



# RAPPORT


## Étude géotechnique de conception

### Phase projet G2 PRO

## Glissement sur le talus de berge rive gauche

LUDRES (54710)

Canal de jonction

Référence : 2024/02328/NANCY/05				Mission G2PRO		
Indice	Date	Modifications Observations	Nbre pages	Établi par	Vérifié par	Approuvé par
			Texte + annexes			
0	26/05/2026	1 <sup>ère</sup> émission	66	R. GROSJEAN	L. PEZZOLO	D. PETITJEAN
A						
B						
C						

**Nb :** l'indice le plus récent de la même mission, annule et remplace les indices précédents

**AGENCE NANCY**  
125, rue Victor Lemoine  
54710 LUDRES  
Tél : 03.83.51.04.36  
Mail : [agence.nancy@geotec.fr](mailto:agence.nancy@geotec.fr)

**Siège social :**  
9 bld de l'Europe 21800 QUETIGNY  
Tél. : 03.80.48.93.20  
SAS au capital de 952 200 € - Siret 778 196501 00028  
Code NAF 7112B – Qualité OPQIBI  
Membre SYNTEC, USG et UPDS - [www.geotec.fr](http://www.geotec.fr)

# SOMMAIRE

<b>1. CADRE D'INTERVENTION</b>	<b>3 ET 3</b>
1.1 INTERVENANTS	3
1.2 DOCUMENTS EXPLOITES	3
1.3 MISSION	4
<b>2. RAPPEL DE L'HISTORIQUE DU SITE – CONTEXTE GEOLOGIQUE</b>	<b>5 A 18</b>
2.1 LE SITE	5 A 18
2.1.1 Historique du site	5
2.1.2 Travaux et ouvrages réalisés avant le premier glissement	5
2.1.3 Glissement de 2008	5 ET 6
2.1.4 Travaux de confortement de 2011-2012	6 A 18
<b>3. CADRE GEOLOGIQUE – MISE A JOUR DES MESURES</b>	<b>19 A 25</b>
3.1 CONTEXTE GEOLOGIQUE	19
3.2 HYDROGEOLOGIE	19 ET 20
3.3 MESURES INCLINOMETRIQUES AUTOMATIQUES – SONDAGES SP1 / SC2 / SC3	21 A 24
3.4 MESURES CLINOMETRIQUES SUR LES PALPLANCHES	24 et 25
3.5 CONCLUSION DES MESURES REALISEES	25
<b>4. PRINCIPE DES ETUDES – CALAGE SUR UN ETAT INITIAL</b>	<b>26 et 27</b>
4.1 PRINCIPE DES SOLUTIONS ETUDIEES	26
4.2 PRINCIPE DES CALCULS DE STABILITE GENERALE	26
4.3 CHOIX DE LA CONFIGURATION INITIALE – ETAT D'INSTABILITE ACTUEL	26 et 27
<b>5. ANALYSE DE STABILITE GENERALE – PROFIL DE CONFORTEMENT PHASE 1</b>	<b>28 et 29</b>
5.1 CALCULS DE STABILITE- AVANT-PROJET	28
5.1.1 Modèle de terrain	28
5.1.2 Conditions hydrauliques	28
5.1.3 Reprofilage de talus considéré en phase PRO	28
5.1.4 Résultats des calculs	29
<b>6. DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES COMPLEMENTAIRES</b>	<b>30 A 32</b>
6.1 DRAINAGE GENERAL	30
6.2 EPERONS DRAINANTS	30 ET 31
6.3 ACCES A LA RISBERME	32
6.4 VEGETALISATION DES TALUS	32
6.5 INSTRUMENTATION ET SUIVI GEOTECHNIQUE	32
<b>7. RECOMMANDATIONS POUR LA MISE AU POINT DU PROJET</b>	<b>33</b>
CONDITIONS GENERALES	34 A 36
ENCHAINEMENT DES MISSIONS D'INGENIERIE GEOTECHNIQUE	37
TABLEAU 2 - CLASSIFICATION DES MISSIONS D'INGENIERIE GEOTECHNIQUE	38 ET 39
ANNEXES	40 A 66
ANNEXE 1 – PLAN DE SITUATION	41 A 44
ANNEXE 2 – PROFIL TYPE DU REPROFILAGE	45 ET 46
ANNEXE 3 – CALCULS DE STABILITE GENERALE	47 A 66

## 1. CADRE D'INTERVENTION

### 1.1 INTERVENANTS

A la demande et pour le compte des VOIES NAVIGABLES DE FRANCE, GEOTEC a réalisé la présente étude sur le site suivant :

Canal de jonction, commune de LUDRES (54710). Bief de partage.

### 1.2 DOCUMENTS EXPLOITES

Les principaux documents exploités sont les suivants :

Document	Émetteur	Date
Rapport de diagnostic géotechnique G5 2024/02328/NANCY/01 Ind A	GEOTEC	06/12/2024
Rapport géotechnique G2AVP 2024/02328/NANCY Ind C		21/01/2025
Levés topographiques	Cabinet CLERGET	21/05/2026

Le rapport de diagnostic G5 est joint au DCE. Nous rappelons ci-dessous les documents exploités pour cette phase G5. Cette étude présente notamment les sondages et les mesures réalisées en 2024. On se reportera à ce rapport pour le détail des reconnaissances et essais, des mesures et de l'historique.

Document pour G5	Émetteur	Date
Rapport de diagnostic géotechnique	HYDROGEOTECHNIQUE	23/07/2008
Rapports de diagnostic géotechnique de part et d'autre du glissement		03/09/2010 24/11/2010
Relevé de l'aqueduc	SCP SUAIRE	06/09/2011
Dossier EXE – Levé TN du 20/07/2011	GUINTOLI	20/07/2011
Levé TN du 20/07/2011 – 17 profils		
Levé du 20/07/2011 – Vues 3D		
Dossier EXE – Plan terrassements phase 1 1 profil AA		04/10/2011
Plan d'implantation des pieux - Ind C		

Les principaux textes de référence utilisés pour la rédaction de ce rapport sont les suivants :

- NF EN 1997-1 : EUROCODE 7 – Calcul géotechnique – Partie 1 : Règles générales.
- NF EN 1997-2 : EUROCODE 7 – Calcul géotechnique – Partie 2 : Reconnaissance des terrains et essais.

### 1.3 MISSION

Conformément à son offre référence 2024/02328/NANCY du 11/02/2026, GÉOTEC a reçu une mission d'assistance à maîtrise d'œuvre comprenant la phase G2PRO objet de ce rapport, selon la norme NF P 94-500 révisée en novembre 2013.

Conformément à la demande de VNF, les travaux confortatifs objet de la présente étude, ne concernent que les mesures d'urgence à prendre pour assurer la stabilité provisoire du talus, sans intervention sur le soutènement existant le long des berges, qui est déversé. On distinguera donc le phasage suivant :

- **Phase 1** : mesures d'urgence pour la stabilité provisoire du talus.
- **Phase 2** : confortement des berges, qui sera traité ultérieurement.

L'exploitation et l'utilisation de ce rapport doivent respecter les « Conditions générales » données en fin de rapport.



## 2. RAPPEL DE L'HISTORIQUE DU SITE – CONTEXTE GEOLOGIQUE

### 2.1 LE SITE

#### 2.1.1 Historique du site

Le canal date des années 1870. Sur ce secteur, il a nécessité un terrassement en déblai de 10 à 12 m de hauteur pour former une tranchée talutée avec une pente moyenne de 25° environ.

Le glissement se situe dans la zone de plus grande hauteur des talus.

D'après le rapport d'Hydrogéotechnique qui présente des éléments historiques (archives ?, observations sur site), les talus ont été à l'origine revêtus d'un perré en maçonnerie en partie basse, et ils comportaient des tranchées drainantes remplies de blocs, observées suite au glissement de 2008. Des conduits et descentes d'eau évacuaient les eaux vers le canal. Nous ne disposons pas de données de suivi du chantier des travaux de confortement de 2011, qui consigneraient des observations permettant de confirmer ces éléments historiques.

Des arbres se sont ensuite développés au fil du temps.

#### 2.1.2 Travaux et ouvrages réalisés avant le premier glissement

- Aqueduc n°1 construit en pied de talus rive Nord sous le chemin de contre halage, en 1906, pour l'alimentation en eau potable de la ville de NANCY. Ovoïde en béton de 1 m de largeur et 1,5 m de hauteur. Il a été conforté dans les années 1976-80.
- 1989-1990 : deux glissements de talus dans le secteur, qui ont endommagé l'aqueduc n°1.
- 1990-1991 : mise en place de l'aqueduc n°4 en tête de talus. Canalisation de 1200 mm de diamètre enterrée d'environ 7 m sur cette zone (génératrice supérieure vers la cote 248,30 m NGF).

La fouille s'étendait en tête entre la limite de propriété et la crête de talus. Talutage en redans puis fouille verticale de 2 m de largeur au niveau de la canalisation. Lit de pose et enrobage en sable et graves.

Remblaiement de la tranchée avec les matériaux extraits.

- Après la pose de l'aqueduc en 1991, creusement d'un fossé parallèle à la crête de talus, à environ 14 m en arrière de celle-ci, avec exutoire en extrémité Ouest de la zone de glissement.

#### 2.1.3 Glissement de 2008

Glissement début mai 2008, entre les PK.2100,49 et 2366,12 de l'aqueduc n°4. Constats le 16/05/2008.

Le glissement a affecté toute la hauteur du talus, sur une longueur d'environ 100 m en crête, et de 150 m au niveau du canal.

Décrochement de 2 à 4 m en tête. Ce décrochement est proche de l'aplomb de l'aqueduc. Avancée de 4 à 5 m dans le canal.

Une inspection de la canalisation le 16/05/2008 n'a pas mis en évidence d'anomalie.

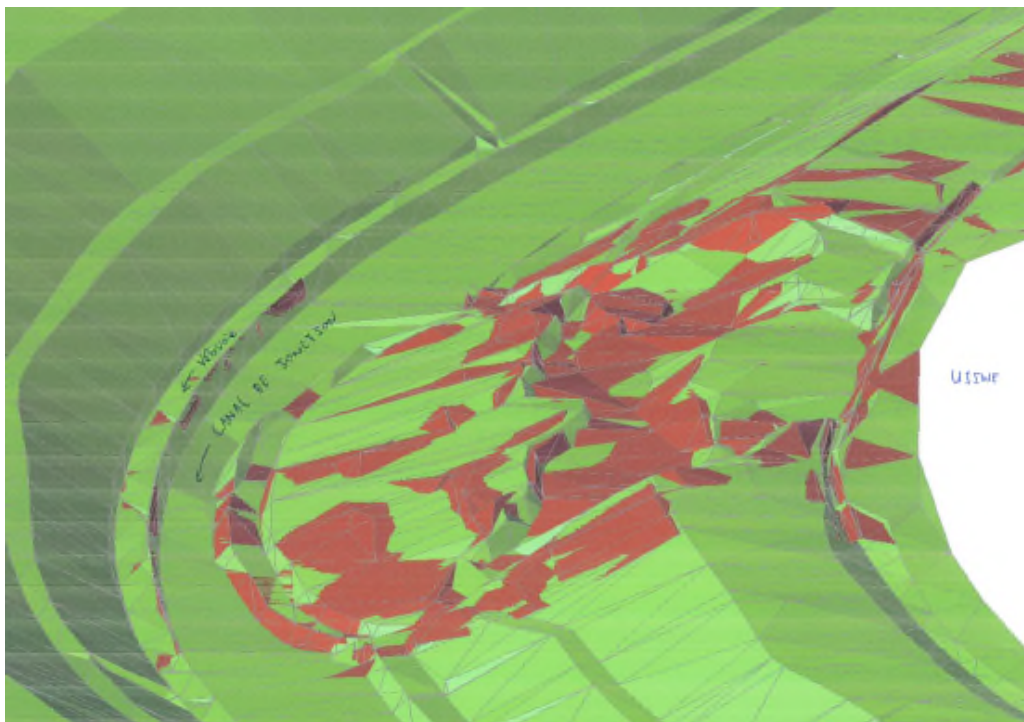


Figure 1 : modélisation 3D du levé topographique du glissement, en 2011.

#### 2.1.4 Travaux de confortement de 2011-2012

Les travaux de confortement se sont déroulés fin 2001 – début 2012. Le déroulement schématique est le suivant :

- Mi-décembre 2011 : piste d'accès et premier terrassement d'une plate-forme en tête du talus. On observe des mouvements résiduels sur la plate-forme.



Figure 2 : photographie du 14/12/2011.



Figure 3 : photographie du 15/12/2011.

- Repérage de la canalisation. Ouverture des fissures sensiblement à l'aplomb de la canalisation. Initialement cette plate-forme devait être utilisée pour mettre en place des pieux forés béton juste à l'aval de la conduite.



Figure 4 : photographie du 19/12/2011



- Suite aux mouvements constatés, il est décidé de réaliser un rideau de pieux jointifs diamètre 700 mm, à l'amont de la conduite, à environ 4 à 5 m en arrière de celle-ci. Dans le même temps, mise en place d'un nouveau rideau de palplanches métalliques en berge du canal.

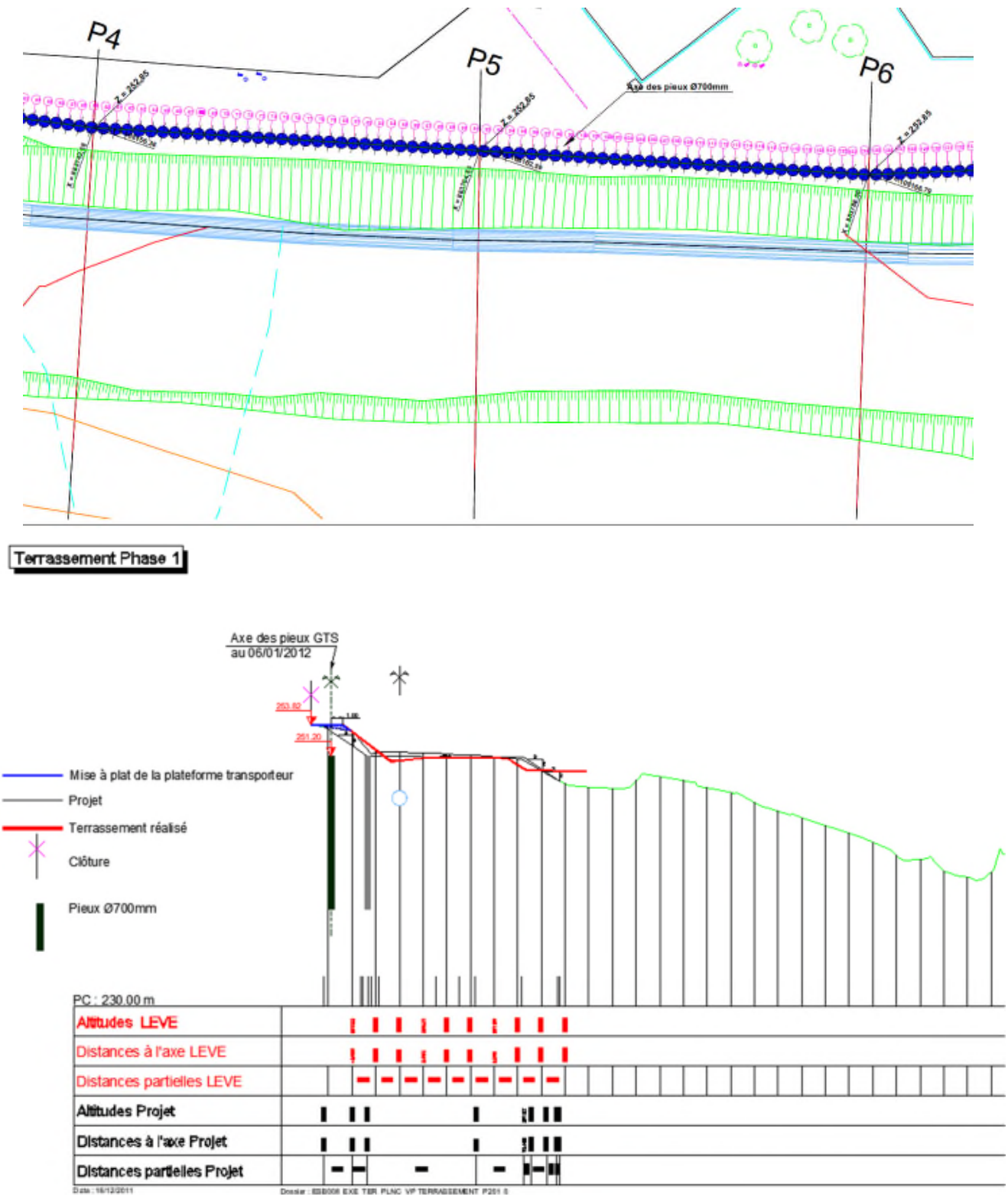


Figure 5 : extraits du plan d'implantation des pieux.



Figure 6 : forage des pieux. Photographie du 25/01/2012.



Figure 7 : photographie du 25/01/2012.



Figure 8 : forage des pieux et cages d'armatures. 25/01/2012.



- Nouveau rideau de palplanches métalliques en berge du canal.

Du fait des bonnes caractéristiques mécaniques et de la nature cohérente du substratum marneux, difficultés de battage des palplanches et réduction d'environ 40 cm de la fiche prévue par les études.

Conception d'un rideau avec refends pour permettre de justifier la stabilité. Refends de 4,2 m de longueur. Le frottement sur le refend est pris en compte sous les terrains glissés.

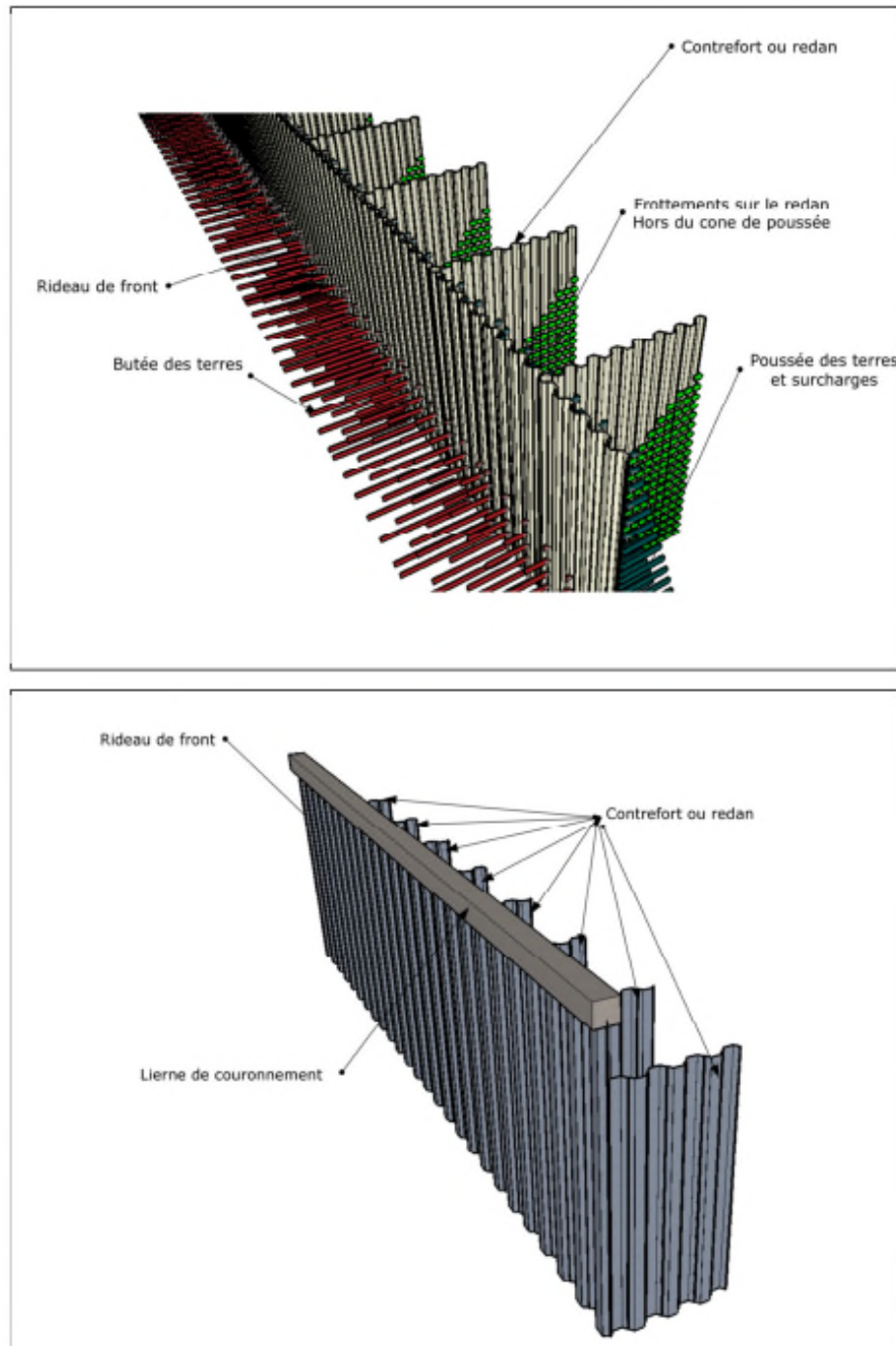


Figure 9 : hypothèses pour la conception du rideau de palplanches. Extraits des notes de calculs, il ne s'agit pas de documents de récolement).

