

Loire Océan Métropole Aménagement

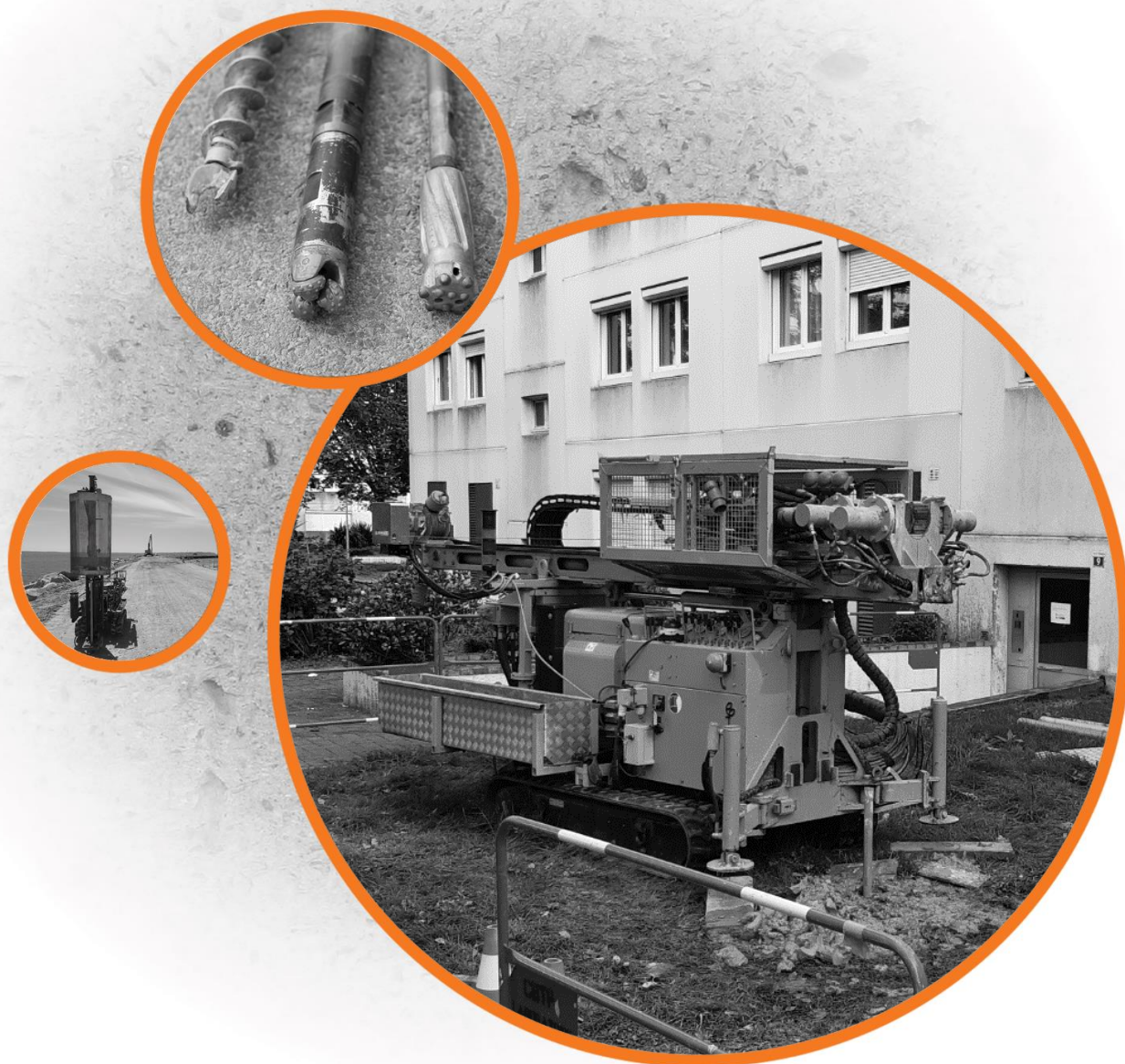
Création de bassin – NANTES (44)



Mécanique des sols et fondations spéciales

Mission d'ingénierie géotechnique

Rapport de mission G1+G2AVP



Traçabilité du rapport

Dossier d'affaire DA 2021 0981

Devis n°DDMO202106167.1

Ind.	Date	Établi par	Approuvé par	Modification
1	25/11/2021	P.LORAND	J.SIMON	Première diffusion
2	15/12/2021	F.LE PAGE	J.SIMON	Reprise des hypothèses de base de l'ouvrage et réajustement de l'étude

Le présent document est à la version 2 et a été diffusé le 15/12/2021.

Intervenants

Client :	Contact
Loire Océan Métropole Aménagement 34 rue du Pré Gauchet CS 93521 44035 NANTES CEDEX 01 	Mme CLOUET
Bureau d'études :	Contact
MAGEO 10 avenue Henri Fréville 35200 RENNES 	Gwénolé LE FLEM Chargé d'études et travaux 06.77.24.65.30

Observations

La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale. Il comporte 52 pages. Les résultats et conclusions éventuelles s'appliquent à la présente opération suivant les documents portés à notre connaissance à la date de diffusion du présent document.



Sommaire

1. OBJET	4
2. DOCUMENTS DE REFERENCE	4
2.1 DOCUMENTS DE L'OPERATION	4
2.2 REGLEMENTS APPLICABLES.....	4
3. CONTEXTE DU SITE	5
3.1 CONTEXTE GEOGRAPHIQUE, TOPOGRAPHIE ET OCCUPATION DU SITE.....	5
3.2 RISQUES DIVERS SUR LA COMMUNE	5
3.3 CONTEXTE GEOLOGIQUE	6
3.4 RETRAIT/GONFLEMENT DES ARGILES	6
3.5 RISQUE DE REMONTEES DE NAPPES/INONDATIONS DE CAVES.....	6
3.6 RISQUE SISMIQUE	6
4. RECONNAISSANCES DE SOL ET ESSAIS EFFECTUES	7
4.1 PROGRAMME DES ESSAIS	7
4.2 ESSAIS IN SITU.....	7
4.3 HYDROLOGIE.....	9
4.4 RISQUE SISMIQUE	10
4.5 ESSAIS DE LABORATOIRE	10
5. OUVRAGE CONSIDERE	12
5.1 DESCRIPTION.....	12
5.2 TERRASSEMENTS	12
5.3 DRAINAGE - PHASE CHANTIER	12
5.4 HYPOTHESES DE CALCUL DE STABILITE	13
5.5 VERIFICATION DE LA STABILITE	15
6. CONCLUSION	17
6.1 RAPPEL DES PRINCIPES CONSTRUCTIFS PRECONISES	17
7. ENCHAINEMENT DES MISSIONS D'INGENIERIE GEOTECHNIQUE	18
8. ANNEXES	21
ANNEXE 1 : IMPLANTATION DES SONDAGES.....	21
ANNEXE 2 : SONDAGES PRESSIOMETRIQUES ET CAROTTAGES	23
ANNEXE 3 : PIEZOMETRE.....	28
ANNEXE 4 : RESULTATS D'ESSAIS DE LABORATOIRE.....	30
ANNEXE 4 : CALCULS TALREN (STABILITE DE TALUS).....	37



1. Objet

Laboratoire CBTP a été missionné par Loire Océan Métropole Aménagement, pour la réalisation de la présente mission d'étude géotechnique G1+G2AVP, dans le cadre du projet d'aménagement des voiries et des réseaux divers - ZAC Nantes Nord (44).

Les sondages ont été effectués à partir du 23 octobre 2019 par des techniciens du Laboratoire CBTP selon l'implantation des sondages communiquée par le bureau d'études MAGEO.

La présente étude porte sur le point suivant du projet :

- Construction d'un bassin à ciel ouvert.

La présente mission fait référence à la norme NF P94-500 de novembre 2013 ; étape G1+G2AVP.

La présente étude porte sur les points suivants :

- Une étude de sol du site du bassin ;
- La caractérisation des sols au droit du bassin ;
- La vérification des pentes de talus envisagées pour le bassin.

Le présent rapport d'études comprend les parties suivantes :

- Contenu des reconnaissances effectuées
- Analyses et résultats
- Vérification de la stabilité des talus
- Annexes

2. Documents de référence

2.1 Documents de l'opération

Les documents transmis à Laboratoire CBTP pour la réalisation de la présente étude sont les suivants :

Date de réception	Intitulé - Référence
06/09/2019	PGB - Cahier des Charges-Etudes Géotechnique

Notre devis n°DDMO202106167.1

2.2 Règlements applicables

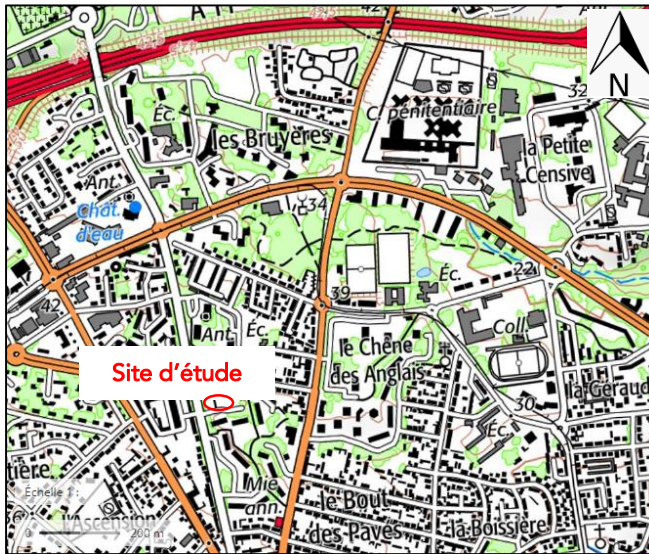
Les normes et règlements applicables dans le cadre de la présente mission sont les suivants :

	N°	Intitulé
1	NF P94-500	Mission d'ingénierie géotechnique
2	NF EN ISO 22476-4	Essai au pressiomètre Ménard
3		GTR - guide technique des remblais et des couches de forme SETRA / LCPC – septembre 1992
4	Eurocode 8	Calcul Talren



3. Contexte du site

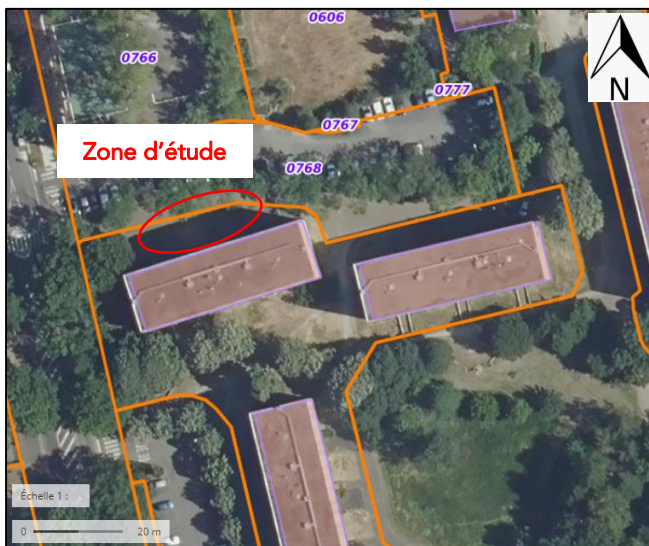
3.1 Contexte géographique, topographie et occupation du site



Le projet de bassin est localisé sur le territoire communal de NANTES (44), rue des Recollets, sur les parcelles 601 et 768 cadastrées dans la section 0X de la commune.

Actuellement (octobre 2021), l'emprise du projet correspond à des voiries, places de stationnement, espaces enherbés et arborés, avec bâtiments existants avoisinants.

Le nivellement effectué par nos soins met en évidence une pente légèrement descendante vers l'Est, avec une altimétrie allant de 99,48 à 98,68 m Réf. au droit de nos points de sondage.



3.2 Risques divers sur la commune

Inondation

Inondation - Par une crue à débordement lent de cours d'eau

Phénomènes météorologiques - Tempête et grains (vent)

Radon

Risque industriel

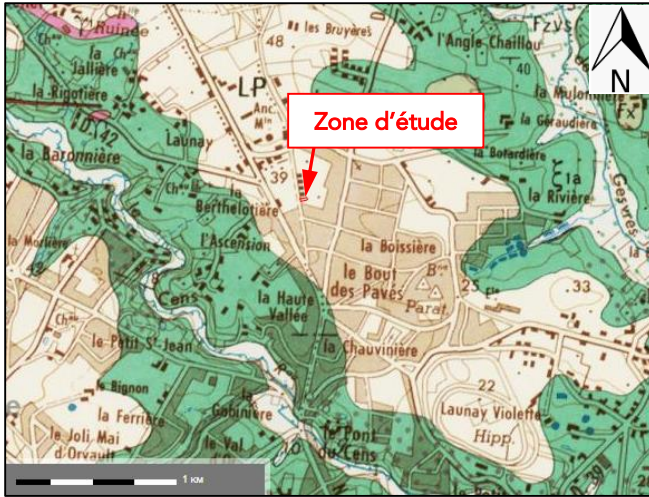
Séisme Zone de sismicité : 3

Transport de marchandises dangereuses

(Source : www.georisques.gouv.fr)



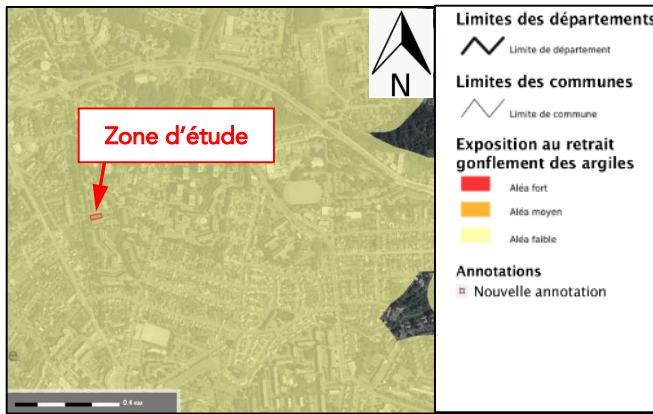
3.3 Contexte géologique



La carte géologique de NANTES au 1/50 000 (BRGM, n°481) montre que le site de l'étude est situé au droit d'une formation de micaschistes albitiques, recouverte par des loess des plateaux. Notons également que de par le caractère urbanisé de la zone d'étude, la présence d'horizons remblayés est probable.

Dans un souci de simplification, la lithologie sera nommée « schistes » dans le présent rapport.

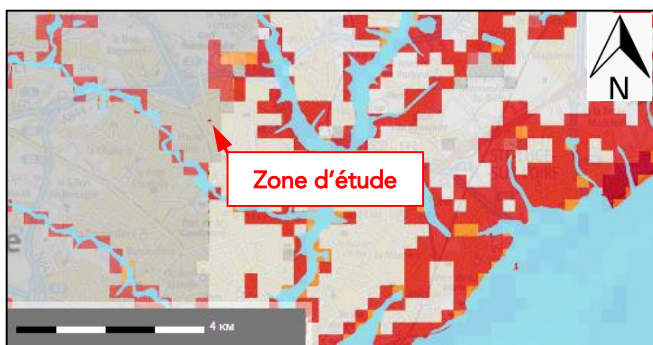
3.4 Retrait/gonflement des argiles



Le secteur concerné par la présente étude se situe en zone d'aléa faible concernant le risque de retrait/gonflement des argiles (www.georisques.gouv.fr).

En conséquence, la profondeur minimale d'assise des fondations d'ouvrages devra être de 0,80 m/TN, en dehors de toute considération de portance du sol.

3.5 Risque de remontées de nappes/inondations de caves



Le secteur concerné par la présente étude se situe en zone non sujette aux remontées de nappes ou inondations de caves (www.georisques.gouv.fr).



3.6 Risque sismique

Le zonage sismique classe la commune de NANTES (44) en zone d'aléa sismique 3 (modéré).



4. Reconnaissances de sol et essais effectués

4.1 Programme des essais

Le programme de la reconnaissance comprend :

- 2 sondages pressiométriques à 10,00 m de profondeur (PR1, PR2), réalisés à la tarière de diamètre 63 mm, avec 7 essais pressiométriques par sondage ;
- 2 sondages carottés (SC3, SC4), mené à 7,00 et 7,30 m de profondeur, réalisé au carottier triplex de diamètre 116 mm, ou au carottier battu de diamètre 114 mm, ayant permis la réalisation d'un essai de cisaillement ;
- 1 piézomètre, posé en lieu et place de CA4 ;
- 2 essais de cisaillement.

4.2 Essais in situ

4.2.1 Sondages à la tarière et sondages pressiométriques

Les sondages pressiométriques sont des forages destructifs de diamètre 63 mm, avec mise en station d'une sonde pressiométrique à différentes profondeurs.

L'essai pressiométrique Ménard a pour objet, par la mesure de la pression et du volume de gonflement de la sonde dans le terrain, d'estimer les paramètres pressiométriques :

- Pression de fluage p_f (étrointe latérale limite d'élasticité du sol)
- Pression limite p_l (étrointe latérale maximale du sol)
- Module pressiométrique EM (module de déformation volumique du sol par l'essai pressiométrique)

Ces différents paramètres permettent, par application des normes de conception, d'évaluer la portance de fondation et les déformations associées.

Nous utilisons pour nos essais un contrôleur pression / volume semi-automatique (PREVO 100) qui permet l'enregistrement numérique de l'ensemble des données conformément à la norme NF EN ISO 22476-4.

Par ailleurs, chaque forage a fait l'objet d'enregistrement de paramètres en continu (vitesse d'avancement et couple de forage).

Les sondages ont été comblés avec les cuttings de forage.



Sondage PR1





Sondage PR2



Piézomètre en CA4

4.2.2 Implantation et nivellement

Le nivellement a été effectué en prenant comme point de référence local un regard gaz situé à proximité du site (Réf1) ; la côte nous ayant été donnée par le BE MAGEO. Les points de sondage sont reportés sur le plan d'implantation des sondages en annexes.

