

Note technique

Etude de faisabilité du remblai Ouest

Reconstruction des hôpitaux de Tarbes- Lourdes

LANNE (65)



Affaire 3513815 - Septembre 2025

CENTRE HOSPITALIER DE TARBES-LOURDES

Boulevard de Lattre de Tassigny

B.P 1330

65013 TARBES Cedex 9

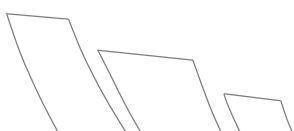
CLIENT

NOM	Centre Hospitalier de Tarbes - Lourdes
ADRESSE	Boulevard de Lattre de Tassigny, B. P. 1330, 65013 TARBES CEDEX 9
INTERLOCUTEUR	M. GABASTOU – Directeur adjoint, M. HEINS – Directeur des Travaux – CH Tarbes-Lourdes M. HEINS – Direction des Travaux – CH Tarbes-Lourdes M. LEMAITRE – Direction technique de Projet AMO – A2MO M. PICOT – Chargé d'affaires - OTÉIS

ECR ENVIRONNEMENT

AGENCE	Rennes
ADRESSE	ZA du Haut Danté 20 rue du Bocage 35 520 LA CHAPELLE-DES-FOUGERETZ
TELEPHONE	02 99 23 60 00
MAIL	rennes@ecr-environnement.com

DATE	INDICE	OBSERVATION / MODIFICATION	REDACTEUR	VERIFICATEUR
06/08/2025	01		L. PÉRE	A. MARTIN
16/09/2025	02	MAJ suite réunion du 03/10/2025	L. PÉRE	P. GANDILHON

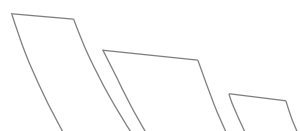


SOMMAIRE

1.	PRESENTATION	3
1.1.	OBJET DE LA MISSION	3
1.2.	VERIFICATION A MENER	3
1.3.	DOCUMENTS REMIS POUR L'ETUDE.....	3
1.4.	PRESENTATION DU PROJET	4
2.	CHOIX DES DONNEES D'ENTREE.....	6
2.1.	CONTEXTE STRUCTURAL.....	6
2.2.	PRINCIPE RETENU	14
2.3.	LE MODELE DE CALCUL	14
2.4.	GEOMETRIE ET PHASAGE DU REMBLAI	17
3.	ANALYSE DES CONDITIONS DE STABILITE DES REMBLAIS.....	19
3.1.	EVALUATION DES TASSEMENTS	19
3.2.	STABILITE AU POINÇONNEMENT	25
3.3.	STABILITE AU GLISSEMENT	27
4.	CONCLUSION GENERALE	33
4.1.	EXPLOITATION DES RESULTATS	33
4.2.	SUIVI ET AUSCULTATION	34
	CONDITIONS PARTICULIÈRES	37

ANNEXES

- ✓ EXTRAIT DE LA NORME NF P 94-500 (2 PAGES)
- ✓ TALREN – DONNEES COUPES 1 (2 PAGES)
- ✓ TALREN – COUPE 1 – PHASES 1 A 3 (6 PAGES)
- ✓ TALREN – COUPE 1 – PHASE FINALE – COMB ACC + KV - KV (4 PAGES)
- ✓ TALREN – COUPE 1 – PHASES FINALE / PHASE FINALE PZ + 2M (4PAGES)
- ✓ TALREN – DONNEES COUPES 2 (2 PAGES)
- ✓ TALREN – COUPE 2 – PHASES 1 A 4 (8 PAGES)
- ✓ TALREN – COUPE 2 – PHASE FINALE – COMB ACC + KV - KV (4 PAGES)
- ✓ TALREN – COUPE 2 – PHASES FINALE / PHASE FINALE PZ + 2M (4PAGES)



1. PRESENTATION

1.1. Objet de la mission

Cette étude a été réalisée par la société **ECR ENVIRONNEMENT**, à la demande et pour le compte du **Centre Hospitalier de Tarbes-Lourdes**. Elle s'inscrit dans une mission globale type G2 PRO suivant la classification des missions d'ingénierie géotechnique établie en novembre 2013 (extrait de la norme NF P 94-500 présentée en annexe).

L'objectif de cette note est de définir l'approche méthodologique pour la conduite des études sur la stabilité du remblai Ouest et d'évaluer la faisabilité de sa géométrie projetée. Cette note permet donc de définir le modèle géotechnique à prendre en compte à ce stade des études ainsi que les méthodes de calculs permettant de produire les justifications requises.

1.2. Vérification à mener

Pour le remblai Ouest, les vérifications doivent porter sur les points suivants :

- Contrôle des tassements des sols d'assises et des temps de consolidation ;
- Stabilité vis-à-vis du poinçonnement des sols d'assises lors de l'édification des ouvrages ;
- Stabilité des pentes de remblais à la rupture circulaire par glissement à court terme, à long terme et en prenant compte le risque sismique.

1.3. Documents remis pour l'étude

Préalablement à la réalisation de cette note spécifique au remblai Ouest, il nous a été fourni les documents suivants :

- Rapport d'étude géotechnique G1-PGC n° RP21. 560.M du 15 octobre 2021 établi par INGÉSOL + Note technique complémentaire du 3 janvier 2022 sur agressivité eau et suivi piézométrique ;
- Note sur les terrassements – complément pour EI – 8 novembre 2024 ;
- Sécurisation des aspects technique du projet – 16/05/2025 ;
- LAN_B01_PAY_APS3_00013_TTN_COU_TALUS OUEST ECR_V02.

Le projet a également fait l'objet d'études antérieures réalisées par ECR ENVIRONNEMENT et utilisées dans le cadre de cette note :

- Etude 6411126 G2 AVP – ind 3, en date du 27/02/2025 ;
- Campagne géophysique complémentaire 6411425 – Remblais Ouest - indice 01 – 31/01/2025 ;



1.4. Présentation du projet

Dans le cadre de la reconstruction des hôpitaux de Tarbes-Lourdes, un reprofilage du terrain final était initialement prévu sur une hauteur d'environ 10 m. L'évolution en phase projet a conduit à un élargissement du talus initialement prévu, vers l'Ouest en direction du cours d'eau La *Geune*, et dont la reconnaissance in situ réalisée en G2 AVP a permis d'identifier des sols compressibles jusqu'à 4,5 à 5,0 m de profondeur.

Il convient de rappeler que les terrains situés en pied de la colline, proche du ruisseau, figurent dans une zone humide (cf Chapitre 1.3 – étude G2 AVP).

Selon les plans fournis, la mise niveau de la zone logistique avec le reste du projet, nécessitera la réalisation d'un remblaiement pouvant atteindre 16 m de hauteur localement. A ce stade des études, les matériaux constituant des remblais ne sont pas connus mais il est fortement envisagé la réutilisation de matériaux U2 : Flychs ardoisiers disponibles lors des opérations d'excavation sur d'autre localisation du projet.

La pente des talus sera d'environ 1 distance verticale pour 2 distance horizontale (soit environ 27 ° par rapport à la normale). De plus, 3 niveaux de risbermes de 2 mètres de larges seront aménagés sur le talus tous 7 à 10 m par rapport à la crête de talus.

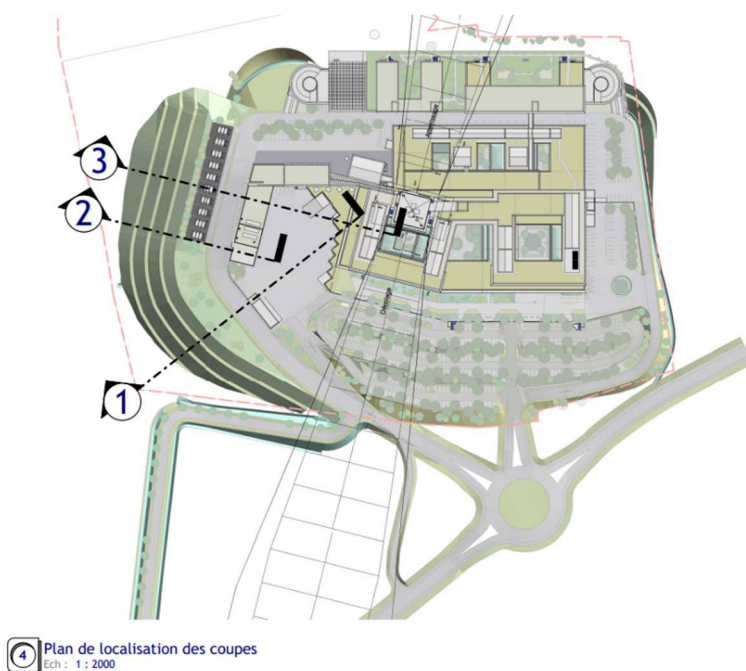


Figure 1 : Plan de masse du projet avec les coupes 1 à 3 centrées sur le talus Ouest.

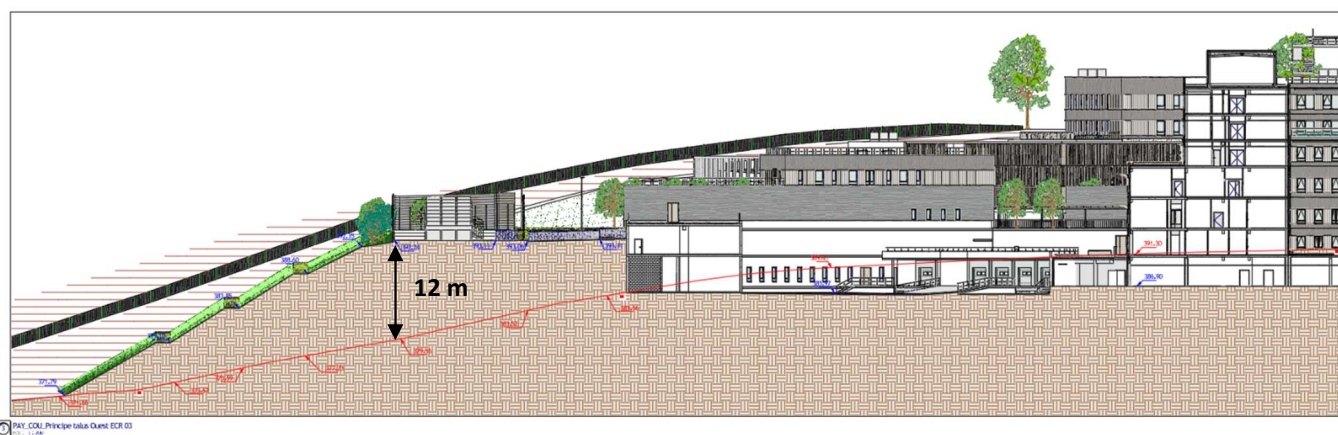
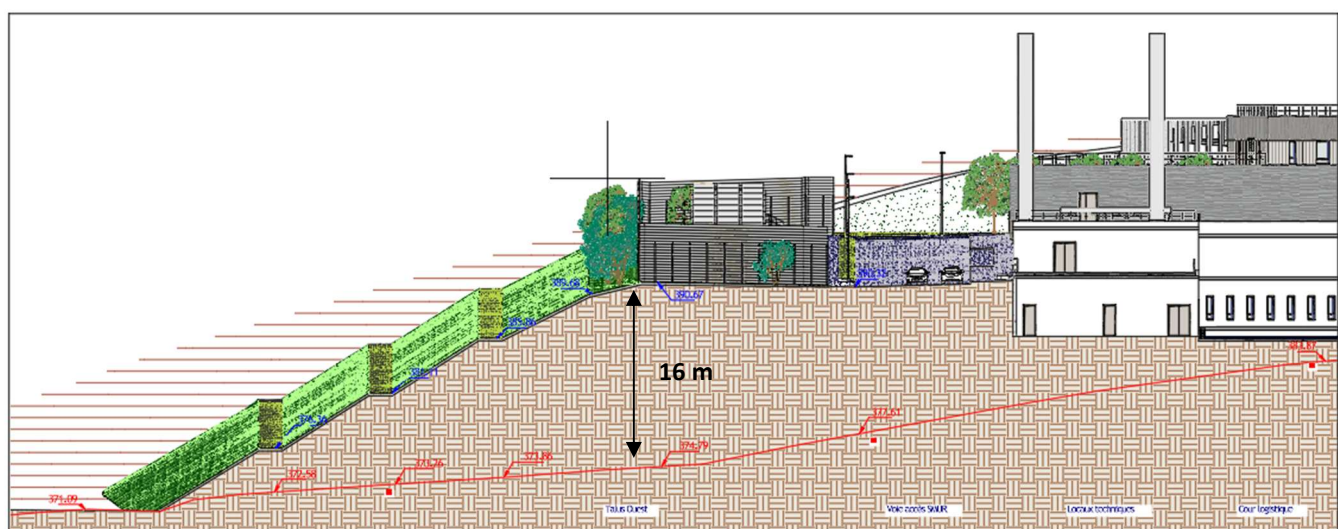
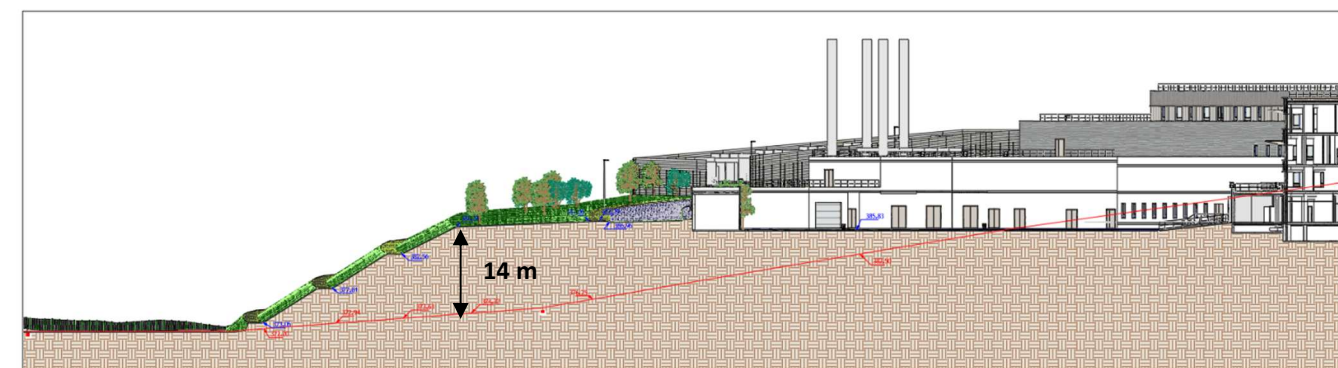


Figure 2 : Coupes 1 à 3 du talus Ouest.

2. CHOIX DES DONNEES D'ENTREE

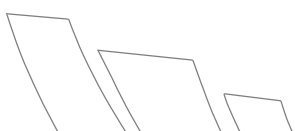
2.1. Contexte structural

Dans le secteur, des failles normales de direction Nord-Sud et Nord-Ouest-Sud-Est sont signalées par la carte géologique. A l'échelle du projet, des discontinuité géologiques sont donc suspectées peuvent être présentes sous le faciès de recouvrement.

Ces failles peuvent créer des zones de faiblesses, caractérisées par un approfondissement de matériaux argileux par affaissement du substratum et une altération du massif rocheux amplifiée par un faisceau de fractures dans le couloir de failles. Cette caractéristique peut influencer la capacité au massif de sol à résister à un glissement de grande ampleur et également sur les tassements dans une couche compressible.

L'identification de ces failles passent par une combinaison de méthode de reconnaissances mélangeant profils géophysiques continues et sondages géologiques ponctuels.

L'analyse de cet aléa s'appuie sur les conclusions du chapitre 2.5 « Résultats des mesures géophysiques » de l'étude G2 AVP indice 03 du 27/02/2025.



- **Mesures géophysiques :**

- Profils sismiques 2024

Les profils sismiques de 2024 ont permis de dégager les 3 unités sismiques associées à des vitesses de propagation. Elles sont rappelées dans le tableau suivant :

Vitesses sismiques	Lithologie	Epaisseur	Photographies
$350 \leq V_s \leq 600$ m/s	U1/ Couverture argileuse	≈ 1 à 4 m	
$1600 \leq V_s \leq 2400$ m/s	U2/ Substratum fracturé / altéré	$\approx 2,5$ à 8 m	
$2700 \leq V_s \leq 4100$ m/s	U3/ Substratum +/- massif	> 20 m	

Les coupes géologiques interprétée selon les vitesses de propagations des sols montrent :

- Des variations du toit du substratum U3 (schiste +/- massif) pouvant atteindre une profondeur d'environ 7,0 à 9,5 m au Nord-Ouest du site. Cette structure profondeur du toit de la couche U3 n'est pas remarquée sur SP11-SC11 mais plutôt au droit de SP12 -SC12 avec une base du substratum altéré U2 et donc le toit du substratum massif U3 vers 7,0 m de profondeur ;
- Des limites de couches qui suivent globalement la topographie du terrain naturel, avec quelques légers approfondissements ;
- L'absence d'anomalie significative mettant en avant une surprofondeur de terrain argileux avec des vitesses d'ondes sismiques comprises entre 350 et 600 m/s.



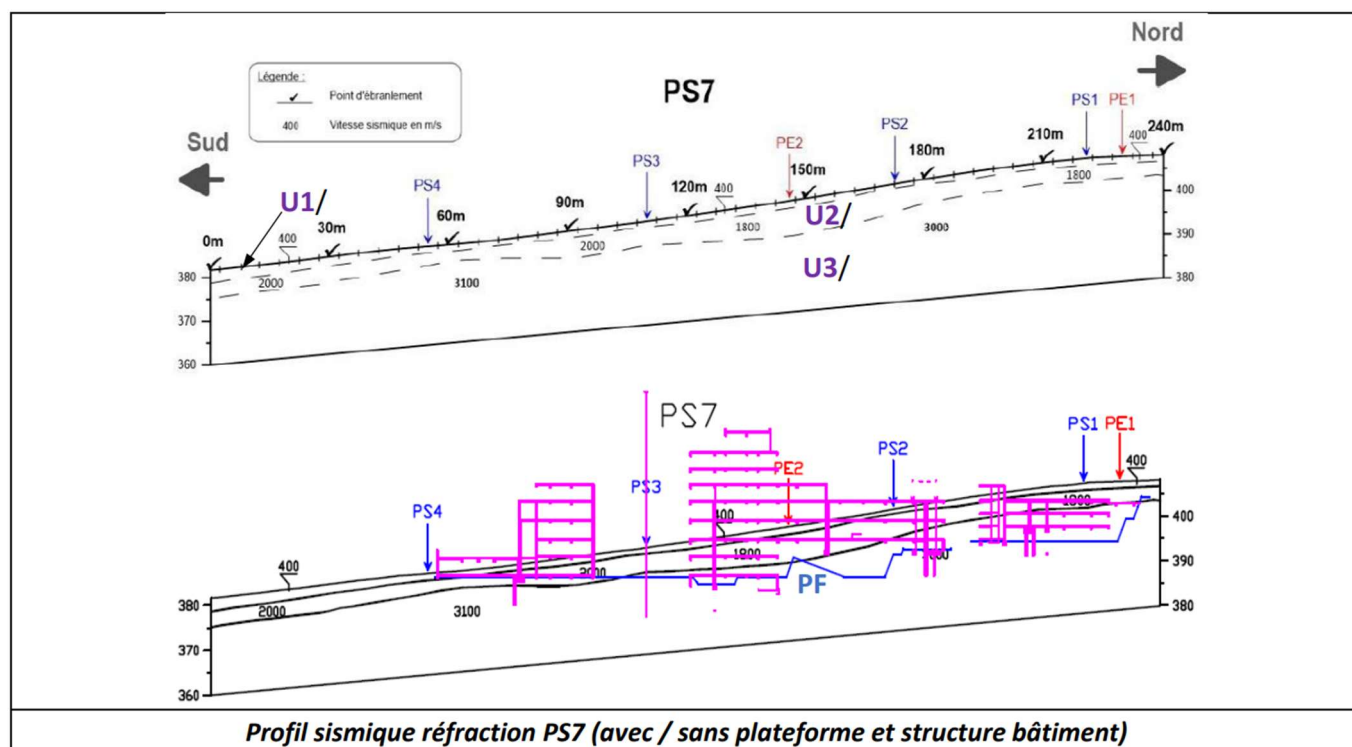
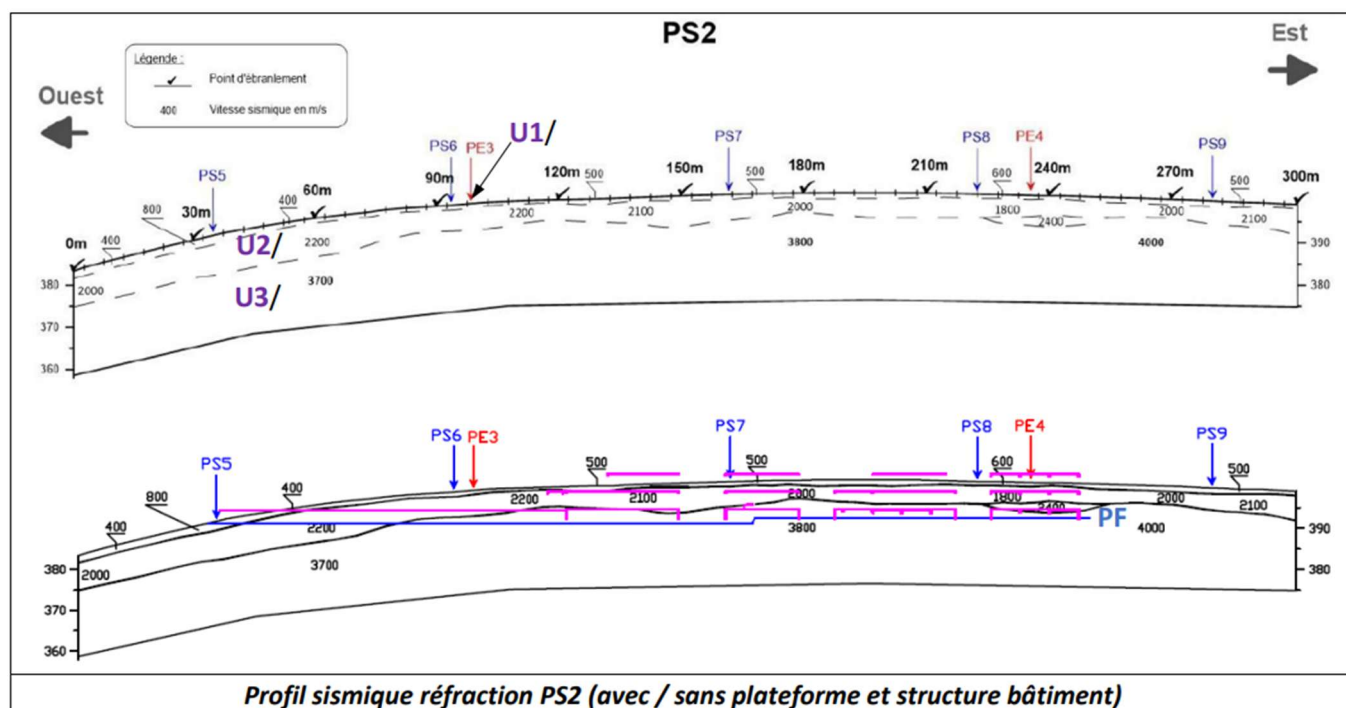


