

Agence de Montpellier Tél. 04 67 22 13 33

montpellier@fondasol.fr



EMO.19.0072.003.IndB

JUVIGNAC (34990)
Construction d'une digue
Etude géotechnique G2 AVP

Suivi des modifications et mises à jour

FTQ.261-A

Rév.	Date	Nb pages	Modifications	Rédacteur	Contrôleur
				Nom	Nom
1 ^{ère} édition					
A	18/03/2020	87	Ajout calcul soutènement	Pierre FILIPPINI	Stéphane CIESIELSKI
B	07/04/2020	89	Reprise calcul PLAXFLOW et calcul soutènement	Marjorie GREGOIRE Pierre FILIPPINI	Arnaud FINIAZ
C					

PAGE	REV	1 ^{ère} édition	A	B	C		PAGE	REV	1 ^{ère} édition	A	B	C	
1		•	•	•			41		•	•	•		
2		•	•	•			42		•	•	•		
3		•	•	•			43		•	•	•		
4		•	•	•			44		•	•	•		
5		•	•	•			45		•	•	•		
6		•	•	•			46		•	•	•		
7		•	•	•			47		•	•	•		
8		•	•	•			48		•	•	•		
9		•	•	•			49		•	•	•		
10		•	•	•			50		•	•	•		
11		•	•	•			51		•	•	•		
12		•	•	•			52		•	•	•		
13		•	•	•			53		•	•	•		
14		•	•	•			54		•	•	•		
15		•	•	•			55		•	•	•		
16		•	•	•			56		•	•	•		
17		•	•	•			57		•	•	•		
18		•	•	•			58		•	•	•		
19		•	•	•			59		•	•	•		
20		•	•	•			60		•	•	•		
21		•	•	•			61		•	•	•		
22		•	•	•			62		•	•	•		
23		•	•	•			63		•	•	•		
24		•	•	•			64		•	•	•		
25		•	•	•			65		•	•	•		
26		•	•	•			66		•	•	•		
27		•	•	•			67		•	•	•		
28		•	•	•			68		•	•	•		
29		•	•	•			69		•	•	•		
30		•	•	•			70		•	•	•		
31		•	•	•			71		•	•	•		
32		•	•	•			72		•	•	•		
33		•	•	•			73		•	•	•		
34		•	•	•			74		•	•	•		
35		•	•	•			75		•	•	•		
36		•	•	•			76		•	•	•		
37		•	•	•			77		•	•	•		
38		•	•	•			78		•	•	•		
39		•	•	•			79		•	•	•		
40		•	•	•			80 à 85		•	•	•		

Généralités	7
1 – Présentation	7
2 – Mission selon la norme NF P 94-500	7
3 – Documents disponibles	7
4 – Diffusion du rapport	7
Descriptif général du site et approche documentaire	8
1 – Description du site	8
2 – Contexte géologique	9
3 – Enquête documentaire sur les risques de la commune	9
3.1 – Risques liés aux inondations par débordement de cours d'eau	9
3.2 – Risques liés aux inondations par remontée de nappe	10
3.3 – Risques liés à la présence d'argiles	11
3.4 – Risques liés à la présence de cavités	11
3.5 – Risque sismique	11
Présentation du projet et objectifs de l'étude	12
1 – Description du projet	12
2 – Objectifs de l'étude	15
3 – Programme d'investigations	16
Résultats des investigations in situ	19
1 – Description géologique	19
2 – Caractéristiques mécaniques	21
3 – Niveaux d'eau	22
4 – Essais en laboratoire	23
4.1 – Définition des classes selon le GTR 2000	24
4.2 – Sensibilité au retrait/gonflement	25

5 – Essais de perméabilité _____	27
6 – Modèles géotechniques retenus _____	28
6.1 – Caractéristiques retenu pour les sols en place _____	28
6.2 – Caractéristiques retenu pour les matériaux d'apport _____	29
Application au projet _____	30
1 – Classe des sols vis-à-vis du risque sismique _____	30
2 – Réalisation du bassin en déblais _____	30
2.1 – Condition de terrassement _____	30
2.2 – Fonctionnement hydraulique du bassin _____	31
3 – Réalisation des digues en remblais _____	31
4 – Vérifications _____	32
4.1 – Vérification au poinçonnement et estimations des tassements _____	32
..4.1.1. poinçonnement _____	32
..4.1.1. Tassement prévisionnels _____	33
5 – Paramètres et principes généraux de calcul _____	34
5.1 – Calculs PLAXFLOW _____	36
..5.1.1. Principe de la modélisation hydraulique _____	36
..5.1.2. Principe de la modélisation géo-mécanique _____	36
5.2 – Calculs TALREN _____	37
5.3 – Ouvrage de soutènement _____	37
6 – Tronçon 1 & 2 courant – résultats PLAXFLOW _____	38
6.1 – Situation hydraulique _____	38
6.2 – Phasage _____	38
6.3 – Résultats modélisation hydraulique _____	39
..6.3.1. Crue _____	39
..6.3.2. Décrue _____	39
6.4 – Résultats modélisation hydraulique _____	42
7 – Tronçon 1 & 2 courant – résultats TALREN _____	44
7.1 – Situation normale d'exploitation _____	44
..7.1.1. Coté terre _____	44
..7.1.2. Coté Rivière _____	45
7.2 – Crue en régime permanent _____	45
..7.2.1. Coté terre _____	45
7.3 – Crue en régime transitoire _____	46
..7.3.1. Coté terre _____	46
7.4 – Cas de vidange rapide en régime transitoire _____	46
..7.4.1. Coté Rivière _____	46

7.5 – Cas du séisme	47
..7.5.1. Coté Rivière	47
7.6 – Synthèse	48
8 – Tronçon 3 courant – résultats PLAXFLOW	49
8.1 – Situation hydraulique	49
8.2 – Phasage	49
8.3 – Résultats modélisation hydraulique	50
..8.3.1. Crue	50
..8.3.2. Décru	50
8.4 – Résultats modélisation géo-mécanique	53
8.5 – Test de l'impact de la perméabilité sur le coefficient de sécurité	55
9 – Tronçon 3 courant – résultats TALREN	63
9.1 – Situation normale d'exploitation	63
..9.1.1. Coté terre	63
..9.1.2. Coté Rivière	64
9.2 – Crue en régime permanent	65
9.3 – Crue en régime transitoire	65
9.4 – Cas de vidange rapide en régime transitoire	66
9.5 – Cas du séisme	66
9.6 – Synthèse	67
10 – Tronçon 3 déversoir – résultats PLAXFLOW	69
10.1 – Situation hydraulique	69
10.2 – Phasage	69
10.3 – Résultats modélisation hydraulique	70
..10.3.1. Crue	70
..10.3.2. Décru	70
10.4 – Résultats modélisation géo-mécanique	72
11 – Tronçon 3 déversoir – résultats TALREN	74
11.1 – Situation normale d'exploitation	74
..11.1.1. Coté terre	74
..11.1.2. Coté Rivière	75
11.2 – Crue en régime permanent	76
..11.2.1. Coté terre	76
11.3 – Crue en régime transitoire	77
..11.3.1. Coté terre	77
11.4 – Cas de vidange rapide en régime transitoire	77
..11.4.1. Coté Rivière	77
11.5 – Cas du séisme	78
..11.5.1. Coté Rivière	78

11.6 – Synthèse	79
12 – Variante Tronçon I & 2	80
Conditions Générales de Services	84
Enchaînement des missions types d'ingénierie géotechnique (Norme NF P 94-500)	87
Missions types d'ingénierie géotechnique (Norme NF P 94-500)	88

I – Présentation

MONTPELLIER MÉDITERRANÉE MÉTROPOLE a mandaté FONDASOL, agence de Montpellier pour la réalisation d'une étude géotechnique à Juvignac.

Cette étude fait suite à l'acceptation de notre devis référencé DE.EMO.19.01.019 par réception de l'ordre de service N° 19 JUV 01 en date du 29/03/2019.

2 – Mission selon la norme NF P 94-500

Il s'agit de la première phase (AVP) de la mission G2 au sens de la norme NFP 94-500 (Missions Géotechniques Types).

Les coupes des sondages et la synthèse géotechnique ont fait l'objet des pièces 001 et 002.

3 – Documents disponibles

L'étude a été établie sur la base des documents suivants :

- Le cahier des charges version B établi par ANTEA (9 pages),
- Un document Calculs géotechniques_vB_DC établi par ANTEA (13 pages).
- Rapport de campagne d'essais en laboratoire sur les stocks de SAPORTA d'HYDROGÉOTECHNIQUE, référencé C.18.41315 du 08/05/19.

4 – Diffusion du rapport

Le présent document est diffusé à :

MONTPELLIER MÉDITERRANÉE MÉTROPOLE
Immeuble La Coupole
50 place Zeus
34961 Montpellier Cedex 2

A l'attention de M. Vivien NGUYEN VAN

E-mail : v.nguyenvan@montpellier3m.fr

Copie à : ANTEA Group

A l'attention de M. Daniel CHASSAGNEUX

E-mail : daniel.chassagneux@anteagroup.com

I – Description du site

Le site prend place au sud-est de la commune de Juvignac, non loin de la N109.

