

RECURRENT ENERGY

Construction d'une centrale photovoltaïque

à ANGRIE (49)

Rapport d'étude ONA2.P.0371 Version A

étude géotechnique de conception phase avant-projet (G2 phase AVP)

Le 30/10/2025



Agence d'Angers

ZA de la Garde
Allée du 9 novembre 1989
49240 AVRILLE
Téléphone +33 (0)2 41 34 58 60
cebtp.angers@groupeginger.com



RECURRENT ENERGY							
CONSTRUCTION D'UNE CENTRALE PHOTOVOLTAÏQUE							
à ANGRIE (49)							
RAPPORT - étude géotechnique de conception phase avant-projet (G2 phase AVP)							
Dossier : ONA2.P.0371				Contrat : ONA2.P.0687			
Version	Date	Rédigé par	Visa	Vérifié par	Visa	Contenu	Obs
A	30/10/25	Camille CORTES		Jérôme CHAPELLE		34 pages 3 annexes	-

A compter du paiement intégral de la mission, le client devient libre d'utiliser le rapport et de le diffuser à condition de respecter et de faire respecter les limites d'utilisation des résultats qui y figurent et notamment les conditions de validité et d'application du rapport.

Sommaire

1. Plans de situation	4
1.1. Extrait de carte IGN	4
1.2. Image aérienne	4
2. Contexte de l'étude	5
2.1. Données générales.....	5
2.1.1. Identification du projet et des principaux interlocuteurs.....	5
2.1.2. Documents communiqués	5
2.1.3. Documents de référence	5
2.2. Description du site	5
2.2.1. Topographie, occupation du site et avoisinants	5
2.2.2. Contextes géotechnique, hydrogéologique et sismique	6
2.3. Caractéristiques de l'avant-projet	9
2.3.1. Description de l'ouvrage	9
2.3.2. Sollicitations appliquées aux fondations.....	10
2.3.3. Terrassements prévus.....	10
2.4. Mission Ginger CEBTP	10
3. Investigations géotechniques.....	12
3.1. Préambule.....	12
3.2. Implantation	12
3.3. Sondages, essais et mesures in situ	12
4. Synthèse des investigations.....	14
4.1. Première approche d'un modèle géologique	14
4.1.1. Lithologies et caractéristiques mécaniques	14
4.1.2. Caractéristiques géomécaniques	18
4.2. Première approche de modèle hydrogéologique	19
4.2.1. Contexte hydrogéologique.....	19
4.2.2. Piézométrie et niveaux d'eau	19
4.2.3. Inondabilité	20
4.3. Risque sismique	20
4.3.1. Données parasismiques réglementaires.....	20
4.3.2. Liquéfaction	20

5. Principes généraux de construction	21
5.1. Analyse du contexte et principes d'adaptation	21
5.2. Adaptations générales	22
5.2.1. Remarques préalables.....	22
5.2.2. Mise à nu du terrain	23
5.2.3. Réalisation des terrassements	23
5.3. Fondation de la structure.....	24
5.3.1. Type de fondation et conditions d'ancrage	24
5.3.2. Fondations superficielles par radier général pour les postes électriques, les citernes et les conteneurs de stockage	25
5.3.3. Fondations superficielles par semelles isolées des panneaux photovoltaïques et des bâtiments agricoles	27
5.4. Protection des ouvrages vis-à-vis de l'eau.....	31
5.5. Protection vis-à-vis du retrait / gonflement – pour le bâtiment de la zone 3	31
6. Aléas résiduels et observations majeures.....	33
6.1. Aléas résiduels	33
6.2. Observations majeures et missions ultérieures.....	33

Annexes

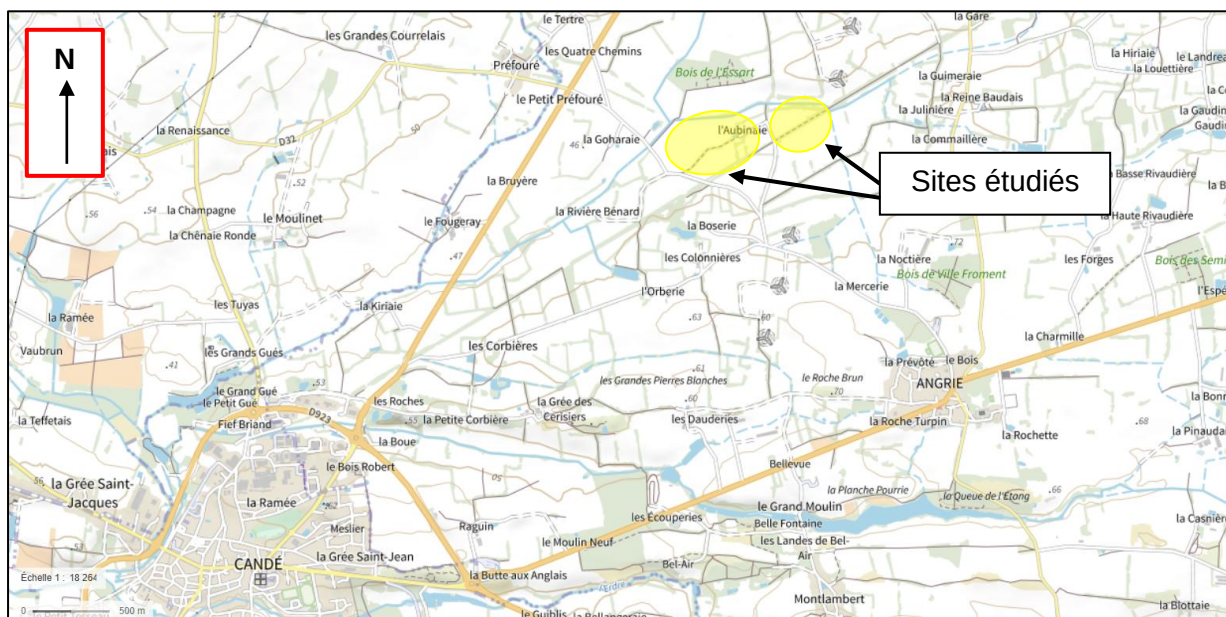
ANNEXE 1 – NOTES GENERALES SUR LES MISSIONS GEOTECHNIQUES

ANNEXE 2 – PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES

ANNEXE 3 – COUPES DES SONDAGES ET ESSAIS IN SITU

1. Plans de situation

1.1. Extrait de carte IGN



Source : site Géoportail

1.2. Image aérienne



Source : site Géoportail

2. Contexte de l'étude

2.1. Données générales

2.1.1. Identification du projet et des principaux interlocuteurs

Nom de l'opération : Construction d'une centrale photovoltaïque
Localisation : à proximité de la maison neuve
Commune : ANGRIE (49)
Demandeur de la mission et client : RECURRENT ENERGY

2.1.2. Documents communiqués

Document	Echelle	Origine	Format	Date
Plan de situation	variées	RECURRENT ENERGY	fichier PDF	-
Plan masse projet	1/200			11/07/2024

2.1.3. Documents de référence

Les documents réglementaires utilisés sont les suivants :

- Eurocode 7 Partie 1 – « Calcul géotechnique – Règles générales » ;
- NF P 94-261 + NF P 94-261/A1 – « Calcul géotechnique – Fondations superficielles ».

2.2. Description du site

2.2.1. Topographie, occupation du site et avoisinants

Les sites d'étudiés sont localisés à proximité de la maison neuve (parcelles cadastrales n°1124, 0191, 0193, 0196, 0197, 0195, 0194, 0176, 0177, 0937, 0082, 0167 et 0165 section OA) sur la commune de ANGRIE (49). La superficie du site concerné par les investigations est d'environ 24 hectares.

Le site concerné par les investigations présente une pente d'environ 2 % orientée vers le Nord. Son altitude varie d'environ 43 à 48 NGF d'après les données de l'IGN (source : *Géoportail*).

Lors de notre intervention, les terrains correspondaient à des champs de culture.



Photographies prises lors de notre intervention (octobre 2025) – Source : Ginger CEBTP

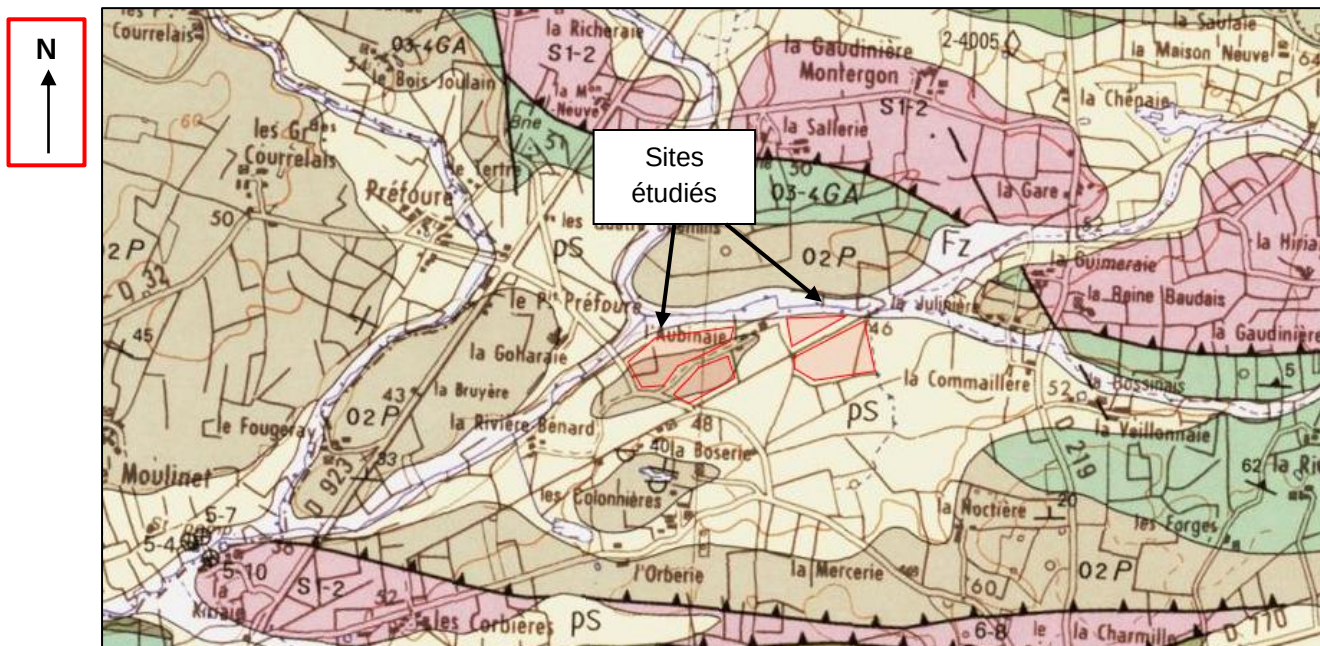
L'emprise de l'ouvrage projeté est mitoyenne sur son côté Sud et Est, de constructions qui ne comportent pas de sous-sols.

2.2.2. Contextes géotechnique, hydrogéologique et sismique

2.2.2.1. Géologie prévisionnelle

D'après la carte géologique du SEGRE au 1/50 000 et les études géotechniques réalisées à proximité, les terrains du secteur devraient être constitués de haut en bas par :

- de possibles remblais d'aménagements généraux et/ou des formations de couverture,
- des sables rouges et cailloutis du Pliocène, notés pS
- des grès verts à lamines et schistes, formation de la pile de l'Arénig moyen-supérieur, notés O2P



Extrait de la carte géologique du SEGRE au 1/50 000 - Source : site InfoTerre

La carte géologique du BRGM indique la présence de carrières à ciel ouvert au Sud et au Nord du projet au sein des sables rouges du Pliocène. Ces carrières sont actuellement abandonnées d'après le BRGM.

2.2.2.2. Contexte hydrogéologique

D'un point de vue hydrogéologique, les formations superficielles d'altération schisto-gréseuses sont susceptibles d'abriter des nappes semi-captives à captives selon la saison, la pluviométrie et les lithologies rencontrées. Le substratum schisteux et compact, généralement imperméable, n'est pas connu pour contenir une nappe.

Si les schistes homogènes donnent des débits de quelques m³/h seulement lorsqu'ils sont très fracturés, l'intercalation de bancs de grès, jouant le rôle de drains peut rendre la formation beaucoup plus aquifère. L'hétérogénéité créée par les intercalations volcaniques peut être également un facteur d'enrichissement en eau.

Par ailleurs des circulations anarchiques et/ou ponctuelles ne sont pas exclues au sein des sables du Pliocène.

2.2.2.3. Risques naturels et sismicité

Les informations recueillies sur les sites internet consultés (www.georisques.gouv.fr, www.maine-et-loire.gouv.fr) sont consignées dans le tableau ci-dessous.

Risques naturels	Sensibilité
Inondations/débordement de cours d'eau	Hors zone inondable
Remontées de nappe	Zones potentiellement sujettes aux débordements de nappes et aux inondations de caves avec une fiabilité faible*
Argiles (retrait/gonflement)	Aléa moyen à nul *
Cavités naturelles ou anthropiques	Présence d'un puit à moins de 500 m autour du projet
Mouvements de terrains	Pas de présence de mouvements de terrains connus à proximité du projet (rayon de 500 m autour du projet)
Radon	Potentiel de catégorie 3 (fort)
Séismes	Zone 2 (aléa faible)

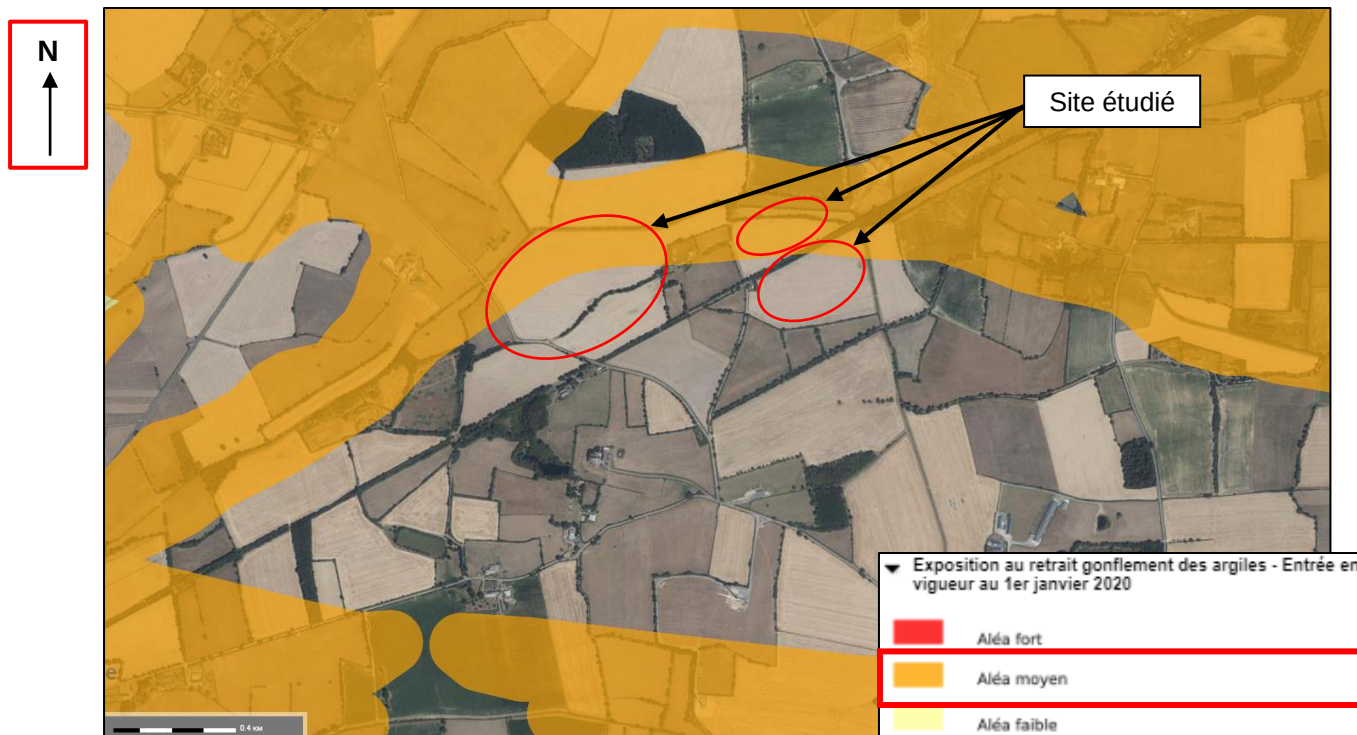
* cf. illustrations ci-après

➤ Zones sensibles aux remontées de nappes avec prise en compte du niveau de fiabilité :



Source : site Géorisques

➤ Zones d'exposition au phénomène de retrait/gonflement des argiles :



Source : site Géorisques

➤ Radon :

Le radon est un gaz radioactif, inodore, incolore et inerte chimiquement, présent naturellement dans la croûte terrestre dont l'activité radiologique est mesurée en becquerels par mètre cube (Bq/m³).

Le code de la santé publique et de l'environnement intègre désormais le radon en tant que risque naturel dans l'information préventive du public et des travailleurs. Pour certains ouvrages, des dispositions doivent être prises à toutes les phases de la vie d'un ouvrage si la commune est concernée par le risque radon (bâtiment existant, réhabilitation, vente).

Le potentiel radon à l'échelle communale est défini par l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (www.irsnn.fr). Le terrain situé dans la commune d'ANGRIE (49) présente un potentiel radon de catégorie 3, « fort ».

