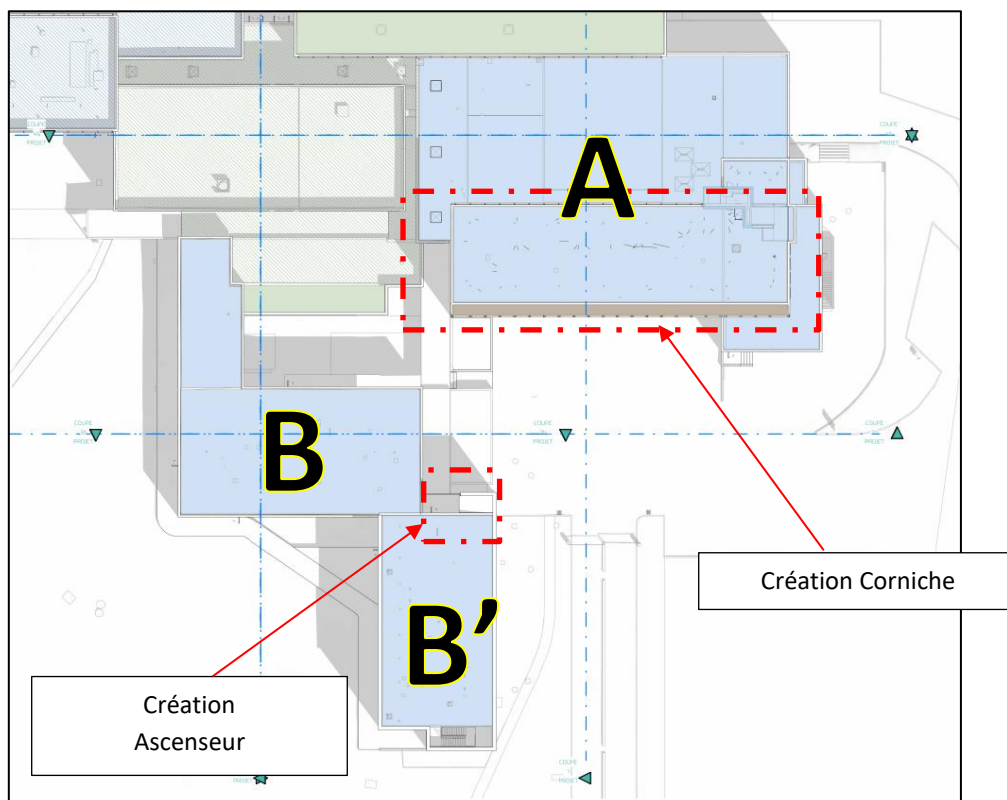
- Réalisation d'une **gaine d'ascenseur et d'une passerelle à la jonction des bâtiments B et B' [...]**
- **Construction d'une corniche et d'une ossature en bois contre la façade sud du bâtiment A. »**

Afin de faciliter la compréhension du projet ainsi que du rapport, la dénomination des bâtiments est à retrouver sur l'image aérienne page suivante.





Dénomination des bâtiments

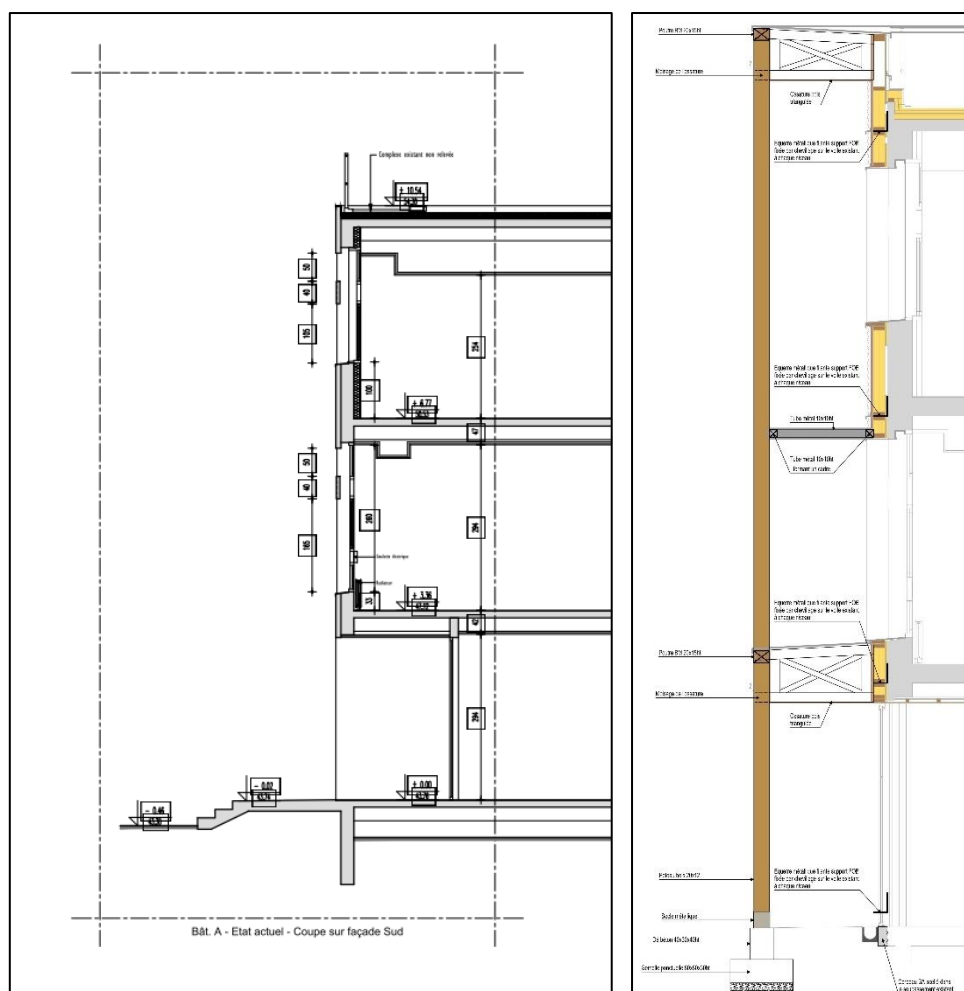


Plan projet des toitures

3.2.2. Bâtiment A

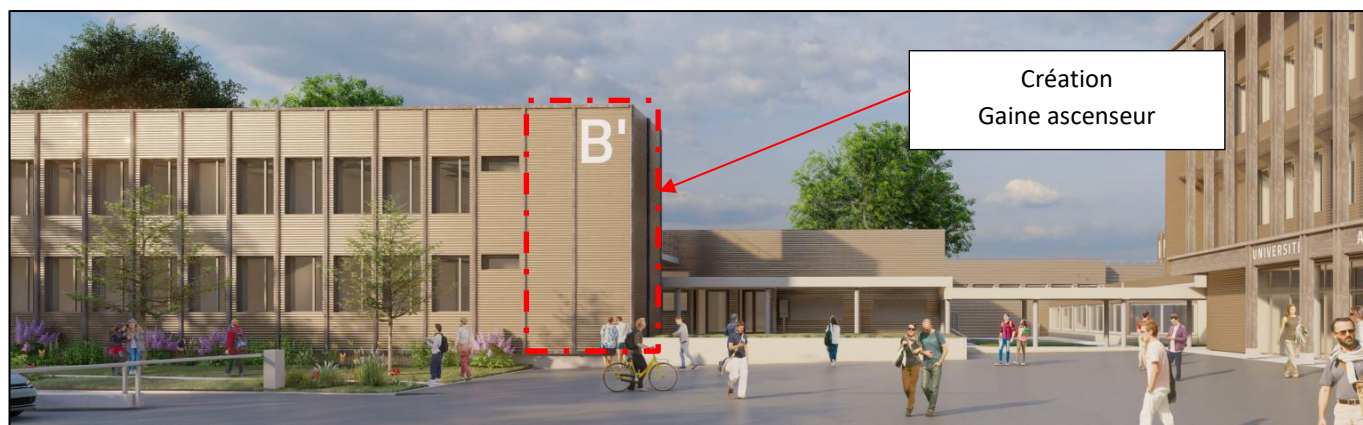


Vue projetée de la façade du bâtiment A (vue de l'ossature bois en façade)

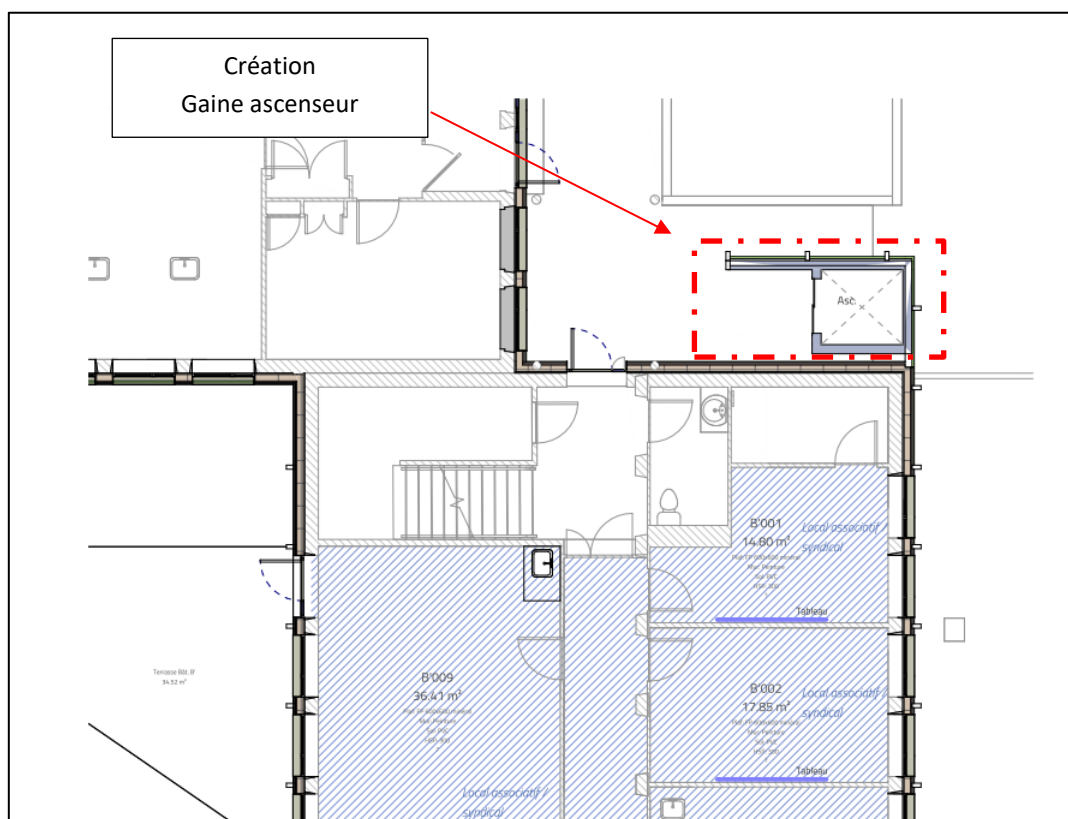


Coupe bâtiment A façade Sud, existant à gauche et projet à droite.