Figure 4 : Exemples de profils sismiques PS2 et PS7

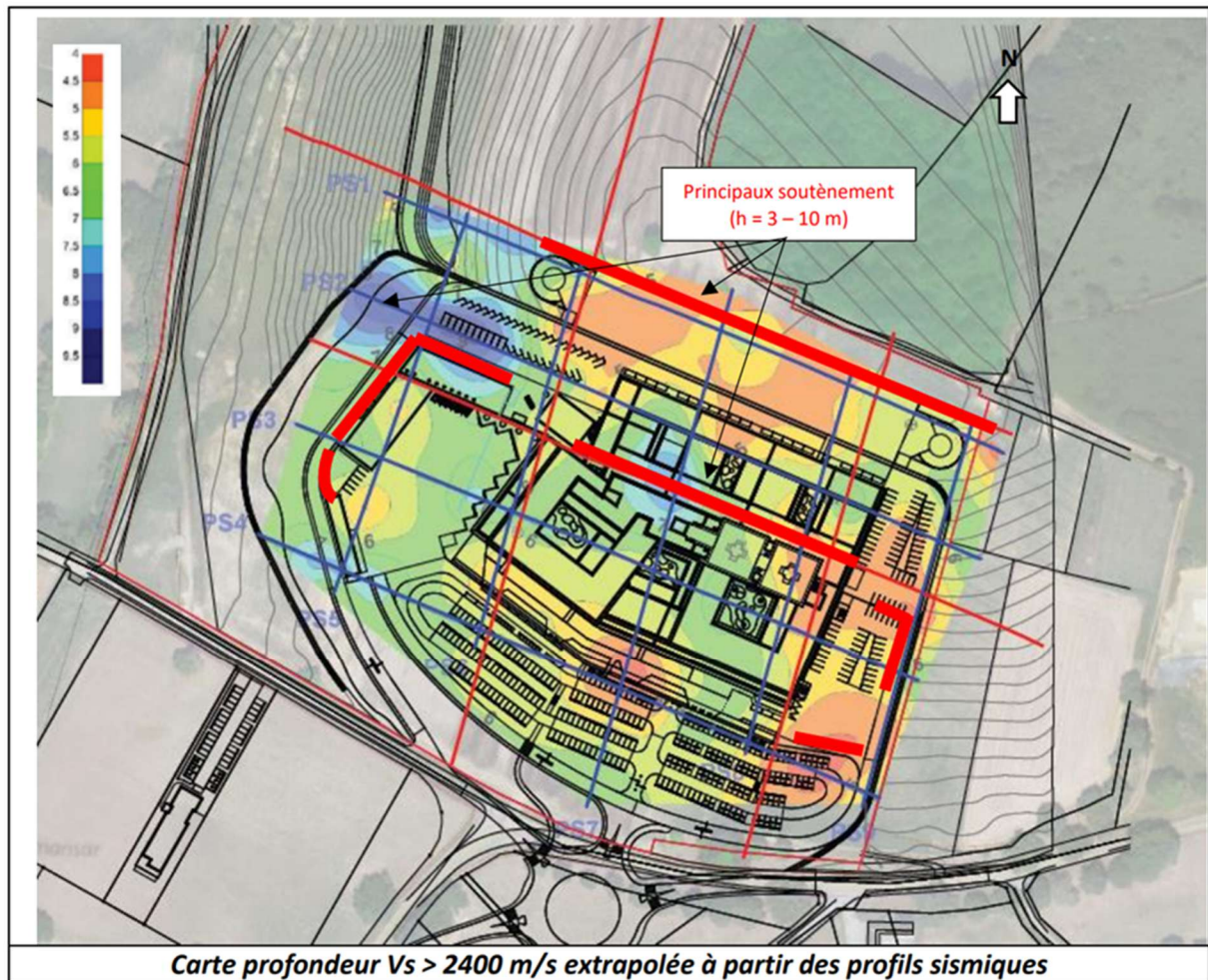


Figure 5 : Carte des profondeurs des Vs > 2400 m/s

○ Profils sismiques 2025 – Remblais Ouest

L'interprétation des vitesses d'ondes du profil 1 (axe Nord-Sud) montre une délimitation tabulaire entre deux couches de vitesses moyennes différentes.

Pour les profils 2 et 3, réalisés sur un axe Est-Ouest, les mesures mettent en avant des couches de faibles vitesses d'ordre en tête (environ 300 m/s) sur 2 à 3 m environ, puis une augmentation des vitesses d'ondes jusqu'à environ 2000 m/s. Ces profils mettent en avant des structures de couches plutôt planes plutôt cohérentes avec les sondages in situ

Le profil 4 met en avant une augmentation significative d'environ 15 m d'une couche possédant des vitesses d'onde plutôt faible sur la partie Nord du tracé. Dans le secteur, les sondages SP12/SC12 et SP13/SC13 ainsi que les essais pénétrométriques P16, P33, P34, P35, P37 montrent plutôt une augmentation de terrains mous argileux sur une

profondeur d'environ 5 m. Par conséquent, la corrélation entre les mesures sismiques et les sondages sur site est relativement faible.

○ Profils de tomographies électriques

Pour rappel, la tomographie électrique est une méthode de prospection visant à cartographier le sous-sol suivant les propriétés de résistivités / conductivités électriques des terrains. Celles-ci sont dépendantes de la nature du sol (argiles, sables, roche...) mais également de leur état de saturation en eau.

A titre indicatif, les gammes de résistivité habituelles des terrains suivant la nature des matériaux sont résumées dans le graphique suivant :

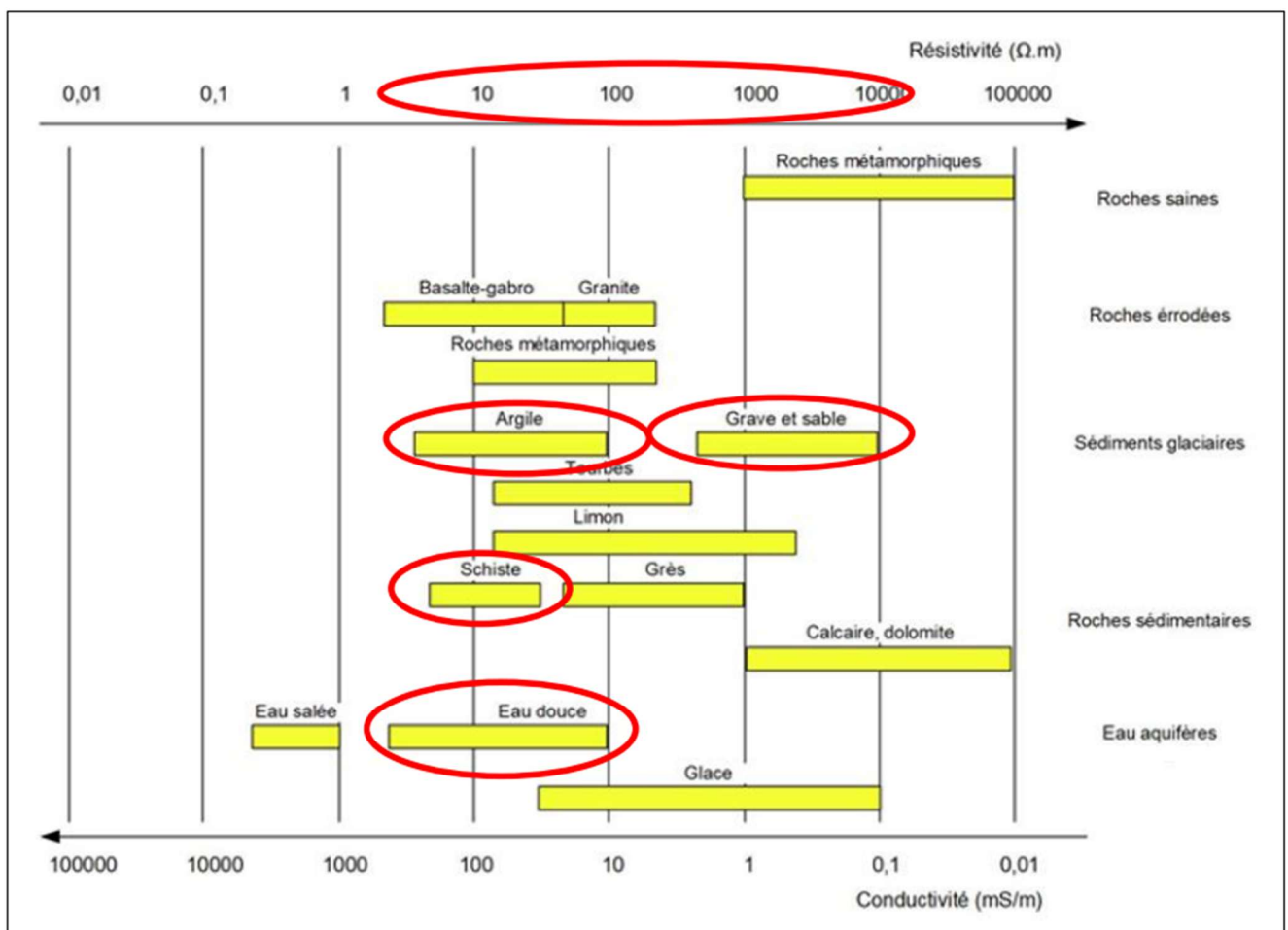


Figure 6 : Gamme de résistivité de l'eau, des sols et de roches

➤ Profils 2024

Les panneaux de résistivité Est-Ouest PE1 et PE2 mettent en évidence une démarcation nette, suivant la ligne topographique du terrain naturel, en 2 formations :

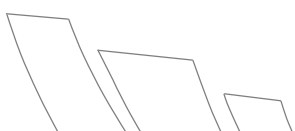
- Une couche superficielle de résistivité faible associée à la couche de recouvrement argileuse et du substratum fracturé sur une épaisseur de 5 à 10 m ;
- Une unité plus résistante en profondeur correspondant au substratum plus massif ;
- Une bonne corrélation avec les sondages par forage réalisés sur le site ;
- Une absence d'anomalie marquée par une profondeur de la couche de faible résistivité.

Les panneaux de résistivité Nord-Sud PE3 et PE4 mettent en évidence des couches géologiques de faibles résistivités globalement, représentées par des couleurs claires. Des zones non connectées entre elles, avec des résistivités fortes sont observées au droit de PE3, pouvant être liées à la présence de rochers plus massifs. Sur PE4, il est observé une zone de fortes résistivités (pouvant être associés aux terrains alluvionnaires U1 bis) puis de faibles résistivités pouvant traduire la présence d'un sol avec un degré d'humidité plus important au niveau de l'extrémité Sud.

➤ Profils janvier 2025 (centrée sur le remblais Ouest)

Sur les profils orienté Nord-Sud (F-P1, F-P2 et F-P3) :

- On observe deux unités avec des résistivités faibles à moyennes (entre 0,0 et 50 Ω . m) entre 0 et 5 m de profondeur puis moyennes à fortes en profondeur ($>50 \Omega$. M) sur F-P1 et F-P2. Les gammes de résistivités recoupent celles des argiles, des schistes et des graves et sables ;
- En F-P2, un terrain avec une faible résistivité est observé sur une grande profondeur mais pouvant toujours s'apparenter à la gamme de résistivités des schistes ou des argiles. Cette zone semble concomitante avec celle observée dans le profil PS2 marquant une profondeur plus importante du schiste fracturé U2 ;
- Le profil F-P3 présente un aspect inversé par rapport aux deux autres sondages à savoir de fortes résistivités en tête et des résistivités moyennes en profondeur. Les structures représentées semblent suspectes. La confiance dans les données de ce profil est relativement basse.



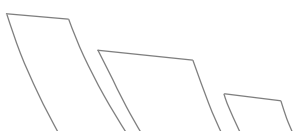
Sur les profils orientés Est-Ouest (F-P4, F-P5 et F-P6), il est possible d'observer :

- La dissociation de deux unités claires de faibles à moyennes résistivités (entre 3 et 50 Ω . m) et moyenne fortes ($> 50 \Omega$. m) ;
- Les profils FP4, F-P5 et F-P6 sont très similaires avec de fortes résistivités observées à l'Ouest jusqu'à 5-6 m, pouvant être interprétées comme un matériau alluvionnaire plus sableux et une zone de résistivités plus faibles à moyennes au centre mais restant dans le spectre des argiles ou des schistes ;
- A l'Est des profils F-P5 et F-P6, on observe également quelques lentilles de terrains de plus fortes résistivités ;
- L'Est du profil F-P4 est marqué par une zone de résistivité relativement faible sur une épaisseur d'environ 6 m éventuellement due à des argiles et/ou un terrain saturé en eau. Cette zone peut être interprétée comme de la présence de terrain plus argileux et/ou saturée en eau similaire à ceux déjà observés au niveau du PE3 et du sondage SP3 de la G1 d'INGESOL.

- **Sondages in situ**

Les investigations réalisées ont permis de mettre en évidence les points suivants :

- Une couche d'argile U1 d'une épaisseur moyenne de 1 à 2 m sur la partie haute du terrain et pouvant atteindre 4 à 5 m à l'Ouest ou au Sud ;
- La présence d'un faciès alluvionnaires pouvant contenir des galets polygéniques en partie aval du projet au Sud et Sud-Ouest, sur des épaisseurs comprises entre 4 et 5 m ;
- Un substratum schisteux fracturé (U2) de bonne compacité sur des épaisseurs variables (profondeurs de la base entre 4 et 7 m/TN) ;
- Un substratum schisteux +/- massifs de très bonne compacité jusqu'à 15 à 20 m/TN ;
- Des épaisseurs modestes de matériau de faibles compacités et compatibles avec des formations de pentes colluvionnées ;
- Les sondages n'ont pas mis en évidence de zones très fracturées / fragmentées compatible avec la présence d'une faille importante.



- **Avis sur l'impact de la géologie structurale dans les modèles de calculs de stabilité du talus Ouest.**

Les profils tomographiques sur l'emprise des bâtiments ne mettent pas évidence d'anomalie significative permettant de confirmer la présence d'un complexe de faille.

Au droit du remblai Ouest, les 3 profils Est-Ouest semblent indiquer la présence d'un terrain plus argileux au centre des tracés. Néanmoins, la gamme de résistivité observée reste celle des schistes ou des argiles et les sondages pressiométriques réalisés dans le secteur ne mettent pas en évidence une surprofondeur d'argile molle.

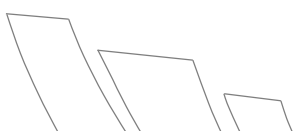
Quant aux profils sismiques réalisés sur l'ensemble de la zone, ils mettent en avant des variations verticales de vitesses d'ondes correspondantes aux limites de couches mais pas de changements latéraux de vitesses de propagations d'ondes induites par une faille verticale normale.

Pour terminer, les sondages in situ confirment globalement les contextes mis en avant dans les profils de géophysique avec :

- Des approfondissements locaux de substratum fracturé mais de bonne compacité mécanique comme en SP12-SC12 ;
- Approfondissement de la couche U1 et U1 bis en aval lié à l'altération des terrains et à la présence de *La Geune*.

A ce stade des reconnaissances, les diverses méthodes de reconnaissances in-situ réalisées au niveau du remblais Ouest tendent à confirmer la présence d'un contexte d'épaississement de matériaux argileux typique d'un système colluvionnaire, repris par des dépôts alluvionnaires apportées *La Geune*. **En conclusions, les données ne permettent pas de confirmer la présence d'un réseau de fractures importantes au droit du remblais Ouest.**

Néanmoins, les reconnaissances restent ponctuelles et ne permettent pas d'écarter totalement le risque de présence d'accidents géologiques. Cet aléa ne peut donc pas être considéré nul au droit du site même si l'absence d'indice dans les reconnaissances géotechniques a réduit le risque d'occurrence. Des adaptations en cours de chantier pourront être à prévoir lors des terrassements dans la masse.



2.2. Principe retenu

Comme évoqué précédemment, l'agrandissement du remblai technique implique la mobilisation des couches compressibles composées des argiles de recouvrement U1 et des alluvions de *la Geune* U1 BIS sur des épaisseurs pouvant atteindre 4,5 m environ.

Cette première étude consiste donc à évaluer la faisabilité de la mise en place d'un remblai de forte hauteur sur une zone compressible.

Une substitution de ces matériaux par des terrains non compressibles est envisageable. Néanmoins, l'extraction de ces terrains implique de récupérer un volume de terre important à mettre en dépôt. Cela pourrait remettre en question l'équilibre des terrassements et l'intérêt du remblai Ouest.

Par conséquent, cette note part du principe que les terrassements au sein des alluvions et des argiles de recouvrement seront limités à un décapage superficiel en redans d'environ 1 m par rapport au terrain et que la stabilité du remblai passe par une **montée phasée du remblai, supposant une consolidation progressive des terrains d'assise.**

2.3. Le modèle de calcul

La stabilité des ouvrages en remblais a été étudiée au droit des coupes 1 et 2 jugées les plus défavorables en termes de stabilité, au vu :

- Des caractéristiques géométriques de l'ouvrage ;
- Des conditions géotechniques et hydrogéologiques mises en évidences par les reconnaissances réalisées ;
- De l'environnement topographique et hydrologique de l'aménagement.

Cette note est centrée sur la partie Ouest du projet, Par conséquent, les paramètres retenus pour les sols en place sont ceux donnés par les reconnaissances et essais réalisés au droit ou au plus près du profil de calcul étudié. Pour les matériaux mis en œuvre, les paramètres définis sont pris arbitrairement pour un matériaux granulaire courant de bonnes caractéristiques mécanique. Le complexe drainant en base de remblais possède les mêmes caractéristiques que le corps de remblais dans le modèle.

La réutilisation des matériaux du site pour les remblais devra faire l'objet d'une étude spécifique.



Nous retiendrons donc le modèle de terrain et les paramètres suivants :

Unité litho.	Epaisseur (m)	Mas. vol. γ (kN/m ³)	PI* (MPa)	E_m (MPa)	Angle ϕ' (°)	Cohésion C' (kPa)	Angle ϕ_u (°)	Cohésion Cu (kPa)	Coef. α
U0/ Remblais technique + complexe drainant	-	21	1,00	15,0	35	0	-	-	1/3
U1/ Argile [marron] et frange d'altération	1,00 à 4,50	20	0,40	3,4	25	5	0	50	1/2
U1 bis / Argile [marron beige] sablo-graveleuse à galets dm à pluri-dm	3,80 à 4,20	20	0,55	8,7	25	0	0	60	2/3
U2/ Schiste ardoisier +/- fracturé à quelques passages argileux	1,40 à 4,20	24	3,30	63,0	35	15	25	50	1/2
U3/ Schiste ardoisier / Flysch +/- massif	>15,00	27	4,50	250,0	40	40	30	100	1/2

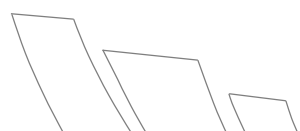
Compte tenu de la présence de niveaux d'eau proche de la surface et du contexte topographique, un niveau d'eau constant à 1,0 m/TN de profondeur a été pris en compte dans les modèles de calculs.

➤ Estimation de la cohésion non drainée Cu

En l'absence de données d'essai triaxial, les valeurs de cohésion non drainée Cu, ont été évaluées à partir des essais pressiométriques, avec les corrélations suivantes :

- Les relations de Cassan (*Les essais in situ en mécanique des sols, 1 – réalisation et interprétation – 1988*) :

Cas	Cu (MPa)
$PI^* \leq 0,3$ MPa	$PI^*/5,5$
$0,3 \text{ MPa} \leq PI^* \leq 1,0$ MPa	$0,03 + PI^*/12$
$1,0 \text{ MPa} \leq PI^* \leq 2,5$ MPa	$0,085 + PI^*/35$



- Les corrélations entre résultats des essais pressiométriques et caractéristiques intrinsèques des sols du Nord de la France (*Corrélation entre les résultats des essais pressiométriques et les caractéristiques intrinsèques des sols du Nord de la France - Jean-Michel VAILLANT, Valentin CATTEAU – juillet 2012*) :

Tableau 4 . Caractéristiques à court terme (C_u ; ϕ_u) en fonction de PI^*

Type de sol	Caractéristiques mécaniques		
	PI^* (MPa)	C_u (MPa)	ϕ_u (°)
Limon	$PI^* \leq 0,3$	$C_u = PI^*/8$	$\phi_u = 20,2 - 0,2C_u$ (C_u en kPa)
	$0,3 \leq PI^* \leq 1$	$C_u = 0,037PI^* + 0,027$	
	$PI^* \geq 1$	$C_u = 0,035PI^* + 0,060$	
Argile	$PI^* \leq 0,3$	$C_u = 0,15PI^*$	$\phi_u = 14,3 - 0,1C_u$ (C_u en kPa)
	$0,3 \leq PI^* \leq 1$	$C_u = 0,067PI^* + 0,024$	
	$PI^* \geq 1$	$C_u = 0,052PI^* + 0,039$	

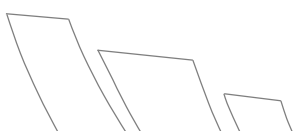
➤ Accroissement par consolidation du sol

Dans le cas d'une montée de remblai par phases, la cohésion non drainée prise en compte pour les phases ultérieures tient compte de l'accroissement dû à la consolidation du sol par les deux formules suivantes :

- Sous le corps du remblai : $C_u = Cu_0 + U\lambda_{cu}\gamma_r H_r$
- Sous les talus : $C_u = Cu_0 + \frac{1}{2}U\lambda_{cu}\gamma_r H_r$

Avec :

- Cu_0 : cohésion drainée initiale ;
- U : le degré de consolidation
- λ_{cu} accroissement de cohésion en fonction de la contrainte de consolidation. En l'absence d'essai triaxiaux $\lambda_{cu} = 0,30$ pour la suite du projet ;
- γ_r : poids volumique du remblai ;
- H_r : hauteur de remblai de la phase précédente.



2.4. Géométrie et phasage du remblai

Comme évoqué précédemment, les géométries des modèles utilisés pour les justifications sont contraintes par la présence d'une épaisseur d'environ 4,5 m de terrain compressibles (U1 et U1 bis) dont la substitution complète impliquera des terrassements importants.

La solution privilégiée dans cette note consiste à s'appuyer sur une consolidation des couches compressibles par une montée du remblai avec un phasage précis (cf. figures 7 et 8).

Les modèles intègrent un système de redans avec une profondeur maximale de 1,0 m par rapport à la base théorique du remblai.

