



Agence

Centre-Est

11, rue de la Croix Belin
21140 SEMUR-EN-AUXOIS
Tél. 03 80 97 48 80

Numéro d'affaire

21.232775

Ingénieur géotechnicien

Mme Marie DIANCOURT
marie.diancourt@icseo.com

Responsable d'agence

M. Benjamin CORNELIS
benjamin.cornelis@icseo.com

ETUDE GEOTECHNIQUE

Mission G5

VILLARGOIX (21)

Communauté de Communes de SAULIEU

Confortement d'un talus

Version	Date	Nb pages		Révisions	Contrôle interne	
		Texte	Annexes		MGA	BCO
1	11/08/2023	30	8	Rapport complet	MGA	BCO

Observations : Rapport G2-AVP référencé 21.221961 daté du 31/10/2022

SOMMAIRE

1. PRESENTATION DE L'ETUDE	3
1.1. GENERALITES	3
1.2. LE PROJET	3
1.3. LE SITE	4
1.4. CONTEXTE GEOLOGIQUE	6
1.5. RISQUES NATURELS	6
2. MISSION	8
3. RECONNAISSANCE : MISSION G2-AVP 21.221961	8
3.1. RECONNAISSANCE IN SITU	8
3.2. ESSAIS EN LABORATOIRE	8
3.3. RESULTATS DES SONDAGES ET ESSAIS	9
3.4. HYDROGEOLOGIE	10
4. TERRASSEMENT	10
5. ETUDE DE STABILITE	11
5.1. CALCULS DE STABILITE	12
5.2. CARACTERISTIQUES INTRINSEQUES DES MATERIAUX	12
5.3. ÉTAT INITIAL DE LA PENTE (MODELE DE CALAGE)	12
5.4. CALCUL DE STABILITE EN PRESENCE D'EAU	14
5.5. CALCUL DE STABILITE AVEC L'APPORT D'UNE SURCHARGE	15
5.6. CALCUL DE STABILITE EN PRESENCE D'EAU ET AVEC L'APPORT D'UNE SURCHARGE	16
5.7. INTERPRETATION ET CONCLUSION	16
6. TRAVAUX DE CONFORTEMENT	17
6.1. REMARQUE PRELIMINAIRE	17
6.2. REPRISE DU TALUS	17
6.3. CARACTERISTIQUES INTRINSEQUES DES MATERIAUX	18
6.4. CALCUL DE STABILITE DU MODELE	18
6.5. CALCUL DE STABILITE EN PRESENCE D'EAU	19
6.6. CALCUL DE STABILITE AVEC L'APPORT D'UNE SURCHARGE	20
6.7. CALCUL DE STABILITE EN PRESENCE D'EAU ET AVEC L'APPORT D'UNE SURCHARGE	21
6.8. MODELISATION DE L'INFLUENCE DES ALLUVIONS DU RUISSEAU	21
6.9. INTERPRETATION ET CONCLUSION	25
7. SUITE DES MISSIONS	25

CONDITIONS GENERALES DES MISSIONS GEOTECHNIQUES

CLASSIFICATION DES MISSIONS GEOTECHNIQUES TYPES (extrait de la norme NF P 94-500)

ANNEXES

Le présent rapport comprend 30 pages et 8 pages d'annexe.



1. PRESENTATION DE L'ETUDE

1.1. Généralités

Lieu :	VILLARGOIX (21210)
Adresse :	Ruisseau des Comes, route de la Motte-Ternant
Désignation :	Confortement d'un talus
Donneur d'ordre et Maitre d'ouvrage :	Communauté de Communes de SAULIEU 15 place Charles de Gaulle 21210 SAULIEU En la personne de M. Emmanuel LELEU Commandé le 08/07/2022
Maître d'œuvre :	CIRUS BFC 10 rue de Saint Julien 21490 BROGNON En la personne de M. Nicolas BROCHET
Géomètre :	IDEGEO 4 Impasse aux Charles d'Asnières 21000 DIJON
Intervention G2-AVP :	Le 05/09/2022

1.2. Le Projet

Dans le cadre de cette étude, les documents suivants nous ont été communiqués par les Responsables du Projet :

- plan topographique avec calage du Projet, échelle 1/200, référencé « 2022-0052-projet B sans 0-80.pdf », du 03/07/2023 ;
- coupe du talus, référencé « coupe en travers type.pdf », du 20/07/2023 ;

D'après ces documents et les renseignements qui nous ont été fournis, le Projet consiste en la réalisation d'un soutènement par enrochement sur la berge du ruisseau des Comes, en contrebas de la route de la Motte-Ternant.

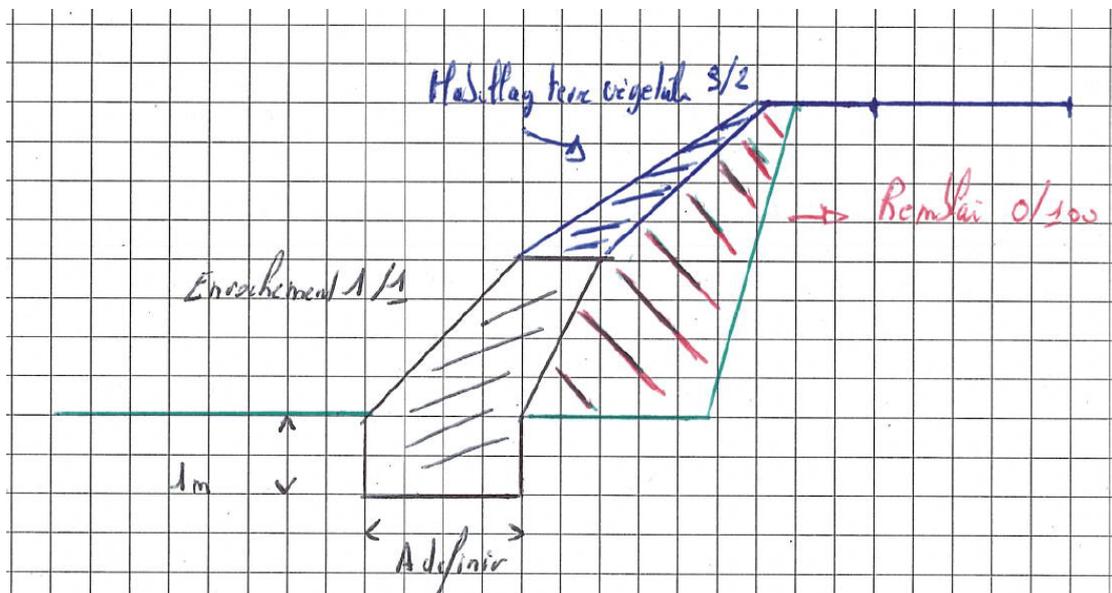


Photographies du talus lors de la visite de site le 10/08/2022



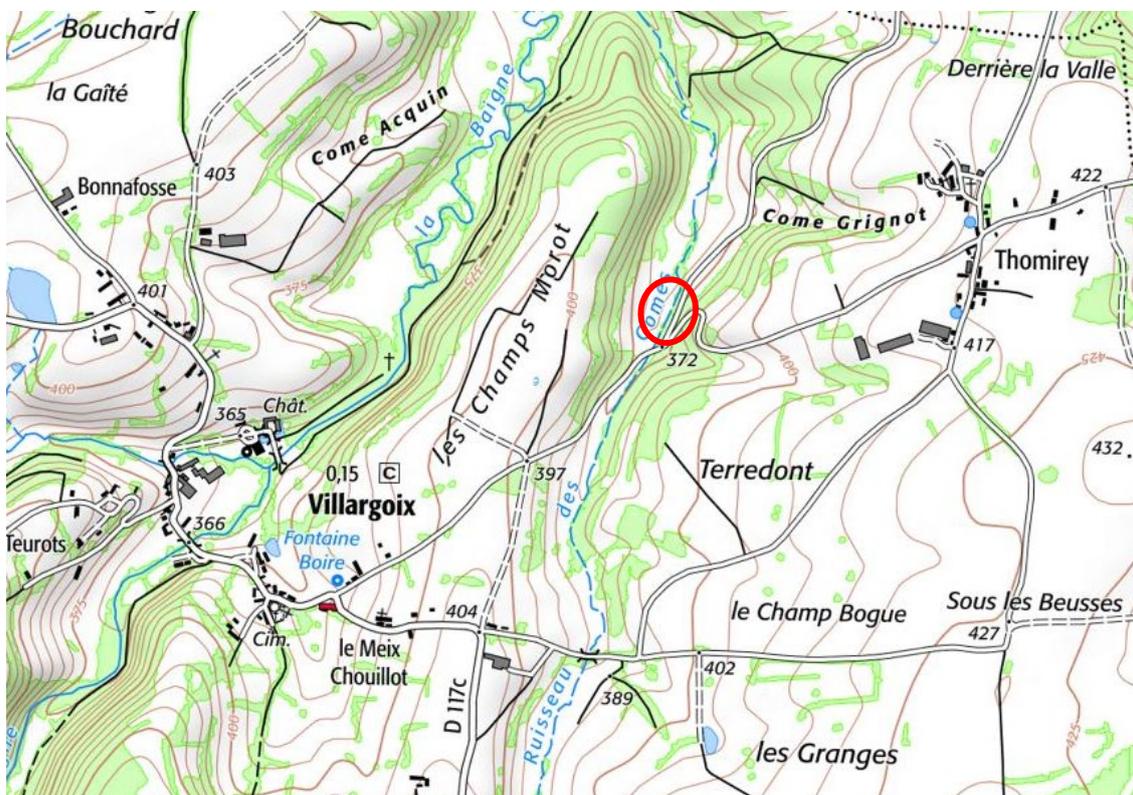
Les Responsables du Projet ont prévu la réalisation d'un enrochement du talus suite à l'apparition de désordres provenant de l'érosion des berges et des glissements de terrain au niveau du cours d'eau. A long terme, ces phénomènes peuvent engendrer des dégradations de la route située en amont du ruisseau.

Le but de cette étude est de vérifier la stabilité du talus avec le nouveau modèle de confortement de berge proposé par les Responsables du Projet. Le modèle retenu est le suivant :



Coupe de principe du confortement envisagé (20/07/2023)

1.3. Le site



Plan de situation – Extrait de la carte topographique IGN

Le terrain étudié se situe entre le ruisseau des Comes et la route de la Motte-Ternant sur la commune de VILLARGOIX (21).



Le linéaire étudié est d'environ 160 m.

L'altitude du site oscille entre 366,50 et 373,50 NGF d'après le plan topographique qui nous a été transmis. Nos sondages ont été nivelés à partir de ce plan.

Il présente un talus d'une hauteur variable, de 2,70 à 4,15 m environ, entre le bord de la route et le ruisseau en contrebas.

Nous rappelons que les altitudes données sur nos sondages le sont à titre indicatif. Seul un relevé de la position et de l'altitude des sondages par un géomètre expert pourrait faire foi.



Photographies du site lors de notre intervention le 05/09/2022 (G2-AVP)

Le jour de notre intervention, le site était un talus en bord de route.

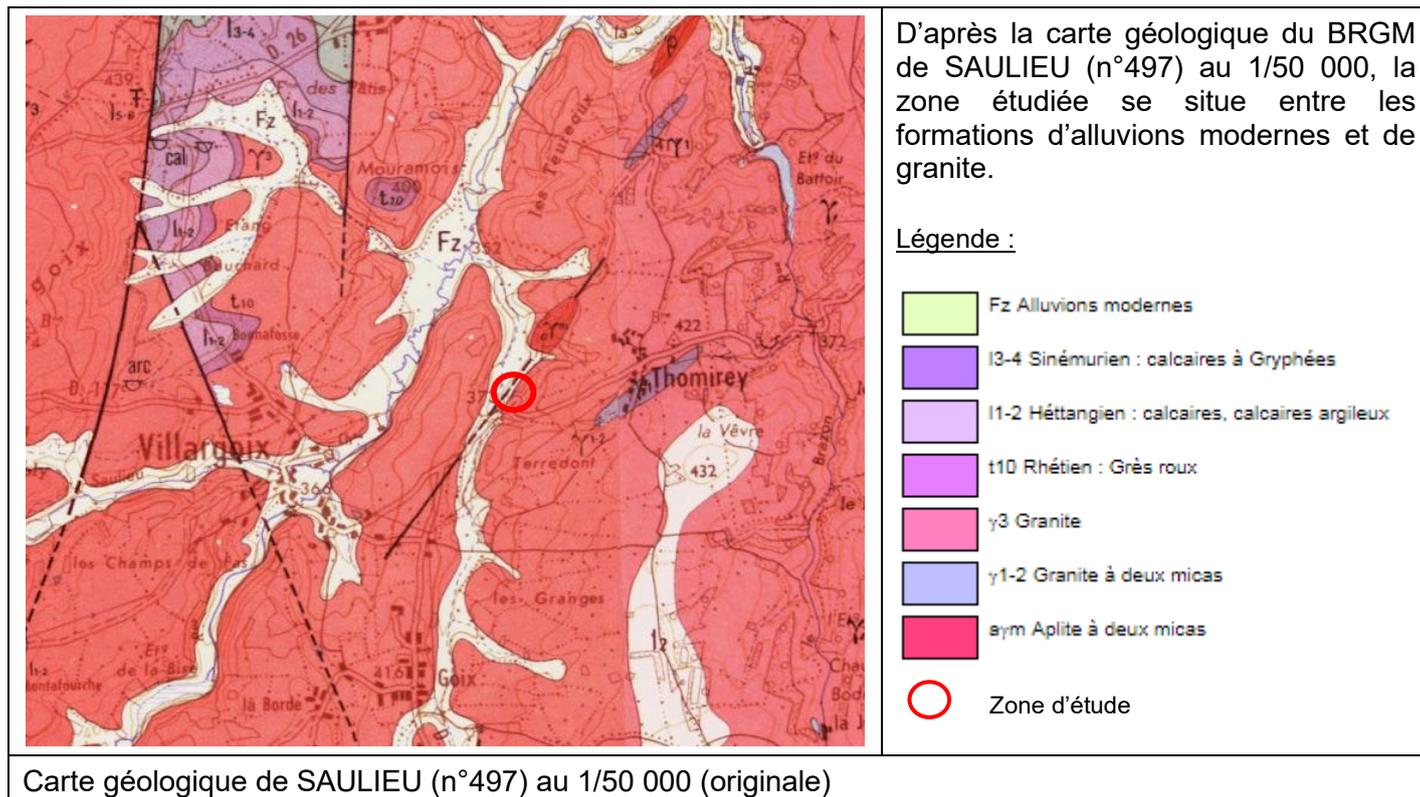
L'accessibilité du site a permis d'implanter la reconnaissance de manière homogène sur la totalité de l'assiette du Projet.

Nous avons réalisé deux sondages en bord de route et un sondage en contrebas du talus.

L'implantation des sondages et essais réalisés figure en annexe.



