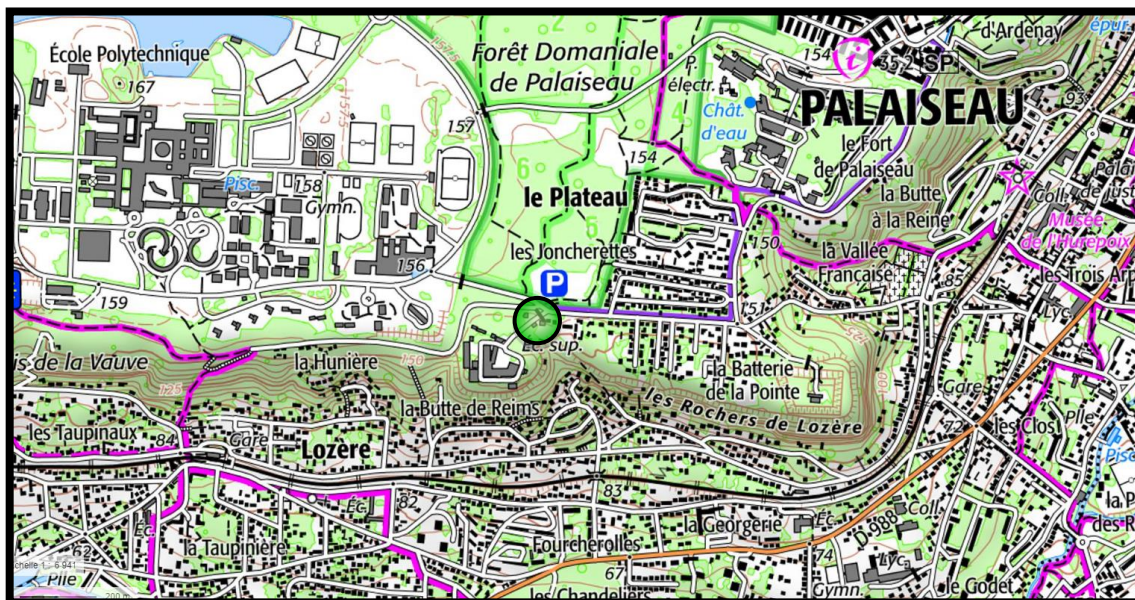


ETUDE GEOTECHNIQUE DE CONCEPTION



Création d'une volière à drones

181, Chemin de la Hunière

91120 PALAISEAU

ENSTA PARIS

828, Boulevard des Maréchaux

91762 PALAISEAU CEDEX

Missions géotechniques selon NF P 94-500 (novembre 2013)

I.G.	Investigations géotechniques	X
G1-ES	Etude géotechnique préalable Phase 1 Etude de site	
G1-PGC	Etude géotechnique préalable Phase 2 Principes Généraux de Construction	
G2-AVP	Etude géotechnique de conception Phase 1 Avant-Projet	X
G2-PRO	Etude géotechnique de conception Phase 2 Projet	X
G2-DCE	Etude géotechnique de conception Phase 3 DCE/ACT	
G3	Etude et suivi géotechnique d'exécution	
G4	Supervision géotechnique d'exécution	
G5	Diagnostic géotechnique	

INDICE	DATE	OBJET	AUTEUR	VERIFICATEUR(S)
0	30/05/2024	ELABORATION DU RAPPORT – G2 AVP+PRO	A-S MAYNADIE	V-C. LE

SOMMAIRE

CHAPITRE I - GENERALITES	4
I.1. Définition de la mission	4
I.2. Description du projet.....	4
I.3. Les objectifs.....	4
I.4. Méthode de travail.....	5
I.5. Présentation des résultats.....	6
I.6. Méthodologie de la présente mission G2-PRO.....	7
CHAPITRE II - SYNTHESE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE.....	8
II.1. Cadre général.....	8
II.2. Résultats de la campagne d'investigations.....	11
CHAPITRE III - DIMENSIONNEMENTS GEOTECHNIQUES.....	14
III.1. Fondations des mâts	14
III.2. Les séquences des travaux géotechniques.....	23
CHAPITRE IV - RECOMMANDATIONS GENERALES ET ALEAS	25
IV.1. Recommandations générales	25
IV.2. Poursuite du projet	26
IV.3. Aléas géotechniques.....	26
 ANNEXE 1 : PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES	
ANNEXE 2 : FICHES DES SONDAGES	
ANNEXE 3 : NOTE DE CALCUL FONDATIONS	

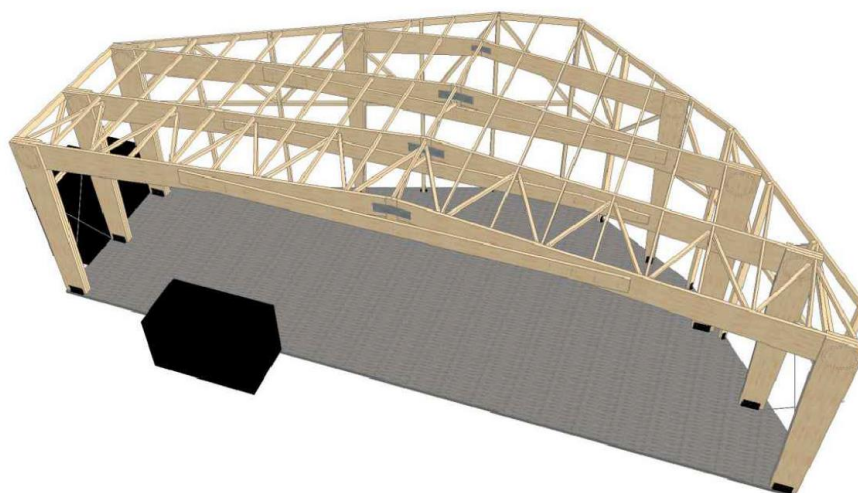
CHAPITRE I - GENERALITES

I.1. DEFINITION DE LA MISSION

A la demande de *BEE STRUCTURE INTERNATIONALE*– 80 Bis Rue Pierre Sépard à CHATILLON (92) et pour le compte de ENSTA PARIS – 828 Boulevard des Maréchaux à PALAISEAU (91), nous avons été missionnés pour réaliser une étude géotechnique de conception – phase projet (mission de type G2-AVP+PRO, conformément à la norme NF P 94-500 – édition novembre 2013), pour le projet de création d'une volière à drones situé au 181, Chemin de la Hunière à PALAISEAU (91).

I.2. DESCRIPTION DU PROJET

Le projet prévoit la création d'une volière à drones en charpente bois sans dallage.



Extrait carnet de plan – daté du 22/05/2024 – Indice A – établi par BEE STRUCTURE INTERNATIONALE

I.3. LES OBJECTIFS

Cette mission d'étude géotechnique phase de projet, de **type G2 AVP + PRO**, réalisée conformément à la norme NF P 94-500 sur la classification des missions géotechniques (édition novembre 2013), s'est notamment appuyée sur les résultats de l'étude d'avant-projet et avait pour objectifs :

- de définir le modèle géologique et le contexte géotechnique ;

- d'identifier les risques géotechniques et de réduire les conséquences des risques géotechniques importants en cas de survenance ;
- de définir les hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade du projet (caractéristiques mécaniques, niveau de nappe) ;
- de dimensionner les fondations sur la base des descentes de charges reçues, avec édition de notes de calculs,
- de justifier le dispositif de fondations retenu vis-à-vis de la contrainte et des tassements,
- de donner les séquences de travaux des ouvrages géotechniques.

Cette mission ne comprend pas les phases consultation des entreprises DCE/ACT (mission G2 – DCE/ACT), ni l'étude et le suivi géotechniques d'exécution (mission G3), ni la supervision géotechnique d'exécution (mission G4) dont les réalisations successives sont recommandées par la norme NF P 94-500 – édition novembre 2013 – sur l'enchaînement des missions géotechniques, étant rappelé que **la mission G2 demeure, aux termes de la norme, un tout indissociable.**

Par ailleurs, l'exploitation et l'utilisation des informations contenues dans le présent rapport doivent respecter les « Conditions Générales d'utilisation de nos rapports » jointes en annexes.

I.4. METHODE DE TRAVAIL

I.4.1. Campagne d'investigations géotechniques

Compte tenu des objectifs fixés, notre campagne de reconnaissances a été menée à l'aide de :

- ✓ **3 SONDAGES PRESSIOMETRIQUES SP1 A SP3**, descendus entre 8 et 15 m de profondeur par rapport au terrain actuel (m/TA), Les sondages ont été débutés en destructif à l'aide d'un tricône Ø 66 mm, puis poursuivis en rotopercussion Ø 66 mm. Les sondages ont été exécutés avec injection de fluide de forage (eau + boue chimique biodégradable) et enregistrement des paramètres de forage (vitesse d'avancement VIA, poussée sur l'outil PO, pression d'injection PI, et couple de rotation CR).

Une série d'essais pressiométriques a été positionnée dans chacun de ces sondages afin de déterminer les caractéristiques mécaniques des formations rencontrées (pression limite PI^* et module pressiométrique Em).

Les sondages SP1 et SP2 ont pu être mis en œuvre grâce à une machine de forage autotractée de type **EMCI 3.50** équipée d'un enregistreur de paramètres de chez LIM, tandis que SP3 a été mis en œuvre grâce à une machine de forage autotractée de type **EMCI 4.50** équipée d'un enregistreur de paramètres de chez JEAN LUTZ. Les essais pressiométriques ont été menés à l'aide d'un C.P.V. de type APAGEO-MENARD, relié à une sonde pressiométrique $\varnothing 44$ mm équipée en tube lanterné.

L'ensemble des sondages a été implanté conformément au plan d'implantation joint en annexe.

Ces opérations, qui se sont déroulées le 7 Mai 2024, ont été confiées à deux équipes de sondeurs placées sous le contrôle d'un ingénieur géotechnicien responsable du chantier, permettant ainsi une meilleure interprétation des résultats.

I.4.2. Documents de travail à notre disposition pour cette étude

Pour remplir notre mission de type G2 AVP+PRO, nous avons disposé sous format PDF des éléments suivants :

- * Carnet de plans structure – 17/05/2024 – Indice A – établi par BEE STRUCTURE INTERNATIONALE
- * Note de calcul - 22/05/2024 – Indice A – établie par BEE STRUCTURE INTERNATIONALE
- * DDC sur semelles – envoyée par mail le 28/05/2024 - établie par BEE STRUCTURE INTERNATIONALE

I.5. PRESENTATION DES RESULTATS

En plus du présent texte, notre rapport comporte un certain nombre de documents graphiques indissociables qui sont :

- **Le plan d'implantation des sondages – sans échelle,**
- **Les fiches des sondages pressiométriques SP1 à SP3 sur lesquelles apparaissent :**

- Une coupe lithologique interprétative ;
 - La description de la nature des terrains traversés avec un rattachement à la stratigraphie locale ;
 - L'outil de forage utilisé ;
 - Le niveau de l'eau au moment de notre intervention ;
 - les enregistrements de paramètres de forage (VIA, PO, PI et CR) ;
 - les courbes visualisées en rouge correspondant aux enregistrements réalisés lors des essais de chute libre.
 - La position et les résultats des essais pressiométriques avec E_m , P_f^* et P_l^* respectivement module pressiométrique, pression de fluage nette et pression limite nette exprimés en MPa, ainsi que le ratio E_m/P_l^* ,
- **Les fiches des calculs sous chaque type de fondations, réalisés à l'aide du logiciel FOXTA**

I.6. METHODOLOGIE DE LA PRESENTE MISSION G2-PRO

Dans ce rapport de G2-PRO, concernant le dimensionnement des fondations des ouvrages, nous avons procédé à divers calculs de fondations au droit des sondages, à l'aide du logiciel FOXTA. Ainsi, il a été vérifié notamment l'évaluation des tassements absolus des fondations superficielles, selon les méthodes de l'Eurocode 7 (Norme NF P 94-261).

Dans le cadre de la présente mission G2-PRO, les résultats des sondages pressiométriques seront utilisés pour dimensionner les fondations du projet dans leur zone d'influence.

CHAPITRE II - SYNTHÈSE GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE

II.1. CADRE GÉNÉRAL

II.1.1. Cadre géologique et topographique du site

Située sur la commune de PALAISEAU (91), la zone d'étude devrait se placer sur les **Argiles à Meulière de Montmorency** surmontant les **Sables de Fontainebleau**.