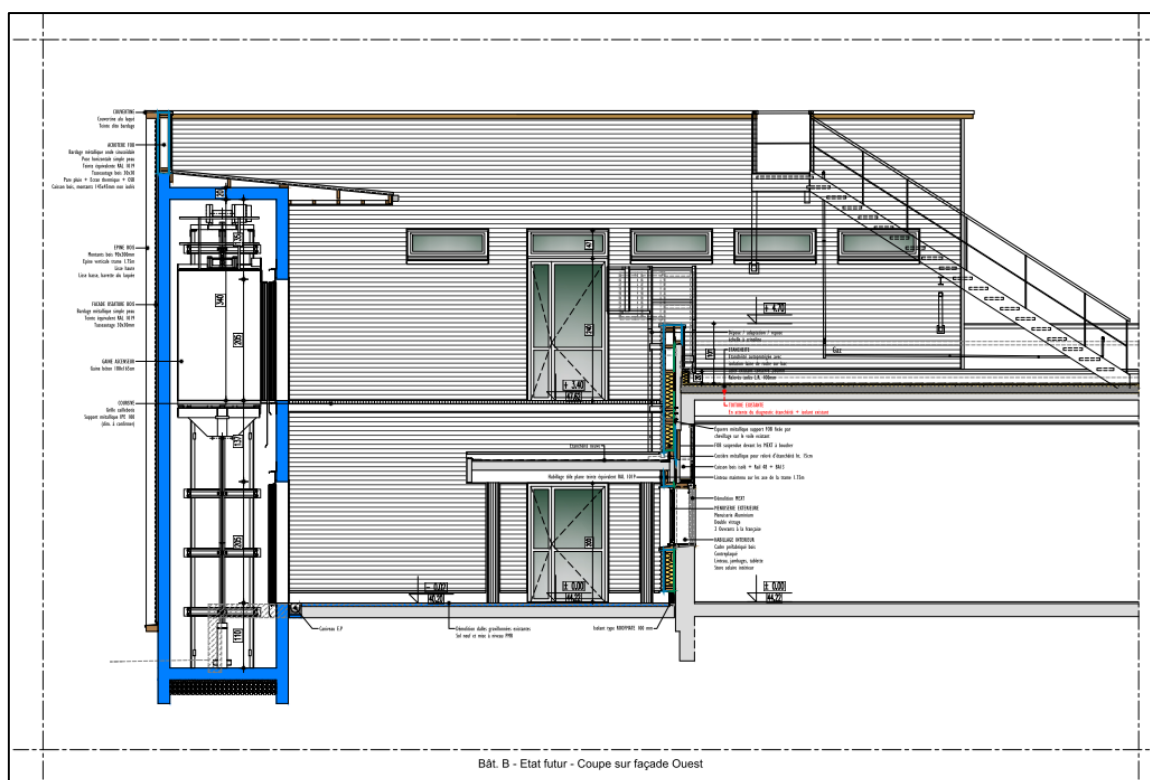
3.2.3. Bâtiments B' et B



Vue projetée bâtiment B'



Plan de masse projet bâtiment B'



Coupe façade Ouest bât B' - Etat projeté

3.2.4. Niveaux bas et terrassements

Aux droits des différents projets les niveaux bas et terrassements attendus sont les suivants :

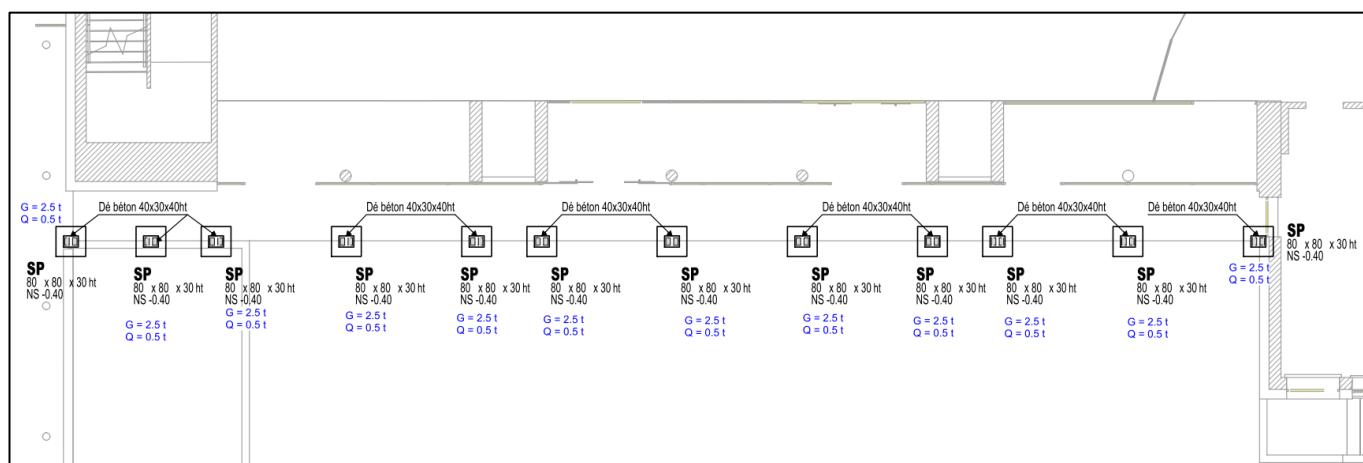
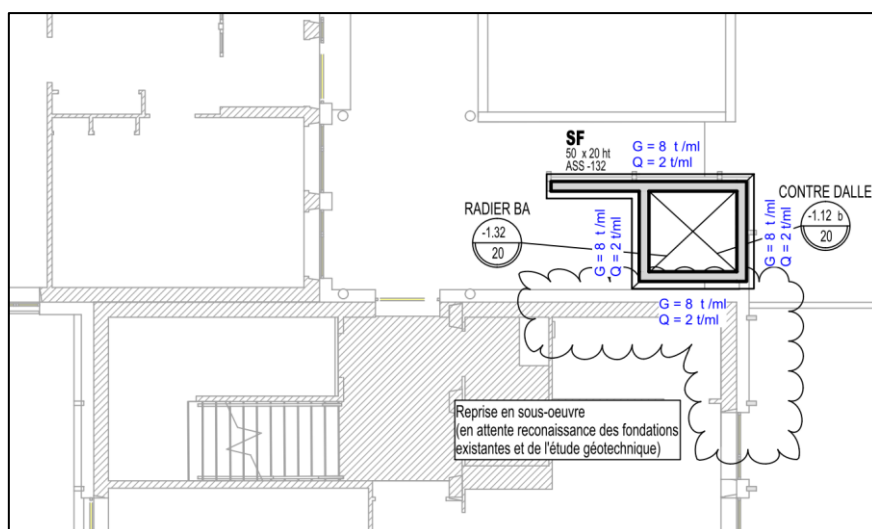
Bâtiment	Niveau bas projeté	Terrassements attendus
Bât. A (corniche)	Inchangé = 43.14 m NGF	Fouilles de fondations uniquement
Bât. B' (ascenseur)	Création d'une fosse technique au droit de l'ascenseur (1.10 m de hauteur sous le terrain actuel) TN actuel : 44.20 m NGF	Terrassements en déblais au droit de l'ascenseur pour la fouille technique et fondations sur au moins 1.5 m / TA.

3.3. Plan de fondation et descentes de charge

Compte tenu des résultats de l'étude G2 AVP et des descentes de charge des ouvrages, il a été projeté des fondations superficielles de type semelles filantes pour l'ascenseur et des massifs isolés pour la corniche.

Pour cette étude G2 PRO, les plans de descentes de charge qui nous ont été communiquées sont présentés ci-après :

- G = Charges permanentes verticales de l'ouvrage (hors fondation) ;
- Q = Charges d'exploitations verticales de l'ouvrage.



Plan des fondations projetées

Nous avons synthétisé dans le tableau suivant les descentes de charge représentatives que nous avons repérées pour chaque type de fondation projetés sur les plans fournis :

Fondation (Ouvrage)	G (t ou t/ml)	Q (t ou t/ml)	Dimensions projetées (cm)
SF / Radier (Ascenseur)	8,0	2,0	50x20ht
SP (Coursive)	2,5	0,5	80x80x30ht

Nous rappelons que ces descentes de charge n'intègrent pas le poids propre des fondations à concevoir sous chaque appui, ni l'apport de charge complémentaire liée à un éventuel remblaiement du site.

Au regard des descentes de charges fournies, nous remarquons les éléments suivants :

- Absence d'efforts horizontaux ;
- Absence de moment reporté sur les fondations ;
- Aucune action sismique, du vent, de la neige, ou de la nappe.

3.4. Combinaisons d'action

En l'absence de précision, nous avons considéré une catégorie d'utilisation C – **lieux de réunion** pour le projet, selon l'Eurocode 1 (Norme EN 1991-1.1).