L'étude des dispositions techniques à prendre vis-à-vis du risque radon ne fait pas partie de notre mission et sont à prendre en compte par les concepteurs du projet.

➤ Sismicité :

Selon le zonage sismique de la France en vigueur (décret n°2010-1255 du 22/10/2010 et l'arrêté du 15 septembre 2014 modifiant l'arrêté du 22 octobre 2010), la commune d'ANGRIE (49) est classée en zone de sismicité 2 (aléa faible). Nous rappelons que dans le cas de bâtiments de catégorie d'importance III ou IV, l'application des règles parasismiques est obligatoire et il faut se reporter à l'Eurocode 8 (Norme NF EN 1998 – Calcul des structures pour leur résistance au séisme).

2.3. Caractéristiques de l'avant-projet

2.3.1. Description de l'ouvrage

Le projet porte sur la création d'une centrale photovoltaïque sur la commune d'ANGRIE (49). La surface totale est de 24.34 ha sur des parcelles agricoles. Le projet comprend :

- un ensemble de panneaux photovoltaïques (zones 1, 2 et 3)
- 2 bâtiments agricoles (zones 1 et 3)
- 2 postes de livraison (zones 1 et 3)
- 2 postes de transformation (zones 1 et 3)
- 2 citernes de 60 m³ (zones 1 et 3)
- 2 locaux de stockage en conteneur maritime de 20' (zones 1 et 3).

A ce stade de l'étude, le projet n'est pas complètement défini et est susceptible d'évoluer. Les études de conception phase projet (mission G2 PRO) et/ou d'exécution (mission G3) devront tenir compte des dernières évolutions.

2.3.2. Sollicitations appliquées aux fondations

Les descentes de charges du projet ne nous ont pas été communiquées. Par conséquent, les sollicitations vis-à-vis des ELS caractéristiques sont, sous toutes réserves estimées par Ginger CEBTP :

- Charge verticale sur appuis isolés concernant les structures photovoltaïques :
 ≤ 50 kN,
- Charge verticale sur appuis isolés concernant les bâtiments agricoles :
 ≤ 200 kN,
- Charge uniformément répartie sur radier concernant les postes de livraison et de transformation :
 ≤ 10 kPa.
- Charge uniformément répartie sur radier concernant les citernes :
 ≤ 10 kPa.
- Charge uniformément répartie sur radier concernant les conteneurs maritimes pour le stockage :
 ≤ 20 kPa.

Dans le cas de charges réelles différentes des estimations ci-dessus, il conviendrait de revoir tout ou partie de nos conclusions. Nous rappelons en particulier que les efforts de soulèvement, les efforts horizontaux et/ou les moments (liés ou non à la prise en compte de la sismicité) peuvent être dimensionnants.

2.3.3. Terrassements prévus

Il n'est pas prévu de terrassements autres que le simple reprofilage du terrain (+/- 0,5 m de déblais/remblais) en dehors de la réalisation des fondations.

2.4. Mission Ginger CEBTP

La mission de Ginger CEBTP est conforme au contrat n°ONA2.P.0687 daté du 01/08/2024 (commande correspondante datée du 07/08/2025).

Il s'agit d'une étude géotechnique de conception phase avant-projet (G2 phase AVP) selon la norme AFNOR NF P 94-500 de novembre 2013 sur les missions d'ingénierie géotechnique, ayant pour but de :

- définir un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser et en assurer le suivi technique,
- donner les hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade de l'avant-projet,
- donner les principes de construction envisageables (terrassements, soutènements et/ou pentes et talus, fondations, amélioration de sols, dispositions générales vis-à-vis des nappes et des avoisinants),
- fournir une ébauche dimensionnelle par type d'ouvrage géotechnique.

Il convient de rappeler que les aspects suivants ne font pas partie de la mission :

- les études de pollution et la recherche d'amiante dans les structures et les enrobés existants,
- la reconnaissance des anomalies géotechniques situées en dehors de l'emprise des investigations.

Les résultats de la mission G2 phase AVP, réalisée au stade de l'Avant-Projet, si cette mission n'est pas suivie d'une mission G2 phase PRO, ne peuvent pas être utilisés dans un DCE (Document de Consultation des Entreprises).

3. Investigations géotechniques

3.1. Préambule

Les moyens de reconnaissance et d'essais ont été définis par Ginger CEBTP en accord avec le client.

Ces investigations ont toutes été réalisées, sauf une reconnaissance de fondation.

3.2. Implantation

L'implantation des sondages et essais in situ figure sur le plan d'implantation joint en annexe 2. Elle a été définie et réalisée par Ginger CEBTP en fonction du projet et des contraintes du site.

Les altitudes des têtes de sondages correspondent au niveau du terrain au moment des investigations (Terrain Actuel – TA). Les coordonnées des points de sondage ont été relevées au moyen d'un GPS de précision infradécimétrique (référentiel Lambert 93 CC47) et sont jointes en annexe 2.

3.3. Sondages, essais et mesures in situ

Les investigations suivantes ont été réalisées :

Type de sondage	Qté	Noms	Prof. m/TA	Essais pressiométriques (NF EN ISO 22 476-4)	Zone
Sondage semi-destructif à la tarière hélicoïdale continue Ø 63 mm	4	SP1	4.8 ®	4	Zone 1
		SP2	6.0	3	Zone 2
		SP3	3.1 ®	2	Zone 3
		SP4	6.0	4	Zone 3
Sondage à la pelle mécanique	10	PM1	1.3 ®		Zone 1
		PM2	1.6		Zone 1
		PM3	2.0		Zone 2
		PM4	1.7		Zone 2
		PM5	1.5		Zone 1
		PM6	1.6		Zone 3
		PM7	1.4		Zone 3
		PM8	1.5		Zone 3
		PM9	1.4		Zone 3
		PM10	1.75		Zone 3
Essai au pénétromètre dynamique type DPSH-B (norme NF EN ISO 22476-2)	10	PD1	1.5 ®		Zone 1
		PD2	1.2 ®		Zone 1
		PD3	1.9 ®		Zone 1
		PD4	2.2 ®		Zone 1
		PD5	2.0 ®		Zone 2
		PD6	1.2 ®		Zone 1
		PD7	3.1 ®		Zone 2
		PD8	1.6 ®		Zone 3
		PD9	5.0		Zone 3
		PD10	5.0		Zone 3

® : Refus de la tête d'outil

Les coupes des sondages et les résultats des essais in situ sont présentés en annexes 3 et 4, où l'on trouvera en particulier les renseignements décrits ci-après :

- **Sondages semi-destructifs à la tarière continue :**

- coupe des sols,
- venue d'eau éventuelle,

Et, pour chaque essai pressiométrique effectué :

- module pressiométrique E_{Mm} (MPa)
- pression limite nette p_{l^*m} (MPa)
- pression de fluage nette p_{f^*m} (MPa)
- rapport E_{Mm}/p_{l^*m}

- **Essais au pénétromètre dynamique type B :**

- diagramme donnant la résistance dynamique q_d en fonction de la profondeur, calculée selon la formule des Hollandais,
- éventuel niveau d'eau en fin de sondage.

- **Puits de reconnaissance à la pelle :**

- coupe détaillée des sols,
- tenue des fouilles,
- venue d'eau éventuelle,
- photographies de la fouille et des sols extraits.

4. Synthèse des investigations

4.1. Première approche d'un modèle géologique

Cette synthèse devra être confirmée dans les phases ultérieures de l'étude (mission d'étude géotechnique de conception G2 phase Projet (G2 PRO) et/ou mission d'étude géotechnique d'exécution (G3)).

4.1.1. Lithologies et caractéristiques mécaniques

A noter que la profondeur des formations est donnée par rapport au terrain tel qu'il était au moment des reconnaissances (octobre 2025).

L'analyse et la synthèse des résultats des investigations réalisées ont permis de dresser la coupe géotechnique schématique suivante :

➤ Zone 1 :

Formation n°1 : **Formation de couverture** correspondant à de la terre végétale limoneuse marron

Profondeur de la base : de 0.1 à 0.35 m/TA,

Caractéristiques géotechniques :

- Résistance dynamique de pointe (q_d) : < 1 à 3 MPa

Formation n°2a : **Schiste gréseux décomposé** gris beige se présentant sous forme de limon argileux à argile limoneuse avec la présence de graves de schiste et de grès

Profondeur de la base : de 0.5 à 1.1 m/TA,

Caractéristiques géotechniques :

- Résistance dynamique de pointe (q_d) : 4 à 16 MPa

Formation n°2b : **Schiste gréseux altéré à compact**

Profondeur de la base : supérieure à la base des sondages (>6,0 m/TA),

Caractéristiques géotechniques :

- Pression limite (p_{l^*m}) : 3.29 à >4.0 MPa (4 essais)
- Module pressiométrique (E_{Mm}) : >100 MPa (4 essais)
- Résistance dynamique de pointe (q_d) : > 15 MPa

➤ Zone 2 :

Formation n°1 : **Formation de couverture** correspondant à de la terre végétale limoneuse marron

Profondeur de la base : de 0.20 à 0.25 m/TA,

Caractéristiques géotechniques :

- Résistance dynamique de pointe (q_d) : < 1 à 3 MPa

Formation n°2 : **Argile sableuse à rares graves** marron ocre

Profondeur de la base : de 0.6 à 0.7 m/TA,

Caractéristiques géotechniques :

- Résistance dynamique de pointe (q_d) : 3 à 6 MPa

Commentaire : cet horizon n'a pas été mis en évidence au droit du sondage SP2.

Formation n°3a : **Sable argileux +/- graveleux** marron clair à roux

Profondeur de la base : de 1.2 à >1.7 m/TA,

Caractéristiques géotechniques :

- Pression limite (p_{lm}^*) : # 1.12 MPa (1 essai)
- Module pressiométrique (E_{Mm}) : # 8.5 MPa (1 essai)
- Résistance dynamique de pointe (q_d) : 7 à 13 MPa

Formation n°3b : **Sable fin** beige rouge

Profondeur de la base : supérieure à la base des sondages (>6,0 m/TA),

Caractéristiques géotechniques :

- Pression limite (p_{lm}^*) : # 0.45 MPa (1 essai)
- Module pressiométrique (E_{Mm}) : # 4.1 MPa (1 essai)
- Résistance dynamique de pointe (q_d) : 3 à 8 MPa

Commentaire : cet horizon n'a pas été atteint au droit du sondage PM4.

Formation n°3c : **Sable +/- argileux induré** beige

Profondeur de la base : supérieure à la base des sondages (>6,0 m/TA),

Caractéristiques géotechniques :

- Pression limite (p_{lm}^*) : # 3.17 MPa (1 essai)
- Module pressiométrique (E_{Mm}) : # 32.6 MPa (1 essai)
- Résistance dynamique de pointe (q_d) : > 15 MPa

Commentaire : cet horizon n'a pas été atteint au droit des sondages PM4 et PM3.

➤ Zone 3 :

Formation n°1 : **Formation de couverture** correspondant à de la terre végétale limoneuse marron

Profondeur de la base : de 0.2 à 0.4 m/TA,

Caractéristiques géotechniques :

- Résistance dynamique de pointe (q_d) : < 1 à 3 MPa

Formation n°2 : **Argile sableuse à rares graves** marron ocre

Profondeur de la base : de 0.45 à 0.9 m/TA,

Commentaire : cet horizon a été mis en évidence au droit des sondages PM7, PM6, PM8 et PM10.

Formation n°3 : **Sable argileux +/- graveleux** marron clair à roux

Profondeur de la base : de >1.4 à >1.7 m/TA uniquement au droit de PM7 et PM10,

Commentaires :

- cet horizon a été mis en évidence uniquement au droit des sondage PM7 et PM10. Des poches de sables sont présentes au droit de la zone 3,
- cet horizon correspond à l'horizon 3a de la zone 2.

Formation n°4a : **Schiste gréseux décomposé** gris beige se présentant sous forme de limon argileux à argile limoneuse avec la présence de graves de schiste et de grès

Profondeur de la base : de 0.9 à > 5.0 m/TA,

Caractéristiques géotechniques :

- Pression limite (p_{lm}) : 1.04 à 1.75 MPa (3 essais)
- Module pressiométrique (E_{Mm}) : 18.3 à 19.4 MPa (3 essais)
- Résistance dynamique de pointe (q_d) : 3 à 16 MPa

Commentaires :

- cet horizon n'a pas été atteint au droit des sondages PM7 et PM10,
- cet horizon correspond à l'horizon 2a de la zone 1.

Formation n°4b : **Schiste gréseux altéré à compact**

Profondeur de la base : supérieure à la base des sondages (>6,0 m/TA),

Caractéristiques géotechniques :

- Pression limite (p_{lm}) : >4.0 MPa (3 essais)
- Module pressiométrique (E_{Mm}) : 70.3 à <100 MPa (3 essais)
- Résistance dynamique de pointe (q_d) : > 15 MPa

Commentaires :

- cet horizon n'a pas été atteint au droit des sondages PM7, PM6, PM9, PD9, PD10 et PM10,
- cet horizon correspond à l'horizon 2b de la zone 1.

Pour une meilleure analyse, il a été établi ci-après une classification des formations décrites ci-dessus au droit de chaque sondage.

Zone	Zone 1									
Sondage	PD6	PM5	PD1	SP1	PD2	PD3	PM1	PM2	PD4	PD5
Formation	Profondeur de la base en mètre par rapport au TA									
n°1 : Terre végétale	0.1*	0.35	0.2*	0.3	0.2*	0.2*	0.3	0.25	0.1*	0.1*
n°2a : Schiste gréseux décomposé	0.5*	0.6	0.7*	0.7	0.7*	0.9*	0.6	0.95	1.1*	1.1*
n°2b : Schiste gréseux altéré à compact	Au-delà	>1.5	Au-delà				>1.3	>1.6	Au-delà	

* : Interprétation sur la base des pénétrogrammes

Zone	Zone 2			
Sondage	PM3	SP2	PD7	PM4
Formation	Profondeur de la base en mètre par rapport au TA			
n°1 : Terre végétale	0.25	0.2	0.2*	0.2
n°2 : Argile sableuse	0.6	-	0.6*	0.7
n°3a : Sable argileux	1.2	1.2	1.2*	>1.7
n°3b : Sable fin	>2.0	2.6	2.6*	Non atteint
n°3c : Sable induré	Non atteint	Au-delà		Non atteint

* : Interprétation sur la base des pénétrogrammes

Zone	Zone 3									
Sondage	SP3	PM7	PD8	PM6	PM9	SP4	PD9	PM8	PM10	PD10
Formation	Profondeur de la base en mètre par rapport au TA									
n°1 : Terre végétale	0.2	0.25	0.3*	0.25	0.3	0.3	0.4*	0.3	0.3	0.2*
n°2 : Argile sableuse	-	0.45	-	0.5	-	-	-	0.9	0.9	-
n°3 : Sable argileux	-	>1.4	-	-	-	-	-	-	>1.75	-
n°4a : Schiste gréseux décomposé	3.0	Non atteint	0.9*	>1.6	>1.4	1.5	>5.0*	>1.5	Non atteint	>5.0*
n°4b : Schiste gréseux altéré à compact	Au-delà	Non atteint	Au-delà	Non atteint		Au-delà	Non atteint			

* : Interprétation sur la base des pénétrogrammes

Remarques :

- la transition entre les différents degrés d'altération du schiste gréseux peut être brutale compte tenu de la dégradation plus ou moins rapide du substratum. La limite entre les états n'est pas clairement distincte et varie, parfois fortement, d'un point à un autre,
- la limite entre les faciès est parfois délicate à identifier autrement qu'à l'appui des caractéristiques mécaniques mesurées, en raison des analogies lithologiques entre ces formations.
- nous rappelons qu'il n'est pas toujours évident de distinguer les variations horizontales et/ou verticales éventuelles, inhérentes aux changements de faciès, compte tenu de la surface investiguée par rapport à celle concernée par le projet. De ce fait, les caractéristiques indiquées précédemment ont un caractère représentatif mais non absolu,
- les essais de pénétration dynamique des sols étant des sondages dits "aveugles" en l'absence et au-delà de sondage couplé, la géologie des terrains ainsi que les limites de couches sont interprétées ou extrapolées à partir des diagrammes et notamment des valeurs de compacité du sol. **La nature des terrains et leur compacité devront, par conséquent, être confirmées lors des travaux.**

4.1.2. Caractéristiques géomécaniques

L'analyse des résultats des essais et sondages conduit à retenir les paramètres indiqués dans le tableau suivant.

➤ Zone 1 :

Formation	Nature du sol	Prof. base /TA (m)	Valeurs pressiométriques		Coefficient rhéologique α	Résistance de pointe qd (MPa)
			p _i * (MPa)	E _M (MPa)		
n°1	TV	0.1 à 0.35	-	-	-	2
n°2a	Schiste gréseux décomposé	0.5 à 1.1	1.0	8	0,67	7
n°2b	Schiste gréseux altéré à compact	Au-delà	3.3*	70*	0,50	15

* valeur retenue pour les calculs. Ceci ne doit pas faire oublier les caractéristiques mécaniques élevées mesurées dans le substratum (voir coupes de sondage) pour le choix des techniques de travaux.

