

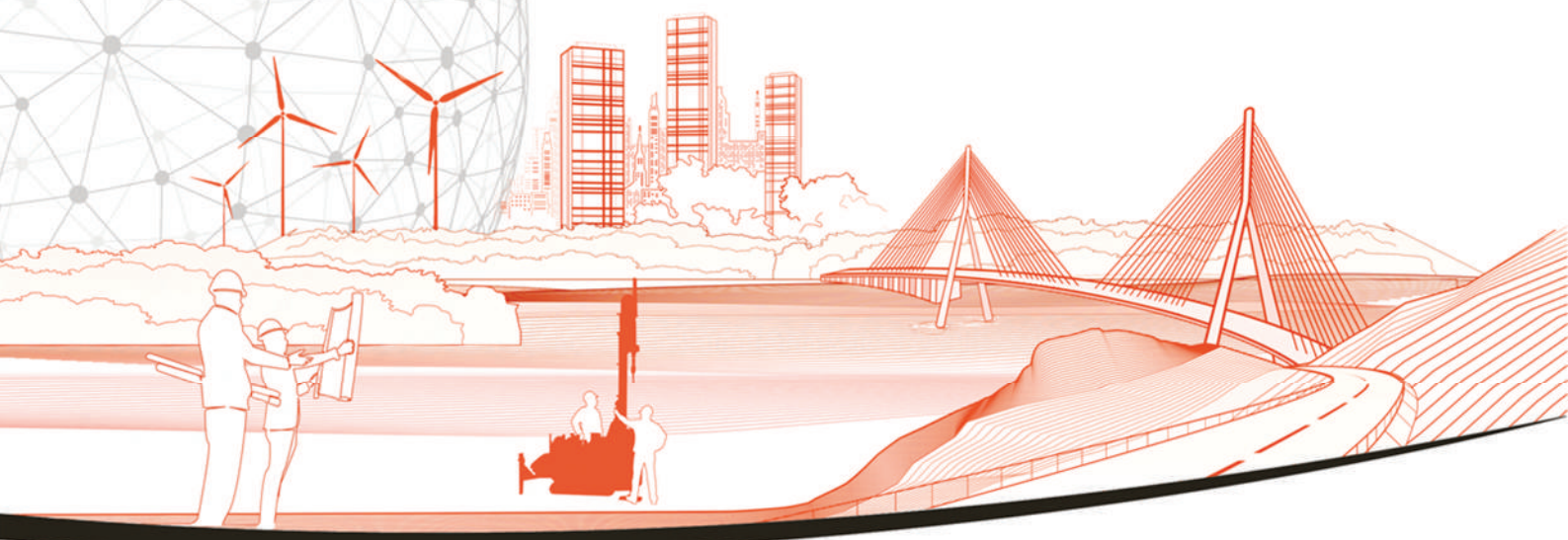
HYDROGEOTECHNIQUE

Spécialistes en études de sol,
chaussée et environnement.



DIR EST

1 BOULEVARD SOLIDARITÉ
CS 95231
57076 METZ CEDEX 03



RAPPORT D'ÉTUDE GÉOTECHNIQUE

RÉNOVATION DU PONT DE FEIGNE

Études géotechniques (Missions G2-PRO, G5)

Ouvrage P48/66 - RN66 - SAINT MAURICE SUR MOSELLE (88)

DOSSIER N°	INDICE	DATE	RÉDACTEUR	SUPERVISEUR	OBSERVATIONS / MODIFICATIONS
C.24.21115	0	19/12/2024	Clément ROHART	Jean-Michel CUINET	Rapport provisoire (Mission G2-PRO uniquement)
	A	27/02/2025			Version définitive

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION	4
1.1. MISSIONS	4
1.2. RÉFÉRENTIELS	5
1.3. DOCUMENTS FOURNIS	6
1.4. DESCRIPTION DU PROJET AU STADE DE NOTRE MISSION	6
2. ÉTUDE GÉOTECHNIQUE PRÉLIMINAIRE DE SITE (RAPPELS)	11
2.1. CONTEXTE SITOLOGIQUE ET HISTORIQUE	11
2.2. ZONE D'INFLUENCE GÉOTECHNIQUE (ZIG)	15
2.3. CONTEXTE GÉOLOGIQUE	16
2.4. CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE	16
2.5. RISQUES NATURELS ET ANTHROPIQUES	17
2.6. SISMICITÉ	18
3. PROGRAMME SPÉCIFIQUE D'INVESTIGATIONS MIS EN ŒUVRE	20
3.1. PROGRAMME SPÉCIFIQUE	20
3.2. IMPLANTATION ET CALAGE ALTIMÉTRIQUE	21
4. RÉSULTATS DES INVESTIGATIONS ET INTERPRÉTATION	22
4.1. LITHOLOGIE	22
4.2. HYDROGÉOLOGIE	23
4.3. ESSAIS EN LABORATOIRE	24
5. CONDITIONS SISMQUES	25
5.1. CLASSE ET PARAMÈTRE DE SOL	25
5.2. LIQUÉFACTION	25
6. SYNTHÈSE DES DONNÉES DE SOL ET ALÉAS GÉOTECHNIQUES	26
6.1. SYNTHÈSE DES DONNÉES GÉOTECHNIQUES	26
6.2. MODÈLE GÉOTECHNIQUE RETENU AU STADE G2-PRO	27
6.3. ALÉAS	27
7. PRINCIPES GÉNÉRAUX DE RÉALISATION DES OUVRAGES GÉOTECHNIQUES	29
8. PRINCIPES GÉNÉRAUX DES TERRASSEMENTS	31
8.1. GÉNÉRALITÉS SUR LES TRAVAUX ENVISAGÉS	31
8.2. TERRASSEMENTS	31
8.3. STABILITÉ DES TALUS	31
8.4. DISPOSITIFS D'ASSAINISSEMENT ET DE DRAINAGE	32
9. DIMENSIONNEMENT GÉOTECHNIQUE DES FONDATIONS PROFONDES DE LA GRUE PAR MICROPIEUX (MISSION G2-PRO)	33
9.1. GÉNÉRALITÉS	33
9.2. NIVEAU D'ASSISE	34
9.3. HYPOTHÈSES DE DIMENSIONNEMENT	34
9.4. MODÈLES	37
9.5. PRINCIPE DE VÉRIFICATION ET MÉTHODOLOGIE DES CALCULS	38
9.6. RÉSULTATS	40
9.7. SUJÉTIONS D'EXÉCUTION ET DE CONTRÔLE	41
10. ÉLÉMENTS GÉOTECHNIQUES RELATIFS À LA RÉALISATION D'UN TALUS PROVISoire RAIDI (MISSION G5)	43
10.1. GÉNÉRALITÉS	43
10.2. HYPOTHÈSES DE CALCUL	43
10.3. HYPOTHÈSES GÉOTECHNIQUES	44
10.4. MÉTHODOLOGIE DE DIMENSIONNEMENT	45
10.5. RÉSULTATS	45
10.6. SUJÉTIONS D'EXÉCUTION	46
ANNEXES	48
ANNEXE 1 DOCUMENT DE SYNTHÈSE « ÉTAT DES RISQUES »	49



ANNEXE 2	PLANS D'IMPLANTATION DES SONDAGES.....	50
ANNEXE 3	CARNET DE COUPES DES SONDAGES.....	51
ANNEXE 4	ESSAIS EN LABORATOIRE	52
ANNEXE 5	NOTES DE CALCUL DES MICROPIEUX	53
ANNEXE 6	SORTIES TALREN	54
ANNEXE 7	RAPPORT D'AUSCULTATION DE CAVITÉS PAR CAMÉRA.....	55
ANNEXE 8	MISSIONS GÉOTECHNIQUES.....	56



1. INTRODUCTION

1.1. MISSIONS

À la demande d'Artelia et pour le compte de la **DIR EST**, l'agence **Lorraine** du Bureau d'Études **HYDROGÉOTECHNIQUE EST** a procédé à l'exécution des sondages, essais et études géotechniques préalables à la **rénovation globale du pont de Feigne (ouvrage P48/66)** portant la RN66 sur la commune de **SAINT MAURICE SUR MOSELLE (88)**.

Cette étude s'inscrit dans le cadre de la norme 94.500 des missions type d'ingénierie géotechnique de l'AFNOR-USG (Union Syndicale Géotechnique) (Novembre 2013), qui suivent les étapes d'élaboration et de réalisation de tout projet, à savoir :

- **ÉTAPE 1 : étude géotechnique préalable (G1)**
 - ES : Phase Étude de Site,
 - PGC : Phase Principes Généraux de Construction.
- **ÉTAPE 2 : étude géotechnique de conception (G2)**
 - AVP : Phase Avant-Projet,
 - **PRO : Phase Projet**,
 - DCE / ACT : Phase Dossier de Consultation des Entreprises et Assistance aux Contrats de Travaux.
- **ÉTAPE 3 : études géotechniques de réalisation**
 - Étude et suivi géotechnique d'exécution (G3)
 - Phase étude,
 - Phase suivi.
 - Supervision géotechnique d'exécution (G4)
 - Phase étude,
 - Phase suivi.
- **Étude d'éléments spécifiques géotechniques**
 - **Diagnostic géotechnique (G5).**

L'étude géotechnique conduite sur le terrain, ainsi que le présent rapport correspondent à la mission **G2-PRO** pour l'étude de la plateforme de grutage, et à une mission **G5** pour l'étude d'un système de retenue de la demi-chaussée en phase travaux.

Vous trouverez en annexe la classification, le contenu et le schéma d'enchaînement de ces missions.

Ce rapport fait suite au dossier C.24.21050 indice A (rapport de mission G2-AVP portant sur l'étude de la plateforme de grutage) daté du 18/06/2024 et établi par nos soins.

Les hypothèses prises lors de l'établissement de ce rapport s'entendent sous réserve de la stricte application de cette norme et plus généralement de l'ensemble des normes et règlements en vigueur.

Ce rapport a été rédigé par **Clément ROHART - Ingénieur Géotechnicien** (École et Observatoire des Sciences de la Terre de Strasbourg), vérifié et approuvé par **Jean-Michel CUINET - Ingénieur Géologue Géotechnicien Expert** (DESS de géologie appliquée de l'Université de Besançon).



Les objectifs de cette étude sont :

- La présentation des données générales relatives au projet étudié.
- L'exposé des choix constructifs retenus à ce stade de la mission G2-PRO pour la réalisation des ouvrages géotechniques, à savoir ici les appuis supportant la grue.
- L'appréhension des caractéristiques géologiques, hydrogéologiques et géotechniques des sols au droit du projet.
- La présentation d'un dossier de synthèse des hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade du projet (valeurs caractéristiques des paramètres géotechniques en particulier, définition des modèles géotechniques de calculs spécifiques à chaque ouvrage géotechnique élémentaire).
- Le dimensionnement géotechnique de niveau G2-PRO des ouvrages géotechniques.
- La définition des prescriptions géotechniques particulières d'exécution et des éléments de contrôle qui leur sont associés.
- La proposition d'une solution de confortement de la chaussée en phase provisoire et la définition d'un modèle géotechnique.

Nos missions de type G2-Phase PRO et G5 s'arrêtent à la remise de ce rapport. Elles devront être suivies des missions de type G2-DCE/ACT, G4. Ponctuellement une autre mission G5 à définir par la Maîtrise d'Œuvre du projet pourra être réalisée. La mission G3 est à la charge de l'entreprise adjudicataire des travaux.

Limites de cette étude :

Le caractère de cette étude est strictement de type géotechnique. Les aspects liés à la recherche de pollution éventuelle ou à la caractérisation des ouvrages enterrés et des incidences des vestiges et fouilles archéologiques sont exclus. Notre mission n'intègre pas l'étude des dispositifs d'assainissement ni l'étude de la possibilité d'infiltration des eaux pluviales.

Le diagnostic structurel des ouvrages existants sort du cadre de notre mission.

La présence notamment de risque d'amiante présent naturellement dans les sols (amiante environnemental), d'amiante anthropique dans les remblais, d'amiante dans les enrobés et structures de chaussées et d'amiante dans les immeubles autres que bâtis, tels que les ouvrages de génie civil, infrastructures de transport ou réseaux divers, n'a pas été étudiée.

La présente étude peut présenter des contradictions avec les résultats de missions complémentaires (recherche de pollution notamment). Il appartiendra au Maître d'Œuvre de mettre en cohérence ces éléments, si nécessaire, à la réception des études.

1.2. RÉFÉRENTIELS

La campagne de sondages, ainsi que notre étude suivent les normes et documents français et plus particulièrement :

- Eurocodes 1 – NF EN 1991-1 (mars 2003),
- Eurocodes 7 – NF EN 1997-1 (juin 2005) et NF EN-1997-2 (septembre 2007),
- Eurocodes 8 – NF EN 1998-1 (septembre 2005) + A1 (mai 2013),
- Eurocodes 8 – NF EN 1998-5 (septembre 2005),
- Arrêté du 26 octobre 2011 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux ponts de la classe dite « à risque normal »,
- NF P 94-262 – Calcul géotechnique – Fondations profondes (juillet 2012),
- NF P 94-262 A1 – Calcul géotechnique – Fondations profondes Amendement 1 (juillet 2018)
- NF EN 14 199 - Exécution des travaux géotechniques spéciaux - Micropieux (septembre 2015),
- NF EN 1993-5 - Calcul des structures en acier (août 2007),
- NF EN 12715 - Exécution des travaux géotechniques spéciaux - Injections (novembre 2020),
- DTU 20.1 : ouvrages en maçonneries de petits éléments : parois et murs (juillet 2020),
- Guide technique pour les remblais et les couches de forme (juillet 2000),
- Guide des terrassements, des remblais et des couches de forme (« GTR 2023 »),
- Normes relatives aux essais in situ et essais en laboratoire.

1.3. DOCUMENTS FOURNIS

Pour mener à bien notre mission, les documents suivants nous ont été fournis :

- Au stade de la mission G2-AVP :
 - [1] **Rapport de diagnostic P48/66**, daté de juillet 2023, établi par Artelia,
 - [2] **Rapport de diagnostic : DIRECT_ P4866_FEIGNE_RAPPORT_DIA-INDA_OTN**, daté de novembre 2023, établi par Artelia et Visualing,
 - [3] **Plan topographique du site : 45474_Saint-Maurice-sur-Moselle_Pont de Feigne_cc48-CADRE**, daté de mars 2024, au 1/200^e, établi par le Cabinet Jean-Christophe Clerget,
 - [4] **Une série de profils en long et en travers**, non datés, au 1/100^e, établis par le Cabinet Jean-Christophe Clerget,
 - [5] **Fiches signalétiques : 45474_ST MAURICE SUR MOSELLE_RN66_Pont de Feigne Fiche signalétique**, datées du 12/04/2024, établies par le Cabinet Jean-Christophe Clerget.
- Au stade des missions G2-PRO et G5 :
 - [6] **Diagnostic amiante/HAP des enrobés sur la RN66 du PR 27+900 au PR 30+400**, référencé EST3.H.021-6 indice 1, réalisé par Ginger CEBTP et daté du 26/01/2018,
 - [7] **Plan topographique du site : 45474_Saint-Maurice-sur-Moselle_Pont de Feigne_cc48-CADRE**, daté de mars 2024, au 1/200^e, établi par le Cabinet Jean-Christophe Clerget, et annoté par Artelia avec la position prévisionnelle de la plateforme de grutage,
 - [8] **Schéma coupe type sur mur tympan et trottoir**, établi par Artelia, sans échelle,
 - [9] **Plan de fondation schématisé, descente de charges sur les massifs de la grue, combinaisons d'actions**, établi par Artelia et daté du 29/11/2024,
 - [10] **Schéma de principe de la voûte de l'ouvrage**, établi par Artelia, sans échelle et daté du 23/11/2023,
 - [11] **Schéma de phasage des travaux sur le mur tympan**, établi par Artelia.

1.4. DESCRIPTION DU PROJET AU STADE DE NOTRE MISSION

L'ouvrage P48/66 permet à la RN66 d'enjamber le ruisseau de la Feigne sur la commune de St-Maurice sur Moselle (88).

Dans le cadre de la rénovation globale de l'ouvrage, il est prévu d'une part la construction d'une plateforme de grutage et d'autre part la mise en place d'un système de retenue de la demi-chaussée en phase travaux.

D'après les informations fournies par le MOA, le projet étudié est classé en catégorie géotechnique 2 :

Classe de conséquence	Conditions de site	Catégorie géotechnique*	Base des justifications
CC1	Simple et connues	1	Expérience et reconnaissance géotechnique qualitative admises
CC1	Complexes	2	Reconnaissance géotechnique et calculs nécessaires
CC2	Simple		
CC2	Complexes	3	Reconnaissance géotechnique et calculs approfondis
CC3	Simple ou complexes		

* Cette classification est à confirmer par le Maître d'Ouvrage.

Cette étude a été finalisée en février 2025. Nous attirons l'attention sur le fait qu'un certain nombre de paramètres peuvent évoluer dans la durée (environnement notamment). Au-delà d'un délai de 1 an, nous recommandons fortement une actualisation de nos conclusions.

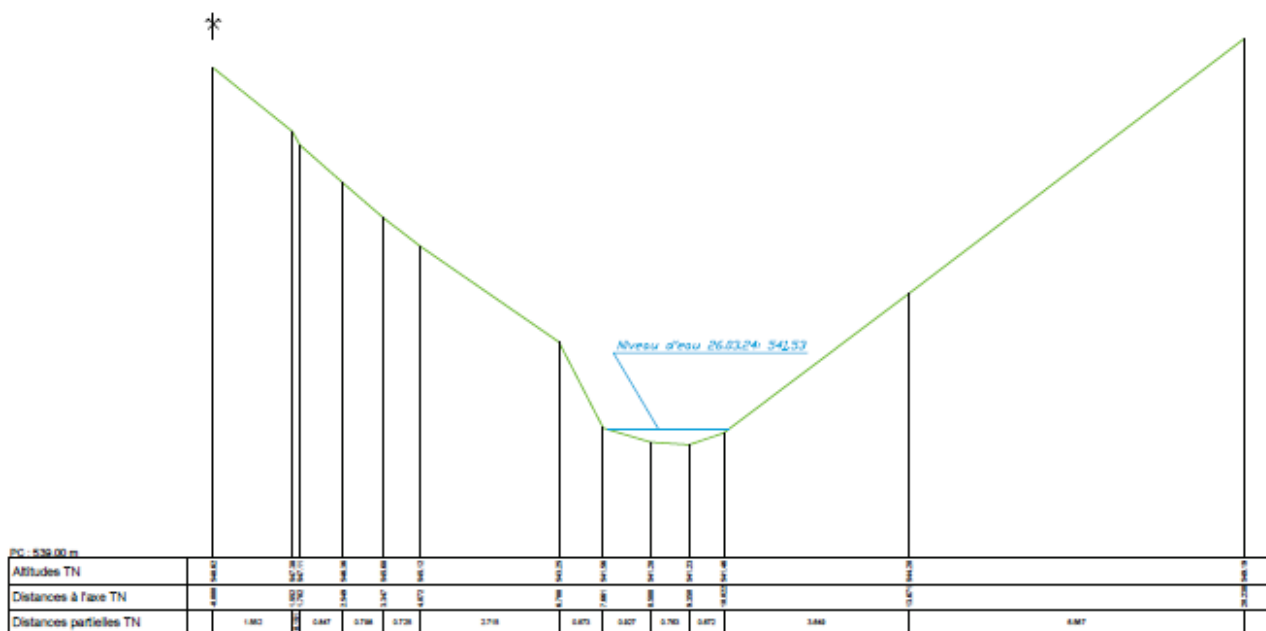
La réalisation des travaux de rénovation nécessitera le grutage de différents équipements (matériel, engins, ...) dans le lit du ruisseau.

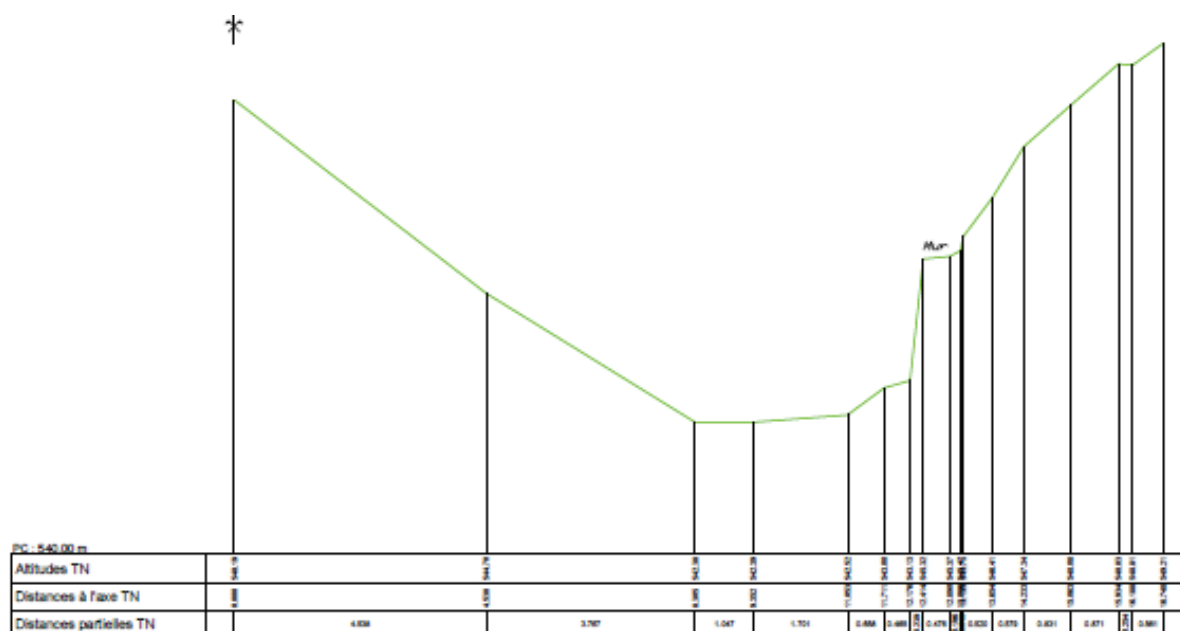
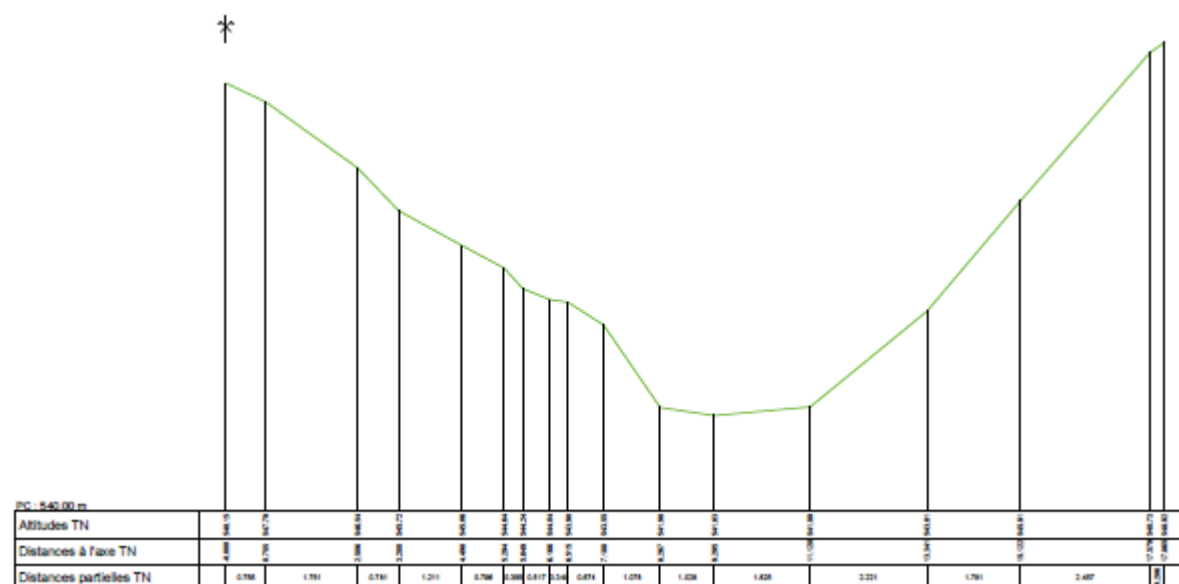
Le plan ci-dessous permet de visualiser l'emplacement approximatif de la plateforme de grutage par rapport à la position de l'ouvrage projeté.



En terme d'implantation, la plateforme de grutage sera installée sur une parcelle en crête de talus ; avec le bord du massif le plus proche à 0.6 m environ de la crête de talus.

On notera également la présence d'un mur en retour de l'ouvrage sur le profil 4, de l'ordre de 2.3 m de hauteur jouant également le rôle de soutènement des terres. On ne connaît ni la nature ni la géométrie des fondations de cet ouvrage.





Profils 1 à 4 (extrait du document [4])

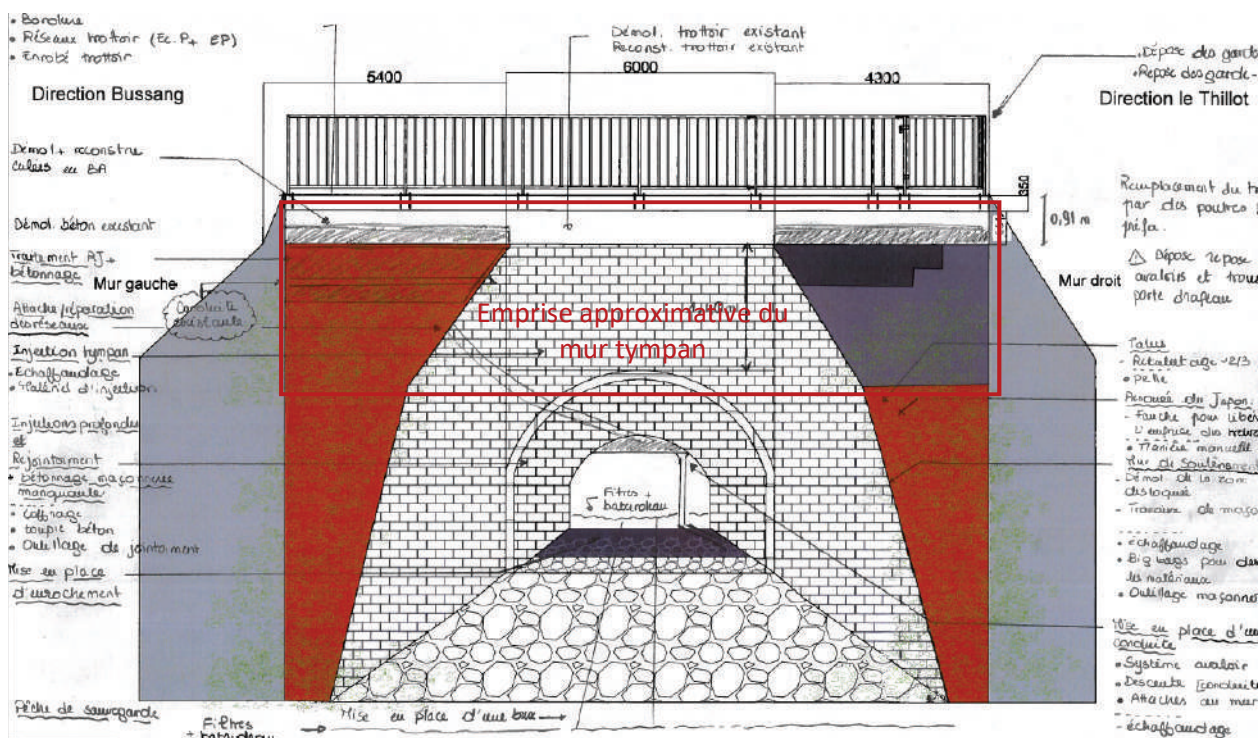
La grue, à quatre patins reposera sur quatre massifs de 2.0 x 2.0 m eux-mêmes fondés sur un réseau de micropieux.

Il s'agira bien d'un ouvrage provisoire, utilisé uniquement pour les travaux de réfection de l'ouvrage, et démonté ensuite.

On tablera par ailleurs sur des massifs calés vers la cote du terrain actuel, sans déblai ni remblai conséquent.

1.4.2. DISPOSITIF DE RETENUE DE LA DEMI-CHAUSSEE EN PHASE TRAVAUX (MISSION G5)

Il est prévu dans le cadre des travaux de rénovation de l'ouvrage, le remplacement du mur tympan côté aval. Celui-ci permet le soutien du remblai de la chaussée au-dessus de la voûte.



Vue en coupe des travaux projetés (extrait du document [10])

Nota : Notre mission exclut tout dimensionnement de cet ouvrage.

Le remplacement de ce mur nécessitera de travailler en demi-chaussée, selon le phasage de travaux présenté ci-dessous :

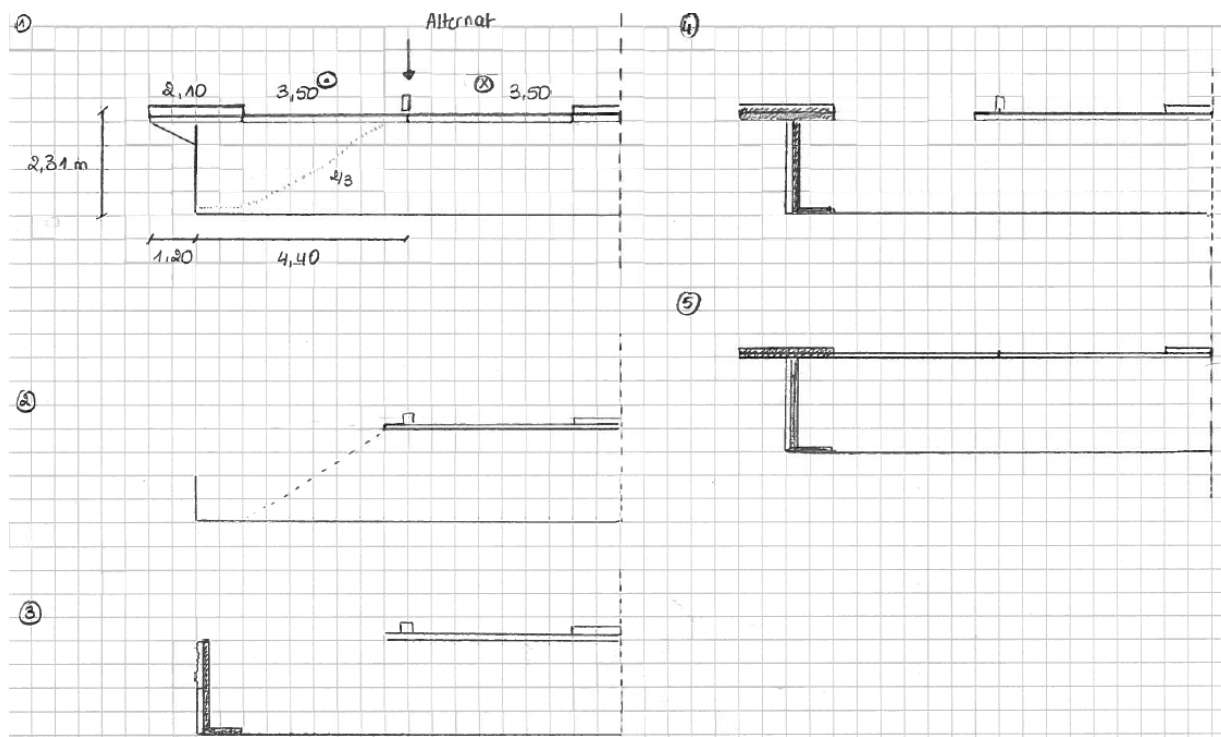


Schéma de phasage des travaux projetés sur le mur tympan (extrait du document [11])

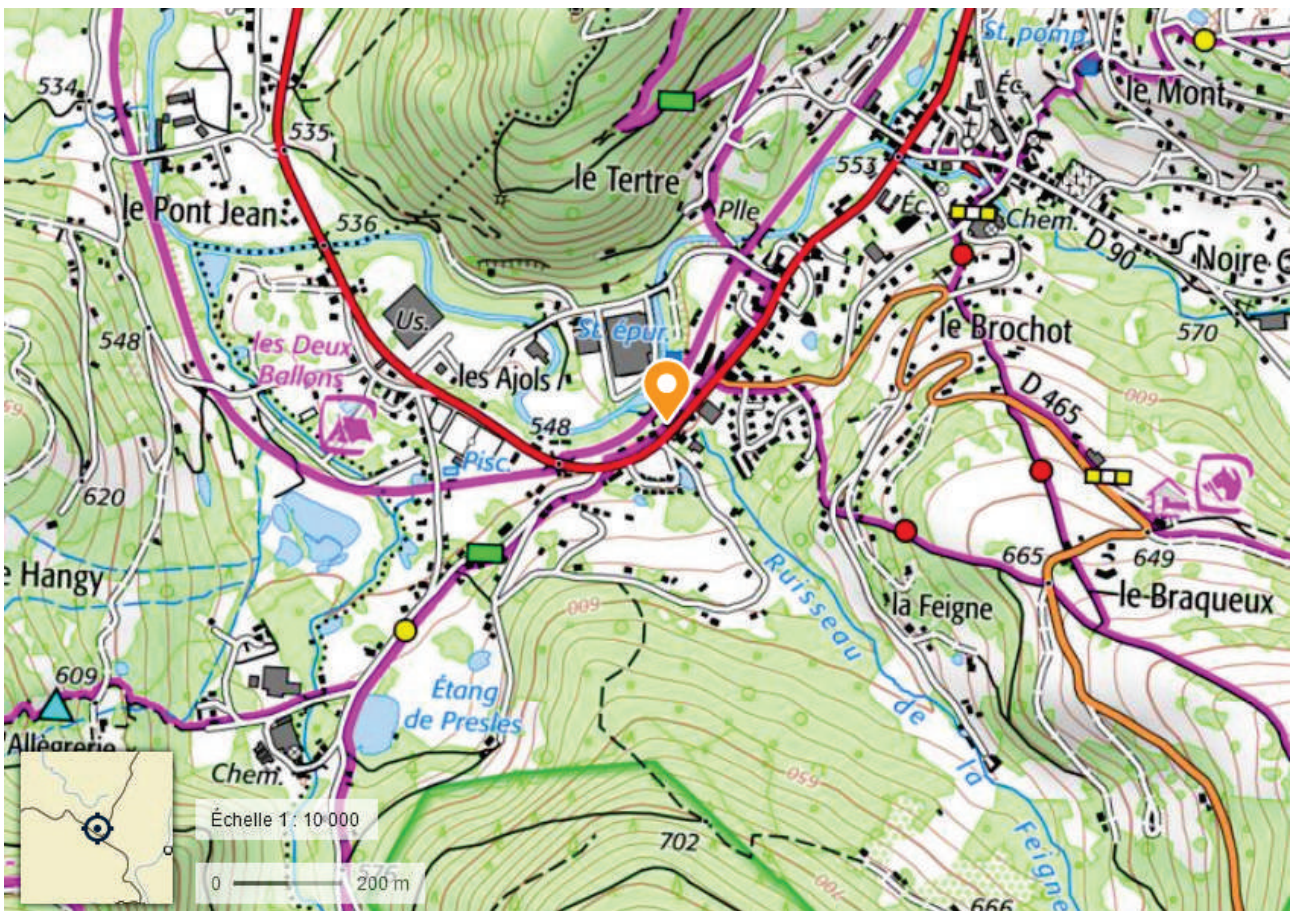
Il est donc nécessaire de mettre en place un dispositif de retenue de la demi-chaussée permettant d'une part d'assurer une emprise suffisante pour la réalisation des travaux et d'autre part de maintenir la circulation en sécurité sur l'autre voie de la RN 66.

2. ÉTUDE GÉOTECHNIQUE PRÉLIMINAIRE DE SITE (RAPPELS)

2.1. CONTEXTE SITOLOGIQUE ET HISTORIQUE

L'ouvrage P48/66 se situe sur la RN66 vers le PR 30+450, sur la commune de Saint Maurice sur Moselle (88). Il permet le franchissement du ruisseau de la Feigne (affluent de la Moselle) par la RN66.

On se situe à l'intersection entre le fond de la vallée de la Moselle (s'écoulant juste au Nord) et le fond du talweg secondaire dessiné par le ruisseau de la Feigne ; pour le reste le relief alentour est dessiné par le massif des Vosges.



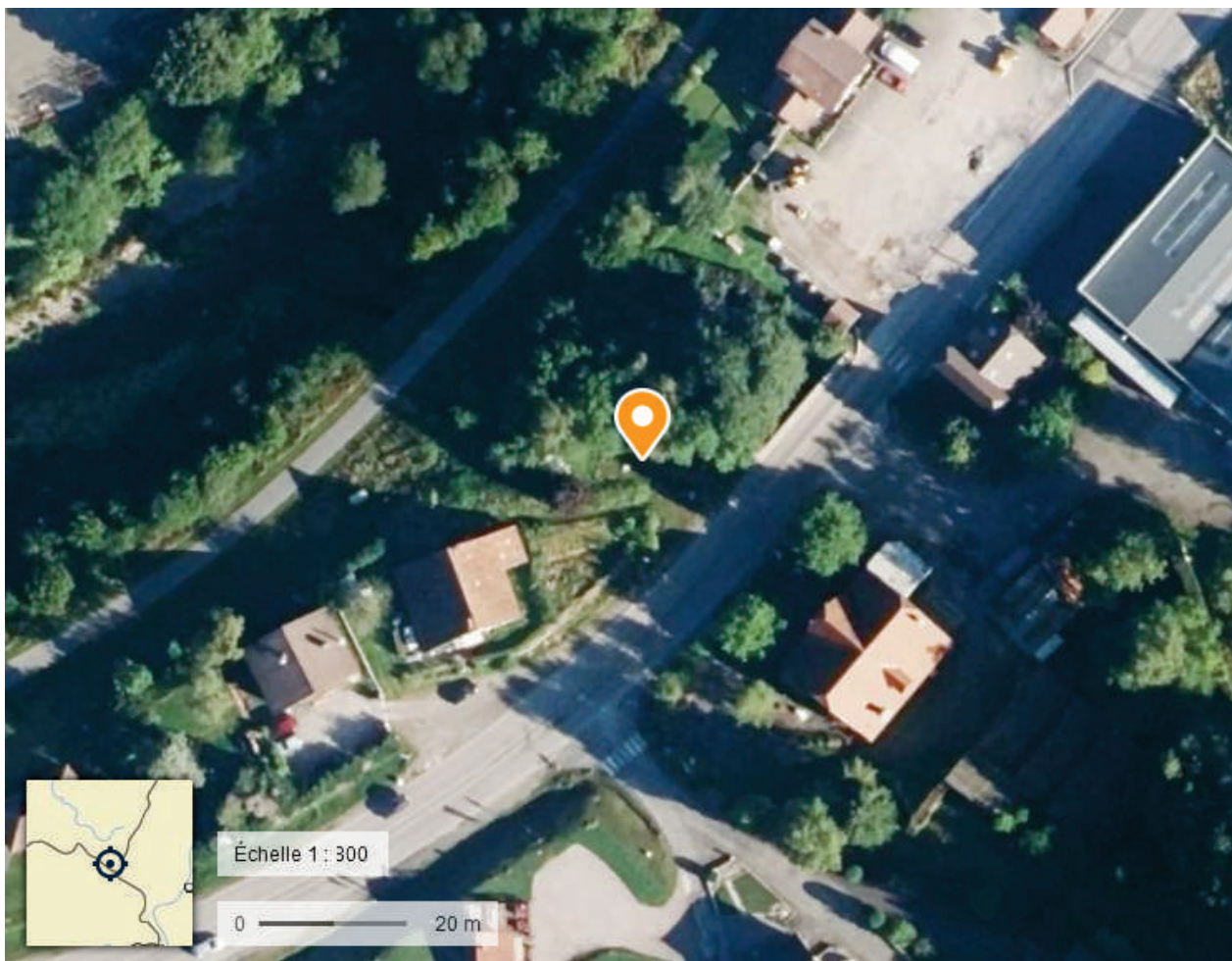
Extrait de carte IGN (source : Géoportail)

L'ouvrage a très probablement été construit à l'occasion de l'aménagement de la RN66, vers les années 1950, et n'a pas subi de travaux majeurs depuis hormis des réfections de voirie, aménagements annexes,

On ignore toutefois quand l'élargissement de la voûte par le cadre en béton armé a été réalisé.

On notera par ailleurs que la parcelle qui accueillera la plateforme de grutage est aujourd'hui enherbée, en friche, mais était densément boisée jusque récemment (travaux de déboisement (entre autres) de 2021).





Vue aérienne du site (source : Géoportail)

On présente ci-dessous quelques photographies du site, prises au moment de notre intervention, en mars / avril 2024.



