



Agence de Lyon

106 Av. Franklin Roosevelt

69120 Vaulx-en-Velin

☎ 04.72.37.68.88

✉ lyon@groupefondasol.com

DIR CENTRE-EST



Echangeur 12 (A47) - Sens 2 : Mur M3 GENILAC (42)

Etude géotechnique G2-PRO

PR.RAGT.25.0374 – 1^{ère} diffusion

Rév.	Date	Nb pages*	Modifications	Rédacteur	Contrôleur	Approbateur
-	28/01/26	30	1 ^{ère} diffusion	H. TOUYA	B. DAMOUR	B. DAMOUR
A						
B						
C						

* Nombre de pages hors annexes, paginées séparément.

SOMMAIRE

A.	Présentation de notre mission	3
A.1.	Eléments du contrat	3
A.2.	Mission selon la norme NF P94-500	3
A.3.	Documents à notre disposition pour cette étude	4
A.4.	Description du projet	4
B.	Caractéristiques générales du site	6
B.1.	Description générale	6
B.2.	Résultats de l'enquête documentaire	7
C.	Synthèse géotechnique et hydrogéologique	9
C.1.	Investigations	9
C.2.	Géologie et géomécanique	9
C.3.	Hydrogéologie	10
D.	Ouvrages géotechniques du projet	11
D.1.	Contraintes spécifiques du site / identification des aléas géotechniques	11
D.2.	Données liées au risque sismique	11
D.3.	Travaux d'adaptation du site pour accueillir le projet	12
D.4.	Définition de la Zone d'Influence Géotechnique (ZIG) retenue pour le projet	12
E.	Terrassements du mur M3	14
E.1.	Préambule	14
E.2.	Terrassements en déblais	15
E.3.	Ebauche dimensionnelle du soutènement provisoire	16
E.4.	Remblaiement du mur	17
E.5.	Dispositions vis-à-vis des eaux souterraines	17
F.	Fondations profondes par micropieux	19
F.1.	Données d'entrée	19
F.2.	Modèle géotechnique	20
F.3.	Caractéristiques des micropieux	20
F.4.	Prédimensionnement	21
F.5.	Dispositions constructives	26
F.6.	Sujétions d'exécution	26
F.7.	Dispositions et sujétions particulières vis-à-vis de l'ouvrage d'art sur le Gier	27
F.8.	Surveillance, essais et contrôles	28
G.	Enchaînement des missions normalisées	29

ANNEXES

1. Enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (NF P94-500) – 1 page
2. Missions types d'ingénierie géotechnique (Norme NF P94-500) – 1 page
3. Résultats des investigations – 5 pages
4. Sorties de calculs – 11 pages

A. PRESENTATION DE NOTRE MISSION

A.1. Eléments du contrat

Maître d'Ouvrage : DIR CENTRE-EST

Maître d'œuvre : INGEROP

Devis : SQ.RAGT.25.09.064 REV.A

Commande : N° I407098522 reçu le 08/12/2025

A.2. Mission selon la norme NF P94-500

Etude géotechnique G2 phase PRO selon la norme NF P94-500 (Missions d'Ingénierie Géotechnique Types – Révision de novembre 2013), en vue du projet de construction d'un mur de soutènement (mur M3) pour le réaménagement de l'échangeur I2.

Elle fait suite à l'étude G2 phase AVP établie par HYDROGEOTECHNIQUE sous la référence C.25.51.070 (23/04/2025).

Le présent rapport comprend :

- la synthèse du contexte géotechnique du site et l'analyse de son influence sur le projet,
- la description des ouvrages géotechniques du projet,
- les hypothèses géotechniques pour la justification des ouvrages,
- le résultat des prédimensionnements des principaux ouvrages géotechniques,
- la définition de la Zone d'Influence Géotechnique (ZIG),
- les sujétions d'exécution et de contrôle des ouvrages géotechniques,
- les suites à donner.

Notre mission ne comprend pas, notamment :

- l'étude hydrogéologique (détermination des niveaux EH, EB, EE, etc.),
- l'estimation des descentes de charges,
- l'étude des assises et structures de chaussées,
- l'étude des ouvrages de gestion des eaux pluviales,
- l'étude structurelle des ouvrages géotechniques,
- l'étude détaillée des dispositifs de drainage,
- l'établissement des plans et coupes,
- l'approche des quantités, coûts et délais.

A.3. Documents à notre disposition pour cette étude

A.3.1. Documents préalables

Nous avons disposé pour cette étude des documents suivants :

N°	Document	Émetteur	Référence	Ind	Date Emission
[1]	Rapport d'étude G2 AVP	HYDROGEOTECHNIQUE	C.25.51.070	I	23/07/2025
[2]	Echangeur I2 - Plan de synthèse	INGEROP	LYSE-A47-ECH12	A	05/09/2025
[3]	Plans et coupes du Pont sur le Gier	GEBOA	LYSE-SEM-TM-PRO-ENT-PGR-0005	A	11/2010
[4]	Carnet de plan Mur 3	INGEROP	LYSE-PRO-A47-RM65-02839	A	11/2025
[5]	Note de descente de charges du mur de soutènement M3	INGEROP	LYSE-PRO-A47-Rue Brunon-04613	A	11/2025
[6]	DDC murs de soutènement	INGEROP	LYSE-PRO-A47-Rue Brunon-04613	A	11/2025

A.3.2. Données manquantes

Les éléments suivants ne nous ont pas été fournis :

- Valeurs de déformations admissibles des ouvrages projetés,
- Valeurs de déformations admissibles des ouvrages avoisinants situés dans la Z.I.G,
- Les reconnaissances et description précises des parties enterrées et non visibles des structures et fondations de l'ouvrage d'art sur le Gier (« buse béton »).

Pour les besoins de l'étude, des hypothèses ont été faites, dont il conviendra de vérifier la validité avant passation des marchés des travaux.

A.4. Description du projet

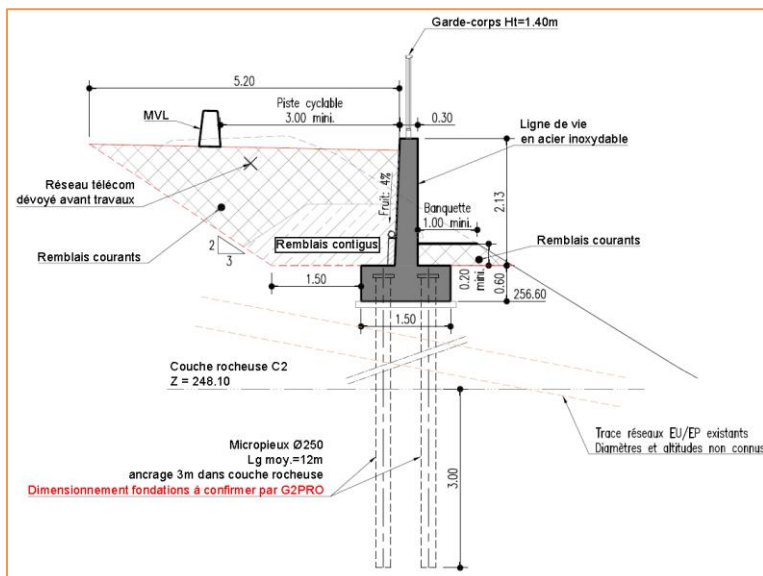
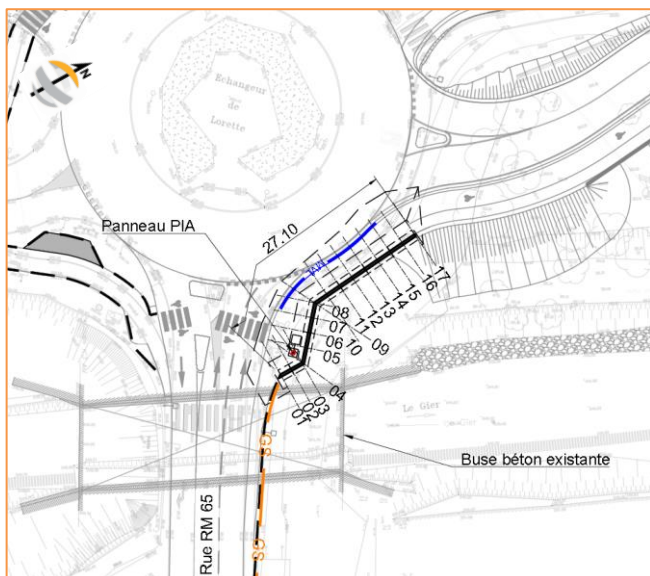
A.4.1. Caractéristiques générales du projet et des ouvrages

Le projet prévoit la construction d'un mur de soutènement en béton armé fondé sur micropieux, dans le cadre du réaménagement de l'échangeur I2 qui prévoit l'élargissement de la voie pour l'ajout d'une piste cyclable.

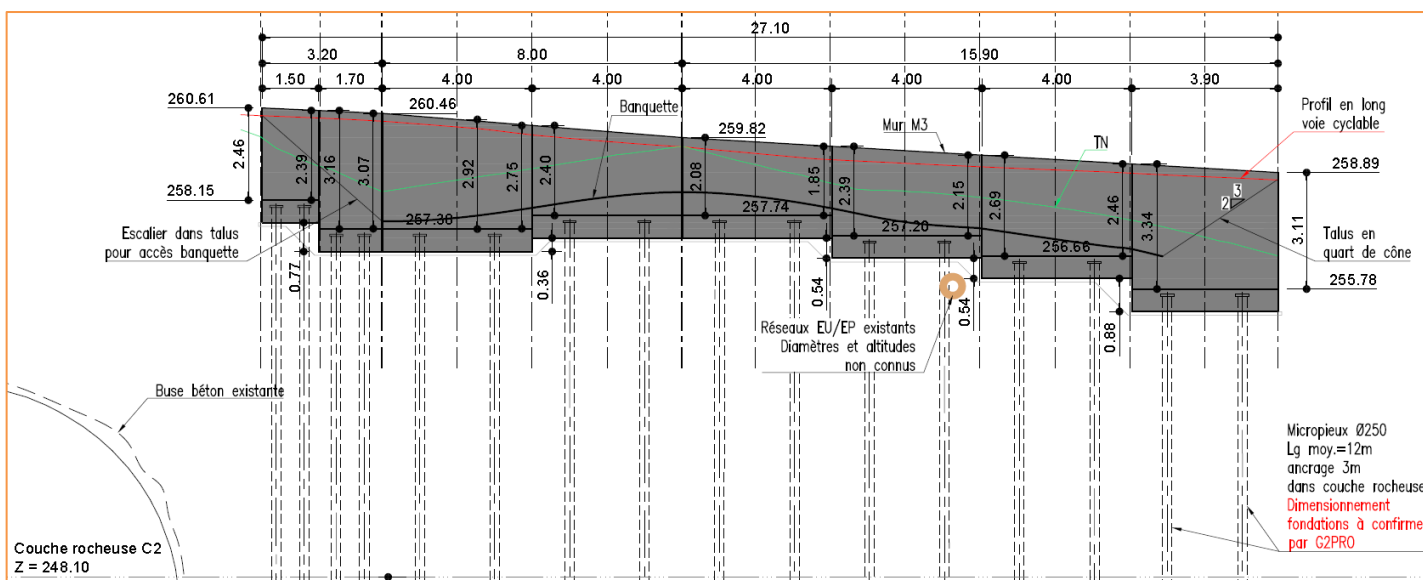
Le mur, appelé M3, s'étendra sur 27.10 m de long côté Est du giratoire, entre la voie d'insertion de l'A47 direction Lyon/Givors et la RD n°65 directions Rive-de-Gier/Lorette.

Il sera constitué d'une semelle de liaison de 1.5 m de large et 0.6 m de hauteur fondée sur 2 lignes de micropieux, et d'un voile en béton armé de 0.3 m d'épaisseur d'une hauteur libre comprise entre 1.85 m et 3.34 m

Le niveau d'assise de la semelle sera variable sur toute la longueur du mur.



Vue en plan générale et profil n° 12 extraits de [4]



Vue en élévation du mur M3 extrait de [4]

A.4.2. Catégorie géotechnique et de durée d'utilisation du projet des ouvrages

Les hypothèses retenues, conformément à l'Eurocode 0 et à l'Eurocode 7, sont les suivantes :

- Catégorie géotechnique du projet : 2
- Classe de conséquence des ouvrages : CC2
- Catégorie de durée d'utilisation des ouvrages définitifs : 5 (100 ans)

Ces hypothèses seront à confirmer par le Maître d'ouvrage.

A.4.3. Catégorie d'importance vis-à-vis du risque sismique

La catégorie d'importance d'ouvrage qui figure dans les éléments de la consultation est III.

B. CARACTERISTIQUES GENERALES DU SITE

On se reportera à l'étude G2 phase AVP établie par HYDROGEOTECHNIQUE sous la référence C.25.51.070 (23/07/2025) pour connaître le détail de l'enquête documentaire et de la description du site.