➤ Zone 2 :

Formation	Nature du sol	Prof. base /TA (m)	Valeurs pressiométriques		Coefficient rhéologique α	Résistance de pointe qd (MPa)
			p _i * (MPa)	E _M (MPa)		
n°1	TV	0.2 à 0.25	-	-	-	2
n°2	Argile sableuse	0.6 à 0.7	-	-	-	4
n°3a	Sable argileux	1.2 à > 1.7	1.0	8	0,50	9
n°3b	Sable fin	>2.0 à 2.6	0.4	4	0,50	5
n°3c	Sable induré	Au-delà	3.1	32	0,33	15

➤ Zone 3 :

Formation	Nature du sol	Prof. base /TA (m)	Valeurs pressiométriques		Coefficient rhéologique α	Résistance de pointe q_d (MPa)
			p_r^* (MPa)	E_M (MPa)		
n°1	TV	0.2 à 0.4	-	-	-	2
n°2	Argile sableuse	0.45 à 0.9	-	-	-	-
n°3	Sable argileux	>1.2 à > 1.75	-	-	-	-
n°4a	Schiste gréseux décomposé	0.9 à >5.0	1.0	18	0,67	6
n°4b	Schiste gréseux altéré à compact	Au-delà	3.3*	70*	0,50	15

* valeur retenue pour les calculs. Ceci ne doit pas faire oublier les caractéristiques mécaniques élevées mesurées dans le substratum (voir coupes de sondage) pour le choix des techniques de travaux.

Ces données ont pour seul objet de préciser les hypothèses de calcul retenues pour la justification des ouvrages. La conception des infrastructures devra tenir compte des variations des limites de couches et des hétérogénéités locales toujours possibles.

4.2. Première approche de modèle hydrogéologique

4.2.1. Contexte hydrogéologique

Dans le contexte géologique décrit plus haut, peuvent cohabiter plusieurs types de nappes. On distingue, de haut en bas :

- une ou des nappes libres ou semi-captives régnant au sein des formations sablo-argileuses,
- une nappe de type fissurale pouvant se développer au sein de l'horizon de schiste gréseux en fonction de l'état de fracturation du massif rocheux. Celle-ci s'apparente à de multiples venues d'eau observées au gré des discontinuités rencontrées dans le substratum. Ces circulations peuvent être en charge dans les fractures du substratum, généralement peu perméable.

4.2.2. Piézométrie et niveaux d'eau

Aucune arrivée d'eau n'a été observée dans les sondages lors des investigations (octobre 2025). Toutefois, de l'humidité a été observée sur les tiges du pénétromètre dynamique au droit des essais PD9 et PD10 vers 4.6 m/TA. De plus, des circulations d'eau ponctuelles ne sont pas à exclure au sein des formations, notamment en cas de précipitations.

Il est à noter que le régime hydrogéologique peut varier en fonction de la saison et de la pluviométrie. L'absence de niveau d'eau doit donc être considérée à un instant donné.

Pour mieux préciser le niveau d'eau représentatif du site, il pourra être possible de réaliser la pose et le suivi du niveau d'eau dans des piézomètres mis en place sur une durée significative (au minimum 6 mois dont la période hivernale ou 12 mois) et de comparer les résultats à un historique s'il existe.

4.2.3. Inondabilité

D'après les données issues des sites internet www.georisques.gouv.fr, le terrain est en zones potentiellement sujettes aux débordements de nappes et aux inondations de caves avec une fiabilité faible (cf. § 2.2.2.3).

Des informations plus précises sur le risque réel d'inondation peuvent être fournies dans les documents d'urbanisme (P.L.U.). De plus, ce risque dépend des travaux de protection réalisés, et est donc susceptible de varier dans le temps.

4.3. Risque sismique

4.3.1. Données parasismiques réglementaires

Selon le décret n°2010-1255, l'arrêté du 15 septembre 2014 modifiant l'arrêté du 22 octobre 2010 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de classe dite "à risque normal" et la norme NF EN 1998 (Eurocode 8), les principales données parasismiques déduites des éléments du projet et des reconnaissances effectuées figurent dans le tableau ci-dessous :

Zone de sismicité	2 (aléa faible)
Accélération maximale de référence (agR)	0,7 m.s ⁻²
Catégorie d'importance du bâtiment (à confirmer par la MOE)	II : <i>bâtiments courants de moins de 28 m de haut</i>
Coefficient d'importance du bâtiment	1.0

Nous rappelons que le projet se situant en zone de sismicité 2, le dimensionnement des structures à l'Eurocode 8 est obligatoire pour les bâtiments de catégorie d'importance III ou IV.

En l'absence d'investigations spécifiquement destinées à mesurer la vitesse des ondes sismiques de cisaillement sur 30 m de profondeur (V_{s30}), nous retenons une **classe de sol B** (paramètre de sol, S , de 1,35).

Si le projet le nécessite, la valeur à retenir pourrait être définie précisément par la réalisation d'investigations complémentaires (MASW, crosshole, downhole) pouvant être réalisées lors des phases ultérieures d'étude.

4.3.2. Liquéfaction

Le site étant classé en zone sismique 2 (aléa faible), l'étude de la liquéfaction des sols n'est pas requise d'après l'arrêté du 15 septembre 2014 modifiant l'arrêté du 22 octobre 2010 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de classe dite "à risque normal".

De plus, les sols rencontrés ne sont a priori pas sujet au phénomène de liquéfaction.

5. Principes généraux de construction

5.1. Analyse du contexte et principes d'adaptation

Compte-tenu de ce qui a été indiqué dans les paragraphes précédents, les points essentiels ci-dessous sont à prendre en compte et conduiront les choix d'adaptation du projet :

➤ Contexte géologique et géotechnique

Contexte géotechnique :

Zone 1 : Sous 0,1 à 0,4 m de terre végétale (formation n°1), nous sommes en présence de schistes gréseux décomposés (formation n°2a). Au-delà, on rencontre le schiste gréseux altéré à compact (formation n°2b).

Zone 2 : Sous 0,2 à 0,4 m de terre végétale (formation n°1), nous sommes en présence d'argiles sableuses (formation n°2). Au-delà, on rencontre un sable +/- argileuse (formation n°3a), puis un sable fin (formation n°3b) et un sable induré (formation n°3c) jusqu'à la fin des sondages.

Zone 3 : Sous 0,2 à 0,4 m de terre végétale (formation n°1), nous sommes en présence d'argiles sableuses (formation n°2) et de sables argileux (formation n°3) uniquement au droit de certains sondages. Au-delà, on rencontre le schiste gréseux décomposé (formation n°4a) puis altéré à compact (formation n°4b).

Contexte hydrogéologique : Aucun niveau d'eau n'a été observé jusqu'à la base des sondages (6,0 m/TA) au moment des investigations (octobre 2025). **Néanmoins, nous rappelons que le régime hydrogéologique varie en fonction de la saison et de la pluviosité.**

➤ Caractéristiques du projet

Le projet comprend :

- un ensemble de panneaux photovoltaïques (zones 1, 2 et 3)
- 2 bâtiments agricoles (zones 1 et 3)
- 2 postes de livraison (zones 1 et 3)
- 2 postes de transformation (zones 1 et 3)
- 2 citernes de 60 m³ (zones 1 et 3)
- 2 locaux de stockage en conteneur maritime de 20' (zones 1 et 3).

➤ Zone d'influence géotechnique (ZIG)

Nous rappelons que la ZIG des terrassements et des fondations du projet s'étend aux mitoyens (bâtiments et voiries, réseaux...). Des précautions particulières devront être prises pour garantir la pérennité de ces ouvrages, tant en phase travaux qu'au stade définitif.

➤ Bilan des principales considérations à intégrer dans la conception du projet :

Les points à prendre en compte pour le projet sont les suivants :

- fond de forme situé dans des matériaux sensibles à l'eau,
- présence de poches de sables très localisées sur la zone 3,
- projet situé en zone de risque « moyen » vis-à-vis du phénomène de retrait/gonflement des argiles en zone 3,
- pas de présence d'eau aux profondeurs concernées par le projet.

➤ Solutions techniques envisageables :

Compte tenu des points précédents, il conviendra d'envisager :

Panneaux photovoltaïques et Bâtiments agricoles :

- un mode de fondations superficielles par massif isolés ancrées dans :
 - les schistes gréseux décomposés (formation n°2a) dans la zone 1,
 - les sables argileux (formation 3a) dans la zone 2,
 - les schistes gréseux décomposés (formation n°4a) dans la zone 3 sans poche de sable ou dans les argiles sableuses à sables argileux (formation n°2 à 3) en présence de poche de sable (PM7 et PM10).

Conteneurs, citernes et postes électriques :

- un mode de fondations superficielles par radier général ancrées dans :
 - les schistes gréseux décomposés (formation n°2a) dans la zone 1,
 - les schistes gréseux décomposés (formation n°4a) dans la zone 3 sans poche de sable.

Ces principes sont détaillés dans les paragraphes suivants.

Nous rappelons que toute modification du projet ou des sols peut entraîner une modification partielle ou complète des adaptations préconisées.

5.2. Adaptations générales

5.2.1. Remarques préalables

Nota : les indications données dans les chapitres suivants, qui sont fournies en estimant des conditions normales d'exécution pendant les travaux, seront forcément adaptées aux conditions réelles rencontrées (intempéries, niveau de nappe, matériels utilisés, provenance et qualité des matériaux, phasages, plannings et précautions particulières).

Nous rappelons que les conditions d'exécution sont absolument prépondérantes pour obtenir le résultat attendu et qu'elles ne peuvent être définies précisément à l'heure actuelle. A défaut, seules des orientations seront retenues.

5.2.2. Mise à nu du terrain

La réalisation du projet implique l'évacuation de la structure de l'enrobé et de la végétation en place.

Il conviendra de prévoir l'évacuation de tout vestige enterré (souches d'arbres, ...) au droit des futures fondations. Une attention particulière sera apportée au comblement des fosses ainsi créées.

Les matériaux, ainsi que les procédures de mise en œuvre et de contrôle devront répondre aux recommandations des normes et guides en vigueur.

Dans tous les cas, les fondations projetées devront être descendues sous le niveau des fosses ainsi créées afin d'être ancrées dans les sols en place et non remaniés.

5.2.3. Réalisation des terrassements

5.2.3.1. Hauteurs envisagées

Pour insérer le projet dans le site, il n'est pas prévu de terrassements autres que le simple reprofilage du terrain (+/- 0,5 m de déblais/remblais) après décapage de la terre végétale. De manière générale, les terrassements plus profonds seront limités à l'encastrement des fondations.

5.2.3.2. Traficabilité en phase chantier

Par expérience, les formations rencontrées sont sensibles à l'eau. Par conséquent, les travaux devront être réalisés dans des conditions météorologiques favorables sinon le chantier pourrait rapidement devenir impraticable et nécessiterait la réalisation de travaux préparatoires pouvant être les suivants :

- cloutage (incorporation par compactage et jusqu'à refus d'éléments 100/300 mm ou équivalents) sur une épaisseur minimale de 50 cm puis mise en place d'un géotextile,
- mise en place d'un géotextile si la plate-forme n'est pas praticable, et d'une sous-couche de 50 cm minimum en matériaux d'apports granulaires compactés et insensibles à l'eau.

5.2.3.3. Terrassabilité des matériaux

La réalisation des déblais concernant les formations rencontrées ne présentera pas de difficulté particulière d'extraction. Les terrassements pourront donc se faire à l'aide d'engins classiques de moyenne puissance.

5.2.3.4. Drainage en phase chantier

Suite aux observations faites au cours de la campagne d'investigations, le terrain devrait en principe être sec jusqu'aux profondeurs concernées par le projet. Cependant, des venues d'eau peuvent apparaître en cours de terrassement. Elles seront alors collectées en périphérie et évacuées en dehors de la fouille (captage).

Les dispositions spécifiques prévisibles seront adaptées au cas par cas pour assurer la mise au sec de la plateforme de travail à tout moment. **On privilégiera notamment une réalisation des travaux en période favorable.**

Toute zone décomprimée fera l'objet d'un traitement spécifique si elle doit recevoir un élément de l'ouvrage à porter (purge, compactage).

5.3. Fondation de la structure

5.3.1. Type de fondation et conditions d'ancrage

Compte tenu des éléments précédents, il est possible d'envisager les solutions techniques suivantes :

Panneaux photovoltaïques et Bâtiments agricoles :

- un mode de fondations superficielles par massif isolés ancrées dans :
 - les schistes gréseux décomposés (formation n°2a) dans la zone 1,
 - les sables argileux (formation 3a) dans la zone 2,
 - les schistes gréseux décomposés (formation n°4a) dans la zone 3 sans poche de sable ou dans les argiles sableuses à sables argileux (formation n°2 à 3) en présence de poche de sable (PM7 et PM10).

Conteneurs, citernes et postes électriques :

- un mode de fondations superficielles par radier général ancrées dans :
 - les schistes gréseux décomposés (formation n°2a) dans la zone 1,
 - les schistes gréseux décomposés (formation n°4a) dans la zone 3 sans poche de sable.

Zones 1 et 2 :

Le toit de cette formation a été atteint entre 0,4 et 0,7 m par rapport au terrain au droit des sondages réalisés dans les zones 1 et 3. L'assise prévisible des fondations sera donc située entre 0,7 et 1,0 m par rapport au niveau de la plateforme actuelle.

On s'assurera de respecter les conditions de la mise hors gel des fondations, à savoir 0,5 m par rapport au terrain fini (annexe O de la norme NF P 94-261), dans chaque cas.

Zone 3 :

Dans tous les cas on s'assurera de respecter les conditions de la mise hors gel des fondations, à savoir 0,5 m par rapport au terrain fini (annexe O de la norme NF P 94-261), et l'ancrage minimal des fondations dû au phénomène de retrait/gonflement des argiles, à savoir 0,8 m par rapport au terrain fini suivant les recommandations du guide sécheresse dans un contexte d'aléa moyen au retrait/gonflement des argiles et en l'absence d'un fossé drainant périphérique.

5.3.2. Fondations superficielles par radier général pour les postes électriques, les citernes et les conteneurs de stockage

5.3.2.1. Dispositions constructives

Les choix constructifs ne peuvent être faits que par le BET structure mais les points suivants sont toutefois à signaler :

- le radier devra être descendu dans les schistes gréseux décomposés (formations n°2a de la sone 1 et 4a de la zone 3) dont le toit a été atteint entre 0.1 et 0.9 m par rapport au terrain naturel au droit des sondages réalisés,
- la mise en place d'une bêche périphérique coulée à pleine fouille est recommandée afin de limiter un éventuel glissement horizontal du radier et de respecter la garde hors gel de 0,5 m au minimum (cf. annexe O de la norme d'application nationale de l'Eurocode 7 – NF P 94-261),
- la présence de sols gonflants et/ou rétractables conduit à prévoir des dispositions spécifiques ;
- la présence de sols compressibles conduit à prévoir des joints complets rapprochés en cas de bâtiment allongé et à chaque aile de bâtiment.
- les points durs (anciennes maçonneries, blocs rocheux, affleurements, etc...) seront, selon le cas (visite de chantier par un géotechnicien nécessaire), éliminés, pontés ou décaissés de façon à permettre une intercalation de matelas sableux mono-granulaire d'au moins 40 cm d'épaisseur entre la sous face du radier et le point dur.

5.3.2.2. Justifications de la fondation

➤ Remarques préalables

Le dimensionnement des fondations devra être mené conformément à la norme NF P 94-261 – Eurocode 7 de juin 2013 et amendement n°1 de février 2017 (Justification des ouvrages géotechniques – Fondations superficielles).

De plus, on notera les points suivants :

- les calculs proposés ci-dessous sont valables dans le cas de charges verticales et de fondations suffisamment éloignées d'un talus de pente. Dans le cas où les charges seraient inclinées, il conviendrait d'appliquer un coefficient minorateur i_ϕ . De même pour des fondations à proximité de talus (distance au talus $d \leq 8$ fois la largeur de la fondation), il conviendra d'appliquer un coefficient de réduction de portance i_β ,
- les tassements théoriques calculés s'entendent pour une mise en œuvre des fondations selon les règles de l'Art en accord avec les prescriptions de l'Eurocode 7 (NF P 94-261),
- des descentes de charge hétérogènes peuvent conduire à des tassements différentiels dont l'amplitude devra être estimée dans le cadre d'une étude complémentaire de type G2 PRO ou G3.

La vérification de la stabilité au glissement devra faire l'objet d'une étude spécifique dans la mission géotechnique en phase projet (G2 PRO) ou en phase exécution (G3).

➤ Méthode de calcul de la capacité portante

On s'assurera que la charge verticale transmise par la fondation superficielle au terrain V_d est inférieure à la résistance nette du terrain sous la fondation superficielle $R_{v;d}$:

$$V_d - R_0 \leq R_{v;d} \quad \text{avec} \quad R_{v;d} = \frac{R_{v;k}}{\gamma_{R;v}} \quad \text{et} \quad R_{v;k} = \frac{A' q_{net}}{\gamma_{R;d;v}}$$

Avec :

- R_0 : masse volumique de sol constitué du volume de la fondation sous le terrain après travaux et des sols compris entre la fondation et le terrain après travaux – ici négligé,
- $R_{v;d}$: valeur de calcul de la résistance nette du terrain sous la fondation superficielle,
- $R_{v;k}$: valeur caractéristique de la résistance nette du terrain sous la fondation superficielle,
- A' : surface effective de la base d'une fondation superficielle,
- q_{net} : contrainte associée à la résistance nette du terrain sous la fondation superficielle,
- $\gamma_{R;d;v}$ et $\gamma_{R;v}$: facteurs de sécurité partiels à considérer.

