

COMMUNE DE PERTUIS (84)

**DIGUE DE PROTECTION CONTRE LES CRUES
DE LA DURANCE**

SECTEUR RFF

ÉTUDE DE DIAGNOSTIQUE G5

À LA DEMANDE ET POUR LE COMPTE DU SMAVD

LIEU :	DIGUES DE PERTUIS TRONÇONS RFE1 ET RFE2
COMMUNE :	PERTUIS (84)
OBJET :	DIGUES DE PROTECTION CONTRE LES CRUES DE LA DURANCE – SECTEUR RFF
TYPE DE MISSION	Diagnostic géotechnique G5
CLIENT :	SMAVD
DOSSIER SUIVI PAR :	P. JUAN

CHARGE D'AFFAIRE :	F. FONTAINE
CHEF DE PROJET :	C. MONCHAL
INTERVENANTS	B. BERTHOMÉ
NOMBRE DE PAGES	30 + ANNEXES

Dossier	22-0593_I_1_0	
Indice	Modifications	Date
PROV.	Document initial	02/09/2022
o	Reprise suite campagne de reconnaissances	23/03/2023
A	Reprise des calculs après révision des conditions hydrauliques	24/05/2023

Rédacteur : B. BERTHOMÉ
Visa :

Contrôle : C. MONCHAL
Visa :

SOMMAIRE

1	PRESENTATION.....	5
1.1	Introduction.....	5
1.2	Localisation de la zone d'étude :	5
1.3	Présentation du site	6
1.3.1	Tronçon RFE1	6
1.3.2	Tronçon REF2	7
1.4	Objectifs de l'étude G5	7
1.5	Documents de référence	8
2	CONTEXTE DE SITE	9
2.1	Contexte géologique	9
2.2	Contexte morphologique	9
2.3	Contexte vis-à-vis des risques naturels.....	9
2.3.1	Risque sismique	9
2.3.2	Aléa retrait gonflement des argiles.....	9
2.3.3	Aléa mouvements de terrain	10
2.3.4	Aléa inondation	10
2.4	Enjeux environnementaux et réglementaires.....	11
2.4.1	Environnement.....	11
2.4.2	Loi sur l'eau.....	11
3	DONNEES GEOTECHNIQUES EXISTANTES	12
3.1	Données BSS.....	12
3.2	Données des études antérieures	17
3.3	Synthèse	17
4	RECONNAISSANCES GEOTECHNIQUES.....	18
4.1	Synthèse du programme proposé et réalisé	18
4.2	Résultats des reconnaissances et essais	18
4.2.1	Sondages à la pelle.....	18
4.2.2	Essais de perméabilité in situ	19
4.2.3	Essais en laboratoire	19
5	HYPOTHESES GENERALES DE CALCUL.....	20
5.1	Données de calcul	20
5.1.1	Caractéristiques géotechniques	20
5.1.2	Rétro-analyse	20
5.1.3	Configuration d'ouvrage et profils de calcul	21
5.1.4	Surcharge	22
5.1.5	Sismicité	22
5.2	Méthode de calcul	23
5.2.1	Modélisation des écoulements internes aux ouvrages.....	24
5.2.2	Calculs de stabilité.....	24
5.2.3	Vérification des digues et des sols d'assise sous rupture hydraulique.....	24
6	RESULTATS DES CALCULS.....	29
6.1	Secteur RFE2 – Profil PR14	29
6.1.1	Modèle de calcul.....	29
6.1.2	Vérification des ruptures d'origine hydraulique.....	29

6.1.3	Vérification de la stabilité globale des talus	29
-------	--	----

7 SYNTHÈSE DES RESULTATS DE CALCULS, AVIS SUR LA STABILITE DE LA DIGUE, PISTE D'AMELIORATION ET ALEAS..... 30

7.1	Synthèse des résultats	30
7.2	Avis sur la stabilité de la digue	30
7.3	Études géotechniques complémentaires et aléas	30

ANNEXES

Annexe n°1 : Extrait de la classification des missions géotechniques selon NF P 94-500

Annexe n°2 : Résultats des investigations géotechniques et analyses en laboratoire

Annexe n°3 : Résultats des modélisation numériques – Rétro-analyse

Annexe n°4 : Résultats des modélisations numériques profil P1 – État Actuel

4.1. Justification de la stabilité des talus amont et aval - Plaxis

4.2. Résultats des modélisations numériques – Talren

1 PRÉSENTATION

1.1 INTRODUCTION

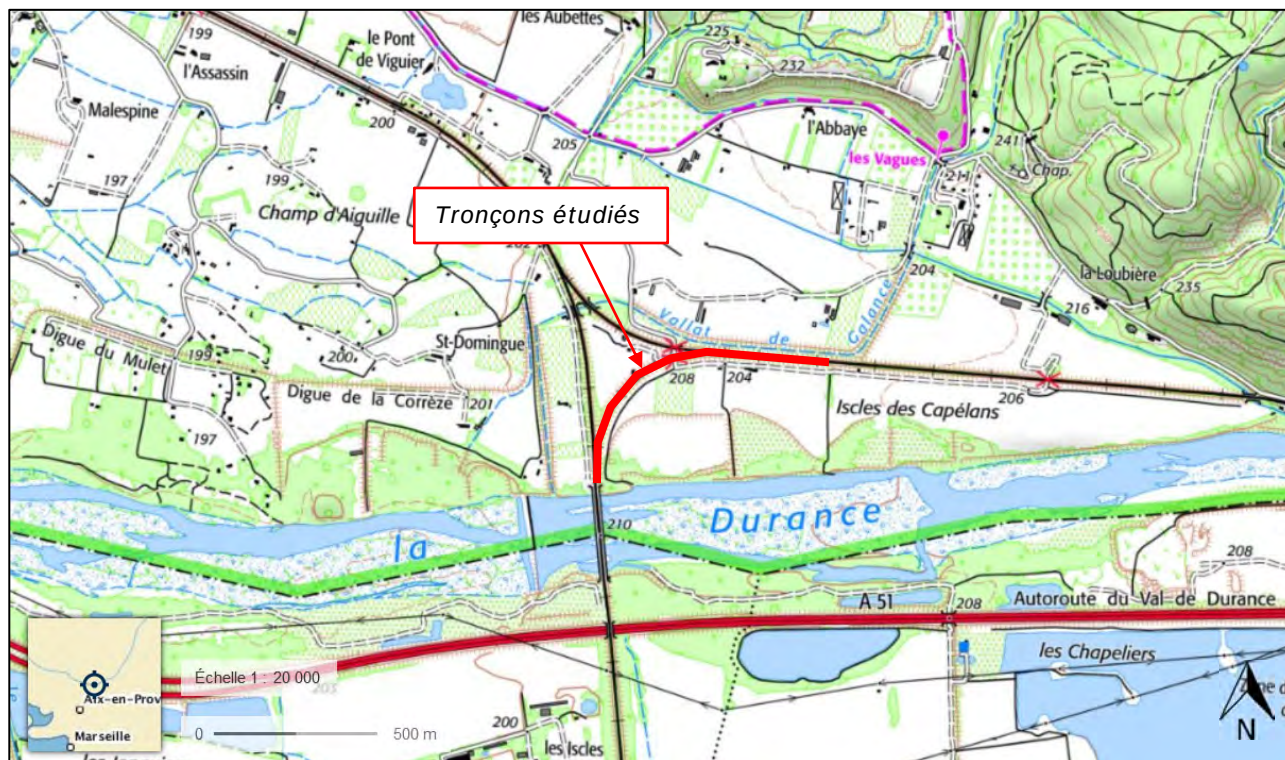
Le présent rapport d'étude a été réalisé par le Bureau d'Ingénieurs - Conseils GEOLITHE à la demande et pour le compte du Syndicat Mixte d'Aménagement de la Vallée de la Durance (SMAVD).

Il s'agit d'une mission de type G5 (Diagnostic Géotechnique) portant sur des ouvrages existants, au sens de la norme NF P 94-500 (« Missions d'ingénierie géotechnique – Classification et spécifications » - Novembre 2013).

Le rapport concerne le diagnostic géotechnique de l'aménagement du système d'endiguement de Pertuis (84) et plus particulièrement l'étude du secteur de remblai RFF à l'Est de la commune.

1.2 LOCALISATION DE LA ZONE D'ÉTUDE :

La zone d'étude se situe sur la commune de Pertuis (84) en rive droite de la Durance, sur un remblai ferroviaire.



Localisation de la zone d'étude sur extrait de carte IGN (source : Géoportail)

Le secteur étudié se compose de deux tronçons RFE1 et RFE2. Ils sont localisés sur la vue aérienne présentée ci-dessous.



Localisation des tronçons d'étude sur vue aérienne (source : Géoportail)

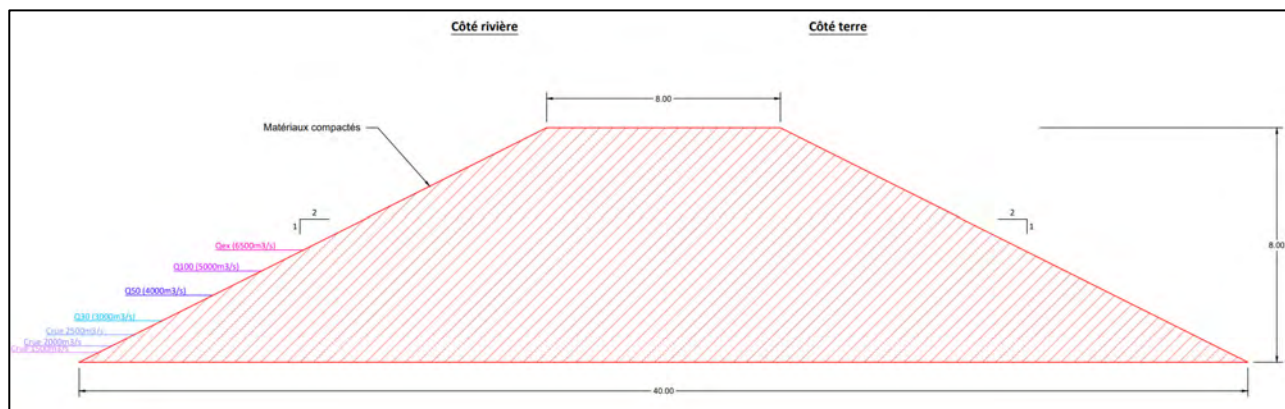
1.3 PRÉSENTATION DU SITE

1.3.1 Tronçon RFE1

Le tronçon RFE1 est situé entre le pont ferroviaire traversant la Durance et le croisement des lignes ferroviaires au Nord de la zone d'étude.

Il s'agit d'un remblai de ligne ferroviaire sur un linéaire de 85 m environ. D'après les documents transmis par le SMAVD, ce remblai en matériaux compactés présente une largeur en tête de 8 m, une largeur en pied de 40 m pour une hauteur de 8 m. Les talus sont inclinés avec des pentes de l'ordre de 2H/1V (27°).

Le profil topographique est présenté ci-dessous :



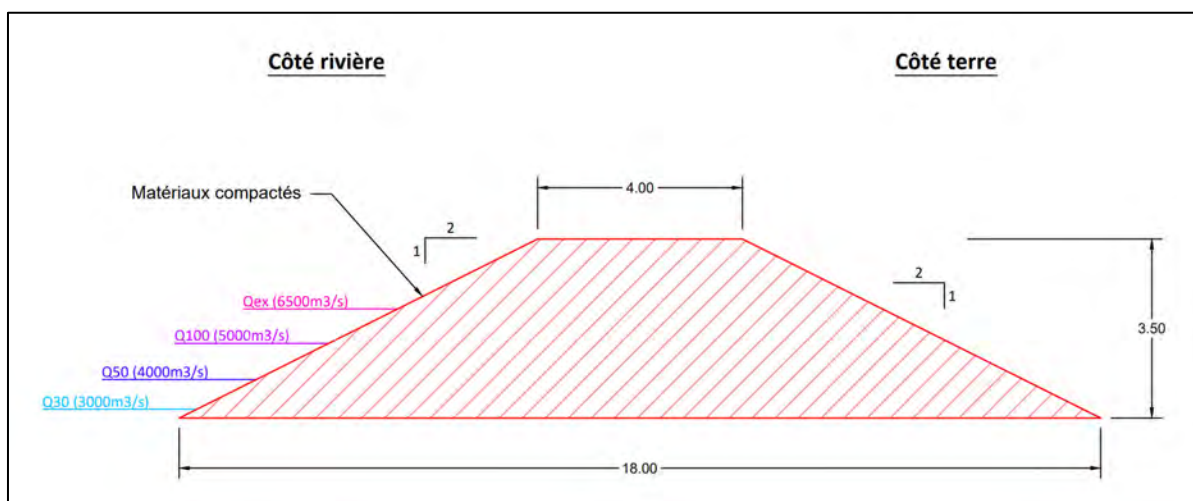
Profil type au droit du secteur RFE1

1.3.2 Tronçon REF2

Le tronçon RFE2 est situé entre le croisement des lignes ferroviaires au Nord de la zone d'étude et se poursuit le long de la ligne ferroviaire en direction de l'Est sur une linéaire de 900 m environ.

Il s'agit d'un remblai de ligne ferroviaire sur un linéaire de 900 m environ. D'après les documents transmis par le SMAVD, ce remblai en matériaux compactés présente une largeur en tête de 4 m, une largeur en pied de 18 m pour une hauteur de 3,5 m. Les talus sont inclinés avec des pentes de l'ordre de 2H/1V (27°).

Le profil topographique est présenté ci-dessous :



Profil type au droit du secteur RFE2

Photographies du secteur :



Talus végétalisé côté rivière à gauche et talus végétalisé côté terre à droite

1.4 OBJECTIFS DE L'ÉTUDE G5

L'étude a pour objectifs :

- Fournir les données géologiques et bibliographiques concernant le site d'étude
- En l'absence de campagne, définir un modèle géologique de la zone d'étude et des ouvrages existants
- Établir les hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade G5 :
 - o Profils de calculs

- o Modèle géologique
 - o Caractéristiques mécaniques et hydrauliques des terrains
- Exposer les méthodes de calcul ;
- Vérifier la stabilité hydro-mécanique des ouvrages :
 - o Estimer la stabilité interne (calculs hydrauliques) : érosion interne, boulanges, soulèvement du pied aval
 - o Vérifier la stabilité des talus
 - o Estimer la susceptibilité à la liquéfaction des sols
- Établir les conclusions du diagnostic sur la stabilité de la digue en l'état actuel et les éventuels travaux à réaliser pour garantir le système d'endiguement pour Q_{50} , Q_{100} et Q_{ex}

1.5 DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE

Les documents disponibles pour notre étude sont :

Documents fournis par le client :

- Plan pdf du site d'étude avec 2 profils en travers type et niveau de crues : 1-Annexe BDC 15 Remblai ferroviaire
- Étude de diagnostic géotechnique mission G5 – Digue de protection contre les crues de la Durance – Tranche 3 raccordement au remblai RFF sur la commune de Lauris – Dossier Géolithe n°22-0489_I_4 Ind.0 du 22/06/2022
- Étude géotechnique de conception mission G2AVP – Digue de protection contre les crues de la Durance sur la commune de Villelaure – Dossier Géolithe n°20-529_I_1 Ind.A du 29/01/2021

Documents de contexte :

- Cartes géologiques du BRGM
- Site INFOTERRE du BRGM

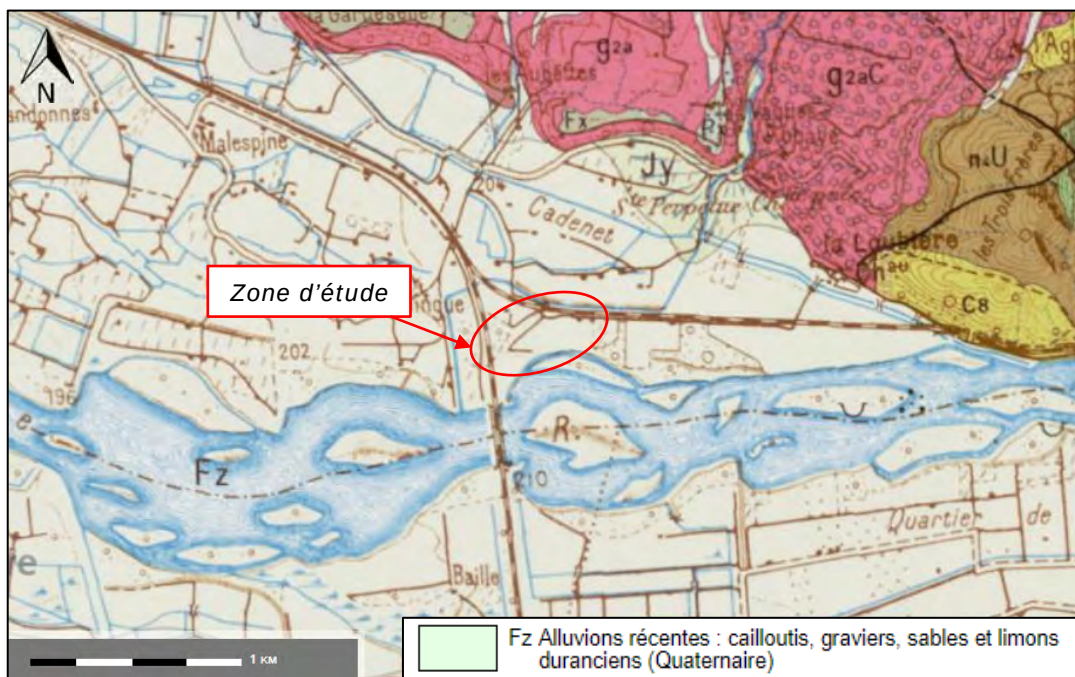
Contexte réglementaire :

- Recommandations pour la justification de la stabilité des barrages et des digues en remblais – CFBR, octobre 2015
- Recommandations "risque sismique et sécurité des ouvrages hydrauliques - rapport à la demande du MEDDE-DGPR version d'octobre 2014
- Kenney T.C. & Lau D. (1985). - Internal stability of granular filters, Canadian Geotechnical Journal et Kenney T.C. & Lau D. (1986). - Internal stability of granular filters: reply, Canadian Geotechnical Journal
- Skempton A.W., Brogan J.M. - Experiments on piping in sandy gravels. Geotechnique, n° 3, p. 440-460, 1994
- Risque sismique et sécurité des ouvrages hydrauliques" – rapport MEDDE/DGPR d'octobre 2014
- Guide international sur les digues – The International Levee Handbook (2013) version française, 2019 (ISBN 978-2-37180-403-6)
- Décret n° 2015-526 du 12 mai 2015 relatif aux règles applicables aux ouvrages construits ou aménagés en vue de prévenir les inondations et aux règles de sûreté des ouvrages hydrauliques
- Article D. 563-8-1 du code de l'environnement, 1^{er} 2011, Zonage sismique de la France

2 CONTEXTE DE SITE

2.1 CONTEXTE GÉOLOGIQUE

L'extrait de la carte géologique de la France, feuille n°995 de Pertuis, présente le contexte géologique du site.



Extrait de la carte géologique au 1/50 000ème, Feuille n°995 de Pertuis

Le site d'étude se trouve sur des alluvions récentes (**Fz**) de la Durance datant du quaternaire. Ils sont composés de cailloutis, de graviers, de sables et de limons duranciens.

2.2 CONTEXTE MORPHOLOGIQUE

L'ensemble du secteur étudié est situé au sein de la plaine alluviale de la Durance présentant une morphologie relativement homogène et subhorizontale.

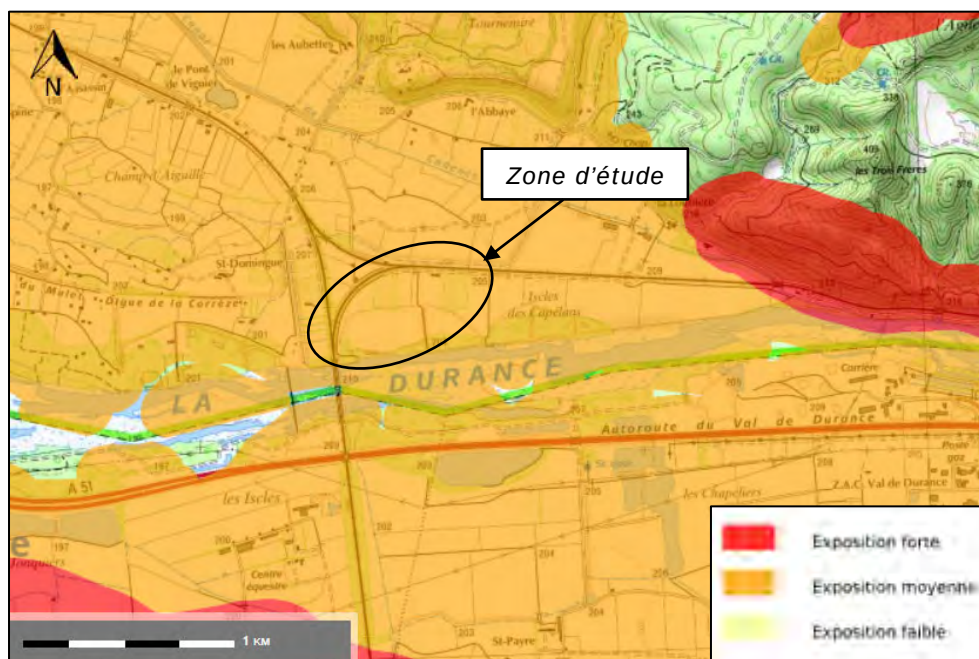
2.3 CONTEXTE VIS-À-VIS DES RISQUES NATURELS

2.3.1 Risque sismique

Conformément à l'article D563-8-1 du code de l'environnement relatif à la délimitation du zonage sismique du territoire français, la commune de Pertuis (84) est située en **zone de sismicité 4** (moyenne).

