

**DOMAINE NATIONAL DE CHAMBORD**

**AILE FRANÇOIS 1ER**

**DIAGNOSTIC GEOTECHNIQUE DU RADIER DE  
FONDATION**

A LA DEMANDE DE L'AGENCE D'ARCHITECTURE DU CHATILLON ARCHITECTES ET DU BET STRUCTURE  
ATELIER ERGON ET POUR LE COMPTE DU DOMAINE NATIONAL DE CHAMBORD

Dossier	24-0219_I_0	
Indice	Modifications	Date
o	Document provisoire	07/06/2024
A	Rapport final	17/06/2024

Nombre de pages : 42 + annexes

INGÉNIEURS-CONSEILS EN GÉOLOGIE, GÉOPHYSIQUE ET GÉOTECHNIQUE



LIEU :	CHATEAU DE CHAMBORD – AILE FRANÇOIS 1ER
COMMUNE :	CHAMBORD (41)
OBJET :	DIAGNOSTIC DU RADIER DE FONDATION
TYPE DE MISSION :	G5
CLIENT :	DOMAINE NATIONAL DE CHAMBORD
DOSSIER SUIVI PAR :	M. CASTELLO

CHARGE D’AFFAIRE :	N. PASCUTTINI
CHEF DE PROJET :	N. PASCUTTINI
INTERVENANTS :	P. CHOLLIER X. CELLE F. SOETAERT T. DE SLOOVER A. LAFON M. DAUDET
NOMBRE DE PAGES :	42+ANNEXES

Dossier	24-0219_I_0	
Indice	Modifications	Date
o	Document provisoire	07/06/2024
A	Rapport final	17/06/2024

Rédacteur : P CHOLLIER  
X. CELLE

Contrôle : N PASCUTTINI



## SOMMAIRE :

<b>1 - PRESENTATION DE L'ETUDE .....</b>	<b>6</b>
1.1 - Introduction.....	6
1.2 - Localisation de la zone d'étude .....	6
1.3 - Objectifs de l'étude .....	7
1.4 - Limites de l'étude .....	7
1.5 - Documents utilisés.....	7
<b>2 - CONTEXTE GENERAL DU SITE .....</b>	<b>9</b>
2.1 - Contexte réglementaire .....	9
2.2 - Contexte géologique .....	9
2.3 - Contexte hydrogéologique .....	11
2.4 - Contexte morphologique.....	12
2.5 - Contexte vis-à-vis des risques naturels .....	12
2.5.1 - Mouvements de terrain répertoriés .....	12
2.5.2 - Cavités souterraines répertoriées .....	12
2.5.3 - Aléa inondations.....	13
2.5.4 - Aléa retrait-gonflement des argiles .....	14
2.5.5 - Contexte vis-à-vis du risque sismique .....	14
2.5.6 - Susceptibilité des sols à la liquéfaction.....	14
2.5.7 - Autres zonages .....	14
<b>3 - SYNTHESES DES ETUDES PORTANT SUR L'EDIFICE .....</b>	<b>15</b>
3.1 - Synthèse des données historiques transmises .....	15
<b>4 - RECONNAISSANCES IN-SITU.....</b>	<b>19</b>
4.1 - Reconnaissances antérieures réalisées par Infranéo .....	19
4.1.1 - Reconnaissances de fondations .....	19
4.1.2 - Sondages carottés.....	20
4.1.3 - Synthèse des éléments connus à l'issue de cette face de reconnaissance .....	22
4.2 - Reconnaissances réalisées dans le cadre du diagnostic complémentaire .....	23
4.2.1 - Programme de reconnaissances complémentaires .....	23
4.2.2 - Sondages carottés.....	23
4.2.3 - Imagerie OPTV.....	28
4.2.4 - Essais sclérométriques .....	32
4.2.1 - Essais en laboratoire.....	32
4.2.2 - Piézométrie et pompage.....	33
<b>5 - SYNTHESE SUR LA CONSTITUTION ET L'ETAT DE L'OUVRAGE .....</b>	<b>35</b>
<b>6 - DIAGNOSTIC DE L'OUVRAGE .....</b>	<b>39</b>
6.1 - Interprétation de l'état de l'ouvrage .....	39
6.2 - Hypothèses quant à l'origine des désordres.....	39
6.3 - Evolution.....	39
6.4 - Incertitudes .....	40
6.5 - Analyse de l'impact des incertitudes .....	40
6.5.1 - Méthode d'analyse.....	40
6.5.2 - Analyse de l'impact sur le diagnostic et solution de levée des incertitudes .....	42



## ANNEXES :

- Annexe n°1 :** Coupe des sondages carottés
- Annexe n°2 :** Compte rendu de l'imagerie OPTV
- Annexe n°3 :** Essais Laboratoire
- Annexe n°4 :** Coupes interprétatives de l'état de dégradation du radier de fondation
- Annexe n°5 :** Extrait de la norme NF P 94-500 relative à la classification des missions géotechniques
- Annexe n°6 :** Etude Infraneo, Octobre 2022

## 1 - PRESENTATION DE L'ETUDE

### 1.1 - INTRODUCTION

Le présent rapport d'étude a été réalisé par le Bureau d'Ingénieurs - Conseils GEOLITHE à la demande de l'atelier ERGON et pour le compte du domaine national de Chambord.

Il s'agit d'un diagnostic géotechnique (mission G5-DIAG) au sens de la norme NF P 94-500 révisée fin novembre 2013 (« *Missions d'ingénierie géotechnique – Classification et spécifications* » - novembre 2013), présentée en annexe 1.

Ce rapport concerne le diagnostic du radier de fondation de l'aile François 1er du château de Chambord (41) et intervient en complément d'une première mission de diagnostic géotechnique (G5) menée par le bureau d'étude INFRANEO en octobre 2022.

Les reconnaissances de terrain ont été réalisées en avril 2024.

### 1.2 - LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE

La zone d'étude se situe sur la commune de Chambord dans le département du Loir-et-Cher (41).

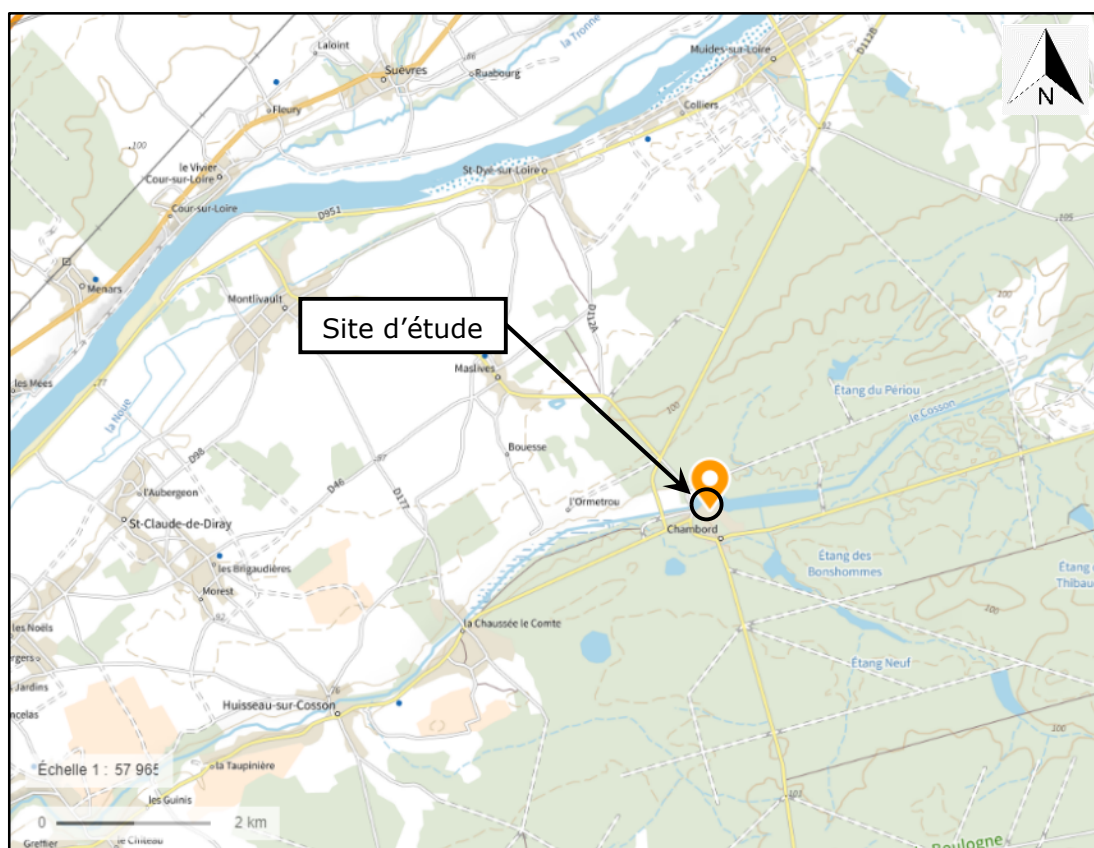


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude sur extrait de carte IGN [Source : Géoportail]



**Figure 2 : Localisation de la zone d'étude (source : Géoportail)**

### **1.3 - OBJECTIFS DE L'ETUDE**

Cette étude a pour buts de caractériser le radier de fondation de l'aile François 1<sup>er</sup> et son état.

L'étude a pour objectifs :

- D'établir une synthèse des données historiques concernant les ouvrages ;
- De présenter les caractéristiques géométriques et structurales de l'ouvrage ;
- De réaliser une synthèse des investigations géotechniques effectuées ;
- D'établir le diagnostic de l'état du radier ;

### **1.4 - LIMITES DE L'ETUDE**

Le diagnostic réalisé est limité à l'étude du radier de fondation de l'aile François 1<sup>er</sup>.

Sont notamment exclues de la présente mission d'étude les prestations suivantes :

- Le diagnostic géotechnique de l'ensemble de l'aile, y compris l'étude du sol de fondation de l'édifice et l'analyse de stabilité de l'aile François 1<sup>er</sup> ;
- L'étude hydraulique des douves et inondabilité éventuelle du site.

### **1.5 - DOCUMENTS UTILISES**

- ⇒ « Diagnostic général des vestiges des aménagements anciens des abords du château (du XVI<sup>e</sup> au XVIII<sup>e</sup> siècle) » sous la direction de Simon Bryant, Inrap Centre Ile-de-France, juin 2010 ;
- ⇒ « Notice sur les travaux de restauration exécutés au château de 1882 à 1894 », DESBOIS Père et fils, Paris, 1894 ;
- ⇒ Etude G5 et G2 AVP du pavillon de Thoury, Geolia, 2021
- ⇒ Etude G5 et G2 AVP de la maison des veuves, Geolia, 2021
- ⇒ Etude G5 et G2 AVP de l'ancienne mairie, Geolia, 2021
- ⇒ Etude G5 et G2 AVP du presbytère, Geolia, 2021

- ⇒ « Le château de Chambord (Loir-et-Cher) – Un monument trop (peu) regardé », S. Bryant, P. Ponsot, D. Hofbauer, J-S. Caillou, 2017
- ⇒ Simon Bryant et Cécile Travers, « Ni fait, ni à faire : Chambord, un château à choix multiples », Bulletin du Centre de recherche du château de Versailles [En ligne]. URL : <http://journals.openedition.org/crcv/14356> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/crcv.14356>
- ⇒ Simon Bryant, Cécile Travers, « Chambord – Château, parterres nord et est » [notice archéologique], ADLFI. Archéologie de la France - Informations [En ligne], Centre-Val de Loire. URL : <http://journals.openedition.org/adlfi/47176>
- ⇒ Le château de Chambord (Loir-et-Cher) – Un monument trop (peu) regardé. Simon BRYANT, Patrick PONSOT, Dominique HOFBAUER, Jean-Sylvain CAILLOU, 4th ;International Congress of Medieval and Modern Archaeology, 2007.
- ⇒ Chatenet Monique, "Chambord", éditions du Patrimoine, 2013, 280p.
- ⇒ Lesueur F. Les dernières étapes de la construction de Chambord. In: Bulletin Monumental, tome 109, n°1, année 1951, pp. 7-39. URL : [https://www.persee.fr/doc/bulmo\\_0007-473x\\_1951\\_num\\_109\\_1\\_8575](https://www.persee.fr/doc/bulmo_0007-473x_1951_num_109_1_8575)
  
- ⇒ Norme NF P 94-500 « Missions d'ingénierie géotechnique ;
- ⇒ Décret n°2010-1255 du 22 octobre 2010 portant délimitation des zones de sismicité du territoire français ;
- ⇒ Visualiseur des données géoscientifiques du BRGM - [www.infoterre.brgm.fr](http://www.infoterre.brgm.fr)
- ⇒ « Rapport d'investigations géotechniques », Infranéo, 2022 ;
- ⇒ « Diagnostic géotechnique de l'aile François 1<sup>er</sup> », Infranéo, 2022 ;
- ⇒ Photographie des douves vidangées, agence Chatillon architecte ;



## 2 - CONTEXTE GENERAL DU SITE

### 2.1 - CONTEXTE REGLEMENTAIRE

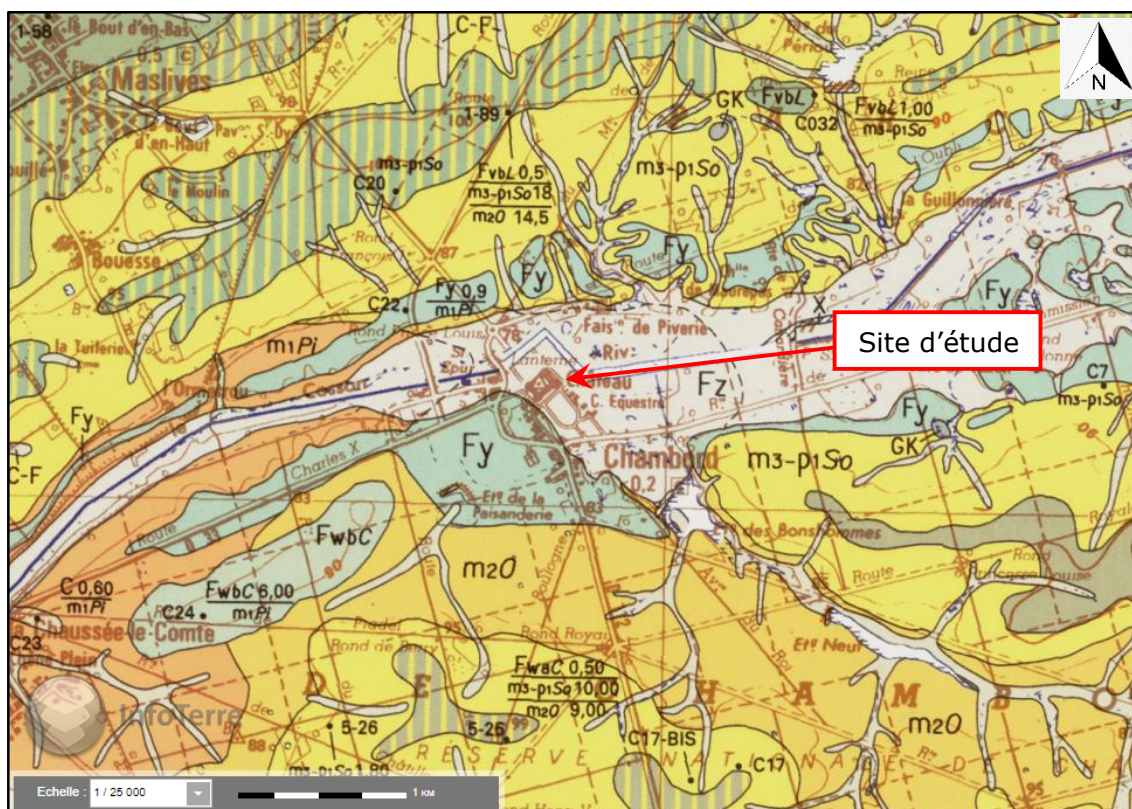
Le site d'étude est l'objet de plusieurs protections du fait de son intérêt patrimonial :

- Le domaine national de Chambord est classé au titre des Monuments Historiques depuis 1840 ;
- Le domaine fait partie du périmètre du Val de Loire qui est inscrit sur la Liste du patrimoine mondial de l'UNESCO depuis le 30 novembre 2000 ;
- Le parc de Chambord est un site classé.

### 2.2 - CONTEXTE GEOLOGIQUE

D'après la carte géologique de la France (feuille de Bracieux), les matériaux constituant la géologie du site sont :

- Des alluvions récentes (**Fz** : Quaternaire – Tardiglaciaire à Holocène) du lit majeur des rivières de Sologne. On retrouve cet horizon de galets, graviers, sables, limons et argiles tourbeuses, en surface.
- Les alluvions Fz recouvrent des alluvions anciennes des basses terrasses des rivières de Sologne (**Fy** : Quaternaires) composés de graviers et sables.
- Des sables et argiles des rivières de Sologne (**m3-p1So** : Tertiaire – Miocène moyen à Pliocène inférieur) présentant une épaisseur de 5 à 50 m selon les endroits, et 5 à 10 m au droit de la zone d'étude et déposés sur les marnes et sables de l'Orléanais (m2O) ;
- Les marnes et sables de l'Orléanais (**m2O** : Tertiaire – Burdigalien), composées d'argiles, de marnes et de sables sur 5 à 25 m d'épaisseur ;
- Le substratum calcaire du site est composé de calcaires de Pithiviers (m1Pi : Tertiaire – Aquitanien), formés de calcaires, calcaires silicifiés et marnes sur 10 à 20 m d'épaisseur.



**Figure 3 : Extrait de la carte géologique de la France au 1/50 000ème – Feuille n°429 de Bracieux [Source : InfoTerre]**

## Légende :

- Fz FORMATIONS QUATERNAIRES - Formations alluviales récentes (Tardiglaciaire à Holocène) - Alluvions du lit majeur des rivières de Sologne : galets, graviers, sables, limons, chenaux argilo-tourbeux (Tardiglaciaire à Holocène)
- Fy FORMATIONS QUATERNAIRES - Alluvions anciennes des basses terrasses - Alluvions des basses terrasses des rivières de Sologne (+ 5 à + 8 m) : graviers, sables
- FwbC FORMATIONS QUATERNAIRES - Alluvions anciennes des moyennes terrasses - Alluvions de la moyenne terrasse du Cosson (+ 15 à 18 m) : sables, graviers
- m3- FORMATIONS TERTIAIRES - Sables et Argiles de Sologne : p1So argiles et sables (Langhien à Zandéen) (5 à 50 m)
- m2O FORMATIONS TERTIAIRES - Marnes et Sables de l'Orléanais (s.l.) : argiles, marnes, sables (Burdigalien) (5 à 25 m)
- m1Pi FORMATIONS TERTIAIRES - Calcaire de Pithiviers : calcaires, calcaires silicifiés et marnes (Aquitainien) (10 à 20 m)

Plusieurs sondages, forages et/ou puits ont été réalisés sur des profondeurs comprises entre 10 et 61 m dans un rayon de 250 m autour du château (localisation en Figure 4). Les rapports de forage permettent une connaissance plus précise des faciès à proximité du site d'étude. La lithologie au droit du site est la suivante :

- Remblais et terre végétale de 0 à 0,6 m environ,
- Alternance de marnes lacustres, d'argiles et de sables jusqu'à environ 10 à 16 m de profondeur,
- Calcaires marneux.



**Figure 4 : Localisation des ouvrages souterrains issus de la BSS (source : Infoterre, BRGM).**

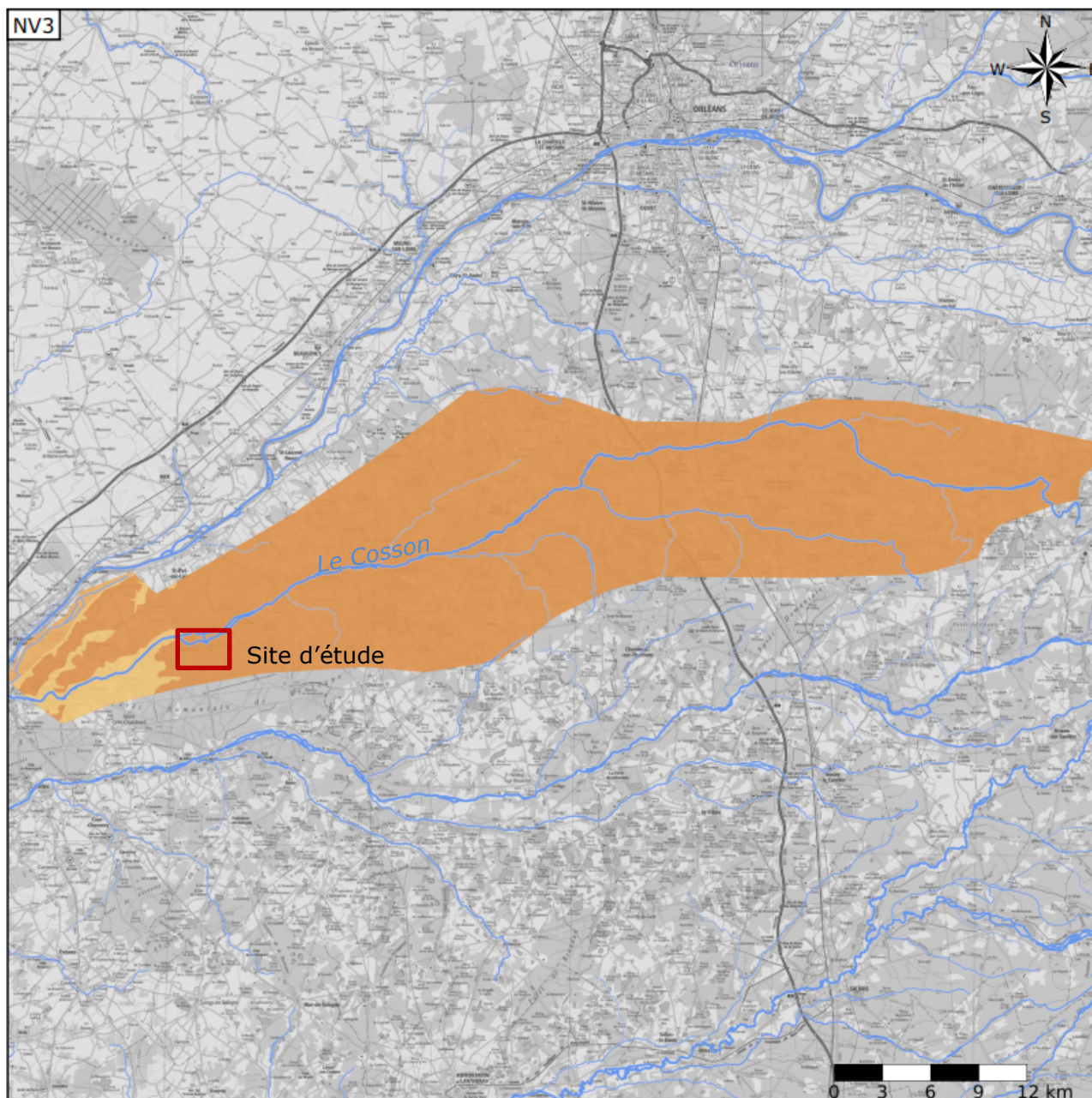


## 2.3 - CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

L'unité aquifère en présence correspond aux sables, argiles et marnes du Miocène au Pliocène inférieur de l'Orléanais et de Sologne. Cet aquifère sédimentaire de type poreux est référencé comme une nappe libre à captive, selon que les niveaux sableux sont affleurant, ou recouverts par des argiles (source : BDLISA, BRGM).

Aucune carte piézométrique n'est disponible dans le secteur.

En revanche, étant donné la proximité du site d'étude avec la rivière Cosson (Figure 4), les battements de la nappe et les circulations souterraines pourraient être fortement influencés par cette dernière.



**Figure 5 : Extension de l'unité aquifère des sables, argiles et marnes de l'Orléanais et de Sologne (d'après la BDLISA, BRGM).**

### Propriétés hydrodynamiques de l'aquifère

A proximité du site, le forage BSS001DUBG (localisation Figure 4) exploite l'unité des calcaires et possède des valeurs de transmissivité de l'aquifère sous-jacent à l'aquifère des sables et argiles de l'Orléanais, l'aquifère des calcaires de Beauce. La perméabilité de cet aquifère, à proximité du site d'étude, est de l'ordre de  $1,3 \times 10^{-3}$  m/s, soit une très bonne perméabilité aquifère.

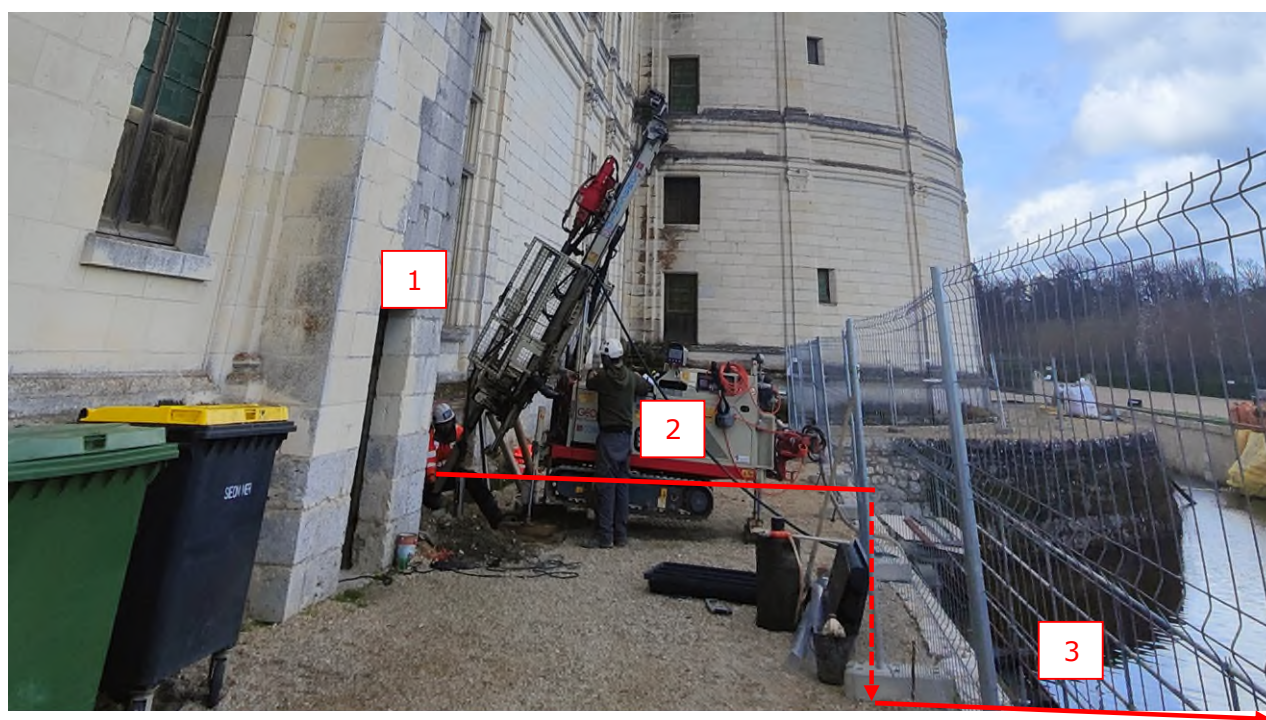
D'après les résultats de l'essai de pompage réalisés par Infraneo dans un piézomètre situé au niveau de l'aile François 1<sup>er</sup>, la **transmissivité de l'aquifère est de l'ordre de  $4 \times 10^{-5}$  m<sup>2</sup>/s**, soit une **perméabilité de l'ordre de  $10^{-6}$  m/s**, qualifié de perméabilité moyenne. Cette valeur semble relativement élevée pour des marnes.

## 2.4 - CONTEXTE MORPHOLOGIQUE

L'ouvrage étudié se situe sous la superstructure de l'aile François 1<sup>er</sup>, à une altimétrie proche de 76.80 mNGF. Les reconnaissances ont été réalisées depuis la fausse braie, située au Nord-Est de l'édifice à une altimétrie proche de 77.65 mNGF. Cette fausse-braie est une plateforme située entre le mur gouttereau de l'aile François 1<sup>er</sup> et la douve orientale dont le fond se situe environ 3m en dessous du niveau de la fausse-braie.

Le site d'étude présente de l'amont vers l'aval :

- 1 : Le mur gouttereau de l'aile François 1<sup>er</sup> ;
- 2 : La fausse-braie dont le sol est recouvert par du gravier ;
- 3 : La douve orientale.



## 2.5 - CONTEXTE VIS-A-VIS DES RISQUES NATURELS

### 2.5.1 - Mouvements de terrain répertoriés

Aucun mouvement de terrain n'a été recensé à proximité du site d'étude.

### 2.5.2 - Cavités souterraines répertoriées

Plusieurs cavités souterraines sont présentes sur le territoire, sans pour autant que des mouvements de terrain aient été recensés.

Les cavités qui sont présentes sont de types naturelles et carrières le long de la vallée de la Loire. Plus au centre, il s'agit d'ouvrages civils et de caves : De nombreux ouvrages civils sont

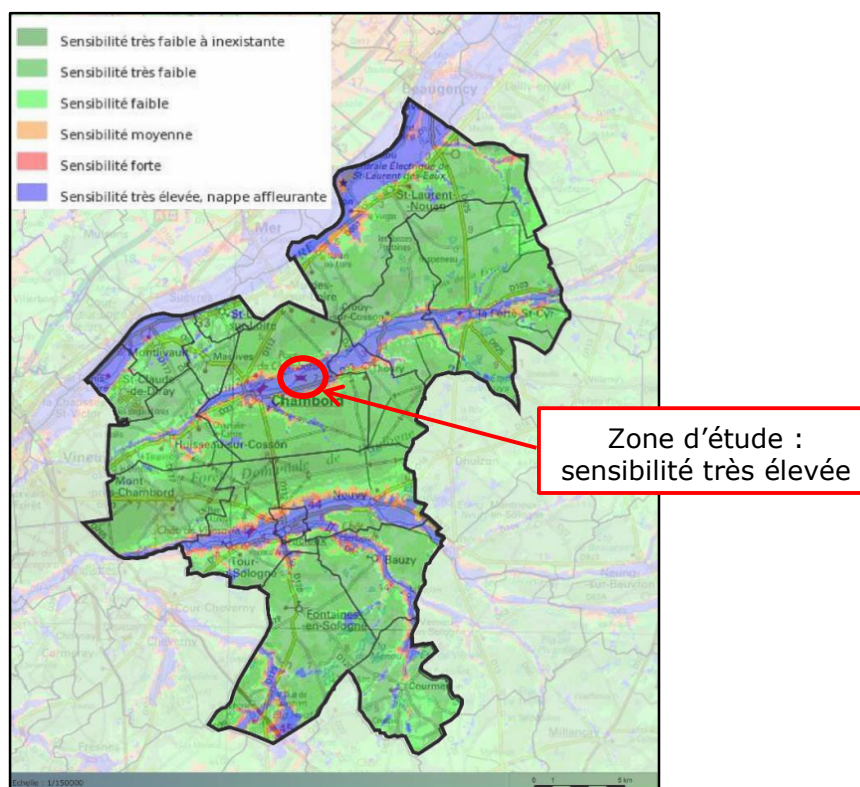


présents sur la commune de Chambord en lien avec le château (ailes, parterre, donjons), deux caves sont également recensées sur la commune (cave de Montfauult et cave de la Maison des Veuves).

### 2.5.3 - Aléa inondations

Le Cosson dispose d'un atlas des zones inondables (AZI), élaboré par les services de l'état, et qui a pour objet de rappeler l'existence et les conséquences des événements historiques et de montrer les aléas par la crue la plus forte ou la crue centennale. Un AZI n'a aucune valeur réglementaire.

La zone d'étude est également exposée à l'aléa inondation par remontée de nappe. Le risque d'inondation par remontée de nappe dans les sédiments est très hétérogène sur le territoire de la Communauté de communes du Grand Chambord. Les aléas les plus forts sont situés sur les zones où la nappe est affleurante et se trouvent plus ou moins liés aux cours d'eau identifiés sur le territoire.



**Figure 6 : Carte de l'aléa remontée de nappes sur le territoire de la communauté de communes de Grand Chambord, ADEV environnement**

Une inondation du site du château de Chambord a par exemple été observée en juin 2016, avec un niveau d'eau immergeant totalement les douves et les jardins :



**Figure 7 : Vue aérienne des inondations de juin 2016 à Chambord [Source : CNEWS]**

#### **2.5.4 - Aléa retrait-gonflement des argiles**

Le château de Chambord se situe sur une zone d'aléa faible pour le phénomène de retrait-gonflement des argiles.

Ce classement est lié à la présence d'alluvions composées de graves dans une matrice sablo-limono-argileuse, qui peuvent réagir en présence d'eau (ici, réaction faible).

#### **2.5.5 - Contexte vis-à-vis du risque sismique**

Conformément au décret n°2015-5 du 6 janvier 2015 relatif à la délimitation du zonage sismique du territoire français, la commune de Chambord (41) est située en **zone de sismicité 1** (très faible) sur une échelle de 5.

Les textes en vigueur imposent des règles de construction pour certaines catégories d'ouvrages. On retiendra une catégorie d'importance II pour les deux murs de soutènement. **La catégorie d'importance de l'ouvrage doit être validée par le Maître d'Ouvrage.**

Pour un ouvrage de catégorie II en zone de sismicité très faible, aucune disposition constructive n'est à adopter au séisme.

#### **2.5.6 - Susceptibilité des sols à la liquéfaction**

Les sols du site sont des argiles et limons en partie sableux à graveleux et sous nappe. Du fait de la localisation du site en zone de sismicité 1, les sols ne sont pas exposés au risque de liquéfaction.

#### **2.5.7 - Autres zonages**

Le site est inclus dans une ZNIEFF de type II – Domaine National de Chambord.