➤ Méthode de calcul des tassements

Les calculs de tassements et de réaction du sol sont effectués à l'aide du logiciel FOXTA V4. Cette méthode est une modélisation aux éléments finis pour la plaque en trois dimensions. Le sol est quant à lui modélisé sur la base du sondage le plus défavorable. La déformation du sol est calculée grâce aux formules de Boussinesq.

➤ Exemples de calcul

Les exemples de calculs présentés ont été menés pour la géométrie ci-dessous et selon l'Eurocode 7 et sa norme d'application nationale (Fondations superficielles – NF P 94-261) de juin 2013.

Ouvrage	Fondation	Largeur B (m)	Longueur L (m)	Epaisseur de la fondation (m)	Profondeur d'ancrage (m/TA)	Module de Young E (GPa)	Coefficient de Poisson ν	Charges appliquées (kPa)
Conteneur	Radier rectangle	2.4	6.1	0,2	0,7	10	0.20	20
Citerne	Radier rectangle	9	14	0,2	0,7	10	0.20	10
Postes électriques	Radier rectangle	2.5	7.5	0,2	0,7	10	0.20	10

Les tassements sont alors les suivants :

Ouvrage	Zone	Tassement maximal (cm)	Tassement différentiel (cm)
Conteneur	1	<0.5	<0.5
Citerne		<0.5	<0.5
Postes électriques		<0.5	<0.5
Conteneur	3 sans sable	<0.5	<0.5
Citerne		<0.5	<0.5
Postes électriques		<0.5	<0.5

Il appartient au BET structure de déterminer la limite acceptable des tassements et de vérifier que les tassements déterminés précédemment sont acceptables par l'ouvrage et les avoisinants.

Aucun seuil de tassement absolu ou différentiel ne nous a été communiqué lors de cette étude.

Les calculs présentés dépendent de la géométrie de la fondation ainsi que de la charge appliquée à celle-ci. Toute modification de la charge et de la géométrie pourra impliquer une variation significative du taux de travail.

➤ Soulèvement hydrique

La vérification de la stabilité au soulèvement hydrique devra faire l'objet d'une étude spécifique dans la mission géotechnique en phase projet (G2 PRO) ou en phase exécution (G3).

5.3.3. Fondations superficielles par semelles isolées des panneaux photovoltaïques et des bâtiments agricoles

5.3.3.1. Dispositions constructives

Les choix constructifs ne peuvent être faits que par le BET structure mais les points suivants sont toutefois à signaler :

- il est recommandé de ne pas descendre la largeur des fondations en dessous de 0,8 m pour des semelles ponctuelles pour des raisons de bonne exécution (cela permet d'assurer un enrobage correct des armatures standards),
- en cas d'ancrage partiel dans le substratum rocheux, un lit de sable sera apposé en fond de fouille sur 0,4 m d'épaisseur minimum pour limiter l'effet de point dur,
- En zone 3, la présence de sols gonflants et/ou rétractables conduit à prévoir des dispositions spécifiques (voir paragraphe 5.4),
- en cas de deux bâtiments ou de deux parties d'un même bâtiment, fondés de façon différente ou présentant un nombre de niveaux différent, il conviendra de s'assurer que la structure peut s'adapter sans danger aux tassements différentiels qui pourraient se

produire. Dans le cas contraire, les projeteurs devront prévoir un joint de construction intéressant toute la hauteur de l'ouvrage, y compris les fondations elles-mêmes,

- des fondations établies à des niveaux différents doivent respecter la règle des 3 de base pour 2 de hauteur entre arêtes de fondations (NF P 94-261),
- la présence d'eau pourra entraîner des sujétions de blindage des parois et de pompage pour épuisement des fouilles et/ou rabattement de la nappe lors des travaux de fondation,
- des surprofondeurs du toit de la couche d'ancrage sont toujours possibles et pourront nécessiter un rattrapage en gros béton et, par conséquent, des surconsommations de béton,
- afin d'éviter une décompression du sol de fondation, un béton de propreté sera immédiatement coulé après terrassement afin de le protéger.

5.3.3.2. Justifications des fondations

➤ Remarques préalables

Le dimensionnement des fondations devra être mené conformément à la norme NF P 94-261 – Eurocode 7 de juin 2013 (Justification des ouvrages géotechniques – Fondations superficielles).

De plus, on notera les points suivants :

- les calculs proposés ci-dessous sont valables dans le cas de charges verticales et de fondations suffisamment éloignées d'un talus. Dans le cas où les charges seraient inclinées, il conviendrait d'appliquer un coefficient minorateur i_δ . De même pour des fondations à proximité de talus de pente β (distance au talus $d \leq 8$ fois la largeur de la fondation), il conviendra d'appliquer un coefficient de réduction de portance i_β ,
- les tassements théoriques calculés s'entendent pour une mise en œuvre des fondations selon les règles de l'Art en accord avec les prescriptions de l'Eurocode 7 (NF P 94-261),
- des descentes de charge hétérogènes peuvent conduire à des tassements différentiels dont l'amplitude devra être estimée dans le cadre d'une étude complémentaire de type G2 PRO ou G3.

La vérification de la stabilité au glissement devra faire l'objet d'une étude spécifique dans la mission géotechnique en phase projet (G2 PRO) ou en phase exécution (G3).

➤ Méthode de calcul de la capacité portante

On s'assurera que la charge verticale transmise par la fondation superficielle au terrain V_d est inférieure à la résistance nette du terrain sous la fondation superficielle $R_{v;d}$:

$$V_d - R_0 \leq R_{v;d} \quad \text{avec} \quad R_{v;d} = \frac{R_{v;k}}{\gamma_{R;d}} \quad \text{et} \quad R_{v;k} = \frac{A' q_{net}}{\gamma_{R;d;v}}$$

Avec :

- R_0 : masse volumique de sol constitué du volume de la fondation sous le terrain après travaux et des sols compris entre la fondation et le terrain après travaux – ici négligé,
- $R_{v;d}$: valeur de calcul de la résistance nette du terrain sous la fondation superficielle,
- $R_{v;k}$: valeur caractéristique de la résistance nette du terrain sous la fondation superficielle,
- A' : surface effective de la base d'une fondation superficielle,
- q_{net} : contrainte associée à la résistance nette du terrain sous la fondation superficielle,
- $\gamma_{R;d;v}$ et $\gamma_{R;v}$: facteurs de sécurité partiels à considérer.

➤ Méthode de calcul des tassements

Les tassements sont évalués selon la méthode pressiométrique. Elle permet d'estimer le tassement final d'une fondation :

- en considérant l'amortissement des contraintes avec la profondeur au droit de la fondation,
- en additionnant le tassement du terrain dû aux déformations de cisaillement avec le tassement du terrain dû aux déformations volumiques.

Elle est adaptée à l'estimation des tassements pour des chargements proches de ceux de l'ELS quasi-permanent.

Il s'agit de la méthode qui était retenue dans les justifications au DTU 13.12 et au Fascicule 62 Titre V.

➤ Exemples de calcul

Les résultats sont donnés dans le tableau ci-dessous d'après la modélisation géotechnique présente au paragraphe 4.1.2 et la lithologie observée au droit des sondages SP1, SP2 et PD9 et en considérant un ancrage de 0,3 m dans la couche d'assise et une fondation totalement comprimée ($A'=A$).

Type de fondation	Zone	Ouvrage	Largeur B (m)	Prof. assise (m)	Horizon d'ancrage	p_{le}^* (MPa)	K_p	q_{net} (kPa)	$R_{v,d}$ ELU (kN)	$R_{v,d}$ ELS ⁽¹⁾ (kN)	V_d ⁽¹⁾ (kN)	S ⁽²⁾ (cm)
semelle isolée carrée	Zone 1	Panneau	0,8	0,7	n°2a	2,2	0,80	1773	675	411	50	<0,5
		Bâti.	1,0			2,4	0,80	1920	1142	695	200	<0,5
semelle isolée carrée	Zone 2	Panneau	0,8	1,0	n°3a	0,85	1,0	858	327	199	50	<0,5
semelle isolée carrée	Zone 3 Sans poche de sable	Panneau	0,8	0,7	n°4a	1,0	0,80	800	304	185	50	<0,5
		Bâti	1,0			1,0	0,80	800	476	289	200	<0,5
semelle isolée carrée	Zone 3 Avec poche de sable	Panneau	0,8	0,7	n°2 à 3	0,4	1,0	400	152	92	50	<0,5
		Bâti	1,4			0,4	1,0	400	466	284	200	<1,0

(1) ELS situations quasi-permanentes

(2) tassement associé à V_d

Les calculs ont été réalisés selon "l'approche 2" au sens de l'Eurocode 7, avec :

- p_{le}^* : pression limite nette équivalente
- K_p : facteur de portance pressiométrique pour les sols de fondation de type argiles et limons dans le cas des zones 1 et 3 sans poche de sable et de type sables et graves dans les cas des zones 2 et 3 avec poche de sable

Les calculs présentés dépendent de la géométrie de la fondation ainsi que de la charge appliquée à celle-ci. Toute modification de la charge et de la géométrie pourra impliquer une variation significative du taux de travail.

En première approche, **de manière sécuritaire**, et en amont de l'étude de conception phase projet (G2 PRO) et de l'étude d'exécution (G3), nous proposons de retenir, **pour des charges verticales et centrées sur les fondations** :

- pour une assise dans les schistes gréseux décomposés (formations n°2a de la zone 1 et n°4a de la zone 3), une valeur de la contrainte σ_{ELS} maximale de 200 kPa,
- pour une assise dans les sables argileux (formation n°3a de la zone 2), une valeur de la contrainte σ_{ELS} maximale de 200 kPa,
- pour une assise dans les argiles sableuses à sables argileux (formations n°2 à 3 de la zone 3), une valeur de la contrainte σ_{ELS} maximale de 100 kPa.

Remarques complémentaires :

- il appartient au BET structure de déterminer la limite acceptable des tassements et de vérifier que les tassements déterminés précédemment sont acceptables par l'ouvrage et les avoisinants,
- en fonction des valeurs de tassements admissibles, une rigidification de la structure pourrait être nécessaire. On pourra notamment prévoir un renforcement des armatures des fondations et des chaînages tant horizontaux que verticaux.

5.4. Protection des ouvrages vis-à-vis de l'eau

Aucune arrivée d'eau n'a été observée dans les sondages lors des investigations (octobre 2025). Toutefois, de l'humidité a été observée sur les tiges du pénétromètre dynamique au droit des essais PD9 et PD10 vers 4.6 m/TA. De plus, des circulations d'eau ponctuelles ne sont pas à exclure au sein des formations, notamment en cas de précipitations.

Il appartient aux concepteurs de s'assurer auprès des services compétents que le terrain n'est pas inondable.

5.5. Protection vis-à-vis du retrait / gonflement – pour le bâtiment de la zone 3

Le constructeur de l'ouvrage est tenu de consolider les fondations afin de limiter les déformations pour cela :

- Les fondations sont en béton armé.
- Les fondations sont suffisamment profondes pour s'affranchir de la zone superficielle où le sol est sensible à l'évaporation, soit à minima 0.80 m en risque moyen et avec un système d'étanchement périphérique. (Variante Ginger : ancrage à 1.2 m de profondeur sans le système d'étanchement périphérique)
- Les fondations sont ancrées de manière homogène, sans dissymétrie sur tout le pourtour du bâtiment, ceci vaut notamment pour les terrains en pente ou pour les bâtiments à sous-sol partiel.
- Les fondations sont coulées en continue et chaînées.
- Les constructions mitoyennes et fondées différemment ou exerçant des charges variables sur le sous-sol, sont désolidarisées l'une de l'autre par la mise en place d'un joint de rupture d'une largeur suffisante sur toute la hauteur du bâtiment, y compris au niveau des fondations.

Le constructeur de l'ouvrage est tenu de rigidifier la structure du bâtiment en maçonnerie ou en béton afin qu'elle résiste aux distorsions générées par les mouvements de terrain. La mise en œuvre de chaînages horizontaux (haut et bas) et verticaux (poteaux d'angle), ainsi que la pose de linteaux au-dessus des ouvertures permet de répondre à cette exigence.

Le constructeur de l'ouvrage est tenu de s'assurer du bon drainage des eaux pluviales et sanitaires :

- Les ouvrages n'ayant pas accès au réseau collectif d'assainissement réalisent un épandage en aval de la construction afin qu'aucune variation hygrométrique n'affecte le sol.
- Les apports d'eau provenant des terrains environnants telles que les eaux de ruissellement superficiel sont détournés aussi loin que possible de l'ouvrage en mettant en œuvre un réseau de drainage.
- Les eaux de gouttières sont éloignées des pieds de façade, avec un exutoire en aval de la construction.
- Les réservoirs de collecte des eaux pluviales pour l'arrosage sont équipés d'un système empêchant le déversement des eaux de trop plein dans le sol proche de la construction.
- Le risque de rupture des canalisations enterrées drainant les eaux pluviales et les eaux usées est minimisé. L'utilisation de matériaux flexibles, avec des joints adaptés permet de répondre à cette exigence.
- Avec un ancrage des fondations à 1,20 m de profondeur minimale, le système d'étanchement périphérique peut être supprimé.

Le constructeur de l'ouvrage est tenu de limiter les échanges thermiques en cas de source de chaleur en sous-sol (chaudière notamment). Les échanges thermiques à travers les parois sont limités pour éviter d'aggraver la dessiccation du terrain en périphérie. L'isolation des parois concernées permet de répondre à l'exigence de limitation des échanges thermiques.

Le constructeur est tenu d'adapter le bâtiment aux contraintes de son environnement :

- D'éloigner le bâti du champ d'action de la végétation. Il est recommandé une distance égale à une fois la hauteur de l'arbre adulte et égale à une fois et demi de la hauteur d'une haie.
- D'abattre les arbres gênants le plus en amont possible des travaux de construction.

A défaut (végétation chez un tiers notamment), de mettre en place un écran anti-racines. La profondeur de cet écran sera adaptée à la profondeur possible du réseau racinaire, avec une profondeur minimale de 2 m.

6. Aléas résiduels et observations majeures

6.1. Aléas résiduels

Dans le cadre de cette note, nous rappelons ci-dessous les aléas résiduels restants au droit du projet :

- **Variation du toit d'ancrage.** Une variabilité du toit d'ancrage est possible ainsi que des poches de sables au droit de la zone 3.
- **Sollicitation.** Les sollicitations prises dans ce rapport sont des hypothèses. Si elles ne correspondent pas à la réalité, il faudra revoir toute ou une partie de nos conclusions.
- **Classe d'agressivité des sols vis-à-vis des bétons.** Une analyse de sol devra être réalisée par l'entreprise avant le commencement des travaux pour déterminer la classe de béton à choisir.
- **Hydrogéologie.** Une étude hydrogéologique pourra être réalisée pour déterminer les niveaux de plus hautes eaux (NPHE) et les possibles influences du projet sur la ZIG.

6.2. Observations majeures et missions ultérieures

On s'assurera que la stabilité des ouvrages et des sols avoisinants le projet est assurée pendant et après la réalisation de ce dernier.

Les conclusions du présent rapport ne sont valables que sous réserve des conditions générales des missions géotechniques de l'Union Syndicale Géotechnique fournies en annexe 1 (norme NF P 94-500 de novembre 2013).

Nous rappelons que cette étude a été menée dans le cadre d'une étude de conception G2 phase avant-projet (G2 AVP).

Conformément à la norme NF P94-500 de novembre 2013, il est nécessaire d'enchaîner avec les phases suivantes :

- Etude géotechnique de conception phase projet (G2 PRO)
- Etude géotechnique de conception phase DCE/ACT (G2 DCE / ACT)
- Puis, au stade exécution les études géotechniques de réalisation G3 et G4.

Une étude de conception phase projet (G2 PRO) peut être envisagée (collaboration avec l'équipe de conception) pour permettre l'optimisation du projet avec, notamment, prise en compte des interactions sol / structure.

En phase G2 DCE/ACT, le géotechnicien réalisera ou participera à la réalisation des documents techniques nécessaires à la consultation des entreprises pour leurs études de réalisation des ouvrages géotechniques concernés, examinera les variantes éventuelles des entreprises et assistera le maître d'ouvrage pour la sélection des entreprises en analysant les offres techniques des entreprises et en participant à la finalisation des pièces techniques des contrats de travaux.

En phase G3, le dimensionnement des ouvrages géotechniques sera réalisé par l'entreprise dans le cadre des études géotechniques d'exécution. Nous rappelons que cette mission est à la charge de l'entreprise.

En phase G4, le géotechnicien vérifiera la conformité de l'étude G3 et le suivi géotechnique d'exécution, à la charge du maître d'ouvrage. Cette mission s'attardera, en outre, à vérifier les notes de calculs de l'entreprise, à valider la procédure d'exécution des ouvrages géotechniques et, à suivre leur réalisation.

Ginger CEBTP se tient également à la disposition du maître d'ouvrage pour la réalisation d'essais de contrôle à tout stade de l'exécution.

ANNEXE 1 – NOTES GENERALES SUR LES MISSIONS GEOTECHNIQUES

- Classification des missions types d'ingénierie géotechnique,
- Schéma d'enchaînement des missions types d'ingénierie géotechnique.