L'ensemble peut être recouvert par des remblais anthropiques liés aux divers aménagements réalisés sur le site, en simples placages ou en surépaisseurs.



Cartes géologiques de CORBEIL ESSONNES au 1/50 000ème – source : infoterre.brgm.fr

Du point de vue de la topographie, la zone d'étude se situe en bordure de plateau. A l'échelle du secteur, la topographie générale présente une pente orientée nord/sud. A l'échelle du site, ce dernier présente une topographie présentant des buttes avec des altitudes variant entre +151,0 et +157,0 m NGF (Nivellement Général de la France), d'après la carte IGN.

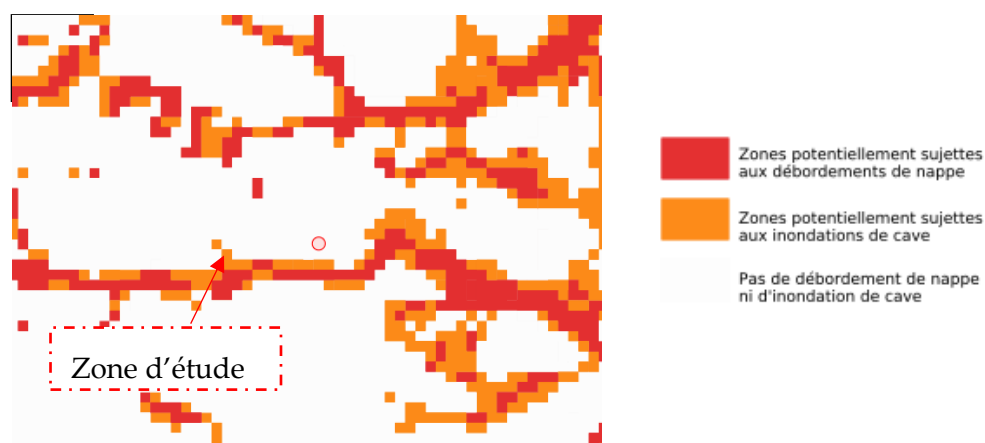
Nos sondages ont été rattachés au système NGF d'après le plan topographique fourni.

Ces cotes sont données à titre indicatif et sont à prendre avec toutes les réserves de précision qui s'imposent.

II.1.2. Enquête documentaire

✓ Aléa remontée de nappe

La zone étudiée se situe dans un secteur **qui n'est sujet ni aux débordements de nappes ni aux inondations de caves**, d'après les cartographies du *Système d'information pour la gestion des eaux souterraines en Seine-Normandie* (SIGES Seine Normandie).



Extrait de la carte de sensibilité aux remontées de la nappe – source : SIGES Seine Normandie

Compte tenu de l'échelle de lecture de la carte (1/100 000ème), cette information est fournie à titre indicative

✓ Exposition au phénomène de retrait-gonflement des argiles

La zone étudiée se situe dans un secteur **fortement exposé** vis-à-vis du risque de mouvements de terrains liés au phénomène de retrait/gonflement des sols argileux.



Carte de l'exposition au phénomène de retrait gonflement des argiles – source : infoterre

✓ Risque d'inondation par débordement d'un cours d'eau

D'après le Plan de Prévention du Risque Inondation de la commune de PALAISEAU, le site se trouve hors zone inondable

✓ Risque de carrière souterraine et/ou à ciel ouvert

D'après le site de l'Inspection Générale des Carrières, aucune exploitation souterraine ou à ciel ouvert ne se trouve à proximité du site étudié.

✓ Sismicité

Comme toute l'Ile de France, la commune de PALAISEAU est en zone de sismicité 1 (sismicité très faible) d'après le site georisques.fr. Ainsi, aucune disposition parasismique particulière n'est nécessaire.

✓ Arrêtés de reconnaissance de catastrophe naturelle :

Le tableau ci-après indique les différents arrêtés de catastrophe naturelle qui ont eu lieu sur la commune PALAISEAU depuis 1988 :

Inondations et/ou Coulées de Boue : 10

Code national CATNAT	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
ECO8800084A	23/07/1988	23/07/1988	19/10/1988	03/11/1988
INTE0000693A	07/07/2000	07/07/2000	30/11/2000	17/12/2000
INTE0000693A	23/07/2000	24/07/2000	30/11/2000	17/12/2000
INTE1615488A	28/05/2016	05/06/2016	08/06/2016	09/06/2016
INTE1835008A	11/06/2018	11/06/2018	24/12/2018	30/01/2019
INTE2119792A	19/06/2021	20/06/2021	30/06/2021	02/07/2021
INTE9200474A	31/05/1992	31/05/1992	16/10/1992	17/10/1992
INTE9500304A	21/01/1995	23/01/1995	18/07/1995	03/08/1995
INTE9800288A	05/08/1997	06/08/1997	15/07/1998	29/07/1998
INTE9900627A	25/12/1999	29/12/1999	29/12/1999	30/12/1999

Mouvement de Terrain : 1

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

Sécheresse : 7

Code national CATNAT	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
INTE0000771A	01/02/1997	31/12/1997	27/12/2000	29/12/2000
INTE0400656A	01/07/2003	30/09/2003	25/08/2004	26/08/2004
INTE1920338A	01/07/2018	31/12/2018	16/07/2019	09/08/2019
INTE2112080A	01/07/2020	30/09/2020	20/04/2021	07/05/2021
INTE9100354A	01/06/1989	31/12/1990	12/08/1991	30/08/1991
INTE9700212A	01/01/1991	31/01/1997	28/05/1997	01/06/1997
IOME2313528A	31/03/2022	29/06/2022	20/07/2023	07/09/2023

II.2. RESULTATS DE LA CAMPAGNE D'INVESTIGATIONS

II.2.1. Résumé des résultats des sondages pressiométriques

Les résultats des sondages sont synthétisés dans les fiches jointes en annexe.

Les caractéristiques mécaniques des terrains rencontrés sont déterminées à partir des essais pressiométriques. Ces essais réalisés conformément à la norme NF EN ISO 22476-4, sont également reportés dans les fiches de sondages jointes au présent rapport. Pour chacun de ces essais, nous indiquons le module pressiométrique (E_m), la pression de fluage nette (P_f^*), la pression limite nette (P_l^*) exprimés en MPa et le rapport E_m/P_l^* .

Le tableau ci-dessous résume le sondage, où pour chaque formation, nous indiquons la profondeur et la cote NGF approximative du toit, ainsi que l'épaisseur de la couche considérée, soit :

P = Profondeur du toit (m),

Z $\approx$ Cote NGF (m),

E = Epaisseur (m).

Sondages		Couche 1 : Terre végétale	Couche 2 : Eboulis de Pente	Couche 3 : Argiles à Meulière de Montmorency	Couche 4 : Sables de Fontainebleau
SP1	P	0	0,2	Non atteints	
	Z	+156,2	+155,9		
	E	0,2	$\geq 7,8$		
SP2	P	0	0,2	Non atteints	
	Z	+156,2	+155,9		
	E	0,2	$\geq 7,8$		

Sondages		Couche 1 : Terre végétale	Couche 2 : Eboulis de Pente	Couche 3 : Argiles à Meulière de Montmorency	Couche 4 : Sables de Fontainebleau
SP3	P	0	0,3	9,0	11,0
	Z	+156,2	+155,9	+147,2	+145,2
	E	0,3	8,7	2,0	≥4,0

Commentaires

- Eboulis de Pente

Sous 15 à 30 cm de Terre Végétale, il a été mis en évidence des **Eboulis de Pente**, constitués par des limons marron puis des argiles plus ou moins sableuses beige orangé sur 8,7 m d'épaisseur en SP3. Leur base n'a pas été reconnue au droit des sondages SP1 et SP2.

Les essais pressiométriques réalisés dans les **Eboulis de Pente** montrent des caractéristiques mécaniques **faibles dans l'ensemble** avec :

$$0,27 \text{ MPa} \leq \text{Pl}^* \leq 0,72 \text{ MPa} \text{ (moyenne géométrique } \text{Pl}^* \approx 0,47 \text{ MPa)},$$

$$2,2 \text{ MPa} \leq \text{Em} \leq 10,7 \text{ MPa} \text{ (moyenne harmonique } \text{Em} \approx 6,0 \text{ MPa)},$$

$$6 \leq \text{Em}/\text{Pl}^* \leq 20$$

Au droit du sondage SP2, les caractéristiques mécaniques des Eboulis de Pentes sont élevées entre 4,5 et 8,0 m de profondeur avec :

$$1,19 \text{ MPa} \leq \text{Pl}^* \leq 2,59 \text{ MPa} \text{ (moyenne géométrique } \text{Pl}^* \approx 1,98 \text{ MPa)},$$

$$15,1 \text{ MPa} \leq \text{Em} \leq 24,9 \text{ MPa} \text{ (moyenne harmonique } \text{Em} \approx 21,3 \text{ MPa)},$$

$$9 \leq \text{Em}/\text{Pl}^* \leq 13$$

- Argiles à meulière de Montmorency

Au-delà des Eboulis de Pente, à partir de -9,0 m/TA en SP3, il a été mis en évidence les **Argiles à Meulière de Montmorency**. Elles sont constituées par des argiles plus ou moins sableuses beige orangé. L'épaisseur de cette formation est d'environ 2 m en SP3.

L'unique essai réalisé au droit de cette formation ne serait être représentatif de toute la formation. Cet essai montre des caractéristiques mécaniques **moyennes** :

$$\text{Pl}^* = 0,69 \text{ MPa} - \text{Em} = 5,1 \text{ MPa} - \text{Em}/\text{Pl}^* = 7$$

- Sables de Fontainebleau

Les **Sables de Fontainebleau** sont constitués de sables beige. La base de cette formation n'a pas été atteinte par le sondage le plus profond, SP3. Cette formation présente des blocs et/ou bancs de sable grésifiés.

Dans l'ensemble, les essais pressiométriques réalisés dans les **Sables de Fontainebleau** montrent des caractéristiques mécaniques **élevées** :

$$2,68 \text{ MPa} \leq \text{Pl}^* \leq 3,36 \text{ MPa} \text{ (moyenne géométrique } \text{Pl}^* \approx 3,0 \text{ MPa),}$$

$$21,0 \text{ MPa} \leq \text{Em} \leq 54,5 \text{ MPa} \text{ (moyenne harmonique } \text{Em} \approx 37,8 \text{ MPa),}$$

$$8 \leq \text{Em}/\text{Pl}^* \leq 16$$

II.2.2. L'eau

Lors de notre intervention (mai 2024), nous avons rencontré les niveaux d'eau suivants :

Mesure du 07/05/2024			
Sondage	SP1	SP2	SP3
Profondeur du sondage en m/TA	-8,0	-8,0	-15,0
Niveau d'eau- Profondeur en m/TA	-3,2	-3,2	Aucun niveau d'eau
Cote NGF (m)	+153,0	+153,0	/

Ces mesures sont susceptibles d'être perturbées par la technique de forage avec injection de fluide.

Le site est caractérisé par la présence d'une nappe baignant les Argiles à Meulière de Montmorency ainsi que les Sables de Fontainebleau.

De plus, nous rappelons que des circulations d'eau aléatoires et/ou occasionnelles peuvent être générées dans les couches plus superficielles (Eboulis de Pente), à la suite d'épisodes pluvieux plus ou moins intenses, à la faveur des horizons les plus perméables.

Dans tous les cas, nous rappelons que les circulations et les niveaux d'eau sont ainsi susceptibles de varier en fonction des saisons et de la pluviométrie, avec des fluctuations dont l'ampleur ne peut être estimée sans un suivi à long terme.

CHAPITRE III - DIMENSIONNEMENTS GEOTECHNIQUES

III.1. FONDATIONS

III.1.1. Preamble

En regard des résultats obtenus et pour la future structure, le choix d'une solution de fondation sera confronté à :

- des Eboulis de Pente faiblement compacts sur 9,0 m d'épaisseur,
- une charge horizontale (due au vent) sur les fondations,
- la présence d'une nappe à -3,2 m/TA le jour des forages pouvant nécessiter un pompage en fond de fouille,
- un secteur **fortement exposé au phénomène de retrait gonflement des argiles.**

Nous rappelons que pour les fondations de la structure, **le critère de résistance au renversement sous l'effet des vents est primordial.** Les fondations devront soit être suffisamment lourdes, soit être ancrées suffisamment profondément afin d'assurer la stabilité de l'ouvrage. Trois critères devront être respectés : poinçonnement (capacité portante des sols) ; basculement et glissement.