Les altimétries de ces références et des points de sondage sont les suivantes :

Point	Références		Sondages			
	Réf. 1		PR1	PR2	SC3	SC4
Cote (Réf.)	100,00		99,48	98,68	99,48	98,85
Cote (NGF)	35,44		34,92	34,12	34,92	34,32



4.2.3 Synthèse des essais

Les différents sondages effectués ont permis de mettre en évidence les couches de sol suivantes :

Nature	Cote de la base de la couche [m/TN]				PI [MPa]	E _M [MPa]
	Cote de la base de la couche [m NGF]					
	PR1	PR2	SC3	SC4		
Cote TN	34,92	34,12	34,92	34,32	-	-
Terre végétale	NR	0,70	NR	0,70	-	-
		33,42		33,62		
Limon sableux (marron clair)	0,30	NR	0,30	NR	-	-
	34,62		34,62			
Horizon ±argilo-sableux et possiblement remblayé (beige-jaune, gris)	1,70	1,50	1,70	2,30	0,24 à 1,68	3,30 à 39,8
	33,22	32,62	33,22	32,02		
Altérite argileuse mica-cée (beige, jaune, gris, blanc)	3,70	5,15	3,70	4,05	0,46 à 0,74	2,30 à 13,3
	31,22	28,97	31,22	30,27		
Altérite ±argilo-sableuse à graveleuse (marron-orangé, blanchâtre)	5,50	6,65	5,50	NR	0,76 à 0,84	2,80 à 5,70
	29,42	27,47	29,42			
Altérite argilo-schisteuse (gris, beige, rougeâtre)	Au-delà	8,10	Au-delà	-	1,35 à 2,50	7,70 à 16,2
		26,02				
Micaschiste altéré argileux (beige, jaune)	NR	Au-delà	NR	Au-delà	3,07 (valeur ponctuelle en PR2)	64,2 (valeur ponctuelle en PR2)

NR : couche non reconnue au droit du sondage

4.3 Hydrologie

Lors de nos investigations de septembre 2021, les arrivées et niveaux d'eau suivants ont été observés au sein de nos sondages PR1 et PR2 :

Sondage	Profondeur [m/TN]	
	Cote (m NGF)	
	PR1	PR2
Arrivée d'eau en cours du forage	-3,70	-4,00
	31,22	30,12
Niveau d'eau en fin de chantier	-2,70	-2,50
	32,22	31,62

Les arrivées d'eau sont observées à des profondeurs proches de celles des terrassements projetés prévisibles. Celles-ci pourront de plus être rencontrées plus proches de la surface en période hivernale ou printanière.

NB : le caractère ponctuel des sondages dans le temps ne permet pas d'apprécier la variation possible des nappes et infiltrations d'eau qui dépend notamment des conditions météorologiques. Des circulations d'eau localisées, correspondant soit à des retenues de surface soit à de circulations plus profondes au sein du substratum ou horizons d'altération sont possibles et difficilement prévisibles.



4.4 Risque sismique

Les ouvrages concernés par la présente étude sont à priori classés en catégorie d'importance I (à confirmer par le maître d'œuvre ou le maître d'ouvrage). Le zonage sismique classe la commune de NANTES (44) en zone d'aléa sismique 3 (modéré). L'application des prescriptions parasismique de l'Eurocode 8 n'est donc pas obligatoire.

4.5 Essais de laboratoire

4.5.1 GTR+IPI

Le prélèvement des échantillons a été effectué par nos soins. Les matériaux ont été prélevés et amenés au Laboratoire CBTP par notre technicien pour essais selon les normes en vigueur. L'objectif des analyses pratiquées est de classer les sols rencontrés selon la norme NF P 11-300 :

Analyse	Norme
Analyse granulométrique	NF P 94-056
Valeur de bleu des sols (VBS)	NF P 94-068
Indice Portant Immédiat / ICBR	NF P 94-078
Teneur en eau (W_{nat})	NF P 94-050

Les essais d'identification sont résumés dans le tableau suivant :

Faciès	Passant (%) (en mm)								W_{nat} (%)	IPI	VBS	GTR
	0.08	0.2	0.5	1	2	5	10	20				
SC3 (2,5 à 3,0m) : Altérite argileuse mica- cée jaune blanchâtre	51,1	61	71	83	90	97	99	100	10,9	-	0,92	A ₁
SC4 (0,7 à 2,3m) : Remblai argilo-sableux	58,9	69	80	88	91	95	97	100	19,4	1,1	1,52	A _{1th}
SC4 (2,3 à 4,05m) : Altérite argileuse mica- cée grise à jaunâtre	57,5	76	85	91	94	97	98	100	21,0	-	0,57	A ₁
SC4 (4,05 à 7,36m) : Schiste altérée micacé	43,5	61	72	80	84	88	93	100	33,6	-	0,49	A ₁

À l'aune de la valeur maximale de la VBS, analysé à 1,52, la susceptibilité du sol de l'échantillon analysé vis-à-vis du retrait-gonflement des argiles peut être considérée comme faible :

V_{Bs}	Susceptibilité
< 2,5	Faible
2,5 à 6	Moyenne
6 à 8	Forte
> 8	Très forte

NB : Les reconnaissances de sol procèdent par sondages ponctuels, les résultats ne sont pas rigoureusement extrapolables sur l'ensemble du chantier. Des éléments nouveaux (hétérogénéité géologique...) mis en évidence lors des travaux peuvent entraîner des adaptations tant à la conception qu'à l'exécution



Les matériaux rencontrés sont des sols fins se rattachant à la classe GTR A1, dans un état hydrique très humide pour l'échantillon SC4 prélevé de 0,7 à 2,3 m lors de nos investigations au mois d'octobre 2021.

Les matériaux rencontrés sur le site pourront être réutilisés pour la construction des remblais de mise à niveau ou remblaiement, sous réserve de leurs conditions d'état hydrique, s'agissant de sols sensibles à l'eau.

Pour rappel, selon les dispositions du GTR et du GTT, les sols fins de classification GTR : A1 sont réutilisables dans la plage des teneurs en eau conduisant aux états hydriques :

- Humide « h », moyen « m » et sec « s »

Les sols trop secs pour être réutilisés en l'état devront être humidifiés afin de les amener dans un état hydrique moyen « m ».

À contrario, les sols très humides, comme observés lors de nos investigations, ne pourront être réemployés sans une réduction préalable de leur teneur en eau.

C'est pourquoi, dans le cas d'une volonté de réutilisation des sols extraits, nous préconisons le cas échéant leur mise en dépôt provisoire, afin d'abaisser leur teneur en eau vers un état hydrique moyen « m ».

4.5.2 Mesures des caractéristiques de cisaillement

Deux prélèvements ont été effectués par les soins de Laboratoire CBTP le 28/09/2021 sur les matériaux du sondage carotté SC4, réalisé au droit du bassin projeté.

L'essai a été effectué sur des matériaux non remaniés, extraits par carottage pour les essais de cisaillement rectiligne (NF P94-071).

Cet essai a pour objectif de caractériser les paramètres de cisaillement des sols en place. Les paramètres mesurés sont la cohésion et l'angle de frottement interne du matériau.

Les procès-verbaux des essais figurent en annexe à la présente étude de sol.

Les résultats sont synthétisés dans le tableau suivant :

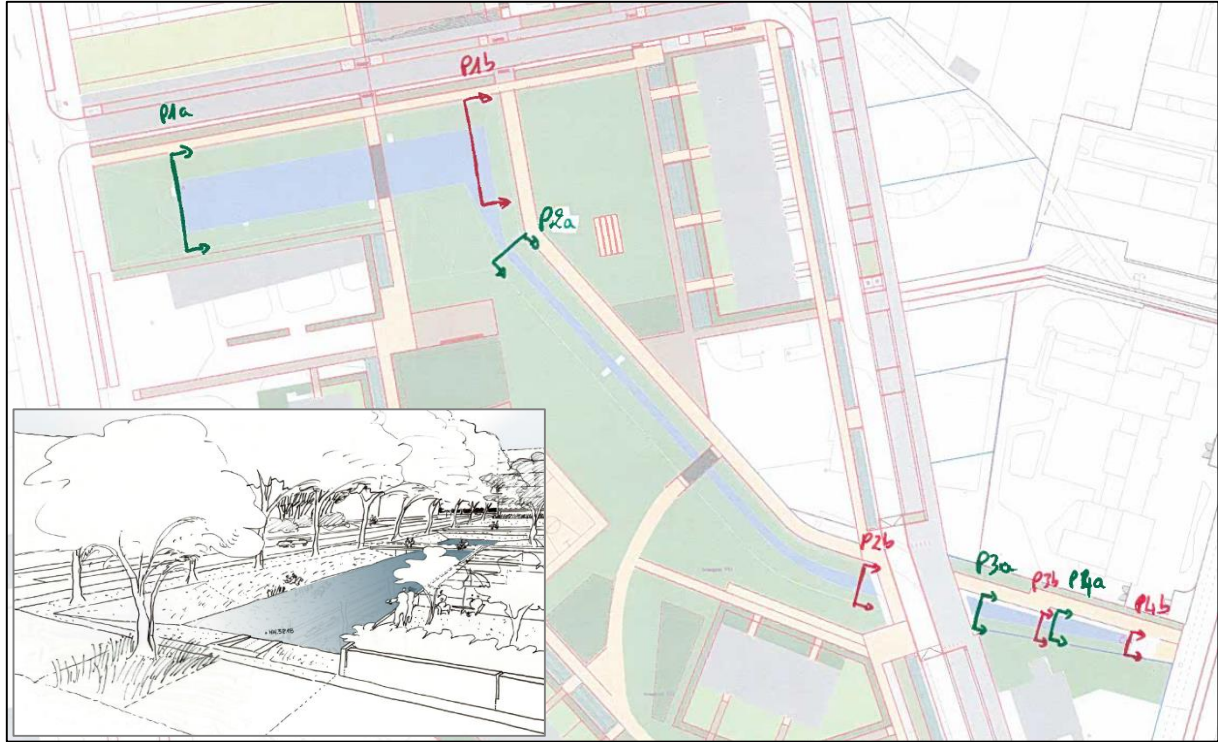
Sondage	Matériau	Cohésion effective C' [kPa]	Angle de frottement effectif ϕ' [°]
SC4	Remblai argilo-sableux (gris)	4,4	25,6
SC4	Altérite argileuse micacée (gris-jaune)	16,4	22,3



5. Ouvrage considéré

5.1 Description

Il est prévu la création d'un bassin à ciel ouvert, sur une profondeur approximative de 3,50 m (pour le profil P1) au droit de nos investigations, selon les plans et données transmis.



5.2 Terrassements

Après décapage des horizons de recouvrement (limons, remblais divers...), les travaux de terrassement pourront être effectués au moyen d'engins mécaniques classiques. Les moyens employés seront en tout état de cause à adapter à l'avancement des travaux : des passages indurés peuvent se retrouver au sein des altérites et nécessiter l'emploi d'engins de forte puissance, équipés d'outils adaptés : pelle mécanique de forte puissance, godet rocher, dent de déroctage...

5.3 Drainage - Phase chantier

Un pompage pendant toute la durée des travaux devra être mis en place pour la mise hors d'eau de la fouille afin d'éviter toute instabilité des pieds de talus.

5.4 Hypothèses de calcul de stabilité

Le projet de création d'un bassin à ciel ouvert d'environ 3,50 m de profondeur (pour passer de 34,88 à 31,38 m NGF) nécessite la réalisation de talutages. La vérification de la stabilité à long terme des talus projetés est alors nécessaire.

Les hypothèses de calculs à prendre en compte sont précisées ci-dessous.

5.4.1 Sols en place

De manière conservatrice, les paramètres de cisaillement des terrains à prendre en compte pour la vérification de la stabilité sont estimés aux valeurs suivantes :

Nature	Profondeur (m/TN) Cote de la base des couches [m NGF]	Cohésion C' [kPa]	Angle de frottement interne ϕ' [°]	Masse volumique γ_n [kN/m ³]
Terre végétale	0,70	0*	25*	18
	34,22			
Horizon \pm argilo-sableux et possible-ment remblayé (beige-jaune, gris)	2,30	3	25	18
	32,62			
Altérite argileuse micacée (beige, jaune, gris, blanc)	4,50	10	20	18
	30,42			
Altérite \pm argilo-sableuse à graveleuse (marron-orangé, blanchâtre)	6,20	10*	25*	19
	28,72			
Altérite argilo-schisteuse (gris, beige, rougeâtre)	8,10	10*	25*	19
	26,82			
Micaschiste altéré argileux (beige, jaune)	$\geq 10,00$	15*	35*	20
	$< 24,92$			

*valeurs usuelles basées sur notre expérience du site et des matériaux

Le fond de fouille est pris en compte à 3,50 m de profondeur par rapport au niveau du terrain fini, soit une cote à +31,38 m NGF.

5.4.2 Surcharges

En l'absence d'indication concernant les surcharges en surface, nous avons pris en compte en tête de talus une surcharge forfaitaire de 2,5 kPa correspondant à des espaces verts, 5 kPa pour une voie piétons et cycles, et 10 kPa pour la voirie.

5.4.3 Hydrologie

Au sein du sondage PR1, le niveau d'eau a été observé à 32,22 m NGF, soit un niveau supérieur à la côte de fond de fouille. La nappe étant favorable à la stabilité du talus, cette dernière ne sera pas modélisée.

5.4.4 Séisme

Le séisme n'est pas pris en compte.



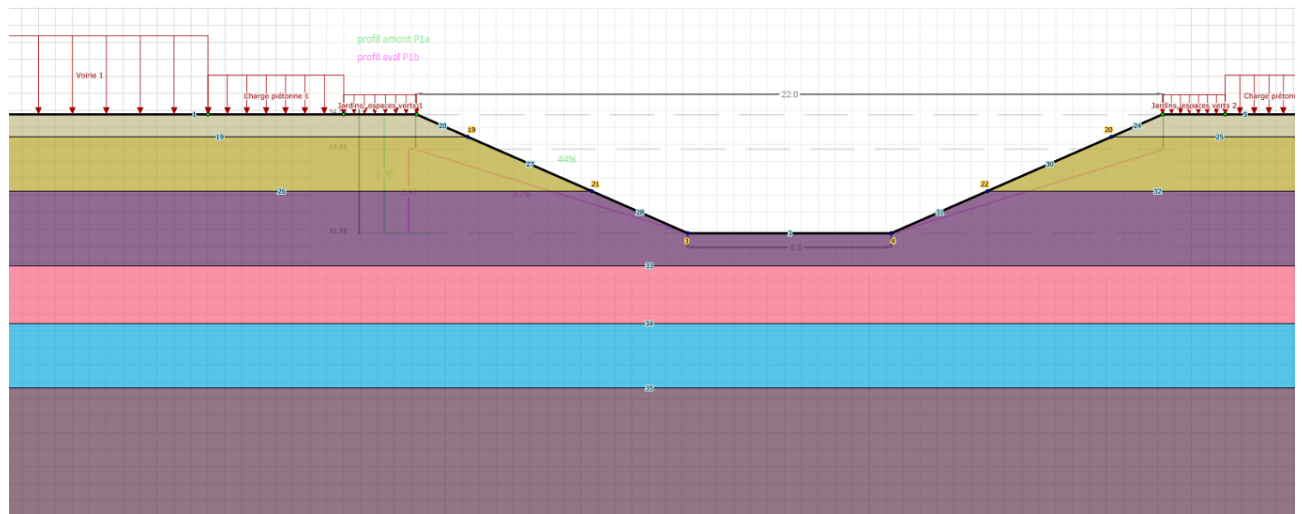
5.4.5 Géométrie

Au vu des coupes de bassin transmises par le BE MAGEO, le talus du profil amont P1a étudié mesure approximativement 3,50 m de hauteur. Le profil amont P2a indique une hauteur approximative de 2,50 m.

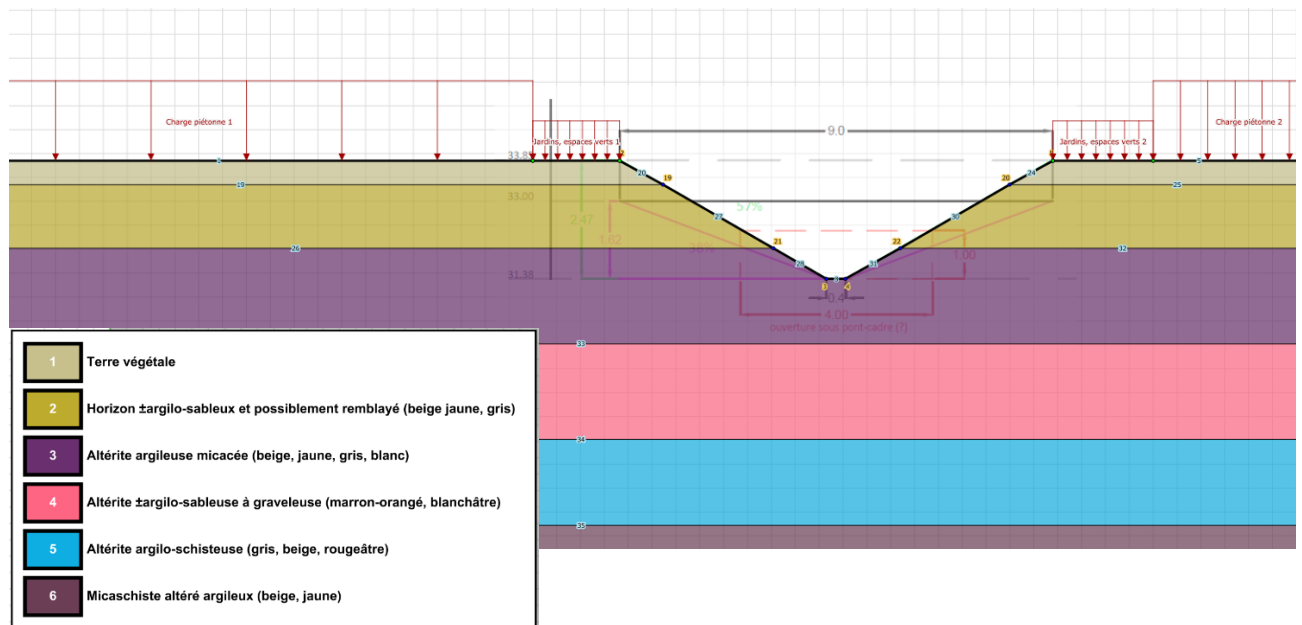
Nous avons effectué les calculs de stabilité pour une pente de 44% pour le profil amont P1a, soit entre 2H/1V et 3H/1V ; et pour une pente de 57% pour le profil amont P2a, soit entre 3H/2V et 2H/1V.

Le schéma ci-contre illustre les géométries envisagées :

Profil amont P1a :



Profil amont P2a :



Etant donnée la distance entre nos sondages et l'emplacement du profil amont P2a, ce dernier correspond à une extrapolation des données acquises (couches de sol, épaisseurs, etc) lors de nos investigations. Les coupes de sol de ce profil, ainsi que des autres profils P2b, P3a, P3b, P4a et P4b pourront être précisés ou obtenus à l'aide de sondages complémentaires.



5.5 Vérification de la stabilité

5.5.1 Principes

La vérification de la stabilité est effectuée en comparant les efforts moteurs aux efforts résistants :

$$T_{dst;d} \leq R_{st;d} / \gamma_{R;d}, \text{ avec :}$$

$T_{dst;d}$: la valeur de calcul de l'effet déstabilisant des actions qui agissent sur le bloc limité par la surface de glissement étudiée

$R_{st;d}$: la valeur de calcul de l'effet stabilisant des actions qui s'opposent au glissement du bloc étudié

$\gamma_{R;d}$: le facteur partiel de modèle dit de mobilisation de la résistance au cisaillement du sol

5.5.2 Techniques de calculs

Les calculs de stabilité sont effectués à l'aide du logiciel TALREN V5, édité par TERRASOL.

Les méthodes de calculs utilisées sont les suivantes :

- la méthode de Bishop (surfaces de glissement circulaires)
- la méthode à la rupture (suivant des spirales logarithmiques).

Pour la méthode de Bishop, la définition du centre des cercles de glissement sera effectuée suivant la méthode automatique proposée par le logiciel. Dans le cas où le centre présentant le plus petit coefficient de sécurité n'est pas encadré de manière satisfaisante, la méthode automatique sera doublée par la méthode manuelle.