▪ Coupe 1

Paramètre	Phase 1 - RB1	Phase 2 - RB2	Phase 3 - RB final
Epaisseur (m)	6,2	4,8	3,8
Hr max (m)	6,2	10,1	12,7

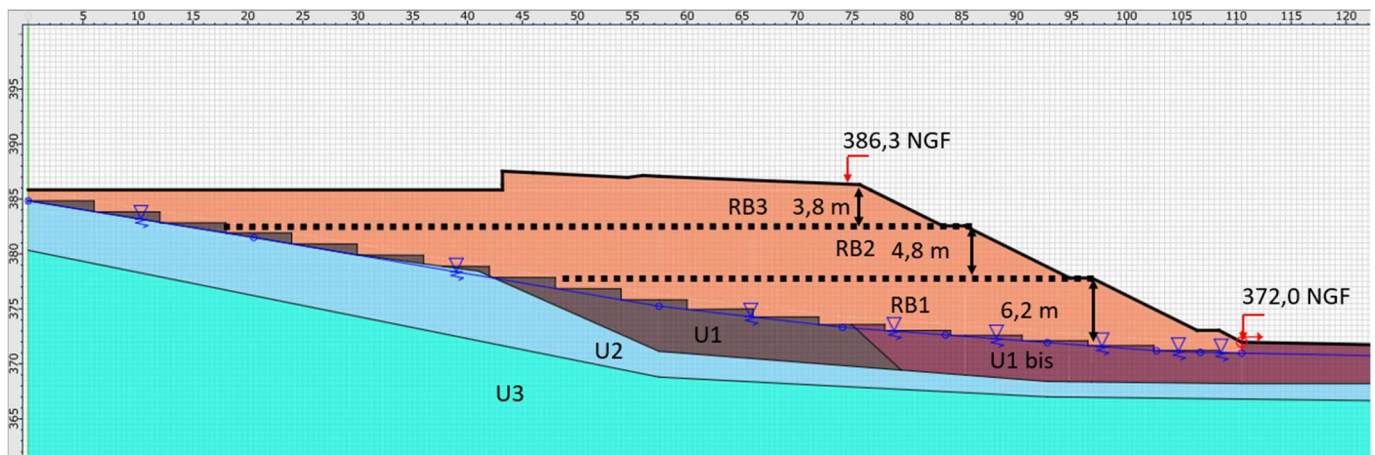
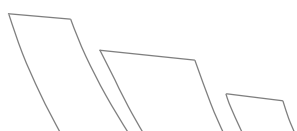


Figure 7 : Coupe 1 - TALREN V5 .



▪ Coupe 2

Paramètre	Phase 1 - RB1	Phase 2 - RB2	Phase 3 - RB3	Phase 4 - RB4 final
Epaisseur	5,2	4,7	4,8	4,8
Hr max (m)	5,2	9,1	13,0	17,0

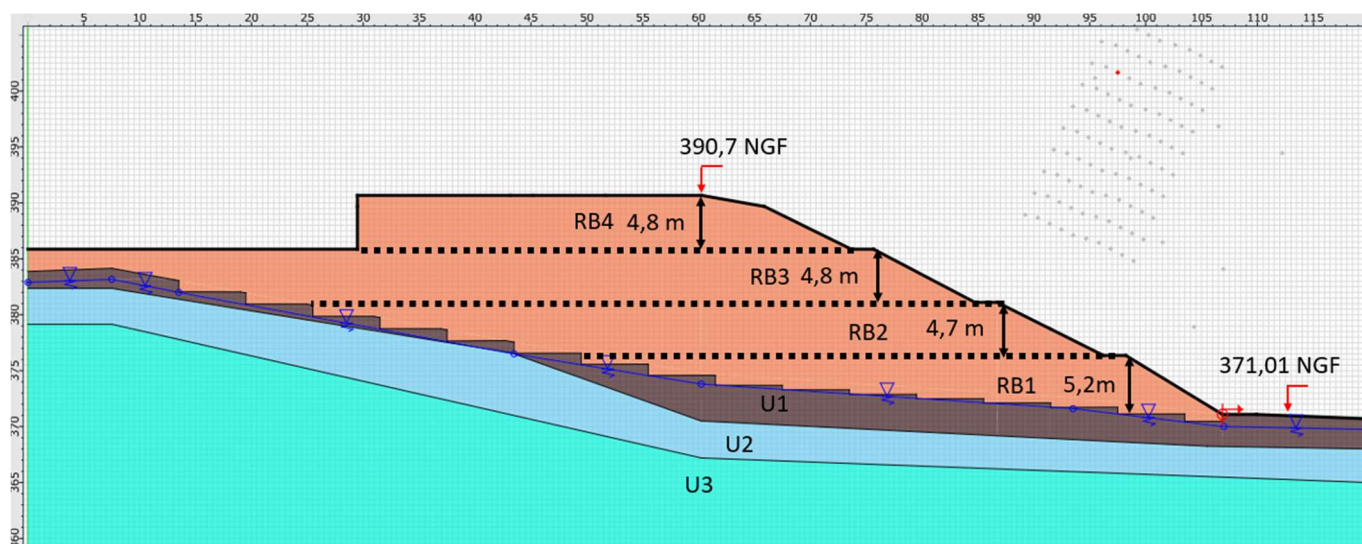
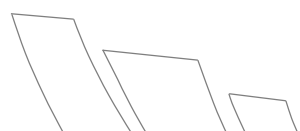


Figure 8 : Coupe 2 - TALREN V5 .



3. ANALYSE DES CONDITIONS DE STABILITE DES REMBLAIS

3.1. Evaluation des tassements

➤ Méthode œdométrique

A partir des essais réalisés en laboratoire (Cf. chapitre 2.6.4 du rapport G2 AVP), il est possible de déterminer les valeurs de tassements et d'estimer le temps de consolidation associés. Les calculs sont effectués suivant les principes suivants :

- **Tassements primaires :**

- Pour $(\sigma'_{v0} + \Delta\sigma'_v) < \sigma'_p$

$$\Delta H = \frac{Cs}{1 + e0} \times H0 \times \text{Log} \left(\frac{\sigma'_{v0} + \Delta\sigma'_v}{\sigma'_{v0}} \right)$$

- Pour $(\sigma'_{v0} + \Delta\sigma'_v) \geq \sigma'_p$

Tassement élastique :

$$\Delta H_{\text{élastique}} = \frac{Cs}{1 + e0} \times H0 \times \text{Log} \left(\frac{\sigma'_p}{\sigma'_{v0}} \right)$$

Tassement plastique :

$$\Delta H_{\text{plastique}} = \frac{Cc}{1 + ep} \times H0 \times \text{Log} \left(\frac{\sigma'_{v0} + \Delta\sigma'_v}{\sigma'_p} \right)$$

Avec

σ'_{v0} : contrainte au repos ;

σ'_p : Contrainte de préconsolidation ;

$\Delta\sigma'_v$: Surcharge apportée par le remblai = $\gamma_r \times H_r$

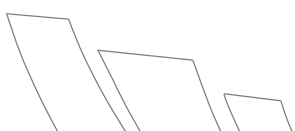
$H0$: épaisseur de la couche compressible ;

Cc : indice de compression ;

Cs : indice de gonflement ;

$e0$: indice des vides initiaux ;

ep : indice des vides pour la partie plastique = $e0 + \Delta ep$ ($\Delta ep = - Cc \text{Log} \left(\frac{\sigma'_{v0} + \Delta\sigma'_v}{\sigma'_p} \right)$).



L'estimation du tassement primaire, dans la couche compressible U1 d'une épaisseur de 4,5 m en moyenne, en fonction de la hauteur du remblai est donnée selon les deux essais œdométriques réalisés lors de la phase G2 AVP.

Echantillon 1 (SC12 – 0,8 à 1,0 m)						
Condition	$(\sigma'_{v0} + \Delta\sigma'_v) \geq \sigma'_p$					
Hauteur de remblais (m)	5	10	13	15	17	20
Surcharges $\Delta\sigma'_v$ (kPa)	105	210	273	315	357	420
Tassement total ($\Delta H_{\text{élastique}} + \Delta H_{\text{plastique}}$) (cm)	31,6	42,4	46,6	48,9	50,9	53,6

Echantillon 2 (SC12 – 2,5 à 2,7 m)						
Condition	$(\sigma'_{v0} + \Delta\sigma'_v) < \sigma'_p$	$(\sigma'_{v0} + \Delta\sigma'_v) \geq \sigma'_p$				
Hauteur de remblais (m)à	5	10	13	15	17	20
Surcharges $\Delta\sigma'_v$ (kPa)	105	210	273	315	357	420
Tassement total ($\Delta H_{\text{élastique}} + \Delta H_{\text{plastique}}$) (cm)	0,03	14,9	22,8	27,2	31,1	36,2

Les calculs de tassements théoriques, réalisés à partir des deux essais œdométriques montrent des tassements primaires significatifs, pouvant aller jusqu'à 50 cm pour un remblais de 17 m, au niveau de la couche compressible des argiles de recouvrement U1.

Nous observons également une différence importante au niveau des tassements selon les résultats des essais œdométriques sur les échantillons 1 et 2 (différentiel de 20 cm). Pour une estimation plus fine de ces tassements, il conviendra de réaliser d'autres essais œdométriques dans les couches compressibles, permettant d'améliorer l'indice de confiance sur les résultats obtenus.

- **Temps de consolidation :**

Le temps de consolidation est déterminé par la relation :

$$t = \frac{T_v \times H^2}{C_v}$$

Avec

- T_v : facteur de temps correspondant à un degré de consolidation U exprimé en % ;
- H : l'épaisseur de couche compressible – considéré de 4,5 m (Recouvrement argileux U1) ;
- C_v = coefficient de consolidation.



Tab. 1.18. Facteur temps T_V en fonction du pourcentage de consolidation U %

U %	T_V
5	0,002
10	0,008
20	0,031
30	0,071
40	0,126
50	0,197
60	0,287
70	0,403
80	0,567
90	0,848
95	1,163
99,4	2,000
100	$\rightarrow \infty$

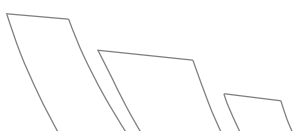
Extrait du tome 1 « Amélioration et renforcement des sols »

Dans le rapport G2 AVP n° 6411126 V3 de février 2025, un coefficient $C_v = 2,3 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$, directement tiré des essais œdométriques, a été retenu pour déterminer **un temps de consolidation à 90 % de 864 jours soit plus de 2,4 ans.**

L'analyse du tassement d'un grand nombre de remblais sur plusieurs projets de lignes à grande vitesse (LGV) montrent que les tassements et les vitesses de tassement peuvent être estimées avec une bonne précision en appliquant des corrections sur les paramètres déterminés à l'œdomètre : recalage de la pression de préconsolidation par corrélation avec la cohésion non drainée et correction de C_v mesuré en laboratoire par un facteur 10 (COSTE P., DELUZARCHE R., BOUTONNIER L., HANSEN N., CHARDARD P. (2014). *Tassements et temps de consolidation mesures et calculs projets LGV, Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur JNGG2014 -8-10 juillet 20214*).

Dans le cas de cette étude mentionnée ci-dessus, la formule suivante permet d'estimer le coefficient de consolidation « réel » s'appliquant dans le volume de sol concerné :

$$C_{v_{in situ}} = 10 \times C_{v_{labo}}$$



En tenant compte d'une épaisseur de couche compressible de recouvrement argileux U1 de 4,5 m et $Cv_{in situ}$ 10 fois supérieur au Cv_{labo} , **le temps de consolidation à 90 % est ramené à 86 jours** (au lieu de 864 jours pour $Cv_{in situ} = Cv_{labo}$).

Cas	$Cv_{in situ} = Cv_{labo}$	$Cv_{in situ} = 10 \times Cv_{labo}$
t (U = 90 % ; $Tv = 0,848$)	864 jours	86 jours

Les temps de consolidation devront faire l'objet d'une analyse selon le planning de travaux. La mise en place de drain verticaux pourra être envisagée pour diminuer le temps de consolidation. Néanmoins, par retour d'expérience, la réalisation de ces ouvrages peut s'avérer complexe notamment lors de la phase d'installation en raison de possibles refus lors des fonçages des drains dans les couches concernées.



➤ Méthode pressiométrique

Dans une approche complémentaire, les tassements sous remblais peuvent également être estimés à partir des essais pressiométriques réalisés dans les terrains d'assises.

Le tassement est calculé à l'aide de la formule :

$$\Delta H = H_0 \times \frac{\Delta \sigma'_v}{\frac{E_m}{\alpha}}$$

Avec

H_0 : la hauteur de la couche compressible,

$\Delta \sigma'_v$: Surcharge apportée par le remblai = $\gamma_r \times H_r$;

E_m : le module pressiométrique,

α : coefficient rhéologique

Les résultats sont les suivants :

Couche U1 / $E_m = 3,4 \text{ MPa}$ / $\alpha = 1/2$						
Hauteur de remblais (m)	5	10	13	15	17	20
Surcharge $\Delta \sigma'_v$ (KPa)	105	210	273	315	357	420
Tassement ΔH (cm)	6,9	13,9	18,1	20,8	23,6	27,8

Couche U1 bis / $E_m = 8,7 \text{ MPa}$ / $\alpha = 2/3$						
Hauteur de remblais (m)	5	10	13	15	17	20
Surcharge $\Delta \sigma'_v$ (KPa)	105	210	273	315	357	420
Tassement ΔH (cm)	3,6	7,2	9,4	10,9	12,3	14,5

Les estimations de tassement avec la méthode pressiométriques sont environs 2 fois moins importantes que pour la méthode œdométrique.



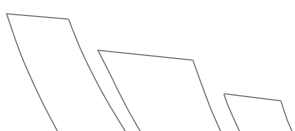
➤ **Commentaires sur les résultats**

La méthode œdométrique a permis d'estimer des tassements pouvant atteindre plusieurs dizaines de centimètres selon les cas (entre 30 et 50 cm pour un remblai de 17 m). Avec la méthode pressiométrique (méthode complémentaire ou de comparaison), les tassements estimés sont plus faibles (entre 10 et 25 cm pour 17 m de remblais). Il conviendra de rappeler que ces valeurs théoriques indiquées resteront dans tous les cas et strictement des ordres de grandeurs. Seul le comportement réel du terrain prévaudra, qui pourra ailleurs se différencier sur l'emprise du chargement à cause des variabilités lithologiques, hydrogéologiques et mécaniques qui existent.

Dans le cas de la méthode œdométrique (méthode privilégiée), les calculs ont été réalisés selon les données des deux essais œdométriques effectués avec des échantillons de la couche U1 (au droit de SC12). Les résultats montrent également une différence assez significative de valeurs de tassements. Cette différence s'explique par des variations de propriétés mécaniques pour une même couche et met en lumière la nécessité d'effectuer des essais en laboratoire complémentaires afin d'augmenter la précision d'estimation des tassements.

Le temps de consolidation est un facteur important pour la mise en œuvre de remblais. Les retours d'expériences sur la mise en place de remblais dans le cadre de construction de LGV ont permis de confronter les estimations de tassements et de consolidation par rapport à des mesures pendant les travaux. De ces études, il en ressort un facteur 10 entre le coefficient de consolidation obtenu en laboratoire et celui s'appliquant dans le massif de sol. Cette « corrélation » implique donc deux évolutions majeures :

- Un temps de consolidation à 90 % ramené à 86 jours (au lieu de 864 jours) pour une couche compressible de 4,5 m ;
- Selon le planning des travaux, la possibilité de s'affranchir de la mise en place de drain, qui par expérience peut engendrer des difficultés en phase travaux (refus d'enfoncement des drains, présence d'une nappe...).



3.2. Stabilité au poinçonnement

Une vérification de la stabilité au poinçonnement est réalisée pour des remblais à court terme, dans le cas de sols mous cohérents sous le remblai. La vérification vis-à-vis du poinçonnement est réalisée à court terme avec un facteur de sécurité minimal visé $F = 1,5$ (absence de coefficients partiels sur les paramètres et les actions).

Le coefficient de sécurité vis-à-vis du poinçonnement est donné par l'égalité suivante

$$F = \frac{C_u \times N_c}{\gamma_r H_r}$$

Avec

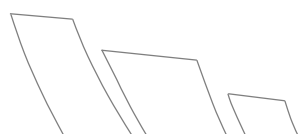
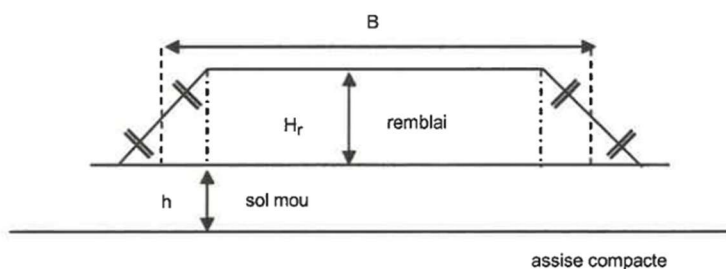
C_u : cohésion non drainée du sol, en kPa (Cf. Chapitre 2.2).

γ_r : poids volumique du remblai, en kN/m^3

H_r : Hauteur du remblai, en m.

N_c : Coefficient de portance d'une semelle de largeur B reposant sur un sol mou d'épaisseur h . La largeur de fondation équivalente à B est la largeur moyenne du remblai. N_c est donné soit par un abaque soit par les relations suivante :

- $0 < B/h < 1,49 \rightarrow N_c = \pi + 2$;
- $1,49 < B/h < 10 \rightarrow N_c \approx 0,468 B/h + 4,445$;
- $B/h > 10 \rightarrow N_c \approx 9,125$.



Les résultats par coupes sont les suivants :

- Coupe 1

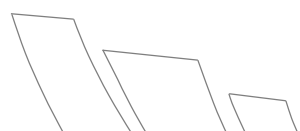
Paramètres	Phase 1 - RB1	Phase 2 - RB2	Phase 3 – RB final
Hr max (m)	6,2	10,1	12,7
γ_r (kN/m ³)	21,0	21,0	21,0
B (m)	46,2	55,9	51,1
h (m)	4,5	4,5	4,5
B/h	10,3	12,4	11,4
NC	9,125	9,125	9,125
Cu moyen (kPa)	55,0	55,0	93,3
F	3,9	2,4	3,2

- Coupe 2

Paramètres	Phase 1 - RB1	Phase 2 - RB2	Phase 3 - RB3	Phase 4 – RB final
Hr max (m)	5,2	9,1	13,0	17,0
γ_r (kN/m ³)	21,0	21,0	21,0	21,0
B (m)	42,3	36,6	47,8	61,9
h (m)	4,5	4,5	4,5	4,5
B/h	9,4	8,1	10,6	13,8
NC	8,849	8,251	9,125	9,125
Cu moyen (kPa)	50,0	50,0	81,9	103,1
F	4,0	2,2	2,7	2,8

➤ Commentaire sur les résultats

Les calculs indiquent que les facteurs de sécurité sur le poinçonnement sont systématiquement supérieurs à $F = 1,5$. On notera également que l'accroissement de la cohésion non drainée a été prise en compte qu'à partir de la phase 3 pour les deux coupes.



3.3. Stabilité au glissement

Les calculs de stabilité à la rupture sont traités suivant la méthode des tranches de Bishop (rupture circulaire).

Les niveaux de nappes introduits dans le modèle correspondent aux niveaux de nappe observés lors des campagnes de sondages. Dans les calculs il a été pris en compte une nappe à environ 1,0 m/TN de profondeur permettant d'illustrer la présence de niveaux d'eaux localisés et de circulations ponctuelles entre les faciès argileux et le substratum +/- fracturé.

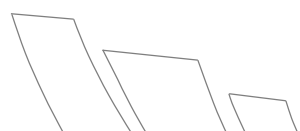
Pour l'analyse des ouvrages dont la stabilité n'est pas dépendant d'un ouvrage de soutènement, il est recherché un facteur de sécurité global minimal $F \geq 1,00$, en tenant compte de coefficients partiels sur les paramètres et les actions.

Paramètres	Eurocodes	
	Fondamental – Ouvrage courant	Sismique
Poids volumique des terre γ_p	1,00	1,00
Angle de frottement γ_ϕ	1,25	1,25
Cohésion effective $\gamma_{C'}$	1,25	1,25
Cohésion non drainée γ_{Cu}	1,40	1,40
Surcharge variable γ_Q	1,30	1,00
Sécurité sur la méthode de calcul	1,10	1,00
Condition de stabilité / Coefficient de sécurité F	$F = \frac{\sum \text{des moments résistants}}{\sum \text{des moments moteurs}} \geq 1,0$	

Les surcharges suivantes ont été appliquées dans les coupes de calculs (à valider par le BET structure) :

- Surcharge de chantier : 10 KPa ;
- Surcharge de voirie : 10 KPa ;
- Surcharge des groupes froids : 7,5 KPa.

Les calculs de stabilité ont été réalisés avec le logiciel TALREN V5. Les coupes sont présentées en annexes.



➤ **Stabilité lors des phases de montée en remblai (court terme)**

Le facteur de sécurité minimal visé est de $F = 1,0$.

Les caractéristiques mécaniques introduites dans le calcul de stabilité en combinaisons fondamentale à court terme sont :

- Pour les sols cohérents :
 - $\Phi_u = 0$;
 - C_u = cohésion non drainée en tenant compte de la consolidation lorsqu'il s'agit d'une montée de remblais phasée
- Pour les sols frottant :
 - Seule la stabilité à long terme est vérifiée.

Les facteurs de sécurité minimaux obtenus pour des surfaces de glissements sont les suivants, par phase :

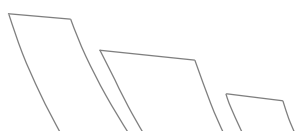
▪ **Coupe 1**

Paramètre	Phase 1 - RB1	Phase 2 - RB2	Phase 3 - RB3 final
Hr (m)	6,2	10,1	12,7
Accroissement C_u	Non	Non	Oui
Fmin	1,64	1,19	1,40

▪ **Coupe 2**

Paramètre	Phase 1 - RB1	Phase 2 - RB2	Phase 3 - RB3	Phase 4 - RB4 final
Hr (m)	5,2	9,1	13,0	17,0
Accroissement C_u	Non	Non	Oui	Oui
Fmin	1,18	1,07	1,25	1,20

Les calculs montrent que les facteurs minimaux de sécurité sur les cercles de glissements sont supérieurs à 1. Ces résultats confirment la stabilité de l'ensemble, lors de la montée progressive des remblais.



➤ **Stabilité à long terme**

Le facteur de sécurité minimal visé est $F=1,0$.

Les caractéristiques mécaniques introduites dans le calcul de stabilité en combinaison fondamentale à long terme sont :

- C' et ϕ issus des cisaillement CD ou de la bibliographie.

De plus, il a été modélisé l'influence d'une montée de la nappe au sein de remblais, traduisant l'impact d'un drainage défaillant.

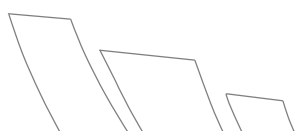
▪ **Coupe 1**

Paramètre	LT	LT / Nappe + 2m
Hr max (m)	12,7	12,7
Fmin	1,13	0,97

▪ **Coupe 2**

Paramètre	LT	LT / Nappe + 2m
Hr max (m)	16,0	16,0
Fmin	1,05	1,01

Les résultats montrent que les facteurs de sécurité sur les cercles de glissements sont favorables dans le cadre d'une stabilité à long terme. Néanmoins, l'augmentation du niveau d'eau dans le remblai par un défaut de drainage par exemple, contribue aux efforts déstabilisateurs. Par conséquent, un drainage efficace et entretenu régulièrement s'avère nécessaire sous le talus.