Au vu des éléments recueillis et du projet, nous recommandons de s'orienter vers les solutions de **fondations superficielles du type massif isolé en béton**, ancrés dans la formation des **Eboulis de Pente**.

III.1.2. Descente de charge

BEE STRUCTURE INTERNATIONALE a fourni la descente de charge du projet. Les combinaisons les plus défavorables sont les suivantes :

Semelle 01 (Nœuds 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6)			
Charge au niveau du fût			
COMBINAISONS		charge verticale (KN)	charge horizontale (kN)
47/	ELU : 1.35G1+1.00Q1+1.80V5	901	169
197/*	ELU : 1.35G1+1.05Q1+0.90V5+1.50N1	352	194
207/*	ELS : 1.00G1+1.00Q1+0.60V2	197	208
244/*	ELS : 1.00G1+0.70Q1+0.60V5+1.00N1	244	133

Semelle 02 (Nœuds 7 - 8)			
Charge au niveau du fût			
COMBINAISONS		charge verticale (kN)	charge horizontale (kN)
79/	ELU : 1.35G1+1.00Q1+1.80V5+0.50N1	105	106
178/*	ELU : 1.35G1+1.05Q1+1.50N1	173	65
8/	ELU : 1.00G1+1.80V2	-25	-46
109/	ELS : 1.00G1+0.77Q1+1.00N1	123	46
248/*	ELS : 1.00G1+0.30Q1+0.20V1	56	89

On ajoutera à la charge verticale, le poids du massif variable selon ses dimensions. On retiendra un poids volumique de 25 kN/m³.

Les massifs en béton armé devront être dimensionnés par le BET Structures.

Nous notons l'absence d'effort de traction pour les semelles 01 et l'absence de moment de renversement dans la DDC fournie.

III.1.3. Principe de fondations

Les massifs isolés seront liaisonnés par des longrines en béton armé. Ils seront ancrés dans les Eboulis de Pente au-delà de tout remblai ou terrains remaniés par les travaux ou intempéries. Les massifs du cas semelles 01 seront ancrés à -1,7 m de profondeur minimum tandis que les massifs du cas semelles 02 seront ancrés à -1,3 m de profondeur minimum.

III.1.4. Capacité portante du sol

La capacité portante sera déterminée en référence à la Norme NF P 94-261 de juin 2013 « *Justification des ouvrages géotechniques - Normes d'application nationale de l'Eurocode 7 - Fondations superficielles* », en fonction des essais pressiométriques.

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

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

Avec :

p_{le}^* : pression limite nette équivalente d'une tranche de terrain comprise entre les cotes D

et D+hr sous fondation, $p_{le}^* = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n p_{l,k;i}^*}$; $h_r = 1,5 \times B$;

- k_p : facteur de portance pressiométrique, fonction des dimensions de la fondation, de son encastrement relatif et de la nature du sol,
- i_δ coefficient de réduction de portance lié à l'inclinaison de la charge appliquée et de la géométrie du sol de fondation, ($i_\delta=1$ si $\delta=0$),
- i_β coefficient de réduction de portance lié à la proximité d'un talus de pente β , ($i_\beta=1$ si $\beta=0$),

La valeur caractéristique de la contrainte nette du terrain sous la fondation superficielle est déterminée par la formule suivante :

$$q_{v;k} = \frac{q_{net}}{\gamma_{R;d;v}}$$

$\gamma_{R;d;v}$: Coefficient de modèle lié à la méthode de calcul utilisé pour le calcul de la contrainte

$q_{net} (\gamma_{R;d;v} = 1,2) ;$

La contrainte de calcul est définie de la manière suivante :

$$q'_d - q_0 \leq q_{v;d} = \frac{q_{v;k}}{\gamma_{R;v}}$$

$\gamma_{R;d;v}$: facteur de sécurité partiel ; pour un calcul à l'ELU : $\gamma_{R;v} = 1,4$; pour un calcul à l'ELS quasi permanente (contrainte admissible) : $\gamma_{R;v} = 2,3$;

q'_0 : valeur de la charge du volume de sol constitué du volume de fondation sous le terrain après travaux et des sols compris entre la fondation et le terrain après travaux.

Pour des fondations superficielles respectant les conditions d'ancrage préalablement définies, la contrainte admissible du sol retenue est limitée à :

Pour un calcul à l'ELU :

$$\gamma_{R,v} = 1,4 \text{ soit } q'_d \leq 0,16 \text{ MPa (16 tonnes/m}^2\text{)}$$

Pour une justification à l'ELS (contrainte admissible) :

$$\gamma_{R,v} = 2,3 \text{ soit } q'_d \leq 0,10 \text{ MPa (10,0 tonnes/m}^2\text{)}$$

III.1.5. Dimensionnement des fondations – estimation des tassements

Cette méthodologie de calculs est conforme à la Norme NF P94-261 de juin 2013 "Justification des ouvrages géotechniques - Normes d'application nationale de l'Eurocode 7 - Fondations superficielles". Le calcul du tassement absolu théorique (évaluation à partir des essais pressiométriques) d'une fondation de largeur B, et chargée à $q'_{ELS} = q_{ad}$, est la somme de deux termes, respectivement, le tassement de consolidation et le tassement déviatorique :

$$S_c = \frac{\alpha}{9 \times E_1} (q_{ad} - \gamma \times D) \times B$$

$$S_d = \frac{2}{9 \times E_M} (q_{ad} - \gamma \times D) \times B_0 \times \left(\frac{B}{B_0} \right)^\lambda$$

q_{ad} : contrainte admissible

E_1 : module pressiométrique sous la fondation

E_M : module pressiométrique équivalent jusque 8B sous la fondation

α : coefficient de structure

γ : poids volumique des terres ($1,8 \cdot 10^{-3} \text{ kg/cm}^3$)

D : encastrement de la fondation

B : largeur de la fondation

B_0 : dimension repère (0,6 m)

λ_D : coefficient de forme

λ_C : coefficient de forme

soit un tassement absolu $S = S_c + S_d$

Les résultats des calculs de tassement absolus en cas de massifs respectant les conditions d'ancrage préalablement définies, sont résumés dans le tableau ci-après :

	Semelles 01	Semelles 02
Niveau d'assise – cote NGF (m)	-1,7 m/TA Soit +154,5 m NGF	-1,3 m/TA Soit +154,9 m NGF
Largeur de la fondation	2,1 m	2,0 m
Contrainte admissible	0,10 MPa	0,10 MPa
Tassements Smoy	0,5 cm	0,3 cm

Les tassements absolus prévisibles des massifs des mâts sont compris entre 0,3 et 0,5 cm, pour les contraintes appliquées ci-dessus. Ces valeurs de tassements absolus nous paraissent acceptables. Les feuilles de calcul de FOXTA pour le projet sont jointes en annexe.

III.1.6. Vérification au poinçonnement

Dans le cas des fondations soumises à des charges excentrées engendrées par l'effet du vent, le critère de résistance du sol suivant devra être justifié

$$\frac{(3.q'_{\max} + q'_{\min})}{4} \leq q'_{ad}$$

avec :

$$q'_{\max} = \frac{T}{B.L} + \frac{6.M}{B^2.L} + \gamma_{\text{béton}} H_m$$

$$q'_{\min} = \frac{T}{B.L} - \frac{6.M}{B^2.L} + \gamma_{\text{béton}} H_m$$

B : largeur du massif,

L : longueur du massif,

H_m : hauteur du massif.

	Semelles 01	Semelles 02
Hauteur du massif	1,7	1,3
Largeur / longueur de la fondation	2,1	2,0
q _{adm}	0,10	0,10
q' _{min}	0,09	0,055
q' _{max}	0,09	0,055
Vérification du poinçonnement	OK	OK

III.1.7. Vérification au basculement

Compte tenu des efforts horizontaux dus au vent, il est nécessaire de vérifier les fondations au renversement.

III.1.7.1. Paramètres intrinsèques des sols en place

En l'absence d'essais en laboratoire, nous considérons les paramètres intrinsèques à retenir pour les sols en place :

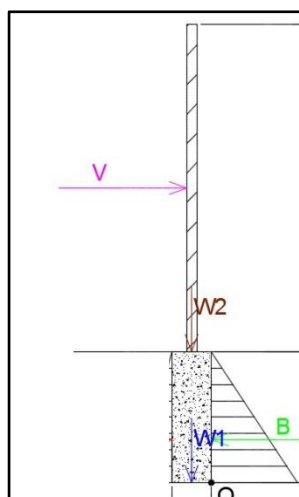
Formation	Poids volumique $\gamma_t = \gamma_d$	Angle de frottement interne $\varphi_{uu} = \varphi'$	Cohésion $C_{uu} = C'$	Coefficient rhéologique α	Coefficients de butée(*) K_p
Eboulis de Pente	20 kN/m ³	$\varphi' = 25^\circ$	$C' = 3$ kPa	2/3	$K_p = 2,46$

(*) Coefficients de poussées/butées des terres données par les expressions suivantes (issus de la théorie de Rankine):

$$K_p = \tan^2\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right)$$

III.1.7.2. Schéma des forces

Le schéma ci-après indique la localisation des forces à prendre en compte pour la vérification au renversement. En cas de poussée dû au vent, la butée (B) se mobilise au sein du massif de sol situé derrière le massif de fondation.



Dans le cas du projet (massif où l'action du vent est la plus importante), et d'après les informations sur les descentes de charges transmises par le BEE STRUCTURE INTERNATIONALE, nous avons :

	SP1	SP2
W1 (kN)	187,43	130,0
W2 (kN)	197,0	56,0
Vent kN	208,0	89,0

III.1.7.3. Butée à l'avant des massifs

Compte tenu de ces éléments, et en première approche, nous déterminons une poussée des terres à l'avant et l'arrière du massif tel que :

$$\text{Force de butée des terres : } B = \frac{\gamma \times D^2}{2} \times Kp$$

Avec :

Kp : coefficient de butée

D : hauteur de la fondation (m)

γ_h : masse volumique humide (kN/m³)

Nous obtenons alors les valeurs de poussées et butées suivantes, sur la hauteur des massifs :

	Semelles 01	Semelles 02
Coefficient de buté	2,46	2,46
γ_h masse volumique humide (kN/m³)	20	20
D hauteur de la fondation (m)	1,7	1,3
Force de butée (kN)	71,09	41,57

III.1.7.4. Poussées des terres à l'arrière et à l'avant du massif

Le coefficient de sécurité au basculement est le rapport du moment stabilisant/O (somme des Moments/O tournant dans le sens contraire des aiguilles d'une montre) sur le moment déstabilisant/O (somme des Moments/O tournant dans le sens contraire des aiguilles d'une montre), soit :

$$F_B = \frac{W_1 \times l_1 + W_2 \times l_1 + B \times \frac{1}{3} \times D}{V \times l_2} \geq 1,5$$

Avec l_1 , D et H qui correspondent à la distance entre le point d'application de la force et le point de rotation O de l'ouvrage pris à l'extrémité avant de la fondation.

