



fondasol

Agence du Mans

ZAC du Vivier 2

Rue Newton

72700 ALLONNES

☎ 02.43.87.53.64

✉ lemans@groupefondasol.com

Centre Hospitalier du Mans



Extension du SAMU-SMUR
LE MANS (72)

Etude géotechnique G1 + G2-AVP

PR.72GT.25.0122 - 001

Rév.	Date	Nb pages	Modifications	Rédacteur	Contrôleur
-	16/07/2025	48	1ère diffusion	A. BRICHE	J. BANNEVILLE
A					
B					
C					

SOMMAIRE

A. Présentation de notre mission	4
A.1. Mission selon la norme NF P94-500	4
A.2. Documents à notre disposition pour cette étude	5
A.3. Description du projet	5
A.4. Programme d'investigations	6
B. Descriptif général du site et approche documentaire	7
B.1. Description générale du site	7
B.2. Contexte géologique	8
B.3. Enquête documentaire sur les risques naturels recensés	8
B.3.1. Liste des Plans de Prévention des Risques (PPR) et date de prescription	8
B.3.2. Liste des arrêtés de catastrophe naturelle publiés sur la commune	9
B.3.3. Risque retrait-gonflement des argiles	10
B.3.4. Risque inondation / remontée de nappe	11
B.3.5. Risque mouvements de terrain	12
B.3.6. Risque cavités	12
B.3.7. Risque sismique	12
B.3.8. Risque de rayonnement ionisant	13
C. Résultats des investigations in situ	14
C.1. Résultats des sondages	14
C.2. Aspects géomécaniques	15
C.3. Résultats des essais et analyses en laboratoire	15
C.4. Niveaux d'eau	15
C.5. Résultats des essais de perméabilité	16
C.6. Reconnaissances de fondation	16
C.7. Données liées au risque sismique	17
C.7.1. Classe sismique des sols	17
C.7.2. Paramètres liés au séisme	17
C.7.3. Évaluation du risque de liquéfaction en cas de séisme	18
C.8. Données statistiques SOLSCORE	18
C.9. Synthèse géomécanique	19
D. Principes de construction envisageables pour les ouvrages géotechniques	20
D.1. Contraintes spécifiques du site / identification des aléas géotechniques	20
D.2. Première approche de la Zone d'Influence Géotechnique (ZIG)	20
D.3. Travaux d'adaptation du site pour accueillir le projet	21
D.4. Dispositions vis-à-vis des eaux souterraines	21
D.4.1. Drainage de la plate-forme, époussetage des fouilles, en phase travaux	21
D.4.2. Dispositions pour les parties non enterrées en phase service	21
D.4.3. Dispositions pour les parties enterrées en phase service	22

D.4.4.	Caractérisation de la perméabilité	22
D.5.	Modes de fondations et structures de niveaux bas envisageables	22
D.5.1.	Fondations	22
D.5.2.	Niveaux bas	22
E.	Etude des terrassements, soutènements et epuisement des fouilles	23
E.1.	Talus en déblai	23
E.1.1.	Talus provisoires	23
E.1.2.	Talus définitifs	23
E.2.	Soutènements	24
E.3.	Conditions générales de terrassements	24
E.4.	Suivi / instrumentation	24
F.	Études des fondations superficielles	25
F.1.	Mode de fondation envisageable	25
F.2.	Modèle géotechnique	25
F.3.	Niveaux d'assise	26
F.4.	Contraintes de calcul	26
F.5.	Exemples de calcul pour quelques fondations types	27
F.6.	Dispositions constructives pour les fondations superficielles	27
F.6.1.	Conception	27
F.6.2.	Conditions de terrassement	28
F.6.3.	Risques liés à l'eau (pluie, nappe...)	28
F.6.4.	Sujétions d'exécution liées à la présence d'existants	28
G.	Étude de l'assise des dallages	29
G.1.	Possibilités techniques pour les niveaux bas	29
G.2.	Principes généraux de mise en œuvre	29
G.3.	Modules de déformation des sols sous dallages	30
G.4.	Tassements prévisibles	30
H.	Conclusions et aléas prévisibles	31
ANNEXES		32
1.	Enchaînement des missions types d'ingénierie géotechnique (Norme NF P94-500)	33
2.	Missions types d'ingénierie géotechnique (Norme NF P94-500)	34
3.	Plan de situation	35
4.	Vues aériennes anciennes	36
5.	Implantation des sondages	38
6.	Résultats des sondages	39
7.	Photographies du carottage	44
8.	Résultats des essais de laboratoire	45
9.	Photographies panoramiques de la zone d'étude	46

A. PRESENTATION DE NOTRE MISSION

Maître d'Ouvrage : Centre Hospitalier du Mans, établissement support du GHT72

Maître d'œuvre : MEDIAA

Devis : référencé SQ.72GT.25.04.003 daté du 09/04/2025

Commande : acte d'engagement signé le 14/05/2025

A.1. Mission selon la norme NF P94-500

Missions : G1 + G2-AVP selon norme NF P94-500 (Missions d'Ingénierie Géotechnique Types – Révision de novembre 2013)

Objectifs définis dans notre devis :

- Etude préliminaire du site
- Données *Solscore* retenues
- Résultats des investigations
- Analyse et synthèse du contexte géologique et géomécanique du site et de son influence sur le projet
- Modèle géotechnique au stade AVP croisant les données *Solscore* et les résultats des investigations
- Proposition des ouvrages géotechniques envisageables
- Ebauche dimensionnelle des principaux ouvrages géotechniques
- Première approche de la Zone d'Influence Géotechnique
- Recommandations particulières pour la réalisation des travaux

Notre mission ne comprend pas :

- l'ébauche dimensionnelle des ouvrages de soutènement,
- l'ébauche dimensionnelle des structures de chaussées,
- la mesure de la perméabilité des sols superficiels,
- la recherche d'éventuelles cavités dans le substratum,
- la caractérisation des argiles vis-à-vis de leur sensibilité au retrait / gonflement,
- l'étude détaillée du risque de liquéfaction des sols du site sous séisme,
- les projets géothermiques, nécessitant des études géologiques, hydrogéologiques et thermiques spécifiques,
- la vérification de l'absence de contamination des sols par des matières polluantes, ni la définition des filières d'évacuation des déblais (cette étude fait l'objet d'un rapport distinct).

Aucun autre élément du projet ne nous est connu. Selon les informations transmises par le maître d'ouvrage, l'ouvrage sera considéré de catégorie géotechnique 2 au sens de l'EUROCODE 7 et de catégorie d'importance IV vis-à-vis du risque sismique au sens des décrets d'application de l'EUROCODE 8.

A.4. Programme d'investigations

Pour répondre aux objectifs de l'étude, nous avons réalisé :

sondages	SPI	SP2	SC3	EM4
profondeurs (m)	6,0	10,0	4,7	1,8
nombre d'essais pressiométriques	4	7	-	-

SP : sondage destructif avec essais pressiométriques

SC : sondage carotté de reconnaissance géologique

EM : essai d'infiltration d'eau de type Matsuo

Des échantillons ont été prélevés dans ces sondages afin de réaliser des essais en laboratoire. Ceux-ci sont en cours de réalisation et les résultats seront intégrés dans une version indicée du rapport.

A noter que la reconnaissance de fondation initialement prévue a été remplacée par une mesure de perméabilité à la pelle mécanique de type Matsuo, en accord avec le Maître d'Ouvrage et Maître d'œuvre.

Figurent en annexe :

- un plan de situation,
- un plan d'implantation des sondages,
- les coupes lithologiques,
- les résultats des essais sur site,
- les procès-verbaux des analyses en laboratoire.

B. DESCRIPTIF GENERAL DU SITE ET APPROCHE DOCUMENTAIRE

B.1. Description générale du site

Adresse du site : Centre Hospitalier du Mans, 194 avenue Rubillard au Mans (72).

Occupation des sols lors de notre intervention : bâtiment du SAMU-SMUR existant, avec côtés sud et ouest des espaces verts enherbés ou en friche, un talus, un escalier extérieur (cf. photographies en annexes).

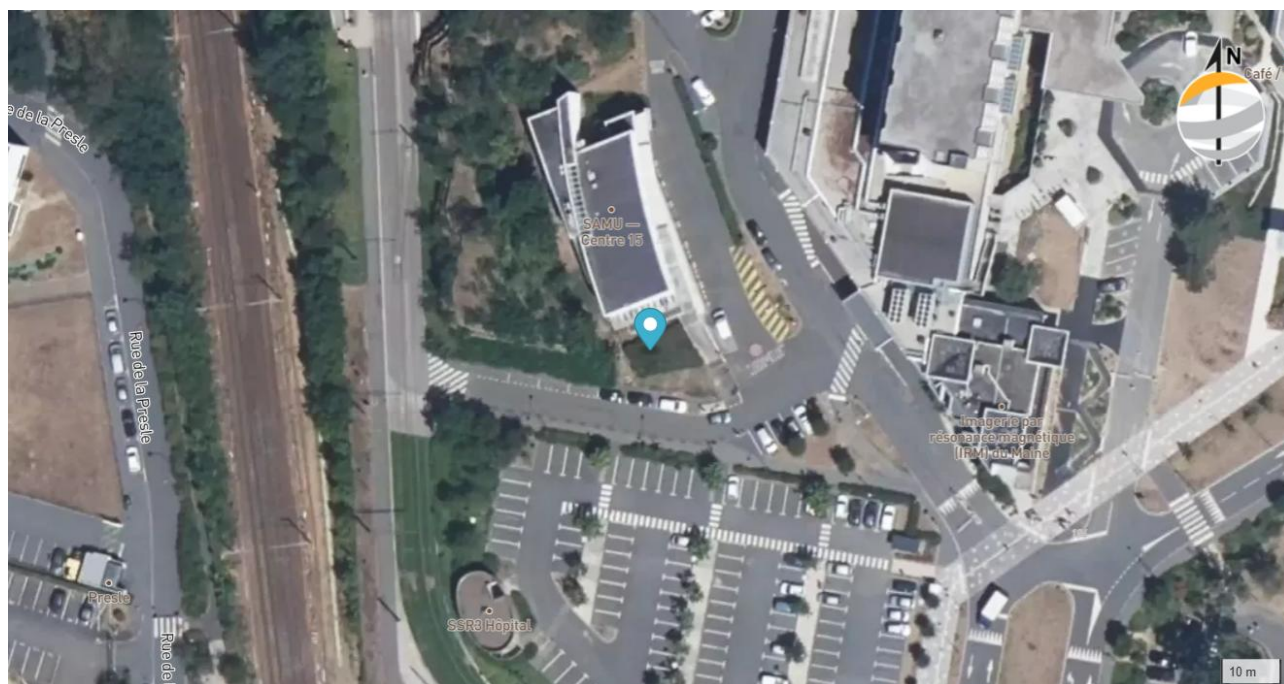
Particularité : la partie arrière du bâtiment actuel a été encastrée dans une butte de remblai, mise en œuvre à la construction du bâtiment Fontenoy (cf. vues aériennes anciennes en annexes).

Topographie du site : fort dénivelé globalement orienté descendant vers le sud-est au droit du projet, en relation avec la présence d'une butte.

Référence altimétrique : 59,06 NGF = niveau du seuil des garages du bâtiment SAMU-SMUR (cf. plan d'implantation des sondages).

Sondages	SPI	SP2	SC3	EM4
Cotes des sondages (NGF)	59,7	62,1	61,9	62,1

Altimétrie des points de sondage

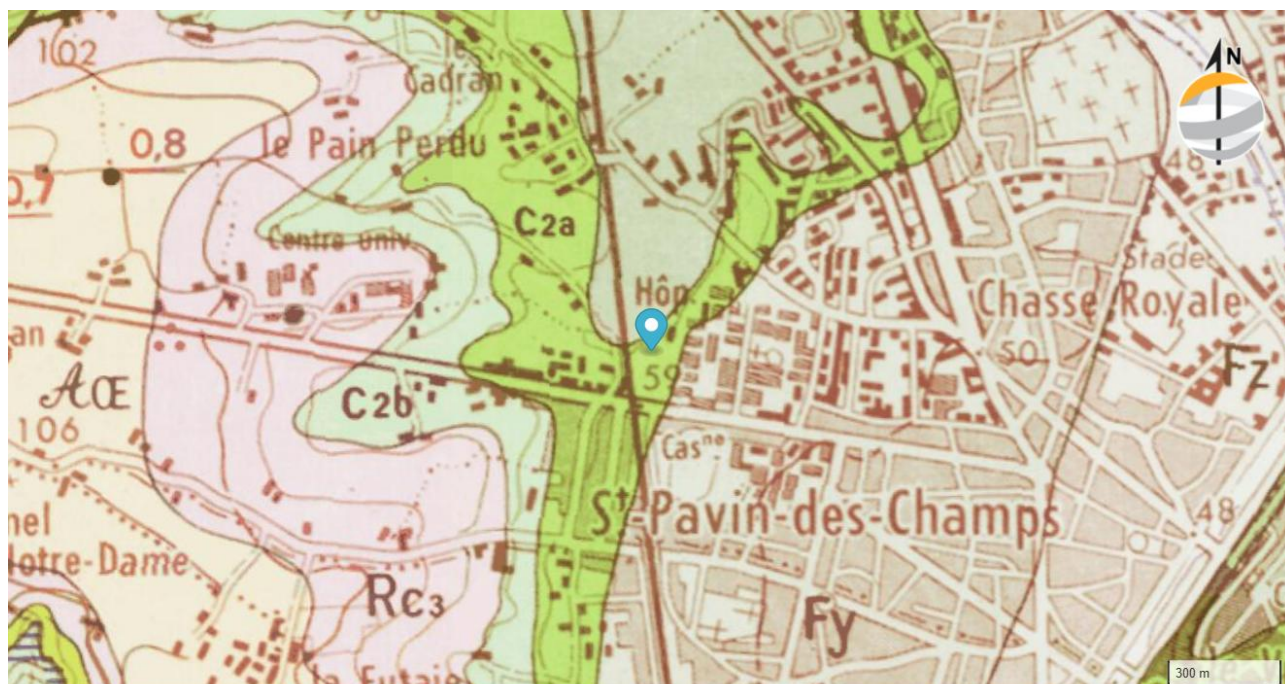


Vue aérienne actuelle du site

B.2.Contexte géologique

D'après la carte géologique du Mans au 1/50 000 (infoterre.brgm.fr), les sols du site devraient correspondre, de haut en bas, à :

- des terrains de recouvrement (terre végétale, remblais),
- éventuellement une frange d'alluvions anciennes (Fw et/ou Fy),
- les sables et grès du Maine du Cénomanien moyen (c2a).