➤ **Stabilité lors de sollicitations sismiques (court terme)**

En application des normes parasismiques définissant les exigences sur le bâti neuf, l'Eurocode 8 s'applique et impose la prise en compte des paramètres suivants :

- **Zone de sismicité :**

- Zone de sismicité : **4** Accélération au rocher : **$a_{gr} = 1,6 \text{ m/s}^2$**

- **Catégorie d'importance :**

- Catégorie d'importance : **IV**
- Coefficient d'importance : **$\gamma_I = 1,4$**
- Coefficient sismique **$r = 2,0$** (voir tableau ci-dessous)

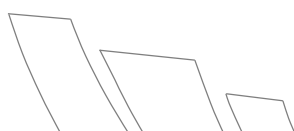
Tableau 7.1 — Valeurs du facteur r pour le calcul du coefficient sismique horizontal

Type d'ouvrage de soutènement	r
Murs-poids libres pouvant accepter un déplacement jusqu'à $d_r = 300 \alpha \cdot S$ (mm)	2
Murs-poids libres pouvant accepter un déplacement jusqu'à $d_r = 200 \alpha \cdot S$ (mm)	1,5
Murs fléchis en béton armé, murs ancrés ou contreventés, murs en béton renforcé fondés sur pieux verticaux, murs d'infrastructure encastrés et culées de ponts	1

- **Classe de sol :**

- Classe de sol : **A** Paramètre de sol **$S = 1,0$**

Classe de sol	Description du profil stratigraphique	Paramètres		
		$V_{s,30}$ (m/s)	N_{SPT}	C_u (kN/m²)
A	Rocher ou autre formation géologique de ce type comportant une couche superficielle d'au plus 5 mètres de matériau moins résistant	> 800	-	-
B	Dépôts raides de sable, de gravier ou d'argile sur-consolidées, d'au moins plusieurs dizaine de mètres d'épaisseur, caractérisé par une augmentation progressive des propriétés mécaniques avec la profondeur	360 à 800	> 50	> 250
C	Dépôts profonds de sable de densité moyenne, de gravier ou d'argile moyennement raide ayant des épaisseurs de quelques dizaines à quelques centaines de mètres	180 à 360	15 à 50	70 à 250
D	Dépôts de sol sans cohésion de densité faible à moyenne (avec ou sans couches cohérentes molles) ou comprenant une majorité de sols cohérents mous à fermes	< 180	< 15	< 70
E	Profil de sol comprenant une couche superficielle d'alluvions avec des valeurs de V_s de classe C ou D et une épaisseur comprise entre 5 et 20 mètres, reposant sur un matériau plus raide $V_s > 800 \text{ m/s}$			



➤ Nature du relief :

- Coefficient d'amplification topographique **ST : 1,20**

➤ Représentation de l'action sismique :

- Accélération horizontale de calcul au rocher : ($a_g = a_{gr} \times \gamma_l$) => **$a_g = 2,24 \text{ m/s}^2$**
- Coefficient sismique horizontal, $k_h = a_g \times \frac{s}{r} \times \frac{S_T}{g} \Rightarrow$ **$k_h = 0,137$**
- Coefficient sismique vertical, $k_v = (0,5 \times k_h) \Rightarrow$ **$k_v = 0,068$**

La justification de la stabilité en combinaison accidentelle sismique est effectuée en considérant les actions suivantes :

- Pour la combinaison accidentelle de séisme pesant : + k_h ; + k_v
- Pour la combinaison accidentelle de séisme allégeant : + k_h ; - k_v

Le coefficient de sécurité minimal visé est $F = 1,0$

Les facteurs de sécurité minimaux calculés sur les cercles de glissements les plus défavorables sont les suivants :

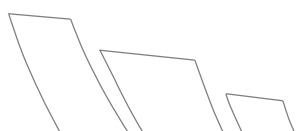
▪ Coupe 1

Paramètres	CT – combinaison acc. séisme pesant	CT – combinaison acc. séisme allégeant
Hr max (m)	12,7	12,7
Fmin	1,09	1,10

▪ Coupe 2

Paramètres	CT – combinaison acc. séisme pesant	CT – combinaison acc. séisme allégeant
Hr max (m)	16,0	16,0
Fmin	0,92	0,94

Les résultats des calculs montrent que les facteurs de sécurité sont satisfaisants pour la coupe n°1 ($F < 1,0$). Pour la coupe n°2, les facteurs minimaux sont compris entre $0,92 \leq F \leq 0,94$.



➤ **Commentaire sur les résultats des calculs de stabilité**

La montée en phase du remblai permet un accroissement de la cohésion non drainé. Ce paramètre participe activement à la stabilité des talus lors des travaux. En phase définitive, avec des paramètres intrinsèques à long terme, les calculs montrent que la stabilité est satisfaisante.

Les premières simulations de remontée de nappe au sein de remblais, démontrent qu'un défaut du drainage sous-jacent entraînant une montée du niveau globale juste au-dessus de l'assise du remblai peut entraîner une instabilité à long-terme.

Sous sollicitation sismique, les calculs indiquent, que pour la coupe n°2, le facteur de sécurité minimal sur le cercle de glissement le plus défavorable est légèrement inférieur à $F=1$. Ce résultat est à nuancer compte tenu de l'utilisation d'un coefficient d'accroissement de la cohésion non drainé sécuritaire, en l'absence d'essai spécifiques laboratoire ou in situ.

En conclusion, la méthodologie de la montée en phase du remblai permet à la fois de limiter les terrassements et d'améliorer la stabilité générale du site en phase travaux et sous sollicitations sismiques.



4. CONCLUSION GENERALE

4.1. Exploitation des résultats

Les couches compressibles U1 et U1 Bis ont un impact significatif sur l'agrandissement du remblai Ouest. Elles sont susceptibles de poinçonner sous la charge du remblai et concentrent l'essentiel du tassement. Pour la stabilité générale du site, les cercles de glissements présentant les coefficients de sécurités les plus défavorables passent systématiquement par ces couches.

Les vérifications menées sont dépendantes de la géométrie du talus et de son imbrication dans son environnement. Dans cette note technique, il a été considéré le « maintien » des terrains compressibles sous le remblai afin de limiter les terrassements et la gestion de terrain argileux saturés difficilement réemployables. En contrepartie, une montée par phase du remblai s'avère nécessaire afin de mobiliser la consolidation progressive des couches compressibles.

D'autres solutions telles que la substitution de forte épaisseur de matériaux ou d'amélioration de sols restent possibles et pourront faire l'objet de dimensionnement ultérieurs.

Globalement, les vérifications sur le poinçonnement et la stabilité aux glissements montrent des résultats satisfaisants avec le principe de montée par phase de 5 m environ. Les tassements estimés sont significatifs mais restent courants pour ce genre de structure. **Les modèles numériques permettent donc de justifier la faisabilité de la technique proposée à savoir : la montée en phase d'un remblai permettant de mobiliser la consolidation des couches compressibles à court terme.**

Les premières modélisations montrent que la stagnation d'eau dans le massif de remblais joue un rôle de déstabilisation. **On prévoira donc la mise en place d'une couche drainante en matériaux granulaires insensibles à l'eau et de granulométrie continue en base de remblais, à l'interface avec le terrain autochtone.**

La faisabilité du projet du remblai Ouest doit être confortée par la réalisation d'investigations complémentaires ciblées. En effet, les calculs ont été réalisés à partir d'un modèle géotechnique, basé sur les reconnaissances des sols in situ réalisés avant la modification du projet avec l'agrandissement du talus. On note que peu de sondages et essais (in situ ou en laboratoire) sont réellement implantés en pied du talus, notamment au niveau des alluvions de la *Geune U1 bis (Sondage P34, P35 et SP13 (2 essais pressiométriques), SC13 et PZ13)* ce qui limite les indices de confiance sur les paramètres utilisés et donc favorise la prise en compte de coefficients de sécurités importants sur les caractéristiques des matériaux.

Comme évoqué précédemment, la consolidation à court terme avec l'amélioration de la cohésion non drainée des couches compressibles U1 et U1 Bis est une donnée centrale dans l'analyse du comportement du remblais vis-à-vis de ces sols. La détermination des cohésions non drainées initiales a été réalisée à partir des essais pressiométriques



selon des corrélations éprouvées dans la bibliographie. Néanmoins, ces valeurs doivent être confrontées avec des essais in situ ou en laboratoire.

Dans cette note, l'augmentation de la cohésion non drainée est dépendante du facteur d'augmentation λ_{cu} pris égal à 0,30. Il s'agit d'une valeur très sécuritaire au regard de celles issues de nos bases de données pour des sols présentant des caractéristiques similaires. La prise en compte de ce paramètre par l'intermédiaire d'essais complémentaires s'avère donc indispensable pour maîtriser l'interaction remblais / sol en place en phase travaux et sous sollicitations sismiques.

En conclusion, les modèles numériques actuels confirment la possibilité de réaliser une montée de remblais par phases (suivant planning travaux pour la consolidation) mais des reconnaissances complémentaires sont nécessaires pour :

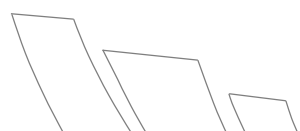
- Mieux identifier les terrains compressibles en pied de talus ;
- Augmenter la confiance sur des paramètres clés tels que la cohésion non drainée initiale des sols, le facteur d'augmentation de la cohésion non drainée et les paramètres de compressibilité des couches.

En première hypothèse, le tableau suivant résume la composition type d'une campagne de reconnaissances complémentaires, applicable pour le remblai Ouest monté par phases :

Paramètre	Type de sondage
Identification des sols en pied de talus	4 Sondages avec essais pressiométriques et 10 fouilles à la pelle mécanique ; 4 identifications GTR avec masses volumiques
Compressibilité des sols U1 et U1 bis	3 Sondages carottés avec prélèvement d'échantillons intacts pour 4 essais à l'œdomètre
Paramètres intrinsèques court et long terme avec détermination de λ_{cu}	5 Essais de cisaillement triaxial CU + u et UU
Cohésion non drainée c_u	5 essais au pénétromètre statique CPT
Niveau d'eau	2 Piézomètres avec suivi

4.2. Suivi et auscultation

L'auscultation géotechnique fait partie intégrante de la conception et de la réalisation des remblais sur sol compressible. Elle permet notamment d'adapter la construction par l'acquisition de paramètres en temps réel et de s'assurer de la stabilité de l'ouvrage.



Dans les opérations de préchargement, une auscultation doit permettre de vérifier la stabilité de l'ouvrage et de contrôler les déplacements. Par conséquent le plan d'auscultation devra être conçu afin de cibler les paramètres à mesurer pour bien suivre le comportement de l'ouvrage et des avoisinants, en particulier :

- Les déplacements (tassements et déplacement horizontaux) -> inclinomètres, tassomètres, profilomètre cibles topographique ;
- Les surpressions interstitielles -> capteur de pression inertielles ;
- Les niveaux piézométriques des nappes -> Piézomètre avec système de suivi.

Pour chaque domaine de surveillance, il conviendra de définir des valeurs seuil pour lesquelles chaque franchissement devra faire l'objet d'une réponse adaptée en cours de chantier :

- Seuil de vigilance -> Augmentation de la fréquence de contrôle ;
- Seuil d'alerte -> mise en place d'action correctrice ;
- Seuil d'arrêt -> mise en arrêt du chantier et mise en place de moyens de stabilité.

L'entrepreneur prévoira à sa charge la campagne d'auscultation pendant toute la phase des travaux. Ces mesures devront débuter avant la réalisation des travaux. Chaque mesure devra être analysée et synthétisée avant envoi au Maître d'Œuvre et au géotechnicien titulaire de la mission G4 pour avis. Les seuils seront définis en concertation avec la maîtrise d'œuvre et l'entreprise avant travaux.

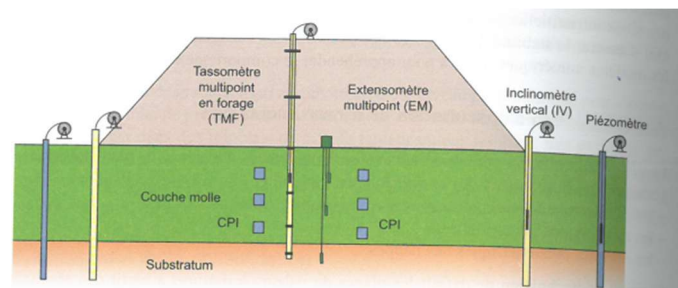


Fig. 8.65. Exemple d'instrumentation complète de remblai sur sol compressible

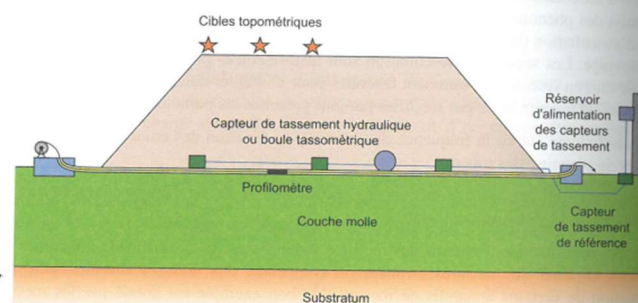


Fig. 8.66. Profilomètre hydrostatique et cibles topométriques

Figure 9 : Exemple d'instrumentation de remblais sur sol compressible (Amélioration et Renforcement des sols, tome 1 – 2018).



*

* *

Nous rappelons que cette note technique a été menée dans le cadre d'une étude globale de conception de niveau projet (G2-PRO).

Toute modification de projet devra nous être indiquée afin de vérifier l'adéquation des préconisations au nouveau projet.

Les conclusions de ce présent rapport sont données sous réserve des conditions particulières jointes.

Rédacteur :

Léon PÉRÉ, chargé d'Affaires

Contrôle interne :

Adélaïde MARTIN, chargée d'Affaires



CONDITIONS PARTICULIÈRES

Le présent rapport ou Procès-verbal ainsi que toutes annexes, constituent un ensemble indissociable.

La Société E.C.R. ENVIRONNEMENT serait dégagée de toute responsabilité dans le cas d'une mauvaise utilisation de toute communication ou reproduction partielle de ce document, sans accord écrit préalable. En particulier, il ne s'applique qu'aux ouvrages décrits et uniquement à ces derniers.

Si en l'absence de plans précis des ouvrages projetés, nous avons été amenés dans le présent rapport à faire une ou des hypothèses sur le projet, il appartient à notre client ou à son maître d'œuvre de communiquer par écrit à la société ECR ENVIRONNEMENT ses observations éventuelles sans quoi, il ne pourrait en aucun cas et pour aucune raison nous être reproché d'avoir établi notre étude pour le projet que nous avons décrit.

Cette étude est basée sur des reconnaissances dont le caractère ponctuel ne permet pas de s'affranchir des aléas des milieux naturels, et ne peut prétendre traduire le comportement du sol dans son intégralité.

Ainsi, tout élément nouveau mis en évidence lors de l'exécution des fondations ou de leurs travaux préparatoires et n'ayant pu être détecté lors de la reconnaissance des sols (ex. : remblais anciens ou nouveaux, cavités, hétérogénéités localisées, venue d'eau, etc.) doit être signalé à E.C.R. ENVIRONNEMENT qui pourra reconsidérer tout ou une partie du Rapport. Pour ces raisons, et sauf stipulation contraire explicite de notre part, l'utilisation de nos résultats pour chiffrer à forfait le coût de tout ou une partie des ouvrages d'infrastructure ne saurait en aucun cas engager notre responsabilité.

De même, des changements concernant l'implantation, la conception ou l'importance des ouvrages par rapport aux hypothèses de base de cette étude, peuvent conduire à modifier les conclusions et prescriptions du Rapport et doivent être portés à la connaissance d'E.C.R. ENVIRONNEMENT.

La Société E.C.R. ENVIRONNEMENT ne saurait être rendue responsable des modifications apportées à son étude que dans le cas où elle aurait donné son accord écrit sur les dites modifications.

Les altitudes indiquées pour chaque sondage (qu'il s'agisse de cote 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. Il en va de même pour l'implantation des sondages sur le terrain.



ANNEXES

Extrait de la norme NF P 94-500 (2 pages)

TALREN – Données Coupe 1 (2 pages)

TALREN Coupes 1 -Phase 1 à 3 (6 pages)

TALREN Coupes 1 -Phase finale – Comb. Acc. + kV et -kV (4 pages)

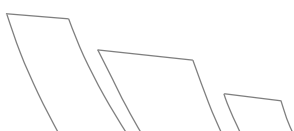
TALREN – Coupe 1 – Phase finale/ phase finale PZ + 2 m (4 pages)

TALREN – Données Coupe 2 (2 pages)

TALREN Coupes 2 -Phases 1 à 4 (8 pages)

TALREN Coupes 2 -Phase finale – Comb. Acc. + kV et -kV (4 pages)

TALREN – Coupe 2 – Phase finale / phase finale PZ + 2 m (4 pages)



Annexe 1

Extrait de la norme NF P 94-500



EXTRAIT DE LA NORME NF P 94-500 – Novembre 2013

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

ÉTAPE 1 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE PRÉALABLE (G1)

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

Phase Étude de Site (ES)

Elle est réalisée en amont d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS pour une première identification des risques géotechniques d'un site.

- Faire une enquête documentaire sur le cadre géotechnique du site et l'existence d'avoisnants avec visite du site et des alentours.
- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport donnant pour le site étudié un modèle géologique préliminaire, les principales caractéristiques géotechniques et une première identification des risques géotechniques majeurs.

Phase Principes Généraux de Construction (PGC)

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

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

ÉTAPE 2 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE DE CONCEPTION (G2)

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

Phase Avant-projet (AVP)

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

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

Phase Projet (PRO)

Elle est réalisée au stade du projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées suffisamment représentatives pour le site.

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un dossier de synthèse des hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade du projet (valeurs caractéristiques des paramètres géotechniques en particulier), des notes techniques donnant les choix constructifs des ouvrages géotechniques (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dallages et voiries, améliorations de sols, dispositions vis-à-vis des nappes et des avoisnants), des notes de calcul de dimensionnement, un avis sur les valeurs seuils et une approche des quantités.

Phase DCE / ACT

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

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



ÉTAPE 3 : ÉTUDES GÉOTECHNIQUES DE RÉALISATION (G3 et G 4, distinctes et simultanées) ÉTUDE ET SUIVI GÉOTECHNIQUES D'EXECUTION (G3)

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

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.

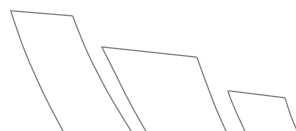
Ce diagnostic géotechnique précise l'influence de cet ou ces éléments géotechniques sur les risques géotechniques identifiés ainsi que leurs conséquences possibles pour le projet ou l'ouvrage existant.

- 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).



Annexe 2

TALREN - Données coupe 1



Données du projet

Numéro d'affaire : 3513793

Titre du calcul : LANNE_COUPE 1

Lieu : LANNE

Commentaires : Coupe 1 V1 23/07/2025

Système d'unités : kN, kPa, kN/m3

γw : 10.0

Couches de sol

	Nom	Couleur	γ	φ	c	Δc	qs clous	pl	KsB	Anisotropie	Favorable	Coefficients de sécurité spécifiques
1	U0 : remblais technique		21,0	35,00	0,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
2	U0 bis : terrain drainant		21,0	37,00	0,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
3	U1 LT		20,0	25,00	5,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
4	U1 CT		20,0	0,01	50,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
5	U1 bis LT		20,0	25,00	0,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
6	U1 bis CT		20,0	0,01	60,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
7	U2 LT		24,0	35,00	15,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
8	U2 CT		24,0	25,00	50,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
9	U3 LT		27,0	40,00	40,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
10	U3 CT		27,0	30,00	100,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
11	U1 bis Cu1		20,0	0,01	114,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
12	U1 bis Cu2		20,0	0,01	87,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
13	U1 Cu3		20,0	0,01	95,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
14	U1 Cu4		20,0	0,01	77,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
15	U1 bis Cu5		20,0	0,01	125,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
16	U1 Cu6		20,0	0,01	116,5	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
17	U1 Cu7		20,0	0,01	98,5	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
18	U1 bis Cu8		20,0	0,01	96,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
19	U1 Cu9		20,0	0,01	104,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
20	U1 Cu10		20,0	0,01	98,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non

Couches de sol (cont.)

	Nom	Couleur	Γγ	Γc	Γtan(φ)	Type de cohésion	Courbe
1	U0 : remblais technique		-	-	-	Effective	Linéaire
2	U0 bis : terrain drainant		-	-	-	Effective	Linéaire
3	U1 LT		-	-	-	Effective	Linéaire
4	U1 CT		-	-	-	Non drainée	Linéaire
5	U1 bis LT		-	-	-	Effective	Linéaire
6	U1 bis CT		-	-	-	Non drainée	Linéaire
7	U2 LT		-	-	-	Effective	Linéaire
8	U2 CT		-	-	-	Non drainée	Linéaire
9	U3 LT		-	-	-	Effective	Linéaire
10	U3 CT		-	-	-	Non drainée	Linéaire
11	U1 bis Cu1		-	-	-	Non drainée	Linéaire
12	U1 bis Cu2		-	-	-	Non drainée	Linéaire
13	U1 Cu3		-	-	-	Non drainée	Linéaire
14	U1 Cu4		-	-	-	Non drainée	Linéaire
15	U1 bis Cu5		-	-	-	Non drainée	Linéaire
16	U1 Cu6		-	-	-	Non drainée	Linéaire
17	U1 Cu7		-	-	-	Non drainée	Linéaire
18	U1 bis Cu8		-	-	-	Non drainée	Linéaire
19	U1 Cu9		-	-	-	Non drainée	Linéaire
20	U1 Cu10		-	-	-	Non drainée	Linéaire

Points (1/2)

	X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y
1	0,000	385,830	2	20,540	382,500	3	57,440	376,250	4	74,150	374,320	5	83,530	373,630	6	92,810	372,940
7	102,740	372,200	8	106,730	372,050	9	135,940	371,480	10	20,540	385,830	11	54,590	386,960	12	55,990	387,140
13	57,490	387,060	14	75,710	386,310	15	83,270	382,560	16	85,270	382,560	17	94,850	377,810	18	96,850	377,810
19	106,430	373,050	20	108,430	373,050	21	110,500	371,976	22	43,180	385,830	23	43,180	387,530	24	0,000	384,030
25	0,000	380,330	27	41,000	378,435	28	57,440	371,140	29	57,444	368,800	30	92,810	368,400	31	92,810	367,000



Talren v5
v5.2.10

Imprimé le : 6 août 2025 12:18:06
Calcul réalisé par : ECR ENVIRONNEMENT OUEST
Projet : LANNE_COUPE 1

Données du projet

Points (2/2)

	X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y
32	79,500	369,431	33	110,500	368,200	34	135,940	368,200	35	135,940	366,500	38	54,500	376,748	39	63,500	375,550
49	0,000	384,830	50	20,540	381,500	51	41,000	378,035	52	27,333	380,300	53	28,840	380,094	54	45,000	377,357
55	54,500	375,748	56	57,440	375,250	57	63,500	374,550	58	74,150	373,320	59	83,530	372,630	60	92,810	371,940
61	102,740	371,200	62	106,730	371,050	63	110,500	370,976	64	42,459	377,788	65	75,340	373,232	66	6,000	384,830
80	6,000	383,830	94	12,000	383,830	95	32,540	380,500	102	86,150	372,320	108	12,000	382,830	109	32,540	379,500
111	39,333	378,300	112	57,000	375,357	122	18,000	382,830	136	6,000	383,857	137	6,167	383,830	138	12,000	382,884
139	12,333	382,830	140	18,000	381,912	141	24,000	381,914	142	24,000	380,914	143	29,955	380,905	145	29,949	379,943
146	29,949	379,906	147	36,000	379,882	148	30,228	379,905	149	36,000	378,882	150	36,000	379,117	151	42,000	378,866
152	37,757	378,877	154	42,000	377,992	155	42,000	377,866	156	48,000	377,849	157	42,285	377,865	158	48,000	376,849
159	54,000	376,833	160	54,000	375,833	161	60,000	375,824	162	60,000	374,954	163	66,000	375,000	164	66,000	374,261
165	72,000	374,264	166	72,000	373,568	167	78,000	373,580	168	74,966	373,574	169	78,000	373,036	170	84,000	373,047
171	84,000	372,595	172	90,500	372,600	173	90,500	372,112	174	96,500	372,113	175	96,500	371,665	176	102,500	371,674
177	102,500	371,218	178	108,500	371,223	179	108,500	371,015	180	20,170	382,560	182	48,231	377,810	183	46,000	387,389
184	20,175	381,913	185	43,180	386,310	186	76,679	385,830	187	96,829	368,355	188	96,836	371,640	189	96,836	371,666
190	96,839	372,640	191	85,322	368,980	192	85,309	372,498	193	85,308	372,596	194	85,305	373,498	195	85,288	377,810
196	94,807	368,378	197	94,823	371,790	198	94,824	372,113	199	94,827	372,790	200	66,000	382,560	201	66,000	377,810
202	66,000	375,261	203	42,000	382,560	204	57,500	382,560	205	57,455	377,810	206	57,440	375,828			