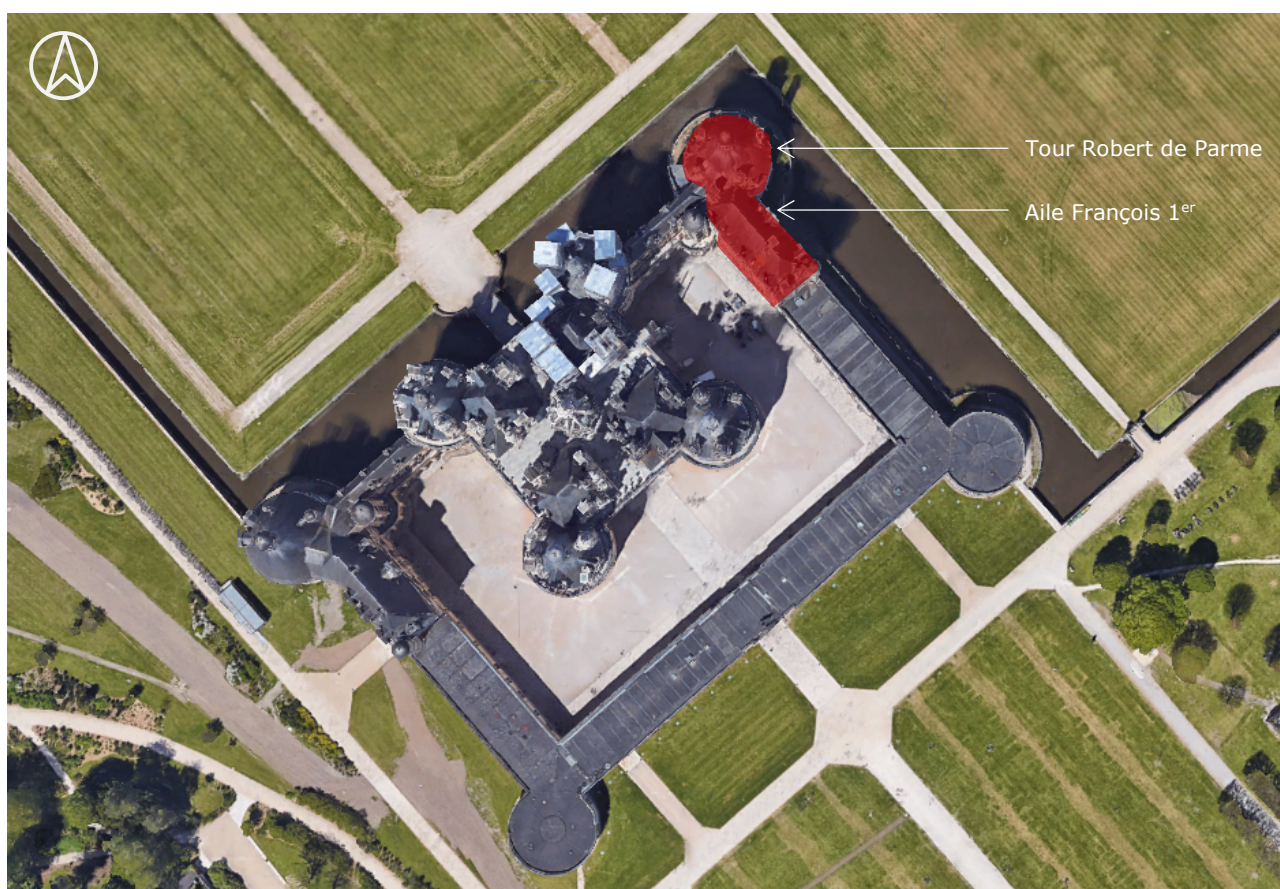
### 3 - SYNTHESSES DES ETUDES PORTANT SUR L'EDIFICE

Il ne s'agit pas ici de reprendre l'ensemble des éléments d'études qui nous ont été transmis mais de faire une synthèse des données intéressants l'étude géotechnique.

#### 3.1 - SYNTHESE DES DONNEES HISTORIQUES TRANSMISES

La zone d'étude se concentre sur l'aile François 1<sup>er</sup> et la tour Robert de Parme qui lui est adjacente, situées à l'angle Est du site.

Cette aile est constituée de 6 niveaux, du rez-de-chaussée au R+2 avec entresols et d'un niveau de comble. L'ensemble de la super structure est réalisé en pierres de taille avec un possible double parement pour les murs de façade, avec blocage interne.

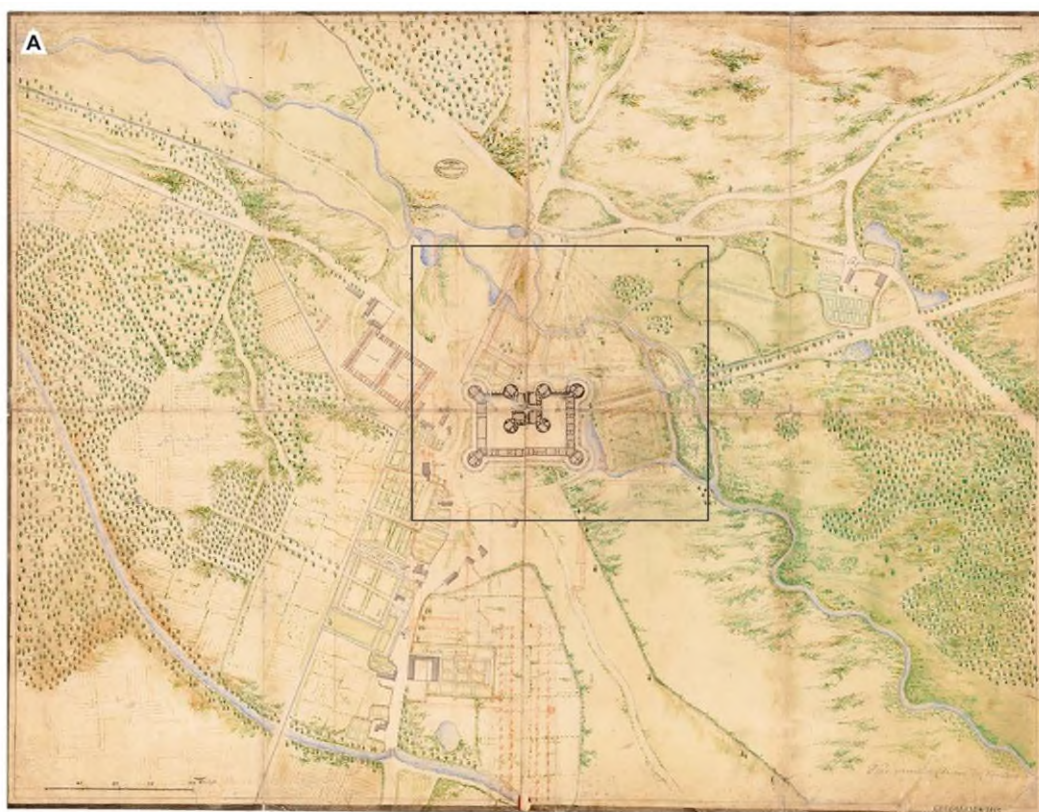


**Figure 8 : Localisation de la zone d'étude (source : Google Earth)**

Le château Renaissance s'implante sur un ancien château médiéval dont des vestiges ont été mis au jour sous l'actuel donjon.

Implanté sur un sol marécageux, les travaux d'aménagements des abords du château ne débutèrent réellement dans les années 1680 sous Louis XIV, avec un projet de Jules Hardouin-Mansart. Un plan du site de 1682 nous montre l'état des abords avant les premiers grands travaux d'aménagements :





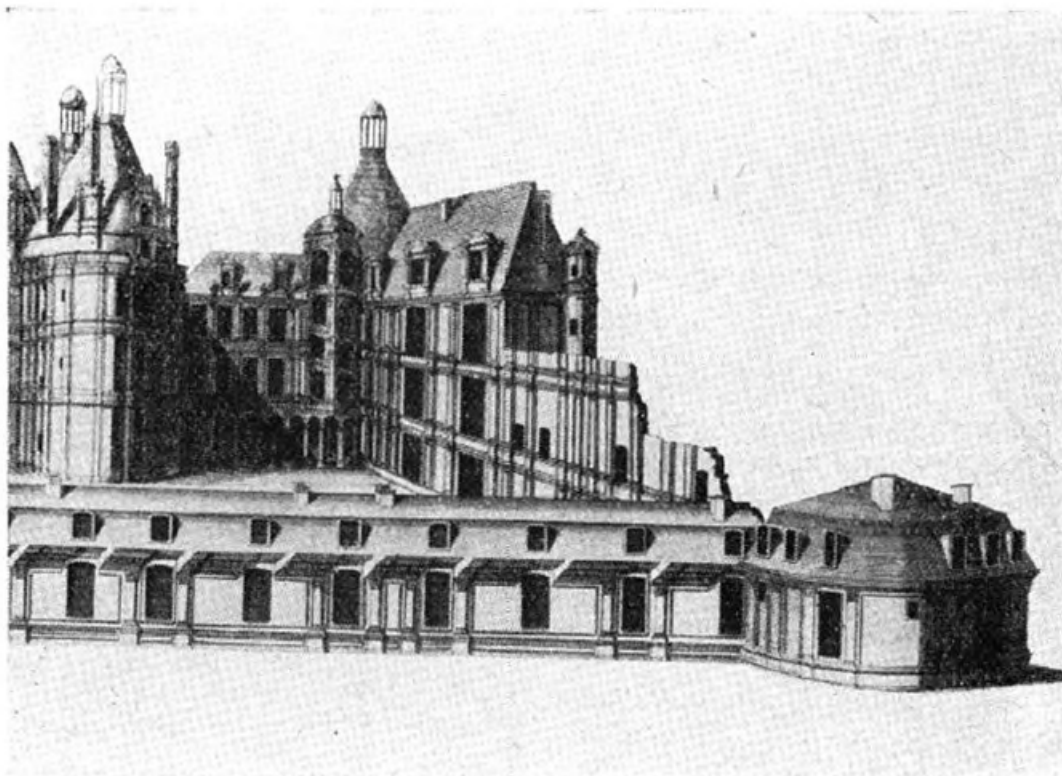
**Figure 9 : Plan du site vers 1681-1682 [Source : Paris, Archives nationales de France, série O1 1324, no 155.]**



**Figure 10 : Vestige d'un ouvrage maçonné visible lors de la vidange de la douve orientale (source : Chatillon Architectes)**

Le mur arrasé visible dans le fond des douves au niveau de l'aile François 1<sup>er</sup> et mis au jour en 2009, semble correspondre à la plateforme visible sur le plan de 1682. D'après S. Bryant et C. Travers, ce mur pourrait s'inscrire dans le cadre des derniers travaux hydrauliques entrepris dès 1562 dont l'objectif était le drainage du marais.

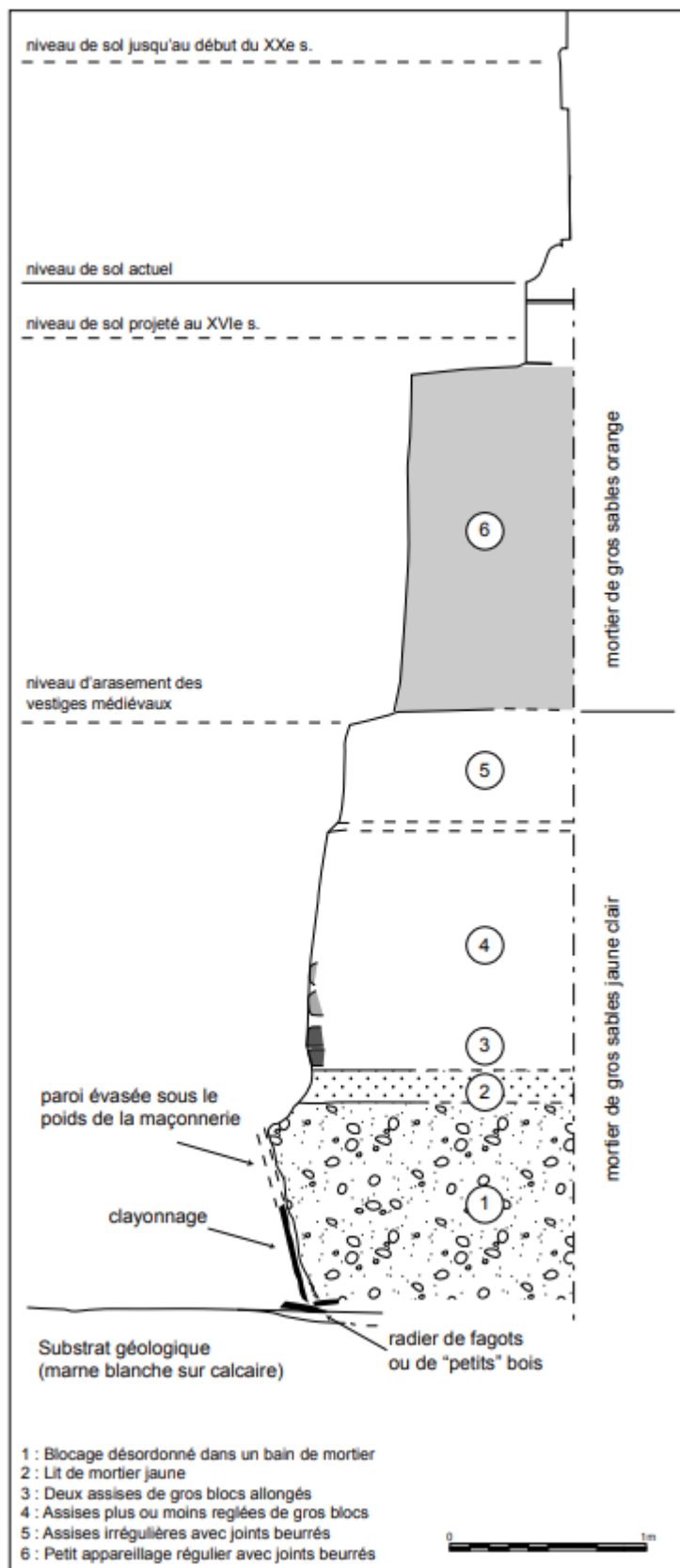
L'aile François 1<sup>er</sup>, objet de la présente étude aurait fait l'objet, durant un temps, d'un projet d'extension le long de sa façade orientale. Ce projet comprenait la conservation du pignon que nous connaissons aujourd'hui et la surélévation du rez-de-chaussée existant au Sud-Est. D'après F. Lesueur, cette surélévation conservait la façade côté douve et en créait une nouvelle côté cour.



**Figure 11 : Aile François 1er au XVIIIe siècle, gravure de Le Rouge [Source : F. Lesueur]**

Ces travaux d'extension auraient été réalisés après 1542 mais auraient été abandonnés avant d'avoir atteint la fin du deuxième étage. Les façades ont, semble-t-il, été laissées à l'état de ruine jusqu'au XVIIIe siècle, toujours d'après F. Lesueur.

Ces travaux, portant sur la surélévation de la partie Sud-Est de l'aile, n'a, semble-t-il pas concerné à proprement parlé la partie de l'édifice qui nous concerne.



**Figure 12 : Constitution et mise en œuvre théorique des fondations de la tour des Princes (Sud-Ouest)**

Plusieurs théories ont été émises quant aux fondations. Les premières faisaient état d'une fondation sur pilotis bois mais les dernières reconnaissances archéologiques réalisées sur les parties Sud-Ouest et Sud-Est permettent d'étayer une autre théorie :

Des clayonnages verticaux ont été mis en place de manière à créer un batardeau et à évacuer les sédiments marécageux. Les batardeaux ont ensuite été remplis avec des gravats et du mortier, recouvrant un radier en fagots qui devait probablement servir à faciliter le déplacement des ouvriers. On distingue ensuite deux niveaux de soubassements d'époque différente, du moins pour la tour Sud-Ouest, ça n'est possiblement pas le cas pour l'angle Nord



## 4 - RECONNAISSANCES IN-SITU

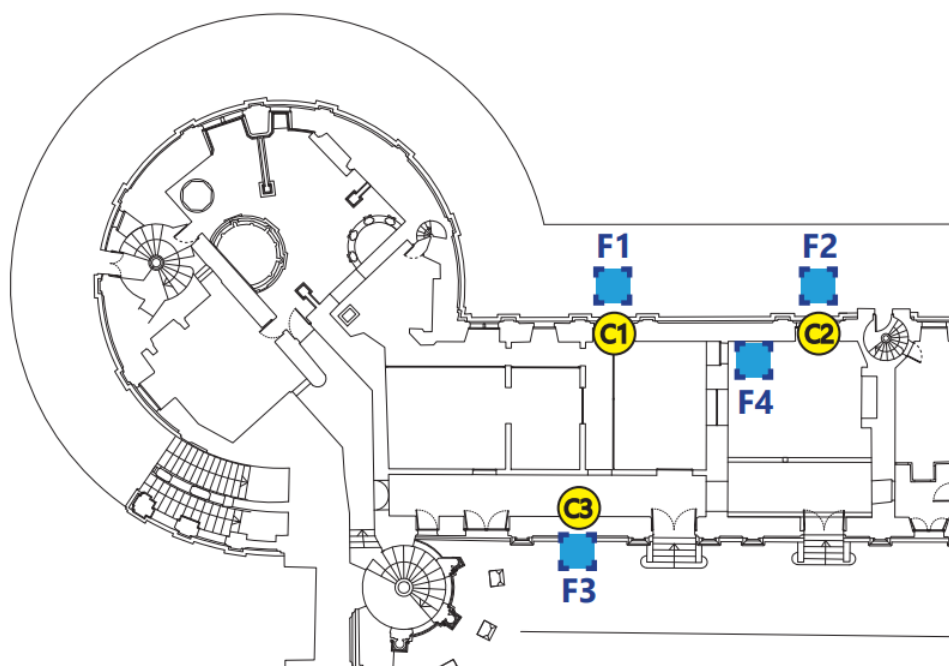
### 4.1 - RECONNAISSANCES ANTERIEURES REALISEES PAR INFRANEO

Préalablement à la présente mission, un diagnostic géotechnique a été mené par le bureau d'étude INFRANEO en octobre 2022. Une synthèse de cette mission est détaillée ci-après.

Dans le cadre de ce diagnostic, THERGEO a réalisé les investigations suivantes :

- 2 sondages pressiométriques à 15m (S1 et S2)
- 3 sondages carottés dans le soubassement de fondation (C1 à C3)
- 5 fouilles de reconnaissance (F1 à F4.2)

L'implantation des sondages et des fouilles est détaillée sur le plan suivant.

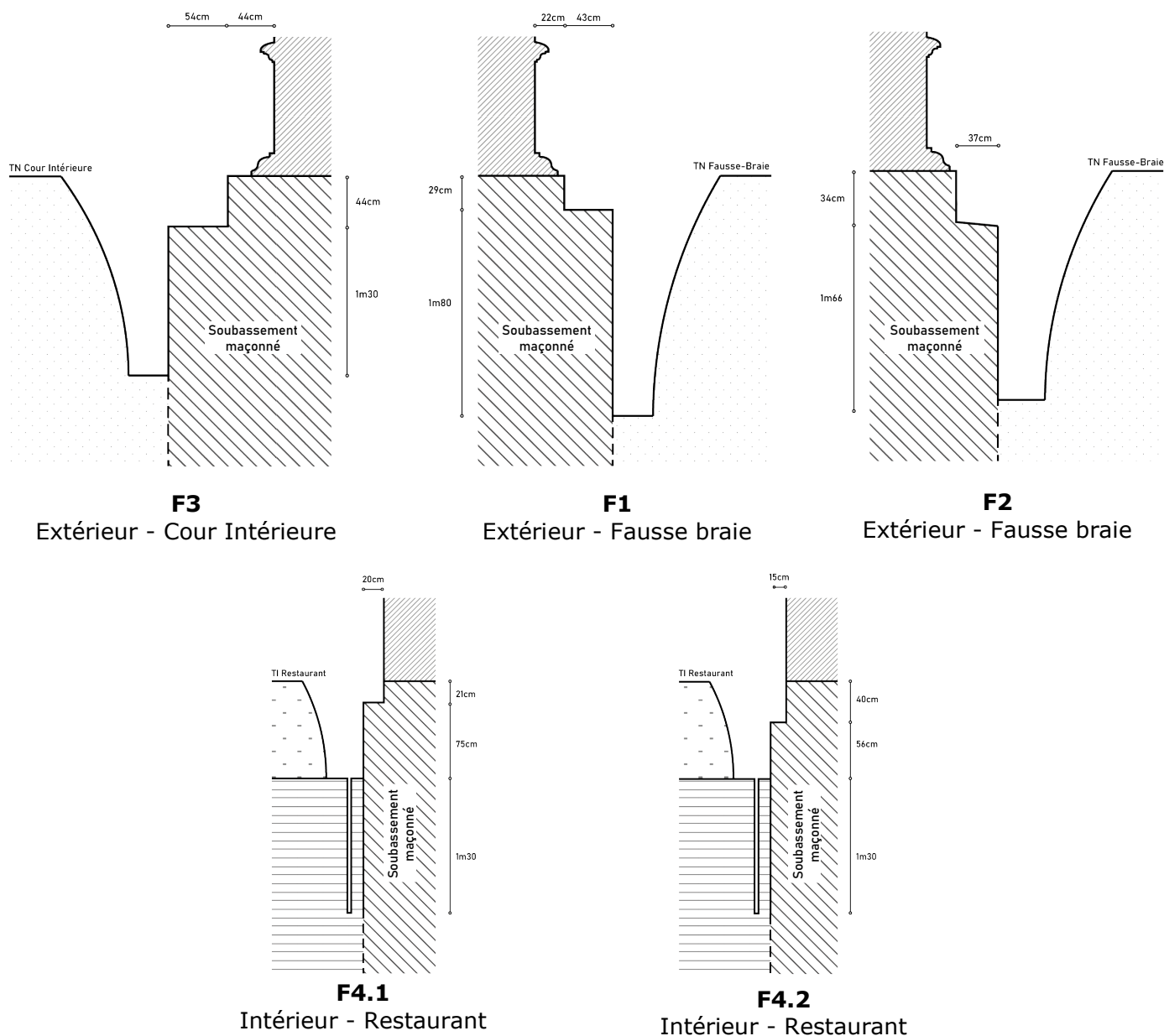


Repérage des fouilles et des carottages de fondation  
Plan Atelier Ergon

**Figure 13 : Plan d'implantation des reconnaissances effectués en octobre 2022 par INFRANEO. Source : rapport INFRANEO n°PO22-0059**

#### 4.1.1 - Reconnaissances de fondations

Des reconnaissances manuelles de fondation ont été effectués sur plusieurs parties des soubassements de l'Aile François 1<sup>er</sup>. Elles ont permis d'obtenir certaines caractéristiques géométriques du sommet de ces soubassements données dans les figures qui suivent.



**Figure 14 : Plan de coupes de principe des fouilles effectuées en octobre 2022 par INFRANEO. Source : rapport INFRANEO n°PO22-0059**

Ces 5 fouilles montrent que le soubassement est plus large que les murs qu'il supporte. Ce décalage est présent à la fois du côté intérieur des murs (15-20cm) et du côté extérieur (50cm-1m). La profondeur du soubassement sera déterminée par les sondages carottés, elle sera approximée à 4m50 du côté fausse-braie et 4m80 du côté cour. Les fouilles intérieures ont été arrêtées sur une dalle de calcaire. Son épaisseur, sondée par un trou au perforateur, est supérieure à 1m30. Ce dallage calcaire peut être interpréter comme un indice de la présence d'un radier de fondation sous l'ensemble de l'aile François 1<sup>er</sup>. En effet, son sommet se situe à une altitude proche de celle de la fausse braie.

#### 4.1.2 - Sondages carottés

Trois sondages carottés ont été effectués dans le soubassement de l'Aile François 1<sup>er</sup>. Deux sondages ont été effectués du côté de la fausse-braie (C1 et C2) le troisième a été réalisé dans le soubassement côté cour intérieur (C3).

Les photographies de la carotte du sondage (C3) sont données dans la figure 13. Etant donnée qu'aucun carottage supplémentaire sera effectué dans le soubassement côté cour intérieur, son analyse est intéressante pour la suite de l'étude.

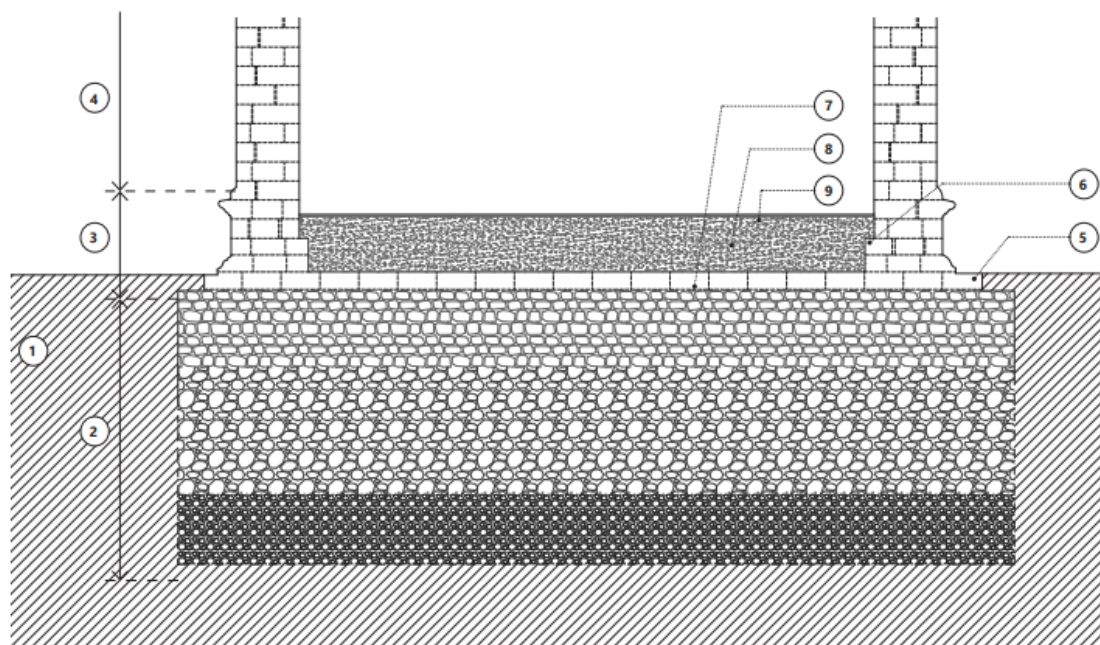


**Figure 15 : Sondage carotté SC3 octobre 2022. Source : rapport INFRANEO n°PO22-0059**

Le sondage permet d'estimer la profondeur du soubassement de 4m80 par rapport au niveau de la cour intérieure. Il s'agit d'un blocage constitué de moellons de calcaire de taille variable comprise (5-25cm), apparement bruts, noyés dans un bain de mortier. La dégradation du liant semble inégale selon la profondeur. En effet, si le liant paraît de manière générale en bon état, deux zones d'altération peuvent être identifiées sur la carotte entre 1m70 et 2m, puis entre 3m et 3m30.

#### 4.1.3 - Synthèse des éléments connus à l'issue de cette face de reconnaissance

La prise en compte de ces fouilles de reconnaissances, l'étude des carottes SC1àSC3 ainsi que des résultats de recherches archéologiques ont permis à l'Atelier Ergon d'émettre l'hypothèse de la présence d'un radier de fondation sous l'ensemble de la surface de l'aile François 1<sup>er</sup> comme l'illustre la figure 14.



- |  |   |
|--|---|
| <p><b>1</b> Terrain naturel - d'après l'étude géotechnique, il s'agit d'une succession de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Remblais, sols remaniés de nature graveleux, limoneux et argileux</li> <li>- Argiles vasardes de couleur marron, grisâtre</li> <li>- Calcaire sableux</li> <li>- Marnes légèrement sableuses</li> </ul>   | <p><b>4</b> Mur de façade - double parement avec remplissage (fourrure)</p>   |
| <p><b>2</b> Plateforme artificielle maçonnée sous forme de radier, épaisseur moyenne de 4,55 m - d'après les carottages réalisés, il s'agit d'une succession de maçonneries en moellons plus ou moins régulières et de mélanges de cailloux et de mortier. Cette disposition est cohérente avec les résultats des recherches archéologiques réalisées dans d'autres zones du château par l'INRAP</p> | <p><b>5</b> Débord de fondation extérieur</p>   |
| <p><b>3</b> Soubassement en pierre de taille</p>   | <p><b>6</b> Débord de fondation intérieur</p>   |
|  | <p><b>7</b> Lit de pierre de taille en tuffeau. Les reconnaissances au géoradar ont mis en évidence l'existence de zones ferrillées pouvant correspondre à un dallage en béton armé</p> |
|  | <p><b>8</b> Remblai intérieur</p>   |
|  | <p><b>9</b> Revêtement intérieur en tomettes</p>  |

**Figure 16 : Plan en coupe de principe du radier de fondation. Source : rapport Atelier Ergon, Février 2024**

Comme évoqué par l'Atelier Ergon, l'hypothèse d'un radier général résulte d'observations ponctuelles et d'éléments de recherche archéologique. Aucune fouille de reconnaissance n'ayant été réalisée dans la partie centrale de l'Aile François 1<sup>er</sup>, des reconnaissances complémentaires seraient nécessaires afin de confirmer ou d'infirmer cette hypothèse.



## 4.2 - RECONNAISSANCES REALISEES DANS LE CADRE DU DIAGNOSTIC COMPLEMENTAIRE

### 4.2.1 - Programme de reconnaissances complémentaires

Dans le cadre de cette étude, les reconnaissances complémentaires ont consisté en la réalisation de trois sondages carottés inclinés à 10° sur une profondeur de 6m. Leur implantation dans le soubassement nord-est de l'aile François 1<sup>er</sup> est détaillée sur le plan ci-dessous.

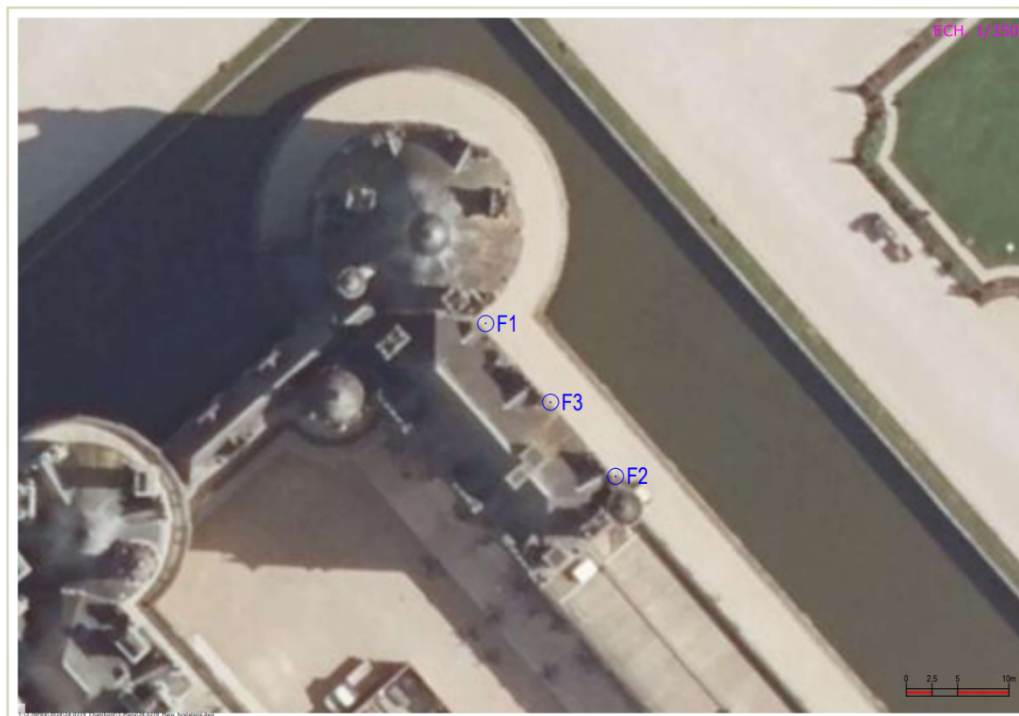


Figure 17 : Plan d'implantation des sondages carottés.

### 4.2.2 - Sondages carottés.

Trois sondages carottés ont été effectués au nord-est de l'aile François 1<sup>er</sup> sur la totalité de la hauteur du soubassement.





**Figure 18 : Carotte des sondages F3 à F1**

Les carottages inclinés à 10° ont permis l'observation de la partie centrale du soubassement. Dans cette zone, la maçonnerie du soubassement est un blocage constitué de moellons calcaire bruts de taille inégale (comprise entre 5 et 20 cm de hauteur) noyés dans un bain de mortier. La proportion (pierre, bloc)/mortier est variable, elle est en moyenne de 57% (Cf analyse OPTV).



On peut noter une variation de composition du liant, surtout pour les carottes des sondages F2 et F3. En effet, dans la partie supérieure du soubassement, les granulats composant le liant sont millimétriques. A partir de 3m, pour les sondages F2 et F3, des granulats de tailles centimétriques peuvent être repérés dans le liant. Pour le sondage F1, la différence est beaucoup moins importante, quelques granulats centimétriques peuvent être notés à partir de 3m90.

A la base du soubassement, on note la présence d'un lit de moellons calcaires plus massifs (20-25cm de hauteur). Son état de conservation semble variable. En effet, les blocs sont en bon état au niveau des sondages F1 et F3 en revanche, ils sont altérés au niveau du sondage F2.

En toute généralité, il peut être déduit de l'observation des carottes que le soubassement possède une profondeur comprise entre 4m50 et 4m60 par rapport au niveau du terrain naturel de la fausse braie.

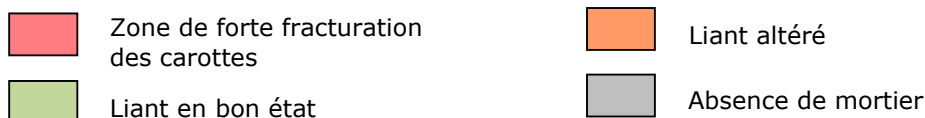
L'observation des carottes récupérées a permis d'identifier plusieurs indicateurs permettant de caractériser l'état actuel du soubassement de l'aile François 1<sup>er</sup>. Ces derniers sont indiqués sur la figure 17.

Le taux de récupération et le RQD (*Rock Quality Designation : proportion de bloc de longueur supérieur à 10cm sur une longueur donnée, ici 50cm*) sont des indicateurs généraux qui permettent d'interpréter l'état des carottes récupérées. Les zones présentant un taux de récupération ou un RQD particulièrement faible par rapport aux valeurs moyennes observées sont indiquées en rouge sur la coupe figure 17.

L'observation des carottes permet aussi d'estimer l'état de conservation du mortier. Il sera classé selon trois catégories :

- Bon état : le mortier adhère aux moellons, son état permet de récupérer une carotte cylindrique ayant une bonne intégrité.
- Altéré : le mortier est plus friable ou n'a plus la forme cylindrique de la carotte.
- Absent : le mortier est absent dans la carotte car trop altéré pour être récupéré ou simplement absent dans le soubassement.