(extraits de la norme NF P 94-500 de Novembre 2013)

Tableau 1 — Enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique

Enchaînement des missions G1 à G4	Phases de la maîtrise d'œuvre	Mission d'ingénierie géotechnique (GN) et Phase de la mission		Objectifs à atteindre pour les ouvrages géotechniques	Niveau de management des risques géotechniques attendu	Prestations d'investigations géotechniques à réaliser
Étape 1 : Étude géotechnique préalable (G1)		Étude géotechnique préalable (G1) Phase Étude de Site (ES)		Spécificités géotechniques du site	Première identification des risques présentés par le site	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
	Étude préliminaire, esquisse, APS	Étude géotechnique préalable (G1) Phase Principes Généraux de Construction (PGC)		Première adaptation des futurs ouvrages aux spécificités du site	Première identification des risques pour les futurs ouvrages	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
Étape 2 : Étude géotechnique de conception (G2)	APD/AVP	Étude géotechnique de conception (G2) Phase Avant-projet (AVP)		Définition et comparaison des solutions envisageables pour le projet	Mesures préventives pour la réduction des risques identifiés, mesures correctives pour les risques résiduels avec détection au plus tôt de leur survenance	Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	PRO	Étude géotechnique de conception (G2) Phase Projet (PRO)		Conception et justifications du projet		Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	DCE/ACT	Étude géotechnique de conception (G2) Phase DCE / ACT		Consultation sur le projet de base / Choix de l'entreprise et mise au point du contrat de travaux		
Étape 3 : Études géotechniques de réalisation (G3/G4)		À la charge de l'entreprise	À la charge du maître d'ouvrage			
	EXE/VISA	Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Étude (en interaction avec la phase Suivi)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision de l'étude géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision du suivi)	Étude d'exécution conforme aux exigences du projet, avec maîtrise de la qualité, du délai et du coût	Identification des risques résiduels, mesures correctives, contrôle du management des risques résiduels (réalité des actions, vigilance, mémorisation, capitalisation des retours d'expérience)	Fonction des méthodes de construction et des adaptations proposées si des risques identifiés surviennent
	DET/AOR	Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Suivi (en interaction avec la phase Étude)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision du suivi géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision de l'étude)	Exécution des travaux en toute sécurité et en conformité avec les attentes du maître d'ouvrage		Fonction du contexte géotechnique observé et du comportement de l'ouvrage et des avoisinants en cours de travaux
À toute étape d'un projet ou sur un ouvrage existant	Diagnostic	Diagnostic géotechnique (G5)		Influence d'un élément géotechnique spécifique sur le projet ou sur l'ouvrage existant	Influence de cet élément géotechnique sur les risques géotechniques identifiés	Fonction de l'élément géotechnique étudié

Tableau 2 — Classification des missions d'ingénierie géotechnique

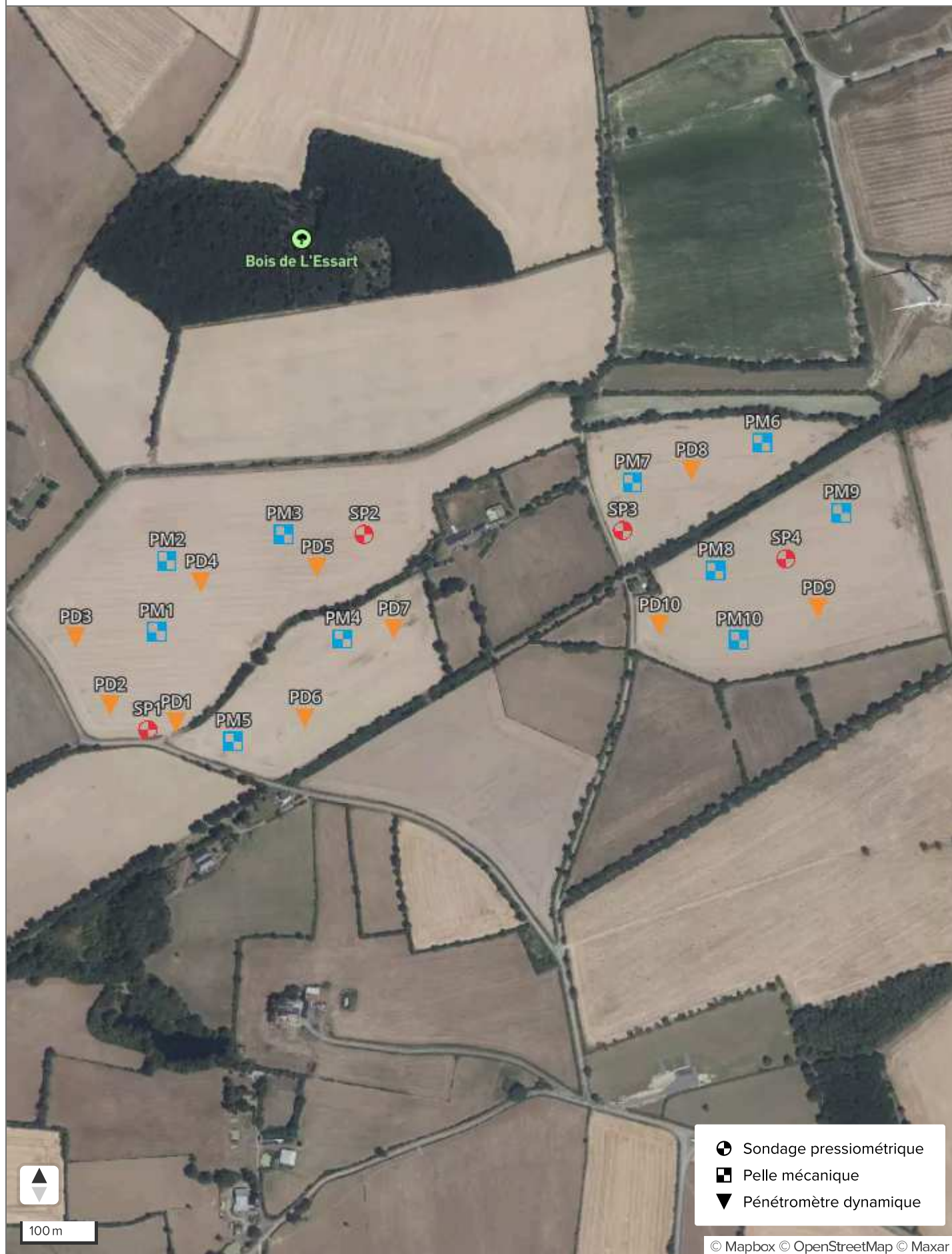
L'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étapes 1 à 3) doit suivre les étapes de conception et de réalisation de tout projet pour contribuer à la maîtrise des risques géotechniques. Le maître d'ouvrage ou son mandataire doit faire réaliser successivement chacune de ces missions par une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

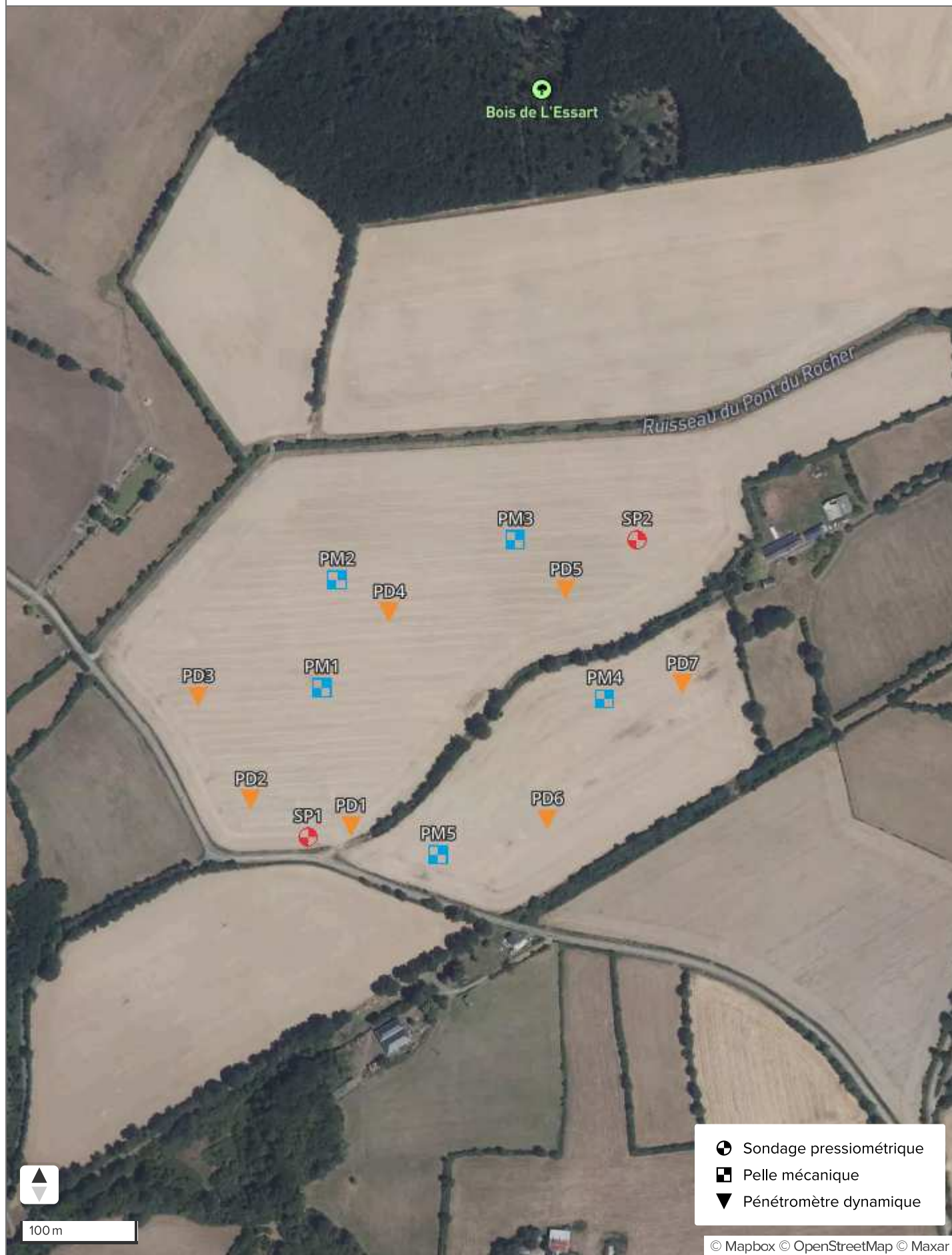
ÉTAPE 3 : ÉTUDES GÉOTECHNIQUES DE RÉALISATION (G3 et G 4, distinctes et simultanées) ÉTUDE ET SUIVI GÉOTECHNIQUES D'EXECUTION (G3) Cette mission permet de réduire les risques géotechniques résiduels par la mise en œuvre à temps de mesures correctives d'adaptation ou d'optimisation. Elle est confiée à l'entrepreneur sauf disposition contractuelle contraire, sur la base de la phase G2 DCE/ACT. Elle comprend deux phases interactives : <u>Phase Étude</u> — 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. <u>Phase Suivi</u> — 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 : <u>Phase Supervision de l'étude d'exécution</u> — 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. <u>Phase Supervision du suivi d'exécution</u> — Par interventions ponctuelles sur le chantier, donner un avis sur la pertinence du contexte géotechnique tel qu'observé par l'entrepreneur (G3), du comportement tel qu'observé par l'entrepreneur de l'ouvrage et des avoisinants concernés (G3), de l'adaptation ou de l'optimisation de l'ouvrage géotechnique proposée par l'entrepreneur (G3). — donner un avis sur la prestation géotechnique du DOE et sur les documents fournis pour le DIUO. DIAGNOSTIC GÉOTECHNIQUE (G5) Pendant le déroulement d'un projet ou au cours de la vie d'un ouvrage, il peut être nécessaire de procéder, de façon strictement limitative, à l'étude d'un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques, dans le cadre d'une mission ponctuelle. Ce diagnostic géotechnique précise l'influence de cet ou ces éléments géotechniques sur les risques géotechniques identifiés ainsi que leurs conséquences possibles pour le projet ou l'ouvrage existant. — Définir, après enquête documentaire, un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats. — Étudier un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques (par exemple soutènement, causes géotechniques d'un désordre) dans le cadre de ce diagnostic, mais sans aucune implication dans la globalité du projet ou dans l'étude de l'état général de l'ouvrage existant. — Si ce diagnostic conduit à modifier une partie du projet ou à réaliser des travaux sur l'ouvrage existant, des études géotechniques de conception et/ou d'exécution ainsi qu'un suivi et une supervision géotechniques seront réalisés ultérieurement, conformément à l'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étape 2 et/ou 3).

ANNEXE 2 – PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES

PLAN D'IMPLANTATION



PLAN D'IMPLANTATION



PLAN D'IMPLANTATION



PLAN D'IMPLANTATION

Précision des relevés (X / Y)	Relevé par géomètre
Non renseigné	Non
Système de coordonnées du projet	Nivellement
RGF93 / CC47	NGF

	WGS 84		RGF93 / CC47		
Nom	Longitude	Latitude	X	Y	Élévation [m]
PM1	-0.9965	47,5847	1399 512	6 272 663	Non renseigné
PM10	-0.9865	47,5846	1400 268	6 272 614	Non renseigné
PM2	-0.9964	47,5855	1399 530	6 272 754	Non renseigné
PM3	-0.9943	47,5858	1399 684	6 272 781	Non renseigné
PM4	-0.9933	47,5846	1399 753	6 272 642	Non renseigné
PM5	-0.9952	47,5834	1399 604	6 272 516	Non renseigné
PM6	-0.9861	47,5869	1400 312	6 272 868	Non renseigné
PM7	-0.9883	47,5864	1400 140	6 272 825	Non renseigné
PM8	-0.9869	47,5854	1400 242	6 272 705	Non renseigné
PM9	-0.9847	47,5861	1400 410	6 272 772	Non renseigné
SP1	-0.9967	47,5835	1399 494	6 272 537	Non renseigné
SP2	-0.9929	47,5858	1399 788	6 272 775	Non renseigné
SP3	-0.9885	47,5858	1400 125	6 272 763	Non renseigné
SP4	-0.9856	47,5855	1400 335	6 272 716	Non renseigné
PD1	-0.9962	47,5836	1399 531	6 272 544	Non renseigné
PD10	-0.9878	47,5847	1400 166	6 272 638	Non renseigné
PD2	-0.9973	47,5838	1399 447	6 272 571	Non renseigné
PD3	-0.9979	47,5846	1399 406	6 272 661	Non renseigné
PD4	-0.9958	47,5852	1399 573	6 272 724	Non renseigné
PD5	-0.9938	47,5854	1399 725	6 272 736	Non renseigné
PD6	-0.994	47,5837	1399 699	6 272 541	Non renseigné
PD7	-0.9924	47,5847	1399 820	6 272 650	Non renseigné
PD8	-0.9873	47,5865	1400 218	6 272 836	Non renseigné
PD9	-0.9851	47,5849	1400 373	6 272 649	Non renseigné

ANNEXE 3 – COUPES DES SONDAGES ET ESSAIS IN SITU

- **Sondages semi-destructifs à la tarière continue :**

- coupe des sols,
- venue d'eau éventuelle,

Et, pour chaque essai pressiométrique effectué :

- module pressiométrique E_{Mm} (MPa)
- pression limite nette p_{l^*m} (MPa)
- pression de fluage nette p_{r^*m} (MPa)
- rapport E_{Mm}/p_{l^*m}

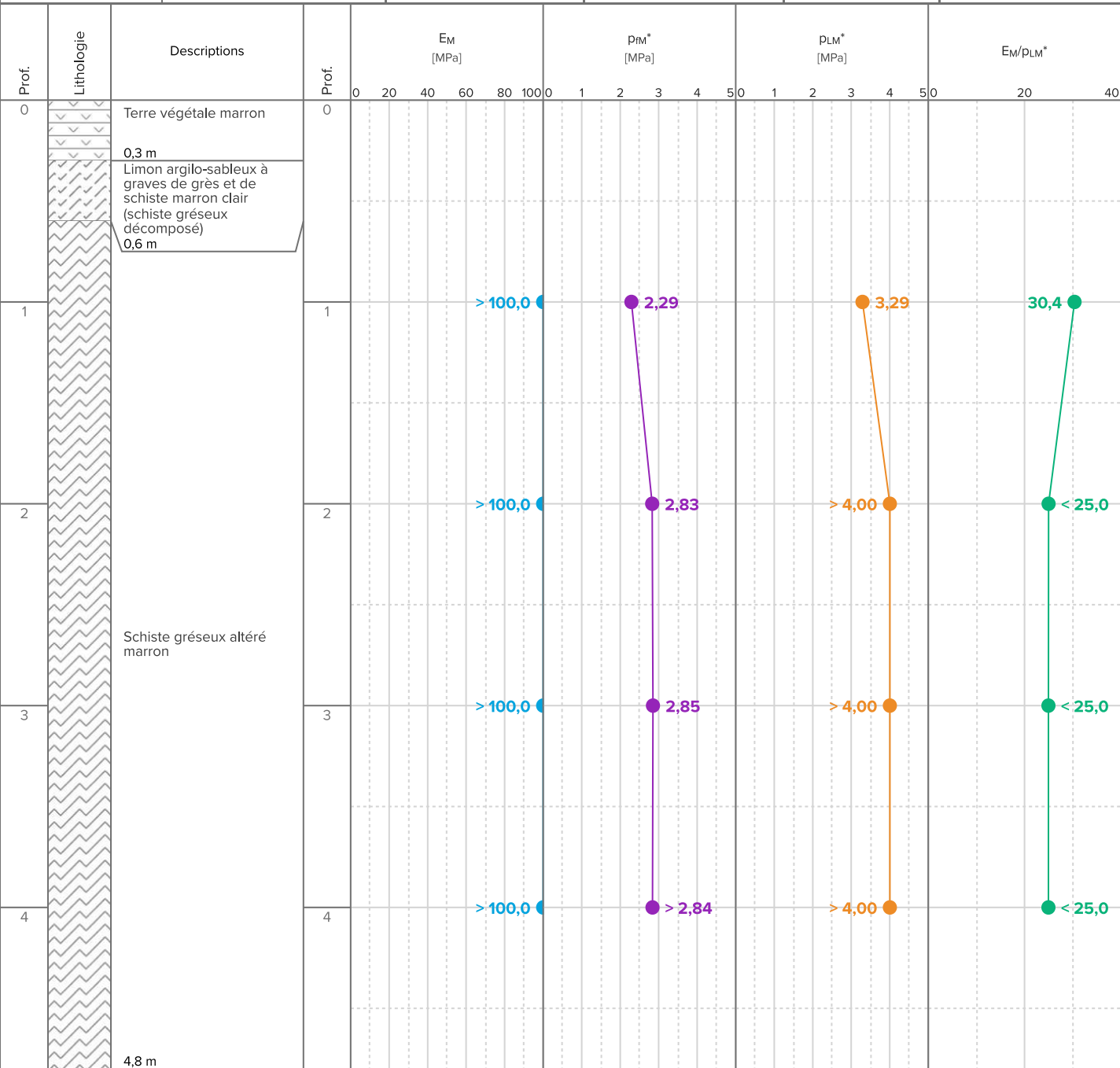
- **Essais au pénétromètre dynamique type B :**

- diagramme donnant la résistance dynamique q_d en fonction de la profondeur, calculée selon la formule des Hollandais,
- éventuel niveau d'eau en fin de sondage.