Vue du mur en retour et du talus aval depuis la rive Nord-Est



Vue de l'ouvrage et du talus aval depuis la rive Nord-Est



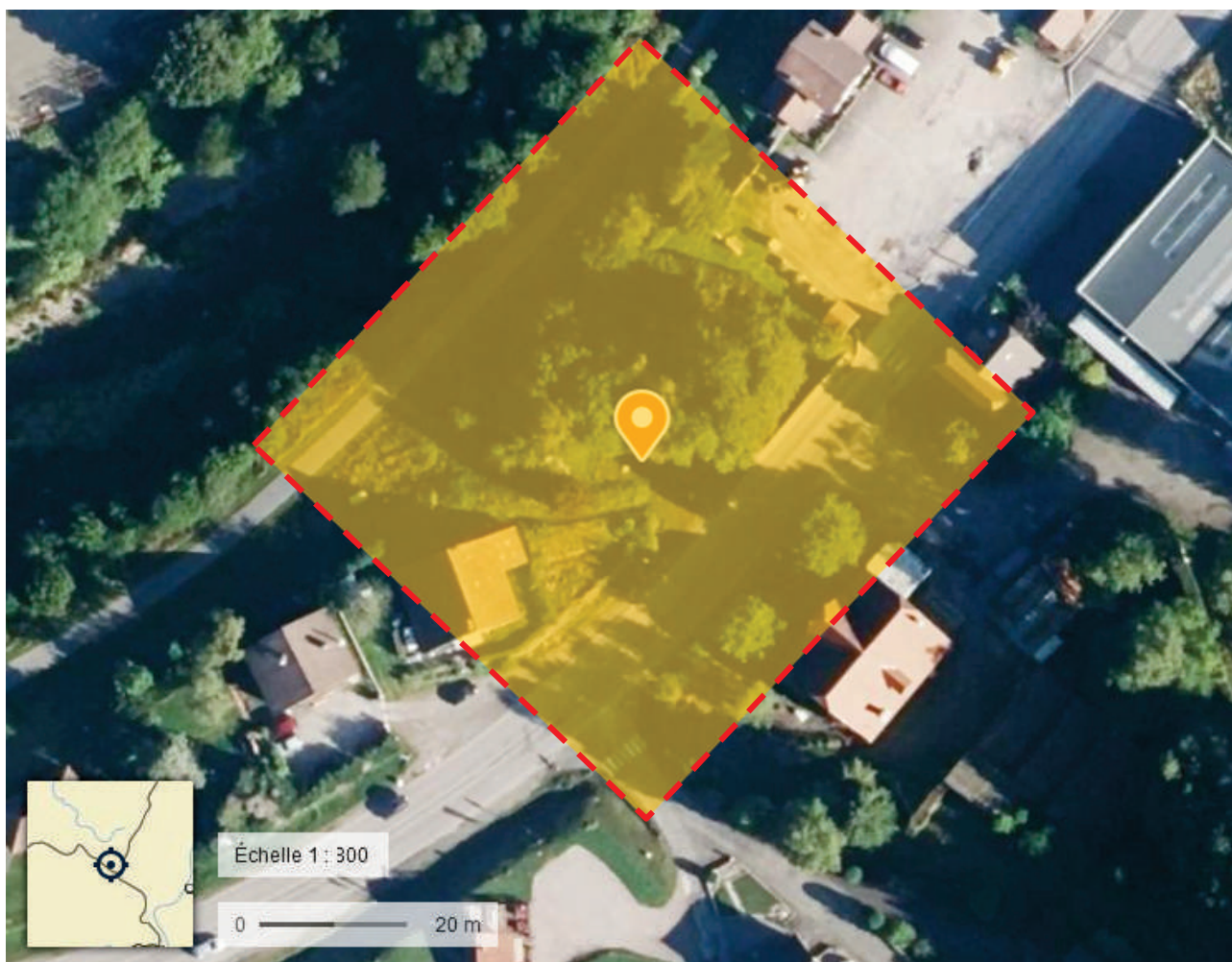
Vue de la parcelle pour la plateforme depuis la route

2.2. ZONE D'INFLUENCE GÉOTECHNIQUE (ZIG)

Au vu du projet tel que défini à ce stade des études, la ZIG englobe :

- La RN66 au droit du projet,
- L'ouvrage P48/66 ainsi que ses ouvrages associés (murs en retour, escaliers d'accès, ...),
- La parcelle qui accueillera la grue,
- Le talus aval, et murs de soutènement,
- La maison voisine au Sud-Ouest,
- L'autre ouvrage proche sur le ruisseau de la Feigne, au Nord,
- La piste cyclable au Nord-Ouest,
- Le parking au Nord-Est,
- L'ensemble des réseaux enterrés et aériens,
- L'ensemble des cheminements d'accès est également intégré à la ZIG.

La vue aérienne suivante présente les contours de la zone d'influence géotechnique, en gardant à l'esprit que la ZIG est un volume et qu'elle s'étend donc en profondeur et hors sol :



Vue aérienne du site avec contour approximatif de la ZIG (source : Géoportail)

2.3. CONTEXTE GÉOLOGIQUE

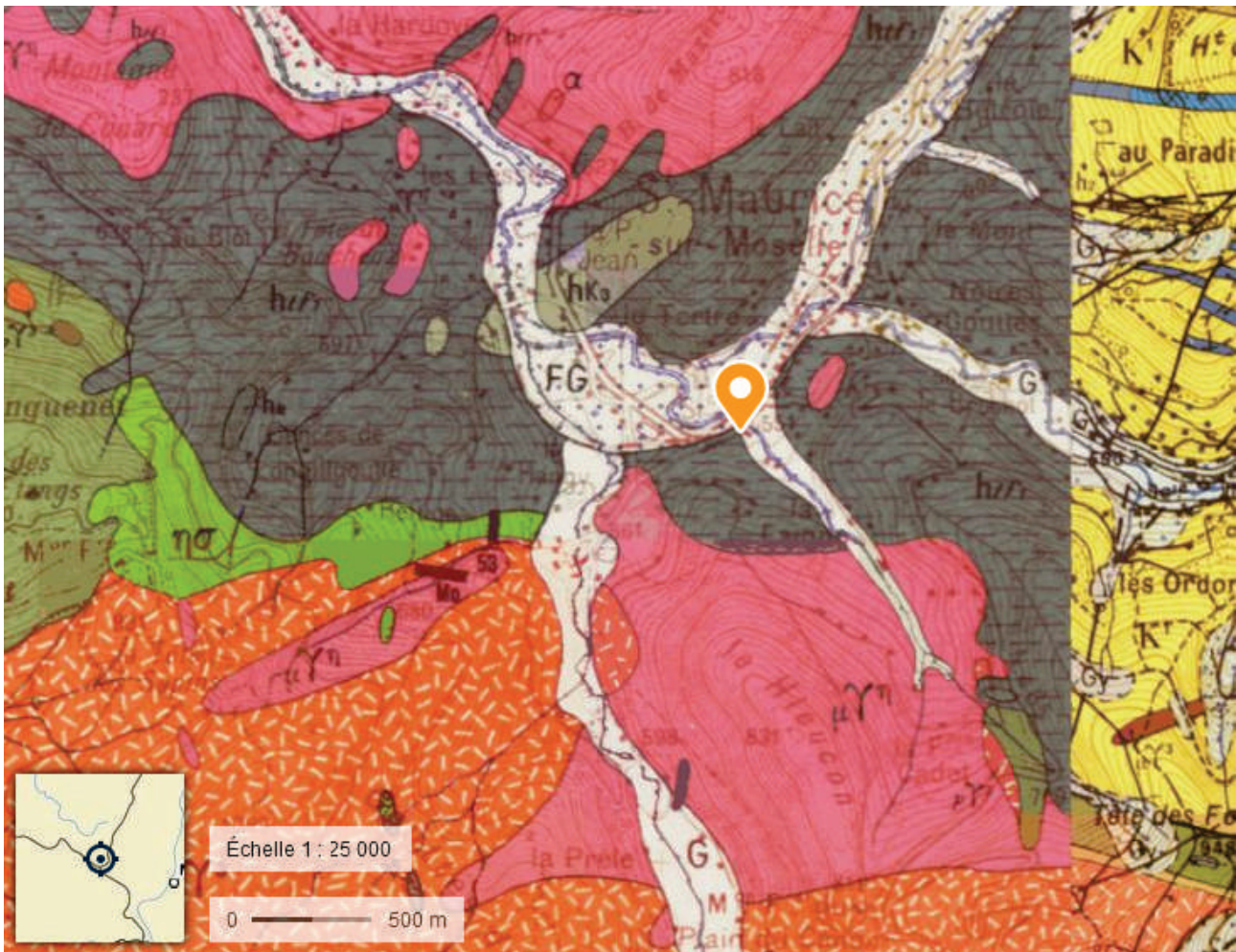
La carte géologique (éditions du BRGM) au 1/50 000^{ème} de GIROMAGNY montre que la zone d'étude se situe au niveau des formations suivantes, sous les formations de surface et d'altération et sous les remblais :

- (FG) : Dépôts fluvioglaciaires. Indifférenciés,
- (G) : Dépôts glaciaires formant relief. Indifférenciés,

Il s'agit là de dépôts de fonds de vallée, essentiellement sablo-graveleux et potentiellement blocailleux dans le secteur.

- (htf1) : Viséen indifférencié. Série de Plancher-Bas et de Malvaux. Tufs.

Il peut ici s'agir de pélites, arkoses, tufs divers ; potentiellement schisteux à faciès pouvant aller du vert au rouge.



Extrait de carte géologique au 1/50000° (source Géoportail)

2.4. CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE

Les dépôts de fond de vallon sont aquifères, en lien avec le régime hydraulique des cours d'eau, eux-mêmes directement dépendant des conditions météorologiques, et potentiellement sujets aux crues.

Par ailleurs, le substratum est aquifère en profondeur à la faveur de sa fracturation / altération.

2.5. RISQUES NATURELS ET ANTHROPIQUES

Le tableau ci-après récapitule les risques référencés au droit de la parcelle étudiée sur le site gouvernemental www.georisques.gouv.fr.

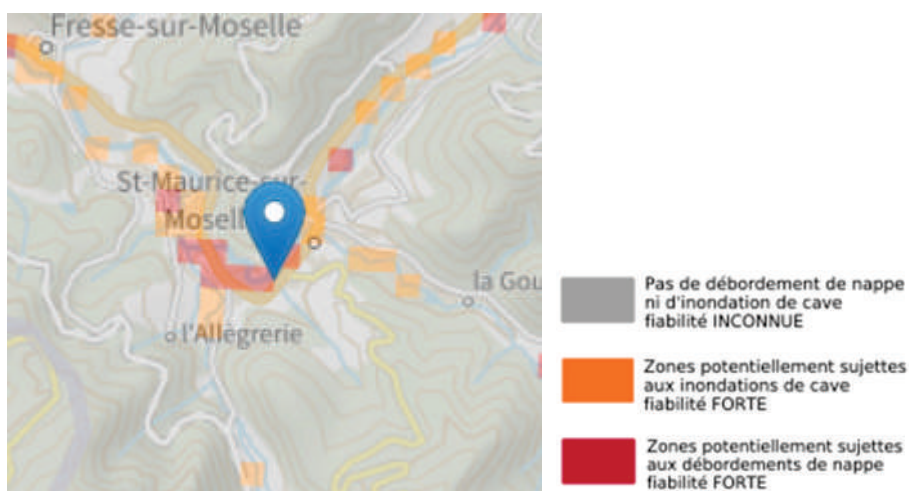
RISQUE ÉTUDIÉ	ALÉA
Sismicité	Zone 3 (moyenne)
Inondation	Non concerné
Remontée de nappe / Inondation de cave	Zone à risque d'inondation par remontée de nappe
Mouvement de terrain	Non concerné
Retrait/gonflement des argiles	Aléa faible
Cavités souterraines	Non concerné
Radon	Catégorie 3 (fort)
Pollution des sols	Non concerné
Minier	Non concerné

- Le site se trouve dans une zone à exposition faible au retrait / gonflement des argiles.



Extrait de la carte d'aléa (source : Géorisques)

- Le site se trouve dans une zone à risque d'inondation par remontée de nappe.



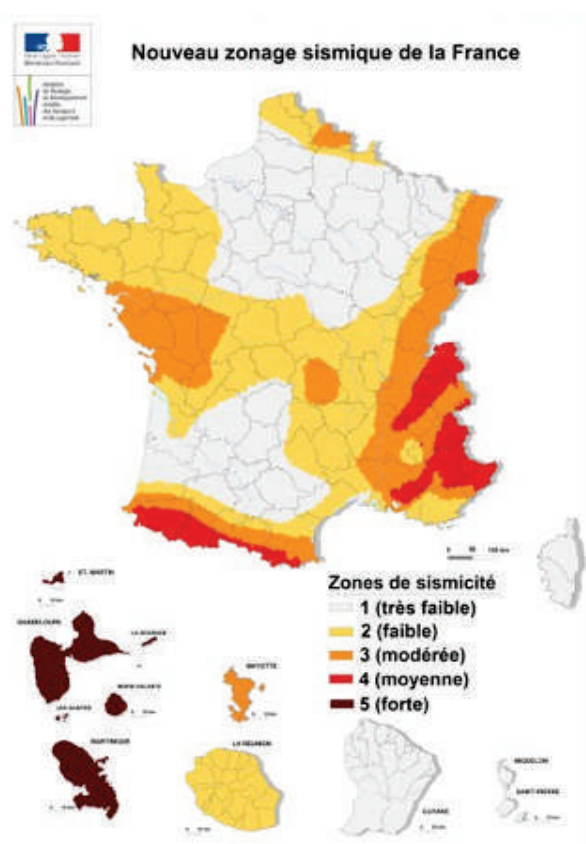
Extrait de la carte d'aléa (source : Géorisques)

- L'état des risques prérempli mis à disposition par l'État depuis www.georisques.gouv.fr répondant au modèle arrêté par le ministre chargé de la prévention des risques prévus à l'article R.125-26 du code de l'environnement est présenté en annexe 1.

2.6. SISMICITÉ

Depuis le 22 octobre 2010, la France dispose d'un nouveau zonage sismique divisant le territoire national en cinq zones de sismicité croissante en fonction de la probabilité d'occurrence des séismes (articles R563-1 à R563-8 du Code de l'Environnement modifiés par les décrets n°2010-1254 du 22 octobre 2010 et n°2010-1255 du 22 octobre 2010, ainsi que par l'Arrêté du 22 octobre 2010) :

- Une zone de sismicité 1 où il n'y a pas de prescription parasismique particulière pour les ouvrages à risque normal (l'aléa sismique associé à cette zone est qualifié de très faible),
- Quatre zones de sismicité 2 à 5, où les règles de construction parasismique sont applicables aux nouveaux ouvrages, et aux ouvrages anciens dans des conditions particulières.



Carte de zonage sismique de la France

Ici, le décret n°2010-1255 classe la zone étudiée en zone 3.

Ces règles doivent être appliquées au moyen d'un coefficient d'importance γ_1 attribué à chacune des catégories d'importance de l'ouvrage. Les valeurs de ces coefficients sont données par le tableau suivant :

CATÉGORIE D'IMPORTANCE	COEFFICIENT D'IMPORTANCE γ_1
I	0,8
II	1
III	1.2
IV	1.4

Ici, en l'absence d'information, on retiendra $\gamma_1 = 1.0$. (À valider par le maître d'ouvrage).

Le mouvement dû au séisme est représenté par un spectre de réponse élastique en accélération. Il est caractérisé au niveau d'un sol rocheux (sol de classe A) par la valeur d'accélération a_{gr} . Les valeurs des accélérations a_{gr} sont données dans le tableau suivant :

ZONES DE SISMICITÉ	a_{gr} (en m/s^2)
1 (très faible)	0,4
2 (faible)	0,7
3 (modérée)	1,1
4 (moyenne)	1,6
5 (forte)	3,0

Dans le cadre de cette étude $a_{gr} = 1.1 \text{ m/s}^2$.

L'accélération horizontale de calcul est déterminée à partir d'un sol référence de classe A rocheux. Elle est égale au produit de l'accélération a_{gr} par le coefficient d'importance γ_1 .

On retiendra donc :

$$a_g = a_{gr} \times \gamma_1 = 1.1 \times 1.0 = 1.1 \text{ m/s}^2.$$

3. PROGRAMME SPÉCIFIQUE D'INVESTIGATIONS MIS EN ŒUVRE

3.1. PROGRAMME SPÉCIFIQUE

Nous avons mis en œuvre les investigations suivantes :

- Au stade G2-AVP (sur la parcelle destinée à recevoir la gue de chantier) :
 - **2 sondages de reconnaissance géologique de type destructif (taillant)**, notés SP1 et SP2 à 15.0 m de profondeur, en diamètre 66 mm, avec identification des formations traversées.

Dans ces forages, **2 x 14 essais de chargement in situ de type pressiométrique**, suivant la norme NF EN ISO 22476-4, tous les 1.0 m, adaptés à la lithologie rencontrée, permettant la mesure après dépouillement, par un essai de chargement in situ :

 - du module de compressibilité : Em,
 - de la pression de fluage : pf,
 - de la pression de rupture : pl.
- **1 forage en carottage continu**, en diamètre 116 mm, noté SC1, conduit à 10.0 m de profondeur. Les échantillons ont été conditionnés en caisses à carottes.
- **L'enregistrement des paramètres de forage** à l'avancement avec un appareil numérique de type LUTZ. Cet appareil permet de mesurer :
 - la vitesse instantanée d'avancement (VIA),
 - la pression sur l'outil (PO),
 - la pression d'injection du fluide de forage (PI),
 - le couple de rotation (CR).
- En laboratoire,
 - **3 mesures de la teneur en eau naturelle** sur les fractions 0/20 mm (NF P 94-050),
 - **3 essais au bleu de méthylène** (NF P 94-068),
 - **3 analyses granulométriques** (NF P 94-056).
- Aucune investigation complémentaire n'a été réalisée dans le cadre de la mission G2-PRO.
- Au stade G5 :

Des sondages complémentaires ont été réalisés sur la chaussée de la RN66 :

 - **6 forages en carottage continu**, en diamètre 116 mm, notés SC2 à SC7.

Les sondages SC2 à SC4 ont été réalisés au-dessus de la voute de l'ouvrage à 2.0 m de profondeur. Les sondages SC5 à SC7 ont été réalisés de part et d'autre de la maçonnerie de l'ouvrage, à 3.0 m de profondeur pour SC5 et SC6 et à 4.5 m de profondeur pour SC7. Les échantillons ont été conditionnés en caisses à carottes.

 - **L'enregistrement des paramètres de forage** à l'avancement avec un appareil numérique de type LUTZ. Cet appareil permet de mesurer :
 - la vitesse instantanée d'avancement (VIA),

- la pression sur l'outil (PO),
 - la pression d'injection du fluide de forage (PI),
 - le couple de rotation (CR).
- **L'inspection vidéo des sondages SC5 et SC7** suite à la découverte de cavités.
 - **Le relevé 3D de la cavité rencontrée en SC7** (dont le résultat sera à intégrer par l'équipe de maîtrise d'œuvre à la réflexion globale sur les travaux envisagés).
 - **1 essai au pénétromètre dynamique**, noté PD1, descendu à 2.0 m de profondeur, et réalisé au-dessus de la voute de l'ouvrage, avec un train de tiges APAGEO, suivant la norme NF EN ISO-22476-2.
 - En laboratoire,
 - **2 essais au bleu de méthylène** (NF EN 17542-3),
 - **2 analyses granulométriques** (NF EN ISO 17892-4).

3.2. IMPLANTATION ET CALAGE ALTIMÉTRIQUE

Le plan d'implantation des sondages est présenté en annexe du rapport.

Les cotes NGF des têtes des sondages SP1, SP2 et SC1 ont été relevées au GPS portable.

Les cotes NGF des têtes des sondages SC2 à SC7 et PD1 ont quant à elles été recalées par rapport au plan topographique fourni.

Sondages	Cote NGF
SP1	549.22
SP2	549.61
SC1	549.45
SC2	549.1
SC3	549.1
SC4	549.1
SC5	549.2
SC6	549.2
SC7	549.0
PD1	549.1

4. RÉSULTATS DES INVESTIGATIONS ET INTERPRÉTATION

4.1. LITHOLOGIE

L'analyse des coupes lithologiques des différents sondages permet de schématiser la lithologie de la manière suivante :

- Sondages réalisés sur la RN66 :

➤ Remblai RN66

Couche 00 : Enrobé

Les sondages SC2 à SC7 ont mis en évidence en tête, sur 9 à 34 cm d'épaisseur, la couche d'enrobé de la RN66.

Couche 01 : Cailloux, blocs de granite à matrice sableuse peu abondante

Sous l'enrobé, on trouve la couche de forme de la chaussée composée de blocs et cailloux de granite (concassé) contenant localement une matrice sableuse brune peu abondante. Son épaisseur varie entre 15 et 40 cm au droit des sondages SC2 à SC6.

En SC7, cette couche est intercalée entre deux dispositifs de soutien en bois pour une épaisseur totale d'environ 85 cm d'épaisseur.

La compacité de cette couche n'a pas pu être mesurée au pénétromètre dynamique (compacités trop élevées pour ce type d'essai).

Couche 02 : Sable limoneux / Limon sableux marron, brun, rougeâtre à cailloux et blocs

Sous la couche de forme, l'ensemble des sondages (SC2 à SC7) mettent en évidence jusqu'à leur base, le remblai autour de l'ouvrage s'apparentant à un sable limoneux ou à un limon sableux marron, brun, rougeâtre contenant plus ou moins de cailloux et blocs.

Au pénétromètre dynamique cette couche est de compacité moyenne à élevée entre 0.8 et 1.5 m de profondeur environ, avec $4.2 \leq q_d \leq 9.2$ MPa, et de compacité élevée à très élevée jusqu'à 2.0 m de profondeur, avec $24.2 \leq q_d \leq 34.1$ MPa.

Vide

Les sondages SC5 et SC7 ont mis en évidence des cavités (entre 1.55 et 3.0 m de profondeur environ en SC5 et entre 1.18 et 2.5 m de profondeur environ en SC7).

Ces cavités ont fait l'objet de passages caméras et l'une d'elle a fait l'objet d'un relevé 3D permettant d'estimer précisément sa géométrie et son volume. Le compte-rendu de ces passages caméras est présenté en annexe du rapport.

Globalement, il s'agit de cavités cylindriques, d'environ 1.5 m de diamètre présentes uniquement sur la voie Ouest de la RN66 (sens Bussang -> Le Thillot), qui correspond par ailleurs à la partie voutée de l'ouvrage. Elles sont anthropiques (présence d'un support en bois les refermant en surface) et situées juste derrière la maçonnerie de l'ouvrage.

- Sondages réalisés sur la future aire de grutage :

➤ Terre végétale

Couche 10 : Limon sableux brun foncé à racines

En tête des sondages SP1, SP2 et SC1, on trouve la couverture de terre végétale, limono-sableuse brune à racines sur environ 5 à 10 cm d'épaisseur.

➤ Dépôts de fond de vallon

Couche 11 : Sables, graviers et galets siliceux à matrice argileuse marron, brun plus ou moins abondante

Sous la couverture végétale, on trouve une épaisse couche de dépôts de fond de vallon jusqu'à 8.4 à 9.4 m de profondeur selon les sondages. Ces dépôts sont composés de sables graveleux à galets siliceux plus ou moins abondants et à matrice argileuse marron, brun plus ou moins abondante. Cette couche a été impactée par les souches et les racines en tête, et peut donc contenir des poches de matériaux décomprimés, évolutifs. Elle a été potentiellement remaniée et remblayée en tête. Elle est également susceptible de renfermer des blocs, potentiellement de grandes dimensions.

Cette couche est de compacité faible à moyenne en tête (5.5 premiers mètres en SP1 et 3.4 premiers mètres en SP2).

Au pressiomètre, on mesure $1.8 \leq E_m \leq 3.3$ MPa et $0.22 \leq p_l^* \leq 0.53$ MPa.

Au-delà, la compacité est globalement élevée.

Au pressiomètre, on mesure $5.8 \leq E_m \leq 47.3$ MPa et $0.85 \leq p_l^* \leq 4.77$ MPa.

➤ Viséen indifférencié (*htf1*) - Substratum

Couche 20 : Rocher marron, rougeâtre (arkoses ? tufs ?)

Enfin, on trouve au droit des forages, à partir de 8.4 à 9.4 m de profondeur le substratum rocheux marron, rougeâtre. Cette couche n'ayant été que très peu reconnue en carottage ; il est difficile de déterminer sa nature exacte.

Cette couche est de compacité très élevée.

Au pressiomètre, on mesure $52.5 \leq E_m \leq 1803.5$ MPa et $p_l^* \geq 4.76$ MPa.

On gardera à l'esprit que :

- Compte tenu du nombre limité de points d'investigations, cette esquisse reste schématique et l'épaisseur des différentes couches n'est certaine qu'au droit des sondages,
- Les sondages ont été réalisés en destructif et en petit diamètre, les limites de couches sont approximatives et la blocométrie des formations est bridée par le diamètre du carottier.

4.2. HYDROGÉOLOGIE

Un niveau d'eau, correspondant vraisemblablement à la nappe alluviale, a été mis en évidence à la foration du sondage carotté (réalisé sans injection d'eau) :

- Vers 8.4 m de profondeur en SC1, soit vers la cote 541.05 mNGF.

Les sondages SP1 et SP2, forés à l'eau n'ont quant à eux pas permis d'observer d'éventuels niveaux d'eau.

Les sondages SC2 à SC7 n'ont pas mis en évidence d'arrivées d'eau. On notera toutefois que les sondages SC2 à SC4 réalisés au-dessus de la voute ont mis en évidence des matériaux humides à leur base (entre 1.5 et 2.0 m).

Remarques :

Les sondages de reconnaissance se font sur une période de courte durée et le niveau d'eau indiqué dans le rapport ne reflète pas forcément le niveau maximal.

L'origine des fluctuations possibles est, soit naturelle (sécheresse, crue de nappe en relation avec la situation météorologique par exemple), soit due à des travaux ou une modification de l'environnement aux alentours immédiats (pompages, rejets, effets de barrages, etc. ...).

On retiendra donc de ce site :

- L'existence d'infiltrations dans les sols superficiels, générant en période météorologique défavorable des poches de rétention dans les horizons de surface,
- L'existence d'une nappe alluviale en lien avec le régime hydraulique du ruisseau et de la Moselle, dont on ne connaît pas les amplitudes de variation, les cours d'eau étant sujets aux épisodes de crue,
- L'existence d'un aquifère fissural dans le substratum, dont la piézométrie n'est pas nécessairement confondue avec celle de la nappe alluviale, et pouvant générer des circulations d'eau en charge,
- Des ruissellements superficiels en conditions météorologiques défavorables alimentés par le relief,
- Un site classé en zone à risque d'inondation vis-à-vis de l'aléa « remontées de nappe ».

4.3. ESSAIS EN LABORATOIRE

Les résultats des essais d'identification GTR en laboratoire réalisés sur les matériaux prélevés en sondages carottés sont récapitulés dans les tableaux ci-dessous.

Sondage	Profondeur (m)	Couche n°	Wn (0/20) %	VBS	GTR (2000)	GTR (2023)
SC1	0.5 - 1.2	11	4.3	0.17	B3	G3
SC1	2.0 - 3.0	11	4.5	0.11	B3	G3
SC1	6.0 - 6.5	11	5.8	0.10	D3	G3
SC2	0.5 - 2.0	02	-	0.24	B5	I1
SC5	0.35 - 1.35	02	-	0.27	C1B5	G3

Sondage	Profondeur (m)	Couche n°	% de passant selon tamis (mm)										
			150	50	40	20	10	5	2	1	0.4	0.2	0.08
SC1	0.5 - 1.2	11	100	95	89	72	57	43	31	24	16	12	10
SC1	2.0 - 3.0	11	100	97	92	75	63	49	37	29	20	15	11
SC1	6.0 - 6.5	11	100	83	80	58	44	34	26	21	14	11	9
SC2	0.5 - 2.0	02	100	100	-	87	79	70	59	50	38	30	21.9
SC5	0.35 - 1.35	02	100	95	-	79	63	49	37	30	23	18	13.8

Les matériaux constitutifs de la couche 11 (dépôts des fonds de vallon) sont classés B3 à D3 selon le GTR 2000 et G3 selon le GTR 2023, soit des matériaux peu sensibles à l'eau, sablo-graveleux contenant peu de fines. Ces matériaux sont très peu cohérents, et généralement perméables, voire fortement perméables.

Les matériaux constitutifs de la couche 02 (remblai de la RN66) sont classés B5 à C1B5 selon le GTR 2000 et I1 / G3 selon le GTR 2023, soit des matériaux peu sensibles à l'eau, sableux avec peu de fines et plus ou moins blocailleux. L'abondance de fines est cependant variable (13 à 22 % de passant à 80 µm) et les sondages carottés montrent localement que la matrice est plus abondante.

5. CONDITIONS SISMIQUES

5.1. CLASSE ET PARAMÈTRE DE SOL

Au sens de la norme NF EN 1998-1, on retiendra que le sol est à priori de **classe E** ce qu'il conviendrait le cas échéant de valider par une mesure directe du VS30 par méthode MASW par exemple. Le tableau ci-après décrit les différentes classes de sol disponibles dans la norme.

Classe de sol	Description du profil stratigraphique	Paramètres		
		Vs.30 (m/s)	NSPT (coups /30 cm)	Cu (kPa)
A	Rocher ou autre formation géologique de ce type comportant une couche superficielle d'au plus 5m de matériau moins résistant	>800	-	-
B	Dépôts raides de sable, de gravier ou d'argile sur-consolidée, d'au moins plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur, caractérisés par une augmentation progressive des propriétés mécaniques avec la profondeur	360 – 800	> 50	>250
C	Dépôts profonds de sable de densité moyenne, de gravier ou d'argile moyennement raide, ayant des épaisseurs de quelques dizaines à plusieurs centaines de mètres	180-360	15 - 50	70-250
D	Dépôts de sol sans cohésion de densité faible à moyenne (avec ou sans couches cohérentes molles) ou comprenant une majorité de sols cohérents mous à fermes	< 180	< 15	< 70
E	Profil de sol comprenant une couche superficielle d'alluvions avec des valeurs de Vs de classe C ou D et une épaisseur comprise entre 5m environ et 20m reposant sur un matériau plus raide avec Vs > 800 m/s			
S1	Dépôts composés ou contenant une couche d'au moins 10m d'épaisseur d'argiles molles/vases avec un indice de plasticité élevé (PI > 40) et une teneur en eau importante	< 100 (valeur indicative)		10 – 20
S2	Dépôts de sols liquéfiables d'argiles sensibles ou tout autre profil de sol non compris dans les classes A à E ou S1			

Les terrains ont donc un paramètre de sol $S = 1.8$ (classe E).

Pour rappel $a_{gr} = 1.1 \text{ m/s}^2$ (Cf chapitre 2.6).

5.2. LIQUÉFACTION

On appelle liquéfaction d'un sol un processus conduisant à la perte totale de résistance au cisaillement du sol par augmentation de la pression interstitielle. Elle s'accompagne de déformations dont l'amplitude peut être limitée ou quasi illimitée. Ce processus intéresse les sols sous nappe fins ou peu compacts.

Le contexte géotechnique de sols moyennement compacts, à squelette graveleux, et l'absence de nappe dans les sables et graviers moins compacts en tête, nous permet à ce stade d'écarter le risque de liquéfaction.

6. SYNTHÈSE DES DONNÉES DE SOL ET ALÉAS GÉOTECHNIQUES

6.1. SYNTHÈSE DES DONNÉES GÉOTECHNIQUES

Compte tenu des investigations menées, le site est marqué par la succession lithologique et les caractéristiques mécaniques suivantes :

		RN66				Plateforme de grutage		
Lithologie		Remblai RN66				Terre végétale	Dépôts de fond de vallon	Viséen indifférencié (htf1) Substratum
Description		Enrobé	Cailloux, blocs de granite à matrice sableuse peu abondante	Sable limoneux / Limon sableux marron, brun, rougeâtre à cailloux et blocs	Vide	Limon sableux brun foncé à racines	Sables, graviers, galets siliceux et blocs à matrice argileuse marron, brun plus ou moins abondante	Rocher marron, rougeâtre (arkoses ? tufs ?)
N° couche		00	01	02	-	10	11	20
Compacité		-	-	Moyenne en tête, Élevée à très élevée au-delà	-	-	Faible - Moyenne en tête Élevée au-delà	Très élevée
GTR	2000	-	-	B5 / C1B5	-	-	B3 à D3	-
	2023	-	-	I3 / G3	-	-	G3	-
Hydrogéologie		-	-	Matériaux humides au-dessus de la voute	-	-	Nappe alluviale sujette à fluctuations	Aquifère fissural
Limites des couches (m) Cotes NGF	SC1	-	-	-	-	0.00 - 0.05 549.45 - 549.40	0.05 - 9.40 549.40 - 540.05	9.40 - 10.00* 540.05 - 539.45*
	SP1	-	-	-	-	0.00 - 0.10 549.22 - 549.12	0.10 - 8.40 549.12 - 540.82	8.40 - 15.00* 540.82 - 534.22*
	SP2	-	-	-	-	0.00 - 0.10 549.61 - 549.51	0.10 - 8.50 549.51 - 541.11	8.50 - 15.00* 541.11 - 534.61*
	SC2	0.00 - 0.11 549.1 - 549.0	0.11 - 0.50 549.0 - 548.6	0.50 - 2.00* 548.6 - 547.1*	-	-	-	-
	SC3	0.00 - 0.14 549.1 - 549.0	0.14 - 0.30 549.0 - 548.8	0.30 - 2.00* 548.8 - 547.1*	-	-	-	-
	SC4	0.00 - 0.09 549.1 - 549.0	0.09 - 0.35 549.0 - 548.8	0.35 - 2.00* 548.8 - 547.1*	-	-	-	-
	SC5	0.00 - 0.11 549.2 - 549.1	0.11 - 0.35 549.1 - 548.9	0.35 - 1.55 548.9 - 547.7	1.55 - 3.00 547.7 - 546.2	-	-	-
	SC6	0.00 - 0.32 549.2 - 548.9	0.32 - 0.70 548.9 - 548.5	0.70 - 3.05* 548.5 - 546.15*	-	-	-	-
	SC7	0.00 - 0.34 549.0 - 548.7	0.34 - 1.18 548.7 - 547.8	2.50 - 4.50* 546.5 - 544.5*	1.18 - 2.50 547.8 - 546.5	-	-	-

*Fin du sondage : épaisseurs partielles.



6.2. MODÈLE GÉOTECHNIQUE RETENU AU STADE G2-PRO

Nous retiendrons le modèle géotechnique suivant pour le dimensionnement des fondations profondes.

N° couche	Cote de tête (mNGF)	Cote de base (mNGF)	Épaisseur (m)	$pl^*_{;k}$ (MPa)	$pf^*_{;k}$ (MPa)	$Em_{;k}$ (MPa)	α
10, 11a	549.50	546.50	3.0	0.20	0.15	2.0	0.33
11b	546.50	543.70	2.8	0.50	0.25	2.5	0.33
11c	543.70	540.80	2.9	1.20	0.70	8.0	0.33
20	540.80	< 534.00	> 6.8	5.00	5.00	100.0	0.5

6.3. ALÉAS

Les aléas géotechniques sont en relation entre autres, avec :

6.3.1. LA GÉOLOGIE

Les aléas sont liés :

- Aux variations d'épaisseur des différentes couches entre les sondages, notamment des horizons alluvionnaires peu compacts, ou des terrains anciennement remaniés ou remblayés,
- Aux variations latérales de faciès au sein des alluvions / dépôts de fond de vallon entraînant :
 - des variations d'épaisseur de la principale couche alluviale (couche 11),
 - des variations de nature et de granulométrie par lentilles au sein d'une même couche (argile, sable, graves, ...), et donc des variations de perméabilité,
 - l'apparition possible de sols de nature localement différente de celle trouvée dans les sondages lors des terrassements,
- Aux irrégularités du toit du rocher affecté par l'altération et la fracturation, avec des niveaux de transition au sein desquels les cailloux et blocs de la couche 11 se mélangent à la tête du substratum,
- À la présence de remblais, et terrains remaniés,
- À l'altération et la fracturation rocher pouvant faire apparaître des zones très décomprimées à différentes profondeurs en son sein,
- À l'hétérogénéité, la blocométrie des différentes couches,
- À la présence possible de poches organiques, décomprimées,
- À la présence de pendages, irrégularité du toit du substratum,
- À l'hétérogénéité des faciès pouvant générer des hors profils lors des terrassements.

6.3.2. LA NATURE DES MATÉRIAUX

Les aléas sont liés à :

- La sensibilité à l'eau et à l'affouillement des sols,
- La sensibilité au remaniement mécanique à l'exécution,
- Aux remblais au-dessus et autour de l'ouvrage, hétérogènes, de blocométrie variable,
- La présence de gros éléments au sein de la couche 11, ou en tête de la couche 20,
- La présence possible de sols compressibles évolutifs, présents potentiellement en couches ou lentilles sur les premiers mètres de la couche 11.

6.3.3. L'HYDROGÉOLOGIE

Les aléas sont liés :

- À des arrivées d'eau parasites en périodes pluvieuses dans les couches superficielles, et à la formation possible de poches de stagnation,
- À la nappe alluviale, liée aux cours d'eau dont le niveau est susceptible de se rapprocher du terrain naturel en conditions météorologiques défavorables, et sujette à fluctuations,
- À des alimentations parasites par l'environnement (infiltration, tranchées de réseaux, ...),
- À la présence d'un aquifère fissural dans le substratum, avec des circulations potentiellement en charge,
- Aux ruissellements superficiels en conditions météorologiques défavorables alimentés par le relief environnant.

6.3.4. L'ENVIRONNEMENT ET L'HISTORIQUE DU SITE

Les aléas sont liés :

- À l'implantation du projet en crête de talus,
- À la présence de nombreux arbres sur la parcelle, et systèmes racinaires associés avant les travaux de déboisement de 2021 (modalités de dessouchage inconnues),
- À l'ouvrage, dont le mode de conception et la géométrie ne sont pas connus avec précision,
- À la présence de cavités (anthropiques) de part et d'autre de la partie voutée de l'ouvrage (cf. inspection caméra en annexe 7),
- À la présence de réseaux enterrés au droit du projet.

6.3.5. RISQUES NATURELS

- Implantation du projet dans une zone à risque d'inondation par remontée de nappe,
- Risque sismique (zone 3 : moyen),
- Risque radon (aléa fort), non impactant ici pour ce projet.

7. PRINCIPES GÉNÉRAUX DE RÉALISATION DES OUVRAGES GÉOTECHNIQUES

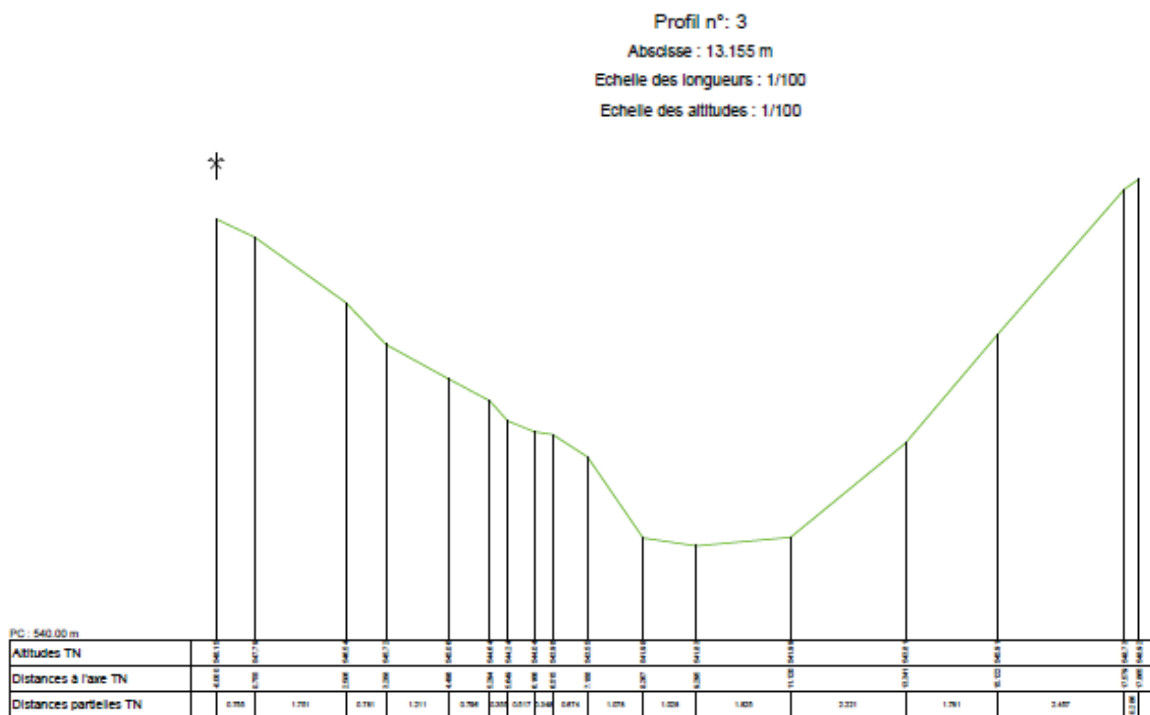
Les solutions proposées sont celles qui semblent les meilleures à ce stade en fonction des données en notre possession.