On reprend ci-dessous en synthèse les points particuliers.

B.1. Description générale

B.1.1. Situation et topographie

Le projet se trouve à l'Est du giratoire de l'échangeur I2 de l'autoroute A47, qui permet la liaison avec la RD n°65.

Le mur sera implanté en sommet d'un talus en forte pente (>50%) limité en tête par le giratoire et en pied par le Gier. Au droit du projet, l'altimétrie du terrain est comprise entre les niveaux suivants, d'après le plan topographique :

- Sommet du mur : 258.89 m NGF à 260.61 m NGF
- Pied de talus : 251.70 m NGF à 252.05 m NGF
- Fond du Gier : 244.47 m NGF à 244.93 m NGF

B.1.2. Le site et son environnement

Le mur sera mis en œuvre au droit d'un talus préexistant en remblais, qui date probablement de la construction du giratoire de l'échangeur I2.

Le talus est couvert d'une végétation dense arbustive.

En amont du talus se trouve les ouvrages associés à la voirie (chaussée, glissière, réseaux, panneau PIA, ...).

En pied du talus, la partie Nord du terrain est occupé par le jardin d'une propriété privée, et la partie Sud par les enrochements des berges du Gier (géométrie non connue) et l'ouvrage d'art en béton armé (buse) permettant le franchissement du Gier.



Photographies de l'amont du site (© Google Maps)



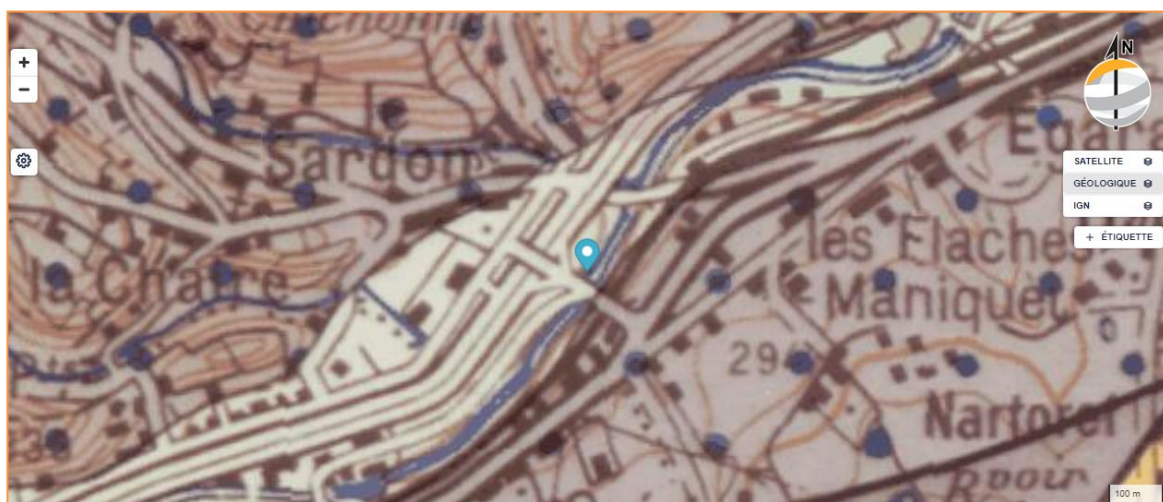
Photographies de l'aval du site

B.2. Résultats de l'enquête documentaire

B.2.1. Contexte géologique général

D'après la carte géologique de SAINT-ETIENNE, on retrouve sous les alluvions actuelles et récentes du Gier (Fz), les roches sédimentaires de la Série de la Talaudière (h5cd), appartenant à la formation de l'Assise de St-Etienne. Cette série est constituée :

- En partie supérieure de conglomérats à gros éléments (granite, gneiss et micaschistes), au sein desquels s'intercale le faisceau de la Chazotte schisto-gréseux à charbon
- En partie inférieure de poudingues très polygéniques (galets de silex, microgranites, roches effusives diverses, quartz, roches silicifiées, ...)



Extrait de la carte géologique de St-Etienne (© Infoterre)

Des affleurements rocheux sont visibles au niveau des berges du Gier, à proximité du projet.

B.2.2. Risques naturels connus au droit du site

Risque	Aléa / sensibilité	Document réglementaire et date de prescription
Inondations	Les abords du Gier, en pied du talus, se situent en zone rouge selon le zonage réglementaire du PPR en vigueur. La cote de crue de référence du PPRi côté aval de l'ouvrage d'art est de 250.75 m NGF. 	PPRNPI du bassin versant du GIER du 20/06/2024
Cavités	De nombreuses cavités sont recensées dans le secteur du fait des anciennes activités minières (exploitation de charbon), d'après le PPRM. Les exploitations de la zone sont situées à grande profondeur (> 50 m) donc hors de la ZIG du projet. Néanmoins, il existe quelques zones règlementées notées « R3 » au voisinage du projet, liées à d'anciens puits et pour lesquelles des sujétions de fontis sont à prendre en compte (voir localisation ci-dessous). Aucune zone n'est présente au droit des ouvrages géotechniques du projet d'après le plan de zonage. 	PPRM GIER du 29/03/2019
Séisme	Zone de sismicité 2	Arrêté du 22/10/10 modifié par l'arrêté du 19/07/11 et par celui du 15/09/14

Cette liste n'est pas exhaustive, et on se référera à l'étude G2 AVP pour plus de détails.

Il appartient aux concepteurs du projet de s'assurer que le projet tient compte des prescriptions liées à l'ensemble des risques, y compris non géotechniques.

C. SYNTHÈSE GEOTECHNIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE

C.1. Investigations

On se reportera à l'étude G2 phase AVP établie par HYDROGÉOTECHNIQUE sous la référence C.25.51.070 (23/07/2025) pour connaître de détail du programme des investigations réalisées et des résultats obtenus en phase AVP. On utilise ci-après les résultats des sondages SP5 et SPI0.

Pour les besoins de l'étude G2 PRO, les investigations complémentaires suivantes ont été réalisées :

Sondages	SPI1	SPI2
Type	Pressiométrique	Pressiométrique
Profondeur (m)	12	12
Essais	8	8
Nivellement (m NGF)	253.3	251.8

L'intégralité des résultats des investigations in situ réalisées par FONDASOL est donnée en annexes du présent rapport

C.2. Géologie et géomécanique

En synthèse le contexte géologique mis en évidence est le suivant :

- **Formation 1** : des **remblais d'aménagement**, constitués de limons graveleux en tête et de sables graveleux et argileux en profondeur, brun à noirs.

Ces matériaux ont été rencontrés jusqu'à 6.0 m à 6.5 m (246.5 m NGF à 247.3 m NGF), en partie basse et 11.0 m (248.1 m NGF) en partie haute au droit du sondage SPI0. Le sondage SP5, arrêté à 12.0 m de profondeur (248.1 m NGF), n'a pas rencontré la base de cette formation.

A noter que compte tenu de la méthode de forage utilisée et des sols rencontrés, il ne peut pas être exclu que cette formation puisse correspondre au moins en partie à des sols naturels alluvionnaires, notamment au droit des sondages SPI1 et SPI2.

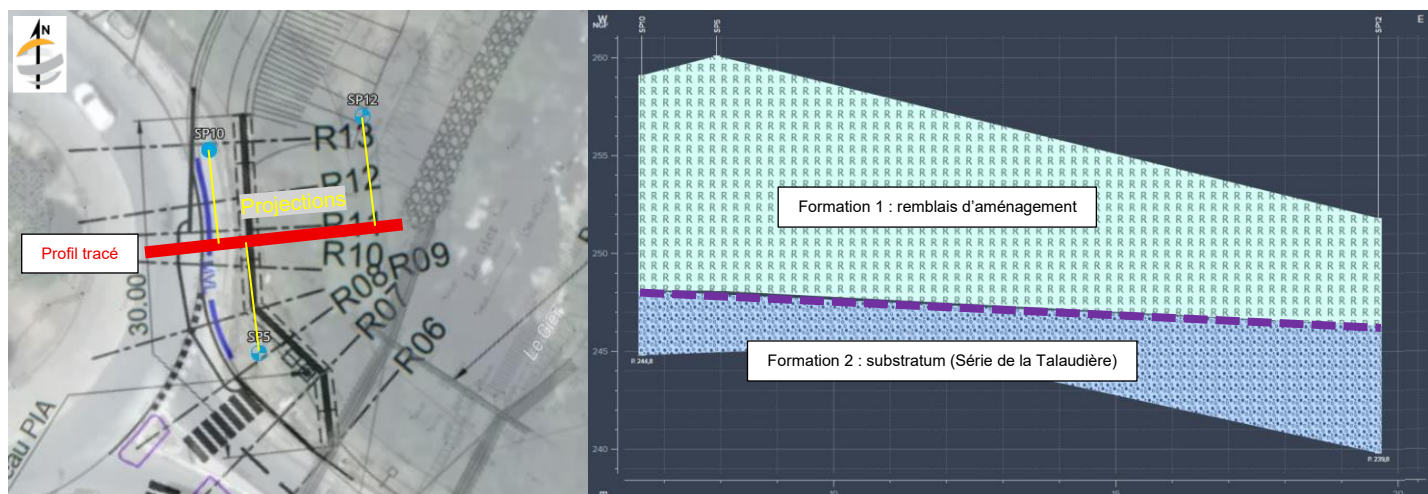
- **Formation 2** : un **substratum** probablement constitué de conglomérats et schistes gréseux (Série de la Talaudière), reconnu jusqu'à l'arrêt des sondages SPI0, SPI1 et SPI2 entre 12 m et 15 m de profondeur (239.80 m NGF à 244.78 m NGF).

Cette formation présente une frange plus altérée en tête.

Page suivante, il est présenté une projection des limites de ces 2 formations rencontrées au droit des sondages SP5, SPI0 et SPI2, sur un profil situé dans la partie centrale du mur M3 (proche du profil n°12 du document [4]).

La lithologie entre les sondages a été interpolée de façon linéaire pour les besoins de l'étude, mais des variations notables de l'altimétrie en plus ou en moins sont probables.

En particulier, il est probable qu'un approfondissement conséquent de la base des remblais soit observé au plus proche de l'ouvrage busé (SP5).



Les caractéristiques mécaniques des sols mesurées in situ à partir des essais pressiométriques sont récapitulées dans le tableau ci-dessous :

N°	Formation	Essais pressiométriques				
		Pression limite nette p_{LM}^* (MPa)		Module pressiométrique E_M (MPa)		Nb valeurs
		Min	Max	Min	Max	
I	Remblais	0.33	1.40	3	15	24
2a	Substratum très altéré	1.31	1.36	9	11	2
2b	Substratum	> 4.5		> 100		12

C.3. Hydrogéologie

Il n'a été mesuré aucun niveau d'eau statique, et les sondages destructifs avec injection d'eau ne permettent pas de mesurer un niveau d'eau fiable.

Les indications données par HYDROGEOTECHNIQUE dans le cadre de l'étude G2 AVP sont les suivantes :

Les aquifères potentiels sont :

- Les remblais CO-R à la faveur de circulations parasites ;
- Le substratum C2 à la faveur de la fracturation

A ce stade, nous définissons les niveaux d'eau suivants au droit du projet, à confirmer :

- EB = +248 m NGF
- EH : niveaux du PPRI soit :
 - +250.8 m NGF au droit de l'élargissement de la RM65

Extrait du rapport G2 AVP [1]

A défaut d'indications complémentaires, nous retiendrons les mêmes valeurs dans notre étude, sous réserve de la validation du Maître d'œuvre.

D. OUVRAGES GEOTECHNIQUES DU PROJET

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

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

- La présence de remblais d'aménagement hétérogènes, présentant des caractéristiques mécaniques très variables sur toute leur hauteur. La transition entre les remblais et les sols naturels sous-jacents est difficilement reconnaissable en partie basse, et un approfondissement de la base des remblais est probable à proximité de l'ouvrage busé.
- La présence d'un substratum a priori constitué de conglomérats polygéniques et de schistes gréseux, dont le toit présente un pendage vers l'Est au droit de nos sondages.
- L'extrémité Sud du mur M3 se situera à proximité immédiate d'un ouvrage d'art (buse béton) permettant le franchissement du Gier, ce qui nécessitera une adaptation des micropieux.
- L'accès à la zone de travaux présente de fortes contraintes (présence d'un talus existant côté Est et d'une voirie circulée côté Ouest).

D.2. Données liées au risque sismique

Compte-tenu de la catégorie d'importance des ouvrages (III) et de la zone de sismicité (2), l'effet d'un séisme sera à considérer pour le dimensionnement structural des ouvrages. L'analyse du risque de liquéfaction n'est toutefois pas à considérer.

D.2.1. Classe sismique des sols

La classe de sol déterminée en phase G2 AVP par HYDROGEOTECHNIQUE à partir des résultats des essais pressiométriques, en utilisant des corrélations entre les vitesses sismiques et les modules pressiométriques.

La classe de sol retenue est la **Classe E**.