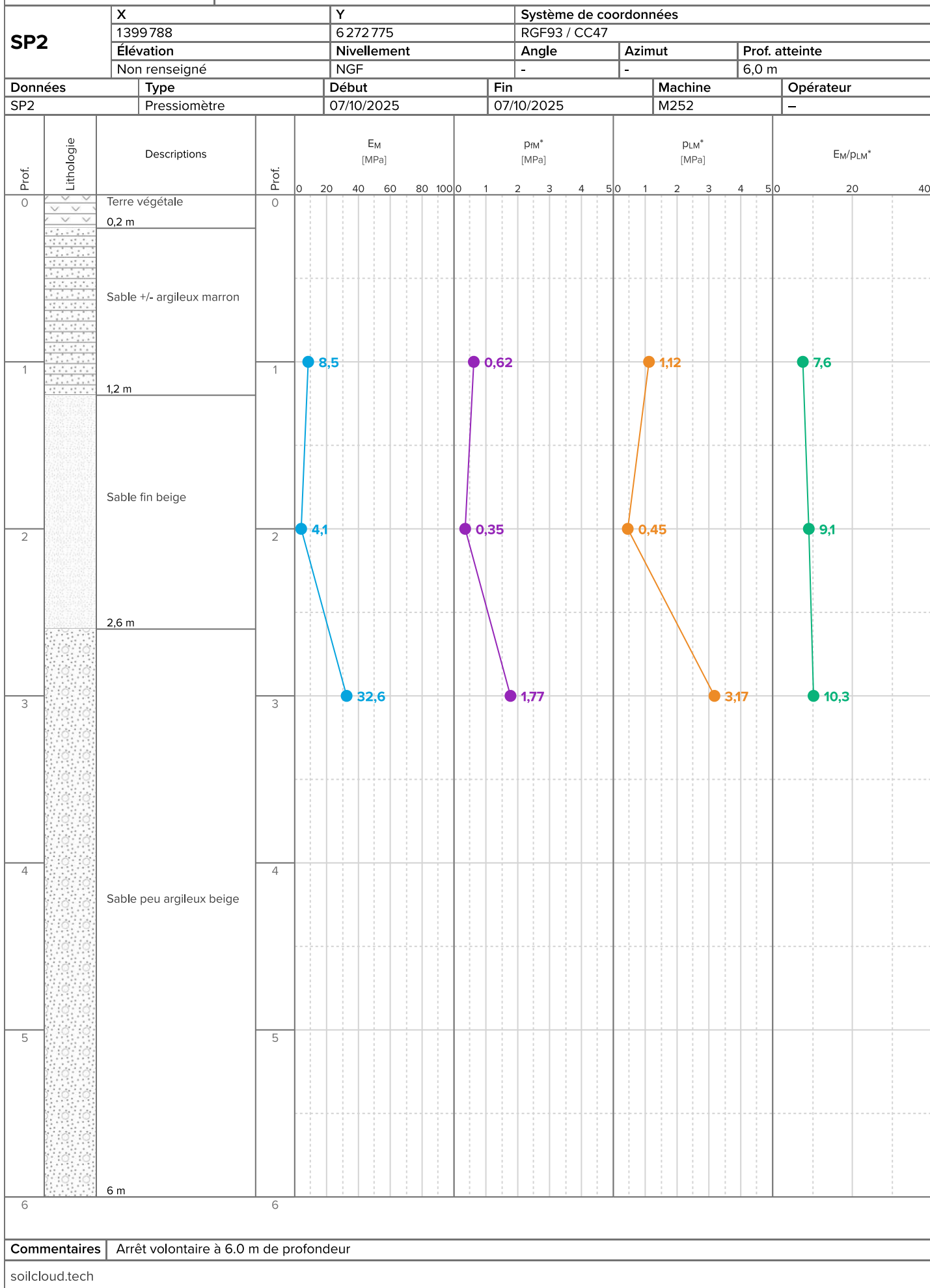
- **Puits de reconnaissance à pelle :**

- coupe détaillée des sols,
- tenue des fouilles,
- venue d'eau éventuelle,
- photographies de la fouille et des sols extraits.

SP1	X	Y	Système de coordonnées		
	1399 494	6 272 537	RGF93 / CC47		
	Élévation	Nivellement	Angle	Azimet	Prof. atteinte
	Non renseigné	NGF	-	-	4,8 m
Données	Type	Début	Fin	Machine	Opérateur
SP1	Pressiomètre	07/10/2025	07/10/2025	M252	-



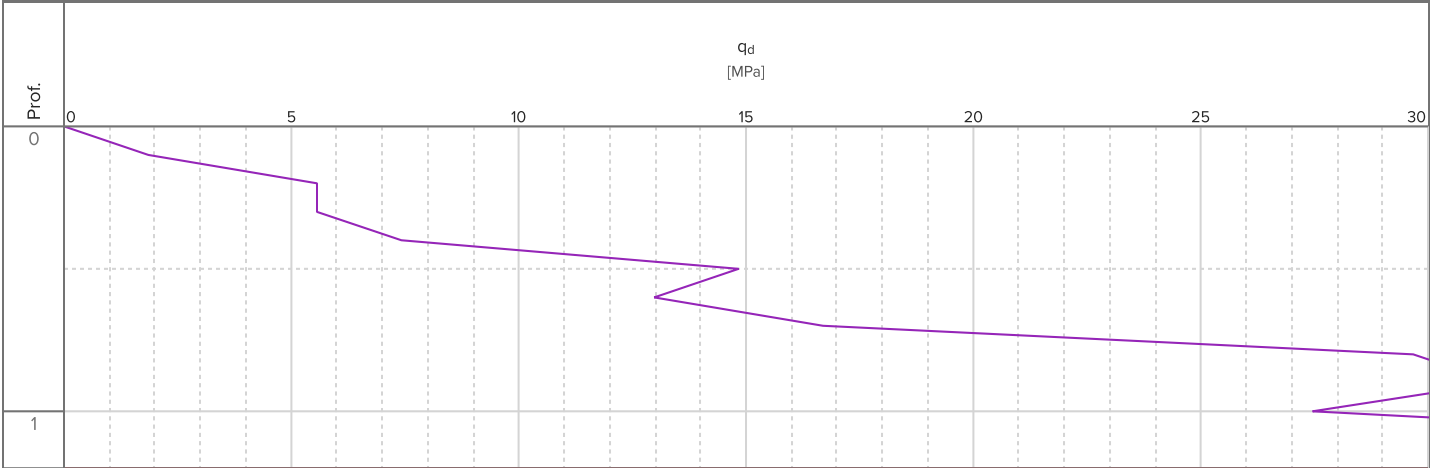
Commentaires Refus à 4.8 m de profondeur



soilcloud.tech

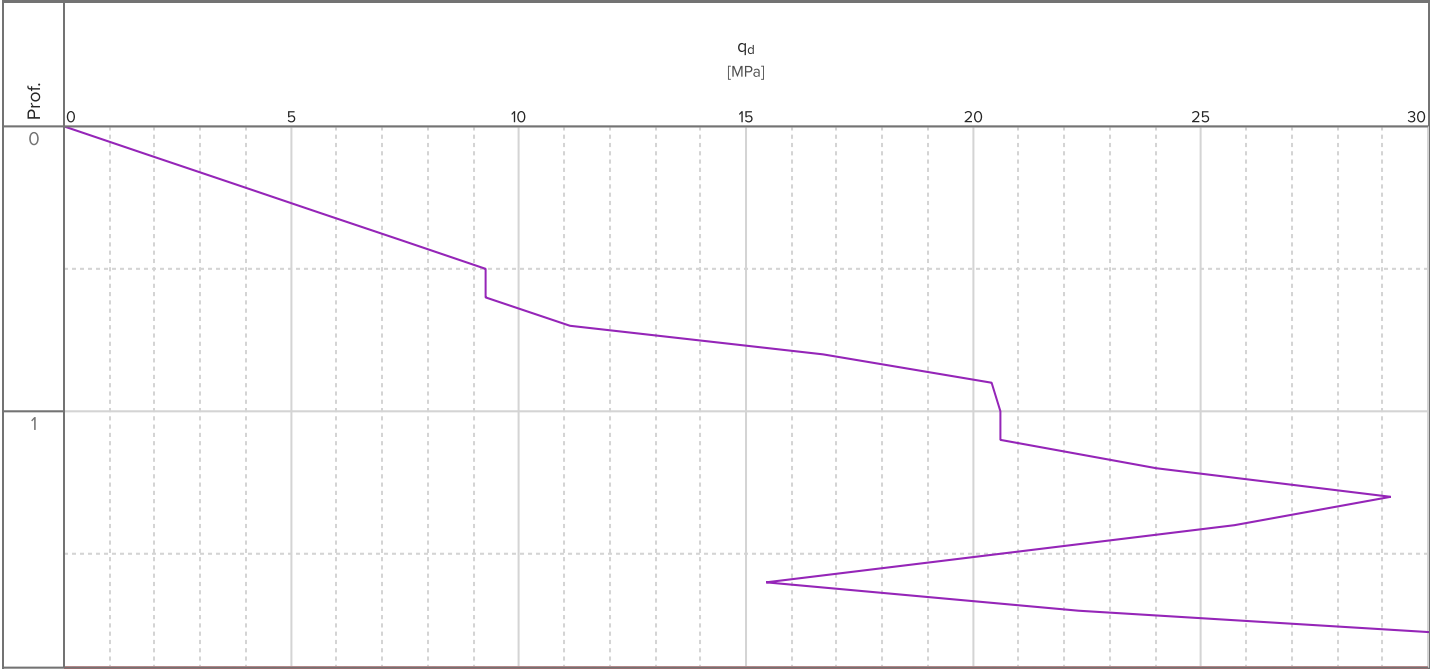
SP4		X	Y	Système de coordonnées					
		1400335	6272716	RGF93 / CC47					
		Élévation	Nivellement	Angle	Azimut	Prof. atteinte			
		Non renseigné	NGF	-	-	6,0 m			
Données		Type	Début		Fin		Machine	Opérateur	
SP4		Pressiomètre	06/10/2025		06/10/2025		M252	—	
Prof.	Lithologie	Descriptions	Prof.	E_M [MPa]		p_M^* [MPa]		p_{LM}^* [MPa]	E_M/p_{LM}^*
0		Terre végétale 0,2 m	0	0 20 40 60 80 100		0 1 2 3 4 5		0 1 2 3 4 5	0 20 40
1		Limon argilo-sableux à graves de grès et de schiste beige (schiste gréseux décomposé)	1	18,3		0,74		1,04	17,6
2	Schiste gréseux altéré à compact gris beige		2	70,3		2,76		> 4,00	< 17,6
3		3	> 100,0		2,82		> 4,00	25,0	
4		4							
5			5	> 100,0		> 2,84		> 4,00	< 25,0
6		6 m	6						
Commentaires		Arrêt volontaire à 6.0 m de profondeur							
soilcloud.tech									

PD2	X		Y		Système de coordonnées				
	1399 447		6 272 571		RGF93 / CC47				
	Élévation		Nivellement		Angle	Azimut	Prof. atteinte		
	Non renseigné		NGF		-	-	1,2 m		
Données		Type		Début		Fin		Machine	Opérateur
DPRB-PD2		Pénétromètre dynamique		06/10/2025		06/10/2025		M676	–
Type de pénétromètre								Facteur de correction	
GEOTOOL								0,93	
Hauteur de chute		Surface de pointe		Masse frappante		Masse accessoire		Masse de la tige	
75,0 cm		20,0 cm ²		63,5 kg		4,88 kg		6,0 kg/m	

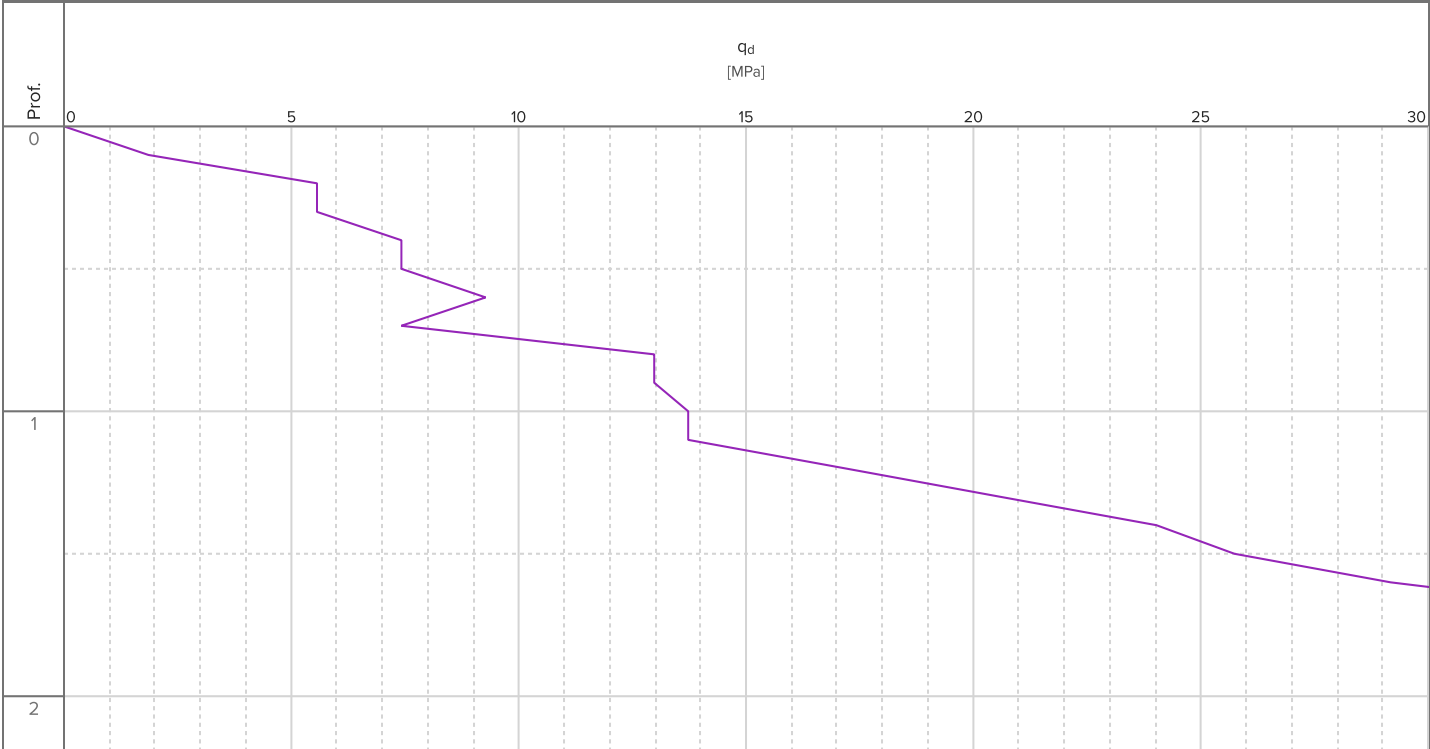


Refus

PD3	X		Y		Système de coordonnées	
	1399406		6272661		RGF93 / CC47	
	Élévation		Nivellement		Angle	Prof. atteinte
	Non renseigné		NGF		-	1,9 m
Données		Type	Début	Fin	Machine	Opérateur
DPRB-PD3		Pénétrömètre dynamique	06/10/2025	06/10/2025	M676	—
Type de pénétrömètre					Facteur de correction	
GEOTOOL					0,93	
Hauteur de chute		Surface de pointe	Masse frappante	Masse accessoire	Masse de la tige	
75,0 cm		20,0 cm ²	63,5 kg	4,88 kg	6,0 kg/m	