Les coefficients d'action associés à cette catégorie sont les suivants :

Type d'action	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Charge d'exploitation - Catégorie C	0,7	0,7	0,6

Sous réserve d'une confirmation par la maîtrise d'œuvre du projet et en l'absence d'information à ce sujet, nous avons estimé les combinaisons d'action dimensionnantes suivantes :

Etats limites considérés	Combinaisons d'action
ELS Quasi-permanents	$G + \psi_2 \times Q$
ELS Caractéristiques	$G + Q$
ELU Fondamentales	$\gamma_{Gj} \times G + \gamma_{Q,1} \times Q$

Nous avons considéré les coefficients suivants :

- $\gamma_{Gj} = 1,35$
- $\gamma_{Q,1} = 1,5$

En conséquence, les descentes de charge du projet, hors poids propre des fondations en béton, pondérées aux ELS et aux ELU sont présentées dans le tableau suivant :

Appui (ouvrage)	ELS QP (kN ou kN/ml)	ELS CARA (kN ou kN/ml)	ELU FOND (kN ou kN/ml)
SF (Ascenseur)	92	100	138
SP (Cursive)	28	30	41

Il conviendra à l'équipe de conception de vérifier toutes les hypothèses décrites dans ce chapitre.

4. SISMICITE ET LIQUEFACTION DES SOLS

Les données d'entrée concernant la sismicité sont les suivantes :

- Zone sismique : 2 (aléa faible), $a_{gr} = 0,7 \text{ m/s}^2$;
- Catégorie de bâtiments : III ;
- Coefficient d'importance : $\gamma_I = 1,2$;
- Exigence sur le bâti neuf : **Application obligatoire des prescriptions parasismiques**;
- Classe de sol : A ($S = 1.0$, $T_B = 0.03 \text{ s}$, $T_C = 0.20 \text{ s}$, $T_D = 2.5 \text{ s}$) ;
- Liquéfaction des sols : non.

La classe des ouvrages concerné par la présente étude devra être confirmée par le Maître d'Ouvrage / Maître d'Œuvre).



5. ETUDE DES OUVRAGES GEOTECHNIQUES

5.1. Fondations superficielles

5.1.1. Principe de fondations

Le mode de fondations du projet devra faire état de l'importance et de la géométrie des charges apportées ainsi que de la nécessité de mobiliser un horizon portant, homogène et de bonne qualité.

Compte-tenu des terrains rencontrés et en fonction des niveaux finis, il est proposé une solution de fondations superficielles de type semelles filantes ou isolées / massifs / radiers **ancrées de 0.30 m minimum dans les altérites** du site.

5.1.2. Modèle géotechnique

En considérant des estimations prudentes des paramètres géotechniques à prendre en compte dans la définition des différents critères, nous avons établi les modèles géotechniques suivants pour le dimensionnement des fondations :

Formation	Base couche (m/TA)	Pl* (MPa)	Em (MPa)	α
Remblais / Enrobés	0,70	*	*	*
Altération argilo-sableuse	2,60	1,3	15	2/3
Altérites schisteuses	5,00	1,5	15	2/3
Schistes	>10,00	1,7	20	1/2

* Horizons impropres à la construction.

Pour la justification au glissement des fondations, on retiendra les caractéristiques intrinsèques suivantes dans les horizons d'ancrage :

Formation	cu (kPa)	φ' (°)
Altérites	20	15

Nota :

- Les caractéristiques intrinsèques ont été estimées par nos soins d'après les essais mécaniques réalisés sur site et notre expérience.
- Si des valeurs différentes de celles estimées ci-dessous sont nécessaires, il conviendra de réaliser des essais complémentaires (prélèvement préalable d'échantillons intacts par carottier pour essais en laboratoire de type boîte de cisaillement ou essai triaxial).



5.1.3. Profondeur d'ancrage

L'assise minimale définie au droit des sondages se situera aux profondeurs et cotes altimétriques suivantes :

Sondage	SP1	SP2	T1
Ouvrage	Ascenseur Bât. B	Corniche Bât. A	
Profondeur minimum d'encastrement (m/TA)	>1.0	>1.0	>1.0

Les profondeurs d'encastrement devront être ajustées à l'ouverture des fouilles en fonction de la compacité des terrains recoupés. Celles-ci sont données au droit du sondage réalisés.

Des sur-profondeurs de l'horizon d'ancrage ne sont pas exclues, ce qui pourra nécessiter des approfondissements locaux de l'assise des fondations.

L'assise des fondations respectera **le plus restrictif** des critères suivants :

- ancrage **de 0.30 m minimum dans l'horizon** indiqué précédemment,
- profondeur minimale **de 0.60 m par rapport au sol extérieur fini**, afin d'assurer la garde au gel des fondations (cf. schéma page suivante).

5.1.4. Contraintes de calculs

A titre d'information et conformément à l'Eurocode 7 et sa norme d'application NF P 94-261, sous réserve du respect du principe de fondation précitée, les contraintes centrées de calculs à prendre en compte pour les justifications vis-à-vis des Etats Limites Ultimes (q'_{ELU}) et de Services (q'_{ELS}) seront limitées à :

q'_{ELS} quasi-permanent et caractéristique $\leq 0,20$ MPa

q'_{ELU} fondamental et sismique $\leq 0,33$ MPa

Nota : l'attention est attirée sur le fait que ces calculs n'ont de validité qu'au droit des sondages. Ailleurs des hétérogénéités naturelles de stratigraphie et de caractéristiques mécaniques des sols peuvent induire des contraintes de calculs supérieures ou inférieures à celles ici estimées.



5.1.5. Vérification au soulèvement

Lorsque les charges verticales d'un ouvrage sont orientées vers le haut (sous l'effet du vent aux ELU par exemple), il convient de s'assurer d'un lestage de l'ouvrage par la constitution de fondations dimensionnées en conséquence.

Le poids de la fondations doit alors être estimé et pondéré sécuritairement suivant la norme NF P 94-261.

Dans le cas présent, aucun effort vertical de soulèvement ne semble s'appliquer sous les fondations.

5.1.6. Vérification au renversement / excentrement

Dans le cas de descentes de charge comportant des moments, il convient de calculer l'excentrement e de la charge s'appliquant sur la fondation d'après la formule suivante :

$$e = \frac{M}{V_d}$$

Avec :

e : excentrement

M : Moment renversant

V_d : composante verticale de la charge transmise par la fondation superficielle au terrain (poids propre de l'ouvrage + fondation).

Il convient de vérifier les critères suivants :

Type de fondation	Vérification	ELS QP	ELS CARA	ELU
filante	$1 - \frac{2e}{B}$	$\geq \frac{2}{3}$	$\geq \frac{1}{2}$	$\geq \frac{1}{15}$
circulaire	$1 - \frac{2e}{B}$	$\geq \frac{3}{4}$	$\geq \frac{9}{16}$	$\geq \frac{3}{40}$
rectangulaire	$\left(1 - \frac{2e_B}{B}\right)\left(1 - \frac{2e_L}{L}\right)$	$\geq \frac{2}{3}$	$\geq \frac{1}{2}$	$\geq \frac{1}{15}$
Taux de compression en sous-face de la fondation		100% de la surface d'assise totale	75% de la surface d'assise totale	10% de la surface d'assise totale

Avec : B : largeur ou diamètre de la fondation L : Longueur de la fondation

e : excentrement de la charge e_B : excentrement selon la largeur e_L : excentrement selon la longueur

Dans le cas présent, aucun moment renversant ne semble s'appliquer sur les fondations.



5.1.7. Vérification au glissement

La vérification au glissement (ELU) d'une fondation superficielle consiste à contrôler l'inégalité suivante :

$$H_d \leq R_{h;d} + R_{p;d}$$

Avec :

H_d : valeur de calcul de la composante horizontale (ou parallèle à la base de la fondation) de la charge transmise par la fondation superficielle au terrain ;

$R_{h;d}$: valeur de calcul de la résistance au glissement de la fondation sur le terrain ;

$R_{p;d}$: valeur de calcul de la résistance frontale ou tangentielle de la fondation à l'effet de H_d .

Calcul de la résistance frontale ou tangentielle :

La résistance frontale ou tangentielle de la fondation ($R_{p;d}$) n'est pas prise en compte dans le cas de fondations superficielles du fait de l'incertitude liée à la pérennité de l'épaisseur de terrain dans laquelle elles peuvent être mobilisées.

Calcul de la résistance au glissement :

La résistance au glissement du terrain sous la base d'une fondation superficielle $R_{h;d}$ est déterminée de la manière suivante :

Conditions drainées :

$$R_{h;d} = \frac{V_d \tan(\delta_{a;k})}{\gamma_{R;h} \gamma_{R;d;h}}$$

Conditions non drainées :

$$R_{h;d} = \min \left\{ \frac{A' C_{u;k}}{\gamma_{R;h} \gamma_{R;d;h}} ; 0,4 V_d \right\}$$

Avec :

V_d : composante verticale de la charge transmise par la fondation superficielle au terrain (poids propre de l'ouvrage + fondation)

$\delta_{a;k}$: valeur caractéristique de l'angle de frottement à l'interface entre la base de la fondation et le sol. Il est égal à l'angle de frottement du sol support de fondation pour les fondations coulées en place, ou 2/3 de cet angle de frottement pour les fondations préfabriquées lisses.

$\gamma_{R;d}$: facteur partiel pour la résistance au glissement de la fondation superficielle, sa valeur est égale à 1,1.

$\gamma_{R;d;h}$: coefficient de modèle lié à l'estimation de la résistance ultime au glissement, sa valeur est égale à 1,1.

A' : surface effective de la base d'une fondation déterminée par une des formules suivantes ;

semelle filante
 $A(1 - 2e/B)$

fondation circulaire
 $A \left(\frac{2 \arccos(e/R)}{\pi} - \frac{2e}{\pi R} \sqrt{1 - (e/R)^2} \right)$

fondation rectangulaire
 $(B - 2e_B)(L - 2e_L)$

A : surface totale de la base d'une fondation superficielle.

$C_{u;k}$: valeur caractéristique de la cohésion non drainée du terrain d'assise de la fondation.

Dans le cas de la justification au glissement aux ELU, le poids propre des fondations est assimilable à une charge permanente venant s'inclure dans la composante verticale de la charge G . Par conséquent, dans le cas des actions STR/GEO, il convient de lui appliquer le facteur partiel $\gamma_G = 1,0$ pour les actions défavorables.