Profondeur Carotte (m)	Altitude NGF (m)	F2			F3			F1		
		Dégradation	Taux récupération	RQD	Dégradation	Taux récupération	RQD	Dégradation	Taux récupération	RQD
0m50	0,1	Remblais			Remblais			Remblais		
	0,2									
	0,3									
	0,4									
	0,5									
1m	0,6									
	0,7	bon état			altération			altération		
	0,8	bon état	100%	100%	altération	100%	50%	altération	100%	100%
	0,9	bon état			bon état			altération		
	1	bon état			bon état			bon état		
1m50	1,1	bon état			bon état			bon état		
	1,2	bon état			bon état			bon état		
	1,3	bon état	100%	80%	bon état	80%	80%	bon état	100%	100%
	1,4	bon état			bon état			bon état		
	1,5	bon état			Absence de liant			bon état		
2m	1,6	bon état			Absence de liant			bon état		
	1,7	bon état			bon état			bon état		
	1,8	bon état	100%	90%	bon état	80%	80%	bon état	80%	80%
	1,9	bon état			bon état			Absence de liant		
	2	bon état			bon état			bon état		
2m50	2,1	altération			bon état			bon état		
	2,2	Absence de liant			bon état			bon état		
	2,3	Absence de liant	60%	20%	bon état	100%	100%	bon état	100%	100%
	2,4	Absence de liant			altération			bon état		
	2,5	Absence de liant			altération			bon état		
3m	2,6	altération			bon état			bon état		
	2,7	altération			bon état			bon état		
	2,8	altération	100%	100%	bon état	100%	80%	bon état	90%	70%
	2,9	bon état			bon état			altération		
	3	bon état			altération			altération		
3m50	3,1	bon état			altération			altération		
	3,2	bon état			bon état			bon état		
	3,3	bon état	100%	100%	bon état	100%	100%	bon état	90%	50%
	3,4	bon état			bon état			bon état		
	3,5	bon état			bon état			Absence de liant		
4m	3,6	bon état			bon état			Absence de liant		
	3,7	bon état			altération			Absence de liant		
	3,8	bon état	100%	100%	altération	100%	100%	altération	100%	80%
	3,9	bon état			bon état			altération		
	4	bon état			bon état			altération		
4m50	4,1	bon état			bon état			altération		
	4,2	bon état			bon état			bon état		
	4,3	altération	100%	60%	bon état	100%	100%	bon état		
	4,4	Absence de liant			Bloc Calcaire			Bloc Calcaire		
	4,5	Bloc calcaire			Bon état			Bon état		
5m	4,6	Altéré								
	4,7									
	4,8									
	4,9									
	5									
5m50	5,1									
	5,2									
	5,3									
	5,4									
	5,5									
6m	5,6									
	5,7									
	5,8									
	5,9									
	6									
6m	6,1									
	6,1									



**Figure 19 : Observation Carottes F1 à F3**

Deux des sondages carottés effectués lors du diagnostic d'INFRANEO sont effectués dans le soubassement côté douve à des positions proches de celle des deux sondages du programme de reconnaissance complémentaire. Ainsi la carotte du sondage F2 peut être comparée avec celle du sondage SC2 d'INFRANEO, celle du forage F3 peut être comparée avec celle du sondage SC1.

Cette comparaison permet d'estimer la variabilité des résultats pour deux forages proches. On note que les résultats de l'analyse de la dégradation du mortier sont assez comparables entre les forages d'INFRANEO et ceux des reconnaissances complémentaires. Quelques variations sont



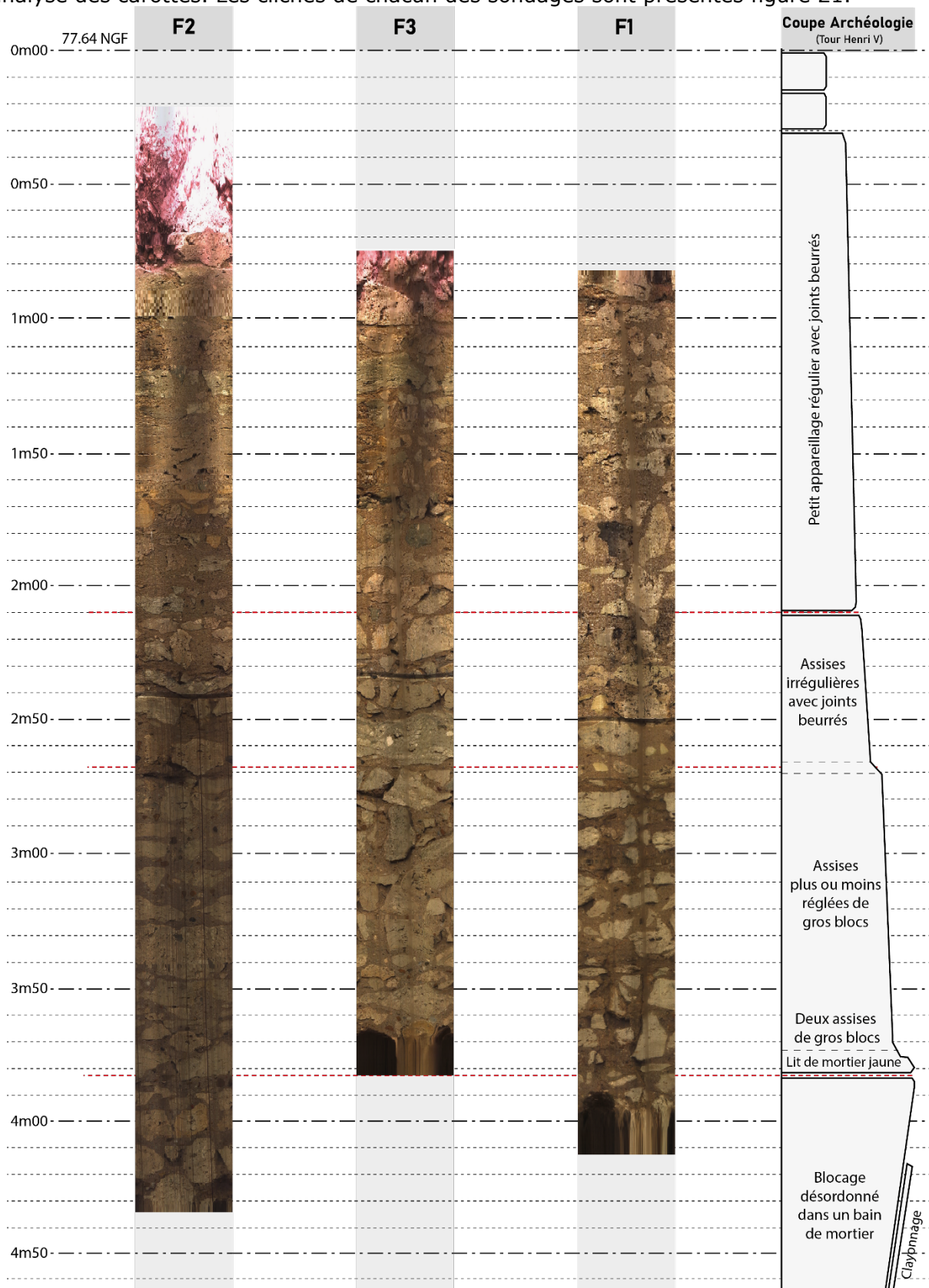
observées dans les altitudes des zones présentant des dégradations. Des différences existent cependant dans la classification des dégradations en zone de liant altéré ou en zone d'absence de liant. Outre le fait que les altérations du soubassement ne soient pas homogènes dans le radier, ces différences pourraient en partie s'expliquer par des conditions de forage différentes selon les deux campagnes de reconnaissance induisant une différence d'altération du liant durant le forage à l'eau.

Profondeur Carotte (m)	Altitude NGF (m)	F2			SC2-INFRANEO			F3			SC1-INFRANEO			F1			SC3-INFRANEO		
		Dégradation	Taux récupération	RQD	Dégradation	Taux récupération	RQD	Dégradation	Taux récupération	RQD	Dégradation	Taux récupération	RQD	Dégradation	Taux récupération	RQD	Dégradation	Taux récupération	RQD
0m50 - 1m	0,1	Remblais			Remblais			Remblais			Remblais			Remblais			Remblais		
	0,2																		
	0,3																		
	0,4																		
	0,5																		
	0,6																		
	0,7	bon état			bon état			bon état			bon état			bon état			bon état		
	0,8	bon état	100%	100%	bon état	100%	80%	altération	100%	50%	absence de liant			altération	100%	100%	bon état	100%	70%
	0,9	bon état			bon état			bon état			absence de liant			altération			bon état		
	1,0	bon état			bon état			bon état			absence de liant			altération			bon état		
1m50 - 2m	1,1	bon état			bon état			bon état			bon état			bon état			bon état		
	1,2	bon état			bon état			bon état			bon état			bon état			bon état		
	1,3	bon état	100%	80%	bon état	100%	100%	bon état	80%	80%	bon état		80%	bon état	100%	100%	bon état	100%	100%
	1,4	bon état			bon état			bon état			bon état			bon état			bon état		
	1,5	bon état			bon état			absence de liant			bon état			bon état			bon état		
	1,6	bon état			bon état			absence de liant			bon état			bon état			bon état		
	1,7	bon état			absence de liant			bon état			bon état			bon état			bon état		
	1,8	bon état	100%	90%	bon état	100%	50%	bon état			bon état			bon état			bon état		
	1,9	bon état			bon état			bon état	80%	80%	bon état			bon état	80%	80%	altération	100%	70%
	2,0	bon état			bon état			bon état			bon état			absence de liant			altération		
2m50 - 3m	2,1	absence de liant			absence de liant			bon état			bon état			bon état			bon état		
	2,2	absence de liant			altération			bon état			bon état			bon état			bon état		
	2,3	absence de liant	60%	20%	altération	100%	40%	altération	100%	100%	absence de liant			bon état	100%	100%	bon état	100%	70%
	2,4	absence de liant			altération			altération			altération			bon état			bon état		
	2,5	absence de liant			bon état			altération			altération			bon état			bon état		
	2,6	altération			bon état			bon état			bon état			bon état			bon état		
	2,7	altération	100%	100%	bon état	100%	10%	bon état	100%	80%	bon état		90%	bon état	90%	70%	bon état	100%	100%
	2,8	altération			bon état			bon état			bon état			bon état			bon état		
	2,9	bon état			absence de liant			bon état			bon état			altération			bon état		
	3,0	bon état			absence de liant			altération			bon état			altération			altération		
3m50 - 4m	3,1	bon état			absence de liant			bon état			bon état			bon état			bon état		
	3,2	bon état			bon état			bon état			bon état			bon état			bon état		
	3,3	bon état	100%	100%	bon état	100%	80%	bon état	100%	100%	absence de liant			bon état	90%	50%	altération	100%	100%
	3,4	bon état			bon état			bon état			bon état			bon état			bon état		
	3,5	bon état			bon état			bon état			bon état			absence de liant			bon état		
	3,6	bon état			bon état			altération			bon état			absence de liant			bon état		
	3,7	bon état			bon état			altération			bon état			absence de liant			bon état		
	3,8	bon état	100%	100%	bon état	100%	100%	bon état	100%	100%	bon état		100%	altération	100%	80%	bon état	100%	100%
	3,9	bon état			bon état			bon état			bon état			altération			bon état		
	4,0	bon état			bon état			bon état			altération			bon état			bon état		
4m50 - 5m	4,1	bon état			bon état			bon état			bon état			bon état			bon état		
	4,2	bon état			bon état			bon état			bon état			bon état			bon état		
	4,3	altération	100%	80%	bon état	100%	100%	bon état	100%	100%	bon état			bon état			bon état	100%	100%
	4,4	absence de liant			Blanc Calcaire			Blanc Calcaire			Blanc Calcaire			Blanc Calcaire			bon état		
	4,5	Blanc calcaire altéré			Blanc calcaire altéré			Blanc calcaire altéré			Blanc calcaire altéré			Blanc calcaire altéré			Blanc Calcaire		
	4,6																		
	4,7																		
	4,8																		
	4,9																		
	5,0																		
5m50 - 6m	5,1																		
	5,2																		
	5,3																		
	5,4																		
	5,5																		
	5,6																		
	5,7																		
	5,8																		
	5,9																		
	6,0																		

Figure 20 : Comparaison avec les carottes du diagnostic INFRANEO

### 4.2.3 - Imagerie OPTV

À la suite de la réalisation des sondages carottés, une imagerie OPTV des parois des carottages a été réalisée. Elle a permis une observation des maçonneries en place complémentaire de l'analyse des carottes. Les clichés de chacun des sondages sont présentés figure 21.



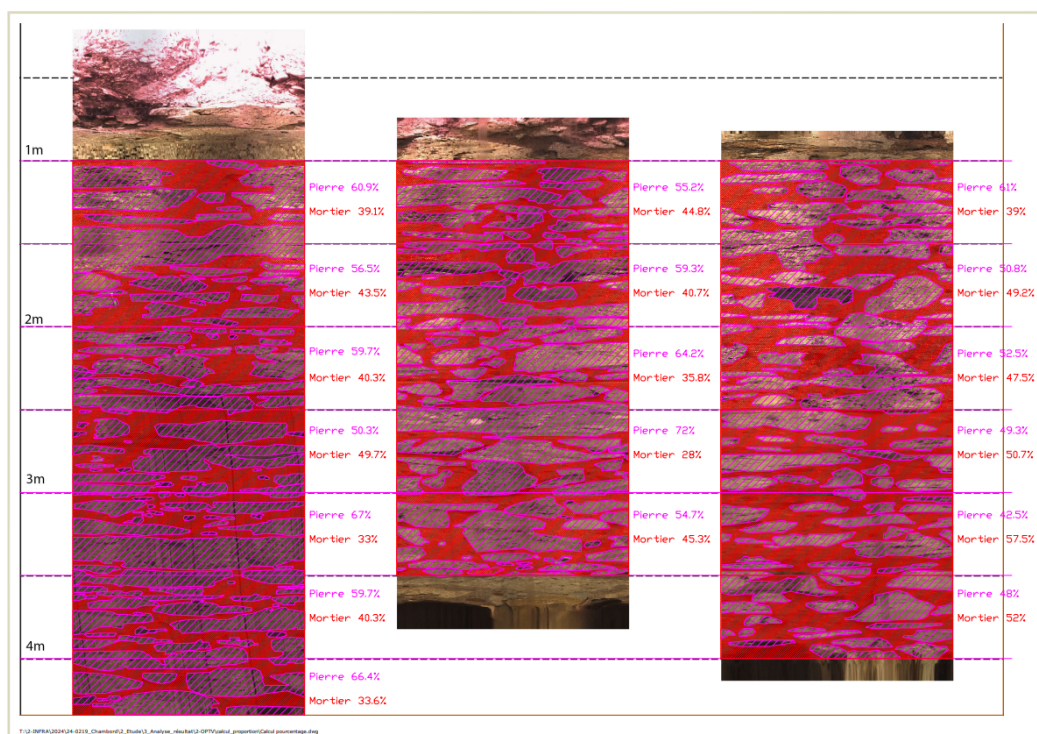
**Figure 21 : Imagerie OPTV des parois des sondages carottés.**

Les clichés OPTV peuvent être comparés avec la coupe de constitution du radier de fondation établie lors de fouilles archéologiques aux abords de la tour Henri V. Le changement de constitution noté à 2m10 semble repérable sur les clichés OPTV de F2 et F3. Ce changement de constitution est moins notable sur F1. En revanche il semble difficile de distinguer les différentes couches inférieures mise en évidence par la fouille archéologique. De plus, se basant sur une imagerie de paroi, il est difficile de déterminer graphiquement la taille des blocs, car cette imagerie ne fournit qu'une vision partielle de ces derniers, dans la zone dans laquelle ils ont été perforés.

Il peut être remarqué que les profondeurs d'arrêt de l'imagerie OPTV ne sont pas identiques pour les 3 forages. Les bandes noires rencontrées en partie basse des clichés ne correspondent pas systématiquement au sol présent sous le soubassement.

Le sondage carotté F1 a permis de faire remonter un échantillon de vase sableuse en place sous l'ouvrage de fondation. Dans les autres sondages, la couche se trouvant en dessous du radier n'a pu être remontée. Il semble donc que cette couche de matériaux s'est décomprimée au moment du forage et de la remontée du carottier mais que sa tenue n'a pas permis sa remontée complète. Le matériaux, décomprimé, occupe ainsi un volume plus important en fond de forage, ne permettant pas à notre sonde OPTV de descendre à la même profondeur que le forage initial.

L'analyse des clichés OPTV a aussi permis l'étude des proportions pierre/liant par intervalle de 50cm sur les 3 sondages carottés (cf. figure 20).

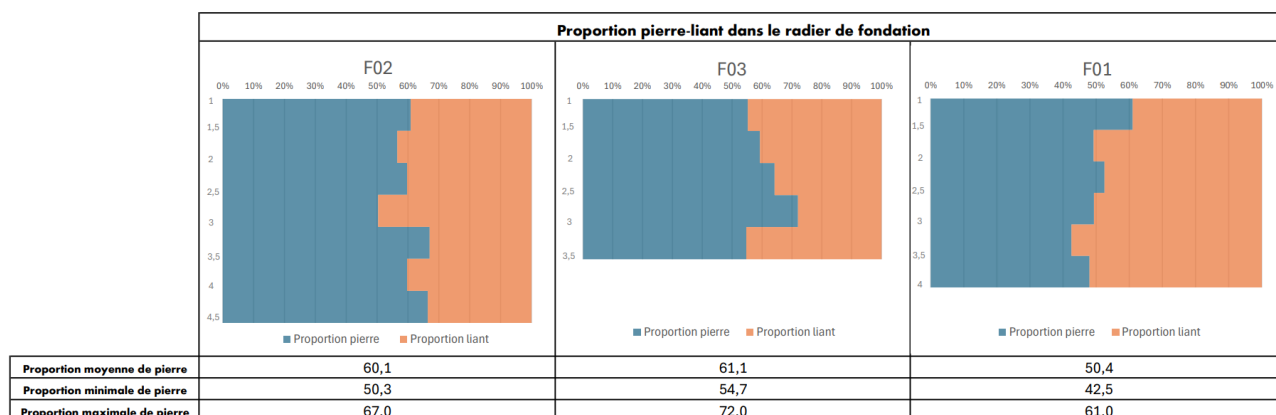


**Figure 22 : Détermination graphique proportion pierre/liant**

L'analyse conclut à une proportion moyenne de pierre de 57%. Au niveau des sondages F2 et F3 la proportion pierre/liant est proche de 60%, en revanche au niveau du sondage F1, la proportion de pierre est seulement de 50%.

Bien que la variation de proportion de pierre soit remarquable entre les sondages, il faut garder à l'esprit qu'un sondage carotté de ce diamètre, 116mm, ne présente qu'un échantillon très localisé de la maçonnerie. Ainsi, en fonction de la position des moellons par rapport au carottier, c'est-à-dire que le forage soit réalisé en cœur ou en extrémité de moellons, l'échantillonnage peut varier. S'agissant de moyennes, le delta identifié reste significatif mais il ne permet de

conclure définitivement à une éventuelle variation dans la composition de la maçonnerie et/ou dans sa mise en œuvre.



**Figure 23 : Analyse proportion pierre/liant**

L'observation des images OPTV donnée figure 19 permet d'estimer l'état du mortier, il a été classifié dans 3 catégories :

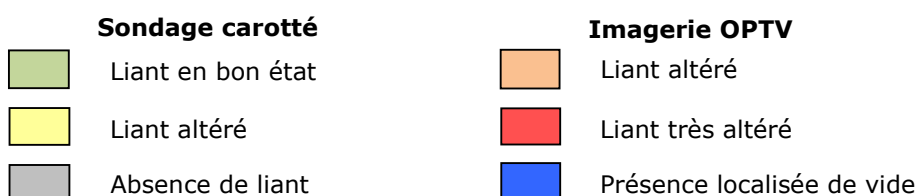
- Bon état : le mortier adhère aux moellons, son état permet d'obtenir des parois de carottage assez lisses et intègres.
- Altéré : le mortier présente une porosité plus élevée ou présente des dégradations localisées souvent situées à l'interface avec les moellons.
- Absent/Fortement altéré : le mortier est fortement dégradé à l'interface avec les moellons et/ou présente un état de surface avec davantage d'aspérité

Certaines zones présentes des vides localisés importants, ils sont renseignés sur les analyses de l'imagerie OPTV. Ces vides semblent se poursuivre au-delà des parois du carottage, ce n'est donc vraisemblablement pas le forage qui est responsable de la formation de ces vides. Ils constituent donc une pathologie importante du soubassement.

Les observations déduites de l'imagerie OPTV ont pu être mises en parallèle avec les observations effectuées sur les carottes.



Profondeur Carotte (m)	Altitude NGF (m)	F2			F3			F1		
		Carotte	OPTV		Carotte	OPTV		Carotte	OPTV	
		Dégradation	Dégradation	Vide	Dégradation	Dégradation	Vide	Dégradation	Dégradation	Vide
0m50	0.1	77.45	Remblai		Remblai			Remblai		
	0.2	77.35								
	0.3	77.25								
	0.4	77.16								
	0.5	77.06								
1m	0.6	76.96								
	0.7	76.86	bon état	bon état		bon état		altération		
	0.8	76.76	bon état	bon état		bon état		altération	bon état	
	0.9	76.66	bon état	bon état		altération		altération	altération	
	1	76.57	bon état	bon état		bon état		bon état	altération	
1m50	1.1	76.47	bon état	bon état		bon état		bon état	bon état	
	1.2	76.37	bon état	bon état		bon état		bon état	bon état	
	1.3	76.27	bon état	bon état		bon état		bon état	bon état	
	1.4	76.17	bon état	bon état		bon état		bon état	bon état	
	1.5	76.07	bon état	bon état		Absence de liant		bon état	bon état	
2m	1.6	75.97	bon état	bon état		Absence de liant		bon état	bon état	
	1.7	75.88	bon état	bon état		bon état		bon état	bon état	
	1.8	75.78	bon état	bon état		bon état	Présence de vide	bon état	bon état	Présence de vide
	1.9	75.68	bon état	bon état		bon état		Absence de liant	bon état	
	2	75.58	bon état	bon état		bon état		bon état	bon état	
2m50	2.1	75.48	altération	bon état		bon état		bon état	bon état	
	2.2	75.38	Absence de liant	bon état		bon état		bon état	bon état	
	2.3	75.28	Absence de liant	altération		bon état		bon état	bon état	
	2.4	75.19	Absence de liant	altération		altération		bon état	bon état	
	2.5	75.09	Absence de liant	altération		altération	Présence de vide	bon état	bon état	
3m	2.6	74.99	altération	altération		bon état		bon état	bon état	
	2.7	74.89	altération	altération		bon état		bon état	bon état	
	2.8	74.79	altération	bon état	Présence de vide	bon état		bon état	bon état	
	2.9	74.69	bon état	bon état		altération	Présence de vide	altération	forte altération	
	3	74.60	bon état	bon état		altération		altération	forte altération	
3m50	3.1	74.50	bon état	bon état		altération		altération	forte altération	
	3.2	74.40	bon état	bon état		altération		bon état	altération	
	3.3	74.30	bon état	bon état		bon état		bon état	altération	
	3.4	74.20	bon état	bon état		bon état		bon état	altération	
	3.5	74.10	bon état	bon état		bon état		Absence de liant	altération	
4m	3.6	74.00	bon état	bon état		bon état		Absence de liant	forte altération	
	3.7	73.91	bon état	bon état		altération		Absence de liant	forte altération	Présence de vide
	3.8	73.81	bon état	bon état		altération		altération	forte altération	Présence de vide
	3.9	73.71	bon état	bon état		bon état		altération	forte altération	
	4	73.61	bon état	bon état		bon état		altération	forte altération	
4m50	4.1	73.51	bon état	altération		bon état		altération		
	4.2	73.41	bon état	altération		bon état		bon état		
	4.3	73.31	altération	altération		bon état		bon état		
	4.4	73.22	Absence de liant			Bloc calcaire		Bloc calcaire		
	4.5	73.12	Bloc calcaire			Bon état		Bon état		
5m	4.6	73.02	Altère							
	4.7	72.92								
	4.8	72.82								
	4.9	72.72								
	5	72.63								
5m50	5.1	72.53								
	5.2	72.43								
	5.3	72.33								
	5.4	72.23								
	5.5	72.13								
	5.6	72.03								
	5.7	71.94								
	5.8	71.84								
	5.9	71.74								
	6	71.64								



**Figure 24 : Observation cliché OPTV sondage F1 à F3**

#### 4.2.4 - Essais sclérométriques

Des essais sclérométriques ont été effectués sur les carottes récupérées à l'aide de deux scléromètres. Le premier sera nommé 'scléromètre Roche', il permet de mesurer des valeurs de résistance à la compression comprises entre 11MPa et 250MPa, il est donc adapté à certains blocs de calcaire, mais peu adapté à l'étude des mortiers. Le second sera nommé 'Scléromètre Pendulaire', il permet de mesurer des valeurs de résistance à la compression comprises entre 0.2 MPa et 5.2 MPa, il est plus adapté à l'étude du mortier.

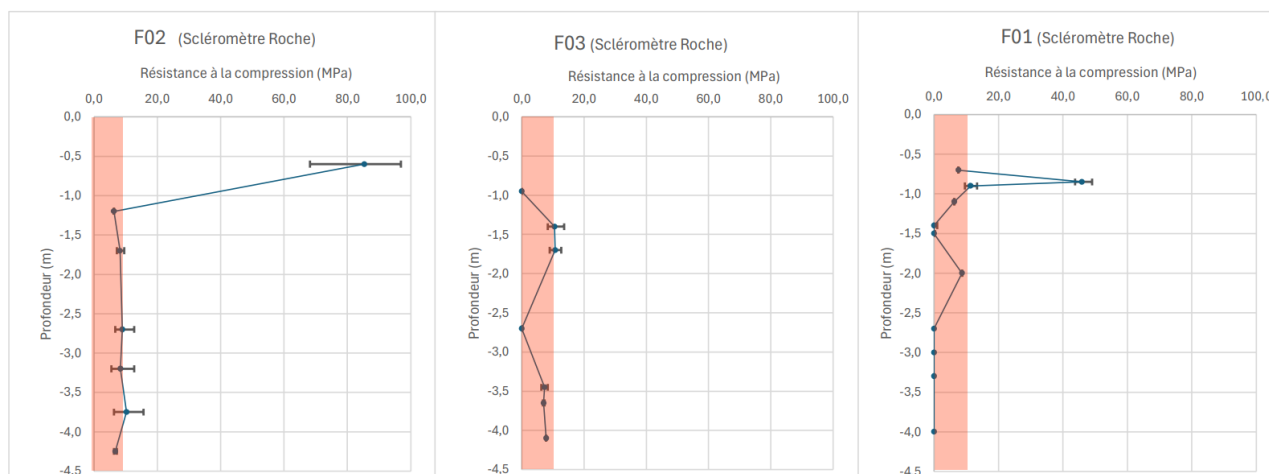


Figure 25 : Essai sclérométrique avec 'scléromètre roche'

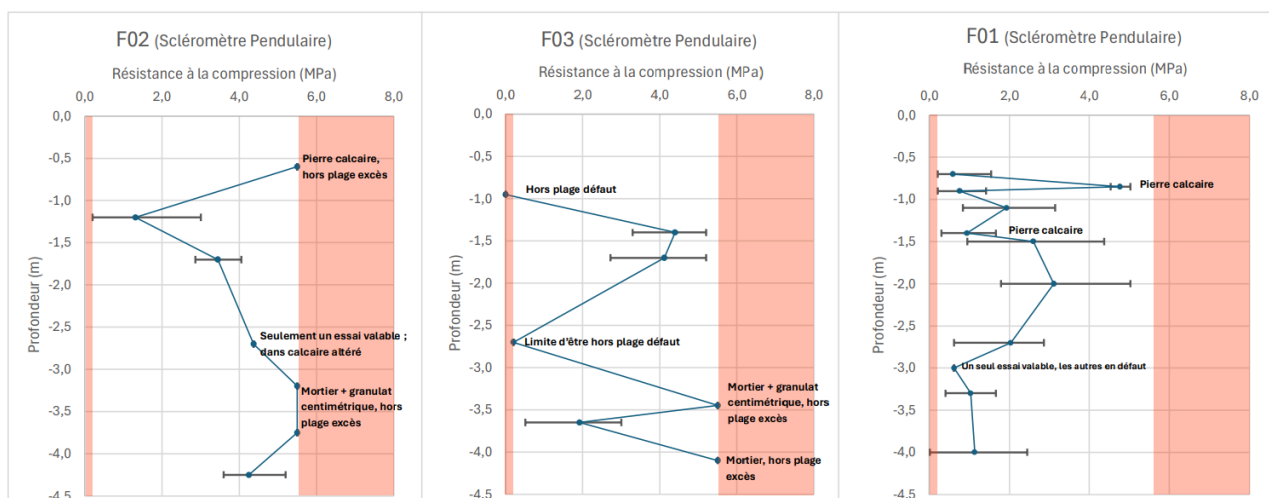


Figure 26 : Essai sclérométrique avec 'scléromètre pendulaire'

Le but de ces essais est d'observer les variations de résistance à la compression en fonction de la profondeur. Les valeurs absolues de résistance à la compression doivent être considérées avec prudence aux vues des variabilités de mesure observées et des conditions de réalisation des essais.

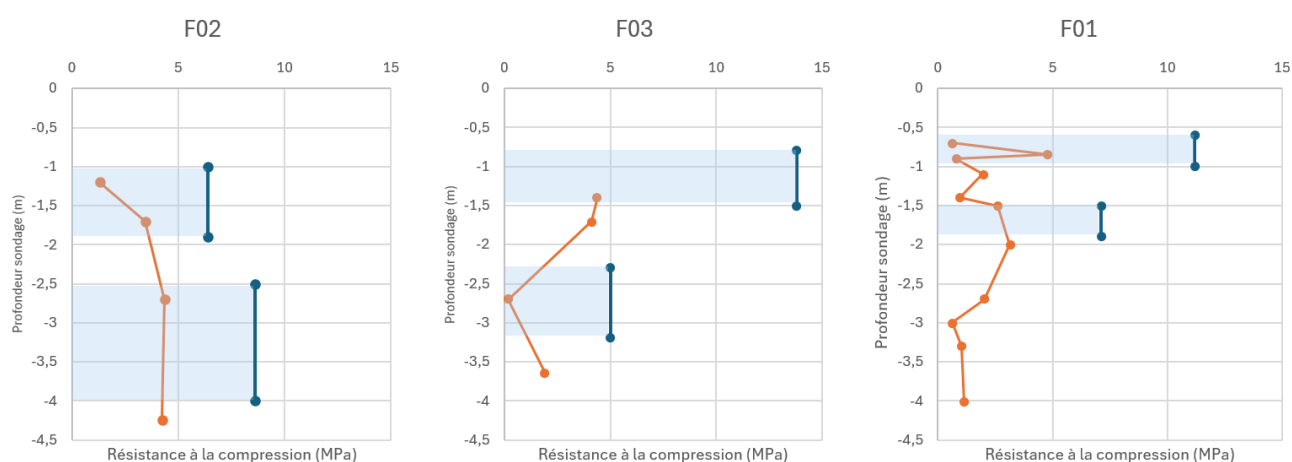
#### 4.2.1 - Essais en laboratoire

A partir des carottes récupérées, des essais de résistance à la compression ont été réalisés en laboratoire. Les résultats de ces essais sont présentés dans le tableau ci-dessous ainsi qu'en annexe.

	Profondeurs de l'échantillon (m/T.N.)	Rc (MPa)
<b>F1</b>	De -0.60 à -1.00	11.2
	De -1.50 à -1.90	7.1
<b>F2</b>	De -1.00 à -1.90	6.4
	De -2.50 à -4.00	8.6
<b>F3</b>	De -0.80 à -1.50	13.8
	De -2.30 à -3.20	5.0

Ces essais montrent une forte variabilité de la résistance à la compression que ce soit entre les carottes et au sein même des carottes. Par exemple, la résistance à la compression passe de 13.8 MPa à 5 MPa dans le sondage F3.

Bien que les valeurs absolues diffèrent de celles obtenues avec les scléromètres, la variabilité de la résistance à la compression au sein de l'ouvrage est bien confirmée par les essais en laboratoire.



**Figure 21 : Comparaison essai en laboratoire et essai sclérométrique.**

Les mesures effectuées en laboratoire permettent d'obtenir des valeurs de résistance à la compression plus fiables et représentatives des maçonneries de l'ouvrage. Cependant ces dernières contiennent elles aussi une part d'incertitude.

Tout d'abord, la norme de l'essai indique que la géométrie de l'échantillon peut influencer la mesure (jusqu'à 20% dans le cas des bétons, donc a fortiori pour des maçonneries.)

Il est également à noter que les essais ont été réalisés dans les parties de carottes permettant d'extraire des échantillons intacts. Ces essais concernent donc des zones de l'ouvrage où la maçonnerie se présente en bon état, c'est-à-dire sans fissuration ou désagrègement du liant. On remarque cependant que, malgré un échantillonnage circonscrit aux parties non altérées, nous obtenons des résistances relativement faibles, descendant jusqu'à 5.0 MPa.

Enfin les mesures ayant été effectuées sur des échantillons secs font vraisemblablement l'objet d'une surestimation de la résistance à la compression des maçonneries en place qui sont en réalité saturées en eau dans la partie basse du soubassement.

#### 4.2.2 - Piézométrie et pompage

Des relevés piézométriques ont été réalisés dans les trois sondages avant la réalisation de l'imagerie OPTV, les 04 et 09 avril 2024. A noter que le 4 avril, les douves du côté de l'aile François 1<sup>er</sup> étaient vides, et le 09 avril, celles-ci avaient été vidées par pompage et installations de batardeau. Ceci qui explique la forte différence entre les deux niveaux piézométriques, et l'influence du niveau des douves dans les sondages.

Les résultats du niveau piézométriques dans chacun des ouvrages sont données dans le tableau récapitulatif suivant. Il est à noter que le 09 avril, une partie des douves à proximité de l'aile François 1<sup>er</sup> ont été vidées.

Malgré le fait que les sondages se situent à la même distance des douves, la hauteur d'eau dans chaque ouvrage n'est pas au même niveau, et pourrait être influencée par des réseaux plus ou moins altérés / fracturés.

De plus, un rapide pompage a été réalisé dans chacun des ouvrages, afin d'obtenir des connaissances sur la réactivité de l'aquifère en chaque point. Ce pompage ne permet néanmoins pas de déterminer les propriétés hydrodynamiques de l'aquifère, mais permet cependant d'estimer un débit de remontée.

Les résultats du pompage et débits de remontée estimés sont donnés dans le tableau suivant :

**Tableau 1: Niveaux d'eau et débits de remontées de la nappe après pompage obtenus pour chaque ouvrage**

Ouvrage (Du Sud au Nord)	Niveau d'eau <u>avant</u> <u>vidange douves</u> , le 04 avril (m)	Niveau d'eau <u>après</u> <u>vidange douves</u> , le 09 avril (m)	Débit de remontée (cm/s)
F02	2,04	2,35	0,71
F03	2,15	2,31	0,32
F01	2,05	2,41	0,77

D'après ces premiers résultats, le débit de remontée est le plus important sur F01, ouvrage le plus au Nord.

Cette vitesse plus rapide de remontée au niveau de F01 pourrait être liée à la plus forte altération observée sur ce même ouvrage ; les eaux empruntent ces chemins d'écoulements préférentiels altérés et fracturés plus facilement. De la même façon, le plus faible débit sur F3 indiquerait une plus faible transmissivité de l'aquifère à ce niveau, et potentiellement des niveaux plus sains, moins altérés, qui limitent les circulations d'eau.