2.3.2 Aléa retrait gonflement des argiles

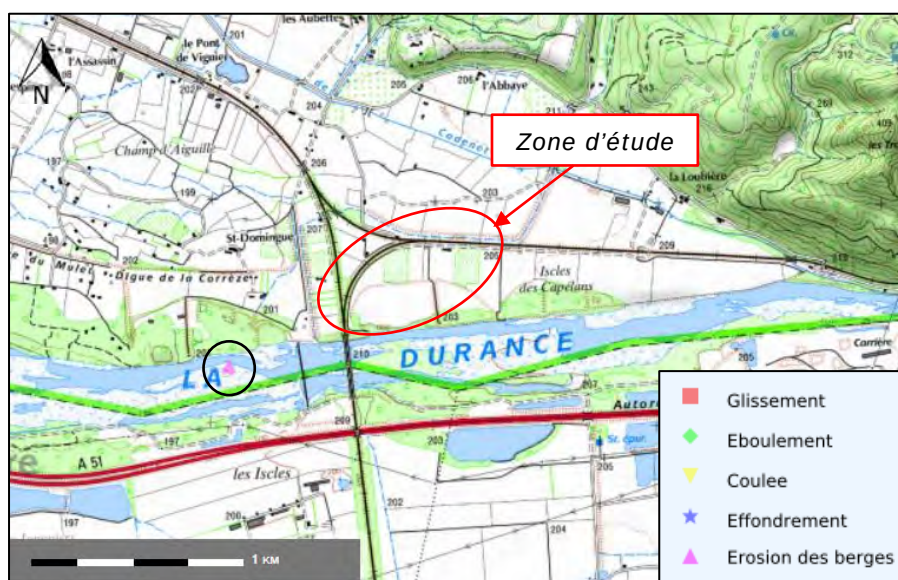
La zone d'étude est située en zone d'aléa moyen pour le retrait et gonflement des argiles.



Carte d'exposition au retrait gonflement des argiles (source : Infoterre)

2.3.3 Aléa mouvements de terrain

Un évènement a été recensé sur la commune de à proximité du site d'étude. Il s'agit d'une érosion de berge localisé à environ 550 m à l'Ouest de l'extrémité Sud de la zone d'étude et survenu dans les années 1950.



Mouvements de terrain – Pertuis (source : Infoterre)

2.3.4 Aléa inondation

La commune de Pertuis est soumise à un Plan de Prévention des Risques Naturels (PPRN) :

- Par une crue à débordement lent de cours d'eau, prescrit le 07/12/2018
- Par une crue torrentielle ou à montée rapide de cours d'eau, prescrit le 06/07/1999 et approuvé le 23/05/2001

La zone d'étude est située en zone d'interdiction stricte selon zonage réglementaire du PPRN Risque Inondation et en zone de crue de moyenne probabilité selon la carte des Territoires à Risque importants d'Inondations (TRI).

2.4 ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX ET RÉGLEMENTAIRES

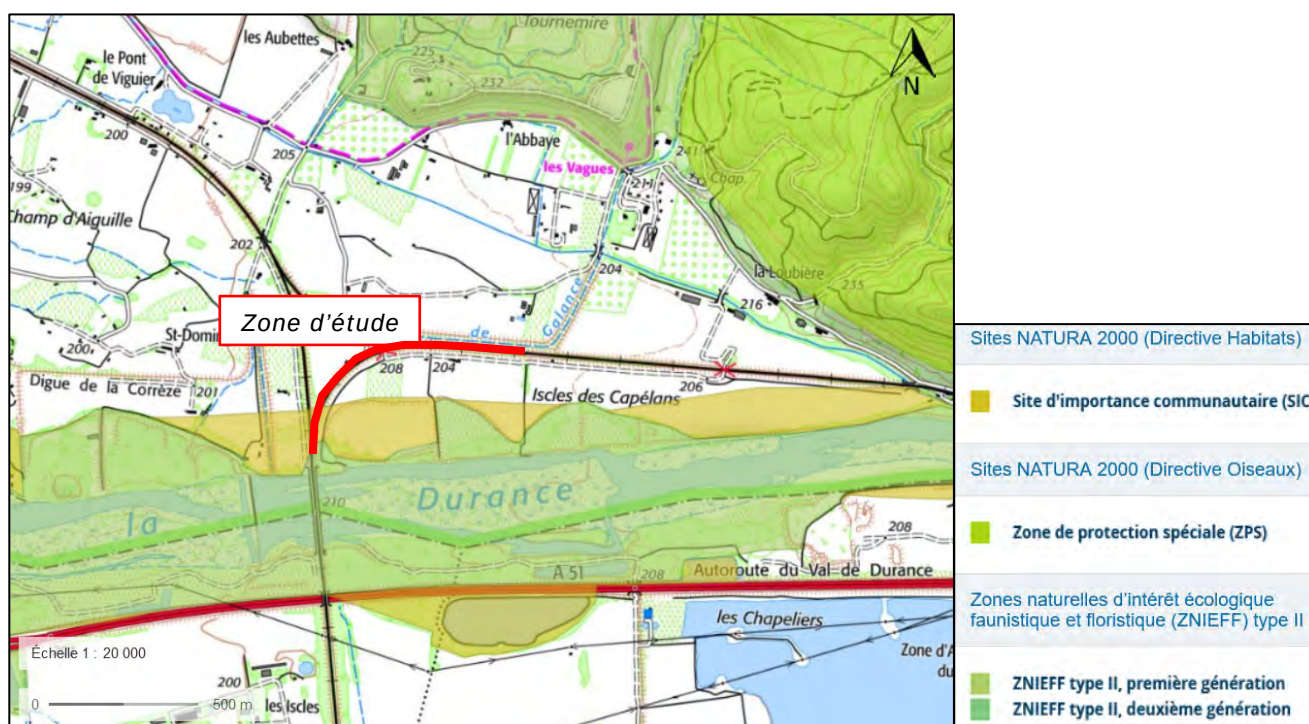
2.4.1 Environnement

L'ensemble de la zone d'étude se situe en zone de :

- Parc naturel régional du Lubéron
- Réserve de la biosphère : Lubéron Lure (zone de transition)

Une partie de la zone étudiée (partie Sud) est située en zone :

- Site Natura 2000 – Directive Habitats et Directive Oiseaux
- ZNIEFF type II



Cadre des espaces protégés (source : Infoterre)

2.4.2 Loi sur l'eau

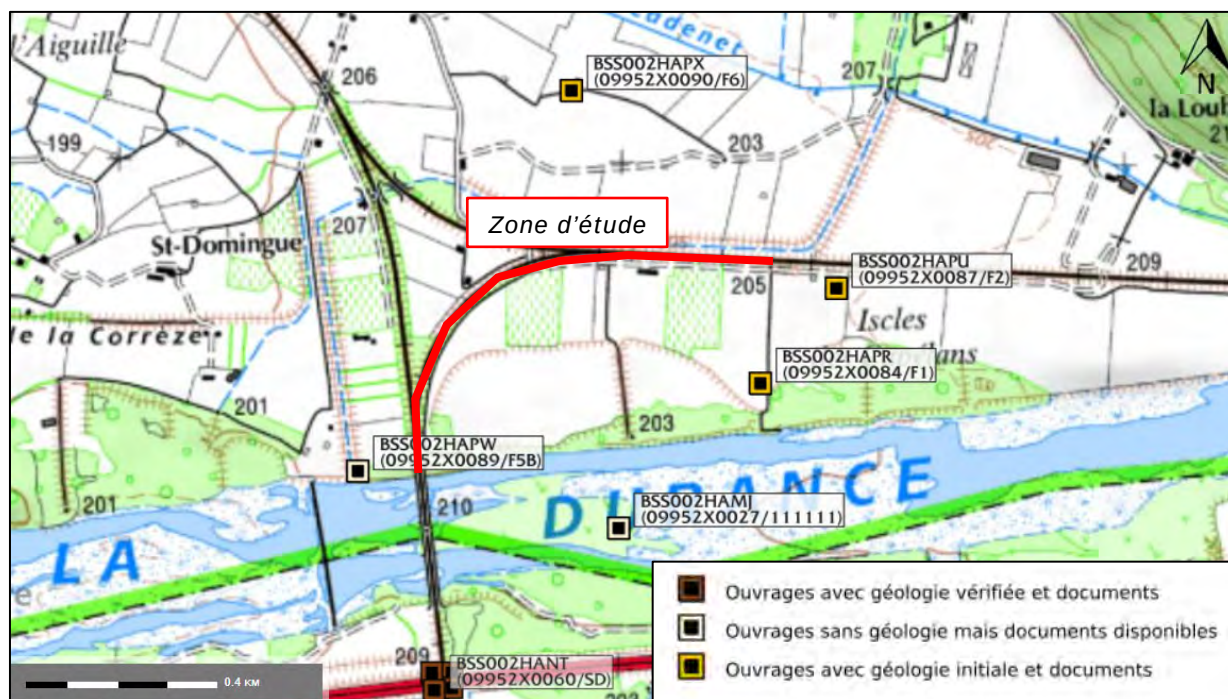
Conformément à l'article R214-1 du code de l'environnement, la Durance est soumise à la loi sur l'eau.

3 DONNEES GEOTECHNIQUES EXISTANTES

3.1 DONNÉES BSS

D'après la base de données du sous-sol du BRGM, plusieurs forages et sondages ont été réalisés à proximité de la zone d'étude.

Ils sont localisés sur la carte IGN présentée ci-dessus :



Localisation des sondages de la base de données du sous-sol réalisé à proximité de la zone d'étude sur extrait de carte IGN (source : Géoportail)

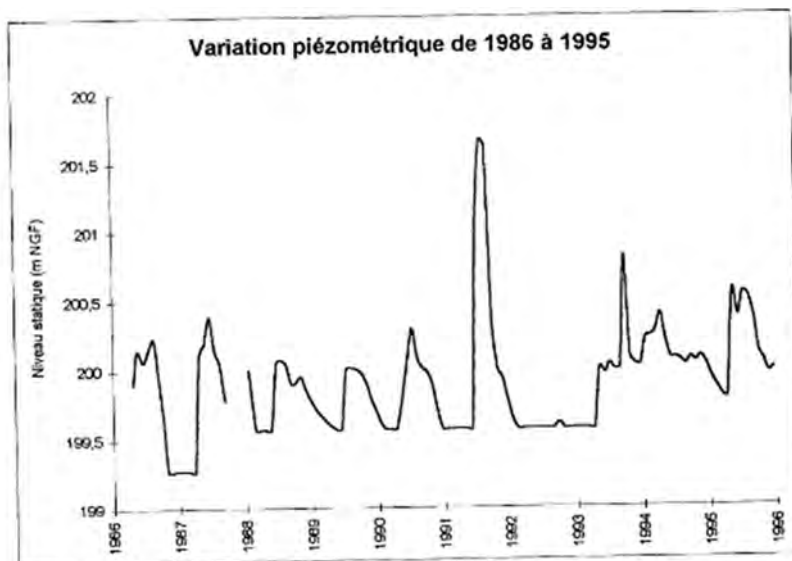
3.1.1.1 Ouvrages BSS002HAPU(09952X0087/F2)

Un forage de 8,0 m de profondeur a été réalisé en 1952 afin d'être utilisé comme piézomètre. Il est situé à environ 140 m à l'Est de l'extrémité Est de la zone d'étude.

Il a permis de mettre en évidence la lithologie suivante :

Altitude (m NGF)	Profondeur (m)	Lithologie	Formation géologique
203.93 à 202.85	0.0 à 1.1	Limon sableux	Alluvions récentes
202.85 à 195.93	1.1 à 8.0	Graviers et sable	

Un suivi piézométrique a également été réalisé entre 1986 et 1995, mettant en évidence des niveaux d'eau statiques compris entre 199.2 et 201.7 m NGF soit 4.7 à 2.2 m de profondeur.



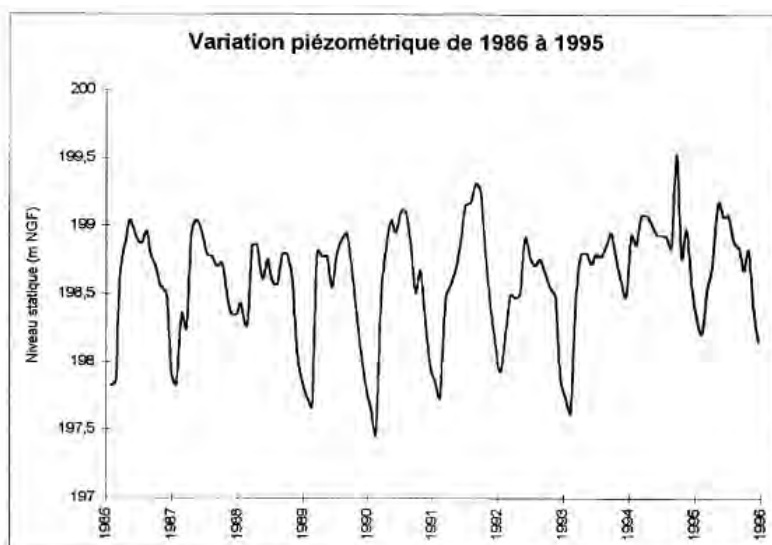
Variation piézométrique entre 1986 et 1995 – Piézomètre F2 (source : BRGM)

3.1.1.2 Ouvrages BSS002HAPR(09952X0084/F1)

Un forage de 8,0 m de profondeur a été réalisé en 1952 afin d'être utilisé comme piézomètre. Il est situé à environ 320 m au Nord de l'extrémité Est de la zone d'étude. Il a permis de mettre en évidence la lithologie suivante :

Altitude (m NGF)	Profondeur (m)	Lithologie	Formation géologique
203.38 à 201.08	0.0 à 2.3	Limon noir	Alluvions récentes
201.08 à 195.98	2.3 à 7.4	Graviers et sable	
195.98 à 195.38	7.4 à 8.0	Sable argileux jaune	

Un suivi piézométrique a également été réalisé entre 1986 et 1995, mettant en évidence des niveaux d'eau statiques compris entre 197.4 et 199.5 m NGF soit 6.0 à 3.9 m de profondeur.



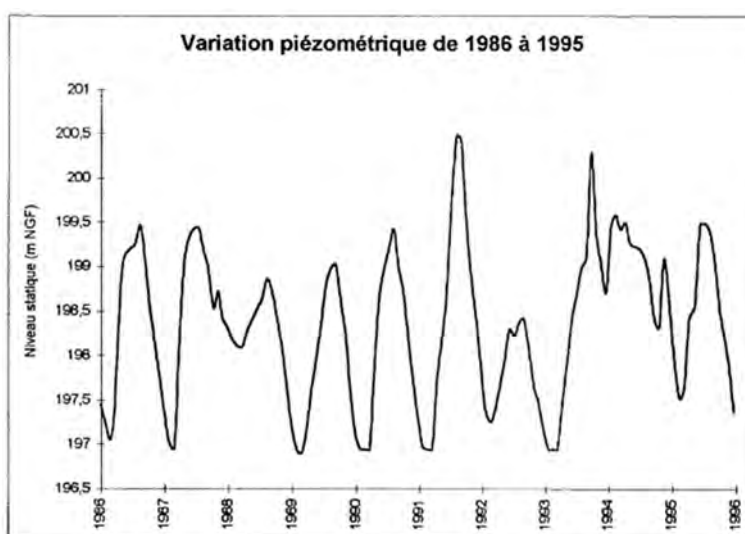
Variation piézométrique entre 1986 et 1995 – Piézomètre F1 (source : BRGM)

3.1.1.3 Ouvrages BSS002HAPX(09952X0090/F6)

Un forage de 8,0 m de profondeur a été réalisé en 1952 afin d'être utilisé comme piézomètre. Il est situé à environ 250 m au Sud de la zone d'étude.
Il a permis de mettre en évidence la lithologie suivante :

Altitude (m NGF)	Profondeur (m)	Lithologie	Formation géologique
202.59 à 200.49	0.0 à 2.1	Limon graveleux	Alluvions récentes
200.49 à 196.09	2.1 à 6.5	Graviers et sable	
196.09 à 195.89	6.5 à 6.7	Blocs de calcaire gris	Calcaire de la Trévaresse
195.89 à 194.59	6.7 à 8.0	Marne ocreuse	Stampien inférieur

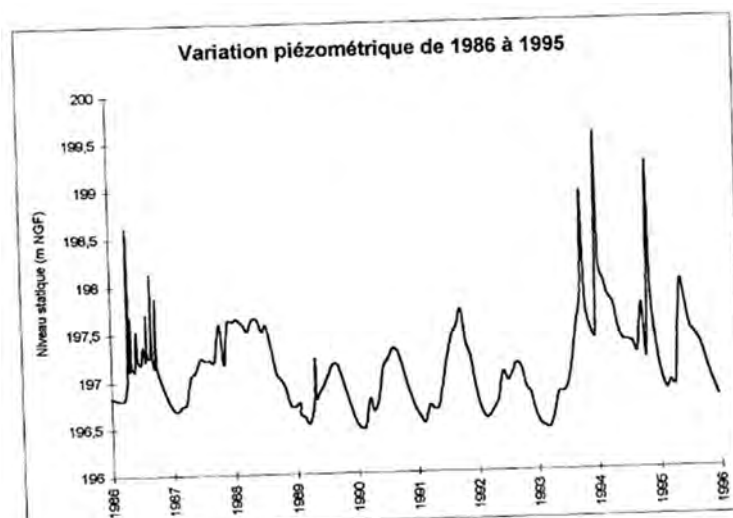
Un suivi piézométrique a également été réalisé entre 1986 et 1995, mettant en évidence des niveaux d'eau statiques compris entre 196.9 et 200.5 m NGF soit 5.7 à 2.1 m de profondeur.



Variation piézométrique entre 1986 et 1995 – Piézomètre F6 (source : BRGM)

3.1.1.4 Ouvrages BSS002HAPW(09952X0089/F5B)

Un forage de 9,0 m de profondeur a été réalisé en 1953 afin d'être utilisé comme piézomètre. Il est situé à environ 110 m à l'Ouest de l'extrémité Sud de la zone d'étude.
Un suivi piézométrique a été réalisé entre 1986 et 1995, mettant en évidence des niveaux d'eau statiques compris entre 196.4 et 199.5 m NGF soit 5.8 à 2.7 m de profondeur.



Variation piézométrique entre 1986 et 1995 – Piézomètre F5b (source : BRGM)

3.1.1.5 Ouvrages BSS002HAMJ(09952X0027/111111)

Une excavation à ciel ouvert de 4,5 m de profondeur a été réalisée en 1973 afin d'être utilisée pour l'exploitation du gravier-sableux. Elle a été réalisée à environ 420 m à l'Est de l'extrémité Sud de la zone d'étude au niveau du lit de la Durance.

Elle a permis de mettre en évidence la lithologie suivante :

Profondeur (m)	Lithologie	Formation géologique
0.0 à 0.5	Terre limon	Alluvions récentes
0.5 à 4.5	Galet-sable	

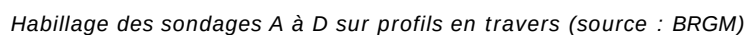
3.1.1.6 Ouvrages BSS002HANS(09952X0059/SC)

Quatre sondages pressiométriques de 15,0 m de profondeur ont été réalisés en 1976. Ils ont été réalisés à environ 420 m au Sud de l'extrémité Sud de la zone d'étude en rive gauche de la Durance de part et d'autre du prolongement du remblai de la ligne SNCF.

Ces sondages ont permis de mettre en évidence la lithologie suivante :

Sondage	A		B		C		D	
Lithologie	Alti. (m NGF)	Prof. (m)	Alti. (m NGF)	Prof. (m)	Alti. (m NGF)	Prof. (m)	Alti. (m NGF)	Prof. (m)
Terre végétale et limon	-	-	-	-	-	-	200.98 à 198.18	0.0 à 2.8
Sable et graviers	203.14 à 194.34	0.0 à 8.8	203.48 à 194.08	0.0 à 9.4	201.38 à 194.68	0.0 à 6.7	198.18 à 193.98	2.8 à 7.0
Marne jaune	194.34 à 193.94	8.8 à 9.2	194.08 à 193.68	9.4 à 9.8	194.68 à 194.58	6.7 à 6.8	-	-
Marne grise	193.94 à 188.14	9.2 à 15.0	193.68 à 188.48	9.8 à 15.0	194.58 à 186.38	6.8 à 15.0	193.98 à 185.98	7.0 à 15.0
Niveau d'eau	199.64	3.5	199.88	3.6	198.18	3.2	197.38	3.6

Les profils en travers avec habillage des sondages et l'implantation des sondages issues de la base de données du BRGM sont présentées ci-dessous :



La synthèse des valeurs pressiométriques de l'ensemble des 4 sondages est donnée dans le tableau suivant.

Lithologie	Valeur	Module pressiométrique E_m (MPa)	Pression limite p_l^* (MPa)
Sable et graviers	Min	1	0.3
	Max	60	3.6
	Moy⁽¹⁾	8	1.7
Marne grise	Min	50	≥ 3.2
	Max	183	≥ 3.7
	Moy⁽¹⁾	90	≥ 3.5

⁽¹⁾ Les valeurs moyennes du module pressiométrique sont calculées selon la moyenne harmonique et les valeurs moyennes de pression limite selon la moyenne géométrique.

3.2 DONNÉES DES ETUDES ANTÉRIEURES

Aucun sondage géotechnique permettant de caractériser les paramètres géomécaniques des remblais ferroviaires compactés composant le corps de digue n'a été réalisé dans le cadre de cette étude. Il est donc retenu, à la demande du SMAVD, pour la perméabilité du corps de la digue étudiée la perméabilité du corps de remblais RFF utilisés pour l'étude de diagnostic géotechnique mission G5 – Digue de protection contre les crues de la Durance – Tranche 3 raccordement au remblai RFF sur la commune de Lauris – Dossier Géolithe n°22-0489_I_4 Ind.0 du 22/06/2022.

La valeur utilité est donnée ci-dessous :

Horizon	Perméabilité k (m.s ⁻¹)
Corps de remblai ferroviaire	5.10^{-5}

3.3 SYNTHESE

La BSS et les études antérieures font ressortir les lithologies de sols suivantes :

- Des matériaux fins de type limon en surface sur une épaisseur de l'ordre de 2 m,
- Puis des sables et graviers jusqu'à environ 8 m de profondeur,
- Des matériaux plus compétents de type marne vers 8 m de profondeur.