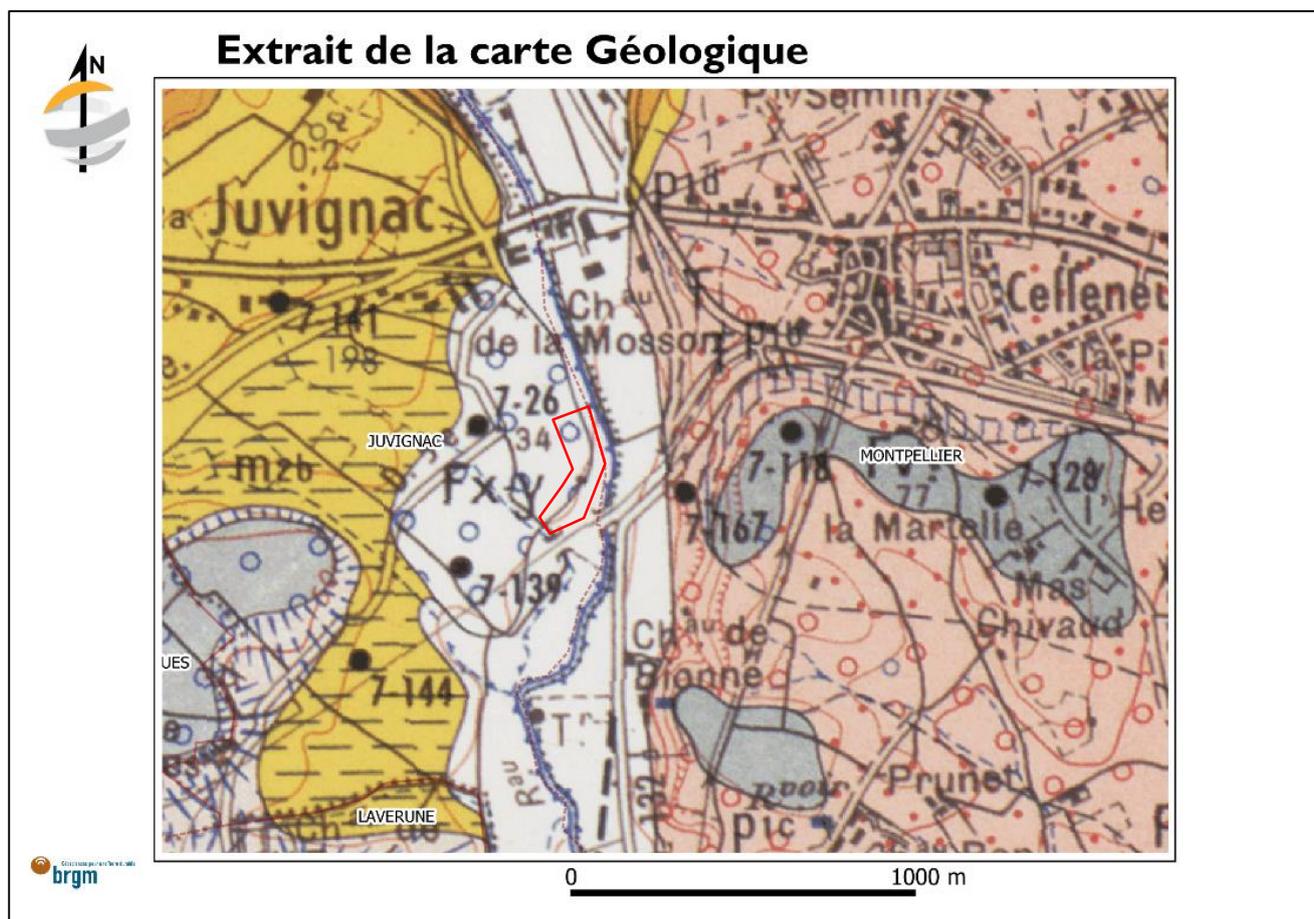
Il est bordé par des habitations d'un côté et par la rivière la Mosson de l'autre. Le terrain est non construit au sud et recouvert de végétation (herbe). Sa partie nord-est empiète sur des terrains construits (habitations) et boisés. Le terrain est globalement plat et en contrehaut par rapport à la Mosson.

Ci-dessous une vue aérienne de la zone concernée.



2 – Contexte géologique

Selon la carte géologique à 1/50 000 de MONTPELLIER, le site s'insère dans des alluvions anciennes.



3 – Enquête documentaire sur les risques de la commune

Selon le portail Géorisques du ministère de l'Écologie et du Développement Durable, les risques naturels géotechniques du site sur la commune de Juvignac sont :

- inondation,
- séisme.

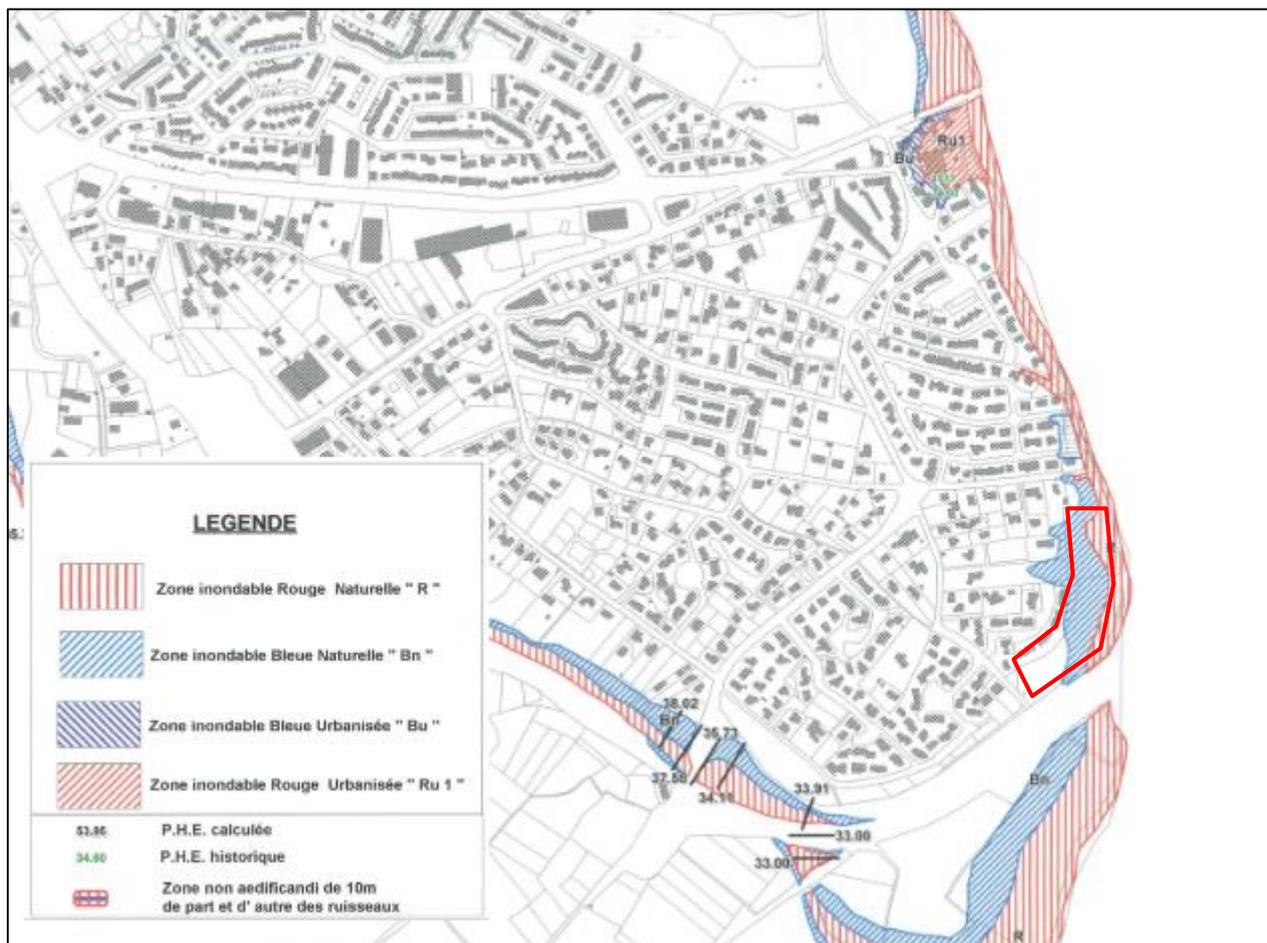
3.1 – Risques liés aux inondations par débordement de cours d'eau

La commune fait l'objet d'un PPR inondation (bassin de risque Mosson_Amont) et d'un Atlas des zones inondables (AZI Mosson).

De plus, 8 arrêtés de catastrophe naturelle ont été déclarés pour des inondations et des coulées de boue entre.