A ce stade de l'étude, nous sommes en attente de transmission du suivi des données piézométriques réalisé par Infraneo, qui permettrait d'affiner les connaissances sur la réactivité de la nappe en réponse à un événement pluvieux ou une crue.



## 5 - SYNTHESE SUR LA CONSTITUTION ET L'ETAT DE L'OUVRAGE

- De manière générale, l'ouvrage de fondation présente une profondeur comprise entre 4m40 et 4m60 par rapport au niveau du terrain naturel de la fausse braie.
- Côté cour, sa profondeur a été reconnue à 4m80/TN par le BE Infraneo.
- Cet ouvrage est constitué d'un blocage composé de moellons de calcaire bruts de taille variable (5-25cm) noyés dans un bain de mortier. Les blocs de calcaires ont été identifiés comme poreux et présentant des interstices. Les fouilles de reconnaissance de fondation ainsi que les sondages carottés réalisés dans le cadre de cette étude ont permis de mettre en évidence la présence d'un lit de moellons calcaires plus massifs (20-25cm de hauteur) et moins poreux et fin de radier. Sa mise en œuvre présente donc des similitudes avec le système de fondation rencontré sur la tour Sud-Ouest.
- Les sondages carottés ainsi que les OPTV ont montrés des zones d'altérations dans l'ouvrage. Ces zones, essentiellement concentrées dans la moitié inférieure du radier, sont représentées sur la synthèse graphique en figure 27.

Ces altérations se traduisent principalement par la fracturation entre les blocs calcaire et le mortier et la désagrégation de celui-ci, devenu friable. Sur le sondage F2, par exemple, une partie de la carotte, entre 2,5 et 4m n'a pas pu être extraite du tube PVC du fait de la friabilité du mortier, empêchant la tenue de l'échantillon.

Le sondage F1, qui est celui présentant le plus d'altération, est également celui dont la proportion de mortier est la plus importante.

Des vides de hauteur centimétriques à pluricentimétriques sont également observés localement ; l'extension latérale de ces vides n'est pas connue.

- Les essais au scléromètre pendulaire réalisés sur la carotte du sondage F1 nous montrent une variation de la résistance à la compression du mortier, globalement corrélée avec l'état d'altération du liant.
- Les valeurs de résistance à la compression obtenues en laboratoire montrent une importante variabilité allant de 13.8 à 5 MPa. Les essais se sont limités aux parties de carottes permettant l'extraction d'un échantillon intact. Il s'agit donc de résistance à la compression de maçonneries ne présentant pas de désordres. Malgré cela, on observe des valeurs relativement faibles, descendant jusqu'à 5 MPa.
- Les premiers résultats hydrogéologiques et essais de pompages réalisés révèlent une réactivité de l'aquifère plus importante au niveau de F1. A distance pourtant égale des douves, cela indique que les eaux circulent plus facilement et rapidement à ce niveau, ce qui confirme les observations faites précédemment : les circulations d'eau sont facilitées par les niveaux plus altérés et fissurés au niveau de F1.

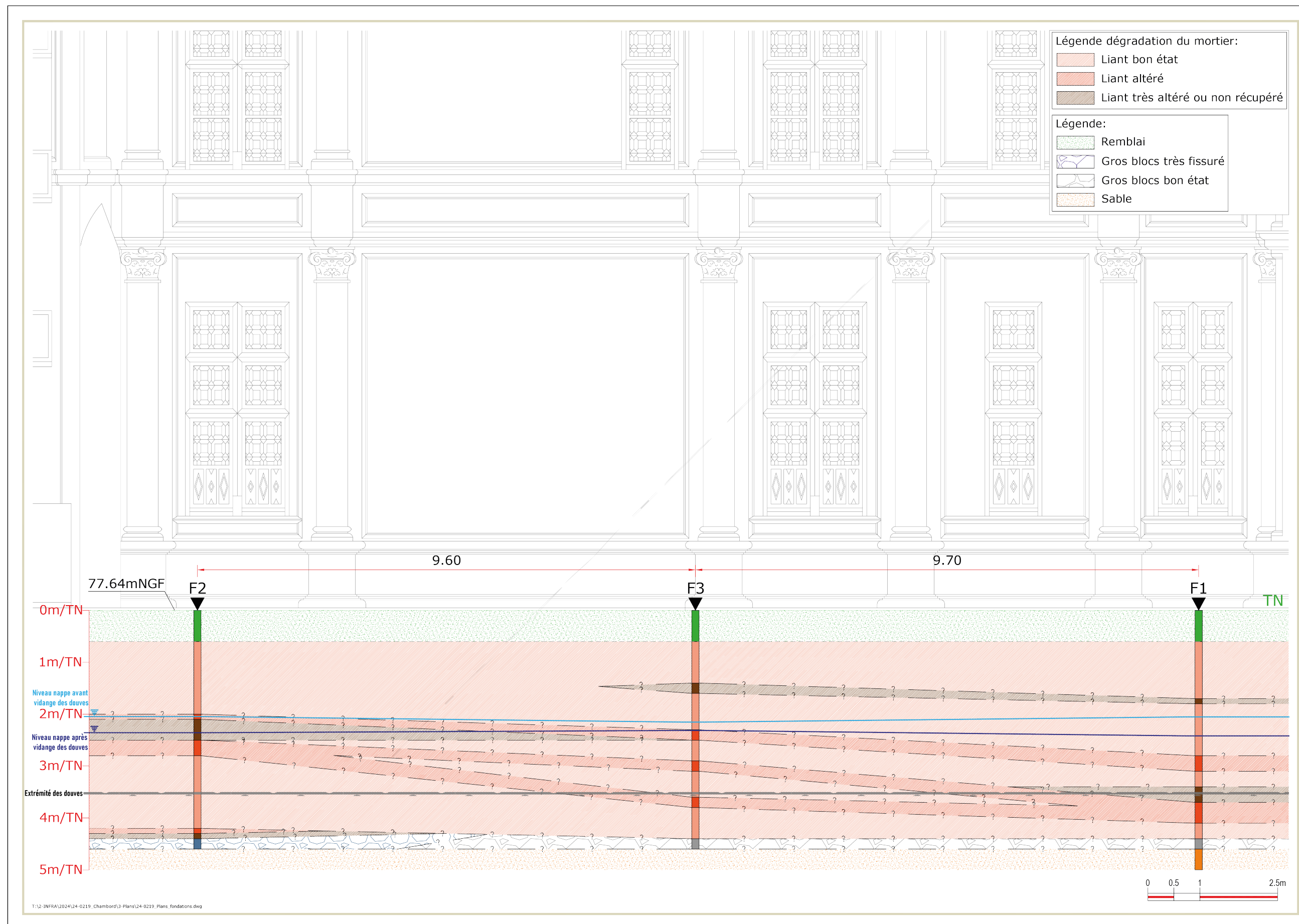
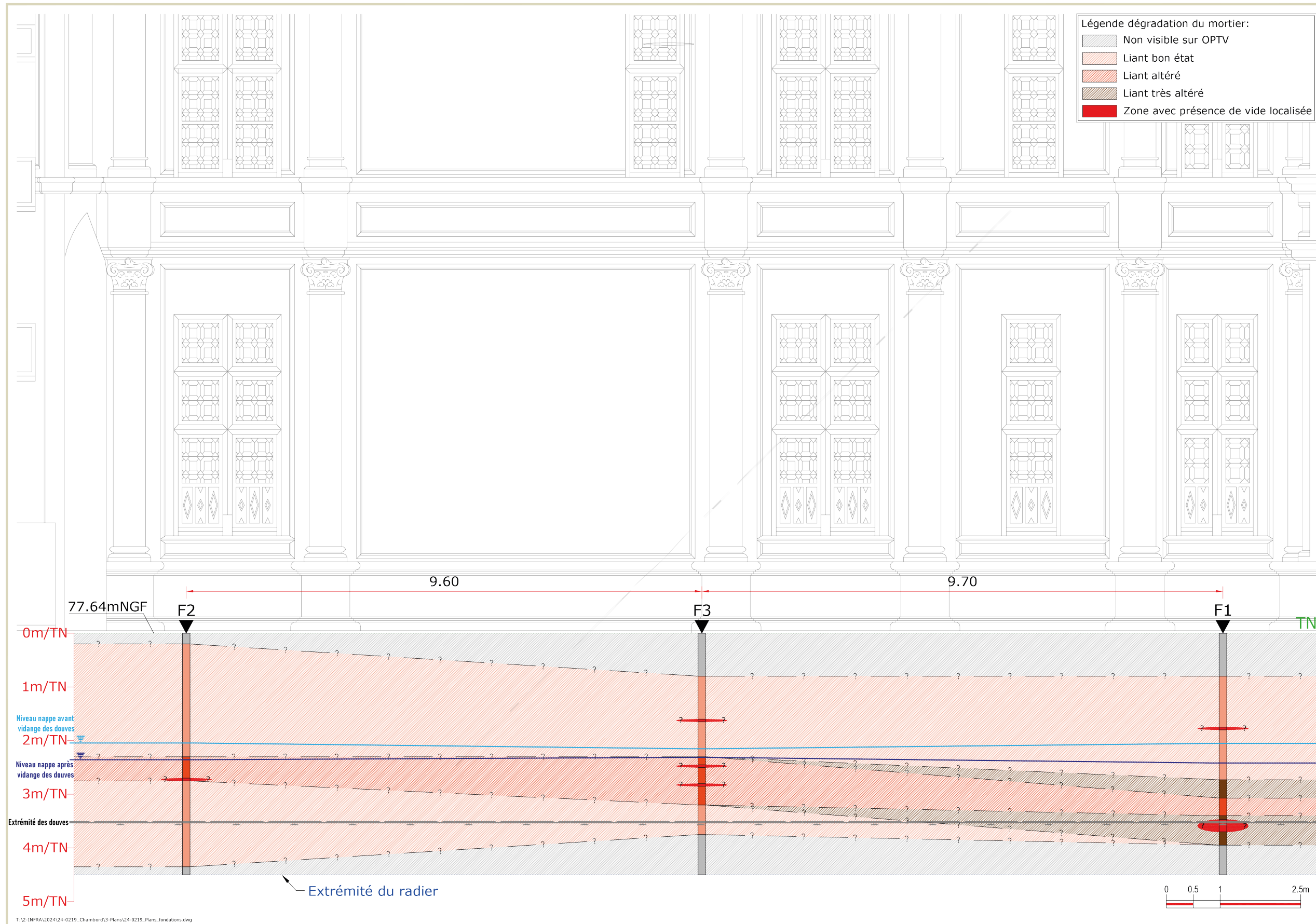


Figure 27: Coupe de synthèse de l'interprétation des sondages carottés





de synthèse de l'interprétation des OPTV

Figure 28: Coupe





Figure 29: Coupe de synthèse de l'ensemble des résultats



## 6 - DIAGNOSTIC DE L'OUVRAGE

Ce diagnostic est rédigé en l'absence de transmission des relevés piézométriques réalisés par INFRANEO.

### 6.1 - INTERPRETATION DE L'ETAT DE L'OUVRAGE

L'état des maçonneries de l'ouvrage étudié est très hétérogène :

- Certaines zones semblent très saines et présentent de bonnes résistances à la compression.
- D'autres zones, pourtant identifiées comme étant en bon état dans les sondages carottés et OPTV, présentent des résistances à la compression relativement faibles.
- D'autres zones encore ont été identifiées comme très altérées. La maçonnerie présente de la fracturation entre les blocs calcaire et le mortier voire de la désagrégation de celui-ci, devenu friable. Sur ces zones, aucun essai n'a pu être réalisé mais du fait de l'absence de cohésion entre les matériaux suggèrent des propriétés mécaniques faibles à très faibles.

### 6.2 - HYPOTHESES QUANT A L'ORIGINE DES DESORDRES

- Défauts/lacunes lors de la conception :

Cette altération très hétérogène de l'ouvrage peut s'expliquer par une variation dans la composition, que ce soit proportions ou qualité des composants, ou la mise en œuvre du mortier. Cette variation aurait pu entraîner une hétérogénéité dans le vieillissement des matériaux et ainsi engendrer une altération du mortier.

- Hydrogéologie et variations du niveau d'eau :

En l'absence des relevés de la piézométrie réalisés par le bureau d'études Infranéo, il est difficile de conclure sur cette hypothèse.

Cependant, la circulation d'eau avérée dans l'ouvrage a pu altérer le mortier. Cette altération a pu être accentuée par la variation possible du niveau d'eau, due notamment aux vidanges des doutes changeant ainsi l'état de saturation du mortier et pouvant engendrer des altérations tant au niveau chimique que mécanique.

Les observations hydrogéologiques réalisées au moment des reconnaissances géotechniques ont montré que la circulation d'eau se faisait préférentiellement dans les zones les plus altérées de l'ouvrage. Ces circulations, même si elles ne sont pas à l'origine des désordres, participe à leur aggravation.

### 6.3 - EVOLUTION

En l'absence de travaux, les désordres constatés sur l'ouvrage vont s'amplifier et générer, à terme, des vides dans la maçonnerie. Ces vides, centimétriques dans les zones qui ont fait l'objet de sondage, pourraient être de plus grandes dimensions ailleurs dans l'ouvrage.

Il est également probable que certains vides existent déjà dans la maçonnerie mais n'ont pas été identifiés par les reconnaissances.

## 6.4 - INCERTITUDES

- Géométrie de l'ouvrage :

Du fait de la présence de l'ouvrage de part et d'autre de l'édifice, côté cour et côté jardin, dans une géométrie et une épaisseur plus ou moins similaires et la présence d'une surface maçonnerie continue dans les fouilles intérieures, l'ouvrage étudié a été qualifié de radier.

Il faut cependant garder à l'esprit que les reconnaissances réalisées ne sont que ponctuelles et que l'ouvrage reconnu en intérieur n'a pas fait l'objet de sondage carotté permettant de caractériser sa composition et son épaisseur. Si une étude de stabilité de l'aile François venait à être réalisée, une connaissance plus précise de la géométrie de l'ouvrage serait nécessaire.

- Piézométrie :

Le suivi piézométrique mis en place par le bureau d'études Infranéo permettrait de caractériser les variations de niveau d'eau dans l'ouvrage. Ce niveau d'eau pourrait ainsi être comparé avec les zones d'altérations identifiées afin de voir si ces dernières correspondent à une éventuelle plage de battement du niveau d'eau.

- Caractérisation mécanique des sols sous l'ouvrage

Les sondages carottés ont pu mettre en évidence la présence d'une vase sableuse en dessous de l'ouvrage de fondations. Cette couche, aux propriétés mécaniques semble-t-il médiocres, n'a cependant pas été caractérisée en laboratoire.

Bien que ce sol ne fasse pas partie de l'ouvrage objet de l'étude, son comportement mécanique pourrait avoir une influence sur l'évolution de l'état du radier.

- Coupe interprétative de l'état de l'ouvrage :

Seuls 3 sondages carottés ont été réalisés dans l'ouvrage côté douve et un seul côté cours lors d'une campagne de reconnaissance antérieure, sans imagerie OPTV des parois. Les coupes interprétatives réalisées dans le cadre du présent rapport présentent vraisemblablement un degré d'incertitude élevé. Si les sondages étudiés mettent en évidence des vides localisés de taille limitée (centimétrique à pluri-centimétrique), il n'est pas impossible que des vides de plus grande importance soient présents dans le radier. Le profil intérieur des investigations radar du BE INFRANEO présente par ailleurs une possible cavité

- Analyse physico-chimique du liant et des pierres :

Une analyse physico-chimique des pierres et du liant permettrait de connaître la composition de ces derniers et d'identifier les mécanismes qui pourraient expliquer leurs dégradations.

## 6.5 - ANALYSE DE L'IMPACT DES INCERTITUDES

### 6.5.1 - Méthode d'analyse

L'analyse de l'impact des incertitudes pourra concerner les critères d'études suivants :

Phase diagnostic (DIAG selon NF P94 500) :

- Identification de l'origine des désordres ;
- Expression de l'aléa ;
- Détermination des possibilités de propagation jusqu'aux enjeux ;
- Estimation du potentiel d'évolution ;

Phase avant-projet (AVP selon NF P 94 500) :

- Impact sur la faisabilité de la solution présentée ;

- Impact sur l'estimation financière ;

Phase projet (PRO selon NF P 94 500) :

- Impact sur les délais ;
- Impact sur le DQE ;
- Impact sur la gestion contractuelle de l'opération ;

L'impact de chaque incertitude, décrite dans le paragraphe précédent, sur le critère étudié (ici le diagnostic) sera évalué de la manière suivante :

**NON EVALUABLE** : les données à disposition ne permettent pas d'analyser l'impact généré par l'incertitude décrite sur les études et les travaux. Nous recommandons la réalisation des reconnaissances ou études nécessaires à l'acquisition de ces données.

**NUL** : l'incertitudes décrite n'est pas de nature à remettre en cause le diagnostic ou d'affecter de manière sensible le dimensionnement des solutions de travaux ou le déroulement opérationnel et contractuel des travaux ;

**FAIBLE** : l'incertitudes décrite est de nature à remettre en cause marginalement le diagnostic ; la probabilité d'une erreur d'appréciation, se répercutant sur les phases d'études suivantes est limitée mais pas inexistante.

L'incertitude décrite a peu de chance d'impacter la faisabilité des solutions proposées. L'impact sur les estimations financière en phase AVP est compris entre 5 et 10% et peut vraisemblablement être géré par les marges sur aléa prises durant la conception.

L'impact sur le DQE de l'opération post PRO et DCE est compris entre 5 et 10% et peut vraisemblablement être géré par les marges sur aléa prises durant la conception.

L'impact sur les délais et la gestion contractuelle est limité si l'incertitudes est traitée durant la phase préparatoire et des disposition contractuelles, quantitatives et techniques suffisantes sont prises lors de la rédaction du DCE.

**MOYEN** : l'incertitudes décrite est de nature à remettre en cause le diagnostic ; la probabilité d'une erreur d'appréciation, se répercutant sur les phases d'études suivantes n'est pas négligeable. L'incertitudes doit être prise en compte dans les phases suivantes en privilégiant si possible le choix de solutions de travaux qui y sont peu sensible.

Nous recommandons La réalisation des reconnaissances/études nécessaire pour lever l'incertitude si possible avant la phase AVP.

L'incertitude décrite peut impacter la faisabilité des solutions proposées. L'impact sur les estimations financière en phase AVP est compris entre 10 et 20% et peut vraisemblablement être géré par les marges sur aléa prises durant la conception. Ces marges devront être étendues en conséquence.

En l'absence de levée des incertitudes, avant le lancement du marché, l'impact sur le DQE de l'opération post PRO et DCE est compris entre 10 et 20% du montant des travaux considéré/ de l'opération.

Le traitement de l'incertitudes en phase travaux, peut nécessiter la réalisation de travaux non prévu au marché et nécessitera l'intégration de prix nouveaux et donc la négociation d'un avenant. L'impact sur les délais de l'opération peut atteindre 25% de la durée de l'opération.

**IMPORTANT** : l'incertitudes décrite est de nature à remettre en cause le diagnostic ; la probabilité d'une erreur d'appréciation, se répercutant sur les phases d'études suivantes doit être sérieusement considérée.

Nous recommandons La réalisation des reconnaissances/études nécessaire pour lever l'incertitude si possible avant la phase AVP. Nous recommandons la reprise de la phase DIAG à la lumière de ces nouveaux éléments.

L'incertitude décrite impacte vraisemblablement la faisabilité des solutions proposées. L'impact sur les estimations financière en phase AVP est supérieur à 20%. Les marges sur aléa doivent être étendues en conséquence.

En l'absence de levée des incertitudes, avant le lancement du marché, l'impact sur le DQE de l'opération post PRO et DCE est supérieur à 20% du montant des travaux considéré/ de l'opération.

Le traitement de l'incertitudes en phase travaux, nécessitera la réalisation de travaux non prévu au marché et l'intégration de prix nouveaux au travers de la négociation d'un avenant. Les augmentations importantes de quantités/cout sont de nature à affecter l'économie du marché pour les prix considérés. L'impact sur les délais de l'opération peut atteindre 50% de la durée de l'opération, et générera également lui-même des surcouts.

**CRITIQUE :** l'incertitudes décrite est de nature à remettre en cause le diagnostic ; la probabilité d'une erreur d'appréciation, se répercutant sur les phases d'études suivantes doit être absolument considérée.

Nous recommandons fortement La réalisation des reconnaissances/études nécessaire pour lever l'incertitude si possible avant la phase AVP. Nous recommandons la reprise de la phase DIAG à la lumière de ces nouveaux éléments.

L'incertitude décrite impacte vraisemblablement la faisabilité des solutions proposées. L'impact sur les estimations financière en phase AVP est supérieur à 50%. Les marges sur aléa doivent être étendues en conséquence.

En l'absence de levée des incertitudes, avant le lancement du marché, l'impact sur le DQE de l'opération post PRO et DCE est supérieur à 50% du montant des travaux considéré/ de l'opération.

Le traitement de l'incertitudes en phase travaux, nécessitera la réalisation de travaux non prévu au marché et l'intégration de prix nouveaux au travers de la négociation d'un avenant. Les augmentations importantes de quantités/cout sont de nature à affecter l'économie du marché pour l'ensemble de l'opération. L'impact sur les délais de l'opération peut atteindre 100% de la durée de l'opération et générera également lui-même des surcouts.

### 6.5.2 - Analyse de l'impact sur le diagnostic et solution de levée des incertitudes

Conformément à la méthodologie détaillée ci-avant, chaque incertitude est reprise dans le tableau ci-dessous, afin de déterminer son impact sur le diagnostic et les méthodes envisageables pour lever ces incertitudes :

<b>Incertainitude</b>	<b>Impact de l'incertainitude</b>	<b>Méthode de levée de l'incertainitude</b>
Géométrie de l'ouvrage	Important	<i>Sondages carottés depuis les espaces intérieurs Reconnaissances géophysiques perpendiculairement à l'axe principale de l'aile.</i>
Piézométrie	Important	<i>Relevé des sondes installées par le BE Infranéo</i>





Caractérisation mécanique des sols sous l'ouvrage	Moyen	<i>Etude géotechnique et essais en laboratoire pour identification et caractérisation des sols</i>
Coupe interprétative de l'état de l'ouvrage	Important	<i>Campagne de reconnaissances complémentaires prévoyant un maillage de sondages carottés plus resserré</i>
Physico-chimie des pierres et du liant	Moyen	<i>Analyse physico-chimiques sur les pierres et le liant</i>

# Annexes

**Annexe 1** : Coupes sondages carottés

**Annexe 2** : Compte rendu de l'imagerie OPTV

**Annexe 3** : Essais Laboratoire

**Annexe 4** : Coupes interprétatives

**Annexe 5** : Extrait de la norme NF P 94-500 « Classification des missions type d'ingénierie géotechnique », novembre 2013

**Annexe 6** : Etude INFRANEO, Octobre 2022



# Annexe 1

Coupes sondages carottés



**GÉOLITHE**  
181 rue des Bécasses  
38920 CROLLES  
Tél. 04 76 92 22 22

## SONDAGE CAROTTE

**Chantier :** 24-0219\_Chambord

**N° sondage :** F1

**Client :** Château de Chambord

**Date sondage :** 02-avr.-24

**N° affaire :** 24-0219

**Opérateur :** FS/AB







**GÉOLITHE**  
181 rue des Bécasses  
38920 CROLLES  
Tél. 04 76 92 22 22

## SONDAGE CAROTTE

Version n° 1,1

<b>Chantier :</b>	24-0219_Chambord	<b>Coordonnées</b>	<b>N° sondage :</b>	<b>F1</b>
<b>Client :</b>	Château de Chambord	X :	<b>Date sondage :</b>	02-avr.-24
<b>N° affaire :</b>	24-0219	Y :	<b>Opérateur :</b>	FS/AB
		Z :		

Passe / RQD	% Recup	Prélèvement	Profondeur	NATURE DU TERRAIN (nature, couleur, épaisseur, diamètre du plus gros élément (Dmax =))	OBSERVATIONS (cailloux anguleux ou roulés, tenue des parois,...)
				Remblais	Graviers
	100%		1,00		
			2,00	Maçonnerie Calcaire Fracturé	Liant poreux constitué d'éléments millimétriques et centimétriques. Proportion de liant supérieure à 70%. Le liant est relativement sain, Entre 2,90 et 3,2 m le liant est moins sain. Gros blocs anguleux de calcaire.
			3,00		
			4,00	Matrice Calcaire	Passage relativement fracturé, mauvais état du liant beaucoup plus friable, proportion de liant >70%.
				Gros Blocs Calcaires	Gros blocs de calcaire relativement sain
				Vase	Vase très noir et sableuse avec tendances argileuses
			5,00		
			6,00		
			7,00		
			8,00		
			9,00		
			10,0		

### Remarques :

(Pointillés vert = Fractures),

P/R Bordure château 5 cm (plus haut) au-dessus du TN

Mettre ce forage en lien avec le rapport des essais de pompage



**GÉOLITHE**  
181 rue des Bécasses  
38920 CROLLES  
Tél. 04 76 92 22 22

## SONDAGE CAROTTE

**Chantier :** 24-0219\_Chambord

**N° sondage :** F2

**Client :** Château de Chambord

**Date sondage :** 03-avr.-24

**N° affaire :** 24-0219

**Opérateur :** FS/AB





**GÉOLITHE**  
181 rue des Bécasses  
38920 CROLLES  
Tél. 04 76 92 22 22

## SONDAGE CAROTTE

Version n° 1,1

<b>Chantier :</b>	24-0219_Chambord	<b>Coordonnées</b>	<b>N° sondage :</b>	<b>F2</b>
<b>Client :</b>	Château de Chambord	X :	<b>Date sondage :</b>	03-avr.-24
<b>N° affaire :</b>	24-0219	Y :	<b>Opérateur :</b>	FS/AB
		Z :		

Passe / RQD	% Recup	Prélèvement	Profondeur	NATURE DU TERRAIN (nature, couleur, épaisseur, diamètre du plus gros élément (Dmax =))	OBSERVATIONS (cailloux anguleux ou roulés, tenue des parois,...)
				Remblais	Graviers
			1,00		
			2,00	Maçonnerie Calcaire Fracturé	Difficile de remonter l'ensemble de la carotte, zone très fracturée, friable et sans liant
			3,00		
			4,00	Matrice Calcaire	Carotte relativement saine, fractures au contact entre les blocs de calcaire et le liant. Liant relativement sain. Proportion de liant ≈70%, Blocs de grosseur variée (blocs de type galet 10 cm)
			5,00	Maçonnerie très fracturée	
			6,00		
			7,00		
			8,00		
			9,00		
			10,0		

### Remarques :

(Pointillés vert = Fractures),

P/R Bordure château 5 cm (plus haut) au-dessus du TN

Matrice grise, éléments variés et galets centimétriques à gros blocs de 5cm à 10 cm ~70 % sur l'ensemble du forage





**GÉOLITHE**  
181 rue des Bécasses  
38920 CROLLES  
Tél. 04 76 92 22 22

## SONDAGE CAROTTE

**Chantier :** 24-0219\_Chambord

**N° sondage :** F3

**Client :** Château de Chambord

**Date sondage :** 03-avr.-24

**N° affaire :** 24-0219

**Opérateur :** FS/AB







**GÉOLITHE**  
181 rue des Bécasses  
38920 CROLLES  
Tél. 04 76 92 22 22

## SONDAGE CAROTTE

Version n° 1,

<b>Chantier :</b>	24-0219_Chambord	<b>Coordonnées</b>	<b>N° sondage :</b>	<b>F3</b>
<b>Client :</b>	Château de Chambord	X :	<b>Date sondage :</b>	03-avr.-24
<b>N° affaire :</b>	24-0219	Y :	<b>Opérateur :</b>	FS/AB
		Z :		

Passe / RQD	% Recup	Prélèvement	Profondeur	NATURE DU TERRAIN (nature, couleur, épaisseur, diamètre du plus gros élément (Dmax =))	OBSERVATIONS (cailloux anguleux ou roulés, tenue des parois,...)
	90%			Remblais	Graviers
			1,00		
			2,00	Maçonnerie Calcaire Fracturé	Calcaire fracturé au contact entres les blocs anguleux de calcaies (~5 à 20 cm) et cimentation avec des éléments sableux à petit graviers
			3,00	Calcaire Poreux	Liant inférieur à 70%. Matrice plus friable vers 2,30 m et plus saine vers 3,60 . Fractures au contact entre les éléments blocs et liant. (Carrotte conditioné sous Tube PVC)
			4,00	Blocs cimentés	Eléments centimétriques anguleux
				Gros Blocs Calcaires	Peu poreux et relativement sain peu fracturés
			5,00		
			6,00		
			7,00		
			8,00		
			9,00		
			10,0		

### Remarques :

(Pointillés vert = Fractures),

P/R Bordure château 5 cm au-dessus du TN

Liant = matrice à éléments de types graviers millimétriques à centimétriques et blocs de 5 à 10 cm. <70% de la carotte.

Passage plus altérés de :

De 0,6 à 0,8 m

Environ 3 m



## **Annexe 2**

Compte rendu de l'imagerie OPTV



www.geolithe.com

# GÉOLITHE

38 920 CROLLES - 181 Rue des bécasses - Tel : +33 (0)4 76 92 22 22

## DIAGRAPHIES IMAGERIE ORIENTEE DE PAROI DE FORAGES (OPTV)

**SITE :** Chambord (41)

**Client / Entreprise :**



domaine national de Chambord

**PROJET :** Diagnostic géotechnique G5 de l'aile François 1er

**CLIENT :** INFRANEO

**AFFAIRE N° :** 24-0219

**INTERLOCUTEUR :** M. Castello

**ADRESSE :**

**SONDAGE N° :**

**F01**

**OPERATEUR(S) :** Thomas Desloover

**DATE :**

**METEO :** Ensoleillé et nuageux

### PARAMETRES THEORIQUES DU SONDAGE

**FORATION :** Carottage  
**DIAMETRE :** 116 mm  
**LONGUEUR :** 4 m/sol  
**AZIMUT :** /  
**INCLINAISON / verticale :** incliné  
**EQUIPEMENT :**  
**PIEZOMETRIE :** 2.5 m

### PARAMETRES DIAGRAPHIE

**CAPTEUR :** Electromind OBI 52  
**PROFONDEUR ATTEINTE :** 3.9 m/sol  
**SENS DE LA MESURE :** Descendant  
**PAS DE LA MESURE :** 0.01 m  
**AZIMUT MOYEN :** N254  
**INCLINAISON MOYENNE :** 6.31°/ verticale  
**DECLINAISON MAGNETIQUE :** /

### COMMENTAIRES

### POSITIONNEMENT DU SONDAGE (TÊTE ET FOND)

[Référentiel : WGS 84 - EPSG : 4471]

#### POSITION DU SONDAGE EN TÊTE :

	Relative	Géographique
X - Est :		
Y - Nord :		
Z - Altitude :		

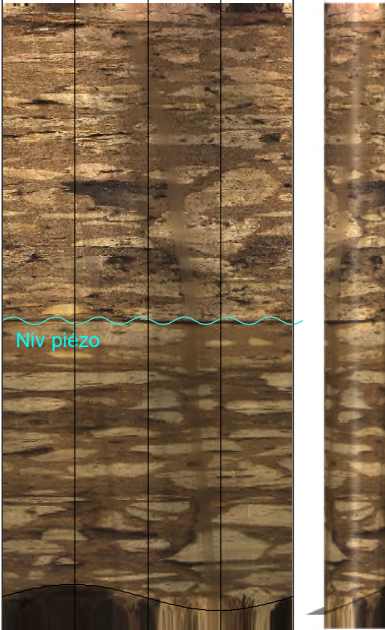




#### POSITION DU SONDAGE CALCULE AU FOND :

	Relative	Géographique
X - Est (en fond) :		
Y - Nord (en fond) :		
Z - Altitude (en fond) :		

**REPRESENTATION :** Imagerie orientée de paroi de forage  
Pointage des structures & ouvertures

### LEGENDE : STRUCTURALE

Profondeur (m / TN) Elev. (m NGF)	GÉOPHYSIQUE					CARACTERISTIQUES DES DISCONTINUITES				ETUDE DE CAROTTES					
	DIAGRAPHIE OPTV					Représentation du vecteur pendage	Ouverture (mm)	Azimuth (°)	Elev (m NGF) #1	Lithologie	Descript. géotech.	Photos	RQD %	Récup %	
	Optical imagery & Structure				3D View										TMAG
	0°	90°	180°	270°											
						0									
						90									

Profondeur (m / TN) Elev. (m NGF)	GÉOPHYSIQUE					CARACTERISTIQUES DES DISCONTINUITES				ETUDE DE CAROTTES						
	DIAGRAPHIE OPTV					Représentation du vecteur pendage	Ouverture (mm)	Azimuth (°)	Elev. (m NGF)#1	Lithologie	Descript. géotech.	Photos	RQD %		Récup %	
	Optical imagery & Structure				3D View								TMAG			
	0°	90°	180°	270°										0°		190°
	0°	90°	180°	270°	0°	0	90									
0.5	79.5										Maçonnerie de type blocage de moellons bruts noyés dans un bain de mortier. Liant en bon état, paroi lisse, bonne adhérence liant/moellons					
1.0	79.0															
1.5	78.5															
2.0	78.0															
2.5	77.5															
3.0	77.0										Forte altération du liant Paroi présentant des aspérités, vide à l'interface moellos/liants					
3.5	76.5										Altération du liant Vide à l'interface moellos/liants					
4.0	76.0										Forte altération du liant					
											Sable décomprimé, non récupéré					
	</															





www.geolithe.com

# GÉOLITHE

38 920 CROLLES - 181 Rue des bécasses - Tel : +33 (0)4 76 92 22 22

## DIAGRAPHIES IMAGERIE ORIENTEE DE PAROI DE FORAGES (OPTV)

**SITE :** Chambord (41)

**Client / Entreprise :**



domaine national de Chambord

**PROJET :** Diagnostic géotechnique G5 de l'aile François 1er

**CLIENT :** Domaine national de Chambord

**AFFAIRE N° :** 24-0219  
**INTERLOCUTEUR :** M. Castello  
**ADRESSE :**

**SONDAGE N° :**

**F02**

**OPERATEUR(S) :** Thomas Desloover  
**DATE :**  
**METEO :** Ensoleillé et nuageux

### PARAMETRES THEORIQUES DU SONDAGE

**FORATION :** Carottage  
**DIAMETRE :** 116 mm  
**LONGUEUR :** 4 m/sol  
**AZIMUT :** /  
**INCLINAISON / verticale :** incliné  
**EQUIPEMENT :**  
**PIEZOMETRIE :** 2.4 m

### PARAMETRES DIAGRAPHIE

**CAPTEUR :** Electromind OBI 52  
**PROFONDEUR ATTEINTE :** 4 m/sol  
**SENS DE LA MESURE :** Descendant  
**PAS DE LA MESURE :** 0.01 m  
**AZIMUT MOYEN :** N226  
**INCLINAISON MOYENNE :** 6.31°/ verticale  
**DECLINAISON MAGNETIQUE :** /