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
1	1	10	3	11	12	4	12	13	5	13	14	7	15	16	8	16	17	9	17	18
10	18	19	11	19	20	15	4	5	18	7	8	20	8	21	21	9	21	22	21	20
23	22	10	30	25	29	32	28	32	35	29	31	37	34	33	38	31	35	41	3	38
44	3	39	58	52	24	62	53	52	67	64	28	68	64	54	70	55	56	73	58	65
74	65	32	79	61	62	81	49	66	82	66	136	83	136	49	85	136	80	86	80	137
87	137	136	89	137	94	90	94	138	91	138	137	93	138	108	94	108	139	95	139	138
97	139	122	98	139	140	99	50	140	100	140	122	101	2	141	104	50	142	105	53	142
106	142	141	108	141	143	109	143	142	110	143	145	111	145	53	113	145	146	114	146	53
117	143	147	118	147	148	119	148	145	121	148	146	122	146	149	123	51	149	124	149	150
125	150	148	127	150	147	130	151	152	131	152	150	132	152	27	133	152	149	134	151	154
136	154	27	137	154	155	138	155	51	139	155	64	142	156	157	143	157	154	144	157	64
145	157	155	146	54	158	148	158	156	149	38	159	151	159	158	152	55	160	153	158	160
154	160	159	156	56	162	157	57	162	158	162	161	159	162	163	160	57	164	162	164	163
163	164	165	164	58	166	165	164	166	166	166	165	168	166	168	169	168	4	170	168	65
171	168	167	172	65	169	173	59	169	174	169	167	175	169	170	176	59	171	178	171	170
180	60	173	182	173	172	186	175	174	188	61	177	190	177	176	191	177	178	192	62	179
193	63	179	194	179	178	195	21	63	196	1	180	197	2	180	201	147	151	202	151	156
203	156	182	204	159	182	207	23	183	208	11	183	209	141	184	210	140	184	211	184	180
212	23	185	213	22	185	215	14	186	216	15	186	217	186	22	218	33	187	220	187	188
221	188	175	222	188	177	223	188	189	224	189	175	225	189	176	226	189	190	228	190	7
229	190	18	230	63	33	231	30	191	232	32	191	233	191	192	234	192	171	235	192	173
236	192	193	237	193	171	238	193	172	239	193	194	240	194	5	241	194	6	242	194	195
244	195	17	245	195	16	246	30	196	247	187	196	248	196	197	249	197	60	250	197	175
251	197	198	252	198	173	253	198	174	254	198	199	255	199	190	256	199	6	257	199	17
259	15	200	260	200	201	261	201	195	263	201	202	264	202	4	265	202	39	266	202	163
267	180	203	269	203	151	270	200	204	271	203	204	272	204	205	273	205	201	274	205	182
275	205	3	276	3	206	277	206	160	278	206	161	279	206	56	280	56	28			

Surcharges réparties

	Nom	X gauche	Y gauche	q gauche	X droite	Y droite	q droite	Ang/horizontale
1	Surcharge chantier 1	48,231	377,810	10,0	96,850	377,810	10,0	90,00
2	Surcharge chantier 2	20,170	382,560	10,0	85,270	382,560	10,0	90,00
3	Surcharge voirie	46,000	387,389	10,0	54,590	386,960	10,0	90,00
4	Surcharge chantier 3	0,000	385,830	10,0	76,679	385,830	10,0	90,00



Talren v5
v5.2.10

Imprimé le : 6 août 2025 12:18:06
Calcul réalisé par : ECR ENVIRONNEMENT OUEST
Projet : LANNE_COUPE 1

Annexe 3

TALREN -Coupe 1 – phase 1 à 3



Données de la situation 1

Nom de la phase : Remblai 1 -CT

Nom de la situation : Situation 1

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Eurocode - Fondamental - Ouvrage courant

Détail du jeu de coefficients de sécurité

Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient
Γ_{min}	1,000	Γ_{s1}	1,000	Γ'_{s1}	1,000	Γ_{ϕ}	1,250	$\Gamma_{c'}$	1,250	Γ_{cu}	1,400
Γ_Q	1,300	$\Gamma_{qsl,clou,ab}$	1,000	$\Gamma_{qsl,clou,es}$	1,100	$\Gamma_{qsl,tirant,ab}$	1,400	$\Gamma_{qsl,tirant,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,bande}$	1,100
Γ_{pl}	1,400	$\Gamma_{a,clou}$	1,000	$\Gamma_{a,tirant}$	1,000	$\Gamma_{a,bande}$	1,250	Γ_{buton}	1,000	Γ_{s3}	1,100

Type de surface de rupture : Circulaire automatique

Nombre de découpages : 10

Incrément sur le rayon : 0,500

Abscisse émergence limite aval : 110,500

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 110,500; Y= 371,976

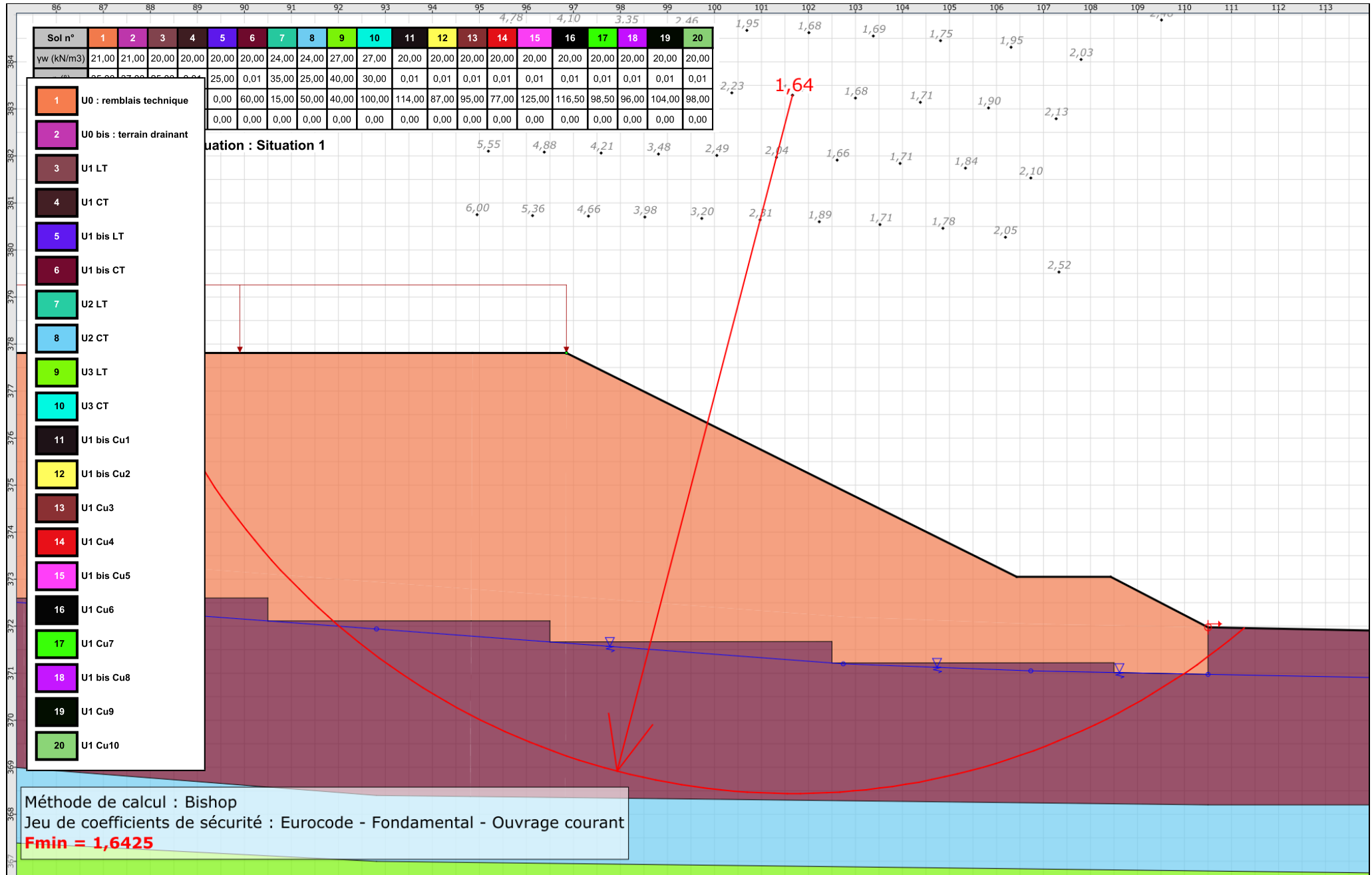
Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Non

Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 1,6425

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 385; X0= 101,66; Y0= 383,29; R= 14,85



Données de la situation 2

Nom de la phase : Remblai 2 -CT
Nom de la situation : Situation 2
Méthode de calcul : Bishop
Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Eurocode - Fondamental - Ouvrage courant
Détail du jeu de coefficients de sécurité

Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient
Γ_{min}	1,000	Γ_{s1}	1,000	Γ'_{s1}	1,000	Γ_{ϕ}	1,250	$\Gamma_{c'}$	1,250	Γ_{cu}	1,400
Γ_Q	1,300	$\Gamma_{qsl,clou,ab}$	1,000	$\Gamma_{qsl,clou,es}$	1,100	$\Gamma_{qsl,tirant,ab}$	1,400	$\Gamma_{qsl,tirant,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,bande}$	1,100
Γ_{pl}	1,400	$\Gamma_{a,clou}$	1,000	$\Gamma_{a,tirant}$	1,000	$\Gamma_{a,bande}$	1,250	Γ_{buton}	1,000	Γ_{s3}	1,100

Type de surface de rupture : Circulaire automatique
Nombre de découpages : 10
Incrément sur le rayon : 1,000
Abscisse émergence limite aval : 85,270
Type de recherche : Point de passage imposé
Point de passage imposé : X= 74,500; Y= 371,000
Nombre de tranches : 100
Prise en compte du séisme : Non
Résultats
Coefficient de sécurité minimal : 1,1937
Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 486; X0= 97,28; Y0= 402,05; R= 33,50

Données de la situation 2

Nom de la phase : Remblai 3 - CT

Nom de la situation : Situation 2

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Eurocode - Fondamental - Ouvrage courant

Détail du jeu de coefficients de sécurité

Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient
Γ_{min}	1,000	Γ_{s1}	1,000	Γ'_{s1}	1,000	Γ_{ϕ}	1,250	$\Gamma_{c'}$	1,250	Γ_{cu}	1,400
Γ_Q	1,300	$\Gamma_{qsl,clou,ab}$	1,000	$\Gamma_{qsl,clou,es}$	1,100	$\Gamma_{qsl,tirant,ab}$	1,400	$\Gamma_{qsl,tirant,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,bande}$	1,100
Γ_{pl}	1,400	$\Gamma_{a,clou}$	1,000	$\Gamma_{a,tirant}$	1,000	$\Gamma_{a,bande}$	1,250	Γ_{buton}	1,000	Γ_{s3}	1,100

Type de surface de rupture : Circulaire automatique

Nombre de découpages : 10

Incrément sur le rayon : 1,000

Abscisse émergence limite aval : 85,270

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 74,500; Y= 371,000

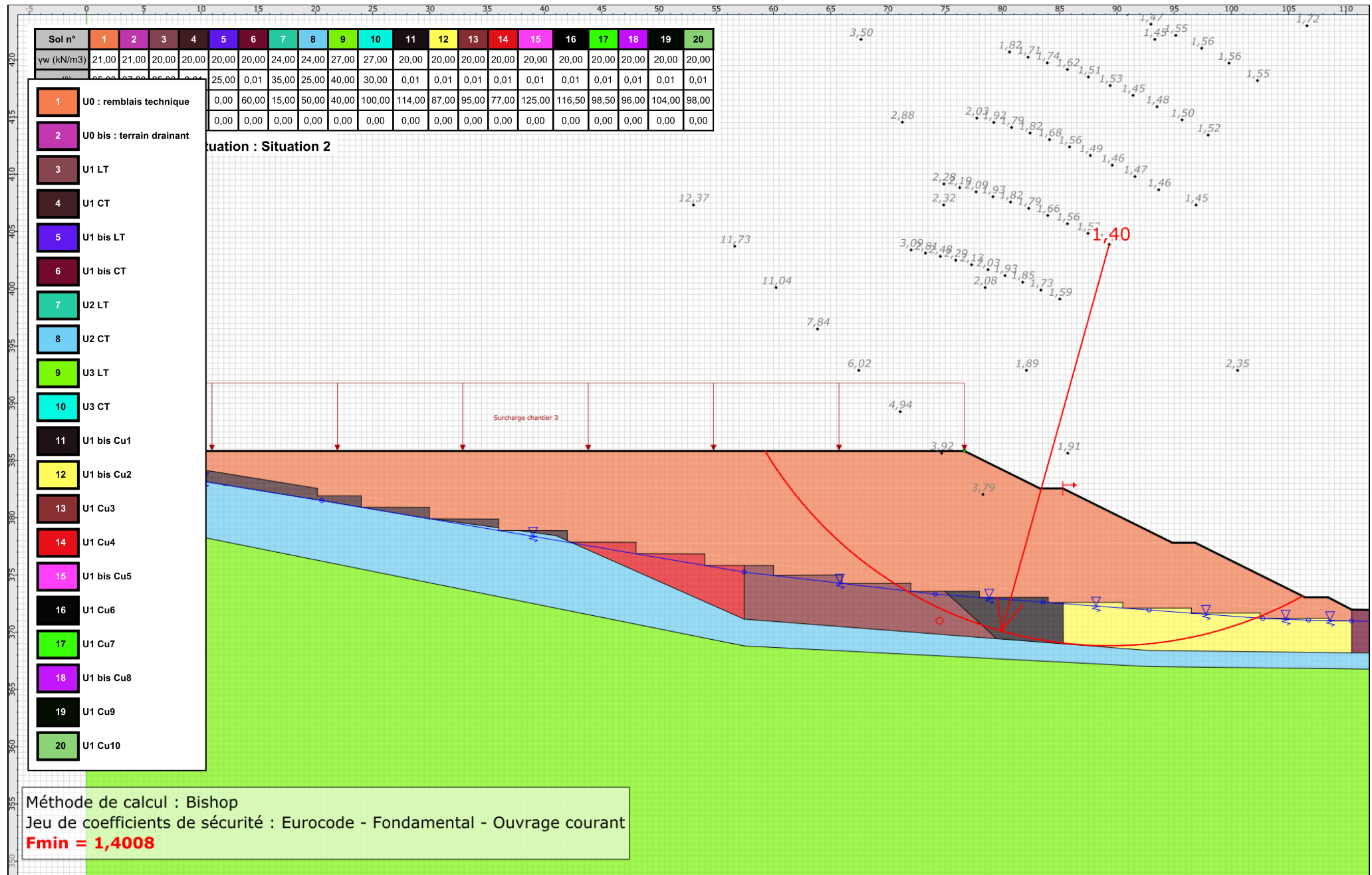
Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Non

Résultats

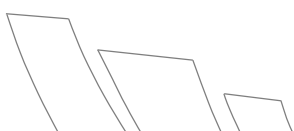
Coefficient de sécurité minimal : 1,4008

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 333; X0= 89,33; Y0= 403,87; R= 35,06



Annexe 4

TALREN- Coupe 1 – phase finale - Comb. Acc +kv et -kV



Données de la situation 2

Nom de la phase : Remblai final - CT Sismique 2 kv-

Nom de la situation : Situation 2

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Eurocode - Sismique

Détail 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	Γφ	1,250	Γc'	1,250	Γcu	1,400
ΓQ	1,000	Γqsl,clou,ab	1,000	Γqsl,clou,es	1,100	Γqsl,tirant,ab	1,400	Γqsl,tirant,es	1,000	Γqsl,bande	1,100
Γpl	1,400	Γa,clou	1,000	Γa,tirant	1,000	Γa,bande	1,250	Γbuton	1,000	Γs3	1,000

Type de surface de rupture : Circulaire automatique

Nombre de découpages : 10

Incrément sur le rayon : 1,000

Abscisse émergence limite aval : 85,270

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 74,500; Y= 371,000

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Oui

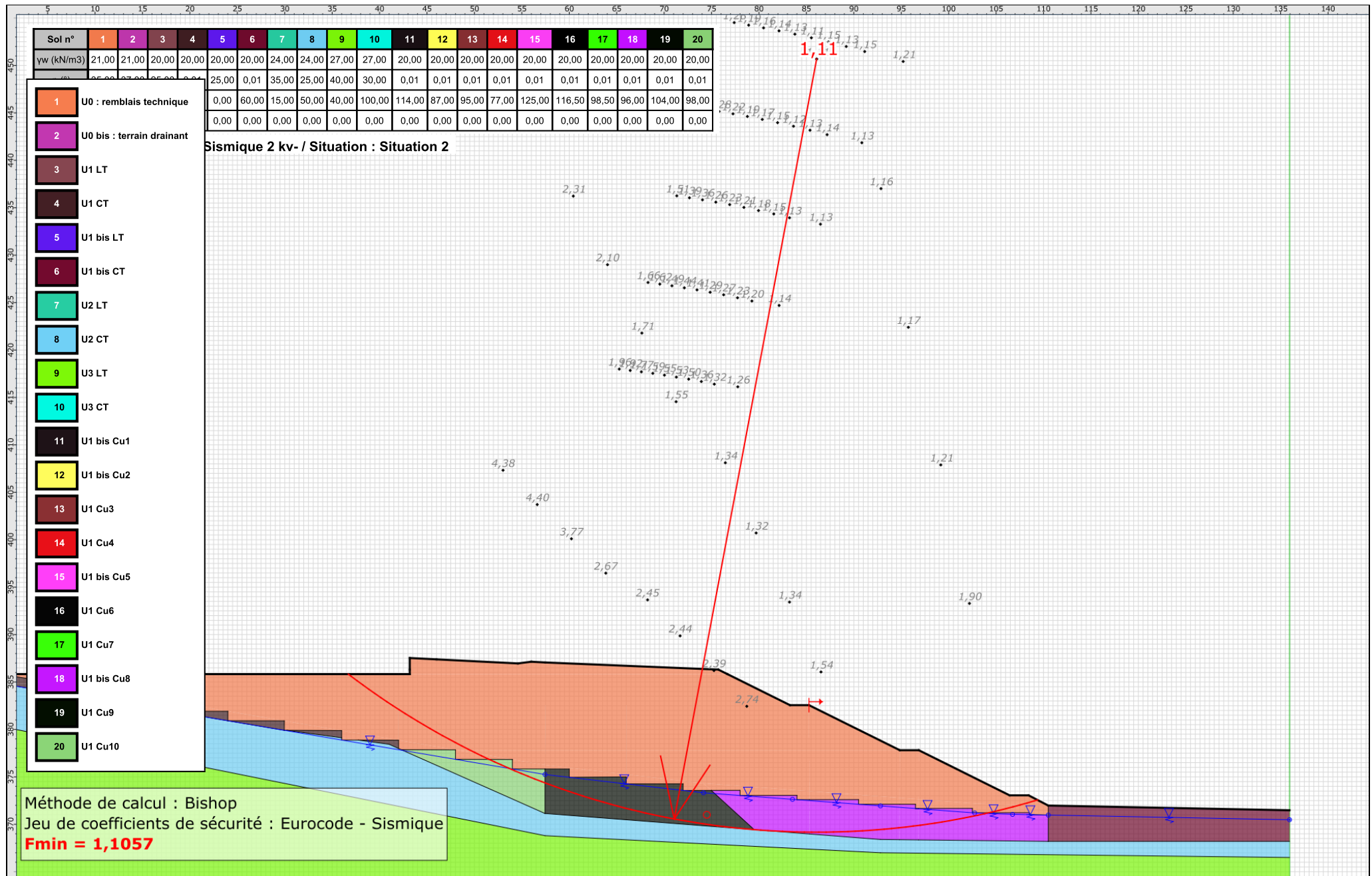
Coefficient ah/g (accélération horizontale) : 0,137

Coefficient av/g (accélération verticale) : -0,068

Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 1,1057

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 137; X0= 86,08; Y0= 450,68; R= 81,52



Données de la situation 2

Nom de la phase : Remblai final - CT Sismique 2 +Kv

Nom de la situation : Situation 2

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Eurocode - Sismique

Détail du jeu de coefficients de sécurité

Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient
Γ_{min}	1,000	Γ_{s1}	1,000	Γ'_{s1}	1,000	Γ_{ϕ}	1,250	$\Gamma_{c'}$	1,250	Γ_{cu}	1,400
Γ_Q	1,000	$\Gamma_{qsl,clou,ab}$	1,000	$\Gamma_{qsl,clou,es}$	1,100	$\Gamma_{qsl,tirant,ab}$	1,400	$\Gamma_{qsl,tirant,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,bande}$	1,100
Γ_{pl}	1,400	$\Gamma_a,clou$	1,000	$\Gamma_a,tirant$	1,000	$\Gamma_a,bande$	1,250	Γ_{buton}	1,000	Γ_{s3}	1,000