5.5.3 Jeux de coefficients

Les jeux de coefficients de sécurités utilisés sont :

- Eurocode, ELU fondamental (méthode d'application des coefficients partiels)
- Traditionnel, situation définitive (coefficient global)

Les coefficients partiels appliqués pour chaque jeu de coefficient sont détaillés en annexe, par situation de calculs.

Les valeurs de sécurité globale recherchées suivant les jeux de paramètres sont les suivantes :

Jeu de coefficient	Γ_{glo}
Eurocode, ELU fondamental	1,0
Traditionnel, situation définitive	1,5

Pour que la stabilité du massif soit vérifiée, il est nécessaire de vérifier l'inégalité suivante en fonction de la méthode de calcul :

- Bishop : $F_{min} \geq \Gamma_{glo}$
- Méthode à la rupture [MR] : pour $F_{min}=1$: $XF \geq \Gamma_{glo}$

La multiplication des méthodes de calculs et des systèmes de pondération permet des approches de calculs différentes et le balayage d'une plus grande variété de surfaces de rupture.

5.5.4 Résultats des calculs

Dans le cas où le bassin est rempli, nous ne sommes pas dans la situation la plus défavorable possible pour la stabilité des talus ; la pression de l'eau maintenant en quelque sorte les terrains.



Le cas du bassin vide l'est davantage ; c'est pourquoi nous baserons notre étude de stabilité sur cette dernière situation.

Dans le cas où le bassin est vide, le tableau récapitulatif des coefficients de sécurité obtenus pour les différentes vérifications effectuées est le suivant :

Type de calcul	Méthode à la rupture		Bishop	
	Eurocode fond.	Traditionnel déf.	Eurocode fond.	Traditionnel déf.
Γ_{glo}	1,1	1,5	1,0	1,5
Profil amont P1a	1,39	1,98	1,49	1,89
Profil amont P2a	1,20	1,68	1,33	1,71

Le détail des vérifications effectuées, pour le profil amont P1a (pente à 44%) et pour le profil amont P2a (pente à 57%), figure en annexe.

Suivant la méthode de calcul, on rappelle :

- Méthode à la rupture : $\mathbf{XF} \geq \gamma_{R;d} = 1,1$ dans le cas d'un ouvrage courant pour $F_{\text{min}} = 1$
- Bishop : $\mathbf{F_{\text{min}}} \geq \Gamma_{\text{glo}}$

La stabilité est vérifiée pour un talus ayant une pente de 44% (P1a), ainsi que pour un talus ayant une pente de 57% (P2a).

5.5.5 Recommandations

Dans le cas où des hauteurs de talus plus importantes seraient envisagées, une mise à jour des présents calculs devra être effectuée.

Le matériau est sensible à l'eau. Les infiltrations pourraient réduire les paramètres de cisaillement.



6. Conclusion

6.1 Rappel des principes constructifs préconisés

Nous rappelons ci-après les éléments préconisés dans le présent rapport.

6.1.1 Terrassements

Après décapage des horizons de recouvrement (remblais, horizons argileux, limoneux...), les travaux de terrassement pourront globalement être effectués au moyen d'engins mécaniques classiques, mais pourront nécessiter l'emploi d'engins puissants et ou/équipés d'outils adaptés pour les terrassements en partie basse du bassin.

6.1.2 Drainage – Phase chantier

Un pompage pendant toute la durée des travaux devra être mis en place pour la mise hors d'eau de la fouille afin d'éviter toute instabilité des pieds de talus.

6.1.3 Vérification de la stabilité de talus

Les méthodes de calculs utilisées pour la vérification de la stabilité sont les suivantes :

- la méthode de Bishop (surfaces de glissement circulaires)
- la méthode à la rupture (suivant des spirales logarithmiques).

Les jeux de coefficients de sécurités utilisés sont :

- Eurocode, ELU fondamental (méthode d'application des coefficients partiels)
- Traditionnel, situation définitive (coefficient global)

Les valeurs de sécurité globale recherchées suivant les jeux de paramètres sont les suivantes :

Jeu de coefficient	Γ_{glo}
Eurocode, ELU fondamental	1,0
Traditionnel, situation définitive	1,5

Pour que la stabilité du massif soit vérifiée, il est nécessaire de vérifier l'inégalité suivante en fonction de la méthode de calcul :

- Bishop : $F_{min} \geq \Gamma_{glo}$
- Méthode à la rupture [MR] : pour $F_{min}=1$: $XF \geq \Gamma_{glo}$

Type de calcul	Méthode à la rupture		Bishop	
	Eurocode fond.	Traditionnel déf.	Eurocode fond.	Traditionnel déf.
Γ_{glo}	1,1	1,5	1,0	1,5
Profil amont P1a	1,39	1,98	1,49	1,89
Profil amont P2a	1,20	1,68	1,33	1,71

Les calculs TALREN vérifient la stabilité des pentes de talus pour les différentes méthodes (Bishop et Calcul à la rupture) et jeux de coefficients employés (Eurocode et Traditionnel).



7. Enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique

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



Classification des missions d'ingénierie géotechnique



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

ETAPE 1 : ETUDE GEOTECHNIQUE PREALABLE (G1)

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

Phase étude de Site (ES)

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

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

Phase Principes Généraux de Construction (PGC)

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

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

ETAPE 2 : ETUDE GEOTECHNIQUE DE CONCEPTION (G2)

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

Phase Avant-projet (AVP)

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

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

Phase Projet (PRO)

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

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

Phase DCE / ACT

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

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

**ETAPE 3 : ETUDES GEOTECHNIQUES DE REALISATION (G3 et G4, distinctes et simultanées)****ETUDE ET SUIVI GEOTECHNIQUES D'EXECUTION (G3)**

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

Phase étude

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

Phase Suivi

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

SUPERVISION GEOTECHNIQUE D'EXECUTION (G4)

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

Phase Supervision de l'étude d'exécution

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

Phase Supervision du suivi d'exécution

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

DIAGNOSTIC GEOTECHNIQUE (G5)

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

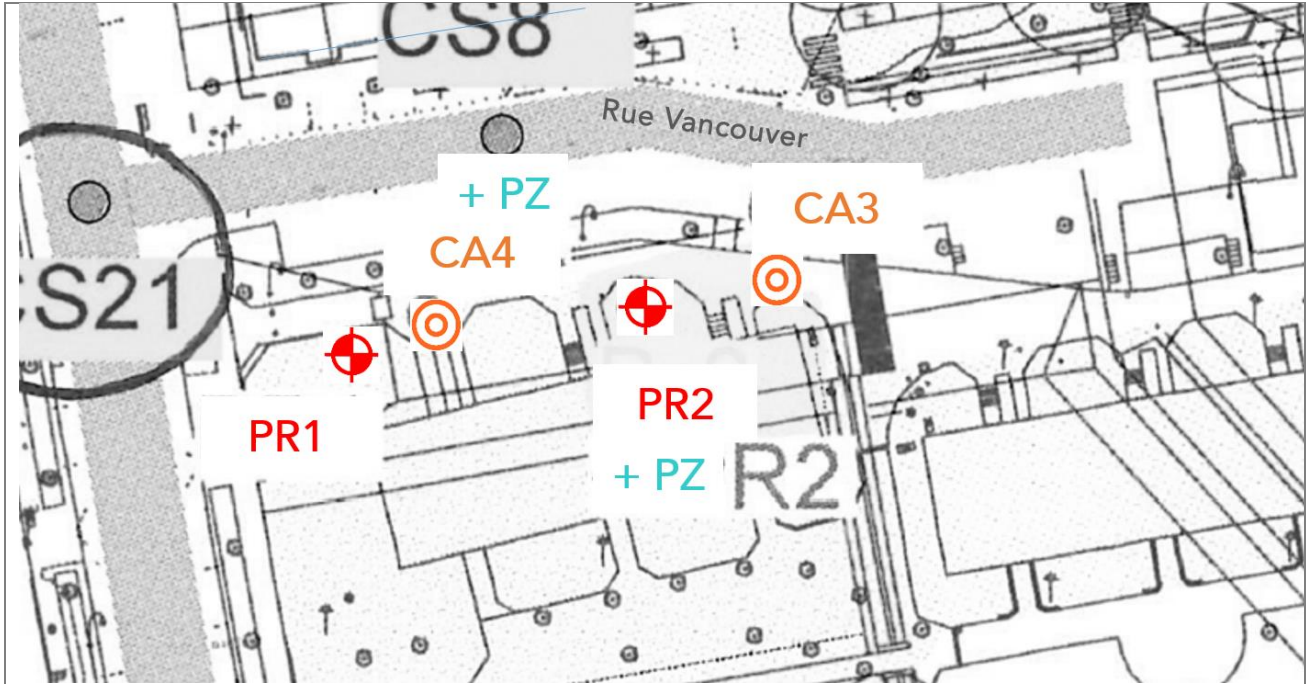
- Définir, après enquête documentaire, un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Étudier un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques (par exemple soutènement, causes géotechniques d'un désordre) dans le cadre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

Sources : tableau 1 et 2 de définition de l'enchaînement et du contenu des missions d'ingénierie géotechnique (NF P94-500, de novembre 2013)

8. ANNEXES



Annexe 1 : Implantation des sondages



Principe d'implantation des sondages

	PR : sondages pressiométriques		CA : carottage
	PZ : piézomètre		



Annexe 2 : Sondages pressiométriques et carottages

Sondage : PR1

Début : 27/09/2021 - 09:56

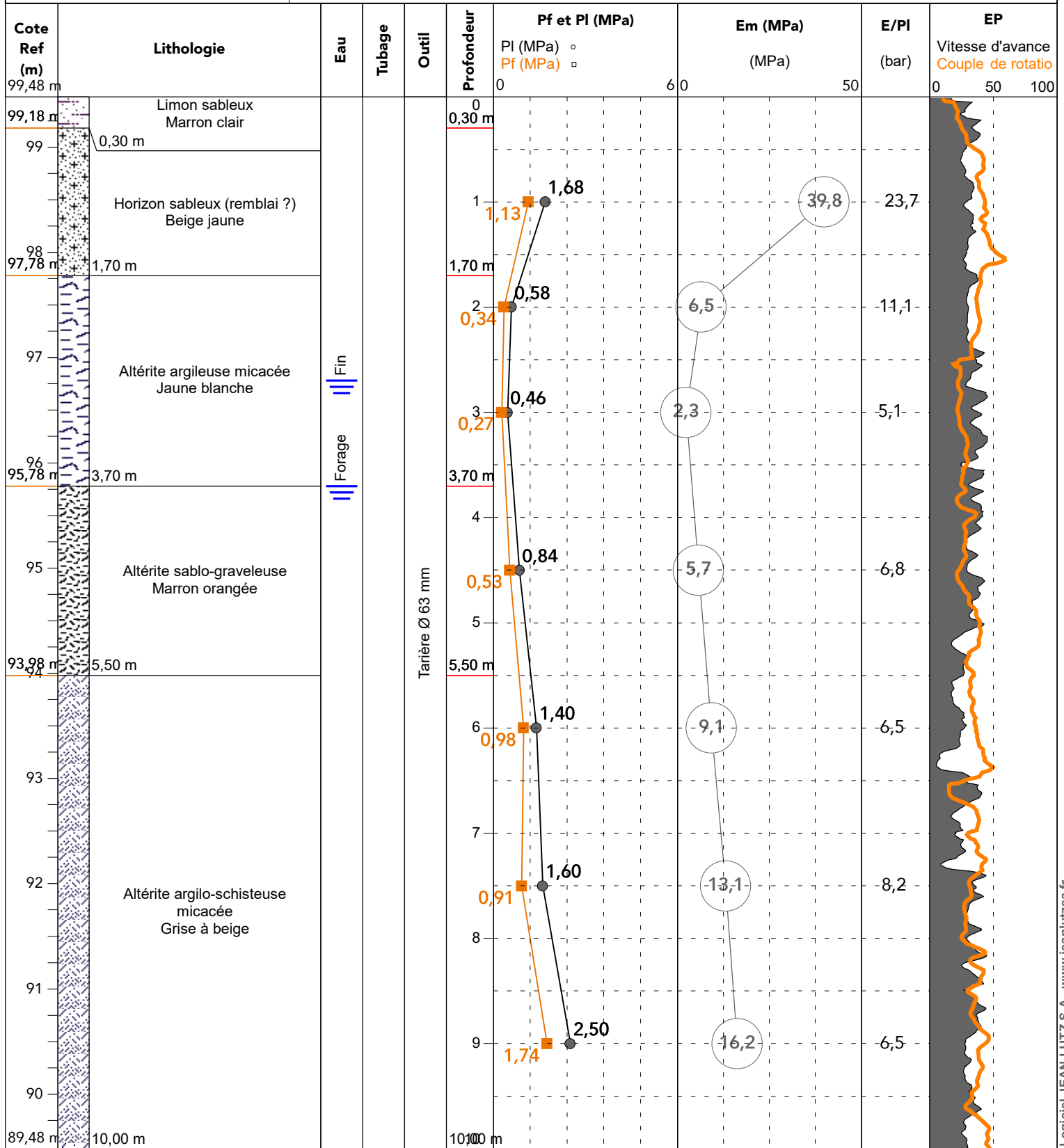
Machine : Ecofore ce302

X : W 1° 34,6994

Z : 99.48 Ref

Technicien : EGA

Y : N 47° 15,5579 Échelle : 1/50



EXGTE 3.21/LB2EPF584FR

Commentaire : Arrivée d'eau au cours de la foration : - 3.70 m
Niveau d'eau relevé en fin de chantier : - 2.70 m

Début : 29/09/2021 - 08:21

Machine : Ecofore ce302

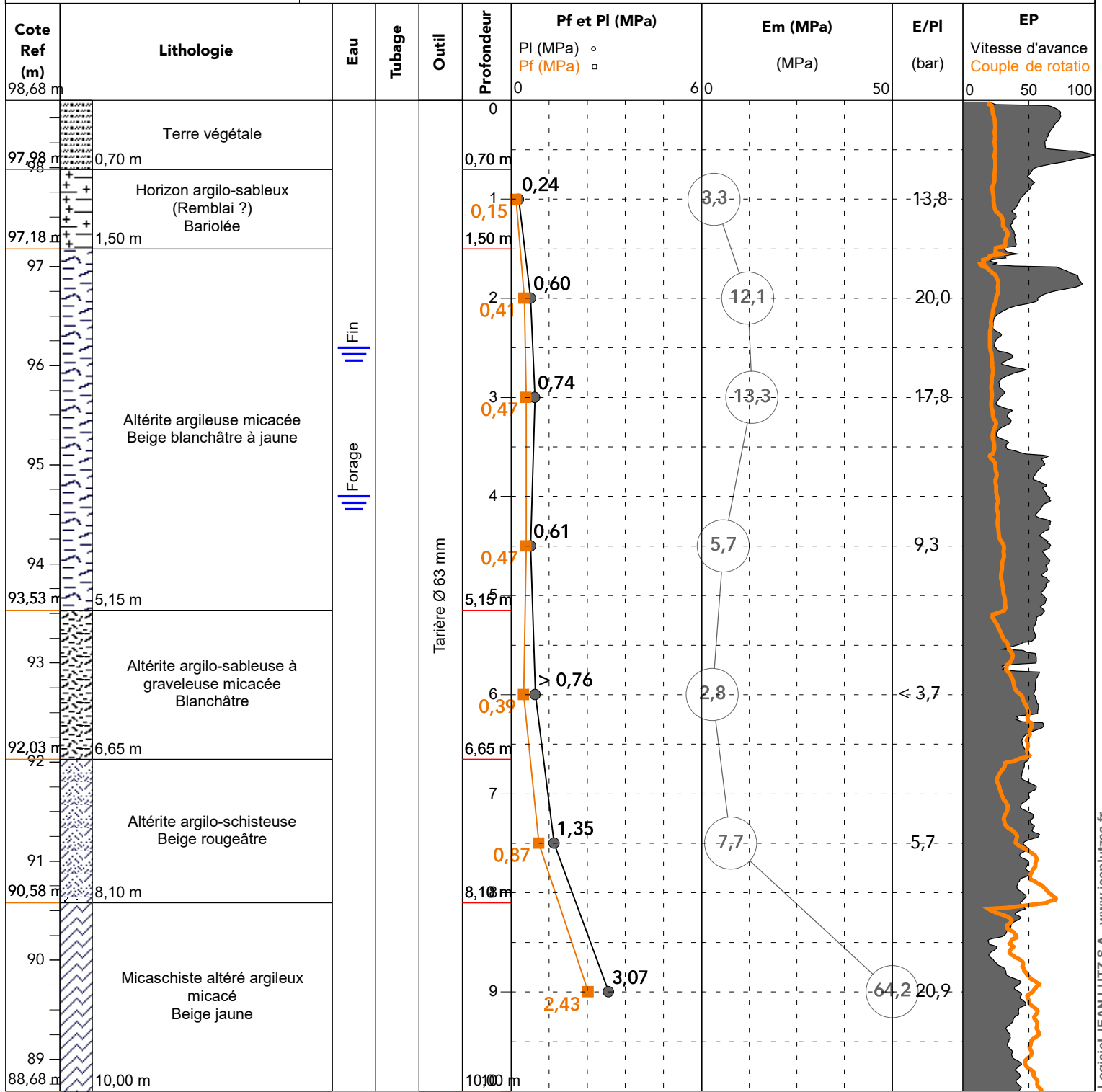
X : W 0° 0,0000

Z : 98.68 Ref

Technicien : EGA

Y : N 0° 0,0000

Échelle : 1/55



EXGTE 3.21/LB2EPF584FR

Commentaire : Arrivée d'eau au cours de la foration : - 4.00 m
Niveau d'eau relevé en fin de chantier : - 2.50 m