1.4. Contexte géologique

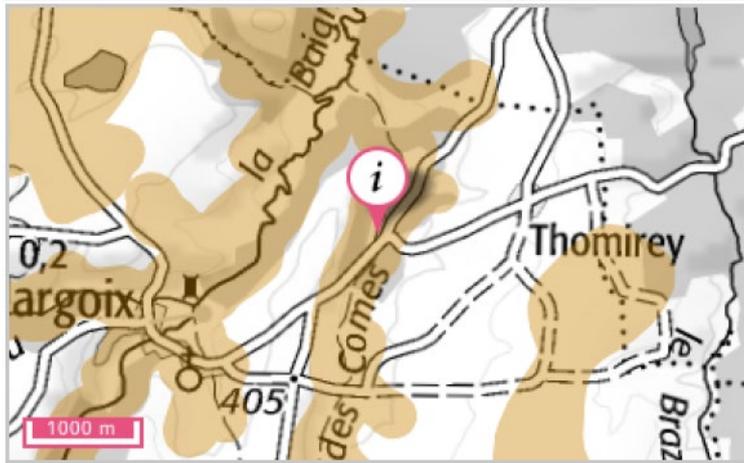


1.5. Risques naturels

D'après le site <https://www.georisques.gouv.fr/> la commune de VILLARGOIX (21) est soumise aux risques naturels suivants :

Inondation	Territoire à risque important d'inondation	NON	
	Atlas de zones inondables	NON	
	Plan de prévention des risques naturels PPRN Inondation	NON	
Retrait Gonflement des sols argileux	Exposition de la localisation	OUI	ALEA MOYEN
	PPRN Retrait Gonflement des sols argileux	NON	
Mouvement de terrain	Mouvements recensés dans un rayon de 500 m	NON	
	PPRN Mouvement de terrain	NON	
Cavités souterraines	Cavités recensées dans un rayon de 500m	NON	
	PPRN Cavités souterraines	NON	
Séismes	Exposition de la localisation	ZONE 1	TRES FAIBLE
	PPRN Séismes	NON	



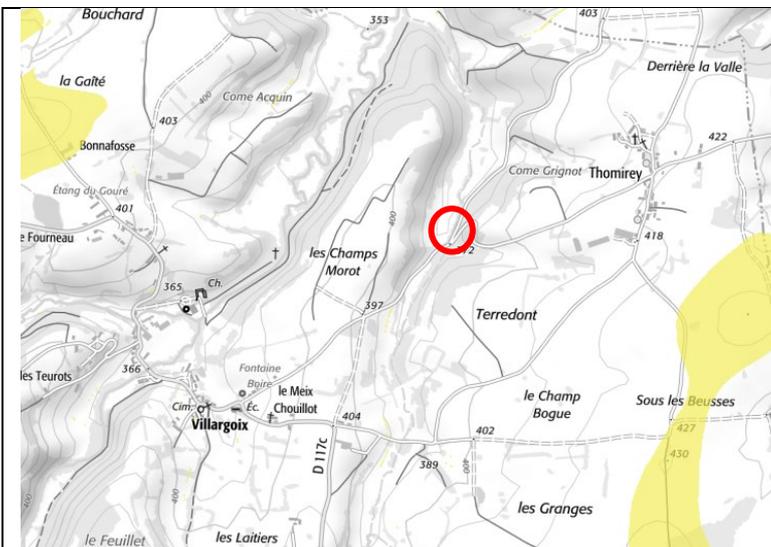


D'après les informations disponibles sur la Plateforme Géorisques, le terrain étudié se situe en zone **d'aléa moyen vis-à-vis du retrait-gonflement des argiles**.

Légende :

- Exposition forte
- Exposition moyen
- Exposition faible
- i Zone d'étude

Retrait-gonflement des sols argileux



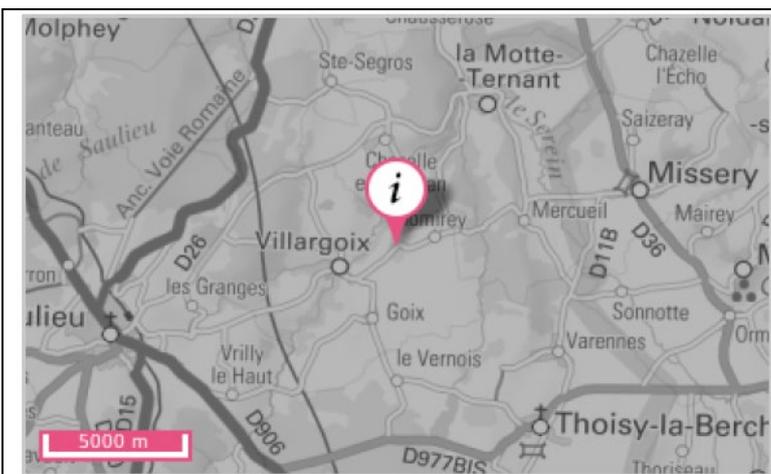
D'après les informations disponibles sur la Plateforme Géorisques, la parcelle étudiée se situe dans une zone ne présentant **pas de sensibilité particulière au glissement de terrain**.

Légende :

Zones sensibles aux Glissements

- Sensibilité au glissement très fort (pente > 21°)
- Sensibilité au glissement fort (14° < pente < 21°)
- Sensibilité au glissement moyen (08° < pente < 14°)
- Sensibilité au glissement faible (pente < 08°)
- o Zone d'étude

Mouvements de terrain



D'après les informations disponibles sur la Plateforme Géorisques, le site étudié est situé en zone 1 correspondant à un **aléa très faible vis-à-vis du risque sismique**. D'après les éléments en notre possession, aucune contrainte particulière ne s'applique à ce Projet.

Légende :

- 1 (très faible)
- 2 (faible)
- 3 (modérée)
- 4 (moyenne)
- 5 (forte)
- i Zone d'étude

Séismes



2. MISSION

Conformément à notre devis référencé 21.232775 qui a reçu l'approbation de notre client, notre mission doit permettre de définir :

Diagnostic géotechnique (G5)

- le mode de renforcement du talus ;
- l'étude de stabilité du talus ;
- les recommandations pour les terrassements ;
- les sujétions d'exécution, etc.

La classification des missions géotechniques types (extrait de la norme NF P 94-500-nov. 2013) figure en fin de ce rapport.

3. RECONNAISSANCE : MISSION G2-AVP 21.221961

3.1. Reconnaissance in situ

Compte tenu du contexte géologique local et de la nature du Projet qui nous a été décrit, le programme de reconnaissance de la mission G2-AVP a consisté en l'exécution de :

- **2 sondages géologiques profonds** notés SP1 et SP2 de 8,00 m de profondeur. Ils ont été réalisés en diamètre 63 mm. Ils ont permis :
 - de reconnaître la nature et l'épaisseur des différentes couches ;
 - de prélever des échantillons remaniés pour d'éventuelles analyses en laboratoire ;
 - d'effectuer les mesures en forage suivantes :
- **10 essais pressiométriques** répartis dans les forages précédents de façon à définir les caractéristiques mécaniques des différentes couches de sol. Ils ont permis la mesure des paramètres suivants :
 - pression limite (PI) ;
 - pression de fluage (Pf) ;
 - module pressiométrique (E).
- **1 sondage carotté** noté SC1 de 5,00 m de profondeur. Il a été réalisé en diamètre 100 mm. Il a permis :
 - de relever de visu une coupe très précise des différents terrains ;
 - de prélever en continu les terrains traversés et de les déposer dans des caisses en bois ;
 - de prélever des échantillons intacts sous gaines PVC pour analyses en laboratoire.

Le sondage SP1 a été réalisé en aval du talus et les sondages SP2 et SC1 ont été réalisés en amont sur l'accotement de la route.

3.2. Essais en laboratoire

Les échantillons intacts et remaniés, prélevés dans les sondages précédents ont fait l'objet d'analyses en laboratoire. Elles ont consisté en la réalisation de **3 essais de cisaillement UU à la boîte de Casagrande**.



3.3. Résultats des sondages et essais

Remarque préliminaire : les profondeurs des différentes couches sont celles mesurées au droit de nos reconnaissances à partir du terrain naturel (TN) le jour de notre intervention. Des fluctuations parfois importantes et/ou localisées d'origine anthropique ou liées à la nature des dépôts, peuvent apparaître entre ces points.

- 1. Remblais

Cet horizon constitué de remblais sablo-limoneux et de terre végétale brun foncé à cailloutis a été rencontré jusqu'à 0,10 à 0,20 m de profondeur.

Les sondages ont été réalisés sur l'accotement de la route. Par conséquent, nous n'avons pas reconnu la structure de voirie en place.

Le site a donc fait l'objet d'anciens aménagements de voirie. Dans un tel contexte, il est à craindre de rencontrer des irrégularités et des sols remaniés.

- 2. Sables et graviers

Cet horizon constitué de sable grossier limoneux brun ocre clair orangé à nombreux graviers et cailloutis a été rencontré jusqu'à 1,60 à 4,00 m de profondeur. D'après la carte géologique au 1/50 000 de SAULIEU, il s'agit de la formation d'alluvions modernes.

Les caractéristiques mécaniques mesurées sont résumées ci-après :

		Minimum	Maximum
Module pressiométrique E	(MPa)	7,0	15,5
Pression de Fluage P_f	(MPa)	0,40	0,95
Pression Limite P_l	(MPa)	0,55	1,47

Les alluvions, de par leur mode de dépôt peuvent toujours contenir des lentilles limoneuses, vasardes ou tourbeuses témoins du comblement d'anciens bras morts.

Les essais mécaniques en laboratoire réalisées sur des échantillons prélevés dans cet horizon sont résumés ci-dessous :

Sondage N°		SC1	SC1	SC1
Profondeur de prélèvement		0,20 – 0,60	1,35 – 1,70	2,00 – 2,35
Cisaillement rapide non consolidé	C_{uu}	0	0	20
	φ_{uu}	38,0	38,0	30,0

- 3. Arène granitique

Cet horizon constitué d'arène granitique sablo-limoneuse brun beige ocre rougeâtre a été rencontré jusqu'à l'arrêt des sondages à 5,00 et 8,00 m de profondeur. D'après la carte géologique au 1/50 000 de SAULIEU, il s'agit de la frange d'altération de la formation de granite.



Les caractéristiques mécaniques mesurées sont résumées ci-après :

		<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
<i>Module pressiométrique E</i>	<i>(MPa)</i>	31,3	51,7
<i>Pression de Fluage Pf</i>	<i>(MPa)</i>	1,20	1,64
<i>Pression Limite Pl</i>	<i>(MPa)</i>	1,98	2,72

Le substratum granitique présente des secteurs profondément altérés suivant la fracturation. La présence de pointements rocheux ou au contraire de poches profondément arénisées est à craindre.

3.4. Hydrogéologie

Lors de notre intervention des niveaux d'eau en fin de forage ont été mesurés au droit de nos sondages aux profondeurs et cotes suivantes :

Sondage N°	Profondeur/TN (m)	Cote NGF du niveau observé
SP1	5,00	366,00
SP2	3,50*	365,50*

**niveau non stabilisé*

Les niveaux d'eau rappelés ci-dessus ne sont représentatifs de la nappe qu'au jour de la mesure. Ils ne permettent pas de juger des circulations d'eau qui pourront se produire en période pluvieuse ou de hautes-eaux.

4. TERRASSEMENT

L'extraction des terrains superficiels pourra être réalisée par les moyens traditionnels suffisamment puissants.

En revanche, l'utilisation de matériels d'extraction de forte puissance et de moyens spécifiques (BRH, dent de déroctage, par exemple...) pourra être nécessaire pour l'extraction de terrain rocheux ou de blocs granitiques.

Des dispositions spécifiques devront être prises pour assurer la mise au sec du fond de fouille (drainage, fossé, pompage, etc...), ainsi que la stabilité des talus provisoires (soutènement, pente des talus).



5. ETUDE DE STABILITE

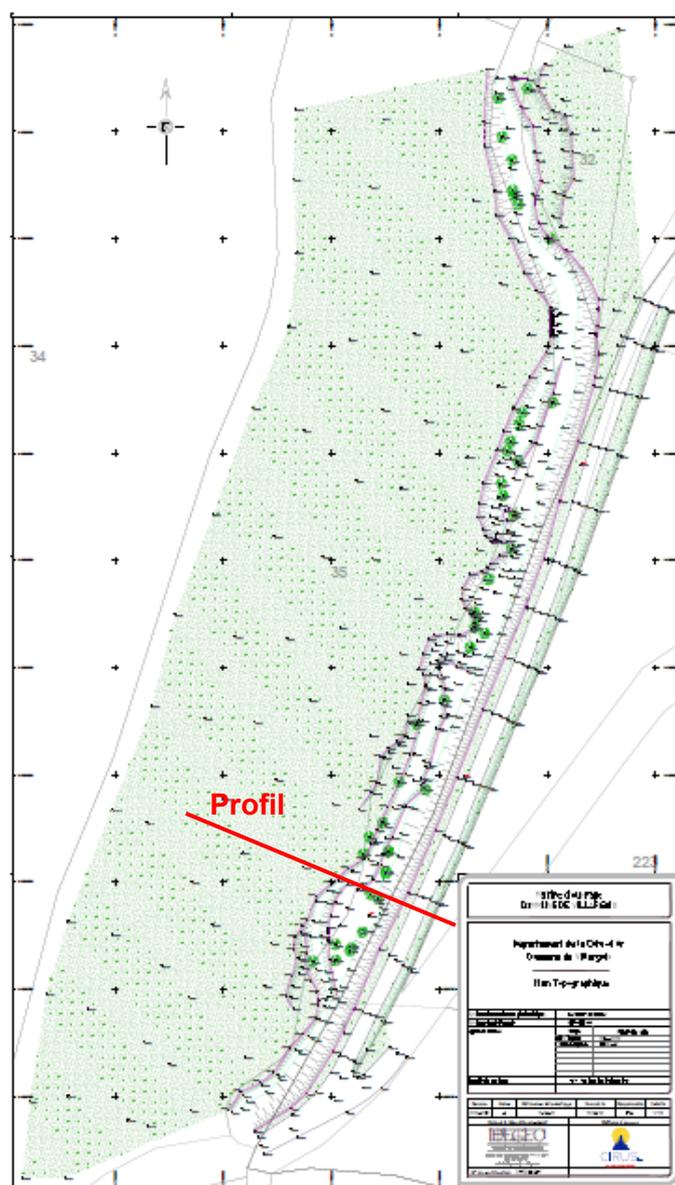
Pour la suite de notre étude, nous avons retenu un profil en travers du talus en nous basant sur le plan topographique qui nous a été transmis et nos reconnaissances in-situ.

Pour la modélisation, nous avons procédé par itération selon les situations décrites suivantes :

1. Modélisation de la pente avant les premiers travaux de confortement :
 - Calage du modèle pour que l'état de stabilité ou d'instabilité du profil ressorte dans le profil retenu dans les modèles ;
 - Calage des caractéristiques intrinsèques des matériaux pour connaître la sensibilité des modèles.
2. Modélisation du profil après les travaux de consolidation du talus.