- Fy : Alluvions de la basse terrasse (altitude relative 6-8m)
- Fw : Alluvions de la haute terrasse (altitude relative 18-30m)
- C2a : Cénomanien moyen - "Sables et grès du Maine"

Extrait de la carte géologique au 1/50 000ème (source : BRGM)

B.3.Enquête documentaire sur les risques naturels recensés

B.3.1. Liste des Plans de Prévention des Risques (PPR) et date de prescription

Numéro du document	Nom du PPR	Risque	Etat	Date d'approbation	Commune
72DDT19980002	PPRNI D'Allonnes et d'Arnage	Inondation	Abrogé	17/05/2001	LE MANS
72DDT20000083	PPRNI de Saint Pavace	Inondation	Abrogé	08/07/2004	LE MANS
72DDT19980012	PPRNI d'Yvré l'Evêque	Inondation	Abrogé	17/05/2001	LE MANS
72DDT19960003	PPRNI du Mans	Inondation	Abrogé	20/03/2000	LE MANS
72DDT19980004	PPRNI de Coulaines et la Chapelle Saint Aubin	Inondation	Abrogé	17/05/2001	LE MANS

Réglementation particulière

B.3.2. Liste des arrêtés de catastrophe naturelle publiés sur la commune

Code National CATNAT	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le journal officiel du	Risque	Commune
NOR19831115	21/06/1983	21/06/1983	15/11/1983	18/11/1983	Inondations et/ou Coulées de Boue	LE MANS
NOR19831115	21/06/1983	21/06/1983	15/11/1983	18/11/1983	Mouvement de Terrain	LE MANS
NOR19831115	25/06/1983	26/06/1983	15/11/1983	18/11/1983	Inondations et/ou Coulées de Boue	LE MANS
NOR19831115	25/06/1983	26/06/1983	15/11/1983	18/11/1983	Mouvement de Terrain	LE MANS
NOR19850715	06/04/1985	10/04/1985	15/07/1985	27/07/1985	Inondations et/ou Coulées de Boue	LE MANS
INTE9100354A	01/06/1989	31/12/1990	12/08/1991	30/08/1991	Sécheresse	LE MANS
INTE9300372A	01/01/1991	31/12/1992	16/08/1993	03/09/1993	Sécheresse	LE MANS
INTE9300703A	05/12/1992	06/12/1992	05/01/1994	21/01/1994	Inondations et/ou Coulées de Boue	LE MANS
INTE9400539A	24/07/1994	24/07/1994	15/11/1994	24/11/1994	Inondations et/ou Coulées de Boue	LE MANS
INTE9400539A	05/08/1994	05/08/1994	15/11/1994	24/11/1994	Inondations et/ou Coulées de Boue	LE MANS
INTE9500070A	17/01/1995	31/01/1995	06/02/1995	08/02/1995	Inondations et/ou Coulées de Boue	LE MANS
INTE9500338A	04/02/1994	04/02/1995	28/07/1995	09/09/1995	Glissement de Terrain	LE MANS
INTE9800067A	01/01/1993	31/03/1997	12/03/1998	28/03/1998	Sécheresse	LE MANS
INTE9900627A	25/12/1999	29/12/1999	29/12/1999	30/12/1999	Inondations et/ou Coulées de Boue	LE MANS
INTE9900627A	25/12/1999	29/12/1999	29/12/1999	30/12/1999	Mouvement de Terrain	LE MANS
INTE0100059A	05/01/2001	07/01/2001	12/02/2001	23/02/2001	Inondations et/ou Coulées de Boue	LE MANS
INTE0100232A	23/03/2001	25/03/2001	27/04/2001	28/04/2001	Inondations et/ou Coulées de Boue	LE MANS
INTE0100232A	23/03/2001	25/03/2001	27/04/2001	28/04/2001	Mouvement de Terrain	LE MANS
INTE0100232A	23/03/2001	31/03/2001	27/04/2001	28/04/2001	Inondations et/ou Coulées de Boue	LE MANS
INTE0100232A	23/03/2001	31/03/2001	27/04/2001	28/04/2001	Mouvement de Terrain	LE MANS
INTE0300592A	25/06/2003	25/06/2003	03/10/2003	19/10/2003	Inondations et/ou Coulées de Boue	LE MANS
INTE0500808A	01/07/2003	30/09/2003	22/11/2005	13/12/2005	Sécheresse	LE MANS
INTE0600186A	23/06/2005	23/06/2005	11/04/2006	22/04/2006	Inondations et/ou Coulées de Boue	LE MANS
INTE0752853A	27/07/2006	27/07/2006	24/04/2007	04/05/2007	Inondations et/ou Coulées de Boue	LE MANS
IOCE0804637A	01/07/2005	30/09/2005	20/02/2008	22/02/2008	Sécheresse	LE MANS
IOCE1109031A	01/07/2009	30/09/2009	31/03/2011	06/04/2011	Sécheresse	LE MANS
INTE1620877A	28/05/2016	28/05/2016	26/07/2016	12/08/2016	Inondations et/ou Coulées de Boue	LE MANS
INTE1820387A	04/06/2018	05/06/2018	23/07/2018	15/08/2018	Inondations et/ou Coulées de Boue	LE MANS
INTE1820387A	09/06/2018	11/06/2018	23/07/2018	15/08/2018	Inondations et/ou Coulées de Boue	LE MANS
INTE2019260A	01/03/2020	03/03/2020	27/07/2020	03/09/2020	Inondations et/ou Coulées de Boue	LE MANS
IOME2324728A	18/06/2023	18/06/2023	18/09/2023	20/10/2023	Inondations et/ou Coulées de Boue	LE MANS

Liste des arrêtés de reconnaissance de catastrophe naturelle (source : Georisques)

RECAPITULATIF DES RISQUES RECENSES SUR LA COMMUNE

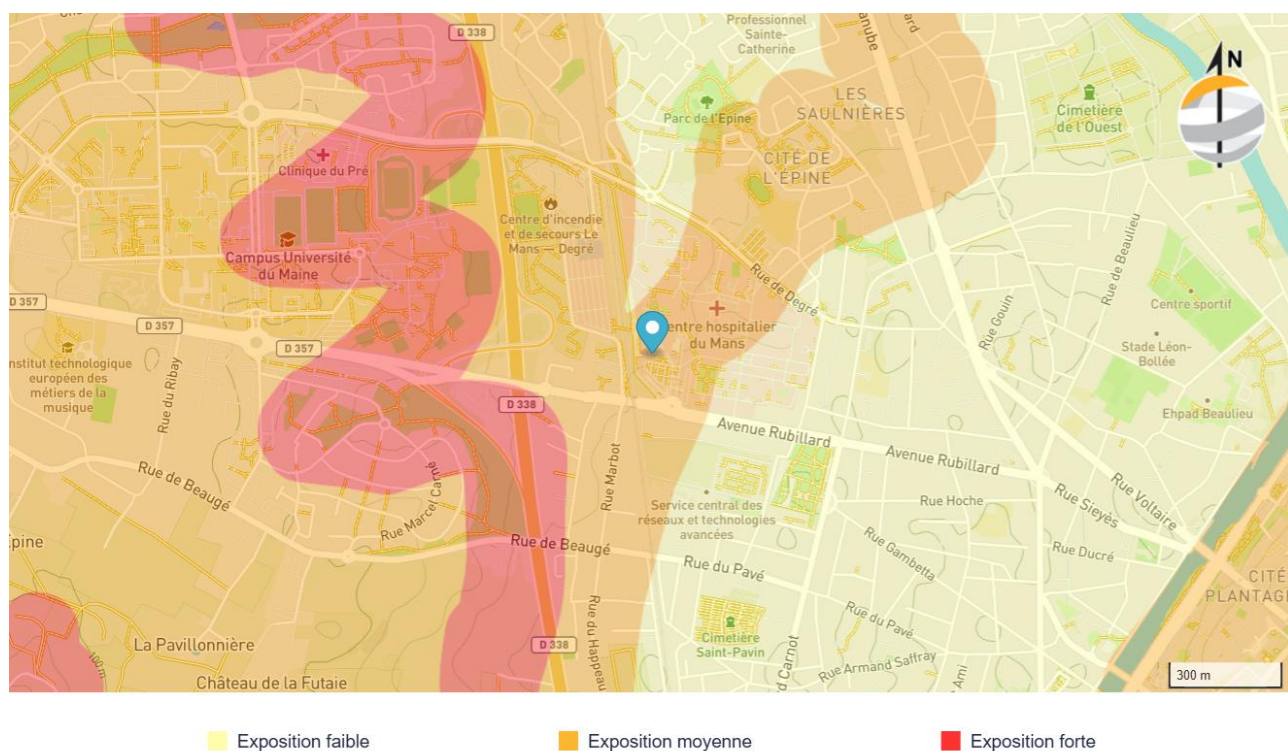
Il appartient aux concepteurs du projet de s'assurer que le projet n'est pas concerné par les risques déjà répertoriés.

Risque	Aléa/sensibilité	Document réglementaire
Retrait-gonflement	Moyen	Arrêté du 22 juillet 2020 JORF n°0195 du 9 août 2020
Inondations		72DDT19980004
Remontées de nappe	Pas de débordement de nappe ni d'inondation de cave	
Cavités		Arrêté du 22 juillet 2020 JORF n°0195 du 9 août 2020
Mouvements de terrain		
Risque sismique	2 - FAIBLE	Décret n° 2010-1255 du 22 octobre 2010. Code de l'Environnement , article D.563-8-1
Risque Radon	1	Décret n° 2002-460 du 4 avril 2002

Inventaire des risques naturels connus sur la commune

B.3.3. Risque retrait-gonflement des argiles

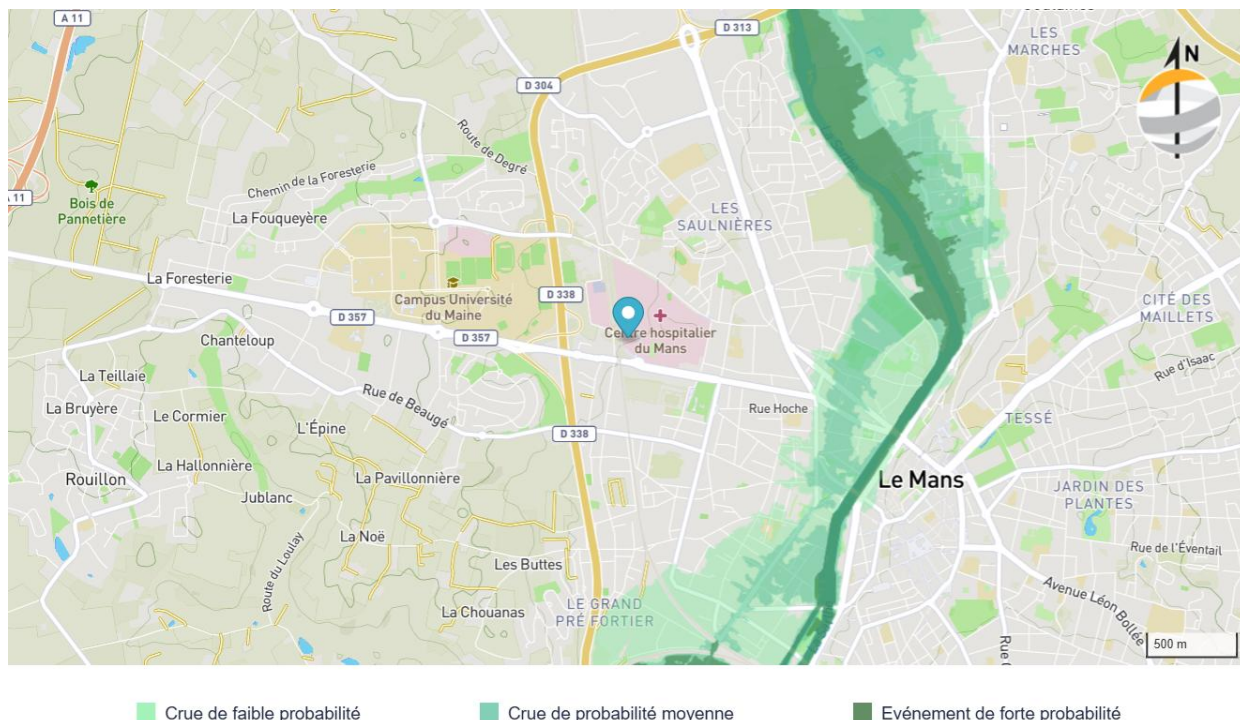
Une carte des argiles sensibles au retrait / gonflement disponible sur le site www.georisques.gouv.fr indique que le risque d'argiles gonflantes, à l'emplacement du projet est **moyen**.