Sondage : SC3

Début : 29/09/2021 - 14:39

Machine : Ecofore ce302

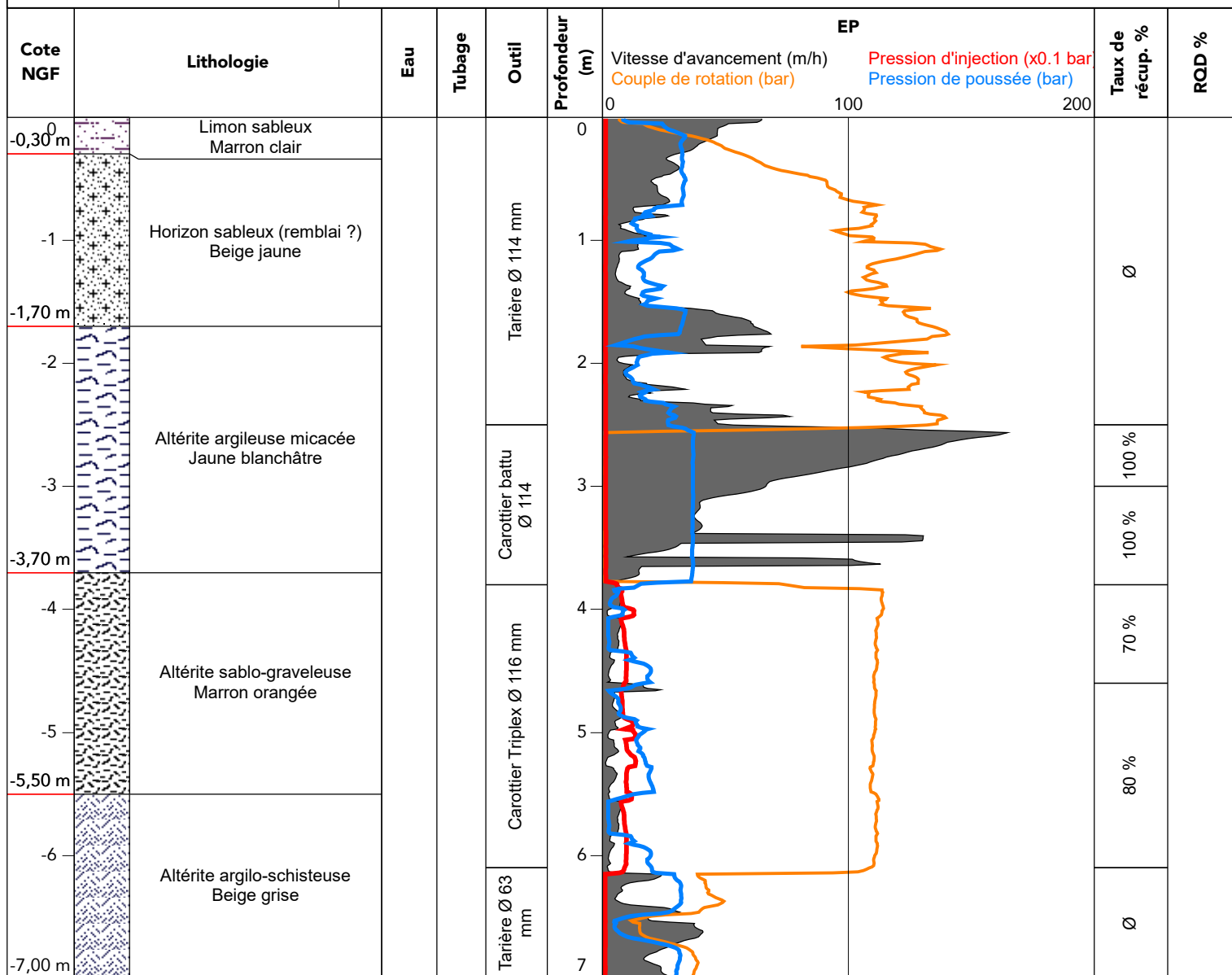
X : W 0° 0,0000

Z : 0 NGF

Technicien : EGA

Y : N 0° 0,0000

Échelle : 1/50



EXGTE 3.21/LB2EPF584FR

Commentaire : Insérer un commentaire

Début : 28/09/2021 - 10:23

Machine : Ecofore ce302

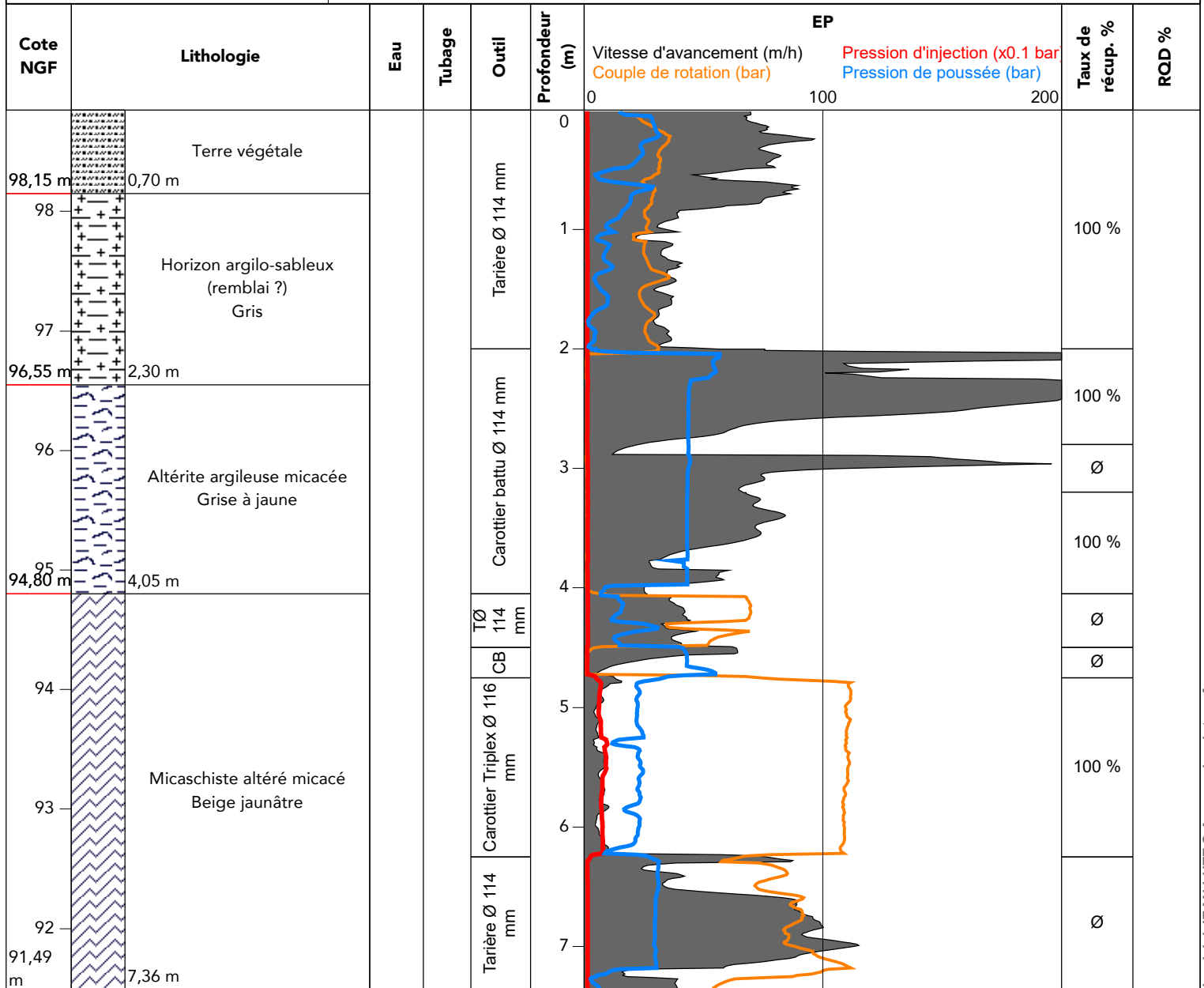
X : W 0° 0,0000

Z : 98.85 NGF

Technicien : EGA

Y : N 0° 0,0000

Échelle : 1/50



EXGTE 3.21/LB2EPF584FR

Commentaire : Insérer un commentaire

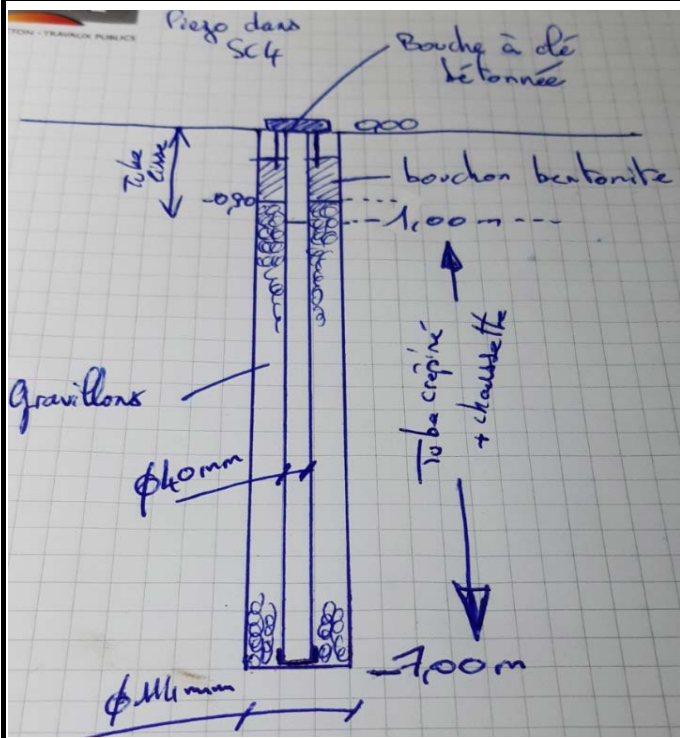


Annexe 3 : Piézomètre

Client : Loire Océan Métropole Aménagement
 Chantier : Construction de bassin, NANTES (44)
 Dossier d'affaire : DA 2021 0981
 Date de pose : 28/09/2021
 Technicien pose : E. GAUDIN
 Type de protection : Bouche à clef
 Méthode de relevé : Sonde manuelle
 Fréquence d'acquisition : /

Nom du piézomètre : Piézomètre SC4
 Altitude terrain (m NGF) : 98,85
 Diamètre piézomètre (mm) : 34-40
 Profondeur de foration / méthode : 7 m/TN
 Profondeur haute zone m /TN : 0,9
 crépinée: m NGF : 97,95
 m/TN : 7 m/TN
 Profondeur basse zone m NGF : 98,85 m Réf

Schéma du piézomètre



Plan de situation

Coordonnées (Lambert 93)	X :	353977,7
	Y :	6694351,88





Annexe 4 : Résultats d'essais de laboratoire

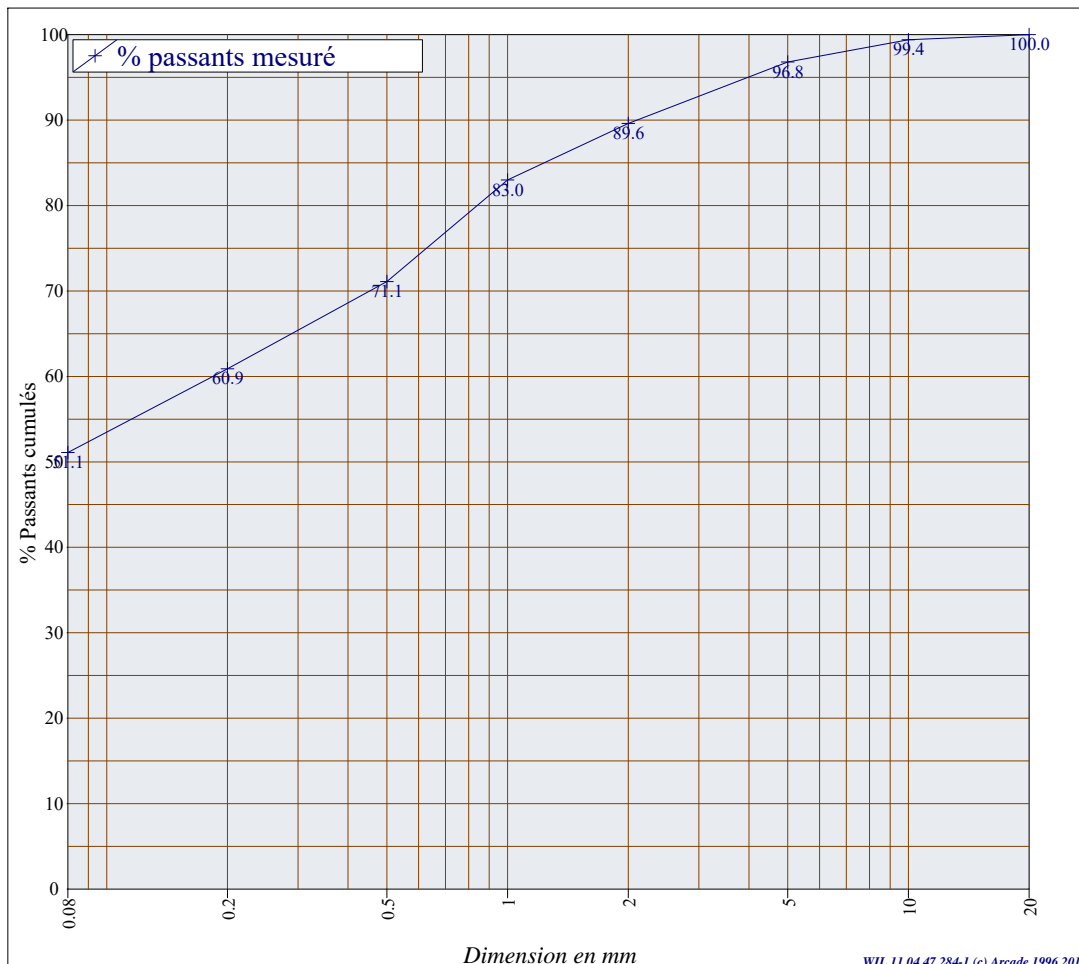
Client : LOIRE OCEAN METROPOLE AMENAGEMENT
34 rue du Pré Gauchet
44035 NANTES CEDEX 01

Dossier 2021-0981 : ZAC NANTES NORD

Prélèvement n° C1321027	<i>prélevés le 12/10/2021</i>
Origine	<i>Chantier</i>
Mode	<i>Sondage</i>
Fait par	<i>CLIENT</i>
Observations internes	<i>SC3 (2.5m à 3.0m) - Alterite argileuse micacée jaune blanchâtre</i>

ESSAIS	Valeur	Norme
Classification GTR (GTR)		GTR
Classification	A1	
Analyse granulométrique par tamisage à sec (Gr)		NF P 94-056
Valeur de Bleu d'un Sol (VBS)	0.92	NF P 94-068
Teneur en eau (W)	10.9 %	NF P 94-050

Analyse granulométrique	
Tamis	%tamisat
20.000	100
10.000	99
5.000	97
2.000	90
1.000	83
0.500	71
0.200	61
0.080	51.1



le 17/11/2021

Technicienne E. Boutrouelle

Responsable de secteur T. LE BORGNE

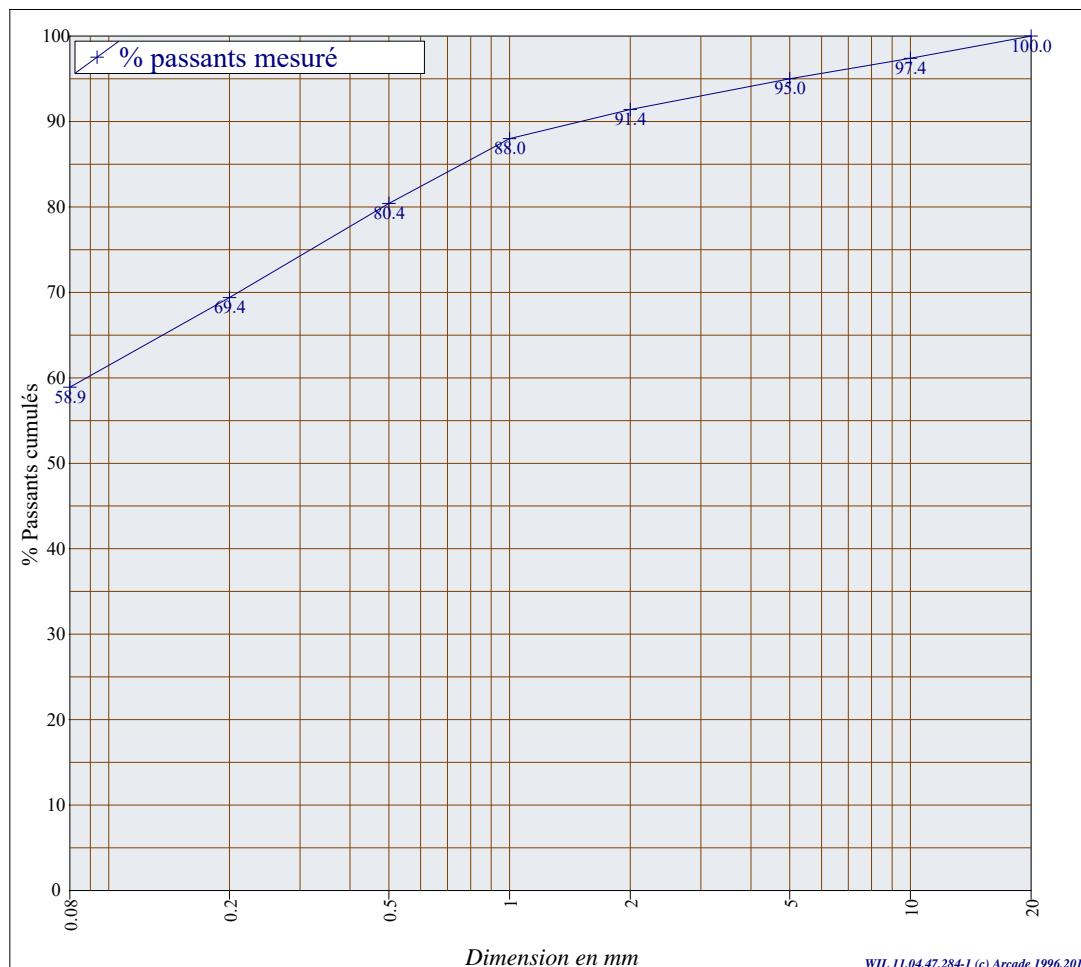
Client : LOIRE OCEAN METROPOLE AMENAGEMENT
34 rue du Pré Gauchet
44035 NANTES CEDEX 01

Dossier 2021-0981 : ZAC NANTES NORD

Prélèvement n° C1321028	prélevés le 12/10/2021
Origine	Chantier
Mode	Sondage
Fait par	CLIENT
Observations internes	SC4 (0.7m à 2.3m) - Remblais argilo-sableux

ESSAIS	Valeur	Norme
Classification GTR (GTR)		GTR
Classification	A1	
Etat hydrique	th	
Analyse granulométrique par tamisage à sec (Gr)		NF P 94-056
Indice Portant Immédiat (IPI)	1.1	NF P 94-078
Valeur de Bleu d'un Sol (VBS)	1.52	NF P 94-068
Teneur en eau (W)	19.4 %	NF P 94-050