Sondage/Massif	W1 (kN)	W2 (kN)	V (kN)	L1	L2	Fb
Semelles 01	187,43	197,0	208,0	1,7	1,7	1,9
Semelles 02	130,0	56,0	89,0	1,2	1,2	2,1

Les ouvrages sont stables au basculement ;

III.1.8. Vérification au glissement

Pour la vérification au glissement on vérifiera la relation suivante :

$$H \leq Vx \tan \varphi$$

	Semelles 01	Semelles 02
W1 (kN)	187,43	130,0
W2 (kN) ELU	352	105
$Vx \tan \varphi$ (kN)	251	109
H ELU	194	106

Les ouvrages sont stables au glissement

III.1.9. Conclusion – dimension des fondations

Résultats FOXTA de la semelle 01 :

Synthèse des principaux résultats

N° cas de charge	Combinaison	Vd	Hd	R0	Seff/Stot	Rvd	Rhd	Portance	Excentrement	Glissement	Tassement
1	ELU-Fondamentales	1088,40	169,00	149,94	1,00	940,37	519,34	Ok	Ok	Ok	-
2	ELU-Fondamentales	539,42	194,00	149,94	1,00	616,90	257,39	Ok	Ok	Ok	-
3	ELS-Quasi-permanentes	431,43	133,00	149,94	1,00	418,46	-	Ok	Ok	-	0,53
4	ELS-Quasi-permanentes	384,43	208,00	149,94	1,00	255,86	-	Ok	Ok	-	0,44

Résultats FOXTA de la semelle 02 :

N° cas de charge	Combinaison	Vd	Hd	R0	Seff/Stot	Rvd	Rhd	Portance	Excentrement	Glissement	Tassement
1	ELU-Fondamentales	235,00	106,00	104,00	1,00	424,19	112,13	Ok	Ok	Ok	-
2	ELU-Fondamentales	303,00	65,00	104,00	1,00	720,62	144,58	Ok	Ok	Ok	-
3	ELS-Quasi-permanentes	186,00	89,00	104,00	1,00	242,57	-	Ok	Ok	-	0,16
4	ELS-Quasi-permanentes	253,00	46,00	104,00	1,00	470,47	-	Ok	Ok	-	0,30
5	ELU-Fondamentales	105,00	46,00	104,00	1,00	436,91	50,10	Ok	Ok	Ok	-

Pour assurer la stabilité de l'ouvrage les massifs isolés sous les mâts devront avoir les dimensions suivantes :

Semelles	Terrain d'assise	B (m)	L (m)	D (m)
Semelles 01	Eboulis de Pente	2,1	2,1	1,7
Semelles 02	Eboulis de Pente	2,0	2,0	1,3

III.1.10. Raideurs équivalentes

D'après le calcul FOXTA, on obtient :

Pour la semelle 01 :

Raideurs équivalentes de la fondation

Type : Type de raideur

Kv [kN/m] : Raideur verticale

KHB [kN/m] : Raideur horizontale selon B

KHL [kN/m] : Raideur horizontale selon L

KMB [kNm/rad] : Raideur rotationnelle selon B

KML [kNm/rad] : Raideur rotationnelle selon L

Raideurs équivalentes de la fondation

Type	Kv	KHB	KHL	KMB	KML
Raideurs statiques LT	5,315E04	4,227E04	4,227E04	4,646E04	4,646E04
Raideurs statiques CT	1,063E05	8,454E04	8,454E04	9,292E04	9,292E04
Raideurs sismiques Min	1,594E05	1,268E05	1,268E05	1,394E05	1,394E05
Raideurs sismiques Max	3,189E05	2,536E05	2,536E05	2,788E05	2,788E05

Pour la semelle 02

Raideurs équivalentes de la fondation

Type : Type de raideur

Kv [kN/m] : Raideur verticale

KHB [kN/m] : Raideur horizontale selon B

KHL [kN/m] : Raideur horizontale selon L

KMB [kNm/rad] : Raideur rotationnelle selon B

KML [kNm/rad] : Raideur rotationnelle selon L

Raideurs équivalentes de la fondation

Type	Kv	KHB	KHL	KMB	KML
Raideurs statiques LT	5,006E04	3,982E04	3,982E04	3,970E04	3,970E04
Raideurs statiques CT	1,001E05	7,963E04	7,963E04	7,939E04	7,939E04
Raideurs sismiques Min	1,502E05	1,195E05	1,195E05	1,191E05	1,191E05
Raideurs sismiques Max	3,004E05	2,389E05	2,389E05	2,382E05	2,382E05

III.2. LES SEQUENCES DES TRAVAUX GEOTECHNIQUES

Nous détaillons, dans ce paragraphe, les phasages d'exécution des fondations :

III.2.1. Préparation de la plateforme de travail

La fouille du massif isolé devra être implantée conformément aux plans d'exécutions. Les cotes de fond de fouille devront tenir compte de l'épaisseur d'une couche de béton de propreté.

L'attention est attirée sur l'importance que revêt l'acceptation du fond de fouille. En cours de travaux, il convient donc de s'assurer, au besoin par des essais en place, que les terrains d'assise correspondent bien à ceux prévus.

Tous les éléments rencontrés au fond de fouille, tels des blocs ou, les anciennes fondations susceptibles de former des points durs locaux, devront être retirés. Il conviendra de respecter un ancrage minimum 0,5 m sous les remblais pouvant être localement plus épais.

III.2.2. Protection contre les eaux et épuisements

Il s'agit d'une part des eaux de ruissellement superficielles extérieures au périmètre des ouvrages dont il convient d'empêcher la pénétration dans la fouille.

Une fouille à la pelle mécanique pourra être réalisée afin de vérifier l'absence d'eau, la tenue des parois et d'adapter les techniques d'exécution et les moyens de gestion de l'eau. Il serait également souhaitable de réaliser les travaux de terrassement et d'infrastructure en période favorable (période estivale sèche).

Si des arrivées d'eau sont observées lors de l'ouverture des fouilles de fondations, il est indispensable de prévoir un assainissement des dites fouilles (épuisement localisé, pompage modéré et contrôlé). Les pompes devront être munies de crépine pour éviter l'entraînement de fines).

Les travaux de pompage ou de rabattement être modérés et contrôlés, afin de ne pas déstabiliser les terrains.

III.2.3. Mise en place du gros béton et du béton de propreté

Le béton de propreté assure momentanément, d'une part, une protection du sol contre les actions climatiques (pluies, gel), mécaniques (circulation de chantier) et d'autre part, une

protection des armatures contre les salissures. Tout autre dispositif de protection doit assurer les mêmes fonctions.

Dans tous les cas, une épaisseur d'au moins 5 cm de béton de propreté est obligatoire. Sa mise en œuvre suit immédiatement les travaux de finition de fond de fouille (purgé soignée). Son niveau d'arase est celui prévu au projet pour la base des massifs de fondation.

III.2.4. Ferrailage des fondations et travaux de bétonnage

La mise en place des armatures aura lieu à la suite des travaux de béton de propreté et devra être conforme aux plans d'armatures et aux plans d'exécution. Il est interdit de circuler sur les cages d'armature déjà fixées sur place. Toutes les armatures sont façonnées de manière à être ancrées à leurs extrémités par courbure. La crosse de retour augmente la capacité portante et empêche le glissement. L'enrobage des armatures devra être assuré par des cales en béton.

III.2.5. Plan d'assurance de la qualité

La liste des points d'arrêt, des points critiques et des interfaces est définie par le marché, ou à défaut, soumise par l'entrepreneur au Maître d'œuvre. Cette liste doit être adaptée et éventuellement complétée, en fonction des conditions particulières à chaque chantier :

Points d'arrêt :

- niveaux d'assise des fonds de fouilles,
- remblaiement des poches purgées.

Points critiques :

- mise en place de remblais autour des fondations,
- implantation,
- achèvement des coffrages, des ferrailages,

Interface :

- répartition des travaux de terrassements généraux et fouilles pour fondations,
- interfaces avec les longrines et les structures portées.

En tout état de cause, les travaux d'exécution des fondations devraient être conformes aux préconisations du Fascicule N°68 « Exécution des travaux de Fondation des ouvrages de Génie Civil – Cahier des clauses Techniques générales – Travaux ».

CHAPITRE IV - RECOMMANDATIONS GENERALES ET ALEAS

IV.1. RECOMMANDATIONS GENERALES

- Les entreprises chargées de la réalisation des infrastructures et fondations devront tenir compte des différentes contraintes liées au site (présence de réseaux enterrés).
- Les conditions d'exécution des fondations peuvent s'avérer particulièrement délicates. Le recours à des entreprises spécialisées, sous le contrôle d'une maîtrise d'œuvre spécialisée, nous paraît souhaitable.
- **Une fouille à la pelle mécanique pourra être réalisée afin de vérifier l'absence d'eau**, la tenue des parois et d'adapter les techniques d'exécution et les moyens de gestion de l'eau. Il serait également souhaitable de réaliser les travaux de terrassement et d'infrastructure en période favorable (période estivale sèche).
- Si des arrivées d'eau sont observées lors de l'ouverture de la fouille de fondation, il sera indispensable de prendre toutes les dispositions nécessaires afin d'assainir et curer aussitôt les fonds de fouille; puis entreprendre un coulage immédiat des fondations, afin d'éviter ainsi d'asseoir les fondations dans des terrains gorgés d'eau ou sur une assise remaniée et compressible, affaiblissant ainsi la portance des sols sous-jacents. Un pompage en fond de fouille pourrait s'avérer nécessaire.
- Eviter de laisser les fonds de fouilles exposés aux intempéries en accélérant les opérations de bétonnage ou en limitant la durée d'ouverture des fouilles.
- Lors de la réalisation des fondations, il convient de prendre les dispositions constructives habituelles de surveillance et de protection, afin de préserver la pérennité des avoisinants.
- Il faudra veiller à l'absence d'anciennes structures enterrées et/ou infrastructures avant la réalisation des fondations du projet.
- Lors des travaux de fondations, s'il apparaissait la présence localisée d'une quelconque surépaisseur de remblais, structures diverses enterrées, il faudrait procéder à une nécessaire adaptation des fondations. Nous invitons, à cet effet, le Maître d'Ouvrage à nous confier une mission de supervision géotechnique

d'exécution (mission G4 de la norme NF P 94-500) afin de gérer tous aléas géotechniques lors de la réalisation des travaux.

- Tout changement d'implantation ou d'importance des constructions par rapport aux hypothèses prises lors de l'établissement de ce rapport d'étude doit nous être communiqué (y compris évaluation des descentes de charges), ces changements pouvant modifier les conclusions de notre étude.

IV.2. POURSUITE DU PROJET

La présente étude entre dans le cadre d'une mission géotechnique G2 AVP+PRO phase de conception en phase avant-projet et projet selon la Norme NF P 94-500. Nous insistons sur le fait que cette mission ne correspond pas à une étude et un suivi géotechniques d'exécution (mission G3) ni à une étude de supervision géotechnique (mission G4).

La mission G4 permettra de superviser la parfaite exécution des fondations, des terrassements et des soutènements ainsi que la gestion des aléas résiduels.

Nous sommes à la disposition du Maître d'ouvrage pour lui adresser une proposition financière pour la mission G4.

IV.3. ALEAS GEOTECHNIQUES

Les reconnaissances géotechniques sont réalisées de manière ponctuelle et l'extrapolation des résultats qui en découle reste sujette à l'aléa. Ceci peut entraîner des modifications lors de la conception ou de la réalisation du projet.

Enfin, les conclusions fournies dans ce rapport se basent sur des hypothèses qui sont susceptibles d'évoluer lors de l'avancement du projet. Ainsi, pour chaque phase, il sera nécessaire de vérifier toutes les hypothèses et autres résultats en découlant. Ceci est susceptible de nécessiter une réadaptation des préconisations géotechniques émises lors des différentes études géotechniques.

La présente mission se termine avec ce rapport. Toutes nouvelles études, préconisations, recommandations ou réunions entreront dans le cadre d'une nouvelle mission restant à définir.

Nous restons à la disposition du Maître d'ouvrage et de son représentant pour toute mission complémentaire qu'ils souhaiteraient nous confier.

Anne-Sixtine MAYNADIÉ

Ingénieur chargée de l'étude

Van-Cuong LÊ

Responsable du pôle ingénierie

Tableau 2 — 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 PRÉALABLE (G1) Cette mission exclut toute approche des quantités, délais et coûts d'exécution des ouvrages géotechniques qui entre dans le cadre de la mission d'étude géotechnique de conception (étape 2). Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire. Elle comprend deux phases : <u>Phase Étude de Site (ES)</u> 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. <u>Phase Principes Généraux de Construction (PGC)</u> Elle est réalisée au stade d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS pour réduire les conséquences des risques géotechniques majeurs identifiés. Elle s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées. — Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats. — Fournir un rapport de synthèse des données géotechniques à ce stade d'étude (première approche de la ZIG, horizons porteurs potentiels, ainsi que certains principes généraux de construction envisageables (notamment fondations, terrassements, ouvrages enterrés, améliorations de sols).
ÉTAPE 2 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE DE CONCEPTION (G2) Cette mission permet l'élaboration du projet des ouvrages géotechniques et réduit les conséquences des risques géotechniques importants identifiés. Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire et est réalisée en collaboration avec la maîtrise d'œuvre ou intégrée à cette dernière. Elle comprend trois phases : <u>Phase Avant-projet (AVP)</u> 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. <u>Phase Projet (PRO)</u> 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. <u>Phase DCE / ACT</u> Elle est réalisée pour finaliser le Dossier de Consultation des Entreprises et assister le maître d'ouvrage pour l'établissement des Contrats de Travaux avec le ou les entrepreneurs retenus pour les ouvrages géotechniques. — Établir ou participer à la rédaction des documents techniques nécessaires et suffisants à la consultation des entreprises pour leurs études de réalisation des ouvrages géotechniques (dossier de la phase Projet avec plans, notices techniques, cahier des charges particulières, cadre de bordereau des prix et d'estimatif, planning prévisionnel). — Assister éventuellement le maître d'ouvrage pour la sélection des entreprises, analyser les offres techniques, participer à la finalisation des pièces techniques des contrats de travaux.