Les niveaux d'eau mesurés entre 1986 et 1995 ont été situés entre 196,4 et 201,7 m NGF avec un niveau moyen à environ 199 m NGF.

4 RECONNAISSANCES GÉOTECHNIQUES

Les objectifs de la campagne de reconnaissances géotechniques sont les suivants :

- Caractériser les terrains en place (nature selon GTR, perméabilité, résistance au cisaillement, portance),
- Vérifier l'homogénéité des terrains en place sur le linéaire de digue,
- Établir un profil en long géotechnique.

Pour cela la campagne de reconnaissances comprend :

- Un sondage à la pelle,
- Un essai de perméabilité,
- Des essais en laboratoire.

4.1 SYNTHÈSE DU PROGRAMME PROPOSÉ ET RÉALISÉ

La synthèse du programme de reconnaissances géotechniques réalisées est présentée ci-dessous :

Type de sondage	Nombre	Nom	Profondeur	Objectif
Sondage à la pelle	1	PM11	2,7 m/TN	Identification précise des terrains Prélèvements d'échantillons
Essais de perméabilité de type Porchet	2	PM11	0,8 m	Mesure de la perméabilité des terrains dans les sondages à la pelle
		PM11b	0,8 m	
Essais en laboratoire	-	-	-	Identification et caractérisation des terrains ▪ Mesures de teneur en eau ▪ Mesures de VBS ▪ Mesure de granulométrie par tamisage ▪ Mesure de granulométrie par sédimentométrie

4.2 RÉSULTATS DES RECONNAISSANCES ET ESSAIS

4.2.1 Sondages à la pelle

Le sondage à la pelle a été réalisés par Fondasol le 28 novembre 2022. Les résultats obtenus sont synthétisés ci-après.

4.2.1.1 Sondage à la pelle PM11

Le sondage à la pelle été réalisé en pied côté rivière de la digue RFF et a mis en évidence :

- 0,0 à 0,2 m : Limon, terre végétale marron
- 0,2 à 0,7 m : Limon sableux gris marron
- 0,7 à 2,7 m : Sable limoneux gris clair

Aucun niveau d'eau n'a été relevé le jour des reconnaissances au droit du sondages à la pelle PM11.



Photographies du sondage à la pelle PM11

4.2.2 Essais de perméabilité in situ

4.2.2.1 Essais de type Porchet

Les essais de perméabilité de type Porchet ont été réalisés dans le sondage à la pelle PM11. Les résultats suivants ont été obtenus :

Essai	Sondage	Profondeur de l'essai	Lithologie	Perméabilité
P11	PM11	0,8 m	Limons sableux	$1,6 \cdot 10^{-5}$ m/s
P11b	PM11	0,8 m	Limons sableux	$2,0 \cdot 10^{-5}$ m/s

4.2.3 Essais en laboratoire

Les essais en laboratoire sont réalisés sur des échantillons issus du sondage à la pelle PM11.

Le tableau suivant présente les résultats des essais en laboratoire :

Sondage	PM11
prof. (m)	0,7 à 2,7
Nature	Limons sableux
Classe GTR	A1
W_n (%)	8,7
D_{max} (mm)	30
< 50 mm (%)	100
< 2 mm (%)	99,2
< 80 μ m (%)	81,3
VSB	1,62

5 HYPOTHÈSES GÉNÉRALES DE CALCUL

5.1 DONNÉES DE CALCUL

5.1.1 *Caractéristiques géotechniques*

Il est retenu pour les modélisations les caractéristiques de sol suivantes :

Horizon	γ (kN/m ³)	ϕ' (°)	c' (kPa)	Perméabilité k (m/s)
Corps de digue : remblai ferroviaire	19	35	6	5.10^{-5}
Limons de surface	19	27	2	1.10^{-5}
Sables et graviers	20	35	0	1.10^{-3}

Les caractéristiques géomécaniques sont issues :

- Un sondage à la pelle, des essais de perméabilité et des essais de laboratoire pour les limons de surface,
- Du retour d'expérience sur ces types de sols rencontrés et de la BBS pour les limons de surface et les sables et graviers,
- D'une rétro-analyse réalisée à l'aide du logiciel de calcul Talren présentée dans le paragraphe suivant pour le corps de remblai ferroviaire.

Il est rappelé ici que seuls les limons de surface ont fait l'objet de sondage à la pelle et essais de perméabilité et de classification GTR.

5.1.2 *Rétro-analyse*

Il s'agit à l'aide du logiciel Talren d'analyser la stabilité initiale du site en faisant varier les caractéristiques géomécaniques. Cette analyse permet d'ajuster les caractéristiques géomécaniques issues de l'analyse des données existantes, selon le contexte géomorphologique du site.

Pour cette analyse, aucun coefficient de pondération n'est pris en compte. Il est considéré :

- $F < 1,0$: niveau de sécurité insuffisant / instabilité-glissement
- $1,0 \leq F < 1,1$: niveau de sécurité très faible
- $1,1 \leq F < 1,3$: niveau de sécurité faible à moyen
- $1,3 \leq F < 1,5$: niveau de sécurité suffisant
- $1,5 < F$: niveau de sécurité satisfaisant

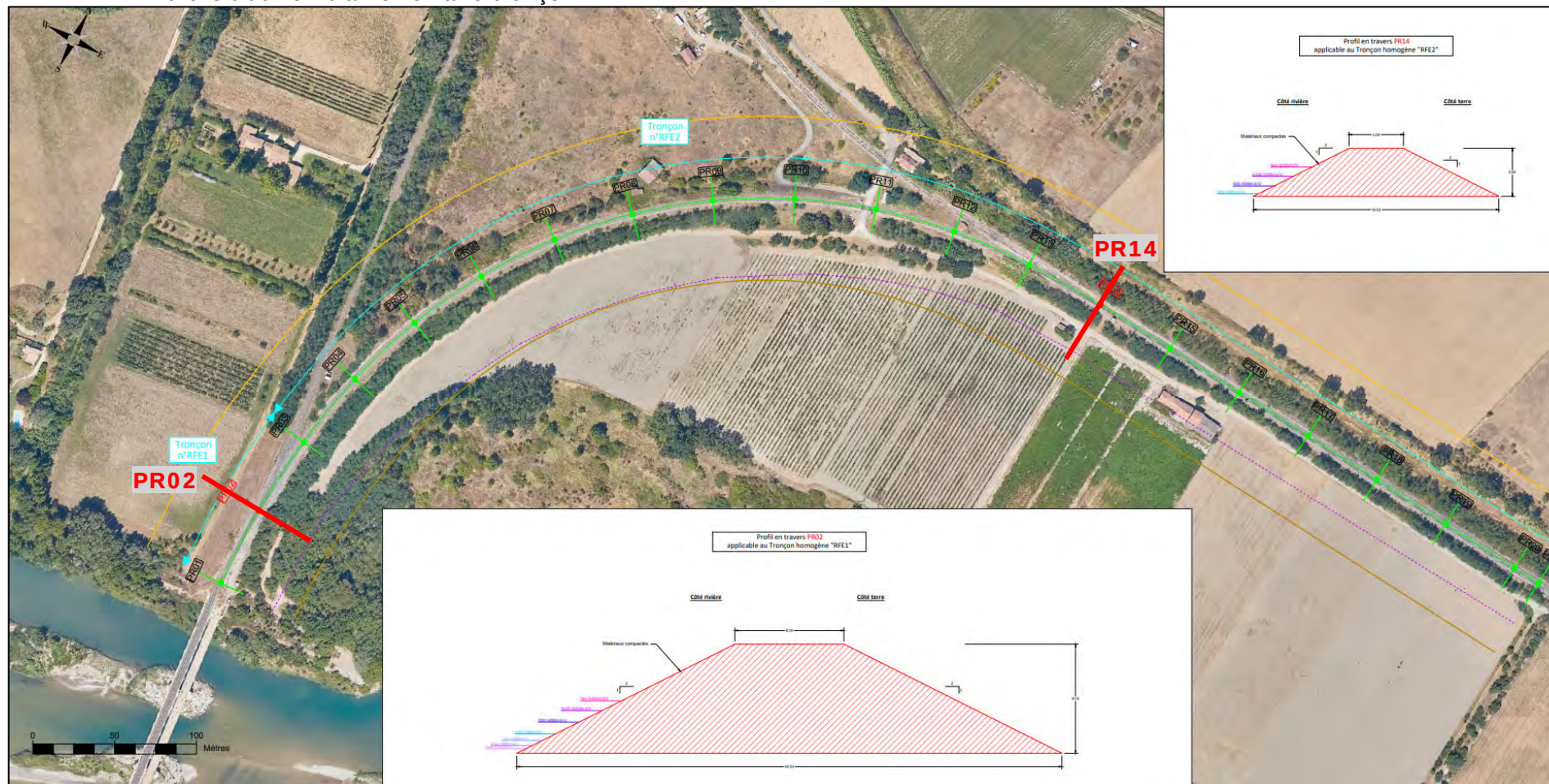
À ce jour, sur le profil étudié, il n'est pas constaté de signe de désordre ou d'instabilité. Il est alors recherché pour chacun des profils une coefficient de sécurité $F > 1,5$ correspondant à un niveau de sécurité satisfaisant à l'état « normal » pour les talus les plus haut et/ou raides.

Sur PR14, côté terre, on obtient $F = 1,57$.

5.1.3 Configuration d'ouvrage et profils de calcul

L'analyse des différentes configurations présentées dans le projet est réalisée sur la base des profils en travers types fournis par le SMAVD. Les profils suivants ont été étudiés pour cette étude de diagnostic :

- PR14 : Au droit du remblai ferroviaire tronçon RFE2



Implantation des profils étudiés PR14 et PR02

Il est pris en compte les notations suivantes :

- Q_{100} = crue centennale (crue rare) – débit = 5000 m³/s
- Q_{ex} = crue exceptionnelle – débit = 6500 m³/s
- Talus côté rivière = talus côté Durance
- Talus côté terre = talus côté Plaine

Les cotes de référence (données SMAVD) sont données ci-après :

Profil type	H _{max} digue (m)	Z pied digue terre / Durance (m NGF)	Z crête de digue (m NGF)	Z nappe NNE (m NGF)	Z Q_{100} (m NGF)	Z Q_{ex} (m NGF)
PR02	8.8	201.66 / 200.87	209.67	199.00	204.79	205.51
PR14	4.4	202.60 / 203.39	207.01	199.00	204.97	205.64

5.1.4 Surcharge

Une surcharge de 52 kPa a été prise en compte au droit de la voie SCNF répartie sur une largeur de 3 m afin de modéliser le trafic ferroviaire. Cette surcharge est appliquée dans toutes les situations sauf en cas sismique.

5.1.5 Sismicité

Le calcul de stabilité de talus en situation sismique est réalisé par la méthode pseudo-statique sous Talren. D'après le zonage sismique de la France, la zone d'étude est située en zone de sismicité 4 (moyenne).

En l'absence de mesure du paramètre $V_{s,30}$, il est considéré un sol de **classe B** conformément à l'Eurocode 8 : *Dépôts raides de sable, de gravier ou d'argile sur-consolidée, d'au moins plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur, caractérisés par une augmentation progressive des propriétés mécanique avec la profondeur.*

Il est considéré un ouvrage de **classe B** (population protégée comprise entre 3 000 et 30 000 personnes). **La classe d'ouvrage est à valider par le MOE.**

Les paramètres pris en compte pour les vérifications aux séismes sont résumés ci-dessous :

Paramètre	Référence	Valeur
Zone de sismicité	Code de l'environnement art. D 563-8-1	4
Classe d'ouvrage	Code de l'environnement article R 214-113	B
Accélération horizontale de calcul : a_{gh} (m ² /s)	Tableau 7.5.2.1 des recommandations du MEDDL-DGPR	1,2
Classe de sol	Tableau 3.1 Eurocode 8 : NF EN 1998-1	B
Coefficient S	Tableau 3.2 Eurocode 8 : NF EN 1998-1	1,35
Coefficient k_h (Talren5) : $k_h = 2/3 a_{gh}/g \cdot S$	§6.2 des recommandations du MEDDL-DGPR	0,110

NB : La prise en compte d'une accélération verticale est en général un raffinement qui ne modifie pas le diagnostic (Sarma, 1975 et Matsumoto, 2010).

5.2 MÉTHODE DE CALCUL

Les notations suivantes seront utilisées :

- Q_{100} : niveau de crue rare (5000 m³/s)
 Q_{ex} : niveau de crue exceptionnelle
 NNE : niveau normal des eaux
 TN : niveau « terrain naturel » pied de digue

Les situations de calcul sont les suivantes :

1 : Talus côté terre

1.1 : Niveau NNE sans gradient hydraulique

- 1.1.1 : Situation normale d'exploitation
- 1.1.2 : Situation accidentelle de séisme

1.2 : Situation de crue rare

- 1.2.1 : Écoulement **transitoire** avec $h_{amont} = Q_{100}$; prise en compte du régime transitoire* pour les calculs de stabilité

1.3 : Situation de crue exceptionnelle

- (Écoulement transitoire avec $h_{amont} = Q_{ex}$; prise en compte du régime transitoire* pour les calculs de stabilité)

Les situations de décrue sur le talus côté terre ne sont pas calculées car elles ne sont pas défavorables.

2 : Talus côté rivière (côté Durance - pas de calcul hydraulique interne)

2.1 : Niveau NNE sans gradient hydraulique

- 2.1.1 : Situation normale d'exploitation
- 2.1.2 : Situation accidentelle de séisme

2.2 : Situation de décrue rare

- 2.2.2 : Régime transitoire** avec h_{amont} variable de Q_{100} au TN

2.3 : Situation de décrue exceptionnelle

- (Écoulement transitoire** avec h_{amont} variable de Q_{ex} au TN)

Les situations de crue sur le talus côté rivière ne sont pas calculées car elles ne sont pas défavorables.

* : dans les calculs de stabilité de talus, le régime transitoire de crue est défini par :

- la montée du niveau d'eau depuis le niveau TN (côté Durance) en 12h
- le plateau de crue sur une durée de 24h
- le niveau NNE de la nappe à une distance de l'ordre de 50m du pied de digue.

** : dans les calculs de stabilité de talus, le régime transitoire de décrue est défini par une décrue de référence retour au niveau TN (côté Durance) sur 12h, situation réaliste mais néanmoins défavorable compte-tenu du temps de décrue court. La situation défavorable étant celle où la ligne d'eau revient au niveau T.N., il est nécessaire de caler le temps de décrue simulé sur les données topographiques. Les durées de simulation pour les décrues sont les suivantes :

Profil type	Z pied de digue côté Eau (m)	Z pied de digue côté Terre (m)	Crue	Z Nappe (m)	Z crue (m)	Delta Crue / Décrue au TNeau (m)	Durée Crue / décrue (h)
PR14	203,4	202,6	Q_{100}	200,6	205,0	+/- 1,6	Q : 12h+24h DQ : 12h
	203,4	202,6	Q_{ex}	200,6	205,6	+/- 2,2	Q : 12h+24h DQ : 12h

5.2.1 Modélisation des écoulements internes aux ouvrages

5.2.1.1 Méthode de calculs

Les écoulements au sein des ouvrages sont modélisés au moyen du logiciel de calcul aux éléments finis PLAXIS. Le module de calcul PlaxFlow est utilisé pour la modélisation des écoulements transitoires et permanents au cours de la crue de référence et de la décrue associée.

5.2.1.2 Conditions aux limites hydrauliques

Les conditions aux limites sont définies en hauteurs d'eau. La hauteur d'eau côté Durance est définie soit :

- Par le niveau de crue du côté rivière (Durance),
- Par la saturation au niveau NNE+1.6 m sur du côté terre du modèle.

La hauteur d'eau côté terre est définie par la saturation au niveau NNE+1.6 m à plus de 50m du pied de digue en phase de crue.

5.2.2 Calculs de stabilité

5.2.2.1 Méthode de calcul

Les calculs de stabilité générale sont réalisés sous le logiciel de calcul TALREN par la méthode de Bishop. Les cercles de peau ne sont pas pris en compte.

Les calculs sont réalisés aux ELU en prenant en compte des coefficients partiels sur les actions et résistances. Conformément aux recommandations du CFBR pour la vérification de la stabilité des barrages et des digues en remblai, les coefficients partiels associés à ces situations de calculs sont les suivants :

Situation	Coef. partiel γ_m sur φ' et c'	Coef. partiel γ_m sur le poids volumique	Coef. partiel γ_q sur la surcharge	Coef. partiel γ_d de modèle
Normale d'exploitation	1,25	1	1,3	1,2
Rare (Q_{100})	1,2	1	1	1,2
Exceptionnelle (Q_{ex})	1,1	1	1	1,2
Extrême et de séisme	1	1	-	1,1

La stabilité est assurée pour un coefficient de sécurité $F_{min} \geq 1,0$.

À noter que les sorties graphiques présentent des artéfacts avec des lignes d'eau non linéaires. Toutefois, les valeurs des pressions interstitielles prises en compte dans les calculs sont issues d'un maillage fin. La représentation graphique de la ligne d'eau n'est pas représentative des pressions interstitielles prises en compte dans les calculs et n'a pas d'influence sur les résultats des calculs.

5.2.3 Vérification des digues et des sols d'assise sous rupture hydraulique

La vérification de ces états limites est réalisée directement à partir des résultats extraits de Plaxis.

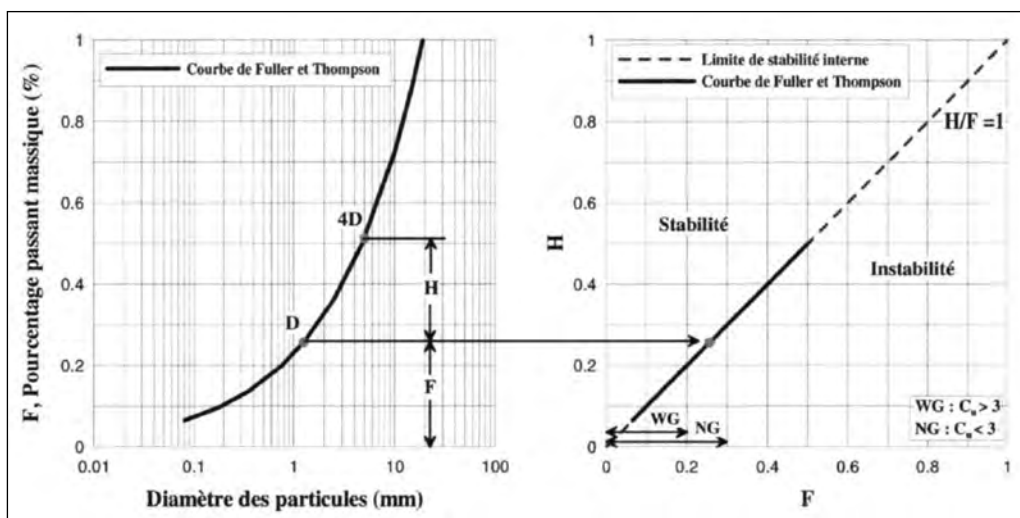
5.2.3.1 État limite ultime de rupture par érosion interne

La rupture par érosion interne est produite par le transport de particules de sol à l'intérieur d'une couche de sol, à l'interface entre deux couches ou à l'interface du sol et d'une structure. Ce processus peut mener à l'instabilité de la digue.

5.2.3.2 Susceptibilité à la suffusion

Nous proposons d'évaluer la susceptibilité à la suffusion par le critère de Kenney et Lau (1985) qui combine la granulométrie du sol considéré et des règles de filtration.

Il s'agit de vérifier si les particules fines du sol peuvent passer ou non entre les particules les plus grossières. Cette approche, illustrée par la figure suivante, établit une courbe de forme (H ; F) indépendante de la taille des grains et uniquement fonction de l'allure de la courbe granulométrique des matériaux.



Critère de Kenney et Lau (1985, 1986)

Avec :

F : pourcentage en masse des particules ayant un diamètre inférieur à D

H : pourcentage en masse des particules ayant un diamètre compris entre D et 4D

Si, dans le repère (F ; H), la granulométrie des matériaux se trouve sous un seuil donné par $H/F = 1$ sur une partie de sa fraction fine correspondant à $F < 0,2$ pour une granulométrie étalée ($C_u > 3$) ou $F < 0,3$ pour un sol moins étalé ($C_u < 3$), alors ces matériaux seront instables sous écoulement. D'autre part, les fractions $F < 0,2$ ou $0,3$ correspondent à la quantité maximale de particules libres qui est susceptible d'être érodée.

5.2.3.3 Détermination du gradient hydraulique critique

Selon Terzaghi, il existe un gradient hydraulique critique pour les écoulements ascendants, appelé gradient de Terzaghi ou boullance.

$$i_{cr \text{ Terzaghi}} = (1 - n) \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1 \right)$$

Avec :

n : la porosité

γ_s : poids volumique des grains (kN/m^3)

γ_w : poids volumique de l'eau (kN/m^3)

Les essais de Skempton et Brogan (1994) sur les sols pulvérulents sollicités par un écoulement ascendant montrent que la rupture d'un sol stable selon le critère de Kenney, se fait par une valeur de gradient égale à celle du gradient critique de boullance défini par Terzaghi.

Par contre, pour les sols potentiellement instables, le gradient de rupture est beaucoup moins important que le gradient de boullance. Pour ces sols, Blais (2003) propose une relation simple entre gradient hydraulique critique et le rapport H/F de Kenney et Lau :

$$i_{cr} = 0,5 \times H/F$$

Application au projet :

- Pour le remblai ferroviaire :

Aucun essai de laboratoire (ni sondage) n'a été réalisé pour caractériser le corps de digue composé de remblai ferroviaire. La susceptibilité à la suffusion pourra donc seulement être estimée sommairement sur la base d'extrapolation d'analyses réalisées sur des sols limoneux. En l'occurrence, la susceptibilité à la suffusion ne peut être écartée dans ces remblais.