Analyse granulométrique		
Tamis	%tamisat	
20.000	100	
10.000	97	
5.000	95	
2.000	91	
1.000	88	
0.500	80	
0.200	69	
0.080	58.9	



le 17/11/2021

Technicienne E. Boutrouelle

Responsable de secteur T. LE BORGNE

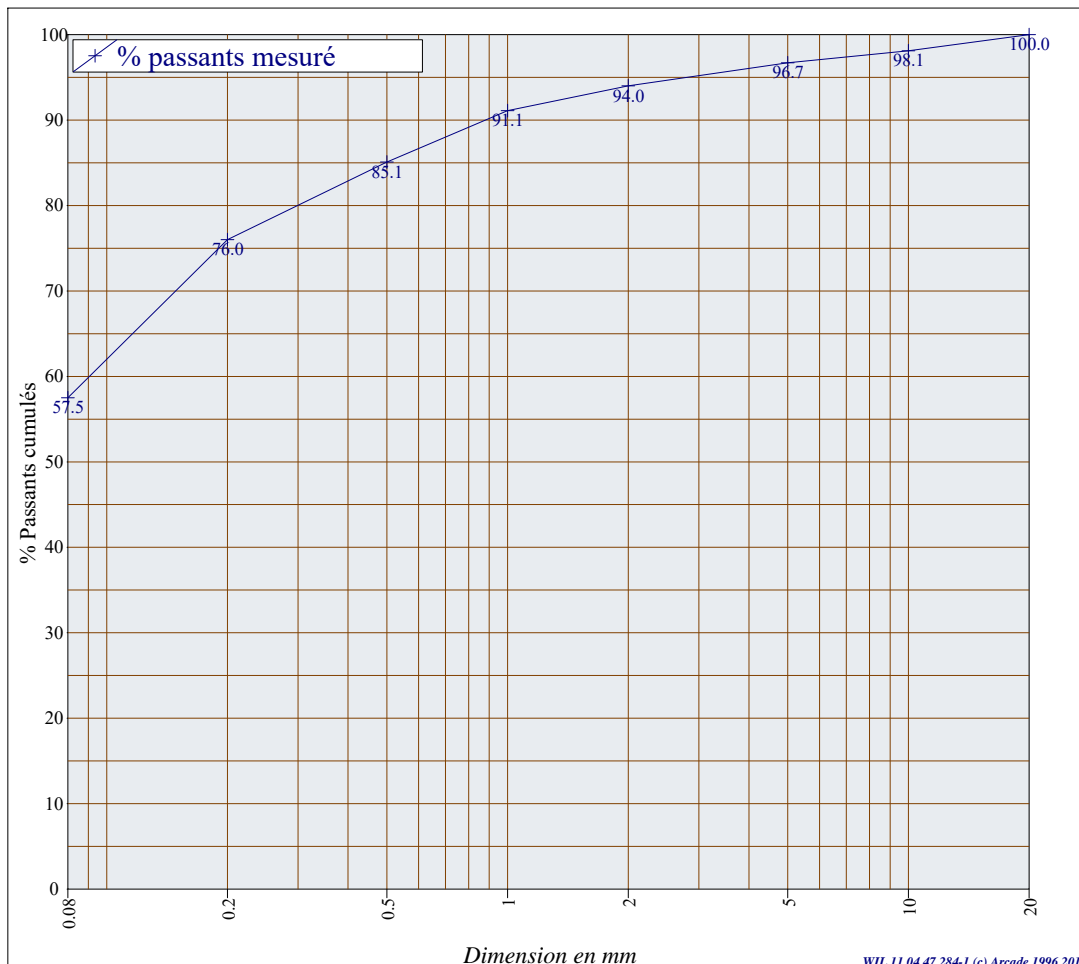
Client : LOIRE OCEAN METROPOLE AMENAGEMENT
34 rue du Pré Gauchet
44035 NANTES CEDEX 01

Dossier 2021-0981 : ZAC NANTES NORD

Prélèvement n° C1321029	prélevés le 12/10/2021
Origine	Chantier
Mode	Sondage
Fait par	CLIENT
Observations internes	SC4 (2.3m à 4.05m) - Altérite argileuse micassée grise à jaunâtre

ESSAIS	Valeur	Norme
Classification GTR (GTR)		GTR
Classification	A1	
Analyse granulométrique par tamisage à sec (Gr)		NF P 94-056
Valeur de Bleu d'un Sol (VBS)	0.57	NF P 94-068
Teneur en eau (W)	21.0 %	NF P 94-050

Analyse granulométrique	
Tamis	%tamisat
20.000	100
10.000	98
5.000	97
2.000	94
1.000	91
0.500	85
0.200	76
0.080	57.5



le 17/11/2021

Technicienne E. Boutrouelle

Responsable de secteur T. LE BORGNE

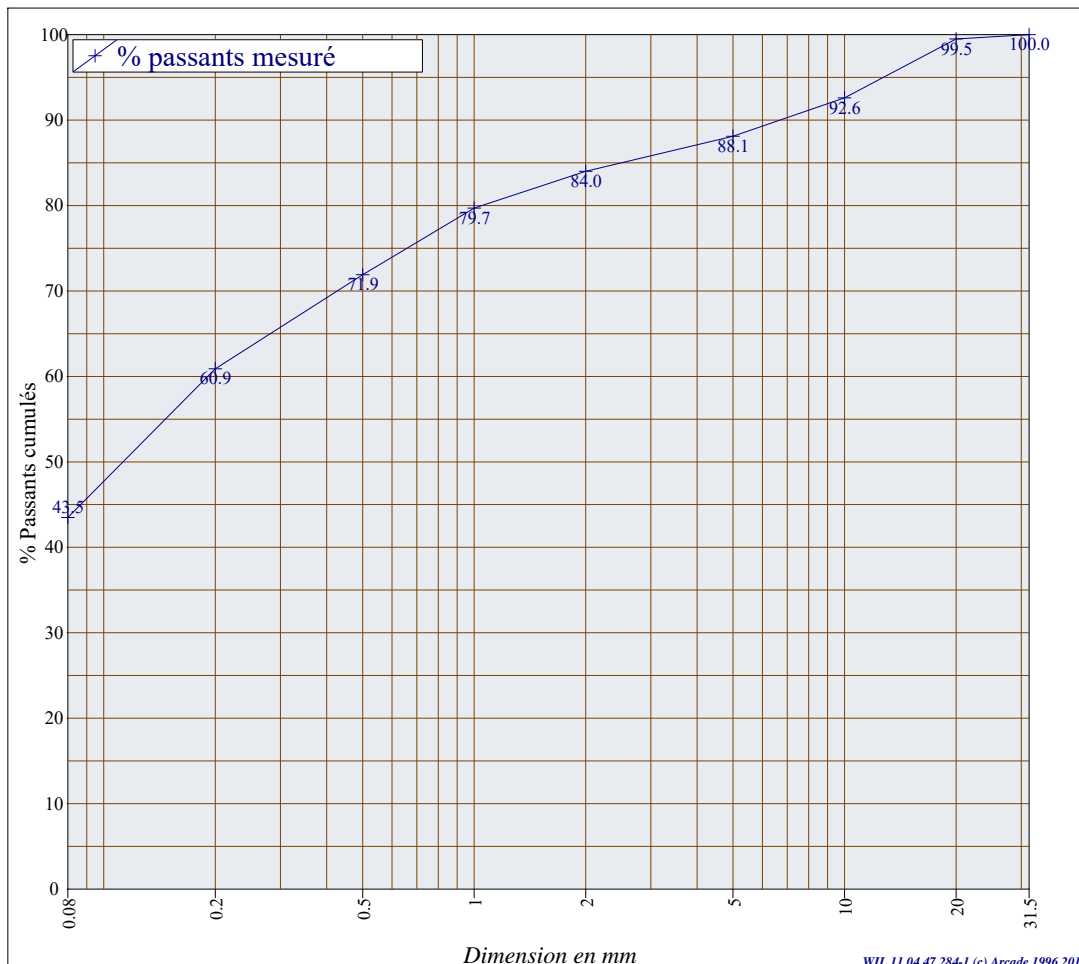
Client : LOIRE OCEAN METROPOLE AMENAGEMENT
 34 rue du Pré Gauchet
 44035 NANTES CEDEX 01

Dossier 2021-0981 : ZAC NANTES NORD

Prélèvement n° C1321030	<i>prélevés le 12/10/2021</i>
Origine	<i>Chantier</i>
Mode	<i>Sondage</i>
Fait par	<i>CLIENT</i>
Observations internes	<i>SC4 (4.05m à 7.36m) - Schiste altéré micacé</i>

ESSAIS	Valeur	Norme
Classification GTR (GTR)		GTR
Classification	A1	
Analyse granulométrique par tamisage à sec (Gr)		NF P 94-056
Valeur de Bleu d'un Sol (VBS)	0.49	NF P 94-068
Teneur en eau (W)	33.6 %	NF P 94-050

Analyse granulométrique	
Tamis	%tamisat
31.500	100
20.000	100
10.000	93
5.000	88
2.000	84
1.000	80
0.500	72
0.200	61
0.080	43.5



le 17/11/2021

Technicienne E. Boutrouelle

Responsable de secteur T. LE BORGNE

Référence de l'échantillon :
 Nature de matériau: Remblais argilo-sableux gris
 Forage: SC4
 Date de prélèvement: 28/09/2021

Chantier: ZAC Nantes Nord
 Lieu: Nantes
 Profondeur de prélèvement: 0,7 à 2,3m
 Prélèvement: Client LCBTP

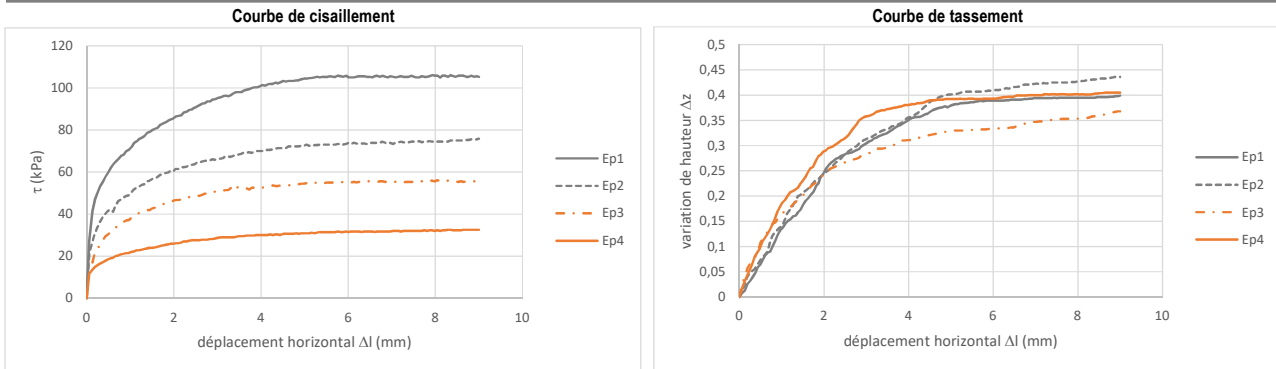
Caractéristiques physiques et géométriques des éprouvettes

Mode de confection: Taillage Carottage Spatule Compactage

		Ep1		Ep2		Ep3		Ep4	
		Initial	Final	Initial	Final	Initial	Final	Initial	Final
Hauteur	(mm)	20,0	17,0	20,0	17,2	20,0	17,1	20,0	18,3
Diamètre	(mm)	60	60	60	60	60	60	60	60
Teneur en eau	w (%)	25,0	17,7	25,0	18,7	25,0	20,5	25,0	20,9
Masse vol. apparente	ρ (kg/m ³)	1980,6	2406,4	2000,0	2380,6	1991,2	2421,6	1984,1	2269,9
Masse vol. sèche	ρ_d (kg/m ³)	1584,5	2044,2	1600,0	2006,3	1593,0	2010,3	1587,3	1877,9
Masse volumique des grains estimé	ρ_s kg/m ³	2700	2700	2700	2700	2700	2700	2700	2700
Indice des vides	e -	0,70	0,32	0,69	0,35	0,69	0,34	0,70	0,44
Degré de saturation	Sr -	0,96	1,00	0,98	1,00	0,97	1,00	0,96	1,00

Consolidation	t_{100} (min)	0	0	0	0
Vitesse de cisaillement	v ($\mu\text{m}/\text{min}$)	0,036			

Résultats des essais



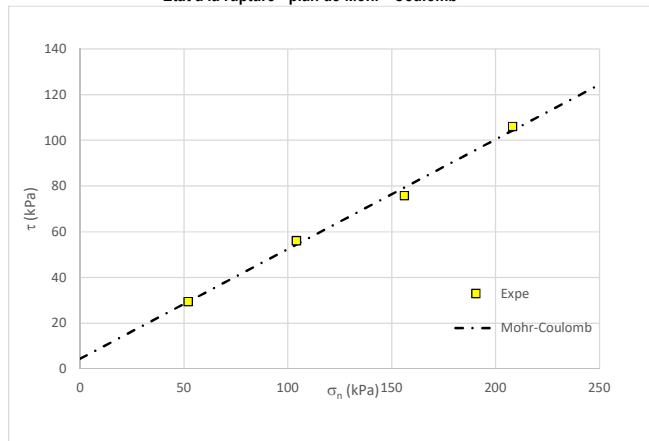
Exploitation des résultats

Valeurs des contraintes à la rupture

Critère de rupture : max des contraintes

	σ_n (kPa)	τ (kPa)
Ep1	208,2	106,1
Ep2	156,1	75,8
Ep3	104,1	56,1
Ep4	52,0	29,4

Etat à la rupture - plan de Mohr - Coulomb




Paramètres de cisaillement

Angle de frottement effectif $\phi' = 25,6^\circ$
 Cohésion effective $c' = 4,4 \text{ kPa}$
 Coefficient de corrélation $r^2 = 0,994$

Remarques :

1/1	Lucile FAVIER Chargé(e) d'essais	Tangi LEBORGNE Responsable secteur mécanique des sols et fondations spéciales
Page	Rédigé par	Validé par

	Procès Verbal Essai de cisaillement rectiligne à la boîte - cisaillement direct - conforme à la norme NF EN ISO 17892-10 -	Date du PV 28/10/2021
	Client: Loire Océan Métropole	DA 2021-0981

Référence de l'échantillon :		Chantier:	ZAC Nantes Nord
Nature de matériau:	Altérite argileuse micacée	Lieu:	Nantes
Forage:	SC4	Profondeur de prélèvement:	2,3 à 4,05m
Date de prélèvement:	28/09/2021	Prélèvement:	Client <input type="checkbox"/> LCBTP <input type="checkbox"/>

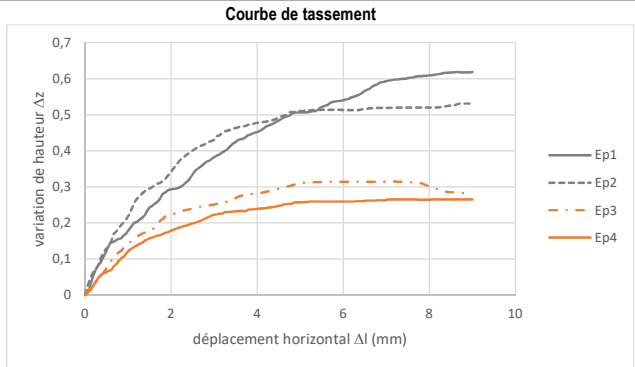
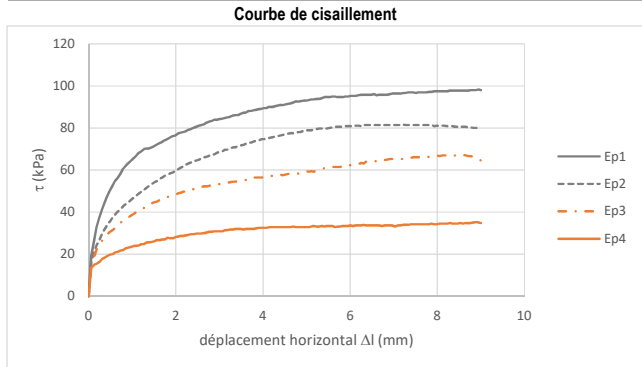
Caractéristiques physiques et géométriques des éprouvettes

Mode de confection: Taillage Carottage Spatule Compactage

		Ep1		Ep2		Ep3		Ep4	
		Initial	Final	Initial	Final	Initial	Final	Initial	Final
Hauteur	(mm)	20,0	16,0	20,0	17,3	20,0	16,9	20,0	18,8
Diamètre	(mm)	60	60	60	60	60	60	60	60
Teneur en eau	w (%)	30,5	31,8	35,9	34,9	25,3	18,3	23,6	20,6
Masse vol. apparente	ρ (kg/m ³)	1748,9	2241,0	1786,1	2069,3	1991,2	2317,0	1994,7	2200,8
Masse vol. sèche	ρ_d (kg/m ³)	1339,8	1700,2	1314,0	1534,1	1589,6	1959,4	1614,2	1824,3
Masse volumique des grains estimé	ρ_s kg/m ³	2700	2700	2700	2700	2700	2700	2700	2700
Indice des vides	e -	1,02	0,59	1,05	0,76	0,70	0,38	0,67	0,48
Degré de saturation	Sr -	0,81	1,00	0,92	1,00	0,98	1,00	0,95	1,00

Consolidation	t_{100} (min)	0	0	0	0
Vitesse de cisaillement	v ($\mu\text{m}/\text{min}$)	0,036			

Résultats des essais



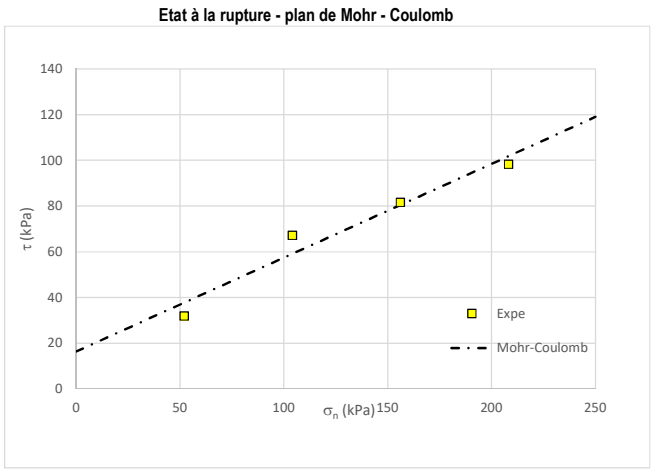
Exploitation des résultats

Valeurs des contraintes à la rupture
 Critère de rupture : max des contraintes

	σ_n (kPa)	τ (kPa)
Ep1	208,2	98,3
Ep2	156,1	81,7
Ep3	104,1	67,2
Ep4	52,0	31,9

Paramètres de cisaillement

Angle de frottement effectif $\phi' = 22,3^\circ$
 Cohésion effective $c' = 16,4 \text{ kPa}$
 Coefficient de corrélation $r^2 = 0,953$



Remarques :

1/1	Lucile FAVIER Chargé(e) d'essais	Tangi LEBORGNE Responsable secteur mécanique des sols et fondations spéciales
Page	Rédigé par	Validé par



Annexe 4 : Calculs TALREN (Stabilité de talus)

Données du projet

Numéro d'affaire : 2021 0981

Titre du calcul : Bassin à ciel ouvert

Lieu : NANTES - ZAC NORD

Commentaires : N/A

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 d
1	Terre végétale		18,0	25,00	0,0	0,0	-	-	-	Non	Non	
2	Horizon ±argilo-sableux et possiblement remblayé (beige jaune, gris)		18,0	25,00	3,0	0,0	-	-	-	Non	Non	
3	Altérite argileuse micacée (beige, jaune, gris, blanc)		18,0	20,00	10,0	0,0	-	-	-	Non	Non	
4	Altérite ±argilo-sableuse à graveleuse (marron-orangé, blanchâtre)		19,0	25,00	10,0	0,0	-	-	-	Non	Non	
5	Altérite argilo-schisteuse (gris, beige, rougeâtre)		19,0	25,00	10,0	0,0	-	-	-	Non	Non	
6	Micaschiste altéré argileux (beige, jaune)		20,0	35,00	15,0	0,0	-	-	-	Non	Non	

Couches de sol (cont.)