Dans le cas présent, aucun effort horizontal ne nous a été communiqué.



5.1.8. Vérification au poinçonnement

Le calcul de la capacité portante d'une fondation, nécessite de vérifier l'inégalité suivante :

$$V_d - R_0 \leq R_{v;d}$$

Avec :

$$R_0 = Aq_0$$

$$q_0 = D\gamma$$

Dont :

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 constitué du volume de la fondation sous le terrain après travaux et des sols compris entre la fondation et le terrain après travaux ;

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

q_0 : contrainte totale verticale que l'on obtiendrait à la fin des travaux à la base de la fondation superficielle en l'absence de celle-ci.

D : profondeur d'assise de la semelle ;

γ : poids volumique du terrain.

La valeur de calcul de la résistance nette du terrain sous la fondation superficielle $R_{v;d}$ se calcule de la manière suivante :

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

Avec :

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

$\gamma_{R;v}$: valeur du facteur partiel permettant le calcul de la portance ;

$\gamma_{R;d;v}$: coefficient de modèle associé à la méthode de calcul utilisée.

Avec les valeurs suivantes :

Méthode pressiométrique					
Etat limite considéré	ELS Quasi-Permanents	ELS Caractéristiques	ELU Fondamentaux	ELU Accidentels	ELU Sismiques
$\gamma_{R;v}$	2,3	2,3	1,4	1,2	1,4
$\gamma_{R;d;v}$	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2

La contrainte q_{net} du terrain sous une fondation est déterminée à partir de la relation suivante :

$$q_{net} = k_p \times P_{le}^* \times i_\delta \times i_\beta$$

Avec :

k_p : facteur de portance pressiométrique ;

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

i_δ : coefficient de réduction de portance lié à l'inclinaison du chargement (=1 en l'absence d'inclinaison);

i_β : coefficient de réduction de portance lié à la proximité d'un talus de pente β (=1 en l'absence de talus).



5.1.9. Vérification au poinçonnement – cas particulier de l'ELU sismique

La vérification de la capacité portante des fondations superficielles au sismique est réalisée conformément à l'annexe G de la NF EN 1998-5.

La stabilité est validée comme suit :

$$\frac{(1 - e\bar{F})^{c_T} (\beta \bar{V})^{c_T}}{(\bar{N})^a \left[(1 - m\bar{F}^k)^{k'} - \bar{N} \right]^b} + \frac{(1 - f\bar{F})^{c_M} (\gamma \bar{M})^{c_M}}{(\bar{N})^c \left[(1 - m\bar{F}^k)^{k'} - \bar{N} \right]^d} - 1 \leq 0$$

Avec :

$$\bar{N} = \frac{\gamma_{Rd} N_{Ed}}{N_{max}}, \quad \bar{V} = \frac{\gamma_{Rd} V_{Ed}}{N_{max}}, \quad \bar{M} = \frac{\gamma_{Rd} M_{Ed}}{BN_{max}}$$

- Les valeurs des paramètres numériques sont définies dans le tableau F.1 de la NF EN 1998-5 (pris en compte de sol purement frottant) ;
- N_{max} : capacité portante ultime de la fondation sous charge verticale centrée (cf. 6.3.4) ;
- B : largeur de la fondation ;
- γ_{Rd} : coefficient partiel de modèle (retenu ici à 1.00) ;
- F : force d'inertie du sol donnée par la formule suivante :

$$\bar{F} = \frac{a_g}{g \tan \phi'_d}$$

- a_g : valeur de calcul de l'accélération du sol pour un sol de classe A ($a_g = \gamma_I a_{gR}$) ;
- g : accélération de la pesanteur ;
- ϕ'_d : angle de frottement du sol (pris à 30° - cf. §6.1)

En l'absence d'effort sismique, cette vérification ne pourra pas être réalisée.



5.1.10. Dimensionnement des fondations

Nous avons justifié les fondations envisagées pour les combinaisons précédemment considérées aux ELS et ELU (cf. §3.4) et les dimensions projetées suivantes.

Appuis (ouvrage)	Dimension semelle						Combinaison			Vérification			
	longueur (m)	largeur (m)	hauteur (m)	A' (m ²)	V (m ³)	Poids (kN)	ELS QP (kN ou kN/ml)	ELS CARA (kN ou kN/ml)	ELU FOND (kN ou kN/ml)	kp	Ple (MPa)	Rvd ELS (kN ou kN/ml)	Rvd ELU (kN ou kN/ml)
SF (Ascenseur)	-	0,50	0,20	0,50	0,10	2,5	95	103	141	0,8	0,71	103	169
SP (Cursive)	0,80	0,80	0,30	0,64	0,19	4,8	33	35	48	0,8	0,71	132	216

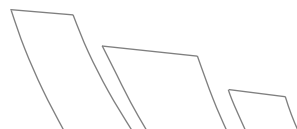
Nota : l'attention est attirée sur le fait que ces calculs n'ont de validité qu'au droit des sondages. Ailleurs des hétérogénéités naturelles de stratigraphie et de caractéristiques mécaniques des sols peuvent induire des contraintes de calculs supérieures ou inférieures à celles ici estimées.

5.1.11. Remarques générales

Dans le cas présent, les hypothèses suivantes ont été considérées :

- absence de talus à proximité des fondations, soit $i_{\beta} = 1$;
- absence d'inclinaison de charge, soit $i_{\delta} = 1$;
- calcul du R_0 négligé ;
- poids des fondations intégrés aux descentes de charge (béton dosé à 25 kN/m³).
- **ancrage d'au moins 0,30 m dans les altérites.**

Il conviendra à l'équipe de conception de vérifier que les descentes de charge réelles de l'ouvrage (descentes de charge, poids propre des fondations...) sont concordantes avec celles considérées dans notre étude G2PRO et avec les différentes justifications de dimensionnement.



5.1.12. Evaluation des tassements

Conformément à l'Eurocode 7, dans le cas du respect des préconisations décrites ci-avant et la réalisation de l'ouvrage dans les règles de l'art, pour la valeur de contrainte de service donnée ci-dessus, les tassements théoriques absolus et différentiels prévisibles au droit de nos sondages seront inférieurs au centimètre.

Ces tassements sont estimés pour des fondations ancrées d'au moins 0,30 m dans les **altérites** et les géométries précédemment définies.

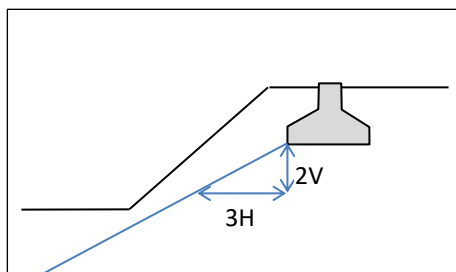
Les tassements théoriques calculés s'entendent pour une mise en œuvre des fondations selon les règles de l'art en accord avec les prescriptions de l'Eurocode 7 et de sa norme d'application NF P 94-261.

Nota : l'attention est attirée sur le fait que ces calculs n'ont de validité qu'au droit des sondages. Ailleurs des hétérogénéités naturelles de stratigraphie et de caractéristiques mécaniques des sols peuvent induire des tassements absolus et différentiels supérieurs ou inférieurs à ceux ici estimés.

5.1.13. Dispositions constructives

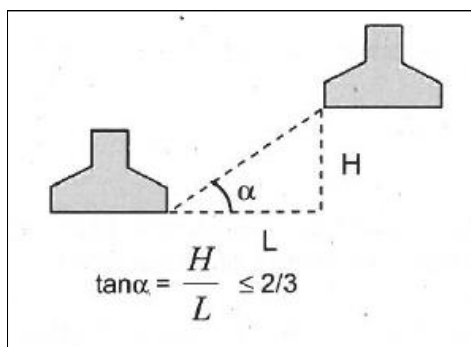
Les dispositions constructives suivantes devront être respectées :

- largeur minimale des fondations de 0,50 m pour les semelles filantes et de 0,60 m pour les semelles isolées/massifs, afin d'assurer un bon contact sol/fondation ;
- assise des fondations horizontale ;
- sol d'assise des fondations homogène ;
- mise en place d'un béton de propreté immédiatement après l'ouverture des fouilles de fondation sur une épaisseur minimum de 5 cm ;
- prévoir des joints de construction entre les parties différemment chargées du bâtiment ;
- respecter une pente de 2V/3H à partir du bord inférieur de la fondation pour ne pas intercepter la pente du talus (cf. schéma ci-après) ;



- respect des règles de l'Eurocode 7 et de sa norme d'application NF P 94-261 concernant les fondations à niveaux d'assise décalés (cf. schéma ci-après).





5.1.14. Suggestions d'exécutions

Les fonds de fouille seront finis manuellement ou au godet de curage.

Le béton de propreté ou le béton devra être coulé aussitôt après les terrassements afin d'éviter toute altération et décompression du sol d'assise. Le béton des fondations sera ensuite coulé pleine fouille sur toute la hauteur.

Lors de la mise en œuvre du fond de fouille, toutes poches ou lentilles plus compressibles que le terrain environnant, ainsi que tous points durs pouvant provoquer des désordres sur les fondations devront être purgés et remplacés par un béton coulé pleine fouille, afin d'obtenir un sol d'assise de compacité et d'homogénéité satisfaisante.

Dans le cas de sols impropres, remaniés ou déconsolidés, rencontrés lors de l'ouverture des fouilles, leur purge devra être impérativement assurée avant coulage du béton de propreté.

Il est impératif de vérifier soigneusement les matériaux extraits des fouilles pour s'assurer du bon ancrage des fondations dans les altérites.

Les fouilles de fondations devront être maintenues parfaitement stables pendant leur exécution. Un blindage pourra s'avérer nécessaire. Ce matériel devra être présent sur site en phase travaux.

Tous les travaux devront être réalisés selon les règles de l'art.

6. TERRASSEMENTS GENERAUX

6.1. Moyens d'extraction

La réalisation du projet nécessitera des terrassements en déblais au sein des remblais et des altérites schisteuses du site.

Ils pourront être réalisés par des engins classiques de terrassement de type pelle mécanique.