D.2.2. Paramètres de calcul liés au séisme

Zone de sismicité :	2	D'où l'accélération maximale au rocher : $a_{gr} =$	0.7
Catégorie d'importance du bâtiment :	III	D'où le coefficient d'importance : $\gamma_I =$	1.2
Classe de sol :	E	D'où le paramètre de sol : $S =$	1.8

D'où
$$a_{max} = a_{gr} \times \gamma_I \times S = 1.512 \text{ m/s}^2$$

Remarque importante :

Les éléments donnés ci-dessus suivent les hypothèses de l'EUROCODE 8, pour une zone de sismicité donnée.

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

D.3.1. Déboisement et création d'accès

Les travaux de déboisement du talus impacteront le projet. Le dessouchage des arbres et arbustes en aval du projet devra être étudié au cas par cas, mais reste globalement déconseillé afin de ne pas dégrader la stabilité actuelle du talus.

L'accès à la zone de travaux présente des contraintes spécifiques dont il faudra tenir compte pour le choix des techniques d'exécution des ouvrages géotechniques.

D.3.2. Déblais, remblais, soutènements

Le niveau fini du projet et la pente du terrain conduisent à prévoir la mise en œuvre :

- d'un remblai technique d'une hauteur maximum de 3.34 m sur 27.1 m de long, soutenu par un mur de soutènement définitif en béton armé fondé sur micropieux ;
- de déblais d'une hauteur maximum de l'ordre de 3.0 m sur la totalité du linéaire du mur M3, soit 27.1 m, pour la mise en œuvre du mur.

On se reportera au(x) chapitre(s) dédié(s) ci-après pour l'étude de ces ouvrages.

D.4. Définition de la Zone d'Influence Géotechnique (ZIG) retenue pour le projet

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

La Zone d'Influence Géotechnique retenue est délimitée sur l'extrait de document ci-dessous :



Représentation schématique de l'emprise de la ZIG

Les ouvrages avoisinants inclus dans la ZIG sont alors, notamment :

- La buse en béton existante (ouvrage d'art sur le Gier) au Sud ;
- Le talus en aval et au Nord du mur M3 ;
- La voirie en amont du mur (giratoire), ainsi que l'ensemble des aménagements associés (signalisation, glissière, réseaux, ...) ;
- Le Gier et ses abords, en particulier sa berge Ouest et les enrochements qui la protège.

Le diagnostic de la buse existante a été réalisé par GEBOA (cf. [3]). Il en ressort les éléments suivants :

- L'ouvrage en béton armé est en bon état général, mais la voûte présente une fissuration légère du fait du retrait du béton ;
- Le mur en retour aval, côté chantier, présente 2 fissures horizontales correspondant à des reprises de bétonnage, et est parcouru par 8 barbacanes.

Le mode de fondation de l'ouvrage, son altimétrie précise et sa sensibilité n'ont pas été précisés.

Compte tenu de ces incertitudes, l'entreprise en charge de l'exécution des micropieux devra s'assurer de conserver une distance d'au moins 1.5 m entre le nu extérieur théorique de la buse et les micropieux. En ce sens, la déviation des micropieux les plus proches devra être maîtrisée au maximum et limitée à 1%.

Les hypothèses concernant les ouvrages avoisinants (y compris celles rappelées ci-dessus) et les précautions mentionnées ci-dessus sont impérativement à valider par le maître d'œuvre.

E. TERRASSEMENTS DU MUR M3

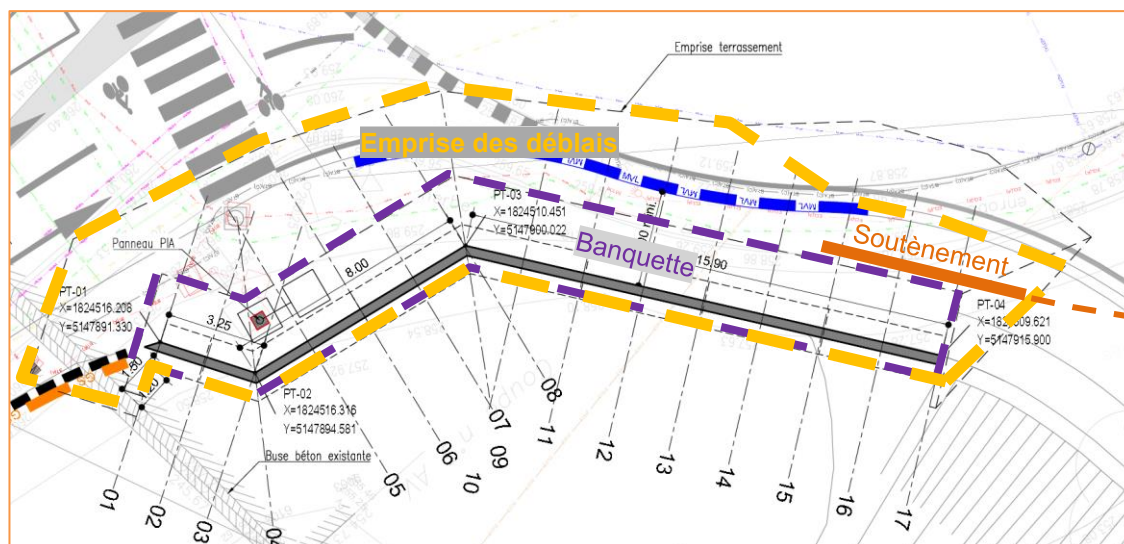
E.1. Préambule

La mise en œuvre du mur M3 nécessitera au préalable l'aménagement d'une banquette en déblais jusqu'aux niveaux d'arases supérieures de la semelle.

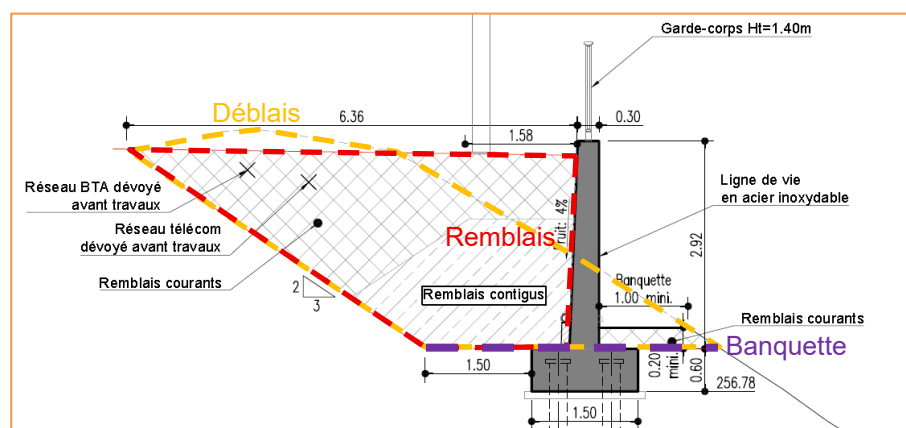
D'après les plans transmis, la largeur de la banquette sera d'au moins 3.5 m, et la hauteur maximum des déblais sera de l'ordre de 3.0 m, pour une banquette établie entre 255.78 m NGF et 258.15 m NGF.

D'après les informations qui nous ont été transmises lors de la réunion du 23/01/26, la mise en œuvre d'un ouvrage de soutènement provisoire sera nécessaire sur quelques mètres au niveau de l'extrémité Nord du projet, afin de conserver la largeur de voie existante.

Une fois le mur construit, les remblais contigus atteindront une hauteur maximum de 3.34 m au droit du profil n° 16.



Extrait de la vue en plan [4]



Extrait du profil n°5 [4]

E.2. Terrassements en déblais

E.2.1. Conditions générales de terrassements

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

Des difficultés de circulation des engins de chantier sont à prévoir en période de pluie notamment. La réalisation d'une couche (de forme) granulaire d'au moins 30 cm d'épaisseur devra être prévue pour garantir la traficabilité.

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

Les terrassements pourront être majoritairement réalisés à la pelle mécanique.

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

E.2.2. Talus provisoires

Pour des talus de hauteur inférieure ou égales à 3.0 m, les pentes des talus provisoires en déblai seront réglées suivant des pentes maximales de 3H/2V, en l'absence de surcharges (hors circulations) en crête sur une largeur d'au moins 3.0 m.

Une bande interdite à la circulation d'au moins 1.0 m devra être conservée en sommet de talus.

Dans le cas où l'espace disponible serait insuffisant pour satisfaire les 2 conditions susmentionnées tout en maintenant la circulation, on pourra envisager :

- pour des hauteurs inférieures à 0.5 m, la mise en œuvre d'une solution de blindage provisoire léger (palfeuille, berlinoise bois, ...) en pied de talus afin de réduire légèrement son emprise.
- pour des hauteurs plus importantes, la mise en œuvre d'un ouvrage de soutènement provisoire à proprement dit.

Des dispositions devront être prises pour empêcher la dégradation des faces des talus sous l'action du ruissellement des eaux.

Si des arrivées d'eau étaient observées dans les talus en déblais, il faudra les capter et les collecter par des éperons et/ou masques drainants associés à une tranchée drainante. Le cas échéant, l'eau sera conduite vers un exutoire autorisé sans risque pour le chantier et les avoisinants, conformément aux règlements relatifs à la protection de l'environnement.

E.2.3. Talus définitif en aval du mur

Les travaux de construction du mur n'impacteront pas a priori le talus existant et conservé en aval, dont la pente moyenne est d'environ 30°.

Il conviendra néanmoins de ne pas dégrader sa stabilité lors de l'exécution du mur M3. Ainsi, le gabarit des engins circulants sur la banquettes devra être limité, et on veillera à éviter tout ruissellement des eaux en provenance du chantier vers le talus.

Le déboisage du talus en aval du mur est déconseillé sans étude préalable.

E.3. Ebauche dimensionnelle du soutènement provisoire

D'après les informations qui nous ont été transmises lors de la réunion du 23/01/26, la mise en œuvre d'un ouvrage de soutènement provisoire sera nécessaire sur quelques mètres au niveau de l'extrémité Nord du projet, afin de conserver la largeur de voie existante.

En première approche, le soutènement devrait présenter une hauteur libre de 1.5 m à 2.0 m sur 4 m de long, puis sa hauteur devrait diminuer de façon régulière le long de la rampe d'accès au chantier.

Au regard de la faible emprise disponible, il s'agira d'un ouvrage de soutènement provisoire de type écran.

Compte tenu des dimensions limitées de l'ouvrage, il a été convenu avec la Maîtrise d'œuvre que nous nous limiterions dans le cadre de notre étude à fournir une ébauche dimensionnelle permettant de fixer les hypothèses géotechniques nécessaires au dimensionnement du soutènement provisoire.

Le modèle géotechnique retenu au stade PRO est le suivant :

Couche	Cote de la base	γ (kN/m ³)	γ' (kN/m ³)	p_l^* (MPa)	E_M (MPa)	α ⁽¹⁾	ϕ' (°)	c' (kPa)
Remblais hétérogènes	248.1	19	9	0.6	6	0.50	30	2

(1) : Coefficient rhéologique

Les actions de poussée et de butée sont déterminées à partir des coefficients de poussée et de butée données par Kérisel et Absi, en considérant $\delta_a = 1/3$ en poussée et $\delta_p = -2/3$ en butée.

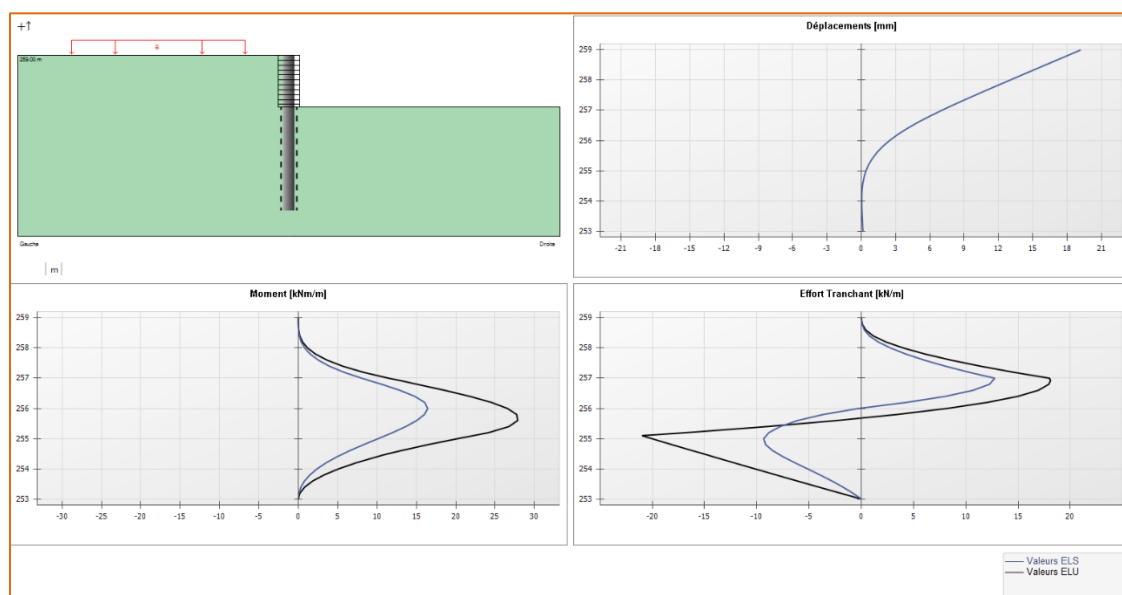
Une surcharge de circulation sera à considérer en amont. Celle-ci devra être précisée par le Maître d'œuvre avant le lancement du DCE.