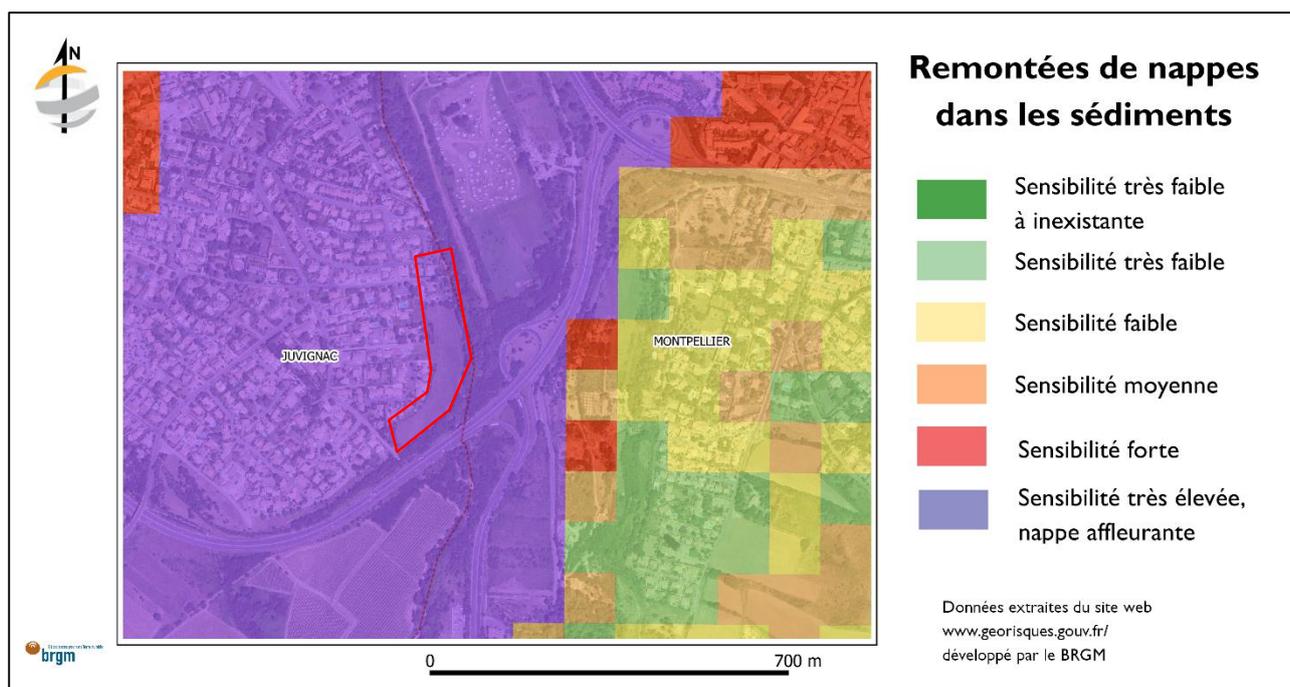
Les données concernant l'inondabilité du site sont consultables en mairie.

Toutefois, selon le zonage du PPRI de la commune dont un extrait est fourni ci-dessous, le projet se trouve dans une zone inondable (naturelle et urbanisée), avec prescriptions.



3.2 – Risques liés aux inondations par remontée de nappe

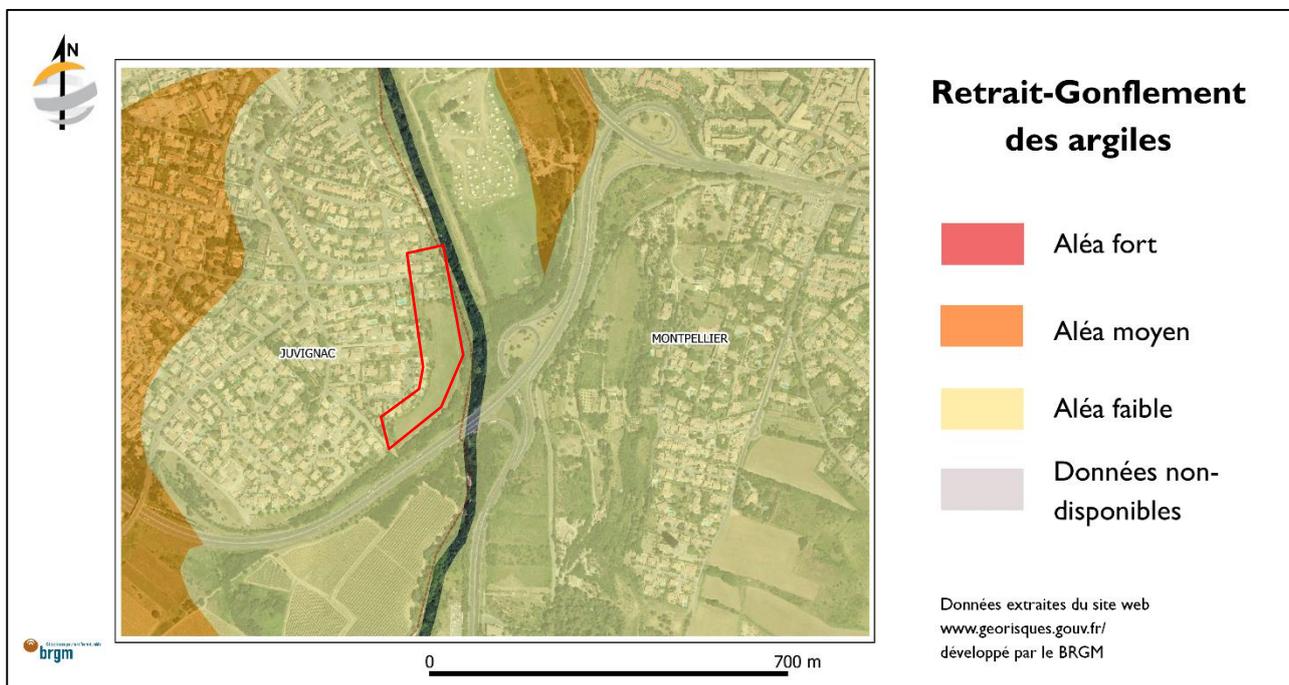
D'après la carte de remontées de nappes, une inondation par remontée de la nappe générale au droit du site est considérée avec un **risque très élevé**, (nappe affleurante).



3.3 – Risques liés à la présence d'argiles

La carte d'aléa des risques de retrait-gonflement mentionne pour cette zone un aléa faible.

La commune a fait l'objet de 5 arrêtés de catastrophe naturelle propres aux « mouvements de terrain consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols » entre 1993 et 2017.



3.4 – Risques liés à la présence de cavités

Selon la carte d'aléa des cavités souterraines, aucune cavité n'est référencée sur le secteur.

3.5 – Risque sismique

Selon le décret 2010-1255 du 22 octobre 2010, la commune est en zone de sismicité faible (zone de sismicité 2).

I - Description du projet

Il est prévu de construire une nouvelle digue afin d'éviter les inondations dues aux crues de la Mosson, sur un linéaire de 480 m environ.

Ci-dessous le plan général du projet :

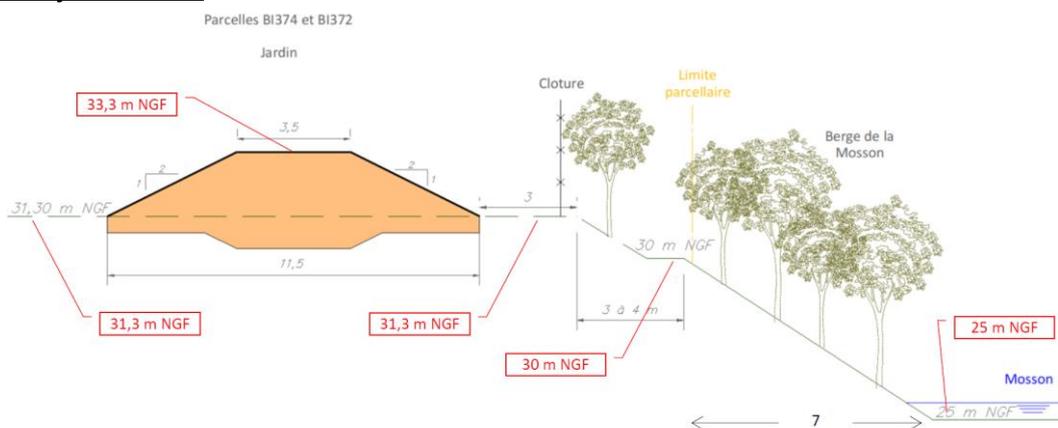


D'une manière générale, Il s'agira d'une digue en remblais, d'une largeur de tête de 3.5 m, avec des talus de pentes 2H (horizontal) pour IV (vertical).

La tête de la digue est prévue entre les cotes 32.5 et 33.3 m NGF, soit des hauteurs variant entre 2.0 et 3.2 m environ.

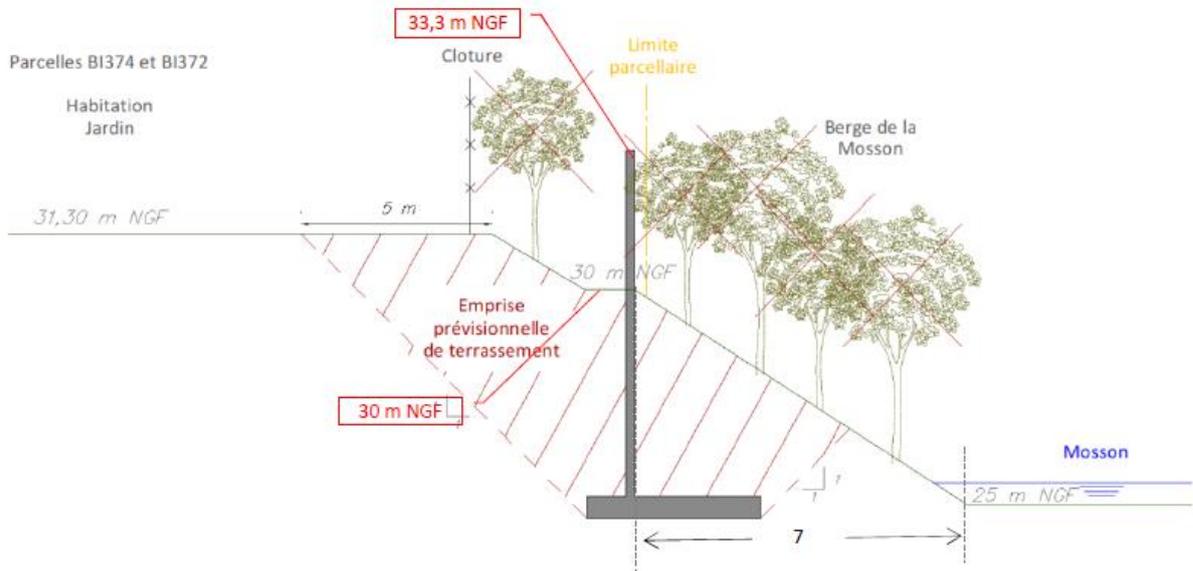
Ci-dessous les coupes types des différents tronçons.