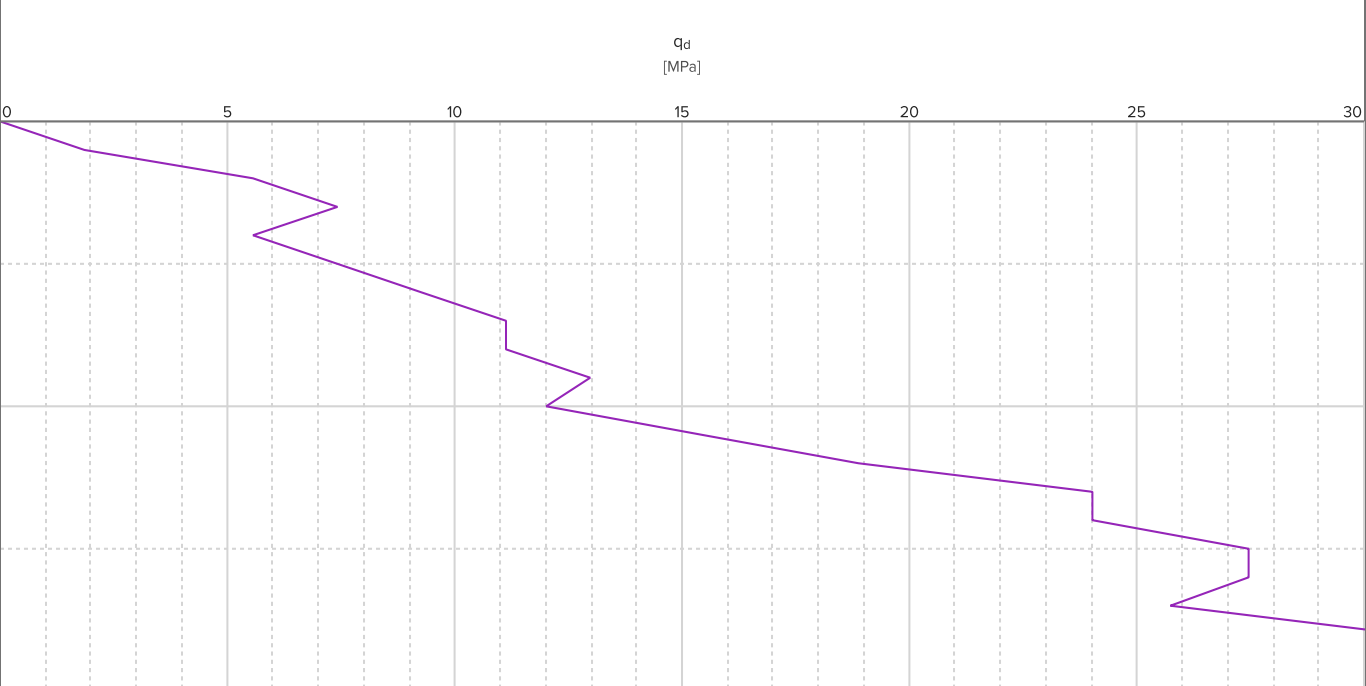


PD4	X	Y	Système de coordonnées			
	1399 573	6 272 724	RGF93 / CC47			
	Élévation	Nivellement	Angle	Azimut	Prof. atteinte	
	Non renseigné	NGF	-	-	2,2 m	
Données	Type		Début	Fin	Machine	Opérateur
DPRB-PD4	Pénétromètre dynamique		06/10/2025	06/10/2025	M676	–
Type de pénétromètre					Facteur de correction	
GEOTOOL					0,93	
Hauteur de chute		Surface de pointe	Masse frappante	Masse accessoire	Masse de la tige	
75,0 cm		20,0 cm ²	63,5 kg	4,88 kg	6,0 kg/m	

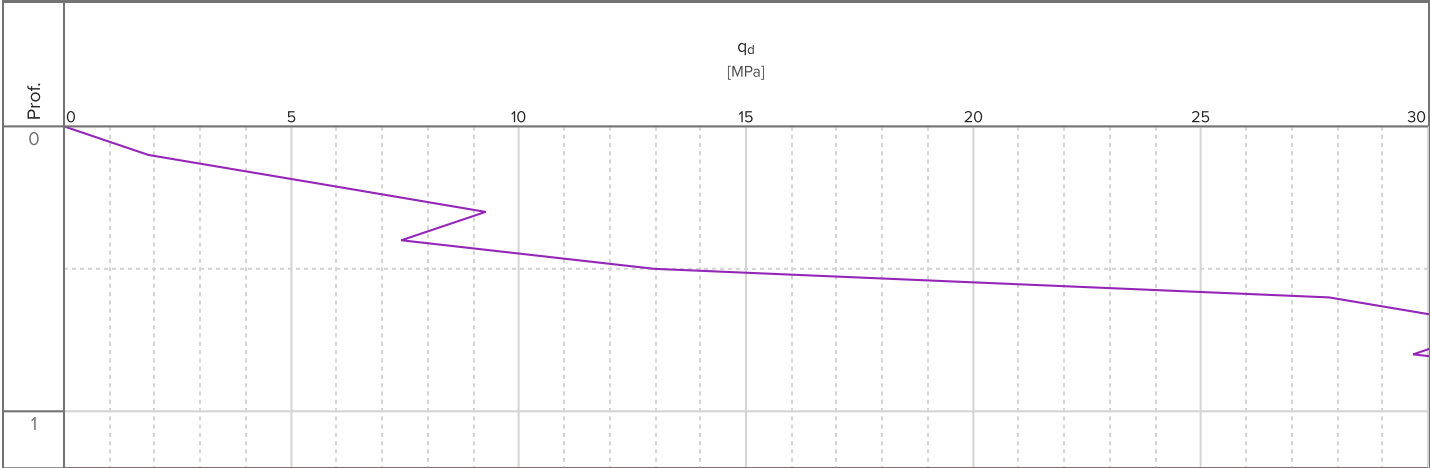


Refus

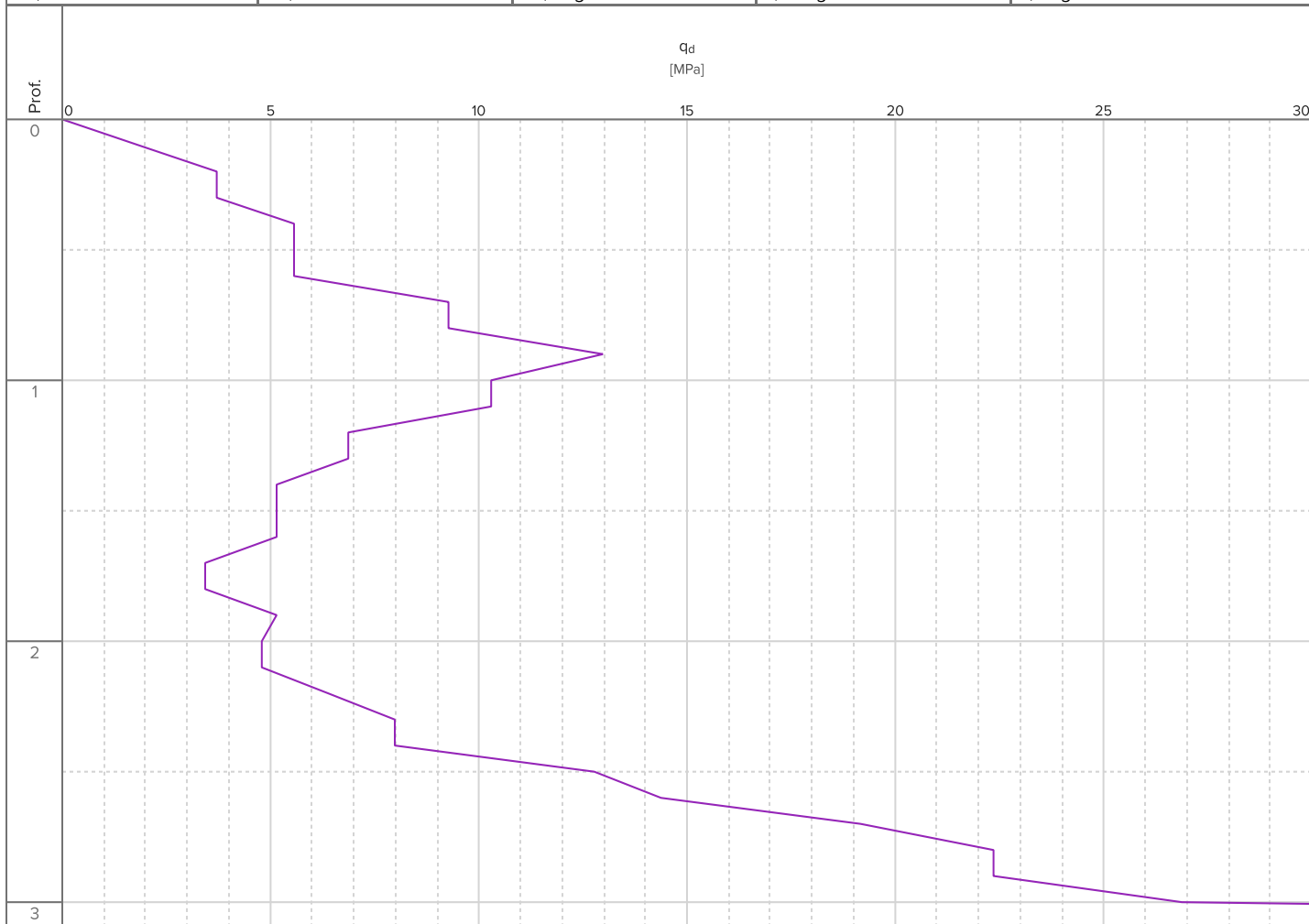
Commentaires Refus à 2.2 m de profondeur

		ONA2.P.0371 - Centrale photovoltaïque - ANGRIE (49)		ONA2.P.0371		Client: Recurrent Energy	
PD5	X	Y	Système de coordonnées				
	1399 725	6 272 736	RGF93 / CC47				
	Élévation	Nivellement	Angle	Azimut	Prof. atteinte		
	Non renseigné	NGF	-	-	2,0 m		
Données	Type	Début	Fin	Machine	Opérateur		
DPRB-PD5	Pénétrromètre dynamique	06/10/2025	06/10/2025	M676	-		
Type de pénétrromètre				Facteur de correction			
GEOTOOL				0,93			
Hauteur de chute	Surface de pointe	Masse frappante	Masse accessoire	Masse de la tige			
75,0 cm	20,0 cm ²	63,5 kg	4,88 kg	6,0 kg/m			
Prof.							
0							
1							
2	Refus						
Commentaires		Refus à 2.0 m de profondeur					
soilcloud.tech							

PD6	X		Y		Système de coordonnées	
	1399 699		6 272 541		RGF93 / CC47	
	Élévation		Nivellement		Angle	Prof. atteinte
	Non renseigné		NGF		-	1,2 m
Données		Type	Début	Fin	Machine	Opérateur
DPRB-PD6		Pénétrömètre dynamique	06/10/2025	06/10/2025	M676	—
Type de pénétrömètre					Facteur de correction	
GEOTOOL					0,93	
Hauteur de chute		Surface de pointe	Masse frappante	Masse accessoire	Masse de la tige	
75,0 cm		20,0 cm ²	63,5 kg	4,88 kg	6,0 kg/m	



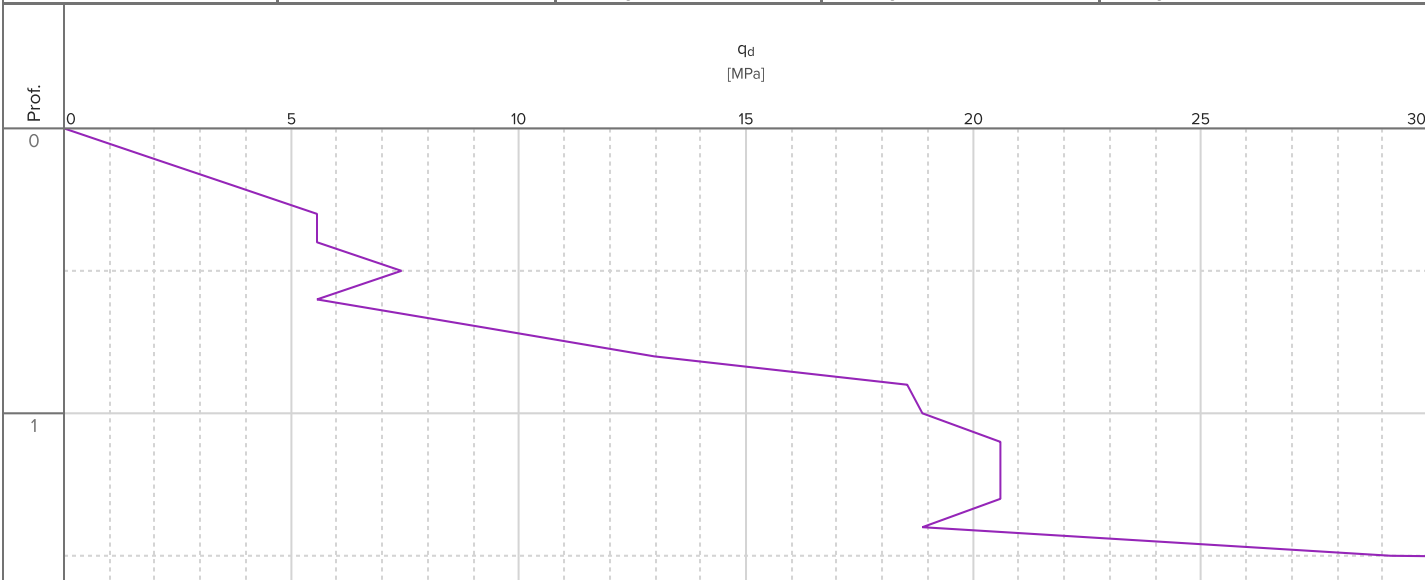
PD7	X	Y	Système de coordonnées		
	1399 820	6 272 650	RGF93 / CC47		
	Élévation	Nivellement	Angle	Azimet	Prof. atteinte
	Non renseigné	NGF	-	-	3,1 m
Données	Type	Début	Fin	Machine	Opérateur
DPRB-PD7	Pénétrömètre dynamique	Non renseigné	Non renseigné	M676	—
Type de pénétrömètre				Facteur de correction	
GEOTOOL				0,93	
Hauteur de chute	Surface de pointe	Masse frappante	Masse accessoire	Masse de la tige	
75,0 cm	20,0 cm ²	63,5 kg	4,88 kg	6,0 kg/m	



Refus

Commentaires Refus à 3.1 m de profondeur

PD8	X	Y	Système de coordonnées			
	1400 218	6 272 836	RGF93 / CC47			
	Élévation	Nivellement	Angle	Azimut	Prof. atteinte	
	Non renseigné	NGF	-	-	1,6 m	
Données	Type		Début	Fin	Machine	Opérateur
DPRB-PD8	Pénétrömètre dynamique		06/10/2025	06/10/2025	M676	–
Type de pénétrömètre					Facteur de correction	
GEOTOOL					0,93	
Hauteur de chute		Surface de pointe	Masse frappante	Masse accessoire	Masse de la tige	
75,0 cm		20,0 cm ²	63,5 kg	4,88 kg	6,0 kg/m	



Refus

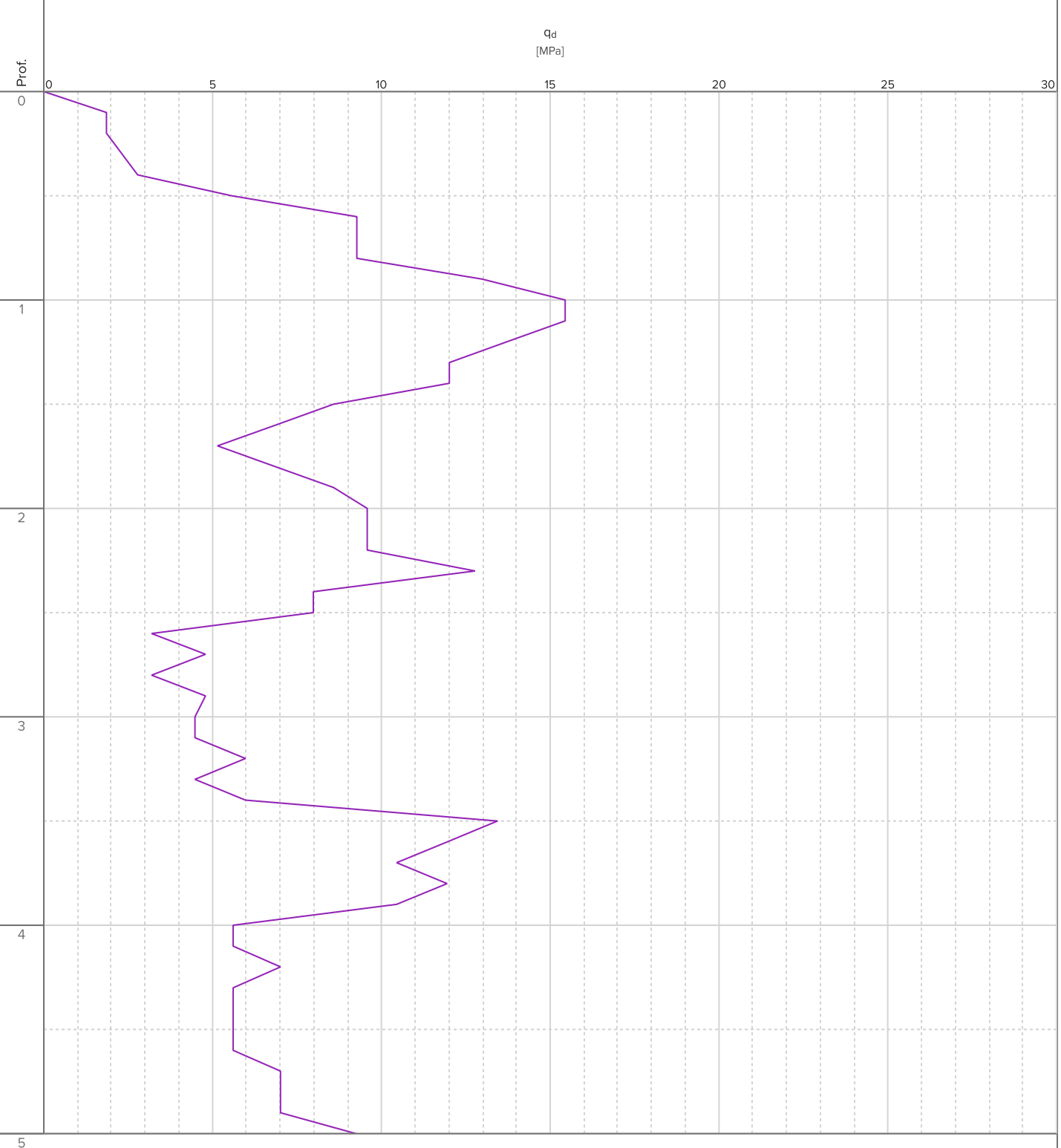
Commentaires Refus à 1.6 m de profondeur