	Nom	Couleur	Γγ	Γc	Γtan(φ)	Type de cohésion	Courbe
1	Terre végétale		-	-	-	Effective	Linéaire
2	Horizon ±argilo-sableux et possiblement remblayé (beige jaune, gris)		-	-	-	Effective	Linéaire
3	Altérite argileuse micacée (beige, jaune, gris, blanc)		-	-	-	Effective	Linéaire
4	Altérite ±argilo-sableuse à graveleuse (marron-orangé, blanchâtre)		-	-	-	Effective	Linéaire
5	Altérite argilo-schisteuse (gris, beige, rougeâtre)		-	-	-	Effective	Linéaire
6	Micaschiste altéré argileux (beige, jaune)		-	-	-	Effective	Linéaire

Points

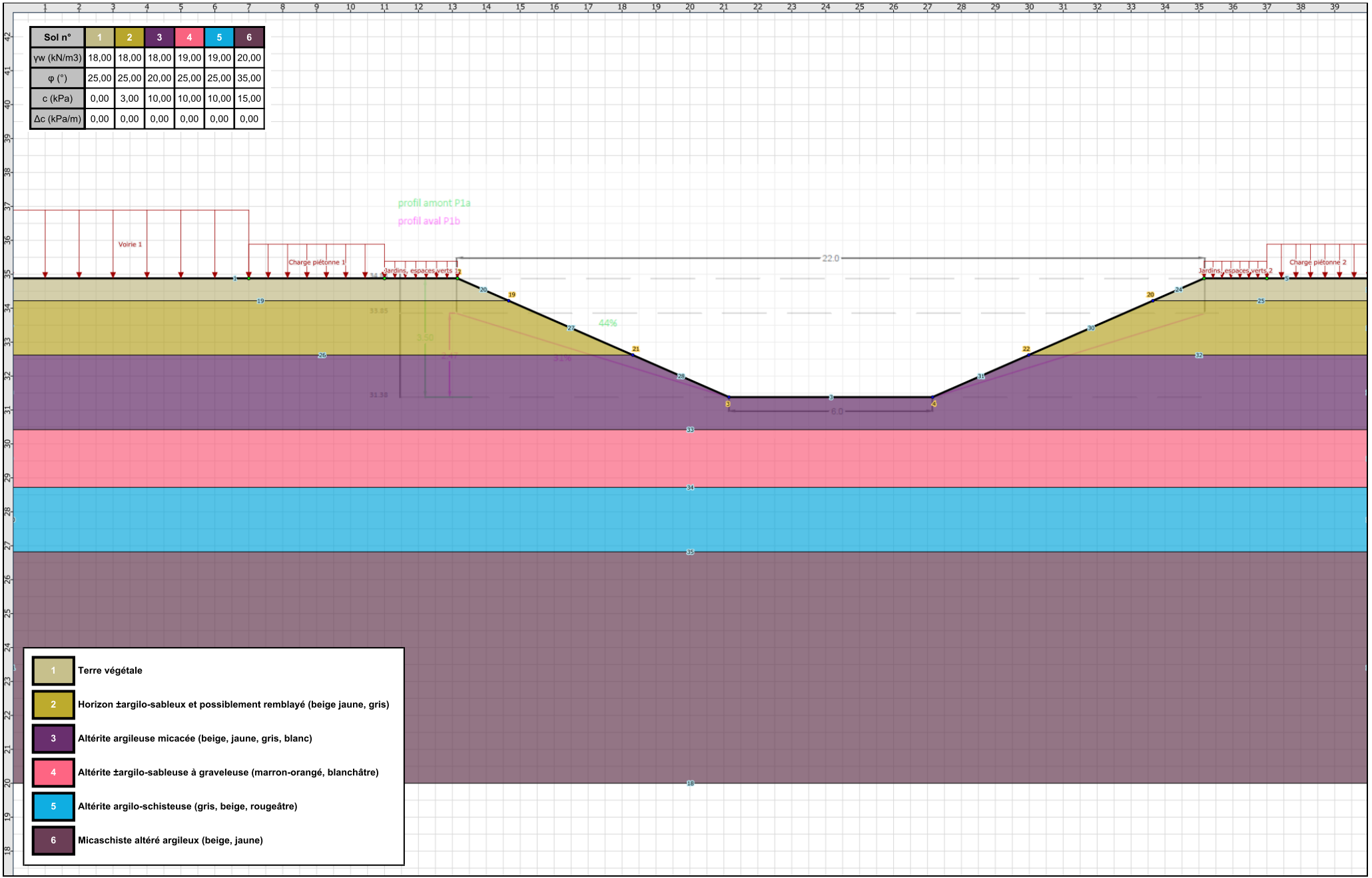
	X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y
1	0,000	34,880	2	13,150	34,880	3	21,150	31,380	4	27,150	31,380	5	35,150	34,880	6	40,000	34,880
7	0,000	34,220	8	0,000	32,620	9	0,000	30,420	10	0,000	28,720	11	0,000	26,820	12	0,000	20,000
13	40,000	34,220	14	40,000	32,620	15	40,000	30,420	16	40,000	28,720	17	40,000	26,820	18	40,000	20,000
19	14,659	34,220	20	33,641	34,220	21	18,316	32,620	22	29,984	32,620						

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	2	3	3	4	5	5	6	6	1	7	7	7	8	8	8	8	9	9	9	10
10	10	11	11	11	12	12	6	13	13	13	14	14	14	15	15	15	16	16	16	17	
17	17	18	18	12	18	19	7	19	20	19	2	24	20	5	25	20	13	26	8	21	
27	21	19	28	21	3	30	22	20	31	22	4	32	22	14	33	9	15	34	10	16	
35	11	17																			

Surcharges réparties

	Nom	X gauche	Y gauche	q gauche	X droite	Y droite	q droite	Ang/horizontale
1	Charge piétonne 1	7,000	34,880	5,0	11,000	34,880	5,0	90,00
2	Charge piétonne 2	37,000	34,880	5,0	40,000	34,880	5,0	90,00
3	Jardins, espaces verts 1	11,000	34,880	2,5	13,150	34,880	2,5	90,00
4	Jardins, espaces verts 2	35,150	34,880	2,5	37,000	34,880	2,5	90,00
5	Voirie 1	0,000	34,880	10,0	7,000	34,880	10,0	90,00



Talren v5
v5.2.9

Imprimé le : 15 déc. 2021 14:30:10
Calcul réalisé par : Laboratoire CBTP

Projet : Bassin à ciel ouvert

Données de la phase 1

Nom de la phase : Phase 1

Détermination de l'enveloppe du talus : automatique

Segments de la phase

	Point 1	Point 2	Sol sous-jacent		Point 1	Point 2	Sol sous-jacent
1	1	2	Terre végétale	3	3	4	Altérite argileuse micacée (beige, jaune, gris)
6	1	7	Terre végétale	7	7	8	Horizon \pm argilo-sableux et possiblement remblayé (b)
9	9	10	Altérite \pm argilo-sableuse à graveleuse (marron-orangé, blanchâtre)	10	10	11	Altérite argilo-schisteuse (gris, beige, rougeâtre)
12	6	13	Terre végétale	13	13	14	Horizon \pm argilo-sableux et possiblement remblayé (b)
15	15	16	Altérite \pm argilo-sableuse à graveleuse (marron-orangé, blanchâtre)	16	16	17	Altérite argilo-schisteuse (gris, beige, rougeâtre)
18	12	18	Micaschiste altéré argileux (beige, jaune)	19	7	19	Horizon \pm argilo-sableux et possiblement remblayé (b)
24	20	5	Terre végétale	25	20	13	Horizon \pm argilo-sableux et possiblement remblayé (b)
27	21	19	Horizon \pm argilo-sableux et possiblement remblayé (beige jaune, gris)	28	21	3	Altérite argileuse micacée (beige, jaune, gris)
31	22	4	Altérite argileuse micacée (beige, jaune, gris, blanc)	32	22	14	Altérite argileuse micacée (beige, jaune, gris)
34	10	16	Altérite argilo-schisteuse (gris, beige, rougeâtre)	35	11	17	Micaschiste altéré argileux (beige, jaune, gris)

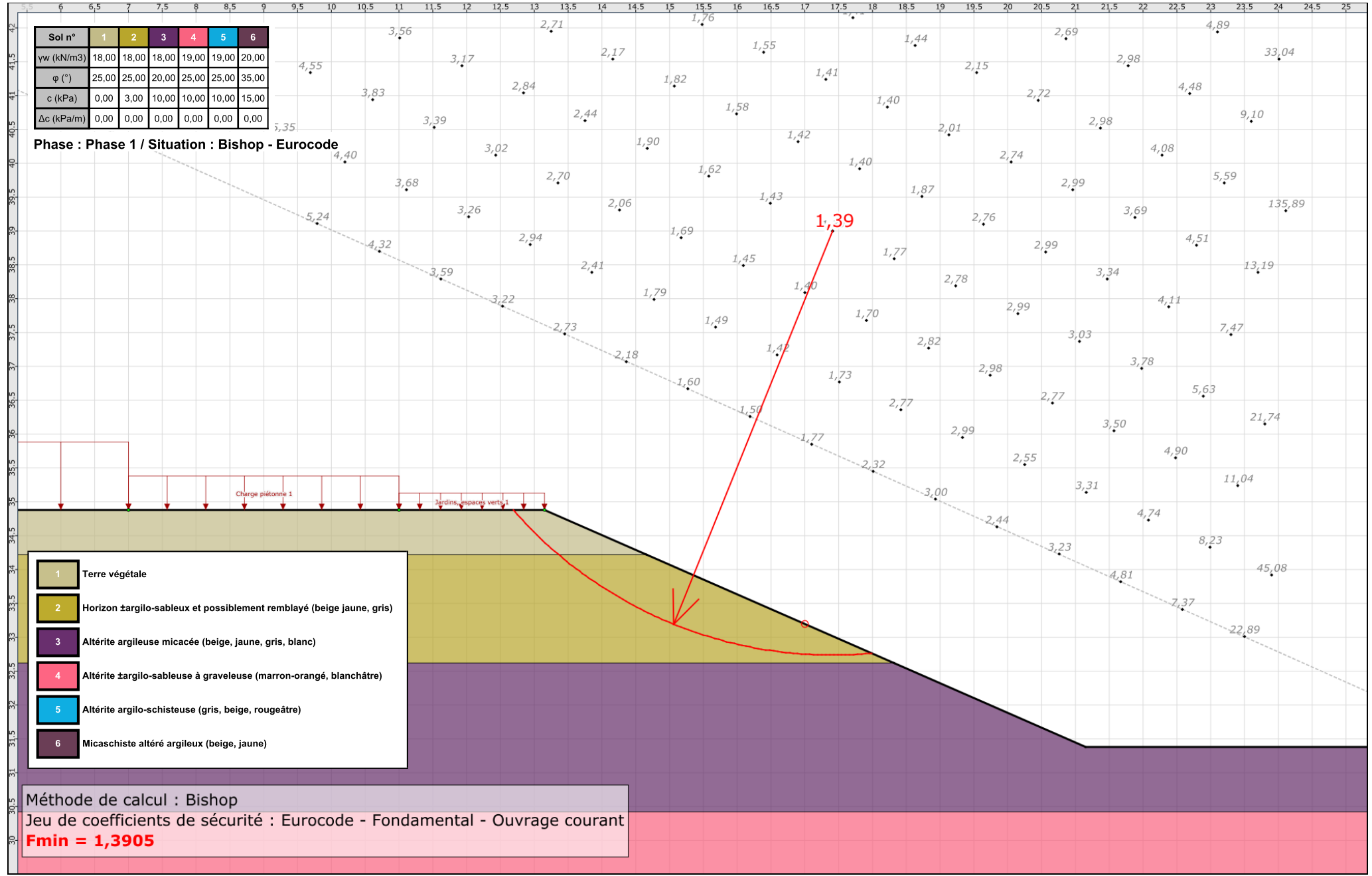
Liste des éléments activés

Surcharges réparties : Charge piétonne 1
Charge piétonne 2
Jardins, espaces verts 1
Jardins, espaces verts 2
Voirie 1

Conditions hydrauliques : Néant

Sol n°	1	2	3	4	5	6
γ_w (kN/m ³)	18,00	18,00	18,00	19,00	19,00	20,00
φ (°)	25,00	25,00	20,00	25,00	25,00	35,00
c (kPa)	0,00	3,00	10,00	10,00	10,00	15,00
Δc (kPa/m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Phase : Phase 1 / Situation : Bishop - Eurocode



- 1 Terre végétale
- 2 Horizon argilo-sableux et possiblement remblayé (beige jaune, gris)
- 3 Altérite argileuse micacée (beige, jaune, gris, blanc)
- 4 Altérite argilo-sableuse à graveleuse (marron-orangé, blanchâtre)
- 5 Altérite argilo-schisteuse (gris, beige, rougeâtre)
- 6 Micaschiste altéré argileux (beige, jaune)

Méthode de calcul : Bishop
 Jeu de coefficients de sécurité : Eurocode - Fondamental - Ouvrage courant
Fmin = 1,3905



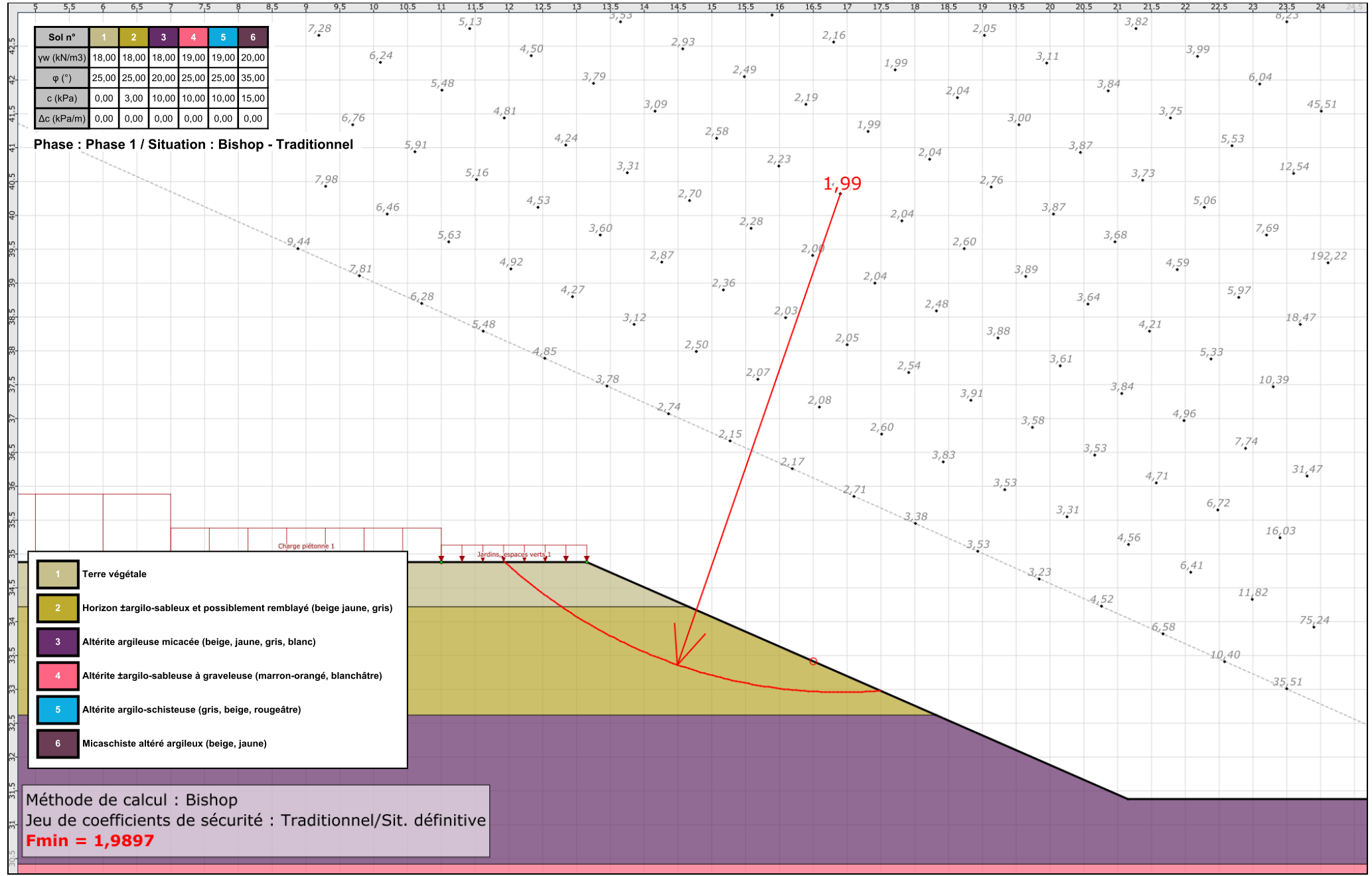
Talren v5
v5.2.9

Imprimé le : 15 déc. 2021 14:30:10
 Calcul réalisé par : Laboratoire CBTP

Projet : Bassin à ciel ouvert

Sol n°	1	2	3	4	5	6
γw (kN/m3)	18,00	18,00	18,00	19,00	19,00	20,00
φ (°)	25,00	25,00	20,00	25,00	25,00	35,00
c (kPa)	0,00	3,00	10,00	10,00	10,00	15,00
Δc (kPa/m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Phase : Phase 1 / Situation : Bishop - Traditionnel



- 1 Terre végétale
- 2 Horizon argilo-sableux et possiblement remblayé (beige jaune, gris)
- 3 Altérite argileuse micacée (beige, jaune, gris, blanc)
- 4 Altérite argilo-sableuse à graveleuse (marron-orangé, blanchâtre)
- 5 Altérite argilo-schisteuse (gris, beige, rougeâtre)
- 6 Micasciste altéré argileux (beige, jaune)

Méthode de calcul : Bishop
 Jeu de coefficients de sécurité : Traditionnel/Sit. définitive
Fmin = 1,9897