### COMMENTAIRES

### POSITIONNEMENT DU SONDAGE (TÊTE ET FOND)

[Référentiel : WGS 84 - EPSG : 4471]

#### POSITION DU SONDAGE EN TÊTE :

	Relative	Géographique
X - Est :		
Y - Nord :		
Z - Altitude :		

#### POSITION DU SONDAGE CALCULE AU FOND :

	Relative	Géographique
X - Est (en fond) :		
Y - Nord (en fond) :		
Z - Altitude (en fond) :		

**REPRESENTATION :** Imagerie orientée de paroi de forage  
Pointage des structures & ouvertures

### LEGENDE : STRUCTURALE



Joint ou fracture mineur ouvert



Contact sol

Profondeur (m / TN) Elev. (m NGM)	GÉOPHYSIQUE					CARACTERISTIQUES DES DISCONTINUITES				ETUDE DE CAROTTES								
	DIAGRAPHIE OPTV					Représentation du vecteur pendage <div><div></div></div>	Ouverture (mm)	Azimuth (°)	Pendage (°)	Lithologie	Descript. géotech.	Photos	RQD %		Récup %			
	Optical imagery & Structure <div><div></div></div>												3D View <div><div></div></div>	TMAG	<div></div>		<div></div>	
															0°	90°	180°	270°

Profondeur (m / TN) Elev. (m NGM)	GÉOPHYSIQUE			CARACTERISTIQUES DES DISCONTINUITES				ETUDE DE CAROTTES				
	DIAGRAPHIE OPTV			Représentation du vecteur pendage	Ouverture (mm)	Azimuth (°)	Pendage (°)	Lithologie	Descript géotech.	Photos	RQD %	Récup %
	Optical imagery & Structure		3D View									
	0°	90°	180°	270°	0°	190°						
0												
90												
0.5												
1.0												
1.5												
2.0												
2.5												
3.0												
3.5												
4.0												
4.5												
5.0												
5.5												
6.0												



# GÉOLITHE

www.geolithe.com

38 920 CROLLES - 181 Rue des bécasses - Tel : +33 (0)4 76 92 22 22

## DIAGRAPHIES IMAGERIE ORIENTEE DE PAROI DE FORAGES (OPTV)

**SITE :** CHAMBORD (41)

**Client / Entreprise :**



domaine national de Chambord

**PROJET :** Diagnostic géotechnique G5 de l'aile François 1er

**CLIENT :** Domaine national de Chambord

**AFFAIRE N° :** 24-0219

**INTERLOCUTEUR :** M. Castello

**ADRESSE :**

**SONDAGE N° :**

**F03**

**OPERATEUR(S) :** T. DESLOOVER

**DATE :**

**METEO :** Ensoleillé et nuageux

### PARAMETRES THEORIQUES DU SONDAGE

FORATION : carotté  
DIAMETRE : 116 mm  
LONGUEUR : 4 m/sol  
AZIMUT : /  
INCLINAISON / verticale : incliné  
EQUIPEMENT :  
PIEZOMETRIE : 2.34 m

### PARAMETRES DIAGRAPHIE

CAPTEUR : Electromind OBI 52  
PROFONDEUR ATTEINTE : 3.7 m/sol  
SENS DE LA MESURE : Descendant  
PAS DE LA MESURE : 0.01 m  
AZIMUT MOYEN : N224  
INCLINAISON MOYENNE : 6.4°/ verticale  
DECLINAISON MAGNETIQUE : /

### COMMENTAIRES

### POSITIONNEMENT DU SONDAGE (TÊTE ET FOND)

[Référentiel : WGS 84 - EPSG : 4471]

POSITION DU SONDAGE EN TÊTE :		POSITION DU SONDAGE CALCULE AU FOND :	
	Relative	Géographique	
X - Est :			X - Est (en fond) :
Y - Nord :			Y - Nord (en fond) :
Z - Altitude :			Z - Altitude (en fond) :

**REPRESENTATION :** Imagerie orientée de paroi de forage  
Pointage des structures & ouvertures

### LEGENDE : STRUCTURALE



Joint ou fracture mineur ouvert







## **Annexe 3**

Essais en laboratoire

**Affaire**
**Chambord**

Date : 07/06/2024

**Echantillon**

Etabli par : AG

Sondage

F1

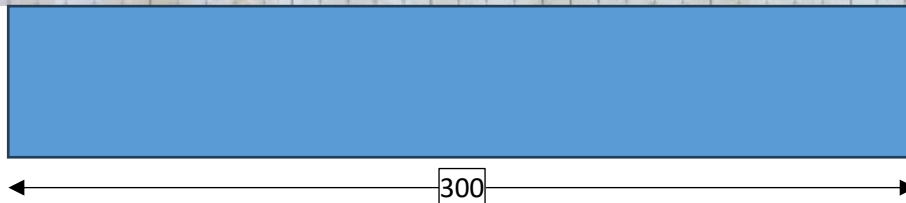
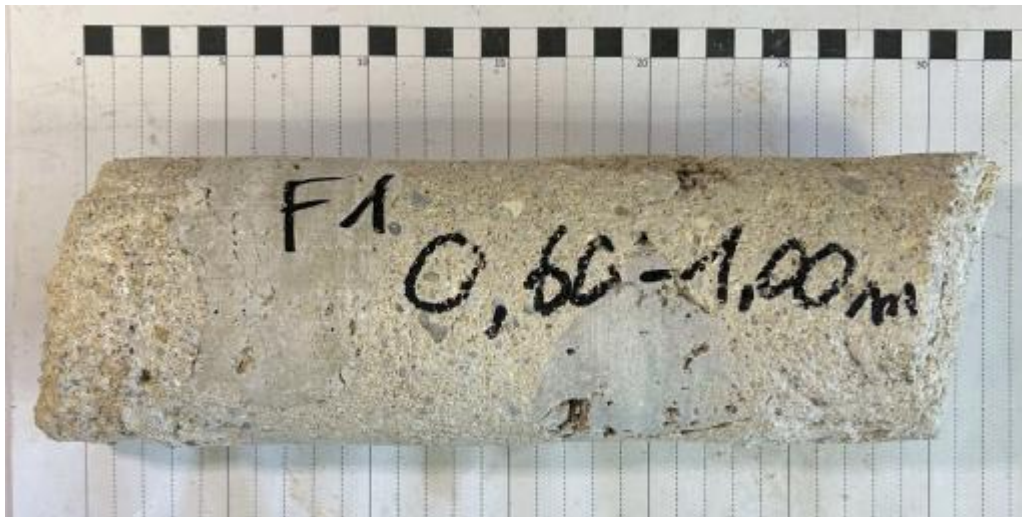
Vérifié par : JD

Profondeur

De -0.60 à -1.00 m/T.N.

Description du sol

Béton / Pierre



Béton/Pierre

Compacité : -  
Diamètre maxi des granulats : -  
Armatures : -  
Observation : -

Diamètre de la carotte : 90 mm  
Longueur de la carotte : 300 mm  
Masse de la carotte : 35737 g

**Carotte retaillée :**

Sondage	Profondeur (m/T.N.)	Nature du sol	Diamètre (mm)	Longueur (mm)	Masse (g)	Masse volumique (g/cm <sup>3</sup> )	Rc (MPa)
F1	De -0.60 à -1.00	Béton / Pierre	90	178	2401	2.12	11.2

**Affaire**
**Chambord**

Date : 07/06/2024

**Echantillon**

Sondage

F1

Etabli par : AG

Profondeur

De -1.50 à -1.90 m/T.N.

Vérifié par : JD

Description du sol

Béton / Pierre



410



Béton/Pierre

Compacité : -  
Diamètre maxi des granulats : -  
Armatures : -  
Observation : -

Diamètre de la carotte : 90 mm  
Longueur de la carotte : 410 mm  
Masse de la carotte : 4569 g

**Carotte retaillée :**

Sondage	Profondeur (m/T.N.)	Nature du sol	Diamètre (mm)	Longueur (mm)	Masse (g)	Masse volumique (g/cm <sup>3</sup> )	Rc (MPa)
F1	De -1.50 à -1.90	Béton / Pierre	90	135	1782	2.07	7.1

**Affaire**
**Chambord**

Date : 07/06/2024

**Echantillon**

Etabli par : AG

Sondage

F2

Vérifié par : JD

Profondeur

De -1.00 à -1.90 m/T.N.

Description du sol

Béton / Pierre



Béton/Pierre

Compacité : -  
Diamètre maxi des granulats : -  
Armatures : -  
Observation : -

Diamètre de la carotte : 90 mm  
Longueur de la carotte : 260 mm  
Masse de la carotte : 3040 g

**Carotte retaillée :**

Sondage	Profondeur (m/T.N.)	Nature du sol	Diamètre (mm)	Longueur (mm)	Masse (g)	Masse volumique (g/cm <sup>3</sup> )	Rc (MPa)
F2	De -1.00 à -1.90	Béton / Pierre	90	180	2333	2.04	6.4



## Affaire

Chambord

Date : 07/06/2024

## Echantillon

Sondage

F2

Etabli par : AG

Profondeur

De -2.50 à -4.00 m/T.N.

Vérifié par : JD

Description du sol

Béton / Pierre



Béton/Pierre

Compacité : -  
Diamètre maxi des granulats : -  
Armatures : -  
Observation : -

Diamètre de la carotte : 90 mm  
Longueur de la carotte : 240 mm  
Masse de la carotte : 3007 g

## Carotte retaillée :

Sondage	Profondeur (m/T.N.)	Nature du sol	Diamètre (mm)	Longueur (mm)	Masse (g)	Masse volumique (g/cm <sup>3</sup> )	Rc (MPa)
F2	De -2.50 à -4.00	Béton / Pierre	90	180	2548	2.23	8.6

**Affaire**
**Chambord**

Date : 07/06/2024

**Echantillon**

Sondage

F3

Etabli par : AG

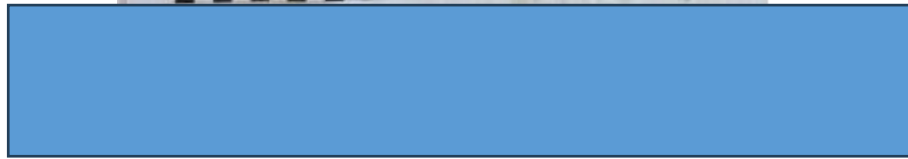
Profondeur

De -0.80 à -1.50 m/T.N.

Vérifié par : JD

Description du sol

Béton / Pierre



280



Béton/Pierre

Compacité : -  
Diamètre maxi des granulats : -  
Armatures : -  
Observation : -

Diamètre de la carotte : 90 mm  
Longueur de la carotte : 280 mm  
Masse de la carotte : 4019 g

**Carotte retaillée :**

Sondage	Profondeur (m/T.N.)	Nature du sol	Diamètre (mm)	Longueur (mm)	Masse (g)	Masse volumique (g/cm <sup>3</sup> )	Rc (MPa)
F3	De -0.80 à -1.50	Béton / Pierre	90	178	2790	2.46	13.8

**Affaire**
**Chambord**

Date : 07/06/2024

**Echantillon**

Etabli par : AG

Sondage

F3

Vérifié par : JD

Profondeur

De -2.30 à -3.20 m/T.N.

Description du sol

Béton / Pierre



Béton/Pierre

Compacité : -  
Diamètre maxi des granulats : -  
Armatures : -  
Observation : -

Diamètre de la carotte : 90 mm  
Longueur de la carotte : 345 mm  
Masse de la carotte : 4075 g

**Carotte retaillée :**

Sondage	Profondeur (m/T.N.)	Nature du sol	Diamètre (mm)	Longueur (mm)	Masse (g)	Masse volumique (g/cm <sup>3</sup> )	Rc (MPa)
F3	De -2.30 à -3.20	Béton / Pierre	90	160	2233	2.19	5.0


## Annexe 4

Coupes interprétatives de l'état de dégradation du radier de fondation.



Légende dégradation du mortier:

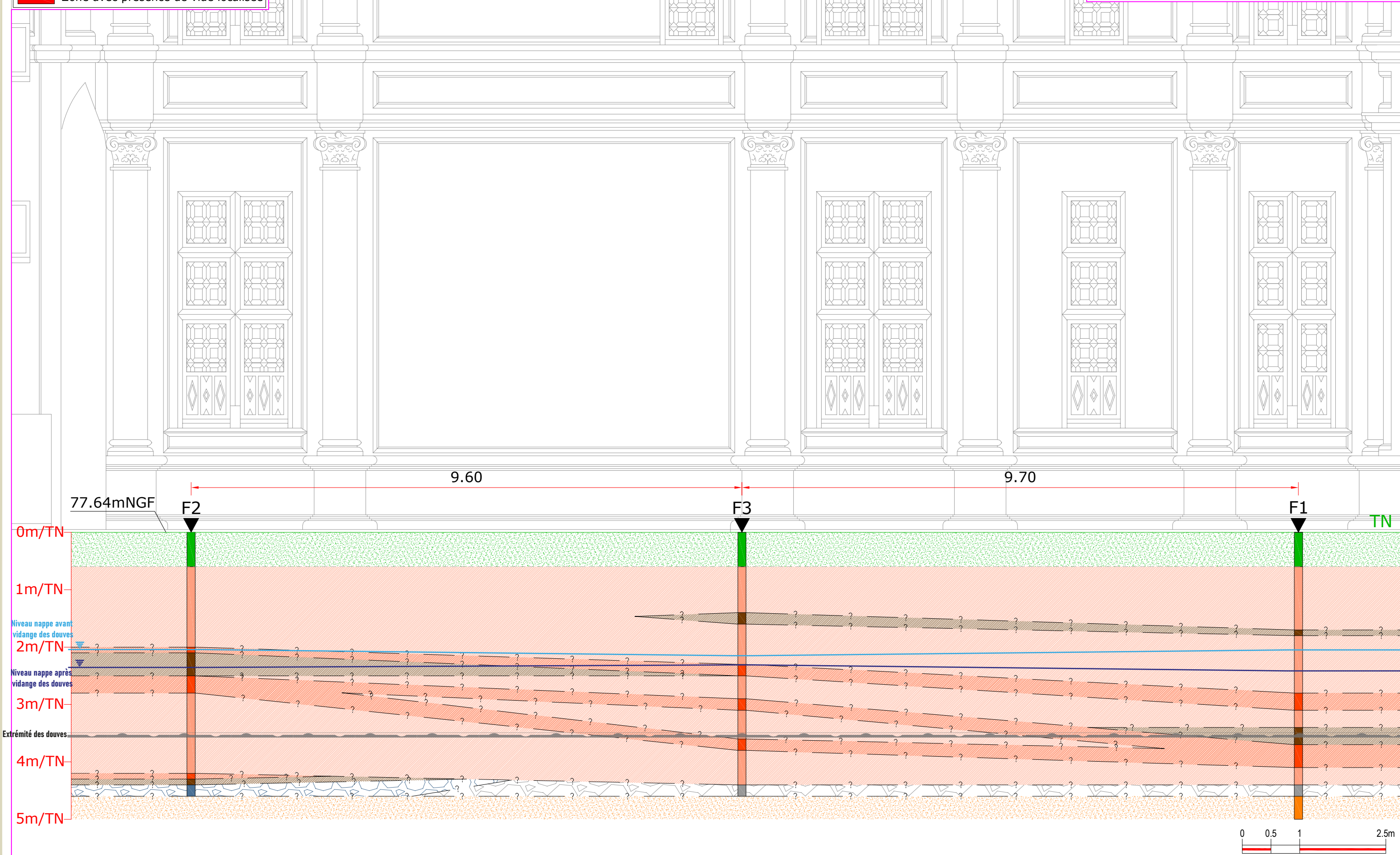
- Non visible sur OPTV
- Liant bon état
- Liant altéré
- Liant très altéré
- Zone avec présence de vide localisée



Domaine national de Chambord Aile François 1er  
CHambord (41)


**Dégradation du mortier (OPTV)**  
diagnostic geotechnique du radier de fondation

DOSSIER N°	PHASE	ECHELLE	DATE	PLAN n°	INDICE
24-0219 I 1	G5	1/60-A3	12/06/24	01	0



Légende dégradation du mortier:

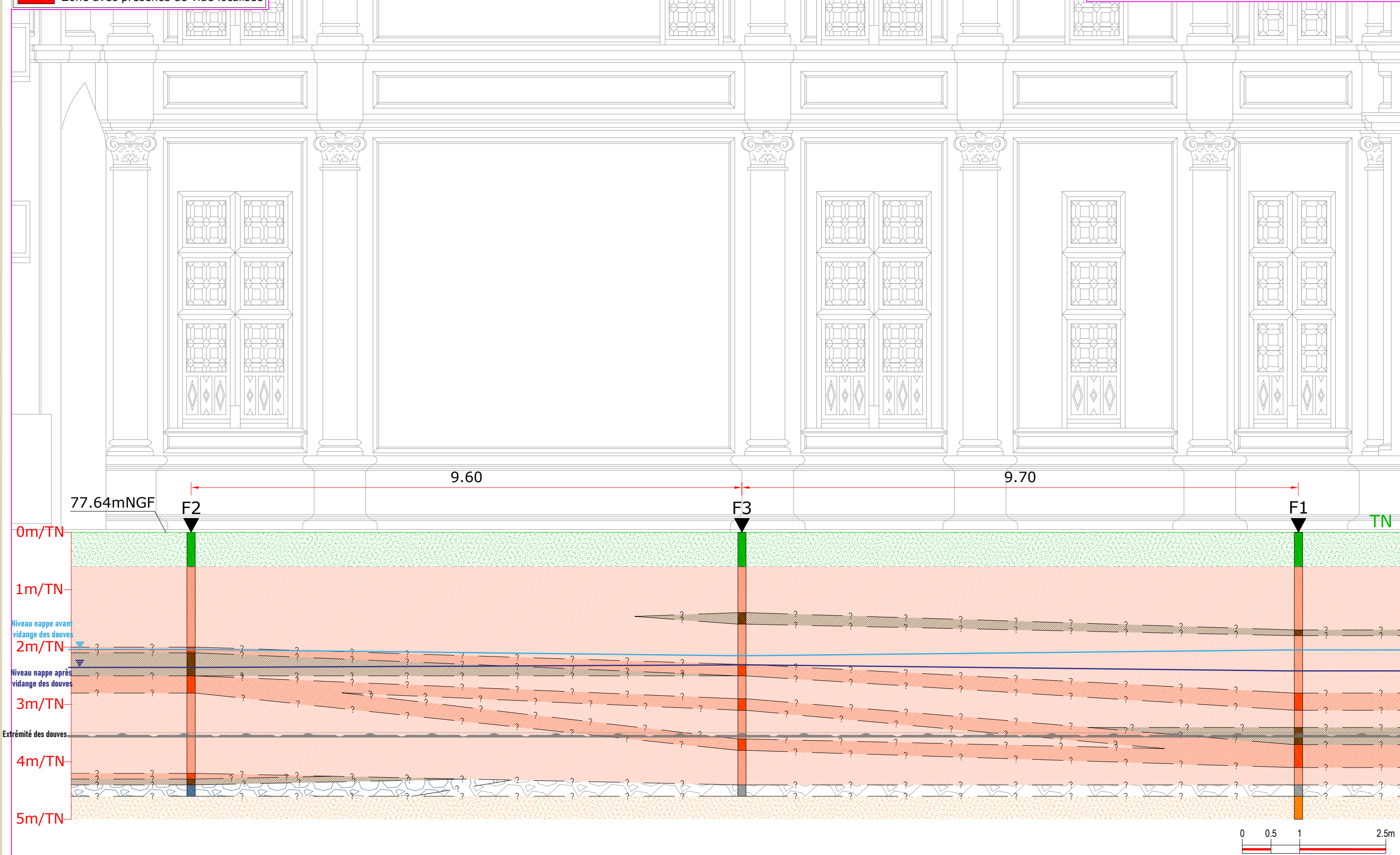
- Non visible sur OPTV
- Liant bon état
- Liant altéré
- Liant très altéré
- Zone avec présence de vide localisée



Domaine national de Chambord Aile François 1er  
CHambord (41)

**Dégradation du mortier (OPTV)**  
diagnostic geotechnique du radier de fondation


DOSSIER N°	PHASE	ECHELLE	DATE	PLAN n°	INDICE
24-0219 I 1	G5	1/60-A3	12/06/24	01	0





Légende:

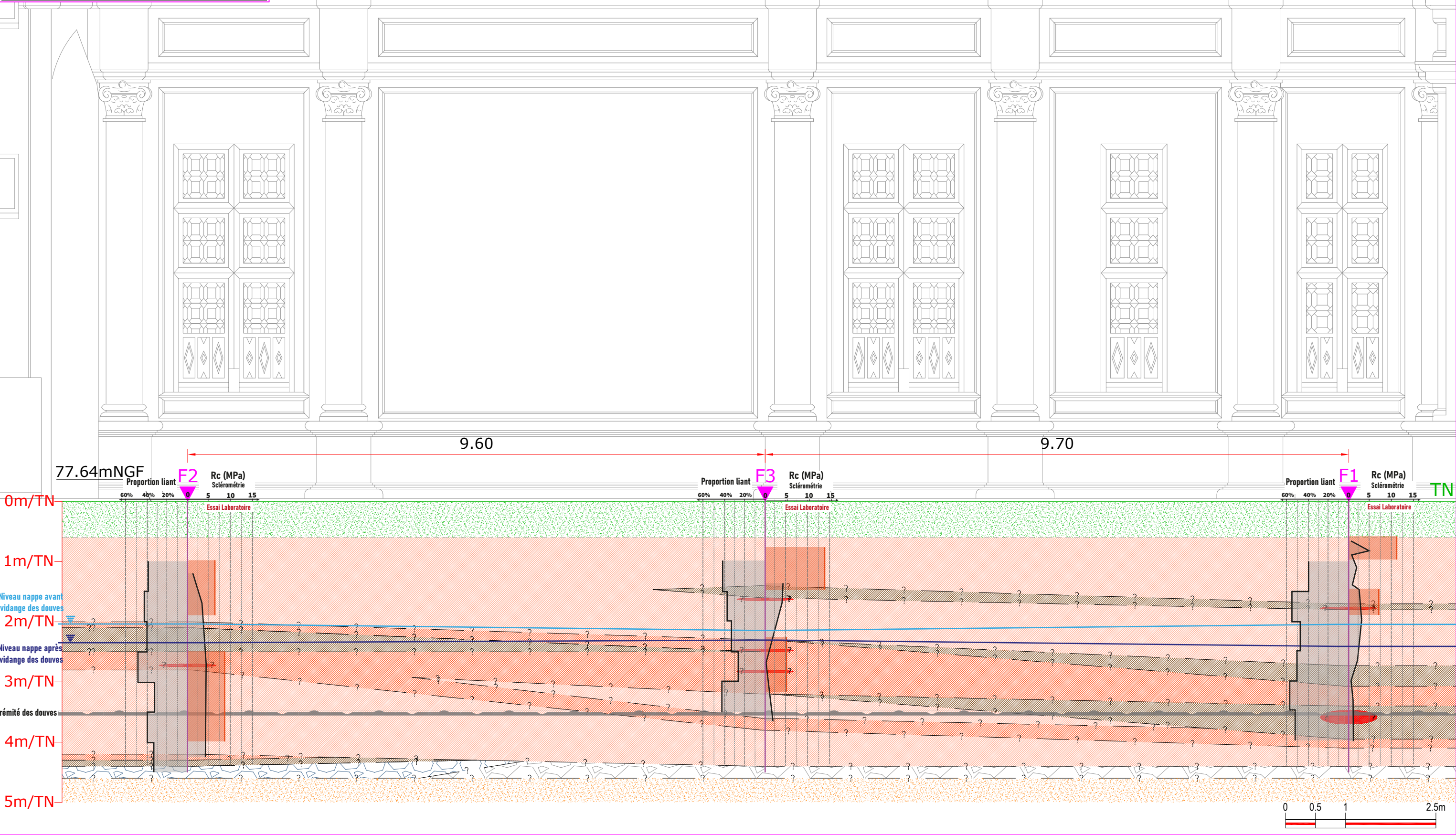
- Remblai
- Liant bon état
- Liant altéré
- Liant très altéré
- Zone avec présence de vide localisée
- Gros blocs très fissuré
- Gros blocs bon état
- Sable



Domaine national de Chambord Aile François 1er  
Chambord (41)

Synthèse dégradation du mortier (Carottage+OPTV)  
diagnostic geotechnique du radier de fondation

DOSSIER N°	PHASE	ECHELLE	DATE	PLAN n°	INDICE
24-0219 I 1	G5	1/60-A3	12/06/24	01	0



## Annexe 5

Extrait de la norme NF P 94-500 « Classification des missions type d'ingénierie géotechnique », novembre 2013



## 4.2.4 Tableaux synthétiques

Tableau 1 — Enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique

Enchaînement des missions G1 à G4	Phases de la maîtrise d'œuvre	Mission d'ingénierie géotechnique (GN) et Phase de la mission		Objectifs à atteindre pour les ouvrages géotechniques	Niveau de management des risques géotechniques attendu	Prestations d'investigations géotechniques à réaliser
Étape 1 : Étude géotechnique préalable (G1)		Étude géotechnique préalable (G1) Phase Étude de Site (ES)		Spécificités géotechniques du site	Première identification des risques présentés par le site	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
	Étude préliminaire, esquisse, APS	Étude géotechnique préalable (G1) Phase Principes Généraux de Construction (PGC)		Première adaptation des futurs ouvrages aux spécificités du site	Première identification des risques pour les futurs ouvrages	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
Étape 2 : Étude géotechnique de conception (G2)	APD/AVP	Étude géotechnique de conception (G2) Phase Avant-projet (AVP)		Définition et comparaison des solutions envisageables pour le projet	Mesures préventives pour la réduction des risques identifiés, mesures correctives pour les risques résiduels 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)****ÉTAPE 3 : ÉTUDES GÉOTECHNIQUES DE RÉALISATION (G3 et G 4, distinctes et simultanées)****ÉTUDE ET SUIVI GÉOTECHNIQUES D'EXECUTION (G3)**

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

*Phase Étude*

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

*Phase Suivi*

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

**SUPERVISION GÉOTECHNIQUE D'EXECUTION (G4)**

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

*Phase Supervision de l'étude d'exécution*

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

*Phase Supervision du suivi d'exécution*

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

**DIAGNOSTIC GÉOTECHNIQUE (G5)**

Pendant le déroulement d'un projet ou au cours de la vie d'un ouvrage, il peut être nécessaire de procéder, de façon strictement limitative, à l'étude d'un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques, dans le cadre d'une mission ponctuelle. Ce diagnostic géotechnique précise l'influence de cet ou ces éléments géotechniques sur les risques géotechniques identifiés ainsi que leurs conséquences possibles pour le projet ou l'ouvrage existant.

- Définir, après enquête documentaire, un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Étudier un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques (par exemple soutènement, causes géotechniques d'un désordre) dans le cadre de ce diagnostic, mais sans aucune implication dans la globalité du projet ou dans l'étude de l'état général de l'ouvrage existant.
- Si ce diagnostic conduit à modifier une partie du projet ou à réaliser des travaux sur l'ouvrage existant, des études géotechniques de conception et/ou d'exécution ainsi qu'un suivi et une supervision géotechniques seront réalisés ultérieurement, conformément à l'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étape 2 et/ou 3).



## **Annexe 6**

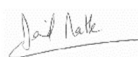
Etude INFRANEO, octobre 2022



## DIAGNOSTIC GEOTECHNIQUE SUR L'AILE FRANCOIS 1er CHATEAU DE CHAMBORD



## DIAGNOSTIC GEOTECHNIQUE Mission G5

DATE	05/10/2022	Rédacteur	Vérificateur	Approbateur
		D MATHE	E. LEPILLIET	-
AFFAIRE N°	PO22-0059			
VISA				



# SOMMAIRE

<b>Sommaire.....</b>	<b>2</b>
<b>1. Présentation .....</b>	<b>4</b>
<b>1.1 Définition de l'opération - Mission .....</b>	<b>4</b>
1.1.1 Mission.....	4
1.1.2 Intervenants.....	4
1.1.3 Documents communiqués.....	5
<b>1.2 Caractéristiques de l'étude .....</b>	<b>5</b>
<b>1.3 Description du site.....</b>	<b>6</b>
1.3.1 Etat des lieux.....	6
<b>1.4 Contexte géologique et hydrogéologique .....</b>	<b>7</b>
<b>1.5 Aléas et risques naturels .....</b>	<b>8</b>
1.5.1 Risque sismique.....	8
1.5.2 Retrait gonflement des argiles .....	8
1.5.3 Cavités souterraines .....	8
1.5.4 Remonté de nappe et risque inondation.....	9
1.5.5 Catastrophes naturelles .....	9
<b>2. RECONNAISSANCE DES SOLS .....</b>	<b>10</b>
<b>2.1 Généralités .....</b>	<b>10</b>
<b>2.2 Sondages de reconnaissance .....</b>	<b>10</b>
<b>2.3 Essais mécaniques in-situ .....</b>	<b>11</b>
<b>2.4 Essais en laboratoire .....</b>	<b>11</b>
<b>3. RESULTATS DES INVESTIGATIONS .....</b>	<b>12</b>
<b>3.1 Analyse géologique du site.....</b>	<b>12</b>
<b>3.2 Piézométrie – Niveaux d'eau - Inondabilité.....</b>	<b>12</b>
<b>3.3 Essais in-situ .....</b>	<b>13</b>
3.3.1 Essais pressiométriques.....	13
3.3.2 Carottage de fondation .....	13
<b>3.4 Essais en laboratoire .....</b>	<b>14</b>
3.4.1 Identification des sols.....	14
<b>3.5 Sismicité.....</b>	<b>14</b>
3.5.1 Risque sismique et catégorie d'ouvrage .....	14
3.5.2 Liquéfaction des sols .....	14
<b>3.6 Fondations des murs.....</b>	<b>15</b>
<b>4. SYNTHESE GEOTECHNIQUE.....</b>	<b>20</b>
<b>4.1 Synthèse et analyse géomécaniques .....</b>	<b>20</b>
4.1.1 Synthèse .....	20
4.1.2 Analyse.....	20

4.2	Paramètres de forage.....	20
4.3	Hydrogéologie .....	21
4.4	Sols sensibles au retrait - gonflement .....	21
4.5	Reconnaissance manuelle des fondations .....	21
4.6	Carottage des fondations .....	21
<b>5.</b>	<b>RECOMMANDATIONS GEOTECHNIQUES .....</b>	<b>22</b>
5.1	Textes réglementaires .....	22
5.2	Capacité portante des fondations .....	22
5.2.1	Définition des fondations.....	22
5.2.2	Règlements utilisés .....	22
5.2.3	Etats limites de résistance du sol.....	22
5.2.4	Tassements .....	23
5.3	Influence de l'eau.....	24
<b>6.</b>	<b>diagnostic .....</b>	<b>25</b>
6.1	Synthèse générale .....	25
6.2	Avis sur les causes probables des désordres .....	25
6.3	Mesures palliatives.....	26
<b>7.</b>	<b>ALEAS et RISQUES RESIDUELS .....</b>	<b>27</b>
<b>8.</b>	<b>CONDITIONS CONTRACTUELLES.....</b>	<b>27</b>

## ANNEXES :

Annexe 1 : Conditions Générales de Vente et d'exécution des prestations

Annexe 2 : Conditions Générales des Missions d'Ingénierie Géotechnique

Annexe 3 : Plan d'implantation des sondages

Annexe 4 : Coupes des sondages in situ

Annexe 5 : Essais en laboratoire

Annexe 6 : Coupes schématiques des fouilles

Annexe 7 : Feuilles de sondages BRGM

INDICE	DATE D'APPROBATION	DESCRIPTION DE L'ÉVOLUTION
0	26/10/2022	Première diffusion

# 1. PRESENTATION

## 1.1 DEFINITION DE L'OPERATION - MISSION

### 1.1.1 Mission

A la demande de **l'Agence Chatillon Architectes** et pour le compte du **DOMAINE NATIONAL DE CHAMBORD**, **INFRANEO** a reçu pour mission de réaliser un diagnostic géotechnique de l'aile François 1<sup>er</sup> (mission G5) au Château de Chambord (41).

Cette mission a permis de définir :

- le contexte géologique et hydrogéologique du site,
- identifier la nature des sols et leurs caractéristiques physiques et mécaniques,
- donner une approche des caractéristiques des fondations,
- donner des hypothèses sur les origines des désordres.

Il s'agit d'une mission de type G<sub>5</sub> phase AVP, selon la norme NF P 94-500 (Version de Novembre 2013).

Elle ne comprend pas (liste non exhaustive) :

- le dimensionnement structure des fondations (largeur, ferrailage, etc.) ;
- l'étude de stabilité des talus et l'étude des ouvrages de soutènements éventuels ;
- l'évolution dans le temps de l'hydrogéologie locale et la détermination des NPHE ;
- les études de pollutions éventuelles (sols et nappes).

Elle est par ailleurs limitée par les hypothèses du projet qui nous ont été transmises au démarrage de notre mission.

### 1.1.2 Intervenants

Au moment de notre étude, les intervenants étaient les suivants :

<b>Maitre d'Ouvrage</b>	DOMAINE NATIONAL DE CHAMBORD
<b>Maitre d'Œuvre</b>	ACMH
<b>Bureau d'étude</b>	Atelier Ergon





### 1.1.3 Documents communiqués

Pour cette étude, les documents qui nous ont été communiqués sont les suivants :

Doc	Document	Origine	Echelle	Date
1	ERG_41_CHA_CDC reconnaisances géotechniques	ACMH	-	01/2021
2	Plan d'implantation des sondages	ACMH	-	01/2021
3	Plans de recollement tranche 1 & 2	ACMH	-	-

## 1.2 CARACTERISTIQUES DE L'ETUDE

La mission fait suite à l'apparition de désordres observés sur les maçonneries de l'aile François 1<sup>er</sup> du château de Chambord. Ces désordres se manifestent par des fissures entre les murs de refend et les parements de façade.

Le but de cette étude est d'apporter des données géotechniques du sol et de ses propriétés mécaniques pour comprendre les pathologies observées. La mission géotechnique vise à évaluer la participation du facteur géotechnique dans l'avènement des désordres constatés.