Extrait de la carte d'exposition au risque de retrait-gonflement (source : Georisques)

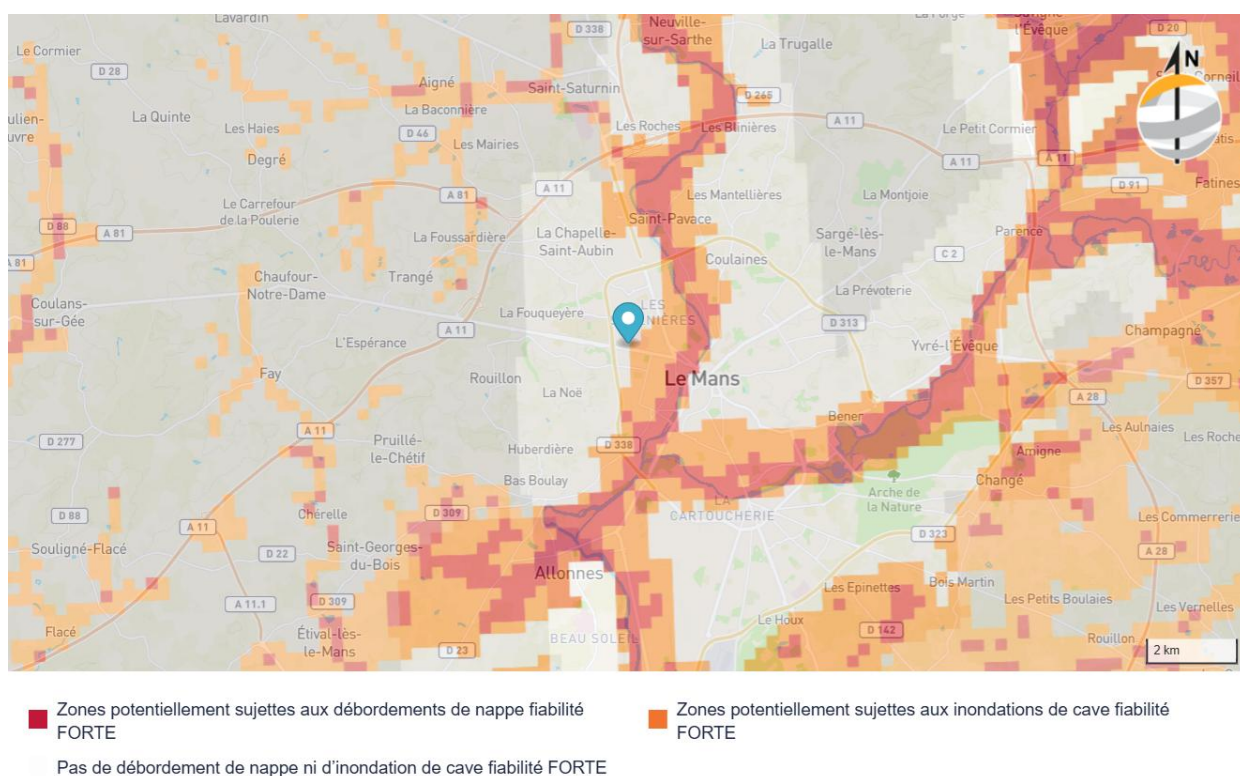
B.3.4. Risque inondation / remontée de nappe

La commune est soumise à un PPR Inondation et est située dans un Territoire à Risque important d'Inondation (TRI), mais le terrain d'étude n'est pas soumis à une réglementation.



Extrait de la carte de territoire à risque d'inondation (source : Georisques)

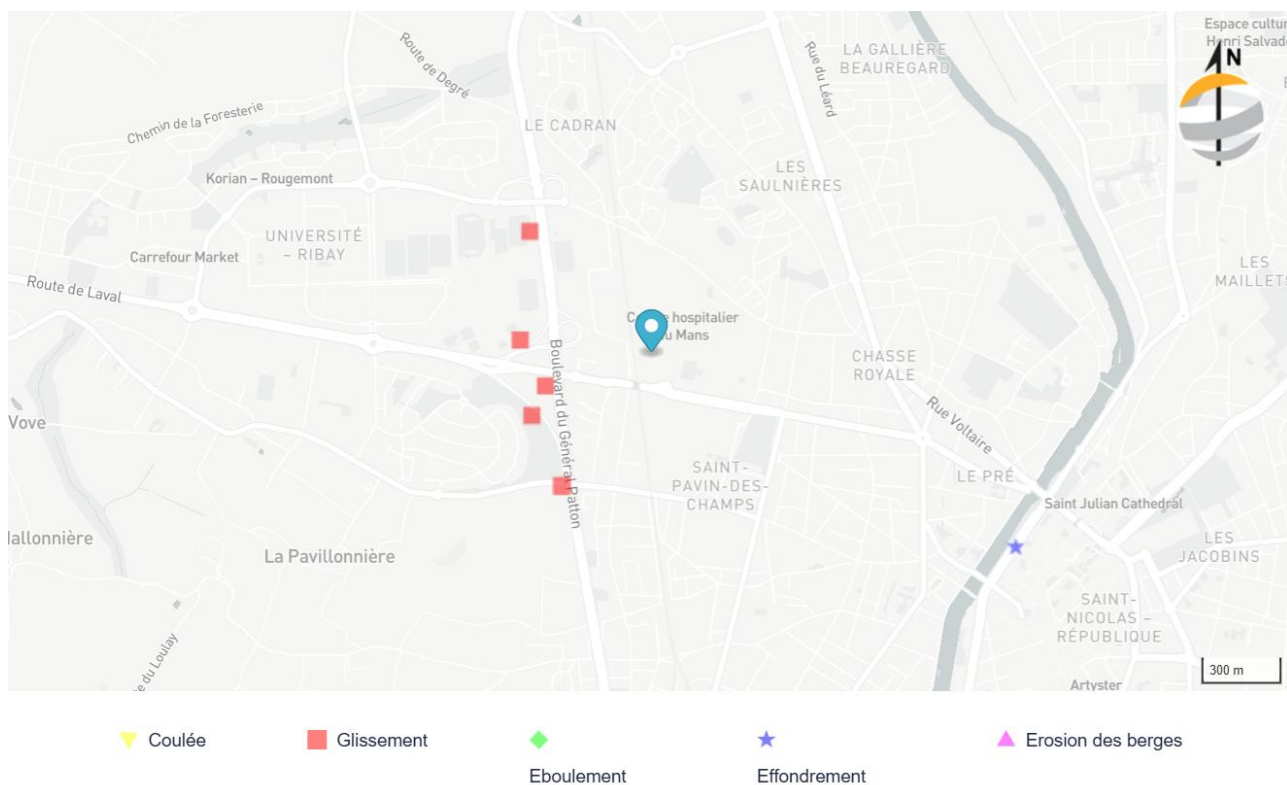
Une carte des remontées de nappe est disponible sur le site www.georisques.gouv.fr. Elle indique que le terrain concerné par l'étude est situé dans une zone non concernée par les risques de débordement de nappe ou d'inondation de cave.



Extrait de la carte d'exposition aux remontées de nappes avec niveau de fiabilité (source : Georisques)

B.3.5. Risque mouvements de terrain

Il y a quelques glissements de terrain répertoriés dans le secteur, le long du boulevard du général Patton, mais en lien avec les talus importants présents à ce niveau (données issues de www.georisques.gouv.fr).



B.3.6. Risque cavités

Il y a quelques cavités répertoriées dans le secteur, mais éloignées du site porté à l'étude (données issues de www.georisques.gouv.fr).

B.3.7. Risque sismique

Le gouvernement a publié au journal officiel du 22 octobre 2010 deux décrets relatifs au nouveau zonage sismique national et un arrêté fixant les règles de construction parasismique telles que les règles Eurocode 8. Il s'agit des documents suivants :

- décret n°2010-1254 relatif à la prévention du risque sismique ;
- décret n°2010-1255 portant sur la délimitation des zones de sismicité du territoire français ;
- arrêté du 22 octobre 2010 modifié par l'arrêté du 19 juillet 2011 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite "à risque normal".

La ville du projet est située en zone de sismicité faible (zone sismique 2) suivant cette réglementation.

L'analyse sur la liquéfaction des sols n'est pas requise pour un site en zone sismique 2.

Selon les informations communiquées, le bâtiment sera de catégorie d'importance IV (à confirmer par le maître d'ouvrage).

Dans ce cas, l'Eurocode 8 devra être appliqué (cf. § C.7 ci-après).

B.3.8. Risque de rayonnement ionisant

Le radon est un gaz radioactif qui provient de la dégradation de l'uranium du sous-sol. Il reste diffus dans l'air mais a tendance à se concentrer dans les milieux fermés, tels que les bâtiments par exemple.

Le projet n'est pas situé dans un département prioritaire pour la protection générale des personnes contre les dangers des rayonnements ionisants.

La ville du projet est classée en potentiel radon faible (catégorie I).

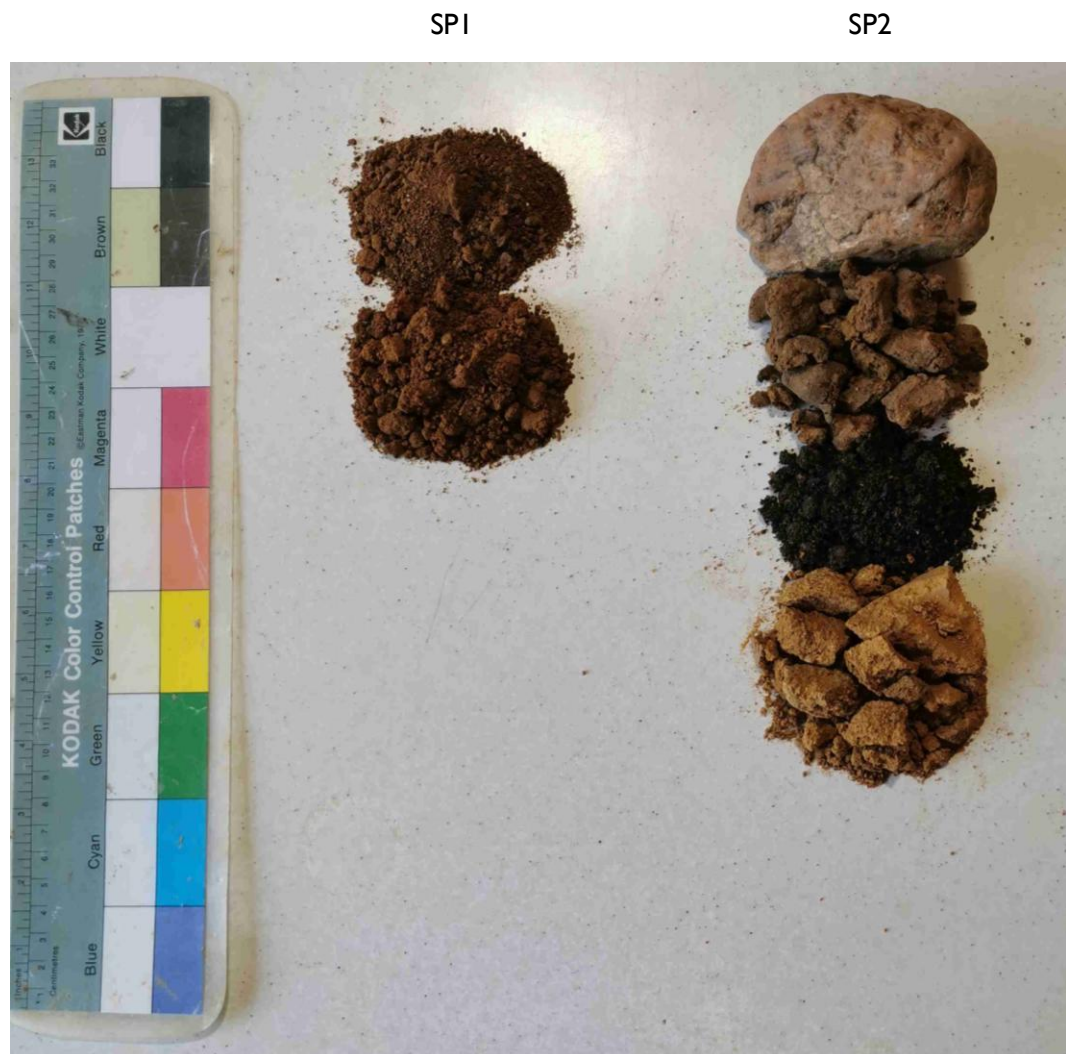
C.RESULTATS DES INVESTIGATIONS IN SITU

C.I. Résultats des sondages

Les sondages mettent en évidence les horizons suivants, de haut en bas :

- des **remblais sablo-graveleux puis limono-sableux** brun-clair, marron-orangé ou ponctuellement noirâtres, observés sur des épaisseurs variables comprises entre 0,8 m en partie basse en SPI, et jusqu'à 3,1 m au niveau de SP2 (couche nommée RS1),
- puis des **sables plus ou moins argileux (parfois très argileux)** marron-orangé à ocre/jaune, reconnus jusqu'à la base des sondages pressiométriques entre 6 m et 10 m de profondeur (couche nommée SA2a et SA2b).