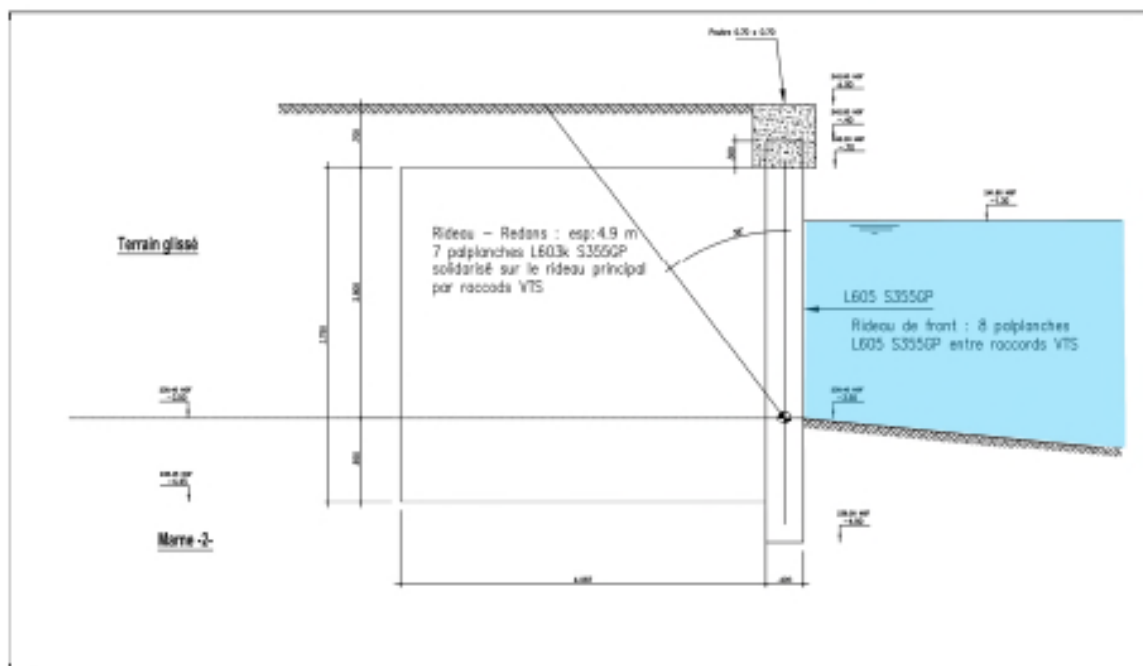


Figure 10 : extrait de la note de calculs des palplanches. Ind A du 06/12/2011. Valétudes.

- Terrassement des sols glissés, devant le rideau de pieux. Février 2012.

Deux talus successifs avec une pente de l'ordre de 3H/2V.

Repérage précis de la génératrice supérieure de la conduite d'eau, par une série de fouilles.



Figure 11 : terrassement après réalisation des pieux et repérage de l'aqueduc. 29/02/2012.





Figure 12 : terrassement. Vue depuis l'Est. 29/02/2012.



Figure 13 : terrassement et battage des palplanches. 29/02/2012.



Figure 14 : rideau de palplanches avec refends. 29/02/2012.

- Mise en place d'une couche granulaire, pour drainage de la base des remblais. Pose sur un géotextile apparemment non tissé. Apparemment il n'a pas été mis en place de géotextile entre la couche granulaire et les remblais d'argile traitée (géotextile non visualisé par les sondages, en général il se déchire et n'est pas prélevé). Ceci serait à confirmer par des documents de récolement dont nous ne disposons pas, mais la pollution argileuse très importante de cette couche va dans ce sens.

Des fissures apparaissent encore en tête et au pied du talus, à l'aval de la conduite (voir figure 16).



Figure 15 : couche granulaire en cours. 16/03/2012.





Figure 16 : fissures résiduelles à la base des matériaux glissés, amorcées ou réactivées pendant les travaux.

- Remblaiement avec les matériaux extraits, traités à la chaux, pour restaurer le talus. Juin – juillet 2012.



Figure 17 : photographie du 13/06/2012.



Figure 18 : photographies du 06/07/2012.



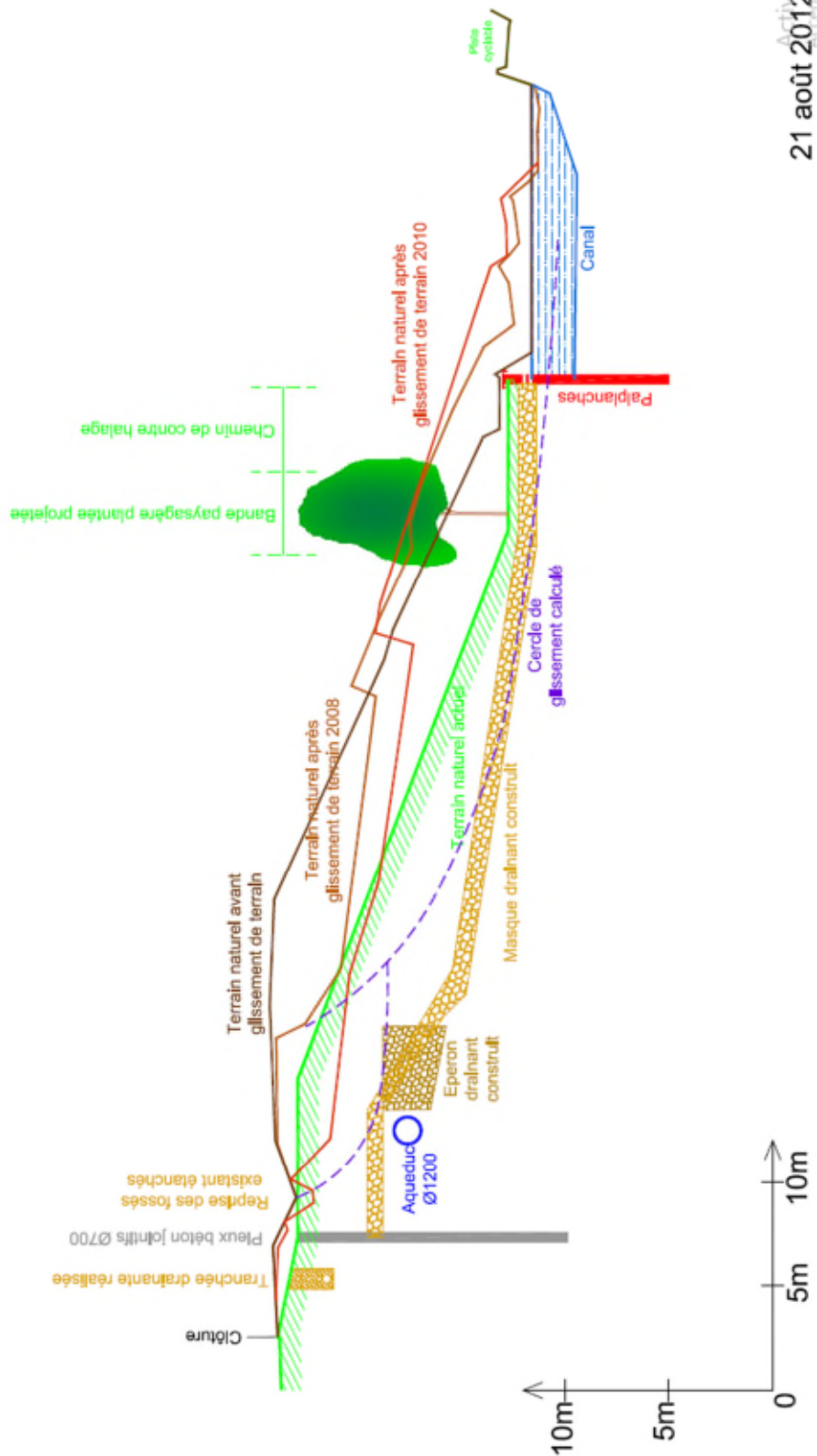


Figure 19 : photographies du 24/07/2012.

Eléments complémentaires transmis par la METROPOLE DU GRAND NANCY, suite à la réunion du 17/09/2024 :

Schéma type des aménagements de 2012.

**Stabilisation du talus suite au glissement de terrain affectant le canal de jonction à Ludres -  
Profil en travers type des aménagements réalisés**



21 août 2012

Figure 20 : profil type des dispositions de 2012.

### 3. CADRE GEOLOGIQUE – MISE A JOUR DES MESURES

#### 3.1 CONTEXTE GEOLOGIQUE

D'après la carte géologique de NANCY au 1/50000<sup>ème</sup>, le contexte géologique est le suivant :

- Couverture sablo-limoneuse a priori peu épaisse.
- Substratum marneux du Domérien « marnes à Amalthées ».



Figure 23 : extrait de la carte géologique du BRGM.

Comme indiqué dans le rapport Hydrogéotechnique de 2008, on peut dire que le canal a été terrassé en déblai dans le substratum marneux sur une épaisseur importante, car avant tout aménagement de la zone industrielle, la marne devrait être relativement peu profonde sous les limons de couverture, et sous la frange d'altération.

#### 3.2 HYDROGEOLOGIE

On se reportera à l'étude G5 pour l'analyse des mesures entre le 21/05/2024 et le 25/10/2024.

Un dernier relevé des piézomètres a été effectué le 20/05/2026.

La provenance exacte de l'eau est difficile à préciser, mais les brusques remontées mises en évidence par le suivi automatique traduisent des arrivées relativement rapides, donc dans les niveaux les plus perméables, vraisemblablement les remblais, notamment les remblais granulaires plus ou moins pollués par les argiles (voir les figures ci-après).

#### Relevés manuels

PZ le 14/06/2024							
		Eau/capot	Capot/sol	Eau/sol	Cote NGF eau	Cote TA	
Profil 2	SC1 auto	7,31	0,85	6,46	247,25	253,71	HAUT
Profil 3	SP3	6,7	0,7	6	243,23	249,23	MILIEU
Profil 1	SP4	5,8	0,4	5,4	243,92	249,32	
Profil 2	SP5	1,7	0,4	1,3	241,65	242,95	BAS
Profil 1	SP6	1,95	0,6	1,35	241,65	243,00	

PZ le 25/10/2024							
		Eau/capot	Capot/sol	Eau/sol	Cote NGF eau	Cote TA	
Profil 2	SC1 auto	7,3	0,85	6,45	247,26	253,71	HAUT
Profil 3	SP3	6,7	0,7	6	243,23	249,23	MILIEU
Profil 1	SP4	6,0	0,4	5,6	243,72	249,32	
Profil 2	SP5	1,45	0,4	1,25	241,70	242,95	BAS
Profil 1	SP6	1,95	0,6	1,35	241,65	243,00	

	PZ le 20/05/2026						
		Eau/capot	Capot/sol	Eau/sol	Cote NGF eau	Cote TA	
Profil 2	SC1 auto	7,77	0,85	6,92	246,79	253,71	HAUT
Profil 3	SP3	6,35	0,7	5,65	243,58	249,23	MILIEU
Profil 1	SP4	5,82	0,4	5,42	243,90	249,32	
Profil 2	SP5	1,63	0,4	1,23	241,72	242,95	BAS
Profil 1	SP6	1,95	0,6	1,35	241,65	243,00	

#### Relevés automatiques en SC1 – Haut du talus actuel

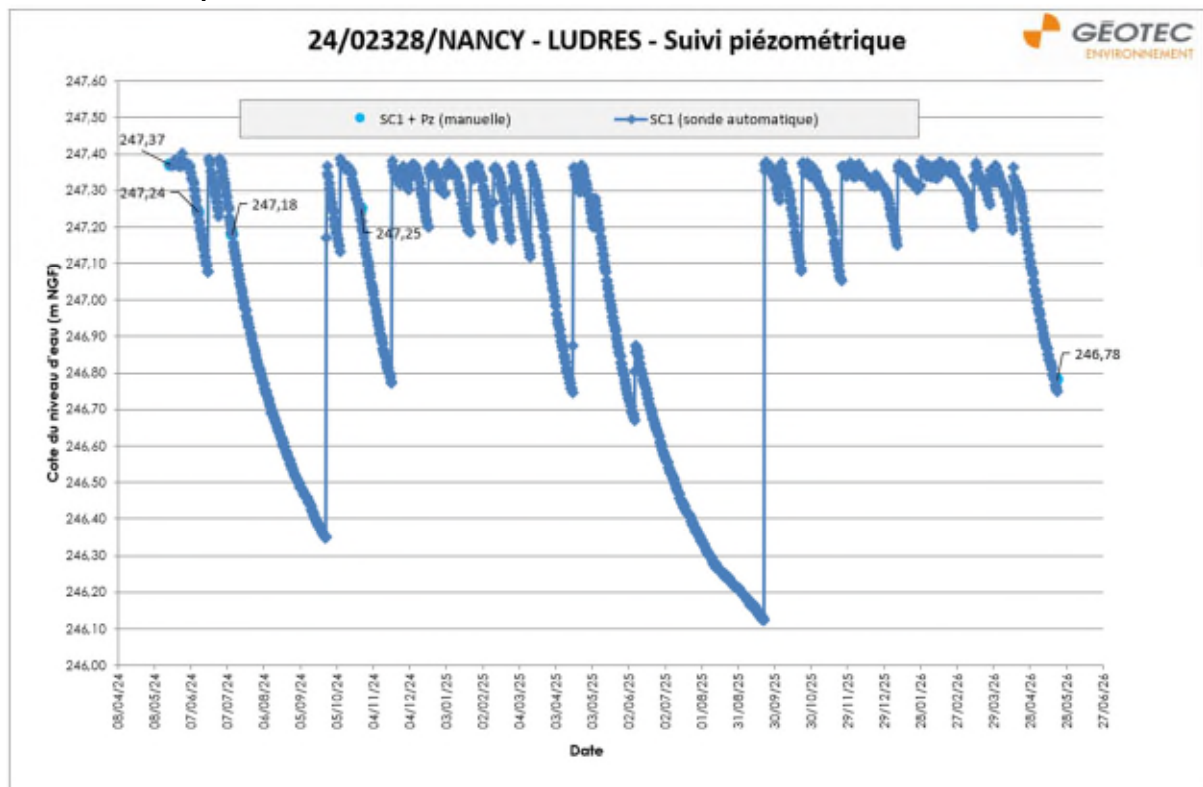


Figure 24 : suivi piézométrique entre mai 2024 et mai 2026.

On constate un battement du niveau d'eau régulier de 10 à 30 cm, et de brusques remontées (sur quelques jours) de 0,6 à près de 1,3 m, qui correspondent à des épisodes pluvieux (voir la figure 28 plus loin). En période estivale, la descente est plus lente, et se produit sur plusieurs mois (3 à 4 mois) entre les épisodes de pluviométrie marquée. **Dans des niveaux perméables piégés sous des argiles, il peut donc se produire des sous-pressions, très défavorables pour les conditions de stabilité, ce qui est corrélé avec les mouvements observés.**



### 3.3 MESURES INCLINOMETRIQUES AUTOMATIQUES – SONDAGES SP1 / SC2 / SC3

Les mesures ont débuté le 24/04/2024. Elles sont toujours en cours.

La surface de glissement mise en évidence est schématisée sur les profils en annexe. Les mesures montrent que la profondeur de la surface de glissement n'a pas évolué depuis l'étude G5 du 06/12/2024.

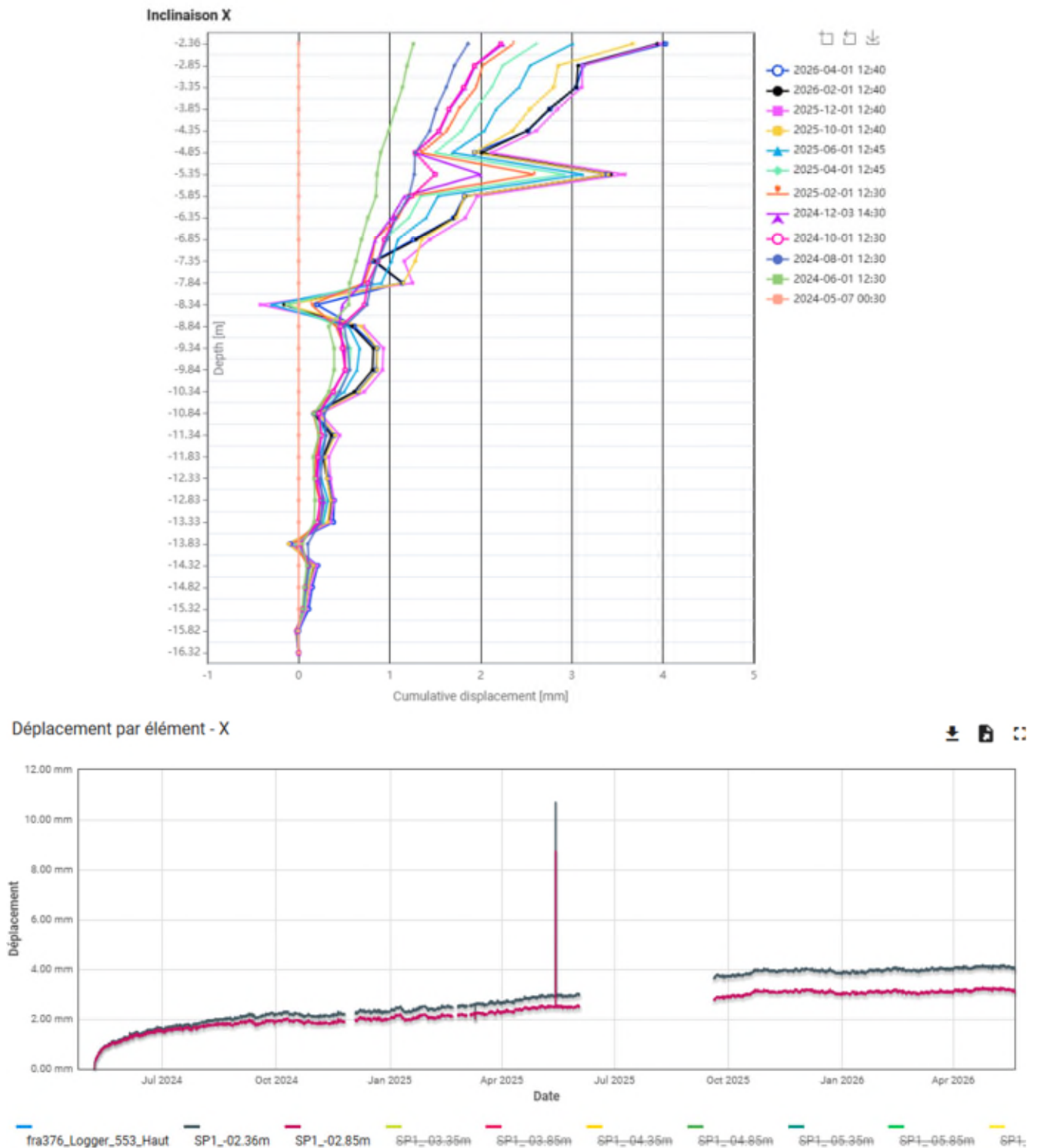
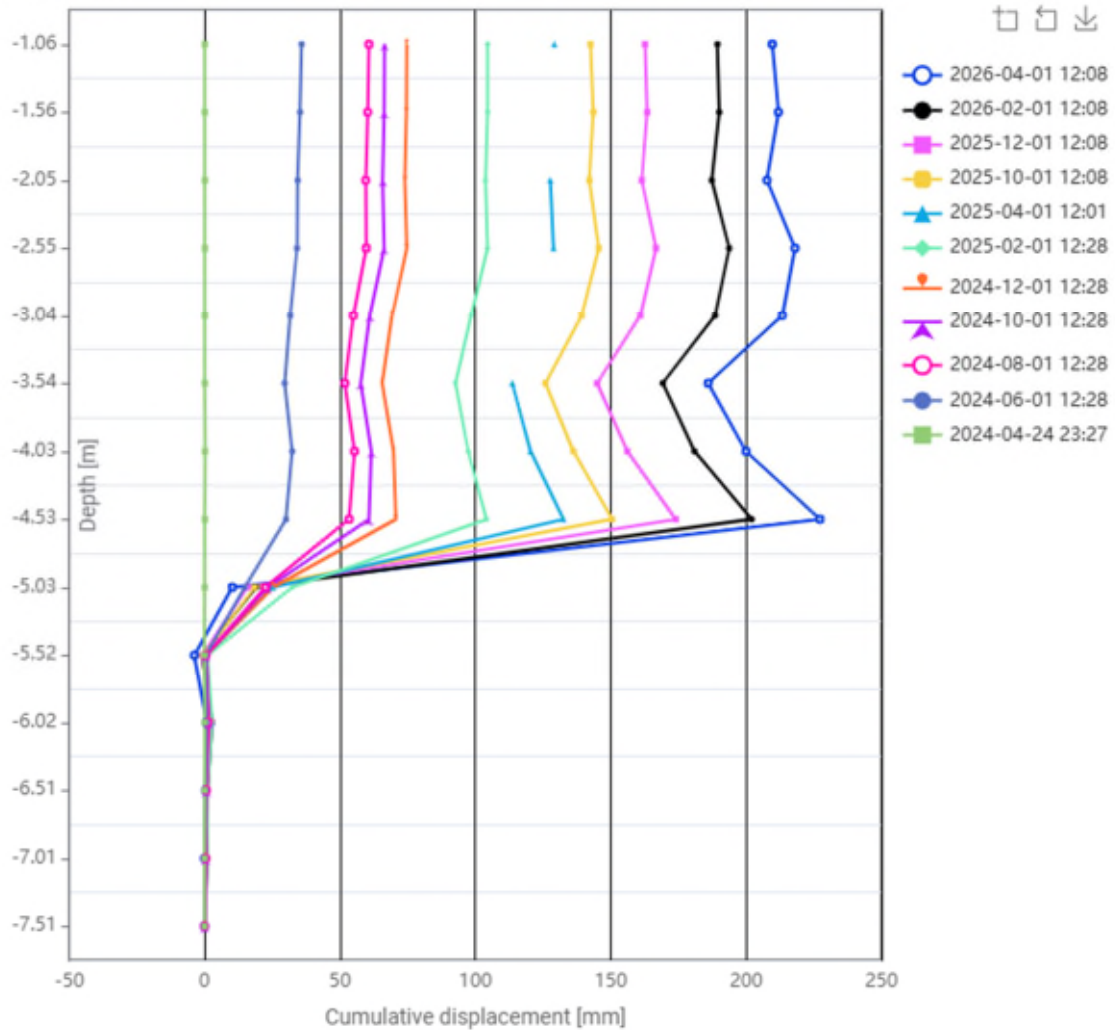