Pour la suite du rapport, il sera attribué à chaque situation un coefficient de sécurité F_s correspondant à la situation courante (par exemple, la situation n°1 aura pour coefficient F_{s1}).

La figure suivante donne la position du profil qui a été utilisé dans le cadre de cette étude, situé au niveau du sondage SP1 :



Profil du talus utilisé pour les modélisations



5.1. Calculs de stabilité

Les modélisations permettent de calculer le rapport entre les effets stabilisateurs et les effets déstabilisateurs. Les calculs ont été réalisés avec le logiciel Talren5, qui utilise la méthode de Bishop. Cette méthode compare, pour différentes surfaces de rupture circulaire, le rapport entre la résistance au cisaillement mobilisable et la résistance au cisaillement mobilisée. Ce rapport définit le coefficient de sécurité (F_s) de chaque surface de glissement potentiel.

Le logiciel permet de calculer ce coefficient pour un grand nombre de cercles de rupture potentielle et d'en déterminer le plus défavorable.

Dans la méthode de calcul dite « traditionnelle », la sécurité est recherchée sur le résultat et les caractéristiques intrinsèques des matériaux (C , ϕ et γ) ne sont pas pondérées.

En théorie, à partir d'un coefficient $F_s \geq 1,00$, l'équilibre de la pente est tout juste assuré mais reste toutefois sujet à de très fortes et graves déformations.

En pratique, il est usuel de retenir une valeur $F_s > 1,30$. Pour des coefficients de sécurité compris entre 1,30 et 1,50, on considère que le talus est stable, mais déformable. La déformabilité du talus est d'autant plus forte que le facteur de sécurité est faible.

En dessous de 1,30 le talus devient de plus en plus instable au fur et à mesure que l'on se rapproche de 1,00.

A noter que le calcul ne permet pas d'évaluer les déplacements mais simplement d'apprécier un niveau de stabilité.

5.2. Caractéristiques intrinsèques des matériaux

Après calage du modèle, sur la base des essais réalisés en laboratoire et de notre expérience, nous détaillons dans le tableau ci-dessous la synthèse des différentes caractéristiques intrinsèques prises en considération pour la modélisation.

Matériaux	C (kPa)	Φ (°)	γ (kN/m ³)
Remblais	6	30	18
Alluvions	0	30	19
Sables et graviers	0	35	20
Arène granitique	20	35	22

Pour la suite des modélisations, nous garderons les caractéristiques intrinsèques des matériaux définies ci-dessus.

5.3. État initial de la pente (modèle de calage)

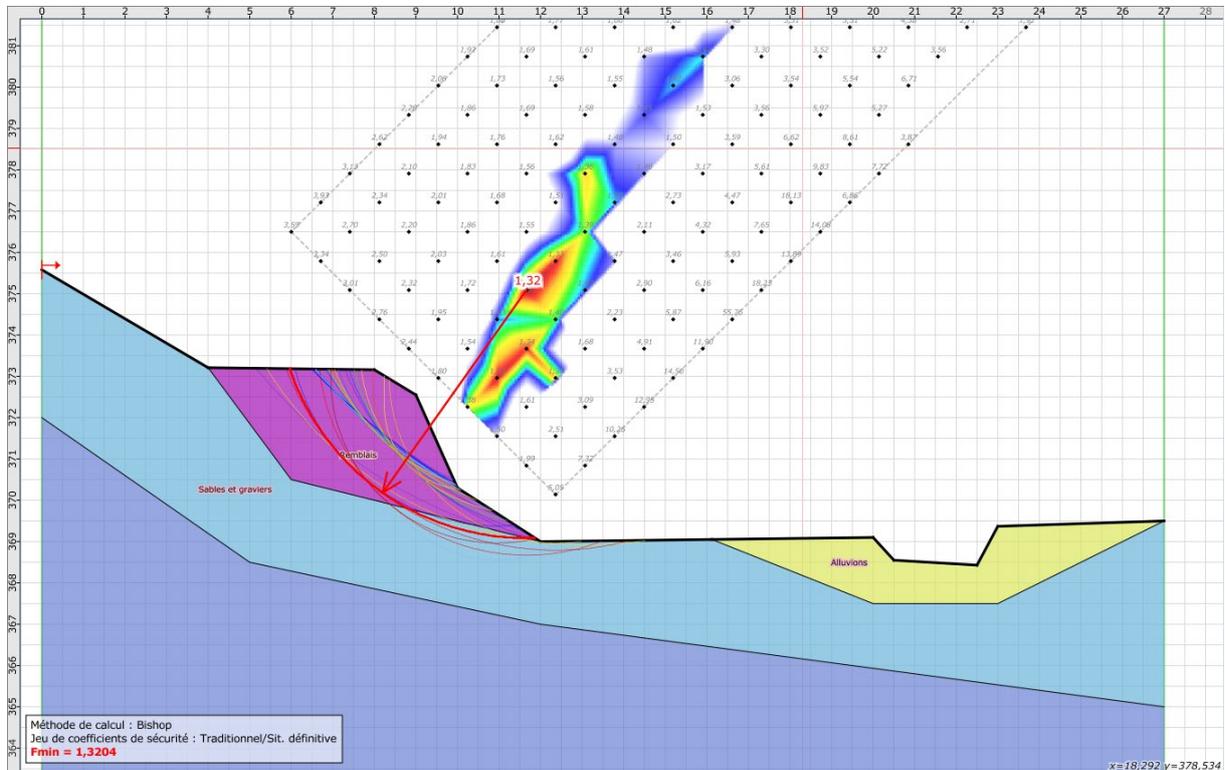
Sur la base du relevé topographique qui nous a été transmis et avec les sondages réalisés, nous avons modélisé la pente actuelle du talus. Le talus présente ici une pente de l'ordre de 1H/2V sur la partie centrale et de 3H/2V sur la partie inférieure.

Nous avons ensuite calé et ajusté les paramètres intrinsèques des matériaux sur la base des essais réalisés en laboratoire et de notre expérience afin que le modèle reflète les zones de glissement correspondant à ce qui est observé sur le site.



Le modèle représente une coupe de profil du talus avec les épaisseurs approximatives des couches géologiques rencontrées au droit de nos sondages. Nous rappelons que la zone en pente du talus n'était pas accessible par nos machines de forage. Par conséquent, nous avons réalisé deux sondages en amont et un sondage en aval du talus. Il y a donc une incertitude assez forte sur les épaisseurs des différentes couches dans le talus.

Pour ce premier calcul, nous considérons que les terrains sont secs.

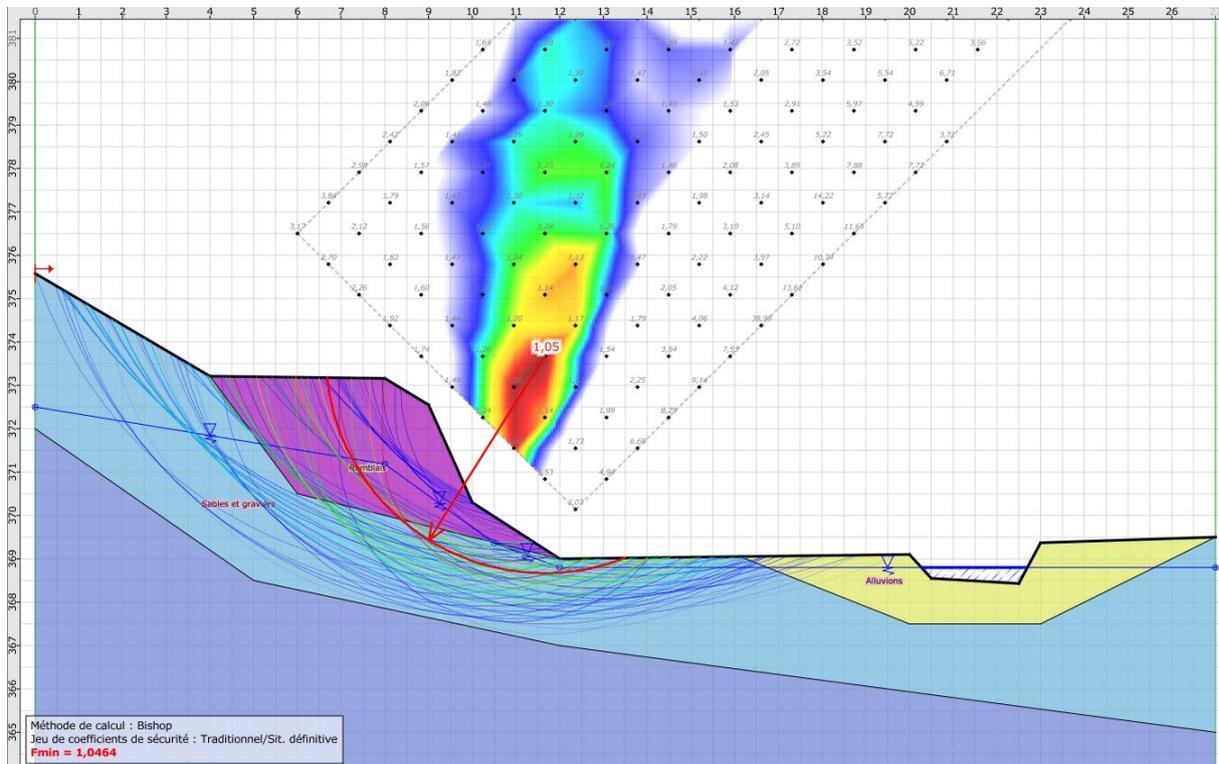


Cette figure montre qu'en condition sèche, le talus actuel est stable mais légèrement déformable ($F_s = 1,32$). Cependant compte tenu de la nature du site, il est très probable que, lors d'évènement pluvieux, l'eau s'infiltré et sature les remblais. C'est ce que nous allons montrer dans le paragraphe suivant.



5.4. Calcul de stabilité en présence d'eau

Nous avons ensuite effectué un calcul de stabilité du talus en augmentant le niveau de saturation des remblais. Le but étant de voir la variation de la stabilité du talus en fonction du niveau d'eau dans les remblais.

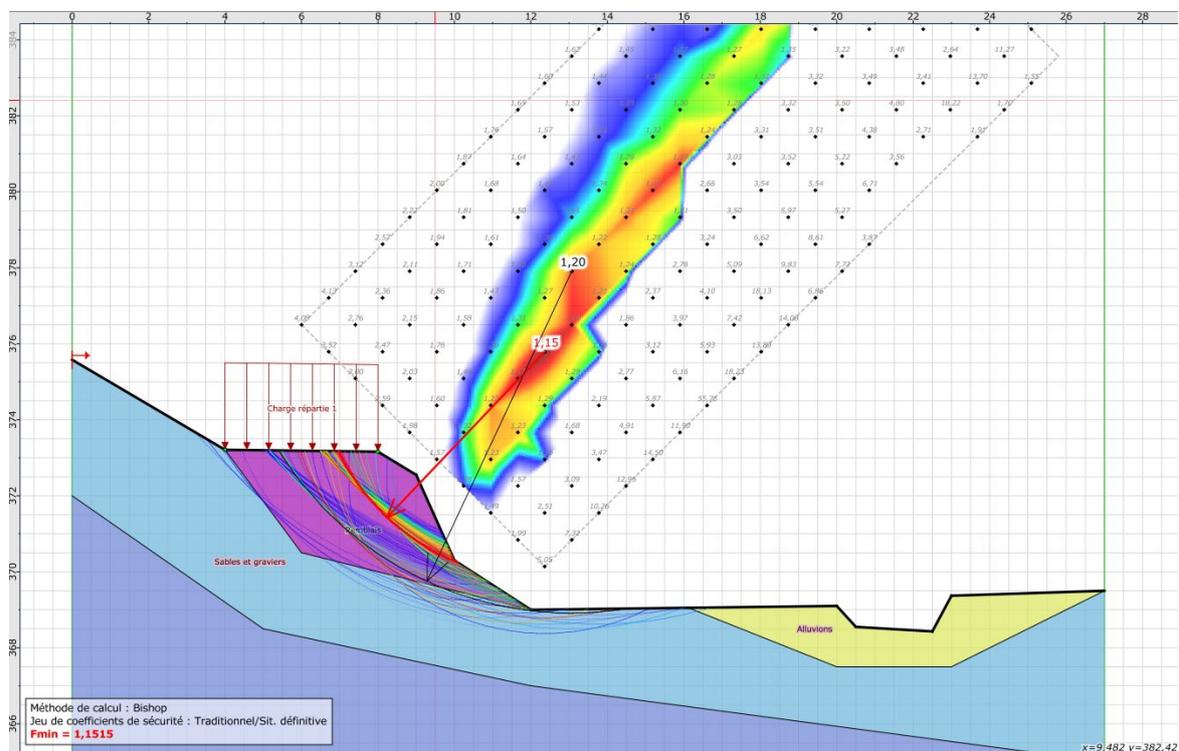


Cette modélisation montre que pour une faible mise en saturation des remblais, le coefficient de sécurité chute drastiquement ($F_{s2} = 1,05$), soit une diminution de la stabilité de 20 % par rapport à la condition sèche. On note que pour une faible saturation en eau, l'instabilité concerne tout le talus avec des cercles de rupture sur l'ensemble du talus et de la route.



5.5. Calcul de stabilité avec l'apport d'une surcharge

Nous avons ensuite effectué un calcul de stabilité du talus en apportant une surcharge de 1 t/m^2 , correspondant au passage d'un poids lourd afin de modéliser le trafic sur la route en amont du talus.