D'autres solutions pourraient cependant être proposées en fonction de critères non pris en compte dans une étude de faisabilité et qui peuvent apparaître en phase conception ou d'exécution (problèmes de délais ou de phasage, variante locale économique, modification de l'environnement, caractéristiques particulières du projet non portées à notre connaissance). Si cela était le cas, nous conseillons à la Maîtrise d'œuvre ou à la Maîtrise d'Ouvrage de nous confier une mission pour valider les modifications apportées.

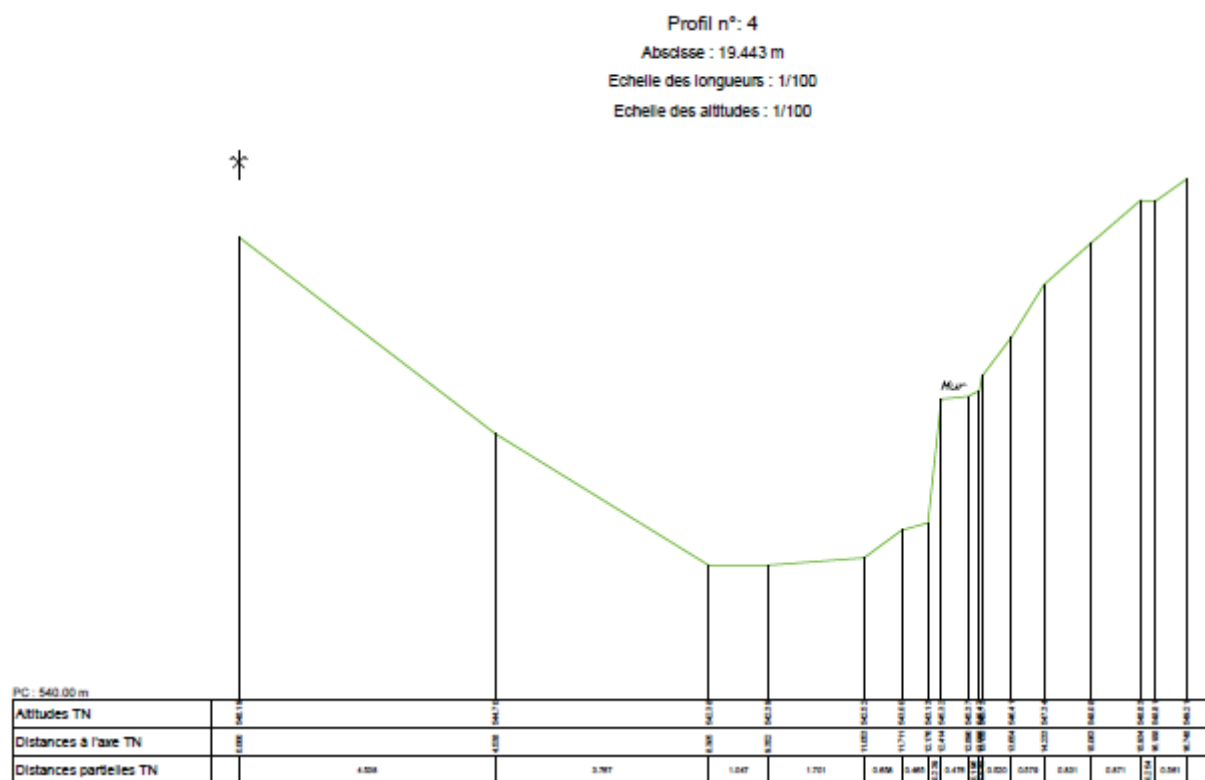
- Les principes généraux de réalisation des terrassements et les dispositifs d'assainissement et de drainage à adopter sont développés au chapitre 8.
- Pour ce qui concerne les fondations de la grue,

Compte-tenu du contexte géotechnique à savoir :

 - De sols peu compacts, sujets à d'importants tassements en surface (sur 3.0 m d'épaisseur environ selon nos sondages),
 - L'implantation du projet en crête de talus (profils en travers ci-dessous),



Profil en travers n°3 (extrait du document [4])



Profil en travers n°4 (extrait du document [4])

Ce talus est haut (entre 6.5 et 8.0 m de hauteur), raide (pentes comprises entre 4H/3V et 1H/1V) mais ne présente toutefois pas de désordres notables, hormis un léger déjointement du mur en retour vraisemblablement dû à des maçonneries vieillissantes. Les matériaux étant très peu cohésifs, ces talus sont essentiellement justifiables par l'angle de frottement des sables et graviers.

Une modélisation prudente reviendrait donc à considérer l'état actuel en limite de stabilité (facteur de sécurité de 1.0 vis-à-vis de la rupture rotationnelle). L'ajout d'une surcharge en tête ne permettrait donc pas, systématiquement, de justifier la stabilité du modèle.

Nous préconisons ainsi de n'apporter aucune surcharge liée au projet en tête du talus.

La solution proposée est donc de reporter les charges de la plateforme de grutage dans le terrain en profondeur via des massifs de répartition sous les patins de la grue, portés par des fondations profondes (micropieux de type II).

Le dimensionnement géotechnique des micropieux est développé au chapitre 9.

- Pour ce qui concerne le soutien provisoire de la demi-chaussée en phase travaux nécessaire au remplacement du mur tympan de l'ouvrage, les solutions de soutènement provisoires « classiques » ne sont pas envisageables compte-tenu de l'impossibilité de mise en fiche.

Nous vous proposons alors la réalisation d'une solution de talus provisoire raidi, dont la stabilité serait justifiée par injection d'un matériau cohésif (résine, coulis faiblement dosé, ...) dans le remblai de la route.

Les caractéristiques mécaniques cibles à atteindre et la justification de la stabilité de l'ouvrage à la rupture rotationnelle sont développés au chapitre 10.

8. PRINCIPES GÉNÉRAUX DES TERRASSEMENTS

8.1. GÉNÉRALITÉS SUR LES TRAVAUX ENVISAGÉS

La plateforme de grutage sera calée vers la cote du terrain actuel. Aucun déblai ni remblai significatif n'est donc prévu pour cet ouvrage provisoire. Les terrassements comprennent alors :

- Un simple reprofilage du terrain pour sa mise à niveau,
- Les fondations seront quant à elles forées avec tubage au travers de la couche 11.

Le remplacement du mur tympan du pont nécessitera quant à lui un décaissement provisoire de l'ordre de 2.3 m de hauteur ; entre le niveau de la RN et le sommet de la voûte de l'ouvrage.

Le projet nécessite l'amenée d'un matériel lourd impliquant une plate-forme de portance correcte. On vérifiera que les ouvrages existants peuvent supporter le trafic des engins prévus pour la réalisation des terrassements.

8.2. TERRASSEMENTS

Les matériaux concernés par les terrassements sur chaussée (pour les travaux sur le mur tympan) sont inconnus à ce stade. Ce point fera l'objet de sondages spécifiques réalisés dans le cadre d'une mission G5 et rapporté à l'indice supérieur de ce rapport.

Nous conseillons pour la préparation de la plateforme de grutage :

- La purge de la terre végétale, des poches de matériaux décomprimés ou organiques, et le dessouchage si nécessaire,
- La réalisation des terrassements à la pelle en rétro, en excluant toute circulation d'engins à pneus sur l'arase terrassée,
- La mise en dépôt des matériaux extraits.

Nous préconisons la réalisation des terrassements en situation météo favorable.

8.3. STABILITÉ DES TALUS

8.3.1. TALUS EXISTANTS ET DÉFINITIFS

Les profils 1, 2, 3, 4 du document [4] et rappelés au chapitre 1.4.1. mettent en évidence des talus existants (correspondant aux berges du cours d'eau) d'environ 6.0 à 8.0 m de hauteur. Ils sont globalement raides, en rive Sud comme en rive Nord avec des pentes réglées entre environ 4H/3V (4 Horizontal pour 3 Vertical) et 1H/1V.

Il n'est pas prévu de travaux ni de modifications sur ces talus ; par ailleurs, ils ne présentent pas de désordres particuliers.

Nous préconisons alors de conserver ces talus dans l'état, sous réserve que les travaux ne les aient pas affaiblis ou détériorés en veillant à maintenir une végétalisation en place compte-tenu du risque d'érosion des matériaux constitutifs.

Enfin, en phase travaux, tout stockage de matériel, de matériaux en crête de talus sera strictement interdit. Tout décaissement en pied de talus sera également interdit.

8.3.2. TALUS PROVISOIRE SUR RN

Le remplacement du mur tympan nécessitera un décaissement de l'ordre de 2.3 m de hauteur.

Compte-tenu du contexte particulier, aucun dispositif de soutènement provisoire à proprement parler n'est ici envisageable (pas de possibilité de mise en fiche).

Les contraintes d'emprise et de gestion de la circulation alternée ne permettent pas non plus la réalisation d'un talus de déblai réglé à une pente justifiable par le calcul.

L'étude de la solution de talus raidi est développée au chapitre 10.

8.4. DISPOSITIFS D'ASSAINISSEMENT ET DE DRAINAGE

Les terrassements ne devraient pas recouper de nappe libre. En revanche, en situation pluvieuse, on aura à gérer des venues d'eau dans les remblais.

En phase chantier, les dispositifs d'assainissement correspondent à la nécessité de protéger les plates-formes et les talus des ruissellements et des précipitations directes. Il faudra éventuellement assurer le pompage dans les fouilles (eaux météoriques + circulations erratiques).

En phase définitive, il conviendra de rétablir tout drainage ayant pu être interrompu par les travaux en respectant une cohérence entre les fils d'eaux des différents systèmes.

9. DIMENSIONNEMENT GÉOTECHNIQUE DES FONDATIONS PROFONDES DE LA GRUE PAR MICROPIEUX (MISSION G2-PRO)

9.1. GÉNÉRALITÉS

Compte-tenu du contexte géotechnique, il est prévu de fonder les appuis ponctuels de la grue sur micropieux. La portance sera assurée uniquement par les fondations profondes, et on veillera bien à éviter tout report de charge en crête de talus aussi bien en excluant tout stockage, qu'en s'assurant que le fonctionnement de la grue sera totalement désolidarisé de la couche 11.

Les micropieux seront ancrés au sein de la couche 20 rencontrée à partir de 8.4 à 9.4 m de profondeur par rapport à la tête de nos sondages.

Les micropieux seront de type II (**catégorie 18 ; classe 1bis**), armés, remplis de coulis injecté sous faible pression.

Nous suggérons un mode de foration de type foré tubé avec tubé récupéré dans les couches 10 et 11, foré simple dans la couche 20.

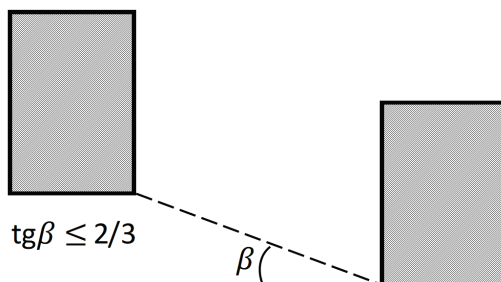
Extrait de la norme NF P94-262

Classe	Catégorie	Technique de mise en œuvre	Abréviation	Norme de référence
1	1	Foré simple (pieux et barrettes)	FS	NF EN 1536
	2	Foré boue (pieux et barrettes)	FB	
	3	Foré tubé (virole perdue)	FTP	
	4	Foré tubé (virole récupérée)	FTR	
	5	Foré simple ou boue avec rainurage ou puits	FSR, FBR, PU	
2	6	Foré tarière creuses simple rotation ou double rotation	FTC, FTCD	NF EN 1536
3	7	Vissé moulé	VM	NF EN 12699
	8	Vissé tubé	VT	
4	9	Battu béton préfabriqué ou précontraint	BPF, BPR	NF EN 12699
	10	Battu enrobé (béton – mortier – coulis)	BE	
	11	Battu moulé	BM	
	12	Battu acier fermé	BAF	
5	13	Battu acier ouvert	BAO	NF EN 12699
6	14	Profilé H battu	HB	NF EN 12699
	15	Profilé H battu injecté	HBi	
7	16	Pal planches battues	PP	NF EN 12699
1 bis	17	Micropieu type I	M1	NF EN 1536/14199/12699
	18	Micropieu type II	M2	
8	19	Pieu ou micropieu injecté mode IGU (type III)	PIGU, MIGU	
	20	Pieu ou micropieu injecté mode IRS (type IV)	PIRS, MIRS	

9.2. NIVEAU D'ASSISE

Pour la définition du niveau d'assise minimal, on veillera à :

- Assurer un ancrage minimal de 2.0 m au sein de la couche d'ancrage (couche 20),
- Respecter un entraxe entre micropieux voisins projetés, supérieur ou égal à 3ϕ afin d'éviter les effets de groupe (le cas échéant, les possibles effets de groupe seront à considérer),
- Respecter les règles empiriques sur les fondations à niveaux décalés, en cas de micropieux de moins de 3ϕ d'entraxe.

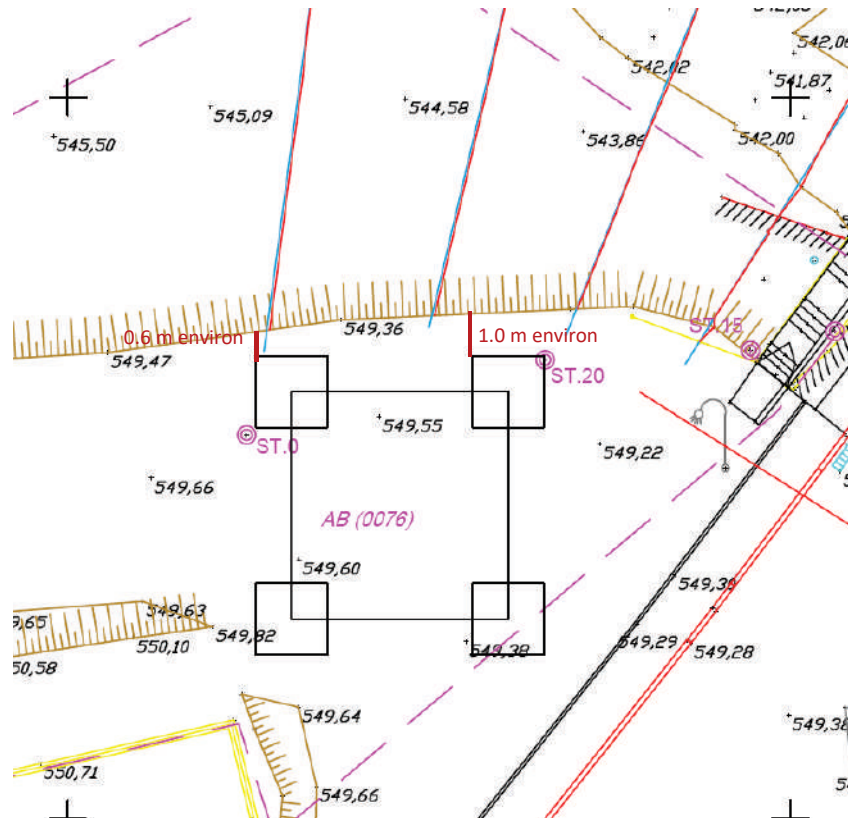


Au-delà de ces règles de base, la fiche effective sera calculée en fonctions des charges à reprendre.

9.3. HYPOTHÈSES DE DIMENSIONNEMENT

9.3.1. HYPOTHÈSES GÉOMÉTRIQUES

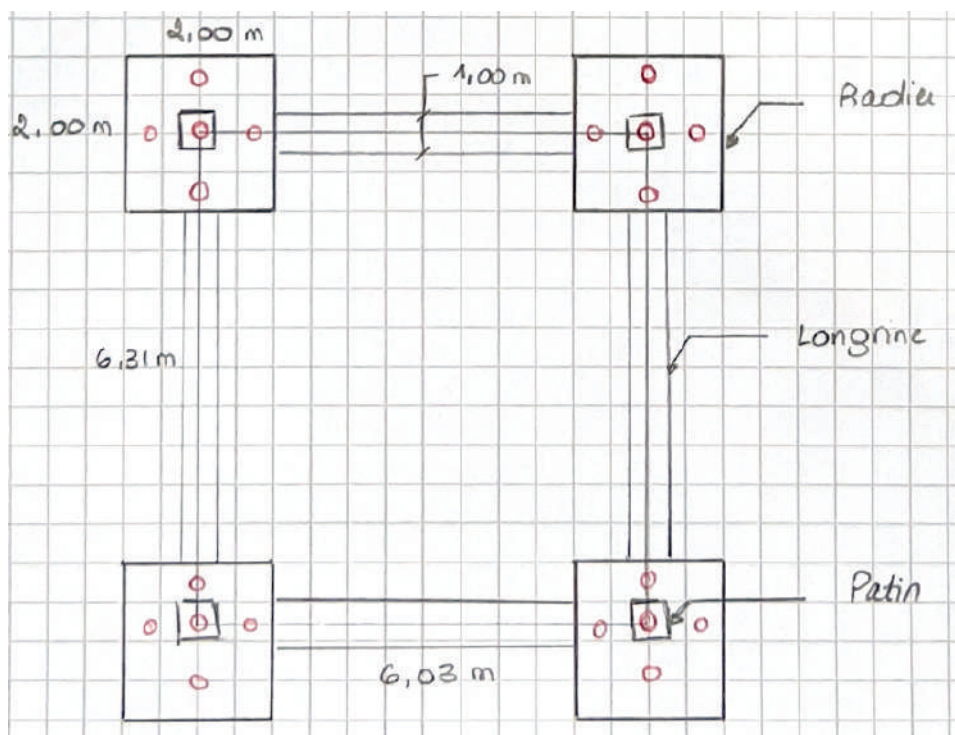
D'après les documents mis à notre disposition (documents [7] et [9]), la grue reposera sur 4 massifs isolés de 2.0 x 2.0 m chacun.



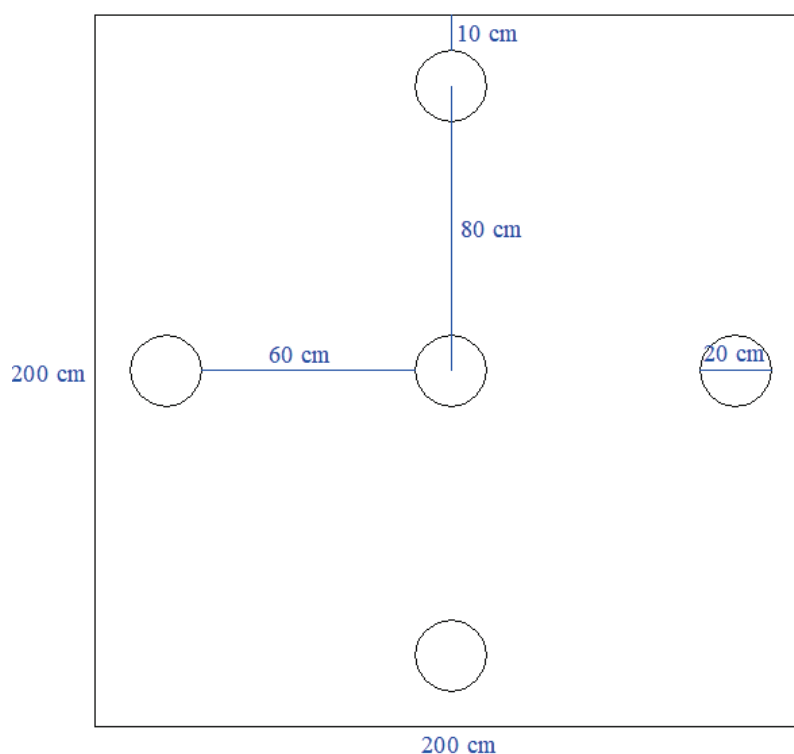
Implantation prévisionnelle des appuis (extrait du document [7])

Les deux massifs côté ruisseau seront implantés à 0.6 et 1.0 m de la crête de talus environ.

Chaque massif reposera sur un réseau de 5 micropieux, que nous proposons de répartir de la manière suivante :



Plan de principe des appuis (extrait du document [9])



Cette répartition permet de respecter le critère d'entraxe entre chaque micropieu supérieur à $3\varnothing$; aucun effet de groupe ne sera donc considéré dans la suite des calculs.

9.3.2. DESCENTES DE CHARGES ET COMBINAISONS D' ACTIONS

Conformément aux indications de l'équipe de MOE, nous considérons les actions suivantes en tête de micropieux (document [9]).

Ces efforts sont donnés par massif, en tête de micropieux ; nous les répartirons par la suite par micropieu.

- Charges :
 - CH1 : poids propre du massif = 45 kN,
 - CH2 : surcharge d'exploitation = 40 kN,
 - CH3 : patins de la grue = 714 kN
- Combinaisons d'actions :
 - Aux ELS : CH1 + CH2 + CH3 = 799 kN,
 - À l'ELU Fondamental : $1.35 \text{ CH1} + 1.5 \text{ CH2} + 1.5 \text{ CH3} = 1192 \text{ kN}$.

Ces efforts sont uniquement verticaux ; aucun effort horizontal ni moment ne nous a été transmis.

Cette modélisation considère donc à ce stade que l'on amène aucun effort transversal en direction des talus, et qu'aucun effort d'arrachement ne s'applique sur les fondations ce que le maître d'œuvre devra confirmer. Si de tels efforts devaient être pris en compte, l'entreprise devra les justifier dans le cadre de sa mission G3.

9.3.3. CRITÈRES DE DÉPLACEMENT

À ce stade, nous ne disposons d'aucun critère de déplacement admissible des ouvrages. Les déplacements calculés dans le présent rapport devront en ce sens être validés par l'équipe de MOE/ MOA le cas échéant, les dimensionnements seront repris.

9.3.4. HYPOTHÈSES RELATIVES À LA CORROSION

Sans objet ; ouvrage provisoire.

9.3.5. HYPOTHÈSES RELATIVES AU SÉISME

Sans objet ; ouvrage provisoire.

9.3.6. CARACTÉRISTIQUES DES MICROPIEUX

Nous tablons à ce stade sur des micropieux tels que :

Cote de la tête des micropieux (mNGF)	549.5
Cote de la base des micropieux (mNGF)	538.5
Longueur totale minimale des micropieux (m)	11.0
Type de micropieux au sens de la norme NF P 94-262 ⁽¹⁾	Micropieux type II (Classe 1bis - Catégorie 18) Forés tubés (tube récupéré) couches 10 et 11 Forés simple couche 20
Diamètre des micropieux	200 mm
Armature des micropieux	Tube pétrolier 88.9/9.0 mm

⁽¹⁾ Attention ; l'emploi d'autres techniques de forage conduirait à une reprise des calculs et potentiellement à un dimensionnement plus conséquent des ouvrages.

On considère le produit d'inertie suivant pour les micropieux (coulis de ciment négligé), corrosion non considérée (ouvrage provisoire) :

$I_{\text{Tube } 88.9/9.0} \text{ (cm}^4\text{/micropieu)}$	182.57
$EI_{\text{Tube } 88.9/9.0} \text{ (kN.m}^2\text{/micropieu)}$	383

9.4. MODÈLES

9.4.1. MODÈLE GÉOTECHNIQUE DE TERRAIN

Nous proposons en première approche le modèle géotechnique suivant :

N° couche	Cote de tête (mNGF)	Cote de base (mNGF)	Épaisseur (m)	$pl_{;k}^*$ (MPa)	$pf_{;k}^*$ (MPa)	$Em_{;k}$ (MPa)	α	Courbe de frottement	$\alpha_{\text{pieu/sol}}$
10, 11a	549.5	546.5	3.0	0.20*	0.15*	2.0	0.33	Q2	1.4
11b	546.5	543.7	2.8	0.50	0.25	2.5	0.33	Q2	1.4
11c	543.7	540.8	2.9	1.20	0.70	8.0	0.33	Q2	1.4
20	540.8	< 534.0	> 6.8	5.00	5.00	100.0	0.5	Q5	1.6

* Couches ici négligées dans le calcul de la capacité portante des micropieux

Les valeurs présentées dans le tableau précédent correspondent à des valeurs relativement prudentes définies sur la base d'un critère de dimensionnement géotechnique. D'autres valeurs caractéristiques pourraient être retenues sur la base des autres critères (difficulté de foration, etc, ...).

9.4.2. MODÈLE HYDROGÉOLOGIQUE

À ce stade nous ne connaissons pas les niveaux caractéristiques des nappes au droit du site.

En première approche, le site n'étant pas situé en zone inondable, nous considérons que le projet n'interférera pas avec une nappe éventuelle.

Attention, cela ne signifie pas que la foration des micropieux n'interceptera pas des venues d'eau, voire la nappe d'accompagnement du ruisseau.

9.5. PRINCIPE DE VÉRIFICATION ET MÉTHODOLOGIE DES CALCULS

9.5.1. PRINCIPES DE VÉRIFICATIONS

Les vérifications géotechniques réalisées dans le cadre de la présente étude respectent la norme NF P94-262 relative à la justification des ouvrages géotechniques de type fondations profondes. Elles concernent :

- le critère relatif à la capacité portante des micropieux en compression soumis à un chargement vertical descendant. Il s'agit du critère « **GEO : Portance - Fondations profondes sous charge axiale** », à vérifier pour l'ensemble des combinaisons d'actions (ELS, ELU).
- le critère relatif à la résistance à la traction des micropieux soumis à un chargement vertical ascendant. Il s'agit du critère « **GEO/UPL : Résistance de traction - Fondations profondes sous charge axiale** », à vérifier pour l'ensemble des combinaisons d'actions (ELS, ELU).

Non abordé ici, en l'absence d'efforts de traction.

- le critère relatif à la résistance structurale des micropieux sous chargement axial et transversal. Il s'agit du critère « **STR : Résistance structurale - Fondations profondes sous charge axiale et transversale** », à vérifier pour l'ensemble des combinaisons d'actions (ELS, ELU).
- le critère relatif à la stabilité du site des travaux. Il s'agit du critère « **GEO : Stabilité générale** ». Non abordé, considéré comme justifié ici.
- le critère relatif aux déplacements et déformation des micropieux. Il s'agit du critère « **GEO : Déplacement et déformation du micropieu / groupe de micropieux** », à vérifier essentiellement pour les combinaisons ELS Quasi-Permanentes.

9.5.2. PRINCIPE DE CALCUL DE LA CAPACITÉ PORTANTE EN COMPRESSION

Il convient de vérifier que :

- À l'ELS : $V_{d;ELS} \leq R_{c;cr;d}$
- À l'ELU F : $V_{d;ELU} \leq R_{c;d}$

Avec $R_{c;cr;d}$ et $R_{c;d}$ calculées à partir des règles de justification des fondations profondes développées au sein de la norme NF P 94-262 + A1, suivant l'approche 2 des Eurocodes et selon la méthode du modèle de terrain.

On a :

- $R_{c;cr;d}$: valeur de calcul de la charge de fluage en compression du terrain de la fondation profonde

$$R_{c;cr;d} = \frac{R_{c;cr;k}}{\gamma_{cr}} = \frac{0,7 \cdot R_{s;k}}{\gamma_{cr}} = \frac{0,7 \cdot R_s}{\gamma_{cr} \cdot \gamma_{R;d1} \cdot \gamma_{R;d2}} = \frac{0,7 \left[P_s \int_0^D q_s(z) dz \right]}{\gamma_{cr} \cdot \gamma_{R;d1} \cdot \gamma_{R;d2}}$$

- $R_{c;d}$: valeur de calcul de la résistance à la compression du terrain de la fondation profonde

$$R_{c;d} = \frac{R_{c;k}}{\gamma_t} = \frac{R_{s;k}}{\gamma_s} = \frac{R_s}{\gamma_s \cdot \gamma_{R;d1} \cdot \gamma_{R;d2}} = \frac{P_s \int_0^D q_s(z) dz}{\gamma_s \cdot \gamma_{R;d1} \cdot \gamma_{R;d2}}$$

Avec :

- $R_{s;k}$: valeur caractéristique de la résistance de frottement axial,
- R_s : résistance limite de frottement axial,
- P_s : périmètre du fut du micropieu (m),

- D : longueur de la fondation dans le terrain (m),
- $q_{s,k}(z)$: frottement latéral unitaire limite à la cote z (kPa),
- $q_{s,k} = \alpha_{\text{pieu-sol}} \cdot f_{\text{sol}} \cdot [p^*(z)]$.

9.5.3. VÉRIFICATION STRUCTURELLE SOMMAIRE DES TUBES D'ARMATURE

Il faut vérifier à l'ELU les inégalités suivantes conformément à l'Eurocode 3 partie 5 (NF EN 1993-5) et partie 1 (NF EN 1993-1).

- **Vis-à-vis de l'effort normal :**

Les efforts normaux sollicitants N_{Ed} et les efforts résistants $N_{c,Rd}$ doivent vérifier la relation suivante :

$$N_{Ed} \leq \frac{N_{c,Rd}}{\gamma_{Rd}} = \frac{A f_y}{\gamma_{Rd} \times \gamma_{M0}}$$

Avec :

- f_y : limite élastique de l'acier prise égale à 550 MPa,
- N_{Ed} : effort normal dans le tube le plus chargé à l'ELU,
- A : aire corrodée = aire non corrodée ici (m²),
- $\gamma_{M0} = 1.0$,
- $\gamma_{Rd} = 1.1$, pour des tubes pétroliers conformément à la norme NF P 94-262 - A1.

- **Vis-à-vis du flambement :**

Il convient de vérifier pour un tube comprimé vis-à-vis du flambement la relation suivante :

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}}$$

Où :

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}}, \text{ mais } \chi \leq 1,0$$

Avec :

$$\Phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$$

Et avec les paramètres suivants :

- $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{F_{cr}}}$ pour les sections transversales de classes 1 et 2,
- α est un facteur d'imperfection,
- $\gamma_{M1} = 1.0$,
- F_{cr} : charge critique de flambement du tube, calculée par Foxta.

9.6. RÉSULTATS

Il vient, pour un massif de 2.0 x 2.0 m, pour les descentes de charges combinées présentées au 9.3.2. et pour une répartition des micropieux telle que présentée au 9.3.1., les efforts suivants en tête de chaque micropieu :

Cas de charge	V_d (kN)	H_d (kN)	M_d (kN.m)
ELS	159.8	0	0
ELU F	238.4	0	0

Les 5 micropieux reprenant équitablement les charges du massif.

- **Capacité portante en compression :**

Charge (V_d) par micropieu		Diamètre micropieu (m)	Longueur micropieu (m)	Vérification en portance (NF P 94-282)		
ELS (kN)	ELU (kN)			ELS $R_{c,cr,d}$ (kN)	ELU F $R_{c,d}$ (kN)	Vérif portance
159.8	238.4	0.2	11.0	207.0	296.0	OK

Les critères de portance en compression sont donc vérifiés pour les hypothèses énoncées précédemment.

- **Raideurs et tassements :**

Les résultats relatifs à l'estimation des raideurs axiales et des tassements sont synthétisés ci-après :

ELS			ELU F	
V_d max (kN)	Déplacement vertical en tête de micropieu (mm)	Raideur axiale équivalente (kN/m)	V_d max (kN)	Raideur axiale équivalente (kN/m)
159.8	3	5.3 E+04	238.4	5.5 E+04

Sous chargement ELS max, le déplacement vertical des micropieux serait donc inférieur à 0,5 cm.

L'équipe de MOA/ MOE devra vérifier que ces déplacements sont inférieurs au seuil de déplacement vertical admissible.

- **Vérification structurelle du tube d'armature :**

Il vient, pour un tube pétrolier 88.9/9.0 mm de nuance d'acier 550 MPa, les résultats suivants :

N_{ed} (kN)	Vérification vis-à-vis de l'effort normal		Vérification vis-à-vis du flambement		
	N_c (kN)	Vérif	F_{cr} (kN)	N_b (kN)	Vérif
238.4	1243	OK	1456	520	OK

En première approche, les vérifications structurelles des tubes sont validées vis-à-vis du flambement. Il appartient toutefois au BE Structure de mener l'ensemble des vérifications structurelles.

9.7. SUJÉTIONS D'EXÉCUTION ET DE CONTRÔLE

Elles sont liées entre autres :

- À l'interdiction de stockage de matériel en crête de talus,
- À la présence de blocs au sein de la couche 11 pouvant nécessiter la technique ODEX ou OD,
- Au tubage sur toutes les séquences instables (couche 11),
- À la conduite des injections et aux pertes de coulis,
- Au contrôle de la quantité minimale de coulis estimé à 1.5 Vs où Vs est le volume du forage avant injection sur la hauteur injectée, et au contrôle des pressions d'injection et surtout à la notion de pression effective d'injection,
- Au contrôle de la nature des coulis,
- À la mise en place de chaussette géotextile, pour des micropieux de type II, afin de minimiser les pertes de coulis dans les sols graveleux (couche 11),
- Au respect des critères d'ancrage développés au chapitre 9.2.,
- À la variation de l'altimétrie du toit de la couche 20 ; on aura soin de prévoir l'enregistrement des paramètres de forage afin de vérifier ces variations éventuelles et de les compenser par des sur profondeurs de micropieux,
- À la mise en place de centreurs en nombre suffisant,
- À la mise en place d'armatures dans les micropieux par tube pétrolier ou barre et à la vérification des micropieux vis à vis du flambement,
- En présence d'eau, des précautions spéciales devront être prises dans la conduite et l'équipement du forage pour éviter tout éboulement et entraînement de terrain,
- À l'absence de surcharges à proximité des têtes de micropieux pouvant conduire à des frottements latéraux négatifs et à des poussées parasites, non pris en compte dans le présent dimensionnement,
- À l'utilisation d'un coulis de ciment avec un C/E de 2.

L'entreprise prendra toutes les dispositions en phase chantier pour ne pas déstabiliser les ouvrages existants (vibrations en particulier).

Afin de garantir la bonne exécution des micropieux, les travaux de fondations profondes feront l'objet :

- D'un suivi continu sur site réalisé par l'Entreprise adjudicataire des travaux de fondations spéciales dans le cadre du contrôle interne au titre de la mission G3 phase Suivi,
- D'un suivi ponctuel sur site réalisé par un BET géotechnique dans le cadre du contrôle extérieur au titre de la mission G4 phase Supervision du Suivi géotechnique d'exécution.

Le contrôle interne à la charge du chef de chantier/conducteur de travaux de l'Entreprise adjudicataire des travaux de fondations spéciales portera notamment sur :

- L'implantation des micropieux,
- Le contrôle visuel qui devra être renforcé en cours de forage afin de pouvoir adapter la méthodologie de l'entreprise en fonction du contexte géotechnique effectivement rencontré au moment des travaux,

- La rédaction de rapports journaliers (fiche de contrôle des armatures des micropieux, fiche synthétique de micropieux, ...),
- La qualité du coulis,
- Le contrôle des enregistrements de paramètres. L'atelier de forage disposera d'un système d'acquisition et d'enregistrement de paramètres permettant a minima la mesure des paramètres suivants :
 - profondeur de forage,
 - couple de rotation,
 - vitesse d'avancement,
 - volume de béton,
 - pression d'injection du coulis.

Conformément au tableau 8.9.1 de la norme NF P 94-262, des essais de conformité et de contrôle seront réalisés au moment des travaux de fondations :

- L'essai de conformité, mené en règle générale jusqu'à la rupture de la fondation profonde doit être réalisé au début du chantier avant la réalisation des micropieux de manière à contrôler les paramètres de dimensionnement retenus. Ces essais de conformité, réalisés sur des micropieux sacrificiels, seront menés dans les mêmes conditions d'exécution que les micropieux définitifs équipant in fine l'ouvrage,
- L'essai de contrôle est réalisé sur des micropieux définitifs après exécution de ces derniers, jusqu'à une charge n'excédant pas la plus grande des deux valeurs suivantes : 1.3 fois la résistance ELS QP et 1.1 fois la résistance à l'ELS caractéristique (cf. NF P 94-262/A1). Dans tous les cas, l'essai ne doit pas être mené au-delà de la résistance de fluage $R_{c,dr}$ en compression ou $R_{t,cr}$ en traction,
- À l'issue des travaux, l'Entreprise adjudicataire des travaux de fondations spéciales élaborera le Dossier des Ouvrages Exécutés (DOE) regroupant en particulier les documents suivants :
 - les rapports journaliers,
 - les enregistrements de paramètres,
 - les plans de récolement,
 - les résultats des essais sur coulis,
 - les résultats des essais de conformité et de contrôle.

10. ÉLÉMENTS GÉOTECHNIQUES RELATIFS À LA RÉALISATION D'UN TALUS PROVISOIRE RAIDI (MISSION G5)

10.1. GÉNÉRALITÉS

Cette solution consisterait à injecter le remblai de la RN66 jusqu'au toit de la voute (entre 0.0 et 2.3 m de profondeur par rapport à la chaussée) avec un matériau améliorant la cohésion des remblais (résine, coulis faiblement dosé, ...).

Les possibilités de réaliser les injections, le choix de la technique et de la nature des matériaux (coulis, résine, ...) devront être confiés au bureau d'étude d'une entreprise spécialisée. Les modalités d'étude et de réalisation devront être conformément à la norme NF EN 12715 de novembre 2020.

Le but est ici de réaliser des injections d'imprégnation, sans déplacement des terres donc, de façon à améliorer les caractéristiques mécaniques des sols afin de permettre un talus raidi provisoire pendant le chantier.

Les injections devront donc être réalisées préalablement à tout terrassement, en intégrant les contraintes du site (réseaux, cavités répertoriées de part et d'autre de la voûte). Ces vides anthropiques ne devront pas être comblés par les matériaux utilisés pour l'injection, car ils ont vraisemblablement un rôle de diminution de la poussée des terres derrière les voûtes.

Le matériau injecté devra être terrassable à l'aide d'engins adaptés à l'environnement (mini-pelle) pour pouvoir réaliser le talus provisoire.

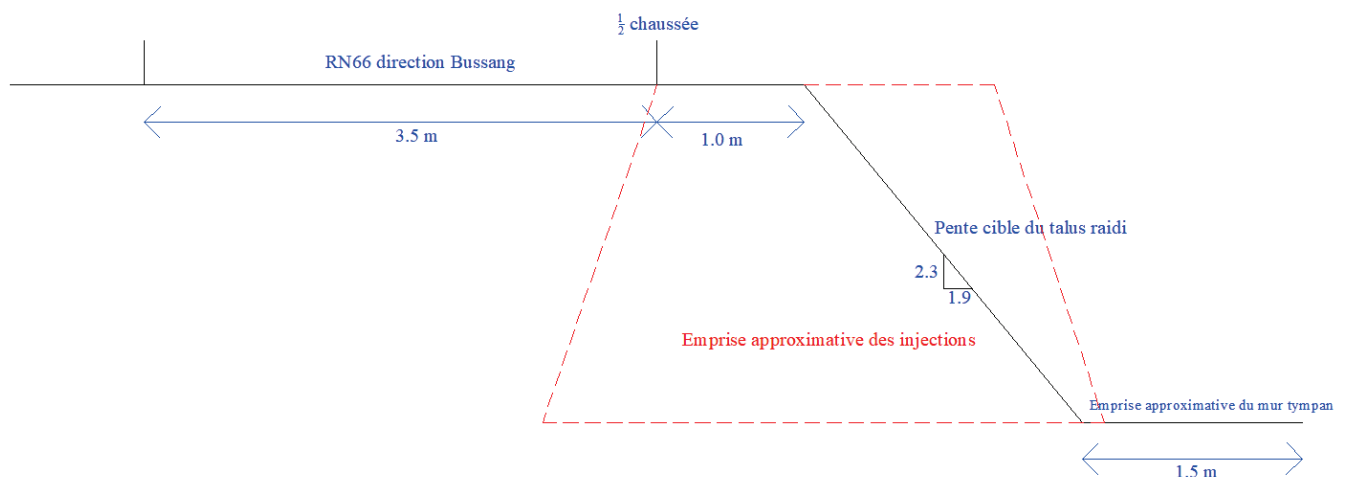
Au vu des essais de laboratoire réalisés, il paraît envisageable de pouvoir tabler sur une porosité efficace de 20 à 30 % dans la couche 02, probablement plus dans la couche 01. Les matériaux sont cependant hétérogènes et des essais préalables d'injection en vraie grandeur seront vraisemblablement à prévoir par l'entreprise.

Ce chapitre s'attachera à fournir les caractéristiques mécaniques cibles à atteindre après injection du remblai pour justifier le critère de stabilité générale du talus en phase travaux.

10.2. HYPOTHÈSES DE CALCUL

10.2.1. HYPOTHÈSES GÉOMÉTRIQUES

Nous étudierons le profil type ci-dessous :



D'après les informations fournies, l'emprise approximative du mur tympan est de l'ordre de 1.5 m. Nous considérons par ailleurs à ce stade une crête de talus à 1.0 m de l'axe de la demi-chaussée.

La hauteur du décaissement nécessaire au remplacement du mur tympan est de 2.3 m.

10.2.2. HYPOTHÈSES RELATIVES AUX SURCHARGES

À ce stade, nous considérons une surcharge d'exploitation de 20 kPa en amont du talus correspondant à la circulation de la RN66, modélisée de la manière suivante :

- à partir de 1.0 m par rapport à la crête du talus,
- sur une largeur d'application de 3.5 m.