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'état 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).

CONDITIONS GÉNÉRALES D'UTILISATION DE NOS RAPPORTS

1°/ UNITÉ DU RAPPORT

Notre rapport est constitué d'un ensemble de chapitres rédactionnels et de documents graphiques, cela forme un tout indissociable. L'utilisation d'une partie ou la communication d'un rapport incomplet ne saurait engager notre responsabilité.

2°/ MODIFICATIONS ÉVENTUELLES DU SITE OU DU PROJET

Les modifications du site telles que terrassements non prévus et non indiqués à GÉOEXPERTS ou l'apport de remblais par exemple susceptibles d'amener des changements dans le type, la profondeur ou la charge des fondations devront nous être communiqués. De même, le déplacement du projet, la modification du nombre de sous-sols, le changement dans les cotes N.G.F. peuvent conduire à modifier les conclusions de notre rapport et nous ne saurions en être tenus pour responsables.

3°/ INFORMATIONS COMMUNIQUÉES À GÉOEXPERTS

GÉOEXPERTS ne saurait être engagé par les erreurs portées sur les documents de travail qui lui sont confiés, plan de situation, plan de masse, plan topographique, etc... . De même, en cours de travaux, la découverte d'éléments nouveaux ayant pu échapper à un nombre limité de sondages, tels que zone de dissolution, karst, zone hétérogène limitée, venue d'eau suivant des cheminements préférentiels devront être portés à la connaissance de GÉOEXPERTS. Une différence éventuelle entre nos conclusions et la nature des sols lors de l'ouverture des fouilles devra nous être immédiatement communiquée afin que nous puissions constater le fait, et éventuellement modifier ou confirmer nos conclusions.

4°/ RÉSERVE DE PROPRIÉTÉ

Le transfert de propriété du rapport ne sera effectif qu'à son parfait paiement, loi du 25 janvier 1985.

Art. 121 – Alinéa 2. En cas de non-paiement, le contrat de vente sera résiliable de facto, la Société GÉOEXPERTS sas demeurera propriétaire du rapport.

ANNEXE 1 : PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES

Légende

 Sondage pressiométrique

Les cotes des sondages ont été rattachées aux cote NGF du plan topographique Géomètres-Experts Associés & B.E.T. V.R.D. -Infrastructures - mars 2024

Maître d'Ouvrage

ENSTA PARIS
828, Boulevard des Maréchaux
91762 PALAISEAU CEDEX



Cité Descartes - 11 rue Albert Einstein
77420 CHAMPS-SUR-MARNE
Tel. 01 64 61 87 87 - Fax. 01 64 61 17 39

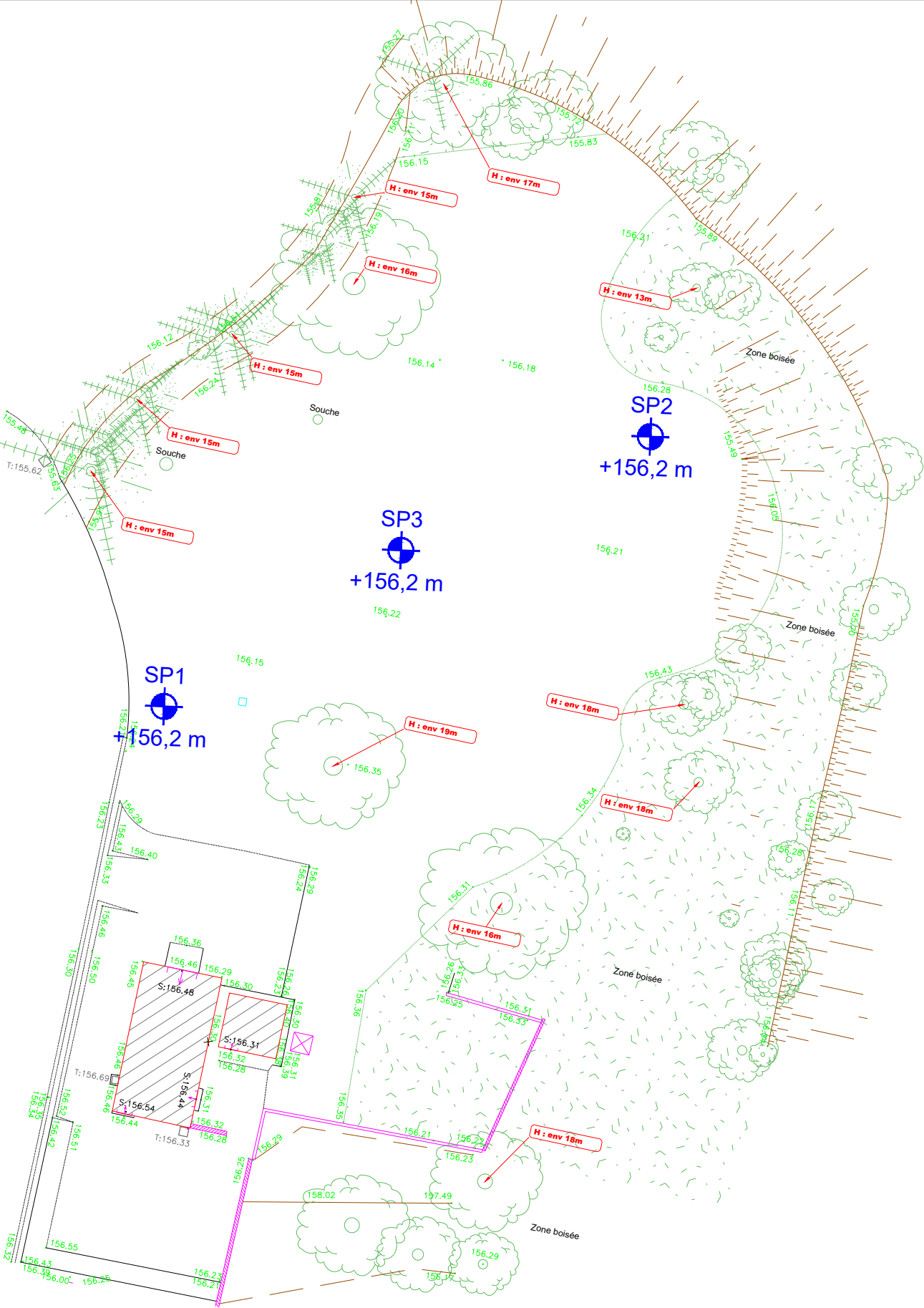
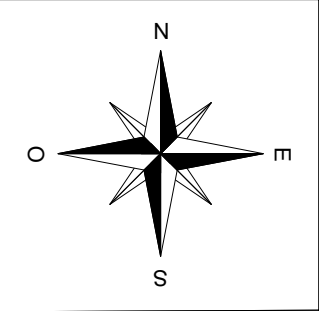
ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE
G2-AVP+PRO

Création d'une volière à drones
181, Chemin de la Hunière
91762 PALAISEAU

PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES

Extrait du plan topographique

Etude N°	Mission	Date	Ing.	Echelle
24.13302/ES/GIF	G2-AVP+PRO	Mai 2024	AS MAYN	



Géomètres - Experts Associés & B.E.T. V.R.D. - Infrastructures
S.A.R.L. au capital de 1.200.000€
Anciennement S.C.P. FAU-SIMON et Successeurs du Cabinet TROUVAT

12 Rue Narcisse Gallien - B.P. 40335 - 91163 LONGJUMEAU Cedex - Tel: 01.64.48.14.84 - Télécopie: 01.64.48.45.65 - Email: progexial@progexial.fr