Tronçon 1 et 2 :

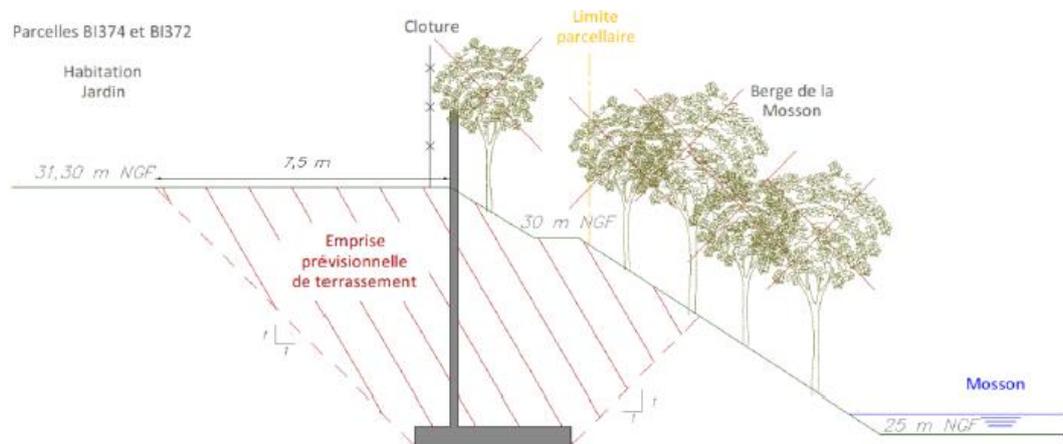


Au niveau du tronçon 2, il est également envisagé la réalisation d'une variante en mur de soutènement.

Les caractéristiques sont détaillées ci-après.



Positionnement au niveau du chemin de berge existant.

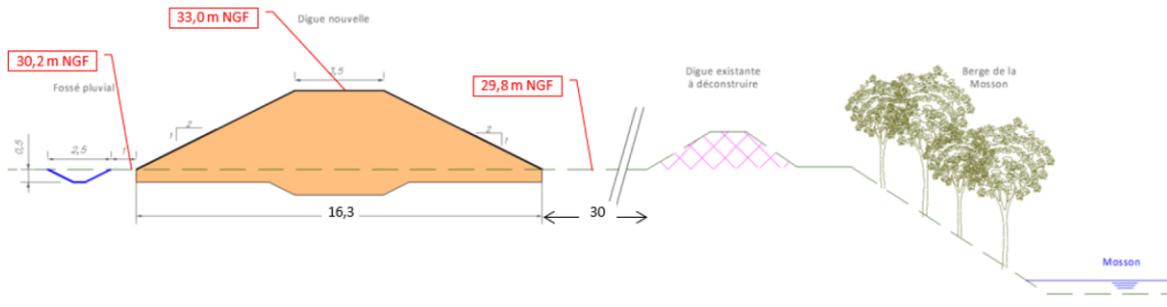
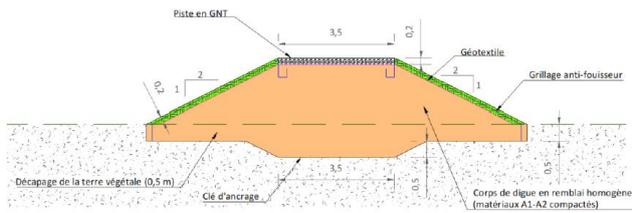


Positionnement au plus près des parcelles privées.

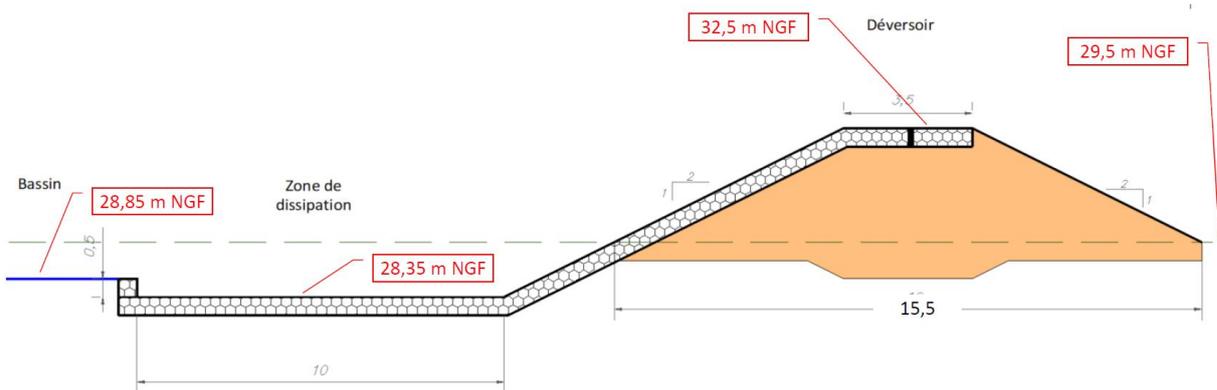
Le cas de la position au plus près des parcelles privées est privilégié dans le projet.

Tronçon 3 - Digue en tronçon courant :

1.1 Profil type



Tronçon 3 – Déversoir :



Il est également prévu la construction d'un bassin au sud de la digue, d'une profondeur de l'ordre de 1 m et d'une surface de 3000 m².

2 – Objectifs de l'étude

L'objectif de cette mission G2 AVP est :

Étude préliminaire du site

- enquête bibliographique et de terrain.

Résultat des sondages et essais in situ

- plan d'implantation des sondages.
- coupes géologiques et diagrammes des essais géotechniques, et en laboratoire,

Analyse et synthèse du contexte géologique et géomécanique du site

- description de la géologie du terrain,
- analyse de la compacité des couches traversées,
- niveaux de l'eau lors de nos investigations, leur influence sur le projet,
- analyse du contexte sismique du site,

Hypothèses géotechniques pour la justification des ouvrages et ébauches dimensionnelles

- pour le bassin projeté :
 - conditions de terrassement et de réutilisation des matériaux.
- pour la nouvelle digue :
 - conditions de terrassement,
 - conditions de réutilisation des sols,
 - mode de talutage,
 - mode de remblaiement et critères de réception,
 - vérification tassement et poinçonnement,
 - calculs de stabilité :

Tronçon	Cas de calcul	Coté	Stabilité hydrodynamique	Stabilité au glissement
Tronçon 3 tronçon courant	Situation normale d'exploitation (hors crue)	Rivière	SO	oui (TALREN)
		Terre	SO	oui (TALREN)
	Crue en régime permanent	Terre	oui (PLAXFLOW)	oui (TALREN)
	Crue en régime transitoire	Terre	oui (PLAXFLOW)	oui (TALREN)
	Cas de vidange rapide en régime transitoire	Rivière	oui (PLAXFLOW)	oui (TALREN)
	Séisme (hors crue)	Rivière	SO	oui (TALREN)
Tronçon 3 Déversoir	Situation normale d'exploitation (hors crue)	Rivière	SO	oui (TALREN)
		Terre	SO	oui (TALREN)
	Crue en régime permanent	Terre	oui (PLAXFLOW)	oui (TALREN)
	Crue en régime transitoire	Terre	oui (PLAXFLOW)	oui (TALREN)
	Cas de vidange rapide en régime transitoire	Rivière	oui (PLAXFLOW)	oui (TALREN)
	Séisme (hors crue)	Rivière	SO	oui (TALREN)
Tronçon 1 et 2 (option digue)	Situation normale d'exploitation (hors crue)	Rivière	SO	oui (TALREN)
		Terre	SO	oui (TALREN)
	Crue en régime permanent	Terre	oui (PLAXFLOW)	oui (TALREN)
	Crue en régime transitoire	Terre	oui (PLAXFLOW)	oui (TALREN)
	Cas de vidange rapide en régime transitoire	Rivière	oui (PLAXFLOW)	oui (TALREN)
	Séisme (hors crue)	Rivière	-	-

Le calcul au séisme dans le cas du tronçon 1 et 2 est remplacé par un calcul en régime transitoire avec variation de la perméabilité de la digue.

- pour le mur de soutènement :
 - conditions de terrassement,
 - mode de talutage,
 - mode de remblaiement et critères de réception,
 - portance,
 - calculs de stabilité :

Tronçon	Cas de calcul	Coté	Stabilité hydrodynamique	Stabilité
Tronçon 1 et 2 (option mur)	Situation normale d'exploitation (hors crue)	Rivière	évaluation du risque d'érosion interne	Stabilité (géomur)
	en crue	Rivière	évaluation du risque d'érosion interne	Stabilité (géomur)

Recommandations particulières pour la réalisation des travaux

- conditions de terrassements,
- préconisations vis-à-vis des existants,
- sujétions particulières,
- les aléas géotechniques résiduels, les suites à donner.

3 – Programme d'investigations

Pour répondre aux objectifs de l'étude, il a été effectué :

Nouveau bassin :

- 6 sondages de reconnaissance à la pelle mécanique descendus à 3.0 m de profondeur, notés PMI, PM2, PM3, PM4, PM5 et PM6,
- une série d'analyses en laboratoire comprenant :
 - 8 teneurs en eau,
 - 6 limites d'Atterberg,
 - 2 valeurs de bleu,
 - 8 analyses granulométrique,
 - 3 des essais Proctor + IPI,
 - 2 essais triaxiaux UU,
 - 3 essais de cisaillement à la boîte CD,
- 4 essais de perméabilité Matsuo au droit des fouilles PMI, PM2, PM5 et PM6.