Aucune autre surcharge n'est ici considérée.

On gardera à l'esprit qu'aucun stockage de matériel ou de matériaux ne devra être mis en œuvre en crête de talus.

Ces éléments sont à valider par l'équipe de Maîtrise d'œuvre puisqu'ils constituent une hypothèse dimensionnante pour l'ouvrage. Des surcharges supérieures conduiraient à un dimensionnement plus conséquent.

10.3. HYPOTHÈSES GÉOTECHNIQUES

10.3.1. MODÈLE GÉOTECHNIQUE

Le tableau suivant récapitule le modèle géotechnique établi à partir de l'analyse des coupes des sondages, ainsi que les valeurs cibles à atteindre pour les caractéristiques mécaniques des différentes couches :

N° couche	Épaisseur (m)	γ_h (kN/m ³) (non injecté)	c' (kPa) (non injecté)	φ' (°) (non injecté)	γ_h (kN/m ³) (injecté) ⁽¹⁾	c' (kPa) (injecté) ⁽¹⁾	φ' (°) (injecté) ⁽¹⁾
00, 01	0.4	20	0	35	20*	5	35
02	1.9	19	0	30	19*	12	30

⁽¹⁾ Valeurs cibles à atteindre après injection,

* γ_h après injection considérée comme peu modifiée, en considérant une injection à l'aide de matériaux de faible densité.

Le principe de l'injection consisterait à apporter de la cohésion à des matériaux purement frottants permettant de justifier des pentes plus raides que celles acquises uniquement par frottement.

Elle devra être réalisée a minima sur toute la largeur de la demi-chaussée impactée par les terrassements et sur toute la hauteur de terrassement (2.3 m).

10.3.2. MODÈLE HYDROGÉOLOGIQUE

Compte-tenu de la configuration du projet, aucune nappe n'est à prendre en compte dans le modèle.

Toutefois, il conviendra de prévoir tous dispositifs permettant d'éviter toute arrivée d'eau sur le talus :

- Protection par film polyane,
- Mise en place d'une rigole en crête de talus pour canaliser les eaux de ruissellement de la chaussée.

10.3.3. HYPOTHÈSES RELATIVES AU SÉISME

Conformément aux indications de l'équipe de maîtrise d'œuvre, et l'ouvrage étant uniquement provisoire, le dimensionnement au séisme ne sera pas réalisé.

10.4. MÉTHODOLOGIE DE DIMENSIONNEMENT

Il s'agit de vérifier la stabilité en grand du talus provisoire vis-à-vis du glissement circulaire par la méthode des tranches de Bishop.

Ces vérifications sont menées au moyen du logiciel TALREN selon l'approche 3 à l'ELU fondamental (situation courante d'exploitation) en visant un coefficient de sécurité minimal $F_{min} \geq 1,0$.

Selon l'approche 3, les jeux de coefficients partiels retenus sont les suivants : A2 « + » M2 « + » R3, tels que présentés dans le tableau suivant :

Annexe C de la norme NF P94-270		Symbole	Approche 3 ELU fondamental	Approche 3 ELU Sismique
Action			A2	A2
Permanent	Défavorable	$\gamma_{G_{sup}}$	1	1
	Favorable	$\gamma_{G_{inf}}$	1	1
Variable	Défavorable	$\gamma_{Q_{sup}}$	1,3	1
	Favorable	$\gamma_{Q_{inf}}$	0	0
Paramètres du sol			M2	M2
Angle de frottement interne (Ce facteur est appliqué à $\tan\phi$)		γ_{ϕ^F}	1,25	1
Cohésion effective		γ_{c^F}	1,25	1
Cohésion non drainée		γ_{cu}	1,4	1,4
Poids volumique		γ_γ	1	1
Résistance au glissement			R3	R3
Résistance au cisaillement sur une surface de rupture		$\gamma_{R,e}$	1	1
Coefficient de modèle		$\gamma_{R,d}$	1,10 / 1,05(**)	1,0

(**) pour une situation transitoire et ouvrage non sensible aux déformations : 1.10 pour des situations durables et 1.05 pour des situations transitoires.

10.5. RÉSULTATS

Les sorties graphiques TALREN sont reportées en annexe du présent rapport.

Il vient les résultats :

Situation	Phase	FS min	Vérification ($FS \geq 1.0$)
Durable	Travaux	1.01	OUI

Les résultats montrent que le talus est stable, avec un coefficient de sécurité minimal de $FS = 1.01$; pour une pente réglée à environ 1.9 m de base pour 2.3 m de hauteur, et avec des matériaux de caractéristiques mécaniques telles que celles ciblées au 10.3.1.

10.6. SUJÉTIONS D'EXÉCUTION

Elles sont liées entre autres :

- À la prise en compte des cavités de part et d'autre de l'ouvrage, qu'il conviendra par ailleurs d'intégrer dans la réfection globale de l'ouvrage, et à la nécessité de ne pas les combler / injecter si elles ont un rôle d'allègement des terres,
- Au comblement de ces cavités (possibilité d'utiliser un remblai allégé (type polystyrène) pour limiter les poussées supplémentaires sur l'ouvrage),
- À l'étude du phasage des travaux (conduite des injections, terrassements, comblement des cavités, ...),
- À la vérification de l'absence de réseaux ou d'ouvrage enterré dans l'emprise des injections et des terrassements,
- À la conduite des injections avec un maillage suffisamment serré permettant de garantir des volumes injectés suffisants et l'atteinte des caractéristiques mécaniques ciblées au 10.3.1.,
- À la réalisation de forages inclinés permettant d'assurer un débord des injections sous la voie circulée (cf. modèle Talren en annexe 6),
- À la vérification lors des terrassements de l'homogénéité et de la bonne prise des injections,
- Au respect de la pente du talus de déblai présentée dans le modèle du 10.2.1.,
- À la réalisation du terrassement à la pelle mécanique avec des engins adaptés au contexte, en prenant soin de limiter les vibrations, chocs pouvant être préjudiciables aux ouvrages sensibles proches, ce qui nécessite de pouvoir terrasser aisément les matériaux injectés,
- À la protection des talus de déblai à toutes les phases du chantier des éventuelles arrivées d'eau (précipitations directes ou ruissellements) par mise en place d'un film polyane,
- Au suivi visuel de l'état de la chaussée circulée pendant les travaux, et à l'éloignement maximal de la circulation par rapport à la crête des terrassements.

Notre mission se termine à la remise du présent rapport qui constitue un ensemble indissociable.

Nous restons à la disposition de la **DIR EST, d'Artelia**, et de tous les intervenants pour tous renseignements complémentaires.

Dressé par les Ingénieurs soussignés

Ingénieur
en charge de l'opération

Clément ROHART



Ingénieur
en charge de la supervision

Jean-Michel CUINET



ANNEXES



ANNEXE 1 DOCUMENT DE SYNTHÈSE « ÉTAT DES RISQUES »





**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Ce QR Code peut servir à vérifier
l'authenticité des données contenues
dans ce document.

ÉTAT DES RISQUES POUR L'INFORMATION DES ACQUÉREURS ET DES LOCATAIRES

Établi le 13 juin 2024

La loi du 30 juillet 2003 a institué une obligation d'information des acquéreurs et locataires (IAL) : le propriétaire d'un bien immobilier (bâti ou non bâti) est tenu d'informer l'acquéreur ou le locataire du bien sur certains risques majeurs auquel ce bien est exposé, au moyen d'un état des risques, ceci afin de bien les informer et de faciliter la mise en œuvre des mesures de protection éventuelles .

L'état des risques est obligatoire à la première visite.

Attention! Le non respect de ces obligations peut entraîner une annulation du contrat ou une réfaction du prix.

Ce document est un état des risques pré-rempli mis à disposition par l'État depuis www.georisques.gouv.fr. Il répond au modèle arrêté par le ministre chargé de la prévention des risques prévu par l'article R. 125-26 du code de l'environnement.

Il appartient au propriétaire du bien de vérifier l'exactitude de ces informations autant que de besoin et, le cas échéant, de les compléter à partir de celles disponibles sur le site internet de la préfecture ou de celles dont ils disposent, notamment les sinistres que le bien a subis.

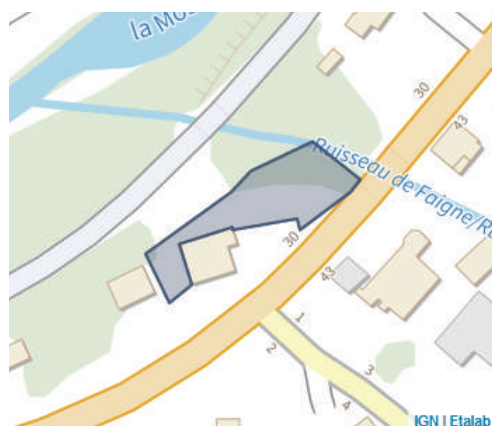
En complément, il aborde en annexe d'autres risques référencés auxquels la parcelle est exposée.

Cet état des risques réglementés pour l'information des acquéreurs et des locataires (ERRIAL) est établi pour les parcelles mentionnées ci-dessous.

PARCELLE(S)

88560 SAINT-MAURICE-SUR-MOSELLE

Code parcelle :
000-AB-76



Parcelle(s) : 000-AB-76, 88560 SAINT-MAURICE-SUR-MOSELLE

1 / 7 pages

A L'ADRESSE SAISIE, LES RISQUES EXISTANTS ET FAISANT L'OBJET D'UNE OBLIGATION D'INFORMATION AU TITRE DE L'IAL SONT :

SISMICITÉ : 3/5



- 1 - très faible
- 2 - faible
- 3 - modéré
- 4 - moyen
- 5 - fort

Un tremblement de terre ou séisme, est un ensemble de secousses et de déformations brusques de l'écorce terrestre (surface de la Terre). Le zonage sismique détermine l'importance de l'exposition au risque sismique.



RADON : 3/3



- 1 : potentiel radon faible
- 2 : potentiel radon moyen
- 3 : potentiel radon significatif

Le radon est un gaz radioactif naturel inodore, incolore et inerte. Ce gaz est présent partout dans les sols et il s'accumule dans les espaces clos, notamment dans les bâtiments.



RAPPEL

Sismicité

Pour le bâti neuf et pour certains travaux lourds sur le bâti existant, en fonction de la zone de sismicité et du type de construction, des dispositions spécifiques à mettre en oeuvre s'appliquent lors de la construction.

Pour connaître les consignes à appliquer en cas de séisme, vous pouvez consulter le site :

<https://www.gouvernement.fr/risques/seisme>

Radon

Le bien est situé dans une zone à potentiel radon significatif. En plus des bonnes pratiques de qualité de l'air (aérer quotidiennement le logement par ouverture des fenêtres au moins 10 minutes par jour, ne pas obstruer les systèmes de ventilation), il est donc fortement recommandé de procéder au mesurage du radon dans le bien afin de s'assurer que sa concentration est inférieure au niveau de référence fixé à 300 Bq/m³, et idéalement la plus basse raisonnablement possible. Il est conseillé de faire appel à des professionnels du bâtiment pour réaliser un diagnostic de la situation et vous aider à choisir les solutions les plus adaptées selon le type de logement et la mesure. Ces solutions peuvent être mises en œuvre progressivement en fonction des difficultés de réalisation ou de leur coût. À l'issue des travaux, vous devrez réaliser de nouvelles mesures de radon pour vérifier leur efficacité.

Recommandation

Pour faire face à un risque, il faut se préparer et connaître les bons réflexes.

Consulter le dossier d'information communal sur les risques (DICRIM) sur le site internet de votre mairie et les bons conseils sur georisques.gouv.fr/me-preparer-me-protger

INFORMATIONS À PRÉCISER PAR LE VENDEUR / BAILLEUR

INFORMATION RELATIVE AUX SINISTRES INDEMNISÉS PAR L'ASSURANCE À LA SUITE D'UNE CATASTROPHE NATURELLE, MINIÈRE OU TECHNOLOGIQUE

Le bien a-t-il fait l'objet d'indemnisation par une assurance suite à des dégâts liés à une catastrophe ? ☐ Oui ☐ Non

Vous trouverez la liste des arrêtés de catastrophes naturelles pris sur la commune en annexe 2 ci-après (s'il y en a eu).

Les parties signataires à l'acte certifient avoir pris connaissance des informations restituées dans ce document et certifient avoir été en mesure de les corriger et le cas échéant de les compléter à partir des informations disponibles sur le site internet de la Préfecture ou d'informations concernant le bien, notamment les sinistres que le bien a subis.

SIGNATURES

Vendeur / Bailleur

Date et lieu

Acheteur / Locataire

ANNEXE 1 : A L'ADRESSE SAISIE, LES RISQUES SUIVANTS EXISTENT MAIS NE FONT PAS L'OBJET D'UNE OBLIGATION D'INFORMATION AU TITRE DE L'IAL

ARGILE : 1/3



- 1 : Exposition faible
- 2 : Exposition moyenne
- 3 : Exposition fort

Les sols argileux évoluent en fonction de leur teneur en eau. De fortes variations d'eau (sécheresse ou d'apport massif d'eau) peuvent donc fragiliser progressivement les constructions (notamment les maisons individuelles aux fondations superficielles) suite à des gonflements et des tassements du sol, et entraîner des dégâts pouvant être importants. Le zonage argile identifie les zones exposées à ce phénomène de retrait-gonflement selon leur degré d'exposition.

Exposition faible : La survenance de sinistres est possible en cas de sécheresse importante, mais ces désordres ne toucheront qu'une faible proportion des bâtiments (en priorité ceux qui présentent des défauts de construction ou un contexte local défavorable, avec par exemple des arbres proches ou une hétérogénéité du sous-sol). Il est conseillé, notamment pour la construction d'une maison individuelle, de réaliser une étude de sols pour déterminer si des prescriptions constructives spécifiques sont nécessaires. Pour plus de détails :

<https://www.cohesion-territoires.gouv.fr/sols-argileux-secheresse-et-construction#e3>



POLLUTION DES SOLS (500 m)



Les pollutions des sols peuvent présenter un risque sanitaire lors des changements d'usage des sols (travaux, aménagements, changement d'affectation des terrains) si elles ne sont pas prises en compte dans le cadre du projet.

Dans un rayon de 500 m autour de votre parcelle, sont identifiés :

- 1 site(s) référencé(s) dans l'inventaire des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE)
- 3 site(s) potentiellement pollué(s), référencé(s) dans l'inventaire des sites ayant accueilli par le passé une activité qui a pu générer une pollution des sols (CASIAS).



Parcelle(s) : 000-AB-76, 88560 SAINT-MAURICE-SUR-MOSELLE

ANNEXE 2 : LISTE DES ARRÊTÉS CAT-NAT PRIS SUR LA COMMUNE

Cette liste est utile notamment pour renseigner la question de l'état des risques relative aux sinistres indemnisés par l'assurance à la suite d'une catastrophe naturelle.

Nombre d'arrêtés de catastrophes naturelles (CAT-NAT) : 7

Source : CCR

Inondations et/ou Coulées de Boue : 6

Code national CATNAT	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
INTE0200119A	29/12/2001	30/12/2001	12/03/2002	28/03/2002
INTE1805267A	04/01/2018	04/01/2018	21/02/2018	24/03/2018
INTE9000113A	14/02/1990	16/02/1990	16/03/1990	23/03/1990
INTE9500070A	17/01/1995	31/01/1995	06/02/1995	08/02/1995
INTE9900627A	25/12/1999	29/12/1999	29/12/1999	30/12/1999
NOR19830516	01/04/1983	28/04/1983	16/05/1983	18/05/1983

Mouvement de Terrain : 1

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

ANNEXE 3 : SITUATION DU RISQUE DE POLLUTION DES SOLS DANS UN RAYON DE 500 M AUTOUR DE VOTRE BIEN

Base des installations classées soumises à autorisation ou à enregistrement

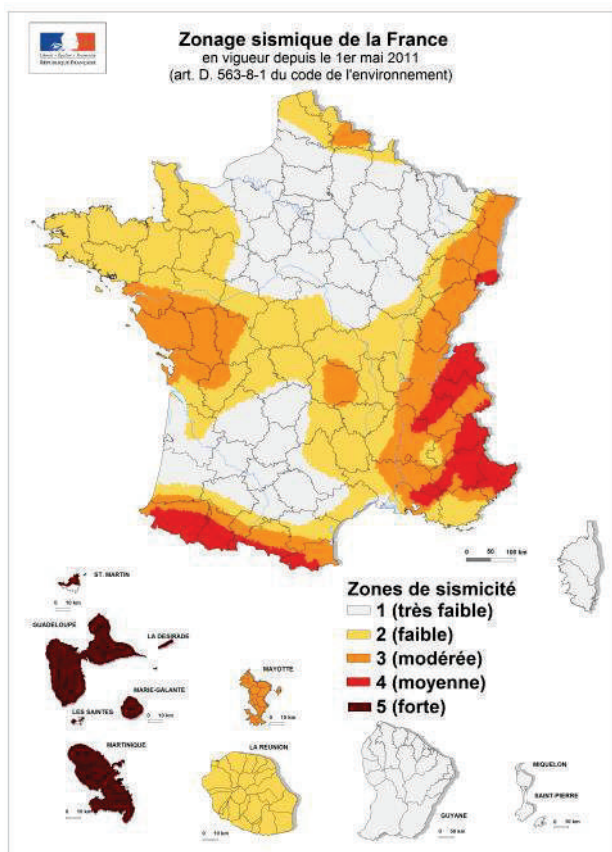
Nom du site	Fiche détaillée
CARREFOUR PROXIMITE FRANCE	https://www.georisques.gouv.fr/risques/installations/donnees/details/0100038328

Inventaire CASIAS des anciens sites industriels et activités de services

Nom du site	Fiche détaillée
Ebenisterie, menuiserie métallique, ex Tissage	https://fiches-risques.brgm.fr/georisques/casias/SSP3920617
Garage, station-service	https://fiches-risques.brgm.fr/georisques/casias/SSP3921765
Garage, Transport	https://fiches-risques.brgm.fr/georisques/casias/SSP3923388

Le zonage sismique sur ma commune

Le zonage sismique de la France:



Les données de sismicité instrumentale et historique et des calculs de probabilité permettent d'aboutir à l'élaboration d'un zonage sismique. Cette analyse probabiliste représente la possibilité pour un lieu donné, d'être exposé à des secousses telluriques.

Elle prend en compte la répartition spatiale non uniforme de la sismicité sur le territoire français et a permis d'établir la cartographie ci-contre qui découpe le territoire français en 5 zones de sismicité: **très faible, faible, modérée, moyenne, forte**. Les constructeurs s'appuient sur ce zonage sismique pour appliquer des dispositions de constructions adaptées au degré d'exposition **au risque sismique**.






La réglementation distingue quatre catégories d'importance (selon leur utilisation et leur rôle dans la gestion de crise):

I – bâtiments dans lesquels il n'y a aucune activité humaine nécessitant un séjour de longue durée

II – bâtiments de faible hauteur, habitations individuelles

III – établissements recevant du public, établissements scolaires, logements sociaux

IV – bâtiments indispensables à la sécurité civile et à la gestion de crise (hôpitaux, casernes de pompiers, préfectures ...)

Pour les bâtiments neufs		1	2	3	4	5
I		Aucune exigence				
II		Aucune exigence		Règles CPMI-EC8 Zones 3/4	Règles CPMI-EC8 Zone5	
		Aucune exigence	Eurocode 8			
III		Aucune exigence	Eurocode 8			
IV		Aucune exigence	Eurocode 8			

Si vous habitez, construisez votre maison ou effectuez des travaux :

- en **zone 1**, aucune règle parasismique n'est imposée ;

- en **zone 2**, aucune règle parasismique n'est imposée sur les maisons individuelles et les petits bâtiments. Les règles de l'Eurocode 8 sont imposées pour les logements sociaux et les immeubles de grande taille ;

- en **zone 3 et 4**, des règles simplifiées appelées CPMI –EC8 zone 3/4 peuvent s'appliquer pour les maisons individuelles;

- en **zone 5**, des règles simplifiées appelées CPMI-EC8 zone 5 peuvent s'appliquer pour les maisons individuelles.

Pour connaître, votre zone de sismicité: <https://www.georisques.gouv.fr/> - rubrique « Connaître les risques près de chez moi »

Le moyen le plus sûr pour résister aux effets des séismes est la construction parasismique : concevoir et construire selon les normes parasismique en vigueur, tenir compte des caractéristiques géologiques et mécaniques du sol.

Pour en savoir plus:

Qu'est-ce qu'un séisme, comment mesure-t-on un séisme ? —> <https://www.georisques.gouv.fr/minformer-sur-un-risque/seisme>

Que faire en cas de séisme ? —> <https://www.georisques.gouv.fr/me-preparer-me-protger/que-faire-en-cas-de-seisme>

ANNEXE 2 PLANS D'IMPLANTATION DES SONDAGES

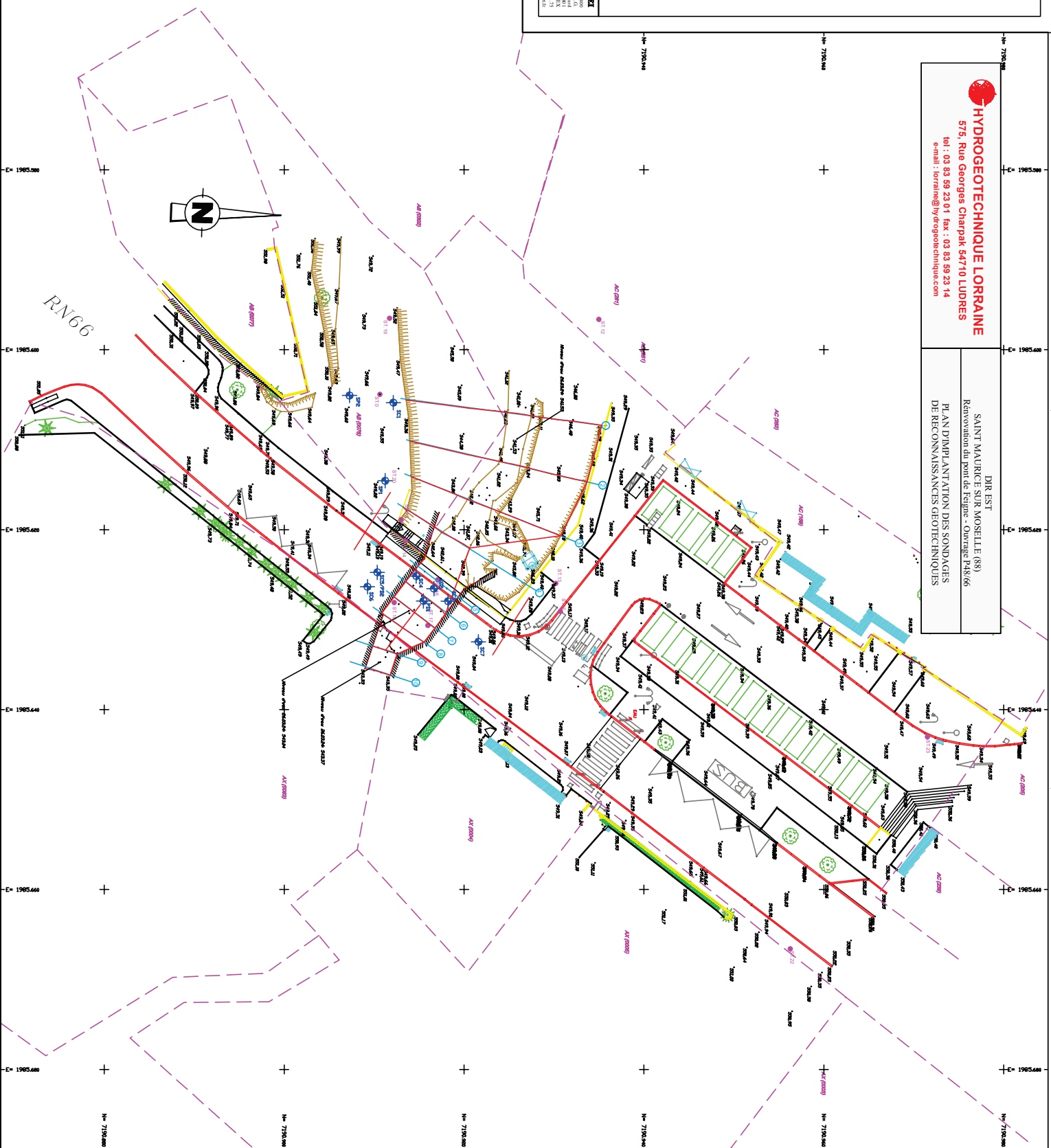
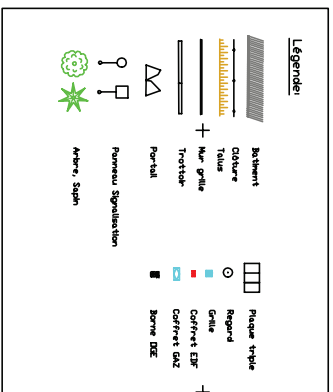


Pont voûte P48/66 - Ruisseau de la Feigne

dgq
DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR QUALITÄTSMANAGEMENT

Cabinet Jean-Christophe CLERGÉ - Et Associés
 1000-1 BELFORT CÉDEX
 Téléphone : (0) 84 28 11 75
 Mail : cabinet@clergé.fr - www.clerge.fr

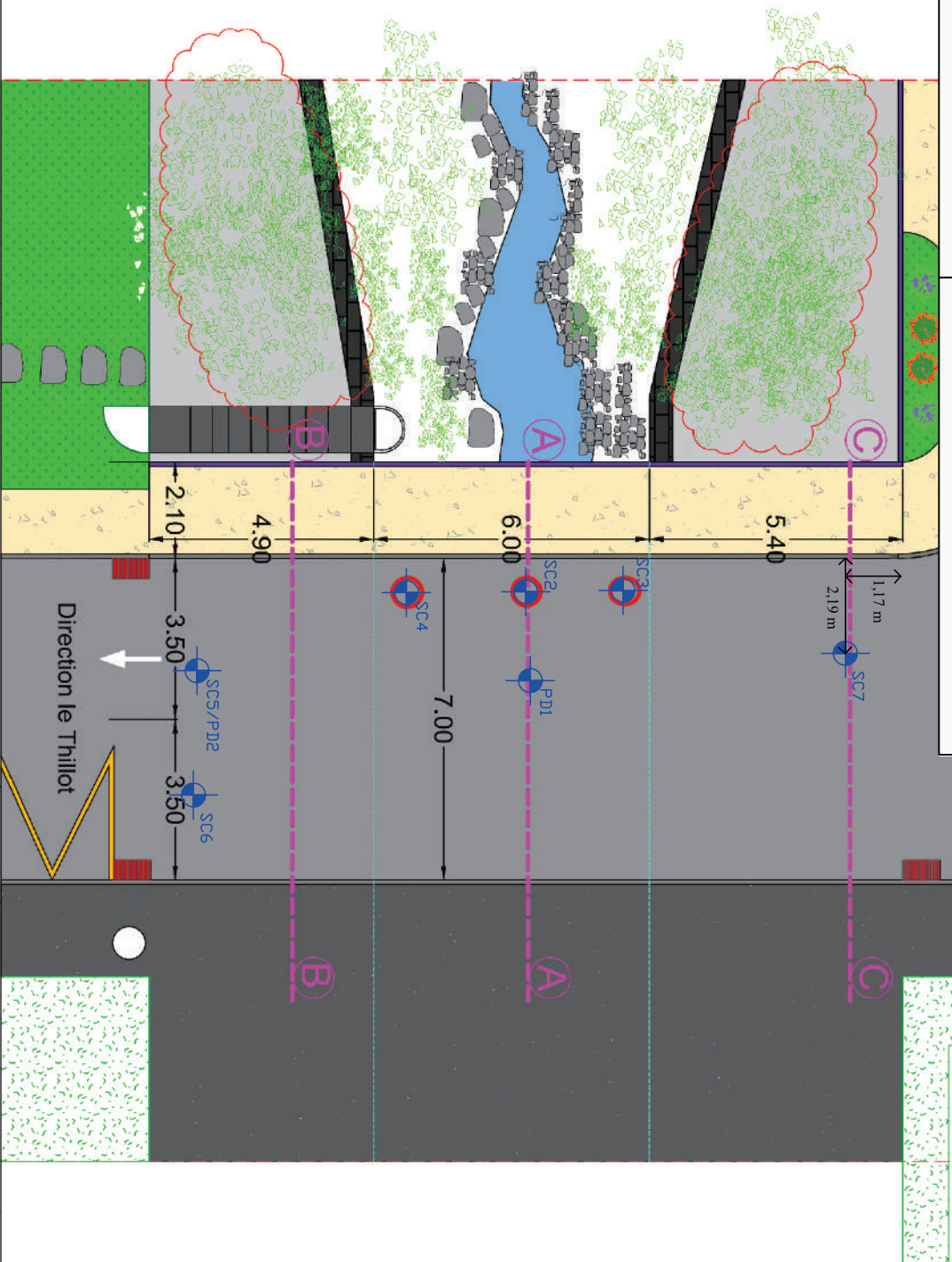
<i>N° de dossier</i>	<i>Matr.</i>	<i>Année</i>	<i>Labor</i>	<i>Destinée</i>	<i>Verif/Re</i>
11	45774	Mars 2024	JH/YL	S.P.	J.C.C.





DIR EST
SAINT MAURICE SUR MOSELLE (88)
Rénovation du pont de Feigne - Ouvrage P48/66

↑
OSELLE (88)



DIR EST

MAITRE D'OEUVRE / BUREAU D'ETUDES :

AGENCE DE STRASBOURG
Espace Européen de l'Entreprise
15 rue de la Haye - 67300 SCHILLINGHEIM
TEL: 03 88 04 04 00 - www.arteliagroup.com



Travaux de réhabilitation du pont de la feigne

N° Offre	463 4332	Etabli par : BKL	Vérifié par : YBI	N° Plan	Indice	Format
Phase	PRO	Date : 22/11/24	Date : 22/11/24	1	A	A3
Echelle	1/100	Fichier : Passage Traumatisme_25.11.2024.dwg				

ANNEXE 3 CARNET DE COUPES DES SONDAGES



Profondeur (m)	Cote NGF	Lithologie	Outil	Tubage	Venue d'eau	RQD	% de récupération	Vitesse d'avancement (m/h)	Pression de poussée (bar)	Couple de rotation (bar)	Pression d'injection (bar)
								0 250 500	0 50 100	0 100 200	0 25 50
0	549,40 m	Terre végétale Limon sableux brun foncé à racines 0,05 m	Carottier roto-percution Ø 116 mm	/		0	100				
1	548,10	Sables bruns à graviers et galets sicileux 1,35 m				0	100				
2		Sables, graviers et galets siliceux à matrice argileuse brune plus ou moins abondante				0	100				
3						0	100				
4						0	100				
5						0	100				
5	544,05					5,40 m	0	100			
	543,60	Sables argileux marron à graviers 5,85 m				0	100				
6		Sables, graviers et galets siliceux à matrice argileuse marron				0	100				
	542,95	6,50 m				0	100				
	542,65	Sables, graviers et galets siliceux à matrice argileuse brun foncé 6,80 m				0	100				
7		Sables, graviers et galets siliceux à matrice argilo-limoneuse marron				0	100				
8						0	100				
						0	100				
9	540,05	9,40 m				0	100				
10	539,45	Rocher altéré Graviers et blocs à matrice argileuse brun, rouge 10,00 m				0	100				

SONDAGE CAROTTÉ SC1



SC1 de 0,0 à 2,0 m



SC1 de 2,0 à 4,0 m



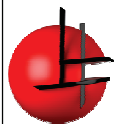
SC1 de 4,0 à 6,0 m



SC1 de 6,0 à 8,0 m



SC1 de 8,0 à 10,0 m



HYDROGEOTECHNIQUE

DIR EST
SAINT MAURICE SUR MOSELLE (88)
Plateforme de grutage - Ouvrage P48/66

Dossier C.24.21050

Date : 23/04/2024

Cote NGF : 549.22

Profondeur : 0,00 - 15,00 m

Machine : HDF 750

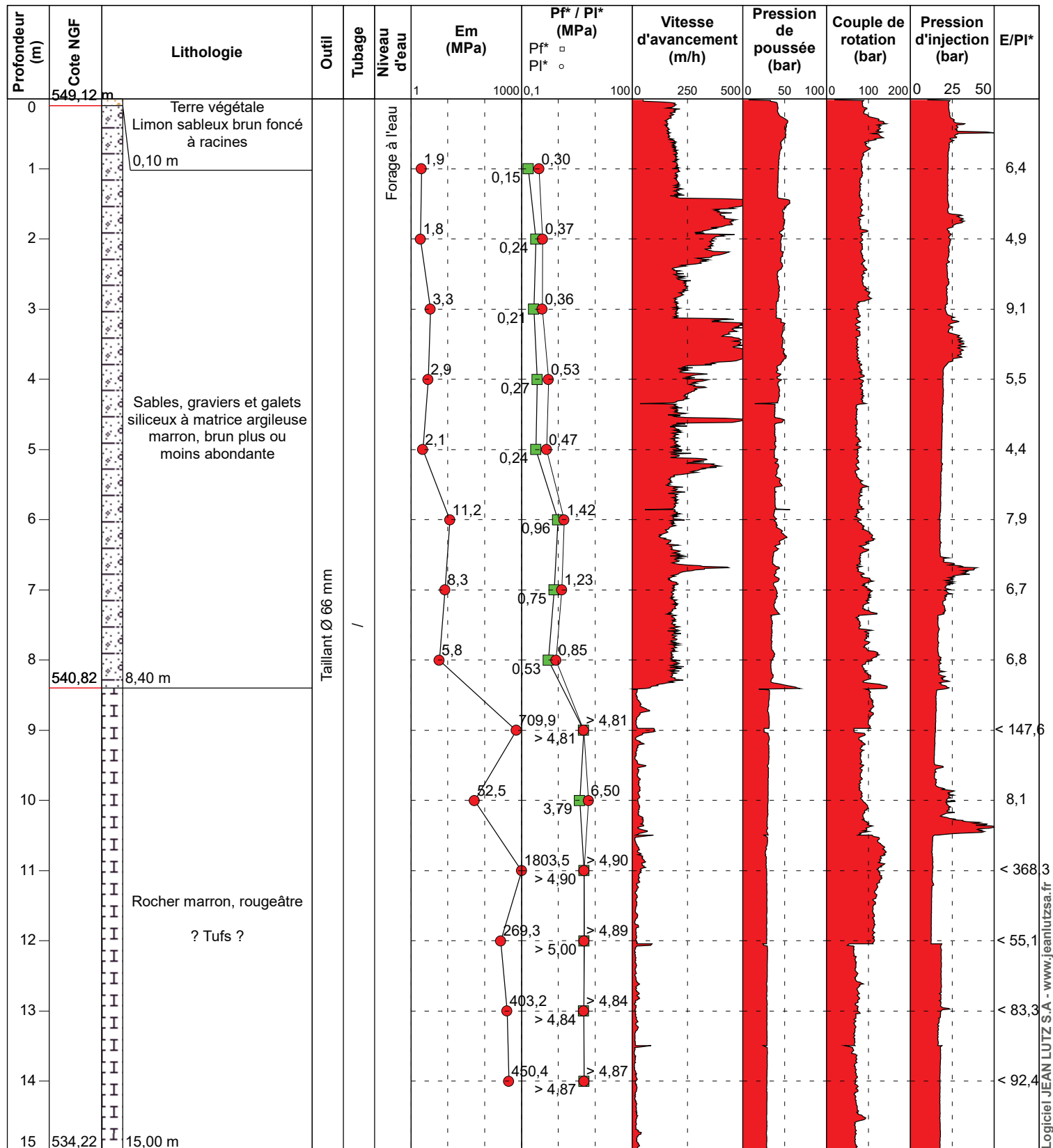
X CC48 : 1985614.56

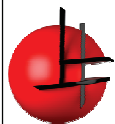
Y CC48 : 7190911.22

1/75

Sondage pressiométrique : SP1

EXGTE 3.23/GTE





HYDROGEOTECHNIQUE

DIR EST
SAINT MAURICE SUR MOSELLE (88)
Plateforme de grutage - Ouvrage P48/66

Dossier C.24.21050

Date : 24/04/2024

Cote NGF : 549.61

Profondeur : 0,00 - 15,00 m

Machine : HDF 750

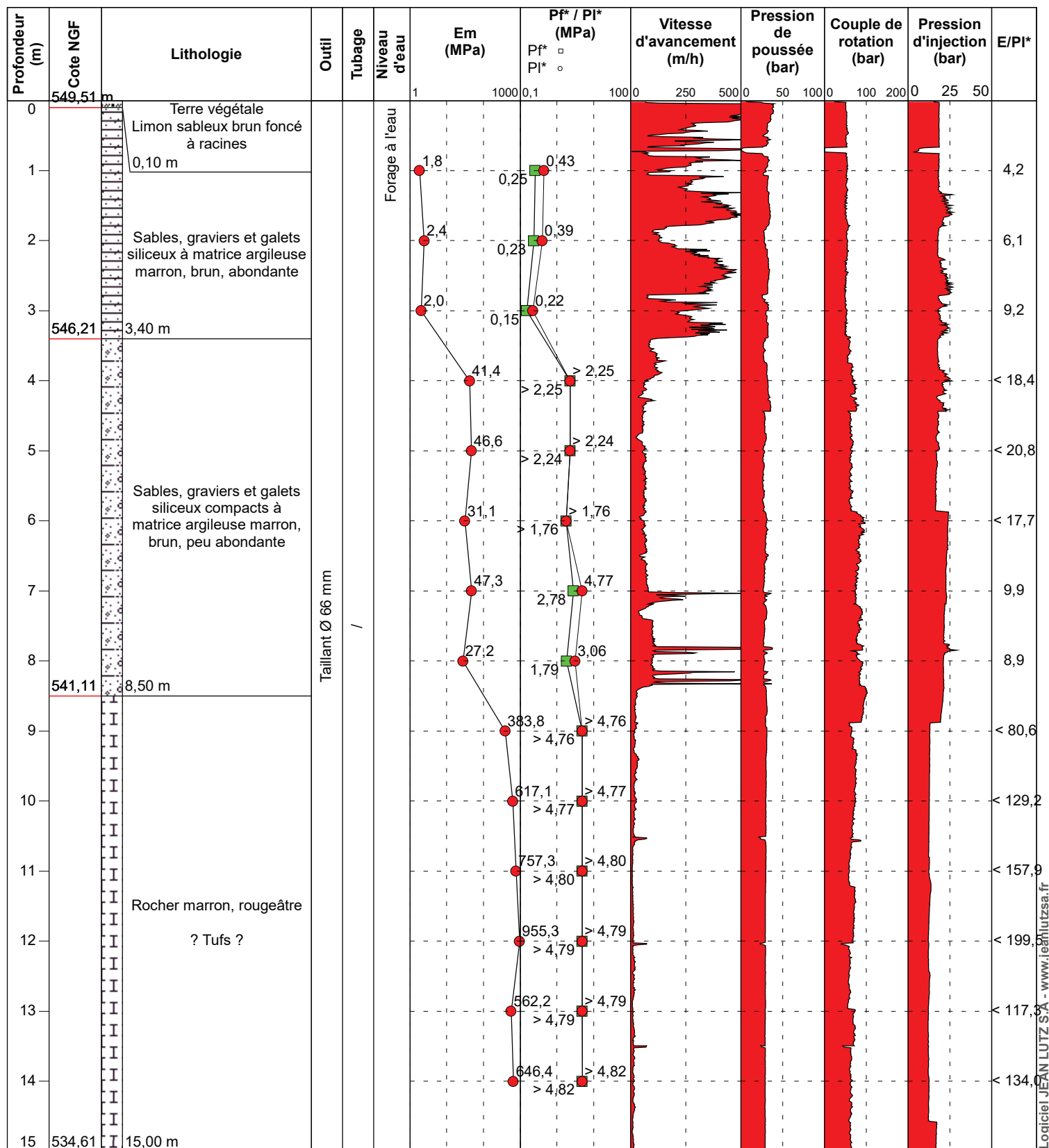
X CC48 : 1985605.09

Y CC48 : 7190907.27

1/75

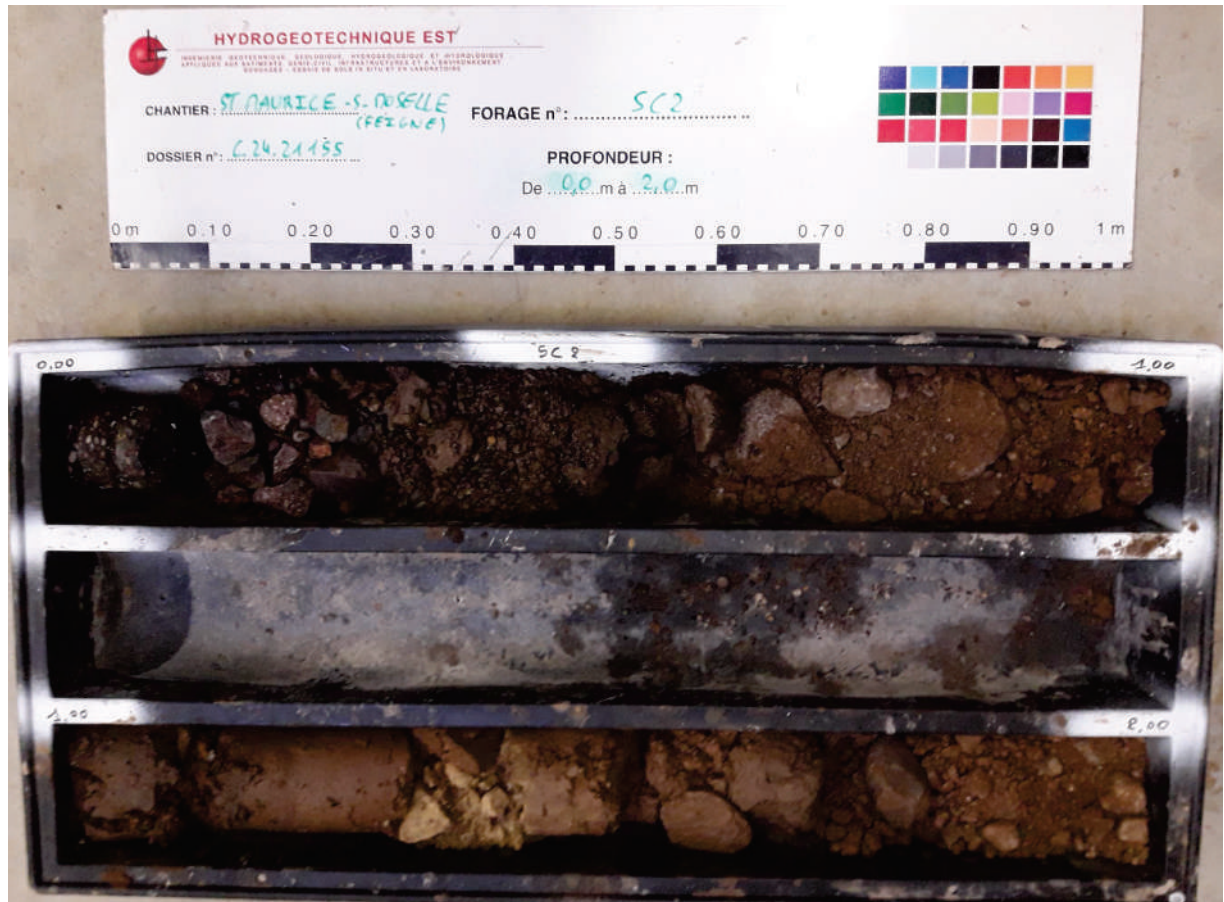
Sondage pressiométrique : SP2

EXGTE 3.23/GTE



Profondeur (m)	Cote NGF	Lithologie	Outil	Tubage	Venue d'eau	RQD (%)			% de récupération			Vitesse d'avancement (m/h)			Pression de poussée (bar)			Couple de rotation (bar)			Pression d'injection (bar)		
						0	50	100	0	50	100	0	100	200	0	50	100	0	100	200	0	25	50
0	549,0 m	0,11 m Enrobé	Carottier rotatif Ø 116 mm		Pas d'arrivée d'eau	0,00	100,00																
	548,9 m	Cailloux et blocs de granite																					
		0,25 m																					
	548,6 m	Cailloutis de granite à matrice sableuse brune peu abondante	Carottier rotopercussion Ø 116 mm	/	Matériaux humides à partir d'1.5 m	0,00	100,00																
1		Limon sableux marron clair, brun à cailloux et blocs de granite																					
2	547,1 m	2,01 m				2		2															