ANNEXE 2 : FICHES DES SONDAGES

Description du dossier

Création d'une volière à drones

Chantier

181, Chemin de la Hunière PALAISEAU

Dossier

24.13302/ES/GIF Mission G2-AVP+PRO

Client

ENSTA PARIS

Forage

SP1

Type de forage

Sondage Pressiométrique

Machine

EMCI 350

Altitude NGF

156.2 m

Cote début

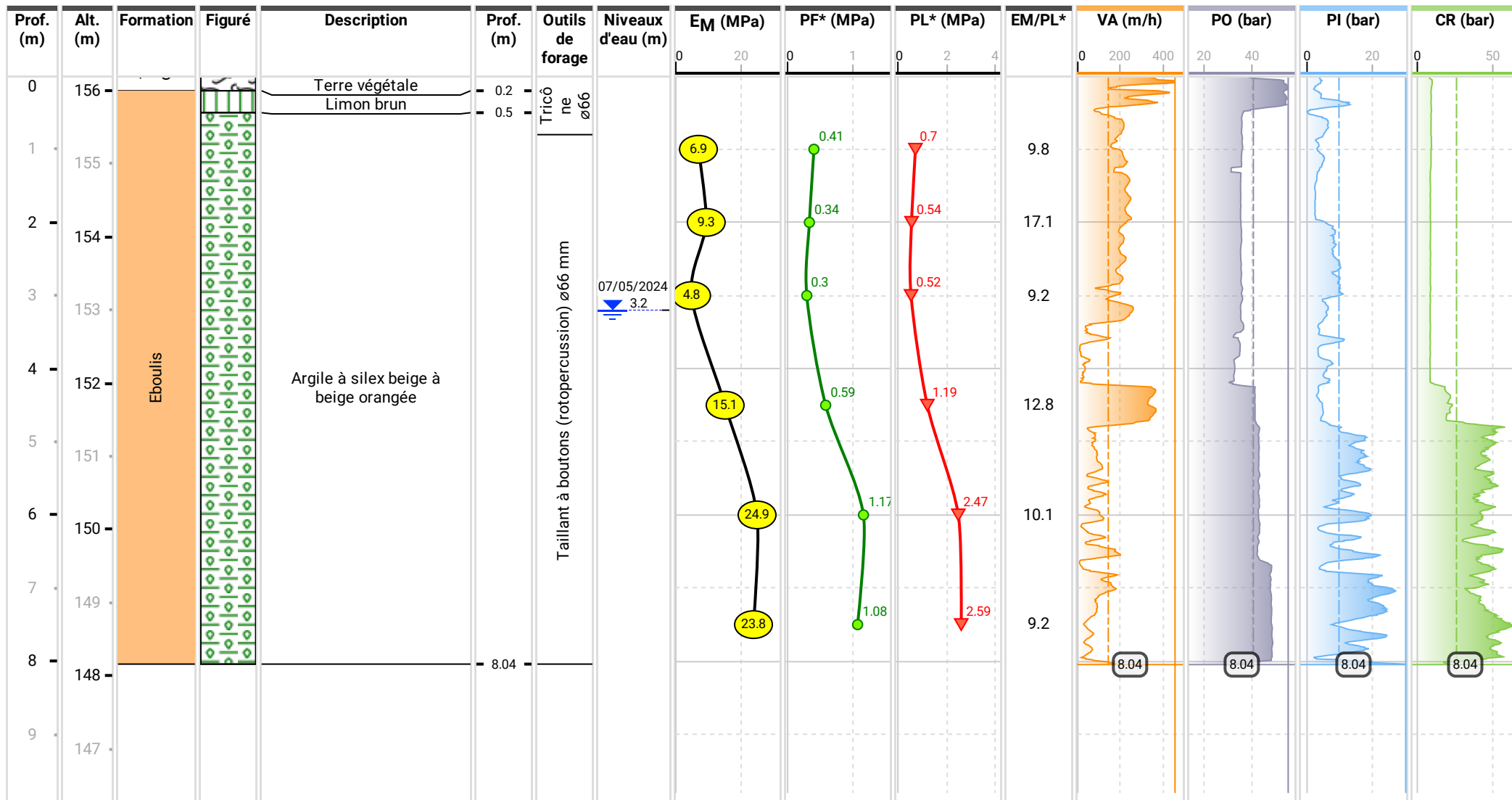
0 m

Cote fin

8.04 m

Date de fin

07/05/2024



Description du dossier

Création d'une volière à drones

Chantier

181, Chemin de la Hunière PALAISEAU

Dossier

24.13302/ES/GIF Mission G2-AVP+PRO

Client

ENSTA PARIS

Forage

TC H SP1

Type de forage

Test de chute

Machine

EMCI 350

Altitude undefined

156.2 m

Cote début

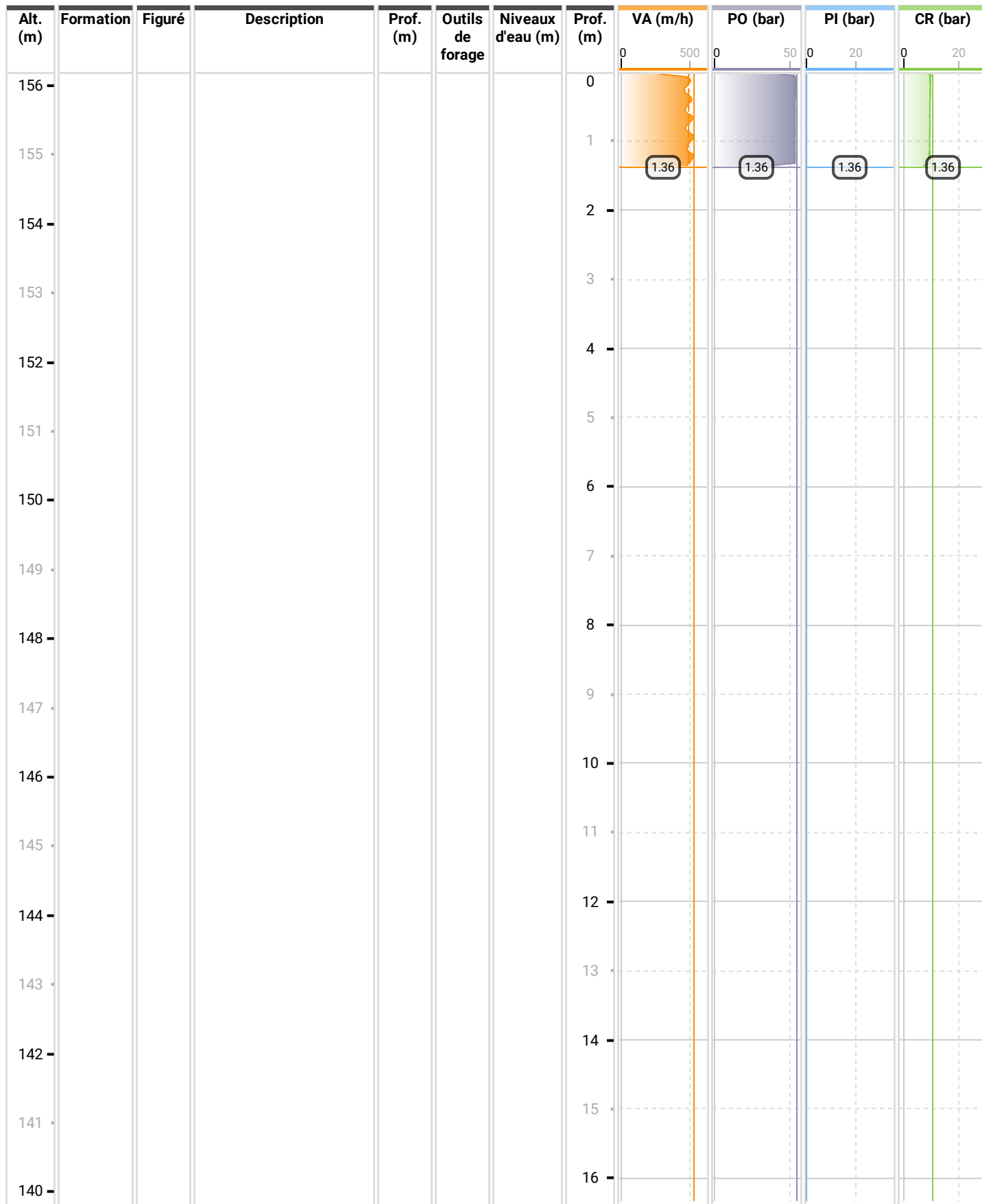
0 m

Cote fin

1.36 m

Date de fin

07/05/2024



Description du dossier

Création d'une volière à drones

Chantier

181, Chemin de la Hunière PALAISEAU

Dossier

24.13302/ES/GIF Mission G2-AVP+PRO

Client

ENSTA PARIS

Forage

TC B SP1

Type de forage

Test de chute

Machine

EMCI 350

Altitude undefined

156.2 m

Cote début

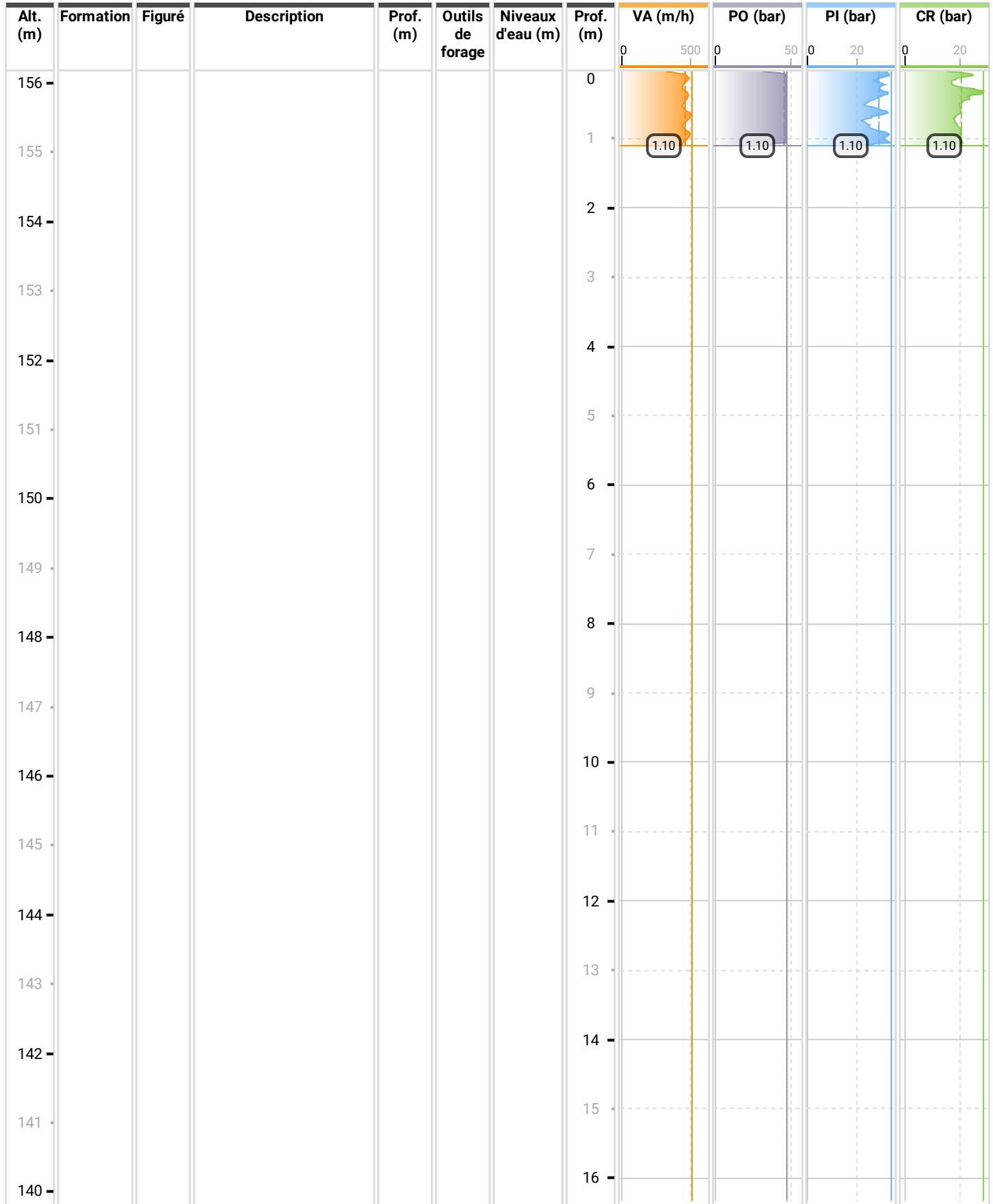
0 m

Cote fin

1.1 m

Date de fin

07/05/2024



Description du dossier

Création d'une volière à drones

Chantier

181, Chemin de la Hunière PALAISEAU

Dossier

24.13302/ES/GIF Mission G2-AVP+PRO

Client

ENSTA PARIS

Forage

SP2

Type de forage

Sondage Pressiométrique

Machine

EMCI 350

Altitude NGF

156.2 m

Cote début

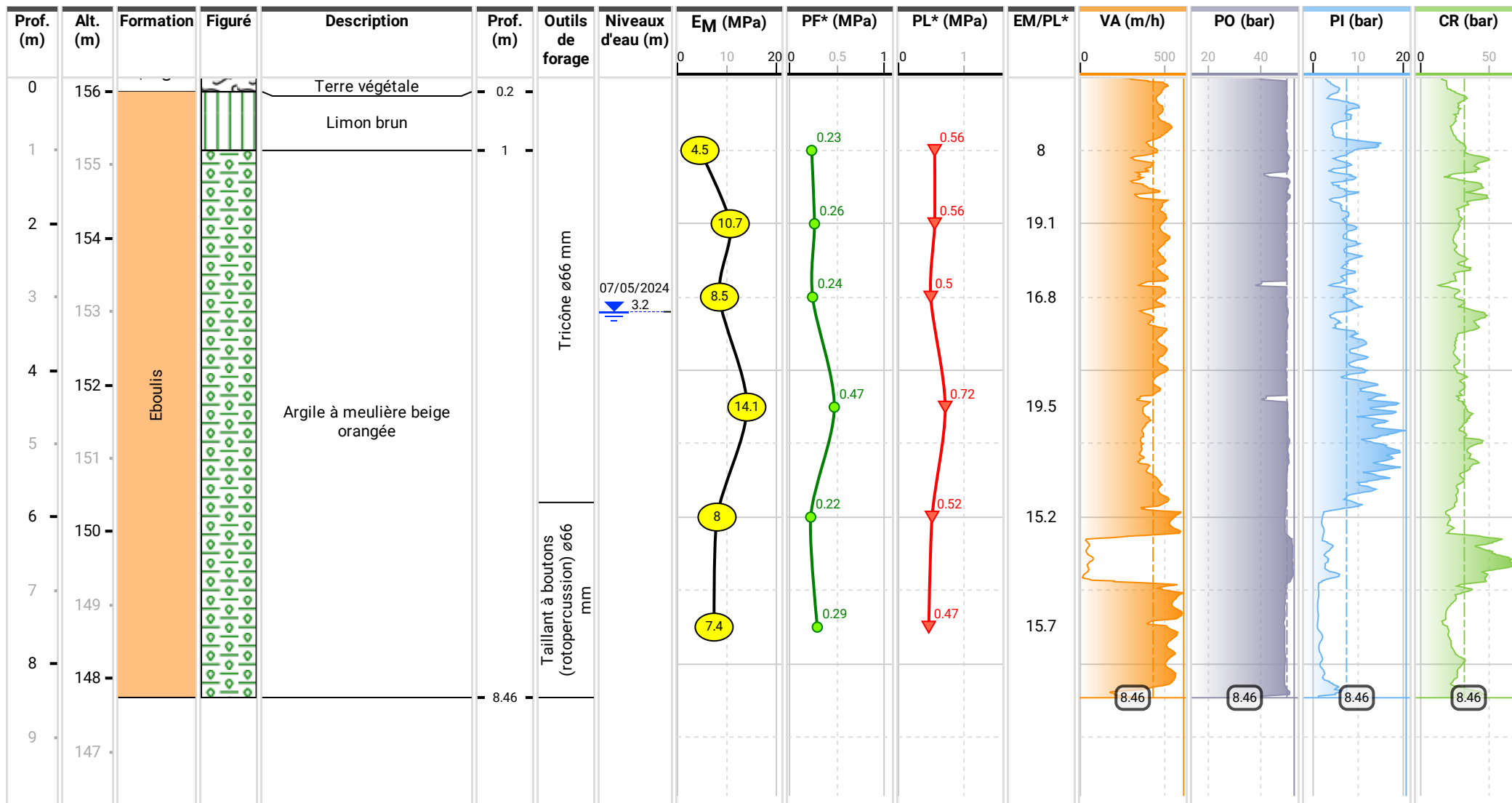
0 m

Cote fin

8.46 m

Date de fin

07/05/2024



Description du dossier

Création d'une volière à drones

Chantier

181, Chemin de la Hunière PALAISEAU

Dossier

24.13302/ES/GIF Mission G2-AVP+PRO

Client

ENSTA PARIS

Forage

TC H SP2

Type de forage

Test de chute

Machine

EMCI 350

Altitude NGF

156.2 m

Cote début

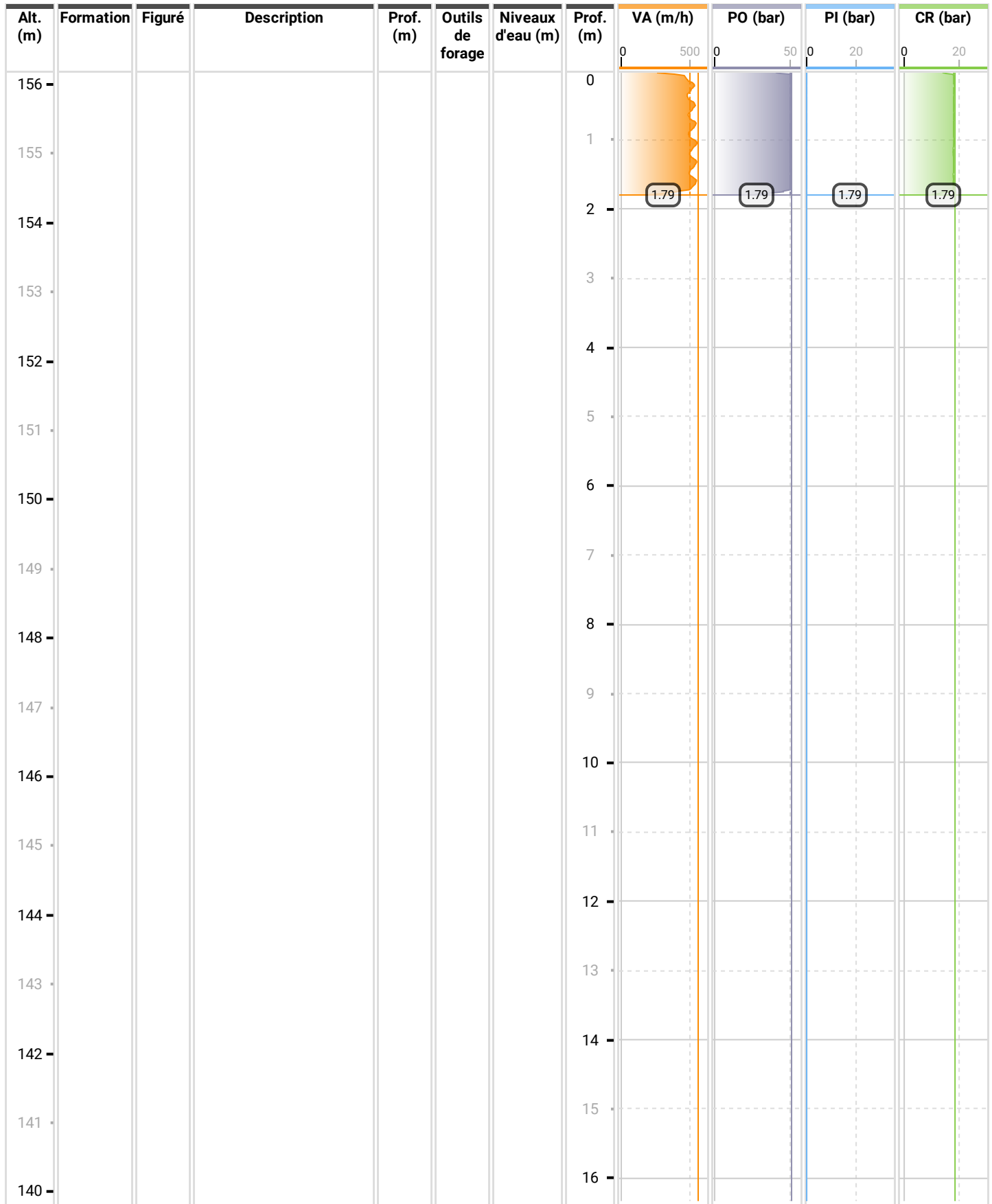
0 m

Cote fin

1.79 m

Date de fin

07/05/2024



Description du dossier

Création d'une volière à drones

Chantier

181, Chemin de la Hunière PALAISEAU

Dossier

24.13302/ES/GIF Mission G2-AVP+PRO

Client

ENSTA PARIS

Forage

TC B SP2

Type de forage

Test de chute

Machine

EMCI 350

Altitude NGF

156.2 m

Cote début

0 m

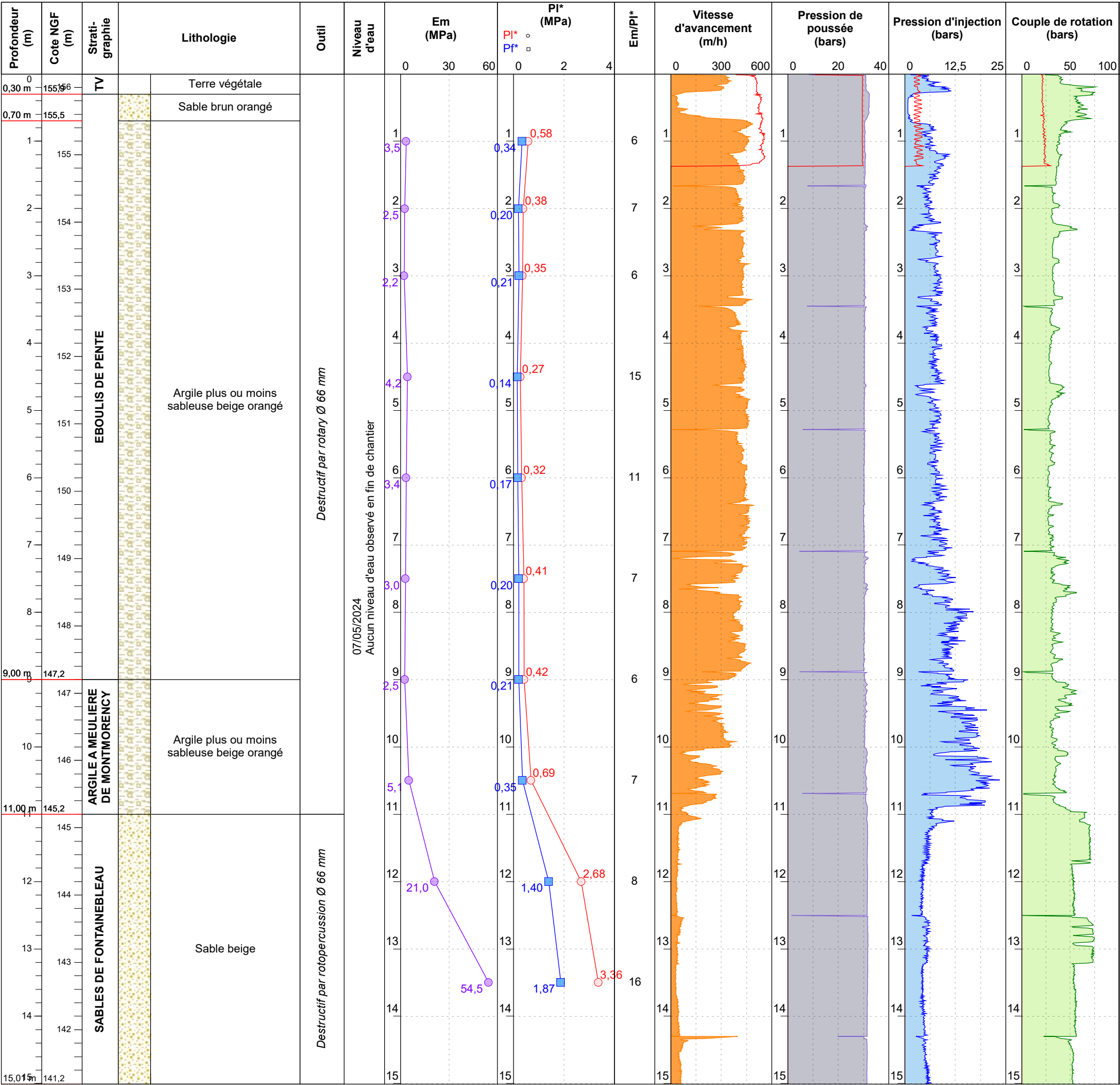
Cote fin

1.23 m

Date de fin

07/05/2024

Alt. (m)	Formation	Figuré	Description	Prof. (m)	Outils de forage	Niveaux d'eau (m)	Prof. (m)	VA (m/h)	PO (bar)	PI (bar)	CR (bar)