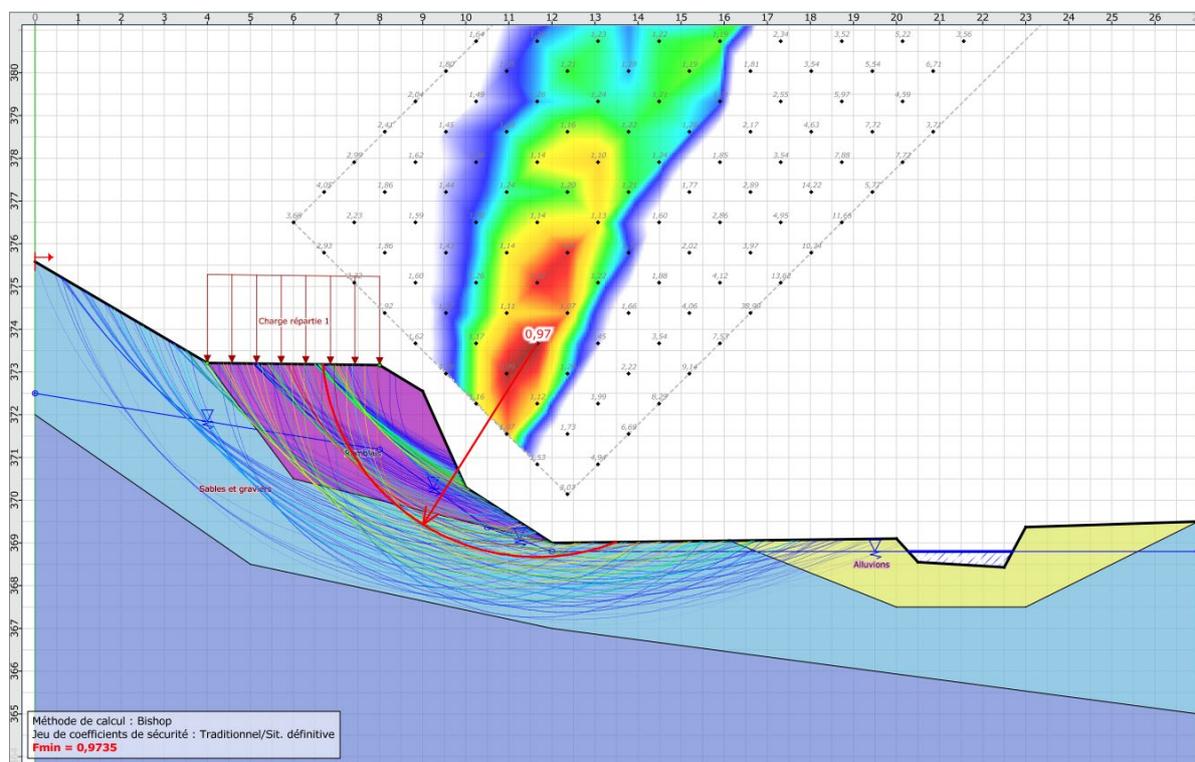
Même dans le cas d'une faible surcharge, le coefficient de sécurité baisse ($Fs_3 = 1,15$), soit une diminution de 13 % par rapport à la condition sèche. Nous observons cependant deux fronts de glissement principaux au sein du talus. Le premier se situe environ 1 m derrière la crête du talus (provoquant l'instabilité des bas-côtés). Le second se situe au milieu de la voirie et est légèrement moins instable avec un coefficient de sécurité proche de 1,20.

A noter que cette configuration est très défavorable car elle simule une surcharge permanente de 1 t/m^2 sur toute la largeur de la voirie et sur un grand linéaire.



5.6. Calcul de stabilité en présence d'eau et avec l'apport d'une surcharge

Nous avons ensuite effectué un calcul de stabilité du talus en considérant à la fois la présence d'eau dans les remblais et l'ajout d'une surcharge de 1 t/m² afin de modéliser le trafic lors de situations pluvieuses.



Cette modélisation montre que le talus est très instable et à la limite de la rupture ($F_{s4} = 0,97$), avec une diminution de la stabilité de 26 % par rapport à la condition sèche. Nous remarquons que l'instabilité concerne l'ensemble du talus avec des fronts de glissement principaux sur toute la largeur de la route.

5.7. Interprétation et conclusion

Ces différentes modélisations ont montré qu'en période sèche, le talus est stable mais légèrement déformable.

En ajoutant des surcharges sur la partie amont du talus afin de simuler le trafic sur la route, la stabilité du talus diminue fortement.

Pendant en présence d'eau dans les terrains, le talus devient très déformable voire instable. C'est d'autant plus vrai lorsque des surcharges s'appliquent en amont du talus.

A long terme, ces déformations peuvent engendrer des glissements de terrain de plus en plus importants au sein du talus, jusqu'à créer des fissures sur la route.

Actuellement nous n'observons pas de déformation sur l'accotement ou sur la voirie. Cela tend à montrer que la saturation en eau des remblais est une situation rarement rencontrée jusqu'à présent.

En revanche, la forte pente du talus à proximité de la rivière pose un problème d'érosion de la berge lors des périodes de crue. L'érosion conduira à accentuer encore plus la pente du talus. Le coefficient de sécurité actuel en condition sèche étant déjà sur une fourchette basse de tolérance ($F_{s1} = 1,32$), une accentuation de la pente du talus par érosion finirait par le rendre très déformable voire instable.



Un confortement du talus par enrochement permettrait de stopper cette érosion et augmenterait sa stabilité, comme nous le démontrerons dans la suite du rapport. **A noter que pour que l'enrochement joue son rôle d'écran anti-érosion, il devra nécessairement avoir une granulométrie permettant un effet de filtre. La mise en place d'un simple géotextile entre le talus et l'enrochement n'est généralement pas suffisante pour jouer ce rôle efficacement.**

6. TRAVAUX DE CONFORTEMENT

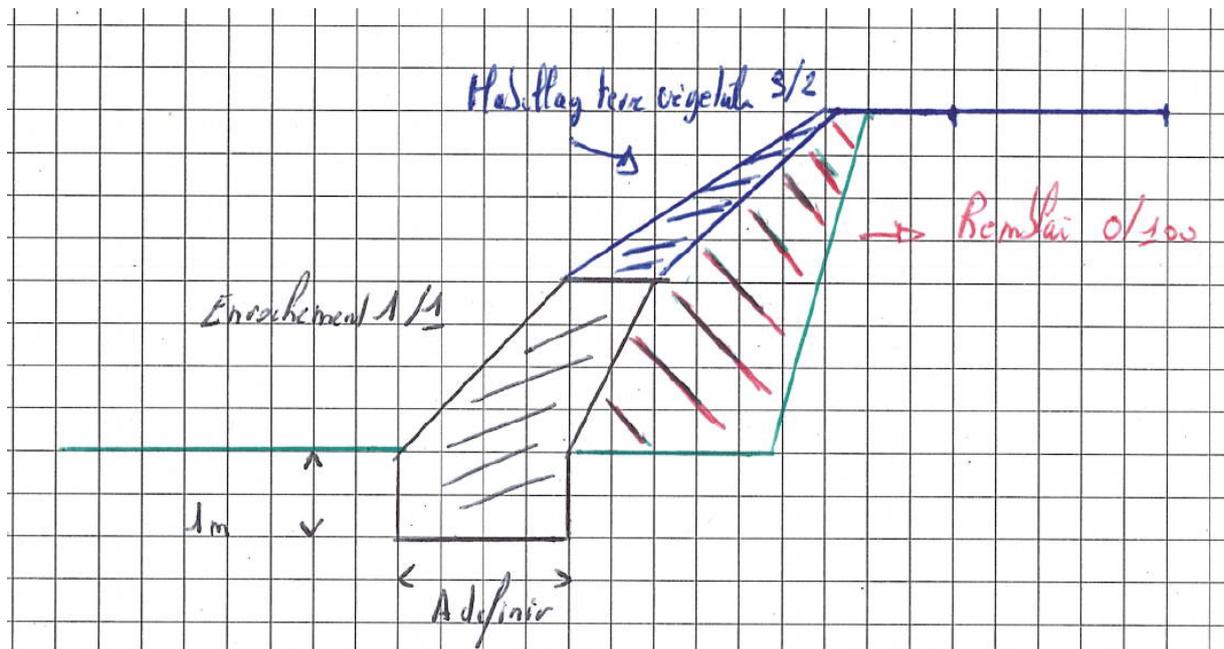
6.1. Remarque préliminaire

Une étude de stabilité et un modèle de confortement du talus ont déjà été proposés dans le cadre de l'étude géotechnique G2-AVP référencée 21.221961. Le but de la présente étude est de mettre à jour le modèle de confortement du talus selon le nouveau modèle proposé par l'entreprise CIRUS BFC.

6.2. Reprise du talus

Afin de stabiliser le talus, les Responsables du Projet proposent de mettre en place les solutions suivantes :

- enrochement d'une épaisseur minimale de 1,00 m sur la moitié basse du talus, afin d'avoir une pente de 1H/1V stable ;
- habillage végétalisé sur la moitié haute du talus ;
- remblais nobles en amont constitués de matériaux concassés de granulométrie 0/100 mm ;



Coupe de principe du confortement envisagé

La mise en place de l'enrochement va permettre de modifier la pente du talus en partie basse et centrale et de purger les terrains qui ont glissé. L'enrochement va permettre de créer une pente moins importante (pente de 1H/1V) sur l'ensemble du talus, ce qui contribuera à le stabiliser. L'enrochement devra être ancré dans les sables et graviers (horizon n°2) avec un encastrement minimal de 30 cm et une profondeur minimale d'assise de 0,80 m/TN. La végétation devra être éliminée pour qu'elle ne se développe pas dans l'enrochement.



Remarques :

La mise en place d'un habillage végétalisé sur la moitié haute du talus pourra entrainer à court terme des glissements de « peau » et sera sensible au ravinement. Il sera nécessaire de prévoir un ensemencement dès la fin des travaux et/ou la mise en place d'une toile en fibre de coco pour stabiliser le talus au plus tôt.

Il conviendra aussi de mettre en place un drainage amont (par exemple un fossé étanche à l'amont de la route) afin de collecter les eaux pluviales en amont du talus pour ensuite les rejeter dans un exutoire pérenne. **Ces eaux pluviales ne devront surtout pas être rejetées dans le talus.**

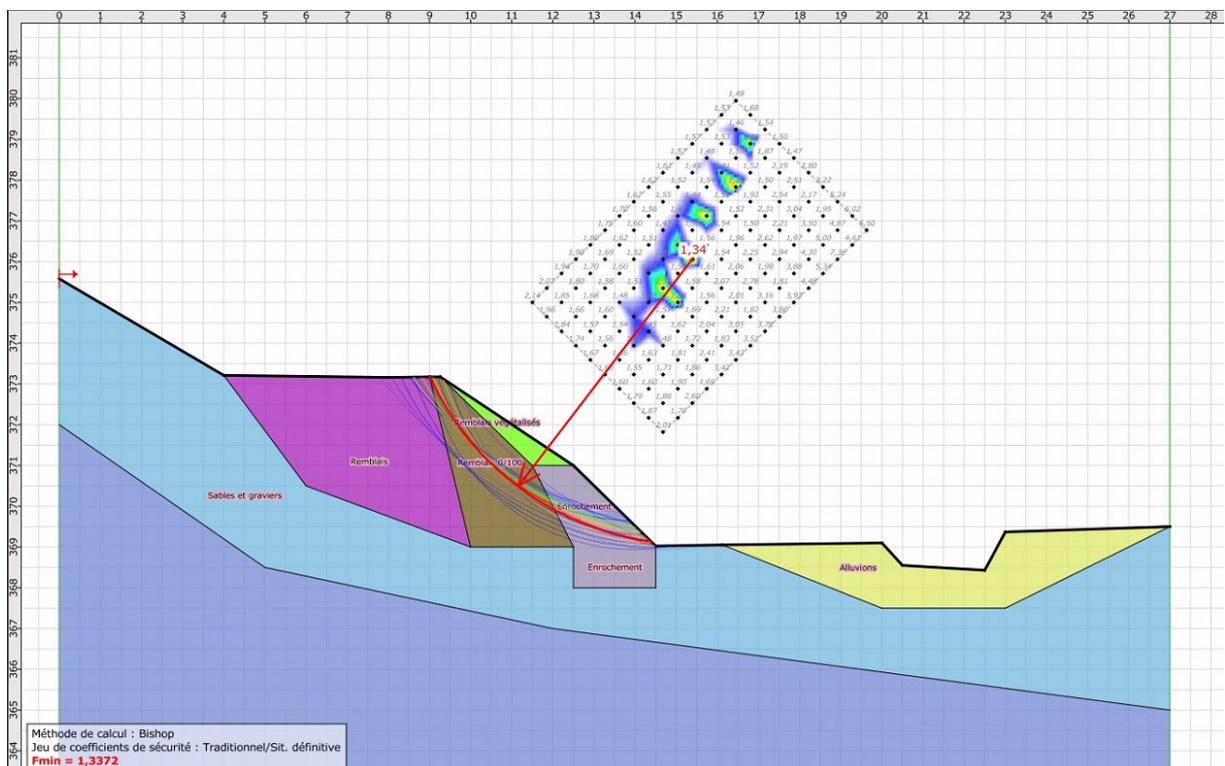
6.3. Caractéristiques intrinsèques des matériaux

Pour le renforcement du talus, nous avons considéré les paramètres intrinsèques suivants :

Matériaux	C (kPa)	Φ (°)	γ (kN/m ³)
Enrochement	1	45	16
Remblais végétalisés	5	25	17
Remblais 0/100	2	30	18

6.4. Calcul de stabilité du modèle

Nous avons tout d'abord procédé à un calcul de stabilité du talus à partir du modèle de renforcement proposé par les Responsables du Projet. Le résultat de cette modélisation est présenté sur la figure suivante :

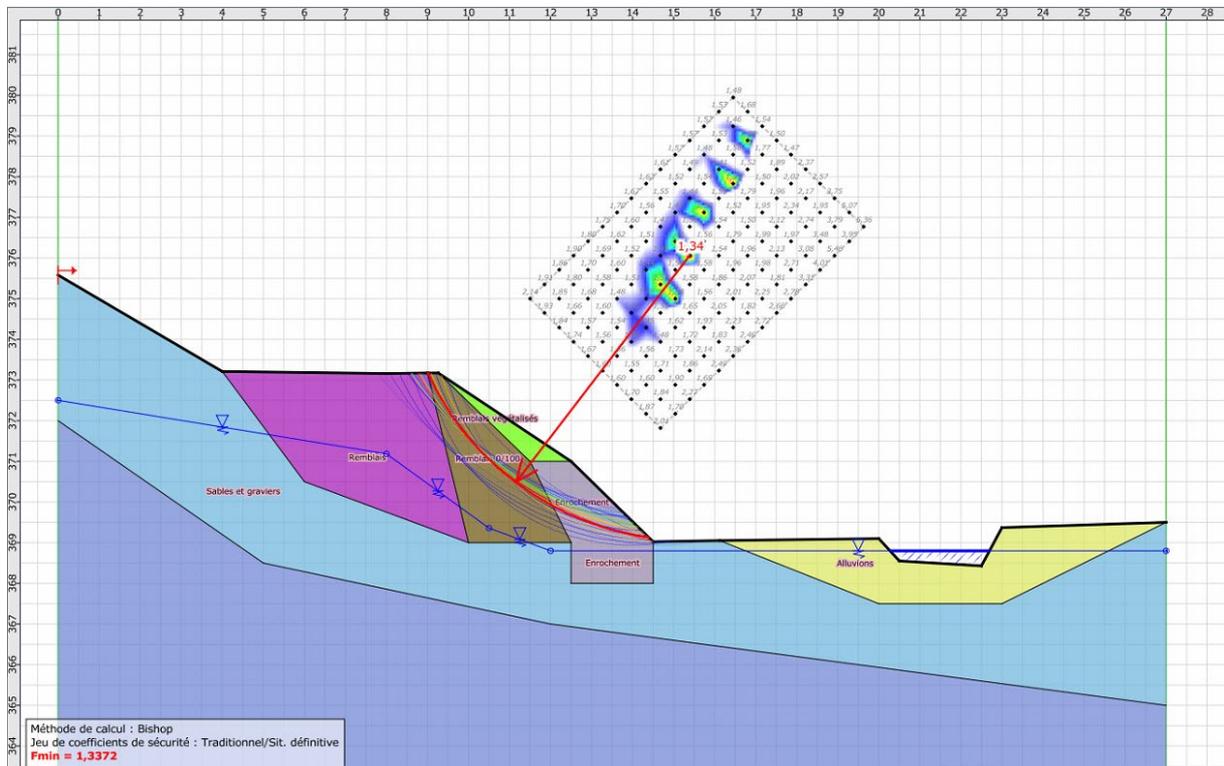


Nous observons que cette nouvelle géométrie permet de stabiliser le talus. En effet, nous distinguons les premiers cercles de rupture dans le talus à partir d'un coefficient de sécurité $Fs_5 = 1,34$. Avec ce type de confortement, le talus reste stable mais légèrement déformable.