Nota : La description des terrains traversés et la position des interfaces comportent des imprécisions inhérentes à la méthode de forage destructif. En particulier, ils ne permettent pas de déterminer la granulométrie exacte des horizons ou d'identifier la présence d'éléments grossiers ou blocs.



Photographie des cuttings prélevés à la tarière (sans flash, avec projecteur)

C.2. Aspects géomécaniques

Les caractéristiques mécaniques des sols rencontrés ont été mesurées au pressiomètre, les résultats sont les suivants :

avec : p_l^* : pression limite nette
 E_M : module de déformation pressiométrique

- des remblais RSI de faible compacité, caractérisés par :

$$0,3 \leq p_l^* \leq 0,5 \text{ MPa}$$

$$4 \leq E_M \leq 5 \text{ MPa}$$

- jusqu'à la cote 57 NGF environ, des sables argileux SA2a de moyenne à bonne compacité, denses d'après les termes de l'Eurocode 7, caractérisés par :

$$1,1 \leq p_l^* \leq 1,9 \text{ MPa}$$

$$12 \leq E_M \leq 32 \text{ MPa}$$

- au-delà, des sables argileux SA2b de très bonne compacité, généralement très denses d'après les termes de l'Eurocode 7, caractérisés par :

$$1,4 \leq p_l^* \leq 2,8 \text{ MPa}$$

$$22 \leq E_M \leq 40 \text{ MPa}$$

C.3. Résultats des essais et analyses en laboratoire

Les essais de laboratoire sont en cours de réalisation et leur analyse sera intégrée dans la version définitive du rapport.

C.4. Niveaux d'eau

Lors de nos investigations en juin 2025, nous n'avons pas observé d'eau dans les différents sondages.

Des circulations d'eau ponctuelles et superficielles ne sont pas à exclure à des périodes plus défavorables.

Nota : l'intervention ponctuelle dans le cadre de la réalisation de la présente étude ne permet pas de fournir des informations hydrogéologiques suffisantes, dans la mesure où le niveau d'eau mentionné dans le rapport d'étude correspond nécessairement à celui relevé à un moment donné, sans possibilité d'apprécier la variation inéluctable des nappes et circulations d'eau qui dépend notamment des conditions météorologiques.

C.5. Résultats des essais de perméabilité

Nous avons effectué un essai de perméabilité par infiltration de **type MATSUO** vers 1,8 m de profondeur/TN. Les essais MATSUO sont des essais de perméabilité réalisés à l'intérieur d'une fouille préalablement réalisée au tractopelle.

Le principe de l'essai consiste à injecter de l'eau dans une fouille de dimensions connues (longueur, largeur et profondeur) après une saturation préalable suffisante. Une fois la saturation établie, l'évolution de la baisse du niveau d'eau est mesurée en fonction du temps, ce qui permet, avec les dimensions de la fouille, de calculer un ordre de grandeur de la perméabilité du sol à la profondeur testée. Cet essai est essentiellement utilisé pour déterminer la capacité d'un sol à infiltrer des eaux pluviales.

sondages	profondeurs (m)	sols testés	perméabilité (m/s)	perméabilité (mm/h)
EM4	1,80	sable argileux (remblai ?)	1,6E-05	57

CONCLUSION :

Le coefficient de perméabilité mesuré est assez élevé, de l'ordre de 1.10^{-5} m/s, et la nappe est rencontrée à une profondeur suffisante, ce qui permet d'envisager une solution d'infiltration des eaux pluviales dans le sol.

Les valeurs données dans le présent rapport ne sont représentatives que des sols testés au droit de nos sondages et aux profondeurs d'essais réalisés : nous conseillons donc à l'équipe de conception de tenir compte des risques d'hétérogénéité et de retenir des valeurs prudentes par type de sol, dans un souci de sécurité vis-à-vis du dimensionnement des ouvrages.

CAPACITE DU SOL A L'INFILTRATION d'après DTU 64.1

Valeur de « K » (en mm/h)	500 à 50	50 à 20	20 à 10	10 à 6	Inférieur à 6
Perméabilité	Très perméable	Moyennement perméable	Perméabilité médiocre	Très peu perméable	Terrain imperméable

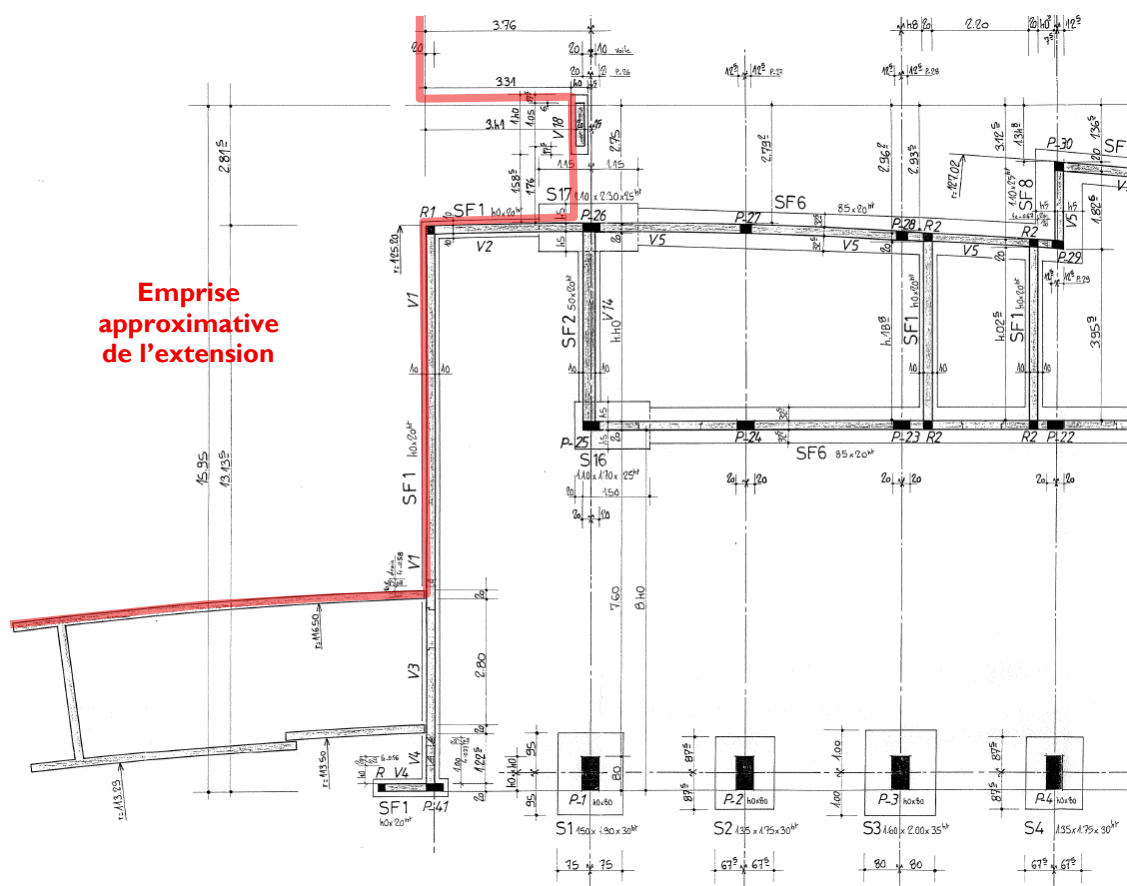
C.6. Reconnaissances de fondation

En accord avec le Maître d'Ouvrage, la reconnaissance de fondation n'a pas été réalisée du fait de la profondeur trop importante de celle-ci par rapport au terrain en partie haute.

De plus, un plan de coffrage datant de la construction du bâtiment existant a été communiqué, faisant apparaître les dimensions et profondeurs des fondations qui ont été créées à l'époque.

Il s'agirait de semelles filantes et isolées descendues au minimum à 57,5 NGF soit 1,40 m sous le niveau bas actuel (cf. extrait ci-après), avec gros béton au bon sol le cas échéant.

Il conviendra de confirmer ce point lors des travaux de terrassements.



Extrait du plan de coffrage de l'entreprise Fournigault lors de la construction du bâtiment en 1994

C.7. Données liées au risque sismique

Zone de sismicité de la commune selon le décret n°2010-1255 daté du 22 Octobre 2010 : **2**.

C.7.1. Classe sismique des sols

En première approche, au sens des règles de l'EUROCODE 8 en vigueur, la succession lithologique au droit des différents sondages constitue un sol de **classe B**.

C.7.2. Paramètres liés au séisme

Il appartient au Maître d'Ouvrage de préciser la classe d'importance de l'ouvrage.

L'hypothèse faite ci-après, qui influence les paramètres de calculs structuraux, doit être confirmée par le maître d'ouvrage.

Les paramètres qui découlent de la zone de sismicité, de la classe de sol et de la catégorie d'importance du bâtiment sont :

Zone de sismicité :	2	D'où l'accélération maximale au rocher : $a_{gr} =$	0,7
Catégorie d'importance du bâtiment :	IV	D'où le coefficient d'importance : $\gamma_I =$	1,4
Classe de sol :	B	D'où le paramètre de sol : $S =$	1,35

D'où

$$a_{max} = a_{gr} \times \gamma_I \times S = 1,323 \text{ m/s}^2$$

Remarque importante :

Les éléments donnés ci-dessus suivent les hypothèses de l'EUROCODE 8, pour une zone de sismicité donnée. S'il existe des préconisations spécifiques sur le site concernant les accélérations à retenir (nucléaire, installations classées Seveso...), il appartient à l'équipe de conception d'en tenir compte.

C.7.3. Évaluation du risque de liquéfaction en cas de séisme

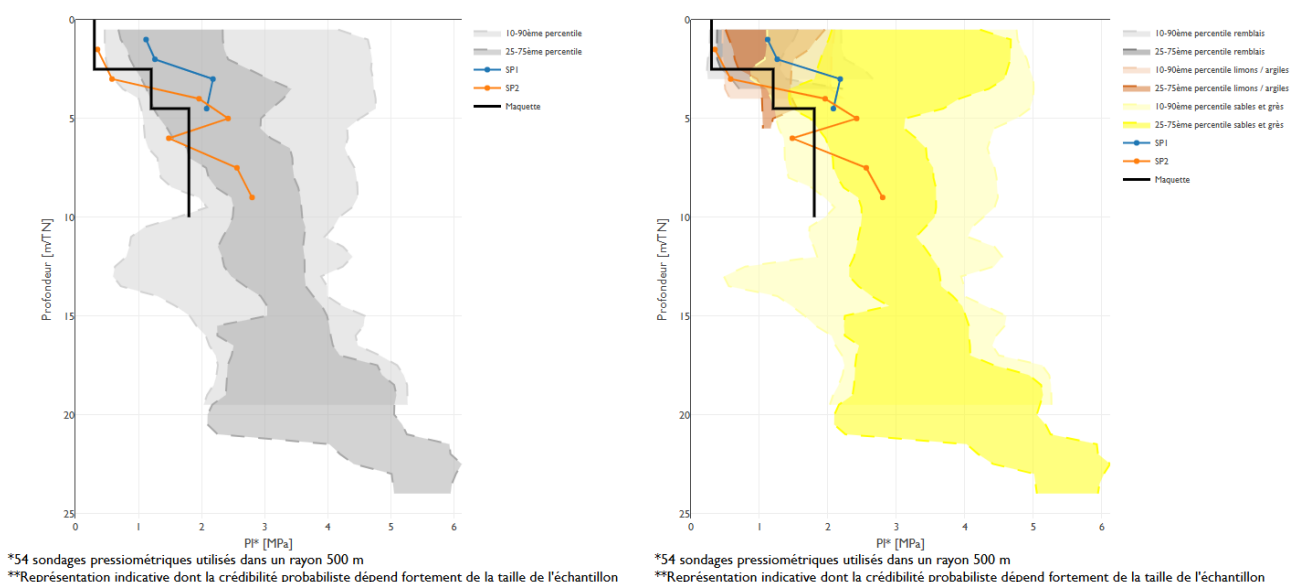
En zones de sismicité 1 et 2, l'analyse du risque de liquéfaction n'est pas requise.

C.8. Données statistiques SOLSCORE

Une consultation de données issues de campagnes de reconnaissances effectuées dans le cadre d'études antérieures réalisées par FONDASOL sur la zone d'étude et à proximité (à moins de 0,5 km dans un contexte géotechnique identique), en tenant compte de l'altimétrie moyenne du terrain de l'ordre de 61 NGF, a été réalisée. Cette consultation fait ressortir une base de 54 sondages pressiométriques significatifs et représentatifs de la zone d'étude.

L'exploitation statistique de ces données permet d'établir les enveloppes probabilistes correspondant aux pressions limites mesurées lors de ces campagnes antérieures et permet la comparaison avec les données provenant des sondages SP1 et SP2 réalisés au droit du site d'étude.