156							0	0 500	0 50	0 20	0 20
155							1	1.23	1.23	1.23	1.23
154							2				
153							3				
152							4				
151							5				
150							6				
149							7				
148							8				
147							9				
146							10				
145							11				
144							12				
143							13				
142							14				
141							15				
140							16				



ANNEXE 3 : NOTE DE CALCUL FONDATIONS

Données

Titre du projet : Volière à drones

Numéro d'affaire : 24.13302/ES/GIF

Commentaires : N/A

Titre du calcul : Semelle 01 (Cas1)

Cadre réglementaire : EC 7 - Norme NF P94-261

Méthode de dimensionnement : A partir des résultats pressiométriques

Traitement des données : Traitement par couches

Pas de calcul (m) : 0,20

Forme de la base : Fondation carrée

Côté B (m) : 2,10

Cote du TN initial Zini (m) : 0,00

Cote du TN final Zfin (m) : 0,00

Cote de base fondation Zd (m) : -1,70

Proximité d'un talus : Non

Catégorie de sol : Argiles et limons

Type de comportement : Comportement intermédiaire

Cohésion c (kPa) : 3,00

Angle de frottement (°) : 25,0

Poids volumique net (kN/m3) : 20,0

Type d'interface : Interface frottante

Angle de contact à l'interface (°) : 30,0

Poids volumique moyen du sol au-dessus de la base de la fondation (kN/m3) : 20,0

Terrain et profil pressiométrique

N°	Nom	Couleur	Zbase	pl*	EM	α
1	Couche 1		-9,00	470,00	6000,00	0,66

Poids propre de la semelle (P0) : 187,43

Cote d'application de la charge Z0 (m) : -1,70

Cas de charge

N°	Vd	HB,d	HL,d	MB,d	ML,d	Pondération sur P0	Combinaison
1	901,0	169,0	0,0	0,0	0,0	1,00	ELU-Fondamentales
2	352,0	194,0	0,0	0,0	0,0	1,00	ELU-Fondamentales
3	244,0	133,0	0,0	0,0	0,0	1,00	ELS-Quasi-permanentes
4	197,0	208,0	0,0	0,0	0,0	1,00	ELS-Quasi-permanentes



FoXta v4
v4.1.16

Imprimé le : 31/05/2024 - 12:26:25
Calcul réalisé par : GEOEXPERTS

Projet : semelle 01
Module : Fondsup (Cas 1/2)
Titre du calcul : Semelle 01

Synthèse des principaux résultats

N° cas de charge : Indice du cas de charge

Combinaison : Type de combinaison

Vd [kN] : Effort vertical à la base de la fondation

Hd [kN] : Effort horizontal à la base de la fondation

R0 [kN] : Poids des terres excavées

Seff/Stot : Rapport entre l'aire effective et l'aire totale de la fondation

Rvd [kN] : Valeur de calcul de la résistance verticale nette du terrain (mécanisme de portance)