En première approche, une paroi berlinoise constituée de HEB 200 de 6.0 m de long espacés de 2 m entre-axes permet de répondre aux exigences des Eurocodes vis-à-vis de la stabilité, pour les hypothèses susmentionnées.

Il a été considéré pour les besoins de l'étude une surcharge de circulation en amont de 20 kPa.

Le déplacement maximum calculé en tête de l'ouvrage est de 20 mm.

Le maître d'œuvre et/ou le maître d'ouvrage devra préciser le déplacement limite de l'écran vis-à-vis des infrastructures et ouvrages avoisinants.



Extrait de calcul K-REA

E.4. Remblaiement du mur

Le remblaiement du mur devra satisfaire aux exigences de portance, déformabilité et pérennité requises pour le projet. Il s'agira d'un remblai technique qui supportera la future piste cyclable et des ouvrages légers de signalisation.

Les matériaux seront mis en œuvre conformément aux prescriptions du GTR et du guide SETRA « Construire des remblais contigus aux ouvrages d'art - murs de soutènements et culées de pont » (janvier 2012).

Le remblaiement devra faire l'objet d'une étude détaillée et d'une procédure d'exécution, établies dans le cadre de la mission G3 à la charge de l'entreprise.

Les matériaux en place ne pourront pas être réutilisés pour les remblais contigus.

Les matériaux constituant les remblais contigus doivent être non évolutifs, non gonflants, insensibles à l'eau, non érodables et présenter des paramètres physico-chimiques non agressifs vis à vis du béton et des armatures.

L'angle de frottement et la masse volumique du matériau retenus lors du calcul de l'ouvrage doivent être aussi proches que possible de l'angle de frottement et de la masse volumique du matériau mis en œuvre. Il a été retenu par INGEROP un angle de frottement interne de 33° et un poids volumique humide de 20 kN/m³ pour les calculs.

Une qualité de compactage q3 est prescrite pour l'ensemble des remblais contigus, sur toute la hauteur, afin d'assurer la transition entre le point dur que représente la structure et le remblai.

On portera une attention particulière à l'intensité de compactage afin de ne pas générer des efforts de poussée supérieurs à ceux pris en compte dans le calcul du mur et à ne pas induire de vibrations susceptibles d'impacter les avoisinants (ouvrage d'art sur le Gier, talus, ...).

En ce sens, le compactage sera réalisé préférentiellement au moyen de compacteurs légers.

La qualité du compactage réalisé devra faire l'objet de contrôles au pénétrodensitographe à énergie constante. On prévoira au moins 3 profils sur la longueur du mur M3.

Dans le cas où un réemploi des matériaux du site serait envisagé pour les remblais courants, l'entreprise devra prévoir, dans le cadre de la mission G3, la réalisation d'essais en laboratoire préalablement à la réalisation des travaux, afin d'identifier précisément les matériaux réutilisables, de définir les mesures spécifiques éventuelles (élimination des éléments grossiers, ajustement de l'état hydrique, ...) et les modalités de mise en œuvre.

Une grille de décision pour la réutilisation des matériaux, tenant compte de leur nature et de leur état hydrique au moment du chantier, devra être établie par l'Entreprise et validée par la Maitrise d'Œuvre avant le début du chantier.

E.5. Dispositions vis-à-vis des eaux souterraines

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

Les niveaux caractéristiques de nappe retenus en phase AVP sont repris dans le §C.3.

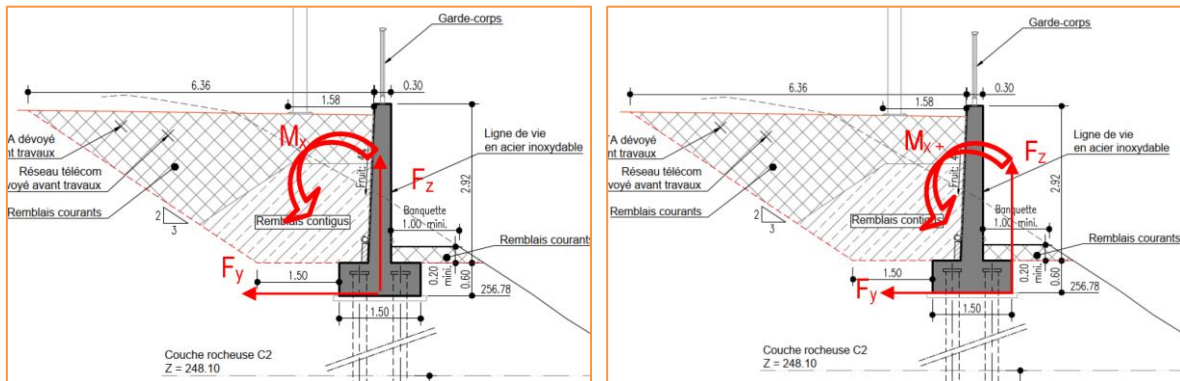
Nota : quelles que soient les dispositions de gestion des eaux mises en œuvre, il conviendra de vérifier que ces dispositions respectent la réglementation en vigueur (notamment loi sur l'eau et les milieux aquatiques).

F. FONDATIONS PROFONDES PAR MICROPIEUX

F.1. Données d'entrée

La semelle du mur de soutènement sera fondée sur 2 lignes de micropieux espacées de 0.75 m entraxes (cf [5]).

INGEROP nous a transmis les descentes de charges combinées à considérer en milieu et en avant de semelle, au droit des profils 1, 2 et 14.



Repères associés aux DDC transmises [4]

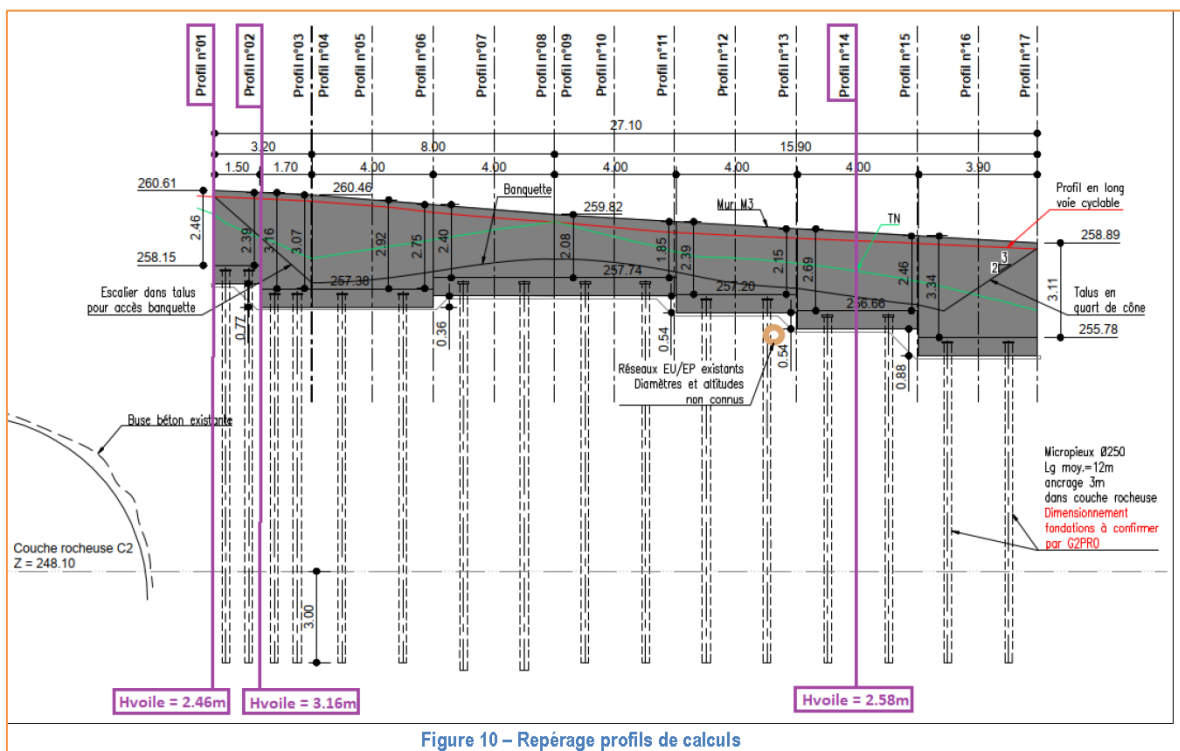


Figure 10 – Repérage profils de calculs

Extrait de la DDC [4]

Les appuis étudiés dans le cadre du présent prédimensionnement sont les appuis suivants :

- Micropieux avant du Profil 1, désignés ci-après par PI_A
- Micropieux arrière du Profil 1, désignés ci-après par PI_B
- Micropieux avant du Profil 14, désignés ci-après par PI4_A
- Micropieux arrière du Profil 14, désignés ci-après par PI4_B
- Micropieux avant du Profil 1/3*, désignés ci-après par PI/3_A
- Micropieux arrière du Profil 1/3*, désignés ci-après par PI/3_B

On considère un plan de référence aux cotes suivantes, correspondant aux niveaux supposés de la plateforme de travail (PFT) pour la réalisation des fondations profondes :

- Profil I : 258.15 m NGF
- Profil I4 : 256.66 m NGF
- Profil I/3* : 254.75 m NGF

**Dans un objectif d'optimisation, on étudie également ci-après la fusion des 2 semelles entre P1 et P3, dans l'hypothèse d'un niveau d'arase moyen de 254.75 m NGF et en considérant de façon sécuritaire la descente de charge du profil 2.*

F.2. Modèle géotechnique

Le modèle géotechnique retenu au stade PRO est le suivant.

N°	Couche	Cote de la base (m NGF)	Classe de sol (NF P94-262)	pl* (MPa)	pf* (MPa)	E _M (MPa)	α
1	Remblais hétérogènes	248.1 à 245.3	Sables et graves moyennement denses	0.7	0.4	7	0.50
2	Substratum conglomératique et schisto-gréseux	< 239.8	Rocher fragmenté	4.5	4.0	100	0.50

Nota : Le modèle ci-dessus est un modèle géotechnique de calcul qui considère des valeurs fixes pour les cotes/profondeurs des interfaces, ceci pour les besoins des justifications. Dans la réalité, ces cotes/profondeurs d'interfaces peuvent être variables selon les emplacements des micropieux. Des adaptations resteront donc nécessaires lors de la réalisation des micropieux, notamment pour garantir le respect de la longueur dans la couche d'ancrage.

Le pendage vers l'Est mis en évidence lors de nos sondages est notamment à prendre en compte.

F.3. Caractéristiques des micropieux

Il est étudié le cas de micropieux de type II (de classe Ibis et de catégorie I8 selon la norme NF P94-262).

La longueur des micropieux dépendra des charges à reprendre. Néanmoins, quelles que soient les descentes de charges, les micropieux devront être ancrés d'au moins 2.0 m dans le substratum (formation 2).

Nous attirons l'attention sur les fluctuations observées du toit de la couche d'ancrage à l'échelle du terrain du projet, en plus ou en moins. Les moyens d'exécution devront permettre de s'adapter à ces fluctuations lors de l'exécution pour respecter les critères d'ancrage.

Les armatures envisagées présentent les caractéristiques suivantes :

- Tube creux ;
- Acier N80 ($f_y \geq 560$ MPa) ;
- Diamètre extérieur (mm) / épaisseur (mm) : 73 / 7.5
- On tient compte d'une épaisseur sacrifiée à la corrosion de 2.2 mm (cas des remblais non compactés et non agressifs et d'une durée de 100 ans).

F.4. Prédimensionnement

F.4.1. Remarque préliminaire

Les éléments de prédimensionnement présentés ci-après sont fournis pour les profils n°1 et 14, à titre d'exemple.

Le dimensionnement final des fondations devra être réalisé pour tous les appuis et tenir compte de l'ensemble des efforts appliqués aux fondations (y compris efforts horizontaux et moments éventuels) pour la totalité des combinaisons aux différents états limites. Il devra également inclure les vérifications de la résistance structurale des fondations. Il est à réaliser au plus tard au stade des études d'exécution.

F.4.2. Calculs vis-à-vis des efforts axiaux (GEO)

Pour le calcul de la résistance « géotechnique » (GEO), on utilise la procédure « modèle de terrain » et la méthode pressiométrique (NF P94-262).