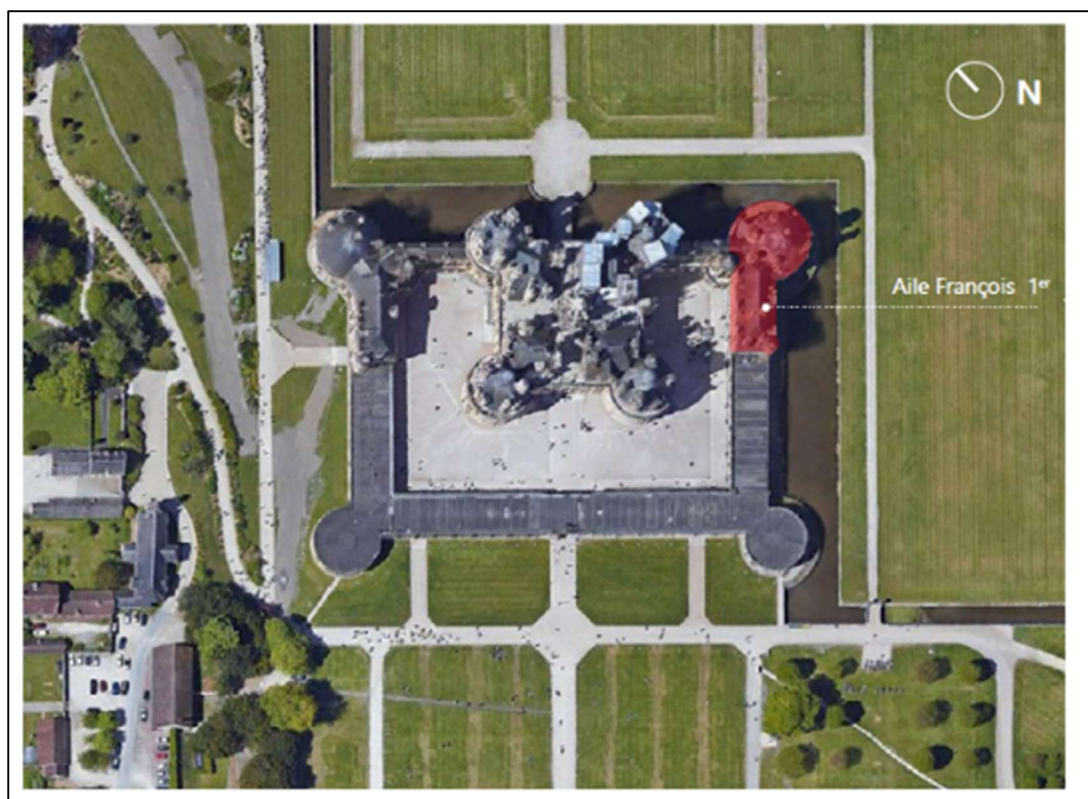


Figure 1 : Extrait du plan de masse du projet (source : ACMH)





## 1.4 CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

D'après la carte géologique de BRACIEUX (éditée par le BRGM - Bureau de Recherches Géologiques et Minières, échelle 1/50 000) et notre expérience locale, la géologie attendue est la suivante :

- FORMATIONS QUATERNAIRES - Formations alluviales récentes (Tardiglaciaire à Holocène) - Alluvions du lit majeur des rivières de Sologne : galets, graviers, sables, limons, chenaux argilo-tourbeux (Tardiglaciaire à Holocène) ;
- FORMATIONS QUATERNAIRES - Alluvions anciennes des basses terrasses - Alluvions des basses terrasses des rivières de Sologne (+ 5 à + 8 m) : graviers, sables ;
- Calcaire de Pithiviers.

Compte tenu de l'environnement du site, ces formations peuvent être surmontées par des remblais anthropiques.

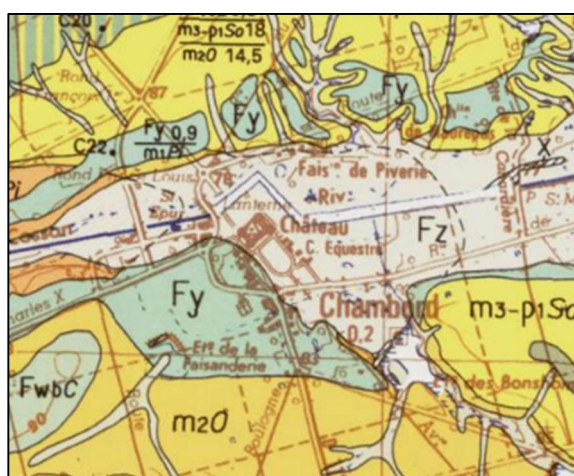


Figure 4 : Carte géologique du BRGM (Source : Géoportail et InfoTerre).

Des sondages « avec géologie vérifiée et documents (BRGM) » sont disponibles et permettent de connaître précisément la nature des faciès en place et de réaliser un recollement géologique ; ci dessous la carte des sondages vérifiés :

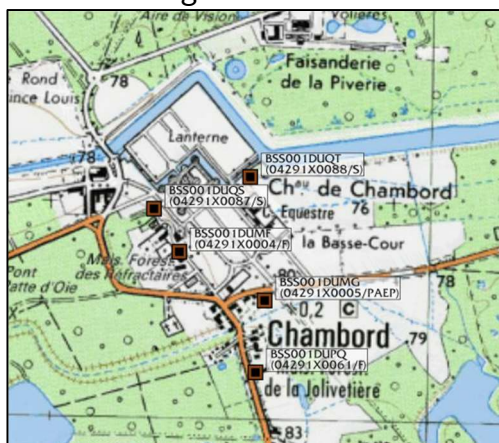


Figure 5 : Carte des sondages avec géologie vérifiée et documents BRGM (source infoterre.fr)

Nous joignons en annexe 07 les relevés des sondages référencés par le BRGM.





## 1.5 ALEAS ET RISQUES NATURELS

### 1.5.1 Risque sismique

Vis-à-vis de la prévention du risque sismique et au sens des décrets n° 2010-1254 et 2010-1255 du 22 octobre 2010, la zone d'implantation du projet se situe en zone 1, soit un aléa très faible.

### 1.5.2 Retrait gonflement des argiles

Vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement des argiles, le site se trouve en zone d'aléa faible selon la carte d'aléa consultable sur le site [www.georisques.gouv.fr](http://www.georisques.gouv.fr).

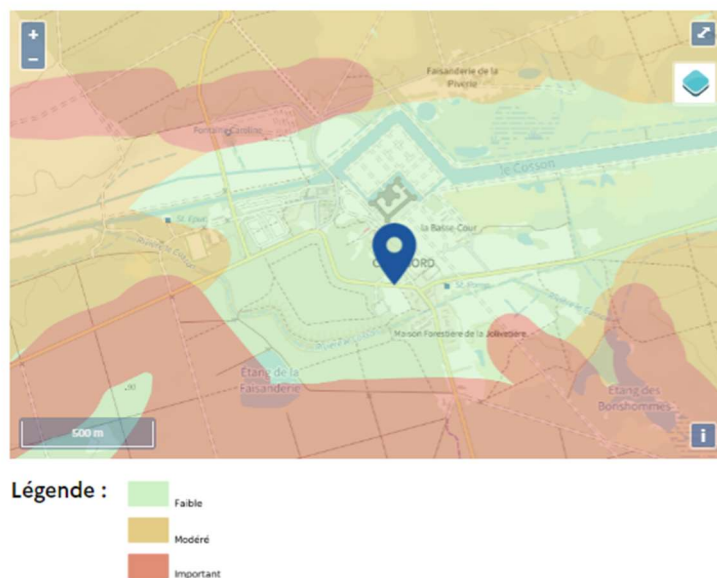


Figure 6 : Carte d'aléa des argiles (source georisques.gouv.fr)

### 1.5.3 Cavités souterraines

Les cavités souterraines reconnues sont des ouvrages civils au droit du château :

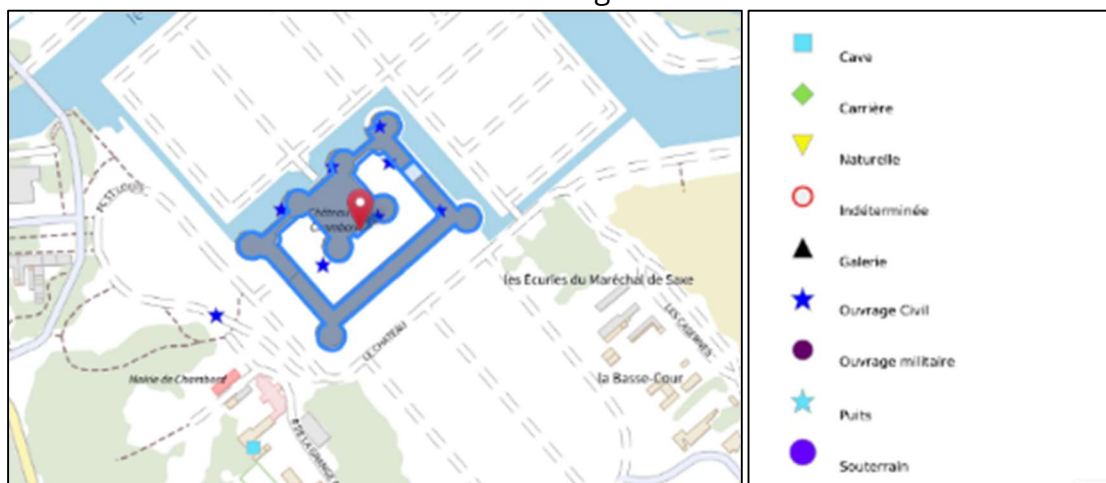


Figure 7 : Carte des cavités souterraines – ouvrages génie civil (source georisques.gouv.fr)

Cependant, il conviendra au MOE de s'informer sur l'existence d'un plan de recensement officiel et de prendre le cas échéant les dispositions adéquates. **INFRANEO** reste à la disposition du client sur ce point particulier.





### 1.5.4 Remonté de nappe et risque inondation

Vis-à-vis du phénomène de remontées des nappes, le site se trouve en zone d'enveloppe approchée d'inondation potentielle, et en zone potentiellement sujette aux remontées de nappe selon la carte consultable sur le site [www.georisques.gouv.fr](http://www.georisques.gouv.fr).

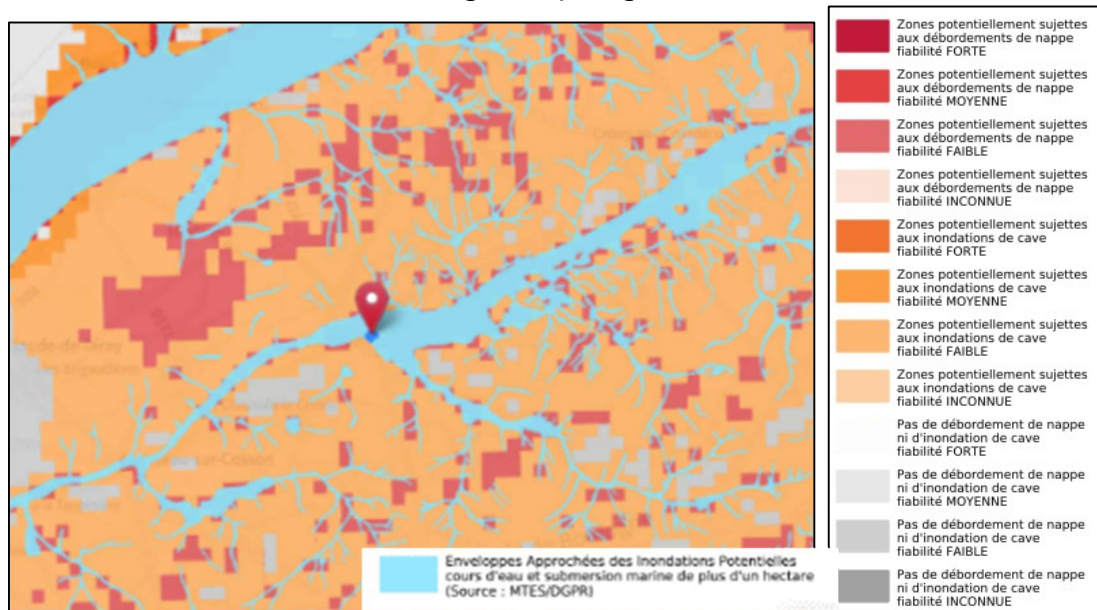


Figure 8 : Carte de phénomène de remontées de nappe (source [georisques.gouv.fr](http://georisques.gouv.fr))

### 1.5.5 Catastrophes naturelles

D'après les données consultables sur le site officiel de la prévention des risques majeurs, [www.georisques.gouv.fr](http://www.georisques.gouv.fr), la commune de Chambord fait l'objet de :

Feu de forêt  
Inondation  
Par remontées de nappes naturelles  
Par ruissellement et coulée de boue  
Par une crue à débordement lent de cours d'eau  
Mouvement de terrain  
Tassements différentiels

D'après la même source d'informations, la commune d'Ingrandes a fait l'objet des arrêtés de reconnaissance de catastrophes naturelles suivants :

#### Arrêtés portant reconnaissance de catastrophes naturelles sur la commune

Inondations et/ou Coulées de Boue : 2

Code national CATNAT	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le Journal Officiel du
INTE1615488A	28/05/2016	04/06/2016	08/06/2016	09/06/2016
INTE9900627A	25/12/1999	29/12/1999	29/12/1999	30/12/1999

Source : CCR

Mouvement de Terrain : 1

Code national CATNAT	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le Journal Officiel du
INTE9900627A	25/12/1999	29/12/1999	29/12/1999	30/12/1999

Source : CCR

## 2. RECONNAISSANCE DES SOLS

### 2.1 GENERALITES

Les sondages et essais réalisés in situ sont présentés dans les tableaux suivants. Nos investigations in situ se sont déroulées en Septembre et Octobre 2022.

Les sondages ont été réalisés avec une machine de marque EMCI 4.5. Les fouilles ont été réalisées avec une pelle mécanique. La cote topographique des sondages a été extrapolée d'après les plans de recollement fournis. Les coupes de sondages ont été établies à partir du logiciel GEO-LOG4.

### 2.2 SONDAGES DE RECONNAISSANCE

Les sondages de reconnaissance suivants ont été réalisés :

Type de sondage*	N° de sondage	Profondeur atteinte (m/TN actuel)**	Cote extrapolée	Commentaire
Sondage destructif paramétré au tricône de Ø63 mm	S1	15.1	78.65	Arrêt
	S2	15.0	77.60	Arrêt
Fouille pour reconnaissance de fondation (pelle et manuelle)	F1	2.1	78.65	Arrêt
	F2	2.0	78.65	Arrêt
	F3	1.8	77.60	Arrêt
	F4, F4 bis	1.0 / 1.0		Arrêt
Sondage carotté rotatif Ø 116 mm dans les fondations existantes	SC1	6.0	78.65	Arrêt
	SC2	6.0	78.65	Arrêt
	SC3	6.3	77.6	Arrêt

*\*sondages implantés en tenant compte des conditions d'accès les jours de notre intervention et en fonction de la précision des plans qui nous ont été remis pour la campagne de reconnaissance géotechnique.*

*\*\*par rapport au niveau du sol les jours de notre intervention*

**Il est indiqué sur les coupes de forages destructifs paramétrés, les éléments suivants :**

- coupe approximative des sols (les forages étant du type destructif, l'interprétation a été faite uniquement d'après l'examen des cuttings et des paramètres de forages) ;
- diagraphie des paramètres enregistrés :
  - VA : vitesse instantanée d'avancement (m/h) ;
  - PO : pression appliquée sur l'outil de forage (bar) ;
  - PI : pression d'injection (bar) ;
  - CR : couple de rotation (bar) ;

Nota : Les feuilles de sondages peuvent également contenir des informations complémentaires dont les niveaux d'eau éventuels, les pertes de fluide d'injection, incident de forage, etc.



Il est indiqué sur les coupes de sondages carottés, les éléments suivants :

- coupe des sols ;
- niveau d'eau ;
- date de prélèvement ;
- outil de forage ;
- tubage de forage ;
- observations de forage.

Les photographies des caisses et des prélèvements de carottes intactes de sols conservés sont fournies à la suite des coupes de sondages.

Il est indiqué sur les relevés des fouilles sur fondation, les éléments suivants :

- coupe du sol ;
- dimensions des fondations existantes reconnues sous forme d'un schéma illustré d'une photographie.

## 2.3 ESSAIS MECANQUES IN-SITU

En complément, les essais in situ suivants ont été réalisés :

Type d'essai mécanique in situ	N° de sondage	Nombre d'essais / Profondeur atteinte (m)
Essai pressiométrique - norme NF EN 22476-4	S1	14
	S2	14

Essais pressiométriques :

Les résultats sont portés sur les coupes de forage, avec pour chaque essai :

- module pressiométrique  $E_M$  (MPa) ;
- pression limite nette  $pl^*$  (MPa) ;
- pression de fluage nette  $pf^*$  (MPa) ;
- rapport  $E_M/pl^*$ .

## 2.4 ESSAIS EN LABORATOIRE

Les essais en laboratoire suivants ont été réalisés :

Identification des sols	Sondages	Nombre	Norme
Teneur en eau pondérale W	SC1, SC2, SC3	6	NF P 94-050
Masse volumique		6	NF P 94-053
Analyse granulométrique par tamisage		6	NF P 94-056 (NF EN ISO 17892-4)
Valeur au bleu du sol (VBS)		6	NF P 94-068
Classification des sols (GTR 2000)		6	NF P 11-300



# 3. RESULTATS DES INVESTIGATIONS

## 3.1 ANALYSE GEOLOGIQUE DU SITE

L'ensemble des résultats permet de dresser la coupe géologique schématique ci-après :

- HR / **des remblais, sols remaniés** de nature graveleux, limoneux et argileux rencontré sur une épaisseur approximative de l'ordre de 1.0 à 1.7 m environ.
- H1 / une **argile vasarde** de couleurs marron, grisâtre, reconnus jusqu'à 4.0 m (extérieur du château) à 7.0 m (intérieur de la cour) de profondeur par rapport au niveau du terrain actuel. Cette formation correspond aux alluvions indiquées sur la carte géologique.
- H2 / des **calcaires sableux** reconnus jusqu'à 12.2 / 12.5 m de profondeur. Cette formation correspondrait au toit des Calcaires de Pithiviers.
- H3 / une **marne légèrement sableuse** jusqu'à la fin de nos sondages, soit 15 m de profondeur environ par rapport au niveau du terrain naturel.

### Remarques :

L'épaisseur des différents horizons peut varier notablement d'un point à un autre du terrain étudié ;

Il est toujours possible, dans un tel environnement, de rencontrer des couches de remblais qui n'auraient pas été mises en évidence dans nos sondages ;

Le type de sondage semi-destructif ne permet pas de caractériser objectivement la nature des sols en place et notamment de donner une indication sur les dimensions de blocs éventuels ;

Rappelons que les coupes de sols établies sur la base des sondages semi-destructifs ne sont qu'indicatives en raison de leur mode d'exécution, et que seuls les sondages carottés (du sol) permettent d'établir une coupe lithologique précise.

## 3.2 PIEZOMETRIE – NIVEAUX D'EAU - INONDABILITE

Des niveaux d'eau ont été relevés vers 2.4 m de profondeur au droit des sondages pressiométriques à l'issue de leur réalisation en septembre 2022.

Dans le SC1, le niveau d'eau n'a pas été relevé ; dans le SC2 il est à 0.96 m et à 1.96 m dans le SC3/ terrain actuel.

Les forages ayant été réalisés avec injection d'eau, les niveaux d'eau relevés ne sont pas stabilisés et sont influencés par les quantités d'eau injectées.

Ces relevés ayant un caractère ponctuel et instantané, ils ne permettent pas de statuer sur le véritable niveau d'eau, ni de préciser l'amplitude des variations du niveau d'eau qui peut remonter fortement en période pluvieuse et suivant le marnage.

Toutefois, on ne peut exclure la présence de circulations anarchiques notamment dans les formations superficielles. Elles pourront être plus ou moins prononcées en fonction des conditions climatiques.

Le niveau des P.H.E (Plus Hautes Eaux) peut être déterminé par la réalisation d'une étude hydrogéologique spécifique. Cette étude pourra être confiée à un bureau d'étude spécialisé.

Rappelons que le château est construit dans le lit de la Cosson.





### 3.3 ESSAIS IN-SITU

#### 3.3.1 Essais pressiométriques

Le tableau qui suit résume, pour chaque faciès testé, les principaux résultats des essais pressiométriques reportés en annexe n°04.

Il convient de rappeler que des variations horizontales et/ou verticales inhérentes au passage d'un faciès à un autre sont toujours possibles mais difficiles à détecter en sondage. **De ce fait, les caractéristiques gardent un caractère représentatif, mais jamais absolu.**

Horizon	Base de l'horizon (m/TN actuel)	Cote	Nombre d'essais	Pression Limite nette $p_l^*$ (MPa)				Module Pressiométrique $E_M$ (MPa)		
				Min	Max	Moy <sub>ar</sub>	$\sigma$	Min	Max	Moy <sub>ha</sub>
HR	# 0.9/1.7	76.6/76.9	2	0.23	2.27	1.25	1.02	3.4	27.8	6.1
H1 – Argile vasarde	4.0 / 7.0	73.6/71.6	9	0.01	0.38	0.22	0.11	0.1	7.6	0.7
H2 – Calcaire	12.2/12.5	66.45/65.1	13	0.77	3.13	1.53	0.73	7.9	41.8	15.8
H3 – Marne sableuse	> 15.0	63.6/ 62.6	4	1.02	1.71	1.38	0.25	7.1	19.2	11.3

Moy<sub>ar</sub> : Moyenne arithmétique Moy<sub>ha</sub> : Moyenne harmonique  $\sigma$  : Ecart type

#### 3.3.2 Carottage de fondation

Les carottages de fondations ont été réalisés selon le tableau suivant :

Carottage	Inclinaison °/ verticale	Carottage depuis
SC1	# 5.0	La surface
SC2	-	Le débord de la fondation
SC3	-	Le débord de la fondation

La coupe des carottages figure en annexe 04.



## 3.4 ESSAIS EN LABORATOIRE

### 3.4.1 Identification des sols

Les résultats complets des essais de laboratoire sont fournis sous forme de fiches et procès-verbaux en annexe n°05. Les principaux résultats des essais d'identification sont repris dans le tableau ci-dessous :

Sondage	Profondeur de l'échantillon (m/TN)	Nature du terrain	Résultats			
			w (%)	< 80 mm	VBS	Classe GTR
SC1	5.5	Sable graveleux gris	17.0	12.6	0.3	B5
SC2	4.5	Sable graveleux gris	34.9	20.0	0.6	B5
SC2	6.0	Sable graveleux gris	38.4	1.6	0.2	B2
SC3	4.8	Sable fin gris clair	14.9	16.1	0.2	B5
SC3	5.5	Sable gris	17.4	4.0	0.2	B1
SC3	6.3	Sable gris clair	14.6	2.9	0.1	B1

## 3.5 SISMICITE

### 3.5.1 Risque sismique et catégorie d'ouvrage

Dans le cadre du décret 2010-1254 du 22 octobre 2010 relatif à la prévention du risque sismique, et suivant le décret 2010-1255 du 22 octobre 2010 portant délimitation des zones de sismicité du territoire français, décrets qui sont entrés en application le 1er mai 2011, la commune de CHAMBORD ne se trouve pas en zone de sismicité.

### 3.5.2 Liquéfaction des sols

Compte tenu de la zone de sismicité nulle, le risque de liquéfaction peut être écarté.



### 3.6 FONDATIONS DES MURS

#### 🔪 Fouille F1 (extérieur) :

La fouille a été décalée vers le Sud de 7.2 m du coin du château où elle était initialement prévue. La fouille notée F1, descendue à 2.1 m de profondeur / TA, montre un premier débord de fondation de 0.22 m / nu du mur par 0.29 cm de haut, puis un second de 0.43 m par 1.8 m de profondeur minimum. Il s'agit d'un mur de fondations en calcaires maçonnés, taillés qui se prolonge dans le sol. Le fond de fouille du mur de fondation n'a pas été atteint. Arrêt de la fouille à 2.1 m de profondeur.

La fouille a permis de montrer la présence de remblais calcaireux de couleur beige jaune clair. Aucune venue d'eau n'a été observée dans la fouille. Nous joignons des photographies de celle-ci ci-dessous :

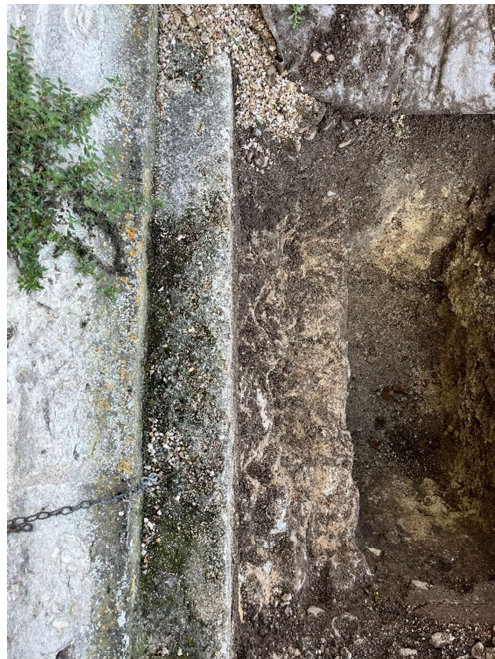




### **Fouille F2 (extérieur) :**

La fouille a été décalée de 2.0 m du coin du mur (entrée de la cuisine) où elle était initialement prévue. La fouille notée F2, descendue à 2.0 m de profondeur, montre le prolongement du mur (en pierre de taille calcaire) de 0.34 m dans le terrain actuel, puis un débord de fondation de 0.37 m / nu du mur jusqu'à 1.7 m de profondeur (arrêt de la fouille). Le fond de fouille du mur de fondation n'a pas été atteint.

La fouille a permis de montrer la présence d'un remblai limoneux en surface (10/20 cm) puis d'un remblai calcaireux de couleur beige jaune clair. Aucune venue d'eau n'a été observée dans la fouille. Nous joignons des photographies de celle-ci ci-dessous :





### 🚧 Fouille F3 (extérieur) :

La fouille notée F3, descendue à 1.8 m de profondeur, montre un premier débord de fondation de 0.44 m / façade du mur sur 0.44 m de hauteur puis un second débord de 0.54 m jusqu'à 1.8 m de profondeur. Le fond de fouille du mur de fondation n'a pas été atteint. Arrêt de la fouille à 1.8 m de profondeur.

Aucune venue d'eau n'a été observée dans la fouille. Nous joignons des photographies de celle-ci ci-dessous :



## 🔧 Fouille F4 (intérieur) :

La fouille a été réalisée dans l'angle du restaurant coté seuil de la porte du restaurant.

La fouille montre le prolongement du mur maçonné en pierres de taille calcaire de 0.21 m dans le sol sous les tomettes, puis un débord de fondations de 0.2 m / façade du mur puis le mur maçonné qui se prolonge jusqu'à 1.0 m profondeur. La fouille a été stoppée en raison d'une dalle / bloc calcaire en fond de fouille à 1.0 m de profondeur. Fin de la fouille.

La même fouille mais coté mur porteur, montre aussi le prolongement du mur dans le sol jusqu'à 0.4 m de profondeur, puis un débord de fondation de 0.16 m et le mur qui se prolonge jusqu'à 1.0 m de profondeur (dalle calcaire).

Cette dalle a été percée au perforateur et montre une épaisseur supérieure de 1.3 m.

Aucune venue d'eau n'a été observée dans la fouille. Nous joignons des photographies de celle-ci ci-dessous :







Nous rappelons que les reconnaissances sont faites de manière ponctuelle et ne peuvent présager de l'homogénéité des structures enterrées sur les linéaires concernés en rapport avec celles mises en évidence au droit des zones ouvertes lors des investigations.

Les coupes schématiques des fouilles sont en annexe n°06.

## 4. SYNTHÈSE GEOTECHNIQUE

### 4.1 SYNTHÈSE ET ANALYSE GEOMECANIKES

#### 4.1.1 Synthèse

Les caractéristiques des sols rencontrés sont présentées dans le tableau suivant :

Horizon	Base de l'horizon m/TA	Cote m	Pression Limite nette $p_l^*$ (MPa)	Module Pressiométrique $E_M$ (MPa)	Coefficient rhéologique $\alpha$
HR	2.0	76.6	-	-	-
H1 – Argile vasarde	4.0 à 7.0	71.6/73.6	0.15	2.0	1/2
H2 – Calcaire	12.5	66.4/65.1	1.0	20.0	1/2
H3 – Marne sableuse	> 15.0	< 62.6	1.0	10.0	2/3

#### 4.1.2 Analyse

- Les remblais présents uniquement en surface et de faible épaisseur, ont des propriétés mécaniques faibles et fortes.
- Les argiles sous-jacentes sont vasardes et offrent ont des propriétés mécaniques très faibles à faibles.
- Le calcaire puis la marne présentent des caractéristiques mécaniques moyennes à fortes.

### 4.2 PARAMETRES DE FORAGE

Les paramètres de forage sont enregistrés à pression constante sur l'outils (PO) pour permettre de différencier les faciès traversés.

Au droit du S1 : la vitesse d'avancement VA est très rapide dans le premier faciès jusqu'à 7.0 m environ, puis plus lente jusqu'à 12.2 m et rapide ensuite jusqu'à la fin du sondage.

Au droit du S2 : la vitesse d'avancement de l'outils dans le sol est rapide en tête jusqu'à 4.0 m puis lente jusqu'à 12.5 m et rapide ensuite jusqu'à la fin du sondage.

Les paramètres de forage corroborent la présence de 3 faciès géologiques distincts ; le premier jusqu'à 4.0 et 7.0 m ; le second jusqu'à 12.2 / 12.5 m puis le troisième au-delà de 15.0 m de profondeur (fin de sondages).





### 4.3 HYDROGEOLOGIE

La nappe phréatique a été rencontrée vers 2.4 m de profondeur /T. Actuel d'après les sondages pressiométriques. Cette nappe correspond à la Cosson

La présence de cette nappe et son battement plus particulièrement, dans un contexte de sol sableux fin, peut contribuer en partie aux désordres observés.

### 4.4 SOLS SENSIBLES AU RETRAIT - GONFLEMENT

Les sols rencontrés sur le site n'appartiennent pas à la catégorie des sols gonflants et/ou rétractables. Néanmoins, d'après le BRGM le site est classé en aléa faible concernant le phénomène de retrait / gonflement.

On notera que la profondeur de la dessiccation est une donnée très approximative au stade actuel des connaissances scientifiques.

D'après les derniers éléments de l'IFSTTAR (conclusions d'ARGIC2), ils donnent une profondeur d'encastrement de 0.6 m/niveau fini. Les fondations actuelles étant en profondeur ne sont nullement soumise à cet aléa.

### 4.5 RECONNAISSANCE MANUELLE DES FONDATIONS

Les reconnaissances de fondations ont été réalisés et stoppées jusqu'à 1.7 / 2.0 m de profondeur ; elles n'ont pas permis de reconnaître la base des fondations.

### 4.6 CAROTTAGE DES FONDATIONS

Le tableau suivant récapitule la profondeur et l'épaisseur des fondations :

Carottage	Base de la fondation m/TA	Cote de la fondation	Epaisseur de la fondation
SC1	4.35	74.3	# 3.75
SC2	4.85	73.8	# 4.5
SC3	5.25	72.3	# 4.8



# 5. RECOMMANDATIONS GEOTECHNIQUES

## 5.1 TEXTES REGLEMENTAIRES

Les textes réglementaires suivants ont été utilisés pour définir les prédimensionnements et recommandations fournis :

- ✓ Normes AFNOR en vigueur, ou notes techniques particulières existantes concernant les travaux de sondages et essais in-situ ou de laboratoire,
- ✓ AFNOR P 11-211 – DTU 13.11 Fondations superficielles et AFNOR P 11-711 - DTU 13.12 Règles pour le calcul des fondations superficielles,
- ✓ Eurocode 7 - Partie 1 – « Calcul géotechnique – Règles générales »,
- ✓ NF P 94-261 – Calcul Géotechnique – Fondations superficielles (juin 2013) / Eurocode 7

## 5.2 CAPACITE PORTANTE DES FONDATIONS

### 5.2.1 Définition des fondations

Compte-tenu des résultats de nos investigations, les fondations seraient ancrées entre 4.3 et 5.3 m de profondeur, soient dans les argiles vasardes.

### 5.2.2 Règlements utilisés

Les recommandations et justifications des prédimensionnements ont été faites conformément à la norme NF P 94-261, norme d'application française de l'Eurocode 7 pour les fondations superficielles.

### 5.2.3 Etats limites de résistance du sol

La contrainte de rupture  $q_{net}$  sous la base des fondations est donnée par la formule :

$$q_{net} = i_s \cdot i_\beta \cdot k_p \cdot p_{le}^*$$

avec :

- $i_s$  : coefficient de réduction de portance lié à l'inclinaison du chargement ( $i_s = 1$  si la charge est verticale),
- $i_\beta$  : coefficient de réduction de portance lié à la proximité d'un talus  $\beta$ , ( $i_\beta = 1$  si la fondation est suffisamment éloignée d'un talus :  $d > 8B$ ),
- $k_p$  : facteur de portance (pris égal à 0.8 en première approximation),
- $p_{le}^*$  : pression limite nette équivalente  $\approx 0.2$  MPa (selon le S1) et 0.8 MPa (S2).

Par application numérique, on obtient :

$$q_{net} = 0.16 \text{ MPa (S1) et } 0.64 \text{ MPa (S2)}$$

Les valeurs de résistance nette du terrain sous les fondations superficielles se déduisent selon la relation suivante :



$$R_{v;d} = A' \cdot q_{\text{net}} / (\gamma_{R;d;v} \cdot \gamma_{R;v})$$

avec :  $A'$  : surface effective de la base de la fondation superficielle,  
 $\gamma_{R;d;v}$  : coefficient partiel de modèle associé à la méthode de calcul utilisée pour la détermination de  $q_{\text{net}}$  (ici, il s'agit de la méthode pressiométrique),  
 $\gamma_{R;v}$  : coefficient partiel permettant le calcul de la portance.

Etat limite	Situations	$\gamma_{R;d;v}$ (spécifique à la détermination de $q_{\text{net}}$ à partir de la pression limite pressiométrique)	$\gamma_{R;v}$	$\gamma_{R;d;v} \cdot \gamma_{R;v}$
ELU	durables et transitoires	1.2	1.4	1.68
	accidentelles	1.2	1.2	1.44
ELS	quasi-permanentes	1.2	2.3	2.76
	caractéristiques	1.2	2.3	2.76

Selon de la norme NF P94-261, il faudra s'assurer que :

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

Avec  $V_d$  : et  $R_0$

$R_0$  Poids du volume de sol au-dessus de la fondation après travaux (= 0 en négligeant l'encastrement).  
 $V_d$  : descente de charge.

#### Contraintes de sol calculées :

Etat limite		S1	S2
Situations		ELS Caractéristiques	ELS Caractéristiques
Contraintes admissibles maximales $R_{v;d}/A'$ (MPa)	Calculée	0.057	0.231

Il en ressort une contrainte de sol au niveau des fondations, très faible au droit du sondage S1 (0.057 kPa # 5.7 tonnes / m<sup>2</sup>) et forte (23.1 tonnes /m<sup>2</sup>) au droit du S2. Cette différence de capacité portante peut expliquer en partie les désordres observés.