Type de surface de rupture : Circulaire automatique

Nombre de découpages : 10

Incrément sur le rayon : 1,000

Abscisse émergence limite aval : 85,270

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 74,500; Y= 371,000

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Oui

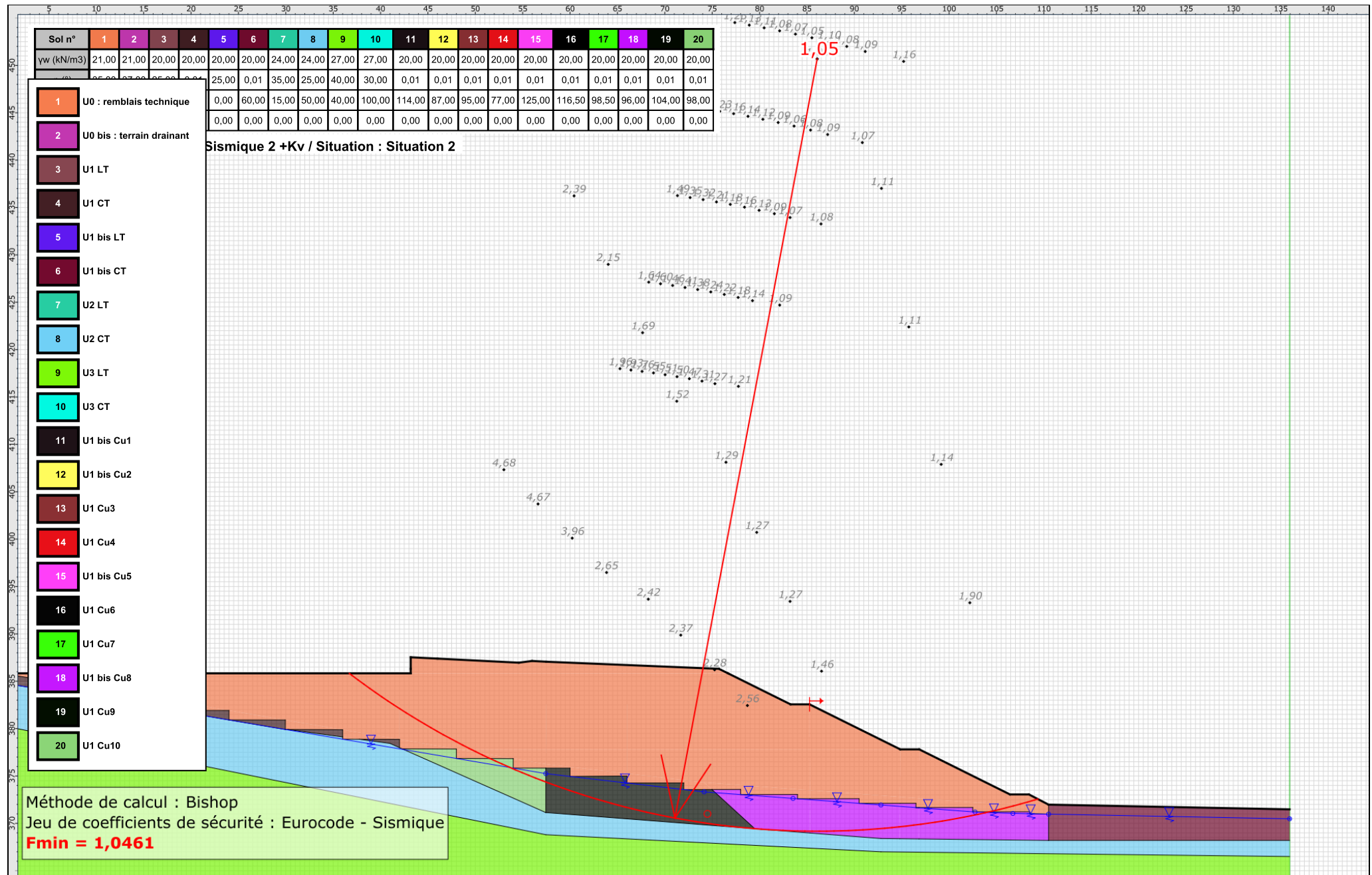
Coefficient ah/g (accélération horizontale) : 0,137

Coefficient av/g (accélération verticale) : 0,068

Résultats

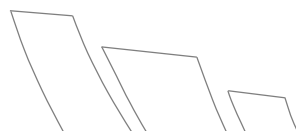
Coefficient de sécurité minimal : 1,0461

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 137; X0= 86,08; Y0= 450,68; R= 81,52



Annexe 5

TALREN- Coupe 1 – phase finale / phase finale PZ + 2m



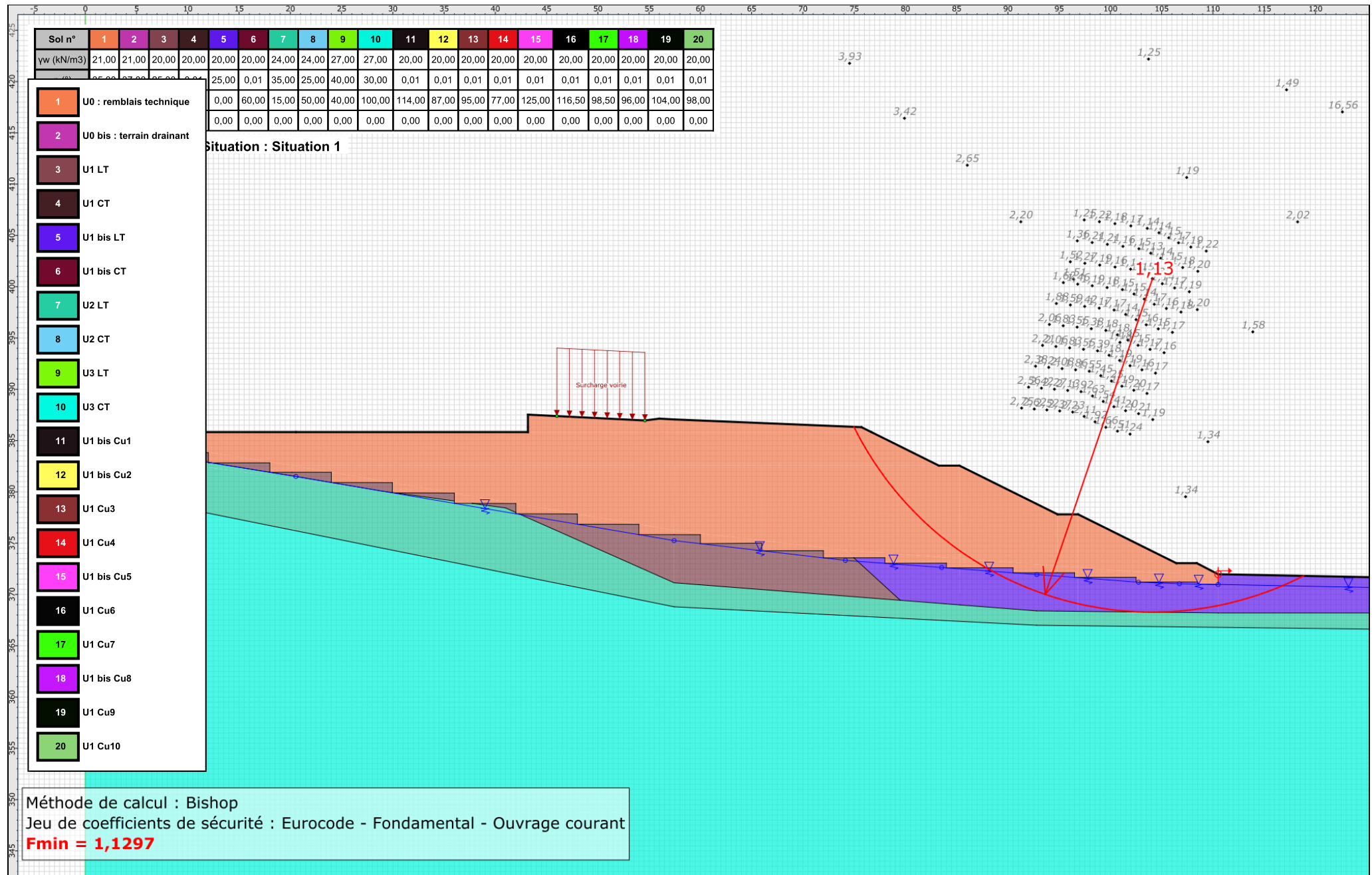
Données de la situation 1

Nom de la phase : Remblai final LT
Nom de la situation : Situation 1
Méthode de calcul : Bishop
Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Eurocode - Fondamental - Ouvrage courant
Détail du jeu de coefficients de sécurité

Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient
Γ_{min}	1,000	Γ_{s1}	1,000	Γ'_{s1}	1,000	Γ_{ϕ}	1,250	$\Gamma'_{c'}$	1,250	Γ_{cu}	1,400
Γ_Q	1,300	$\Gamma_{qsl,clou,ab}$	1,000	$\Gamma_{qsl,clou,es}$	1,100	$\Gamma_{qsl,tirant,ab}$	1,400	$\Gamma_{qsl,tirant,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,bande}$	1,100
Γ_{pl}	1,400	$\Gamma_{a,clou}$	1,000	$\Gamma_{a,tirant}$	1,000	$\Gamma_{a,bande}$	1,250	Γ_{buton}	1,000	Γ_{s3}	1,100

Type de surface de rupture : Circulaire automatique
Nombre de découpages : 10
Incrément sur le rayon : 1,000
Abscisse émergence limite aval : 110,500
Type de recherche : Point de passage imposé
Point de passage imposé : X= 110,500; Y= 371,976
Nombre de tranches : 100
Prise en compte du séisme : Non

Résultats
Coefficient de sécurité minimal : 1,1297
Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 275; X0= 104,10; Y0= 400,78; R= 32,50



Données de la situation 1

Nom de la phase : Remblai final LT nappe + 2 m

Nom de la situation : Situation 1

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Eurocode - Fondamental - Ouvrage courant

Détail 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	Γφ	1,250	Γc'	1,250	Γcu	1,400
ΓQ	1,300	Γqsl,clou,ab	1,000	Γqsl,clou,es	1,100	Γqsl,tirant,ab	1,400	Γqsl,tirant,es	1,000	Γqsl,bande	1,100
Γpl	1,400	Γa,clou	1,000	Γa,tirant	1,000	Γa,bande	1,250	Γbuton	1,000	Γs3	1,100

Type de surface de rupture : Circulaire automatique

Nombre de découpages : 10

Incrément sur le rayon : 1,000

Abscisse émergence limite aval : 110,500

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 110,500; Y= 371,976

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Non

Résultats

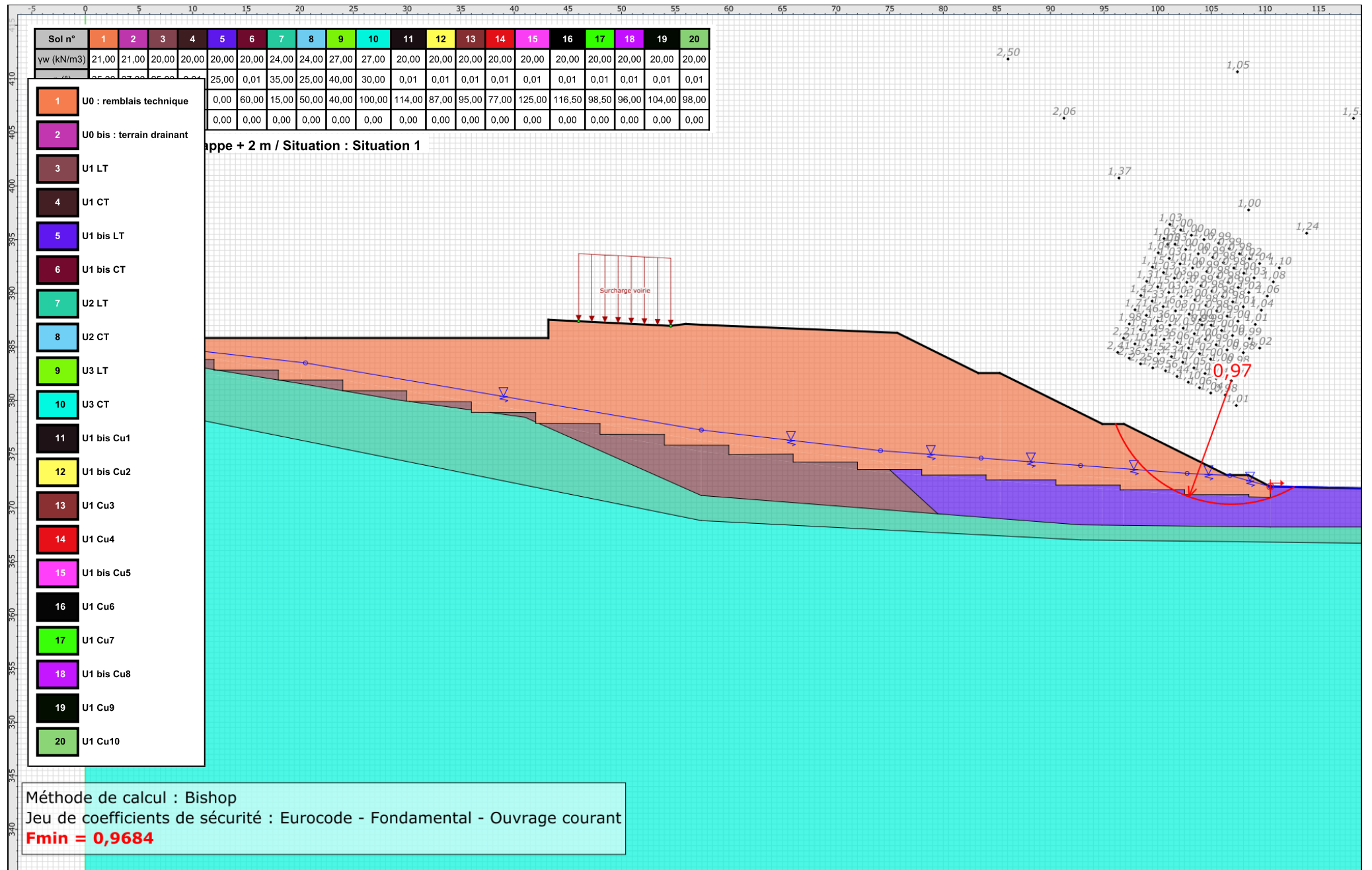
Coefficient de sécurité minimal : 0,9684

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 129; X0= 106,86; Y0= 381,83; R= 11,50



Talren v5
v5.2.10

Imprimé le : 6 août 2025 12:28:29
Calcul réalisé par : ECR ENVIRONNEMENT OUEST
Projet : LANNE_COUPE 1



Annexe 5

TALREN- Coupe 1 – phase finale / phase finale PZ + 2m



Données de la situation 1

Nom de la phase : Remblai final LT
Nom de la situation : Situation 1
Méthode de calcul : Bishop
Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Eurocode - Fondamental - Ouvrage courant
Détail du jeu de coefficients de sécurité

Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient
Γ_{min}	1,000	Γ_{s1}	1,000	Γ'_{s1}	1,000	Γ_{ϕ}	1,250	$\Gamma'_{c'}$	1,250	Γ_{cu}	1,400
Γ_Q	1,300	$\Gamma_{qsl,clou,ab}$	1,000	$\Gamma_{qsl,clou,es}$	1,100	$\Gamma_{qsl,tirant,ab}$	1,400	$\Gamma_{qsl,tirant,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,bande}$	1,100
Γ_{pl}	1,400	$\Gamma_{a,clou}$	1,000	$\Gamma_{a,tirant}$	1,000	$\Gamma_{a,bande}$	1,250	Γ_{buton}	1,000	Γ_{s3}	1,100

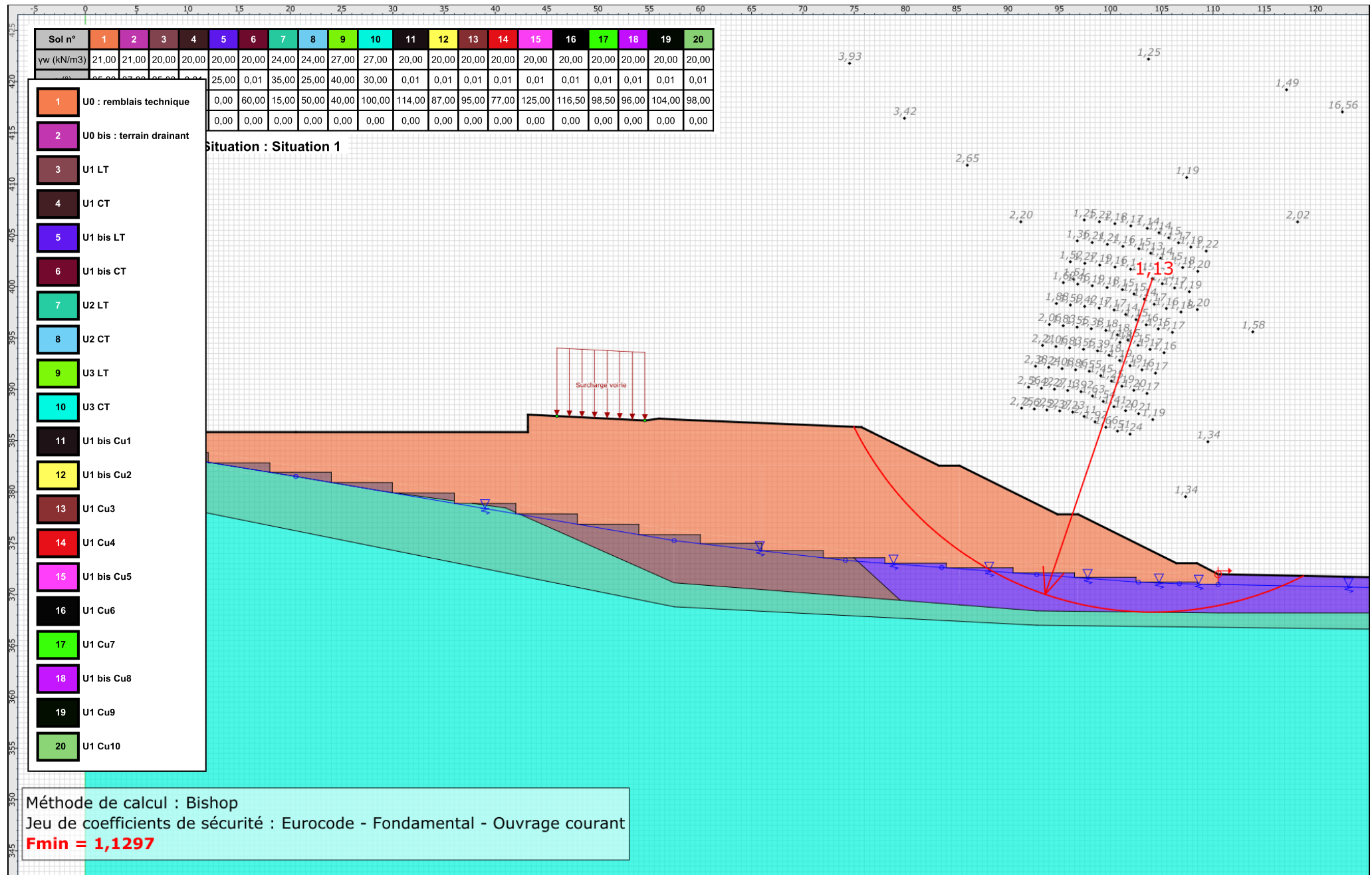
Type de surface de rupture : Circulaire automatique
Nombre de découpages : 10
Incrément sur le rayon : 1,000
Abscisse émergence limite aval : 110,500
Type de recherche : Point de passage imposé
Point de passage imposé : X= 110,500; Y= 371,976
Nombre de tranches : 100
Prise en compte du séisme : Non

Résultats
Coefficient de sécurité minimal : 1,1297
Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 275; X0= 104,10; Y0= 400,78; R= 32,50



Talren v5
v5.2.10

Imprimé le : 6 août 2025 12:27:46
Calcul réalisé par : ECR ENVIRONNEMENT OUEST
Projet : LANNE_COUPE 1



Données de la situation 1

Nom de la phase : Remblai final LT nappe + 2 m

Nom de la situation : Situation 1

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Eurocode - Fondamental - Ouvrage courant

Détail 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	Γφ	1,250	Γc'	1,250	Γcu	1,400
ΓQ	1,300	Γqsl,clou,ab	1,000	Γqsl,clou,es	1,100	Γqsl,tirant,ab	1,400	Γqsl,tirant,es	1,000	Γqsl,bande	1,100
Γpl	1,400	Γa,clou	1,000	Γa,tirant	1,000	Γa,bande	1,250	Γbuton	1,000	Γs3	1,100

Type de surface de rupture : Circulaire automatique

Nombre de découpages : 10

Incrément sur le rayon : 1,000

Abscisse émergence limite aval : 110,500

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 110,500; Y= 371,976

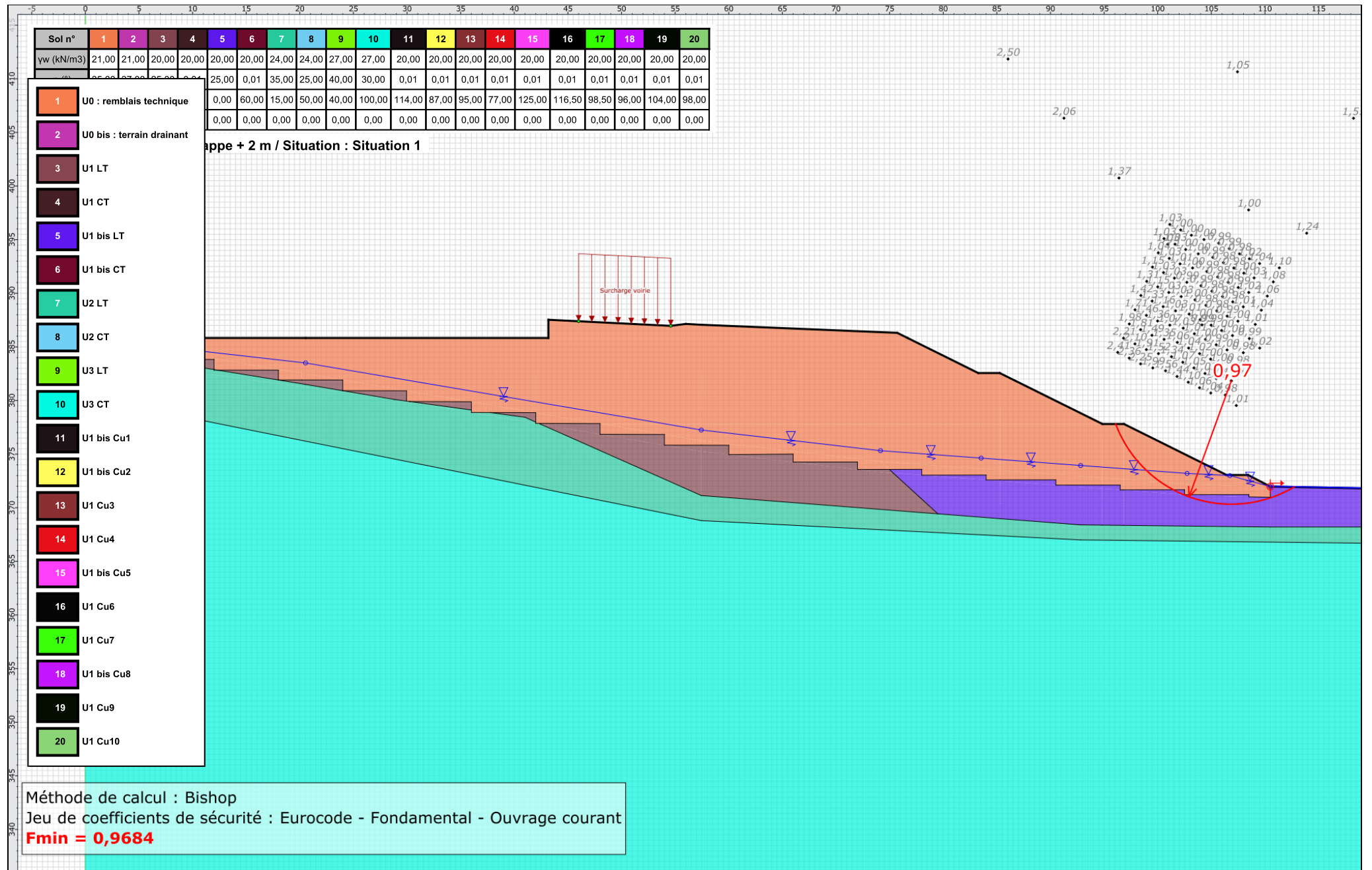
Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Non

Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 0,9684

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 129; X0= 106,86; Y0= 381,83; R= 11,50



Annexe 6

TALREN – Données coupes 2



Données du projet

Numéro d'affaire : 3513793

Titre du calcul : LANNE_COUPE 2

Lieu : LANNE

Commentaires : Coupe 1 V1 23/07/2025

Système d'unités : kN, kPa, kN/m3

γw : 10.0

Couches de sol

	Nom	Couleur	γ	φ	c	Δc	qs clous	pl	KsB	Anisotropie	Favorable	Coefficients de sécurité spécifiques
1	U0 : remblais technique		21,0	35,00	0,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
2	U0 bis : terrain drainant		21,0	0,01	37,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
3	U1 LT		20,0	25,00	5,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
4	U1 CT		20,0	0,01	50,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
5	U1 bis LT		20,0	35,00	0,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
6	U1 bis CT		20,0	0,01	30,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
7	U2 LT		24,0	35,00	15,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
8	U2 CT		24,0	25,00	50,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
9	U3 LT		27,0	40,00	40,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
10	U3 CT		27,0	30,00	100,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
11	U1 Cu1		20,0	0,01	94,2	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
12	U1 Cu2		20,0	0,01	75,5	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
13	U1 Cu3		20,0	0,01	76,1	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
14	U1 Cu4		20,0	0,01	102,7	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
15	U1 Cu5		20,0	0,01	130,5	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
16	U1 Cu6		20,0	0,01	140,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
17	U1 Cu7		20,0	0,01	92,5	0,0	-	-	-	Non	Non	Non

Couches de sol (cont.)