En reprenant des analyses réalisées sur les sols limoneux à Villelaure (Dossier 20-529-I-1-A du 29/01/2021) et à Lauris (Dossier 21-169-I-2-B du 14/02/2022), le gradient critique de Kenney et Lau varie selon l'échantillon de sol généralement entre 0,2 et 0,6. On retiendra donc les paliers suivants :

Gradient calculé	Aléa de suffusion
$i_{cr} \leq 0,2$	Faible
$0,2 \leq i_{cr} \leq 0,6$	Moyen
$i_{cr} \geq 0,6$	Fort

- Pour les limons de surface :

Les matériaux limoneux de surface identifiés en laboratoire dans le cadre de la présente étude ont une courbe granulométrique conduisant au diagramme suivant :

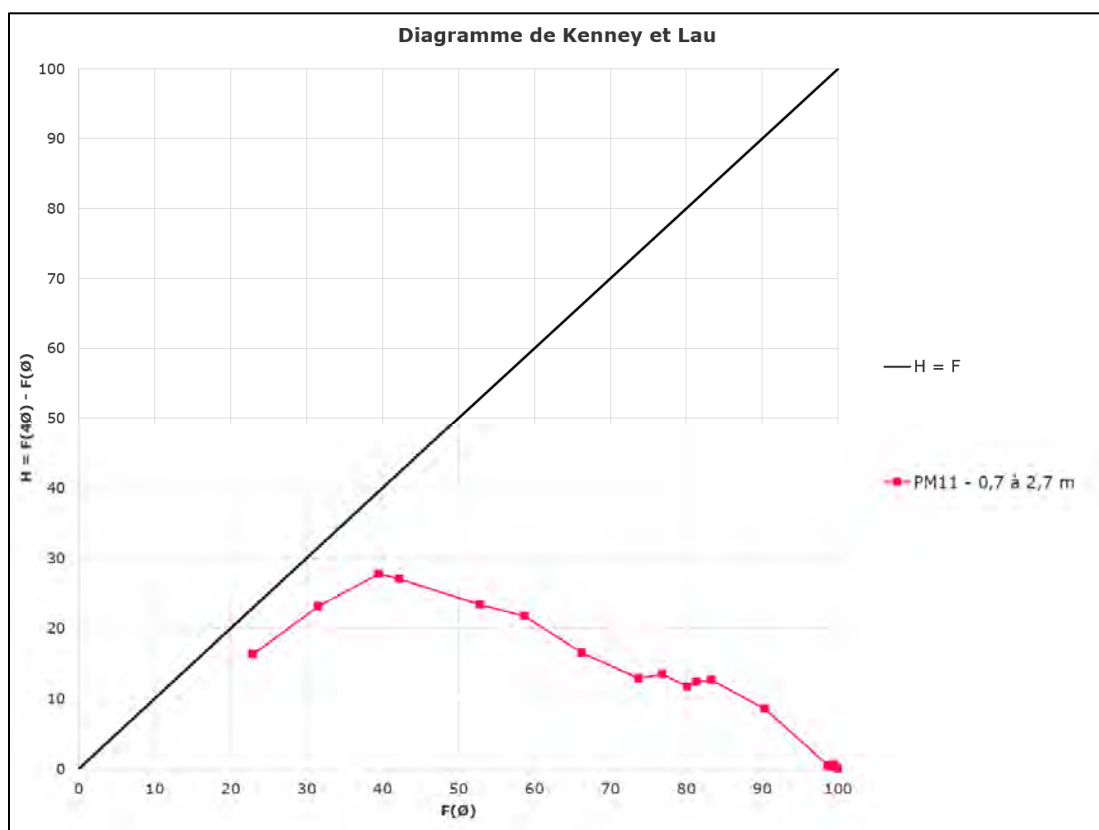


Diagramme de Kenney et Lau

L'échantillon prélevé présente un $C_u > 3$. La fraction des fines à prendre en compte en fonction de la valeur de C_u correspond donc à $F < 0,2$.

Selon le diagramme présenté ci-dessus, aucune valeur de la granulométrie se trouve dans la zone $F < 0,2$. **Le risque de suffusion est donc écarté dans les limons sableux de surface.**

5.2.3.4 État limite ultime de rupture par annulation des contraintes effectives verticales (boulance)

Il existe un gradient hydraulique critique pour les écoulements ascendants, appelé gradient de Terzaghi ou boulance :

$$i_{\text{critique, Terzaghi}} = (1 - n) * \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1 \right)$$

Avec :

n : la porosité

γ_s : poids volumique des grains (kN/m³)

γ_w : poids volumique de l'eau (kN/m³)

Si $\gamma_s = 26,5$ kN/m³ (poids volumique moyen des grains) et $0,28 < n < 0,52$ (valeurs extrêmes moyennes de porosité), le gradient de boulance est compris entre 0,8 et 1,2 m/m. Il y a donc un risque de boulance pour un gradient hydraulique lié aux écoulements ascendants compris entre 0,8 et 1,2 m/m.

5.2.3.5 État limite ultimes de rupture par soulèvement du pied de digue aval

En présence d'une couche imperméable (type argile, limon argileux ou argile limoneuse) au niveau de l'assise de l'ouvrage, il convient de vérifier qu'à la base de la couche imperméable superficielle, la contrainte effective verticale due au poids des terres soit supérieure à la contrainte verticale ascendante dû à la pression interstitielle sous la couche.

Le coefficient de sécurité est calculé de la manière suivante : $F = \frac{\gamma_m * \sigma_v}{\gamma_u * u}$

Avec u : la pression interstitielle sous la couche, et σ_v : la contrainte verticale due au poids des terres.

La stabilité est assurée pour un coefficient de sécurité $F \geq 1,0$.

Les coefficients partiels appliqués sont les suivants :

Situation	Coef. partiel γ_m Sur la contrainte verticale σ_v	Coef. partiel γ_u Sur la pression interstitielle u
Rare (5000 / 4000 m³ / s)	0,9	1,2
Exceptionnelle	0,9	1,2
Extrême (séisme)	1	1,1

Dans le contexte présent, les limons de surface seront considérés comme suffisamment perméable pour considérer le risque de soulèvement comme nul.

5.2.3.6 Vérification de la susceptibilité à la liquéfaction

Selon la norme NF P06-013 Règles PS92, présentent un risque de liquéfaction les sols suivants présentant les caractéristiques données ci-après :

Pour les sables, sables limoneux et limons

- Degré de saturation S_r voisin de 100%
- Granulométrie assez uniforme correspondant à un coefficient d'uniformité $C_u < 15$
- Diamètre à 50% (D_{50}) compris entre 0,05 mm et 1,5 mm

Pour les sols argileux

- D_{15} supérieur à 0,005 mm
- $W_L < 35$ %
- Teneur en eau W supérieure à $0,9 * W_L$
- Point représentatif sur le diagramme de plasticité se situant au-dessus de la droite « A » dudit diagramme

Les sols pouvant être considérés comme exempt de risque sont :

- Les sols dont la granulométrie présente un D_{10} supérieur à 2 mm
- Ceux dans lesquels on a simultanément $D_{70} < 74 \mu\text{m}$ et $I_p > 10 \%$

Application au projet :

Le tableau de synthèses de l'analyse de la susceptibilité de matériaux à la liquéfaction est présenté ci-dessous :

Sondage	Prof. (m)	Nature	Classe GTR	Sols assimilés à des sables et limons		
				S_r (%)	$C_u < 15$	$0,05 < D_{50} < 1,5$
PM11	0,7 à 2,7	Limon sableux	A1	8,7	113	0,012 mm

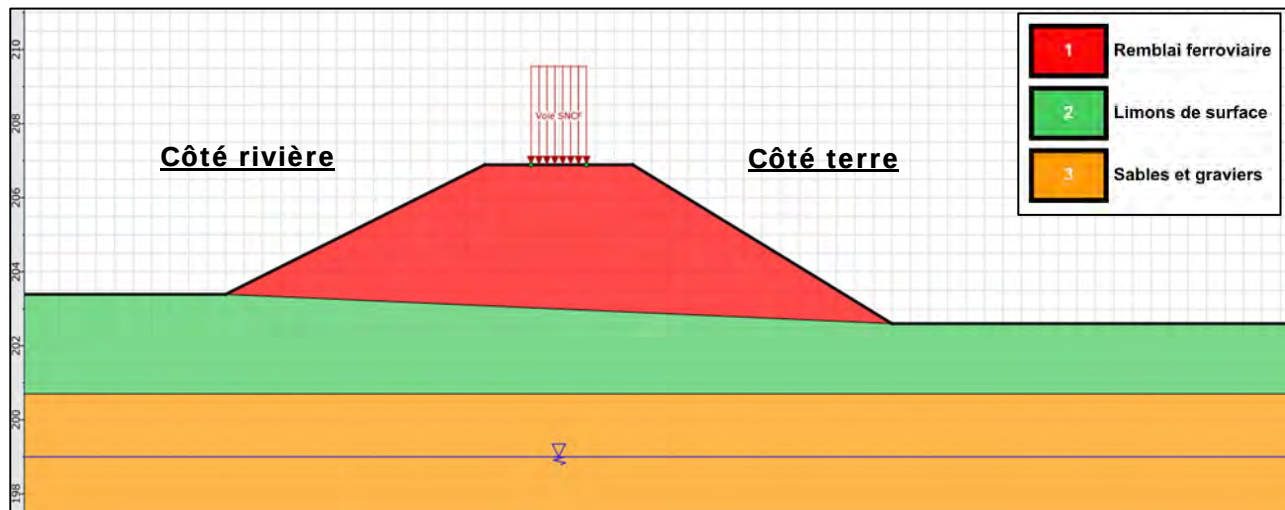
Les limons sableux présents en pied de digue côté rivière ne sont pas susceptibles à la liquéfaction.

6 RÉSULTATS DES CALCULS

6.1 SECTEUR RFE2 – PROFIL PR14

6.1.1 *Modèle de calcul*

Le modèle de calcul du profil PR14 est le suivant :



Profil de calcul PR14 en situation initiale

6.1.2 *Vérification des ruptures d'origine hydraulique*

6.1.2.1 *Suffusion*

Les vérifications sont effectuées en pied de digue pour la situation de crue rare (Q_{100}) et exceptionnelle (Q_{ex}). Ces situations de crue (en régime transitoire) n'engendrent pas de saturation de la digue.

Il n'y a pas de résurgence pour les durées de crue présentées (12+24h de crue + 12h de décrue). Il n'y a pas de risque d'érosion interne du remblai de digue.

6.1.3 *Vérification de la stabilité globale des talus*

Les résultats de calculs de stabilité sous TALREN sont synthétisés ci-dessous :

	Talus côté terre	Talus côté rivière
Situation normale d'exploitation	F = 1,00	F = 1,15
Situation extrême de séisme	F = 1,31	F = 1,53
Situation de crue rare (Q_{100})	F = 1,00	-
Situation de décrue après crue rare (Q_{100})	-	F = 1,22
Situation de crue exceptionnelle (Q_{ex})	F = 1,02	-
Situation de décrue après crue exceptionnelle (Q_{ex})	-	F = 1,32

La stabilité des talus côté terre et côté rivière est garantie pour toutes les situations.

7 SYNTHÈSE DES RESULTATS DE CALCULS, AVIS SUR LA STABILITE DE LA DIGUE, PISTE D'AMELIORATION ET ALEAS

7.1 SYNTHÈSE DES RÉSULTATS

Les résultats des calculs menés pour un profil étudié sont résumés dans le tableau suivant :

PR14 - Secteur RFE2	Exploitation normale	Séisme	Q100 / DQ100	Qex / DQex
Suffusion	-	-	OK	OK
Boulance	-	-	OK	OK
Soulèvement du pied aval	-	-	OK	OK
Stabilité - Talus côté terre (plaine)	OK	OK	OK	OK
Stabilité - Talus côté rivière (Durance)	OK	OK	OK	OK

7.2 AVIS SUR LA STABILITÉ DE LA DIGUE

Suivant les modélisations effectuées, la stabilité de la digue semble satisfaisante :

- En phase d'exploitation normale,
- Sous séisme
- Pour les crues Q100 et Qec étudiées sur des durées de 12+24h en crue + 12h de décrue.

À noter que l'ensemble de l'étude a été mené sans reconnaissance des sols composant le corps de digue (remblai ferroviaire) et repose sur une approche bibliographique en prenant en compte une estimation de la nature et épaisseur des couches de sols notamment sur les remblais ferroviaires et sols d'assise.

Les caractéristiques de sols (frottement, cohésion, perméabilité...) sont également estimées pour établir ce diagnostic de la stabilité du remblai ferroviaire. Seuls les limons sableux de surface ont fait l'objet d'essai de perméabilité et classification GTR.

7.3 ÉTUDES GÉOTECHNIQUES COMPLÉMENTAIRES ET ALÉAS

Cette étude est une première approche de diagnostic géotechnique donnant une estimation de la stabilité de la digue du remblai ferroviaire intégrant le système d'endiguement de Pertuis.

Cette étude ne peut constituer l'aboutissement des missions d'études géotechniques.

Les terrains de nature alluvionnaires présentent des caractéristiques variables en profondeur et en plan (lentilles), du fait de leur formation, notamment en termes de perméabilités pour lesquelles les reconnaissances DIAG restent partielles et perfectibles.

De même des incertitudes demeurent sur la nature et les caractéristiques du remblai.

Les solutions envisageables pour le traitement des instabilités devront faire l'objet d'études géotechniques de conception phase AVP, PRO puis d'exécution (mission G2 AVP-PRO et G3 selon NF P 94-500). Des reconnaissances complémentaires pourraient être nécessaire à cet égard.

Elles consisteront notamment en l'élaboration de profils de calculs au droit des ouvrages projetés afin de vérifier la stabilité mécanique des digues sous sollicitations hydrauliques, ainsi que d'analyser les potentiels risques liés aux phénomènes d'érosion interne.

ANNEXES



ANNEXE N°1

Extrait de classification des missions géotechniques,
NF P 94 500

4.2.4 Tableaux synthétiques

Tableau 1 — 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	Étude géotechnique préalable (G1) Phase Principes Généraux de Construction (PGC)		Première adaptation des futurs ouvrages aux spécificités du site	Première identification des risques pour les futurs ouvrages	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
Étape 2 : Étude géotechnique de conception (G2)	APD/AVP	Étude géotechnique de conception (G2) Phase Avant-projet (AVP)		Définition et comparaison des solutions envisageables pour le projet	Mesures préventives pour la réduction des risques identifiés, mesures correctives pour les risques résiduels avec détection au plus tôt de leur survenance	Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	PRO	Étude géotechnique de conception (G2) Phase Projet (PRO)		Conception et justifications du projet		Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	DCE/ACT	Étude géotechnique de conception (G2) Phase DCE / ACT		Consultation sur le projet de base / Choix de l'entreprise et mise au point du contrat de travaux		
Étape 3 : Études géotechniques de réalisation (G3/G4)		À la charge de l'entreprise	À la charge du maître d'ouvrage			
	EXE/VISA	Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase 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'exécution (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

Tableau 2 — Classification des missions d'ingénierie géotechnique

L'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étapes 1 à 3) doit suivre les étapes de conception et de réalisation de tout projet pour contribuer à la maîtrise des risques géotechniques. Le maître d'ouvrage ou son mandataire doit faire réaliser successivement chacune de ces missions par une ingénierie géotechnique. Chaque mission s'appuie sur des données géotechniques adaptées issues d'investigations géotechniques appropriées.
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 : <u>Phase Étude de Site (ES)</u> Elle est réalisée en amont d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS pour une première identification des risques géotechniques d'un site. — Faire une enquête documentaire sur le cadre géotechnique du site et l'existence d'avoisinants avec visite du site et des alentours. — Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats. — Fournir un rapport donnant pour le site étudié un modèle géologique préliminaire, les principales caractéristiques géotechniques et une première identification des risques géotechniques majeurs. <u>Phase Principes Généraux de Construction (PGC)</u> 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 : <u>Phase Avant-projet (AVP)</u> Elle est réalisée au stade de l'avant-projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées. — Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats. — Fournir un rapport donnant les hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade de l'avant-projet, les principes de construction envisageables (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dallages et voiries, améliorations de sols, dispositions générales vis-à-vis des nappes et des avoisinants), une ébauche dimensionnelle par type d'ouvrage géotechnique et la pertinence d'application de la méthode observationnelle pour une meilleure maîtrise des risques géotechniques. <u>Phase Projet (PRO)</u> Elle est réalisée au stade du projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées suffisamment représentatives pour le site. — Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats. — Fournir un dossier de synthèse des hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade du projet (valeurs caractéristiques des paramètres géotechniques en particulier), des notes techniques donnant les choix constructifs des ouvrages géotechniques (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dallages et voiries, améliorations de sols, dispositions vis-à-vis des nappes et des avoisinants), des notes de calcul de dimensionnement, un avis sur les valeurs seuils et une approche des quantités. <u>Phase DCE / ACT</u> 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.

Tableau 2 — Classification des missions d'ingénierie géotechnique (suite)**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.

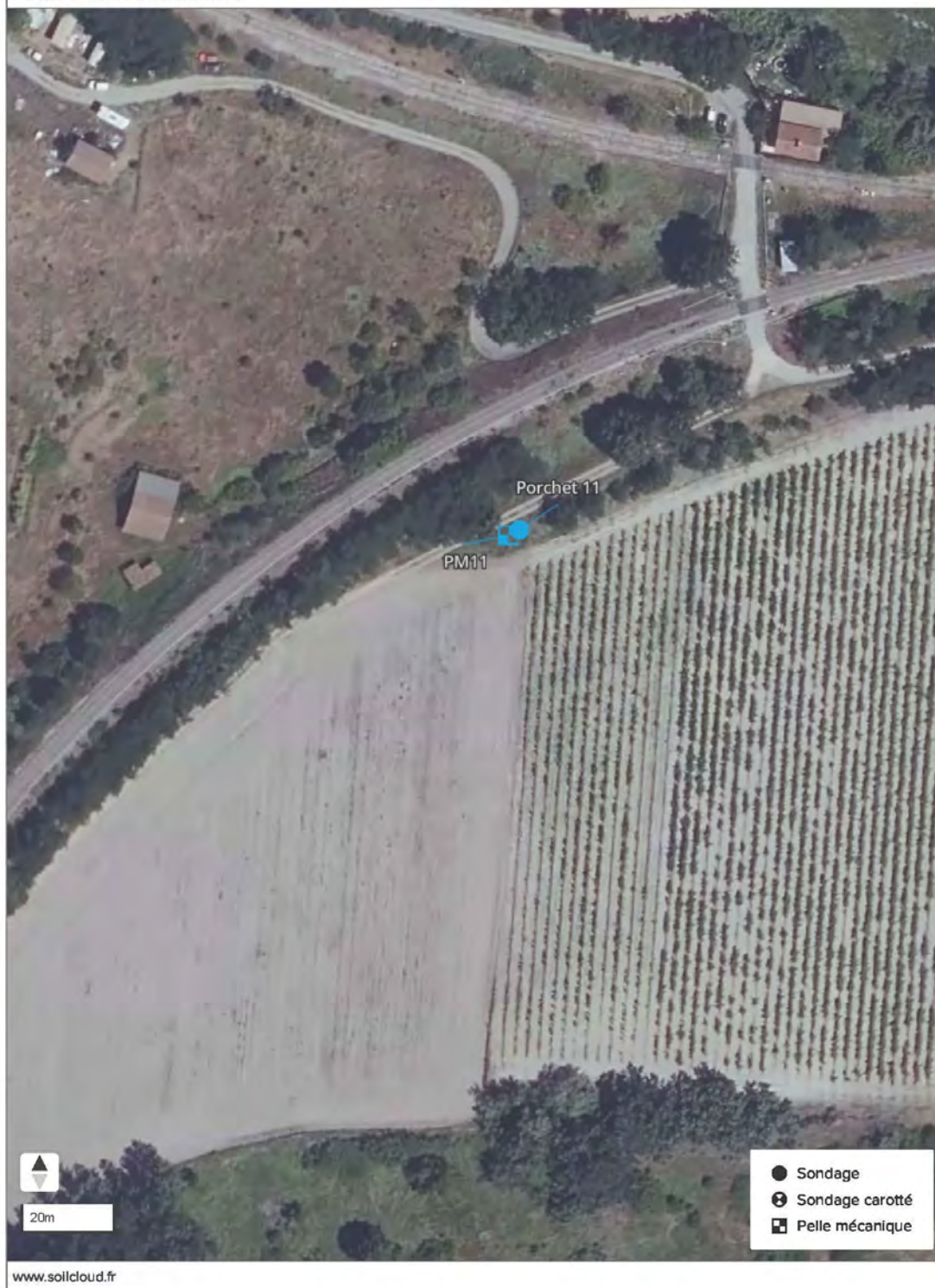
- Définir, après enquête documentaire, un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Étudier un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques (par exemple soutènement, causes géotechniques d'un désordre) dans le cadre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



ANNEXE N°2

Résultats des investigations géotechniques et analyses en laboratoire

PLAN D'IMPLANTATION



5. SONDAGES A LA PELLE MECANIQUE

fondasol		PERTUIS - SMAVD				(N° Projet: PR.84GT.22.0167)	
PM11	Longitude	Latitude	Système de coordonnées		Précision des relevés		Niveau d'eau
	5,546001064	43,665300669	WGS 84		Non renseigné		☒ Néant ☐ Non mesuré
	Elévation	Prof. atteinte	Angle	Nivellement	Précision des nivellements		☐ En cours de forage
	Non renseigné	2,7 m	0,0°	Non renseigné	Non renseigné		☐ Stabilisé ☐ Non stabilisé ☐ Sec
Début		Fin		Machine		Opérateur	
28/11/2022		Non renseigné		T. PELLE		P. CASAPIERI	
Prof.	Lithologie	Description					
0		Limon, terre végétale marron 0,2 m					
		Limon sableux gris marron 0,7 m					
1		Sable limoneux gris clair					
2		2,7 m					



7. ESSAIS PROCHET



Porchet_Charge_Constante v3.1

COMPTE RENDU D'ESSAI PORCHET A CHARGE CONSTANTE

Circulaire 20/08/1994 assainissement autonome
des bâtiments d'habitation - FTQ 233-122

AFFAIRE N° : PR.84GT.22.0167

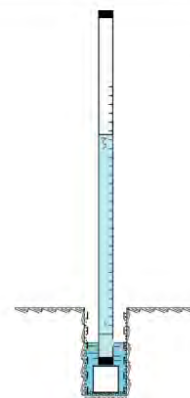
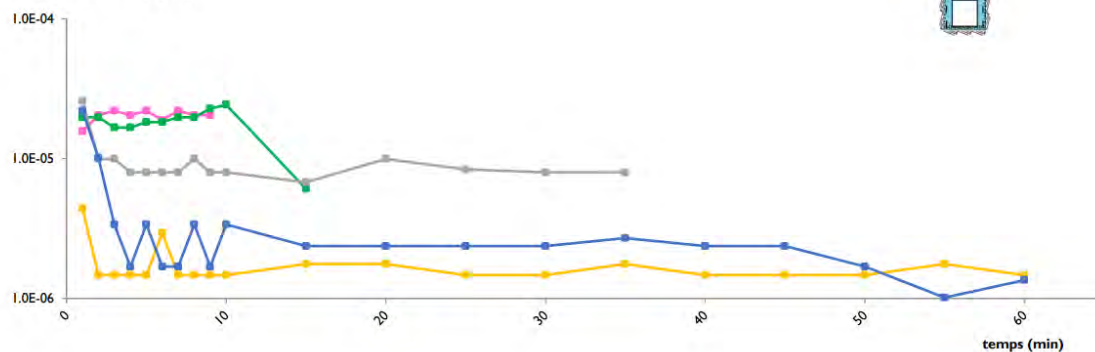
CHANTIER : SMAVD PERTUIS

OPERATEUR : CASAPIERI P.