Talren v5
v5.2.9

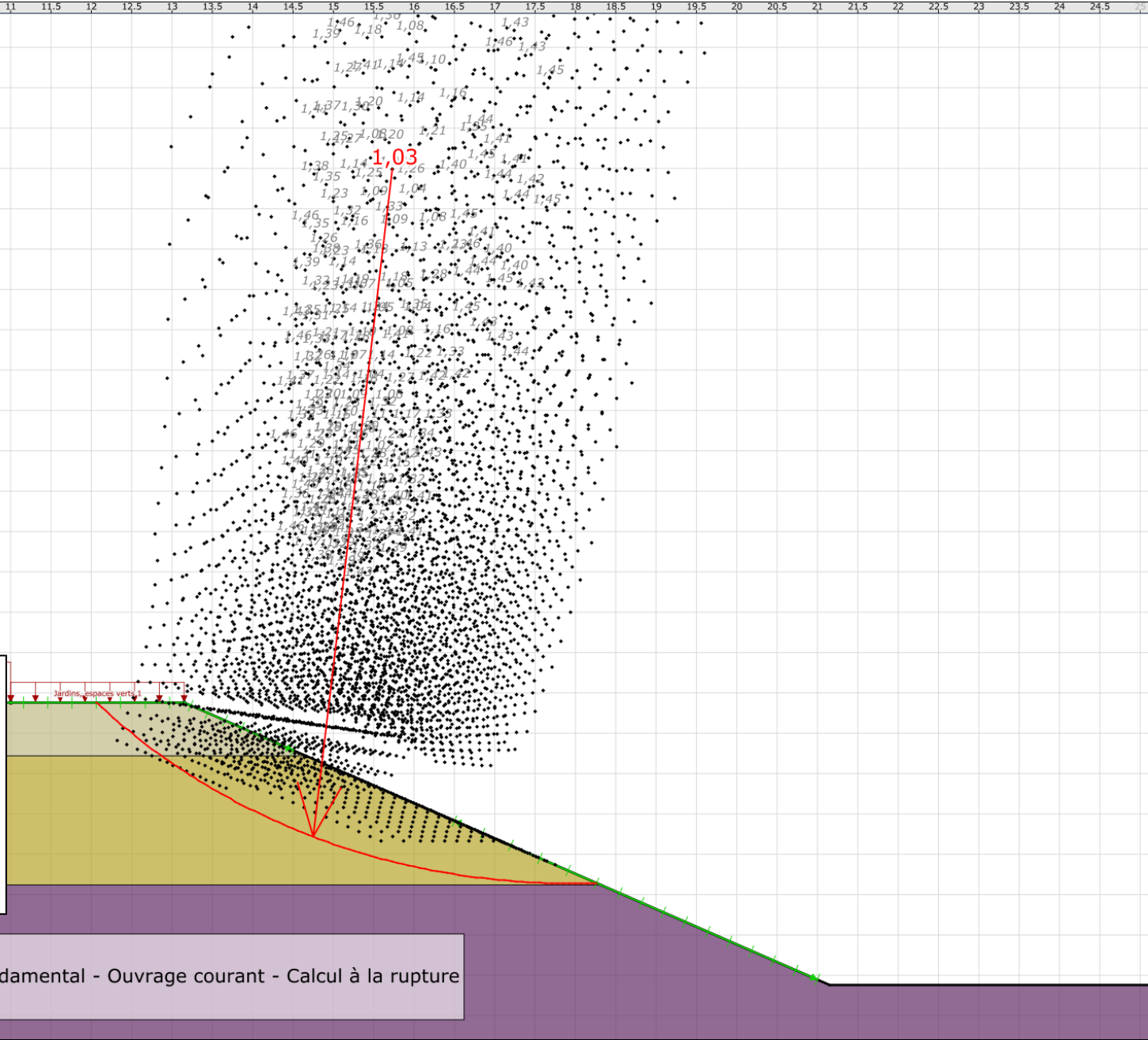
Imprimé le : 15 déc. 2021 14:30:11
 Calcul réalisé par : Laboratoire CBTP

Projet : Bassin à ciel ouvert



Sol n°	1	2	3	4	5	6
γw (kN/m3)	18,00	18,00	18,00	19,00	19,00	20,00
φ (°)	25,00	25,00	20,00	25,00	25,00	35,00
c (kPa)	0,00	3,00	10,00	10,00	10,00	15,00
Δc (kPa/m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Phase : Phase 1 / Situation : Rupture - Eurocode



- 1 Terre végétale
- 2 Horizon argilo-sableux et possiblement remblayé (beige jaune, gris)
- 3 Altérite argileuse micacée (beige, jaune, gris, blanc)
- 4 Altérite argilo-sableuse à graveleuse (marron-orangé, blanchâtre)
- 5 Altérite argilo-schisteuse (gris, beige, rougeâtre)
- 6 Micaschiste altéré argileux (beige, jaune)

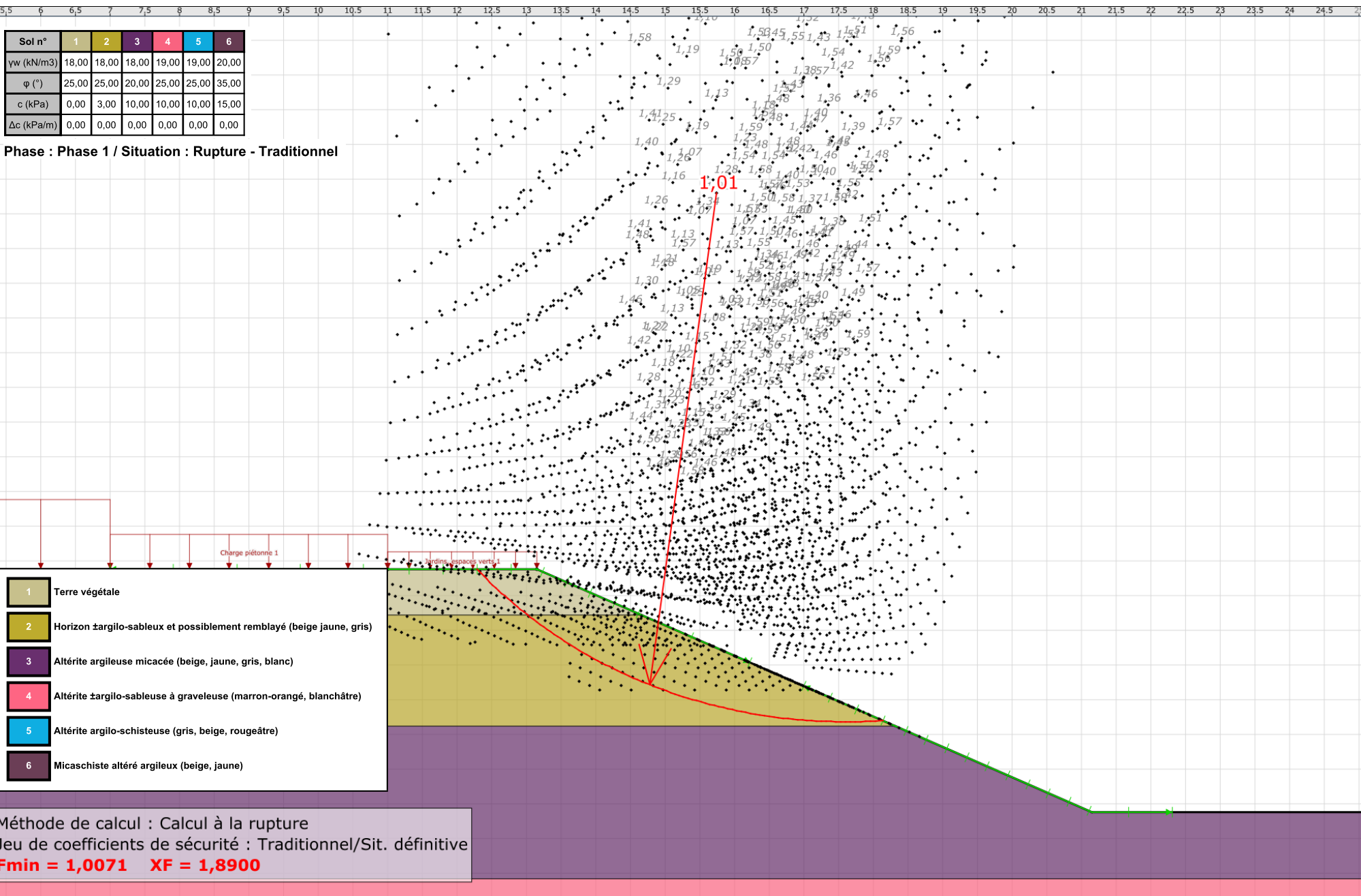
Méthode de calcul : Calcul à la rupture
 Jeu de coefficients de sécurité : Eurocode - Fondamental - Ouvrage courant - Calcul à la rupture
Fmin = 1,0322 XF = 1,4900



Talren v5
v5.2.9

Imprimé le : 15 déc. 2021 14:30:11
 Calcul réalisé par : Laboratoire CBTP

Projet : Bassin à ciel ouvert



Sol n°	1	2	3	4	5	6
γ_w (kN/m ³)	18,00	18,00	18,00	19,00	19,00	20,00
ϕ (°)	25,00	25,00	20,00	25,00	25,00	35,00
c (kPa)	0,00	3,00	10,00	10,00	10,00	15,00
Δc (kPa/m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Phase : Phase 1 / Situation : Rupture - Traditionnel

- 1 Terre végétale
- 2 Horizon argilo-sableux et possiblement remblayé (beige jaune, gris)
- 3 Altérite argileuse micacée (beige, jaune, gris, blanc)
- 4 Altérite argilo-sableuse à graveleuse (marron-orangé, blanchâtre)
- 5 Altérite argilo-schisteuse (gris, beige, rougeâtre)
- 6 Micaschiste altéré argileux (beige, jaune)

Méthode de calcul : Calcul à la rupture
 Jeu de coefficients de sécurité : Traditionnel/Sit. définitive
Fmin = 1,0071 XF = 1,8900



Talren v5
v5.2.9

Imprimé le : 15 déc. 2021 14:30:11
 Calcul réalisé par : Laboratoire CBTP

Projet : Bassin à ciel ouvert

Données du projet

Numéro d'affaire : 2021 0981

Titre du calcul : Bassin à ciel ouvert

Lieu : NANTES - ZAC NORD

Commentaires : N/A

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 d
1	Terre végétale		18,0	25,00	0,0	0,0	-	-	-	Non	Non	
2	Horizon ±argilo-sableux et possiblement remblayé (beige jaune, gris)		18,0	25,00	3,0	0,0	-	-	-	Non	Non	
3	Altérite argileuse micacée (beige, jaune, gris, blanc)		18,0	20,00	10,0	0,0	-	-	-	Non	Non	
4	Altérite ±argilo-sableuse à graveleuse (marron-orangé, blanchâtre)		19,0	25,00	10,0	0,0	-	-	-	Non	Non	
5	Altérite argilo-schisteuse (gris, beige, rougeâtre)		19,0	25,00	10,0	0,0	-	-	-	Non	Non	
6	Micaschiste altéré argileux (beige, jaune)		20,0	35,00	15,0	0,0	-	-	-	Non	Non	

Couches de sol (cont.)

	Nom	Couleur	Γγ	Γc	Γtan(φ)	Type de cohésion	Courbe
1	Terre végétale		-	-	-	Effective	Linéaire
2	Horizon ±argilo-sableux et possiblement remblayé (beige jaune, gris)		-	-	-	Effective	Linéaire
3	Altérite argileuse micacée (beige, jaune, gris, blanc)		-	-	-	Effective	Linéaire
4	Altérite ±argilo-sableuse à graveleuse (marron-orangé, blanchâtre)		-	-	-	Effective	Linéaire
5	Altérite argilo-schisteuse (gris, beige, rougeâtre)		-	-	-	Effective	Linéaire
6	Micaschiste altéré argileux (beige, jaune)		-	-	-	Effective	Linéaire

Points

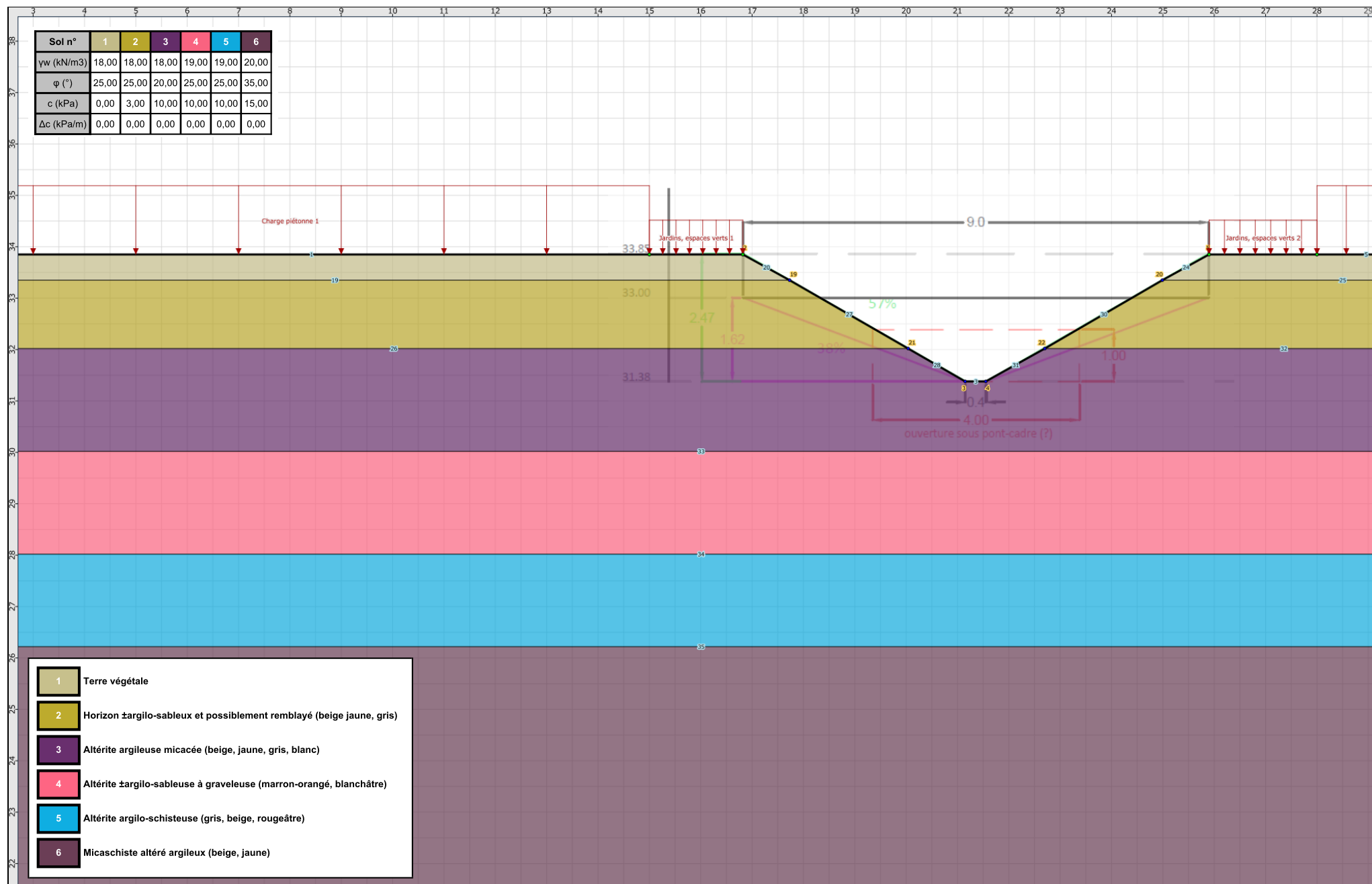
	X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y
1	0,000	33,850	2	16,820	33,850	3	21,150	31,380	4	21,550	31,380	5	25,900	33,850	6	32,000	33,850
7	0,000	33,350	8	0,000	32,020	9	0,000	30,020	10	0,000	28,020	11	0,000	26,220	12	0,000	20,000
13	32,000	33,350	14	32,000	32,020	15	32,000	30,020	16	32,000	28,020	17	32,000	26,220	18	32,000	20,000
19	17,730	33,350	20	24,990	33,350	21	20,040	32,020	22	22,700	32,020						

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	2	3	3	4	5	5	6	6	1	7	7	7	8	8	8	8	9	9	9	10
10	10	11	11	11	12	12	6	13	13	13	14	14	14	15	15	15	16	16	16	17	
17	17	18	18	12	18	19	7	19	20	19	2	24	20	5	25	20	13	26	8	21	
27	21	19	28	21	3	30	22	20	31	22	4	32	22	14	33	9	15	34	10	16	
35	11	17																			

Surcharges réparties

	Nom	X gauche	Y gauche	q gauche	X droite	Y droite	q droite	Ang/horizontale
1	Charge piétonne 1	1,000	33,850	5,0	15,000	33,850	5,0	90,00
2	Charge piétonne 2	28,000	33,850	5,0	32,000	33,850	5,0	90,00
3	Jardins, espaces verts 1	15,000	33,850	2,5	16,820	33,850	2,5	90,00
4	Jardins, espaces verts 2	25,900	33,850	2,5	28,000	33,850	2,5	90,00



Données de la phase 1

Nom de la phase : Phase 1

Détermination de l'enveloppe du talus : automatique

Segments de la phase

	Point 1	Point 2	Sol sous-jacent		Point 1	Point 2	Sol sous-jacent
1	1	2	Terre végétale	3	3	4	Altérite argileuse micacée (beige, jaune, gris)
6	1	7	Terre végétale	7	7	8	Horizon \pm argilo-sableux et possiblement remblayé (b)
9	9	10	Altérite \pm argilo-sableuse à graveleuse (marron-orangé, blanchâtre)	10	10	11	Altérite argilo-schisteuse (gris, beige, rougeâtre)
12	6	13	Terre végétale	13	13	14	Horizon \pm argilo-sableux et possiblement remblayé (b)
15	15	16	Altérite \pm argilo-sableuse à graveleuse (marron-orangé, blanchâtre)	16	16	17	Altérite argilo-schisteuse (gris, beige, rougeâtre)
18	12	18	Micaschiste altéré argileux (beige, jaune)	19	7	19	Horizon \pm argilo-sableux et possiblement remblayé (b)
24	20	5	Terre végétale	25	20	13	Horizon \pm argilo-sableux et possiblement remblayé (b)
27	21	19	Horizon \pm argilo-sableux et possiblement remblayé (beige jaune, gris)	28	21	3	Altérite argileuse micacée (beige, jaune, gris)
31	22	4	Altérite argileuse micacée (beige, jaune, gris, blanc)	32	22	14	Altérite argileuse micacée (beige, jaune, gris)
34	10	16	Altérite argilo-schisteuse (gris, beige, rougeâtre)	35	11	17	Micaschiste altéré argileux (beige, jaune, gris)