La rencontre de blocs ou fondations au sein des remblais, et la présence de pointes rocheuses ou d'horizons compacts au sein des altérites schisteuses n'est pas exclue, ce qui pourra nécessiter l'emploi ponctuel d'engins de plus forte puissance voire d'outils spécifiques (de type pelle hydraulique puissante, BRH, dent de déroctage...).

Dans tous les cas, la méthodologie mise en œuvre devra tenir compte des mitoyens/avoisinants au projet (attention aux vibrations et affouillements sous les existants).

6.2. Traficabilité

Aucun soucis de traficabilité n'est attendu en raison de la plateforme en enrobé au droit du site.

Les terrains superficiels sous-jacents renferment une importante proportion de matériaux fins sensibles à l'eau.

La réalisation des travaux de terrassement en période sèche est recommandée.

6.3. Stabilité des talus en déblais et en remblais

Le mode d'exécution des terrassements dépend étroitement du niveau d'assise des avoisinants : ouvrages mitoyens, voiries, réseaux et du niveau de la nappe.

En première approche, hors nappe, les talus en déblai auront une pente de 3H/2V (3 horizontalement pour 2 verticalement) dans les altérites.

Si ces recommandations ne peuvent pas être respectées ou si des ouvrages se situent dans la zone d'influence du talus, on prévoira un ouvrage de soutènement (blindage coulissant, paroi berlinoise,) ou des voiles par passes alternées.

Des systèmes de protection des talus en phase provisoire (fossés de tête et de pied, polyane, tranchées ou masque drainant...) seront à prévoir.

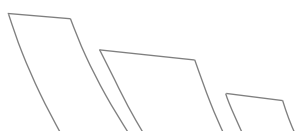
En l'absence d'ouvrage de soutènement, aucune surcharge ne devra circuler ou être implantée en tête de talus.

En phase définitive, les murs enterrés seront calculés en soutènement.

7. EAU ET DRAINAGE

7.1. Phase provisoire

On privilégiera la réalisation des travaux de terrassement en déblais en période sèche/de basses eaux.



En fonction de la date de réalisation des travaux et des conditions météorologiques lors des terrassements (ruissellement, infiltration des eaux pluviales, remontée de nappe...), un pompage provisoire pourra s'avérer nécessaire afin d'épuiser les venues d'eau et d'assécher les fouilles des terrassements généraux.

En phase chantier, il conviendra :

- de protéger les talus et les plateformes contre les ruissellements et les précipitations directes, en incluant des éperons et/ou masques drainants en cas de venues d'eau dans les talus en déblais,
- de récupérer le ruissellement et les eaux infiltrées sur des formes terrassées en forme de pente,
- de mettre en œuvre des drains au droit des fils d'eau,
- de prévoir la décantation éventuelle des eaux récupérées, avant envoi dans un exutoire existant ou à créer (dimensionné de manière suffisante et implanté de manière non dangereuse pour le projet et les avoisinants),
- de pomper les venues d'eau éventuelles en fonds de fouilles et d'assurer leur évacuation (après décantation éventuelle) dans un exutoire existant ou à créer et implanté de manière non dangereuse pour le projet et les avoisinants.

En cas de présence d'eau à faible profondeur (ce qui n'était pas le cas lors de notre intervention), un drainage préalable du terrain sera réalisé afin d'assainir le site. Il pourra s'agir soit de tranchées drainantes soit de fossés. La pente sera au minimum de 5 mm/m. Ces ouvrages tiendront compte de la topographie du site et seront raccordés à un exutoire dimensionné de manière suffisante et implanté de manière non dangereuse pour le projet et les avoisinants.

On envisagera de modeler les fonds de fouilles des terrassements généraux en toit avec une pente d'au moins 2 % pour permettre l'évacuation des eaux de surface vers des fossés périphériques et le rejet des eaux vers un exutoire gravitaire ou par pompage.

Remarque : dans tous les cas, l'incidence hydraulique du projet devra être prise en compte vis-à-vis des avoisinants (attention aux départs de fines, affouillements et tassements hydrauliques sous les existants).

7.2. Phase définitive

Toute infiltration d'eau au niveau des fondations est à proscrire. Les eaux de ruissellement et de toiture seront collectées (gouttières, contre-pente, avaloires) et évacuées vers un exutoire suffisamment dimensionné et implanté de manière non dangereuse pour le projet et les avoisinants.

7.3. Remarque

Il appartient à la Maitrise d'Œuvre / Maitrise d'Ouvrage de s'assurer des autorisations de rejet des eaux de pompage / eaux drainées vers un exutoire existant ou à créer. Celui-ci devra être dimensionné de manière suffisante et implanté de manière non dangereuse pour le projet et les avoisinants.



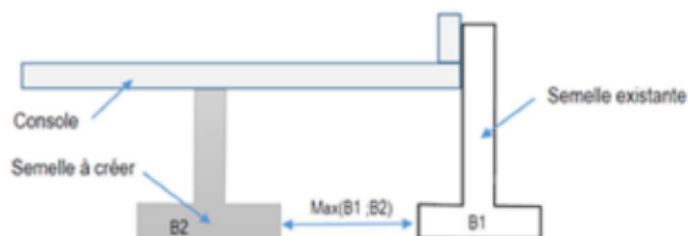
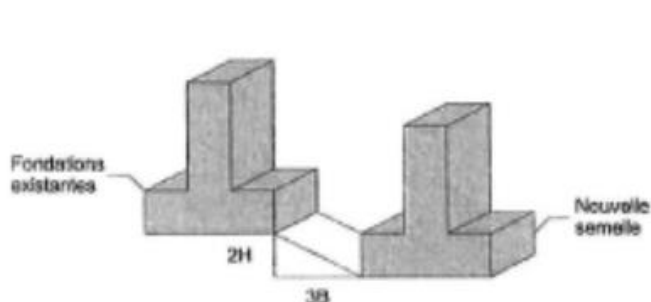
8. MITOYENNETE

La réalisation du projet actuel implique l'exécution de déblais au voisinage immédiat de fondations existantes. Toutes les précautions devront être prises pour leur éviter tout dommage tant en phase provisoire que définitive (limitation des vibrations, décalage des appuis).

Les fondations des bâtiments avoisinants devront être idéalement reconnues dans les phases ultérieures du projet.

Les fondations projetées devront être distantes de la valeur maximale des deux longueurs suivantes vis-à-vis des fondations existantes :

- En cas de niveau d'assise décalés : règle des $3B/2H$ (cf. Eurocode 7 – Fondations superficielles NF P 94-261)
- En cas de niveau d'assise à même hauteur : espacement des fondations correspondant à la largeur d'appui la plus importante entre fondation existante et nouvelle.



De plus, un joint de construction devra être aménagé entre structures existante et nouvelle pour permettre le mouvement différentiel des fondations.

En variante, afin de limiter la découverte des fondations existantes, les nouvelles fondations seront réalisées perpendiculairement à celles existantes et fondées à minima au même niveau.

*

* *

La mise en œuvre de l'ensemble des missions géotechniques (G3 et G4) devra suivre la présente étude (mission G2 PRO). Le schéma d'enchaînement et la classification des missions types d'ingénierie géotechnique, extraits de la norme NF P 94-500, figurent en annexe 1 du présent rapport.

Nous restons à l'entière disposition des Responsables du Projet pour tout renseignement, ainsi que pour toutes missions complémentaires nécessaires.

Les conclusions de ce présent rapport sont données sous réserve des conditions particulières jointes.



9. CONDITIONS PARTICULIÈRES

Le présent rapport ou Procès-Verbal ainsi que toutes annexes, constituent un ensemble indissociable.

La Société E.C.R. 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.

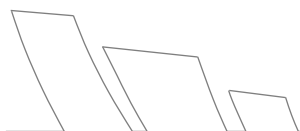
Cette étude est basée sur des reconnaissances dont le caractère ponctuel ne permet pas de s'affranchir des aléas des milieux naturels, et ne peut prétendre traduire le comportement du sol dans son intégralité.

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 E.C.R. 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'E.C.R. ENVIRONNEMENT.

La Société E.C.R. ENVIRONNEMENT ne saurait être rendue responsable des modifications apportées à son étude que dans le cas où elle aurait donné son accord écrit sur les dites 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 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'avoisnants avec visite du site et des alentours.
- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport donnant pour le site étudié un modèle géologique préliminaire, les principales caractéristiques géotechniques et une première identification des risques géotechniques majeurs.

Phase Principes Généraux de Construction (PGC)

Elle est réalisée au stade d'une étude préliminaire, 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 avoisnants), une ébauche dimensionnelle par type d'ouvrage géotechnique et la pertinence d'application de la méthode observationnelle pour une meilleure maîtrise des risques géotechniques.

Phase Projet (PRO)

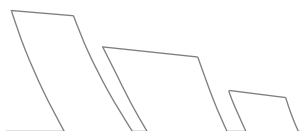
Elle est réalisée au stade du projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées suffisamment représentatives pour le site.

- 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 avoisnants), 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

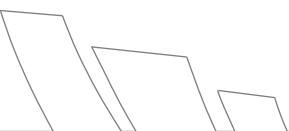
- Par interventions ponctuelles sur le chantier, donner un avis sur la pertinence du contexte géotechnique tel qu'observé par l'entrepreneur (G3), du comportement tel qu'observé par l'entrepreneur de l'ouvrage et des avoisinants concernés (G3), de l'adaptation ou de l'optimisation de l'ouvrage géotechnique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

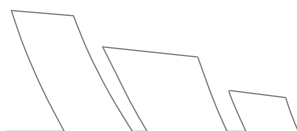
Ce diagnostic géotechnique précise l'influence de cet ou ces éléments géotechniques sur les risques géotechniques identifiés ainsi que leurs conséquences possibles pour le projet ou l'ouvrage existant.