6.5. Calcul de stabilité en présence d'eau

Nous avons ensuite effectué un calcul de stabilité du talus en prenant en compte la présence d'eau dans les remblais.

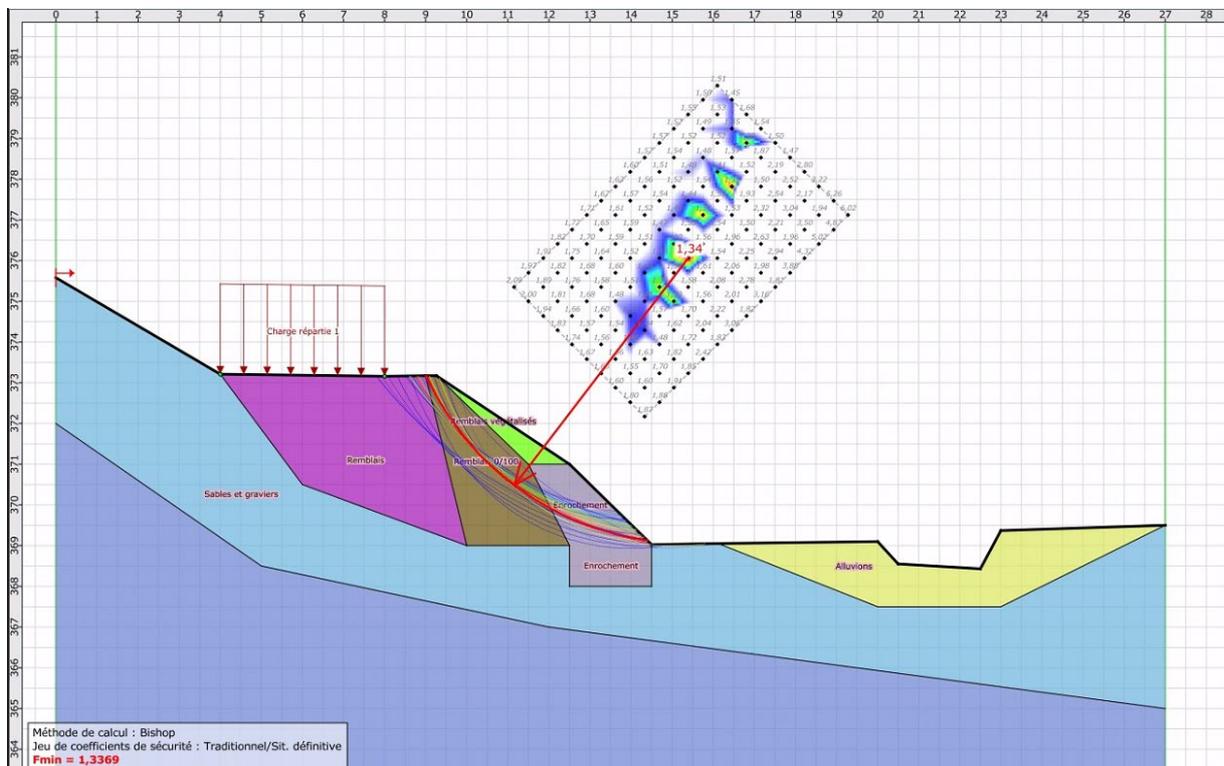


Cette modélisation montre aussi que le talus est stable ($F_{s6} = 1,34$) avec très peu de changement par rapport à la situation précédente. Nous observons également une augmentation de la stabilité du talus de 28 % par rapport au calcul en présence d'eau sans travaux de confortement. Le renforcement du talus permet donc un gain de la stabilité par rapport à l'état actuel du talus en présence d'eau ($F_{s2} = 1,05$).



6.6. Calcul de stabilité avec l'apport d'une surcharge

Nous avons ensuite effectué un calcul de stabilité du talus en apportant une surcharge de 1 t/m² sur la voirie.

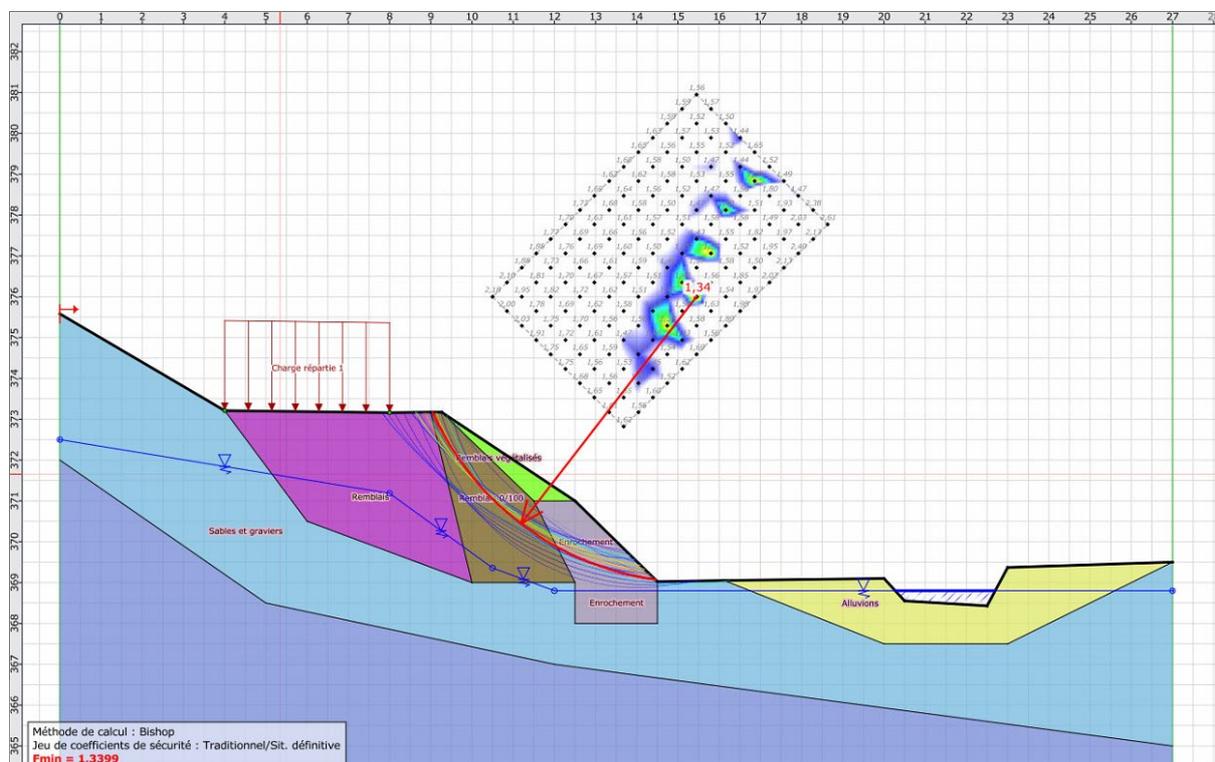


Cette modélisation montre également que le talus reste stable même avec l'apport d'une surcharge au niveau de la voirie ($F_{s7} = 1,34$). Cela se traduit par une augmentation de la stabilité du talus de 12 % par rapport à l'ajout d'une surcharge sans confortement ($F_{s3} = 1,20$).



6.7. Calcul de stabilité en présence d'eau et avec l'apport d'une surcharge

Enfin, nous avons effectué un calcul de stabilité pour le talus renforcé en considérant des circulations d'eau dans les remblais et en ajoutant une surcharge de 1 t/m² liée au trafic sur la voirie en amont.



Cette modélisation montre que le talus est également stable avec un facteur de sécurité égal à 1,34. Nous avons ainsi une augmentation de 39 % de la stabilité du talus par rapport à la condition initiale sans renforcement ($Fs_4 = 0,97$).

6.8. Modélisation de l'influence des alluvions du ruisseau

Dans le cas où la géologie du site serait différente de celle décrite par nos reconnaissances in-situ et de celle prise en compte dans le modèle, nous avons procédé à de nouveaux calculs de stabilité du talus en modifiant la nature du sol d'assise.

En effet, il est probable de rencontrer des alluvions au niveau de l'assise de l'enrochement, notamment lorsque le lit actuel du ruisseau se situe au pied du talus.

Pour cela, nous avons considéré une situation défavorable où les alluvions se situeraient au niveau de l'enrochement. Nous avons ensuite calé et ajusté les caractéristiques mécaniques des alluvions afin que le modèle reflète les zones de glissement du talus actuel. De ce fait, nous avons dégradé les paramètres des alluvions en considérant ces sols très lâches et dépourvus de cohésion afin de modéliser la situation la plus défavorable.

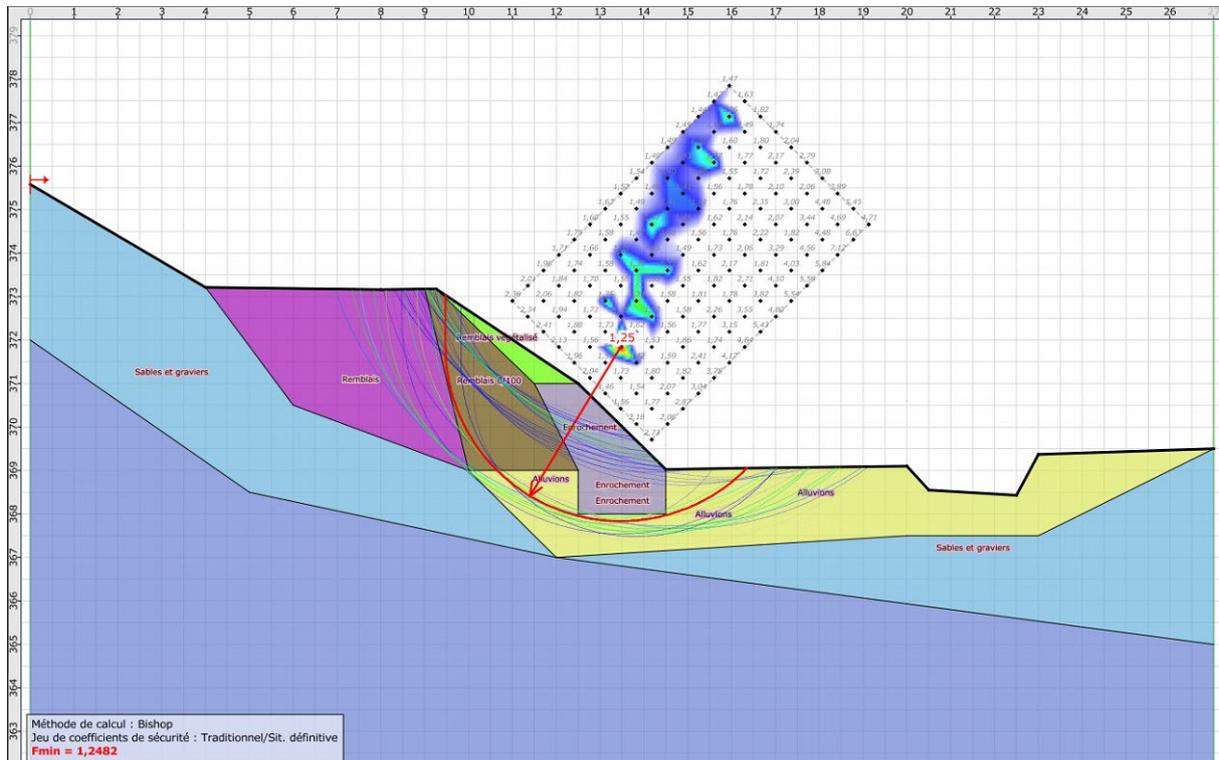
Nous avons donc considéré les paramètres intrinsèques suivants :

Matériaux	C (kPa)	Φ (°)	γ (kN/m ³)
Alluvions dégradées	0	20	19

Puis nous avons procédé aux calculs de stabilité du talus avec le renforcement proposé par les Responsables du Projet.



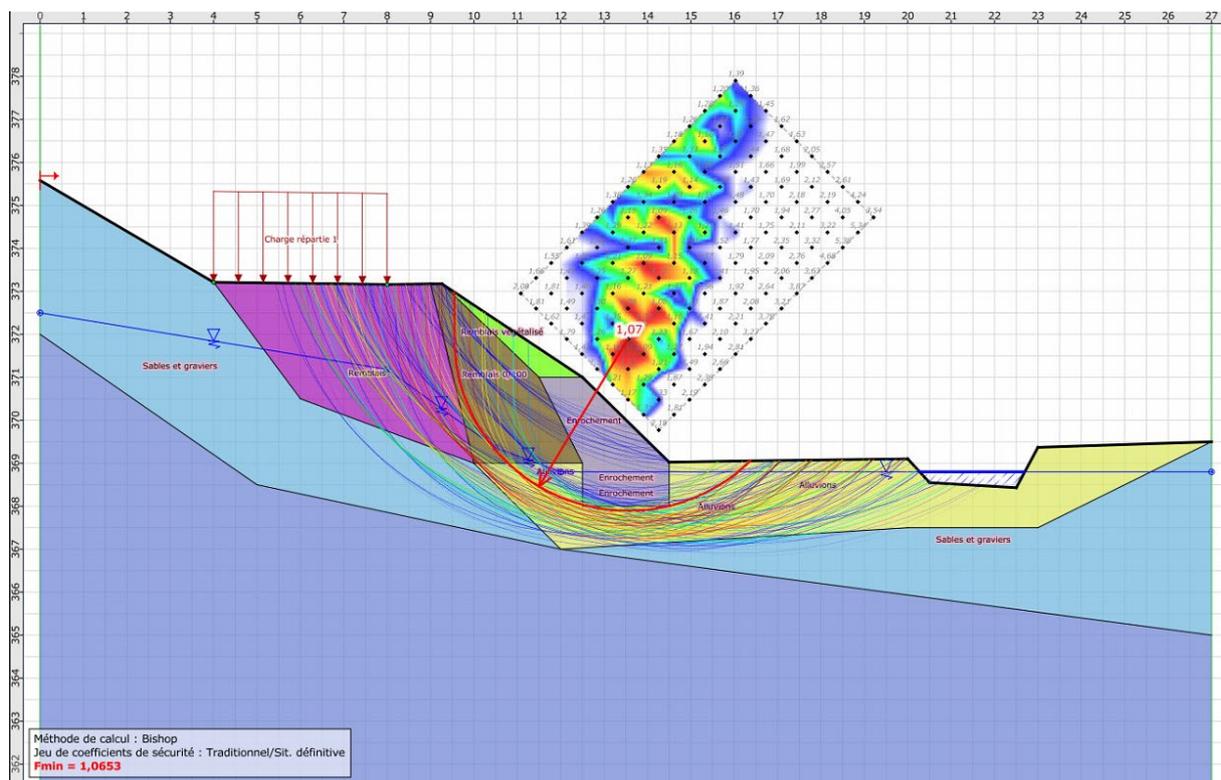
Tout d'abord, nous avons considéré un cas très défavorable pour lequel une poche d'alluvions dégradées seraient présentes au pied du talus et pour lequel l'enrochement serait ancré dans ces alluvions. Les résultats de ces modélisations sont présentés ci-dessous :



Nous observons que dans cette configuration, le talus est considéré comme instable avec un facteur de sécurité égal à 1,25. Des cercles de rupture sont notamment présents au pied de l'enrochement, traduisant ainsi la fragilité de ce renforcement.