SONDAGE CAROTTÉ SC2



SC2 de 0,0 à 2,0 m



Profondeur (m)	Cote NGF	Lithologie	Outil	Tubage	Venue d'eau	RQD (%)			% de récupération			Vitesse d'avancement (m/h)			Pression de poussée (bar)			Couple de rotation (bar)			Pression d'injection (bar)				
						0	50	100	0	50	100	0	100	200	0	50	100	0	100	200	0	25	50		
0																									
	549,0 m	0,14 m	Carottier rotatif Ø 116 mm																						
	548,8 m	Cailloux, cailloutis et blocs de granite																							
		0,30 m	Carottier rotopercussion Ø 116 mm	/																					
		Limon sableux noir, brun à blocs de granite																							
1																									
	547,8 m	1,30 m																							
		Limon sableux marron																							
	547,3 m	1,80 m																							
2	547,1 m	Sable limoneux marron clair à blocs de granite																							
		2,02 m																							

SONDAGE CAROTTÉ SC3



SC3 de 0,0 à 2,0 m

Profondeur (m)	Cote NGF	Lithologie	Outil	Tubage	Venue d'eau	RQD (%)	% de récupération	Vitesse d'avancement (m/h)	Pression de poussée (bar)	Couple de rotation (bar)	Pression d'injection (bar)
						0 50 100	0 50 100	0 100 200	0 50 100	0 100 200	0 25 50
0	549,0 m	Enrobé 0,09 m	Carottier rotatif Ø 116 mm		Pas d'arrivée d'eau						
	548,8 m	Cailloutis, cailloux, blocs de granite 0,35 m									
		Limon sableux gris, marron à blocs de granite	Carottier rotopercussion Ø 116 mm	/	Matériaux humides à partir d'1.5 m	0,00	100,00				
1	548,1 m	1,00 m				1	1				
		Limon sableux marron, brun				0,00	100,00				
	547,4 m	1,70 m									
		Sable limoneux marron, rougeâtre à blocs de granite									
2	547,1 m	2,03 m				2	2				

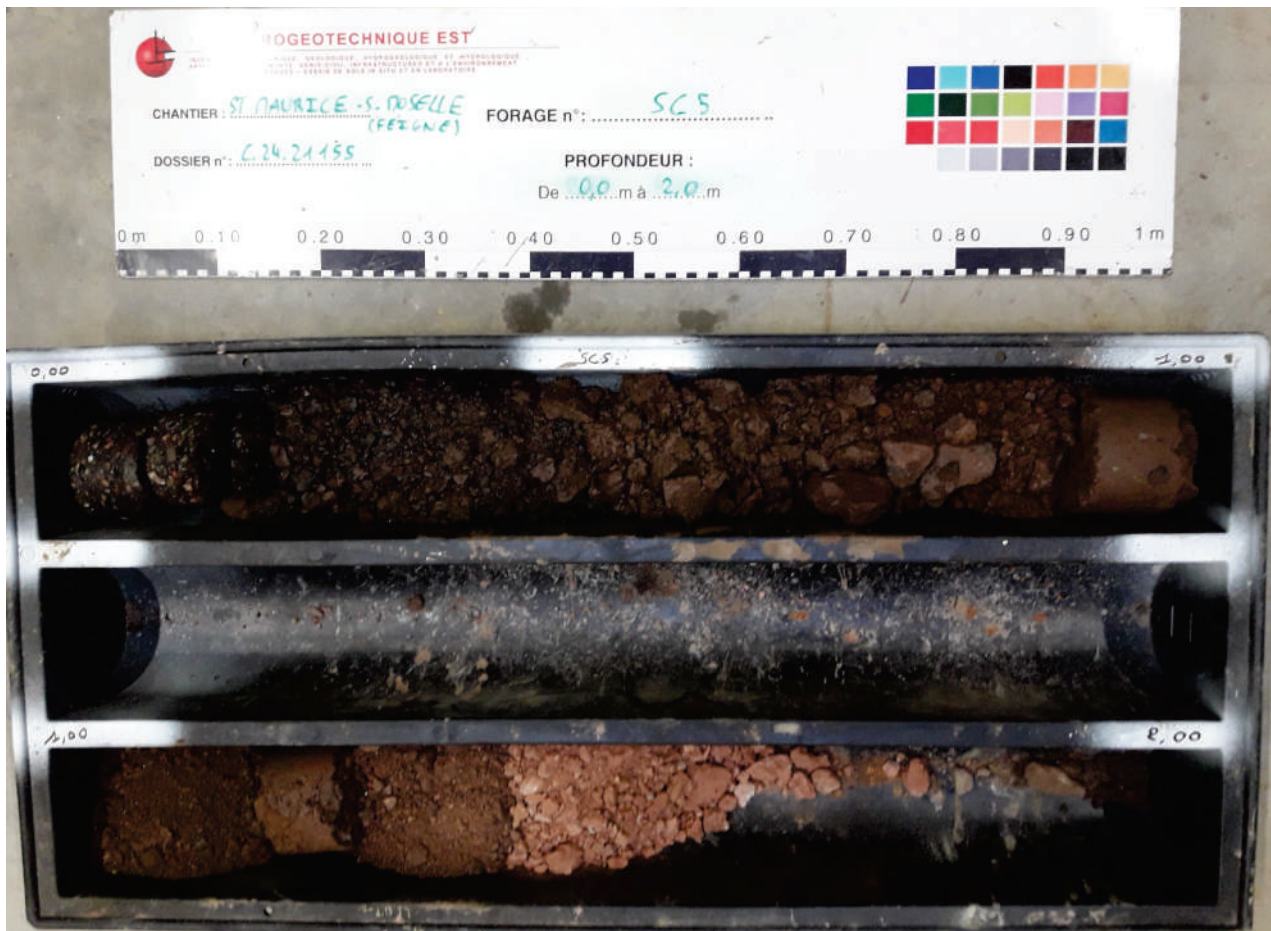
SONDAGE CAROTTÉ SC4



SC4 de 0,0 à 2,0 m

Profondeur (m)	Cote NGF	Lithologie	Outil	Tubage	Venue d'eau	RQD (%)	% de récupération	Vitesse d'avancement (m/h)	Pression de poussée (bar)	Couple de rotation (bar)	Pression d'injection (bar)
						0 50 100	0 50 100	0 100 200	0 50 100	0 100 200	0 25 50
0	549,1 m	0,11 m Enrobé	Carottier rotatif Ø 116 mm	Pas d'arrivée d'eau							
		Cailloutis, cailloux de granite									
	548,9 m	0,35 m									
		Sable limoneux / Limon sableux marron, brun à cailloux et blocs de granite	0,00			100,00					
1											
	547,9 m	1,35 m			1	1					
		Sable limoneux beige, rougeâtre	0,00	100,00							
547,7 m	1,55 m										
2			Carottier rotopercussion Ø 116 mm	/							
3		Vide									
	546,2 m	3,04 m				3	3				

SONDAGE CAROTTÉ SC5



SC5 de 0,0 à 2,0 m

Profondeur (m)	Cote NGF	Lithologie	Outil	Tubage	Venue d'eau	RQD (%)			% de récupération			Vitesse d'avancement (m/h)			Pression de poussée (bar)			Couple de rotation (bar)			Pression d'injection (bar)		
						0	50	100	0	50	100	0	100	200	0	50	100	0	100	200	0	25	50
0		Enrobé	Carottier rotatif Ø 116 mm		Pas d'arrivée d'eau																		
	548,9 m	0,32 m																					
		Blocs de granite à matrice sableuse marron				0,00			100,00														
	548,5 m	0,70 m																					
	548,4 m	Limon sableux noir 0,80 m	Carottier rotopercussion Ø 116 mm	/																			
		Blocs et cailloux, cailloutis de granite				1			1														
1	548,2 m	1,05 m																					
		Limon sableux marron, brun à cilloux, cailloutis de granite	Carottier rotopercussion Ø 116 mm	/		0,00			100,00														
2	547,2 m	2,00 m				2			2														
		Blocs, cailloux, cailloutis de granite à matrice sableuse marron				0,00			100,00														
	546,6 m	2,60 m	Carottier rotopercussion Ø 116 mm	/																			
		Limon sableux brun à blocs de granite																					
3	546,2 m	3,05 m				3			3														

SONDAGE CAROTTÉ SC6



SC6 de 0,0 à 3,0 m

Profondeur (m)	Cote NGF		Lithologie	Outil	Tubage	Venue d'eau	RQD (%)			% de récupération			Vitesse d'avancement (m/h)			Pression de poussée (bar)			Couple de rotation (bar)			Pression d'injection (bar)		
							0	50	100	0	50	100	0	250	500	0	50	100	0	100	200	0	25	50
0			Enrobé	Carottier rotatif Ø 116 mm	Pas d'arrivée d'eau																			
	548,7 m	0,34 m	Cailloux, blocs de granite																					
	548,6 m	0,45 m	Bois																					
	548,3 m	0,68 m																						
	548,0 m	1,00 m	Blocs et cailloux de granite	Carottier rotopercussion Ø 116 mm																				
1	547,8 m	1,18 m	Bois																					
	546,5 m	2,50 m																						
2			Vide																					
3																								

SONDAGE CAROTTÉ SC7

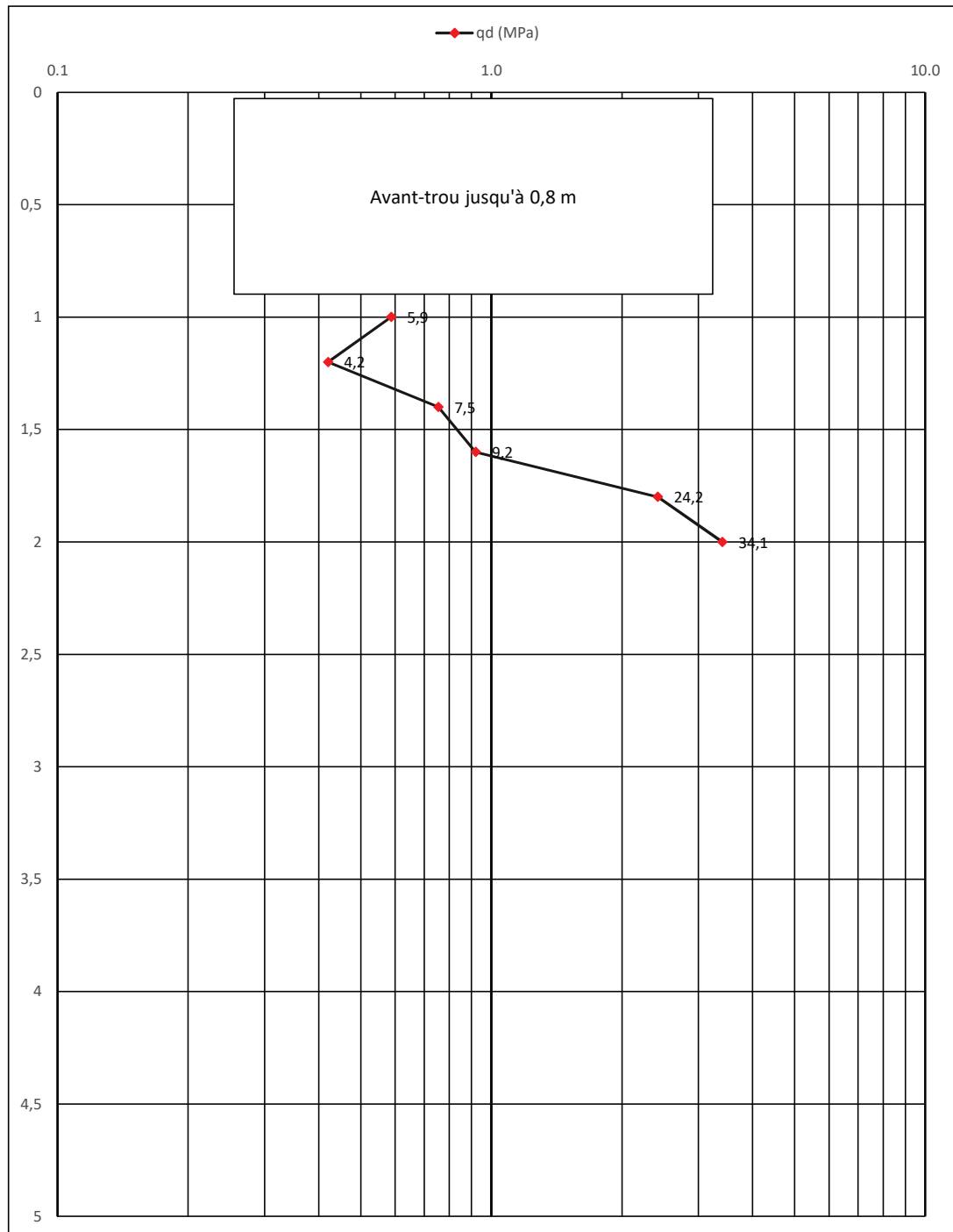


SC7 de 0,0 à 3,0 m

Client DIR EST
Chantier Saint Maurice sur Moselle (88) - Ouvrage P48/66
Dossier C.24.21155
Date 6 janvier 2025
Cote NGF 549,08

Sondage **PD1**

qd = résistance de pointe en MPa
Formule de Redtenbacher



ANNEXE 4 ESSAIS EN LABORATOIRE



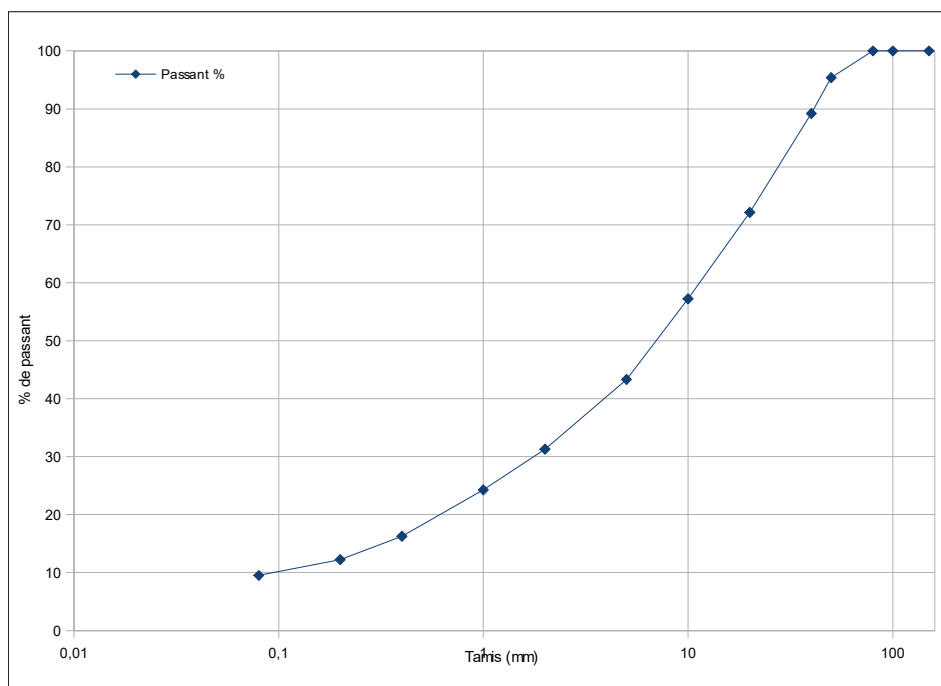
	Procès Verbal		Référence : R1.6-13-033	
	GTR		Version : 1	
	ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE/ VBS / IPI / Teneur en eau / Identification ME EX NF P 94-356 / NF P 94-068 / NF P 94-093 / NF P 94-050 / NF P 94-078/ NF P 11-300			
Feuilles associées : <input type="checkbox"/> essai Proctor <input type="checkbox"/> Limite d'Atterberg				

N° Enregistrement : PVA 24 520

Date d'essai	Date de prélèvement	N° de Dossier	Chantier/opération	Ingénieur	Opérateur
28/05/24	25/04/24	C.24.21050	St Maurice sur Moselle (88) Plateforme de grutage - Ouvrage P48/66	CR	MH

Sondage	Profondeur	Nature de l'échantillon	Référence échantillon
SC1	0,5 - 1,2 m	Sables bruns à graviers et galets siliceux	EA-24-710

Tamis (mm)	150	100	80	50	40,0	20	10	5	2	1	0,4	0,2	0,08	Dmax *selon NFP11-300	50
Passant %	100	100	100	95	89	72	57	43	31	24	16	12	10		
Passant par rapport au 50mm %				100				45	33		17		10		





Teneur en eau(%)	4,3
------------------	-----

VBS	0,17
-----	------

IPI	-
yd	-

Classification	B3
----------------	----

Essais réalisés par :	Visa :
Nom / Prénom : M.HACHANI	
Date : 30/05/24	

Résultats validés par :	Visa :
Nom / Prénom : S.TOMASI	
Date : 30/05/24	

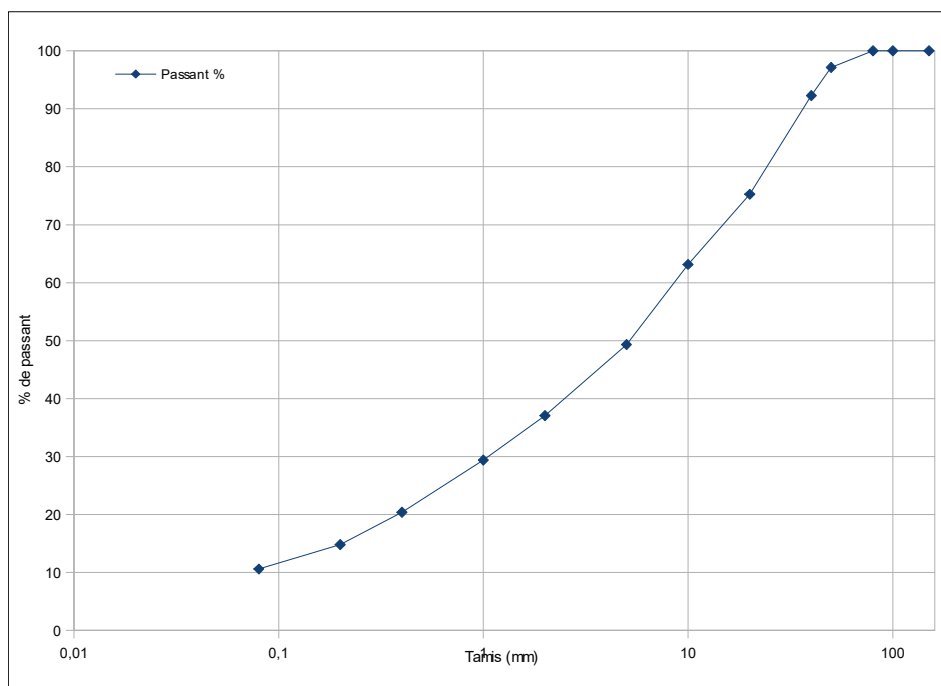
	Procès Verbal		Référence : R1.6-13-033	
	GTR		Version : 1	
	ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE/ VBS / IPI / Teneur en eau / Identification ME EX NF P 94-356 / NF P 94-068 / NF P 94-093 / NF P 94-050 / NF P 94-078/ NF P 11-300			
Feuilles associées : <input type="checkbox"/> essai Proctor <input type="checkbox"/> Limite d'Atterberg				

N° Enregistrement : PVA 24 521

Date d'essai	Date de prélèvement	N° de Dossier	Chantier/opération	Ingénieur	Opérateur
28/05/24	25/04/24	C.24.21050	St Maurice sur Moselle (88) Plateforme de grutage - Ouvrage P48/66	CR	MH

Sondage	Profondeur	Nature de l'échantillon	Référence échantillon
SC1	2,0 - 3,0 m	Sables, graviers et galets siliceux à matrice argileuse brune	EA-24-711

Tamis (mm)	150	100	80	50	40,0	20	10	5	2	1	0,4	0,2	0,08	Dmax *selon NFP11-300	45
Passant %	100	100	100	97	92	75	63	49	37	29	20	15	11		
Passant par rapport au 50mm %				100				51	38		21		11		





Teneur en eau(%)	4,5
------------------	-----

VBS	0,11
-----	------

IPI	-
yd	-

Classification	B3
----------------	----

Essais réalisés par :	Visa :
Nom / Prénom : M.HACHANI	
Date : 30/05/24	

Résultats validés par :	Visa :
Nom / Prénom : S.TOMASI	
Date : 30/05/24	

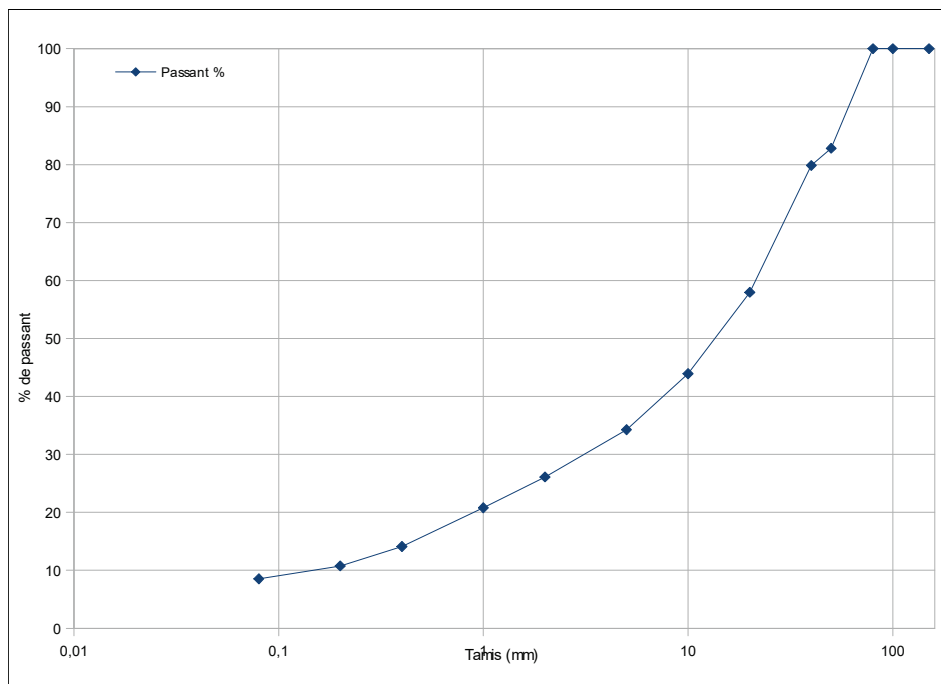
	Procès Verbal		Référence : R1.6-13-033	
	GTR		Version :	
	ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE/ VBS / IPI / Teneur en eau / Identification ME EX NF P 94-056 / NF P 94-068 / NF P 94-093 / NF P 94-050 / NF P 94-078/ NF P 11-300		1	
Feuilles associées : <input type="checkbox"/> essai Proctor <input type="checkbox"/> Limite d'Atterberg				

N° Enregistrement : PVA 24 522

Date d'essai	Date de prélèvement	N° de Dossier	Chantier/opération	Ingénieur	Opérateur
28/05/24	25/04/24	C.24.21050	St Maurice sur Moselle (88) Plateforme de grutage - Ouvrage P48/66	CR	MH

Sondage	Profondeur	Nature de l'échantillon	Référence échantillon
SC1	6,0 - 6,5 m	Sables, graviers et galets siliceux à matrice argileuse marron très peu abondante	EA-24-712

Tamis (mm)	150	100	80	50	40,0	20	10	5	2	1	0,4	0,2	0,08	Dmax *selon NFP11-300	63
Passant %	100	100	100	83	80	58	44	34	26	21	14	11	9		
Passant par rapport au 50mm %				100				41	32		17		10		





Teneur en eau (%)	5,8
--------------------------	-----

VBS	0,1
------------	-----

IPI	-
yd	-

Classification	D3
-----------------------	-----------

Essais réalisés par :		Visa :
Nom / Prénom :	M.HACHANI	
Date :	30/05/24	

Résultats validés par :		Visa :
Nom / Prénom :	S.TOMASI	
Date :	30/05/24	

Norme NF EN 16907-2

Affaire suivie par:	Clément ROHART
En date du:	21/01/2025
Laboratoire:	BELFORT - Anjoutey - ZI De La Charmotte - 90170 Anjoutey

RÉFÉRENCES DU CHANTIER

Dossier N°:	C.24.21.155	Chantier:	Pont de Feigne - RN66
N° ENR	EA-25-028 / PVA25-027	Lieu:	St Maurice sur Moselle (88)

RÉFÉRENCES DE L'ÉCHANTILLONNAGE

Sondage :	SC2	Date prélèvement:	06/01/2025
Profondeur (m):	0,5-2	Réaction à l'acide	-
Nature :	Limon sableux marron clair, brun à cailloux et blocs de granite		

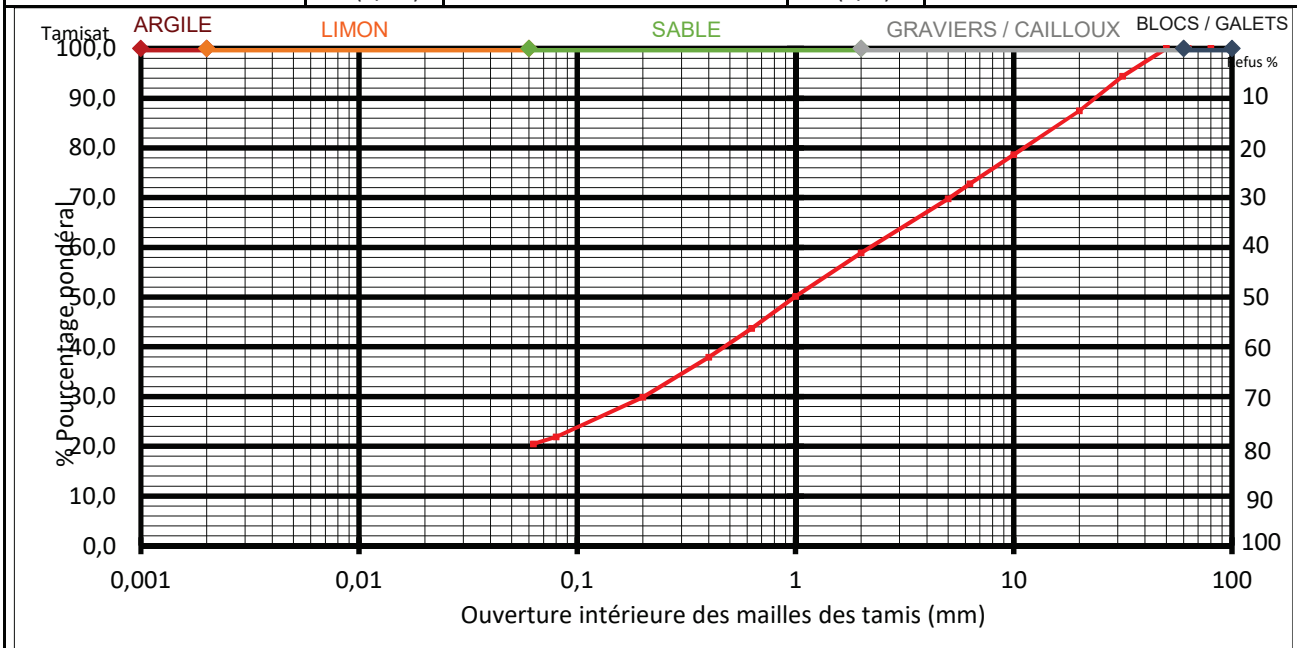
IDENTIFICATION

Teneur en eau par étuvage	NF EN ISO 17892-1	-
Analyse granulométrique des sols	NF EN ISO 17892-4	Opérateur M. HACHANI
Analyse granulométrique par sédimentation	NF P 94-057	-
Valeur de bleu de méthylène d'un sol	NF EN 17542-3	Opérateur D. VINTER
Limites d'Atterberg	NF EN ISO 17892-12	-

OBSERVATIONS:	Lmax: 70 mm-	T° étuvage (°C)	105°C
---------------	--------------	-----------------	-------

RÉSULTATS:

Teneur en eau naturelle	Wn (0/20) %	-	Wn (0/D) %	-
-------------------------	-------------	---	------------	---



Maille tamis (mm)	100	80	63	50	31,5	20	10	5	2	1	0,63	0,4	0,2	0,08	0,063
% Tamisat	100	100	100	100	94	87	79	70	59	50	44	38	30	21,9	20,5

GRANULOMÉTRIE

Dmax* (mm) :	33,1	Coefficient courbure (Cc):	-
D10 (mm):	-	Coefficient uniformité (Cu):	-
D30 (mm):	-	Passant à 0,063mm:	20,5
D50 (mm):	-	Passant 0,063mm(0/63mm):	20,5
D60 (mm):	-	Passant à 2mm:	58,9
		Fraction 0,063/2mm :	38,4
		Fraction 2/63mm :	41,1

* déterminé avec le D95

ARGILOSITÉ

Valeur au bleu (VBS)	0,24
Limite de liquidité (WL %)	-
Indice de plasticité (Ip)	-
COMPACTAGE	
IPI (NF EN 13286-47)	-

Classement GTR (NF P 11-300):

B 5

Classement GTR (NF EN 16907-2):

I 1

Norme NF EN 16907-2

Affaire suivie par:	Clément ROHART
En date du:	21/01/2025
Laboratoire:	BELFORT - Anjoutey - ZI De La Charmotte - 90170 Anjoutey

RÉFÉRENCES DU CHANTIER

Dossier N°:	C.24.21.155	Chantier:	Pont de Feigne - RN66
N° ENR	EA-25-029 / PVA25-028	Lieu:	St Maurice sur Moselle (88)

RÉFÉRENCES DE L'ÉCHANTILLONNAGE

Sondage :	SC5	Date prélèvement:	06/01/2025
Profondeur (m):	0,35-1,35	Réaction à l'acide	-
Nature :	Sable limoneux / Limon sableux marron, brun à cailloux et blocs de granite		

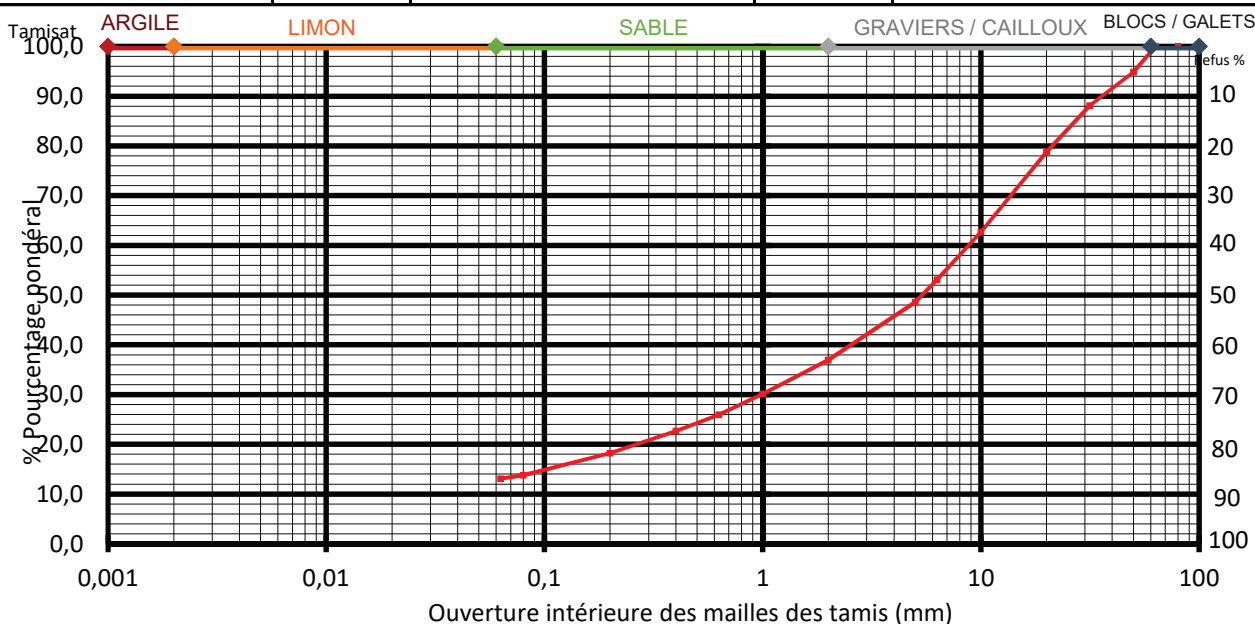
IDENTIFICATION

Teneur en eau par étuvage	NF EN ISO 17892-1	-
Analyse granulométrique des sols	NF EN ISO 17892-4	Opérateur M. HACHANI
Valeur de bleu de méthylène d'un sol	NF EN 17542-3	Opérateur D. VINTER
Limites d'Atterberg	NF EN ISO 17892-12	-

OBSERVATIONS:	Lmax: 86 mm - Eprouvette d'essai de masse inférieure aux recommandations des normes en vigueur -	T° étuvage (°C)	105°C
---------------	--	-----------------	-------

RÉSULTATS:

Teneur en eau naturelle	Wn (0/20) %	-	Wn (0/D) %	-
-------------------------	-------------	---	------------	---



Maille tamis (mm)	100	80	63	50	31,5	20	10	5	2	1	0,63	0,4	0,2	0,08	0,063
% Tamisat	100	100	100	95	88	79	63	49	37	30	26	23	18	13,8	13,1

GRANULOMÉTRIE

Dmax* (mm) :	50,4	Coefficient courbure (Cc):	-
D10 (mm):	-	Coefficient uniformité (Cu):	-
D30 (mm):	0,986	Passant à 0,063mm:	13,1
D50 (mm):	5,37	Passant 0,063mm(0/63mm):	13,1
D60 (mm):	8,778	Passant à 2mm:	36,9
* déterminé avec le D95		Fraction 0,063/2mm :	23,9
		Fraction 2/63mm :	63,1

ARGILOSITÉ

Valeur au bleu (VBS)	0,27
Limite de liquidité (WL %)	-
Indice de plasticité (Ip)	-
COMPACTAGE	
IPI (NF EN 13286-47)	-

ANNEXE 5 NOTES DE CALCUL DES MICROPIEUX



Référence dossier : C.24.21155
 Observations : Micropieu 200 mm
 Sondage(s) de référence : SP1, SP2

CALCULS SELON LA MÉTHODE DU
 MODÈLE DE TERRAIN (NFP 94-262)



Le sol				Paramètres fonction du type de pieu et du type de terrain						
	z (m)	pl [*] ;k (MPa)	terrain	α _{pieu-sol}	courbe	f _{sol} [pl [*]] (kPa)	qs (kPa)	q _u utilisateur (kPa)	γ _R .d1 compression	γ _R .d1 traction
10, 11a	549,5	0	Sable argileux (intermédiaire Sable/argile)	(2)	Q2	0	(2)	0	1,4	1,7
11b	546,5	0,5	Sable argileux (intermédiaire Sable/argile)	(2)	Q2	29	(2)	41	1,4	1,7
11c	543,7	1,2	Sols type Sables Graves	(2)	Q2	55	(2)	77	1,4	1,7
20	540,8	5	Roche altérée et fragmentée	(2)	Q5	130	(2)	200	1,4	1,7
								*		
								*		
								*		
								*		
								*		

(2) Pour les micropieux de catégories 17 et 18, il convient de considérer les valeurs de frottement axial unitaire des techniques de pieux ou micropieux les plus proches sur le plan de la technologie. Dans ce cas, utiliser la colonne q_u utilisateur pour les spécifier.

Le pieu			
Type de pieu	18 M2 - Micropieu type II		
forme de l'enveloppe de la section du pieu	circulaire		
plus petite largeur ou diamètre du pieu B (m)	0,20		
	calcul	utilisateur	
Aire de la pointe Ab (m ²)	négligé	*	laisser * ou mettre * si vous voulez utiliser les valeurs calculées
Périmètre du fût Ps (m)	0,628	*	laisser * ou mettre * si vous voulez utiliser les valeurs calculées
Hauteur de chemisage (m)	0		
Longueurs de pieux testées D (m)	11		
cote de la pointe (m)	538,5		

remarque: respecter ancrage des pieux (3 diamètre ou 1,50m mini pour des pieux de Ø>0,5m par exemple)

Effet de groupe éventuel (sur maille carrée)		
m =	*	Nombre de ligne de pieux
n =	*	Nombre de pieux par ligne
d =	*	Entraxe entre les pieux en m
B =	0,20	Diamètre des pieux en m
Cd =	*	
Ce =	1,00	

Pas d'effet de groupe considéré

Résistance de pointe					
Longueurs de pieux testées D (m)	11				
couche d'ancrage (Nième)	4				
ancrage dans la couche porteuse h (m)	2,3				
pl [*] (MPa)	5				
pl [*] utilisateur (MPa)	*	*	*	*	*
Def (m)	2,00				
Def/B	10,00				
kpmax	1,45				
kp	1,45				
qb = kp pl [*] (MPa)	7,25				
γ _R .d1 en compression	1,4				
γ _R .d2	1,1				
qb.k = qb / (γ _R .d1 x γ _R .d2) (MPa)	4,71				
Rb.k = Ab.qb.k (kN)	0				

remarque, dans certains cas (frottement négatif, sols très légers, fondations hors-sol) on peut vouloir prendre en compte q₀. Ce n'est pas le cas ici.