Figure 25 : courbe inclinométrique et évolution du déplacement à -2,4 m, en tête de talus, hors glissement (SP1).

### Inclinaison X



### Déplacement par élément - X

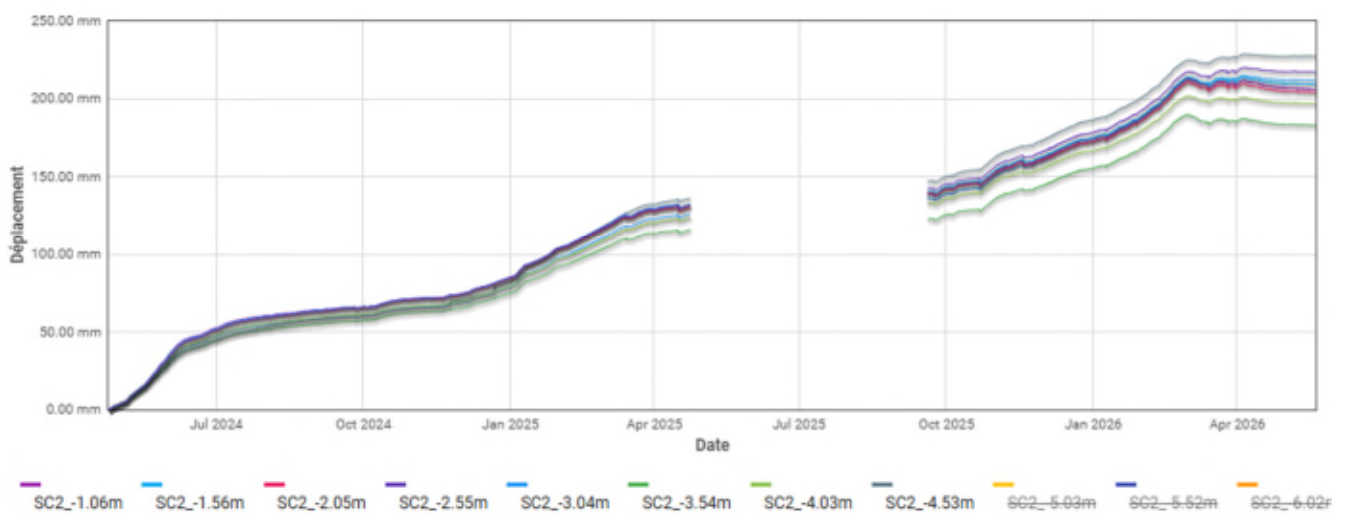
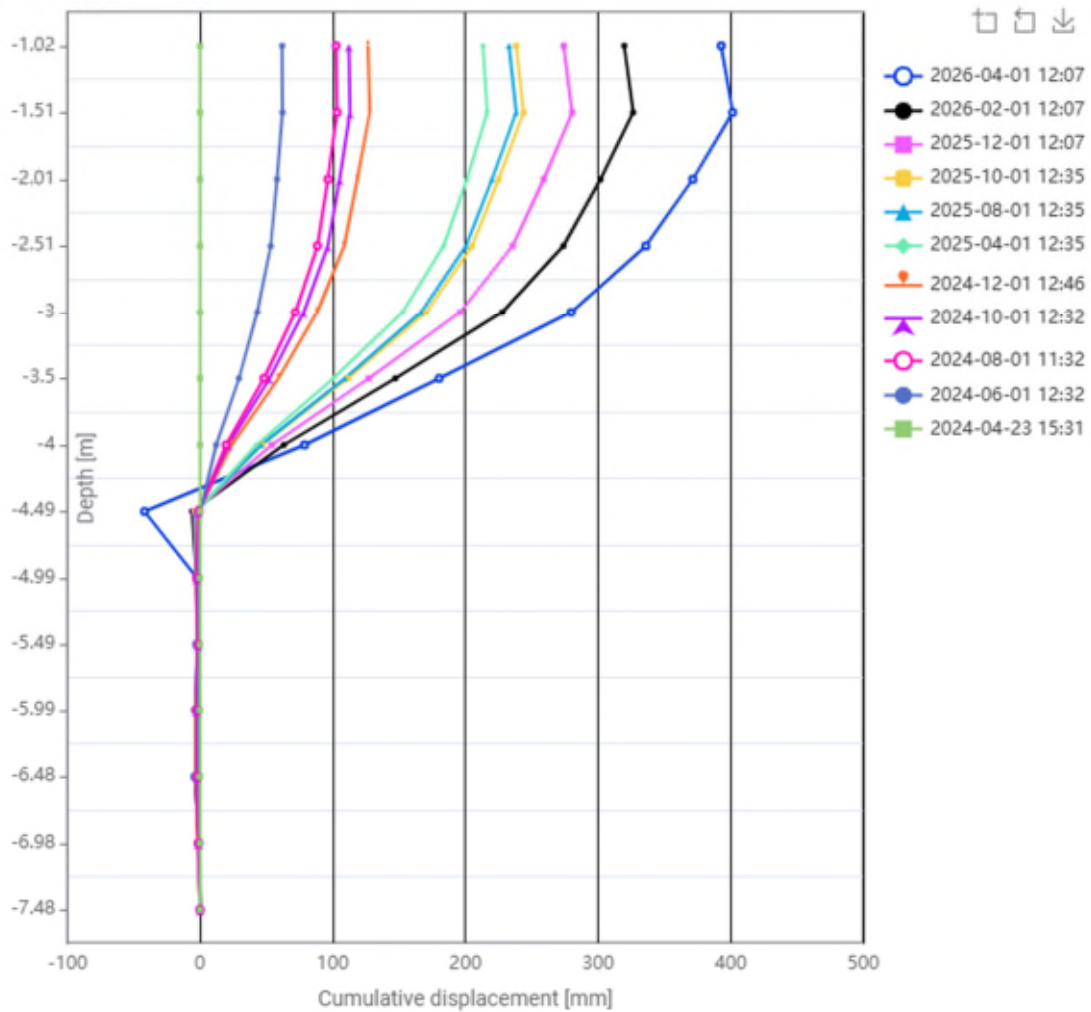


Figure 26 : courbe inclinométrique et évolution du déplacement entre -1 m et -4,5 m/TA, à mi-talus (SC2).



### Inclinaison X



### Déplacement par élément - X

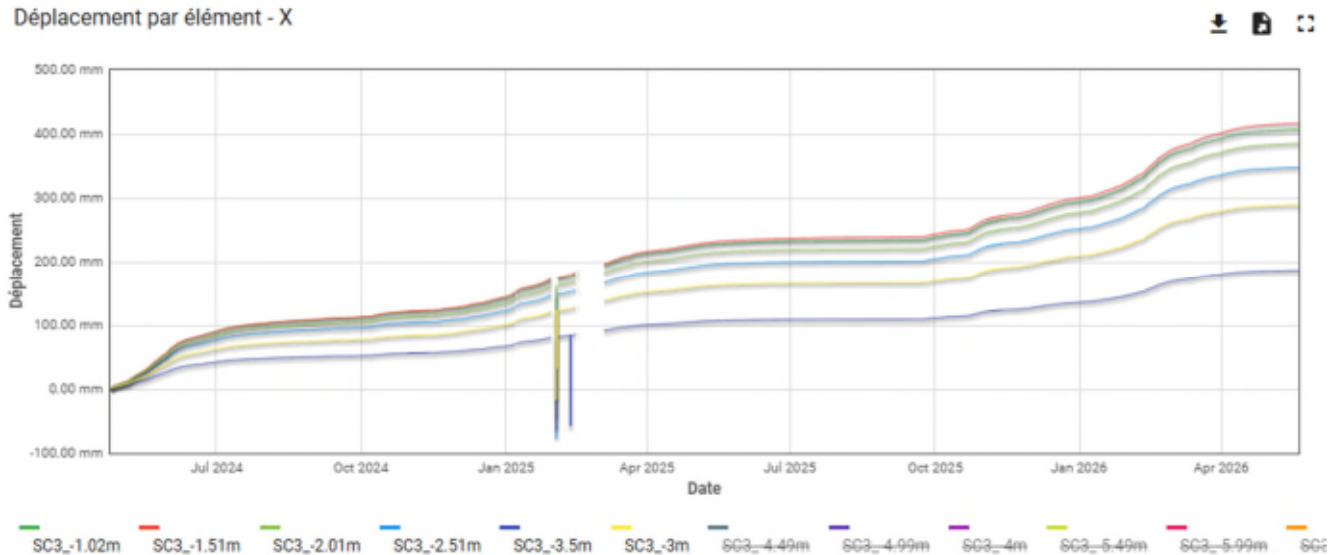


Figure 27 : courbe inclinométrique et évolution du déplacement entre -1 m et -3 m/TA, en pied de talus (SC3).

A titre indicatif, la pluviométrie sur NANCY est la suivante dans la même période :

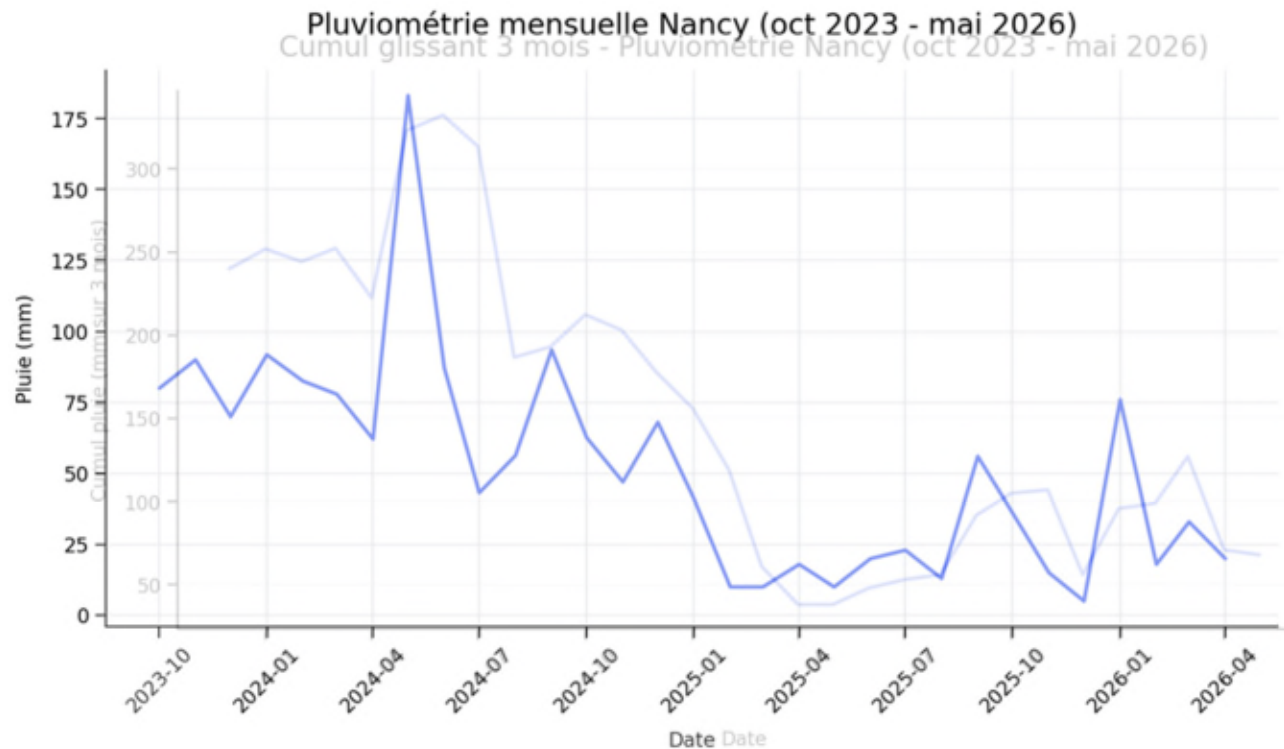


Figure 28 : pluviométrie sur NANCY.

On note une accélération des déplacements en période hivernale, avec des pluviométries plus importantes. Le déplacement important mesuré dès le démarrage des mesures en mai 2024 est corrélé avec le pic de forte pluviométrie mesurée à cette période.

En surface, le déplacement en surface mesuré depuis le début des mesures atteint 40 cm en pied de talus, et 23 cm à mi/talus. Les principales phases de mouvement correspondent aux périodes hivernales, avec une poursuite importante en février-mars 2026 (augmentation d'environ 10 cm en pied de talus).

### 3.4 MESURES CLINOMETRIQUES SUR LES PALPLANCHES

Clino-1 : côté Est.

Clino-2 : côté Ouest.

Ils sont implantés à chaque bord du glissement, sur des zones où la déformation des palplanches est maximale.

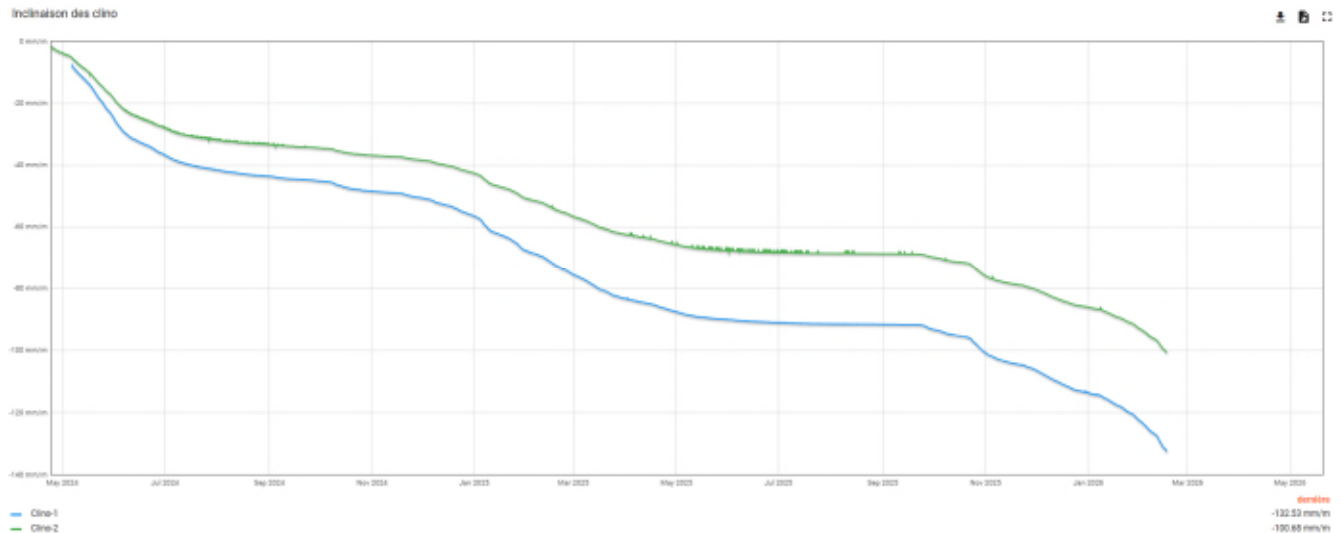


Figure 29 : évolution des clinomètres sur les palplanches.

L'évolution du déversement des palplanches suit sensiblement celle des déplacements dans le glissement.

**On note également une accélération sur la période fin 2025/début 2026, comme déjà observé début 2025.**

### 3.5 CONCLUSION DES MESURES REALISEES

Les mesures inclinométriques mettent en évidence une poursuite des déplacements de la masse instable, et du déversement des palplanches de la berge, avec encore une accélération marquée durant la période hivernale 2025-2026.

Ces déplacements sont corrélés avec les remontées des niveaux piézométriques, mises en évidence par le suivi piézométrique automatique, ce qui souligne l'action de l'eau.

Il apparaît donc un risque d'une rupture complète du soutènement de berge, et du glissement de la masse en mouvement dans le canal.

**Compte tenu du caractère évolutif du glissement, et des vitesses des déplacements en période hivernale, l'urgence de travaux confortatifs est donc manifeste.**

## 4. PRINCIPE DES ETUDES – CALAGE SUR UN ETAT INITIAL

### 4.1 PRINCIPE DES SOLUTIONS ETUDIEES

A la demande de VNF, nous étudions une solution de confortement considérée comme provisoire, visant dans un premier temps à augmenter la stabilité en se limitant à un reprofilage du talus. Ce reprofilage s'accompagnera de mesures de drainage des remblais de 2011 laissés en place, par réalisation d'éperons drainants.

Il s'agira de la phase 1, objet de ce marché.

La phase 2 consistera à réaliser un nouveau soutènement de berge ayant également une fonction de clouage des sols, ancré en profondeur dans la marne compacte. Ceci implique des moyens de forage et la mise en place d'éléments de type pieux métalliques verticaux en pied de talus, ancrés en profondeur dans les sols marneux sous la surface de glissement, et implantés au niveau de la berge.

Cette 2<sup>ème</sup> phase fera l'objet d'une étude spécifique ultérieurement.

### 4.2 PRINCIPE DES CALCULS DE STABILITE GENERALE

La stabilité générale du talus est étudiée vis-à-vis d'une rupture de type rotationnelle à l'aide du logiciel TALREN V6.1.6.

La méthode utilisée détermine la surface le long de laquelle l'état de contrainte est le plus proche de l'état de rupture. Ici on utilise la méthode de Bishop.