	Nom	Couleur	Γγ	Γc	Γtan(φ)	Type de cohésion	Courbe
1	U0 : remblais technique		-	-	-	Effective	Linéaire
2	U0 bis : terrain drainant		-	-	-	Effective	Linéaire
3	U1 LT		-	-	-	Effective	Linéaire
4	U1 CT		-	-	-	Non drainée	Linéaire
5	U1 bis LT		-	-	-	Effective	Linéaire
6	U1 bis CT		-	-	-	Non drainée	Linéaire
7	U2 LT		-	-	-	Effective	Linéaire
8	U2 CT		-	-	-	Non drainée	Linéaire
9	U3 LT		-	-	-	Effective	Linéaire
10	U3 CT		-	-	-	Non drainée	Linéaire
11	U1 Cu1		-	-	-	Non drainée	Linéaire
12	U1 Cu2		-	-	-	Non drainée	Linéaire
13	U1 Cu3		-	-	-	Non drainée	Linéaire
14	U1 Cu4		-	-	-	Non drainée	Linéaire
15	U1 Cu5		-	-	-	Non drainée	Linéaire
16	U1 Cu6		-	-	-	Non drainée	Linéaire
17	U1 Cu7		-	-	-	Non drainée	Linéaire

Points (1/2)

	X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y
1	0,000	385,860	2	0,000	383,870	3	43,180	377,610	4	60,230	374,790	5	73,820	373,860	6	83,120	373,260
7	93,570	372,580	8	109,910	371,090	9	119,910	370,700	10	29,480	385,860	11	29,480	390,670	12	43,180	390,670
13	60,270	390,670	14	65,900	389,680	15	73,660	385,860	16	75,660	385,860	17	84,720	381,110	18	86,720	381,110
19	96,230	376,360	20	98,230	376,360	21	106,870	371,090	23	7,509	384,153	24	7,509	382,353	25	0,000	382,353
26	7,509	379,153	27	0,000	379,153	28	43,180	376,610	29	60,230	370,500	30	60,230	367,200	31	105,500	371,243
32	105,500	368,243	33	119,910	368,000	34	119,910	365,000	35	7,509	383,153	36	60,230	373,790	37	73,820	372,860
38	83,120	372,260	39	93,570	371,580	40	105,500	370,243	41	106,870	370,090	42	0,000	382,870	43	13,500	383,117
44	13,145	383,119	45	13,500	382,054	46	13,500	383,054	47	19,500	382,041	48	19,017	382,042	49	19,500	380,953
50	19,500	381,953	51	25,500	380,956	52	24,938	380,956	53	25,500	379,853	54	25,500	380,853	55	31,500	379,855
56	30,942	379,855	57	31,500	378,752	58	31,500	379,753	59	37,500	378,753	60	36,951	378,753	61	37,500	377,652
62	37,500	378,652	63	43,500	377,698	64	42,732	377,692	65	43,500	376,557	66	43,500	377,557	67	49,500	376,565



Talren v5
v5.2.10

Imprimé le : 6 août 2025 12:29:59
Calcul réalisé par : ECR ENVIRONNEMENT OUEST
Projet : LANNE_COUPE 2

Données du projet

Points (2/2)

	X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y
68	49,500	375,565	69	55,500	375,587	70	55,414	375,587	71	55,500	374,572	72	55,500	375,573	73	61,500	374,589
74	61,500	373,703	75	67,500	373,687	76	67,500	373,292	77	73,500	373,287	78	73,500	372,882	79	79,500	372,885
80	79,500	372,494	81	85,500	372,500	82	85,500	372,105	83	91,500	372,117	84	91,500	371,715	85	97,500	371,736
86	97,500	371,140	87	103,500	371,134	88	103,500	370,467	90	106,868	370,472	91	50,740	376,360	92	24,099	381,110
93	29,480	389,680	94	91,500	378,723	95	91,500	376,360	96	91,500	372,715	97	91,500	368,941	98	86,734	372,107
99	86,733	373,025	100	86,727	376,360	101	86,724	369,179	102	86,734	372,025	103	60,179	381,110	104	60,202	376,360
105	60,209	374,793	106	60,210	374,585	107	60,214	373,793	108	106,859	368,220	109	106,866	370,090	110	60,188	389,680
111	51,670	390,670	112	45,190	390,670												

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
4	11	12	6	13	14	7	14	15	8	15	16	9	16	17	10	17	18	12	19	20
18	4	5	19	5	6	22	21	8	23	8	9	24	20	21	25	1	10	26	2	23
27	25	24	28	27	26	29	24	28	30	28	29	31	26	30	32	7	31	33	21	31
36	34	30	37	42	35	45	35	44	46	44	23	48	44	43	49	35	45	51	45	46
52	46	44	54	46	43	55	45	48	56	48	46	58	48	47	60	45	49	61	49	50
62	50	48	64	50	47	65	49	52	68	52	51	70	49	53	71	53	54	72	54	52
74	54	51	75	53	56	76	56	54	78	56	55	80	53	57	81	57	58	82	58	56
84	58	55	85	57	60	86	60	58	88	60	59	89	28	61	90	57	61	91	61	62
92	62	60	94	62	59	95	61	64	96	64	62	97	64	3	98	64	63	99	28	65
101	65	66	102	66	3	104	66	63	105	66	67	108	65	68	109	68	67	110	65	67
111	68	70	114	70	69	116	68	71	117	71	72	118	72	70	120	72	69	122	36	74
124	74	73	125	74	75	127	74	76	128	76	75	129	76	77	130	37	78	131	76	78
132	78	77	133	78	79	134	37	80	135	38	80	136	80	79	137	80	81	138	38	82
140	82	81	142	39	84	144	84	83	145	84	85	146	39	86	148	86	85	149	86	87
150	40	88	151	86	88	153	88	90	154	21	90	155	10	15	156	70	91	157	67	91
159	52	92	160	50	92	162	10	93	163	11	93	165	88	87	166	18	94	167	19	94
168	94	95	170	95	19	171	95	96	173	96	7	174	96	83	176	32	97	177	97	84
178	82	98	179	83	98	180	98	99	181	99	96	182	99	6	183	99	100	184	100	95
186	100	18	187	29	101	188	97	101	189	101	102	190	102	82	191	102	84	192	102	98
193	92	103	194	17	103	195	103	104	196	104	100	197	104	91	198	104	105	199	105	72
200	105	4	201	105	106	202	106	71	203	106	73	204	106	107	205	107	36	206	107	71
207	107	29	208	33	108	209	32	108	210	108	109	211	109	40	212	109	41	213	109	90
214	93	110	215	14	110	217	13	111	218	12	112	219	111	112						

Surcharges réparties

	Nom	X gauche	Y gauche	q gauche	X droite	Y droite	q droite	Ang/horizontale
1	Surcharge de chantier 1	50,740	376,360	10,0	98,230	376,360	10,0	90,00
2	Surcharge de chantier 2	24,099	381,110	10,0	86,720	381,110	10,0	90,00
3	Surcharge de chantier 3	29,480	385,860	10,0	75,660	385,860	10,0	90,00
4	Surcharge de chantier 4	29,480	389,680	10,0	65,900	389,680	10,0	90,00
5	Surcharge de voirie	29,480	390,670	10,0	43,180	390,670	10,0	90,00
6	Surcharge groupe froid	45,190	390,670	7,5	51,670	390,670	7,5	90,00

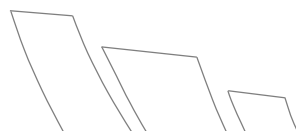


Talren v5
v5.2.10

Imprimé le : 6 août 2025 12:29:59
Calcul réalisé par : ECR ENVIRONNEMENT OUEST
Projet : LANNE_COUPE 2

Annexe 7

TALREN Coupe 2 – phases 1 à 4



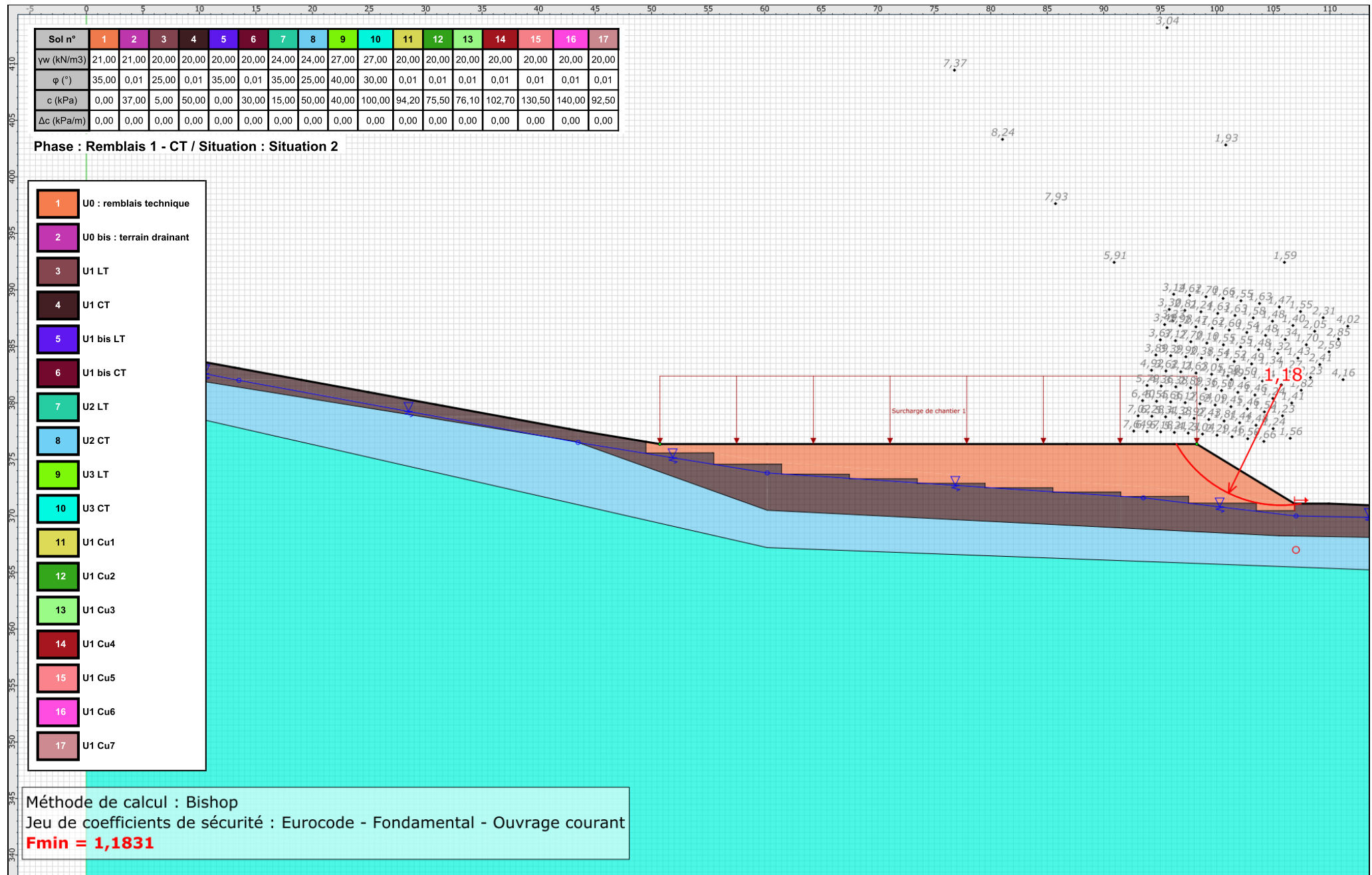
Données de la situation 2

Nom de la phase : Remblais 1 - CT
Nom de la situation : Situation 2
Méthode de calcul : Bishop
Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Eurocode - Fondamental - Ouvrage courant
Détail du jeu de coefficients de sécurité

Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient
Γ_{min}	1,000	Γ_{s1}	1,000	Γ'_{s1}	1,000	Γ_{ϕ}	1,250	$\Gamma_{c'}$	1,250	Γ_{cu}	1,400
Γ_Q	1,300	$\Gamma_{qsl,clou,ab}$	1,000	$\Gamma_{qsl,clou,es}$	1,100	$\Gamma_{qsl,tirant,ab}$	1,400	$\Gamma_{qsl,tirant,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,bande}$	1,100
Γ_{pl}	1,400	$\Gamma_{a,clou}$	1,000	$\Gamma_{a,tirant}$	1,000	$\Gamma_{a,bande}$	1,250	Γ_{buton}	1,000	Γ_{s3}	1,100

Type de surface de rupture : Circulaire automatique
Nombre de découpages : 10
Incrément sur le rayon : 1,000
Abscisse émergence limite aval : 106,870
Type de recherche : Point de passage imposé
Point de passage imposé : X= 107,000; Y= 367,000
Nombre de tranches : 100
Prise en compte du séisme : Non

Résultats
Coefficient de sécurité minimal : 1,1831
Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 257; X0= 105,70; Y0= 381,59; R= 10,64



Données de la situation 2

Nom de la phase : Remblais 2 - CT

Nom de la situation : Situation 2

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Eurocode - Fondamental - Ouvrage courant

Détail du jeu de coefficients de sécurité

Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient
Γ_{min}	1,000	Γ_{s1}	1,000	Γ'_{s1}	1,000	Γ_{ϕ}	1,250	$\Gamma_{c'}$	1,250	Γ_{cu}	1,400
Γ_Q	1,300	$\Gamma_{qsl,clou,ab}$	1,000	$\Gamma_{qsl,clou,es}$	1,100	$\Gamma_{qsl,tirant,ab}$	1,400	$\Gamma_{qsl,tirant,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,bande}$	1,100
Γ_{pl}	1,400	$\Gamma_{a,clou}$	1,000	$\Gamma_{a,tirant}$	1,000	$\Gamma_{a,bande}$	1,250	Γ_{buton}	1,000	Γ_{s3}	1,100

Type de surface de rupture : Circulaire automatique

Nombre de découpages : 10

Incrément sur le rayon : 1,000

Abscisse émergence limite aval : 106,870

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 85,500; Y= 370,000

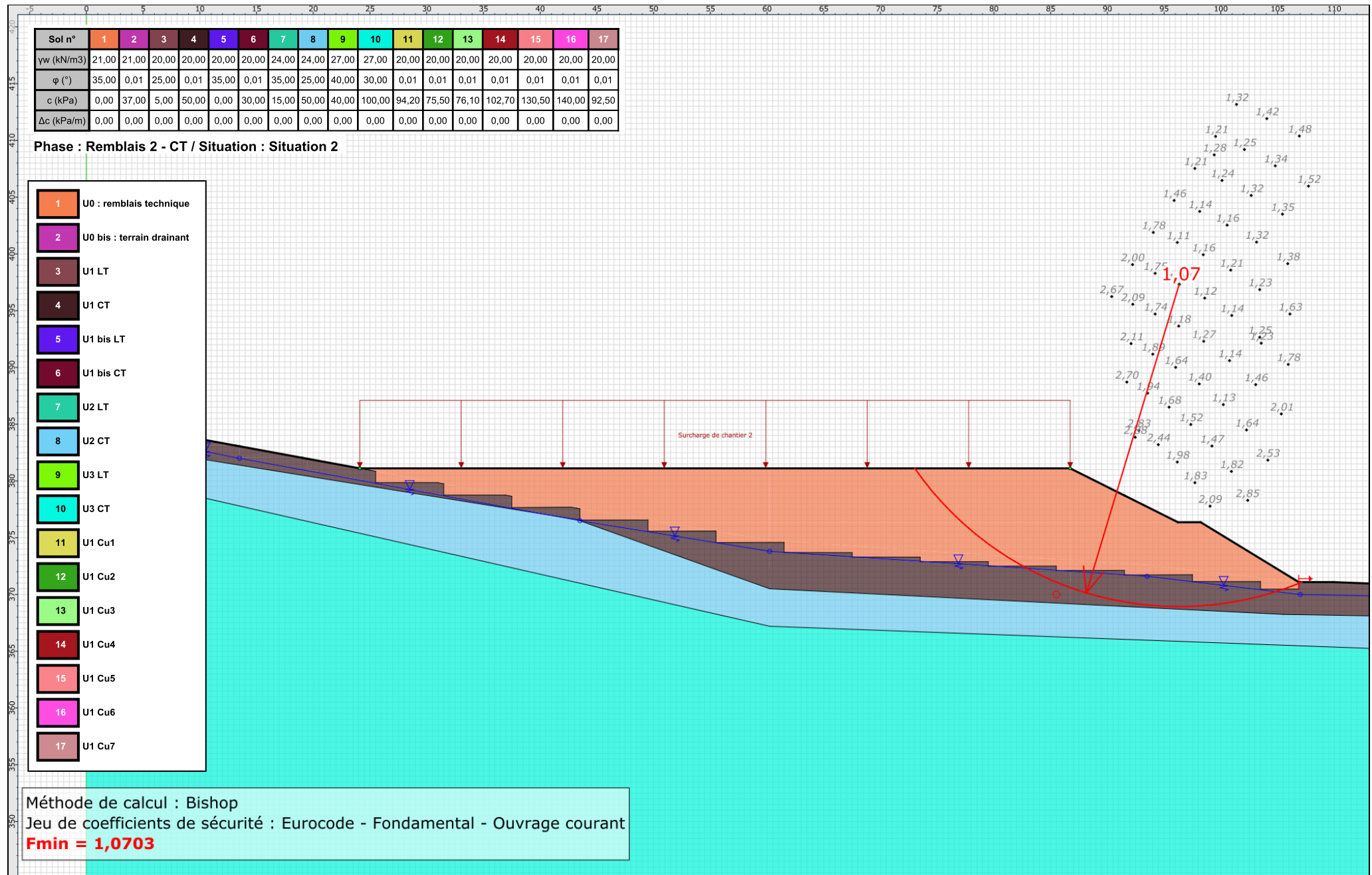
Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Non

Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 1,0703

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 230; X0= 96,33; Y0= 397,32; R= 28,38



Données de la situation 1

Nom de la phase : Remblais 3 - CT

Nom de la situation : Situation 1

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Eurocode - Fondamental - Ouvrage courant

Détail du jeu de coefficients de sécurité

Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient
Γ_{min}	1,000	Γ_{s1}	1,000	Γ'_{s1}	1,000	Γ_{ϕ}	1,250	$\Gamma_{c'}$	1,250	Γ_{cu}	1,400
Γ_Q	1,300	$\Gamma_{qsl,clou,ab}$	1,000	$\Gamma_{qsl,clou,es}$	1,100	$\Gamma_{qsl,tirant,ab}$	1,400	$\Gamma_{qsl,tirant,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,bande}$	1,100
Γ_{pl}	1,400	$\Gamma_{a,clou}$	1,000	$\Gamma_{a,tirant}$	1,000	$\Gamma_{a,bande}$	1,250	Γ_{buton}	1,000	Γ_{s3}	1,100

Type de surface de rupture : Circulaire automatique

Nombre de découpages : 10

Incrément sur le rayon : 1,000

Abscisse émergence limite aval : 106,870

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 106,870; Y= 371,090

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Non

Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 1,2486

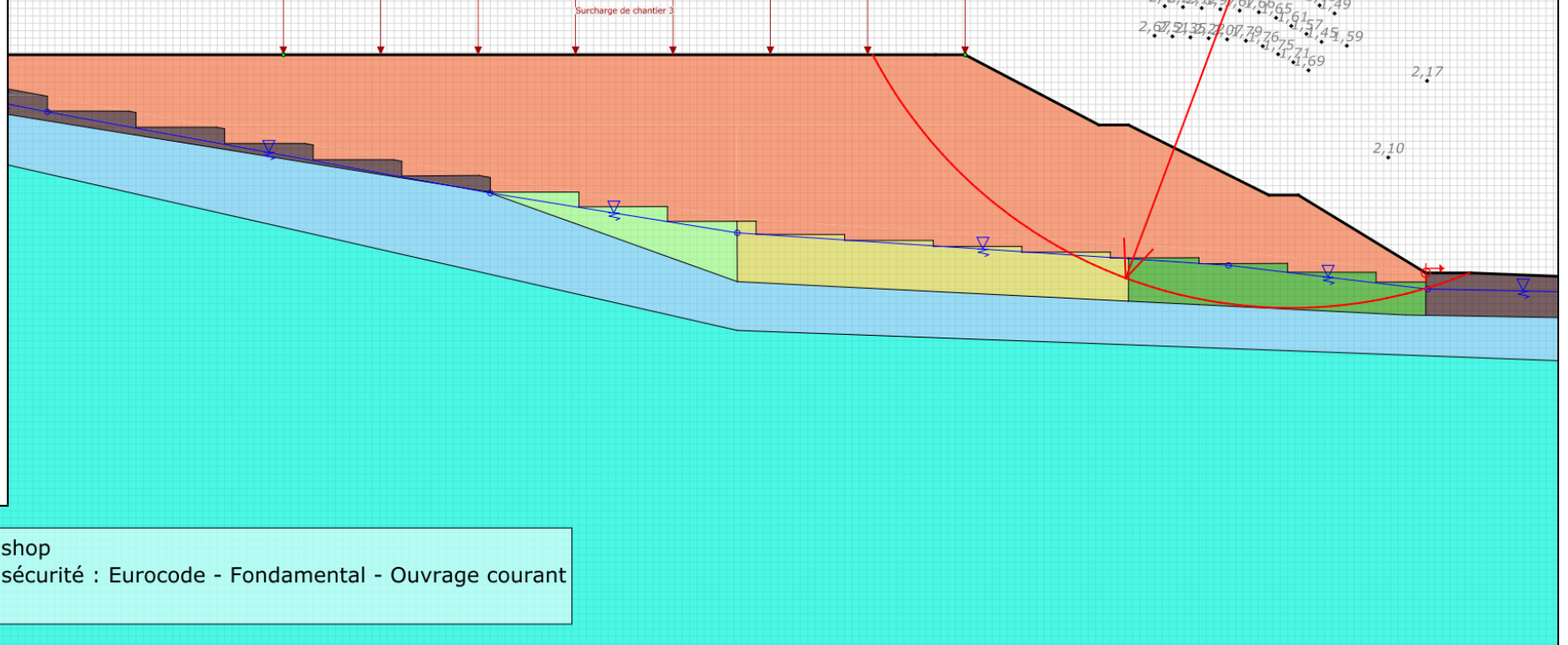
Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 348; X0= 97,74; Y0= 400,71; R= 31,99