En considérant une surcharge de 1 t/m² pour le trafic sur la voirie située en amont et des conditions climatiques défavorables avec des circulations d'eau dans les remblais, nous obtenons les résultats suivants :

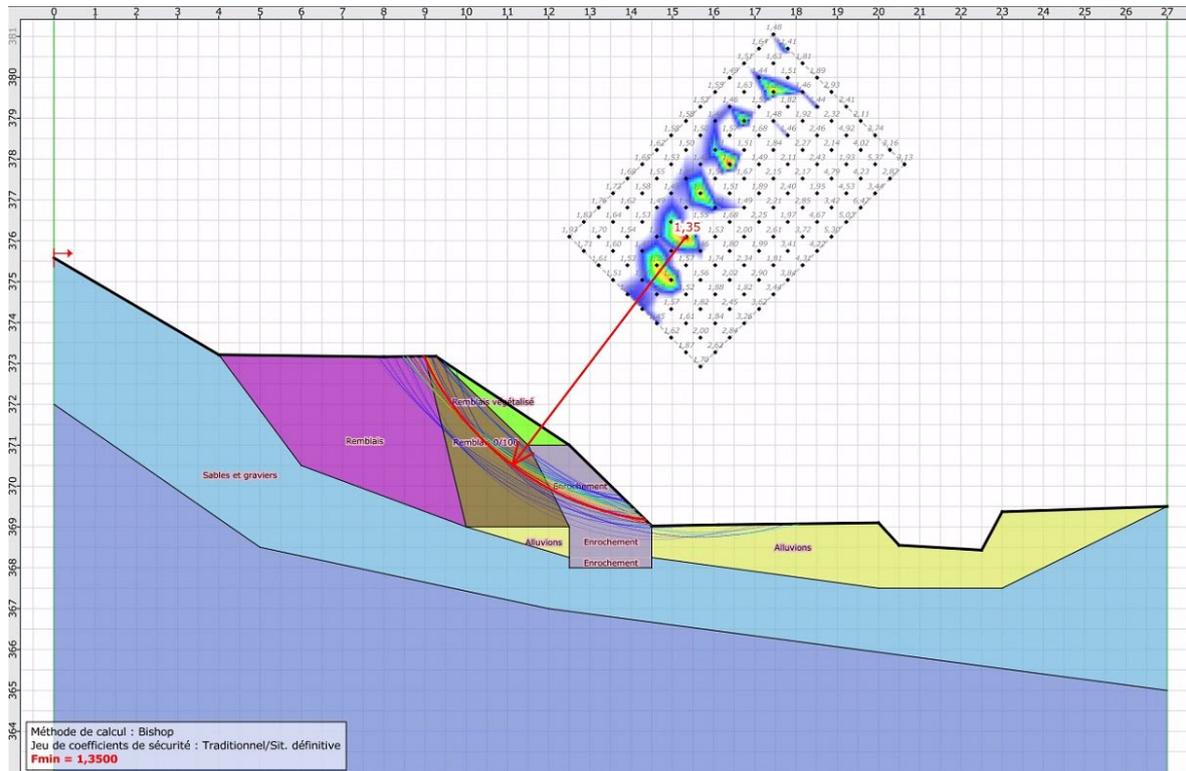


Nous observons que dans cette configuration, le talus est tout juste stable et proche de la rupture avec un facteur de sécurité égal à 1,07. Nous remarquons également que de nombreux cercles de rupture sont présents sur l'ensemble du talus et sous la voirie.

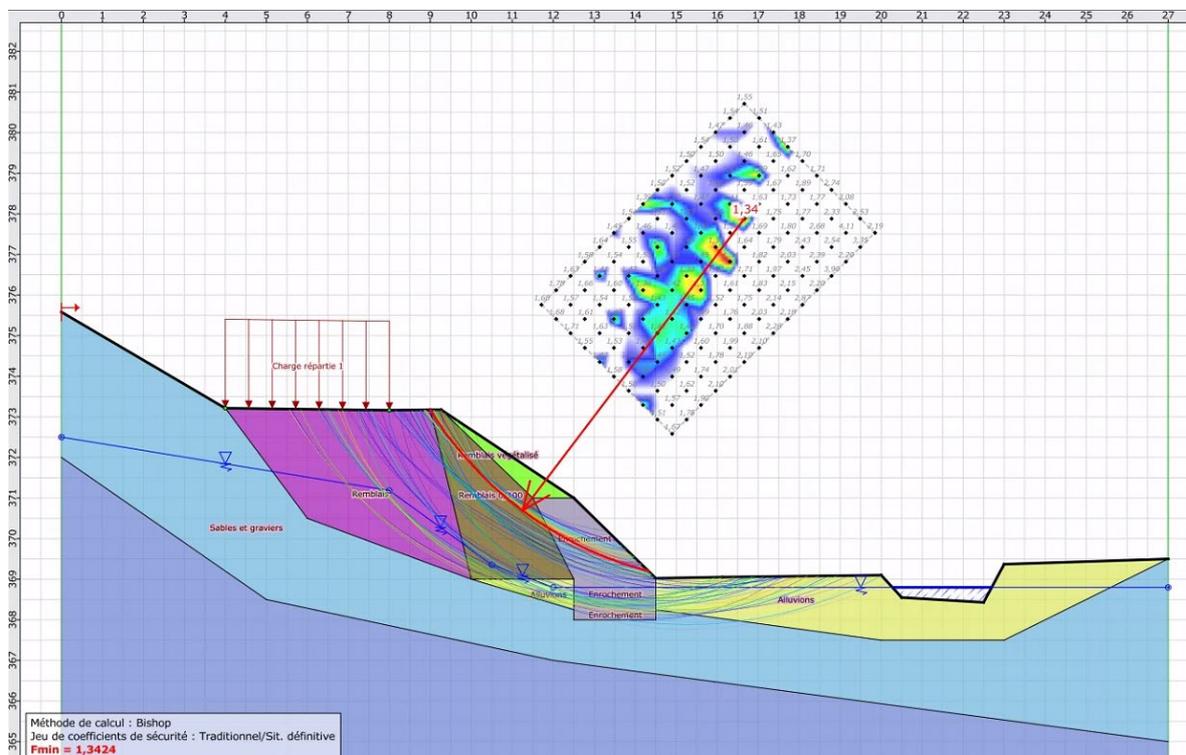
Cette situation se rapproche beaucoup de la configuration actuelle du talus ($F_{s4}=0,97$). Ainsi, dans le cas où l'enrochement serait ancré dans une poche d'alluvions, les travaux de confortement du talus proposés ici seraient quasiment inutiles, sauf pour éventuellement limiter le risque d'érosion de la berge tant que l'enrochement reste en place.



Nous avons ensuite procédé à une seconde modélisation dans le cas où les alluvions seraient également présentes au pied du talus mais cette fois-ci en respectant un ancrage de 30 cm dans la formation de sables et graviers. Nous obtenons les résultats suivants :



Nous observons qu'en respectant un ancrage d'au moins 30 cm dans les sables et graviers, le talus est stable avec un facteur de sécurité égal à 1,35.



En considérant maintenant une surcharge de 1 t/m² pour le trafic et des circulations d'eau dans les remblais, nous observons aussi que le talus reste stable (Fs=1,34).



Remarque importante :

Ces deux modélisations montrent bien qu'il est nécessaire de respecter un ancrage de l'enrochement d'au moins 30 cm dans la formation de sables et graviers afin de justifier la stabilité du talus.

6.9. Interprétation et conclusion

La nouvelle solution de renforcement du talus proposée ici par les Responsables du Projet permet de maintenir la stabilité du talus avec un facteur de sécurité constant de 1,34 quels que soient les surcharges liées au trafic sur la route et le niveau des circulations d'eau dans les remblais.

Il appartient aux Responsables du Projet de définir le niveau de stabilité qu'ils souhaitent atteindre.

Si les Responsables du Projet souhaitent améliorer ce facteur de sécurité, il conviendra d'augmenter l'épaisseur de l'enrochement ou de le prolonger sur toute la hauteur du talus. En effet, le modèle de renforcement du talus étudié lors de la mission G2-AVP, référencée 21.221961, proposait un enrochement sur toute la hauteur du talus et présentait de meilleurs résultats, malgré la bonne stabilité générale du talus étudié dans le présent rapport G5.

Les Responsables du Projet peuvent aussi faire le choix de réduire l'épaisseur de l'enrochement. Cependant l'intérêt des travaux seraient assez limités car une épaisseur moindre laisserait le talus dans un état de stabilité satisfaisante en période sèche mais aussi déformable qu'actuellement. Si cette solution est choisie par les Responsables du Projet, nous recommandons de réaliser une mission du suivi du déplacement du talus par la pose d'inclinomètres et de l'associer à un suivi piézométrique.

L'enrochement assurera également une protection vis-à-vis du risque d'érosion du talus mais sa granulométrie doit permettre un effet filtre.

Nous rappelons que la zone en pente du talus n'était pas accessible à nos machines de forage, il a donc une incertitude assez forte sur les épaisseurs des différentes couches et leurs caractéristiques dans le talus.

7. SUITE DES MISSIONS

Ce rapport correspond à la mission G5 (stabilité de talus) qui nous a été confiée pour cette affaire.

Les calculs et valeurs dimensionnelles donnés dans le présent rapport sont destinés à appréhender les sujétions techniques et ne sont en aucun cas un dimensionnement du Projet.

Selon l'enchaînement des missions géotechniques au sens de la norme NFP 94-500, le présent rapport devra être suivi des missions G3 et G4 (études géotechniques d'exécution).



Rédigé par : Marie DIANCOURT
Ingénieure géotechnicienne
Chargée d'affaires



CONDITIONS GENERALES DES MISSIONS GEOTECHNIQUES ET D'UTILISATION DU PRESENT DOCUMENT

(version du 12/12/2013)

1. Cadre de la mission

ICSEO BUREAU D'ETUDES n'est tenu qu'à une obligation de moyens et ne peut être en aucun cas tenu à une obligation de résultats. Les prestations d'études et de conseil sont réputées incertaines par nature.

Par référence à la Classification des Missions Géotechniques types extraite de la norme NF P 94-500 (30/11/2013), il appartient au maître d'ouvrage et à son maître d'œuvre de veiller à ce que toutes les missions géotechniques nécessaires à la conception puis à l'exécution de l'ouvrage soient engagées avec les moyens opportuns et confiées à des hommes de l'Art.

L'enchaînement des missions géotechniques suit la succession des phases d'élaboration du projet, chacune de ces missions ne couvrant qu'un domaine spécifique de la conception ou de l'exécution. En particulier :

- les missions d'ingénierie géotechnique (étapes 1 à 3) sont réalisées dans l'ordre successif ;
- une mission confiée à ICSEO BUREAU D'ETUDES peut ne contenir qu'une partie des prestations décrites dans la mission type correspondante ;
- la prestation d'investigations géotechniques (PIG) engage notre société uniquement sur la conformité des travaux exécutés à ceux contractuellement commandés et l'exactitude des résultats qu'elle fournit ;
- une mission d'ingénierie géotechnique (étapes 1 à 3 ou diagnostic) n'engage notre société sur son devoir de conseil que dans le cadre strict, d'une part, des objectifs explicitement définis dans notre proposition technique sur la base de laquelle la commande et ses avenants éventuels ont été établis, d'autre part, du projet du client décrit par les documents graphiques ou plans cités dans le rapport ;
- une mission d'ingénierie géotechnique (étapes 1 à 3 ou diagnostic) exclut tout engagement de notre société sur les quantités, coûts et délais d'exécution des futurs ouvrages géotechniques ;
- une étude géotechnique de conception (G2) engage notre société en tant qu'assistant technique à la Maîtrise d'Œuvre dans les limites du contrat fixant l'étendue de la mission et la (ou les) partie(s) d'ouvrage(s) concerné(s).

La responsabilité de notre société ne saurait être engagée en dehors du cadre de la mission géotechnique, objet du rapport. En particulier, toute modification apportée au projet ou à son environnement nécessite la réactualisation du rapport géotechnique dans le cadre d'une nouvelle mission.

2. Recommandations

Il est précisé que l'étude géotechnique repose sur une reconnaissance du sol dont la maille ne permet pas de lever la totalité des aléas toujours possibles en milieu naturel. En effet, des hétérogénéités, naturelles ou du fait de l'homme, des discontinuités et des aléas d'exécution peuvent apparaître compte tenu du rapport entre le volume échantillonné ou testé et le volume sollicité par l'ouvrage, et ce d'autant plus que ces singularités éventuelles peuvent être limitées en extension. Les éléments géotechniques nouveaux mis éventuellement en évidence lors de l'exécution (par exemple, failles, remblais anciens ou récents, hétérogénéité localisée, venue d'eau, pollution, etc.), n'ayant pu être détectés au cours de nos opérations de reconnaissance et pouvant avoir une influence sur les conclusions du rapport (en partie ou en totalité), doivent immédiatement être signalés à ICSEO BUREAU D'ETUDES pour lui permettre de reconsidérer et d'adapter éventuellement les solutions initialement préconisées et ceci dans le cadre de missions géotechniques complémentaires.

Si un caractère évolutif particulier a été mis en lumière (notamment glissement, érosion, dissolution, remblais évolutifs, tourbe), l'application des recommandations du rapport nécessite une validation à chaque étape suivante de la conception ou de l'exécution. En effet, un tel caractère évolutif peut remettre en cause ces recommandations notamment s'il s'écoule un laps de temps important avant leur mise en œuvre.

Il est vivement conseillé au Maître d'Ouvrage, au Maître d'Œuvre ou à l'Entreprise de faire procéder, au moment de l'ouverture des fouilles ou de la réalisation des premiers pieux ou puits, à une visite de chantier par un spécialiste. Cette visite est normalement prévue par ICSEO BUREAU D'ETUDES lorsque notre société est chargée d'une mission de supervision géotechnique d'exécution des travaux de fondations (G4). Cette visite, pour laquelle un compte-rendu sera rédigé, a pour objet principal de vérifier que la nature des sols et la profondeur de l'horizon de fondation sont conformes aux données de l'étude.