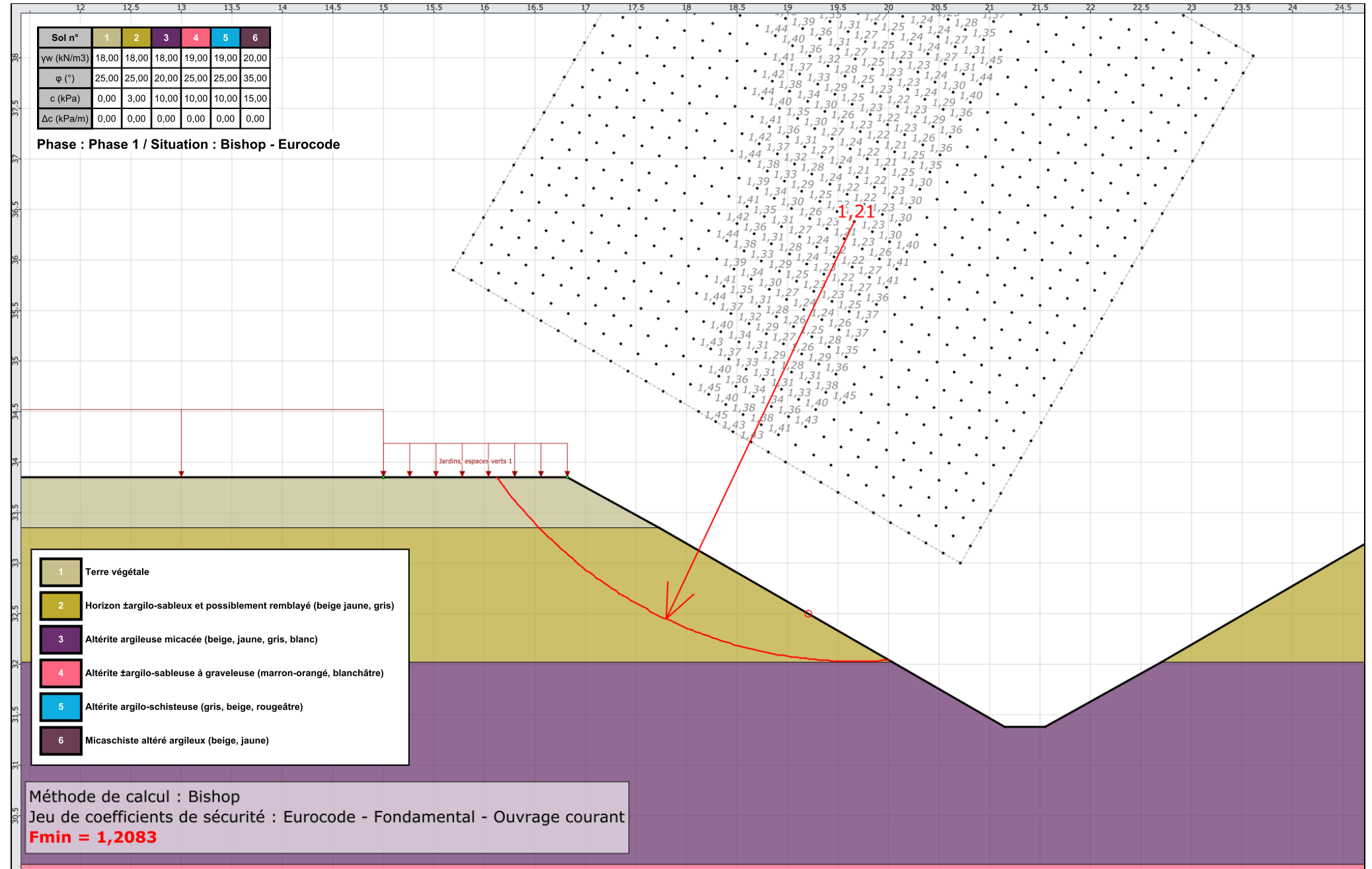
Liste des éléments activés

Surcharges réparties : Charge piétonne 1
Charge piétonne 2
Jardins, espaces verts 1
Jardins, espaces verts 2

Conditions hydrauliques : Néant

Sol n°	1	2	3	4	5	6
γw (kN/m3)	18,00	18,00	18,00	19,00	19,00	20,00
φ (°)	25,00	25,00	20,00	25,00	25,00	35,00
c (kPa)	0,00	3,00	10,00	10,00	10,00	15,00
Δc (kPa/m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Phase : Phase 1 / Situation : Bishop - Eurocode



- 1 Terre végétale
- 2 Horizon argilo-sableux et possiblement remblayé (beige jaune, gris)
- 3 Altérite argileuse micacée (beige, jaune, gris, blanc)
- 4 Altérite argilo-sableuse à graveleuse (marron-orangé, blanchâtre)
- 5 Altérite argilo-schisteuse (gris, beige, rougeâtre)
- 6 Micaschiste altéré argileux (beige, jaune)

Méthode de calcul : Bishop
 Jeu de coefficients de sécurité : Eurocode - Fondamental - Ouvrage courant
Fmin = 1,2083



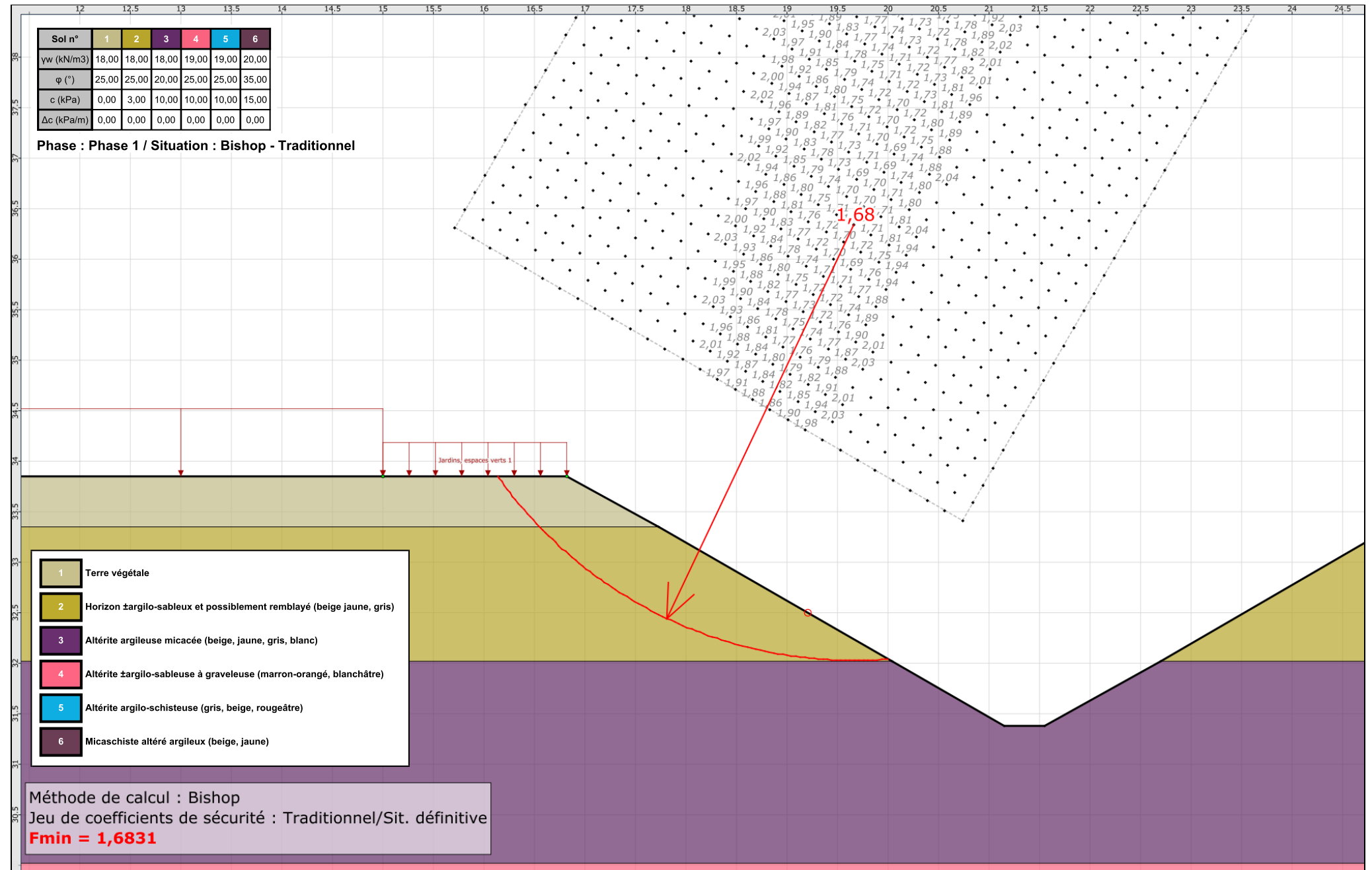
Talren v5
v5.2.9

Imprimé le : 15 déc. 2021 14:32:47
 Calcul réalisé par : Laboratoire CBTP

Projet : Bassin à ciel ouvert

Sol n°	1	2	3	4	5	6
γw (kN/m3)	18,00	18,00	18,00	19,00	19,00	20,00
φ (°)	25,00	25,00	20,00	25,00	25,00	35,00
c (kPa)	0,00	3,00	10,00	10,00	10,00	15,00
Δc (kPa/m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Phase : Phase 1 / Situation : Bishop - Traditionnel



- 1 Terre végétale
- 2 Horizon argilo-sableux et possiblement remblayé (beige jaune, gris)
- 3 Altérite argileuse micacée (beige, jaune, gris, blanc)
- 4 Altérite argilo-sableuse à graveleuse (marron-orangé, blanchâtre)
- 5 Altérite argilo-schisteuse (gris, beige, rougeâtre)
- 6 Micaschiste altéré argileux (beige, jaune)

Méthode de calcul : Bishop
 Jeu de coefficients de sécurité : Traditionnel/Sit. définitive
Fmin = 1,6831



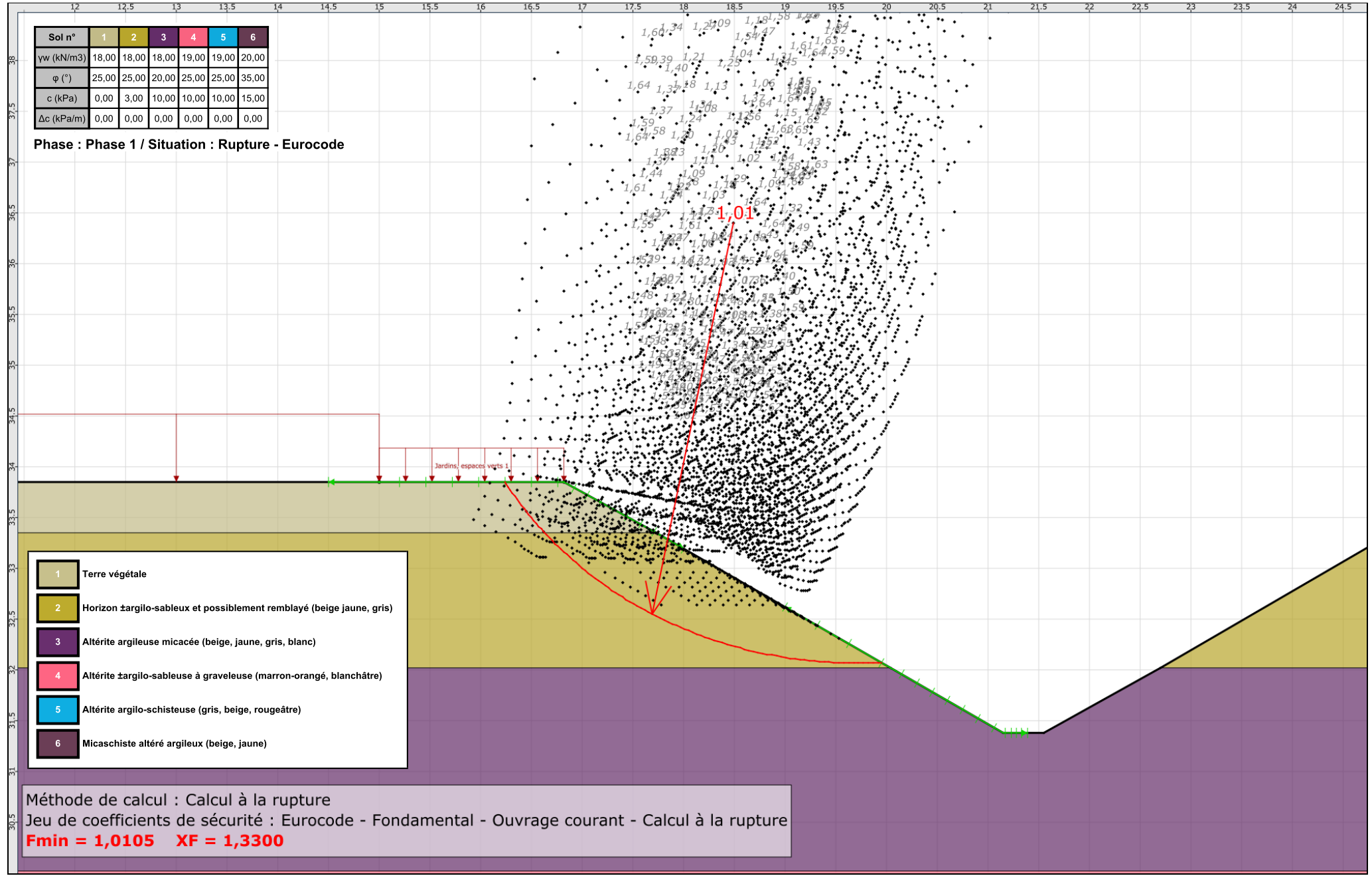
Talren v5
v5.2.9

Imprimé le : 15 déc. 2021 14:32:47
 Calcul réalisé par : Laboratoire CBTP

Projet : Bassin à ciel ouvert

Sol n°	1	2	3	4	5	6
γw (kN/m3)	18,00	18,00	18,00	19,00	19,00	20,00
φ (°)	25,00	25,00	20,00	25,00	25,00	35,00
c (kPa)	0,00	3,00	10,00	10,00	10,00	15,00
Δc (kPa/m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Phase : Phase 1 / Situation : Rupture - Eurocode



- 1 Terre végétale
- 2 Horizon argilo-sableux et possiblement remblayé (beige jaune, gris)
- 3 Altérite argileuse micacée (beige, jaune, gris, blanc)
- 4 Altérite argilo-sableuse à graveleuse (marron-orangé, blanchâtre)
- 5 Altérite argilo-schisteuse (gris, beige, rougeâtre)
- 6 Micaschiste altéré argileux (beige, jaune)

Méthode de calcul : Calcul à la rupture
 Jeu de coefficients de sécurité : Eurocode - Fondamental - Ouvrage courant - Calcul à la rupture
Fmin = 1,0105 XF = 1,3300



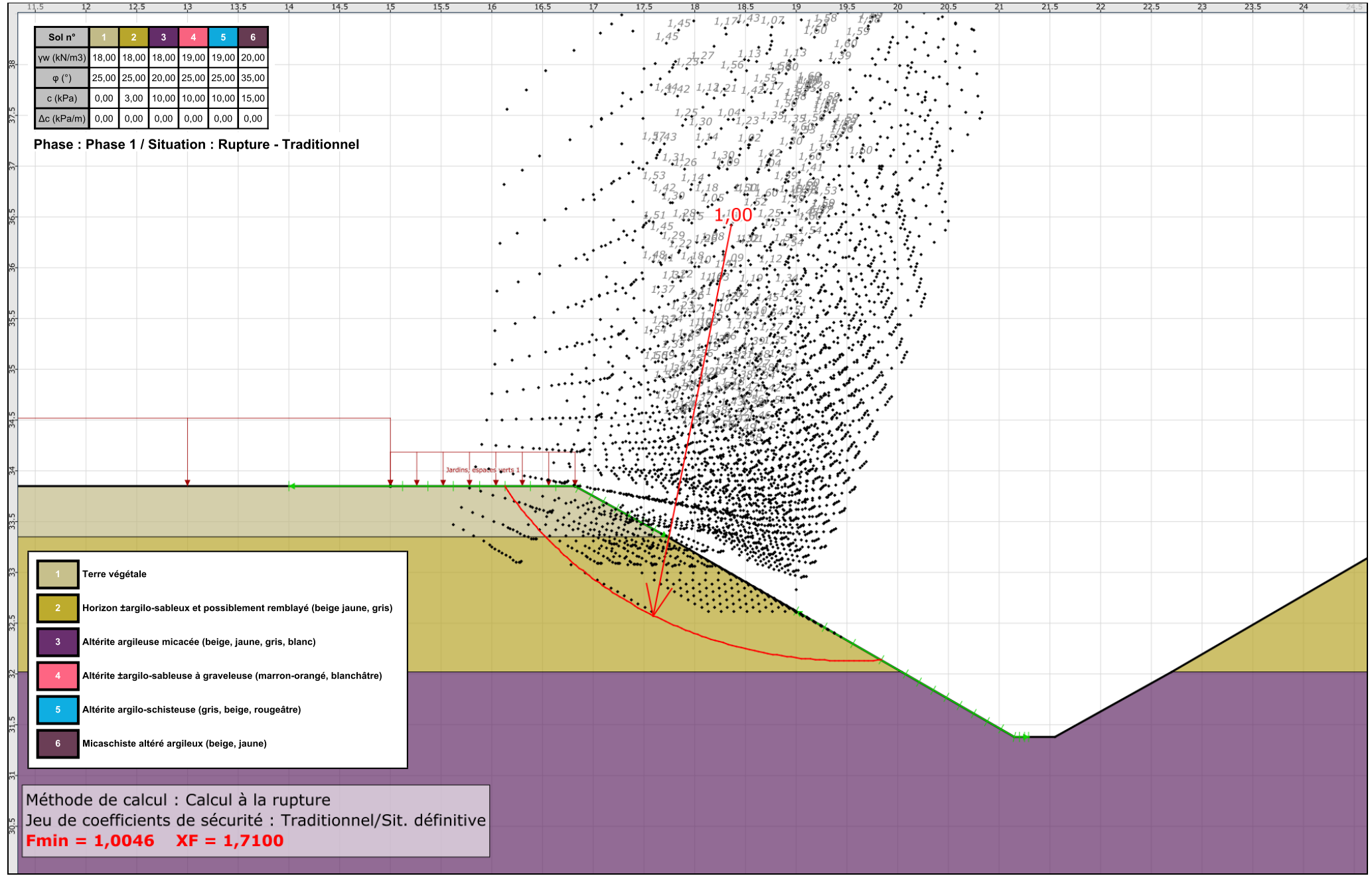
Talren v5
v5.2.9

Imprimé le : 15 déc. 2021 14:32:47
 Calcul réalisé par : Laboratoire CBTP

Projet : Bassin à ciel ouvert

Sol n°	1	2	3	4	5	6
γw (kN/m3)	18,00	18,00	18,00	19,00	19,00	20,00
φ (°)	25,00	25,00	20,00	25,00	25,00	35,00
c (kPa)	0,00	3,00	10,00	10,00	10,00	15,00
Δc (kPa/m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Phase : Phase 1 / Situation : Rupture - Traditionnel



- 1 Terre végétale
- 2 Horizon argilo-sableux et possiblement remblayé (beige jaune, gris)
- 3 Altérite argileuse micacée (beige, jaune, gris, blanc)
- 4 Altérite argilo-sableuse à graveleuse (marron-orangé, blanchâtre)
- 5 Altérite argilo-schisteuse (gris, beige, rougeâtre)
- 6 Micasciste altéré argileux (beige, jaune)

Méthode de calcul : Calcul à la rupture
 Jeu de coefficients de sécurité : Traditionnel/Sit. définitive
Fmin = 1,0046 XF = 1,7100



Talren v5
v5.2.9

Imprimé le : 15 déc. 2021 14:32:48
 Calcul réalisé par : Laboratoire CBTP

Projet : Bassin à ciel ouvert



Laboratoire CBTP

ZA Noyal Sud - ZA Richardière Sud
3, rue Lépine - BP 33216
35 532 Noyal-sur-Vilaine

Tel : 02 99 41 65 94
www.lcbtp.com

Votre contact

Jérôme SIMON

**Responsable de secteur Mécanique des Sols
et Fondations Spéciales**

Agence de Noyal-sur-Vilaine

☎ : 06 37 80 09 97

jerome.simon@lcbtp.com