Résistance de frottement axial en compression					
Longueurs de pieux testées D (m)	11				
de 549,5m à 546,5m q _s .k = 0					
de 546,5m à 543,7m q _s .k = 27					
de 543,7m à 540,8m q _s .k = 50					
de 540,8m à 538,5m q _s .k = 130					
profils des q _s .k = q _s / (γ _R .d1 x γ _R .d2) retenus de 0 à D (avec prise en compte de l'éventuelle partie chemisée et des éventuels rabattement de q _s pour certaines catégories de pieux de grande longueur)					
Ce x R _s .k = Ce x P _s x Σ (h _i .q _s .k) (kN)	326				

Résistance de frottement axial en traction					
Longueurs de pieux testées D (m)	11				
de 549,5m à 546,5m q _s .k = 0					
de 546,5m à 543,7m q _s .k = 22					
de 543,7m à 540,8m q _s .k = 41					
de 540,8m à 538,5m q _s .k = 107					
profils des q _s .k = q _s / (γ _R .d1 x γ _R .d2) retenus de 0 à D (avec prise en compte de l'éventuelle partie chemisée et des éventuels rabattement de q _s pour certaines catégories de pieux de grande longueur)					
Ce x R _s .k = Ce x P _s x Σ (h _i .q _s .k) (kN)	268				

Etats limite de portance et de traction (ELU) et de charge de fluage en compression et en traction (ELS)						
Longueurs de pieux testées D (m)	11					
Valeur de calcul de la portance du pieu R _c .d (kN)	296				ELU situations durables et transitoires	compression
Valeur de calcul de la portance du pieu R _c .d (kN)	326				ELU situations accidentelles	
Valeur de calcul de la charge de fluage d compression du pieu R _c .d (kN)	253				ELS combinaisons caractéristiques	
Valeur de calcul de la charge de fluage d compression du pieu R _c .d (kN)	207				ELS combinaisons quasi permanentes	
Valeur de calcul de la résistance de traction du pieu R _t .d (kN)	233				ELU situations durables et transitoires	traction
Valeur de calcul de la résistance de traction du pieu R _t .d (kN)	192				ELU UPL	
Valeur de calcul de la résistance de traction du pieu R _t .d (kN)	255				ELU situations accidentelles	
Valeur de calcul de la charge de fluage de traction d pieu R _t .d (kN)	171				ELS combinaisons caractéristiques	
Valeur de calcul de la charge de fluage de traction d pieu R _t .d (kN)	125				ELS combinaisons quasi permanentes	

Données

Titre du projet : Micropieux pour la grue

Numéro d'affaire : C.24.21155

Commentaires : N/A

Titre du calcul : 5 Micropieux par massif (Semelle n°1)

Mode général : Mode Groupie+

Mode Groupie+ : Mode simplifié

Pas maximal (m) : 0,50

Modifier les paramètres avancés : Non

Définition des pieux

N°	XP	YP	Cotefête	α	β	L	D	Liaison	Elx	Ely	ES	Γ
1	0,00	0,80	549,50	0,0	0,0	11,00	0,20	Encastré	3,83E02	3,83E02	4,74E05	1,00
2	-0,80	0,00	549,50	0,0	0,0	11,00	0,20	Encastré	3,83E02	3,83E02	4,74E05	1,00
3	0,00	0,00	549,50	0,0	0,0	11,00	0,20	Encastré	3,83E02	3,83E02	4,74E05	1,00
4	0,80	0,00	549,50	0,0	0,0	11,00	0,20	Encastré	3,83E02	3,83E02	4,74E05	1,00
5	0,00	-0,80	549,50	0,0	0,0	11,00	0,20	Encastré	3,83E02	3,83E02	4,74E05	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) : 549,50

Définition du sol

N°	Nom	Couleur	Cotebase	αY	αX	EM	α	pf*	pl*	qsl	Type de sol	qpl
1	Couches 10,11a		546,50	0,0	0,0	2,00E03	0,33	1,00E00	2,00E00	1,00	Sol fin	1,00
2	Couche 11b		543,70	0,0	0,0	2,50E03	0,33	2,50E02	5,00E02	41,00	Sol granulaire	1,00
3	Couche 11c		540,80	0,0	0,0	8,00E03	0,33	7,00E02	1,20E03	77,00	Sol granulaire	1,00
4	Couche 20		530,00	0,0	0,0	1,00E05	0,50	5,00E03	5,00E03	200,00	Sol granulaire	1,00

Cas de chargement

N°	TX	MY	TY	MX	TZ	MZ
1	0,00	0,00	0,00	0,00	799,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	1192,00	0,00

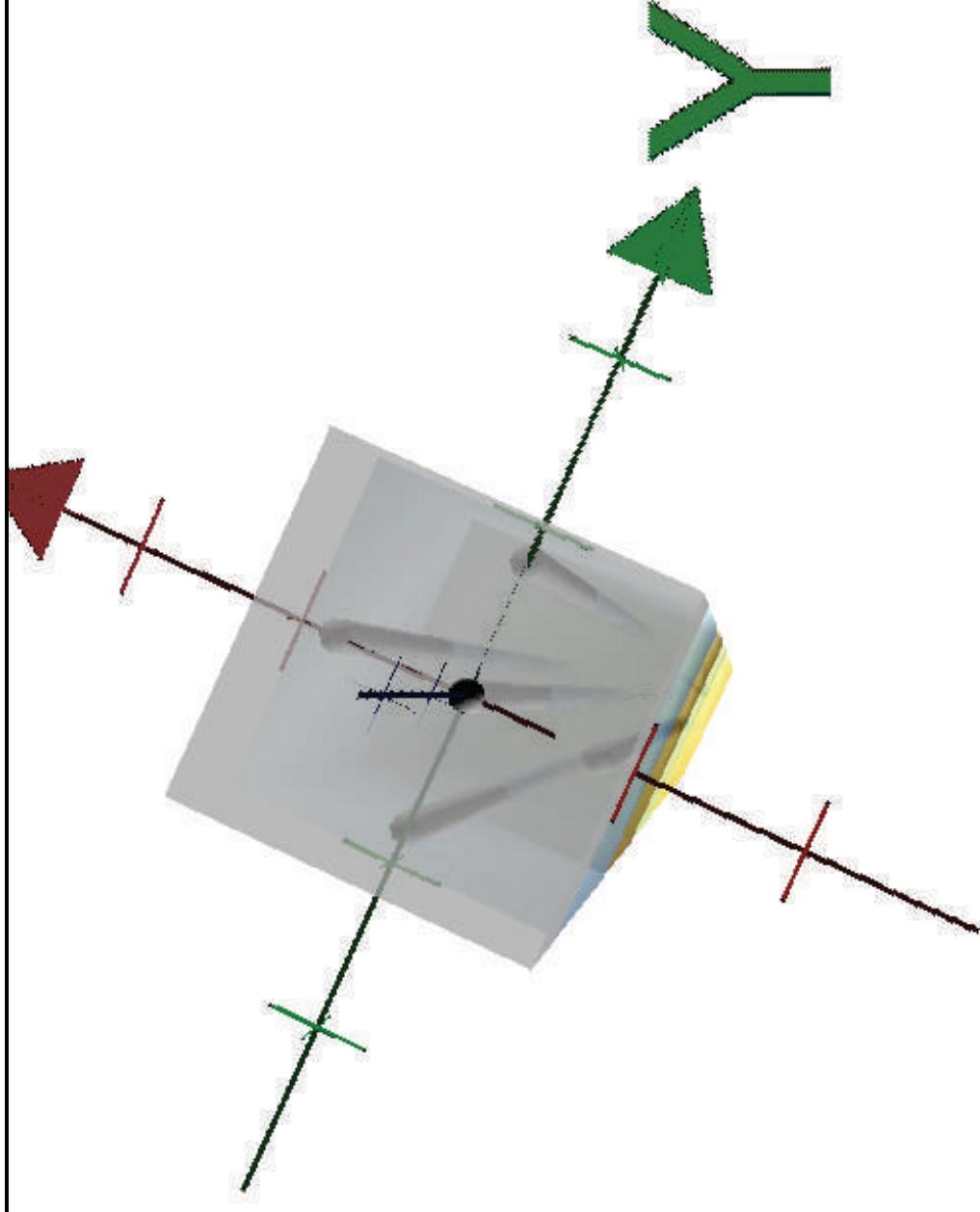


FoXta v4
v4.1.13

Imprimé le : 25/02/2025 - 15:29:24
Calcul réalisé par : HYDROGEOTECHNIQUE

Projet : Micropieux grue
Module : Groupie+ (Semelle 1/1)
Titre du calcul : 5 Micropieux par massif

Onglet "Définition du sol"



Chargement/déplacement de la semelle

N° cas charge	TX	MY	TY	MX	TZ	MZ	UX	rot/Y	UY	rot/X	UZ	rot/Z
1	0,00	0,00	0,00	0,00	799,00	0,00	-3,446E-17	-5,224E-19	-2,212E-17	2,196E-19	2,844E-03	-3,816E-33
2	0,00	0,00	0,00	0,00	1192,00	0,00	-2,874E-17	-2,079E-18	-2,131E-17	2,468E-18	4,350E-03	7,835E-33



FoXta v4
v4.1.13

Imprimé le : 25/02/2025 - 15:29:24
Calcul réalisé par : HYDROGEOTECHNIQUE

Projet : Micropieux grue
Module : Groupie+ (Semelle 1/1)
Titre du calcul : 5 Micropieux par massif

Efforts en tête des pieux

N° cas charge	N° pieu	T1	M1	T2	M2	Tz	Mz
1	1	-0,000	0,000	0,000	-0,000	159,800	-0,000
1	2	0,000	-0,000	-0,000	0,000	159,800	-0,000
1	3	0,000	-0,000	0,000	0,000	159,800	-0,000
1	4	-0,000	0,000	-0,000	0,000	159,800	-0,000
1	5	-0,000	0,000	-0,000	0,000	159,800	-0,000
2	1	-0,000	0,000	0,000	-0,000	238,400	0,000
2	2	0,000	-0,000	-0,000	0,000	238,400	0,000
2	3	-0,000	-0,000	-0,000	0,000	238,400	0,000
2	4	-0,000	0,000	-0,000	0,000	238,400	0,000
2	5	-0,000	0,000	-0,000	0,000	238,400	0,000

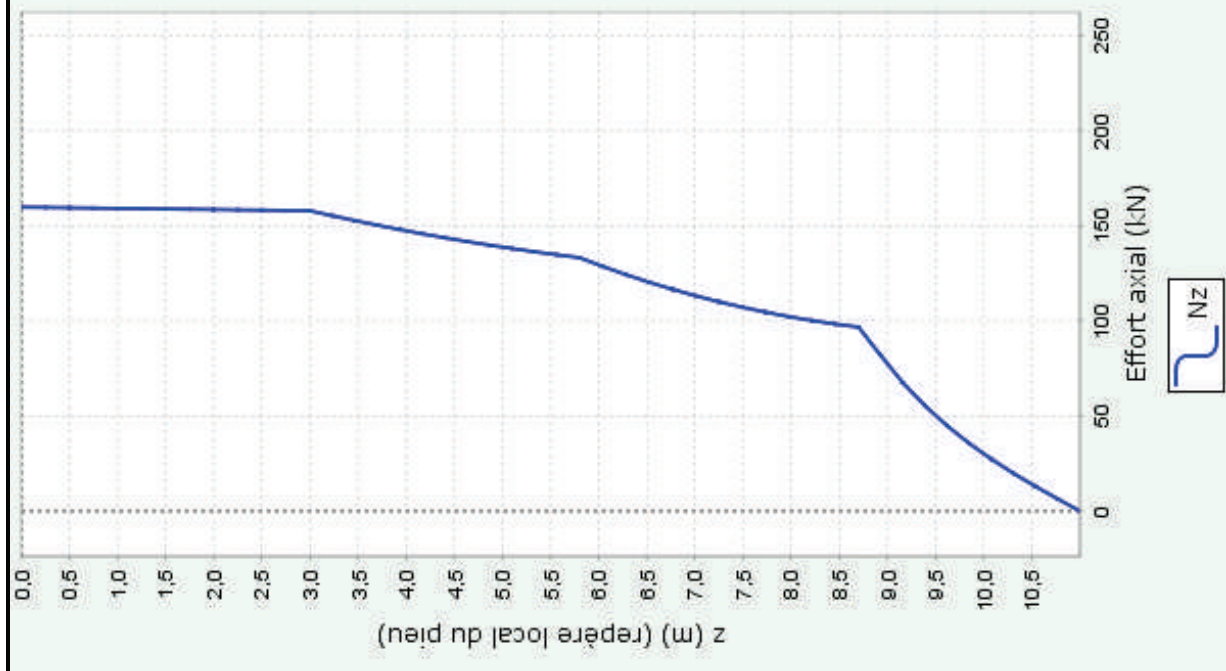
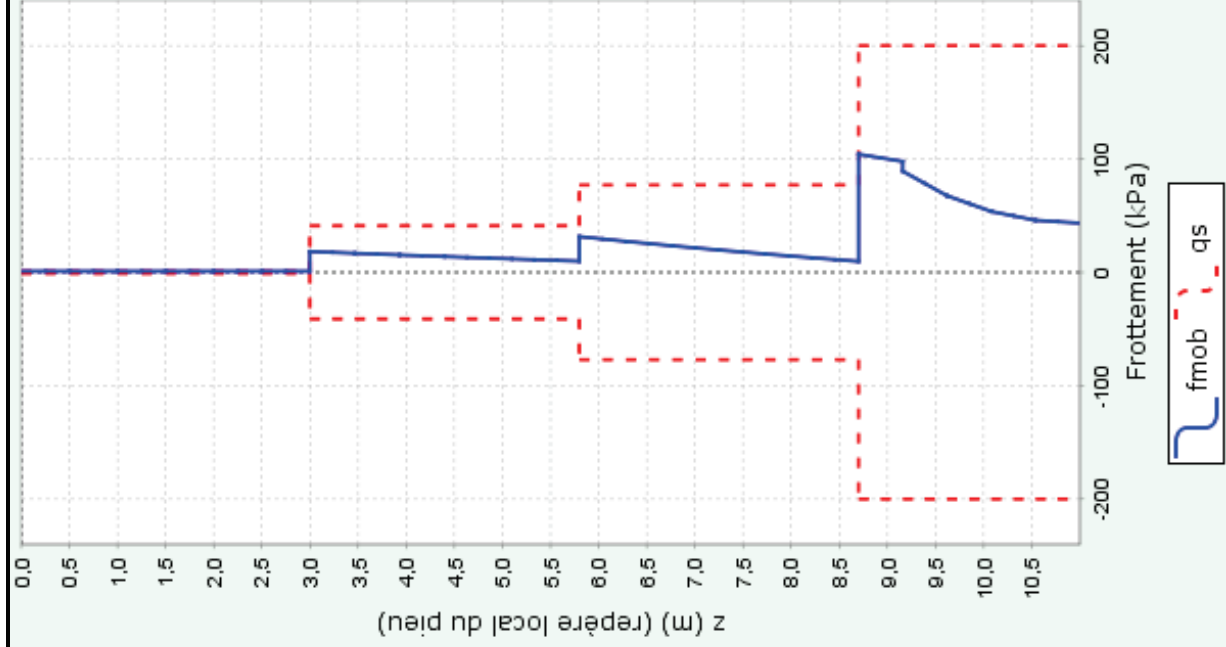
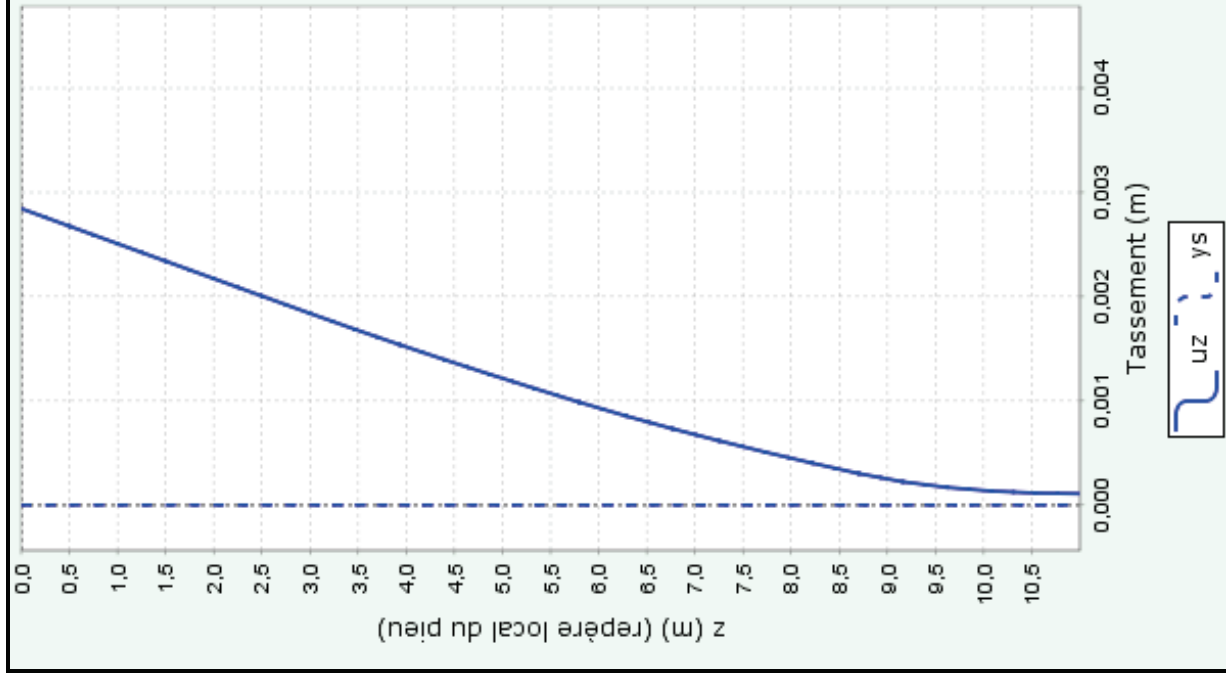


FoXta v4
v4.1.13

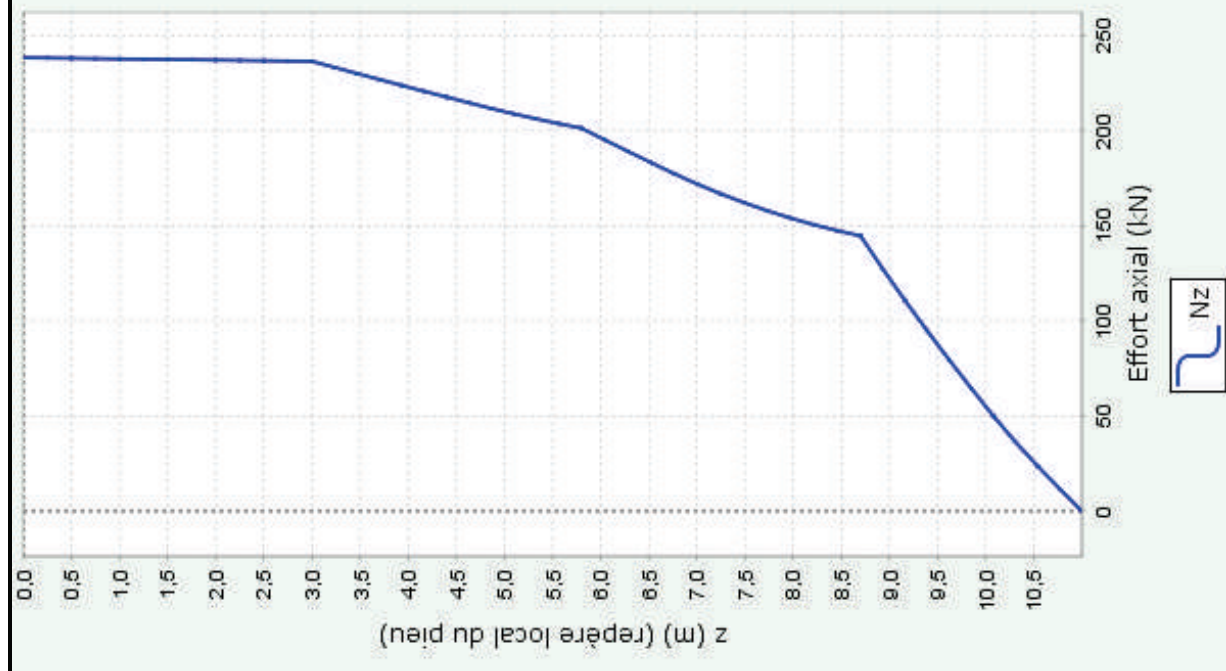
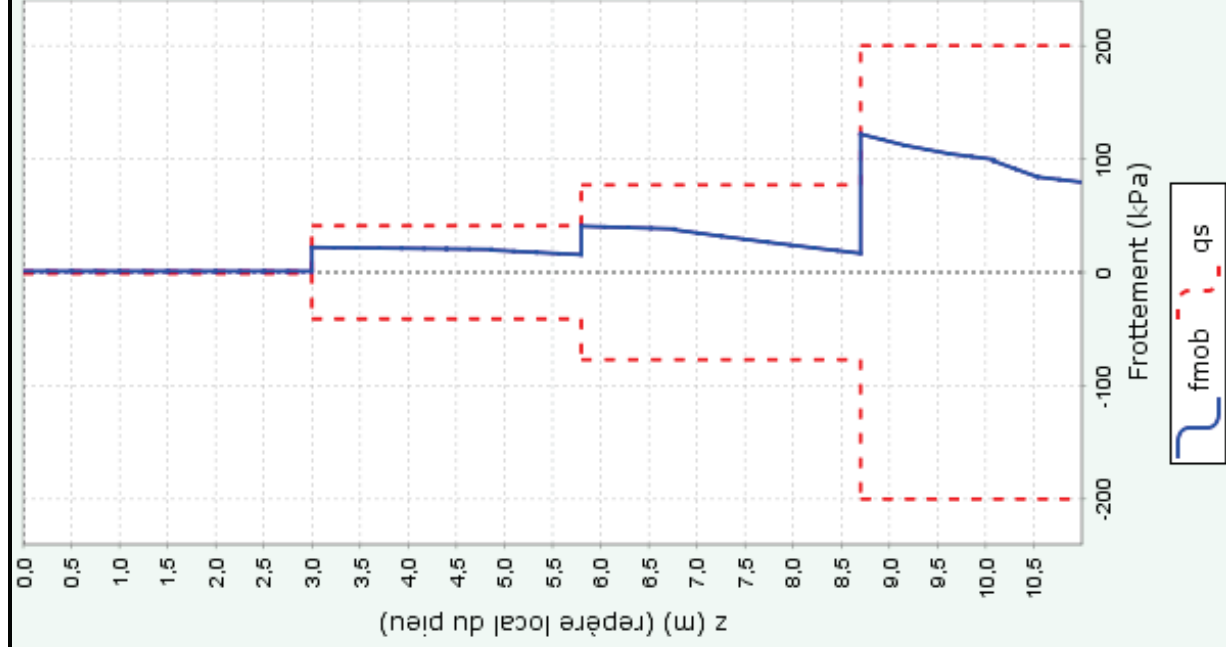
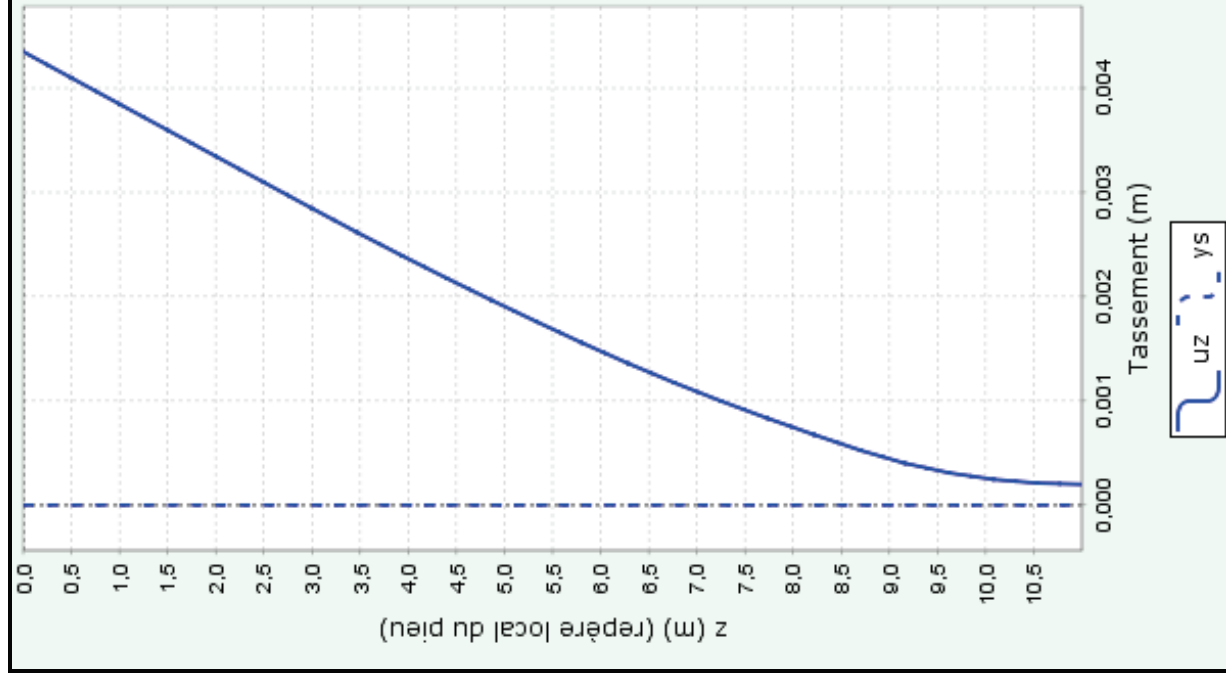
Imprimé le : 25/02/2025 - 15:29:24
Calcul réalisé par : HYDROGEOTECHNIQUE

Projet : Micropieux grue
Module : Groupie+ (Semelle 1/1)
Titre du calcul : 5 Micropieux par massif

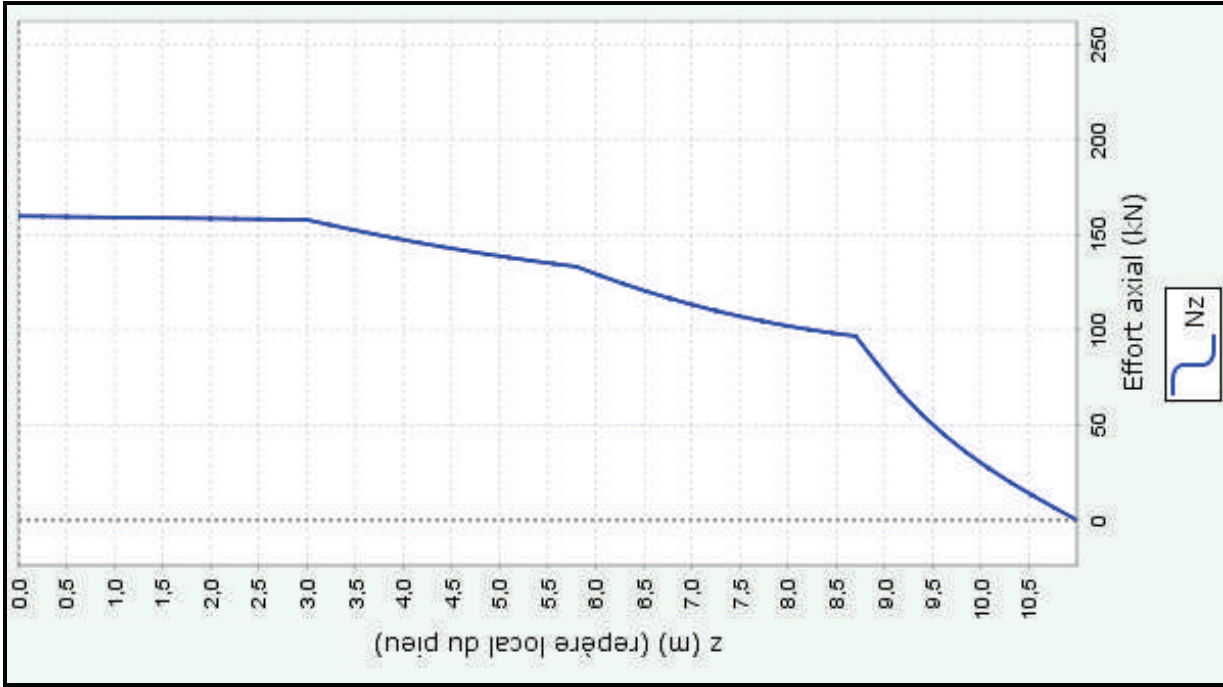
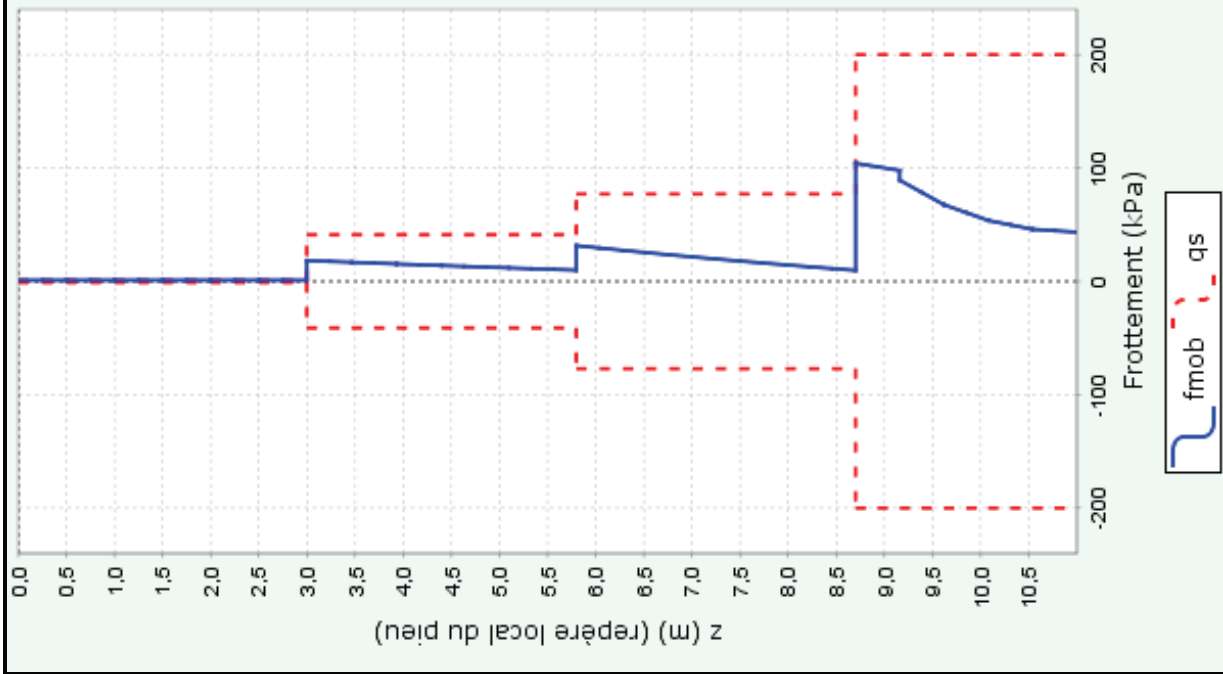
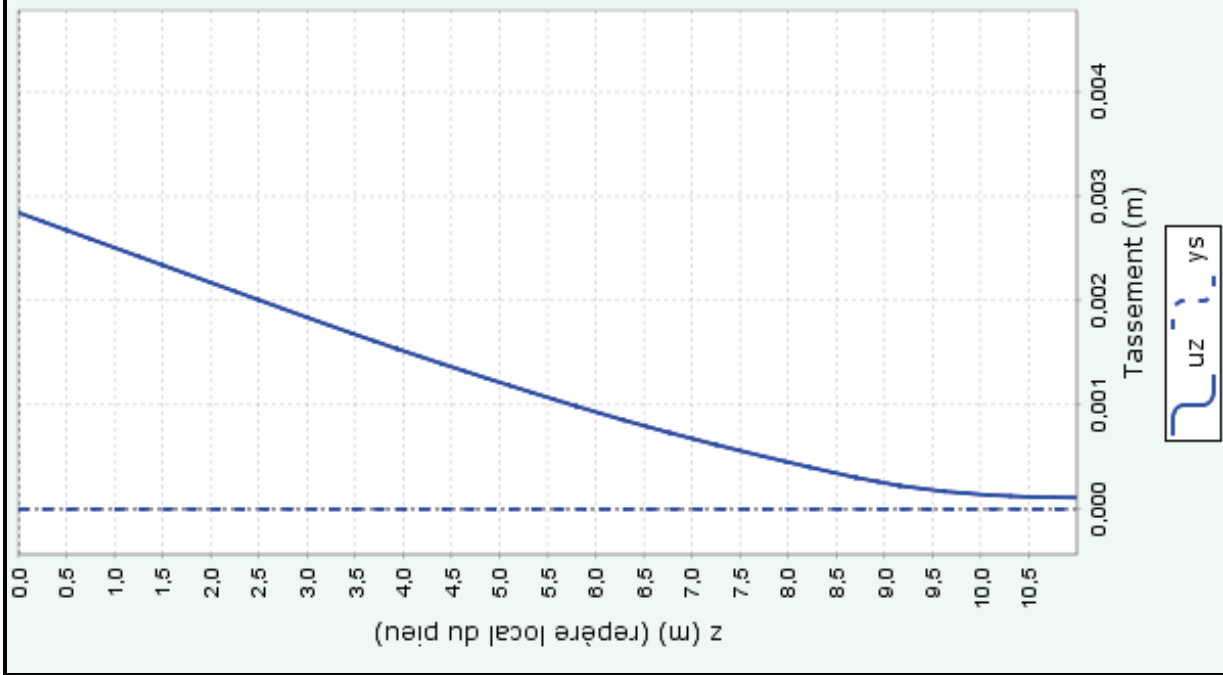
Comportement axial pour le cas de chargement 1 et pour le pieu 1



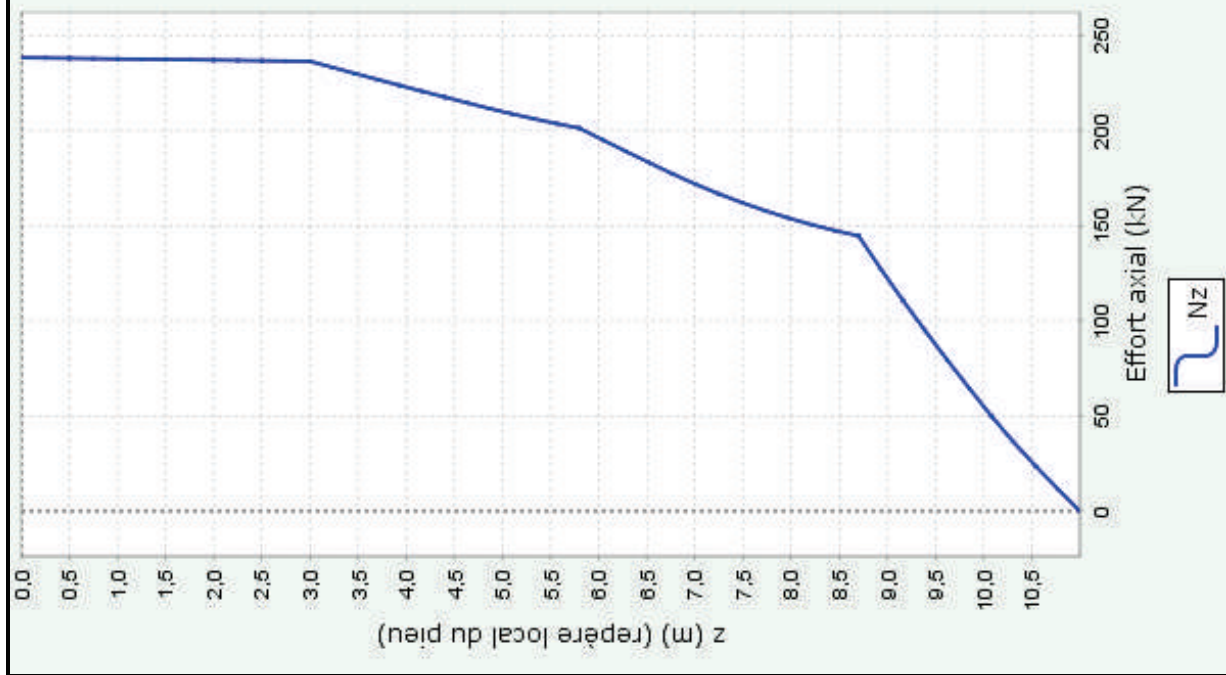
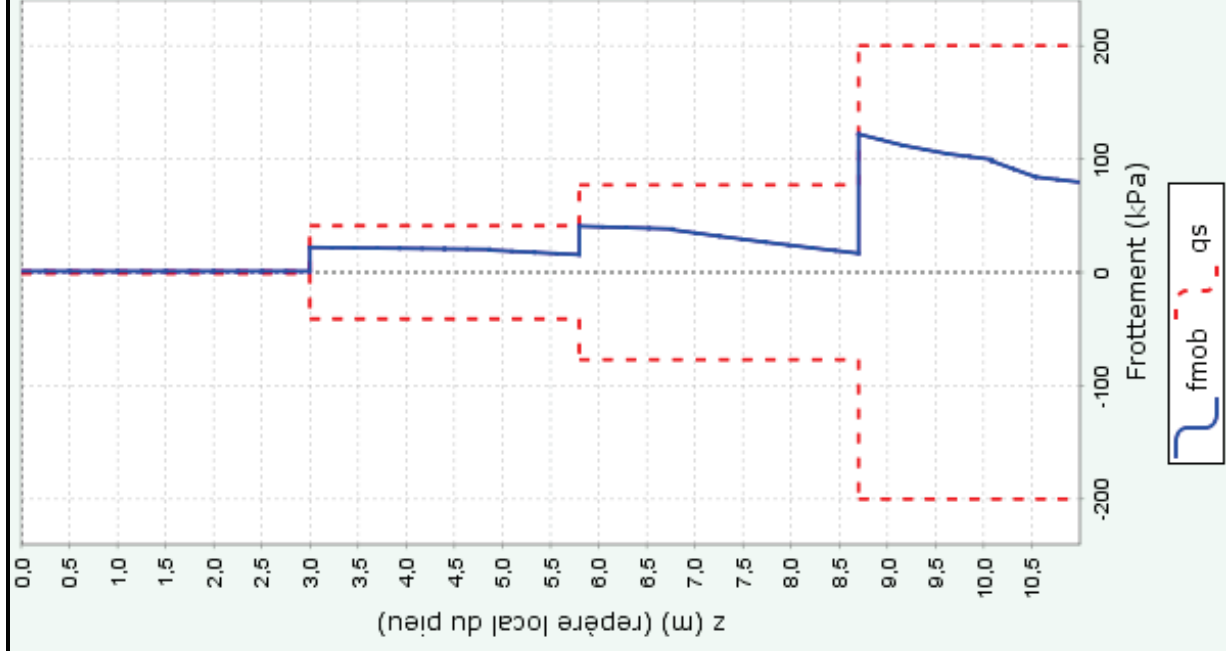
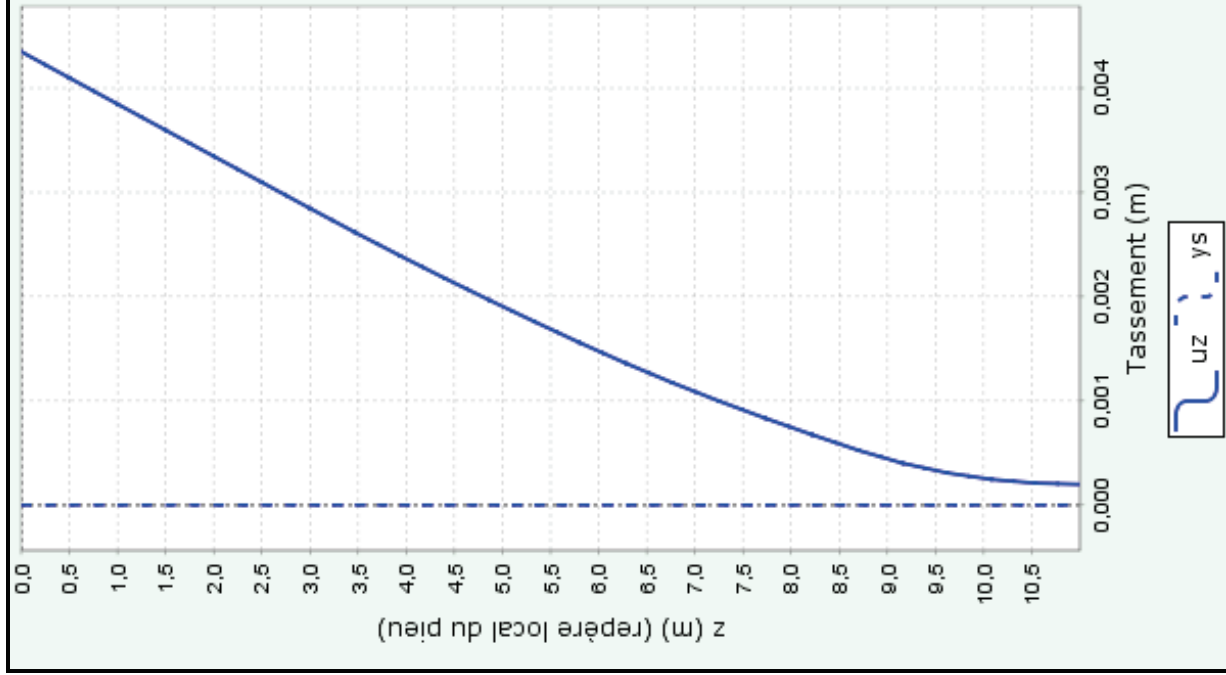
Comportement axial pour le cas de chargement 2 et pour le pieu 1