RESULTATS DES ESSAIS

ESSAI	PERMEABILITE :	
PM11	1.6E-05 m/s	57 mm/h
PM11b	2.0E-05 m/s	71 mm/h
PM41	2.6E-05 m/s	93 mm/h
PM51	4.4E-06 m/s	16 mm/h
PM72	2.2E-05 m/s	79 mm/h

Perméabilité instantanée (m/s)



PM11
PM11b
PM41
PM51
PM72

IDENTIFICATION D'UN SOL EN LABORATOIRE

Nom de l'affaire :	SMAVD PERTUIS		
N° d'affaire :	84GT.22.0167	Laboratoire :	AVIGNON

Quantité de matériau Normalisée: non

Sondage : PM11 **Date de prélèvement :** 28/11/2022

Profondeur (m) : 0.70 à 2.70 **Date de réception :** 16/12/2022

Cote (m) : à **Mode de prélèvement :** Pelle mécanique

Profondeur moyenne : 1.70 m

Nature matériau : argile limoneuse grise **Étuve (°C)**

x	
105°C	50°C

TENEUR EN EAU PONDÉRALE (NF P 94-050)	
Date de l'essai :	10/01/2023
Observations :	Résultat :
	Teneur en eau :
	w_n = 8.7 %

MASSE VOLUMIQUE DES SOLS FINS (NF P 94-053) - MÉTHODE D'IMMERSION DANS L'EAU	
Date de l'essai :	
Conditions :	Résultats :
Conditions de conservations :	ρ = t/m ³
Conditions de préparation :	Autres paramètres :
Température de la salle d'essai :	ρ_d = t/m ³
Observations :	γ = kN/m ³
	γ_d = kN/m ³

LIMITES D'ATTERBERG																
Limite de liquidité: Méthode du cône (NF P 94-052-1) et limite de plasticité (NF P 94-051)																
Limite de liquidité W_L:	Date de l'essai :															
<table border="1"> <tr><td>Mesure N°</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr> <tr><td>Enfoncement (mm)</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>w (%) (NF P 94-050)</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	Mesure N°	1	2	3	4	Enfoncement (mm)					w (%) (NF P 94-050)					
Mesure N°	1	2	3	4												
Enfoncement (mm)																
w (%) (NF P 94-050)																
Limite de plasticité W_p :	Résultats :															
<table border="1"> <tr><td>Mesure N°</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr> <tr><td>w (%) (NF P 94-050)</td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	Mesure N°	1	2	3	w (%) (NF P 94-050)				W_L = %							
Mesure N°	1	2	3													
w (%) (NF P 94-050)																
Observations :	W_p = %															
	I_p =															

ESSAI AU BLEU DE MÉTHYLÈNE (NF P 94-068)	
Date de l'essai :	19/01/2023
	Fraction 0/5mm dans la fraction
	Proportion : C = 99.35
Observations :	Résultat :
	Valeur de bleu du sol :
	VBS = 1.62

EQUIVALENT DE SABLE (NF EN 933-8+A1)	
Date de l'essai :	
Fraction testée :	fraction 0/2 mm f = %
Teneur en eau :	w = %
Observations :	Résultats :
	SE₁ = %
	SE₂ = %
	Equivalent de sable :
	SE(10) = %

COEFFICIENT DE FRIABILITÉ DES SABLES (NF P 18-576)	
Observations :	Résultat :
	F_s = %

**ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE PAR TAMISAGE À SEC
APRÈS LAVAGE ET SÉDIMENTATION**
(réalisé selon la norme NF EN ISO 17892-4)

Nom de l'affaire :

SMAVD PERTUIS

N° d'affaire :

84GT.22.0167

Laboratoire : AVIGNON

Quantité de matériau Normalisée:

non

Sondage : PM11

Date d'essai granulométrie :

13/01/2023

Profondeur (m) 0.70

à 2.70

Date d'essai sédimentométrie :

18/01/2023

Cote (m) :

à

Mode de prélèvement :

Pelle mécanique

Profondeur moyenne :

1.7

m

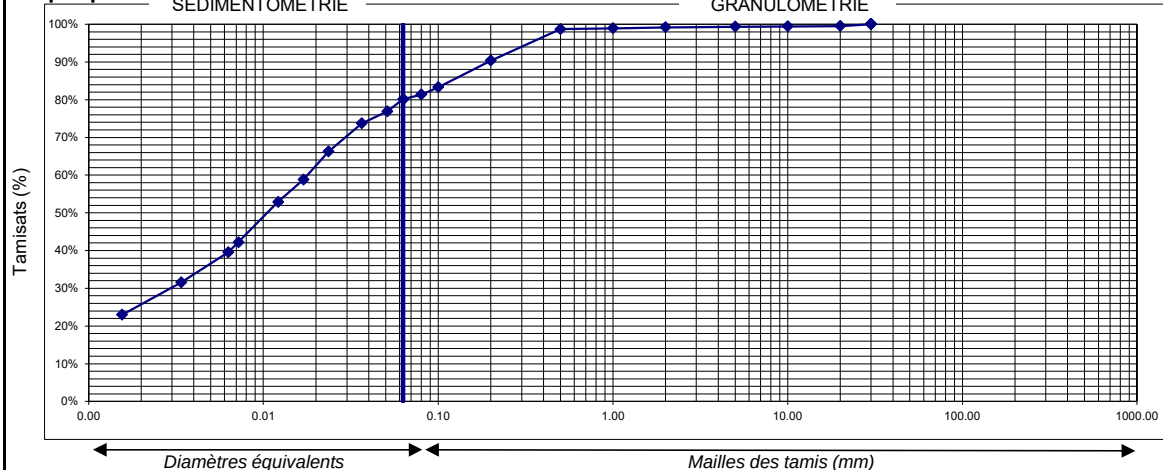
Date de réception :

16/12/2022

NATURE DU SOL TESTÉ ET CONDITION D'ESSAI :

Classification NF P 11-300 :	A1	Nature du sol selon Classification granulométrique	argile limoneuse
Nature du sol	argile limoneuse grise	Maille Maximum utilisée ou Diamètre maximum :	% estimé d'éléments > d _m
% de passant à :			Température d'étuvage : 105°C
50 mm : 100.00%	2 mm = 99.15%	2 µm = 25.76%	Plus gros élément
20 mm : 99.51%	80 µm = 81.32%		Dmax = 30 mm
5 mm = 99.35%	63 µm = 80.12%	dm = 31.5 mm	

Graphique :



Facteurs d'uniformité Cu : Impossible à déterminer Facteur de courbure Cc : Impossible à déterminer * calculé sur la fraction fine

DONNÉES GRANULOMÉTRIQUES (NF EN ISO 17892-4)

Résultats :

Mailles (X) mm	80	63.0	50	31.5	20	10	5	2	1	0.5	0.2	0.1	0.08	0.063
Passant %	100.00	100.00	100.00	100.00	99.51	99.40	99.35	99.15	98.94	98.70	90.36	83.31	81.32	80.12
Refus %					0.49	0.60	0.65	0.85	1.06	1.30	9.64	16.69	18.68	19.88

DONNÉES SÉDIMENTOMÉTRIQUES (NF EN ISO 17892-4)

Paramètres :

Densimètre :

h = 157.18 mm

V_h = 63.8 ml

N = 20.36 mm

Facteurs correcteurs :

C_m = -0.5

R'₀ = 1.60

Éprouvette : L = 303.76 mm

Masse volumique :

ρ_s = 2.687 Mg/m³

Conventionnelle X

Mesurée :

Résultats :

Temps (h:min:s)	Lecture R' _h	Température (°C)	η (mPa.s)	Lecture corrigée Rd	H _r (mm)	K _c (%)	ø équiv D (µm)
00:01:00	16.0	20.1	1.0	14.40	143.91	76.9%	51.16
00:02:00	15.4	20.1	1.0	13.80	146.23	73.7%	36.47
00:05:00	14.0	20.1	1.0	12.40	151.64	66.2%	23.49
00:10:00	12.6	20.1	1.0	11.00	157.06	58.7%	16.90
00:20:00	11.5	20.1	1.0	9.90	161.31	52.9%	12.11
01:00:00	9.5	19.6	1.0	7.90	169.04	42.2%	7.20
01:20:00	9.0	19.4	1.0	7.40	170.98	39.5%	6.29
04:50:00	7.5	19.0	1.0	5.90	176.78	31.5%	3.37
22:31:00	5.9	18.5	1.0	4.30	182.96	23.0%	1.55

Observations :

ANNEXE N°3

Résultats des modélisations numériques **RETRO-ANALYSE**

Données du projet

Numéro d'affaire : 22-0593

Titre du calcul : Digue de Pertuis - PR14 - Talus côté terre

Lieu : Pertuis

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 de sécurité spécifiques
1	Remblai ferroviaire		19,0	35,00	6,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
2	Limons de surface		19,0	27,00	2,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
3	Sables et graviers		20,0	35,00	0,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non

Couches de sol (cont.)

	Nom	Couleur	Γγ	Γc	Γtan(φ)	Type de cohésion	Courbe
1	Remblai ferroviaire		-	-	-	Effective	Linéaire
2	Limons de surface		-	-	-	Effective	Linéaire
3	Sables et graviers		-	-	-	Effective	Linéaire

Points

	X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y
0	-0,000	203,390	1	50,000	203,390	2	57,000	206,890	3	61,000	206,890	4	68,000	202,600	5	118,000	202,600
8	-0,000	200,700	9	118,000	200,700	10	43,500	203,390	12	43,500	200,700	14	74,900	202,600	15	74,900	200,700

Segments

	Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2
2	0	10	3	1	2	4	2	3	5	3	4	6	4	14	7	5	9	11	8	0
12	8	12	13	1	4	14	10	1	15	12	15	16	10	12	19	14	5	20	15	9
22	15	14																		

Surcharges réparties

	Nom	X gauche	Y gauche	q gauche	X droite	Y droite	q droite	Ang/horizontale
1	Voie SNCF	58,250	206,890	52,0	59,750	206,890	52,0	90,00



Talren v5
v5.2.10

Imprimé le : 23 févr. 2023 09:51:16
Calcul réalisé par : GEOLITHE
Projet : Digue de Pertuis - PR14 - Talus côté terre

Données de la phase 1

Nom de la phase : Initiale

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		Point 1	Point 2	Sol sous-jacent
2	0	10	Limons de surface	3	1	2	Remblai ferroviaire	4	2	3	Remblai ferroviaire
5	3	4	Remblai ferroviaire	6	4	14	Limons de surface	7	5	9	Limons de surface
11	8	0	Limons de surface	12	8	12	Sables et graviers	13	1	4	Limons de surface
14	10	1	Limons de surface	15	12	15	Sables et graviers	19	14	5	Limons de surface
20	15	9	Sables et graviers								

Liste des éléments activés

Surcharges réparties : Voie SNCF

Conditions hydrauliques : Nappe phréatique

Toit de la nappe

	X	Y	Angle		X	Y	Angle		X	Y	Angle		X	Y	Angle		X	Y	Angle
1	0,000	199,000	0,00	2	118,000	199,000	0,00												

Données de la situation 1

Nom de la phase : Initiale

Nom de la situation : Stabilité inverse

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : Unitaire

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}	1,000	$\Gamma_{c'}$	1,000	Γ_{cu}	1,000
Γ_Q	1,000	$\Gamma_{qsl,clou,ab}$	1,000	$\Gamma_{qsl,clou,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,tirant,ab}$	1,000	$\Gamma_{qsl,tirant,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,bande}$	1,000
Γ_{pl}	1,000	$\Gamma_{a,clou}$	1,000	$\Gamma_{a,tirant}$	1,000	$\Gamma_{a,bande}$	1,000	Γ_{buton}	1,000	Γ_{s3}	1,000

Type de surface de rupture : Circulaire automatique

Nombre de découpages : 10

Incrément sur le rayon : 0,200

Abscisse émergence limite aval : 61,000

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 68,000; Y= 202,600

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Non

Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 1,5719

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 1533; X0= 65,86; Y0= 210,56; R= 8,44

Sol n°	1	2	3
γ_w (kN/m ³)	19,00	19,00	20,00
φ (°)	35,00	27,00	35,00
c (kPa)	6,00	2,00	0,00
Δc (kPa/m)	0,00	0,00	0,00

Phase : Initiale / Situation : Stabilité inverse

120,97

2,07

1,57

Voie SNCF

1	Remblai ferroviaire
2	Limons de surface
3	Sables et graviers

Méthode de calcul : Bishop
 Jeu de coefficients de sécurité : Unitaire
Fmin = 1,5719

ANNEXE N°4

Résultats des modélisations numériques

ÉTAT ACTUEL

ANNEXE N°4.1

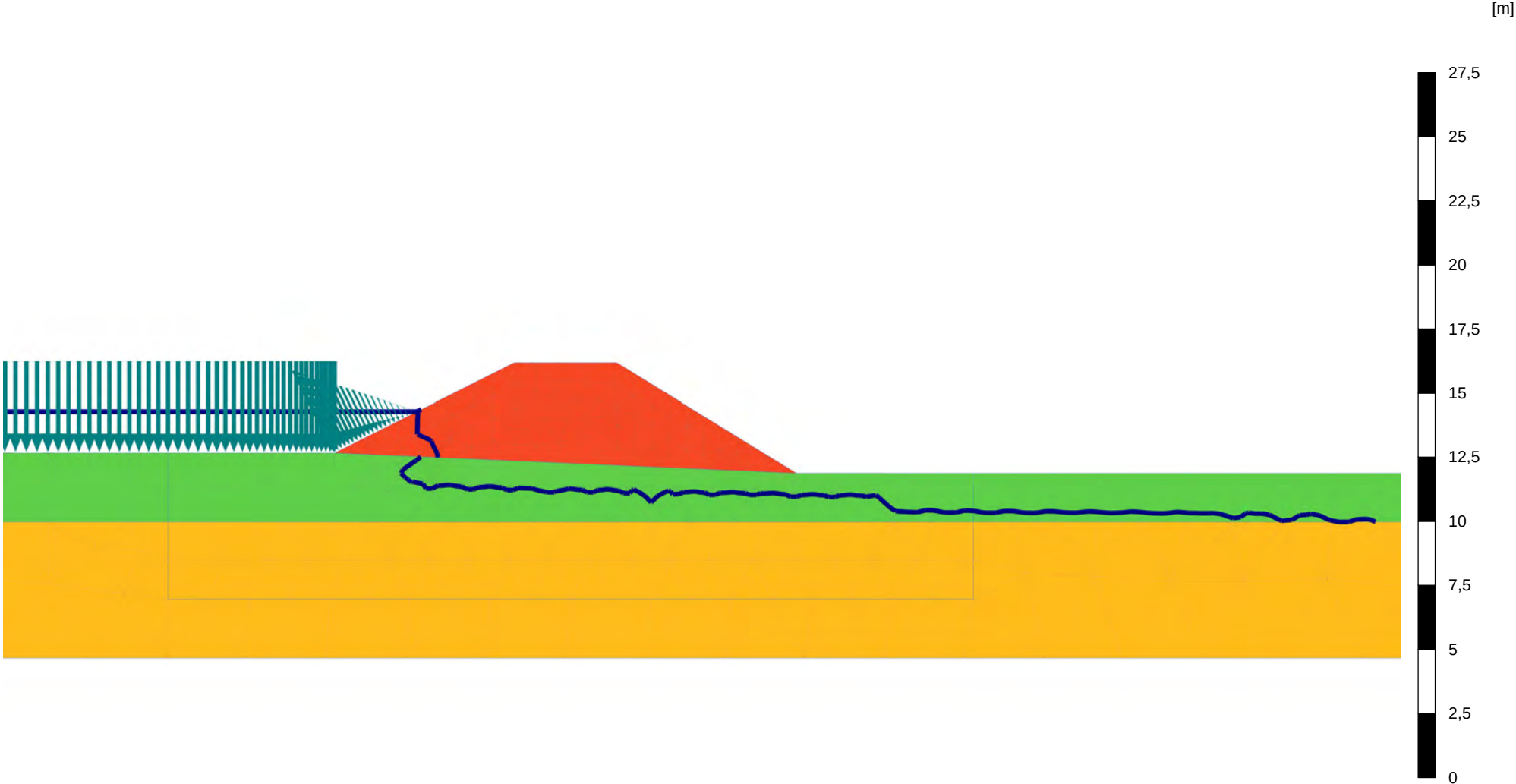
RESULTATS PLAXIS

Crue Q100

Décrue DQ100

Crue Qex

Décrue DQex



Deformed mesh |u| (at true scale)

Maximum value = 0,08487 m (Element 165 at Node 19)



Project description

Pertuis - PR14_Q100_Transitoire

Date

24/05/2023

Project filename

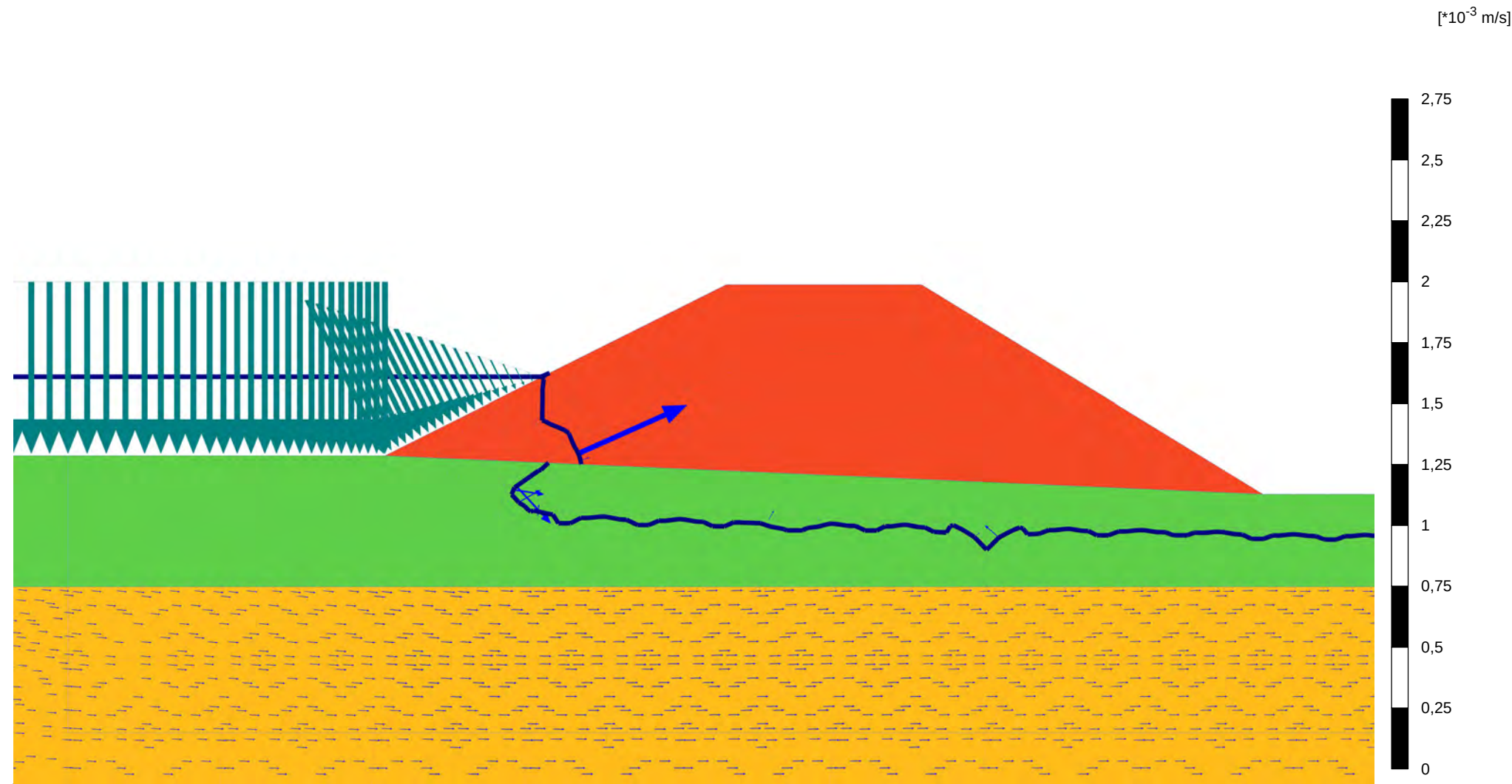
Pertuis - PR14

Step

1823

User name

GEOLITHE



Groundwater flow |q| (scaled up $5,00 \times 10^3$ times)

Maximum value = $0,4965 \times 10^{-3}$ m/s (Element 506 at Stress point 6072)

Minimum value = $0,01484 \times 10^{-12}$ m/s (Element 408 at Stress point 4888)