#### 5.2.4 Tassements

De ces contraintes de sol très différentes d'un sondage à l'autre, il est envisageable d'avoir des tassements plus conséquents au droit du sondage S1 (pluricentimétriques) et relativement faible coté S2 (infracentimétrique).



Cependant, depuis la construction un phénomène de consolidation s'est produit dans le sol et le sol sableux est de nature à se consolider assez facilement. Cette consolidation sera d'autant plus longue avec de l'eau et inversement sans eau.

### 5.3 INFLUENCE DE L'EAU

Le château est bordé par la Cosson et se situe dans son lit.

L'eau peut influencer le comportement des sols, en particulier les argiles et la cohésion des sables sous-jacents et donc affecter les fondations.

Le passage d'un courant d'eau ou la modification d'une circulation peut entraîner une variation de la cohésion des sables, voire même le déplacement de ceux-ci (courant fort ou dépression ponctuelle).

Selon la saisonnalité et les modifications climatiques de ces derniers mois / années (sécheresse) l'eau se faisant rare, les sables peuvent se mouvoir et se reconsolider fonction du niveau de la nappe.

Une remontée de la nappe remettrait en charge les fondations (après déjaugage) et influencer le comportement des fondations / maçonneries en place. La contrainte exercée par les terrains immergés ou déjàugés n'est pas la même.

Afin d'insensibiliser les fondations à de tels phénomènes, il conviendrait de les descendre une profondeur telle qu'elles soient inférieures au niveau bas de la nappe (étude hydraulique).

Un renforcement sous-jacent des fondations pourrait convenir sous réserve d'une étude dans ce sens et d'une justification par un Bet Structure / MOE.





# 6. DIAGNOSTIC

## 6.1 SYNTHÈSE GÉNÉRALE

De l'analyse des éléments précédents, il ressort les points principaux ci-après ;

- Les désordres affectent l'aile François 1<sup>er</sup> du château de Chambord,
- Le château se situe dans le lit de la Cosson et ses façades Nord et Est sont bordées par le Cosson. Les sondages pressiométriques montrent un niveau d'eau vers 2.4 m de profondeur / terrain actuel.
- Les sondages de reconnaissance de fondations n'ont pas permis de reconnaître la base des fondations ; selon les dires, elles descendraient aux environs de 4.0 / 5.0 m de profondeur.
- Les sondages carottés de fondations ont permis d'approcher une profondeur de fondation de l'ordre de 4.3 à 5.3 m de profondeur / terrain actuel.
- Les sondages pressiométriques et les paramètres de forage mettent en évidence la présence de sables vasards, lâches jusqu'à 8.0 m (S1) et 5.0 m (S2), puis des tuffeaux / calcaires sablonneux jusqu'à 12.2 / 12.5 m et des marnes légèrement sableuses jusqu'à 15.0 m de profondeur.
- Les identifications GTR des matériaux prélevés sous les fondations montrent la présence de sols sableux.
- Le site est dans une zone d'aléa retrait-gonflement à risque faible des faciès argileux.

## 6.2 AVIS SUR LES CAUSES PROBABLES DES DÉSORDRES

Les désordres observés semblent trouver leur origine dans la combinaison des facteurs suivants :

- Les propriétés mécaniques des sols sous les fondations sont différentes côté cour et côté Cosson ; très faibles sur 2 à 3 m au droit de S1 et moyennes à fortes au droit de S2. Cette différence de propriétés mécaniques est de nature à expliquer les tassements différentiels observés.
- L'eau présente à faible profondeur et selon la saisonnalité et les aléas climatiques de ces derniers mois / années impacte le comportement mécanique des sols vasards et des sables sous les fondations. Un phénomène de déjaugage et de réhydratation des sols peut participer à l'échelle locale à la déstabilisation des fondations.



## 6.3 MESURES PALLIATIVES

En première approche, il peut être proposé :

- de réaliser un suivi piézométrique de la nappe sur une année minimum,
- d'instrumenter les zones affectées par les désordres à l'aide de capteurs et de mesures de déplacements (fissuromètres...) ; d'étudier s'il y a une corrélation avec le battement de la nappe du Cosson et les fissures,
- de vérifier la différence des propriétés mécaniques coté cour et coté Cosson. Une zone aux propriétés mécaniques moyennes à fortes n'entraînera pas de tassements tandis qu'une zone meuble (aux propriétés mécaniques faibles) aura tendance à tasser.
- dans le cas d'un renforcement de sol par injection de résine expansive sous les fondations et pour permettre de densifier le sol ; se rapprocher d'une entreprise spécialisée pour s'assurer du protocole et de l'étude à mener (investigations complémentaires).



## 7. ALEAS ET RISQUES RESIDUELS

La présente étude s'inscrit dans le cadre d'un diagnostic géotechnique (mission G5).

Toute anomalie (indice de cavité, présence des remblais, d'anciens vestiges, etc.) devra être signalée à **INFRANEO** pour éventuelles adaptations ou missions de diagnostic supplémentaires.

De manière générale, des contrôles sont préconisés sur tous les chantiers en phase travaux (fond de fouille, remblayage) ; ces contrôles s'intégreront dans le cadre du suivi de chantier (mission G3 ou G4).

## 8. CONDITIONS CONTRACTUELLES

Le présent rapport et ses annexes constituent un tout indissociable. La mauvaise utilisation qui pourrait être faite suite à une communication ou reproduction partielle ne saurait engager **INFRANEO**.

Des modifications dans l'implantation, la conception ou l'importance de la construction ainsi que dans les hypothèses prises en compte et en particulier dans les indications de la partie "*Présentation*" du présent rapport peuvent conduire à des remises en cause des prescriptions. Une nouvelle mission devra alors être confiée à **INFRANEO** afin de réadapter ces conclusions ou de valider par écrit le nouveau projet.

De même, des éléments nouveaux mis en évidence lors de l'exécution des fondations et n'ayant pu être détectés au cours des reconnaissances de sol (exemple : hétérogénéité localisée, venues d'eau, etc.) peuvent rendre caduques certaines des recommandations figurant dans le rapport.

4 Les reconnaissances de sol procèdent par sondages ponctuels, les résultats ne sont pas rigoureusement extrapolables à l'ensemble du site. Il persiste des aléas (exemple : hétérogénéité locale) qui peuvent entraîner des adaptations tant de la conception que de l'exécution qui ne sauraient être à la charge du géotechnicien.

Ce rapport vient clôturer la mission G2 PRO qui nous a été confiée pour cette affaire.

Nous attirons l'attention du Maître d'Ouvrage sur la nécessité de réaliser les missions successives G2 DCE/ACT, G3 (à la charge de l'entrepreneur) et G4 dans l'enchaînement prévu par la norme NF P 94-500.

**INFRANEO** reste entièrement à la disposition du Maître d'Ouvrage pour la réalisation de ces missions en phase de conception puis d'exécution.



# ANNEXES





# **ANNEXE 1 :**

## **CONDITIONS GENERALES DE VENTE ET D'EXECUTION DES PRESTATIONS**



## 1. DEVIS

Sauf indications contraires, nos devis ne nous engagent que pendant la période de 2 mois qui suit la date de leur établissement. Dans le cas de devis à prix forfaitaire, les prix unitaires et les quantités sont forfaitaires, nos prestations et fournitures étant expressément limitées aux quantités prévues au devis ; dans le cas de devis quantitatif estimatif, seuls les prix unitaires sont forfaitaires, la facturation étant établie sur la base des quantités d'essais ou d'opérations effectivement réalisées et des matériels ou matières réellement fournis.

## 2. COMMANDE

Toute demande de prestations doit faire l'objet d'une commande en bonne et due forme établie par le donneur d'ordres. En règle générale, les prestations ne seront entreprises qu'après réception de la commande qui devra comporter : a) un numéro b) la date c) la désignation des prestations d) l'identité et la qualité du signataire e) le destinataire des résultats (ou de la fourniture) f) les coordonnées complètes de facturation. Dans les cas exceptionnels, à la demande expresse du client, les prestations pourront être entreprises sans délai (procédure d'urgence) mais la demande devra être confirmée dans les 24 heures par une commande en bonne et due forme. Toute commande implique l'acceptation par le donneur d'ordres des présentes conditions générales. Aucune clause contraire même si elle figure sur les documents de commande ou les conditions générales du donneur d'ordres ne nous est opposable en l'absence d'accord écrit de notre part. Dans le cas où le donneur d'ordres et le destinataire de la facturation sont des personnes différentes, le premier est responsable, en dernier ressort, du règlement de la note d'honoraires, sauf s'il fournit préalablement à l'exécution de la commande un engagement écrit du second acceptant de régler le montant de la prestation.

## 3. ECHANTILLONS-PRODUITS-CORPS D'EPREUVES

Le donneur d'ordres doit mettre à notre disposition les échantillons, produits et corps d'épreuves nécessaires à l'exécution de la prestation, le port étant à sa charge. Nous ne sommes en aucun cas responsables de la détérioration des produits du seul fait des expérimentations qui nous sont demandées, non plus que de leur transport. Sauf demande expresse du client formulée lors de la commande, les échantillons, produits ou corps d'épreuve ne sont pas conservés après l'envoi des résultats. En cas de demande de conservation dans nos laboratoires, des frais de stockage seront facturés au client.

## 4. INTERVENTIONS HORS LABORATOIRE

En cas d'investigation sur site ou sur ouvrage, nous déclinons toute responsabilité quant aux dégâts occasionnés sur les réseaux, câbles ou canalisations dont la présence ne nous aurait pas été signalée par écrit. Les formalités éventuellement nécessaires ou les arrêts autorisant l'accès sur les sites doivent nous être signifiés au moment du devis, faute de quoi nos prix et délais seraient sujets à ajustement. Certaines interventions peuvent entraîner d'inévitables dommages notamment sur l'ouvrage ausculté et sur les sites d'intervention. Les remises en état, indemnités ou réparations correspondantes sont à la charge du donneur d'ordres.

## 5. COMMUNICATION ET UTILISATION DES RESULTATS DE NOS PRESTATIONS

Les résultats de nos prestations sont consignés dans des procès-verbaux, comptes-rendus ou rapports qui sont établis en deux exemplaires destinés au client (dont un exemplaire sous format informatique). Tout exemplaire papier supplémentaire fait l'objet d'une facturation. Ces documents sont transmis au donneur d'ordres (ou à toute personne expressément désignée à la commande) à l'exclusion de tout autre tiers, sauf accord préalable écrit du donneur d'ordres. Aucun résultat ne peut être donné, même oralement, en l'absence d'une commande en bonne et due forme. Aucune modification ou altération ne pourra être portée à ces documents après leur communication sans notre accord écrit, le double en notre possession faisant foi. La reproduction d'un document établi par ESIRIS NO n'est autorisée que sous sa forme intégrale et conforme à l'original. Toute autre forme de référence aux prestations réalisées par ESIRIS NO doit faire l'objet d'un accord préalable de notre organisme. Toute utilisation des résultats communiqués par ESIRIS NO tendant à créer une équivoque auprès de tiers pourra donner lieu à poursuites conformément aux dispositions légales et réglementaires en vigueur.

## 6. DELAIS

Les délais de nos prestations (ou livraisons) sont donnés à titre indicatif. Aucune pénalité pour retard ne peut nous être appliquée sauf stipulation contraire dûment acceptée.

## 7. RESERVE DE PROPRIETE

Les obligations contractuelles réciproques sont remplies dès lors que les résultats ont été communiqués au client (ou que le matériel lui a été livré) et que le client a versé intégralement le prix des prestations (ou des fournitures). De convention expresse, les résultats d'essais, d'études ou de contrôles restent la propriété d'ESIRIS NO tant que le client n'a pas payé le prix convenu. Le défaut de paiement interdit tout transfert de propriété à des tiers et, à partir de la date d'échéance, rend abusive toute exploitation technique ou commerciale, qu'elle soit le fait du client ou de tiers. En cas de fourniture de matériel, celui-ci reste la propriété exclusive d'ESIRIS NO, quel que soit le détenteur, jusqu'au complet règlement de la facture par le client (loi 80 395 du 12.05.1980).

## 8. PROPRIETE INDUSTRIELLE

Lorsque des essais, études, recherches menées par ESIRIS NO conduisent à des inventions, les modalités de leur propriété et de la concession des licences correspondantes sont obligatoirement réglées par un contrat spécifique négocié à cet effet. Les spécifications et informations techniques, modes opératoires, notes et programmes de calcul, procédés, appartenant en propre à ESIRIS NO et issus des travaux, essais, recherches et développements effectués par ESIRIS NO, constituent son savoir-faire et doivent toujours être considérés par la personne à laquelle ils sont communiqués, à l'occasion d'un devis ou d'une consultation, comme strictement confidentiels et couverts par le secret. Le donneur d'ordres de ESIRIS NO s'interdit formellement toute reproduction et/ou communication non autorisées par écrit à des tiers, tant par lui-même, que par ses préposés ou toute personne liée avec lui par contrat.

## 9. RESPONSABILITES

ESIRIS NO assume, outre ses obligations contractuelles, la responsabilité civile et professionnelle de droit commun relative à ses prestations ainsi que, le cas échéant, la responsabilité des constructeurs édictée par les articles 1792 et 2270 du Code Civil. Il garantit que ses interventions sont conformes aux spécifications techniques en usage et sont réalisées suivant les règles de l'art. Sa responsabilité est celle d'un prestataire de services intellectuels assujéti à une obligation de moyens. De convention expresse la responsabilité d'ESIRIS NO est soumise aux limitations suivantes :

A) ESIRIS NO ne peut être rendu responsable des modifications apportées aux solutions qu'il a préconisées que dans la mesure où il aurait donné par écrit son accord sur lesdites modifications. Certaines conclusions et prescriptions de ses rapports d'étude peuvent se trouver modifiées en cas de changements dans l'implantation, la conception ou l'importance des ouvrages par rapport aux données de l'étude.

B) la responsabilité d' ESIRIS NO ne peut être retenue que dans les limites de la mission qui lui a été confiée; les résultats se rapportant à des essais, études ou contrôles ponctuels ne peuvent être extrapolés à l'ensemble d'un ouvrage (voire à une partie d'ouvrage) ou à un matériel complexe sans un examen approfondi de la question (représentativité des échantillons, homogénéité des composants, conditions d'exploitation de l'ouvrage ou du matériel ...) qui doit faire l'objet d'une demande spécifique du client.

C) La responsabilité d'ESIRIS NO ne peut être recherchée pour des dommages résultant d'erreurs, d'omissions ou d'imprécisions dans les documents remis par le client ou par des tiers à sa demande.

D) Les dispositions des Normes AFNOR P03-001 & P03-002 (dernières éditions) non contraires aux présentes conditions générales, sont utilisées, en cas de besoin, comme documents contractuels complémentaires.

E) ESIRIS NO est garanti au titre de sa responsabilité civile et professionnelle auprès de SMA COURTAGE - 8, rue Louis Armand - CS 17201 - 75738 PARIS CEDEX 15.

Police Responsabilité Civile N°F26640J 7352 000 /002 100546/0.

## 10. CONDITIONS FINANCIERES

Tous nos prix sont établis hors taxes ; ils sont majorés des taxes en vigueur, à la charge du client. La T.V.A. est acquittée sur les encaissements. La procédure d'urgence, lorsqu'elle entraîne pour ESIRIS NO des sujétions particulières, peut donner lieu à une majoration des prix courants. Sauf stipulation contraire dûment précisée et justifiée à la commande, nos interventions sont facturées au donneur d'ordres. Les factures doivent être réglées par chèque ou virement bancaire à trente jours fin de mois de la date de facturation ou par traite acceptée à même échéance, sous déduction de l'acompte correspondant de 30 % à la commande lorsque le donneur d'ordre est un particulier, une société privée, une SCI ou assimilés.

Toute prestation dont le délai de réalisation dépasse deux mois fait obligatoirement l'objet de facturations intermédiaires et mensuelles. Toute somme non payée à l'échéance porte de plein droit intérêt à cinq fois le taux de l'intérêt légal. Lorsque le crédit du client se détériore, nous nous réservons le droit, même après exécution partielle d'une commande, d'exiger du client les garanties que nous jugeons convenables en vue de la bonne exécution des engagements pris. Le refus d'y satisfaire nous donne le droit d'annuler tout ou partie de la commande. Aucune facturation ne pourra être contestée après 30 jours après son émission. Le non paiement d'une seule facture à son échéance rend exigible de plein droit le solde dû sur toutes les autres factures majorées de tous frais de recouvrement avec un minimum de 500€ HT.

Nous attirons l'attention sur la particularité des agences ESIRIS, ces dernières sont toutes indépendantes, et donc financièrement dissociables. Les règlements, dans le cas de virement bancaire, devront donc être effectués sur le(s) compte(s) correspondant aux indications figurants au bas des factures émises.

## 11. ATTRIBUTION DE JURIDICTION

Dans toute contestation d'ordre contractuel se rapportant aux prestations effectuées en France, le Tribunal d'EVRY sera seul compétent.

Les contestations d'ordre contractuel concernant les prestations effectuées à l'étranger seront tranchées suivant le règlement de conciliation et d'arbitrage de la Chambre de Commerce Internationale par un ou plusieurs arbitres nommés conformément à ce règlement ; l'arbitrage aura lieu à Paris.



# **ANNEXE 2 :**

## **CONDITIONS GENERALES DES MISSIONS D'INGENIERIE GEOTECHNIQUE**



## 1. Cadre de la mission

Par référence à la norme NF P 94-500 sur les missions d'ingénierie géotechnique (en particulier tableaux 1 et 2 ci-après joints à toute offre et à tout rapport), il appartient au maître d'ouvrage et à son maître d'œuvre de veiller à ce que toutes les missions d'ingénierie géotechnique nécessaires à la conception puis à l'exécution de l'ouvrage soient engagées avec les moyens opportuns et confiées à des hommes de l'Art. L'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique suit la succession des phases d'élaboration du projet, chacune de ces missions ne couvrant qu'un domaine spécifique de la conception ou de l'exécution. En particulier :

- ↳ Les missions d'étude géotechnique préalable (G1), d'étude géotechnique de conception (G2), d'étude et suivi géotechniques d'exécution (G3), de supervision géotechnique d'exécution (G4) sont réalisées dans l'ordre successif,
- ↳ Exceptionnellement, une mission confiée à notre société peut ne contenir qu'une partie des prestations décrites dans la mission type correspondante après accord explicite, le client confiant obligatoirement le complément de la mission à un autre prestataire spécialisé en ingénierie géotechnique,
- ↳ L'exécution d'investigations géotechniques engage notre société uniquement sur la conformité des travaux exécutés à ceux contractuellement commandés et sur l'exactitude des résultats qu'elle fournit,
- ↳ Toute mission d'ingénierie géotechnique n'engage notre société sur son devoir de conseil que dans le cadre strict, d'une part, des objectifs explicitement définis dans notre proposition technique sur la base de laquelle la commande et ses avenants éventuels ont été établis, d'autre part, du projet du client décrit par les documents graphiques ou plans cités dans le rapport,
- ↳ Toute mission d'étude géotechnique préalable, d'étude géotechnique de conception phase AVP / PRO ou de diagnostic géotechnique exclut tout engagement de notre société sur les quantités, coûts et délais d'exécution des futurs ouvrages géotechniques. De convention expresse, la responsabilité de notre société ne peut être engagée que dans l'hypothèse où la mission suivante d'étude géotechnique de conception phase DCE / ACT lui est confiée,
- ↳ Une mission d'étude géotechnique de conception G2 phase PRO engage notre société en tant qu'assistant technique à la maîtrise d'œuvre dans les limites du contrat fixant l'étendue de la mission et la (ou les) partie(s) d'ouvrage(s) concerné(s).

La responsabilité de notre société ne saurait être engagée en dehors du cadre de la mission d'ingénierie géotechnique objet du rapport. En particulier, toute modification apportée au projet ou à son environnement nécessite la réactualisation du rapport géotechnique dans le cadre d'une nouvelle mission.

## 2. Recommandations

Il est précisé que l'étude géotechnique repose sur une investigation du sol dont la maille ne permet pas de lever la totalité des aléas toujours possibles en milieu naturel. En effet, des hétérogénéités, naturelles ou du fait de l'homme, des discontinuités et des aléas d'exécution peuvent apparaître compte tenu du rapport entre le volume échantillonné ou testé et le volume sollicité par l'ouvrage, et ce d'autant plus que ces singularités éventuelles peuvent être limitées en extension. Les éléments géotechniques nouveaux mis en évidence lors de l'exécution, pouvant avoir une influence sur les conclusions du rapport, doivent immédiatement être signalés à l'ingénierie géotechnique chargée de l'étude et du suivi géotechniques d'exécution (mission G3) afin qu'elle en analyse les conséquences sur les conditions d'exécution, voire la conception de l'ouvrage géotechnique.

Si un caractère évolutif particulier a été mis en lumière (notamment glissement, érosion, dissolution, remblais évolutifs, tourbe), l'application des recommandations du rapport nécessite une validation à chaque étape suivante de la conception ou de l'exécution. En effet, un tel caractère évolutif peut remettre en cause ces recommandations notamment s'il s'écoule un laps de temps important avant leur mise en œuvre.

## 3. Rapport de la mission

Le rapport géotechnique constitue le compte rendu de la mission d'ingénierie géotechnique définie par la commande au titre de laquelle il a été établi et dont les références sont rappelées en tête. A défaut de clauses spécifiques contractuelles, la remise du rapport géotechnique fixe la fin de la mission.

Un rapport géotechnique et toutes ses annexes identifiées constituent un ensemble indissociable. Les deux exemplaires de référence en sont les deux originaux conservés : un par le client et le second par notre société. Dans ce cadre, toute autre interprétation qui pourrait être faite d'une communication ou reproduction partielle ne saurait engager la responsabilité de notre société. En particulier l'utilisation même partielle de ces résultats et conclusions par un autre maître d'ouvrage ou par un autre constructeur ou pour un autre ouvrage que celui objet de la mission confiée ne pourra en aucun cas engager la responsabilité de notre société et pourra entraîner des poursuites judiciaires.

## 4. Classification et enchaînement des missions types d'ingénierie géotechnique

Tout ouvrage est en interaction avec son environnement géotechnique. C'est pourquoi, au même titre que les autres ingénieries, l'ingénierie géotechnique est une composante de la maîtrise d'œuvre indispensable à l'étude puis à la réalisation de tout projet.

Le modèle géologique et le contexte géotechnique général d'un site, définis lors d'une mission géotechnique préliminaire, ne peuvent servir qu'à identifier des risques potentiels liés aux aléas géologiques du site. L'étude de leurs conséquences et leur réduction éventuelle ne peut être faite que lors d'une mission géotechnique au stade de la mise au point du projet : en effet, les contraintes géotechniques de site sont conditionnées par la nature de l'ouvrage et variables dans le temps, puisque les formations géologiques se comportent différemment en fonction des sollicitations auxquelles elles sont soumises (géométrie de l'ouvrage, intensité et durée des efforts, cycles climatiques, procédés de construction, phasage des travaux notamment).

L'ingénierie géotechnique doit donc être associée aux autres ingénieries, à toutes les étapes successives d'étude et de réalisation d'un projet, et ainsi contribuer à une gestion efficace des risques géologiques afin de fiabiliser le délai d'exécution, le coût réel et la qualité des ouvrages géotechniques que comporte le projet.

L'enchaînement et la définition synthétique des missions types d'ingénierie géotechnique sont donnés dans les tableaux 1 et 2. Les éléments de chaque mission sont spécifiés dans les chapitres 7 à 9. Les exigences qui y sont présentées sont à respecter pour chacune des missions, en plus des exigences générales décrites au chapitre 5 de la présente n01me. L'objectif de chaque mission, ainsi que ses limites, sont rappelés en tête de chaque chapitre. Les éléments de la prestation d'investigations géotechniques sont spécifiés au chapitre 6.





# Extrait NF P 94-500—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
	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
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	Mesures préventives pour la réduction des risques identifiés, mesures correctives	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	pour les risques résiduels avec détection au plus tôt de leur survenance	Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	DCE/ACT	Étude géotechnique de conception (G2) Phase DCE / ACT	Consultation sur le projet de base / Choix de l'entreprise et mise au point du contrat de travaux		
Étape 3 : Études géotechniques de réalisation (G3/G4)		À la charge de l'entreprise	À la charge du maître d'ouvrage		
	EXE/VISA	Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Étude (en interaction avec la phase Suivi)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision de l'étude géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision)	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)
	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)	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	Influence de cet élément géotechnique sur les risques	Fonction de l'élément géotechnique étudié



## Extrait NF P 94-500-Classification des missions d'ingénierie géotechnique

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

### ÉTAPE 1 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE PRELABLE (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 Etude de Site (ES)

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

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

#### Phase Principes Généraux de Construction (PGC)

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

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

### ÉTAPE 2 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE DE CONCEPTION (G2)

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

#### Phase Avant-projet (AVP)

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

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

#### Phase Projet (PRO)

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

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

#### Phase DCE/ACT

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

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



### ÉTAPE 3 : ÉTUDES GÉOTECHNIQUES DE RÉALISATION (G3 et G 4, distinctes et simultanées)

#### ÉTUDE ET SUIVI GÉOTECHNIQUES D'EXECUTION (G3)

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

##### Phase Étude

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

##### Phase Suivi

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

#### SUPERVISION GÉOTECHNIQUE D'EXECUTION (G4)

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

##### Phase Supervision de l'étude d'exécution

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

##### Phase Supervision du suivi d'exécution

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

#### DIAGNOSTIC GÉOTECHNIQUE (G5)

Pendant le déroulement d'un projet ou au cours de la vie d'un ouvrage, il peut être nécessaire de procéder, de façon strictement limitative, à l'étude d'un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques, dans le cadre d'une mission ponctuelle. Ce diagnostic géotechnique précise l'influence de cet ou ces éléments géotechniques sur les risques géotechniques identifiés ainsi que leurs conséquences possibles pour le projet ou l'ouvrage existant.

- Définir, après enquête documentaire, un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Étudier un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques (par exemple soutènement, causes géotechniques d'un désordre) dans le cadre de ce diagnostic, mais sans aucune implication dans la globalité du projet ou dans l'étude de l'état général de l'ouvrage existant.
- Si ce diagnostic conduit à modifier une partie du projet ou à réaliser des travaux sur l'ouvrage existant, des études géotechniques de conception et/ou d'exécution ainsi qu'un suivi et une supervision géotechniques seront réalisés ultérieurement, conformément à l'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étape 2 et/ou 3).



## **ANNEXE 3 :**

# **PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES**





## VII. LOCALISATION DES SONDAGES

### LÉGENDE

- ||||| PES 1 Profil électrique et sismique
- + S1 Sondage pressiométrique
- + F1 Fouille de reconnaissance de fondation
- C C2 Carottage de fondation



CHÂTEAU DE CHAMBORD - 41000 - LOIR-ET-CHER  
 Diagnostic structural de l'aille François 1<sup>er</sup> - Cahier des charges mission géotechnique - Janvier 2022  
 Domaine de Chambord - MOA : Agence Chatillon Architectes - ACMH : Atelier Ergon - Bureau d'études Structure MH

LOCALISATION DES SONDAGES  
 PLAN NIVEAU RDC

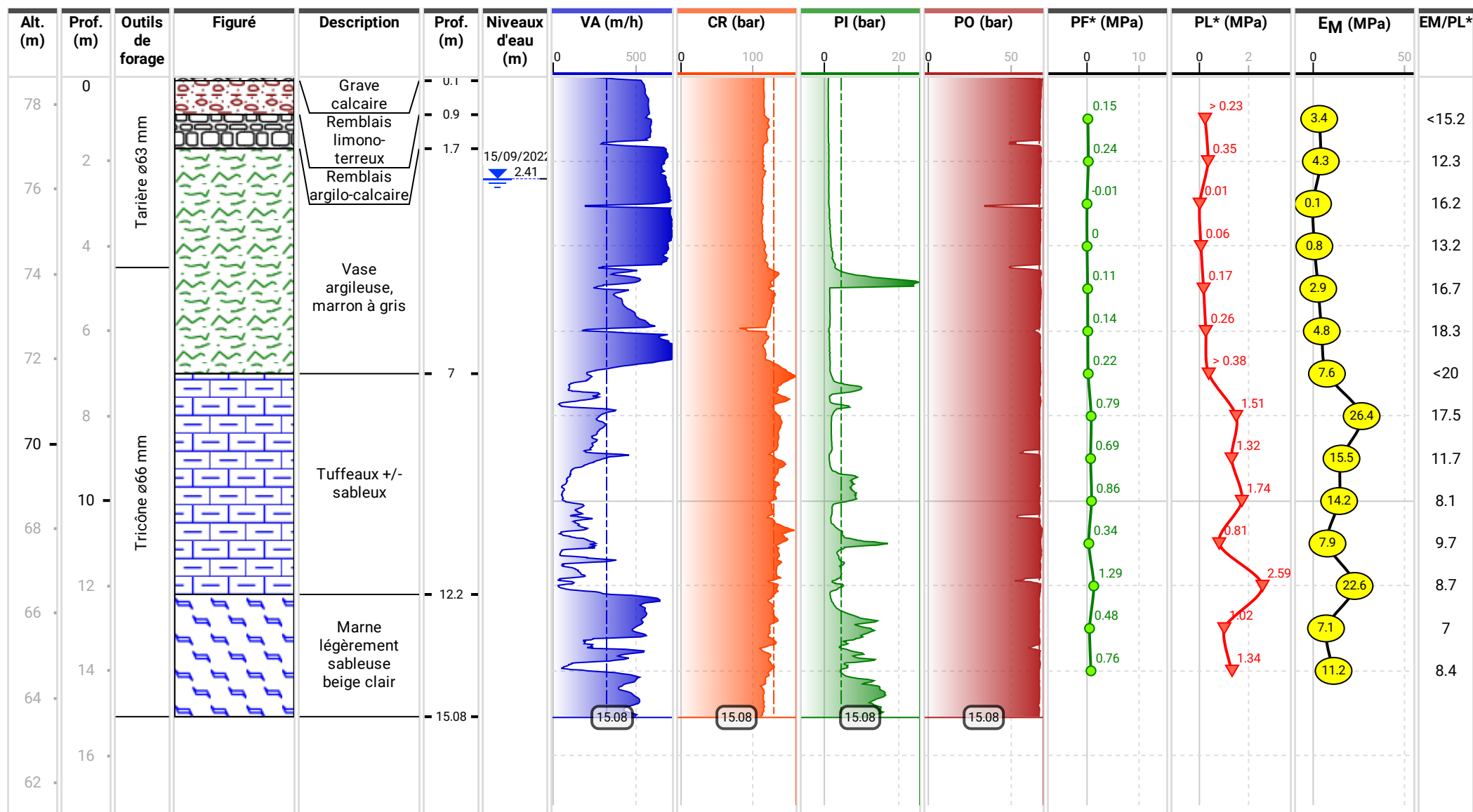
ATELIER ERGON  
 > 10

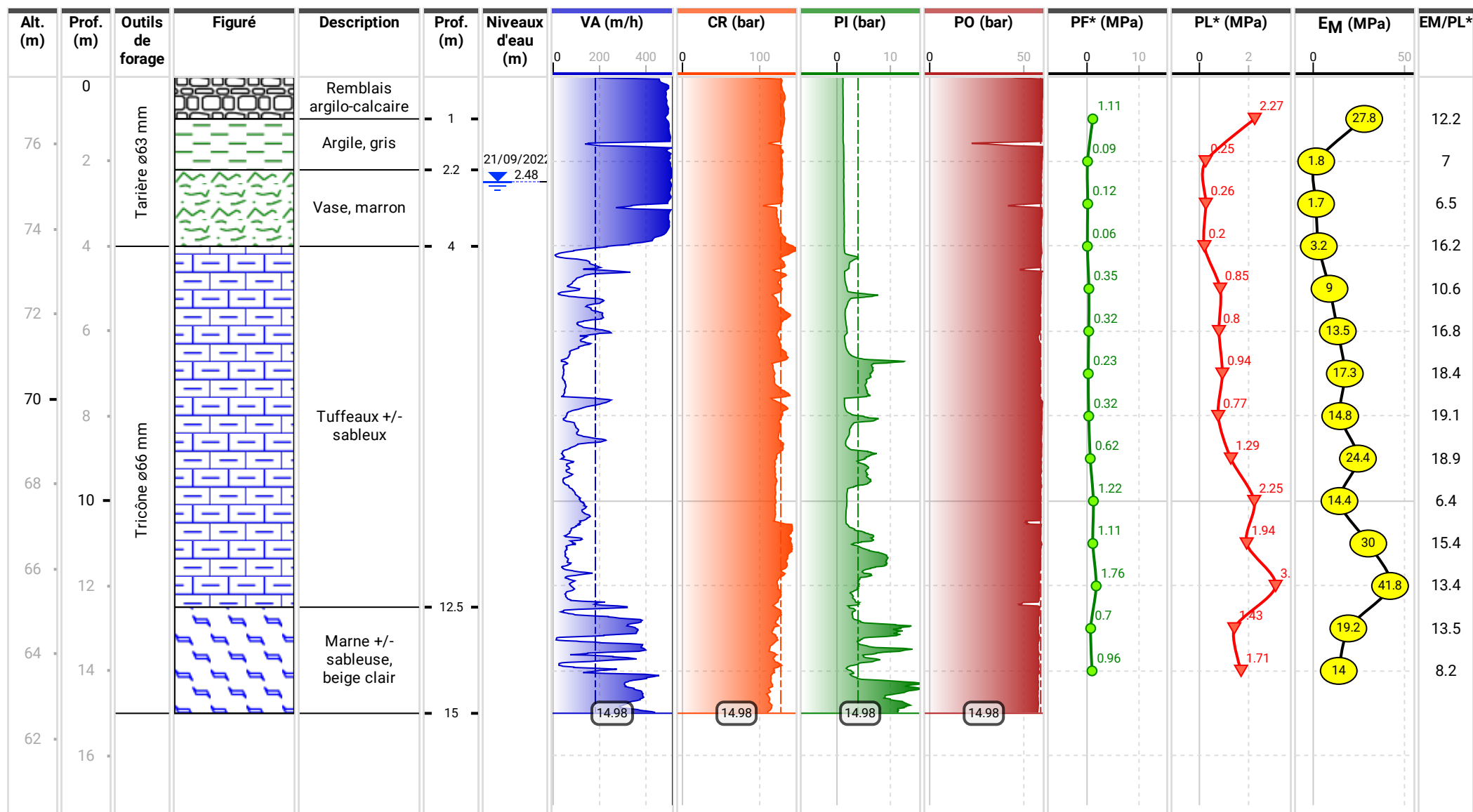


# **ANNEXE 4 :**

## **COUPES DES SONDAGES ET RESULTATS DES ESSAIS IN SITU**









SC1 - Château de Chambord - 0.0 à 3.0 m

0.0  
↓

1.0  
↓

Graves et remblais, beige

Graves ciment, gris



Graves ciment, gris

↑  
2.0

↑  
3.0

SC1 - Château de Chambord - 3.0 à 4.8 m



E.I. - Château de Chambord - 5.0 à 6.0 m

4,8

6,0

Graves sableuses, humides, gris foncé





Château de Chambord - SC2 - 0.3 à 3.3 m

0.3  
↓

1.3  
↓

Maçonnerie (grave ciment, gris)



Graves ciment, gris à beige

↑  
2.3

↑  
3.3



Château de Chambord - SC2 - 3.3 à 4.5 m

3.3  
↓

4.3  
↓

Graves ciment, gris à beige



Graves ciment, gris

↑  
4.3

↑  
4.5

Château de Chambord - EI - 4.5 à 6.0 m

4,5

6,0

Sable fin avec graves, gris à noir



Château de Chambord - SC3 - 0.3 à 3.3 m

0.3  
↓

1.3  
↓

Maçonnerie (grave ciment, gris)



Maçonnerie (grave ciment, gris)

↑  
2.3

↑  
3.3



Château de Chambord - SC3 - 3.3 à 4.8 m

3.3  
↓

4.3  
↓

Maçonnerie (grave ciment, gris)



Maçonnerie (grave ciment, gris)

↑  
4.3

↑  
4.8



Château de Chambord - EI - 4.8 à 6.3 m

4.8

6.3

Sable graveleux, gris à gris foncé



## **ANNEXE 5 : ESSAIS EN LABORATOIRE**



Dossier n° : **PO22-0059**

Affaire : **Chambord**

Client : **Château de Chambord**

Date des essais : **07/10/2022**

Opérateur : **C.Go**

Site : **Chambord**

Mode de prélt : **Carottage**

Date prélt : **NC**

### Matériau à l'essai

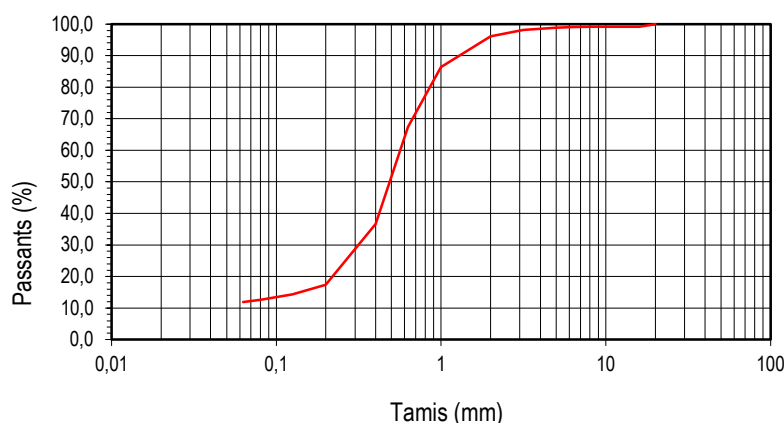
Sondage :	<b>SC1</b>
Profondeur :	<b>5,5 m</b>
Nature :	<b>Sable graveleux, gris</b>

### Granularité

Normes NF P 94-056 / NF EN 17892-4

Tamais (en mm)	Passants (en %)	Sur fraction 0/50 (en %)
<b>50</b>	<b>100,0</b>	
20	100,0	100,0
5	98,9	98,9
<b>2</b>	<b>96,1</b>	<b>96,1</b>
<b>0,08</b>	<b>12,6</b>	<b>12,6</b>

### Granulométrie sur la fraction totale



### Argilosité

	Norme	Valeur
Valeur de bleu VBs	NF P94-068	<b>0,3</b>

### Comportement mécanique

	Norme	Valeur

### Etat hydrique

	Norme	Valeur
Teneur en eau Wn (en %)	NF P94-050	<b>17,0</b>

### Etat hydrique (suite)

	Norme	Valeur

## CLASSE du SOL

**B5**

à Titre indicatif :

Sables et graves très silteux,...