Il en ressort une bonne corrélation générale, avec des remblais et terrains à dominante argileuse généralement observés sur les premiers mètres, recouvrant un substratum de sables compacts à très compacts jusqu'à plus de 20 m de profondeur.



C.9. Synthèse géomécanique

À partir des résultats des reconnaissances réalisées, et au stade actuel des études (AVP), il est possible de proposer la maquette géotechnique suivante :

sols	profondeurs (m / TN)				p_l^* (MPa)	E_M (MPa)	α	E_s (MPa)	nappe (m / TN)
RSI **	de	0,0	à	2,5	0,3	4	1/2	8	non observée
SA2a	de	2,5	à	4,5	1,2	15	1/2	30	
SA2b	de	4,5	à	10,0	1,8	30	1/2	60	

** l'épaisseur de la couche de remblais RSI est très variable, en fonction du niveau du terrain actuel par rapport au bâtiment existant.

Remarque : il s'agit d'une « coupe géologique type » ; bien évidemment, des variations de la géométrie des couches géologiques existent. Ce tableau est donc à prendre avec prudence.

Abréviations :

p_l^* : pression limite nette

E_M : module de déformation pressiométrique Ménard

α : coefficient rhéologique

E_s : module de déformation du sol à long terme (DTU 13.3)

D. PRINCIPES DE CONSTRUCTION ENVISAGEABLES POUR LES OUVRAGES GEOTECHNIQUES

D.1. Contraintes spécifiques du site / identification des aléas géotechniques

Des contraintes spécifiques liées au projet et au site ont été mises en évidence :

- projet d'extension semi-enterré, avec des terrassements importants à prévoir,
- présence de remblais sur des épaisseurs plus ou moins importantes, en lien avec l'existant semi-enterré et la présence d'une butte de remblais,
- bonne compacité générale des terrains sablo-argileux sous-jacents,
- présence d'un bâtiment contigu dont les fondations présentent des débords (selon le plan de coffrage communiqué).

D.2. Première approche de la Zone d'Influence Géotechnique (ZIG)

La ZIG est le volume de terrain au sein duquel il y a interaction entre l'ouvrage ou l'aménagement de terrain, et l'environnement. La forme et l'extension de cette zone d'influence géotechnique sont spécifiques à chaque site et à chaque ouvrage ou aménagement de terrain.

Dans notre cas, pour insérer le projet dans le site, il est prévu la réalisation d'un déblai important voire d'un soutènement.

L'emprise de la ZIG à retenir peut être évaluée :

- par une bande de $3H$ à l'arrière du soutènement/talus à créer, où H correspond à la hauteur du soutènement/talus projeté,
- le cas échéant, par l'emprise spatiale du réseau de tirants d'ancrages projetés pour les soutènements. Une autorisation est nécessaire pour ancrer les tirants sur les propriétés voisines.

Ces points impliquent notamment :

- une reconnaissance topographique de l'intégralité de la ZIG,
- le cas échéant, une reconnaissance précise des structures et fondations des ouvrages situés dans l'emprise de la ZIG qui devra être réalisée pour l'étude du projet.

Un diagnostic structurel des ouvrages devra être réalisé pour les ouvrages existants situés dans la ZIG avec pour objectifs : de définir les descentes de charges de cet ouvrage, à prendre en compte pour l'étude du soutènement ; d'évaluer les déplacements limites admissibles pour ces ouvrages. Ces contraintes permettront de définir les éventuelles mesures de confortement indispensables avant la réalisation des travaux, ou les contraintes spécifiques.

D.3. Travaux d'adaptation du site pour accueillir le projet

Le niveau fini du projet et la pente du terrain conduisent à prévoir des travaux préparatoires de terrassement de plateforme en déblai. **Ceux-ci seront d'ampleur importante (jusqu'à plus de 3 m de hauteur).**

Ils pourront être effectués à l'aide d'engins de terrassements puissants traditionnels dans les terrains rencontrés.

En fonction de l'espace disponible sur le site et de la présence de mitoyens ou d'existants, un talutage ou un soutènement provisoire et/ou définitif doivent être envisagés.

Il convient de distinguer les ouvrages de soutènement et les talus provisoires, des talus et ouvrages de soutènements permanents. Pour le présent projet il s'agira :

- d'ouvrages provisoires :

Si espace disponible et hors avoisinant : talus réalisé en déblais pour la construction de l'extension semi-enterrée. Ces talus seront comblés en remblais après les travaux de gros œuvres et les parties enterrées de la structure devront prendre en compte la poussée des terres.

Si espace non disponible pour taluter et/ou avec un avoisinant : soutènements type écrans provisoires. Il s'agit d'écrans de soutènements dont la durée d'utilisation correspond à celle du chantier. Après les travaux de gros œuvres, les efforts au soutènement devront être repris par la structure qui devra prendre en compte la poussée des terres. Les ancrages sont alors désactivés.

- d'ouvrages permanents :

Structure projetée (murs de soutènements et/ou parties enterrées du projet) qui devra prendre en compte la poussée des terres et des surcharges.

On se reportera au chapitre E ci-après pour l'étude de ces ouvrages.

D.4. Dispositions vis-à-vis des eaux souterraines

Les investigations n'ont pas mis en évidence la présence d'eaux souterraines sur la profondeur des sondages, lors de la campagne réalisée.

D.4.1. Drainage de la plate-forme, épuisement des fouilles, en phase travaux

La fouille du projet ne recoupera sans doute pas la nappe. Des dispositions de drainage de la fouille sont néanmoins à prévoir, pour la gestion des eaux météoriques notamment (réalisation d'un matelas granulaire, de formes de pentes, de fossés, ...).

D.4.2. Dispositions pour les parties non enterrées en phase service

En phase définitive, il convient de prévoir un drainage dont l'étude détaillée (dimension, maillage, position, exutoire, entretien...) est à réaliser en phase projet.

D.4.3. Dispositions pour les parties enterrées en phase service

Compte-tenu des niveaux de nappe ponctuels mesurés lors de la présente étude et de notre connaissance du contexte hydrogéologique, une remontée de la nappe au-dessus de la base du sous-sol apparaît comme peu probable.

Le choix du dispositif de protection adapté à la destination des locaux doit être fait par le maître d'ouvrage et les concepteurs en regard des documents réglementaires en vigueur (DTU 20.1 notamment).

A minima, il faudra prévoir une imperméabilisation des voiles des niveaux enterrés et un drainage périphérique raccordé à un exutoire (à rechercher par le maître d'œuvre), et par l'intermédiaire d'une pompe de relevage si nécessaire. En cas d'impossibilité de rejet, le recours à une solution de cuvelage sera nécessaire.

D.4.4. Caractérisation de la perméabilité

Le coefficient de perméabilité des terrains a été mesuré ponctuellement, au droit du sondage EM4 (cf. § C.5 ci-avant). La perméabilité était assez élevée (de l'ordre de 1.10^{-5} m/s).

Dans ces conditions, et compte tenu de la profondeur suffisante de la nappe, une solution d'infiltration des eaux pluviales dans le sol est envisageable.

Nous rappelons que notre mission ne comprend pas l'étude des dispositifs de gestion des eaux pluviales (réseaux, ouvrages de stockage et/ou éventuels ouvrages d'infiltration...).

Si des ouvrages d'infiltration sont envisagés, une étude spécifique sera à réaliser. Cette étude pourra être confiée au service hydrogéologique de FONDASOL dans le cadre d'une mission complémentaire spécifique. La faisabilité de tels ouvrages devra être examinée notamment en fonction des capacités d'infiltration des terrains, de la présence de la nappe et de la présence des ouvrages avoisinants (fondations, caves, sous-sol enterré...) et de la réglementation.

La distance minimale à respecter vis-à-vis de ces derniers devra être fixée dans le cadre de l'étude spécifique de ces ouvrages, afin d'éviter toute interaction directe et éviter tout effet néfaste sur les terrains supportant ces ouvrages et/ou infrastructures.

D.5. Modes de fondations et structures de niveaux bas envisageables

D.5.1. Fondations

Compte-tenu du contexte géotechnique et du projet, les solutions de fondations envisageables sont les suivantes :

- Fondations superficielles de type semelles filantes ou isolées ancrées dans la formation SA2a.

D.5.2. Niveaux bas

Les valeurs des surcharges sur le niveau bas et les seuils de déformations admissibles de ce dernier ne nous ont pas été communiquées.

Sous réserve de surcharges restant « modérées » (charge surfacique inférieure ou égale à 1 t/m^2) et de seuils de déformations « courants », un dallage sur couche de forme sera envisageable.

Les hypothèses géotechniques de calcul, et ébauches dimensionnelles le cas échéant, de ces ouvrages sont fournies dans les chapitres suivants.

E. ETUDE DES TERRASSEMENTS, SOUTÈNEMENTS ET EPUISEMENT DES FOUILLES

E.1. Talus en déblai

E.1.1. Talus provisoires

Pour des talus d'une hauteur de l'ordre de 3 m en partie haute, réalisés au sein des remblais RS1 les pentes des talus provisoires en déblai seront réglées suivant des pentes maximales de $3B/2H$ (Base/Hauteur), en l'absence de surcharges en crête.

Des dispositions devront être prises pour empêcher la dégradation des faces des talus sous l'action du ruissellement des eaux et/ou de dépôts éoliens.

Si des arrivées d'eau étaient observées dans les talus en déblais, il faudra les capter et les collecter. A cet effet, il pourra être envisagé :

- des tranchées drainantes ;
- des éperons et/ou masques drainants ;
- des drains sub-horizontaux forés.

L'eau sera conduite vers un exutoire autorisé sans risque pour le chantier et les avoisinants, conformément aux règlements relatifs à la protection de l'environnement.

Il s'agit là de principes généraux donnés en première approche, qui devront faire l'objet d'une étude détaillée en phase PRO.

E.1.2. Talus définitifs

Pour des talus de hauteur inférieure ou de l'ordre de 3 m, les pentes des talus définitifs en déblais seront réglées suivant des pentes maximales de $2B/1H$ (Base/Hauteur), en l'absence de surcharges en crête.

Des dispositions devront être prises pour empêcher la dégradation des faces des talus sous l'action du ruissellement des eaux et/ou de dépôts éoliens. A cet effet, on pourra prévoir par exemple une végétalisation rapide, efficace et pérenne et/ou la mise en place de masques granulaires.

E.2. Soutènements

Si les contraintes d'emprises ne permettent pas de réaliser un talutage et pour tout terrassement sous nappe, les terrassements devront se faire à l'abri d'un soutènement qui devra être dimensionné vis-à-vis de la poussée des terres et de l'eau, le cas échéant.

L'ouvrage pourra être de type écran berlinois ou équivalent. Il sera autostable ou tenu par des liernes et tirants (sous réserve d'autorisation de tréfonds des riverains) ou par des butons provisoires.

En phase définitive, la reprise de la poussée des terres (et de l'eau) sera à assurer par la structure de l'ouvrage qui devra être conçue et dimensionnée en conséquence.

Il pourra être envisagé des écrans de soutènement assurant également une fonction de portance. L'étude de ce point relève d'une étude G2 phase PRO.

Il conviendra de tenir compte de l'emprise (encombrement) de l'ouvrage de soutènement dans la définition de la géométrie des ouvrages définitifs.

Les ouvrages devront faire l'objet d'un prédimensionnement en phase PRO de la mission G2.

E.3. Conditions générales de terrassements

D'une façon générale, l'entreprise devra adapter sa méthodologie d'exécution des travaux (terrassement, compactage, ...) afin d'assurer l'assainissement et la portance des plateformes et d'éviter de générer des désordres dans les avoisinants pouvant être influencés par les travaux.

Les terrassements seront exécutés en dehors des périodes de pluie et en dehors des périodes de hautes eaux.

Les terrassements pourront être majoritairement réalisés à la pelle mécanique. La rencontre d'éléments rocheux (grès) / de vestiges éventuels, pourront nécessiter ponctuellement l'emploi de moyens de déroctage (BRH, ...).

En cas d'évacuation de matériaux hors du site, il conviendra de définir le type de filière adapté, à partir d'une étude environnementale spécifique.

E.4. Suivi / instrumentation

Certaines problématiques ne peuvent être vues que lors de l'ouverture « en grand » des terrassements. C'est notamment le cas des circulations erratiques d'eaux souterraines et de certaines hétérogénéités lithologiques.

Un suivi géotechnique d'exécution sera à prévoir lors des travaux pour vérifier les hypothèses et définir les éventuelles adaptations (dans le cadre de la mission G3).

Afin de vérifier si le comportement des talus en déblai et/ou des soutènements suit les prévisions, il faudra prévoir une instrumentation spécifique à définir en phase PRO.