Digue existante à déconstruire :

- 2 sondages carottés de 116 mm de diamètre, descendus à 2.0 m de profondeur, notés SC1 et SC3,

Nota : Le SC2 n'a pas été effectué (aucun accès).

- 2 essais de perméabilité Nasberg au droit des sondages SC1 et SC3,
- une série d'analyses en laboratoire comprenant :
 - 4 teneurs en eau,
 - 2 limites d'Atterberg,
 - 2 valeurs de bleu,
 - 4 analyses granulométrique,
 - 1 essai de cisaillement CD à la boîte,

Tronçon 3 :

- 3 sondages pressiométriques en 64 mm de diamètre, descendus à 10 m de profondeur, avec la réalisation de 9 essais pressiométriques par sondage, notés SP3 à SP5,
- 2 sondages carottés de 116 mm de diamètre, descendus à 8.0 m de profondeur, notés SC6 et SC7,
- 2 équipements piézométriques en 45/50 mm descendus à 8 m de profondeur au droit des 2 carottages SC6 et SC7,
- 5 essais de perméabilité Lefranc/Nasberg au droit des sondages SC6 et SC7.
- une série d'analyses en laboratoire comprenant :
 - 6 teneurs en eau,
 - 3 limites d'Atterberg,
 - 3 valeurs de bleu,
 - 6 analyses granulométrique,
 - 4 essais de cisaillement CD à la boîte

Tronçon 1 & 2 :

- 2 sondages pressiométriques en 64 mm de diamètre, descendus à 10 m de profondeur, avec la réalisation de 9 essais pressiométriques par sondage, notés SP1 et SP2,
- 2 sondages carottés de 116 mm de diamètre, descendus à 8.0 m de profondeur, notés SC4 et SC5,
- 2 équipements piézométriques en 45/50 mm descendus à 8 m de profondeur au droit des 2 carottages SC4 et SC5,

- 6 essais de perméabilité Lefranc/Nasberg au droit des sondages SC4 et SC5.
- une série d'analyses en laboratoire comprenant :
 - 6 teneurs en eau,
 - 4 limites d'Atterberg,
 - 2 valeurs de bleu,
 - 6 analyses granulométrique,
 - 4 essais de cisaillement CD à la boîte.

Les sondages ont été implantés conformément au plan joint en annexe.

Les profondeurs mentionnées sur les coupes sont mesurées à partir du niveau du terrain naturel en tête de nos sondages au moment de leur réalisation (avril/mai 2019).

Les investigations ont été réalisées par la société 2GH, au moyen d'une foreuse hydraulique GEO 205 et d'une pelle hydraulique.

Les cotes NGF sont estimées à partir du plan topographique :

Secteur	Nouveau Bassin					
Sondage	PM1	PM2	PM3	PM4	PM5	PM6
Cote NGF	30.25	30.25	29.85	30.00	30.10	29.65

Secteur	Digue existante à déconstruire	
Sondage	SC1	SC3
Cote NGF	34.1	30.65

Secteur	Tronçon 3				
Sondage	SP3	SP4	SP5	SC6	SC7
Cote NGF	29.55	29.75	29.75	29.8	30.3

Secteur	Tronçon 1 & 2			
Sondage	SP1	SP2	SC4	SC5
Cote NGF	30.35	32.50	30.00	32.6

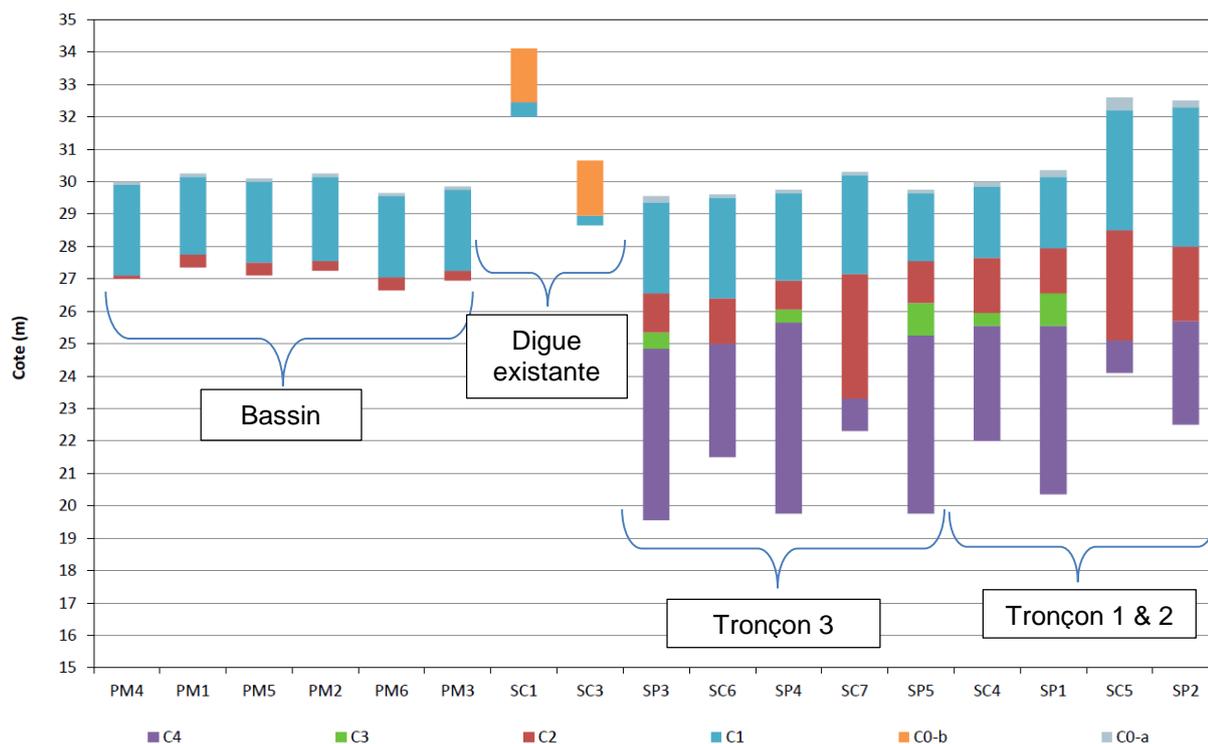
I – Description géologique

Les sondages ont mis en évidence les terrains suivants :

- de la **terre végétale** rencontrée au droit des sondages PMI à PM6, SPI à SP5 et SC4 à SC7, **couche C0-a**,
- des **remblais limono-graveleux** rencontrés au droit des sondages SC1 et SC3 – **couche C0-b**.
- des **limons +/- argileux marron** rencontrés au droit des sondages PMI à PM6, SPI à SP5, SC1, SC3 à SC7 – **couche C1**,
- des **sables argileux à graveleux à graves argileuses marron**, rencontrés au droit des sondages SPI à SP5, SC4 à SC7, PMI à PM6 – **couche C2**.
- des **argiles limoneuses localement sableuses beiges**, rencontrées au droit des sondages SPI, SP3 à SP5 et SC4 et SC5 – **couche C3**.
- **des argiles finement sableuses et marneuses gris à gris-bleu**, rencontrées jusqu'à la base des sondages SPI à SP5 et jusqu'à la base des sondages SC4 à SC6 – **couche C4**.

Ci-après une représentation graphique des sondages :

Synthèse des sondages



Les tableaux ci-dessous présentent les profondeurs de différentes couches rencontrées au droit des sondages :

Secteur :		Bassin						digue existante	
Couche		PM1	PM2	PM3	PM4	PM5	PM6	SC1	SC3
C0-a	Cote du toit (mNGF)	30.25	30.25	29.85	30	30.1	29.65		
	profondeur du toit (m)	-	-	-	-	-	-		
	Epaisseur (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10		
C0-b	Cote du toit (mNGF)							34.1	30.65
	profondeur du toit (m)							-	-
	Epaisseur (m)							1.65	1.70
C1	Cote du toit (mNGF)	30.15	30.15	29.75	29.9	30	29.55	32.45	28.95
	profondeur du toit (m)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	1.65	1.70
	Epaisseur (m)	2.40	2.60	2.50	2.80	2.50	2.50	>0.45	>0.30
C2	Cote du toit (mNGF)	27.75	27.55	27.25	27.1	27.5	27.05		
	profondeur du toit (m)	2.50	2.70	2.60	2.90	2.60	2.60		
	Epaisseur (m)	>0.4	>0.3	>0.3	>0.1	>0.4	>0.4		
C3	Cote du toit (mNGF)								
	profondeur du toit (m)								
	Epaisseur (m)								
C4	Cote du toit (mNGF)								
	profondeur du toit (m)								
	Epaisseur (m)								