3. Rapport de la mission

Le rapport géotechnique constitue le compte-rendu de la mission géotechnique définie par la commande au titre de laquelle il a été établi et dont les références sont rappelées en tête. A défaut de clauses spécifiques contractuelles, la remise du rapport géotechnique fixe la fin de la mission.

Un rapport géotechnique et toutes ses annexes identifiées constituent un ensemble indissociable. Les deux exemplaires de référence en sont les deux originaux conservés : un par le client et le second par ICSEO BUREAU D'ETUDES. Dans ce cadre, toute autre interprétation qui pourrait être faite d'une communication ou reproduction partielle ne saurait engager la responsabilité de notre société. En particulier l'utilisation même partielle de ces résultats et conclusions par un autre maître d'ouvrage ou par un autre constructeur ou pour un autre ouvrage que celui objet de la mission confiée ne pourra en aucun cas engager la responsabilité de notre société et pourra entraîner des poursuites judiciaires.

ICSEO BUREAU D'ETUDES ne pourrait être rendu responsable des modifications apportées à la présente étude sans son consentement écrit.

Si, en l'absence de plans précis des ouvrages projetés, ICSEO BUREAU D'ETUDES a été amené dans le présent document à faire une ou des hypothèses sur le projet, il appartient au Maître d'Ouvrage ou à son Maître d'Œuvre, de communiquer par écrit ses observations éventuelles à ICSEO BUREAU D'ETUDES sans quoi, il ne pourrait en aucun cas et pour aucune raison être reproché à ICSEO BUREAU D'ETUDES d'avoir établi son étude pour le projet décrit dans le présent document.

Pour ces raisons notamment, et sauf stipulation contraire explicite de la part d'ICSEO BUREAU D'ETUDES, l'utilisation de la présente étude pour chiffrer, à forfait ou non, le coût de tout ou partie des ouvrages d'infrastructure ne saurait en aucun cas engager la responsabilité d'ICSEO BUREAU D'ETUDES. Une mission d'étude géotechnique de projet (G2) minimum est nécessaire pour estimer des quantités, coûts et délais d'ouvrages géotechniques.

Les éventuelles altitudes indiquées pour chaque sondage (*cotes de références rattachées à un repère arbitraire ou cotes NGF*) ne sont données qu'à titre indicatif. Seules font foi les profondeurs mesurées depuis le sommet des sondages et comptées à partir du niveau du sol au moment de la réalisation des essais. Ces altitudes (en Z) pourront être garanties par un Géomètre Expert, lors d'un relevé. Il en est de même pour l'implantation (en X et Y) des sondages sur le terrain.

ICSEO BUREAU D'ETUDES se réserve le droit d'utilisation de l'étude de sol en question jusqu'à son paiement intégral du, aux termes de la commande ou du contrat, conformément à la loi 80335 du 12 mai 1980. La simple remise de traites ou de titres créant obligation de paiement ne constitue pas un paiement. Tant que l'étude n'est pas totalement payée par le client, celle-ci restera propriété d'ICSEO BUREAU D'ETUDES et ne pourra en aucun cas être utilisée par un tiers.

4. Clauses de responsabilité et assurances dans un contrat d'ingénierie géotechnique

Les clauses ci-dessous résultent de l'observation des meilleures pratiques des contrats d'ingénierie géotechnique. Elles sont recommandées par SYNTEC-INGENIERIE, et en particulier par le Comité Géotechnique qui regroupe les professionnels de la géotechnique.

Répartition des risques et responsabilités autres que la responsabilité décennale soumise à obligation d'assurance.

Le prestataire assume les responsabilités qu'il engage par l'exécution de sa mission telle que décrite au présent contrat.

A ce titre, le prestataire est responsable de ses prestations dont la défectuosité lui est imputable.

Le prestataire sera garanti en totalité par le client contre les conséquences de toute recherche en responsabilité dont le prestataire serait l'objet du fait de ses prestations, de la part de tiers au présent contrat, le client ne garantissant cependant le prestataire qu'au delà du montant de responsabilité visé ci-dessous pour le cas des prestations défectueuses.

La responsabilité globale et cumulée du prestataire au titre ou à l'occasion de l'exécution du contrat sera limitée au montant des garanties délivrées par son assureur, dont le client reconnaît avoir eu connaissance, et ce pour les dommages de quelque nature que ce soit et quelqu'en soit le fondement juridique.

Il est expressément convenu que le prestataire ne sera pas responsable des dommages immatériels consécutifs ou non à un dommage matériel tels que, par exemple, la perte d'exploitation, la perte de production, le manque à gagner, la perte de profit, la perte de contrat, la perte d'image, l'immobilisation de personnel ou d'équipements ainsi que tout dommage indirect etc.



Assurance décennale obligatoire.

Le prestataire bénéficie d'un contrat d'assurance au titre de la responsabilité décennale afférente aux ouvrages soumis à obligation d'assurance, conformément à l'article L.241-1 du Code des assurances.

Ce contrat impose une obligation de déclaration préalable et d'extension de garantie pour les ouvrages dont la valeur € HT (travaux et honoraires compris) excède au jour de la déclaration d'ouverture de chantier un montant de 30 M€.

Il est expressément convenu que le client a l'obligation d'informer le prestataire d'un éventuel dépassement de ce seuil, et accepte, le cas échéant, de fournir tous éléments d'information nécessaires à l'extension de la garantie.

Le client prend également l'engagement, en cas de souscription d'une Police Complémentaire de Groupe (PCG), de faire le nécessaire pour que le prestataire soit mentionné parmi les bénéficiaires de cette garantie de responsabilité de seconde ligne.

En tout état de cause, il appartiendra au client de prendre en charge toute éventuelle surcotisation qui serait demandée au prestataire par rapport aux conditions de base de son contrat d'assurance.

Le Maître d'Ouvrage devra communiquer à ICSEO BUREAU D'ETUDES la Déclaration Réglementaire d'Ouverture du Chantier (DROC) et faire réactualiser le présent rapport si le chantier est ouvert plus de 2 ans après la date d'établissement de celui-ci. De même il est tenu d'informer ICSEO BUREAU D'ETUDES du montant global de l'opération et de la date prévisible de réception de l'ouvrage.



Enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique - extrait norme NF P 94-500 du 30/11/13

L'enchaînement des missions contribue à la maîtrise des risques géotechniques en vue de fiabiliser la qualité, le délai d'exécution et le coût réel des ouvrages géotechniques.

Tout ouvrage est en interaction avec son environnement géotechnique. Le maître d'ouvrage doit associer l'ingénierie géotechnique au même titre que les autres ingénieries à la maîtrise d'œuvre et ce, à toutes les étapes successives de conception puis de réalisation de l'ouvrage.

Le maître d'ouvrage ou son mandataire doit veiller à la synchronisation des missions d'ingénierie géotechnique avec les phases effectives de la maîtrise d'œuvre du projet.

L'enchaînement et la définition synthétique des missions d'ingénierie géotechnique sont donnés dans les tableaux 1 et 2 de la norme. Deux ingénieries géotechniques différentes doivent intervenir : la première pour le compte du maître de l'ouvrage ou de son mandataire lors des étapes 1 à 3 ; la seconde pour le compte de l'entreprise lors de l'étape 3.

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



Tableau 2 - Classification des missions d'ingénierie géotechnique

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

ETAPE 1 : ETUDE GEOTECHNIQUE PREALABLE (G1)

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

Phase Étude de Site (ES)

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

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

Phase Principes Généraux de Construction (PGC)

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

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

ETAPE 2 : ETUDE GEOTECHNIQUE DE CONCEPTION (G2)

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

Phase Avant-projet (AVP)

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

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport donnant les hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade de l'avant-projet, les principes de construction envisageables (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dallages et voiries, améliorations de sols, dispositions générales vis-à-vis des nappes et des avoisnants), 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 avoisnants), des notes de calcul de dimensionnement, un avis sur les valeurs seuils et une approche des quantités.

Phase DCE / ACT

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

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

ETAPE 3 : ETUDES GEOTECHNIQUES DE REALISATION (G3 et G 4, distinctes et simultanées) ETUDE ET SUIVI GEOTECHNIQUES D'EXECUTION (G3)

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

Phase Étude

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

Phase Suivi

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

SUPERVISION GEOTECHNIQUE D'EXECUTION (G4)

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

Phase Supervision de l'étude d'exécution

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

Phase Supervision du suivi d'exécution

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

DIAGNOSTIC GEOTECHNIQUE (G5)

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

- Définir, après enquête documentaire, un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Étudier un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques (par exemple soutènement, causes géotechniques d'un désordre) dans le cadre de ce diagnostic, mais sans aucune implication dans la globalité du projet ou dans l'étude de l'état général de l'ouvrage existant.
- Si ce diagnostic conduit à modifier une partie du projet ou à réaliser des travaux sur l'ouvrage existant, des études géotechniques de conception et/ou d'exécution ainsi qu'un suivi et une supervision géotechniques seront réalisés ultérieurement, conformément à l'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étape 2 et/ou 3).



ANNEXES

- plan d'implantation des sondages
- sondages pressiométriques
- sondage carotté
- analyses en laboratoire



Forage : SP1

Sondage Pressiométrique
NF P 94-110-1

Dossier : VILLARGOIX
Confortement d'un talus
Affaire : 21.221961

X :
Y :
Z : 369.00 NGF
Date : 05/09/2022
Echelle : 1/50
Page : 1/1
TNA

Cote z (m)	Profondeur (m/TN)	Lithologie	Niveau d'eau (m/TN)	Outils	Pression de fluage et limite (MPa)				Module pressiométrique Em (MPa)											
					Pf °	PI □	0,1	1	10	50	0,1	1	10	100	500					
368,80 m	0,20	Remblai : sable limoneux brun foncé à cailloutis granitiques	3,50 m Arrivée d'eau	THC Ø 63 mm																
368,40 m	0,60	Sable très légèrement limoneux brun ocre clair orangé à graviers																		
367,40 m	1,60	Sable grossier argileux brun à graviers					0,84	1,25					14,6							
		Sable grossier très limoneux brun rougeâtre, arène ?					1,20	1,98					32,7							
365,80 m	3,20	Arène granitique					1,48	2,45					33,4							
							1,59	2,62					42,6							
361,00 m	8,00						1,64	2,71					51,7							

Observations :
Eboulement du sondage à 1,50 m de profondeur.

EXGTE 3.23



Forage : SC1

Sondage carotté

Dossier : VILLARGOIX
 Confortement d'un talus
 Affaire : 21.221961

X :
 Y :
 Z : 372.75 NGF

Date : 05/09/2022
 Echelle : 1/50
 Page : 1/1

TNA

Cote z (m)	Profondeur (m/TN)	Lithologie	Carottage (%)			RQD			Niveau d'eau (m/TN)	Outils	Equip.
			0	50	100	0	50	100			
372,55 m	0,20	Remblai : limon grossièrement sableux et terreux brun orangé à cailloutis									
372,15 m	0,60	Limon très sableux brun ocre clair orangé à cailloutis									
370,30 m	2,45	Sable grossier très limoneux brun ocre clair orangé à cailloutis	1			1			Sec le 05/09/2022	114LS	
			2			2					
367,75 m	5,00	Granite arénisé friable en sable grossier limoneux brun beige ocre	3			3					
			4			4					
			5			5					
			6			6					
			7			7					
			8			8					
			9			9					
			10			10					

Observations :

EXGTE 3.23



Compte rendu de l'Essai de cisaillement rectiligne

Cisaillement non consolidé - rapide

PROCES-VERBAL D'ESSAI

Nature du terrain : Limon très sableux brun ocre clair orangé à cailloutis

Dossier : VILLARGOIX

Sondage : SC1

Affaire : 21.221961

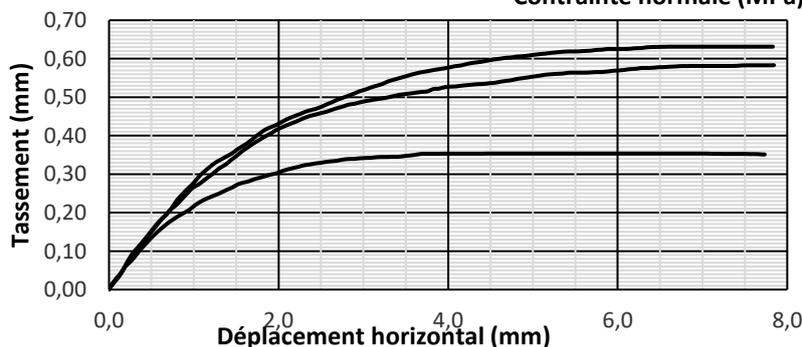
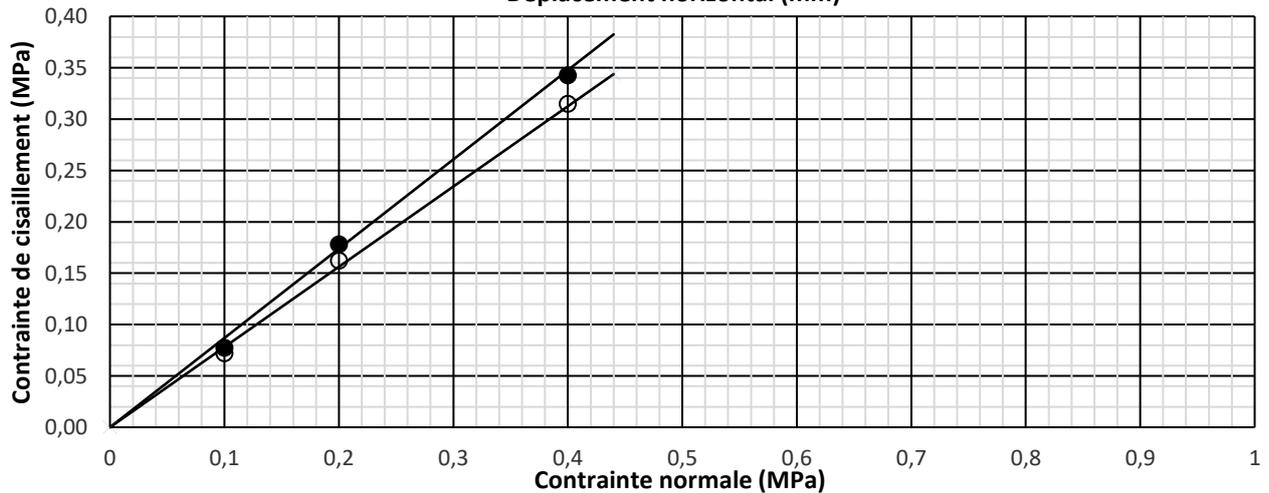
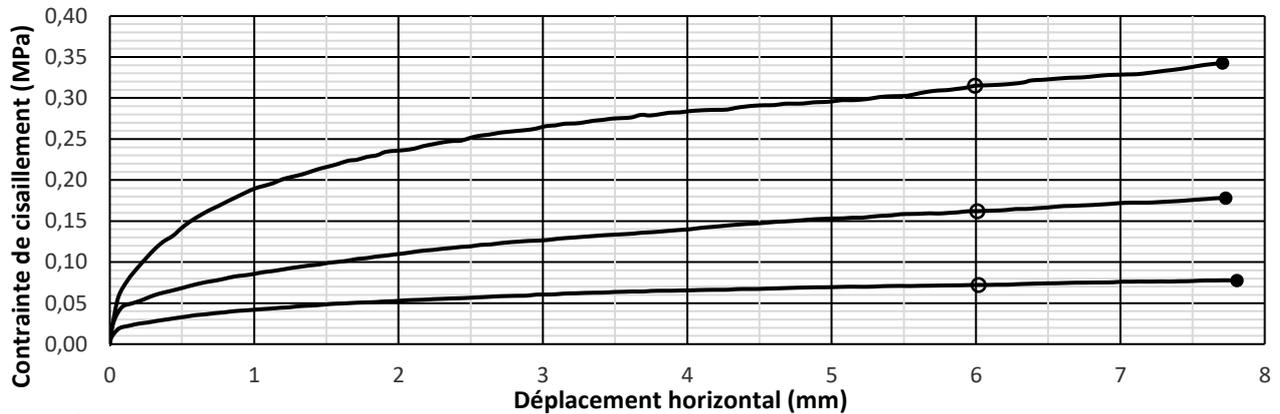
Profondeur : 0,20-0,60m