F. ÉTUDES DES FONDATIONS SUPERFICIELLES

F.1. Mode de fondation envisageable

Compte tenu de la nature du projet et du contexte géotechnique du site, il sera réalisé :

- fondations : des semelles superficielles ponctuelles ou filantes
- sol d'assise : sables argileux SA2a
- ancrage dans le sol d'assise : minimum 0,3 m
- profondeurs d'assise des fondations : minimum 0,8 m sous le niveau fini, et au même niveau que l'existant pour les fondations contiguës (*a priori* 1,4 m, à confirmer)
- cotes d'assise : vers 58,1 NGF, et 57,5 NGF le long de l'existant
- présence d'eau : non rencontrée en cours de sondage à ces profondeurs
- contrainte de calcul à l'État Limite de Service : $q'_{ELS} = 0,35 \text{ MPa}$
- règles de l'art à respecter :
 - à proximité des avoisinants, il faudra descendre les fondations au moins au même niveau que les existants et respecter la règle des redans en s'en éloignant (cf. ci-après).
 - sur profondeurs possibles : rattrapage altimétrique par un calage en gros béton,
 - aucune fondation posée dans les sols remaniés (remblais, construction / démolition antérieure) ou organiques (tourbe, vase, terre végétale et les sols noirâtres susceptibles de l'être).

F.2. Modèle géotechnique

À partir des résultats des reconnaissances réalisées, et au stade actuel des études (AVP), il est possible de proposer la maquette géotechnique suivante :

sols	profondeurs (m / TN)				pI* (MPa)	E _M (MPa)	α
RSI	de	0,0	à	2,5	0,3	4	1/2
SA2a	de	2,5	à	4,5	1,2	15	1/2
SA2b	de	4,5	à	10,0	1,8	30	1/2

F.3. Niveaux d'assise

Le niveau d'assise (ancrage compris) sera au droit de nos sondages de :

Sondages	SP1	SP2	SC3
Cote projet (NGF)	58,90	58,90	58,90
Cotes des sondages (NGF)	59,7	62,1	61,9
Profondeurs d'assise/TN en m	-1,6	-4,0	-3,8
Cotes d'assise (NGF)	58,1	58,1	58,1
Profondeurs d'assise/cote projet en m	-0,8	-0,8	-0,8

Le toit du sol d'assise est sujet à des variations altimétriques et le niveau d'assise des fondations sera adapté pour respecter l'ancrage prescrit. Il faudra provisionner des quantités de béton de rattrapage permettant de prendre en compte cet aléa.

F.4. Contraintes de calcul

PAR LA METHODE PRESSIOMETRIQUE (SELON NF P94-261)

Pour une fondation isolée ou filante descendue et ancrée de façon homogène dans les sols SA2a à partir de 0,8 m de profondeur par rapport au niveau fini du projet, la pression limite nette p_{le}^* calculée sous la base de la fondation, et le facteur de portance k_p sont :

$$p_{le}^* = 1,2 \text{ MPa}$$

$$k_p = 0,8 \text{ (pour un encastrement relatif } De/B = 0)$$

$$q_0 = 0 \text{ (contrainte verticale dans le sol au niveau de la base de la fondation après travaux)}$$

Les contraintes de calcul sont alors :

$$q'_{ELU} = 0,57 i_\delta i_\beta \text{ MPa}$$

$$q'_{ELS} = 0,35 i_\delta i_\beta \text{ MPa}$$

Ces contraintes de calculs s'entendent pour des fonds de fouilles sains et non remaniés.

Nota : dans le cas d'une charge inclinée par rapport à la verticale, ou bien d'une fondation réalisée à proximité d'un talus, les coefficients respectivement i_δ et i_β seront inférieurs à 1.

Les fondations auront une largeur minimale de 0,40 m pour des semelles filantes et de 0,60 m pour des appuis isolés.

F.5. Exemples de calcul pour quelques fondations types

Dans le cadre de la phase G2 AVP, nous nous limiterons à la reprise des charges verticales centrées ; la stabilité au glissement et à l'excentrement des charges devra être étudiée en phase G2 PRO.

Le dimensionnement structurel des fondations et des structures sera confié à un BET structure spécialisé.

L'application de ces contraintes de calcul aux charges aux ELS, conduit aux dimensions de fondation suivantes pour quelques charges types, et aux tassements associés suivants :

		CAS N°1	CAS N°2	CAS N°3	CAS N°4
		SEMELLES ISOLEES		SEMELLES FILANTES	
CHARGE ELS		224 kN	504 kN	175 kN	210 kN
DIMENSIONS		0,8 m x 0,8 m	1,2 m x 1,2 m	0,5 m	0,6 m
	Zassise m/TN	TASSEMENT ESTIMÉ (mm)			
Selon SP1	1,6	4	5	4	5
Selon SP2	4,0	2	3	3	3

Les tassements totaux estimés pour les charges ci-dessus seront de l'ordre du demi-centimètre et les tassements différentiels seront du même ordre de grandeur.

F.6. Dispositions constructives pour les fondations superficielles

L'étude détaillée des principes d'exécution relève de la phase PRO de l'étude géotechnique G2. Nous nous limiterons dans le cadre de la phase G2 AVP à lister les principes généraux.

F.6.1. Conception

Le cas échéant, les règles relatives aux fondations posées à des niveaux différents devront être respectées, notamment entre les différentes fondations du projet **et par rapport aux fondations du bâtiment existant.**

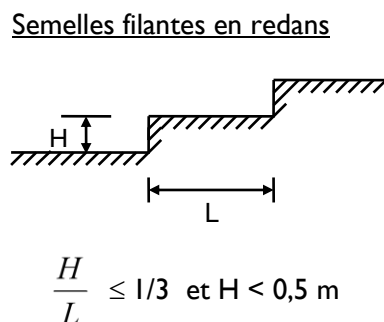
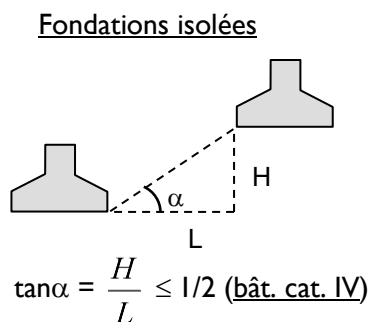


Schéma de principe de la règle relative aux fondations posées à différents niveaux

F.6.2. Conditions de terrassement

Les terrassements des fondations superficielles pourront se faire en retro avec un engin de terrassement puissant traditionnel (pelle hydraulique, par exemple).

Bien vérifier les fonds de fouilles et purger toute poche de sol douteux (poche de limons ou de sables très mous, remblais, sol comportant des éléments végétaux...) au niveau d'assise retenu. Tout sol douteux détecté à l'ouverture des fouilles sera purgé, remplacé par du gros béton coulé pleine fouille.

Les fondations seront coulées pleine-fouille immédiatement après ouverture.

Les sols pouvant s'avérer bouillants, on devra recourir à un blindage provisoire ou on devra admettre des hors profils de terrassement et donc, une augmentation du volume de béton coulé.

F.6.3. Risques liés à l'eau (pluie, nappe...)

Les travaux seront réalisés en dehors des périodes de pluie.

Le bétonnage interviendra immédiatement après la réalisation des fouilles de fondation. Malgré cette précaution, en cas de pluie avant le bétonnage des fouilles, les fonds de fouilles remaniés par l'eau et les matériaux effondrés des parois devront être bien curés et bien nettoyés avant le coulage.

Des venues d'eau en fond de fouilles pourraient nécessiter un pompage préalable au bétonnage.

F.6.4. Sujétions d'exécution liées à la présence d'existants

La présence de fondations mitoyennes au projet nécessitera une étude spécifique lors de la phase Projet PRO de mission G2.

Selon les informations communiquées, les fondations de l'existant seraient des semelles filantes ou ponctuelles descendues vers 1,4 m sous le niveau bas existant (cote 57,5 NGF). Des reconnaissances de fondations pourront être réalisées lors des travaux de terrassements préalables afin de valider ce point.

Les principes généraux de construction à appliquer seront :

- descendre les fondations du bâtiment projeté au minimum au même niveau que les fondations du bâtiment le long des murs avoisinants,
- respecter les règles relatives aux fondations avoisinantes (cf. § Conception),
- limiter l'impact sur les mitoyens (fondations isolées blindées, ou semelles isolées ou filantes le plus perpendiculairement possible vis-à-vis des murs existants),
- réaliser un joint d'isolement.

Dans le cas de fondations excentrées pour tenir compte des débords des fondations existantes, on réalisera des longrines en béton armé permettant la reprise en console des murs du projet. Les fondations du nouveau projet seront donc à adapter en fonction des fondations existantes afin d'éviter toute interaction avec celles-ci.

G. ÉTUDE DE L'ASSISE DES DALLAGES

G.1. Possibilités techniques pour les niveaux bas

Compte tenu de la nature du projet et du contexte géotechnique du site, on pourra réaliser la nouvelle structure avec un dallage sur terre-plein, sous réserve de mettre en place une couche de forme soigneusement compactée.

La réalisation d'une dalle portée par les fondations reste évidemment également envisageable, et pourrait s'avérer nécessaire par exemple pour reprendre les sollicitations sismiques du projet (à calculer par un bureau d'études structure et à vérifier dans le cadre de la mission G2-PRO).

Dans la suite de ce chapitre, la solution de dallage sur terre-plein sera étudiée.

G.2. Principes généraux de mise en œuvre

On pourra envisager de réaliser un dallage sur terre-plein sous réserve de respecter les recommandations ci-après :

- prévoir un drainage permettant d'assurer la pérennité de la portance de plateforme,
- travailler par temps sec,
- décaper la terre végétale et les sols comportant des racines sur toute leur épaisseur,
- purger avec un Brise Roche Hydraulique tous les vestiges de constructions et de fondations pouvant jouer le rôle de points durs sous les nouveaux dallages et purger les éventuels réseaux enterrés en les rebouchant avec des matériaux graveleux soigneusement compactés,
- décaper les éventuels remblais et surépaisseur de sols jusqu'à une profondeur minimale de 0,3 m sous la sous-face des futurs dallages,
- on réalisera une fermeture (léger recompactage) du sol support sans remanier le fond de forme,
- disposer un géotextile de séparation et filtration en fond de forme,
- mettre en œuvre une couche de forme en matériaux granulaires non évolutifs (par exemple grave non traitée GNT ou concassé de roche dure 0/40 mm à 0/63 mm avec moins de 12 % de passant à 80 μ m et VBS \leq 0,1, insensible à l'eau), soigneusement compactée.

On n'utilisera pas de graves issues de la filière du recyclage sous l'emprise du futur bâtiment (cf. DTU 13.3).

L'entreprise devra adapter les modes de mise en œuvre et de compactage aux caractéristiques du site, au matériau retenu et au matériel dont elle dispose, afin d'obtenir les critères de réception demandés.

- l'épaisseur de couche de forme sera **de l'ordre de 30 cm à 40 cm**, à adapter selon l'état hydrique et la portance du sol support au moment des travaux,

- la plateforme d'assise des dallages devra être contrôlée par des essais à la plaque pour vérifier la mise en œuvre des remblais et de la couche de forme. On cherchera à obtenir au minimum :
 - Module de second cycle : $EV2 \geq 50 \text{ MPa}$

Si l'on cherche à obtenir des valeurs de réception de plateforme plus élevées que ci-dessus, ou bien en cas de pluie, il faudra augmenter l'épaisseur de la couche de forme.

- désolidariser la dalle des structures verticales adjacentes.

Remarques :

- La présence d'eau en fond de forme pourra nécessiter un drainage provisoire et un pompage d'évacuation.
- L'épaisseur de la couche de forme dépendra des conditions météorologiques au moment de sa mise en œuvre. C'est pourquoi au démarrage du chantier nous recommandons la réalisation de planches d'essais (vérifiées par essais de plaque) afin de préciser l'épaisseur de la couche de forme pour atteindre les objectifs de portance.
- La mise en œuvre de la couche de forme devra se faire au fur et à mesure du décapage et des décaissements éventuels afin de ne pas exposer les arases aux conditions météorologiques.

G.3. Modules de déformation des sols sous dallages

Les modules de déformation du sol E_s à retenir pour le calcul des dallages sont estimés à partir du module pressiométrique E_M et du coefficient rhéologique α .

Nous avons relevé un profil géomécanique-type (le niveau de référence étant ici le dessus de la nouvelle couche de forme graveleuse) :

sols	profondeur (m)	E_M (MPa)	α	E_s (MPa)
couche de forme	épaisseur : 0,3 à 0,4 m	-	-	45 *
SA2a	de 0,4 à 2,0	15	1/2	30
SA2b	de 2,0 à 7,5	30	1/2	60

* Cette valeur est donnée à titre indicatif : elle est fonction de la nature des matériaux et de la qualité de leur mise en œuvre.

Nota : l'hétérogénéité devra être prise en compte et les calculs de dallages devront être menés avec l'ensemble de ces valeurs et profils géomécaniques.

G.4. Tassements prévisibles

En considérant des charges d'exploitation de l'ordre de 10 kPa (= 1 t/m²), le tassement prévisionnel est estimé inférieur ou de l'ordre du demi-centimètre.

H.CONCLUSIONS ET ALEAS PREVISIBLES

Le projet consiste en la construction d'une extension du bâtiment SAMU-SMUR.

Les sondages ont mis en évidence la présence de remblais plus ou moins épais, puis de sables argileux de bonne compacité générale.

Des fondations superficielles ponctuelles ou filantes sont donc envisageables dès 0,8 m de profondeur sous le niveau projeté (plus profondément le long de l'existant), avec une contrainte de calcul à l'ELS $q'_{ELS} = 0,35$ MPa.

Le niveau bas pourra être porté par les fondations, ou traité en dallage sur terre-plein sous réserve d'obtenir une plateforme homogène et saine et de mettre en œuvre une couche de forme d'environ 30 cm à 40 cm.