Compte tenu de la nature des terrains, les coefficients de modèle suivants ont été retenus :

- $\gamma_{R;d1} = 1.45$ (en compression) et 1.75 (en traction)
- $\gamma_{R;d2} = 1,1$ (en compression et en traction)

Pour déterminer les valeurs de flottement axial q_s des micropieux de type II, nous avons considéré une technologie d'exécution assimilable à celle des pieux forés boue (FB).

Compte tenu de la présence du talus et des résultats des essais au pénétromètre dynamique, on néglige le frottement jusqu'à 3 m de profondeur.

Les paramètres de calculs et les résistances obtenues pour différentes longueurs sont fournies ci-après.

PROFIL P1

	PYXIS par fondasol	Calcul de la résistance d'un pieu selon les prescriptions de la norme NF P94-262 (2e tirage) + A1 Procédure "modèle de terrain" et méthode pressiométrique (annexe F)
RÉFÉRENCE : PR.RAGT.25.374	PROJET : GENILAC - Mur M3	OUTIL : Fondations Profondes v1.9
NOM DU CALCUL : Micropieux - Profil 1		

1. CARACTÉRISTIQUES DU PIEU

DIAMÈTRE DE FORAGE :	B = 150 mm
PÉRIMÈTRE FROTTANT :	P _s = 47 cm
SURFACE DE LA BASE :	A _b = 176,7 cm ²
LONGUEUR DU PIEU DANS LE TERRAIN :	D = 14,70 m
COTE DE LA TÊTE DU PIEU :	Z _{tête} = 258,00 m
COTE DE LA BASE DU PIEU :	Z _{base} = 243,30 m
CATÉGORIE DU PIEU :	18 M2
CLASSE :	1 bis
TECHNIQUE :	Micro pieu type II
NORME D'EXÉCUTION :	NF EN 1536/14199/12699
MISE EN OEUVRE :	Sans refoulement du sol
CATÉGORIE PROCHE DU PIEU (pour q _s) :	FB
EFFET DE GROUPE :	Non
CHOIX MÉTHODE COEFFICIENTS DE MODÈLES (EN FROTTEMENTS) :	Application globale

2. MODÈLE GÉOTECHNIQUE

N°	COUCHE	Classes de sol selon B.2.1	Z _{inf} m	P _{LM} * MPa	Ép. couche m	Long. pieu m	P _{le} * MPa	k _p -	q _s kPa
1	Remblais (négligés)	Sols intermédiaires sableux	255,15	0,40	3,00	2,85			0 (**)
2	Remblais	Sols intermédiaires sableux	245,30	0,70	9,85	9,85			53
3	Substratum (conglomérats et schistes gréseux)	Rochers	235,00	4,50	10,30	2,00	4,50		199

(**) Paramètres imposés par l'utilisateur

3. RÉSULTATS

DIAMÈTRE DU PIEU B : 150 mm

LONGUEUR DU PIEU D : 14.70m par rapport à la cote de référence à 258.00m (ancrage de 2.00m dans la couche n° 3 - Substratum (conglomérats et schistes gréseux)).

ÉTAT LIMITE		PORTANCE (COMPRESSION)	RÉSISTANCE DE TRACTION
ELS	CARACTÉRISTIQUES	R _{ccrd} = 219 kN	R _{tcrd} = -148 kN
	QUASI-PERMANENTS	R _{ccrd} = 179 kN	R _{tcrd} = -108 kN
ELU	FONDAMENTAUX	R _{cd} = 256 kN	R _{td} = -202 kN
	SISMIQUES	R _{cd} = 256 kN	R _{td} = -202 kN
	ACCIDENTELS	R _{cd} = 282 kN	R _{td} = -221 kN

4. ÉTUDE PARAMÉTRIQUE

4.2 EN FONCTION DU DIAMÈTRE

LONGUEUR DU PIEU D : 14.70m par rapport à la cote de référence à 258.00m (ancrage de 2.00m dans la couche n° 3 - Substratum (conglomérats et schistes gréseux)).

	DIAMÈTRE (mm)	B =	150	200	250
PORTANCE (COMPRESSION) (en kN)					
ELS	CARACTÉRISTIQUES	R _{ccrd} =	219	292	365
	QUASI-PERMANENTS	R _{ccrd} =	179	239	299
ELU	FONDAMENTAUX	R _{cd} =	256	341	427
	SISMIQUES	R _{cd} =	256	341	427
	ACCIDENTELS	R _{cd} =	282	375	469
RÉSISTANCE DE TRACTION (en kN)					
ELS	CARACTÉRISTIQUES	R _{tcrd} =	-148	-197	-246
	QUASI-PERMANENTS	R _{tcrd} =	-108	-144	-180
ELU	FONDAMENTAUX	R _{td} =	-202	-269	-336
	SISMIQUES	R _{td} =	-202	-269	-336
	ACCIDENTELS	R _{td} =	-221	-294	-368

PROFIL PI4

 PYXIS par fondasol	Calcul de la résistance d'un pieu selon les prescriptions de la norme NF P94-262 (2e tirage) + A1 Procédure "modèle de terrain" et méthode pressiométrique (annexe F)		
	RÉFÉRENCE : PR.RAGT.25.374 NOM DU CALCUL : Micropieux - Profil 14	PROJET : GENILAC - Mur M3	OUTIL : Fondations Profondes v1.9

1. CARACTÉRISTIQUES DU PIEU

DIAMÈTRE DE FORAGE :	B = 200 mm
PÉRIMÈTRE FROTTANT :	P _s = 63 cm
SURFACE DE LA BASE :	A _b = 314,2 cm²
LONGUEUR DU PIEU DANS LE TERRAIN :	D = 11,50 m
COTE DE LA TÊTE DU PIEU :	Z _{tête} = 256,50 m
COTE DE LA BASE DU PIEU :	Z _{base} = 245,00 m
CATÉGORIE DU PIEU :	18 M2
CLASSE :	1 bis
TECHNIQUE :	Micro pieu type II
NORME D'EXÉCUTION :	NF EN 1536/14199/12699
MISE EN ŒUVRE :	Sans refoulement du sol
CATÉGORIE PROCHE DU PIEU (pour q _d) :	FB
EFFET DE GROUPE :	Non
CHOIX MÉTHODE COEFFICIENTS DE MODÈLES (EN FROTTEMENTS) :	Application globale

2. MODÈLE GÉOTECHNIQUE

N°	COUCHE	Classes de sol selon B.2.1	Z _{inf} m	P _{LM} * MPa	Ép. couche m	Long. pieu m	P _{le} * MPa	k _p -	q _s kPa
1	Remblais (négligés)	Sols intermédiaires sableux	253,66	0,70	3,00	2,84			0 (**)
2	Remblais	Sols intermédiaires sableux	247,00	0,70	6,66	6,66			53
3	Substratum (conglomérats et schistes gréseux)	Rochers	235,00	4,50	12,00	2,00	4,50		199

(**) Paramètres imposés par l'utilisateur

3. RÉSULTATS

DIAMÈTRE DU PIEU B : 200 mm

LONGUEUR DU PIEU D : 11.50m par rapport à la cote de référence à 256.50m (ancrage de 2.00m dans la couche n° 3 - Substratum (conglomérats et schistes gréseux)).

ÉTAT LIMITE		PORTANCE (COMPRESSION)	RÉSISTANCE DE TRACTION
ELS	CARACTÉRISTIQUES	R _{c,cr,d} = 238 kN	R _{t,cr,d} = -161 kN
	QUASI-PERMANENTS	R _{c,cr,d} = 195 kN	R _{t,cr,d} = -118 kN
ELU	FONDAMENTAUX	R _{cd} = 279 kN	R _{td} = -219 kN
	SISMIQUES	R _{cd} = 279 kN	R _{td} = -219 kN
	ACCIDENTELS	R _{cd} = 306 kN	R _{td} = -240 kN

4. ÉTUDE PARAMÉTRIQUE

4.1 EN FONCTION DE LA LONGUEUR

DIAMÈTRE DU PIEU B : 200 mm

LONGUEUR DU PIEU (m)		D =	11,50	12,00	12,50	13,00				
NUMÉRO DE LA COUCHE D'ANCRAGE			3	3	3	3	1	1	1	1
HAUTEUR DANS LA COUCHE D'ANCRAGE (m)			2.00	2.50	3.00	3.50				
PORTANCE (COMPRESSION) (en kN)										
ELS	CARACTÉRISTIQUES	R _{c,cr,d} =	238	270	301	333				
	QUASI-PERMANENTS	R _{c,cr,d} =	195	221	247	272				
ELU	FONDAMENTAUX	R _{cd} =	279	315	352	389				
	SISMIQUES	R _{cd} =	279	315	352	389				
	ACCIDENTELS	R _{cd} =	306	347	388	428				
RÉSISTANCE DE TRACTION (en kN)										
ELS	CARACTÉRISTIQUES	R _{t,cr,d} =	-161	-182	-203	-224				
	QUASI-PERMANENTS	R _{t,cr,d} =	-118	-133	-149	-165				
ELU	FONDAMENTAUX	R _{td} =	-219	-248	-278	-307				
	SISMIQUES	R _{td} =	-219	-248	-278	-307				
	ACCIDENTELS	R _{td} =	-240	-272	-304	-336				

4.2 EN FONCTION DU DIAMÈTRE

LONGUEUR DU PIEU D : 11.50m par rapport à la cote de référence à 256.50m (ancrage de 2.00m dans la couche n° 3 - Substratum (conglomérats et schistes gréseux)).

DIAMÈTRE (mm)		B =	200	150	250
PORTANCE (COMPRESSION) (en kN)					
ELS	CARACTÉRISTIQUES	R _{Ccr,d} =	238	179	298
	QUASI-PERMANENTS	R _{Ccr,d} =	195	146	244
ELU	FONDAMENTAUX	R _{cd} =	279	209	348
	SISMIQUES	R _{cd} =	279	209	348
	ACCIDENTELS	R _{cd} =	306	230	383
RÉSISTANCE DE TRACTION (en kN)					
ELS	CARACTÉRISTIQUES	R _{tcr,d} =	-161	-120	-201
	QUASI-PERMANENTS	R _{tcr,d} =	-118	-88	-147
ELU	FONDAMENTAUX	R _{td} =	-219	-165	-274
	SISMIQUES	R _{td} =	-219	-165	-274
	ACCIDENTELS	R _{td} =	-240	-180	-300

F.4.3. Calculs vis-à-vis des efforts transversaux

Les calculs sont réalisés en modélisant le micropieu comme une poutre sur appuis élasto-plastiques.

Les lois d'interaction retenues (selon l'annexe I de la norme NF P 94-262 et le Cahier Technique 38 de l'AFPS) sont les suivantes :

- Aux ELS : Loi d'interaction relative aux sollicitations de longue durée d'application
- Aux ELU fond : Loi d'interaction relative aux sollicitations de longue durée d'application
- Aux ELU sism : Loi d'interaction avec un module de réaction K_f pris égal à $3 \times K_f$ avec K_f le module de réaction relatif aux sollicitations de courte durée d'application, et un palier $r_2 = B \cdot p_l^*$

On tient compte des réductions du module et du palier à proximité de la surface, selon les indications de la norme NF P94-262 (I.1.6), en considérant un sol frottant (réduction sur une hauteur de $4 \times B = 0.8$ m à partir de la surface). Aux ELU sism, la réduction n'est appliquée qu'au module.

Les têtes des micropieux sont considérées à plus de $5 \times B = 1.0$ m du niveau fini extérieur du talus, correspondant à la largeur de la banquette. Dans le cas contraire, il faudra tenir compte d'une réduction du palier, conformément aux indications de la norme NF P94-262 (I.1.5), en considérant un angle de talus de 30° par rapport à l'horizontale.

Les micropieux sont considérés articulés en tête (rotations non bloquées), à confirmer par le BET Structure.

Il n'est pas pris en compte d'interaction entre les comportements horizontaux des différents micropieux, ce qui suppose qu'ils sont espacés d'au moins 3 diamètres (entraxe).

Les résultats du prédimensionnement aux ELS caractéristiques pour les appuis étudiés sont présentés dans le tableau ci-dessous :

N° profil / Longueur semelle	Caractéristiques des micropieux					Efforts au centre de la semelle			Résultats						
	Nb. de micropieux par semelle	Diam. forage (mm)	Armature Dext. / ep. (mm / mm)	Cote de la tête (m NGF)	Longueur indicative (m)	Effort Vertical V (kN)	Effort horizontal H (kN)	Moment M (kN.m)	Mipx concernés (2 / ligne)	Effort Normal max (kN)	Effort tranchant max (kN)	Moment fléchissant max (kN.m)	Plastification du sol	Ordre de grandeur des déplacements en tête de micropieu (cm)	Contrainte max ELU dans l'armature (Von Mises) (MPa)
PI / 1.5 m	4	150	73 / 7.5	258.0	14.7	117	48	56	PI_A	50	12	2	Oui	0.6	184
									PI_B	8	12	2	Oui	0.6	144
PI4 / 4.0 m	4	200	127 / 9.0	256.5	11.5	321	138	109	PI4_A	152	35	12	Oui	1.2	389
									PI4_B	9	35	12	Oui	1.2	302
PI/3 / 3.2 m	4	200	139.7 / 9.0	257.7	14.4	293	151	145	PI/3_A	169	38	14	Oui	1.2	365
									PI/3_B	-22	38	14	Oui	1.2	271

Nota I : L'admissibilité des déplacements calculés devra être vérifiée par le BET Structure. Si les valeurs indiquées ci-dessus sont jugées non acceptables, il conviendra d'adapter le dimensionnement, en prévoyant des micropieux pieux de plus gros diamètre, des renforts d'armature et/ou plusieurs pieux par appuis.