La ligne (surface) de rupture étudiée est ici une courbe donnée par les mesures inclinométriques, les résultats des essais in situ et les observations sur site avec profils topographiques. On tient compte de la nature et des propriétés des différentes couches de sol.

Le calcul « classique » (approche unitaire) considère un coefficient de sécurité global sur la résistance au cisaillement du sol. Il y a rupture pour  $F = 1$ . On considère que la stabilité est assurée avec une sécurité suffisante si  $F_{global} \geq 1,30$  ou  $1,50$  suivant le type d'ouvrage ( $1,30$  pour un ouvrage provisoire).

Cette méthode est utilisée lorsqu'on doit se caler sur un état initial réputé en limite de stabilité. Pour améliorer la stabilité d'un ouvrage tout juste stable, on recherche habituellement une augmentation de sécurité de 30 % (cf. Prévention et stabilisation des glissements de terrain – LCPC – décembre 2010).

La méthode de calcul aux Etats Limites Ultimes (Eurocodes) consiste à comparer les contraintes de cisaillement résultant des actions extérieures aux contraintes de cisaillement mobilisables résultants des efforts résistants, chacun des efforts étant affecté d'un coefficient de pondération (pour les efforts extérieurs) ou d'un coefficient partiel de sécurité (pour les efforts résistants). On considère que la stabilité est assurée avec une sécurité suffisante si  $F_{ELU} \geq 1,00$ . Une valeur légèrement inférieure à 1 ne signifie pas qu'il y a rupture, mais que la stabilité est assurée pour des coefficients de sécurité partiels sur les paramètres de résistance globalement plus faibles que ceux fixés par les normes.

On considère alors les coefficients partiels de l'approche 3 de l'Eurocode.

Dans le cas présent, on utilise la méthode « classique » pour pouvoir se caler sur un état juste instable (déclenchement du glissement observé).

### 4.3 CHOIX DE LA CONFIGURATION INITIALE – ETAT D'INSTABILITE ACTUEL

On reprend les différents calculs effectués pour le diagnostic, pour recalculer un état 0 représentatif d'une configuration correspondant à l'état instable de déclenchement du glissement. La surface de glissement considérée est tracée à partir des relevés inclinométriques à mi-talus et en partie basse, à partir de la position du décrochement observé en tête, et à partir de la géométrie de la couche granulaire mise en œuvre en 2012 (à partir des données d'archives disponibles et des sondages réalisés pour l'étude G5 de 2024).

Le profil de calculs est présenté en annexe, avec schématisation du rideau de palplanches, des pieux en tête de talus et des dispositions de terrassements, suivant les données disponibles concernant les travaux de 2011-2012.

Le modèle est celui du profil P3 du diagnostic, avec la configuration suivante :

- **Profil de talus P3** dans sa configuration initiale avant glissement.
- **Couche d'argile marneuse altérée (« couche savon »)**, dans laquelle se produit le glissement, sous la couche drainante mise en place lors des travaux de 2012.
- **Nappe** au niveau de la conduite en partie haute, dans la couche granulaire suivant le niveau maxi du relevé piézométrique, puis se raccordant au niveau du canal considéré à la cote 241,60 m NGF.

Le modèle de terrain est affiné en partie haute du talus, hors du glissement.

Dans ces conditions, on obtient une sécurité globale  $F = 0,98$  qui représente l'état instable de déclenchement du glissement, et l'état de référence pour le dimensionnement du confortement.

La note de calcul est présentée en annexe.

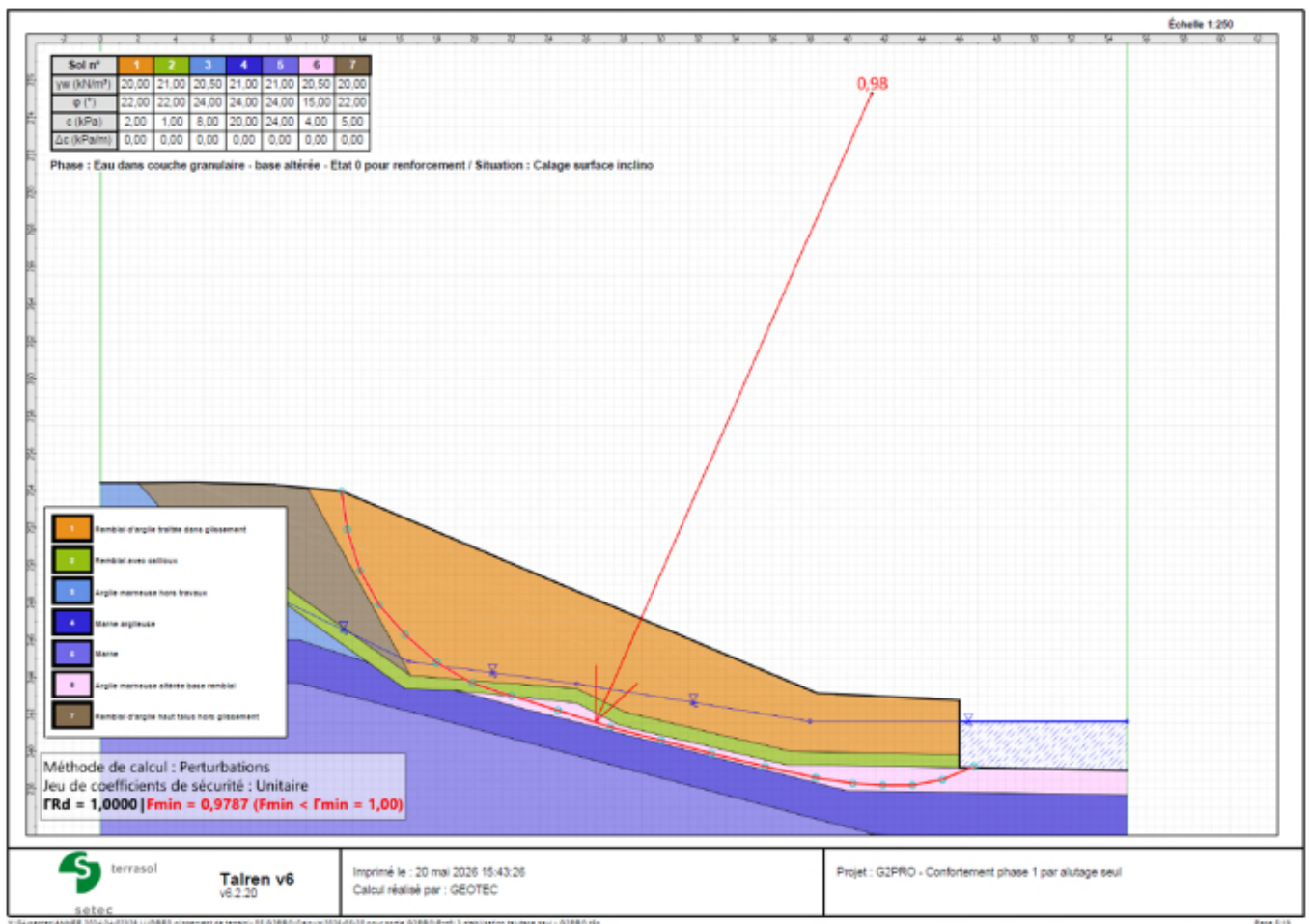


Figure 30 : calage de l'état initial.

## 5. ANALYSE DE STABILITE GENERALE – PROFIL DE CONFORTEMENT PHASE 1

### 5.1 CALCULS DE STABILITE- AVANT-PROJET

#### 5.1.1 Modèle de terrain

La géométrie des couches et leurs caractéristiques sont présentées dans les notes de calcul du logiciel TalrenV6 2.20 en annexe.

Les paramètres sont issus des résultats des essais en laboratoire, et de corrélations avec les essais pressiométriques pour les couches profondes sous le glissement. Les différents essais sont présentés dans le rapport d'étude G5.

Les couches du modèle sont les suivantes :

Couche – Numérotation du modèle Talren6.	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (°)
1 – Remblai argileux traité de 2012. Caractéristiques résultant des essais en laboratoire avec sécurité de 1,25.	20	2	22
2 – Remblai avec cailloux (couche granulaire polluée par l'argile)	21	1	22
3 – Argile marneuse en amont du glissement	20,5	8	24
4 – Marne argileuse (non interceptée par le glissement)	21	20	24
5 – Marne grise	21	24	24
6 – Argile marneuse altérée, sous la couche granulaire (cas 2)	20,5	4	15
7 – Remblai argileux traité, en amont du glissement	20	5	22

#### 5.1.2 Conditions hydrauliques

Pour analyser les conditions d'amélioration de stabilité par rapport à l'état initial, le niveau de nappe est inchangé par rapport au calage sur le déclenchement de l'instabilité, précisé au paragraphe 2.3.

Le niveau du canal est pris à la cote 241,60 m NGF.

L'influence du niveau d'eau (masse de sol saturé) est montrée en considérant une courbe de saturation (modélisé comme le toit de la nappe) se rabattant sensiblement en ligne droite entre l'aqueduc et le pied de talus, au niveau du canal.

#### 5.1.3 Reprofilage de talus considéré en phase PRO

On considère la configuration suivante, schématisée sur les profils présentés en annexe :

- Pente 3 Horizontal / 1 Vertical en partie basse du talus, entre le pied de talus initial et la risberme à la cote 247,00 m NGF.
- Risberme de 5 m de largeur à la cote 249 m NGF.
- Talutage avec une pente de 2 Horizontal / 1 Vertical en partie haute.
- Plate-forme de l'ordre de 5 m de largeur minimum entre la crête de talus et la clôture en limite de propriété.

Remarque : comme nous le verrons plus loin, ce reprofilage doit s'accompagner d'un drainage efficace du talus, au moyen d'éperons drainants. Ces dispositifs ne sont pas pris en compte dans la modélisation des sols, ce qui est sécuritaire (incidence sur les caractéristiques mécaniques au prorata de leur volume).



### 5.1.4 Résultats des calculs

Les notes de calculs sont présentées en annexe.

Les résultats sont synthétisés dans le tableau ci-dessous :

Cas de calculs	Sécurité F	Commentaires
Calage de l'état initial de déclenchement du glissement – Surface de glissement suivant inclinomètres		
Eau dans les éperons de la conduite, dans la couche granulaire en amont puis se rabattant jusqu'au niveau du canal	0,98	Déclenchement du glissement.
Reprofilage phase1 – Nappe (saturation) idem situation de calage sur glissement		
Surface de glissement suivant inclinos	1,24	Gain de sécurité de 27 %
Surface circulaire en haut de talus	1,24	Considéré comme suffisant pour la phase de stabilisation 1 (provisoire)
Surface circulaire en pied de talus	1,26	
Reprofilage phase 1 – Remontée de la masse saturée à l'aval de l'aqueduc		
Surface de glissement suivant inclinos	1,13	La remontée de l'eau réduit rapidement le coefficient de sécurité. L'action déstabilisatrice de l'eau est systématique pour les talus.
Surface circulaire en haut de talus	1,18	
Surface circulaire en pied de talus	1,19	

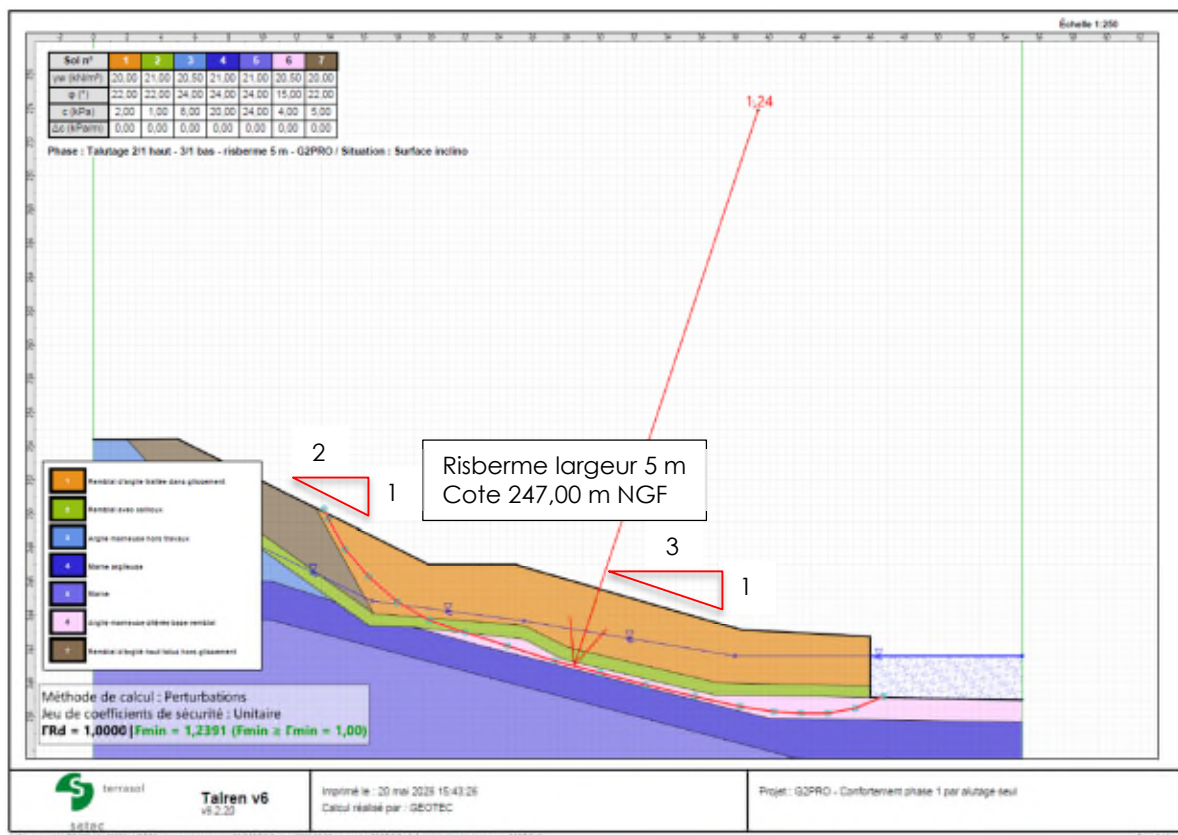


Figure 31 : géométrie type du reprofilage pour la phase 1 du confortement.

## 6. DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES COMPLEMENTAIRES

### 6.1 DRAINAGE GENERAL

Les rapports de diagnostic établis par Hydrogéotechnique après le glissement de 2008 font état des éléments suivants concernant l'action de l'eau :

- Développement lent d'une nappe parasite dans les remblais de comblement de la fouille de l'aqueduc, qui a progressivement saturé les sols marneux, et qui apparaît alors comme la cause principale des désordres à l'époque.
- Eaux pluviales des propriétés riveraines entre la rue Clément Ader et le canal, qui étaient au moins en partie rejetées dans un fossé en zone haute des talus, et normalement rejetées en limite Ouest du glissement.

Actuellement, on constate que les niveaux piézométriques correspondent sensiblement à la partie supérieure de la couche drainante mise en œuvre en 2012. Cette couche apparaît polluée par une fraction argileuse notable, mais reste plus perméable que les sols encaissants. L'étude G5 met en évidence des teneurs en eau plus importantes dans les remblais argileux traités que dans les sols naturellement en place, avec une teneur en eau qui croît en se rapprochant de la couche drainante.

Le suivi piézométrique met en évidence de brusques remontées du niveau d'eau après les épisodes pluvieux, et une descente beaucoup plus lente en période de faible pluviométrie. Il existe donc une concordance directe entre la pluviométrie et le niveau de l'eau, sans qu'on puisse établir précisément son cheminement (zone de circulation préférentielle au droit d'anciens drains, ouvrages hydrauliques, plates-formes de la zone industrielle... ?).

Nos calculs de stabilité (voir au §5.1.4) ont montré qu'une remontée de nappe (saturation des remblais) de l'ordre de 1 à 1,5 m à l'aval de l'aqueduc conduit à une chute de 10 % du coefficient de sécurité pour les différentes surfaces analysées. Il faut donc impérativement éviter ces mises en charge et une saturation des matériaux argileux dans le talus, au-dessus de la couche drainante mise en place en 2012. Pour cela, dans le cadre de la phase 1 des travaux, nous préconisons la réalisation d'éperons drainants.

### 6.2 EPERONS DRAINANTS

#### Géométrie – répartition

Les éperons sont des tranchées drainantes pénétrant dans le talus depuis leur pied, perpendiculairement à l'axe de l'ouvrage. Selon le pourcentage d'incorporation, il peut en résulter une substitution notable du matériau glissé et ainsi un effet bénéfique sur les caractéristiques mécaniques en sus de l'effet hydraulique. Ce point a été négligé dans les calculs précédents, ce qui est sécuritaire.

Remarque : en fonction du résultat du suivi de l'instrumentation post-travaux, en phase 2 il pourra s'avérer nécessaire de compléter ce dispositif par la mise en place d'une tranchée drainante parallèle au talus pour intercepter toutes les eaux s'infiltrant depuis l'amont.

- Tranchées suivant la pente, largeur 0,8 m. Espacement 4,5 m entre les tranchées.
- Profondeur 1 m en crête de talus, 3 m sous la risberme, puis raccordement de la base des éperons au pied de talus, avec une pente de 5 % vers le pied de talus pour assurer l'écoulement des eaux collectées.
- Drain collecteur avec cunette, en pied de talus, avec évacuation vers le canal. Prévoir un diamètre minimal de 120 mm.

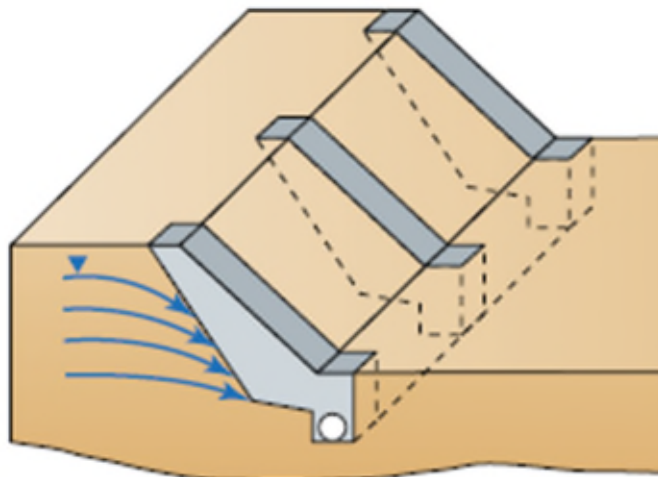


Figure 32 : schéma de principe des éperons drainants (source Guide de prévention des glissements de terrain du LCPC, janvier 2010).

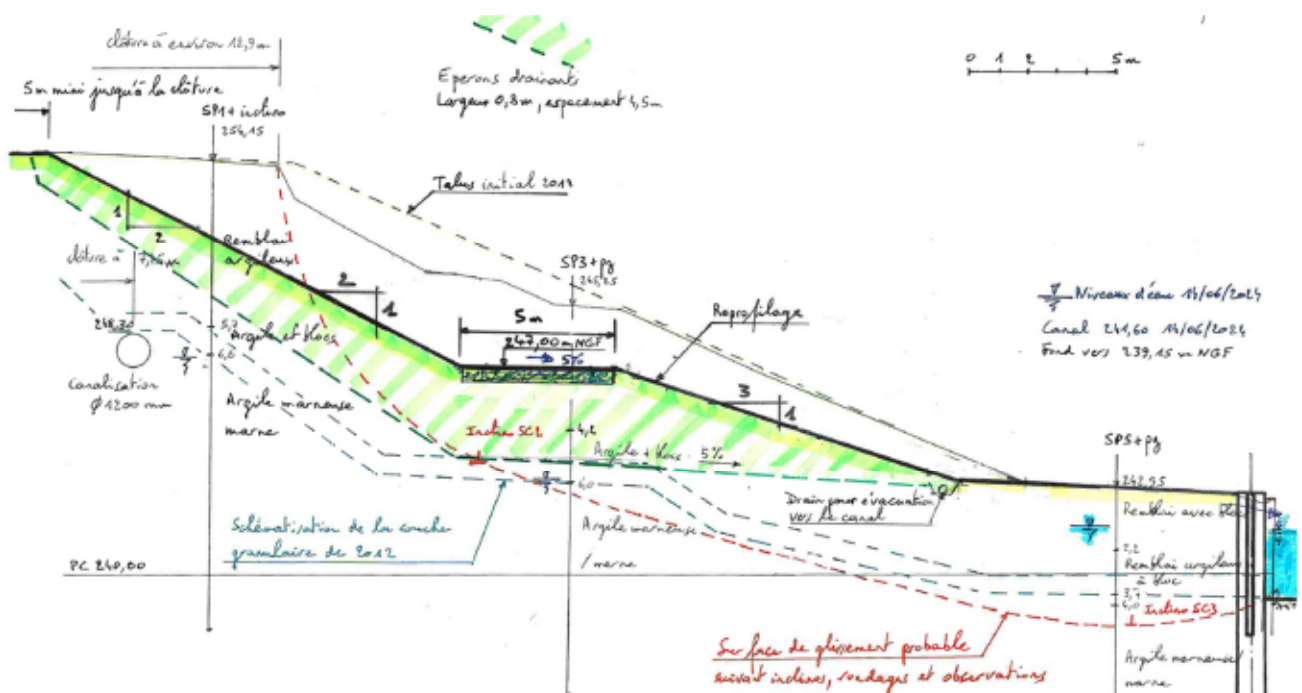


Figure 33 : reprofilage pour sécurisation phase 1, et éperons drainants.