A ce stade de l'étude, plusieurs aléas ont été nettement identifiés :

- épaisseurs variables des remblais,
- terrassements importants à prévoir au sein de la butte de remblai existante, si nécessaire à l'abri d'un soutènement provisoire,
- présence de bâtiments contigus dont les niveaux d'assises des fondations n'ont pas été visualisés, mais *a priori* situés vers 1,4 m de profondeur minimum sous le niveau fini de l'existant.

Nous restons à votre disposition pour réaliser des missions complémentaires permettant de réduire ces aléas.

Le présent rapport conclut la phase AVP de la mission d'étude géotechnique G2 confiée à FONDASOL.

Les calculs et valeurs dimensionnelles donnés dans le présent rapport ne sont que des ébauches destinées à donner un premier aperçu des sujétions techniques d'exécution et ne constituent pas un dimensionnement du projet.

Selon la norme NF P94-500, cette phase est insuffisante pour consulter les entreprises ; elle doit être suivie des phases PRO de prédimensionnement des ouvrages géotechniques, et ACT visant notamment à vérifier avant l'envoi du DCE aux entreprises, que les préconisations de l'étude G2 sont bien prises en compte dans les paragraphes du CCTP relatifs aux ouvrages géotechniques.

Il conviendra également de missionner un géotechnicien pour la supervision d'exécution des travaux géotechniques dans le cadre d'une mission G4. L'étude et le suivi d'exécution de ces travaux est à confier à l'entreprise dans le cadre d'une mission G3.

FONDASOL est à la disposition du maître d'ouvrage et du maître d'œuvre pour réaliser les missions d'étude G2 phase PRO et la mission G4.



ANNEXES

I. ENCHAINEMENT DES MISSIONS

TYPES D'INGENIERIE GEOTECHNIQUE

(NORME NF P94-500)

Le Maître d'Ouvrage doit associer l'ingénierie géotechnique au même titre que les autres ingénieries à la Maîtrise d'Œuvre et ce, à toutes les étapes successives de conception, puis de réalisation de l'ouvrage. Le Maître d'Ouvrage, ou son mandataire, doit veiller à la synchronisation des missions d'ingénierie géotechnique avec les phases effectives à la Maîtrise d'Œuvre du projet.

L'enchaînement et la définition synthétique des missions d'ingénierie géotechnique sont donnés ci-après. Deux ingénieries géotechniques différentes doivent intervenir : la première pour le compte du Maître d'Ouvrage ou de son mandataire lors des étapes 1 à 3, la seconde pour le compte de l'entreprise lors de l'étape 3.

Enchaînement des missions G1 à G4	Phases de la maîtrise d'œuvre	Mission d'ingénierie géotechnique 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	Études géotechniques préalables (G1) Phase Principes Généraux de Construction (PGC)		Première adaptation des futurs ouvrages aux spécificités du site	Première identification des risques pour les futurs ouvrages	Fonctions 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	Études géotechniques 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)		A la charge de l'entreprise	A la charge du maître d'ouvrage			
	EXE/VISA	Étude de 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'exécutions (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

Classification des missions d'ingénierie géotechnique en page suivante

Février 2014

2. MISSIONS TYPES D'INGENIERIE GEOTECHNIQUE (NORME NF P94-500)

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.

ETAPE 1 : ETUDE GEOTECHNIQUE PREALABLE (G1)

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

Phase Étude de Site (ES)

Elle est réalisée en amont d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS pour une première identification des risques géotechniques d'un site. - Faire une enquête documentaire sur le cadre géotechnique du site et l'existence d'avoisinants avec visite du site et des alentours.

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport donnant pour le site étudié un modèle géologique préliminaire, les principales caractéristiques géotechniques et une première identification des risques géotechniques majeurs.

Phase Principes Généraux de Construction (PGC)

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

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

ETAPE 2 : ETUDE GEOTECHNIQUE DE CONCEPTION (G2)

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

Phase Avant-projet (AVP)

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

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

Phase Projet (PRO)

Elle est réalisée au stade du projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées suffisamment représentatives pour le site. - Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.

- Fournir un dossier de synthèse des hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade du projet (valeurs caractéristiques des paramètres géotechniques en particulier), des notes techniques donnant les choix constructifs des ouvrages géotechniques (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dallages et voiries, améliorations de sols, dispositions vis-à-vis des nappes et des avoisinants), des notes de calcul de dimensionnement, un avis sur les valeurs seuils et une approche des quantités.

Phase DCE / ACT

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

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

ETAPE 3 : ETUDES GEOTECHNIQUES DE REALISATION (G3 et G4, distinctes et simultanées)

ETUDE ET SUIVI GEOTECHNIQUES 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 GEOTECHNIQUE 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.

A TOUTES ETAPES : DIAGNOSTIC GEOTECHNIQUE (G5)

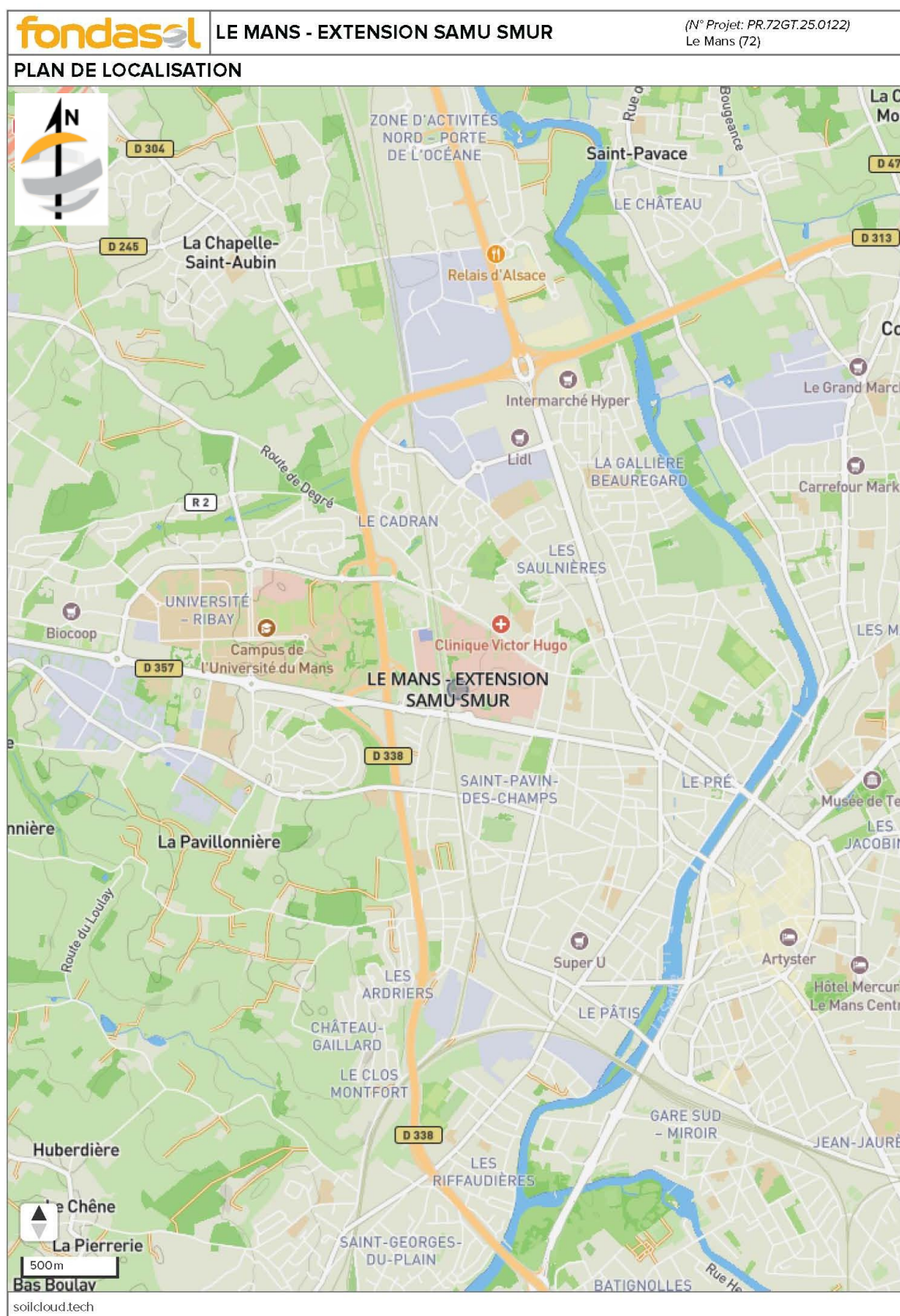
Pendant le déroulement d'un projet ou au cours de la vie d'un ouvrage, il peut être nécessaire de procéder, de façon strictement limitative, à l'étude d'un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques, dans le cadre d'une mission ponctuelle. Ce diagnostic géotechnique précise l'influence de cet ou 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).