Nota 2 : Les moments fléchissants et efforts tranchants calculés et indiqués ci-dessus n'incluent pas l'effet des moments induits par les imperfections géométriques liées aux tolérances d'exécution. Si ces derniers ne sont pas repris par la structure et/ou des longrines de redressement, ils devront être pris en compte dans la justification des micropieux.

F.4.4. Eléments de vérification de la résistance structurale (STR)

Au stade du prédimensionnement, nous proposons de généraliser l'approche simplifiée indiquée dans la norme NF P94-262+AI pour les micropieux travaillant en compression simple et pour lesquels l'assemblage se fait par contact sur sections planes coupées d'équerre avec manchon (ou mamelon) de guidage fileté ou soudé.

Ainsi, à ce stade, on vérifie que la contrainte maximale dans les tubes reste inférieure à $0,75 f_y / \gamma_{Rd} = 0,75 \times 560 / 1,1 = 382 \text{ MPa}$ aux ELU Fond et Sism.

Pour les appuis et les cas de charges étudiés, on obtient une contrainte maximale dans les armatures de 217 MPa en prenant en compte la section corrodée (voir tableau dans le paragraphe précédent), ce qui est satisfaisant.

Au stade des études d'exécution, les vérifications de la résistance structurale des armatures (y compris assemblages) devront être effectuées conformément aux prescriptions des normes en vigueur (Eurocode 3 notamment).

F.4.5. Vérification spécifique du flambement

La vérification vis-à-vis du flambement est réalisée en considérant les hypothèses suivantes :

- Sollicitations de longue durée d'application ;
- Liaison articulée en tête (rotations non bloquées) ;
- Prise en compte d'une dégradation du module de réaction du sol près de la surface, sur une hauteur de 0.8 m sous la tête du micropieu.

Le calcul est réalisé à l'aide de FOXTA (module PIECOEF +).

On obtient une charge critique de flambement de 1043 kN, soit un coefficient de sécurité de 6 vis-à-vis de la charge maximale à l'ELS, ce qui est satisfaisant.

F.4.6. Prise en compte d'efforts particuliers éventuels

Selon les documents actuellement en notre possession, le projet ne prévoit pas de surcharges significatives à proximité des micropieux.

Toutefois, si l'application de surcharges significatives était envisagée, le tassement et le déplacement horizontal du sol devraient être évalués. Et, le cas échéant, des effets induits (efforts de frottement négatif, sollicitations liées au déplacement horizontal du sol, etc.) devront être pris en compte dans le dimensionnement des micropieux.

F.4.7. Synthèse du prédimensionnement

Compte tenu des descentes de charges et des calculs présentés ci-dessus, on pourra retenir le prédimensionnement présenté dans le tableau ci-après, pour les profils étudiés.

N° micropieu	ELS CAR		ELU FOND		ELU SIS		Nb. de micropieux par ligne	Diamètre des micropieux (mm)	Ancrage dans formation 2 (m)	Longueur (m) / PFT ⁽¹⁾
	V (kN)	H (kN)	V (kN)	H (kN)	V (kN)	H (kN)				
PI_A	50	12	75	16	63	16	2	150	2.0	14.7
PI_B	8	12	4	16	-8	16	2	150	2.0	14.7
PI4_A	152	35	215	47	184	45	2	200	2.0	11.5
PI4_B	9	35	2	47	-33	45	2	200	2.0	11.5
PI/3_A	167	38	228	51	222	50	2	200	2.0	14.4
PI/3_B	-22	38	-30	51	-83	50	2	200	2.0	14.4

⁽¹⁾ Longueur théorique indicative par rapport à la plateforme de travail. Lors de l'exécution, la longueur des pieux est à adapter de façon à respecter notamment l'ancrage prescrit.

Nota : L'effet de groupe n'a pas été pris en compte, ce qui suppose que les pieux sont distants d'au moins 3 diamètres (entraxe).

F.5. Dispositions constructives

Le centrage de l'armature dans le forage ainsi que l'enrobage de coulis doivent être assurés grâce à des écarteurs et à des centreurs disposés à des intervalles réguliers.

Le coulis de scellement devra être résistant aux éventuelles agressions chimiques du milieu encaissant. La caractérisation de l'agressivité potentielle du milieu (sol, eau) nécessite des analyses spécifiques.

La semelle de liaison entre fondations profondes (chevêtres et longrines) devra être conçue et dimensionnée pour reprendre les moments induits par les imperfections géométriques liées aux tolérances d'exécution. Dans le cas contraire, ils devront être pris en compte dans la justification des micropieux.

La conception des liaisons horizontales entre fondations devra être conforme aux règles de conception parasismique (notamment à l'article 5.4.1.2 de la NF EN 1998-5).

F.6. Sujétions d'exécution

On prévoira l'empierrement de la piste en matériaux granulaires pour assurer la traficabilité de la machine de fondations spéciales et des autres engins.

Les micropieux devront être réalisés par une entreprise spécialisée en respectant les prescriptions de la norme NF EN 14199.

L'entreprise devra mettre en œuvre les moyens nécessaires et suffisants pour réaliser les micropieux permettant de répondre aux objectifs du projet (c'est-à-dire notamment pour traverser les différentes couches de terrains et réaliser les ancrages correspondant aux capacités portantes retenues et pour garantir l'enrobage minimal des armatures).

On tiendra compte notamment des points suivants :

- la présence de l'ouvrage d'art sur le Gier en limite Sud du projet (Profil I) ;
- la présence possible de blocs et/ou de vestiges d'ouvrages enterrés dans les remblais ;
- l'existence possible de vides résiduels dans les remblais ;
- la présence d'éléments grossiers de grandes dimensions (cailloux, blocs) qui peuvent être très durs et très abrasifs dans le substratum (schistes et conglomérats) et son horizon d'altération ;
- la très forte compacité du substratum ($p_l^* > 4.5 \text{ MPa}$, $E_M > 100 \text{ MPa}$) ;
- la présence de la nappe ;
- la présence du talus en forte pente ;
- la présence de réseaux au droit du projet.

La méthodologie d'exécution ne devra pas faire chuter la résistance d'interaction terrain-micropieux.

Des surconsommations de coulis sont à attendre, notamment dans les remblais, ainsi qu'en cas de fracturation du substratum et de circulations d'eau.

La longueur réelle des micropieux devra être adaptée lors de l'exécution en fonction des variations des horizons, notamment en fonction de la profondeur du toit de la couche d'ancrage, de manière à respecter les critères d'ancrage minimum retenus dans les calculs.

F.7. Dispositions et sujétions particulières vis-à-vis de l'ouvrage d'art sur le Gier

Des dispositions et précautions devront être prises pour éviter tout désordre dans les infrastructures et/ou ouvrages existants. Celles-ci devront notamment permettre de maîtriser les vibrations, de limiter des déformations du sol supportant les existants à des valeurs très faibles et acceptables par ceux-ci et d'éviter toute action ou sollicitations préjudiciables pour les existants. Il conviendra notamment :

- De s'assurer de ne pas intercepter la structure en béton de l'ouvrage ;
- Si nécessaire, de mettre en œuvre des mesures de protection des ouvrages existants, selon leur vulnérabilité et leur sensibilité aux vibrations et/ou aux déformations, à définir par un BET Structure ;
- De maîtriser les vibrations ;
- De s'assurer que l'injection ne risque pas d'avoir d'effets préjudiciables sur les existants, en cas d'injection de coulis sous pression.

A noter que la présence de vestiges d'ouvrages provisoires mis en œuvre lors de la construction de l'ouvrage d'art sur le Gier ne peut pas être exclue. Dans ce cas, des adaptations seront nécessaires en phase EXE, à préciser dans le cadre de la mission G3 le cas échéant.

Dans tous les cas, et compte tenu des incertitudes relatives à l'ouvrage, on s'assurera de conserver une distance d'au moins 1.5 m entre le nu extérieur théorique de la buse et les micropieux. En ce sens, la déviation des micropieux les plus proches devra être maîtrisée au maximum et limitée à 1%.

F.8. Surveillance, essais et contrôles

Le suivi géotechnique d'exécution devra être réalisé par l'entreprise dans le cadre d'une mission G3 selon la norme NF P94-500 (on rappelle le caractère interactif des phases Etude et Suivi de la mission G3).

Le suivi devra être continu et aura notamment pour objectifs de :

- Vérifier la conformité du contexte géologique réellement rencontré avec celui pris en compte dans la phase Étude ;
- Suivre le programme d'auscultations et de contrôles ;
- Définir les adaptations à réaliser dans le cas d'écart avec le contexte géologique pris en compte dans la phase Etude.

La surveillance, les essais et les contrôles devront être réalisés selon les prescriptions des normes NF P94-262+A1 et NF EN 14199.

Des essais d'étalonnage en début de chantier, à proximité des sondages préalables, afin de valider le choix du matériel, vérifier la nature des terrains rencontrée et définir les modalités d'identification de la couche d'ancrage sont recommandés

Conformément à la norme NF P94-262+A1, des essais de conformité (essais d'arrachement menés à la rupture sur des micropieux sacrificiels) et/ou des essais de contrôle sur les micropieux de l'ouvrage doivent être réalisés. Le nombre d'essais devra être conforme aux prescriptions de la norme NF EN 14199. Ces essais devront faire l'objet d'une procédure d'exécution et de comptes rendus spécifiques.

L'entreprise devra établir un compte-rendu de chantier dont le contenu de devra être conforme à la norme NF EN 14199. Celui-ci devra notamment comprendre les fiches d'exécution des micropieux avec les enregistrements de paramètres de forage et les informations relatives à l'injection (volume et pression de mise en œuvre du coulis, ...) pour chacun des micropieux, et les résultats des essais de contrôle sur le coulis.

Un récolement précis des têtes de micropieux en X, Y et Z devra être réalisé après exécution et un plan de récolement devra être établi. On s'assurera que les éventuelles déviations ne dépassent pas les valeurs considérées dans les dimensionnements.

G. ENCHAINEMENT DES MISSIONS NORMALISEES

Le présent rapport conclut la phase PRO de la mission d'étude géotechnique de conception G2 confiée à Fondasol.

Selon la norme NF P94-500, cette phase est insuffisante pour consulter les entreprises ; elle doit être suivie de la phase DCE/ACT visant notamment à vérifier avant l'envoi du DCE aux entreprises, que les préconisations de l'étude G2 sont bien prises en compte dans les paragraphes du CCTP relatifs aux ouvrages géotechniques. Elle permet ensuite une assistance à l'analyse technique des offres (base et variantes éventuelles) lors de la phase ACT.

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

FONDASOL est à la disposition du Maître d'ouvrage et du Maître d'œuvre pour réaliser la mission d'étude G2 phase DCE/ACT et la mission G4.



ANNEXES

I. ENCHAINEMENT DES MISSIONS D'INGENIERIE GEOTECHNIQUE (NF P94-500) – I PAGE

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

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

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

Classification des missions d'ingénierie géotechnique en page suivante

Février 2014

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

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

ETAPE 1 : ETUDE GEOTECHNIQUE PRELABLE (G1)

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

Phase Étude de Site (ES)

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

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

Phase Principes Généraux de Construction (PGC)

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

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

ETAPE 2 : ETUDE GEOTECHNIQUE DE CONCEPTION (G2)

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

Phase Avant-projet (AVP)

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

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

Phase Projet (PRO)

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

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

Phase DCE / ACT

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

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

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

ETUDE ET SUIVI GEOTECHNIQUES D'EXECUTION (G3)

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

Phase Étude

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

Phase Suivi

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

SUPERVISION GEOTECHNIQUE D'EXECUTION (G4)

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

Phase Supervision de l'étude d'exécution

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

Phase Supervision du suivi d'exécution

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

A TOUTES ETAPES : DIAGNOSTIC GEOTECHNIQUE (G5)

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

- Définir, après enquête documentaire, un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Étudier un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques (par exemple soutènement, causes géotechniques d'un désordre) dans le cadre de ce diagnostic, mais sans aucune implication dans la globalité du projet ou dans l'étude de l'état général de l'ouvrage existant.

Si ce diagnostic conduit à modifier une partie du projet ou à réaliser des travaux sur l'ouvrage existant, des études géotechniques de conception et/ou d'exécution ainsi qu'un suivi et une supervision géotechniques seront réalisés ultérieurement, conformément à l'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étape 2 et/ou 3).