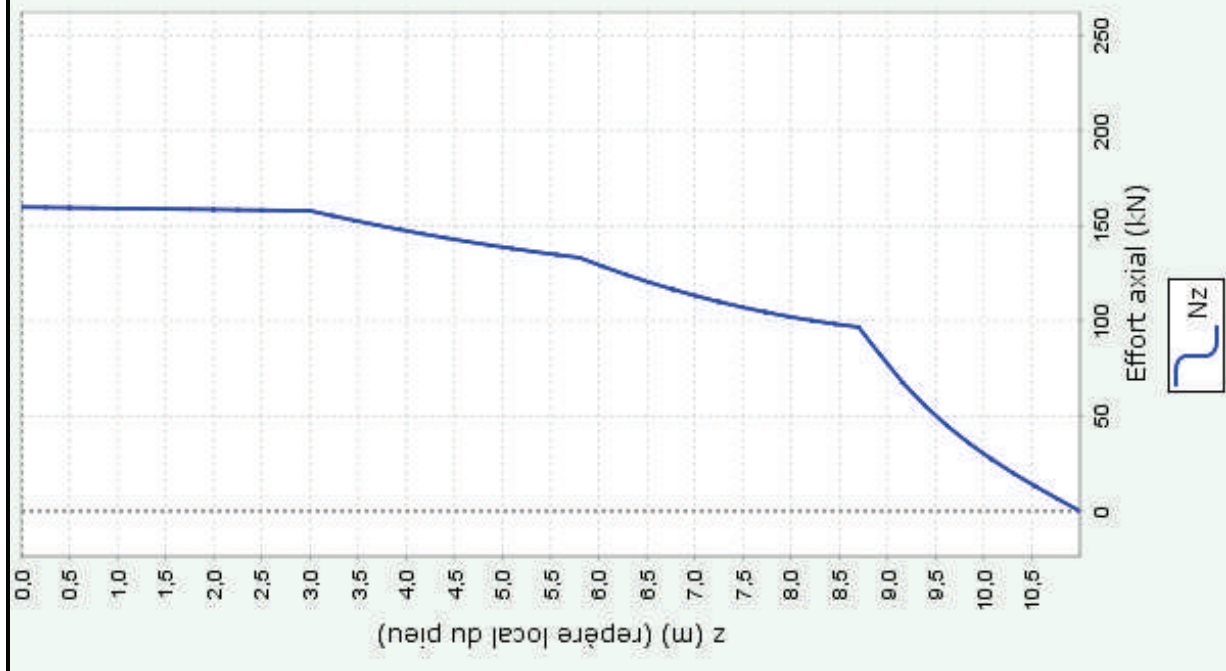
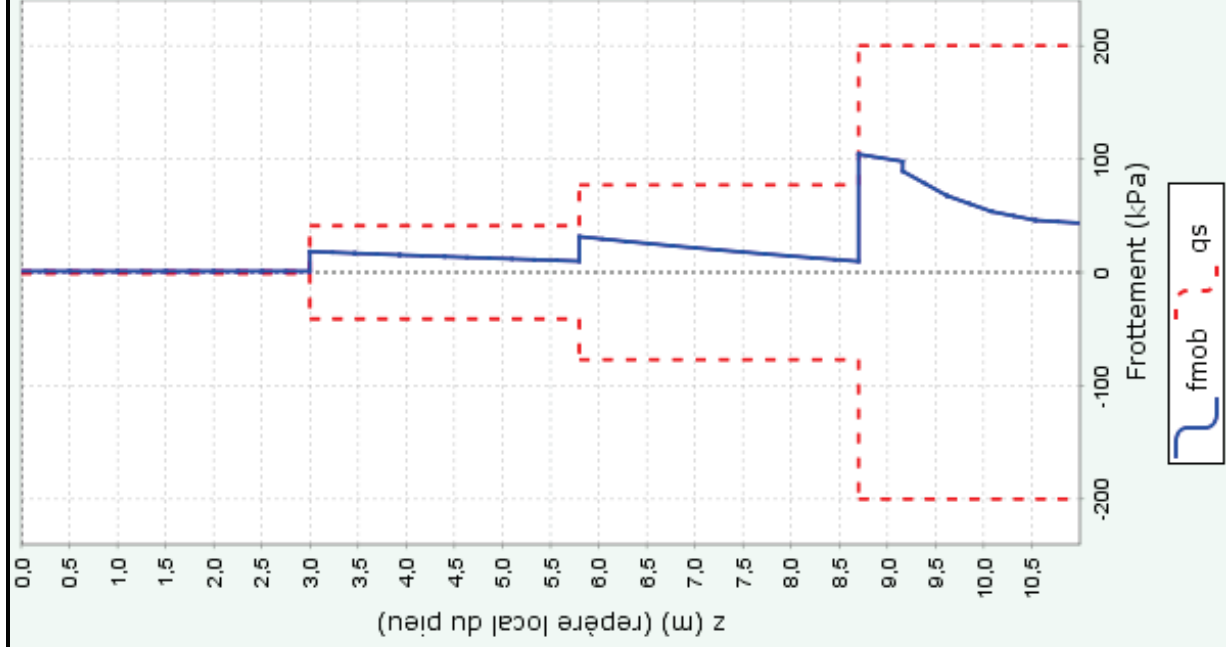
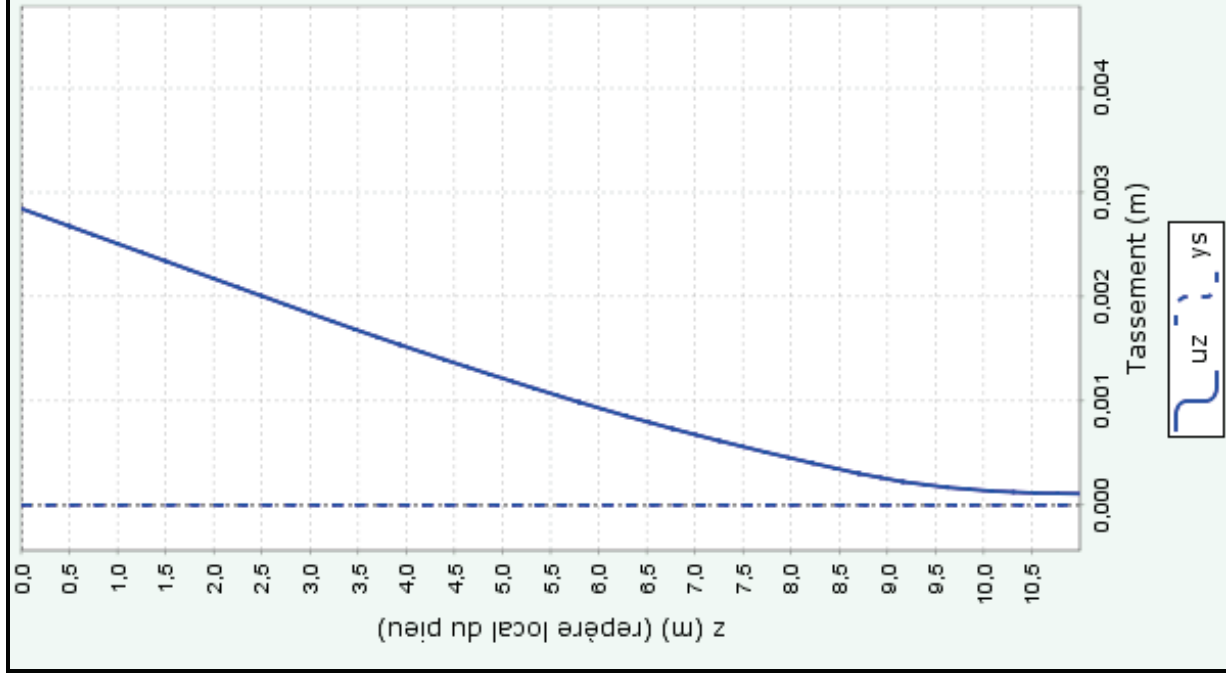
Comportement axial pour le cas de chargement 1 et pour le pieu 2



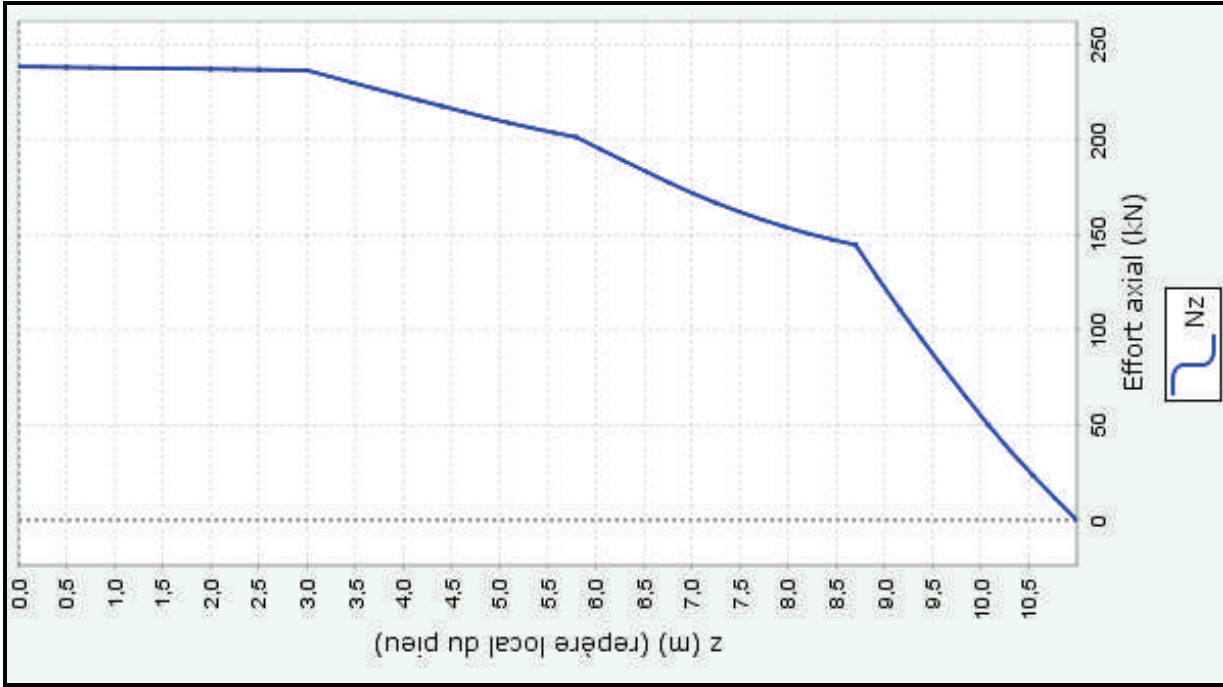
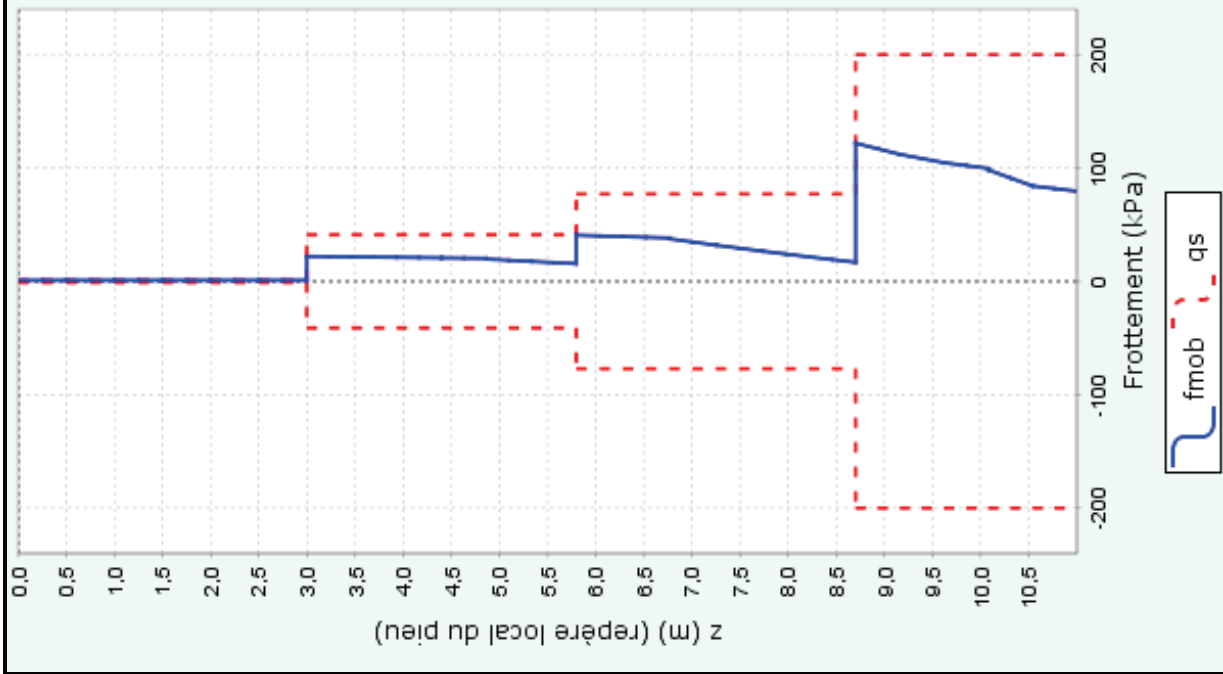
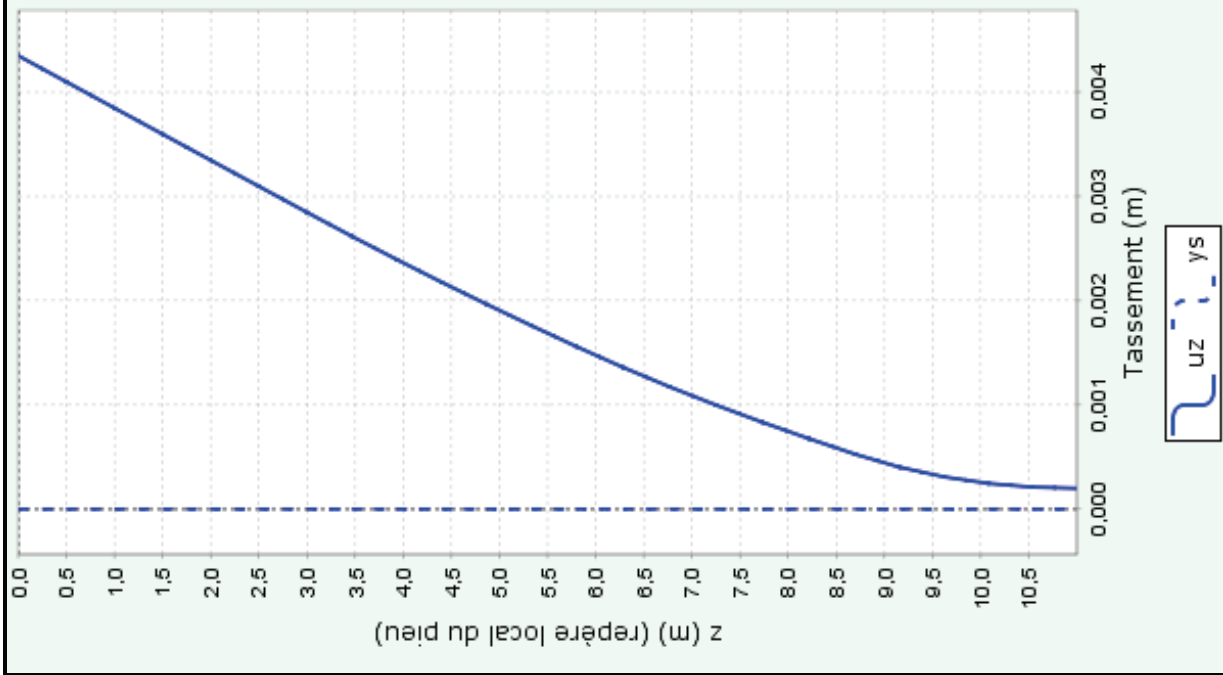
Comportement axial pour le cas de chargement 2 et pour le pieu 2



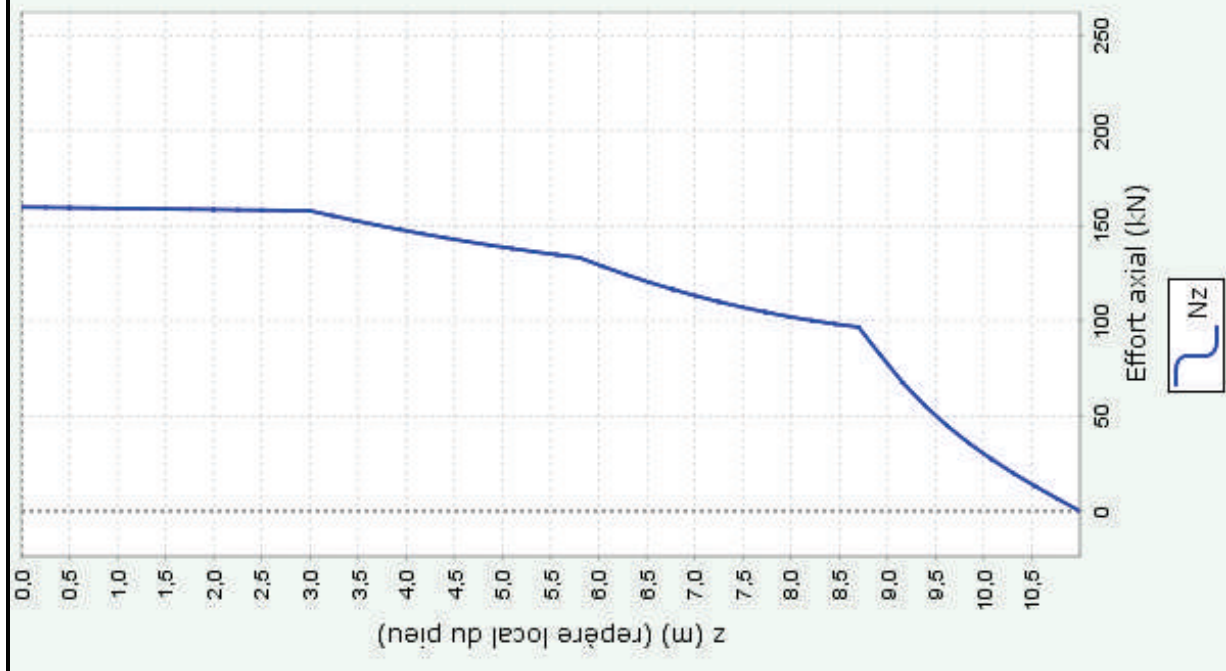
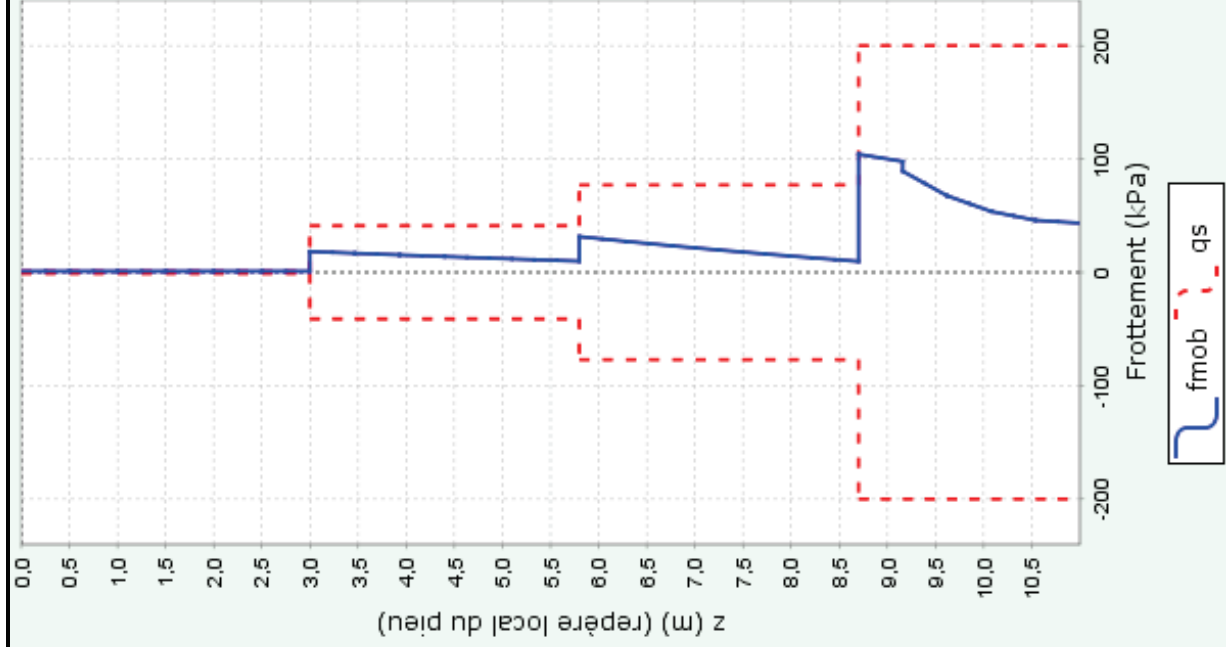
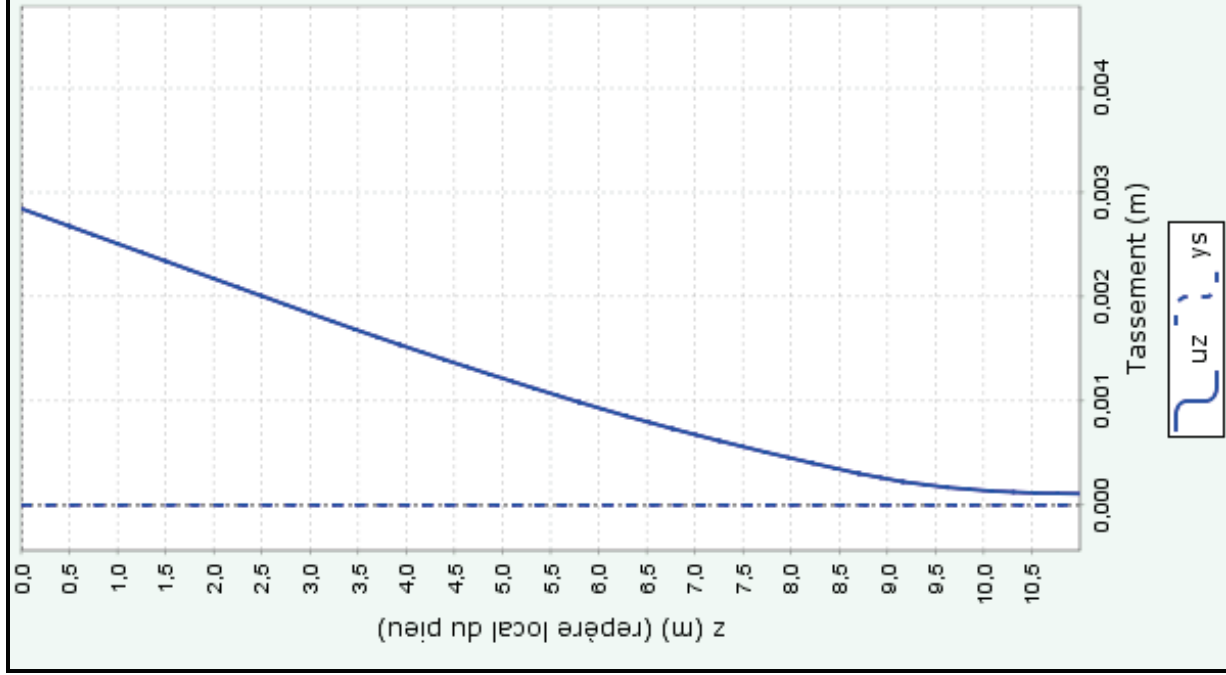
Comportement axial pour le cas de chargement 1 et pour le pieu 3



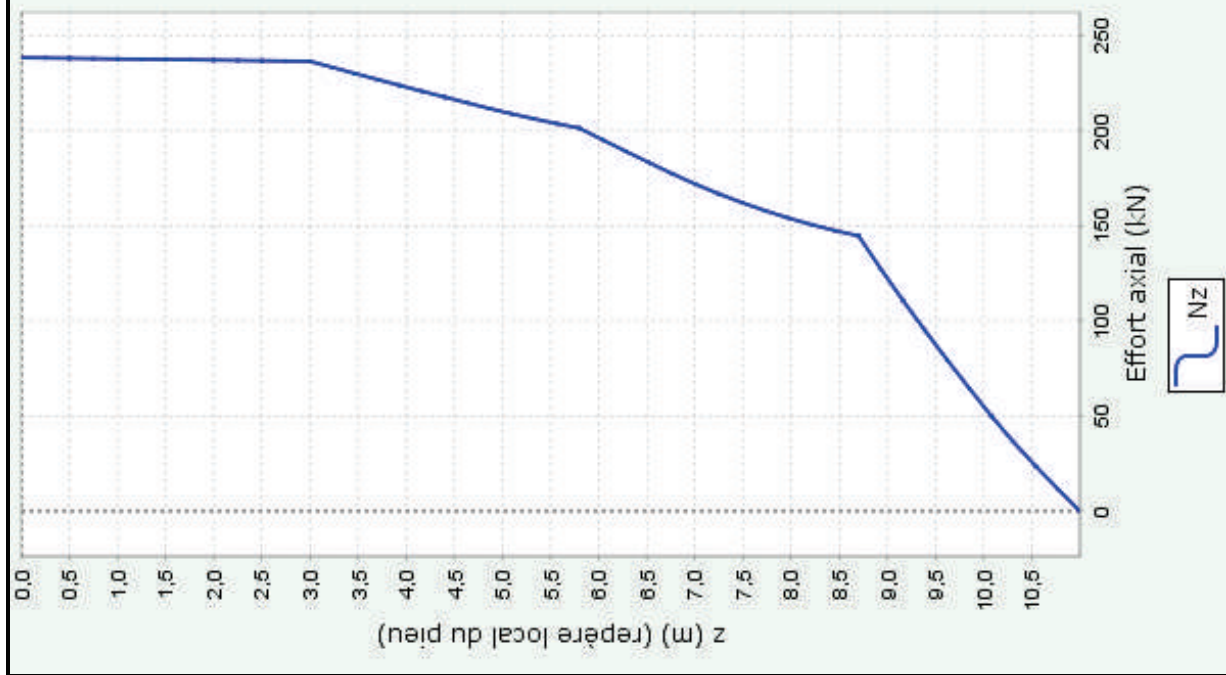
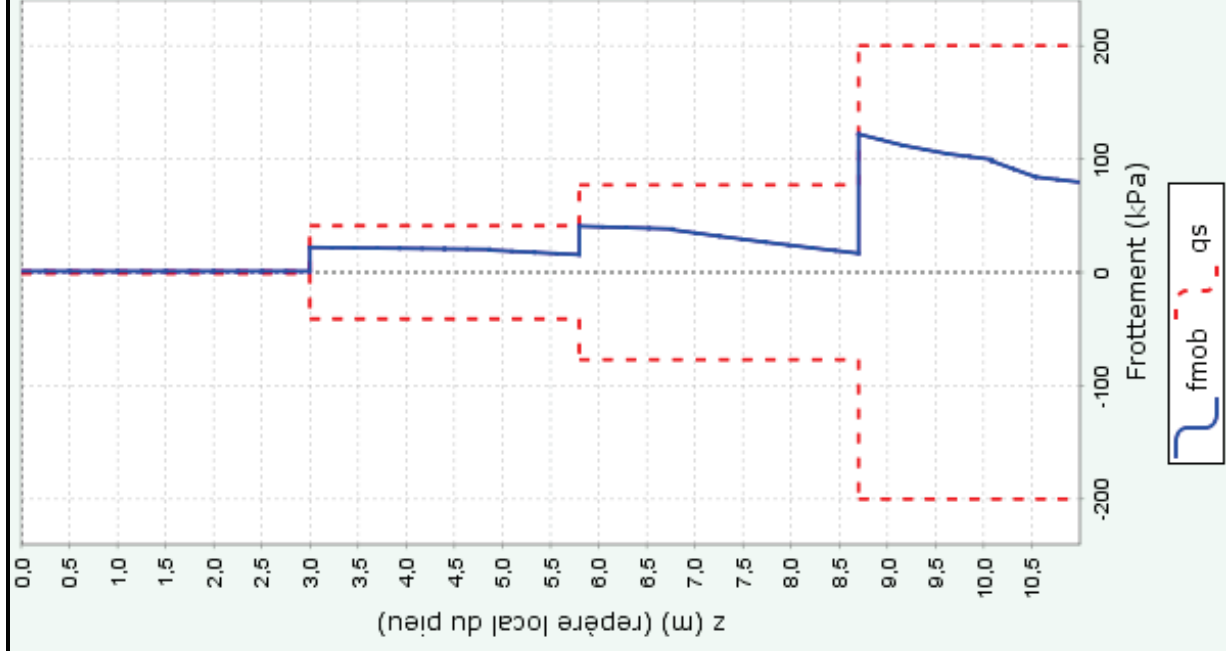
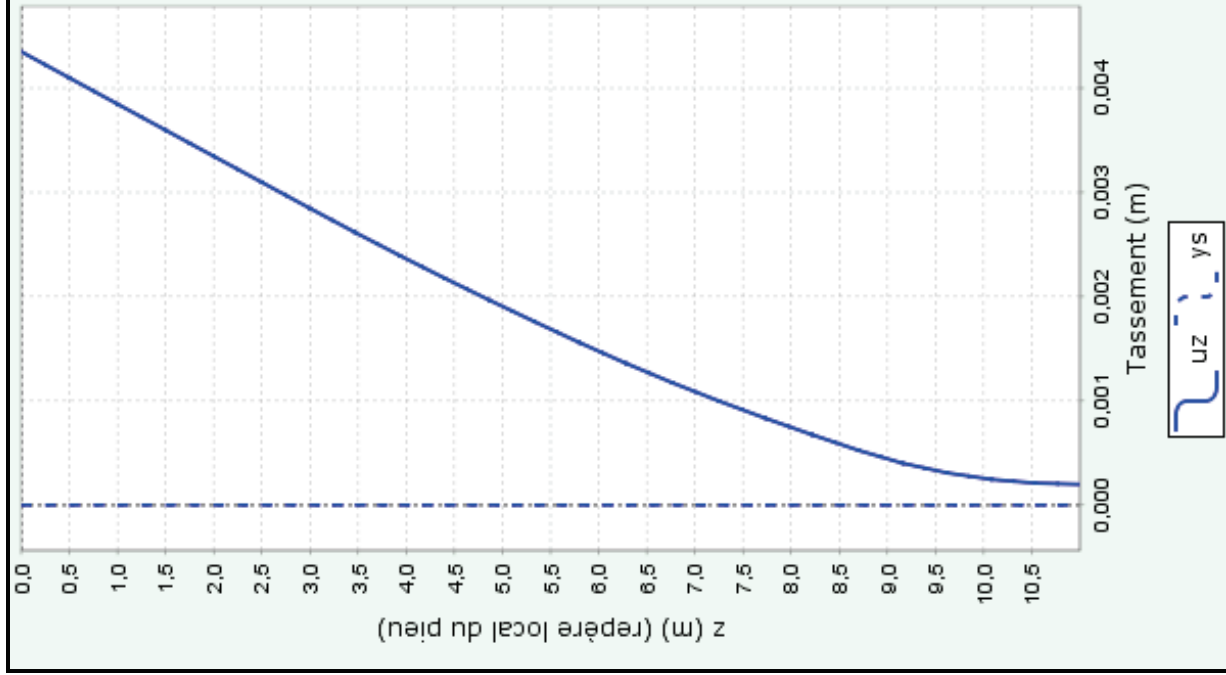
Comportement axial pour le cas de chargement 2 et pour le pieu 3



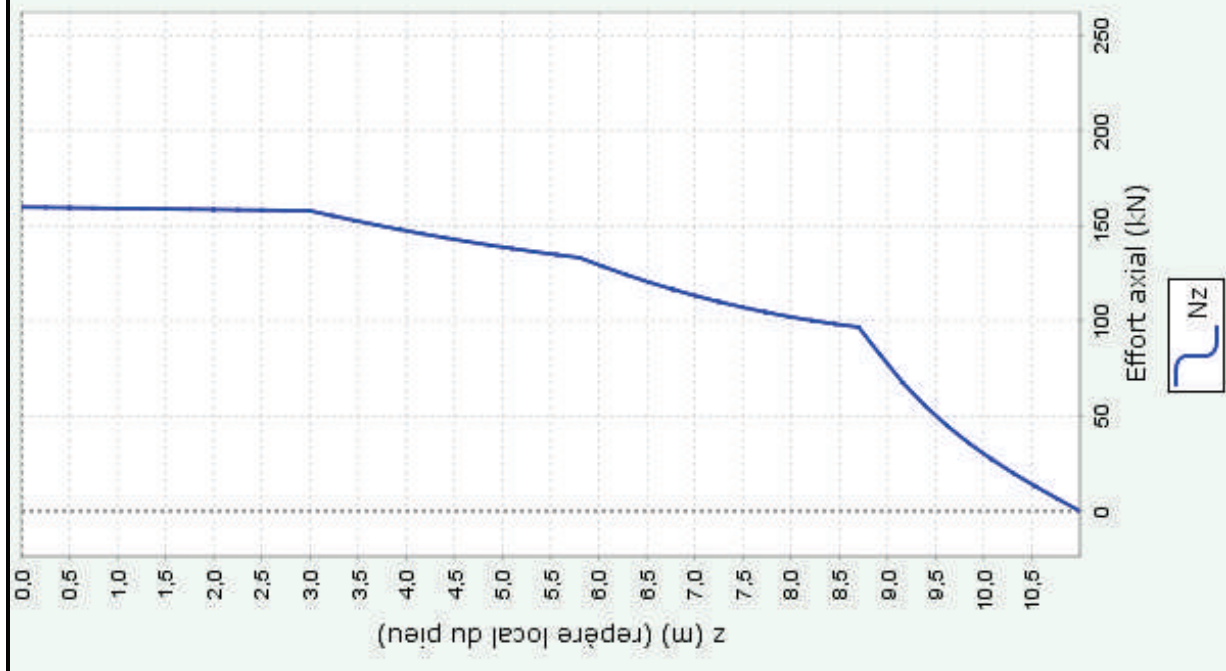
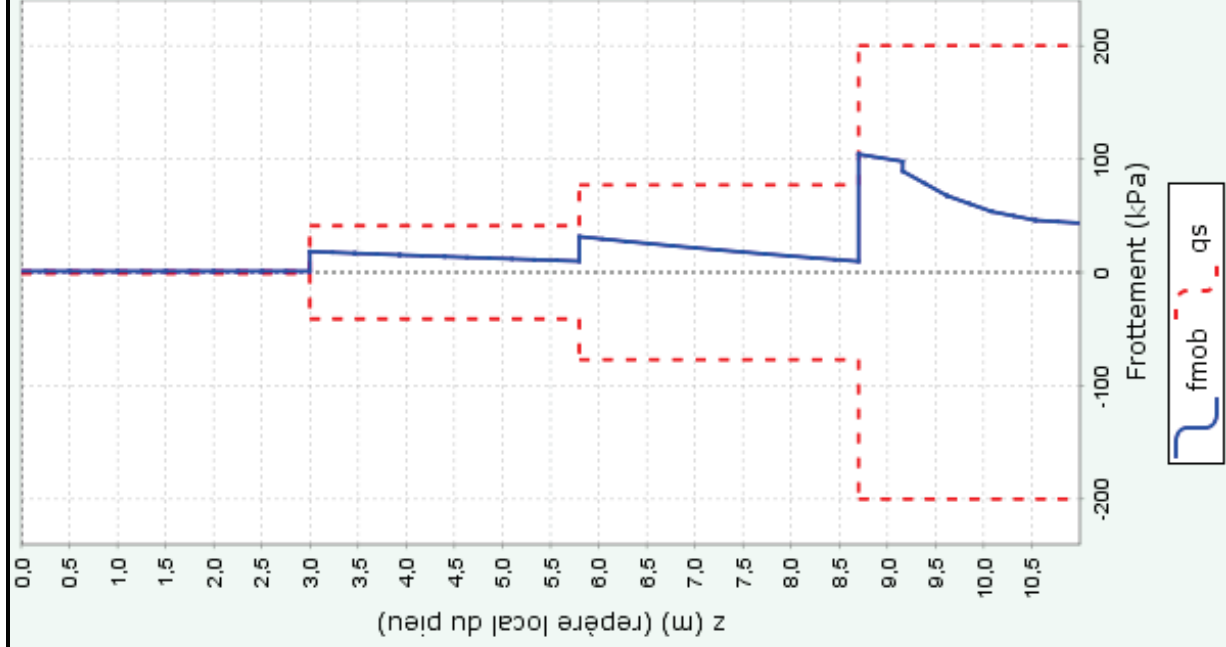
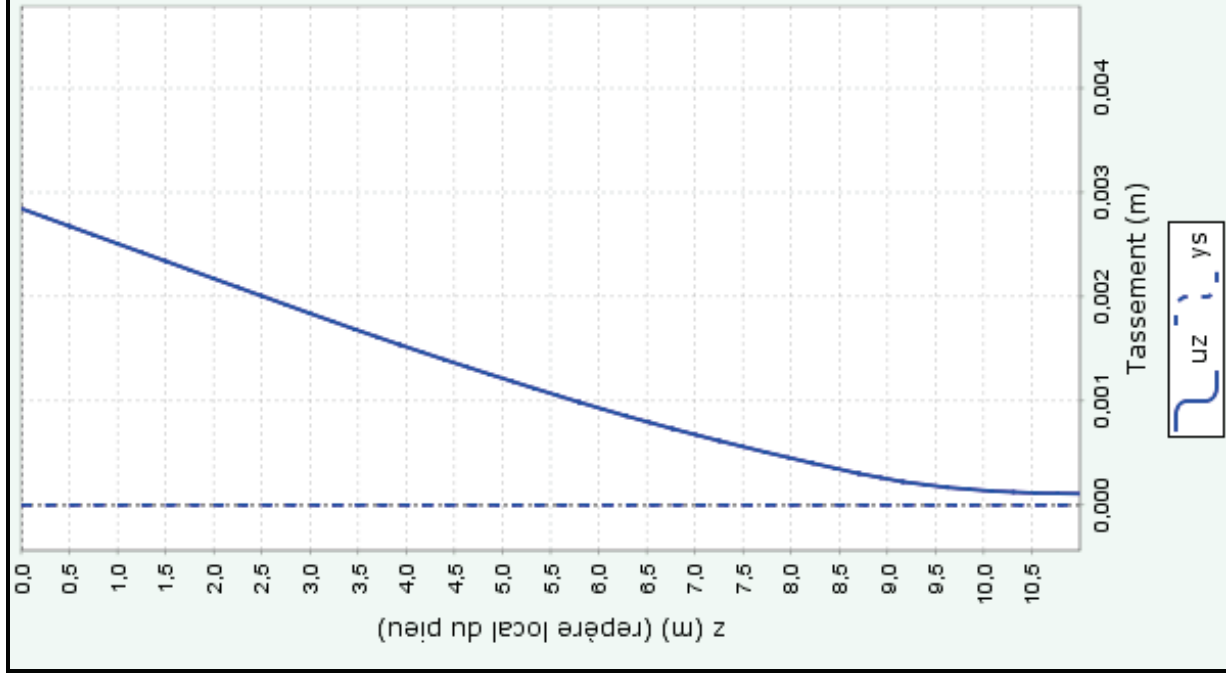
Comportement axial pour le cas de chargement 1 et pour le pieu 4