- 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'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

Implantation des sondages



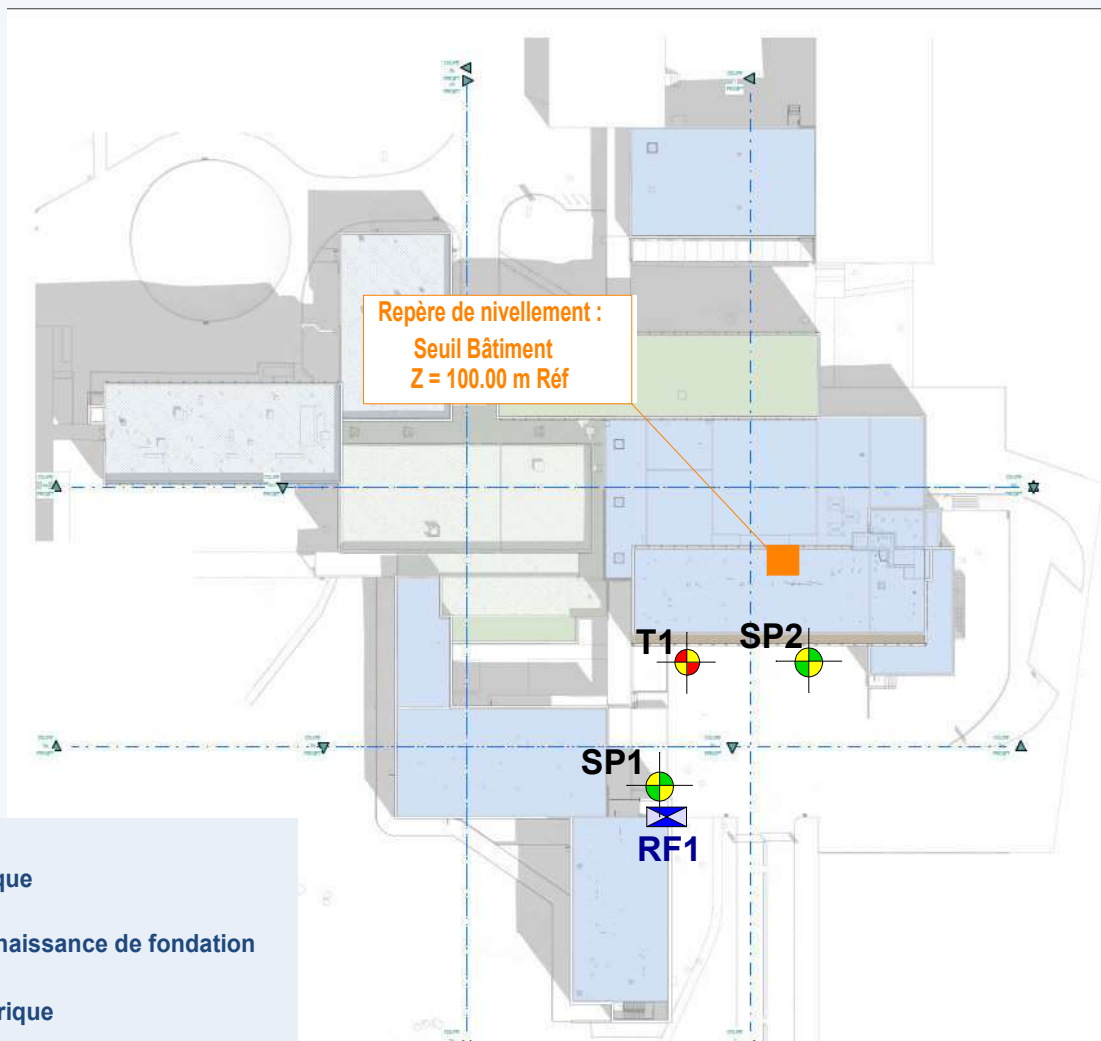
Implantation des sondages

Client : Rectorat de la Région Pays de la Loire

Etude : G2 AVP - Rénovation de la faculté des sciences

Affaire ECR n° 4415031

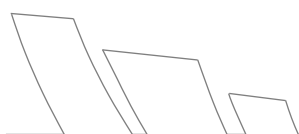
Lieu : ANGERS (49)



-  Sondage géologique
-  Fouille de reconnaissance de fondation
-  Essai pressiométrique