## Matériaux

Préalablement au remblaiement des éperons, on mettra en place un géotextile de séparation de bonne résistance à la traction et à la déchirure. Les lais peuvent être descendus dans la fouille par lestage avec des matériaux de remblaiement. On assurera un recouvrement des lais de 0,5 m minimum.

Pour le remblaiement, on prévoira de matériaux granulaires concassés insensibles à l'eau, de type enrochement 40-100 mm par exemple. Il devra présenter une bonne résistance mécanique (MDE < 30 et LA < 35).

Le type de matériau fera l'objet d'une proposition de l'entreprise pour validation dans le cadre de la mission G4. Un matériau de réemploi est accepté sous réserve de respecter les prescriptions ci-dessus, celles du CCTP, et la conformité à la législation concernant leur acceptabilité environnementale,

### **6.3 ACCES A LA RISBERME**

La risberme sera raccordée côté Ouest au chemin de contre halage, comme la rampe actuelle. Pour assurer un accès possible pour un véhicule d'entretien, on mettra en œuvre une couche de forme granulaire, avec interposition d'un géotextile de séparation en sous-face. Le fond de forme aura une pente de 5 % vers l'aval.

### **6.4 VEGETALISATION DES TALUS**

La végétalisation des talus en terre est à prévoir dès la fin des travaux, pour assurer une protection vis-à-vis du ruissellement.

### **6.5 INSTRUMENTATION ET SUIVI GEOTECHNIQUE**

Toute mesure de confortement doit être associée à un plan de surveillance pour pouvoir juger de l'efficacité des travaux réalisés et les compléter, en cas de besoin, en fonction du comportement réellement observé post-travaux. Ces mesures pourront être prises en compte lors des études de conception du projet de confortement des berges de la phase 2.

Aussi, nous préconisons la mise en œuvre du plan d'instrumentation suivant à l'issue des travaux de la phase 1 :

- Mise en place de deux inclinomètres et de deux piézomètres sur la risberme.
- En partie haute de talus, mise en place d'un inclinomètre et d'un piézomètre.
- En pied de talus, mise en place d'un inclinomètre si la phase 2 n'est pas engagée rapidement.
- Dans la mesure du possible, maintien en place des clinomètres et éventuellement de l'inclinomètre existants en pied de talus (dépose et repose des câbles).

Les éléments d'instrumentation récupérables seront déposés avant le démarrage des travaux (sonde piézométrique, inclinomètres automatiques).



## **7. RECOMMANDATIONS POUR LA MISE AU POINT DU PROJET**

Le présent rapport constitue le compte rendu et fixe la fin de la phase projet de la mission d'étude géotechnique de conception, pour le projet de sécurisation phase 1 du glissement.

Cette phase G2PRO confiée à GÉOTEC présente la conception et la justification d'une solution de sécurisation phase 1, limitée à des travaux de terrassement.

La phase 2 consistera à reconstituer un soutènement de berge de forte inertie, ancré en profondeur dans les marnes résistantes. Elle ne fait pas partie de cette étude.

Nous rappelons le caractère évolutif du phénomène et l'urgence d'engager la phase 1 des travaux.

Nous restons à la disposition des responsables du projet pour tout renseignement complémentaire.

## CONDITIONS GENERALES

### 1. Avertissement, préambule

Toute commande et ses avenants éventuels impliquent de la part du cocontractant, ci-après dénommé « le Client », signataire du contrat et des avenants, acceptation sans réserve des présentes conditions générales.  
Les présentes conditions générales prévalent sur toutes autres, sauf conditions particulières contenues dans le devis ou dérogation formelle et explicite.  
Toute modification de la commande ne peut être considérée comme acceptée qu'après accord écrit du Prestataire.

### 2. Déclarations obligatoires à la charge du Client, (DT, DICT, ouvrages exécutés)

Dans tous les cas, la responsabilité du Prestataire ne saurait être engagée en cas de dommages à des ouvrages publics ou privés (en particulier, ouvrages enterrés et canalisations) dont la présence et l'emplacement précis ne lui auraient pas été signalés par écrit préalablement à sa mission.

Conformément au décret n° 2011-1241 du 5 octobre 2011 relatif à l'exécution de travaux à proximité de certains ouvrages souterrains, aériens ou subaquatiques de transport ou de distribution, le Client doit fournir, à sa charge et sous sa responsabilité, l'implantation des réseaux privés, la liste et l'adresse des exploitants des réseaux publics à proximité des travaux, les plans, informations et résultats des investigations complémentaires consécutifs à sa Déclaration de projet de Travaux (DT). Ces informations sont indispensables pour permettre les éventuelles DICT (le délai de réponse est de 15 jours) et pour connaître l'environnement du projet. En cas d'incertitude ou de complexité pour la localisation des réseaux sur domaine public, il pourra être nécessaire de faire réaliser, à la charge du Client, des fouilles manuelles pour les repérer. Les conséquences et la responsabilité de toute détérioration de ces réseaux par suite d'une mauvaise communication sont à la charge exclusive du Client.

Conformément à l'article L 411-1 du code minier, le Client s'engage à déclarer à la DREAL tout forage réalisé de plus de 10 m de profondeur. De même, conformément à l'article R 214-1 du code de l'environnement, le Client s'engage à déclarer auprès de la DDT du lieu des travaux les sondages et forages destinés à la recherche, à la surveillance ou au prélèvement d'eaux souterraines (piézomètres notamment).

### 3. Cadre de la mission, objet et nature des prestations, prestations exclues, limites de la mission

Le terme « prestation » désigne exclusivement les prestations énumérées dans le devis du Prestataire. Toute prestation différente de celles prévues fera l'objet d'un prix nouveau à négocier. Il est entendu que le Prestataire s'engage à procéder selon les moyens actuels de son art, à des recherches consciencieuses et à fournir les indications qu'on peut en attendre. Son obligation est une obligation de moyen et non de résultat au sens de la jurisprudence actuelle des tribunaux. Le Prestataire réalise la mission dans les strictes limites de sa définition donnée dans son offre (validité limitée à trois mois à compter de la date de son établissement), confirmée par le bon de commande ou un contrat signé du Client.

La mission et les investigations éventuelles sont strictement géotechniques et n'abordent pas le contexte environnemental. Seule une étude environnementale spécifique comprenant des investigations adaptées permettra de détecter une éventuelle contamination des sols et/ou des eaux souterraines.

Le Prestataire n'est solidaire d'aucun autre intervenant sauf si la solidarité est explicitement convenue dans le devis ; dans ce cas, la solidarité ne s'exerce que sur la durée de la mission.

Par référence à la norme NF P 94-500, il appartient au maître d'ouvrage, au maître d'œuvre ou à toute entreprise de faire réaliser impérativement par des ingénieries compétentes chacune des missions géotechniques (successivement G1, G2, G3 et G4 et les investigations associées) pour suivre toutes les étapes d'élaboration et d'exécution du projet. Si la mission d'investigations est commandée seule, elle est limitée à l'exécution matérielle de sondages et à l'établissement d'un compte rendu factuel sans interprétation et elle exclut toute activité d'étude ou de conseil. La mission de diagnostic géotechnique G5 engage le géotechnicien uniquement dans le cadre strict des objectifs ponctuels fixés et acceptés.

Si le Prestataire déclare être titulaire de la certification ISO 9001, le Client agit de telle sorte que le Prestataire puisse respecter les dispositions de son système qualité dans la réalisation de sa mission.

### 4. Plans et documents contractuels

Le Prestataire réalise la mission conformément à la réglementation en vigueur lors de son offre, sur la base des données communiquées par le Client. Le Client est seul responsable de l'exactitude de ces données. En cas d'absence de transmission ou d'erreur sur ces données, le Prestataire est exonéré de toute responsabilité.

### 5. Limites d'engagement sur les délais

Sauf indication contraire précise, les estimations de délais d'intervention et d'exécution données aux termes du devis ne sauraient engager le Prestataire. Sauf stipulation contraire, il ne sera pas appliqué de pénalités de retard et si tel devait être le cas elles seraient plafonnées à 5% de la commande. En toute hypothèse, la responsabilité du Prestataire est dégagée de plein droit en cas d'insuffisance des informations fournies par le Client ou si le Client n'a pas respecté ses obligations, en cas de force majeure ou d'événements imprévisibles (notamment la rencontre de sols inattendus, la survenance de circonstances naturelles exceptionnelles) et de manière générale en cas d'événement extérieur au Prestataire modifiant les conditions d'exécution des prestations objet de la commande ou les rendant impossibles.

Le Prestataire n'est pas responsable des délais de fabrication ou d'approvisionnement de fournitures lorsqu'elles font l'objet d'un contrat de négoce passé par le Client ou le Prestataire avec un autre Prestataire.

### 6. Formalités, autorisations et obligations d'information, accès, dégâts aux ouvrages et cultures

Toutes les démarches et formalités administratives ou autres, en particulier l'obtention de l'autorisation de pénétrer sur les lieux pour effectuer des prestations de la mission sont à la charge du Client. Le Client se charge d'une part d'obtenir et communiquer les autorisations requises pour l'accès du personnel et des matériels nécessaires au Prestataire en toute sécurité dans l'enceinte des propriétés privées ou sur le domaine public, d'autre part de fournir tous les documents relatifs aux dangers et aux risques cachés, notamment ceux liés aux réseaux, aux obstacles enterrés et à la pollution des sols et des nappes. Le Client s'engage à communiquer les règles pratiques que les intervenants doivent respecter en matière de santé, sécurité et respect de l'environnement : il assure en tant que de besoin la formation du personnel, notamment celui du Prestataire, entrant dans ces domaines, préalablement à l'exécution de la mission. Le Client sera tenu responsable de tout dommage corporel, matériel ou immatériel dû à une spécificité du site connue de lui et non clairement indiquée au Prestataire avant toutes interventions.

Sauf spécifications particulières, les travaux permettant l'accessibilité aux points de sondages ou d'essais et l'aménagement des plates-formes ou grutage nécessaires aux matériels utilisés sont à la charge du Client.

Les investigations peuvent entraîner d'inévitables dommages sur le site, en particulier sur la végétation, les cultures et les ouvrages existants, sans qu'il y ait négligence ou faute de la part de son exécutant. Les remises en état, réparations ou indemnités correspondantes sont à la charge du Client.

### 7. Implantation, nivellement des sondages

Au cas où l'implantation des sondages est imposée par le Client ou son conseil, le Prestataire est exonéré de toute responsabilité dans les événements consécutifs à ladite implantation. La mission ne comprend pas les implantations topographiques permettant de définir l'emprise des ouvrages et zones à étudier ni la mesure des coordonnées précises des points de sondages ou d'essais. Les éventuelles altitudes indiquées pour chaque sondage (qu'il s'agisse de cotes de références rattachées à un repère arbitraire ou de 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. Pour que ces altitudes soient garanties, il convient qu'elles soient relevées par un Géomètre Expert avant remodelage du terrain. Il en va de même pour l'implantation des sondages sur le terrain.

## 8. Hydrogéologie

Les niveaux d'eau indiqués dans le rapport correspondent uniquement aux niveaux relevés au droit des sondages exécutés et à un moment précis. En dépit de la qualité de l'étude les aléas suivants subsistent, notamment la variation des niveaux d'eau en relation avec la météo ou une modification de l'environnement des études. Seule une étude hydrogéologique spécifique permet de déterminer les amplitudes de variation de ces niveaux, les cotes de crue et les PHEC (Plus Hautes Eaux Connues).

## 9. Recommandations, aléas, écart entre prévision de l'étude et réalité en cours de travaux

Si, en l'absence de plans précis des ouvrages projetés, le Prestataire a été amené à faire une ou des hypothèses sur le projet, il appartient au Client de lui communiquer par écrit ses observations éventuelles sans quoi, il ne pourrait en aucun cas et pour quelque raison que ce soit lui être reproché d'avoir établi son étude dans ces conditions.

L'étude géotechnique s'appuie sur les renseignements reçus concernant le projet, sur un nombre limité de sondages et d'essais, et sur des profondeurs d'investigations limitées qui ne permettent pas de lever toutes les incertitudes inéluctables à cette science naturelle. En dépit de la qualité de l'étude, des incertitudes subsistent du fait notamment du caractère ponctuel des investigations, de la variation d'épaisseur des remblais et/ou des différentes couches, de la présence de vestiges enterrés. Les conclusions géotechniques ne peuvent donc conduire à traiter à forfait le prix des fondations compte tenu d'une hétérogénéité, naturelle ou du fait de l'homme, toujours possible et des aléas d'exécution pouvant survenir lors de la découverte des terrains. 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 actualisation à chaque étape du projet notamment s'il s'écoule un laps de temps important avant l'étape suivante.

L'estimation des quantités des ouvrages géotechniques nécessite, une mission d'étude géotechnique de conception G2 (phase projet). Les éléments géotechniques non décelés par l'étude et mis en évidence lors de l'exécution (pouvant avoir une incidence sur les conclusions du rapport) et les incidents importants survenus au cours des travaux (notamment glissement, dommages aux avoisinants ou aux existants) doivent obligatoirement être portés à la connaissance du Prestataire ou signalés aux géotechniciens chargés des missions de suivi géotechnique d'exécution G3 et de supervision géotechnique d'exécution G4, afin que les conséquences sur la conception géotechnique et les conditions d'exécution soient analysées par un homme de l'art.

## 10. Rapport de mission, réception des travaux, fin de mission, délais de validation des documents par le client

A défaut de clauses spécifiques contractuelles, la remise du dernier document à fournir dans le cadre de la mission fixe le terme de la mission. La date de la fin de mission est celle de l'approbation par le Client du dernier document à fournir dans le cadre de la mission. L'approbation doit intervenir au plus tard deux semaines après sa remise au Client, et est considérée implicite en cas de silence. La fin de la mission donne lieu au paiement du solde de la mission.

## 11. Réserve de propriété, confidentialité, propriété des études, diagrammes

Les coupes de sondages, plans et documents établis par les soins du Prestataire dans le cadre de sa mission ne peuvent être utilisés, publiés ou reproduits par des tiers sans son autorisation. Le Client ne devient propriétaire des prestations réalisées par le Prestataire qu'après règlement intégral des sommes dues. Le Client ne peut pas les utiliser pour d'autres ouvrages sans accord écrit préalable du Prestataire. Le Client s'engage à maintenir confidentielle et à ne pas utiliser pour son propre compte ou celui de tiers toute information se rapportant au savoir-faire du Prestataire, qu'il soit breveté ou non, portée à sa connaissance au cours de la mission et qui n'est pas dans le domaine public, sauf accord préalable écrit du Prestataire. Si dans le cadre de sa mission, le Prestataire mettait au point une nouvelle technique, celle-ci serait sa propriété. Le Prestataire serait libre de déposer tout brevet s'y rapportant, le Client bénéficiant, dans ce cas, d'une licence non exclusive et non cessible, à titre gratuit et pour le seul ouvrage étudié.

## 12. Modifications du contenu de la mission en cours de réalisation

La nature des prestations et des moyens à mettre en œuvre, les prévisions des avancements et délais, ainsi que les prix sont déterminés en fonction des éléments communiqués par le client et ceux recueillis lors de l'établissement de l'offre. Des conditions imprévisibles par le Prestataire au moment de l'établissement de son offre touchant à la géologie, aux hypothèses de travail, au projet et à son environnement, à la législation et aux règlements, à des événements imprévus, survenant en cours de mission autorisent le Prestataire à proposer au Client un avenant avec notamment modification des prix et des délais. A défaut d'un accord écrit du Client dans un délai de deux semaines à compter de la réception de la lettre d'adaptation de la mission. Le Prestataire est en droit de suspendre immédiatement l'exécution de sa mission, les prestations réalisées à cette date étant rémunérées intégralement, et sans que le Client ne puisse faire état d'un préjudice. Dans l'hypothèse où le Prestataire est dans l'impossibilité de réaliser les prestations prévues pour une cause qui ne lui est pas imputable, le temps d'immobilisation de ses équipes est rémunéré par le client.

## 13. Modifications du projet après fin de mission, délai de validité du rapport

Le rapport constitue une synthèse de la mission définie par la commande. Le rapport et ses annexes forment un ensemble indissociable. Toute interprétation, reproduction partielle ou utilisation par un autre maître de l'ouvrage, un autre constructeur ou maître d'œuvre, ou pour un projet différent de celui objet de la mission, ne saurait engager la responsabilité du Prestataire et pourra entraîner des poursuites judiciaires. La responsabilité du Prestataire ne saurait être engagée en dehors du cadre de la mission objet du rapport. Toute modification apportée au projet et à son environnement ou tout élément nouveau mis à jour au cours des travaux et non détecté lors de la mission d'origine, nécessite une adaptation du rapport initial dans le cadre d'une nouvelle mission.

Le client doit faire actualiser le dernier rapport de mission en cas d'ouverture du chantier plus de 1 an après sa livraison. Il en est de même notamment en cas de travaux de terrassements, de démolition ou de réhabilitation du site (à la suite d'une contamination des terrains et/ou de la nappe) modifiant entre autres les qualités mécaniques, les dispositions constructives et/ou la répartition de tout ou partie des sols sur les emprises concernées par l'étude géotechnique.

## 14. Conditions d'établissement des prix, variation dans les prix, conditions de paiement, acompte et provision, retenue de garantie

Les prix unitaires s'entendent hors taxes. Ils sont majorés de la T.V.A. au taux en vigueur le jour de la facturation. Ils sont établis aux conditions économiques en vigueur à la date d'établissement de l'offre. Ils sont fermes et définitifs pour une durée de trois mois. Au-delà, ils sont actualisés par application de l'indice "Sondages et Forages TP 04" pour les investigations in situ et en laboratoire, et par application de l'indice « SYNTEC » pour les prestations d'études, l'Indice de base étant celui du mois de l'établissement du devis.

Aucune retenue de garantie n'est appliquée sur le coût de la mission.

Dans le cas où le marché nécessite une intervention d'une durée supérieure à un mois, des factures mensuelles intermédiaires sont établies. Lors de la passation de la commande ou de la signature du contrat, le Prestataire peut exiger un acompte dont le montant est défini dans les conditions particulières et correspond à un pourcentage du total estimé des honoraires et frais correspondants à l'exécution du contrat. Le montant de cet acompte est déduit de la facture ou du décompte final. En cas de sous-traitance dans le cadre d'un ouvrage public, les factures du Prestataire sont réglées directement et intégralement par le maître d'ouvrage, conformément à la loi n°75-1334 du 31/12/1975.

Les paiements interviennent à réception de la facture et sans escompte. En l'absence de paiement au plus tard le jour suivant la date de règlement figurant sur la facture, il sera appliqué à compter dudit jour et de plein droit, un intérêt de retard égal au taux d'intérêt appliqué par la Banque Centrale Européenne à son opération de refinancement la plus récente majorée de 10 points de pourcentage. Cette pénalité de retard sera exigible sans qu'un rappel soit nécessaire à compter du jour suivant la date de règlement figurant sur la facture.

En sus de ces pénalités de retard, le Client sera redevable de plein droit des frais de recouvrement exposés ou d'une indemnité forfaitaire de 40 €.

Un désaccord quelconque ne saurait constituer un motif de non-paiement des prestations de la mission réalisées antérieurement. La compensation est formellement exclue : le Client s'interdit de déduire le montant des préjudices qu'il allègue des honoraires dus.