Rhd [kN] : Valeur de calcul de la résistance horizontale du terrain (mécanisme de glissement)

Portance : Vérification de la capacité portante de la fondation (ELU et ELS)

Excentrement : Vérification de l'excentricité du chargement (ELU et ELS)

Glissement : Vérification de la stabilité au glissement (ELU uniquement)

Tassement [cm] : Tassement sous la charge appliquée

Synthèse des principaux résultats

N° cas de charge	Combinaison	Vd	Hd	R0	Seff/Stot	Rvd	Rhd	Portance	Excentrement	Glissement	Tassement
1	ELU-Fondamentales	1088,40	169,00	149,94	1,00	940,37	519,34	Ok	Ok	Ok	-
2	ELU-Fondamentales	539,42	194,00	149,94	1,00	616,90	257,39	Ok	Ok	Ok	-
3	ELS-Quasi-permanentes	431,43	133,00	149,94	1,00	418,46	-	Ok	Ok	-	0,53
4	ELS-Quasi-permanentes	384,43	208,00	149,94	1,00	255,86	-	Ok	Ok	-	0,44



FoXta v4
v4.1.16

Imprimé le : 31/05/2024 - 12:26:26
Calcul réalisé par : GEOEXPERTS

Projet : semelle 01
Module : Fondsup (Cas 1/2)
Titre du calcul : Semelle 01

Paramètres intermédiaires pour le calcul de portance

- N° cas de charge : Indice du cas de charge
- Combinaison : Type de combinaison
- iδβ : Coefficient réducteur lié à l'inclinaison et à la proximité d'un talus
- kp : Facteur de portance pressiomérique
- ple [kPa] : Pression limite nette équivalente
- qnet [kPa] : Contrainte de rupture du terrain de fondation (sans pondérations)
- seff [m²] : Aire d'assise effective de la fondation (tenant compte de l'excentrement du chargement)
- Fglobal : Facteur de sécurité global
- Rvd [kN] : Valeur de calcul de la résistante nette du terrain de fondation

Paramètres intermédiaires pour le calcul de portance

N° cas de charge	Combinaison	iδβ	kp	ple	qnet	seff	Fglobal	Rvd
1	ELU-Fondamentales	0,75	1,02	470,00	358,24	4,41	1,68	940,37
2	ELU-Fondamentales	0,49	1,02	470,00	235,01	4,41	1,68	616,90
3	ELS-Quasi-permanentes	0,55	1,02	470,00	261,89	4,41	2,76	418,46
4	ELS-Quasi-permanentes	0,33	1,02	470,00	160,13	4,41	2,76	255,86

Paramètres intermédiaires pour le calcul de tassement

- N° cas de charge : Indice du cas de charge
- λ_c : Coefficient de forme sphérique
- λ_d : Coefficient de forme déviatorique
- α : Coefficient rhéologique moyen
- Ec [kPa] : Module pressiométrique équivalent dans la zone de déformation volumique
- Ed [kPa] : Module pressiométrique équivalent dans la zone de déformation déviatorique
- q0 [kPa] : Contrainte initiale avant travaux
- qref [kPa] : Contrainte de référence
- sc [cm] : Tassement sphérique
- sd [cm] : Tassement déviatorique
- stot [cm] : Tassement total

Paramètres intermédiaires pour le calcul de tassement

N° cas de charge	λ_c	λ_d	α	Ec	Ed	q0	qref	sc	sd	stot
3	1,10	1,12	0,66	6000,00	6000,00	34,00	97,83	0,18	0,35	0,53
4	1,10	1,12	0,66	6000,00	6000,00	34,00	87,17	0,15	0,29	0,44

Raideurs équivalentes de la fondation

- Type : Type de raideur
- Kv [kN/m] : Raideur verticale
- KHB [kN/m] : Raideur horizontale selon B
- KHL [kN/m] : Raideur horizontale selon L
- KMB [kNm/rad] : Raideur rotationnelle selon B
- KML [kNm/rad] : Raideur rotationnelle selon L

Raideurs équivalentes de la fondation

Type	Kv	KHB	KHL	KMB	KML
Raideurs statiques LT	5,315E04	4,227E04	4,227E04	4,646E04	4,646E04
Raideurs statiques CT	1,063E05	8,454E04	8,454E04	9,292E04	9,292E04
Raideurs sismiques Min	1,594E05	1,268E05	1,268E05	1,394E05	1,394E05
Raideurs sismiques Max	3,189E05	2,536E05	2,536E05	2,788E05	2,788E05



FoXta v4
v4.1.16

Imprimé le : 31/05/2024 - 12:26:26
Calcul réalisé par : GEOEXPERTS

Projet : semelle 01
Module : Fondsup (Cas 1/2)
Titre du calcul : Semelle 01

Données

Titre du projet : Volière à drones

Numéro d'affaire : 24.13302/ES/GIF

Commentaires : N/A

Titre du calcul : Semelle 02 (Cas2)

Cadre réglementaire : EC 7 - Norme NF P94-261

Méthode de dimensionnement : A partir des résultats pressiométriques

Traitement des données : Traitement par couches

Pas de calcul (m) : 0,20

Forme de la base : Fondation carrée

Côté B (m) : 2,00

Cote du TN initial Zini (m) : 0,00

Cote du TN final Zfin (m) : 0,00

Cote de base fondation Zd (m) : -1,30

Proximité d'un talus : Non

Catégorie de sol : Argiles et limons

Type de comportement : Comportement intermédiaire

Cohésion c (kPa) : 3,00

Angle de frottement (°) : 25,0

Poids volumique net (kN/m3) : 20,0

Type d'interface : Interface frottante

Angle de contact à l'interface (°) : 30,0

Poids volumique moyen du sol au-dessus de la base de la fondation (kN/m3) : 20,0

Terrain et profil pressiométrique

N°	Nom	Couleur	Zbase	pl*	EM	α
1	Couche 1		-9,00	470,00	6000,00	0,66

Poids propre de la semelle (P0) : 130,00

Cote d'application de la charge Z0 (m) : -1,30

Cas de charge

N°	Vd	HB,d	HL,d	MB,d	ML,d	Pondération sur P0	Combinaison
1	105,0	106,0	0,0	0,0	0,0	1,00	ELU-Fondamentales
2	173,0	65,0	0,0	0,0	0,0	1,00	ELU-Fondamentales
3	56,0	89,0	0,0	0,0	0,0	1,00	ELS-Quasi-permanentes
4	123,0	46,0	0,0	0,0	0,0	1,00	ELS-Quasi-permanentes
5	-25,0	46,0	0,0	0,0	0,0	1,00	ELU-Fondamentales



FoXta v4
v4.1.16

Imprimé le : 12/06/2024 - 12:08:32
Calcul réalisé par : GEOEXPERTS

Projet : semelle 01
Module : Fondsup (Cas 2/2)
Titre du calcul : Semelle 02

Synthèse des principaux résultats

N° cas de charge : Indice du cas de charge

Combinaison : Type de combinaison

Vd [kN] : Effort vertical à la base de la fondation

Hd [kN] : Effort horizontal à la base de la fondation

R0 [kN] : Poids des terres excavées

Seff/Stot : Rapport entre l'aire effective et l'aire totale de la fondation

Rvd [kN] : Valeur de calcul de la résistance verticale nette du terrain (mécanisme de portance)

Rhd [kN] : Valeur de calcul de la résistance horizontale du terrain (mécanisme de glissement)

Portance : Vérification de la capacité portante de la fondation (ELU et ELS)

Excentrement : Vérification de l'excentricité du chargement (ELU et ELS)

Glissement : Vérification de la stabilité au glissement (ELU uniquement)

Tassement [cm] : Tassement sous la charge appliquée

Synthèse des principaux résultats

N° cas de charge	Combinaison	Vd	Hd	R0	Seff/Stot	Rvd	Rhd	Portance	Excentrement	Glissement	Tassement
1	ELU-Fondamentales	235,00	106,00	104,00	1,00	424,19	112,13	Ok	Ok	Ok	-
2	ELU-Fondamentales	303,00	65,00	104,00	1,00	720,62	144,58	Ok	Ok	Ok	-
3	ELS-Quasi-permanentes	186,00	89,00	104,00	1,00	242,57	-	Ok	Ok	-	0,16
4	ELS-Quasi-permanentes	253,00	46,00	104,00	1,00	470,47	-	Ok	Ok	-	0,30
5	ELU-Fondamentales	105,00	46,00	104,00	1,00	436,91	50,10	Ok	Ok	Ok	-



FoXta v4
v4.1.16

Imprimé le : 12/06/2024 - 12:08:32
Calcul réalisé par : GEOEXPERTS

Projet : semelle 01
Module : Fondsup (Cas 2/2)
Titre du calcul : Semelle 02

Paramètres intermédiaires pour le calcul de portance

- N° cas de charge : Indice du cas de charge
- Combinaison : Type de combinaison
- iδβ : Coefficient réducteur lié à l'inclinaison et à la proximité d'un talus
- kp : Facteur de portance pressiomérique
- ple [kPa] : Pression limite nette équivalente
- qnet [kPa] : Contrainte de rupture du terrain de fondation (sans pondérations)
- seff [m²] : Aire d'assise effective de la fondation (tenant compte de l'excentrement du chargement)
- Fglobal : Facteur de sécurité global
- Rvd [kN] : Valeur de calcul de la résistante nette du terrain de fondation

Paramètres intermédiaires pour le calcul de portance

N° cas de charge	Combinaison	iδβ	kp	ple	qnet	seff	Fglobal	Rvd
1	ELU-Fondamentales	0,38	0,99	470,00	178,16	4,00	1,68	424,19
2	ELU-Fondamentales	0,65	0,99	470,00	302,66	4,00	1,68	720,62
3	ELS-Quasi-permanentes	0,36	0,99	470,00	167,37	4,00	2,76	242,57
4	ELS-Quasi-permanentes	0,69	0,99	470,00	324,63	4,00	2,76	470,47
5	ELU-Fondamentales	0,39	0,99	470,00	183,50	4,00	1,68	436,91



FoXta v4
v4.1.16

Imprimé le : 12/06/2024 - 12:08:32
Calcul réalisé par : GEOEXPERTS

Projet : semelle 01
Module : Fondsup (Cas 2/2)
Titre du calcul : Semelle 02

Paramètres intermédiaires pour le calcul de tassement

N° cas de charge : Indice du cas de charge

λ_c : Coefficient de forme sphérique

λ_d : Coefficient de forme déviatorique

α : Coefficient rhéologique moyen

Ec [kPa] : Module pressiométrique équivalent dans la zone de déformation volumique

Ed [kPa] : Module pressiométrique équivalent dans la zone de déformation déviatorique

q0 [kPa] : Contrainte initiale avant travaux

qref [kPa] : Contrainte de référence

sc [cm] : Tassement sphérique

sd [cm] : Tassement déviatorique

stot [cm] : Tassement total

Paramètres intermédiaires pour le calcul de tassement

N° cas de charge	λ_c	λ_d	α	Ec	Ed	q0	qref	sc	sd	stot
3	1,10	1,12	0,66	6000,00	6000,00	26,00	46,50	0,06	0,11	0,16
4	1,10	1,12	0,66	6000,00	6000,00	26,00	63,25	0,10	0,20	0,30

Raideurs équivalentes de la fondation

- Type** : Type de raideur
- Kv [kN/m]** : Raideur verticale
- KHB [kN/m]** : Raideur horizontale selon B
- KHL [kN/m]** : Raideur horizontale selon L
- KMB [kNm/rad]** : Raideur rotationnelle selon B
- KML [kNm/rad]** : Raideur rotationnelle selon L

Raideurs équivalentes de la fondation

Type	Kv	KHB	KHL	KMB	KML
Raideurs statiques LT	5,006E04	3,982E04	3,982E04	3,970E04	3,970E04
Raideurs statiques CT	1,001E05	7,963E04	7,963E04	7,939E04	7,939E04
Raideurs sismiques Min	1,502E05	1,195E05	1,195E05	1,191E05	1,191E05
Raideurs sismiques Max	3,004E05	2,389E05	2,389E05	2,382E05	2,382E05



FoXta v4
v4.1.16

Imprimé le : 12/06/2024 - 12:08:32
Calcul réalisé par : GEOEXPERTS

Projet : semelle 01
Module : Fondsup (Cas 2/2)
Titre du calcul : Semelle 02