Project description

Pertuis - PR14_Q100_Transitoire.2

Date

24/05/2023

Project filename

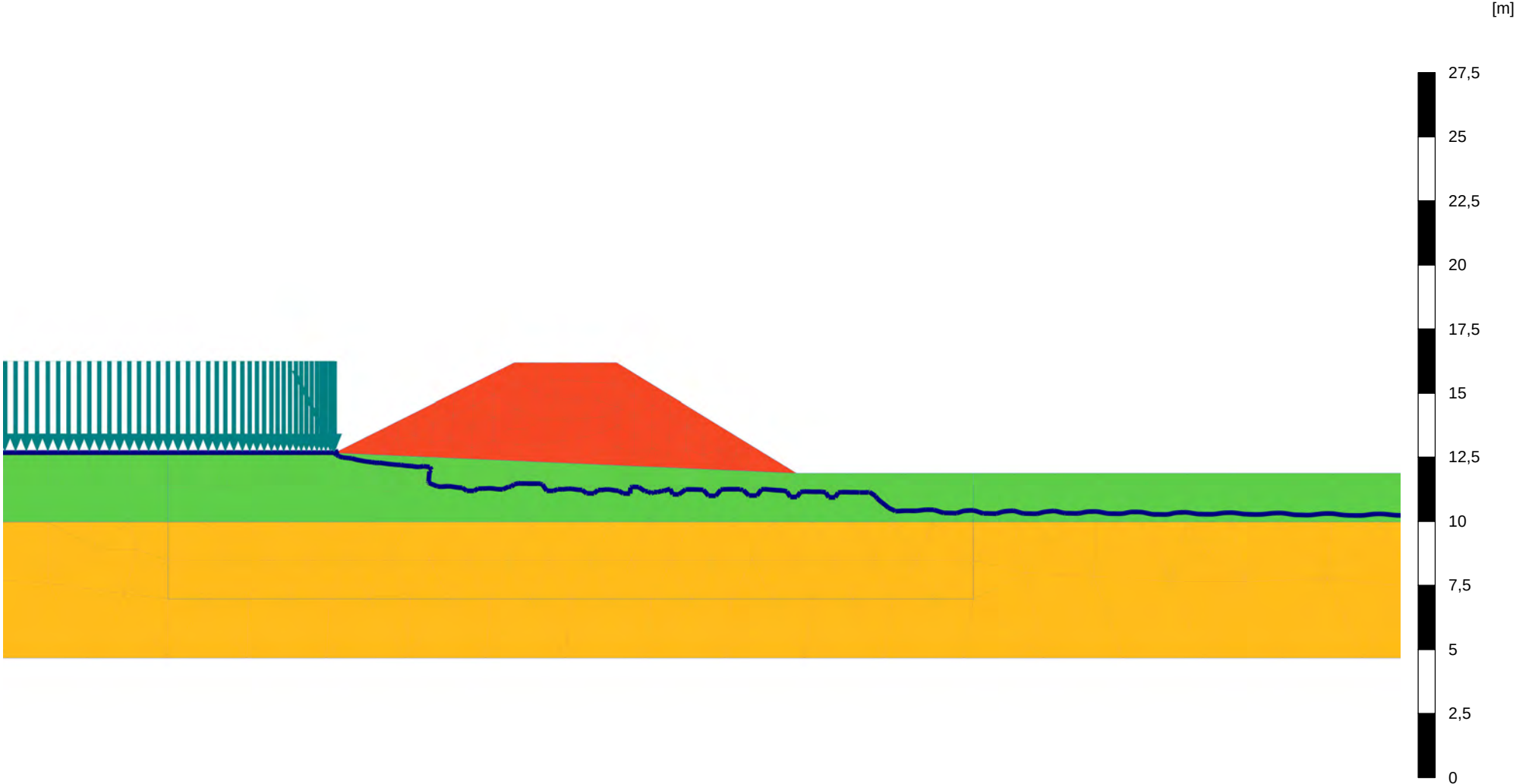
Pertuis - PR14

Step

1823

User name

GEOLITHE



Deformed mesh |u| (at true scale)

Maximum value = 0,08491 m (Element 165 at Node 19)



Project description

Pertuis - PR14_DQ100_Transitoire

Date

24/05/2023

Project filename

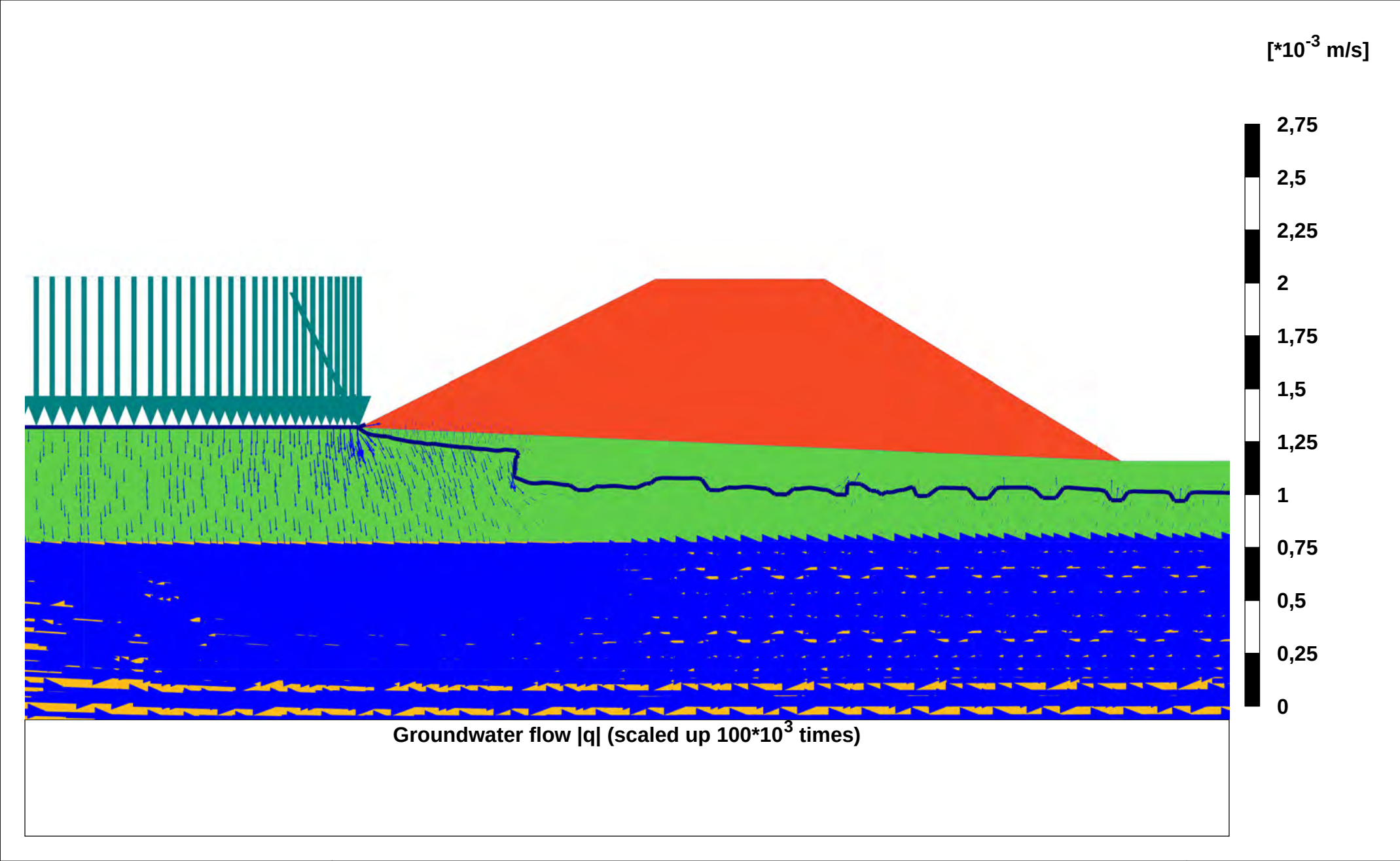
Pertuis - PR14

Step

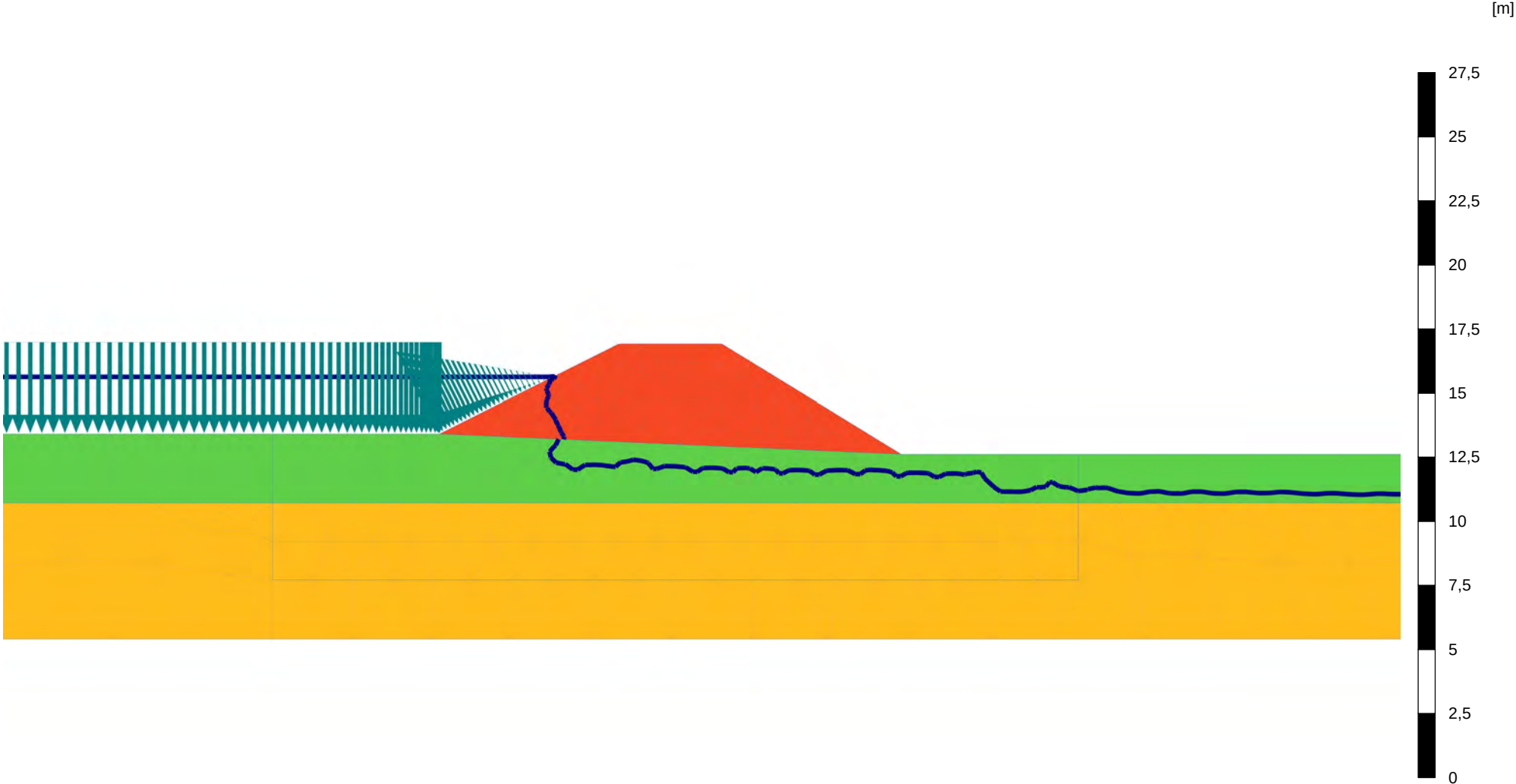
197

User name

GEOLITHE



	<i>Project description</i> Pertuis - PR14_DQ100_Transitoire.2		<i>Date</i> 24/05/2023	
	<i>Project filename</i> Pertuis - PR14	<i>Step</i> 197	<i>User name</i> GEOLITHE	



Deformed mesh |u| (at true scale)

Maximum value = 0,01081 m (Element 172 at Node 251)



Project description

Pertuis - PR14_Qex_Transitoire

Date

24/05/2023

Project filename

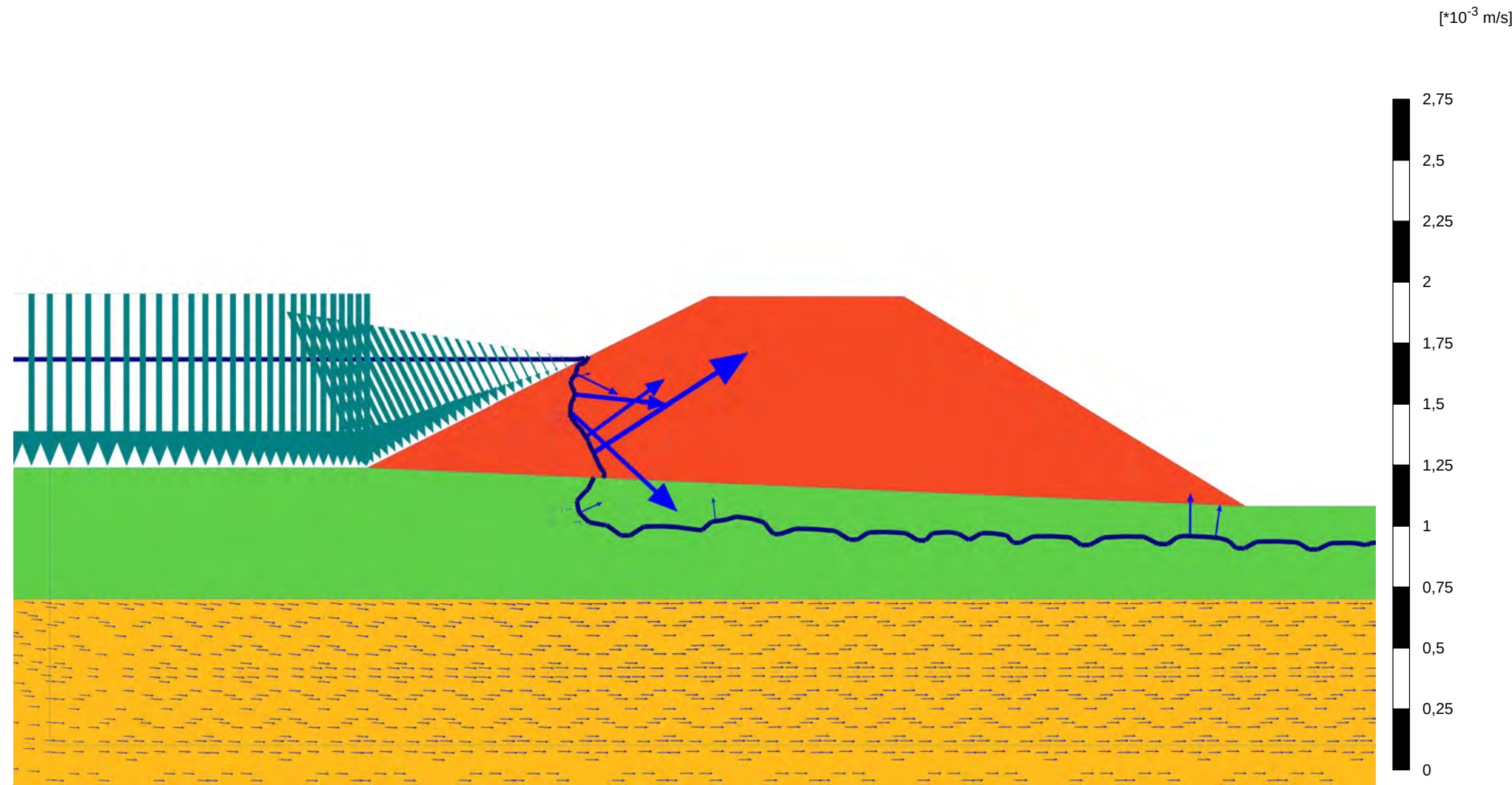
Pertuis - PR14

Step

3091

User name

GEOLITHE



Groundwater flow $|q|$ (scaled up $5,00 \cdot 10^3$ times)

Maximum value = $0,7710 \cdot 10^{-3}$ m/s (Element 489 at Stress point 5867)

Minimum value = $0,8961 \cdot 10^{-15}$ m/s (Element 403 at Stress point 4832)



Project description

Pertuis - PR14_Qex_Transitoire.2

Date

24/05/2023

Project filename

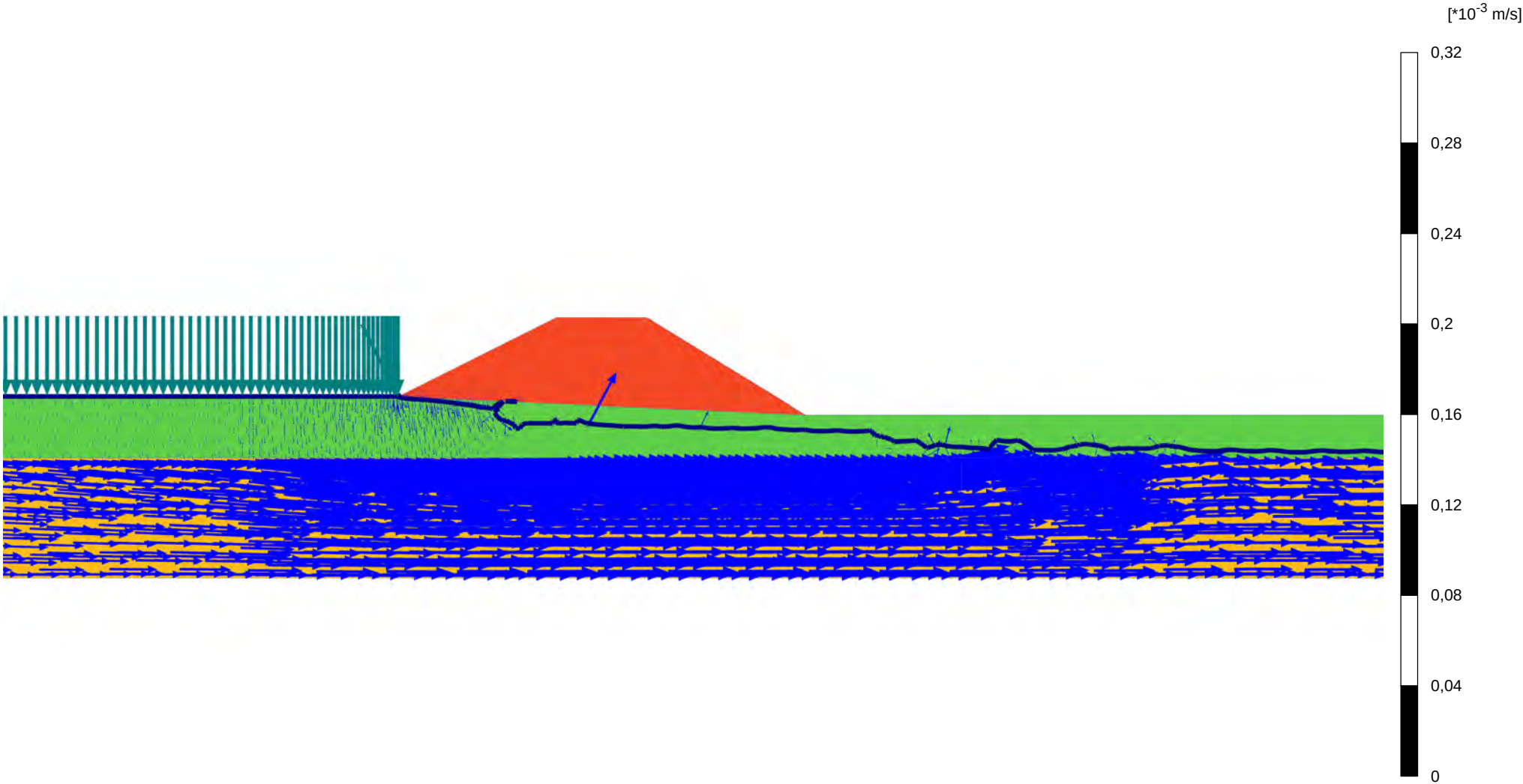
Pertuis - PR14

Step

3091

User name

GEOLITHE



Groundwater flow $|q|$ (scaled up $100 \cdot 10^3$ times)

Maximum value = $0.03274 \cdot 10^{-3}$ m/s (Element 223 at Stress point 2673)

Minimum value = $0.8216 \cdot 10^{-12}$ m/s (Element 366 at Stress point 4384)



Project description			Date
Pertuis - PR14-DQex-Transitoire			24/05/2023
Project filename	Step	User name	
Pertuis - PR14.v2	1481	GEOLITHE	

ANNEXE N°4.2

RESULTATS TALREN

Stabilité côté rivière

Situation normale

Situation sismique

Décrue DQ_{100}

Décrue DQ_{ex}

Stabilité côté terre

Situation normale

Situation sismique

Crue Q_{100}

Crue Q_{ex}

Crue Q_{100} sans surcharge

Crue Q_{ex} sans surcharge

Données du projet

Numéro d'affaire : 22-0593

Titre du calcul : Digue de Pertuis - PR14 - Talus cote rivière

Lieu : Pertuis

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 de sécurité spécifiques
1	Remblai ferroviaire		19,0	35,00	6,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
2	Limons de surface		19,0	27,00	2,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
3	Sables et graviers		20,0	35,00	0,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non

Couches de sol (cont.)