Annexe 3

Résultats des investigations in-situ



Date début : 03/02/2025

Cote Réf. : 99.44

Profondeur : 0,00 - 10,00 m

Machine : CE 302

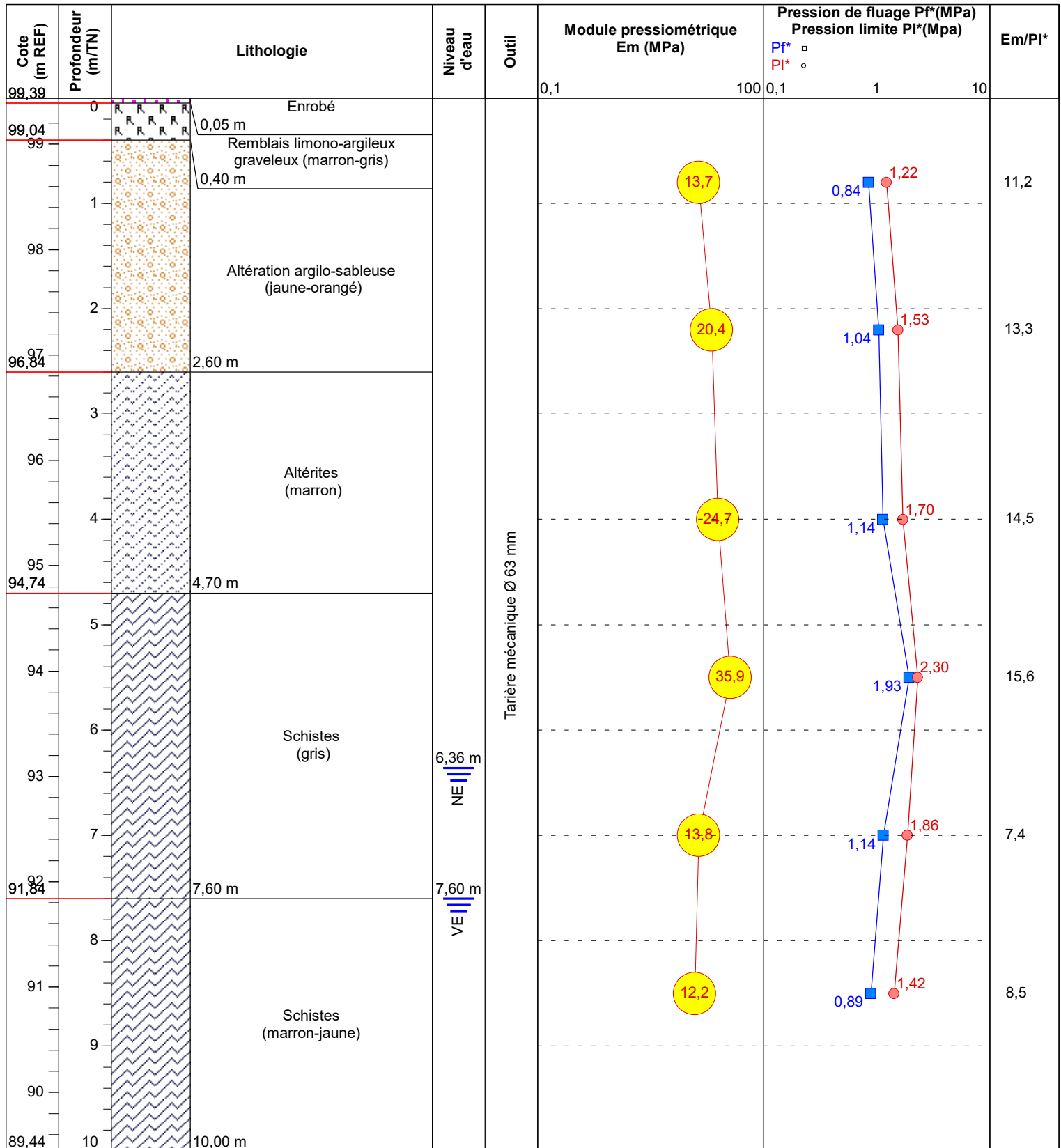
Niveau d'eau : 6.36 m

Venue d'eau : 7.60 m

1/50

Sondage : SP1

EXGTE 3.20/GTE



Date début : 04/02/2025

Cote Réf. : 99.52

Profondeur : 0,00 - 10,00 m

Machine : CE 302

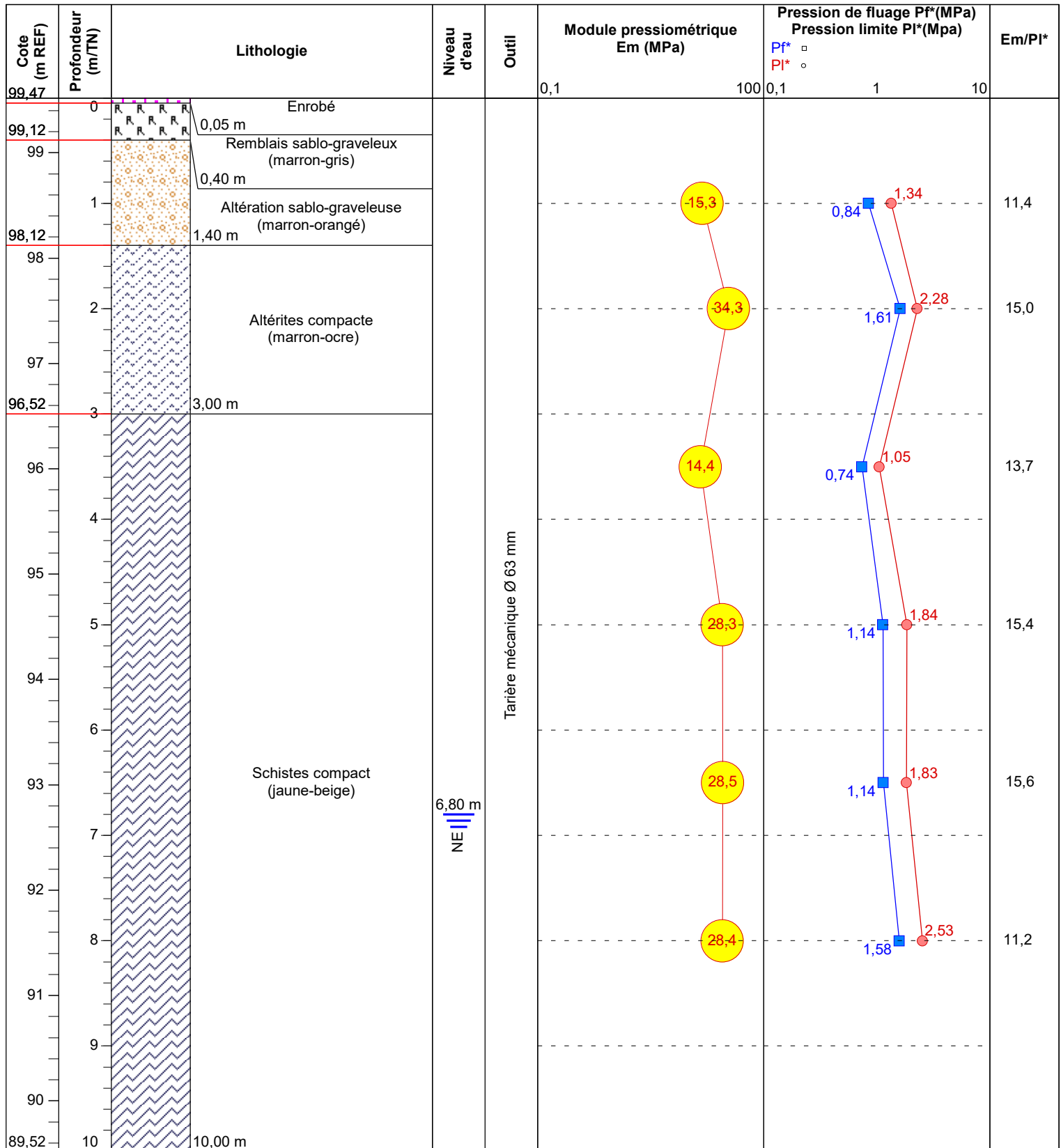
Niveau d'eau : 6.80 m

Venue d'eau : Néant

1/50

Sondage : SP2

EXGTE 3.20/GTE



Cote (m REF)	Profondeur (m/TN)	Lithologie	Outil	Niveau d'eau
99,49	0	Enrobé	Tarière mécanique Ø 63 mm	
98,84	0,05 m	Remblais argilo-graveleux		
97,84	0,70 m	Altération (jaune-orangé)		
96,54	1,70 m	Altérites (marron)		
	3	3,00 m		

Fouille de reconnaissance de fondations

Etude : G2 AVP - Rénovation de la faculté des sciences

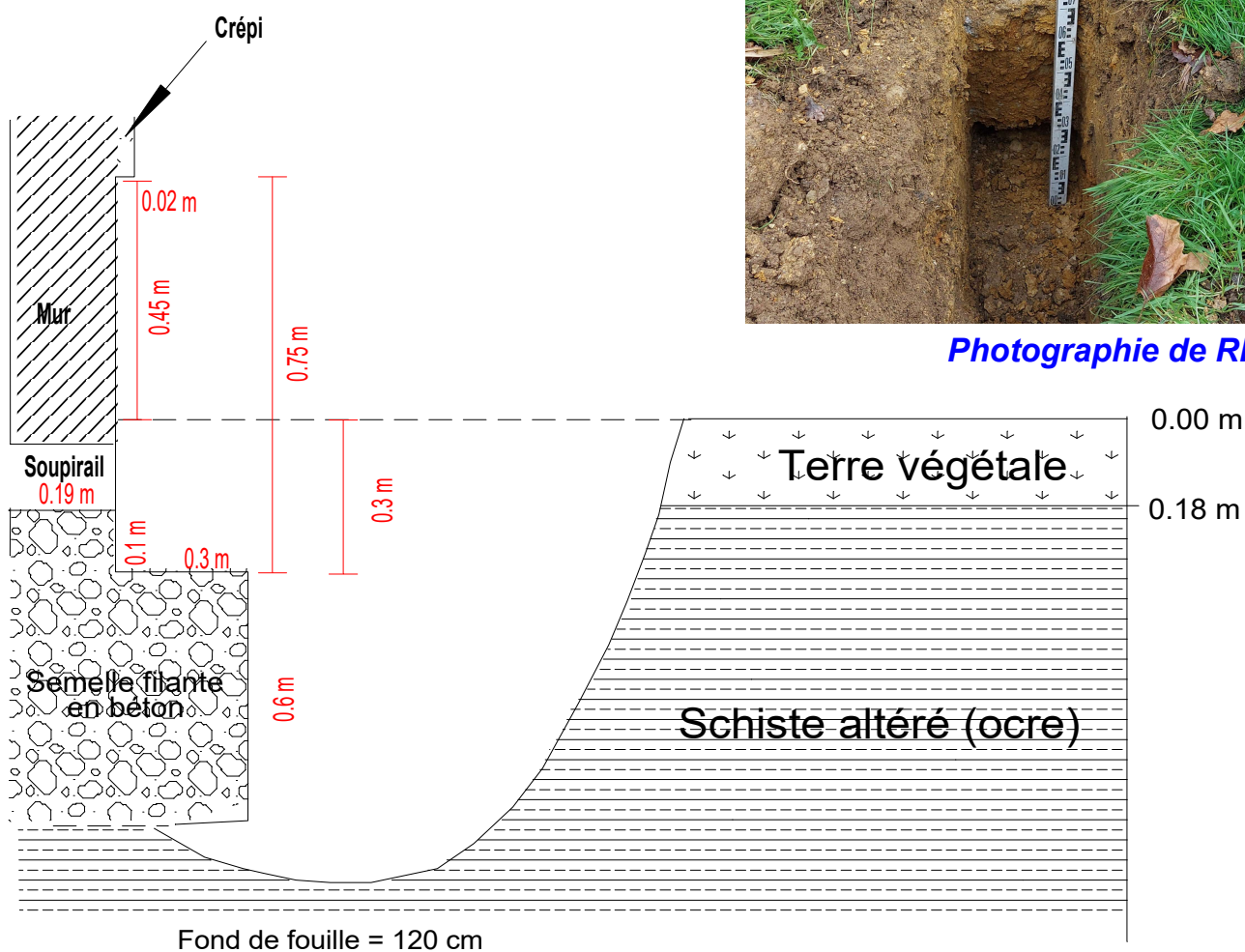
Commune : ANGERS (49)

Client : Rectorat de la région Pays de la Loire

Affaire ECR n° 4415031

RF1

- Coupe transversale -

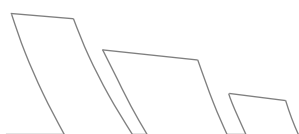


Photographie de RF1

sans échelle

Annexe 4

Résultats des analyses laboratoires



Informations de l'échantillon analysé

Affaire : **4415031**

Chantier : **Angers**

Sondage : **T1**

Profondeur : **0,7-1,7 m**

Nature du matériau : **Limon argilo-sableux**

Outil de prélèvement : **Tarière**

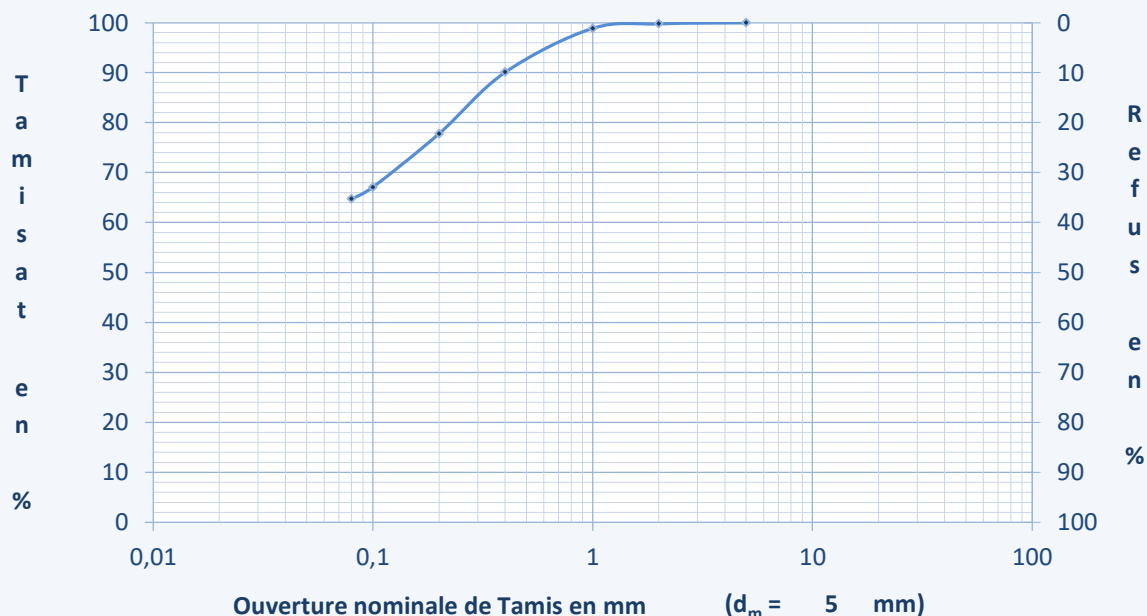
Prélèvement le : **03/02/25**

Essai réalisé le : **28/02/25**

Température d'étuvage : **105 °C**

Analyse granulométrique (NF P 94-056)

Tamis d (mm)	50	31,5	20	10	5	2	1	0,4	0,2	0,1	0,08
Passant (%)					100,0	99,8	98,9	90,1	77,8	67,1	64,8



Détermination de la teneur en eau (NF P 94-050)

W = **19,3** %

Mesure de la capacité d'adsorption de bleu de méthylène (NF P 94-068)

VBS = **1,25** g de bleu / 100 g de sol

Remarque :

Opérateur :

Classification du matériau :

N. RICHET

A₁

ECR ENVIRONNEMENT CENTRE OUEST
Monsieur Fabien KNOEPFFLER
 5 Rue des Clairières
 44840 LES SORINIERES

RAPPORT D'ANALYSE

Dossier N° : 25E025747

Version du : 25/02/2025

N° de rapport d'analyse : AR-25-LK-036436-01

Date de réception technique : 13/02/2025

Première date de réception physique : 13/02/2025

Référence Dossier : N° Projet : 4415031

Nom Projet : ANGERS Rectorat Sciences

Nom Commande : 4415031

Référence Commande : 4413173

Coordinateur de Projets Clients : Marion Baumgarten / MarionBaumgarten@eurofins.com / +33 3 88 91 19 11

N° Ech	Matrice		Référence échantillon
001	Eau souterraine	(ESO)	SP1
002	Sol	(SOL)	SP1 (0,4 - 2,6m)

RAPPORT D'ANALYSE

Dossier N° : 25E025747

Version du : 25/02/2025

N° de rapport d'analyse : AR-25-LK-036436-01

Date de réception technique : 13/02/2025

Première date de réception physique : 13/02/2025

Référence Dossier : N° Projet : 4415031

Nom Projet : ANGERS Rectorat Sciences

Nom Commande : 4415031

Référence Commande : 4413173

N° Echantillon

Référence client :

Matrice :

Date de prélèvement :

Date de début d'analyse :

Température de l'air de l'enceinte :

001
SP1
ESO

12/02/2025

13/02/2025

6.6°C

002
**SP1 (0,4 -
2,6m)**
SOL

12/02/2025

19/02/2025

6.6°C

Préparation Physico-Chimique

 ZS00U : **Prétraitement et
séchage à 40°C**

 LS896 : **Matière sèche** % P.B.