#### 15. Résiliation anticipée

Toute procédure de résiliation est obligatoirement précédée d'une tentative de conciliation. En cas de force majeure, cas fortuit ou de circonstances indépendantes du Prestataire, celui-ci a la faculté de résilier son contrat sous réserve d'en informer son Client par lettre recommandée avec accusé de réception. En toute hypothèse, en cas d'inexécution par l'une ou l'autre des parties de ses obligations, et 8 jours après la mise en demeure visant la présente clause résolutoire demeurée sans effet, le contrat peut être résilié de plein droit. La résiliation du contrat implique le paiement de l'ensemble des prestations régulièrement exécutées par le Prestataire au jour de la résiliation et en sus, d'une indemnité égale à 20 % des honoraires qui resteraient à percevoir si la mission avait été menée jusqu'à son terme.

#### 16. Répartition des risques, responsabilités et assurances

Le Prestataire n'est pas tenu d'avertir son Client sur les risques encourus déjà connus ou ne pouvant être ignorés du Client compte tenu de sa compétence. Ainsi par exemple, l'attention du Client est attirée sur le fait que le béton armé est inévitablement fissuré, les revêtements appliqués sur ce matériau devant avoir une souplesse suffisante pour s'adapter sans dommage aux variations d'ouverture des fissures. Le devoir de conseil du Prestataire vis-à-vis du Client ne s'exerce que dans les domaines de compétence requis pour l'exécution de la mission spécifiquement confiée. Tout élément nouveau connu du Client après la fin de la mission doit être communiqué au Prestataire qui pourra, le cas échéant, proposer la réalisation d'une mission complémentaire. A défaut de communication des éléments nouveaux ou d'acceptation de la mission complémentaire, le Client en assumera toutes les conséquences. En aucun cas, le Prestataire ne sera tenu pour responsable des conséquences d'un non-respect de ses préconisations ou d'une modification de celles-ci par le Client pour quelque raison que ce soit. L'attention du Client est attirée sur le fait que toute estimation de quantités faite à partir de données obtenues par prélèvements ou essais ponctuels sur le site objet des prestations est entachée d'une incertitude fonction de la représentativité de ces données ponctuelles extrapolées à l'ensemble du site. Toutes les pénalités et indemnités qui sont prévues au contrat ou dans l'offre remise par le Prestataire ont la nature de dommages et intérêts forfaitaires, libératoires et exclusifs de toute autre sanction ou indemnisation.

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. Conformément aux usages et aux capacités du marché de l'assurance et de la réassurance, le contrat impose une obligation de déclaration préalable et d'adaptation de la 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 15 M€. Il est expressément convenu que le client a l'obligation d'informer le Prestataire d'un éventuel dépassement de ce seuil, et accepte, de fournir tous éléments d'information nécessaires à l'adaptation de la garantie. Le client prend également l'engagement, de souscrire à ses frais un Contrat Collectif de Responsabilité Décennale (CCRD), contrat dans lequel le Prestataire sera expressément mentionné parmi les bénéficiaires. Par ailleurs, les ouvrages de caractère exceptionnel, voir inusuels sont exclus du présent contrat et doivent faire l'objet d'une cotation particulière. Le prix fixé dans l'offre ayant été déterminé en fonction de conditions normales d'assurabilité de la mission, il sera réajusté, et le client s'engage à l'accepter, en cas d'éventuelle sur-cotation qui serait demandée au Prestataire par rapport aux conditions de base de son contrat d'assurance. A défaut de respecter ces engagements, le client en supportera les conséquences financières (notamment en cas de défaut de garantie du Prestataire, qui n'aurait pu s'assurer dans de bonnes conditions, faute d'informations suffisantes). Le maître d'ouvrage est tenu d'informer le Prestataire de la DOC (déclaration d'ouverture de chantier).

Ouvrages non soumis à l'obligation d'assurance

Les ouvrages dont la valeur HT (travaux et honoraires compris) excède un montant de 15 M€ HT doivent faire l'objet d'une déclaration auprès du Prestataire qui en référera à son assureur pour détermination des conditions d'assurance. Les limitations relatives au montant des chantiers auxquels le Prestataire participe ne sont pas applicables aux missions portant sur des ouvrages d'infrastructure linéaire, c'est-à-dire routes, voies ferrées, tramway, etc. En revanche, elles demeurent applicables lorsque sur le tracé linéaire, la/les mission(s) de l'assuré porte(nt) sur des ouvrages précis tels que ponts, viaducs, échangeurs, tunnels, tranchées couvertes... En tout état de cause, il appartiendra au client de prendre en charge toute éventuelle sur-cotation qui serait demandée au prestataire par rapport aux conditions de base de son contrat d'assurance. Toutes les conséquences financières d'une déclaration insuffisante quant au coût de l'ouvrage seront supportées par le client et le maître d'ouvrage.

Le Prestataire assume les responsabilités qu'il engage par l'exécution de sa mission telle que décrite au présent contrat. A ce titre, il 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 il 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 à trois fois le montant de ses honoraires sans pour autant excéder les garanties délivrées par son assureur, et ce pour les dommages de quelque nature que ce soit et quel qu'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, notamment, 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.

#### 17. Cessibilité de contrat

Le Client reste redevable du paiement de la facture sans pouvoir opposer à quelque titre que ce soit la cession du contrat, la réalisation pour le compte d'autrui, l'existence d'une promesse de porte-fort ou encore l'existence d'une stipulation pour autrui.

#### 18. Litiges

En cas de litige pouvant survenir dans l'application du contrat, seul le droit français est applicable. Seules les juridictions du ressort du siège social du Prestataire sont compétentes, même en cas de demande incidente ou d'appel en garantie ou de pluralité de défendeurs.



## Enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique

(Extraits de la norme NF P 94-500 du 30 novembre 2013 – Chapitre 4.2)

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

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

Enchaînement des missions G1 à G4	Phases de la maîtrise d'œuvre	Mission d'ingénierie géotechnique (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) <b>Phase Etude de Site (ES)</b>		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) <b>Phase Principes Généraux de Construction (PGC)</b>		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) <b>Phase Avant-projet (AVP)</b>		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) <b>Phase Projet (PRO)</b>		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) <b>Phase DCE/ACT</b>		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)	<b>Supervision géotechnique d'exécution (G4)</b> <b>Phase Supervision de l'étude géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase supervision du suivi)</b>	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)	<b>Supervision géotechnique d'exécution (G4)</b> <b>Phase Supervision du suivi géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision de l'étude)</b>	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 GÉOTECHNIQUE 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'avoisinants avec visite du site et des alentours.

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

#### Phase Principes Généraux de Construction (PGC)

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

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

### ETAPE 2 : ETUDE 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 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 GÉOTECHNIQUES DE REALISATION (G3 et G 4, distinctes et simultanées) ETUDE ET SUIVI GÉOTECHNIQUES D'EXECUTION (G3)

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

#### Phase Étude

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

#### Phase Suivi

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

#### **SUPERVISION GÉOTECHNIQUE D'EXECUTION (G4)**

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

##### Phase Supervision de l'étude d'exécution

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

##### Phase Supervision du suivi d'exécution

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

#### **DIAGNOSTIC GÉOTECHNIQUE (G5)**

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

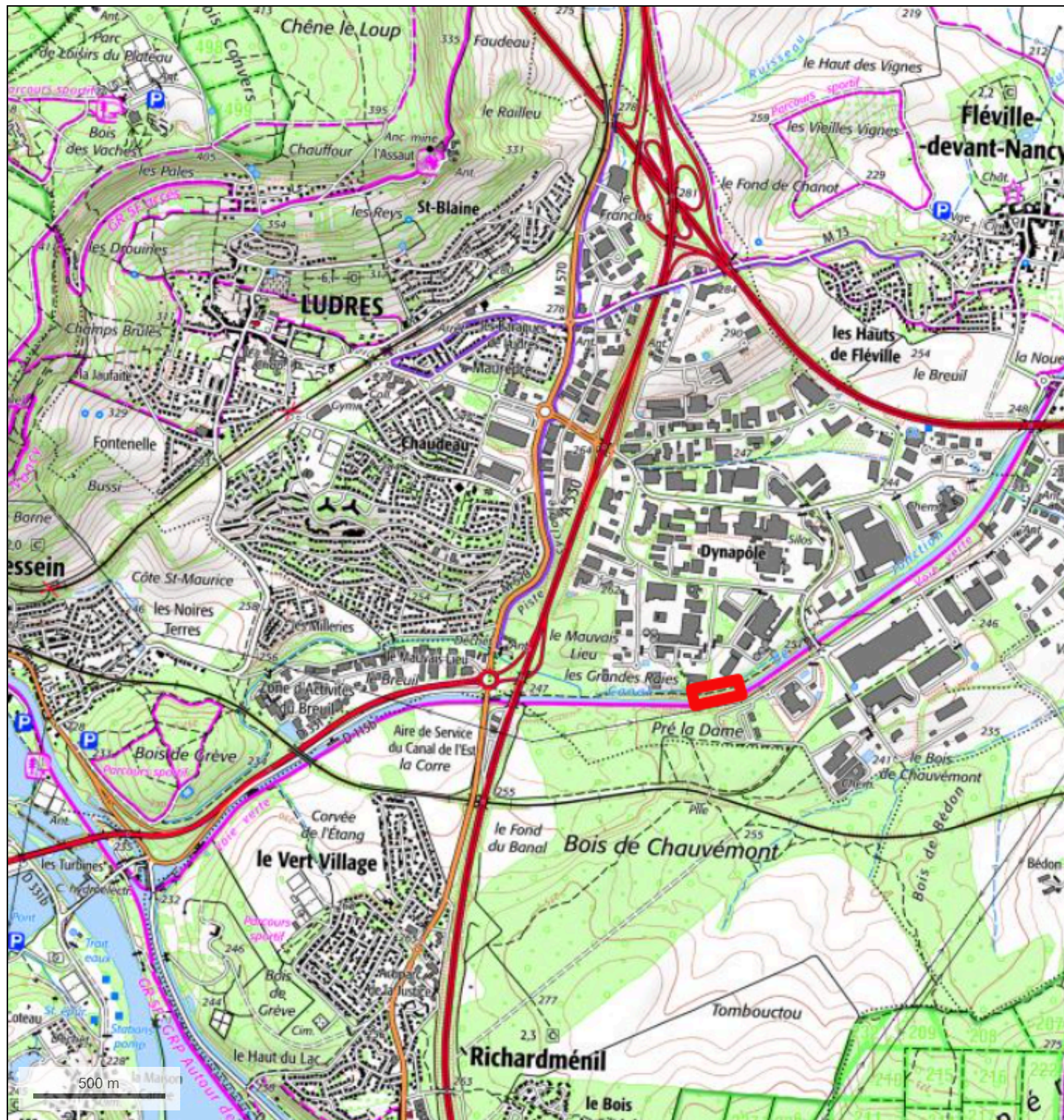
- Définir, après enquête documentaire, un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Étudier un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques (par exemple soutènement, causes géotechniques d'un désordre) dans le cadre de ce diagnostic, mais sans aucune implication dans la globalité du projet ou dans l'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 géotechnique seront réalisés ultérieurement, conformément à l'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étape 2 et/ou 3)

# ANNEXES



## Annexe 1 – Plan de situation

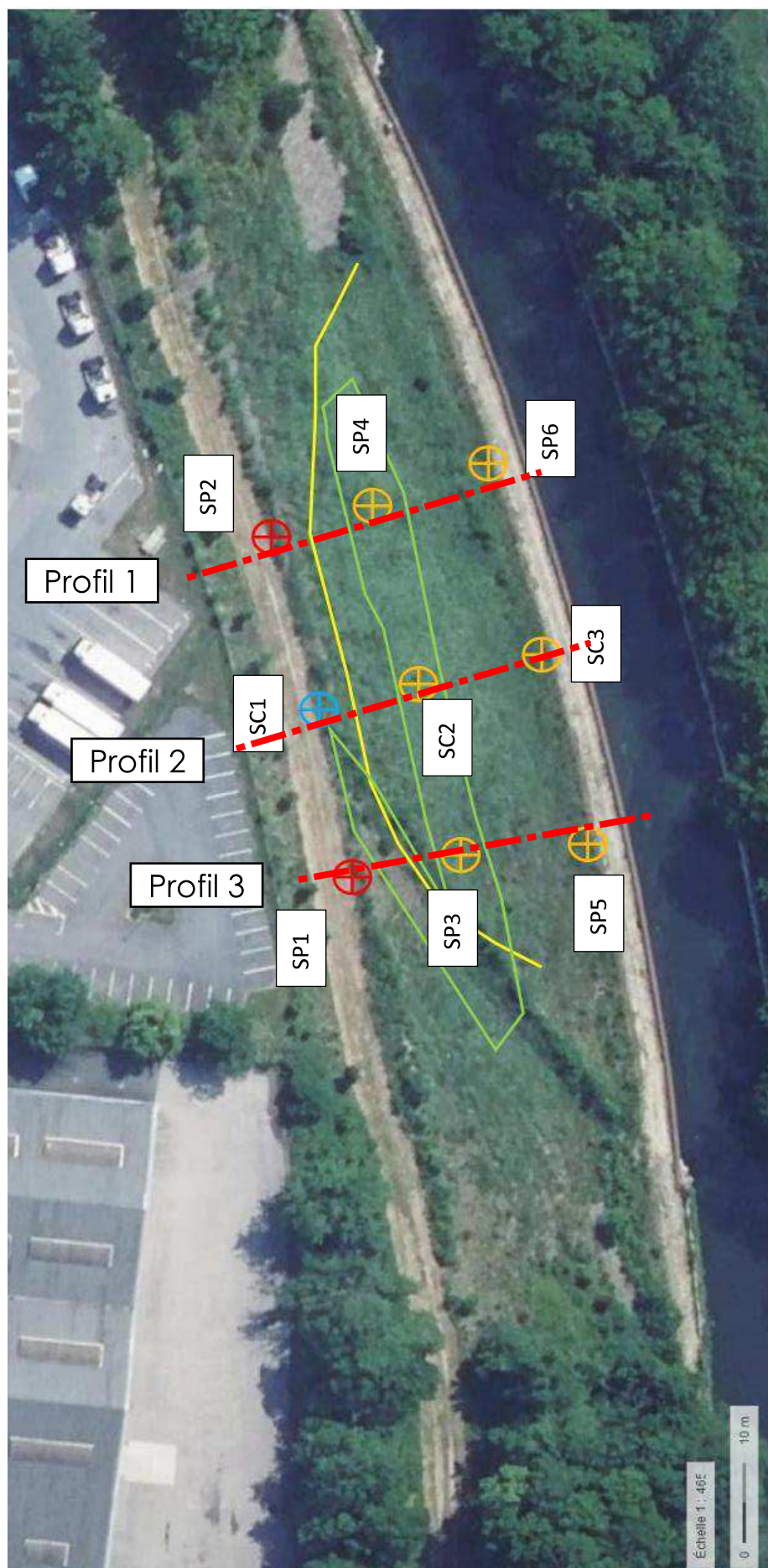
## Situation



© IGN 2023 - [www.geoportail.gouv.fr/mentions-legales](http://www.geoportail.gouv.fr/mentions-legales)

Longitude : 6° 13' 15" E  
Latitude : 48° 36' 48" N



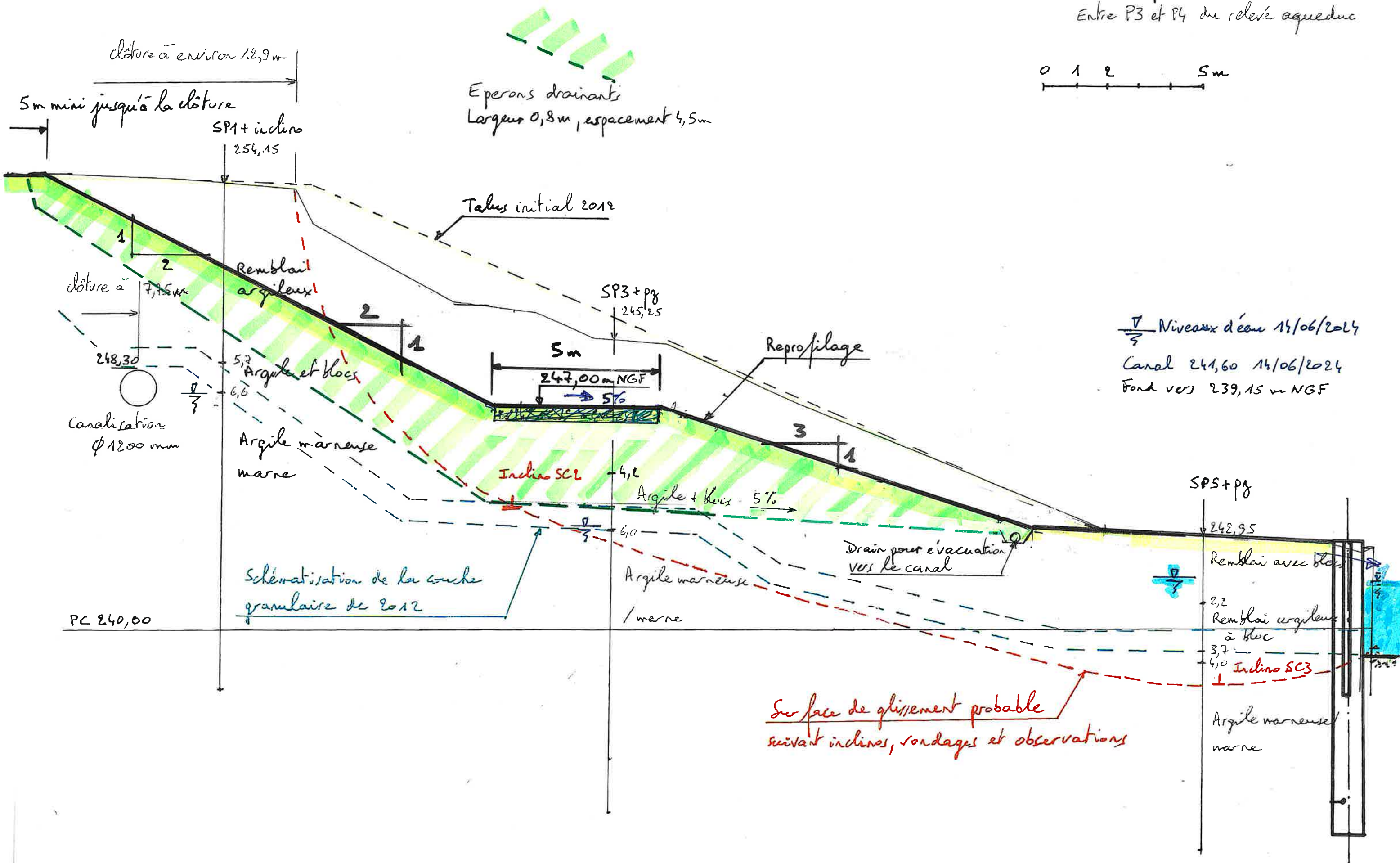






## Annexe 2 – Profil type du reprofilage

Profil P3 1/100<sup>ème</sup>  
 Entre P3 et P4 du relevé aqueduc



## Annexe 3 – Calculs de stabilité générale

# Données du projet

Type d'application : Calcul de stabilité classique

Numéro d'affaire : 24/02328

Titre du calcul : G2PRO - Confortement phase 1 par alutage seul

Lieu : LUDRES - canal bief de partage

Commentaires : N/A

Système d'unités : kN, kPa, kN/m³

γw : 10.0

Points

	X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y
1	0,000	254,400	2	5,000	254,425	3	9,300	254,300	4	12,900	253,950	5	38,400	243,150	6	46,000	242,750
7	46,000	239,150	8	55,000	239,000	9	6,800	249,000	10	7,100	248,300	11	7,100	247,000	12	9,000	247,000
13	9,000	248,300	14	9,400	248,300	15	16,300	243,400	16	19,000	243,300	17	22,800	242,250	18	40,000	237,900
19	55,000	237,700	21	2,000	254,400	22	9,700	249,000	23	16,600	244,100	24	25,500	243,400	25	28,100	242,100
26	37,000	240,000	27	25,500	242,600	28	27,800	241,400	29	36,700	239,300	31	46,000	239,840	32	0,000	246,300
33	10,600	246,000	34	14,325	244,803	35	0,000	244,100	36	10,600	243,700	37	41,400	235,600	38	55,000	235,300
40	15,850	249,000	41	20,850	249,000	42	19,850	247,000	43	22,850	247,000	44	32,400	243,150	45	25,000	247,000
46	23,600	247,000	47	18,590	249,000	48	27,500	247,000	49	26,850	247,000	51	39,420	243,096	52	35,482	244,386
54	13,153	250,349	55	12,571	251,403	56	11,068	254,128									