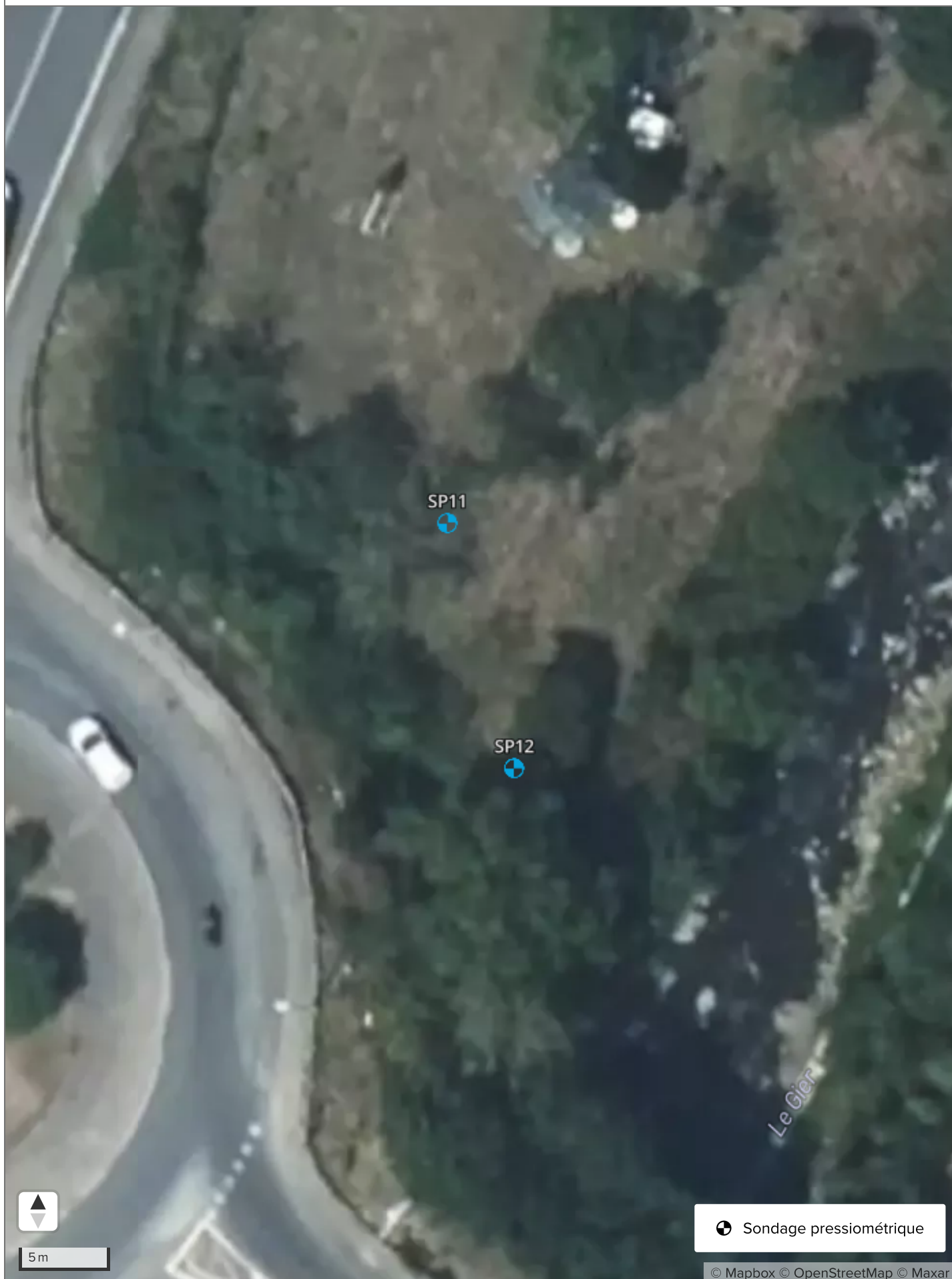
Février 2014

3. RESULTATS DES INVESTIGATIONS – 5 PAGES

PLAN DE LOCALISATION



PLAN D'IMPLANTATION





PLAN D'IMPLANTATION

Précision des relevés (X / Y)	Relevé par géomètre
Décimètre	Non
Système de coordonnées du projet	Nivellement
WGS 84	NGF

	WGS 84		
Nom	Longitude	Latitude	Élévation [m]
SP11	4,593872	45,520273	253,3
SP12	4,593919	45,520154	251,8

Aucun niveau stabilisé mesuré
soilcloud.tech

SP12				Longitude		Latitude		Système de coordonnées	
				4.593919		45.520154		WGS 84	
				Élévation		Nivellement		Angle	
				+251,8 m		NGF		-	
				Azimut				12,0 m	

4. SORTIES DE CALCULS – 11 PAGES

Données

Titre du projet : GENILAC - Mur M3

Numéro d'affaire : PR.RAGT.25.0374

Commentaires : N/A

Titre du calcul : Micropieux Profil 1 - ELScar (Cas1)

Mode général : Mode Groupie+

Mode Groupie+ : Mode simplifié

Pas maximal (m) : 0,50

Modifier les paramètres avancés : Non

Définition des pieux

N°	XP	YP	Cotetête	α	β	L	D	Liaison	Elx	Ely	ES	Γ
1	-0,38	-0,38	258,00	0,0	0,0	14,70	0,15	Articulé	1,12E02	1,12E02	2,21E05	1,00
2	-0,38	0,38	258,00	0,0	0,0	14,70	0,15	Articulé	1,12E02	1,12E02	2,21E05	1,00
3	0,38	-0,38	258,00	0,0	0,0	14,70	0,15	Articulé	1,12E02	1,12E02	2,21E05	1,00
4	0,38	0,38	258,00	0,0	0,0	14,70	0,15	Articulé	1,12E02	1,12E02	2,21E05	1,00

Raideurs additionnelles en pointe de pieux : Non

Type de courbe de réaction : À partir des données pressiométriques

Type de sollicitation latérale : Sollicitations permanentes en tête dominant

Cote de référence (m) : 258,00

Définition du sol

N°	Nom	Couleur	Cotebase	αY	αX	EM	α	pf*	pl*	qsl	Type de sol	qpl
1	Remblais (réduits)		257,20	0,0	0,0	4,90E03	0,50	4,00E02	7,00E02	0,10	Sol granulaire	0,10
2	Remblais		245,30	0,0	0,0	7,00E03	0,50	4,00E02	7,00E02	53,00	Sol granulaire	0,10
3	Substratum		230,00	0,0	0,0	1,00E05	0,50	4,00E03	4,50E03	199,00	Sol granulaire	0,10

Cas de chargement

N°	TX	MY	TY	MX	TZ	MZ
1	0,00	0,00	48,00	32,00	117,00	0,00



FoXta v4
v4.1.16

Imprimé le : 16/01/2026 - 11:21:30
Calcul réalisé par : FONDASOL

Projet : GROUPIE - Micropieux sous semelle
Module : Groupie+ (Cas 1/4)
Titre du calcul : Micropieux Profil 1 - ELScar

Efforts en tête des pieux

N° cas charge	N° pieu	T1	M1	T2	M2	Tz	Mz
1	1	-0,000	0,000	12,000	0,000	8,197	0,000
1	2	0,000	0,000	12,000	0,000	50,303	0,000
1	3	-0,000	0,000	12,000	0,000	8,197	0,000
1	4	0,000	0,000	12,000	0,000	50,303	0,000



FoXta v4
v4.1.16

Imprimé le : 16/01/2026 - 11:21:30
Calcul réalisé par : FONDASOL

Projet : GROUPIE - Micropieux sous semelle
Module : Groupie+ (Cas 1/4)
Titre du calcul : Micropieux Profil 1 - ELScar

Données

Titre du projet : GENILAC - Mur M3

Numéro d'affaire : PR.RAGT.25.0374

Commentaires : N/A

Titre du calcul : Micropieux Profil 14 - ELScar (Cas3)

Mode général : Mode Groupie+

Mode Groupie+ : Mode simplifié

Pas maximal (m) : 0,50

Modifier les paramètres avancés : Non

Définition des pieux

N°	XP	YP	Cotetête	α	β	L	D	Liaison	Elx	Ely	ES	Γ
1	-1,00	-0,38	256,50	0,0	0,0	11,50	0,20	Articulé	1,12E02	1,12E02	2,21E05	1,00
2	-1,00	0,38	256,50	0,0	0,0	11,50	0,20	Articulé	1,12E02	1,12E02	2,21E05	1,00
3	1,00	-0,38	256,50	0,0	0,0	11,50	0,20	Articulé	1,12E02	1,12E02	2,21E05	1,00
4	1,00	0,38	256,50	0,0	0,0	11,50	0,20	Articulé	1,12E02	1,12E02	2,21E05	1,00

Raideurs additionnelles en pointe de pieux : Non

Type de courbe de réaction : À partir des données pressiométriques

Type de sollicitation latérale : Sollicitations permanentes en tête dominant

Cote de référence (m) : 256,50

Définition du sol

N°	Nom	Couleur	Cotebase	αY	αX	EM	α	pf*	pl*	qsl	Type de sol	qpl
1	Remblais (réduits)		255,70	0,0	0,0	4,90E03	0,50	4,00E02	7,00E02	0,10	Sol granulaire	0,10
2	Remblais		247,00	0,0	0,0	7,00E03	0,50	4,00E02	7,00E02	53,00	Sol granulaire	0,10
3	Substratum		230,00	0,0	0,0	1,00E05	0,50	4,00E03	4,50E03	199,00	Sol granulaire	0,10

Cas de chargement

N°	TX	MY	TY	MX	TZ	MZ
1	0,00	0,00	138,00	109,00	321,00	0,00



FoXta v4
v4.1.16

Imprimé le : 16/01/2026 - 11:22:04
Calcul réalisé par : FONDASOL

Projet : GROUPIE - Micropieux sous semelle
Module : Groupie+ (Cas 3/4)
Titre du calcul : Micropieux Profil 14 - ELScar

Efforts en tête des pieux

N° cas charge	N° pieu	T1	M1	T2	M2	Tz	Mz
1	1	0,000	0,000	34,500	0,000	8,539	0,000
1	2	-0,000	0,000	34,500	0,000	151,961	0,000
1	3	0,000	0,000	34,500	0,000	8,539	0,000
1	4	-0,000	0,000	34,500	0,000	151,961	0,000



FoXta v4
v4.1.16

Imprimé le : 16/01/2026 - 11:22:04
Calcul réalisé par : FONDASOL

Projet : GROUPIE - Micropieux sous semelle
Module : Groupie+ (Cas 3/4)
Titre du calcul : Micropieux Profil 14 - ELScar

Données

Titre du projet : GENILAC - Mur M3

Numéro d'affaire : PR.RAGT.25.0374

Commentaires : N/A

Titre du calcul : Flambement micropieux P14 (Cas1)

Type de calcul : Calcul spécifique de flambement
Loi p-y avec saisie directe des données pressiométriques

Cote de référence (m) : 256,50

Inclinaison du pieu (°) : 0,0

Nb d'increments : 20

Nb d'itérations par incrément : 100

Prise en compte d'une dégradation à proximité de la surface : Oui

Cote du toit de la zone de dégradation (m) : 256.5

Cote de la base de la zone de dégradation (m) : 255.7

Définition des couches de sol

N°	Nom	Couleur	Zbase	EM	α	B
1	Remblais		247,00	7,00E03	0,50	0,20
2	Substratum		245,00	1,00E05	0,50	0,20