	Nom	Couleur	Γγ	Γc	Γtan(φ)	Type de cohésion	Courbe
1	Remblai ferroviaire		-	-	-	Effective	Linéaire
2	Limons de surface		-	-	-	Effective	Linéaire
3	Sables et graviers		-	-	-	Effective	Linéaire

Points

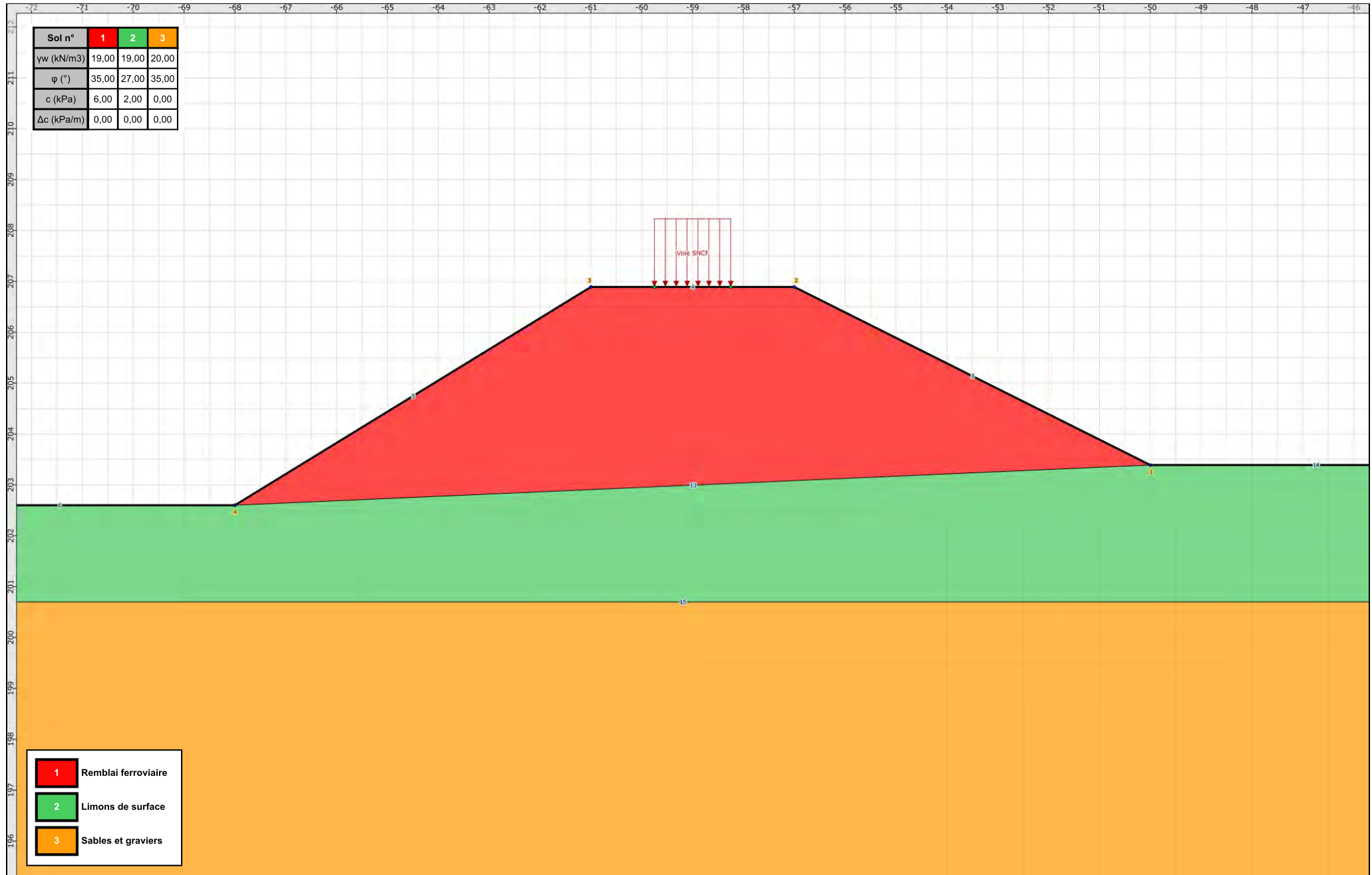
	X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y
0	0,000	203,390	1	-50,000	203,390	2	-57,000	206,890	3	-61,000	206,890	4	-68,000	202,600	5	-118,000	202,600
8	0,000	200,700	9	-118,000	200,700	10	-43,500	203,390	12	-43,500	200,700	14	-74,900	202,600	15	-74,900	200,700

Segments

	Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2
2	0	10	3	1	2	4	2	3	5	3	4	6	4	14	7	5	9	11	8	0
12	8	12	13	1	4	14	10	1	15	12	15	16	10	12	19	14	5	20	15	9
22	15	14																		

Surcharges réparties

	Nom	X gauche	Y gauche	q gauche	X droite	Y droite	q droite	Ang/horizontale
1	Voie SNCF	-59,750	206,890	52,0	-58,250	206,890	52,0	90,00



Données de la phase 1

Nom de la phase : Initiale

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		Point 1	Point 2	Sol sous-jacent
2	0	10	Limons de surface	3	1	2	Remblai ferroviaire	4	2	3	Remblai ferroviaire
5	3	4	Remblai ferroviaire	6	4	14	Limons de surface	7	5	9	Limons de surface
11	8	0	Limons de surface	12	8	12	Sables et graviers	13	1	4	Limons de surface
14	10	1	Limons de surface	15	12	15	Sables et graviers	19	14	5	Limons de surface
20	15	9	Sables et graviers								

Liste des éléments activés

Surcharges réparties : Voie SNCF

Conditions hydrauliques : Nappe phréatique

Toit de la nappe

	X	Y	Angle		X	Y	Angle	X	Y	Angle	X	Y	Angle	X	Y	Angle
1	-118,000	199,000	0,00	2	-0,000	199,000	0,00									

Données de la situation 1

Nom de la phase : Initiale

Nom de la situation : normale NNE

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : normale (NNE)

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	Γ _{c'}	1,250	Γ _{cu}	1,300
Γ _Q	1,300	Γ _{qsl,clou,ab}	1,000	Γ _{qsl,clou,es}	1,000	Γ _{qsl,tirant,ab}	1,000	Γ _{qsl,tirant,es}	1,000	Γ _{qsl,bande}	1,000
Γ _{pl}	1,000	Γ _{a,clou}	1,000	Γ _{a,tirant}	1,000	Γ _{a,bande}	1,000	Γ _{buton}	1,000	Γ _{s3}	1,200

Type de surface de rupture : Circulaire automatique

Nombre de découpages : 10

Incrément sur le rayon : 0,200

Abscisse émergence limite aval : -57,000

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= -50,000; Y= 203,390

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Non

Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 1,1505

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 1528; X0= -52,66; Y0= 210,85; R= 8,12

Données de la phase 2

Nom de la phase : Sismique

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		Point 1	Point 2	Sol sous-jacent
2	0	10	Limons de surface	3	1	2	Remblai ferroviaire	4	2	3	Remblai ferroviaire
5	3	4	Remblai ferroviaire	6	4	14	Limons de surface	7	5	9	Limons de surface
11	8	0	Limons de surface	12	8	12	Sables et graviers	13	1	4	Limons de surface
14	10	1	Limons de surface	15	12	15	Sables et graviers	19	14	5	Limons de surface
20	15	9	Sables et graviers								

Liste des éléments activés

Conditions hydrauliques : Nappe phréatique

Toit de la nappe

	X	Y	Angle		X	Y	Angle	X	Y	Angle	X	Y	Angle	X	Y	Angle
1	-118,000	199,000	0,00	2	-0,000	199,000	0,00									

Données de la situation 1

Nom de la phase : Sismique

Nom de la situation : Séisme

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : extrême et accidentelles (séisme SES)

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}	1,000	$\Gamma_{c'}$	1,000	Γ_{cu}	1,000
Γ_Q	1,000	$\Gamma_{qsl,clou,ab}$	1,000	$\Gamma_{qsl,clou,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,tirant,ab}$	1,000	$\Gamma_{qsl,tirant,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,bande}$	1,000
Γ_{pl}	1,000	$\Gamma_a,clou$	1,000	$\Gamma_a,tirant$	1,000	$\Gamma_a,bande$	1,000	Γ_{buton}	1,000	Γ_{s3}	1,100

Type de surface de rupture : Circulaire automatique

Nombre de découpages : 15

Incrément sur le rayon : 0,300

Abscisse émergence limite aval : -57,000

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= -50,000; Y= 203,390

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Oui

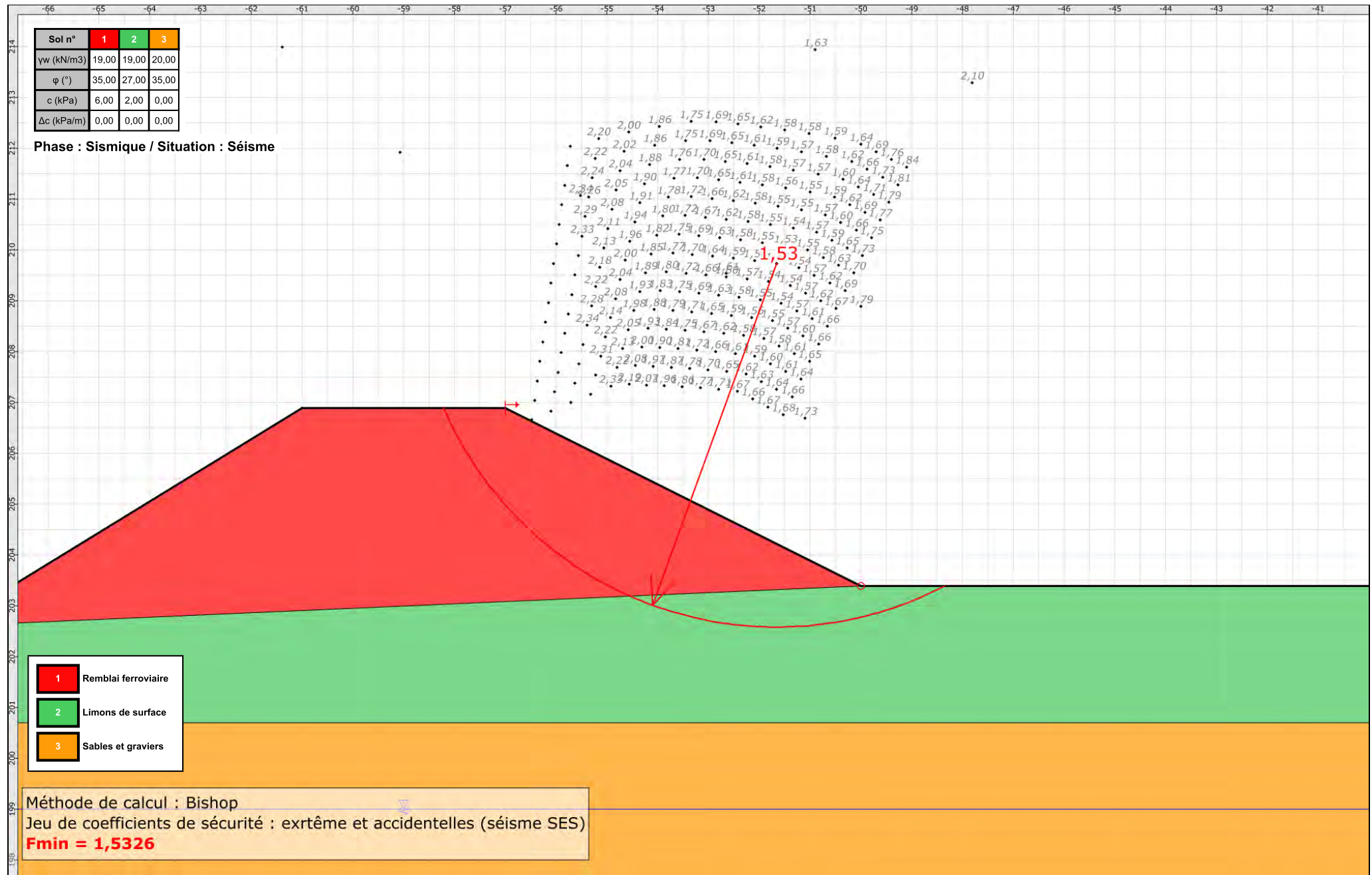
Coefficient ah/g (accélération horizontale) : 0,110

Coefficient av/g (accélération verticale) : 0,000

Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 1,5326

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 3647; X0= -51,66; Y0= 209,73; R= 7,15



Données de la phase 3

Nom de la phase : Phase 3

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		Point 1	Point 2	Sol sous-jacent
2	0	10	Limons de surface	3	1	2	Remblai ferroviaire	4	2	3	Remblai ferroviaire
5	3	4	Remblai ferroviaire	6	4	14	Limons de surface	7	5	9	Limons de surface
11	8	0	Limons de surface	12	8	12	Sables et graviers	13	1	4	Limons de surface
14	10	1	Limons de surface	15	12	15	Sables et graviers	19	14	5	Limons de surface
20	15	9	Sables et graviers								

Liste des éléments activés

Surcharges réparties : Voie SNCF

Conditions hydrauliques : Maillage triangulaire de pressions interstitielles

Découpage pour zonage : 5

Données de la situation 1

Nom de la phase : Phase 3

Nom de la situation : Décrue Q100

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : rare (Q100)

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}	1,200	$\Gamma_{c'}$	1,200	Γ_{cu}	1,300
Γ_Q	1,000	$\Gamma_{qsl,clou,ab}$	1,000	$\Gamma_{qsl,clou,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,tirant,ab}$	1,000	$\Gamma_{qsl,tirant,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,bande}$	1,000
Γ_{pl}	1,000	$\Gamma_{a,clou}$	1,000	$\Gamma_{a,tirant}$	1,000	$\Gamma_{a,bande}$	1,000	Γ_{buton}	1,000	Γ_{s3}	1,200

Type de surface de rupture : Circulaire automatique

Nombre de découpages : 15

Incrément sur le rayon : 0,300

Abscisse émergence limite aval : -57,000

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= -50,000; Y= 203,390

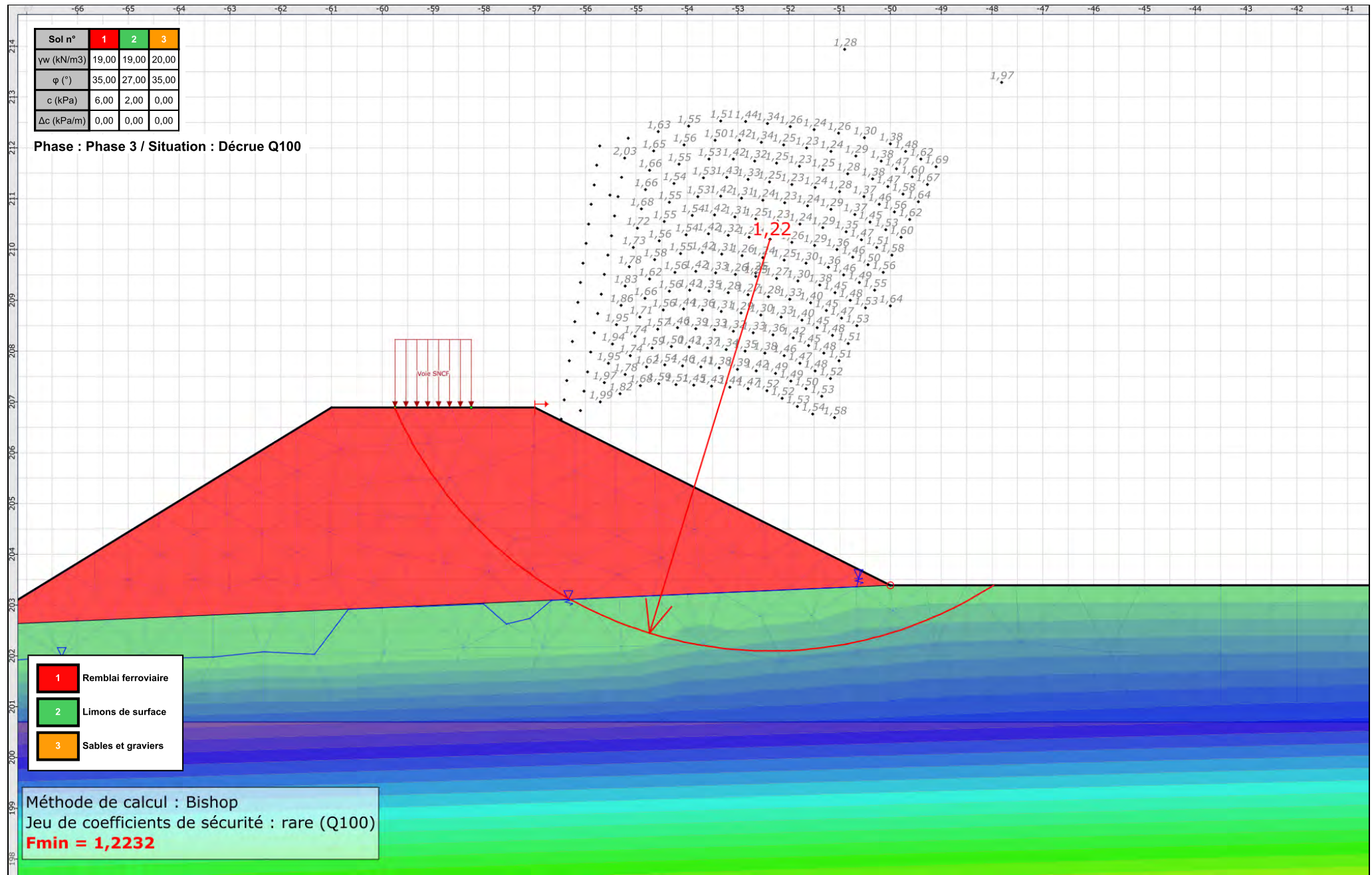
Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Non

Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 1,2232

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 4053; X0= -52,37; Y0= 210,20; R= 8,10



Données de la phase 4

Nom de la phase : Phase 4

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		Point 1	Point 2	Sol sous-jacent
2	0	10	Limons de surface	3	1	2	Remblai ferroviaire	4	2	3	Remblai ferroviaire
5	3	4	Remblai ferroviaire	6	4	14	Limons de surface	7	5	9	Limons de surface
11	8	0	Limons de surface	12	8	12	Sables et graviers	13	1	4	Limons de surface
14	10	1	Limons de surface	15	12	15	Sables et graviers	19	14	5	Limons de surface
20	15	9	Sables et graviers								

Liste des éléments activés

Surcharges réparties : Voie SNCF

Conditions hydrauliques : Maillage triangulaire de pressions interstitielles

Découpage pour zonage : 5

Données de la situation 1

Nom de la phase : Phase 4

Nom de la situation : Décrue Qex

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : exceptionnelle (Qex)

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}	1,100	$\Gamma_{c'}$	1,100	Γ_{cu}	1,300
Γ_Q	1,000	$\Gamma_{qsl,clou,ab}$	1,000	$\Gamma_{qsl,clou,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,tirant,ab}$	1,000	$\Gamma_{qsl,tirant,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,bande}$	1,000
Γ_{pl}	1,000	$\Gamma_{a,clou}$	1,000	$\Gamma_{a,tirant}$	1,000	$\Gamma_{a,bande}$	1,000	Γ_{buton}	1,000	Γ_{s3}	1,200

Type de surface de rupture : Circulaire automatique

Nombre de découpages : 15

Incrément sur le rayon : 0,300

Abscisse émergence limite aval : -57,000

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= -50,000; Y= 203,390

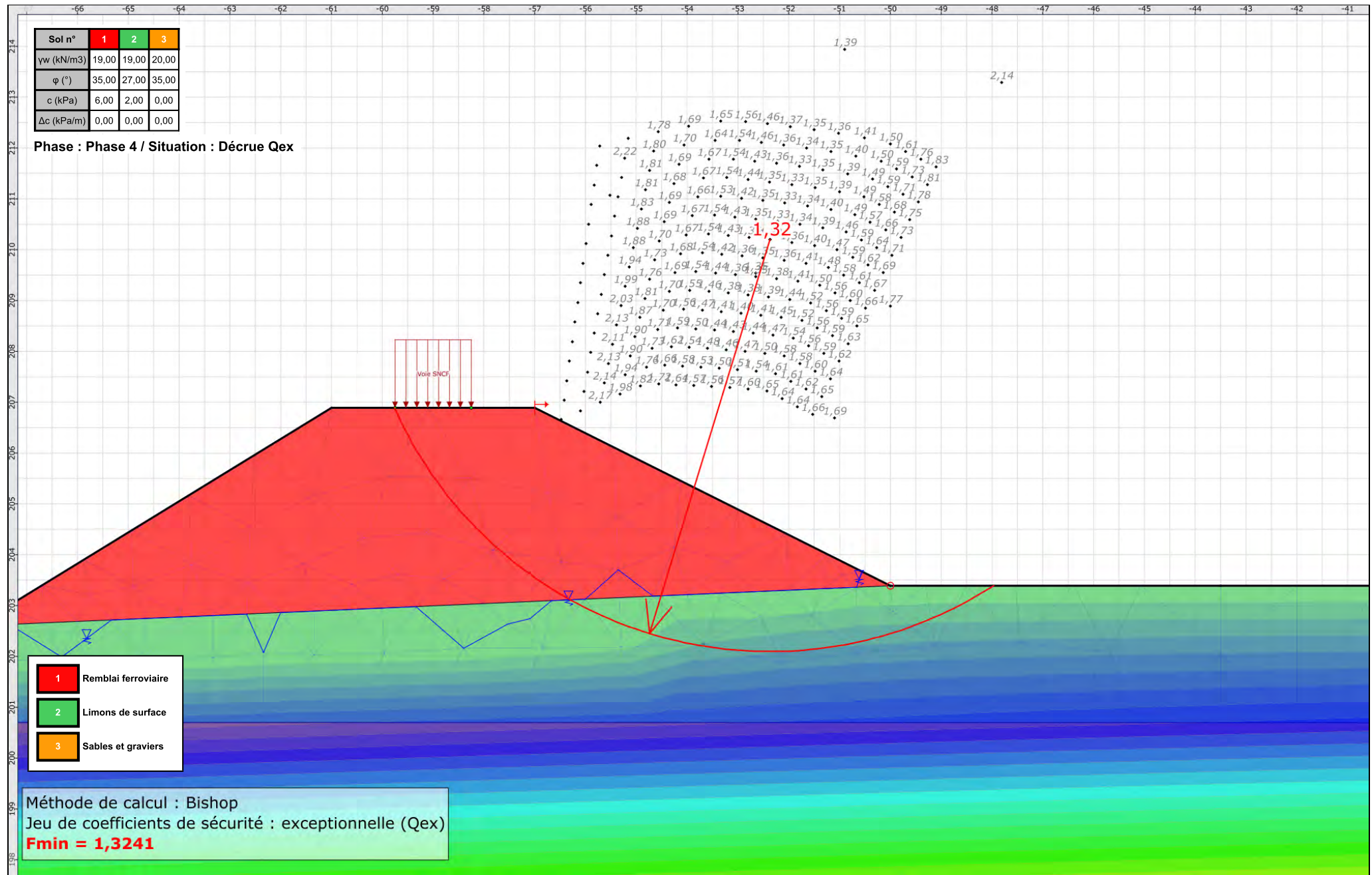
Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Non

Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 1,3241

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 4053; X0= -52,37; Y0= 210,20; R= 8,10



Données du projet

Numéro d'affaire : 22-0593

Titre du calcul : Digue de Pertuis - PR14 - Talus côté terre

Lieu : Pertuis

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 de sécurité spécifiques
1	Remblai ferroviaire		19,0	35,00	6,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
2	Limons de surface		19,0	27,00	2,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
3	Sables et graviers		20,0	35,00	0,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non

Couches de sol (cont.)