Sol n°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
γ_w (kN/m ³)	21,00	21,00	20,00	20,00	20,00	20,00	24,00	24,00	27,00	27,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
φ (°)	35,00	0,01	25,00	0,01	35,00	0,01	35,00	25,00	40,00	30,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
c (kPa)	0,00	37,00	5,00	50,00	0,00	30,00	15,00	50,00	40,00	100,00	94,20	75,50	76,10	102,70	130,50	140,00	92,50
Δc (kPa/m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Phase : Remblais 3 - CT / Situation : Situation 1

- 1 U0 : remblais technique
- 2 U0 bis : terrain drainant
- 3 U1 LT
- 4 U1 CT
- 5 U1 bis LT
- 6 U1 bis CT
- 7 U2 LT
- 8 U2 CT
- 9 U3 LT
- 10 U3 CT
- 11 U1 Cu1
- 12 U1 Cu2
- 13 U1 Cu3
- 14 U1 Cu4
- 15 U1 Cu5
- 16 U1 Cu6
- 17 U1 Cu7

Méthode de calcul : Bishop
 Jeu de coefficients de sécurité : Eurocode - Fondamental - Ouvrage courant
Fmin = 1,2486



Données de la situation 2

Nom de la phase : Remblais 4- CT

Nom de la situation : Situation 2

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Eurocode - Fondamental - Ouvrage courant

Détail du jeu de coefficients de sécurité

Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient
Γ_{min}	1,000	Γ_{s1}	1,000	Γ'_{s1}	1,000	Γ_{ϕ}	1,250	$\Gamma_{c'}$	1,250	Γ_{cu}	1,400
Γ_Q	1,300	$\Gamma_{qsl,clou,ab}$	1,000	$\Gamma_{qsl,clou,es}$	1,100	$\Gamma_{qsl,tirant,ab}$	1,400	$\Gamma_{qsl,tirant,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,bande}$	1,100
Γ_{pl}	1,400	$\Gamma_{a,clou}$	1,000	$\Gamma_{a,tirant}$	1,000	$\Gamma_{a,bande}$	1,250	Γ_{buton}	1,000	Γ_{s3}	1,100

Type de surface de rupture : Circulaire automatique

Nombre de découpages : 10

Incrément sur le rayon : 1,000

Abscisse émergence limite aval : 106,870

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 107,000; Y= 367,000

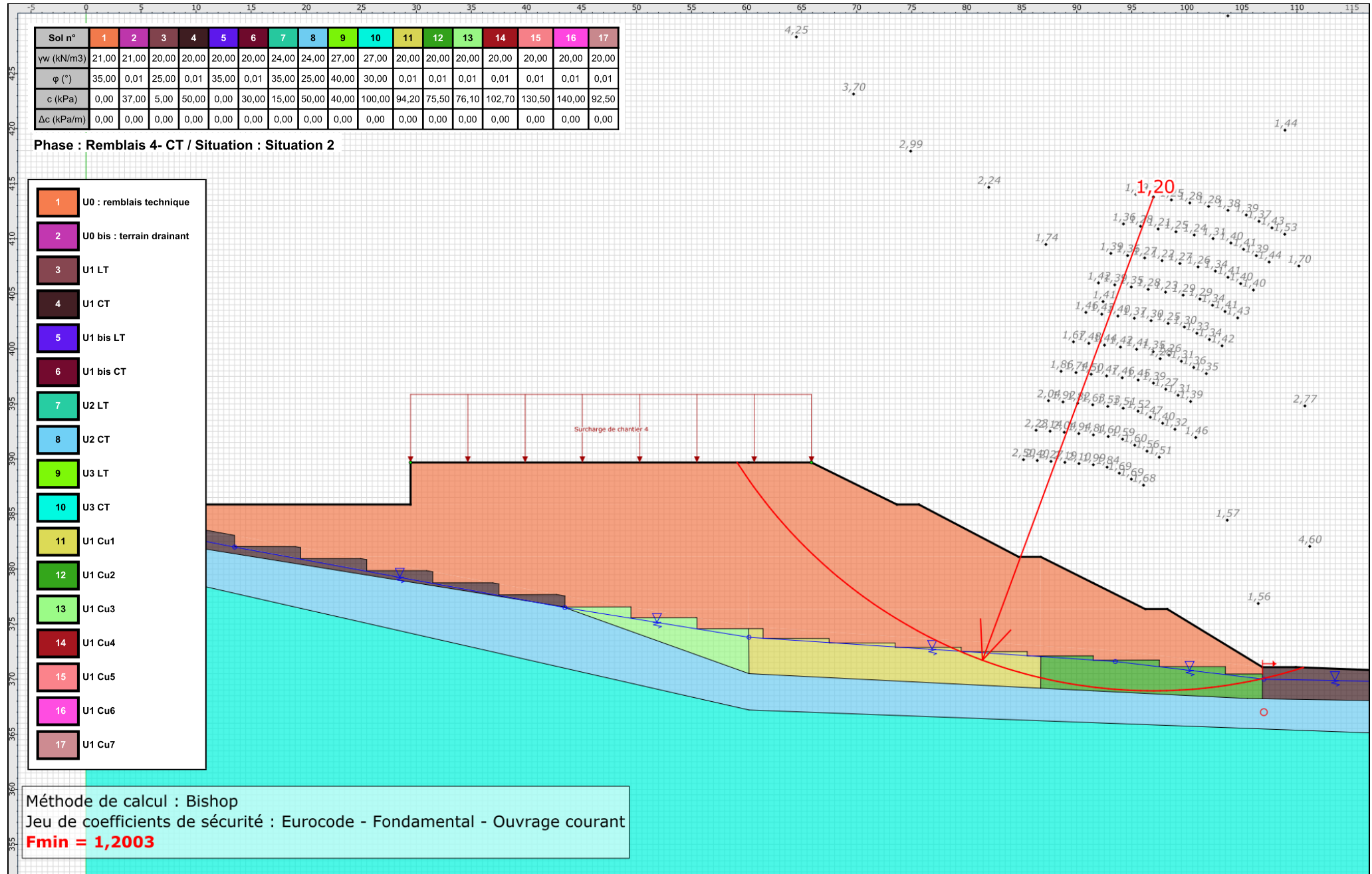
Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Non

Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 1,2003

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 667; X0= 96,97; Y0= 413,79; R= 44,85



Annexe 8

TALREN Coupe 2 – phase finale - Comb. Acc +kv et -kV



Données de la situation 4

Nom de la phase : Remblais 4- CT - sismique -kv (1)

Nom de la situation : Situation 4

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Eurocode - Sismique

Détail du jeu de coefficients de sécurité

Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient
Γ_{min}	1,000	Γ_{s1}	1,000	Γ'_{s1}	1,000	Γ_{ϕ}	1,250	$\Gamma_{c'}$	1,250	Γ_{cu}	1,400
Γ_Q	1,000	$\Gamma_{qsl,clou,ab}$	1,000	$\Gamma_{qsl,clou,es}$	1,100	$\Gamma_{qsl,tirant,ab}$	1,400	$\Gamma_{qsl,tirant,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,bande}$	1,100
Γ_{pl}	1,400	$\Gamma_a,clou$	1,000	$\Gamma_a,tirant$	1,000	$\Gamma_a,bande$	1,250	Γ_{buton}	1,000	Γ_{s3}	1,000

Type de surface de rupture : Circulaire automatique

Nombre de découpages : 10

Incrément sur le rayon : 1,000

Abscisse émergence limite aval : 73,660

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 85,500; Y= 370,500

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Oui

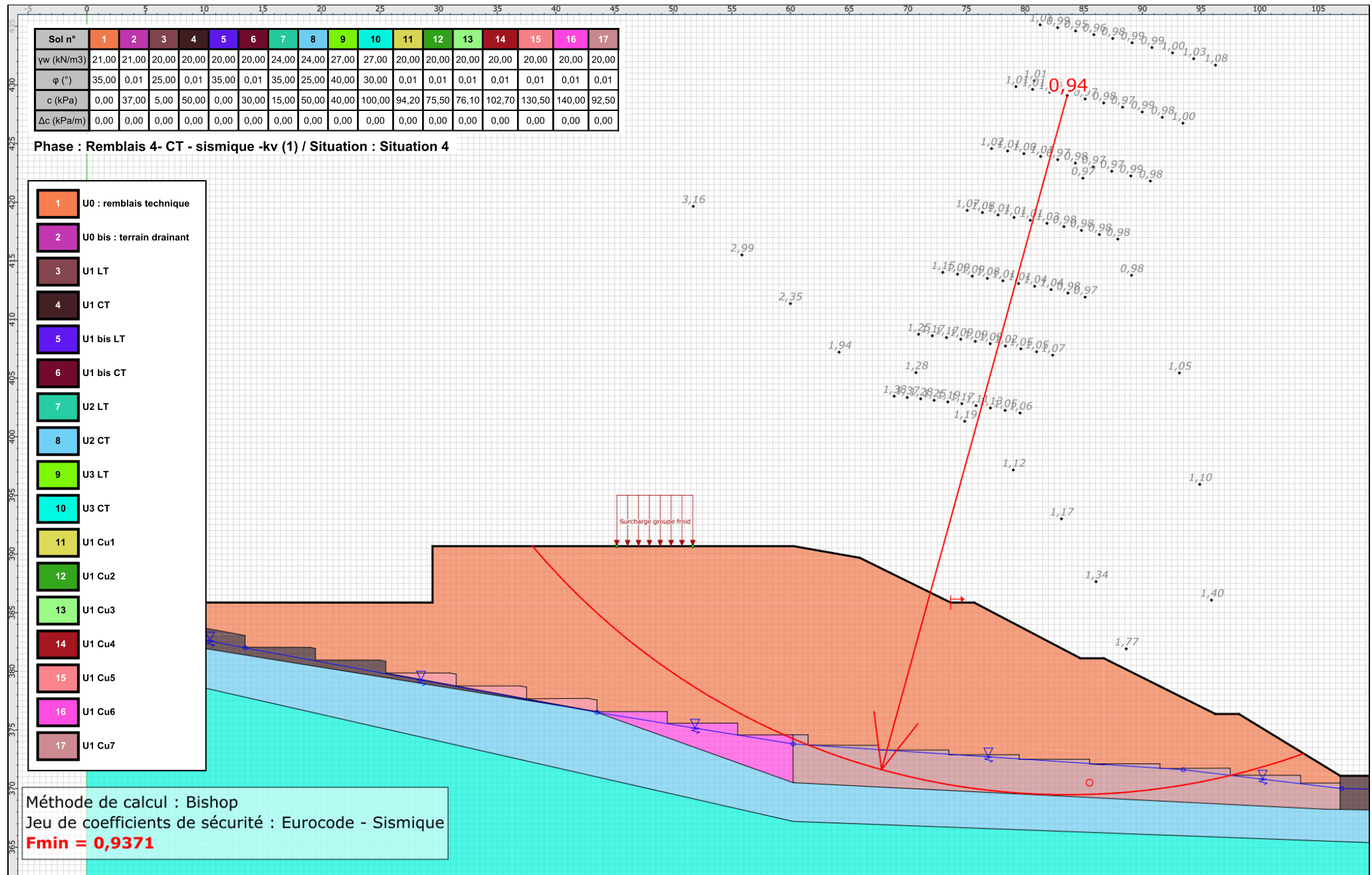
Coefficient ah/g (accélération horizontale) : 0,137

Coefficient av/g (accélération verticale) : -0,068

Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 0,9371

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 945; X0= 83,60; Y0= 429,10; R= 59,62



Données de la situation 4

Nom de la phase : Remblais 4- CT - sismique +kv

Nom de la situation : Situation 4

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Eurocode - Sismique

Détail du jeu de coefficients de sécurité

Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient
Γ_{min}	1,000	Γ_{s1}	1,000	Γ'_{s1}	1,000	Γ_{ϕ}	1,250	$\Gamma_{c'}$	1,250	Γ_{cu}	1,400
Γ_Q	1,000	$\Gamma_{qsl,clou,ab}$	1,000	$\Gamma_{qsl,clou,es}$	1,100	$\Gamma_{qsl,tirant,ab}$	1,400	$\Gamma_{qsl,tirant,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,bande}$	1,100
Γ_{pl}	1,400	$\Gamma_a,clou$	1,000	$\Gamma_a,tirant$	1,000	$\Gamma_a,bande$	1,250	Γ_{buton}	1,000	Γ_{s3}	1,000

Type de surface de rupture : Circulaire automatique

Nombre de découpages : 10

Incrément sur le rayon : 1,000

Abscisse émergence limite aval : 73,660

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 85,500; Y= 370,500

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Oui

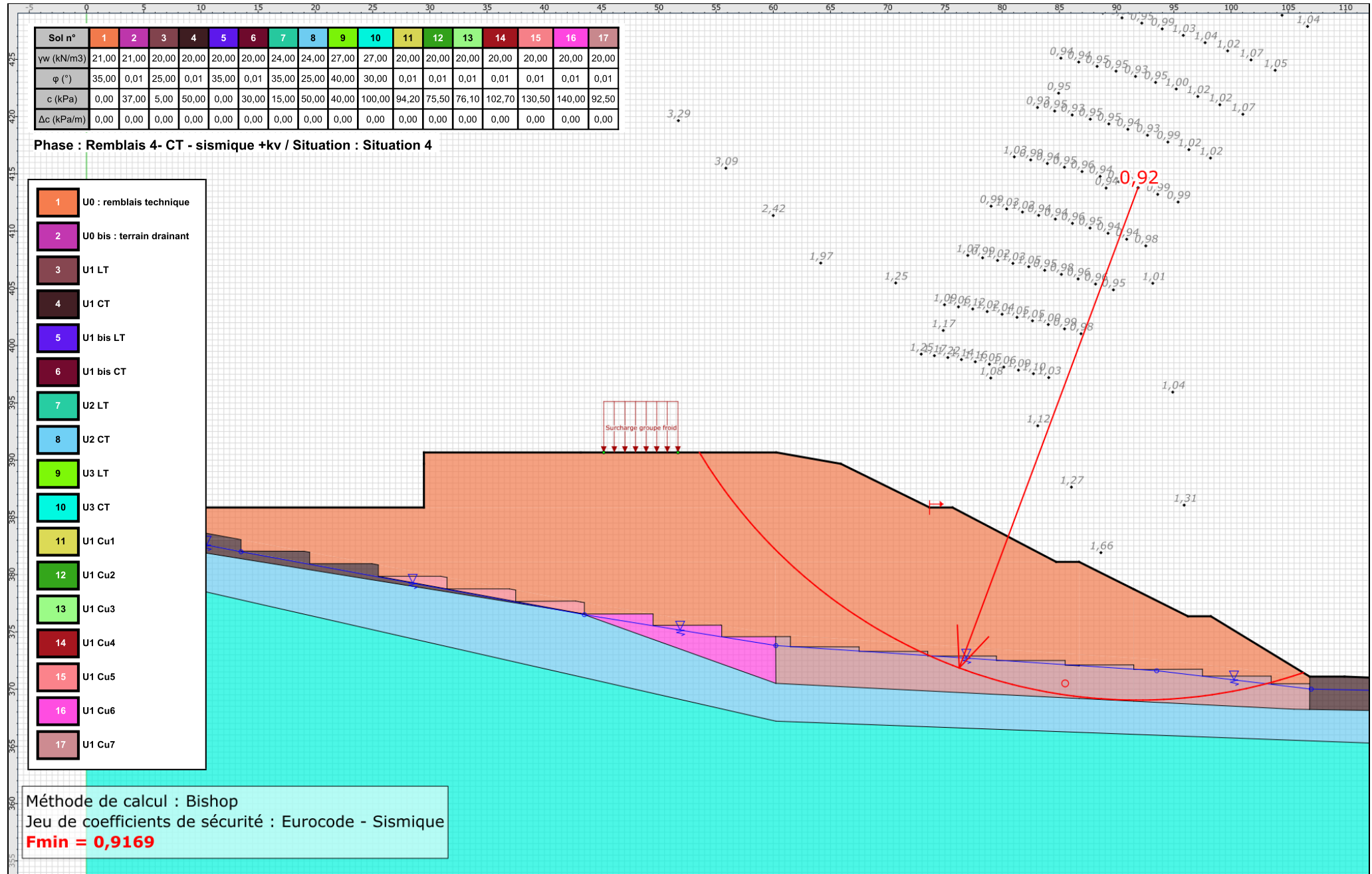
Coefficient ah/g (accélération horizontale) : 0,137

Coefficient av/g (accélération verticale) : 0,068

Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 0,9169

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 530; X0= 91,87; Y0= 413,79; R= 44,76



Annexe 9

TALREN Coupe 2 – phase finale / phase finale PZ + 2m



Données de la situation 2

Nom de la phase : Remblais 4 - LT

Nom de la situation : Situation 2

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Eurocode - Fondamental - Ouvrage courant

Détail du jeu de coefficients de sécurité

Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient
Γ_{min}	1,000	Γ_{s1}	1,000	Γ'_{s1}	1,000	Γ_{ϕ}	1,250	$\Gamma_{c'}$	1,250	Γ_{cu}	1,400
Γ_Q	1,300	$\Gamma_{qsl,clou,ab}$	1,000	$\Gamma_{qsl,clou,es}$	1,100	$\Gamma_{qsl,tirant,ab}$	1,400	$\Gamma_{qsl,tirant,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,bande}$	1,100
Γ_{pl}	1,400	$\Gamma_{a,clou}$	1,000	$\Gamma_{a,tirant}$	1,000	$\Gamma_{a,bande}$	1,250	Γ_{buton}	1,000	Γ_{s3}	1,100

Type de surface de rupture : Circulaire automatique

Nombre de découpages : 10

Incrément sur le rayon : 1,000

Abscisse émergence limite aval : 106,870

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 107,000; Y= 367,000

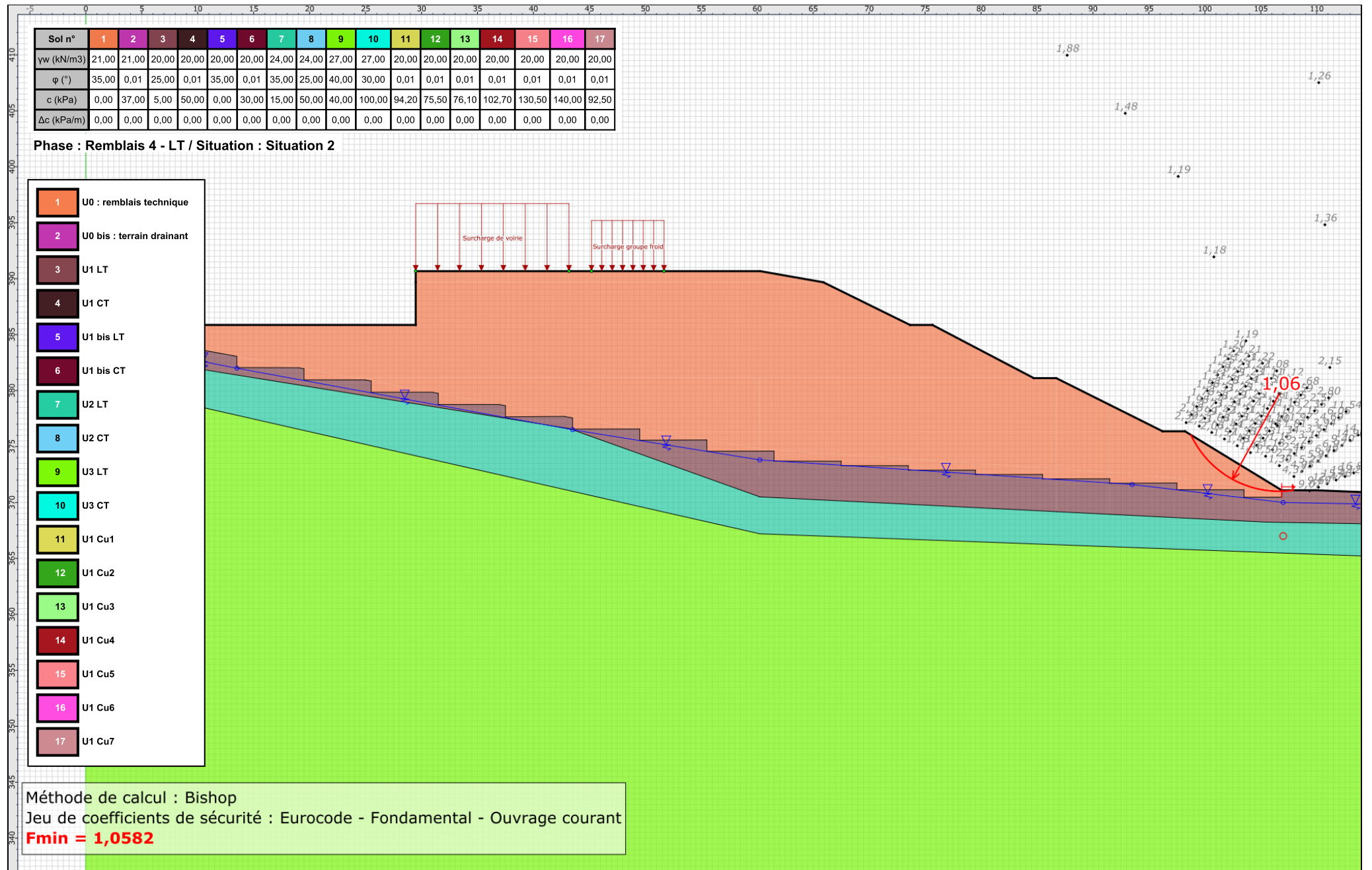
Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Non

Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 1,0582

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 494; X0= 106,66; Y0= 379,71; R= 8,71



Données de la situation 2

Nom de la phase : Remblais 4 - LT + 2 m nappe

Nom de la situation : Situation 2

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Eurocode - Fondamental - Ouvrage courant

Détail du jeu de coefficients de sécurité

Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient
Γ_{min}	1,000	Γ_{s1}	1,000	Γ'_{s1}	1,000	Γ_{ϕ}	1,250	$\Gamma_{c'}$	1,250	Γ_{cu}	1,400
Γ_Q	1,300	$\Gamma_{qsl,clou,ab}$	1,000	$\Gamma_{qsl,clou,es}$	1,100	$\Gamma_{qsl,tirant,ab}$	1,400	$\Gamma_{qsl,tirant,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,bande}$	1,100
Γ_{pl}	1,400	$\Gamma_{a,clou}$	1,000	$\Gamma_{a,tirant}$	1,000	$\Gamma_{a,bande}$	1,250	Γ_{buton}	1,000	Γ_{s3}	1,100

Type de surface de rupture : Circulaire automatique

Nombre de découpages : 10

Incrément sur le rayon : 1,000

Abscisse émergence limite aval : 106,870

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 107,000; Y= 367,000

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Non

Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 1,0105

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 460; X0= 103,67; Y0= 387,85; R= 19,11