Dossier n° : **PO22-0059**

Affaire : **Chambord**

Client : **Château de Chambord**

Date des essais : **07/10/2022**

Opérateur : **C.Go**

Site : **Chambord**

Mode de prélt : **Carottage**

Date prélt : **NC**

### Matériau à l'essai

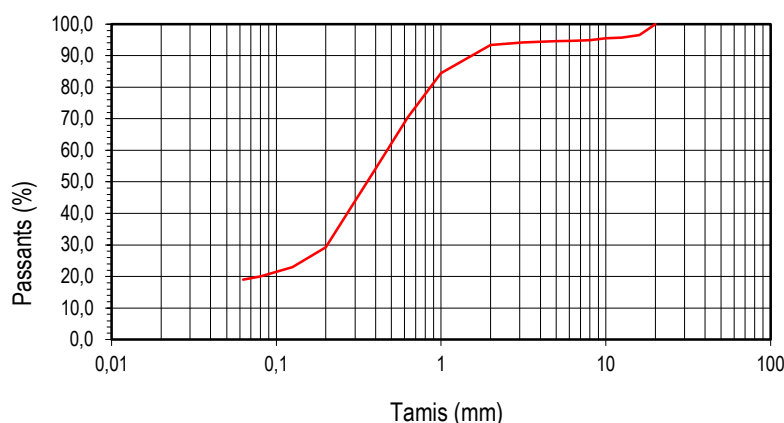
Sondage :	<b>SC2-1</b>
Profondeur :	<b>4,5 m</b>
Nature :	<b>Sable graveleux, gris</b>

### Granularité

Normes NF P 94-056 / NF EN 17892-4

Tamais (en mm)	Passants (en %)	Sur fraction 0/50 (en %)
<b>50</b>	<b>100,0</b>	
20	100,0	100,0
5	94,6	94,6
<b>2</b>	<b>93,4</b>	<b>93,4</b>
<b>0,08</b>	<b>20,0</b>	<b>20,0</b>

### Granulométrie sur la fraction totale



### Argilosité

	Norme	Valeur
Valeur de bleu VBs	NF P94-068	<b>0,6</b>

### Comportement mécanique

	Norme	Valeur

### Etat hydrique

	Norme	Valeur
Teneur en eau Wn (en %)	NF P94-050	<b>34,9</b>

### Etat hydrique (suite)

	Norme	Valeur

## CLASSE du SOL

**B5**

à Titre indicatif :

Sables et graves très silteux,...



# CLASSIFICATION DES SOLS SELON LE G.T.R 92 - FICHE D'IDENTIFICATION -

Dossier n° : **PO22-0059**

Affaire : **Chambord**

Client : **Château de Chambord**

Date des essais : **07/10/2022**

Opérateur : **C.Go**

Site : **Chambord**

Mode de prélèvement : **Carottage**

Date prélèvement : **NC**

## Matériau à l'essai

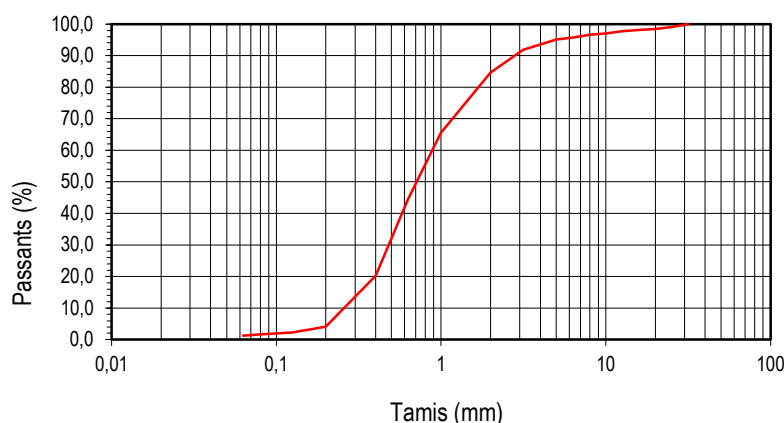
Sondage :	<b>SC2-2</b>
Profondeur :	<b>6,0 m</b>
Nature :	<b>Sable graveleux, gris</b>

## Granularité

Normes NF P 94-056 / NF EN 17892-4

Tamais (en mm)	Passants (en %)	Sur fraction 0/50 (en %)
<b>50</b>	<b>100,0</b>	
20	98,4	98,4
5	95,1	95,1
<b>2</b>	<b>84,6</b>	<b>84,6</b>
<b>0,08</b>	<b>1,6</b>	<b>1,6</b>

## Granulométrie sur la fraction totale



## Argilosité

	Norme	Valeur
Valeur de bleu VBs	NF P94-068	<b>0,2</b>

## Comportement mécanique

	Norme	Valeur

## Etat hydrique

	Norme	Valeur
Teneur en eau Wn (en %)	NF P94-050	<b>38,4</b>

## Etat hydrique (suite)

	Norme	Valeur

## CLASSE du SOL

**B2**

à Titre indicatif :

Sables argileux ou peu argileux sensibles à l'eau,...

# CLASSIFICATION DES SOLS SELON LE G.T.R 92 - FICHE D'IDENTIFICATION -

Dossier n° : **PO22-0059**

Affaire : **Chambord**

Client : **Château de Chambord**

Date des essais : **07/10/2022**

Opérateur : **C.Go**

Site : **Chambord**

Mode de prélt : **Carottage**

Date prélt : **NC**

## Matériau à l'essai

Sondage : **SC3-1**

Profondeur : **4,8 m**

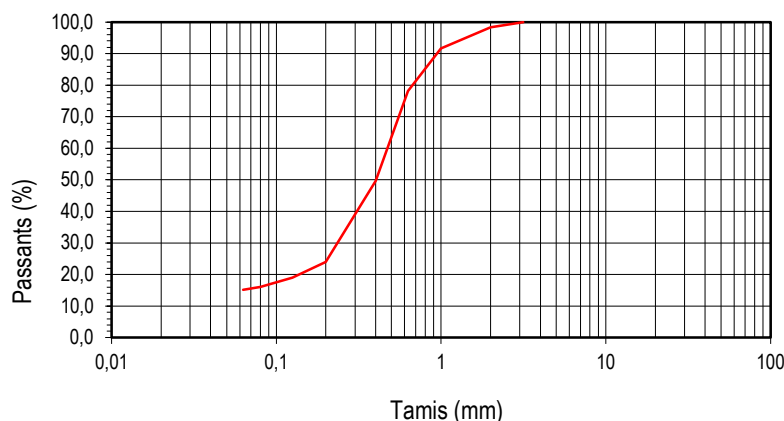
Nature : **Sable fin, gris clair**

## Granularité

Normes NF P 94-056 / NF EN 17892-4

Tamais (en mm)	Passants (en %)	Sur fraction 0/50 (en %)
<b>50</b>	<b>100,0</b>	
20	100,0	100,0
5	100,0	100,0
<b>2</b>	<b>98,4</b>	<b>98,4</b>
<b>0,08</b>	<b>16,1</b>	<b>16,1</b>

## Granulométrie sur la fraction totale



## Argilosité

	Norme	Valeur
Valeur de bleu VBs	NF P94-068	<b>0,2</b>

## Comportement mécanique

	Norme	Valeur

## Etat hydrique

	Norme	Valeur
Teneur en eau Wn (en %)	NF P94-050	<b>14,9</b>

## Etat hydrique (suite)

	Norme	Valeur

## CLASSE du SOL

**B5**

à Titre indicatif :

Sables et graves très silteux,...

Dossier n° : **PO22-0059**

Affaire : **Chambord**

Client : **Château de Chambord**

Date des essais : **07/10/2022**

Opérateur : **C.Go**

Site : **Chambord**

Mode de prélt : **Carottage**

Date prélt : **NC**

## Matériau à l'essai

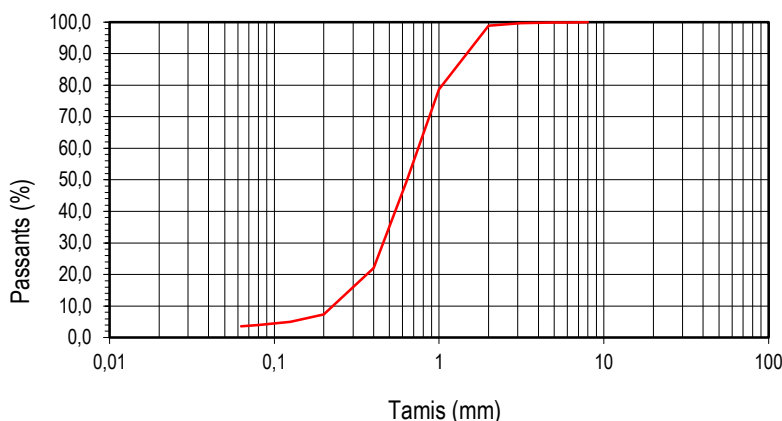
Sondage :	<b>SC3-2</b>
Profondeur :	<b>5,5 m</b>
Nature :	<b>Sable, gris</b>

## Granularité

Normes NF P 94-056 / NF EN 17892-4

Tamais (en mm)	Passants (en %)	Sur fraction 0/50 (en %)
<b>50</b>	<b>100,0</b>	
20	100,0	100,0
5	99,8	99,8
<b>2</b>	<b>98,8</b>	<b>98,8</b>
<b>0,08</b>	<b>4,0</b>	<b>4,0</b>

## Granulométrie sur la fraction totale



## Argilosité

	Norme	Valeur
Valeur de bleu VBs	NF P94-068	<b>0,2</b>

## Comportement mécanique

	Norme	Valeur

## Etat hydrique

	Norme	Valeur
Teneur en eau Wn (en %)	NF P94-050	<b>17,4</b>

## Etat hydrique (suite)

	Norme	Valeur

## CLASSE du SOL

**B1**

à Titre indicatif :

Sables silteux généralement insensibles à l'eau,,,,

# CLASSIFICATION DES SOLS SELON LE G.T.R 92 - FICHE D'IDENTIFICATION -

Dossier n° : **PO22-0059**

Affaire : **Chambord**

Client : **Château de Chambord**

Date des essais : **07/10/2022**

Opérateur : **C.Go**

Site : **Chambord**

Mode de prélt : **Carottage**

Date prélt : **NC**

## Matériau à l'essai

Sondage : **SC3-3**

Profondeur : **6,3 m**

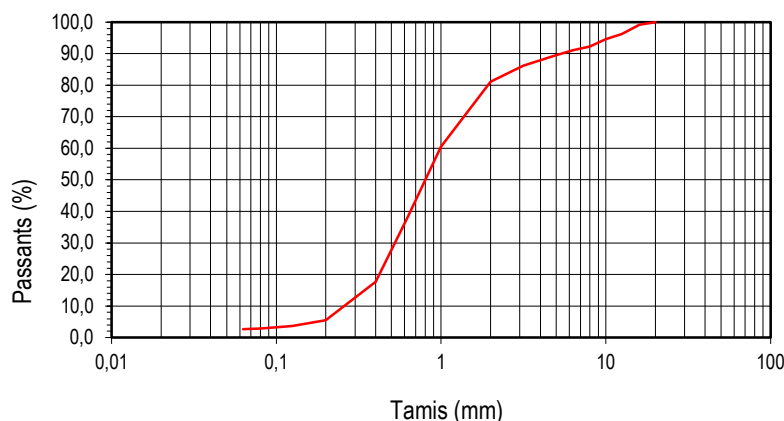
Nature : **Sable, gris clair**

## Granularité

Normes NF P 94-056 / NF EN 17892-4

Tamais (en mm)	Passants (en %)	Sur fraction 0/50 (en %)
<b>50</b>	<b>100,0</b>	
20	100,0	100,0
5	89,5	89,5
<b>2</b>	<b>81,1</b>	<b>81,1</b>
<b>0,08</b>	<b>2,9</b>	<b>2,9</b>

## Granulométrie sur la fraction totale



## Argilosité

	Norme	Valeur
Valeur de bleu VBs	NF P94-068	<b>0,1</b>

## Comportement mécanique

	Norme	Valeur

## Etat hydrique

	Norme	Valeur
Teneur en eau Wn (en %)	NF P94-050	<b>14,6</b>

## Etat hydrique (suite)

	Norme	Valeur

## CLASSE du SOL

**B1**

à Titre indicatif :

Sables silteux généralement insensibles à l'eau,,,,

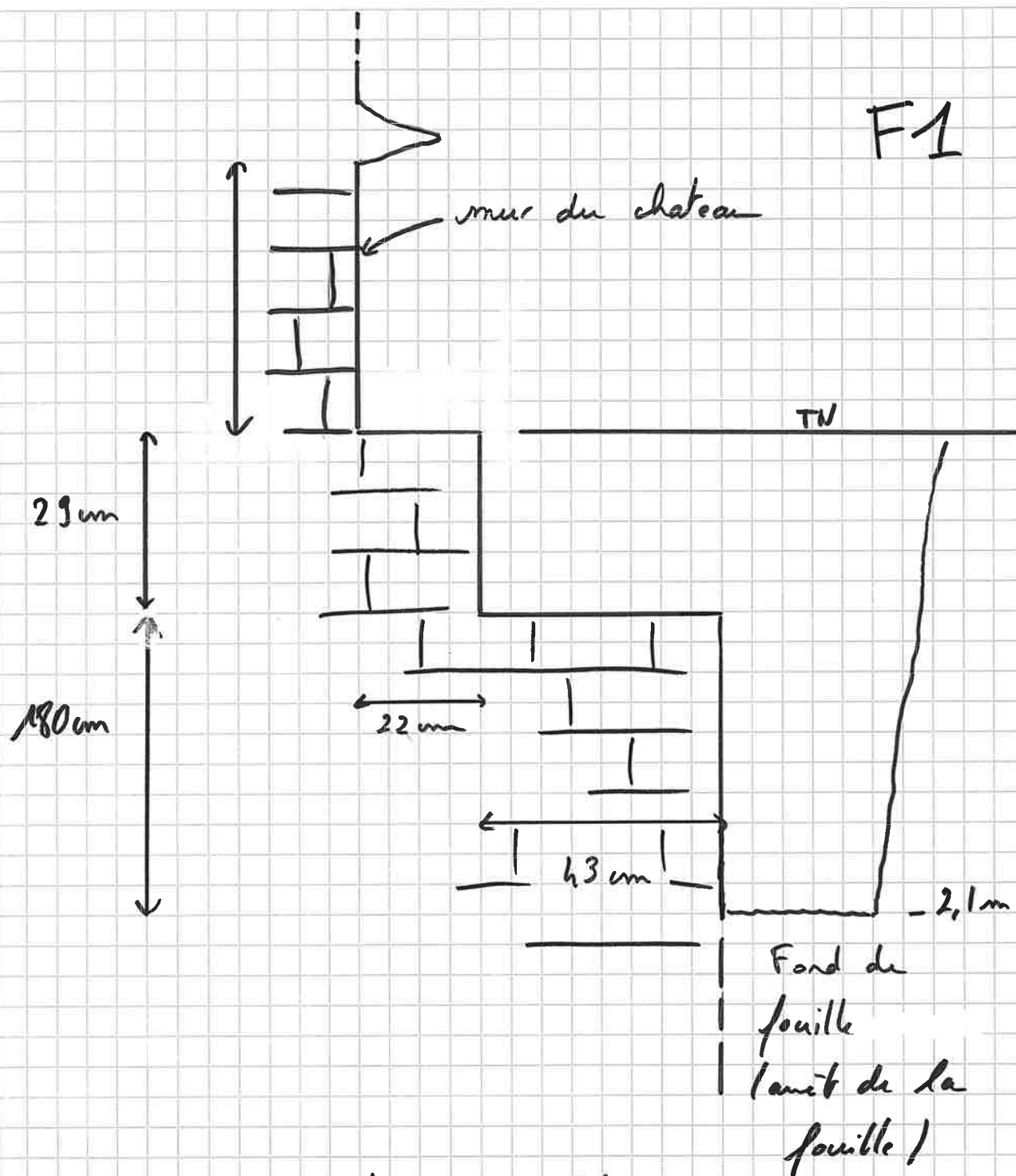


## **ANNEXE 6 :**

### **SCHEMA DES FOUILLES DE FONDATIONS**



F1



Document sans échelle

Mur  
château

bad fenêtre

F2

TN

34 cm

37 cm

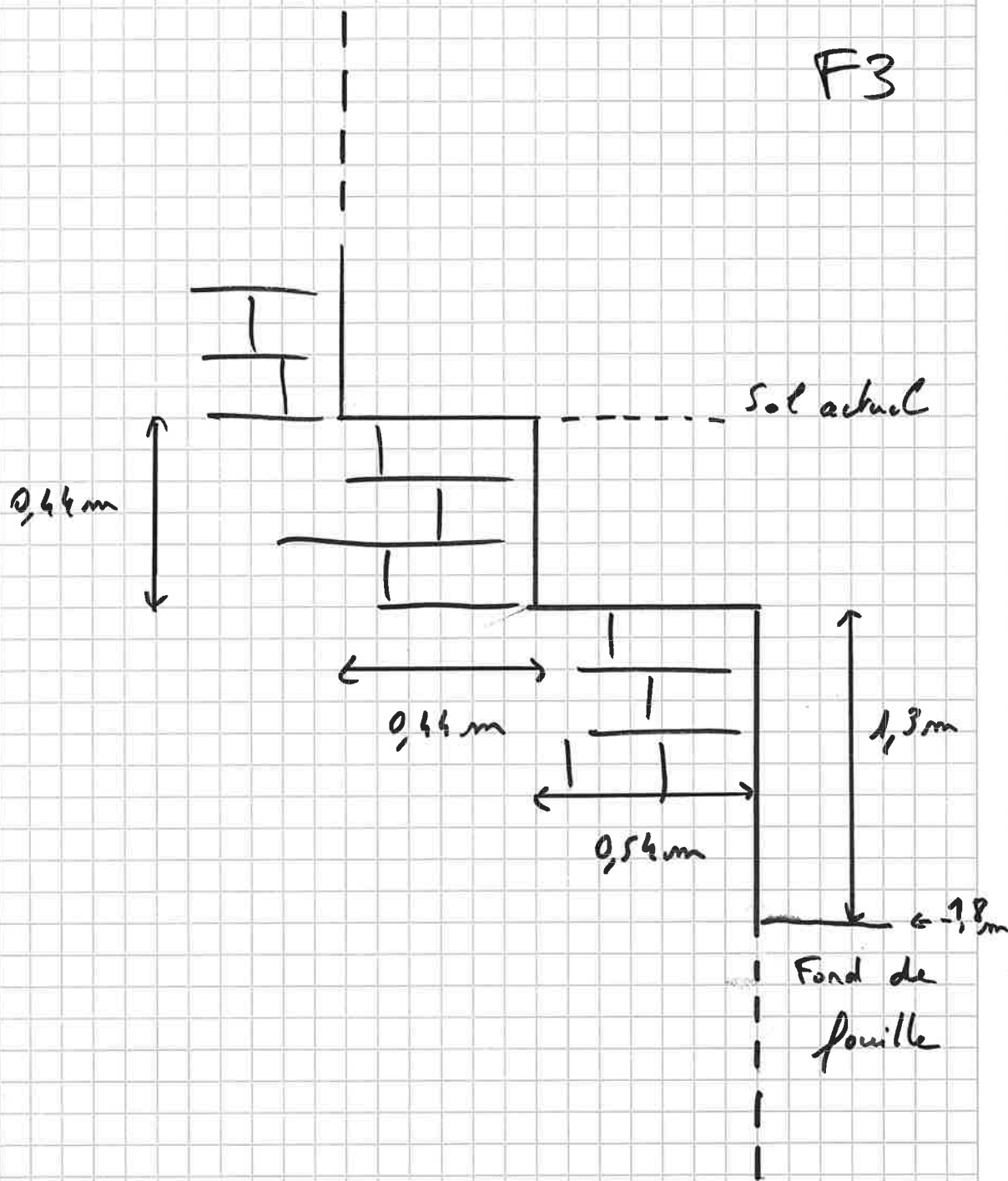
37 cm

- 2 cm

Fond de paroi

Document sans échelle

F3



document sans échelle



Seuil porte restaurant

F4

Tornetta

21 cm

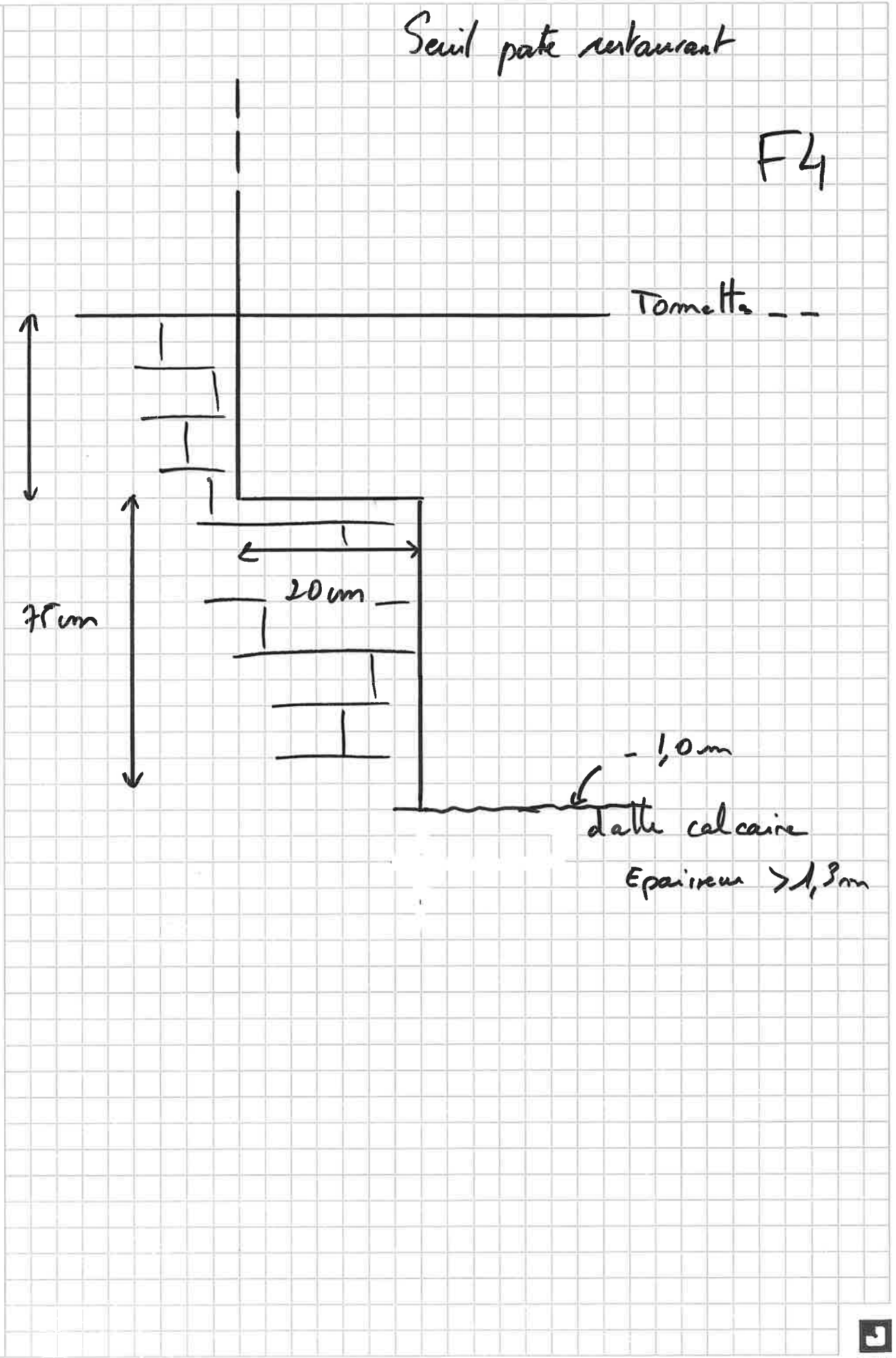
75 cm

20 cm

- 1,0 m

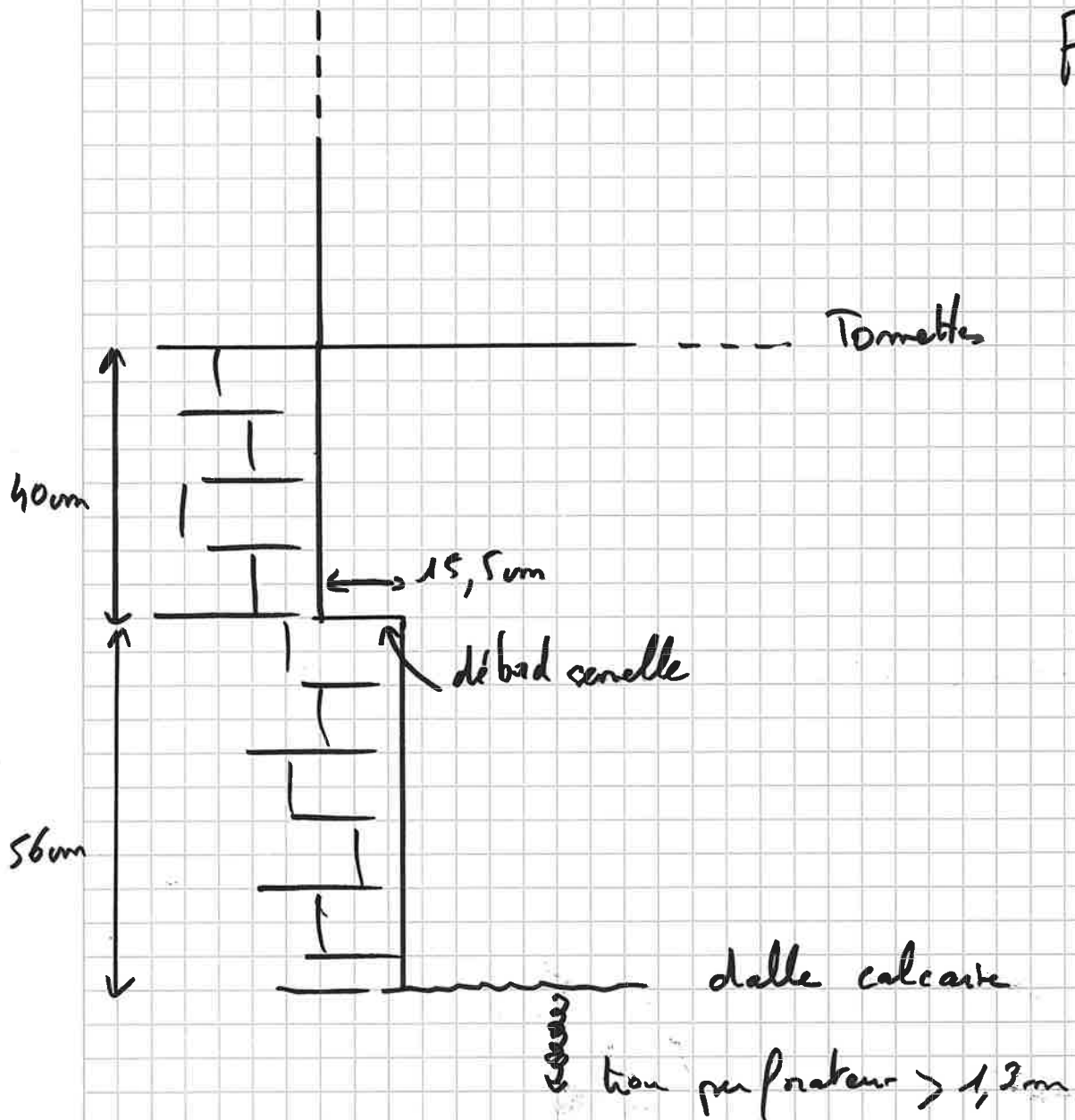
dalle calcaire

Epaisseur > 1,8 m



# Fouille entravant

F4



## **ANNEXE 7 : SONDAGES VERIFIES DU BRGM**



# SONDAGE BRGM A L'EST DU CHATEAU




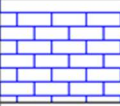

**BSS001DUQT**

04291X0088/S

Log validé

Profondeur

De 0.0 à 17.0 m [Rafraîchir](#)

Profondeur	Formation	Lithologie	Lithologie	Stratigraphie	Altitude
	Remblais		Remblai, sable puis argile beige à éléments calaires, puis sable grossier à la base (poteries)	Holocène	
2.50	Dépôts tourbeux		Débris végétaux bruns.	Quaternaire	74.50
3.00			Tourbe peu évolué		74.00
5.00	Sables et argiles de Sologne		Sable grossier, quartzo-feldspathique, à petite matrice argileuse locale bleuâtre, incluant des débris végétaux peu évolués	Burdigalien à Serravallien	72.00
9.50			Sable grossier mou argileux enrobant quelques graviers et galets siliceux (quartz bien roulés, silex émoussés à roulés). Passée tourbeuse vers 4.00 m.		67.50
11.50	Calcaire de Pithiviers		Calcaire très fracturé se présentant en esquilles de petites tailles, sans matrice		65.50
			Marne blanc-rosé, incluant quelques traces argileuses vert foncé. Quelques passées de calcaire induré	Aquitaniien	
17.00					60.00



# SONDAGE A L'OUEST DU CHATEAU

**BSS001DUQS**

04291X0087/S

Log validé

Profondeur

De 0.0 à 23.0 m [Rafraîchir](#)

Profondeur	Formation	Lithologie	Lithologie	Stratigraphie	Altitude
0.60	Remblais		Remblai	Holocène	79.40
6.00	Marnes de l'Orléanais		Argile beige verdâtre très pâle enrobant des éléments calcaire blanchâtres, secs, très abondants. La masse calcaire est prédominante	Miocène inférieur	74.00
8.00			Marne beige verdâtre enrobant quelques éléments calcaires indurés ou des nuages de calcaire pulvérulent. Humidité faible à nulle		72.00
9.50			Argile beige de même aspect, très faiblement indurée, sèche		70.50
10.00			Marne vert foncée très indurée. Pas de calcaire visible. Très compacte, sèche		70.00
10.80			Marne assez compacte, peu calcaire brun foncée, puis noirâtre. Coquilles de gastéropodes broyées à la base. Très faiblement humide		69.20
11.50			Argile beige grisâtre, assez molle enrobant des concrétions calcaires abondantes blanc-rougeâtre et du sable grossier		68.50
14.50	Calcaire de Pithiviers		Argile vert foncé assez compacte à très s compacte, partiellement indurée incluant, au dessous de 12.50 m, une fraction silteuse	Aquitaniens	65.50
16.00			Argile assez compacte au toit à assez molle au mur, vert foncé incluant des rognons de calcaire dur d'aspect broyé		64.00
23.00			Marne blanc rosé assez molle à assez compacte, coupée de niveaux de calcaire dur de même couleur et d'épaisseur décimétrique		57.00

# SONDAGE AU SUD DU CHATEAU

**BSS001DUMF**

04291X0004/F

Log validé

Profondeur

De  à  m

Profondeur	Formation	Lithologie	Lithologie	Stratigraphie	Altitude
	Marnes et sables de l'Orléanais		Sables et argiles de Sologne et marnes vertes sableuses (probablement partie des marnes et sables du Blésois)	Miocène inférieur	
15.00					65.00