Prise en compte des déformations d'effort tranchant : Non

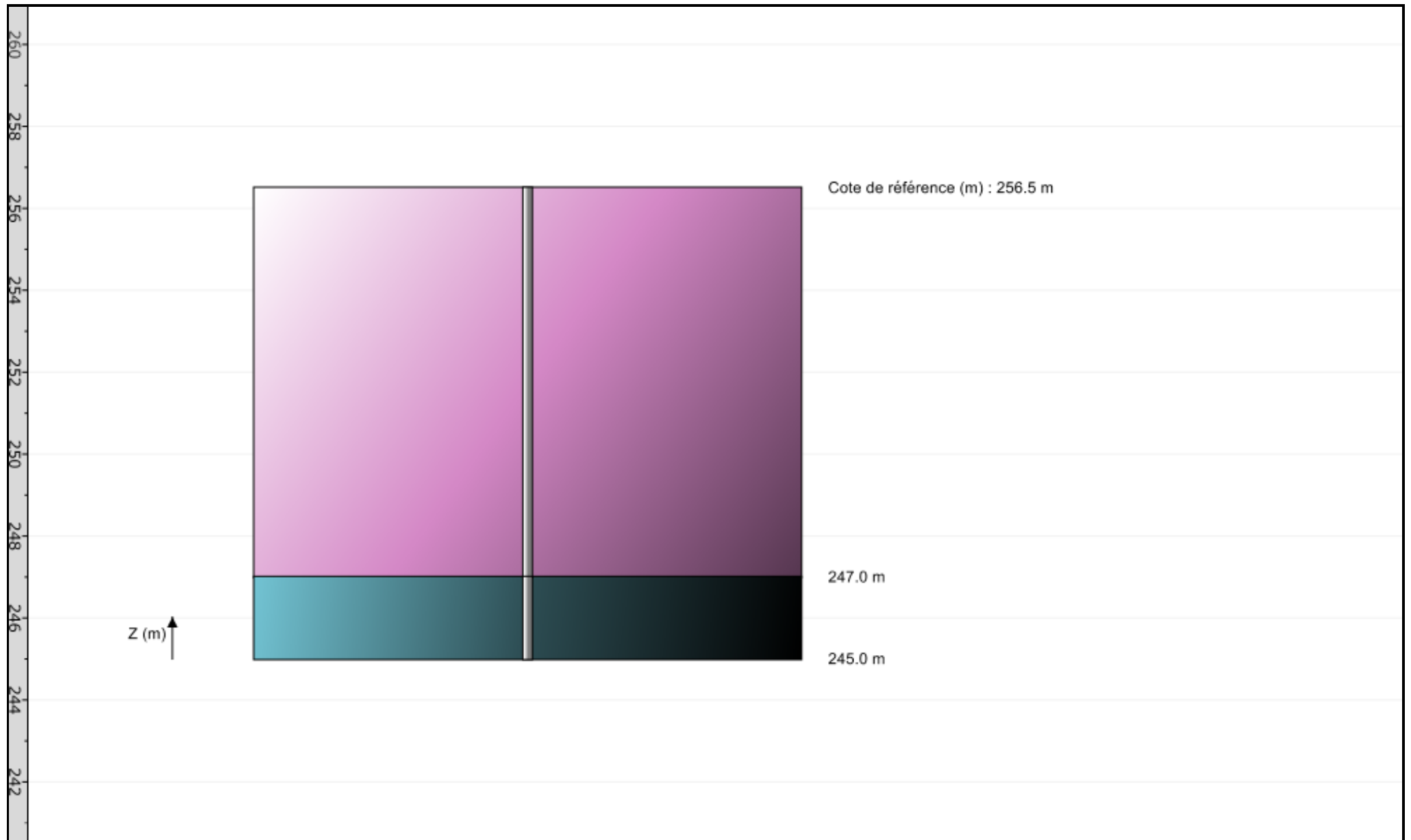
Discretisation

Nom	h	EI	n
Remblais	9,50	1,12E02	10
Substratum	2,00	1,12E02	10

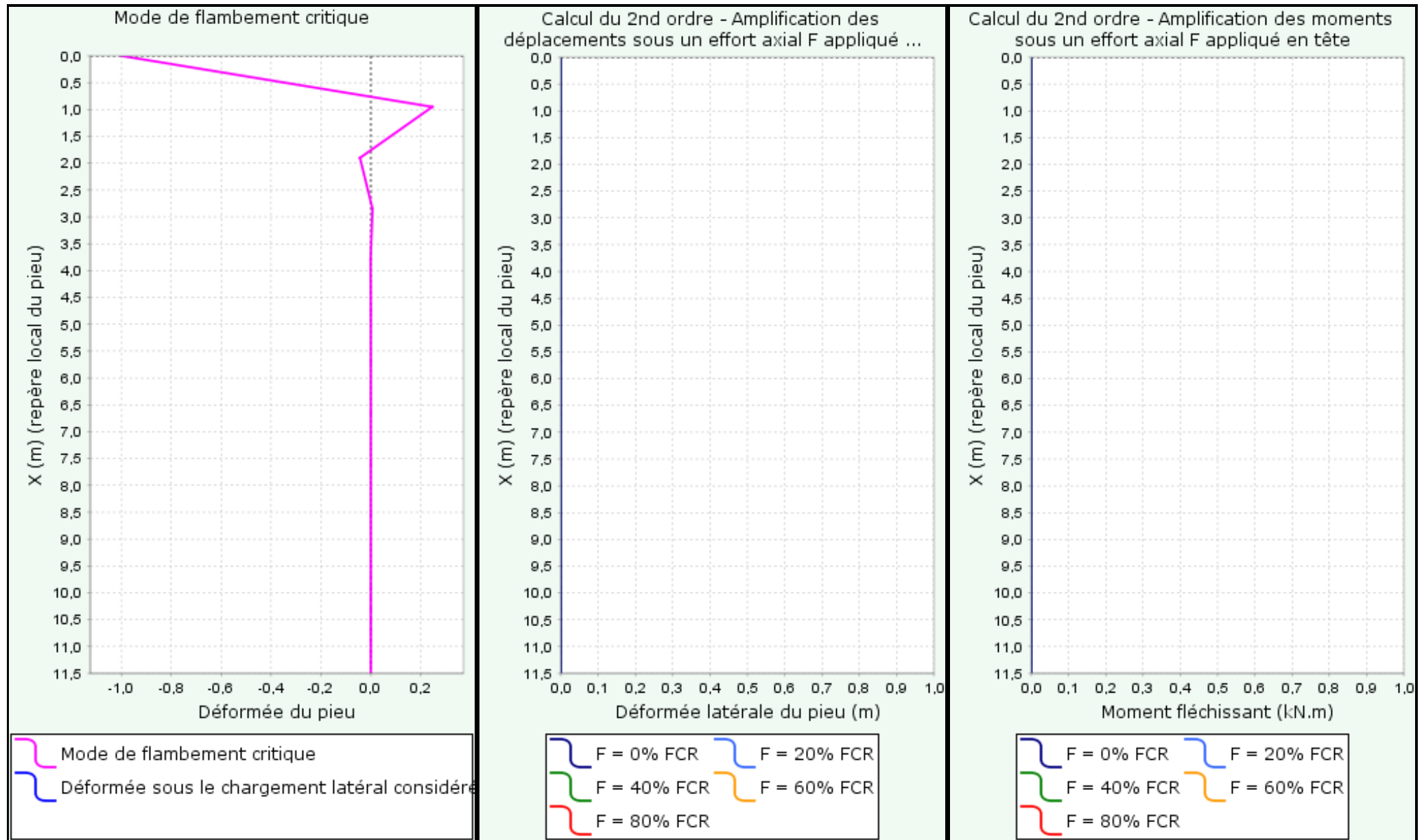
Charges ponctuelles

N°	Z	K	C
0	256,50	0,00E00	0,00E00
1	247,00	0,00E00	0,00E00
2	245,00	0,00E00	0,00E00

Onglet "Paramètres généraux"



Résultats de flambement (Charge critique de flambement FCR = 1043 kN)





v.5.0.12

AFFAIRE PR.RAGT.25.0374

GENILAC - SOUTÈNEMENT PROVISOIRE MUR M3

DONNEES

GENERALITES :

Système d'unités : Métrique, kN, kN/m² Niveau phréatique : 250.80 m
Poids volumique de l'eau : 10.00 kN/m³ Nombre d'itérations par phase de calcul : 100
Pas de calcul : 0.20 m Prise en compte moments 2 ordre : non
Définition du projet : Cotes

CARACTERISTIQUES DES COUCHES DE SOL :

Couche	z [m]	γ [kN/m ³]	γ' [kN/m ³]	φ [°]	c [kN/m ²]	dc [kN/m ² /m]	k0	kay	kpy	kd	kr	kac	kpc	kh [kN/m ² /m]	dkh [kN/m ² /m/m]	δa/φ	δp/φ	kay,min	P,max [kN/m/m]
Remblais hétérogènes	259.00	19.00	9.00	30.00	2.00	0.000	0.500	0.312	4.980	0.500	0.500	1.203	6.293	30270	0	0.333	-0.667	0.100	10000.00

Valeurs de calcul des paramètres de la loi de comportement

Couche	Comportement	MISS							MEL						
		φ,d [°]	c,d [kN/m ²]	dc,d [kN/m ² /m]	kay,d	kpy,d	kac,d	kpc,d	φ,d [°]	c,d [kN/m ²]	dc,d [kN/m ² /m]	kay,d	kpy,d	kac,d	kpc,d
Remblais hétérogènes	Drainé	30.00	2.00	0.000	0.312	4.980	1.203	6.293	30.00	2.00	0.000	0.312	4.980	1.203	6.293

CARACTERISTIQUES DE L'ECRAN :

Section	z,base [m]	EI [kNm ² /m]	W [kN/m/m]
1	253.00	5981	0.00

Cote de la tête de l'écran : z0 = 259.00 m



Calcul réalisé par : FONDASOL



K-Réa

v.5.0.12

AFFAIRE PR.RAGT.25.0374

GENILAC - SOUTÈNEMENT PROVISoire MUR M3

DONNEES

SURCHARGE BOUSSINESQ	Phase	Côté	z [m]	x [m]	L [m]	αe	q [kN/m/m]	Nature
1	P1	Gauche	259.00	1.50	6.00	1.000	20.00	Variable



Calcul réalisé par : FONDASOL



K-Réa

v.5.0.12

AFFAIRE PR.RAGT.25.0374

GENILAC - SOUTÈNEMENT PROVISoire MUR M3

RESULTATS ELS et ELU (Synthèse)

PHASE	Type Vérif.	M,d max kNm/m	V,d max kN/m	Vérif. Def. Butée	Vérif. Equ. Vert. kN/m	Vérif. Kranz
P1	MEL	27.87	-20.99	OK	0.02	-
Extrema	-	27.87	-20.99	-	-	-



Calcul réalisé par : FONDASOL



v.5.0.12

AFFAIRE PR.RAGT.25.0374

GENILAC - SOUTÈNEMENT PROVISoire MUR M3

Vérifications

COEFFICIENTS PARTIELS - Approche 2 (EC7 - NF P94-282)

Actions		
Sol - Eau - Ecran	MISS	MEL
poussée limite du sol (Ypa)	1.00	1.35
pression d'eau (Ypw)	1.00	1.35
poids propre de l'écran (YW)	1.00	1.35

Actions		
Sucharges appliquée sur le sol et l'écran	MISS	MEL
Sol - permanente (YG)	1.00	1.00
Sol - variable (YQ)	1.11	1.11
Ecran - permanente favorable (YG,inf)	1.00	1.00
Ecran - permanente défavorable (YG,sup)	1.00	1.35
Ecran - variable défavorable (YQ,sup)	1.11	1.50

Paramètre de résistance		
Paramètres du sol	MISS	MEL
Cohésion effective (Yc')	1.00	1.00
Angle de frot. effectif (Yφ')	1.00	1.00
Cohesion non drainée (Ycu')	1.00	1.00

-		
	MISS	MEL
Butée limite - phase durable (Ypb,D)	1.40	1.40
Butée limite - phase transitoire (Ypb,T)	1.10	1.10
Résistance des appuis (Yanc)	1.00	-
Effort déstabilisant (Ykrz)	1.10	-

Efforts, sollicitations et butée mobilisée : YE = 1.35

Méthode de référence pour le recalcul de ka/kp : Kérisel

RESULTATS DES VERIFICATIONS

PHASE 1 - Transitoire

L'écran est considéré en console (autostable).

La méthode D a été utilisée pour cette phase.

La butée pour cette phase est considérée à droite.

Vérification du défaut de butée :**Vérification de la hauteur de fiche :**

Point de pression nulle : z0 = 256.92 m

Point de moment nul : zc = 254.48 m

Côte du pied de l'écran : zp = 253.00 m

f0 = z0 - zc = 2.44 m

fb = z0 - zp = 3.92 m

fb / f0 = 1.605 (≥ 1.2)**Vérification de la contre-butée :**

Point de transition :

zn = 255.10 m

Contre-butée nécessaire à l'équilibre des efforts horizontaux :

Ct,d = 52.23 kN/m

Contre-butée mobilisable sous zn :

Cm,d = 103.98 kN/m

Facteur de mobilisation :

α = 0.395

Cm,d ≥ Ct,d**Le défaut de butée est justifié pour cette phase.****Vérification de l'équilibre vertical :**

Poids propre P de l'écran :

Pd = 0.00 kN/m

Résultante verticale Pv des pressions des terres sur la hauteur de l'écran :

Pv,d = 0.02 kN/m

Résultante verticale Tv des efforts dus aux tirants connectés à l'écran :

Tv,d = 0.00 kN/m

Résultante verticale Fv des surcharges "linéiques" appliquées sur la hauteur de l'écran :

Fv,d = 0.00 kN/m Yq = valeur dépendant de la nature de chaque action.

Résultante ELU des efforts verticaux :

Rv,d = 0.02 kN/m

Charge verticale ELU de 0.02 kN/m à transmettre en pied de l'écran.**Equilibre vertical OK si portance en pointe garantie.**

Calcul réalisé par : FONDASOL

A large, stylized graphic of a globe or sphere. The top half is orange, and the bottom half is white. The sphere is split vertically, revealing a modern glass skyscraper on the left and a lush green landscape with trees on the right. The word "fondasol" is written in orange lowercase letters across the center of the sphere, with a small grey and white circular logo replacing the letter 'o'.

fondasol

www.groupefondasol.com