	Nom	Couleur	Γγ	Γc	Γtan(φ)	Type de cohésion	Courbe
1	Remblai ferroviaire		-	-	-	Effective	Linéaire
2	Limons de surface		-	-	-	Effective	Linéaire
3	Sables et graviers		-	-	-	Effective	Linéaire

Points

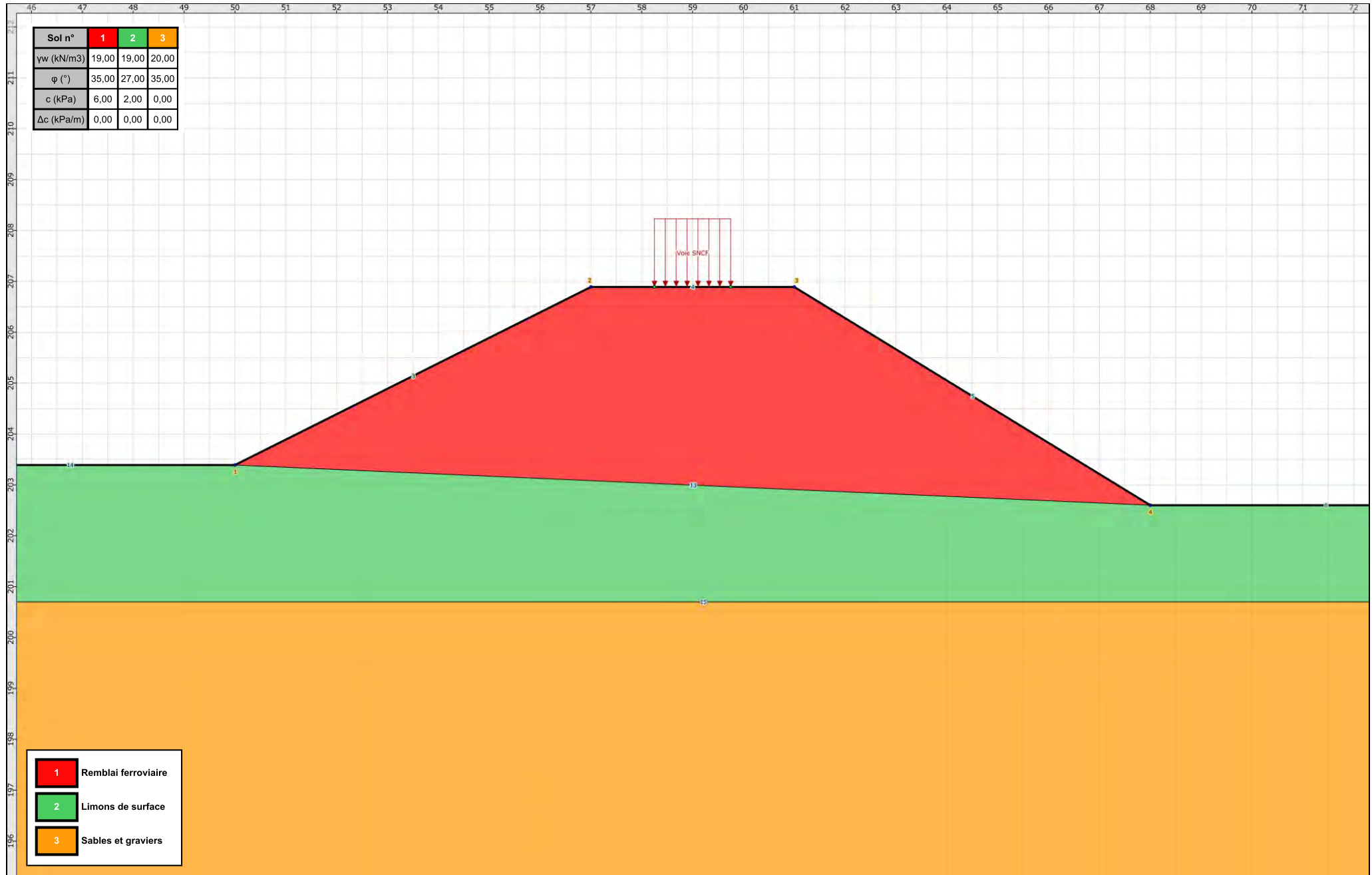
	X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y
0	-0,000	203,390	1	50,000	203,390	2	57,000	206,890	3	61,000	206,890	4	68,000	202,600	5	118,000	202,600
8	-0,000	200,700	9	118,000	200,700	10	43,500	203,390	12	43,500	200,700	14	74,900	202,600	15	74,900	200,700

Segments

	Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2
2	0	10	3	1	2	4	2	3	5	3	4	6	4	14	7	5	9	11	8	0
12	8	12	13	1	4	14	10	1	15	12	15	16	10	12	19	14	5	20	15	9
22	15	14																		

Surcharges réparties

	Nom	X gauche	Y gauche	q gauche	X droite	Y droite	q droite	Ang/horizontale
1	Voie SNCF	58,250	206,890	52,0	59,750	206,890	52,0	90,00



Données de la phase 1

Nom de la phase : Initiale

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		Point 1	Point 2	Sol sous-jacent
2	0	10	Limons de surface	3	1	2	Remblai ferroviaire	4	2	3	Remblai ferroviaire
5	3	4	Remblai ferroviaire	6	4	14	Limons de surface	7	5	9	Limons de surface
11	8	0	Limons de surface	12	8	12	Sables et graviers	13	1	4	Limons de surface
14	10	1	Limons de surface	15	12	15	Sables et graviers	19	14	5	Limons de surface
20	15	9	Sables et graviers								

Liste des éléments activés

Surcharges réparties : Voie SNCF

Conditions hydrauliques : Nappe phréatique

Toit de la nappe

	X	Y	Angle		X	Y	Angle		X	Y	Angle		X	Y	Angle		X	Y	Angle
1	0,000	199,000	0,00	2	118,000	199,000	0,00												

Données de la situation 1

Nom de la phase : Initiale

Nom de la situation : normale NNE

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : normale (NNE)

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}	1,300
Γ_Q	1,300	$\Gamma_{qsl,clou,ab}$	1,000	$\Gamma_{qsl,clou,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,tirant,ab}$	1,000	$\Gamma_{qsl,tirant,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,bande}$	1,000
Γ_{pl}	1,000	$\Gamma_{a,clou}$	1,000	$\Gamma_{a,tirant}$	1,000	$\Gamma_{a,bande}$	1,000	Γ_{buton}	1,000	Γ_{s3}	1,200

Type de surface de rupture : Circulaire automatique

Nombre de découpages : 10

Incrément sur le rayon : 0,200

Abscisse émergence limite aval : 61,000

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 68,000; Y= 202,600

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Non

Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 1,0032

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 1533; X0= 65,86; Y0= 210,56; R= 8,44

Sol n°	1	2	3
γ_w (kN/m ³)	19,00	19,00	20,00
φ (°)	35,00	27,00	35,00
c (kPa)	6,00	2,00	0,00
Δc (kPa/m)	0,00	0,00	0,00

Phase : Initiale / Situation : normale NNE

85,89

Voie SNCF

1	Remblai ferroviaire
2	Limons de surface
3	Sables et graviers

Méthode de calcul : Bishop
 Jeu de coefficients de sécurité : normale (NNE)
Fmin = 1,0032

Données de la phase 2

Nom de la phase : Sismique

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		Point 1	Point 2	Sol sous-jacent
2	0	10	Limons de surface	3	1	2	Remblai ferroviaire	4	2	3	Remblai ferroviaire
5	3	4	Remblai ferroviaire	6	4	14	Limons de surface	7	5	9	Limons de surface
11	8	0	Limons de surface	12	8	12	Sables et graviers	13	1	4	Limons de surface
14	10	1	Limons de surface	15	12	15	Sables et graviers	19	14	5	Limons de surface
20	15	9	Sables et graviers								

Liste des éléments activés

Conditions hydrauliques : Nappe phréatique

Toit de la nappe

	X	Y	Angle		X	Y	Angle		X	Y	Angle		X	Y	Angle		X	Y	Angle
1	0,000	199,000	0,00	2	118,000	199,000	0,00												

Données de la situation 1

Nom de la phase : Sismique

Nom de la situation : Séisme

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : extrême et accidentelles (séisme SES)

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}	1,000	$\Gamma_{c'}$	1,000	Γ_{cu}	1,000
Γ_Q	1,000	$\Gamma_{qsl,clou,ab}$	1,000	$\Gamma_{qsl,clou,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,tirant,ab}$	1,000	$\Gamma_{qsl,tirant,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,bande}$	1,000
Γ_{pl}	1,000	$\Gamma_a,clou$	1,000	$\Gamma_a,tirant$	1,000	$\Gamma_a,bande$	1,000	Γ_{buton}	1,000	Γ_{s3}	1,100

Type de surface de rupture : Circulaire automatique

Nombre de découpages : 10

Incrément sur le rayon : 0,200

Abscisse émergence limite aval : 61,000

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 68,000; Y= 202,600

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Oui

Coefficient ah/g (accélération horizontale) : 0,110

Coefficient av/g (accélération verticale) : 0,000

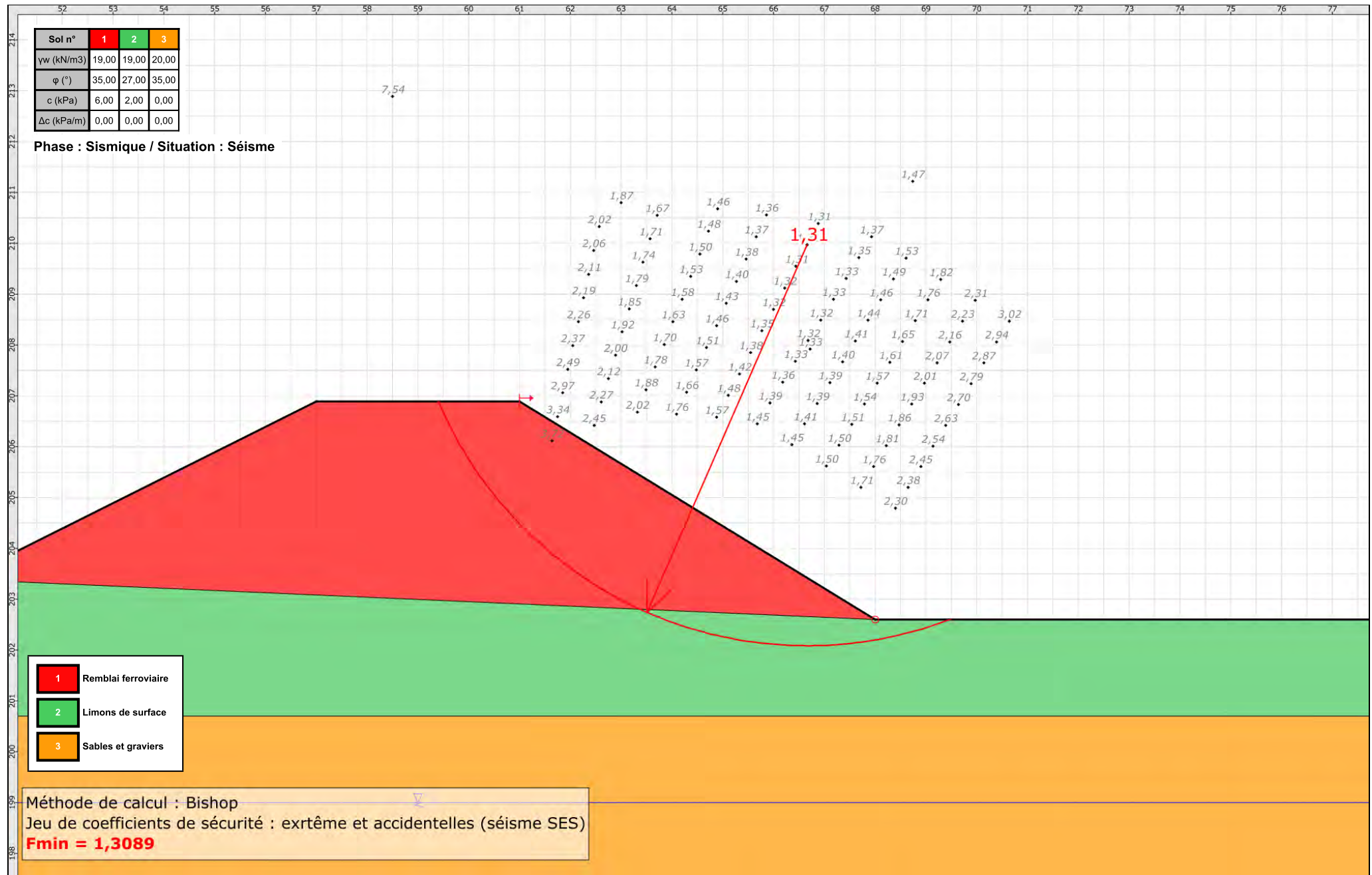
Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 1,3089

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 1424; X0= 66,66; Y0= 209,97; R= 7,89

Sol n°	1	2	3
γ_w (kN/m ³)	19,00	19,00	20,00
φ (°)	35,00	27,00	35,00
c (kPa)	6,00	2,00	0,00
Δc (kPa/m)	0,00	0,00	0,00

Phase : Sismique / Situation : Séisme



Données de la phase 3

Nom de la phase : Phase 3

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		Point 1	Point 2	Sol sous-jacent
2	0	10	Limons de surface	3	1	2	Remblai ferroviaire	4	2	3	Remblai ferroviaire
5	3	4	Remblai ferroviaire	6	4	14	Limons de surface	7	5	9	Limons de surface
11	8	0	Limons de surface	12	8	12	Sables et graviers	13	1	4	Limons de surface
14	10	1	Limons de surface	15	12	15	Sables et graviers	19	14	5	Limons de surface
20	15	9	Sables et graviers								

Liste des éléments activés

Surcharges réparties : Voie SNCF

Conditions hydrauliques : Maillage triangulaire de pressions interstitielles

Découpage pour zonage : 5

Nappe extérieure

	X	Y		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1	0,000	204,970	2	53,200	204,970						

Données de la situation 1

Nom de la phase : Phase 3

Nom de la situation : Crue Q100

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : rare (Q100)

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}	1,200	$\Gamma_{c'}$	1,200	Γ_{cu}	1,300
Γ_Q	1,000	$\Gamma_{qsl,clou,ab}$	1,000	$\Gamma_{qsl,clou,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,tirant,ab}$	1,000	$\Gamma_{qsl,tirant,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,bande}$	1,000
Γ_{pl}	1,000	$\Gamma_a,clou$	1,000	$\Gamma_a,tirant$	1,000	$\Gamma_a,bande$	1,000	Γ_{buton}	1,000	Γ_{s3}	1,200

Type de surface de rupture : Circulaire manuelle

Origine du quadrillage manuel : X= 65,000; Y= 207,000

Incrément en X / Incrément en Y : X= 1,000; Y= 1,000

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

Nombre de centres en X / en Y : en X= 10; en Y= 10

Incrément sur le rayon : 0,300

Nombre d'incréments sur le rayon : 10

Abscisse émergence limite aval : 61,000

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 68,000; Y= 202,600

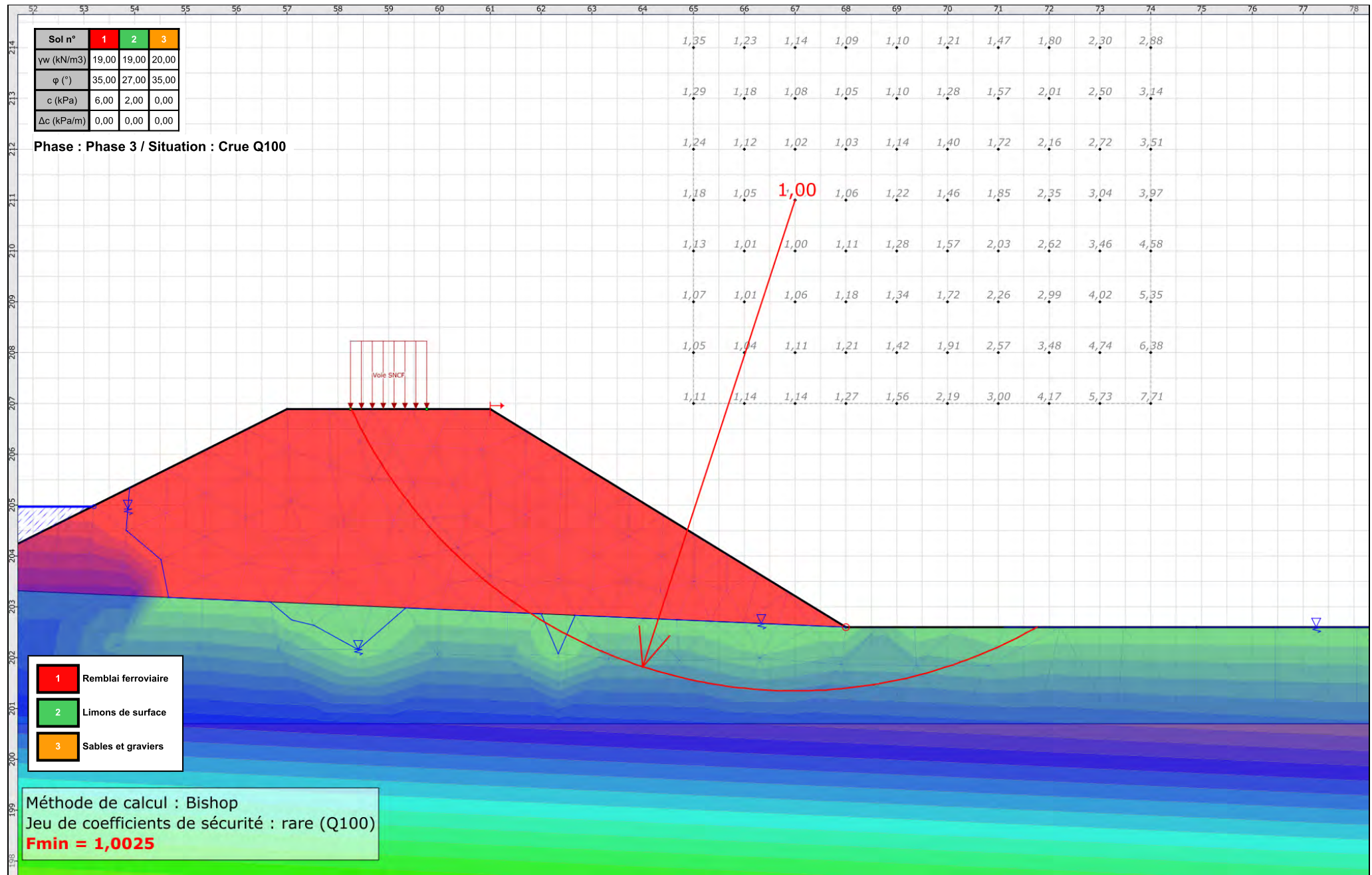
Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Non

Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 1,0025

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 425; X0= 67,00; Y0= 211,00; R= 9,65



Données de la phase 4

Nom de la phase : Phase 4

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		Point 1	Point 2	Sol sous-jacent
2	0	10	Limons de surface	3	1	2	Remblai ferroviaire	4	2	3	Remblai ferroviaire
5	3	4	Remblai ferroviaire	6	4	14	Limons de surface	7	5	9	Limons de surface
11	8	0	Limons de surface	12	8	12	Sables et graviers	13	1	4	Limons de surface
14	10	1	Limons de surface	15	12	15	Sables et graviers	19	14	5	Limons de surface
20	15	9	Sables et graviers								

Liste des éléments activés

Surcharges réparties : Voie SNCF

Conditions hydrauliques : Maillage triangulaire de pressions interstitielles

Découpage pour zonage : 5

Nappe extérieure

	X	Y		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1	0,000	205,640	2	54,500	205,640						

Données de la situation 1

Nom de la phase : Phase 4

Nom de la situation : Crue Qex

Méthode de calcul : Bishop

Jeu de coefficients de sécurité pour cette situation : exceptionnelle (Qex)

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}	1,100	$\Gamma_{c'}$	1,100	Γ_{cu}	1,300
Γ_Q	1,000	$\Gamma_{qsl,clou,ab}$	1,000	$\Gamma_{qsl,clou,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,tirant,ab}$	1,000	$\Gamma_{qsl,tirant,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,bande}$	1,000
Γ_{pl}	1,000	$\Gamma_{a,clou}$	1,000	$\Gamma_{a,tirant}$	1,000	$\Gamma_{a,bande}$	1,000	Γ_{buton}	1,000	Γ_{s3}	1,200

Type de surface de rupture : Circulaire automatique

Nombre de découpages : 10

Incrément sur le rayon : 0,200

Abscisse émergence limite aval : 61,000

Type de recherche : Point de passage imposé

Point de passage imposé : X= 68,155; Y= 201,500

Nombre de tranches : 100

Prise en compte du séisme : Non

Résultats

Coefficient de sécurité minimal : 1,0241

Coordonnées du centre critique et rayon du cercle critique : N°= 1582; X0= 66,24; Y0= 209,27; R= 8,39