Février 2014

3. PLAN DE SITUATION

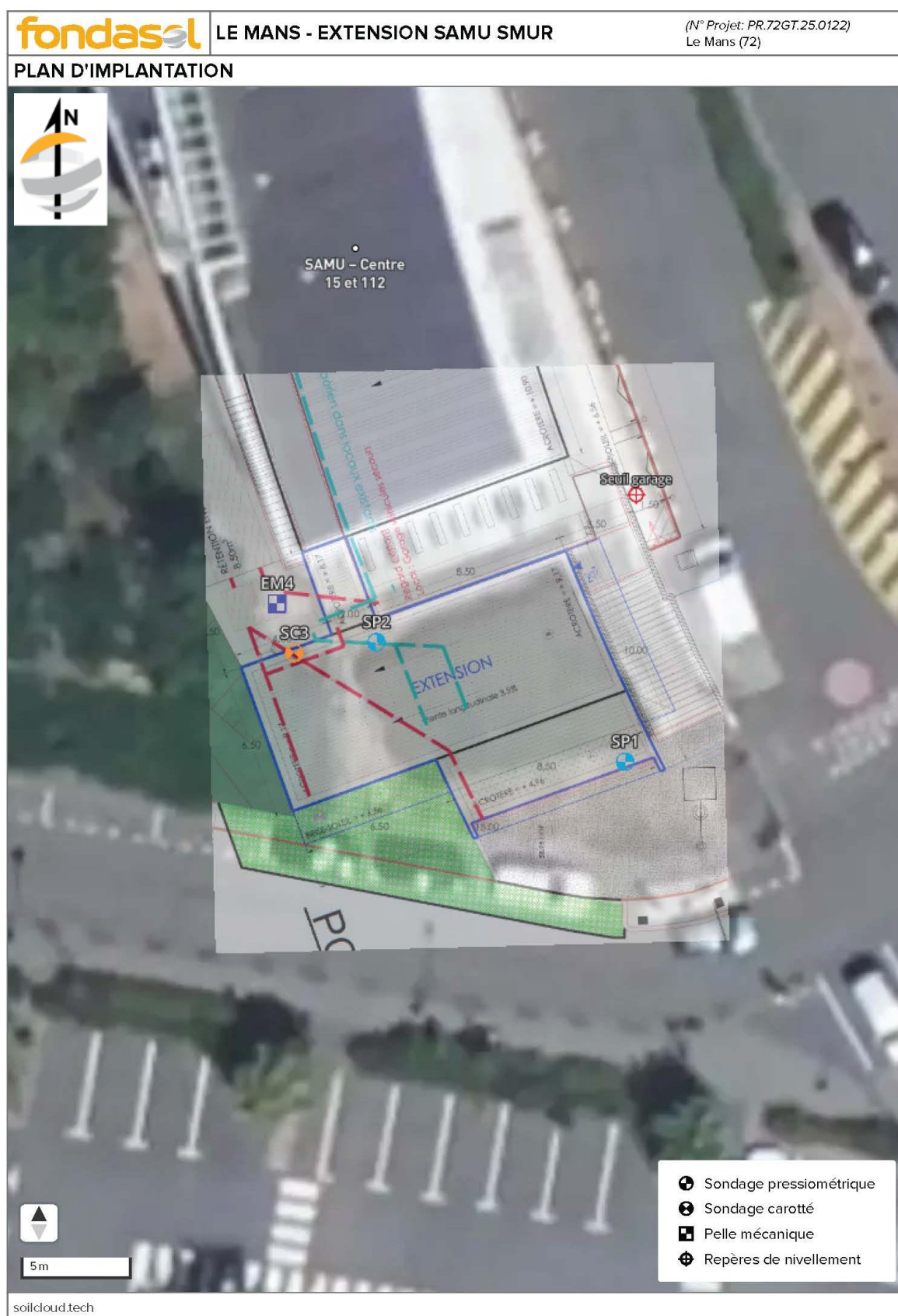


4. VUES AERIENNES ANCIENNES

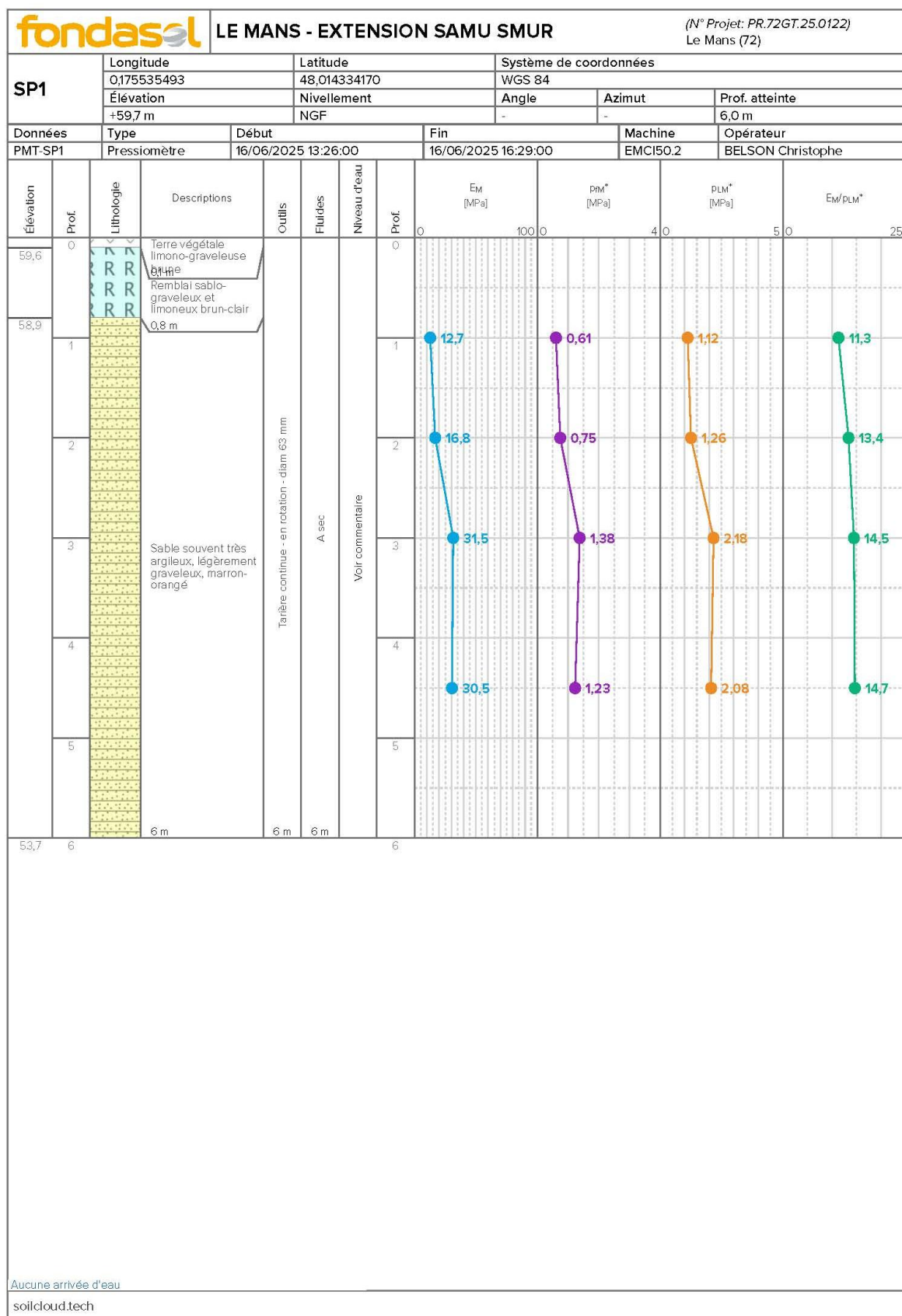


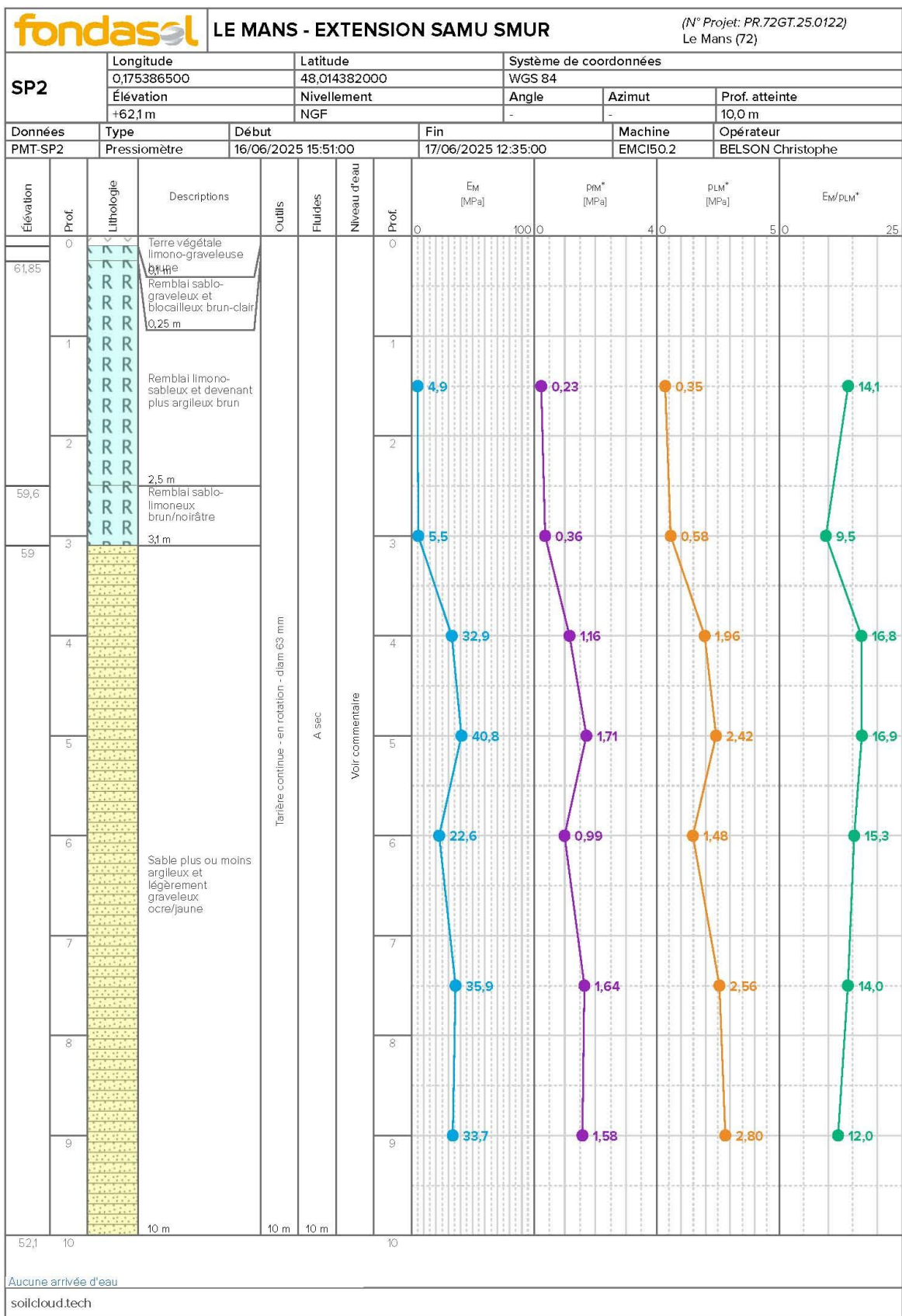


5. IMPLANTATION DES SONDAGES



6. RESULTATS DES SONDAGES





fondasol		LE MANS - EXTENSION SAMU SMUR				(N° Projet: PR.72GT.25.0122) Le Mans (72)			
SC3	Longitude		Latitude		Système de coordonnées		Précision des relevés		
	0,175337305		48,014377633		WGS 84		Non renseigné		
	Élévation		Prof. atteinte		Angle	Azimut	Nivellement	Précision des nivellements	
	+61,9 m		5,0 m		-	-	NGF	Non renseigné	
Début 19/06/2025 12:31			Fin 19/06/2025 12:42		Machine EMCI50.2		Opérateur BELSON Christophe		
Élévation	Prof.	Lithologie	Descriptions					Outils	Fluides
61,82	0		Terre végétale limono-graveleuse brune, à radicielles 0,08 m					Carotier percussion Ø14mm	A sec
	1		Remblai limono-graveleux brun-clair, avec gravelles émoussées gris/blanc ou lie-de-vin, centimétriques à pluri-centimétriques (cailloux d'environ 10 cm de diamètre vers 0,50 m et 1,00 m de profondeur) 1,4 m						
60,5	2	Remblai limono-sablo-graveleux brun/ocre, avec des passées plus argileuses (vers 1,60 m et 2,00 m notamment) et des zones beaucoup plus sableuses orangées (vers 1,80 m), quelques cailloux anguleux gris-foncé d'environ 5 à 10 cm de diamètre notamment vers 1,90 m 2,2 m							
59,7	3	Sable fin à moyen assez argileux et induré orangé à marron-clair, avec quelques gravelles émoussées centimétriques, devenant progressivement plus argileux notamment après 2,80 m 3,4 m							
58,5		Sable très argileux (grains fins) marron-orangé 3,6 m							
58,3	4	Sable très argileux marron-orangé (échantillon intact envoyé au laboratoire) 4,7 m							
57,2									

soilcloud.tech

fondasol		LE MANS - EXTENSION SAMU SMUR				(N° Projet: PR.72GT.25.0122) Le Mans (72)	
EM4	Longitude	Latitude	Système de coordonnées			Précision des relevés	
	0,175326906	48,014397521	WGS 84			Non renseigné	
	Élévation	Prof. atteinte	Angle	Azimut	Nivellement	Précision des nivellements	
	+62,1 m	2,5 m	-	-	NGF	Non renseigné	
Début		Fin		Machine		Opérateur	
11/06/2025 09:08		11/06/2025 09:08		Mini-pelle		Matthieu LE MOIGNE	
Élévation	Prof.	Lithologie	Descriptions				Notes
61,95	0		Remblai limono-sablo-graveleux marron				Bonne tenue des parois
			0,15 m				
61,6			Remblai limono-sableux marron				
			0,5 m				
	1		Remblai argilo-sableux marron-orangé				
			1,7 m				
60,3			Sable légèrement argileux marron (remblai ?)				1,8 m
			1,8 m				

soilcloud.tech

RÉFÉRENCE : PR.72GT.25.0122
NOM DU CALCUL : Essai Matsuo

PROJET : LE MANS - EXTENSION SAMU SMUR

OUTIL : Matsuo v1.0

Vérificateur

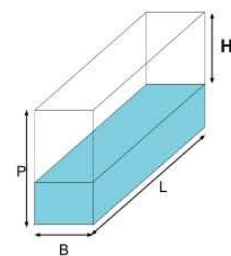
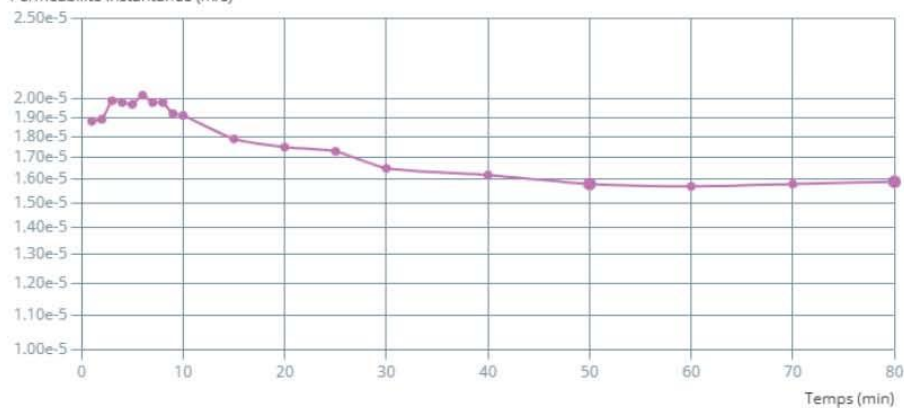
Observations

A. BRICHE

-

	EM4	-	-	-	-	-
LONGITUDE	-	-	-	-	-	-
LATITUDE	-	-	-	-	-	-
LONGUEUR L (m)	1,1	-	-	-	-	-
LARGEUR B (m)	0,3	-	-	-	-	-
PROFONDEUR P (m)	1,8	-	-	-	-	-
DATE DÉBUT SATURATION	02/07/2025 13:40	-	-	-	-	-
DATE DÉBUT ESSAI	02/07/2025 13:55	-	-	-	-	-
NATURE DU SOL	sable légèrement argileux (remblai ?)	-	-	-	-	-
MÉTÉO	variable	-	-	-	-	-
VENT	faible	-	-	-	-	-
TEMPÉRATURE	25	-	-	-	-	-
OBSERVATIONS	-	-	-	-	-	-

Perméabilité instantanée (m/s)



N° ESSAI	ESSAI	DATE ESSAI	PERMÉABILITÉ
1	EM4	02/07/25 13:55	1,58E-5 m/s 57 mm/h

7. PHOTOGRAPHIES DU CAROTTAGE



8. RESULTATS DES ESSAIS DE LABORATOIRE

Essais en cours de réalisation.

9. PHOTOGRAPHIES PANORAMIQUES DE LA ZONE D'ETUDE





A large, stylized graphic of a globe or sphere. The top half is a solid orange arc. The bottom half is a grey arc. The middle section is a white, curved band that contains the text 'fondasol'. The background of the sphere is a collage of images: a modern glass skyscraper, a green building with a vertical garden, and an aerial view of a city with orange location pins.

fondasol

www.groupefondasol.com