Secteur :		Tronçon 3					Tronçon 1 & 2			
Couche		SP3	SC6-PZ	SP4	SC7-PZ	SP5	SC4-PZ	SPI	SC5-PZ	SP2
C0-a	Cote du toit (mNGF)	29.55	29.60	29.75	30.30	29.75	30.00	30.35	32.60	32.50
	profondeur du toit (m)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Epaisseur (m)	0.20	0.10	0.10	0.10	0.10	0.15	0.20	0.40	0.20
C0-b	Cote du toit (mNGF)									
	profondeur du toit (m)									
	Epaisseur (m)									
C1	Cote du toit (mNGF)	29.35	29.50	29.65	30.20	29.65	29.85	30.15	32.20	32.30
	profondeur du toit (m)	0.20	0.10	0.10	0.10	0.10	0.15	0.20	0.40	0.20
	Epaisseur (m)	2.80	3.10	2.70	3.05	2.10	2.20	2.20	3.70	4.30
C2	Cote du toit (mNGF)	26.55	26.40	26.95	27.15	27.55	27.65	27.95	28.50	28.00
	profondeur du toit (m)	3.00	3.20	2.80	3.15	2.20	2.35	2.40	4.10	4.50
	Epaisseur (m)	1.20	26.40	0.90	27.15	1.30	1.70	1.40	1.65	28.00
C3	Cote du toit (mNGF)	25.35		26.05		26.25	25.95	26.55	26.85	
	profondeur du toit (m)	4.20		3.70		3.50	4.05	3.80	5.75	
	Epaisseur (m)	0.50		0.40		1.00	0.40	1.00	1.75	
C4	Cote du toit (mNGF)	24.85	25.00	25.65	23.30	25.25	25.55	25.55	25.10	25.70
	profondeur du toit (m)	4.70	4.60	4.10	7.00	4.50	4.45	4.80	7.50	6.80
	Epaisseur (m)	>5.3	>3.5	>5.9	>1	>5.5	>3.55	>5.2	>1	>3.2

2 – Caractéristiques mécaniques

Les caractéristiques mécaniques mesurées au moyen d'essais pressiométriques sont :

- **faibles à moyennes** dans la couche C1, avec :
 - module pressiométrique : $1.4 \leq E_M \leq 10$ MPa
 - pression limite nette : $0.09 \leq p_l - p_0 \leq 0.74$ MPa
- **moyennes à bonnes** dans la couche C2, avec :
 - module pressiométrique : $5.8 \leq E_M \leq 44$ MPa
 - pression limite nette : $0.55 \leq p_l - p_0 \leq 3.39$ MPa
- **moyennes à bonnes** dans la couche C3, avec :
 - module pressiométrique : $4.8 \leq E_M \leq 13.5$ MPa
 - pression limite nette : $0.58 \leq p_l - p_0 \leq 1.52$ MPa
- **bonnes à très bonnes** dans la couche C4, avec :
 - module pressiométrique : $17.8 \leq E_M \leq 500$ MPa
 - pression limite nette : $1.77 \leq p_l - p_0 \leq +4.8$ MPa

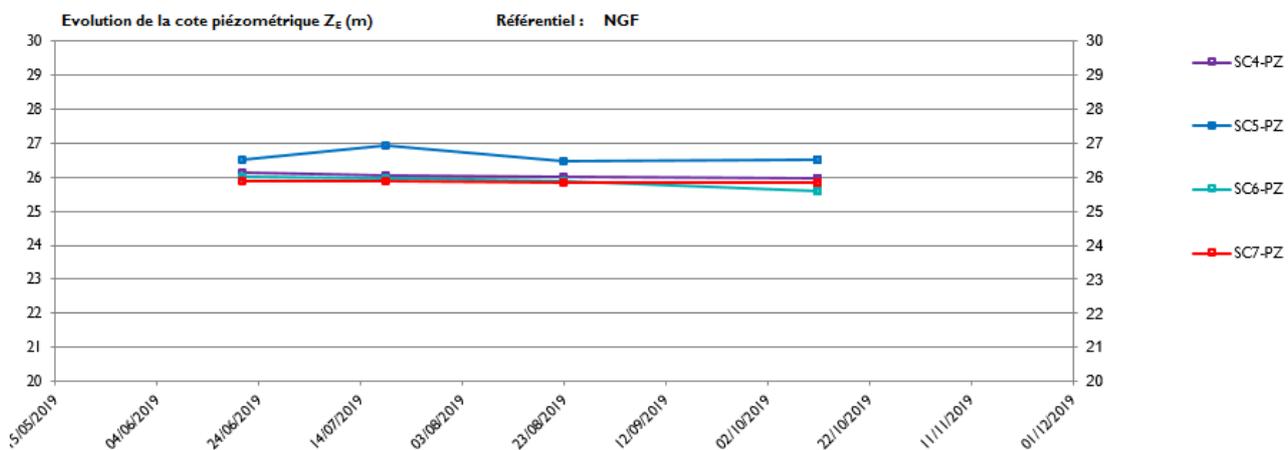
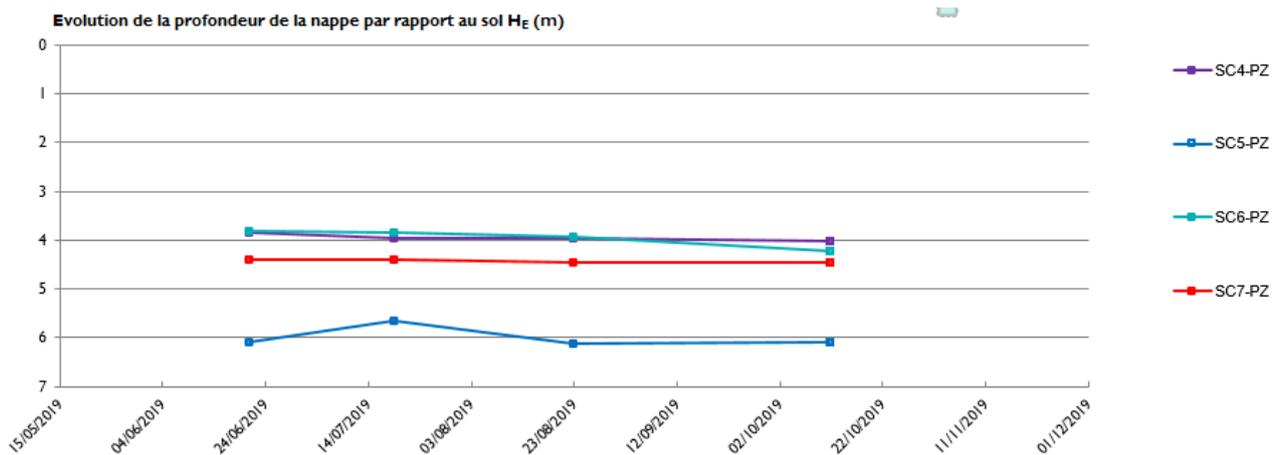
3 – Niveaux d'eau

Lors de la réalisation des sondages à la pelle (mai 2019) aucune arrivée d'eau n'a été rencontrée jusqu'à la base (3.0 m).

En fin de forage, des niveaux d'eaux ont été relevés au droit des sondages SPI à SP5 à des profondeurs variant entre 3.4 et 4.9 m.

4 piézomètres ont été installés au droit du site. On trouvera ci-dessous les relevés des piézomètres :

Date de relevé	SC4 - PZ		SC5-PZ		SC6-PZ		SC7-PZ	
	Prof. m/TN	Cote (mNGF)						
20/06/19	3.85	26.15	6.10	26.5	3.8	26.0	4.4	25.9
18/07/19	3.95	26.05	5.65	26.95	3.85	25.95	4.4	25.9
22/08/19	3.97	26.03	6.13	26.47	3.93	25.87	4.45	25.85
11/10/19	4.02	25.98	6.09	26.51	4.22	25.58	4.46	25.84



Il s'agit probablement de niveau en relation avec la nappe superficielle du secteur.

Remarque :

Concernant les résultats des essais de cisaillement, il s'agit des valeurs brutes. Les valeurs qui seront retenues dans les modèles géotechniques pourront être différentes.

On constate que :

- Les sols de la couche C0-b sont de classe C₂B₃ et C₂B₄,
- Les sols de la couche C1 sont de classe A₁, A₂ et A₃,
- Les sols de la couche C2 sont de classe A₁, B₅ et C₁B₅,
- Les sols de la couche C3 sont de classe A₂,
- Les sols de la couche C4 sont de classe A₁, A₂.

4.1 – Définition des classes selon le GTR 2000

- **Sols A1** : limons peu plastiques, silts alluvionnaires, sables fins peu pollués,
Ces sols changent brutalement de consistance pour de faibles variations de teneur en eau, en particulier lorsque leur W_n est proche de W_{OPN}. Le temps de réaction aux variations de l'environnement hydrique et climatique est relativement court, mais la perméabilité pouvant varier dans de larges limites selon la granulométrie, la plasticité et la compacité, le temps de réaction peut tout de même varier assez largement.
- **Sols A2** : sables fins argileux, limons, argiles peu plastiques :
Il s'agit de sols fins sensibles à l'eau dont les performances mécaniques et traficabilité chutent rapidement en présence d'eau.
Le caractère moyen des sols de cette sous-classe fait qu'ils se prêtent à l'emploi de la plus large gamme d'outils de terrassement (si la teneur en eau n'est pas trop élevée).
- **Sols A3** : argiles et argiles marneuses, limons très plastiques...
Ces sols sont très cohérents à teneur en eau moyenne et faible, et collants ou glissants à l'état humide, d'où difficulté de mise en œuvre sur chantier (et de manipulation en laboratoire).
Leur perméabilité très réduite rend leurs variations de teneur en eau très lentes, en place.
Une augmentation de teneur en eau assez importante est nécessaire pour changer notablement leur consistance.
- **Sols B5** : sable et graves très silteux...
La proportion de fines et la faible plasticité de ces dernières rapprochent beaucoup le comportement de ces sols à celui des sols A1.
Leur emploi en couche de forme sans traitement avec des LH nécessite, par ailleurs, la mesure de leur résistance mécanique (Los Angelès, LA, et/ou Micro Deval en présence d'eau, MDE).
- **Sols C1B5** :
Matériaux roulés dont la proportion de la fraction 0/50 mm dépasse 60 à 80 % et est de classe B5.
Ces matériaux se comportent comme la fraction 0/50 mm, soit B5 dans le cas présent.