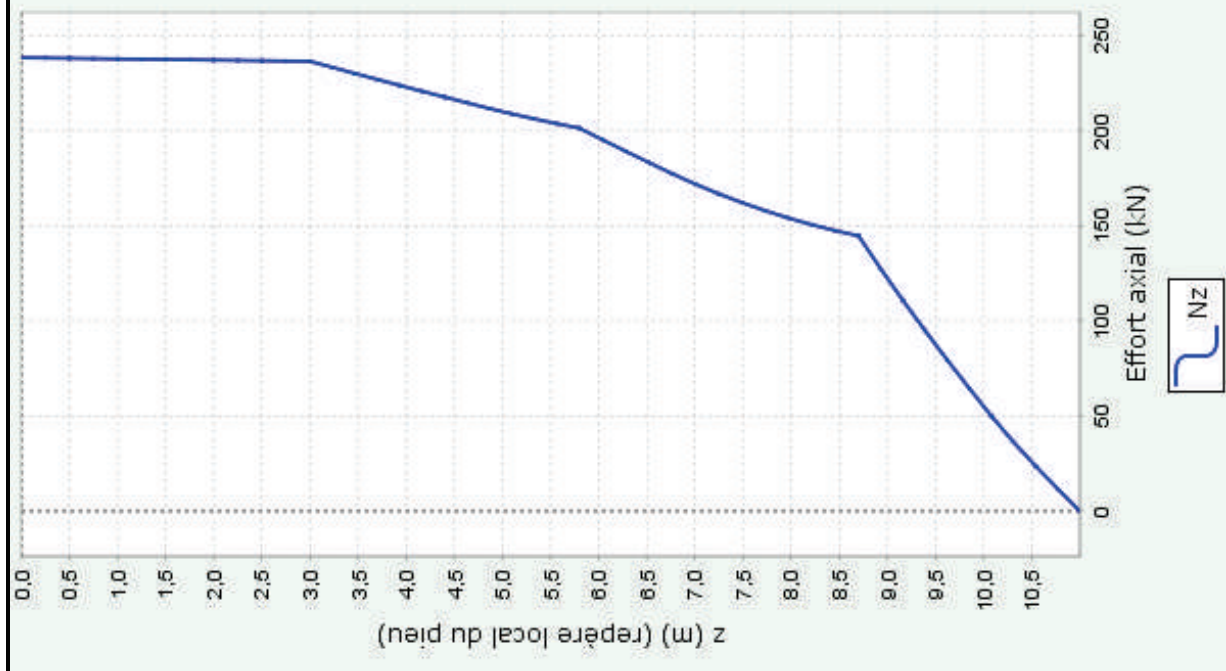
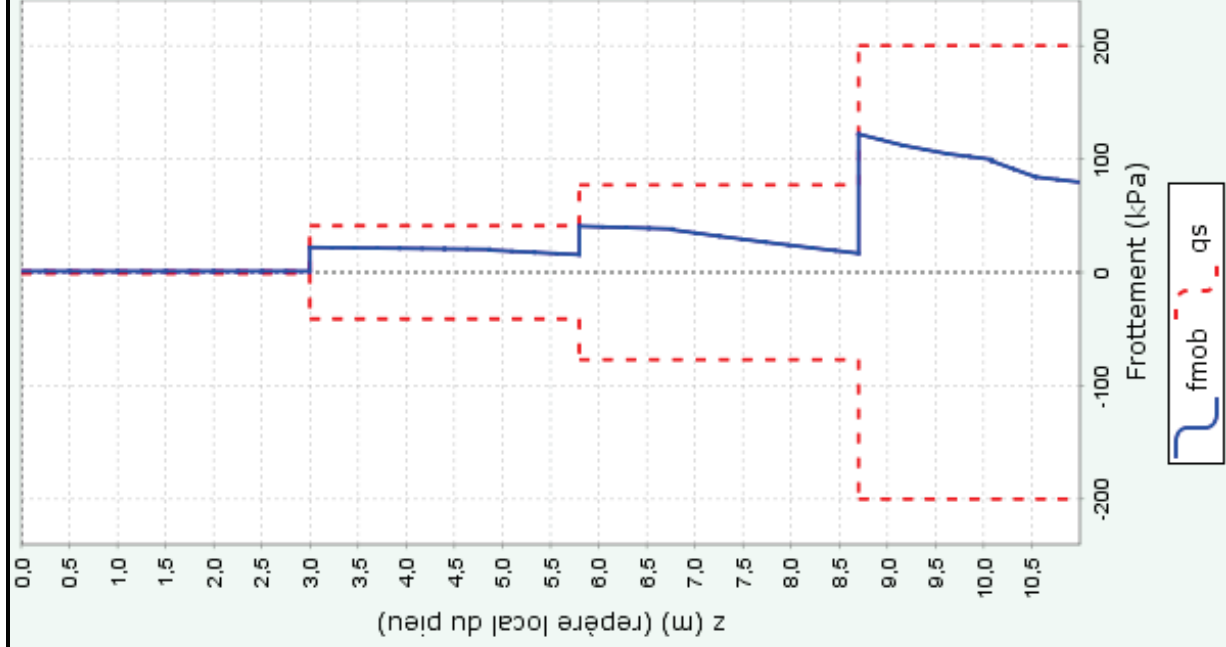
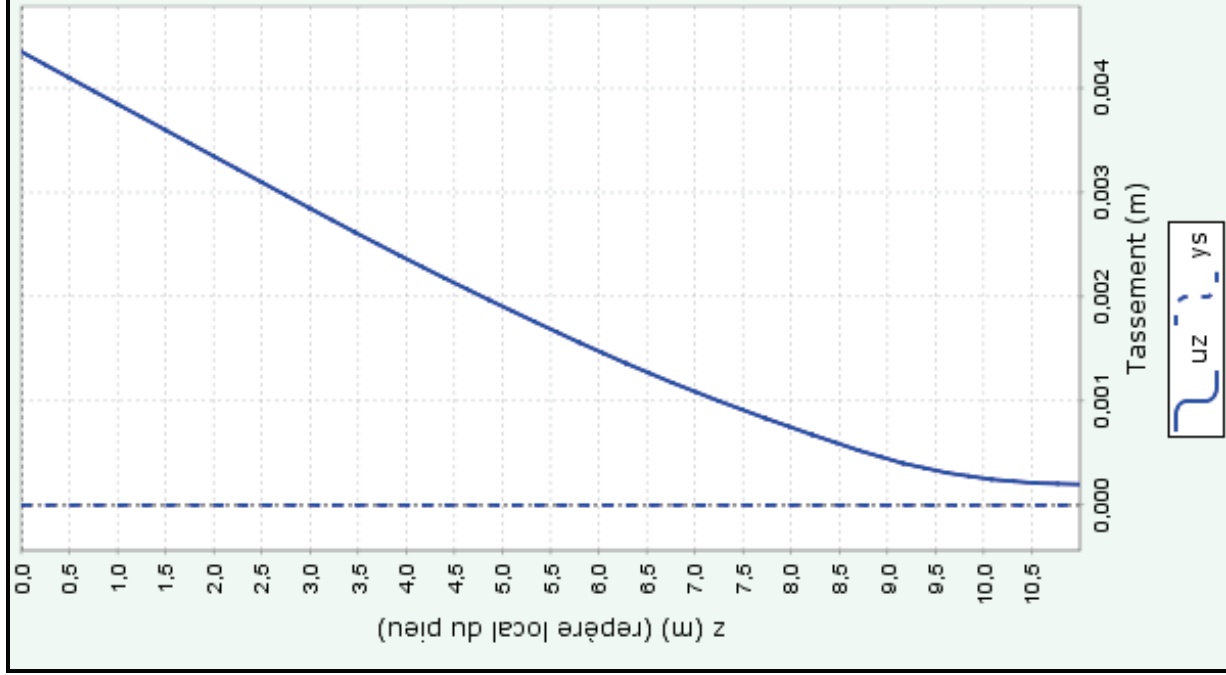
Comportement axial pour le cas de chargement 2 et pour le pieu 4



Comportement axial pour le cas de chargement 1 et pour le pieu 5



Comportement axial pour le cas de chargement 2 et pour le pieu 5



Cas de chargement 1 : Tx=0,00 My=0,00 Ty=0,00 Mx=0,00 Tz=799,00 Mz=0,00

Raideurs tangentes exprimées au centre de la semelle

$F = K \cdot U + F_o$

uX	rY	uY	rX	uZ	rZ
+2,009E04	+7,283E03	-1,576E-12	-1,480E-11	-1,133E-27	-7,488E-12
+7,283E03	+7,533E04	-1,185E-12	-1,159E-11	-2,029E-11	-3,736E-12
+3,842E-12	+1,449E-12	+2,009E04	-7,283E03	+6,324E-27	-2,241E-12
-1,393E-12	-5,256E-13	-7,283E03	+7,533E04	-1,458E-11	+1,158E-12
+2,374E-12	-1,262E-11	-1,606E-12	-4,830E-12	+2,736E05	-1,080E-13
-2,826E-12	-2,568E-11	-1,278E-28	+1,008E-26	+7,070E-27	+1,029E04

Terme de raideur en translation (kN/m)

Terme de raideur en rotation (kN.m)

Terme de raideur couplée (kN)

Terme de force à l'origine (kN)

Terme de moment à l'origine (kN.m)

T _o X	+6,960E-13
M _o Y	+3,481E-13
T _o Y	+4,460E-13
M _o X	-1,362E-13
T _o Z	+2,079E01
M _o Z	-9,164E-29

Données

Titre du projet : Micropieux pour la grue
Numéro d'affaire : C.24.21155
Commentaires : N/A
Titre du calcul : Vérification des tubes au flambement (pieu n°1)
Type de calcul : Calcul spécifique de flambement
Loi p-y avec saisie directe des données pressiométriques
Cote de référence (m) : 549,50
Inclinaison du pieu (°) : 0,0
Nb d'incréments : 20
Nb d'itérations par incrément : 100
Définition des couches de sol

N°	Nom	Couleur	Zbase	EM	α	B
1	Couches 10,11a		546,50	2,00E03	0,33	0,20
2	Couche 11b		543,70	2,50E03	0,33	0,20
3	Couche 11c		540,80	8,00E03	0,33	0,20
4	Couche 20		538,50	1,00E05	0,50	0,20

Discretisation

Nom	h	EI	n
Couches 10,11a	3,00	3,83E02	10
Couche 11b	2,80	3,83E02	10
Couche 11c	2,90	3,83E02	10
Couche 20	2,30	3,83E02	10

Charges ponctuelles

N°	Z	K	C
0	549,50	0,00E00	0,00E00
1	546,50	0,00E00	0,00E00
2	543,70	0,00E00	0,00E00
3	540,80	0,00E00	0,00E00
4	538,50	0,00E00	0,00E00



FoXta v4
v4.1.13

Imprimé le : 25/02/2025 - 15:32:12
Calcul réalisé par : HYDROGEOTECHNIQUE

Projet : Micropieux grue
Module : Piecoef+ (Pieu 1/1)
Titre du calcul : Vérification des tubes au flambement

Onglet "Sol/pieu"



File : C:\Users\crohart\AppData\Local\Temp\Terrasol\FoXta v4\15608\PC.0.resu

Calcul réalisé le : 25/02/2025 à 15h31
par : HYDROGEOTECHNIQUE

Titre du calcul : Vérification des tubes au flambement

nb d'incréments : 020
itération : 001Cote de référence : 549.500
Inclinaison(°) : 0.000

Type de calcul : Calcul spécifique de Flambement

Loi élastoplastique de mobilisation de la réaction latérale du sol définie à partir des caractéristiques pressiométriques

Caractéristiques des couches (données utilisateur)

couche	base	EI	EM	alpha	B
01	546.50	0.383E+03	2000.00	0.33	0.200
02	543.70	0.383E+03	2500.00	0.33	0.200
03	540.80	0.383E+03	8000.00	0.33	0.200
04	538.50	0.383E+03	100000.00	0.50	0.200

Discretisation du pieu (Paramètres du calcul)

Elément	XL	EI	ks1*B	p1*B	ks2*B	p2*B
001	0.300	0.3830E+03	0.5532E+04	0.1000E+11	0.0000E+00	0.1000E+11
002	0.300	0.3830E+03	0.5532E+04	0.1000E+11	0.0000E+00	0.1000E+11
003	0.300	0.3830E+03	0.5532E+04	0.1000E+11	0.0000E+00	0.1000E+11
004	0.300	0.3830E+03	0.5532E+04	0.1000E+11	0.0000E+00	0.1000E+11
005	0.300	0.3830E+03	0.5532E+04	0.1000E+11	0.0000E+00	0.1000E+11
006	0.300	0.3830E+03	0.5532E+04	0.1000E+11	0.0000E+00	0.1000E+11
007	0.300	0.3830E+03	0.5532E+04	0.1000E+11	0.0000E+00	0.1000E+11
008	0.300	0.3830E+03	0.5532E+04	0.1000E+11	0.0000E+00	0.1000E+11
009	0.300	0.3830E+03	0.5532E+04	0.1000E+11	0.0000E+00	0.1000E+11
010	0.300	0.3830E+03	0.5532E+04	0.1000E+11	0.0000E+00	0.1000E+11
011	0.280	0.3830E+03	0.6915E+04	0.1000E+11	0.0000E+00	0.1000E+11
012	0.280	0.3830E+03	0.6915E+04	0.1000E+11	0.0000E+00	0.1000E+11
013	0.280	0.3830E+03	0.6915E+04	0.1000E+11	0.0000E+00	0.1000E+11
014	0.280	0.3830E+03	0.6915E+04	0.1000E+11	0.0000E+00	0.1000E+11
015	0.280	0.3830E+03	0.6915E+04	0.1000E+11	0.0000E+00	0.1000E+11
016	0.280	0.3830E+03	0.6915E+04	0.1000E+11	0.0000E+00	0.1000E+11
017	0.280	0.3830E+03	0.6915E+04	0.1000E+11	0.0000E+00	0.1000E+11
018	0.280	0.3830E+03	0.6915E+04	0.1000E+11	0.0000E+00	0.1000E+11
019	0.280	0.3830E+03	0.6915E+04	0.1000E+11	0.0000E+00	0.1000E+11
020	0.280	0.3830E+03	0.6915E+04	0.1000E+11	0.0000E+00	0.1000E+11
021	0.290	0.3830E+03	0.2213E+05	0.1000E+11	0.0000E+00	0.1000E+11
022	0.290	0.3830E+03	0.2213E+05	0.1000E+11	0.0000E+00	0.1000E+11
023	0.290	0.3830E+03	0.2213E+05	0.1000E+11	0.0000E+00	0.1000E+11
024	0.290	0.3830E+03	0.2213E+05	0.1000E+11	0.0000E+00	0.1000E+11
025	0.290	0.3830E+03	0.2213E+05	0.1000E+11	0.0000E+00	0.1000E+11
026	0.290	0.3830E+03	0.2213E+05	0.1000E+11	0.0000E+00	0.1000E+11
027	0.290	0.3830E+03	0.2213E+05	0.1000E+11	0.0000E+00	0.1000E+11
028	0.290	0.3830E+03	0.2213E+05	0.1000E+11	0.0000E+00	0.1000E+11
029	0.290	0.3830E+03	0.2213E+05	0.1000E+11	0.0000E+00	0.1000E+11
030	0.290	0.3830E+03	0.2213E+05	0.1000E+11	0.0000E+00	0.1000E+11
031	0.230	0.3830E+03	0.2247E+06	0.1000E+11	0.0000E+00	0.1000E+11
032	0.230	0.3830E+03	0.2247E+06	0.1000E+11	0.0000E+00	0.1000E+11
033	0.230	0.3830E+03	0.2247E+06	0.1000E+11	0.0000E+00	0.1000E+11
034	0.230	0.3830E+03	0.2247E+06	0.1000E+11	0.0000E+00	0.1000E+11
035	0.230	0.3830E+03	0.2247E+06	0.1000E+11	0.0000E+00	0.1000E+11
036	0.230	0.3830E+03	0.2247E+06	0.1000E+11	0.0000E+00	0.1000E+11
037	0.230	0.3830E+03	0.2247E+06	0.1000E+11	0.0000E+00	0.1000E+11
038	0.230	0.3830E+03	0.2247E+06	0.1000E+11	0.0000E+00	0.1000E+11
039	0.230	0.3830E+03	0.2247E+06	0.1000E+11	0.0000E+00	0.1000E+11

040 0.230 0.3830E+03 0.2247E+06 0.1000E+11 0.0000E+00 0.1000E+11

Nombre total d'éléments : 040

Points de calcul (repère local)

Noeud	Xn	cote
001	0.000	549.500
002	0.300	549.200
003	0.600	548.900
004	0.900	548.600
005	1.200	548.300
006	1.500	548.000
007	1.800	547.700
008	2.100	547.400
009	2.400	547.100
010	2.700	546.800
011	3.000	546.500
012	3.280	546.220
013	3.560	545.940
014	3.840	545.660
015	4.120	545.380
016	4.400	545.100
017	4.680	544.820
018	4.960	544.540
019	5.240	544.260
020	5.520	543.980
021	5.800	543.700
022	6.090	543.410
023	6.380	543.120
024	6.670	542.830
025	6.960	542.540
026	7.250	542.250
027	7.540	541.960
028	7.830	541.670
029	8.120	541.380
030	8.410	541.090
031	8.700	540.800
032	8.930	540.570
033	9.160	540.340
034	9.390	540.110
035	9.620	539.880
036	9.850	539.650
037	10.080	539.420
038	10.310	539.190
039	10.540	538.960
040	10.770	538.730
041	11.000	538.500

Nombre total de noeuds : 041

=====
=====SOLUTION=====

Charges de flambement pour chaque mode

Mode	Charge
001	0.146E+04
002	0.335E+04
003	0.356E+04
004	0.432E+04
005	0.460E+04
006	0.560E+04
007	0.639E+04
008	0.703E+04
009	0.762E+04
010	0.843E+04
011	0.917E+04
012	0.930E+04
013	0.103E+05
014	0.115E+05
015	0.127E+05
016	0.134E+05



FoXta v4
v4.1.13

Imprimé le : 25/02/2025 - 15:32:13
Calcul réalisé par : HYDROGEOTECHNIQUE
Projet : Micropieux grue
Module : Piecoef+ (Pieu 1/1)
Titre du calcul : Vérification des tubes au flambement

017	0.148E+05
018	0.163E+05
019	0.180E+05
020	0.196E+05
021	0.206E+05
022	0.213E+05
023	0.227E+05
024	0.243E+05
025	0.262E+05
026	0.280E+05
027	0.298E+05
028	0.300E+05
029	0.320E+05
030	0.341E+05
031	0.363E+05
032	0.385E+05
033	0.410E+05
034	0.433E+05
035	0.439E+05
036	0.460E+05
037	0.515E+05
038	0.530E+05
039	0.584E+05
040	0.608E+05
041	0.633E+05

Mode de flambement critique

Xn	Yn
0.000	-0.100E+01
0.300	-0.444E+00
0.600	-0.221E-01
0.900	0.218E+00
1.200	0.297E+00
1.500	0.266E+00
1.800	0.182E+00
2.100	0.895E-01
2.400	0.167E-01
2.700	-0.265E-01
3.000	-0.422E-01
3.280	-0.395E-01
3.560	-0.284E-01
3.840	-0.155E-01
4.120	-0.466E-02
4.400	0.233E-02
4.680	0.553E-02
4.960	0.588E-02
5.240	0.460E-02
5.520	0.276E-02
5.800	0.112E-02
6.090	0.543E-04
6.380	-0.367E-03
6.670	-0.383E-03
6.960	-0.241E-03
7.250	-0.943E-04
7.540	-0.283E-05
7.830	0.321E-04
8.120	0.317E-04
8.410	0.179E-04
8.700	0.511E-05
8.930	0.812E-07
9.160	-0.105E-05
9.390	-0.672E-06
9.620	-0.194E-06
9.850	0.230E-07
10.080	0.564E-07
10.310	0.307E-07
10.540	0.728E-08
10.770	-0.355E-08
11.000	-0.907E-08

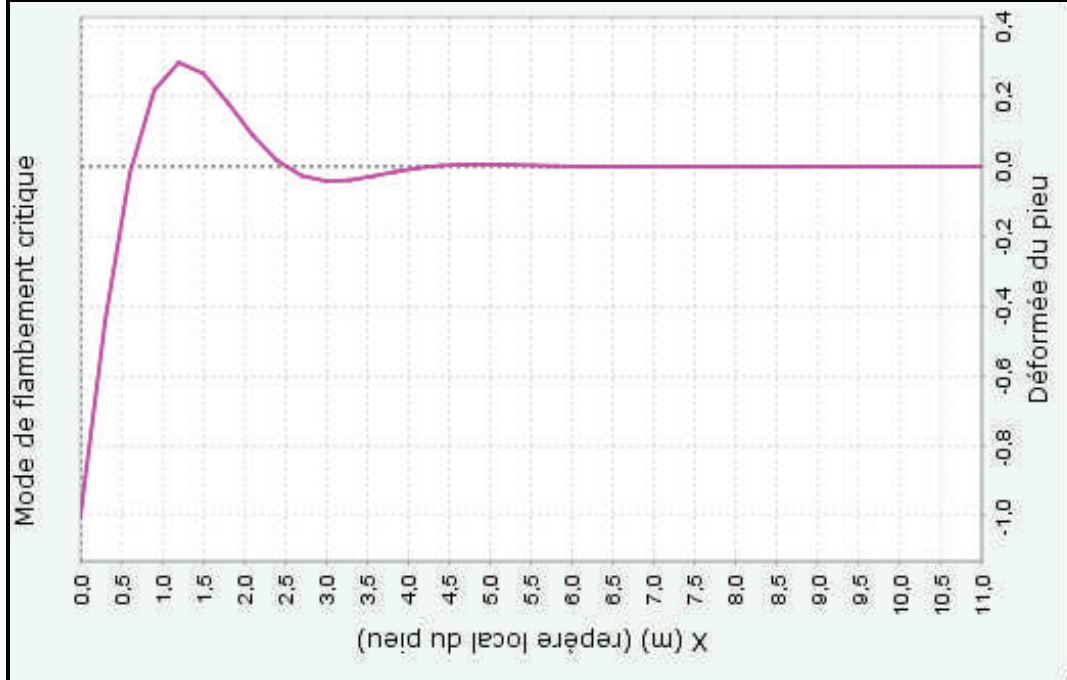
>HTG



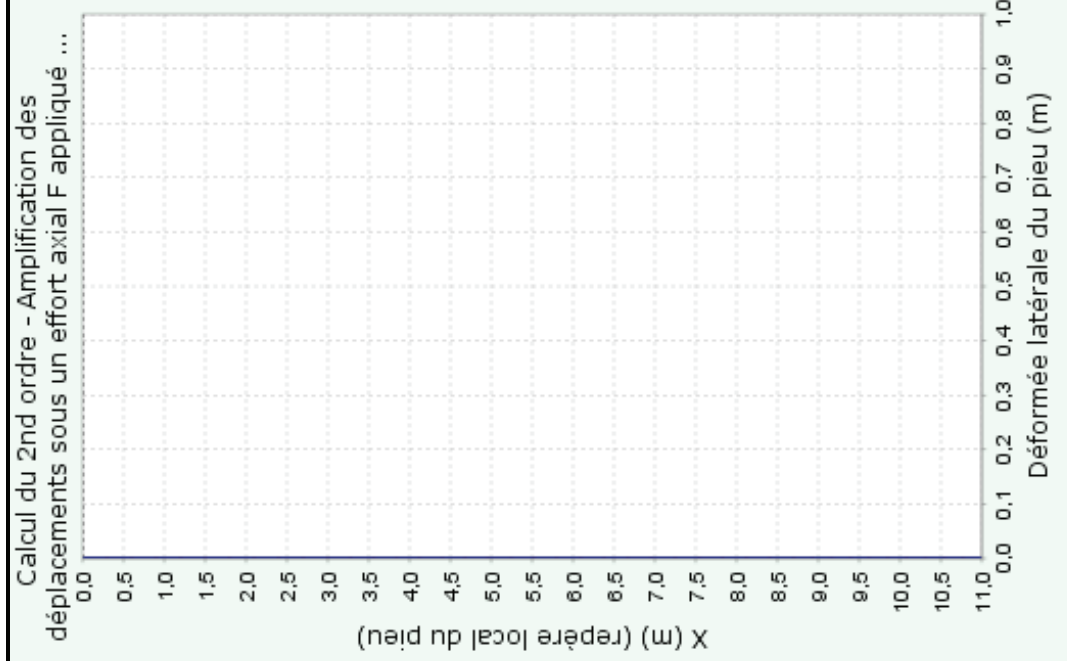
FoXta v4
v4.1.13

Imprimé le : 25/02/2025 - 15:32:13
 Calcul réalisé par : HYDROGEOTECHNIQUE
 Projet : Micropieux grue
 Module : Piecoef+ (Pieu 1/1)
 Titre du calcul : Vérification des tubes au flambement

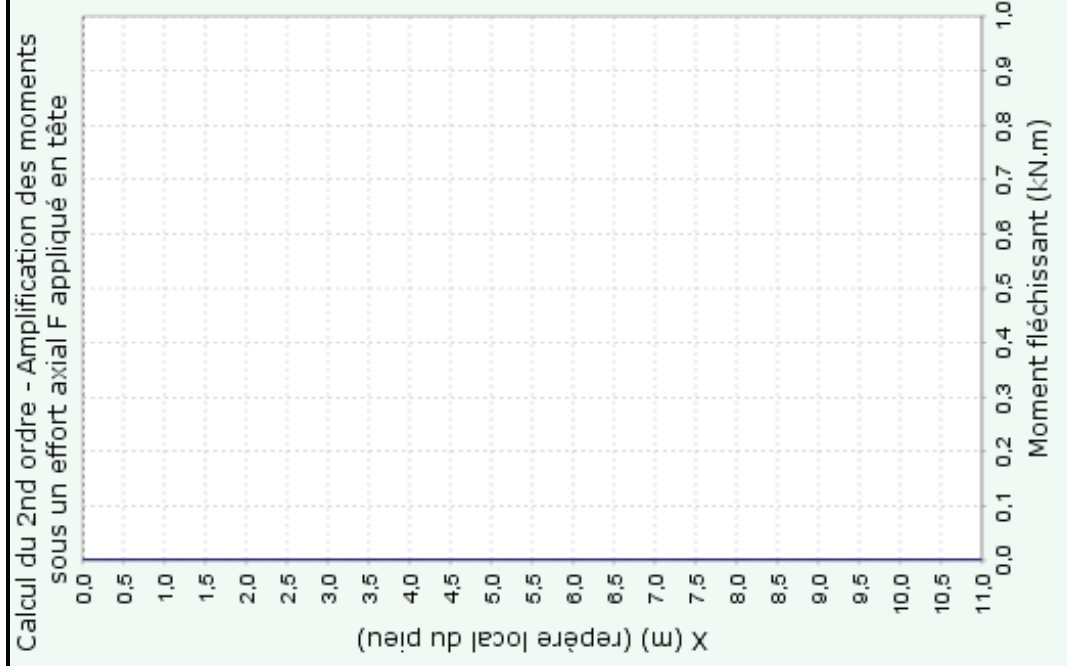
Résultats de flambement (Charge critique de flambement FCR = 1456 kN)



Mode de flambement critique
Déformée sous le chargement latéral considéré



F = 0% FCR F = 20% FCR
F = 40% FCR F = 60% FCR
F = 80% FCR



F = 0% FCR F = 20% FCR
F = 40% FCR F = 60% FCR
F = 80% FCR

ANNEXE 6 SORTIES TALREN



Données du projet

Type d'application : Calcul de stabilité classique

Numéro d'affaire : C.24.21155

Titre du calcul : Pont de Feigne

Lieu : RN66 - St Maurice Sur Moselle (88)

Commentaires : N/A

Système d'unités : kN, kPa, kN/m³

γw : 10.0

Couches de sol

	Nom	Couleur	γ	φ	c	Δc	qs,clou	pmax	ks×B	Anisotropie	Favorable	Coefficients de sécurité spécifiques
1	Couches 00 et 01 injectées		20,0	35,00	5,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
2	Couche 02 injectée		19,0	30,00	12,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
3	Couche 02		19,0	30,00	0,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
4	Couches 00 et 01		20,0	35,00	0,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non

Couches de sol (cont.)

	Nom	Couleur	Γγ	Γc	Γtan(φ)	Type de cohésion	Courbe	Écoulement dans le sol	kh	kv
1	Couches 00 et 01 injectées		-	-	-	Effective	Linéaire	Non	-	-
2	Couche 02 injectée		-	-	-	Effective	Linéaire	Non	-	-
3	Couche 02		-	-	-	Effective	Linéaire	Non	-	-
4	Couches 00 et 01		-	-	-	Effective	Linéaire	Non	-	-

Points

	X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y
1	0,000	549,100	2	20,000	549,100	3	21,900	546,800	4	40,000	546,800	5	0,000	548,700	7	20,330	548,700
8	0,000	546,800	9	0,000	544,000	10	40,000	544,000	11	19,000	549,100	12	18,500	546,800	13	18,913	548,700

Segments

	Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2
3	3	4	5	7	2	6	7	3	8	9	10	9	1	11	10	2	11	11	8	12
13	11	13	14	13	5	18	7	13	19	12	13	20	3	12						

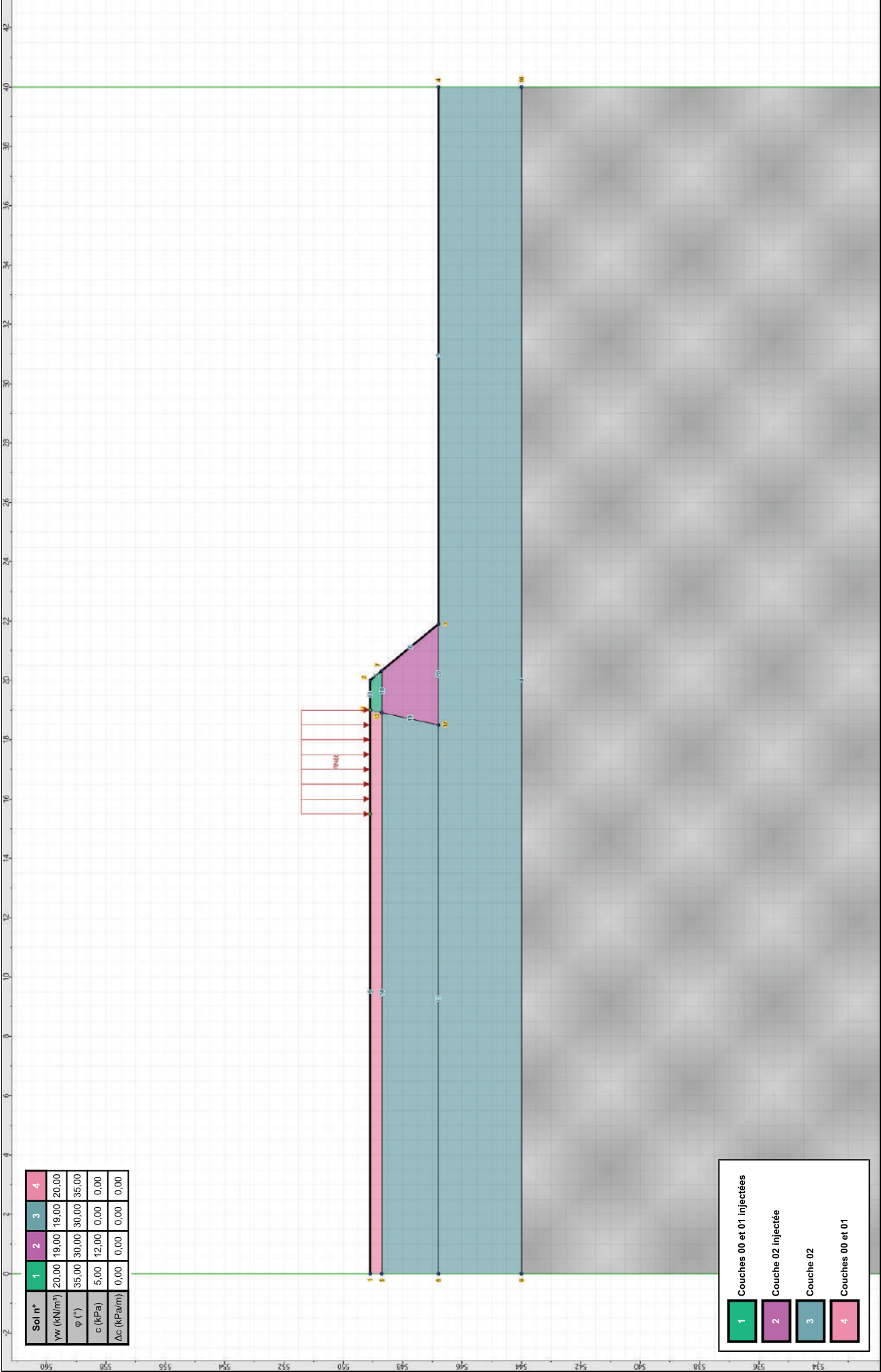
Surcharges réparties

	Nom	X gauche	Y gauche	q gauche	X droite	Y droite	q droite	Ang/horizontale
1	RN66	15,500	549,100	20,0	19,000	549,100	20,0	90,00



Talren v6
v6.1.6

Imprimé le : 27 févr. 2025 14:25:55
Calcul réalisé par : HYDROGEOTECHNIQUE
Projet : Pont de Feigne



Données de la phase 1

Nom de la phase : Phase chantier

Segments de la phase

	Point 1	Point 2	Sol sous-jacent		Point 1	Point 2	Sol sous-jacent		Point 1	Point 2	Sol sous-jacent
3	3	4	Couche 02	5	7	2	Couches 00 et 01 injectées	6	7	3	Couche 02 injectée
8	9	10	-	9	1	11	Couches 00 et 01	10	2	11	Couches 00 et 01 injectées
13	11	13	Couches 00 et 01 injectées	14	13	5	Couche 02	18	7	13	Couche 02 injectée
19	12	13	Couche 02 injectée	20	3	12	Couche 02				

Liste des éléments activés

Surcharges réparties : RN66

Polygones : Polygone entre les points 9,10,xMax,xMin
Polygone entre les points 1,11,13,5
Polygone entre les points 2,7,13,11
Polygone entre les points 12,8,5,13
Polygone entre les points 7,3,12,13
Polygone entre les points 3,4,10,9,8,12

Conditions hydrauliques : Néant



Talren v6
v6.1.6

Imprimé le : 27 févr. 2025 14:25:55
Calcul réalisé par : HYDROGEOTECHNIQUE
Projet : Pont de Feigne

Données de la situation 1

Nom de la phase : Phase chantier
Nom de la situation : Situation courante
Type d'analyse paramétrique : Calcul de stabilité classique
Méthode de calcul : Bishop
Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : EC7 - NF P 94 270 - version 2020 - Situation durable - Ouvrage courant
Détails du jeu de coefficients de sécurité

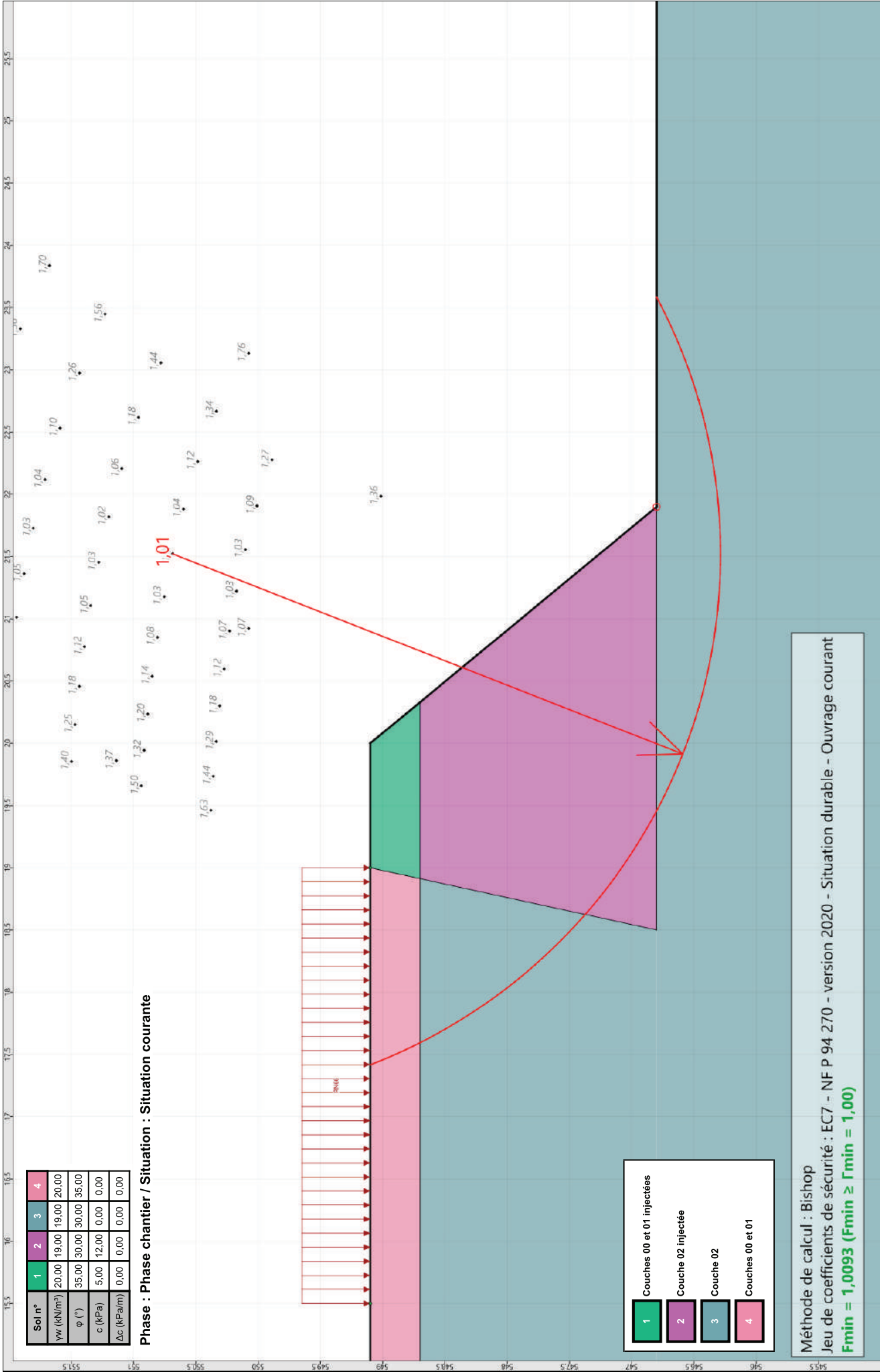
Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient
Γ_{min}	1,000	Γ_{s1}	1,000	$\Gamma_{s'1}$	1,000	$\Gamma_{tan\phi}$	1,250	$\Gamma_{c'}$	1,250	Γ_{cu}	1,400
Γ_Q	1,300	$\Gamma_{qsl,clou,ab}$	1,850	$\Gamma_{qsl,clou,es}$	1,150	$\Gamma_{qsl,tirant,ab}$	1,400	$\Gamma_{qsl,tirant,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,bande}$	1,100
Γ_{pl}	1,400	$\Gamma_{a,clou}$	1,000	$\Gamma_{a,tirant}$	1,000	$\Gamma_{a,bande}$	1,250	Γ_{buton}	1,250	-	-

Détermination de Γ_{Rd} : Automatique
 Γ_{Rd} : 1.1
Type de surface de rupture : Circulaire automatique
Nombre de découpages : 10
Incrément sur le rayon : 0,500
Abscisse émergence limite aval : 0,000
Type de recherche : Point de passage de base
Point de passage de base : X= 21,900; Y= 546,800
Écarter les surfaces de peau : Non
Nombre de tranches : 100
Prise en compte du séisme : Non



Talren v6
v6.1.6

Imprimé le : 27 févr. 2025 14:25:55
Calcul réalisé par : HYDROGEOTECHNIQUE
Projet : Pont de Feigne



Phase : Phase chantier / Situation : Situation courante

Sol n°	1	2	3	4
γ_w (kN/m ³)	20.00	19.00	19.00	20.00
ϕ (°)	35.00	30.00	30.00	35.00
c (kPa)	5.00	12.00	0.00	0.00
Δc (kPa/m)	0.00	0.00	0.00	0.00

- 1 Couches 00 et 01 injectées
- 2 Couche 02 injectée
- 3 Couche 02
- 4 Couches 00 et 01

Méthode de calcul : Bishop
Jeu de coefficients de sécurité : EC7 - NF P 94 270 - version 2020 - Situation durable - Ouvrage courant
Fmin = 1,0093 (Fmin ≥ Fmin = 1,00)

ANNEXE 7 RAPPORT D'AUSCULTATION DE CAVITÉS PAR CAMÉRA



ANNEXE 8 MISSIONS GÉOTECHNIQUES



CLASSIFICATION DES MISSIONS TYPE D'INGÉNIERIE GÉOTECHNIQUE **(extraite de la norme NF P 94-500 - novembre 2013)**

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 :

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).

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 :

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 les 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 estimatif, planning prévisionnel).
- Assister éventuellement le maître d'ouvrage pour la sélection des entreprises, analyser les offres techniques, participer à la finalisation des pièces techniques des contrats de travaux.

ÉTAPE 3 : ÉTUDES GÉOTECHNIQUES DE RÉALISATION (G3 et G4, distinctes et simultanées)**→ ÉTUDE ET SUIVI GÉOTECHNIQUES D'EXÉCUTION (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).
- Elaborer 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).
- Etablir 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'EXÉCUTION (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 par 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).

SCHÉMA D'ENCHAÎNEMENT DES MISSIONS GÉOTECHNIQUES
(extrait de la norme NFP 94-500 - Novembre 2013)

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 Etude 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, esquisses, 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 Etude (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 Etude)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision de l'étude 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

HYDROGÉOTECHNIQUE