Date : 23/09/2022

Opérateur : ABR

Hauteur	Largeur	Vitesse de cisaillement	γ_s estimé (g/cm^3):	2,7
23,2mm	60mm	2mm/mn	γ_s mesuré (g/cm^3):	

Epr N°	σ'_v MPa	Caractéristiques initiales					Caractéristiques finales			Caractéristiques de cisaillement			
		W %	γ g/cm^3	γ_d g/cm^3	e	Sr %	W %	γ_d g/cm^3	Sr g/cm^3	τ^f_{pic} MPa	δl_{pic} mm	τ^f_{final} MPa	δl_{final} mm
1	0,1	7,1	1,62	1,51	0,78	24,4	15,2	1,44	47,0	0,0773	7,807	0,0722	6,018
2	0,2	7,7	1,68	1,56	0,73	28,4	13,32	1,52	46,4	0,1779	7,729	0,1621	6,008
3	0,4	7,3	1,66	1,55	0,75	26,3	13,27	1,49	43,9	0,3426	7,707	0,315	5,993
4													



RESULTATS			
Critère de rupture			
Valeur max		Valeur état final	
Cuu MPa	ϕ_{uu} degrés	Cuu MPa	ϕ_{uu} degrés
0,000	41,0	0,000	38,0



Compte rendu de l'Essai de cisaillement rectiligne

Cisaillement non consolidé - rapide

PROCES-VERBAL D'ESSAI

Nature du terrain : Sable grossier très limoneux brun ocre clair orangé à cailloutis

Dossier : VILLARGOIX

Sondage : SC1

Affaire : 21.221961

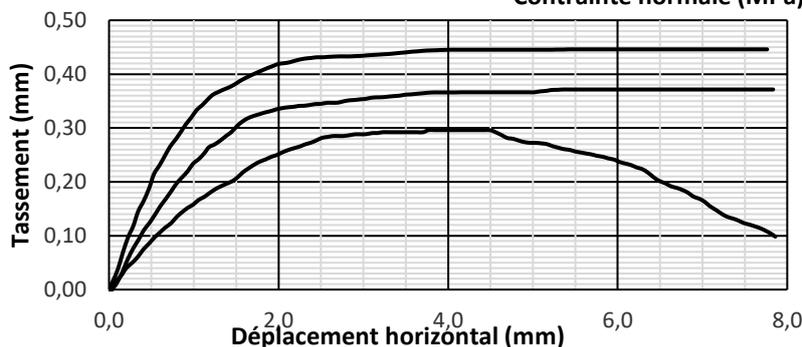
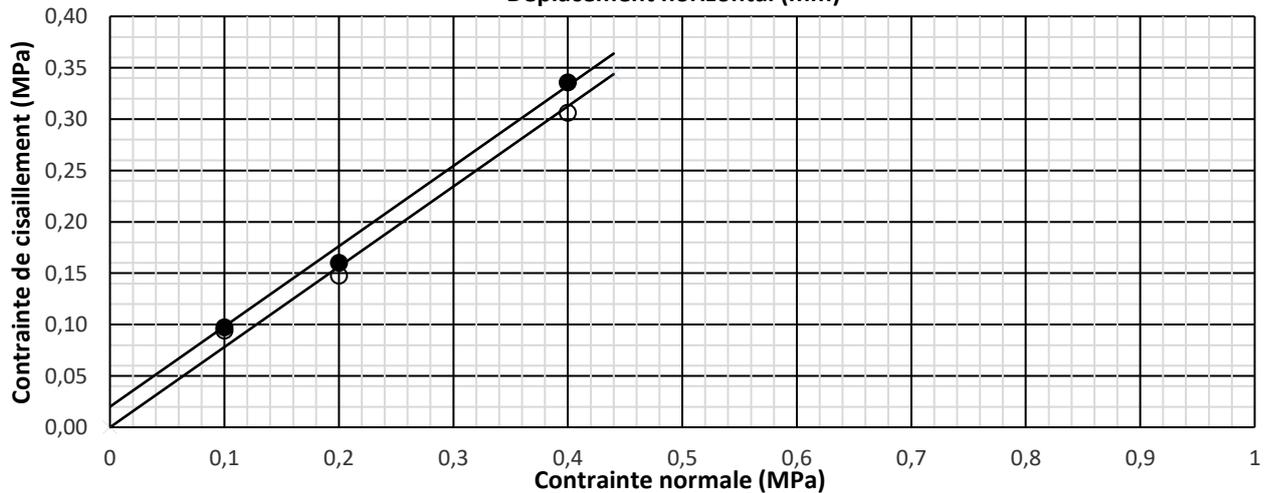
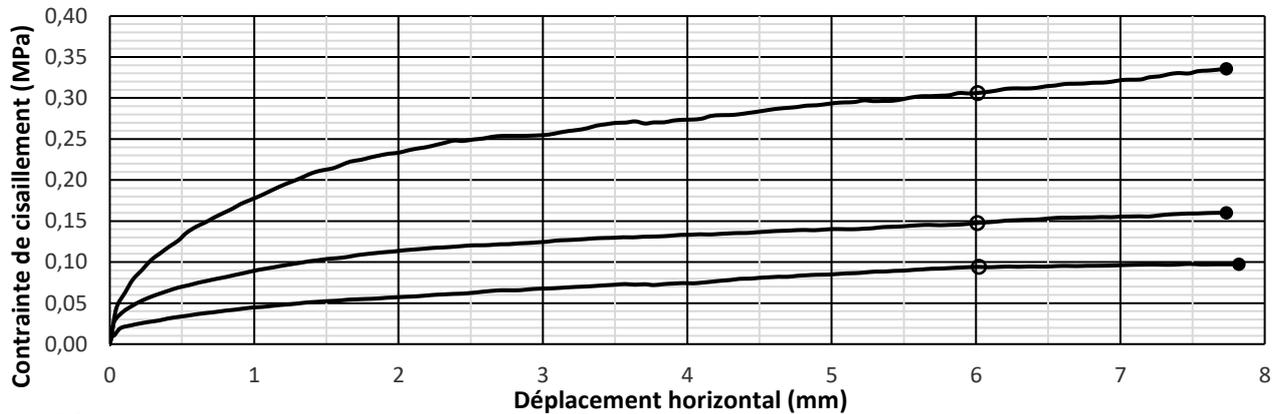
Profondeur : 1,35-1,70m

Date : 23/09/2022

Opérateur : ABR

Hauteur	Largeur	Vitesse de cisaillement	γ s estimé (g/cm ³):	2,7
23,2mm	60mm	2mm/mn	γ s mesuré (g/cm ³):	

Epr N°	σ'_v MPa	Caractéristiques initiales					Caractéristiques finales			Caractéristiques de cisaillement			
		W %	γ g/cm ³	γ_d g/cm ³	e	Sr %	W %	γ_d g/cm ³	Sr g/cm ³	τ^f_{pic} MPa	δl_{pic} mm	τ^f_{final} MPa	δl_{final} mm
1	0,1	3,1	1,66	1,61	0,68	12,3	14,1	1,47	45,5	0,0973	7,822	0,0942	6,021
2	0,2	5,0	1,67	1,59	0,70	19,5	14,64	1,48	48,2	0,1601	7,735	0,1477	6,009
3	0,4	4,7	1,66	1,58	0,70	18,2	13,92	1,49	46,0	0,3358	7,735	0,3062	6,011
4													



RESULTATS			
Critère de rupture			
Valeur max		Valeur état final	
C _{uu} MPa	ϕ_{uu} degrés	C _{uu} MPa	ϕ_{uu} degrés
0,020	38,0	0,000	38,0



Compte rendu de l'Essai de cisaillement rectiligne

Cisaillement non consolidé - rapide

PROCES-VERBAL D'ESSAI

Nature du terrain : Sable grossier très limoneux brun ocre clair orangé à cailloutis

Dossier : VILLARGOIX

Sondage : SC1

Affaire : 21.221961

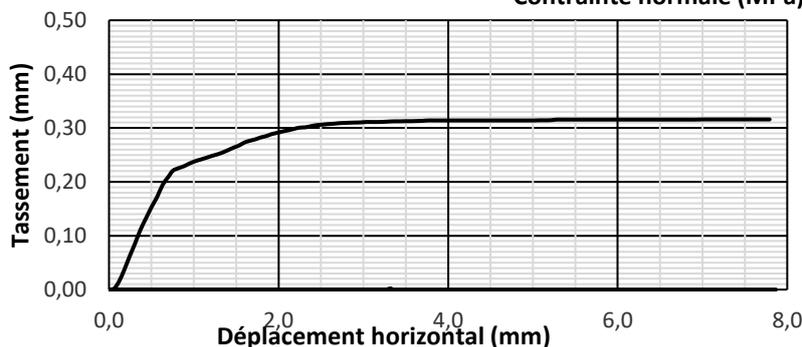
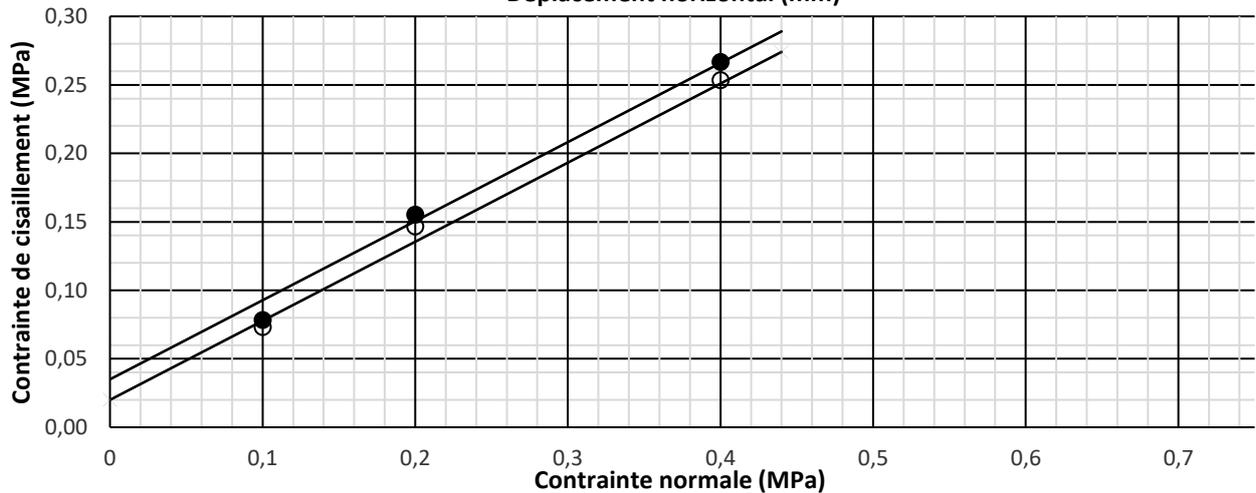
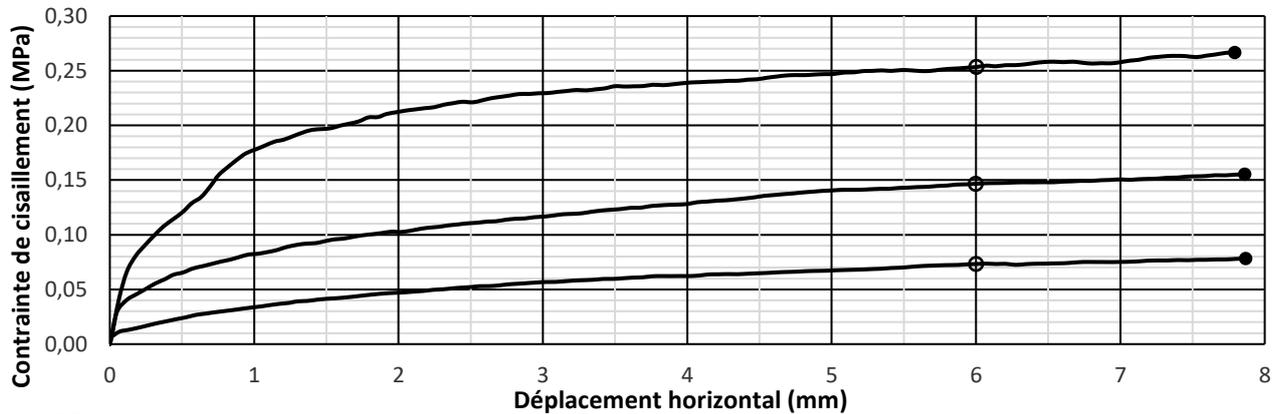
Profondeur : 2,00-2,35m

Date : 23/09/2022

Opérateur : VILLARGOIX

Hauteur	Largeur	Vitesse de cisaillement	γ s estimé (g/cm^3):	2,7
23,2mm	60mm	2mm/mn	γ s mesuré (g/cm^3):	

Epr N°	σ'_v MPa	Caractéristiques initiales					Caractéristiques finales			Caractéristiques de cisaillement			
		W %	γ g/cm^3	γ_d g/cm^3	e	Sr %	W %	γ_d g/cm^3	Sr g/cm^3	τ^f_{pic} MPa	δl_{pic} mm	τ^f_{final} MPa	δl_{final} mm
1	0,1	5,0	1,56	1,49	0,81	16,6	16,0	1,35	43,1	0,0783	7,867	0,0732	6,001
2	0,2	5,0	1,57	1,49	0,81	16,6	15,79	1,12	30,2	0,1552	7,861	0,1466	5,997
3	0,4	5,0	1,57	1,49	0,81	16,7	16,22	1,37	44,8	0,2668	7,792	0,2534	6,002
4													



RESULTATS			
Critère de rupture			
Valeur max		Valeur état final	
C _{uu} MPa	ϕ_{uu} degrés	C _{uu} MPa	ϕ_{uu} degrés
0,035	30,0	0,020	30,0