 LS025 : **Filtration 0.45 µm**

Effectuée

* Fait

* 88.4

Analyses immédiates

 LS001 : **Mesure du pH**
pH

Température

 JI020 : **Titre Alcalimétrique
Complet (TAC)**

 LS028 : **Anhydride carbonique
(CO2) agressif**

mg/l

* 6.2

°C 18.1

* ° f 11.6

95.7

Indices de pollution

 LS02L : **Azote Nitrique / Nitrates (NO3)**

Nitrates mg NO3/l

Azote nitrique mg N-NO3/l

 LS02I : **Chlorures (Cl)**

 LS02R : **Ammonium**

 LS02Z : **Sulfates (SO4)**

 LSRDB : **Classe d'agressivité
selon NF EN 206**

mg/l

mg NH4/l

mg/l

* 26.3

* 5.94

* 51.2

* 0.12

* 32.5

XA2

Métaux

 LS206 : **Magnésium (Mg)
dissous**

 LS204 : **Calcium (Ca) dissous**

 LS207 : **Potassium (K) dissous**

mg/l

mg/l

mg/l

* 8.59

* 36.1

* 8.70

RAPPORT D'ANALYSE
Dossier N° : 25E025747

Version du : 25/02/2025

N° de rapport d'analyse : AR-25-LK-036436-01

Date de réception technique : 13/02/2025

Première date de réception physique : 13/02/2025

Référence Dossier : N° Projet : 4415031

Nom Projet : ANGERS Rectorat Sciences

Nom Commande : 4415031

Référence Commande : 4413173

N° Echantillon

Référence client :

Matrice :

Date de prélèvement :

Date de début d'analyse :

Température de l'air de l'enceinte :

001**SP1****ESO**

12/02/2025

13/02/2025

6.6°C

002**SP1 (0,4 -
2,6m)****SOL**

12/02/2025

19/02/2025

6.6°C

Métaux
LS208 : **Sodium (Na) dissous** mg/l * 37.3
Agressivité du sol vis-à-vis du béton
ZS8IA : **Degré d'acidité des sols** ml/kg M.S.selon **BAUMANN GULLY**ZS18C : **Classe d'agressivité**

Sulfates à l'acide agressivité mg/kg M.S.

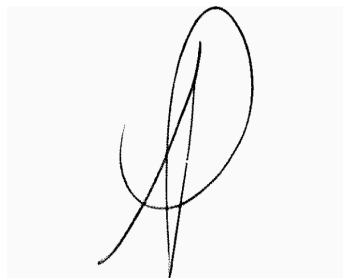
Classe d'agressivité selon EN 206-1

32

157

<XA1

Observations	N° d'échantillon	Référence client
Spectrophotométrie visible automatisée : l'analyse a été réalisée sur l'échantillon filtré à 0.45µm.	(001)	SP1



Jean-Paul Klaser

Chef d'Equip. Coord. Proj Clts

RAPPORT D'ANALYSE

Dossier N° : 25E025747

N° de rapport d'analyse : AR-25-LK-036436-01

Version du : 25/02/2025

Date de réception technique : 13/02/2025

Première date de réception physique : 13/02/2025

Référence Dossier : N° Projet : 4415031

Nom Projet : ANGERS Rectorat Sciences

Nom Commande : 4415031

Référence Commande : 4413173

La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale. Il comporte 7 page(s). Le présent rapport ne concerne que les objets soumis à l'essai. Les résultats et conclusions éventuelles s'appliquent à l'échantillon tel qu'il a été reçu. Les données transmises par le client pouvant affecter la validité des résultats (la date de prélèvement, la matrice, la référence échantillon et autres informations identifiées comme provenant du client), ne sauraient engager la responsabilité du laboratoire. Seules certaines prestations rapportées dans ce document sont couvertes par l'accréditation. Elles sont identifiées par le symbole *.

Les résultats précédés du signe < correspondent aux limites de quantification, elles sont la responsabilité du laboratoire et fonction de la matrice.

Tous les éléments de traçabilité et incertitude (déterminée avec $k = 2$) sont disponibles sur demande.

Annexe technique

Dossier N° :25E025747

N° de rapport d'analyse : AR-25-LK-036436-01

Emetteur : Monsieur Fabien KNOEPFFLER

Commande EOL : 006-10514-1266075

Nom projet : N° Projet : 4415031

Référence commande : 4413173

ANGERS Rectorat Sciences

Nom Commande : 4415031

Eau souterraine

Code	Analyse	Principe et référence de la méthode	LQI	Incertitude à la LQ	Unité	Prestation réalisée sur le site de :
JI020	Titre Alcalimétrique Complet (TAC)	Spectrophotométrie (UV/VIS) - Méthode interne - Méthode interne - Méthode interne	0.5	30%	° f	Eurofins Analyses pour l'Environnement France
LS001	Mesure du pH pH Température	Potentiométrie - NF EN ISO 10523			°C	
LS025	Filtration 0.45 µm	Filtration - Méthode interne				
LS028	Anhydride carbonique (CO2) agressif	Calcul - Calcul			mg/l	
LS02I	Chlorures (Cl)	Spectrophotométrie (UV/VIS) [Spectrophotométrie visible automatisée] - NF EN ISO 15923-1	1	30%	mg/l	
LS02L	Azote Nitrique / Nitrates (NO3)	Spectrophotométrie (UV/VIS) [Spectrophotométrie visible automatisée] - NF EN ISO 15923-1				
	Nitrates		1	35%	mg NO3/l	
	Azote nitrique		0.2	35%	mg N-NO3/l	
LS02R	Ammonium	Spectrophotométrie (UV/VIS) - NF EN ISO 15923-1	0.05	22%	mg NH4/l	
LS02Z	Sulfates (SO4)	Spectrophotométrie (UV/VIS) [Spectrophotométrie visible automatisée] - NF EN ISO 15923-1	5	20%	mg/l	
LS204	Calcium (Ca) dissous	ICP/AES - NF EN ISO 11885	1	30%	mg/l	
LS206	Magnésium (Mg) dissous		0.01	30%	mg/l	
LS207	Potassium (K) dissous		0.1	40%	mg/l	
LS208	Sodium (Na) dissous		0.05	35%	mg/l	
LSRDB	Classe d'agressivité selon NF EN 206	Calcul - Calcul				

Sol

Code	Analyse	Principe et référence de la méthode	LQI	Incertitude à la LQ	Unité	Prestation réalisée sur le site de :
LS896	Matière sèche	Gravimétrie - NF ISO 11465	0.1	5%	% P.B.	Eurofins Analyses pour l'Environnement France
ZS00U	Prétraitement et séchage à 40°C	Séchage [sur la totalité de l'échantillon sauf mention contraire] - NF EN 16179				
ZS18C	Classe d'agressivité Sulfates à l'acide agressivité Classe d'agressivité selon EN 206-1	Calcul -			mg/kg M.S.	
ZS8IA	Degré d'acidité des sols selon BAUMANN GULLY	Titrimétrie [Extraction solide-liquide puis titrage acido-basique] - EN 16502	20		ml/kg M.S.	

Annexe technique

Dossier N° :25E025747

Emetteur : Monsieur Fabien KNOEPFFLER

Nom projet : N° Projet : 4415031

ANGERS Rectorat Sciences

Nom Commande : 4415031

N° de rapport d'analyse : AR-25-LK-036436-01

Commande EOL : 006-10514-1266075

Référence commande : 4413173

Annexe de traçabilité des échantillons

Cette traçabilité recense les flacons des échantillons scannés dans EOL sur le terrain avant envoi au laboratoire

Dossier N° : 25E025747

N° de rapport d'analyse : AR-25-LK-036436-01

Emetteur :

Commande EOL : 006-10514-1266075

Nom projet : N° Projet : 4415031

Référence commande : 4413173

ANGERS Rectorat Sciences

Nom Commande : 4415031

Eau souterraine

N° Ech	Référence Client	Date & Heure Prélèvement	Date de Réception Physique (1)	Date de Réception Technique (2)	Code-Barre	Nom Flacon
001	SP1	12/02/2025 11:00:00	13/02/2025	13/02/2025		

Sol

N° Ech	Référence Client	Date & Heure Prélèvement	Date de Réception Physique (1)	Date de Réception Technique (2)	Code-Barre	Nom Flacon
002	SP1 (0,4 - 2,6m)	12/02/2025 11:01:00	13/02/2025	13/02/2025		

(1) : Date à laquelle l'échantillon a été réceptionné au laboratoire.

Lorsque l'information n'a pas pu être récupérée, cela est signalé par la mention N/A (non applicable).

(2) : Date à laquelle le laboratoire disposait de toutes les informations nécessaires pour finaliser l'enregistrement de l'échantillon.