- **Sols C2Bi** : argiles à silex, argiles à meulière, éboulis, biefs à silex...

Matériaux anguleux comportant une fraction 0/50 mm inférieure à 60 à 80 % et ou la fraction 0/50 mm est un sol de classe Bi

Le comportement des sols de cette classe dépend aussi de la fraction 50/D présente et ne peut plus être assimilé à celui de la seule fraction 0/50 mm.

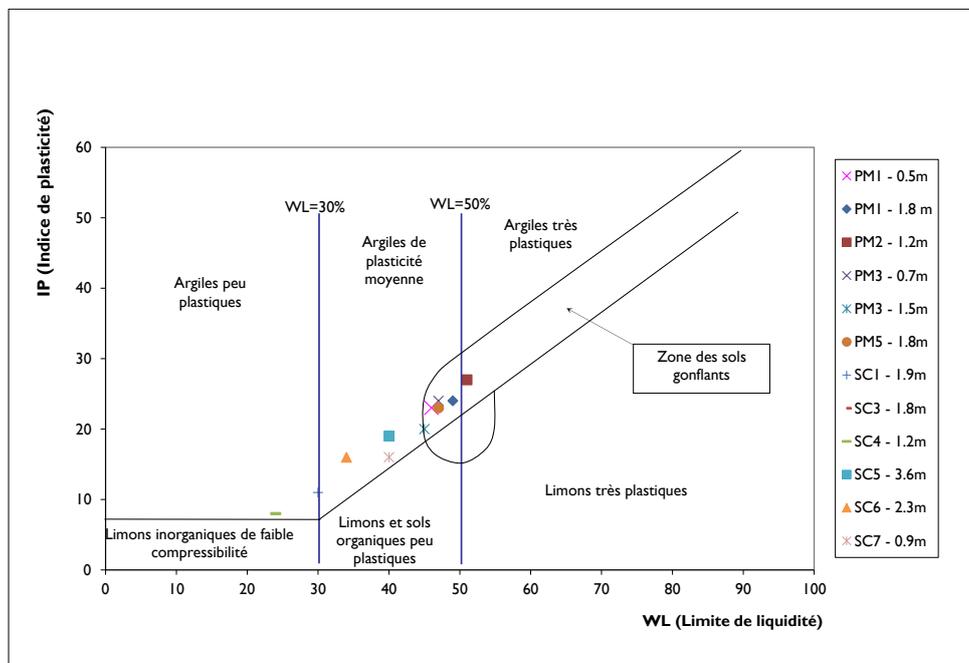
L'importance de cette influence est toujours difficile à évaluer (fonction de la continuité granulométrique et de l'angularité des éléments grenus) en raison des difficultés pratiques qu'il y a à réaliser des essais de laboratoire sur ces matériaux.

4.2 – Sensibilité au retrait/gonflement

Selon le diagramme de Casagrande, les sols prélevés se situent :

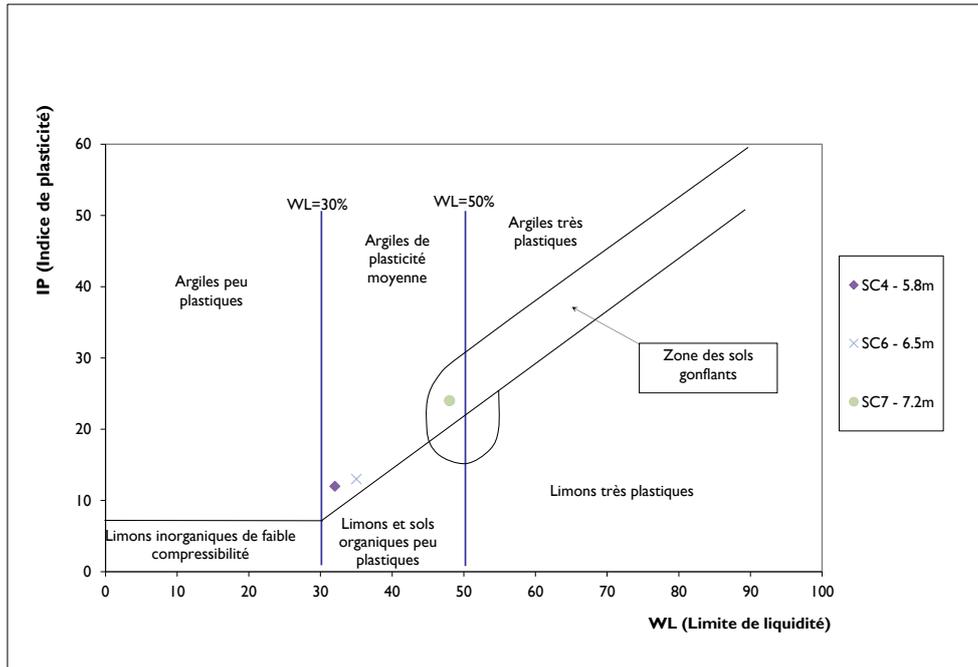
Cas des sols C I :

Dans les argiles de plasticité moyenne et dans les argiles très plastiques, et en partie dans le domaine des sols gonflants (domaine déterminé par le retour d'expérience des géotechniciens) :



Cas des sols C4 :

Dans les argiles de plasticité moyenne et en partie dans le domaine des sols gonflants (domaine déterminé par le retour d'expérience des géotechniciens) :



En conclusion, pour les couches C1 et C4, on retiendra une sensibilité moyenne à élevées des argiles vis-à-vis du risque de gonflement.

5 – Essais de perméabilité

4 essais de perméabilité Matsuo ont été réalisés au droit des fouilles PM1, PM2, PM5 et PM6 et 13 essais Lefranc ont été réalisés au droit des sondages carottés SC1, SC3 à SC7.

Les résultats sont présentés dans les tableaux ci-dessous :

Secteur	Sondage	Prof. Essai (m)	Lithologie	couche	Perméabilité (m/s)
Nouveau bassin	PM1	1.5	Limon argileux marron à granules calcaires	C1	$1.8 \cdot 10^{-5}$
	PM2	3.0	Sable argileux brun-jaune	C2	$2.3 \cdot 10^{-5}$
	PM5	3.0	Sable argileux brun-jaune à débris coquillés	C2	$2.2 \cdot 10^{-5}$
	PM6	1.5	Limon argileux à granules calcaires	C1	$1.0 \cdot 10^{-5}$

Secteur	Sondage	Prof. Essai (m/TN)	Lithologie	couche	Perméabilité (m/s)
Digue existante	SC1	0.55-1.6	Graves fines à grossières et matrice argilo-limoneuse	C0-b	$2.6 \cdot 10^{-4}$
	SC3	0.4-1.4	Graves fines à grossières et matrice sablo-limoneuse	C0-b	$4.1 \cdot 10^{-8}$
Tronçon 1 & 2	SC4	1.0-2.0	Limon très fin peu argileux	C1	$1.8 \cdot 10^{-7}$
	SC4	3.0-4.0	Graves légèrement sableuses et limoneuses	C2	$4.3 \cdot 10^{-6}$
	SC4	6.0-7.0	Limon argileux légèrement sableux	C4	$9.2 \cdot 10^{-9}$
	SC5	1.0-2.0	Limon argileux brun	C1	$9.9 \cdot 10^{-8}$
	SC5	3.0-4.0	Limon argileux brun	C1	$1.5 \cdot 10^{-7}$
	SC5	5.0-6.0	Limon argileux gravelo-sableux	C3	$1.2 \cdot 10^{-4}$
Tronçon 3	SC6	1.0-2.0	Argile marron limoneuse	C1	$3.8 \cdot 10^{-8}$
	SC6	5.8-7.0	Argile sableuse grises	C4	$3.6 \cdot 10^{-6}$
	SC7	1.0-2.0	limon argileux marron	C1	$3.7 \cdot 10^{-7}$
	SC7	3.0-4.0	Sable et graves limono-argileux	C2	$3.1 \cdot 10^{-6}$
	SC7	5.0-6.0	Sable fin et graves sableuses	C2	$1.7 \cdot 10^{-6}$

On constate que les perméabilités sont :

- dans la couche C0-b : moyennes à très faibles, avec des valeurs comprises entre $2.6 \cdot 10^{-4}$ et $4.1 \cdot 10^{-8}$ m/s (2 valeurs),
- dans la couche C1 : moyennes à très faibles, avec des valeurs comprises entre $1.8 \cdot 10^{-5}$ et $3.8 \cdot 10^{-8}$ m/s (6 valeurs),
- dans la couche C2 : faibles, avec des valeurs comprises entre $2.3 \cdot 10^{-5}$ et $1.7 \cdot 10^{-6}$ m/s (5 valeurs),
- dans la couche C3 : moyenne, avec une valeur de $1.2 \cdot 10^{-4}$ m/s (1 valeur, qui doit donc être prise avec précaution et qui n'est pas représentative de la nature des matériaux constatés lors de carottage).
- dans la couche C4 : faibles à très faibles, avec des valeurs comprises entre $3.6 \cdot 10^{-6}$ et $9.2 \cdot 10^{-9}$ m/s (2 valeurs),

Les valeurs de perméabilité peuvent varier dans de larges limites en fonction de la granulométrie et de la compacité des sols.