PD9	X	Y	Système de coordonnées		
	1400373	6272649	RGF93 / CC47		
	Élévation	Nivellement	Angle	Azimut	Prof. atteinte
	Non renseigné	NGF	-	-	5,0 m

Données	Type	Début	Fin	Machine	Opérateur
DPRB-PD9	Pénétrömètre dynamique	06/10/2025	06/10/2025	M676	—

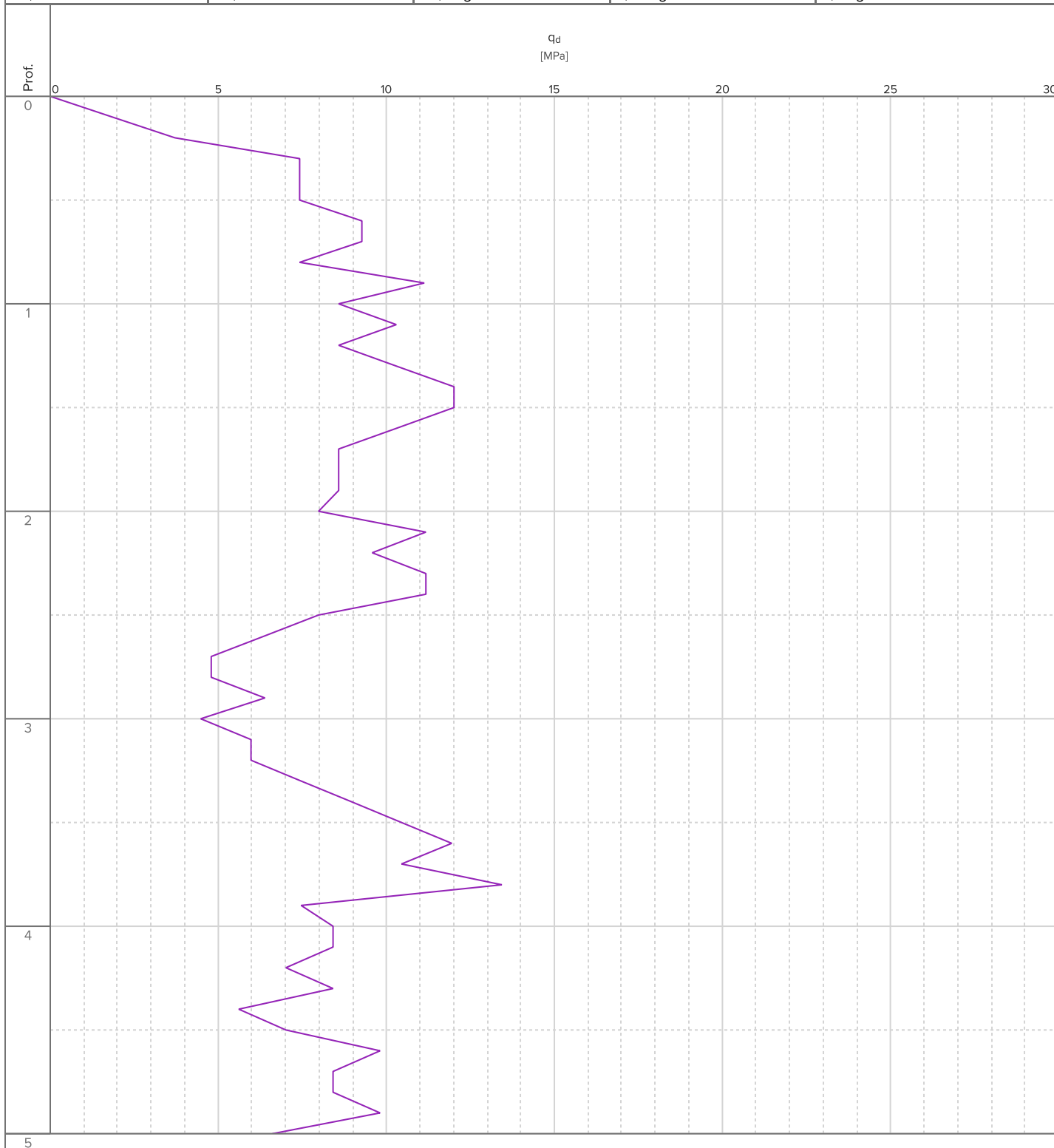
Type de pénétrömètre	Facteur de correction
GEOTOOL	0,93

Hauteur de chute	Surface de pointe	Masse frappante	Masse accessoire	Masse de la tige
75,0 cm	20,0 cm ²	63,5 kg	4,88 kg	6,0 kg/m



Commentaires Arrêt volontaire à 5.0 m de profondeur
Traces d'humidité sur les tiges à partir de 4.6 m de profondeur

PD10	X	Y	Système de coordonnées		
	1400166	6 272 638	RGF93 / CC47		
	Élévation	Nivellement	Angle	Azimut	Prof. atteinte
	Non renseigné	NGF	-	-	5,0 m
Données	Type	Début	Fin	Machine	Opérateur
DPRB-PD10	Pénétrömètre dynamique	06/10/2025	06/10/2025	M676	—
Type de pénétrömètre				Facteur de correction	
GEOTOOL				0,93	
Hauteur de chute	Surface de pointe	Masse frappante	Masse accessoire	Masse de la tige	
75,0 cm	20,0 cm ²	63,5 kg	4,88 kg	6,0 kg/m	



Commentaires	Arrêt volontaire à 5 m de profondeur Traces d'humidité sur les tiges à partir de 4.6 m de profondeur
soilcloud.tech	

		ONA2.P.0371 - Centrale photovoltaïque - ANGRIE (49)				
		ONA2.P.0371			Client: Recurrent Energy	
PM1	X	Y	Système de coordonnées			Précision des relevés
	1399 512	6 272 663	RGF93 / CC47			Non renseigné
	Élévation	Prof. atteinte	Angle	Azimut	Nivellement	Précision des nivellements
	Non renseigné	1,3 m	-	-	NGF	Non renseigné
Début		Fin		Machine		Opérateur
02/10/2025		02/10/2025		Pelle mécanique		—
Prof.	Lithologie	Descriptions				
0		Terre végétale marron				
		0,3 m				
		Limon argilo-sableux à graves de grès et de schiste marron clair (schiste gréseux décomposé)				
		0,6 m				
1		Schiste gréseux altéré marron				
		1,3 m				
Commentaires		Arrêt du sondage à 1.30 m/TN, sol trop compact Aucun niveau d'eau observé dans le sondage Bonne tenue des parois de la fouille				
soilcloud.tech						

Sondage	Élévation	Prof. atteinte
PM1	-0,0 m NGF	1,3 m

PHOTOS



 CEBTP		ONA2.P.0371 - Centrale photovoltaïque - ANGRIE (49)					ONA2.P.0371		Client: Recurrent Energy	
PM2	X	Y	Système de coordonnées			Précision des relevés				
	1399 530	6 272 754	RGF93 / CC47			Non renseigné				
	Élévation	Prof. atteinte	Angle	Azimut	Nivellement	Précision des nivellements				
	Non renseigné	1,6 m	-	-	NGF	Non renseigné				
Début		Fin		Machine			Opérateur			
02/10/2025		02/10/2025		Pelle mécanique			-			
Prof.	Lithologie	Descriptions								
0		Terre végétale marron								
		0,25 m								
1		Limon argilo-sableux à graves de grès et de schiste marron clair (schiste gréseux décomposé)								
		0,95 m								
1		Schiste gréseux altéré (graves de schiste et de grès dans une matrice argileuse) marron gris								
		1,6 m								
Commentaires		Arrêt volontaire du sondage à 1.60 m/TN Aucun niveau d'eau observé dans le sondage Bonne tenue des parois de la fouille								
soilcloud.tech										

Sondage	Élévation	Prof. atteinte
PM2	-0,0 m NGF	1,6 m

PHOTOS



		ONA2.P.0371 - Centrale photovoltaïque - ANGRIE (49)			
		ONA2.P.0371		Client: Recurrent Energy	
PM3	X	Y	Système de coordonnées		Précision des relevés
	1399684	6272781	RGF93 / CC47		Non renseigné
	Élévation	Prof. atteinte	Angle	Azimut	Nivellement
	Non renseigné	2,0 m	-	-	NGF
Début		Fin		Machine	Opérateur
02/10/2025		02/10/2025		Pelle mécanique	—
Prof.	Lithologie	Descriptions			
0		Terre végétale marron			
		0,25 m			
		Argile sableuse à rares graves marron			
1		0,6 m			
		Sable légèrement argileux graveleux marron clair			
		1,2 m			
2		Sable blanchâtre			
		2 m			
Commentaires		Arrêt volontaire du sondage à 2.0 m/TN Aucun niveau d'eau observé dans le sondage Bonne tenue des parois			
soilcloud.tech					

Sondage	Élévation	Prof. atteinte
PM3	-0,0 m NGF	2,0 m

PHOTOS



PM4	X	Y	Système de coordonnées			Précision des relevés
	1399 753	6 272 642	RGF93 / CC47			Non renseigné
	Élévation	Prof. atteinte	Angle	Azimut	Nivellement	Précision des nivellements
	Non renseigné	1,7 m	-	-	NGF	Non renseigné
Début		Fin	Machine			Opérateur
02/10/2025		02/10/2025	Pelle mécanique			—

Prof.	Lithologie	Descriptions	Outils
0		Terre végétale marron	
			
		0,2 m	
		Argile sableuse limoneuse graveleuse marron	
			
		0,4 m	
		Argile sableuse graveleuse marron gris, ocre	
			
		0,7 m	
1		Sable argileux roux, grisâtre	Pelle mécanique
			
		1,7 m	

Commentaires Arrêt volontaire du sondage à 1.70 m/TN
Aucun niveau d'eau observé dans le sondage
Bonne tenue des parois de la fouille

Sondage	Élévation	Prof. atteinte
PM4	-0,0 m NGF	1,7 m

PHOTOS



		ONA2.P.0371 - Centrale photovoltaïque - ANGRIE (49)					
		ONA2.P.0371			Client: Recurrent Energy		
PM5	X	Y	Système de coordonnées			Précision des relevés	
	1399604	6272516	RGF93 / CC47			Non renseigné	
	Élévation	Prof. atteinte	Angle	Azimut	Nivellement	Précision des nivellements	
	Non renseigné	1,5 m	-	-	NGF	Non renseigné	
Début		Fin		Machine		Opérateur	
02/10/2025		02/10/2025		Pelle mécanique		-	
Prof.	Lithologie	Descriptions					Outils
0		Terre végétale marron					Pelle mécanique
		0,35 m					
		Schiste gréseux décomposé en graves dans une matrice argilo-sableuse gris ocre					
		0,6 m					
1		Schiste gréseux altéré gris					1,5 m
		1,5 m					
Commentaires		Arrêt volontaire du sondage à 1.50 m/TN Aucun niveau d'eau observé dans le sondage Bonne tenue des parois					
soilcloud.tech							

Sondage	Élévation	Prof. atteinte
PM5	-0,0 m NGF	1,5 m

PHOTOS



 CEBTP		ONA2.P.0371 - Centrale photovoltaïque - ANGRIE (49)					ONA2.P.0371		Client: Recurrent Energy	
PM6	X	Y	Système de coordonnées			Précision des relevés				
	1400 312	6 272 868	RGF93 / CC47			Non renseigné				
	Élévation	Prof. atteinte	Angle	Azimut	Nivellement	Précision des nivellements				
	Non renseigné	1,6 m	-	-	NGF	Non renseigné				
Début		Fin		Machine			Opérateur			
02/10/2025		02/10/2025		Pelle mécanique			-			
Prof.	Lithologie	Descriptions							Outils	
0		Terre végétale marron							Pelle mécanique	
		Argile sablo-graveleuse marron gris								
1		Schiste gréseux décomposé (graves dans une matrice sableuse +/- argileuse) gris							1,6 m	
		1,6 m								
Commentaires		Arrêt volontaire du sondage à 1.60 m/TN Aucun niveau d'eau observé dans le sondage Bonne tenue des parois								
soilcloud.tech										

Sondage	Élévation	Prof. atteinte
PM6	-0,0 m NGF	1,6 m

PHOTOS



Sondage	Élévation	Prof. atteinte
PM7	-0,0 m NGF	1,4 m

PHOTOS



		ONA2.P.0371 - Centrale photovoltaïque - ANGRIE (49)					
		ONA2.P.0371			Client: Recurrent Energy		
PM8	X	Y	Système de coordonnées			Précision des relevés	
	1400 242	6 272 705	RGF93 / CC47			Non renseigné	
	Élévation	Prof. atteinte	Angle	Azimut	Nivellement	Précision des nivellements	
	Non renseigné	1,5 m	-	-	NGF	Non renseigné	
Début		Fin		Machine		Opérateur	
02/10/2025		02/10/2025		Pelle mécanique		—	
Prof.	Lithologie	Descriptions					Outils
0		Terre végétale marron					Pelle mécanique
		0,3 m					
		Argile sableuse graveleuse marron-gris, ocre					
1		0,9 m					
		Argile graveleuse sableuse gris (schiste gréseux décomposé)					
		1,5 m					1,5 m
Commentaires		Arrêt volontaire du sondage à 1.50 m/TN Aucun niveau d'eau observé dans le sondage Bonne tenue des parois					
soilcloud.tech							

Sondage	Élévation	Prof. atteinte
PM8	-0,0 m NGF	1,5 m

PHOTOS



		ONA2.P.0371 - Centrale photovoltaïque - ANGRIE (49)					
		ONA2.P.0371			Client: Recurrent Energy		
PM9	X	Y	Système de coordonnées			Précision des relevés	
	1400 410	6 272 772	RGF93 / CC47			Non renseigné	
	Élévation	Prof. atteinte	Angle	Azimut	Nivellement	Précision des nivellements	
	Non renseigné	1,4 m	-	-	NGF	Non renseigné	
Début		Fin		Machine		Opérateur	
02/10/2025		02/10/2025		Pelle mécanique		—	
Prof.	Lithologie	Descriptions					Outils
0		Terre végétale marron					Pelle mécanique
		0,3 m Argile sableuse graveleuse marron ocre grisâtre compact (grès décomposé)					
1		1,4 m					1,4 m
Commentaires		Arrêt volontaire du sondage à 1.40 m/TN Aucun niveau d'eau observé dans le sondage Bonne tenue des parois					
soilcloud.tech							

Sondage	Élévation	Prof. atteinte
PM9	-0,0 m NGF	1,4 m

PHOTOS



		ONA2.P.0371 - Centrale photovoltaïque - ANGRIE (49)					
		ONA2.P.0371			Client: Recurrent Energy		
PM10	X	Y	Système de coordonnées			Précision des relevés	
	1400 268	6 272 614	RGF93 / CC47			Non renseigné	
	Élévation	Prof. atteinte	Angle	Azimut	Nivellement	Précision des nivellements	
	Non renseigné	1,75 m	-	-	NGF	Non renseigné	
Début		Fin		Machine		Opérateur	
02/10/2025		02/10/2025		Pelle mécanique		—	
Prof.	Lithologie	Descriptions					Outils
0		Terre végétale marron					Pelle mécanique
		0,3 m					
		Argile sableuse à rare grave compact marron-gris					
		0,9 m					
1		Sable +/- argileux graveleux roux					
		1,75 m					
Commentaires		Arrêt volontaire du sondage à 1.75 m/TN Aucun niveau d'eau observé dans le sondage Bonne tenue des parois de la fouille					
soilcloud.tech							

Sondage	Élévation	Prof. atteinte
PM10	-0,0 m NGF	1,75 m

PHOTOS





www.groupe-cebtp.com

Agence d'Angers

ZA de la Garde
Allée du 9 novembre 1989
49240 AVRILLE

Téléphone +33 (0)2 41 34 58 60

cebtp.angers@groupeginger.com

www.ginger-cebtp.com