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
2	2	3	7	7	8	8	9	10	9	10	11	10	11	12	11	12	13	12	13	14
14	15	16	15	16	17	16	17	18	17	18	19	18	9	21	19	21	1	21	22	23
22	23	24	23	24	25	24	25	26	26	9	22	27	10	13	28	27	28	29	28	29
30	29	7	31	26	31	32	31	6	33	31	7	34	16	27	35	32	33	36	33	34
37	34	14	38	34	15	39	35	36	40	36	37	41	37	38	45	21	2	47	42	43
48	40	42	49	44	43	50	44	5	52	45	5	53	45	46	54	43	46	55	46	47
56	47	40	57	47	41	59	48	49	60	49	41	61	49	5	62	49	45	64	51	5
65	51	6	66	51	52	67	52	4	68	52	5	69	52	48	70	23	54	71	54	2
72	54	40	73	54	55	74	55	47	75	55	2	76	55	56	77	56	3	78	56	4

Couches de sol

	Nom	Couleur	γ	φ	c	Δc	qs,clou	pmax	ks×B	Anisotropie	Favorable	Coefficients de sécurité spécifiques
1	Remblai d'argile traitée dans glissement		20,0	22,00	2,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
2	Remblai avec cailloux		21,0	22,00	1,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
3	Argile marneuse hors travaux		20,5	24,00	8,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
4	Marne argileuse		21,0	24,00	20,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
5	Marne		21,0	24,00	24,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
6	Argile marneuse altérée base remblai		20,5	15,00	4,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
7	Remblai d'argile haut talus hors glissement		20,0	22,00	5,0	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	Remblai d'argile traitée dans glissement		-	-	-	Effective	Linéaire	Non	-	-
2	Remblai avec cailloux		-	-	-	Effective	Linéaire	Non	-	-
3	Argile marneuse hors travaux		-	-	-	Effective	Linéaire	Non	-	-
4	Marne argileuse		-	-	-	Effective	Linéaire	Non	-	-
5	Marne		-	-	-	Effective	Linéaire	Non	-	-
6	Argile marneuse altérée base remblai		-	-	-	Effective	Linéaire	Non	-	-
7	Remblai d'argile haut talus hors glissement		-	-	-	Effective	Linéaire	Non	-	-

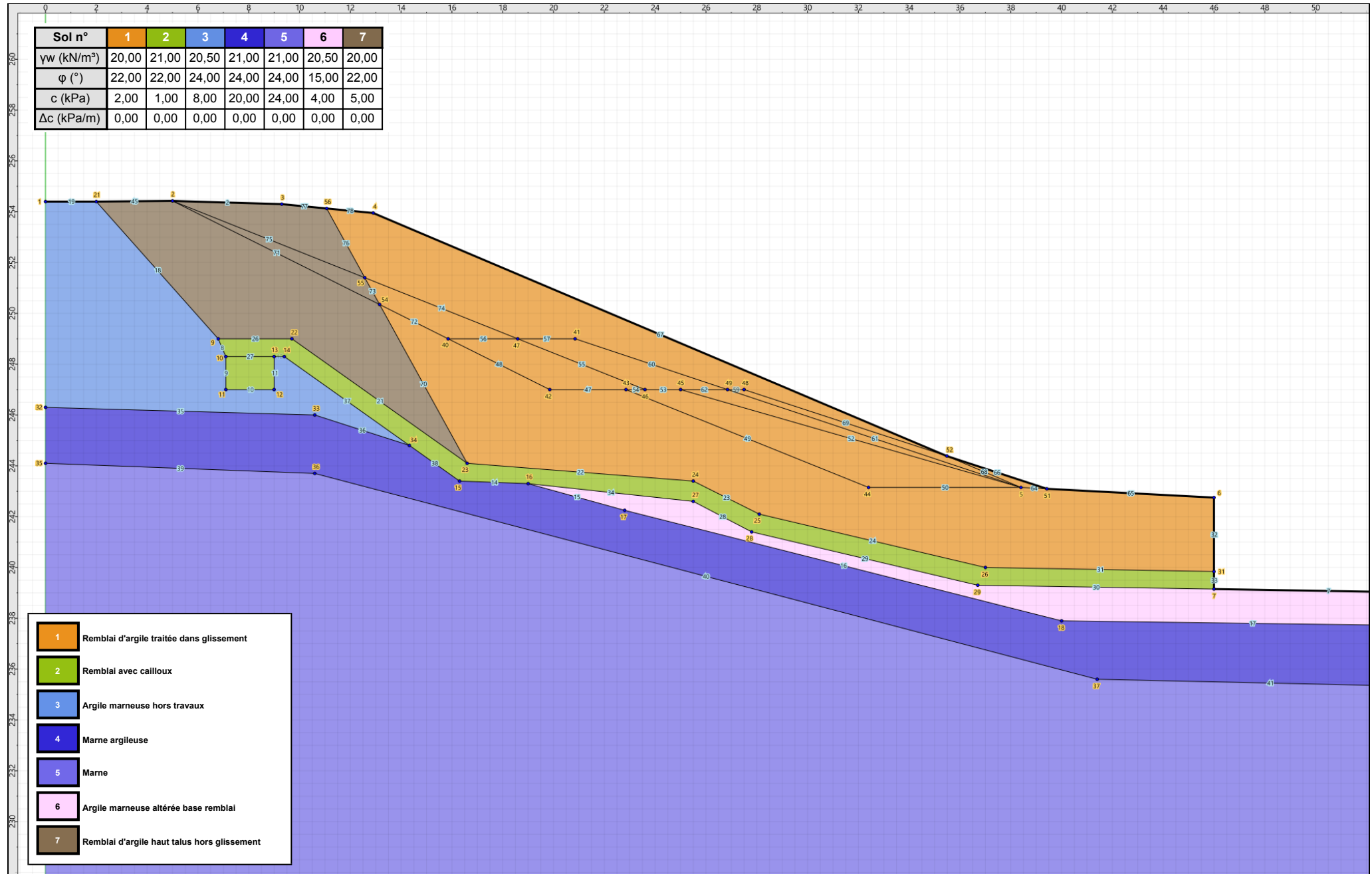


Talren v6  
v6.2.20

Imprimé le : 20 mai 2026 15:43:26  
Calcul réalisé par : GEOTEC  
Projet : G2PRO - Confortement phase 1 par alutage seul



Sol n°	1	2	3	4	5	6	7
$\gamma_w$ (kN/m³)	20,00	21,00	20,50	21,00	21,00	20,50	20,00
$\phi$ (°)	22,00	22,00	24,00	24,00	24,00	15,00	22,00
c (kPa)	2,00	1,00	8,00	20,00	24,00	4,00	5,00
$\Delta c$ (kPa/m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00



# Données de la phase 1

Nom de la phase : Eau dans couche granulaire - base altérée - Etat 0 pour renforcement

## 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
2	2	3	Remblai d'argile haut talus hors glissement	7	7	8	Argile marneuse altérée base remblai	8	9	10	Argile marneuse altérée base remblai
9	10	11	Remblai avec cailloux	10	11	12	Argile marneuse hors travaux	11	12	13	Remblai avec cailloux
12	13	14	Argile marneuse hors travaux	14	15	16	Marne argileuse	15	16	17	Marne argileuse
16	17	18	Marne argileuse	17	18	19	Marne argileuse	18	9	21	Argile marneuse altérée base remblai
19	21	1	Argile marneuse hors travaux	21	22	23	Remblai avec cailloux	22	23	24	Remblai avec cailloux
23	24	25	Remblai avec cailloux	24	25	26	Remblai avec cailloux	26	9	22	Remblai avec cailloux
28	27	28	Argile marneuse altérée base remblai	29	28	29	Argile marneuse altérée base remblai	30	29	7	Argile marneuse altérée base remblai
31	26	31	Remblai avec cailloux	32	31	6	Remblai d'argile traitée dans glissement	33	31	7	Remblai avec cailloux
34	16	27	Argile marneuse altérée base remblai	35	32	33	Marne argileuse	36	33	34	Marne argileuse
37	34	14	Argile marneuse hors travaux	38	34	15	Marne argileuse	39	35	36	Marne argileuse
40	36	37	Marne	41	37	38	Marne	45	21	2	Remblai d'argile haut talus hors glissement
64	51	5	Remblai d'argile traitée dans glissement	65	51	6	Remblai d'argile traitée dans glissement	67	52	4	Remblai d'argile traitée dans glissement
68	52	5	Remblai d'argile traitée dans glissement	70	23	54	Remblai d'argile haut talus hors glissement	73	54	55	Remblai d'argile haut talus hors glissement
76	55	56	Remblai d'argile haut talus hors glissement	77	56	3	Remblai d'argile haut talus hors glissement	78	56	4	Remblai d'argile haut talus hors glissement

## Liste des éléments activés

- Polygones :** Polygone entre les points 11,10,13,12  
Polygone entre les points 9,10,11,12,13,14,34,33,32,1,21  
Polygone entre les points 35,36,37,38,xMax,xMin  
Polygone entre les points 10,9,22,23,24,25,26,31,7,29,28,27,16,15,34,14,13  
Polygone entre les points 15,16,17,18,19,38,37,36,35,32,33,34  
Polygone entre les points 7,8,19,18,17,16,27,28,29  
Polygone entre les points 44,43,46,45,5  
Polygone entre les points 43,42,40,47,46  
Polygone entre les points 45,46,47,41,49  
Polygone entre les points 5,45,49  
Polygone entre les points 49,48,52,5  
Polygone entre les points 54,2,55  
Polygone entre les points 47,40,54,55  
Polygone entre les points 9,21,2,54,23,22  
Polygone entre les points 24,23,54,40,42,43,44,5,51,6,31,26,25  
Polygone entre les points 2,3,56,55  
Polygone entre les points 41,47,55,56,4,52,48,49

Conditions hydrauliques : Nappe phréatique

## Toit de la nappe

	X	Y	Angle		X	Y	Angle		X	Y	Angle		X	Y	Angle
1	0,000	249,300	1,00	2	6,730	248,782	3,00	3	9,500	248,242	30,00	4	16,500	244,855	8,00
6	38,000	241,600	0,00	7	55,000	241,600	0,00								



Talren v6  
v6.2.20

Imprimé le : 20 mai 2026 15:43:26  
Calcul réalisé par : GEOTEC  
Projet : G2PRO - Confortement phase 1 par alutage seul

# Données de la situation 1

Nom de la phase : Eau dans couche granulaire - base altérée - Etat 0 pour renforcement

Nom de la situation : Calage surface inclino

Option de calcul : Calcul de stabilité externe générale

Type d'analyse paramétrique : Calcul de stabilité classique

Méthode de calcul : Perturbations

Exposant de tgα : 1

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation :Unitaire

Détails du jeu de coefficients de sécurité

Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient
Γmin	1,000	Γs1	1,000	Γ's1	1,000	Γtanφ	1,000	Γc'	1,000	Γcu	1,000
ΓQ	1,000	Γqsl,clou,ab	1,000	Γqsl,clou,es	1,000	Γqsl,tirant,ab	1,000	Γqsl,tirant,es	1,000	Γqsl,bande	1,000
Γpl	1,000	Γa,clou	1,000	Γa,tirant	1,000	Γa,bande	1,000	Γbuton	1,000	-	-

Détermination de ΓRd : Automatique

ΓRd : 1.0

Type de surface de rupture : Polygonale

Surface de rupture polygonale

	X	Y	u		X	Y	u		X	Y	u		X	Y	u		X	Y	u		X	Y	u
1	12,900	253,950	0,0	2	13,200	251,900	0,0	3	13,900	249,700	0,0	4	14,900	247,900	0,0	5	16,300	246,300	0,0	6	18,000	244,800	0,0
7	19,900	243,700	0,0	8	22,000	243,000	0,0	9	24,500	242,200	0,0	10	27,300	241,300	0,0	11	30,000	240,600	0,0	12	32,700	239,900	0,0
13	35,600	239,200	0,0	14	38,300	238,600	0,0	15	40,300	238,300	0,0	16	41,900	238,200	0,0	17	43,500	238,200	0,0	18	45,100	238,500	0,0
19	46,800	239,200	0,0																				

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Non



Talren v6  
v6.2.20

Imprimé le : 20 mai 2026 15:43:26  
Calcul réalisé par : GEOTEC  
Projet : G2PRO - Confortement phase 1 par alutage seul

Sol n°	1	2	3	4	5	6	7
$\gamma_w$ (kN/m³)	20,00	21,00	20,50	21,00	21,00	20,50	20,00
$\phi$ (°)	22,00	22,00	24,00	24,00	24,00	15,00	22,00
c (kPa)	2,00	1,00	8,00	20,00	24,00	4,00	5,00
$\Delta c$ (kPa/m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Phase : Eau dans couche granulaire - base altérée - Etat 0 pour renforcement / Situation : Calage surface inclino

- 1 Remblai d'argile traitée dans glissement
- 2 Remblai avec cailloux
- 3 Argile marneuse hors travaux
- 4 Marne argileuse
- 5 Marne
- 6 Argile marneuse altérée base remblai
- 7 Remblai d'argile haut talus hors glissement

Méthode de calcul : Perturbations

Jeu de coefficients de sécurité : Unitaire

$\Gamma_{Rd} = 1,0000$  |  $F_{min} = 0,9787$  ( $F_{min} < \Gamma_{min} = 1,00$ )

0,98



# Données de la phase 2

Nom de la phase : Talutage 2/1 haut - 3/1 bas - risberme 5 m - G2PRO

## Segments de la phase

	Point 1	Point 2	Sol sous-jacent		Point 1	Point 2	Sol sous-jacent		Point 1	Point 2	Sol sous-
7	7	8	Argile marneuse altérée base remblai	8	9	10	Argile marneuse hors travaux	9	10	11	Remblai ave
10	11	12	Argile marneuse hors travaux	11	12	13	Remblai avec cailloux	12	13	14	Argile marneuse
14	15	16	Marne argileuse	15	16	17	Marne argileuse	16	17	18	Marne arg
17	18	19	Marne argileuse	18	9	21	Argile marneuse hors travaux	19	21	1	Argile marneuse
21	22	23	Remblai avec cailloux	22	23	24	Remblai avec cailloux	23	24	25	Remblai ave
24	25	26	Remblai avec cailloux	26	9	22	Remblai avec cailloux	28	27	28	Argile marneuse alté
29	28	29	Argile marneuse altérée base remblai	30	29	7	Argile marneuse altérée base remblai	31	26	31	Remblai ave
32	31	6	Remblai d'argile traitée dans glissement	33	31	7	Remblai avec cailloux	34	16	27	Argile marneuse alté
35	32	33	Marne argileuse	36	33	34	Marne argileuse	37	34	14	Argile marneuse
38	34	15	Marne argileuse	39	35	36	Marne	40	36	37	Marn
41	37	38	Marne	45	21	2	Remblai d'argile haut talus hors glissement	47	42	43	Remblai d'argile traitée
48	40	42	Remblai d'argile traitée dans glissement	52	45	5	Remblai d'argile traitée dans glissement	53	45	46	Remblai d'argile traitée
54	43	46	Remblai d'argile traitée dans glissement	64	51	5	Remblai d'argile traitée dans glissement	65	51	6	Remblai d'argile traitée
70	23	54	Remblai d'argile haut talus hors glissement	71	54	2	Remblai d'argile haut talus hors glissement	72	54	40	Remblai d'argile traitée

## Liste des éléments activés

- Polygones :** Polygone entre les points 11,10,13,12  
Polygone entre les points 9,10,11,12,13,14,34,33,32,1,21  
Polygone entre les points 35,36,37,38,xMax,xMin  
Polygone entre les points 10,9,22,23,24,25,26,31,7,29,28,27,16,15,34,14,13  
Polygone entre les points 15,16,17,18,19,38,37,36,35,32,33,34  
Polygone entre les points 7,8,19,18,17,16,27,28,29  
Polygone entre les points 44,43,46,45,5  
Polygone entre les points 9,21,2,54,23,22  
Polygone entre les points 24,23,54,40,42,43,44,5,51,6,31,26,25

Conditions hydrauliques : Nappe phréatique

## Toit de la nappe

	X	Y	Angle		X	Y	Angle		X	Y	Angle		X	Y	Angle
1	0,000	249,300	1,00	2	6,730	248,782	3,00	3	9,500	248,242	30,00	4	16,500	244,855	8,00
6	38,000	241,600	0,00	7	55,000	241,600	0,00								



Talren v6  
v6.2.20

Imprimé le : 20 mai 2026 15:43:26  
Calcul réalisé par : GEOTEC  
Projet : G2PRO - Confortement phase 1 par alutage seul

# Données de la situation 1

Nom de la phase : Talutage 2/1 haut - 3/1 bas - risberme 5 m - G2PRO

Nom de la situation : Surface inclino

Option de calcul : Calcul de stabilité externe générale

Type d'analyse paramétrique : Calcul de stabilité classique

Méthode de calcul : Perturbations

Exposant de tgα : 1

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation :Unitaire

Détails du jeu de coefficients de sécurité

Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient
Γmin	1,000	Γs1	1,000	Γ's1	1,000	Γtanφ	1,000	Γc'	1,000	Γcu	1,000
ΓQ	1,000	Γqsl,clou,ab	1,000	Γqsl,clou,es	1,000	Γqsl,tirant,ab	1,000	Γqsl,tirant,es	1,000	Γqsl,bande	1,000
Γpl	1,000	Γa,clou	1,000	Γa,tirant	1,000	Γa,bande	1,000	Γbuton	1,000	-	-

Détermination de ΓRd : Automatique

ΓRd : 1.0

Type de surface de rupture : Polygonale

Surface de rupture polygonale

	X	Y	u		X	Y	u		X	Y	u		X	Y	u		X	Y	u		X	Y	u
1	13,663	250,293	0,0	2	13,900	249,700	0,0	3	14,900	247,900	0,0	4	16,300	246,300	0,0	5	18,000	244,800	0,0	6	19,900	243,700	0,0
7	22,000	243,000	0,0	8	24,500	242,200	0,0	9	27,300	241,300	0,0	10	30,000	240,600	0,0	11	32,700	239,900	0,0	12	35,600	239,200	0,0
13	38,300	238,600	0,0	14	40,300	238,300	0,0	15	41,900	238,200	0,0	16	43,500	238,200	0,0	17	45,100	238,500	0,0	18	46,800	239,200	0,0

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Non



Talren v6  
v6.2.20

Imprimé le : 20 mai 2026 15:43:26  
Calcul réalisé par : GEOTEC  
Projet : G2PRO - Confortement phase 1 par alutage seul

Sol n°	1	2	3	4	5	6	7
$\gamma_w$ (kN/m³)	20,00	21,00	20,50	21,00	21,00	20,50	20,00
$\phi$ (°)	22,00	22,00	24,00	24,00	24,00	15,00	22,00
c (kPa)	2,00	1,00	8,00	20,00	24,00	4,00	5,00
$\Delta c$ (kPa/m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Phase : Talutage 2/1 haut - 3/1 bas - risberme 5 m - G2PRO / Situation : Surface inclino

- 1 Remblai d'argile traitée dans glissement
- 2 Remblai avec cailloux
- 3 Argile marneuse hors travaux
- 4 Marne argileuse
- 5 Marne
- 6 Argile marneuse altérée base remblai
- 7 Remblai d'argile haut talus hors glissement

Méthode de calcul : Perturbations  
 Jeu de coefficients de sécurité : Unitaire  
 $\Gamma_{Rd} = 1,0000$  |  $F_{min} = 1,2391$  ( $F_{min} \geq \Gamma_{min} = 1,00$ )

1,24

# Données de la situation 2

Nom de la phase : Talutage 2/1 haut - 3/1 bas - risberme 5 m - G2PRO

Nom de la situation : Surface circulaire haut

Option de calcul : Calcul de stabilité externe générale

Type d'analyse paramétrique : Calcul de stabilité classique

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation :Unitaire

Détails du jeu de coefficients de sécurité

Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient
$\Gamma_{min}$	1,000	$\Gamma_{s1}$	1,000	$\Gamma'_{s1}$	1,000	$\Gamma_{tan\phi}$	1,000	$\Gamma_{c'}$	1,000	$\Gamma_{cu}$	1,000
$\Gamma_Q$	1,000	$\Gamma_{qsl,clou,ab}$	1,000	$\Gamma_{qsl,clou,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,tirant,ab}$	1,000	$\Gamma_{qsl,tirant,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,bande}$	1,000
$\Gamma_{pl}$	1,000	$\Gamma_{a,clou}$	1,000	$\Gamma_{a,tirant}$	1,000	$\Gamma_{a,bande}$	1,000	$\Gamma_{buton}$	1,000	-	-

Détermination de  $\Gamma_{Rd}$  :Automatique

$\Gamma_{Rd}$  : 1.0

Type de surface de rupture : Circulaire manuelle

Origine du quadrillage manuel : X= 12,000; Y= 256,000

Incrément en X / Incrément en Y :X= 2,000; Y= 2,000

Angle du maillage par rapport à : l'horizontale= 0,00; la verticale= 0,00

Nombre de centres en X / en Y :en X= 6; en Y= 6

Incrément sur le rayon : 0,500

Nombre d'incréments sur le rayon :25

Abscisse émergence limite aval : 19,000

Type de recherche : Premier cercle interceptant le talus

Écarter les surfaces de peau :Non

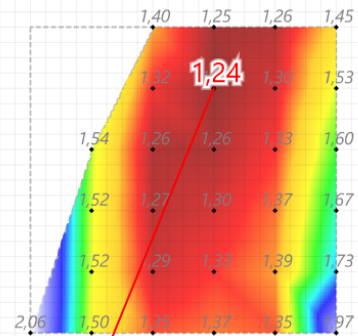
Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Non



Sol n°	1	2	3	4	5	6	7
$\gamma_w$ (kN/m³)	20,00	21,00	20,50	21,00	21,00	20,50	20,00
$\phi$ (°)	22,00	22,00	24,00	24,00	24,00	15,00	22,00
c (kPa)	2,00	1,00	8,00	20,00	24,00	4,00	5,00
$\Delta c$ (kPa/m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Phase : Talutage 2/1 haut - 3/1 bas - risberme 5 m - G2PRO / Situation : Surface circulaire haut



- 1 Remblai d'argile traitée dans glissement
- 2 Remblai avec cailloux
- 3 Argile marneuse hors travaux
- 4 Marne argileuse
- 5 Marne
- 6 Argile marneuse altérée base remblai
- 7 Remblai d'argile haut talus hors glissement

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité : Unitaire

$\Gamma_{Rd} = 1,0000$  |  $F_{min} = 1,2404$  ( $F_{min} \geq \Gamma_{min} = 1,00$ )

# Données de la situation 3

Nom de la phase : Talutage 2/1 haut - 3/1 bas - risberme 5 m - G2PRO

Nom de la situation : Surface circulaire bas talus

Option de calcul : Calcul de stabilité externe générale

Type d'analyse paramétrique : Calcul de stabilité classique

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation :Unitaire

Détails du jeu de coefficients de sécurité

Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient
$\Gamma_{min}$	1,000	$\Gamma_{s1}$	1,000	$\Gamma'_{s1}$	1,000	$\Gamma_{tan\phi}$	1,000	$\Gamma_{c'}$	1,000	$\Gamma_{cu}$	1,000
$\Gamma_Q$	1,000	$\Gamma_{qsl,clou,ab}$	1,000	$\Gamma_{qsl,clou,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,tirant,ab}$	1,000	$\Gamma_{qsl,tirant,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,bande}$	1,000
$\Gamma_{pl}$	1,000	$\Gamma_{a,clou}$	1,000	$\Gamma_{a,tirant}$	1,000	$\Gamma_{a,bande}$	1,000	$\Gamma_{buton}$	1,000	-	-

Détermination de  $\Gamma_{Rd}$  :Automatique

$\Gamma_{Rd}$  : 1.0

Type de surface de rupture : Circulaire manuelle

Origine du quadrillage manuel : X= 26,000; Y= 259,000

Incrément en X / Incrément en Y :X= 4,000; Y= 4,000

Angle du maillage par rapport à : l'horizontale= 0,00; la verticale= 0,00

Nombre de centres en X / en Y :en X= 6; en Y= 5

Incrément sur le rayon : 0,500

Nombre d'incréments sur le rayon :30

Abscisse émergence limite aval : 29,000

Type de recherche : Premier cercle interceptant le talus

Écarter les surfaces de peau :Non

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Non

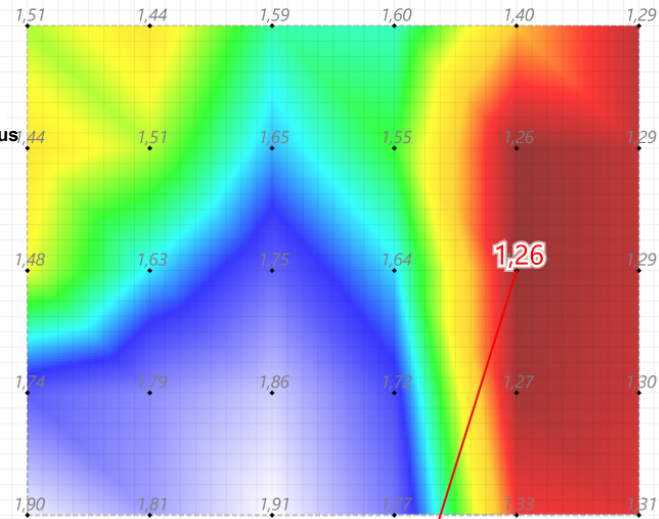


Talren v6  
v6.2.20

Imprimé le : 20 mai 2026 15:43:26  
Calcul réalisé par : GEOTEC  
Projet : G2PRO - Confortement phase 1 par alutage seul

Sol n°	1	2	3	4	5	6	7
$\gamma_w$ (kN/m³)	20,00	21,00	20,50	21,00	21,00	20,50	20,00
$\phi$ (°)	22,00	22,00	24,00	24,00	24,00	15,00	22,00
c (kPa)	2,00	1,00	8,00	20,00	24,00	4,00	5,00
$\Delta c$ (kPa/m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Phase : Talutage 2/1 haut - 3/1 bas - risberme 5 m - G2PRO / Situation : Surface circulaire bas talus



- 1 Remblai d'argile traitée dans glissement
- 2 Remblai avec cailloux
- 3 Argile marneuse hors travaux
- 4 Marne argileuse
- 5 Marne
- 6 Argile marneuse altérée base remblai
- 7 Remblai d'argile haut talus hors glissement

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité : Unitaire

$\Gamma_{Rd} = 1,0000$  |  $F_{min} = 1,2626$  ( $F_{min} \geq \Gamma_{min} = 1,00$ )

# Données de la phase 3

Nom de la phase : Talutage 2/1 haut - 3/1 bas - risberme 5 m - G2PRO - Influence nappe

## Segments de la phase

	Point 1	Point 2	Sol sous-jacent		Point 1	Point 2	Sol sous-jacent		Point 1	Point 2	Sol sous-
7	7	8	Argile marneuse altérée base remblai	8	9	10	Argile marneuse hors travaux	9	10	11	Remblai ave
10	11	12	Argile marneuse hors travaux	11	12	13	Remblai avec cailloux	12	13	14	Argile marneuse
14	15	16	Marne argileuse	15	16	17	Marne argileuse	16	17	18	Marne arg
17	18	19	Marne argileuse	18	9	21	Argile marneuse hors travaux	19	21	1	Argile marneuse
21	22	23	Remblai avec cailloux	22	23	24	Remblai avec cailloux	23	24	25	Remblai ave
24	25	26	Remblai avec cailloux	26	9	22	Remblai avec cailloux	28	27	28	Argile marneuse alté
29	28	29	Argile marneuse altérée base remblai	30	29	7	Argile marneuse altérée base remblai	31	26	31	Remblai ave
32	31	6	Remblai d'argile traitée dans glissement	33	31	7	Remblai avec cailloux	34	16	27	Argile marneuse alté
35	32	33	Marne argileuse	36	33	34	Marne argileuse	37	34	14	Argile marneuse
38	34	15	Marne argileuse	39	35	36	Marne	40	36	37	Marn
41	37	38	Marne	45	21	2	Remblai d'argile haut talus hors glissement	47	42	43	Remblai d'argile traitée
48	40	42	Remblai d'argile traitée dans glissement	52	45	5	Remblai d'argile traitée dans glissement	53	45	46	Remblai d'argile traitée
54	43	46	Remblai d'argile traitée dans glissement	64	51	5	Remblai d'argile traitée dans glissement	65	51	6	Remblai d'argile traitée
70	23	54	Remblai d'argile haut talus hors glissement	71	54	2	Remblai d'argile haut talus hors glissement	72	54	40	Remblai d'argile traitée

## Liste des éléments activés

- Polygones :** Polygone entre les points 11,10,13,12  
Polygone entre les points 9,10,11,12,13,14,34,33,32,1,21  
Polygone entre les points 35,36,37,38,xMax,xMin  
Polygone entre les points 10,9,22,23,24,25,26,31,7,29,28,27,16,15,34,14,13  
Polygone entre les points 15,16,17,18,19,38,37,36,35,32,33,34  
Polygone entre les points 7,8,19,18,17,16,27,28,29  
Polygone entre les points 44,43,46,45,5  
Polygone entre les points 9,21,2,54,23,22  
Polygone entre les points 24,23,54,40,42,43,44,5,51,6,31,26,25

Conditions hydrauliques : Nappe phréatique

## Toit de la nappe

	X	Y	Angle		X	Y	Angle		X	Y	Angle		X	Y	Angle		X	Y	Angle
1	0,000	249,300	1,00	2	6,730	248,782	3,00	3	9,500	248,700	30,00	4	38,000	241,600	0,00	5	55,000	241,600	0,00



Talren v6  
v6.2.20

Imprimé le : 20 mai 2026 15:43:26  
Calcul réalisé par : GEOTEC  
Projet : G2PRO - Confortement phase 1 par alutage seul



# Données de la situation 1

Nom de la phase : Talutage 2/1 haut - 3/1 bas - risberme 5 m - G2PRO - Influence nappe

Nom de la situation : Surface inclino

Option de calcul : Calcul de stabilité externe générale

Type d'analyse paramétrique : Calcul de stabilité classique

Méthode de calcul : Perturbations

Exposant de tgα : 1

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation :Unitaire

Détails du jeu de coefficients de sécurité

Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient
Γmin	1,000	Γs1	1,000	Γ's1	1,000	Γtanφ	1,000	Γc'	1,000	Γcu	1,000
ΓQ	1,000	Γqsl,clou,ab	1,000	Γqsl,clou,es	1,000	Γqsl,tirant,ab	1,000	Γqsl,tirant,es	1,000	Γqsl,bande	1,000
Γpl	1,000	Γa,clou	1,000	Γa,tirant	1,000	Γa,bande	1,000	Γbuton	1,000	-	-

Détermination de ΓRd : Automatique

ΓRd : 1.0

Type de surface de rupture : Polygonale

Surface de rupture polygonale

	X	Y	u		X	Y	u		X	Y	u		X	Y	u		X	Y	u		X	Y	u
1	13,663	250,293	0,0	2	13,900	249,700	0,0	3	14,900	247,900	0,0	4	16,300	246,300	0,0	5	18,000	244,800	0,0	6	19,900	243,700	0,0
7	22,000	243,000	0,0	8	24,500	242,200	0,0	9	27,300	241,300	0,0	10	30,000	240,600	0,0	11	32,700	239,900	0,0	12	35,600	239,200	0,0
13	38,300	238,600	0,0	14	40,300	238,300	0,0	15	41,900	238,200	0,0	16	43,500	238,200	0,0	17	45,100	238,500	0,0	18	46,800	239,200	0,0

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Non



Talren v6  
v6.2.20

Imprimé le : 20 mai 2026 15:43:26  
Calcul réalisé par : GEOTEC  
Projet : G2PRO - Confortement phase 1 par alutage seul

Sol n°	1	2	3	4	5	6	7
$\gamma_w$ (kN/m³)	20,00	21,00	20,50	21,00	21,00	20,50	20,00
$\phi$ (°)	22,00	22,00	24,00	24,00	24,00	15,00	22,00
c (kPa)	2,00	1,00	8,00	20,00	24,00	4,00	5,00
$\Delta c$ (kPa/m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Phase : Talutage 2/1 haut - 3/1 bas - risberme 5 m - G2PRO - Influence nappe / Situation : Surface inclino

- 1 Remblai d'argile traitée dans glissement
- 2 Remblai avec cailloux
- 3 Argile marneuse hors travaux
- 4 Marne argileuse
- 5 Marne
- 6 Argile marneuse altérée base remblai
- 7 Remblai d'argile haut talus hors glissement

Méthode de calcul : Perturbations  
 Jeu de coefficients de sécurité : Unitaire  
 $\Gamma_{Rd} = 1,0000$  |  $F_{min} = 1,1306$  ( $F_{min} \geq \Gamma_{min} = 1,00$ )

# Données de la situation 2

Nom de la phase : Talutage 2/1 haut - 3/1 bas - risberme 5 m - G2PRO - Influence nappe

Nom de la situation : Surface circulaire haut

Option de calcul : Calcul de stabilité externe générale

Type d'analyse paramétrique : Calcul de stabilité classique

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation :Unitaire

Détails du jeu de coefficients de sécurité

Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient
$\Gamma_{min}$	1,000	$\Gamma_{s1}$	1,000	$\Gamma'_{s1}$	1,000	$\Gamma_{tan\phi}$	1,000	$\Gamma_{c'}$	1,000	$\Gamma_{cu}$	1,000
$\Gamma_Q$	1,000	$\Gamma_{qsl,clou,ab}$	1,000	$\Gamma_{qsl,clou,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,tirant,ab}$	1,000	$\Gamma_{qsl,tirant,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,bande}$	1,000
$\Gamma_{pl}$	1,000	$\Gamma_{a,clou}$	1,000	$\Gamma_{a,tirant}$	1,000	$\Gamma_{a,bande}$	1,000	$\Gamma_{buton}$	1,000	-	-

Détermination de  $\Gamma_{Rd}$  :Automatique

$\Gamma_{Rd}$  : 1.0

Type de surface de rupture : Circulaire manuelle

Origine du quadrillage manuel : X= 12,000; Y= 256,000

Incrément en X / Incrément en Y :X= 2,000; Y= 2,000

Angle du maillage par rapport à : l'horizontale= 0,00; la verticale= 0,00

Nombre de centres en X / en Y :en X= 6; en Y= 6

Incrément sur le rayon : 0,500

Nombre d'incréments sur le rayon :25

Abscisse émergence limite aval : 19,000

Type de recherche : Premier cercle interceptant le talus

Écarter les surfaces de peau :Non

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Non

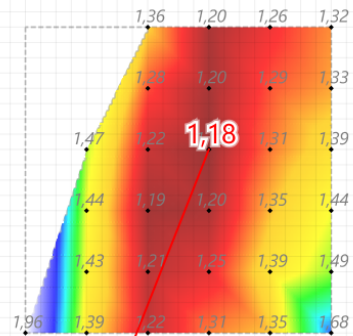


Talren v6  
v6.2.20

Imprimé le : 20 mai 2026 15:43:27  
Calcul réalisé par : GEOTEC  
Projet : G2PRO - Confortement phase 1 par alutage seul

Sol n°	1	2	3	4	5	6	7
$\gamma_w$ (kN/m³)	20,00	21,00	20,50	21,00	21,00	20,50	20,00
$\phi$ (°)	22,00	22,00	24,00	24,00	24,00	15,00	22,00
c (kPa)	2,00	1,00	8,00	20,00	24,00	4,00	5,00
$\Delta c$ (kPa/m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Phase : Talutage 2/1 haut - 3/1 bas - risberme 5 m - G2PRO - Influence nappe / Situation : Surface circulaire haut



- 1 Remblai d'argile traitée dans glissement
- 2 Remblai avec cailloux
- 3 Argile marneuse hors travaux
- 4 Marne argileuse
- 5 Marne
- 6 Argile marneuse altérée base remblai
- 7 Remblai d'argile haut talus hors glissement

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité : Unitaire

$\Gamma_{Rd} = 1,0000$  |  $F_{min} = 1,1844$  ( $F_{min} \geq \Gamma_{min} = 1,00$ )



# Données de la situation 3

Nom de la phase : Talutage 2/1 haut - 3/1 bas - risberme 5 m - G2PRO - Influence nappe

Nom de la situation : Surface circulaire bas talus

Option de calcul : Calcul de stabilité externe générale

Type d'analyse paramétrique : Calcul de stabilité classique

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation :Unitaire

Détails du jeu de coefficients de sécurité

Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient
$\Gamma_{min}$	1,000	$\Gamma_{s1}$	1,000	$\Gamma'_{s1}$	1,000	$\Gamma_{tan\phi}$	1,000	$\Gamma_{c'}$	1,000	$\Gamma_{cu}$	1,000
$\Gamma_Q$	1,000	$\Gamma_{qsl,clou,ab}$	1,000	$\Gamma_{qsl,clou,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,tirant,ab}$	1,000	$\Gamma_{qsl,tirant,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,bande}$	1,000
$\Gamma_{pl}$	1,000	$\Gamma_{a,clou}$	1,000	$\Gamma_{a,tirant}$	1,000	$\Gamma_{a,bande}$	1,000	$\Gamma_{buton}$	1,000	-	-

Détermination de  $\Gamma_{Rd}$  :Automatique

$\Gamma_{Rd}$  : 1.0

Type de surface de rupture : Circulaire manuelle

Origine du quadrillage manuel : X= 26,000; Y= 259,000

Incrément en X / Incrément en Y :X= 4,000; Y= 4,000

Angle du maillage par rapport à : l'horizontale= 0,00; la verticale= 0,00

Nombre de centres en X / en Y :en X= 6; en Y= 5

Incrément sur le rayon : 0,500

Nombre d'incréments sur le rayon :30

Abscisse émergence limite aval : 29,000

Type de recherche : Premier cercle interceptant le talus

Écarter les surfaces de peau : Non

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Non

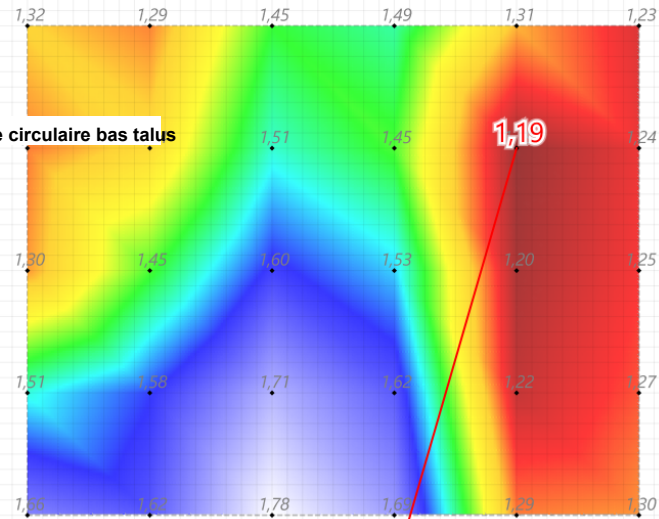


Talren v6  
v6.2.20

Imprimé le : 20 mai 2026 15:43:27  
Calcul réalisé par : GEOTEC  
Projet : G2PRO - Confortement phase 1 par alutage seul

Sol n°	1	2	3	4	5	6	7
$\gamma_w$ (kN/m³)	20,00	21,00	20,50	21,00	21,00	20,50	20,00
$\phi$ (°)	22,00	22,00	24,00	24,00	24,00	15,00	22,00
c (kPa)	2,00	1,00	8,00	20,00	24,00	4,00	5,00
$\Delta c$ (kPa/m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Phase : Talutage 2/1 haut - 3/1 bas - risberme 5 m - G2PRO - Influence nappe / Situation : Surface circulaire bas talus



- 1 Remblai d'argile traitée dans glissement
- 2 Remblai avec cailloux
- 3 Argile marneuse hors travaux
- 4 Marne argileuse
- 5 Marne
- 6 Argile marneuse altérée base remblai
- 7 Remblai d'argile haut talus hors glissement

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité : Unitaire

$\Gamma_{Rd} = 1,0000$  |  $F_{min} = 1,1892$  ( $F_{min} \geq \Gamma_{min} = 1,00$ )



GROUPE

**GÉOTEC**

ENSEMBLE, CONCEVONS UN AVENIR DURABLE



www geotec.fr



Groupe  
Géotec



Groupe  
Géotec