6 – Modèles géotechniques retenus

6.1 – Caractéristiques retenues pour les sols en place

Sur la base des sondages réalisés, dans le cadre de l'étude G2 AVP, nous avons retenu pour les sols en place le modèle géotechnique suivant :

	Tronçon 3	Tronçon 1 & 2
	Cas des sondages SP5 ; SC7 ; SP4 ; SC6 ; SP3	Cas des sondages SC4 ; SPI ; SC5 ; SP2
Cote du terrain actuel au droit des sondages (m NGF)	SP5 : 29.75 SC7 : 30.3 SP4 : 29.75 SC6 : 29.6 SP3 : 29.55	SC4 : 30.0 SPI : 30.35 SC5 : 32.6 SP2 : 32.5

		Cote base (mNGF)	
Lithologie	Couche	Tronçon 3	Tronçon 1 & 2
Limon +/- argileux	C1	26.5	27.5
Sables argileux à graveleux à graves argileuses	C2	25.5	26.5
Argile limoneuse localement sableuse	C3	24.5	25.0
Argile finement sableuse à marneuse	C4	<20.0	<20.5

Couche	E_M (MPa)	PI^* (MPa)	Pf^* (MPa)	α	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)	k (m/s)
C1	3	0.3	0.2	1/2	19	5	27	1.0 10 ⁻⁶
C2	15	1.5	1.0	1/3	19	4	30	1.0 10 ⁻⁵
C3	5	0.5	0.3	2/3	20	10	20	1.0 10 ⁻⁵
C4	28	2.3	1.6	2/3	20	20	20	1.0 10 ⁻⁷

Remarques :

- les caractéristiques intrinsèques sont des estimations prudentes basées sur les résultats des essais en laboratoire et sur des corrélations des essais pressiométriques.
- compte tenu de l'hétérogénéité des niveaux NGF des limites de couches, il a été considéré deux profils (digue 3 et digue 1&2).
- l'implantation des digues 1&2 a été décalée par rapport à une partie des sondages. Des sondages complémentaires seront donc nécessaires pour confirmer le modèle.

6.2 – Caractéristiques retenues pour les matériaux d'apport

Les matériaux d'apport proviendront a priori en partie :

- de la digue à déconstruire (sols de classe C2B3 et C2B4 selon le GTR2000),
- du bassin (sols de classe A2 voire A3 selon le GTR2000),
- d'apport extérieur dont le stock de SAPORTA, (sol de classe A1, A2, CIA1, CIA2 selon le GTR200) – rapport Hydrogéotechnique référencé C1841315 du 08/05/2019.

La quantité de matériaux nécessaire est évaluée à 9100 m³ (sur le tronçon 3).

Les matériaux provenant de l'ancienne digue représentent 1000 m³ et ceux du bassin 3000 m³ environ.

Selon les classes GTR, les matériaux mis en œuvre seront principalement des matériaux fins, mais des matériaux sablo-graveleux seront également présent.

Nous considérons l'hypothèse que la digue sera construite avec un objectif de compactage q4.

Compte tenu de ces éléments nous retenons dans le cadre de la phase AVP de l'étude G2 les caractéristiques suivantes :

Couche	E _M (MPa)	PI* (MPa)	Pf* (MPa)	α	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	φ' (°)	k (m/s)
Matériaux d'apport	10	0.8	0.5	1/2	20	5	27	1.10 ⁻⁵

Remarque :

Pour information, des ordres de grandeur de perméabilité sont donnés dans le guide Remblayage des Tranchées – Utilisation des matériaux autocompactants d'Avril 1998 du CERTU,

Perméabilité en m/s	10 ⁻¹² à 10 ⁻¹⁰	10 ⁻¹³ à 10 ⁻⁹	10 ⁻⁹ à 10 ⁻⁵	10 ⁻⁵ à 10 ⁻³	10 ⁻³ à 1
Nature des matériaux	Roches massives non fissurées (R6, R4, R3...)	Argiles (...A4, A3...B6...)	Limons et sables argileux (...A1, A2...B5...)	Sables (...B4...D1...)	Graviers, éboulis rocheux, galets (...B3...D3...)

En cas de tri lors de la réalisation des travaux et de l'utilisation uniquement de matériaux A1 et A2, il est donc envisageable de diminuer cette valeur.

Les calculs ont été menés avec une perméabilité de 10⁻⁵ et l'étude de sensibilité avec des perméabilités allant de 10⁻⁴ à 10⁻⁷.

Au droit de la digue 3 déversoir, il est prévu une protection en gabion de la digue. Les caractéristiques mécaniques retenues sont les suivantes :

Couche	E _M (MPa)	α	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	φ' (°)	k (m/s)
Gabion	10	1/2	16	5	35	

Pour les calculs, il a été considéré une perméabilité horizontale égale à la perméabilité verticale (k_H = k_V).

I – Classe des sols vis-à-vis du risque sismique

Les sols du site sont de **classe B** selon l'Eurocode 8.

En zone de sismicité 2, l'étude de liquéfaction des sols n'est pas requise (décret 2010-1255 du 22 octobre 2010).

À ce stade, aucune information concernant la classe de l'ouvrage ne nous a été transmise.

2 – Réalisation du bassin en déblais

Il est prévu la construction d'un bassin de 1 m de profondeur, d'une surface de l'ordre de 3000m².

Au droit du projet, les sondages PMI à PM6 ont mis en évidence sous un recouvrement de terre végétale, des limons +/- argileux de classe A2 à A3 selon le GTR2000 jusqu'à des profondeurs variant entre 2.5 et 2.9m puis des sables argileux au-delà.

Aucune arrivée d'eau n'a été observée jusqu'à la base des fouilles (environ 3 m).

2.1 – Condition de terrassement

Compte tenu de la nature des terrains et des profondeurs envisagées, les terrassements pourront être menés avec des moyens classiques.

Les travaux devront être réalisés en période favorable, car en cas de précipitation le chantier deviendra vite impraticable et des chutes de portances seront rencontrées.

Les déblais seront constitués de limon argileux de classe A2 et A3. Ces matériaux peuvent être réutilisés en remblais sous réserve de respecter les conditions du GTR2000 (état hydrique, épaisseur de couche, extraction,...).

La réutilisation des matériaux devra se faire à un état hydrique adapté et en respectant les conditions et spécifications du GTR 2000.

Dans le cas où les matériaux seraient dans un état h ou th, une aération préalable sera indispensable ; si le matériau est trop sec, prévoir une humidification de ce dernier.

En phase définitive, les talus devront montrer une pente de 3H pour 2V (Horizontal/Vertical) pour des hauteurs inférieures ou égales à 1 m.

2.2 – Fonctionnement hydraulique du bassin

Un bureau d'étude Hydraulique devra étudier le fonctionnement hydraulique du bassin.

Les perméabilités mesurées au droit du bassin sont comprises entre 1.0 et 2.3 10⁻⁵ m/s. Toutefois, en cas d'infiltration, il sera nécessaire de prendre en considération un coefficient de sécurité afin de tenir compte des phénomènes de colmatage dû à la présence de fines.

3 – Réalisation des digues en remblais

Pour la mise en œuvre des remblais, on prévoira :

- de décaper la couverture végétale en totalité et les sols en place sur 10 cm au minimum,
- de purger tout élément évolutif avec reprise des approfondissements en pente douce,
- de réaliser des clefs d'ancrages de 0.50 m de profondeur,
- de réaliser des redans d'accrochage,
- d'effectuer une surlargeur pour le compactage qui sera retaillé in fine (méthode excédentaire),
- de respecter les conditions de réutilisation des matériaux en remblais données dans le GTR,
- de mettre en œuvre les matériaux à un état hydrique moyen, et lors de conditions climatiques favorables,
- de mettre en œuvre les matériaux par couche unitaire avec compactage soigné.

Ces conditions sont valables pour des hauteurs de remblaiement inférieures à 3 m.

Au démarrage et pendant les travaux, prévoir des essais de laboratoire complémentaires et des planches d'essais afin de préciser les spécificités du chantier, les états hydriques, les conditions de réutilisation.

On prévoira un contrôle soigné des remblais :

- au niveau de chaque couche par des essais à la plaque de type LCPC avec critère de réception :

$$E_{v2} \geq 30 \text{ à } 50 \text{ MPa}$$

$$E_{v2}/E_{v1} \leq 2,2$$

- au niveau de l'arase avec comme objectif un indice de compacité $I_C = q_4$ (95 % de l'OPN) sur toute la hauteur à contrôler au pénétrodensitographe.

Pour les pistes de circulation en tête des digues, on prévoira une couche de matériau sain, non évolutif et insensible à l'eau (passant à 80 μm \leq 12% et VBs \leq 0.1), de granulométrie adaptée, soit 0/20 ou 0/31.5, mis en œuvre sur 0.30 m d'épaisseur minimum par couche unitaire et soigneusement compactée, séparée du support par un géotextile anticontaminant.

Les pistes devront être réceptionnées avec :

$$E_{v2} \geq 50 \text{ MPa}$$

$$E_{v2}/E_{v1} \leq 2,2$$

Prévoir une végétalisation dense des talus ou la mise en place de fascinage (mise en place de coco) pour limiter l'érosion.

Avant démarrage, l'entreprise proposera une procédure pour validation.

Remarque : Les matériaux mis en œuvre devront présenter les caractéristiques mécaniques permettant d'assurer la stabilité de la digue.

Des essais devront être menés (essais de perméabilité sur matériaux compactés q_4 , essais triaxiaux sur matériaux compactés q_4).

4 – Vérifications

4.1 – Vérification au poinçonnement et estimations des tassements

Pour les vérifications au poinçonnement et les estimations des tassements, il a été considéré :

Données géométriques et surcharge		Digue 3	Digue 1 & 2
Cote de la digue	Z_D (m NGF)	33.0	33.3
Cote de TN	Z_{TN} (m NGF)	29.8	31.3
Hauteur de remblai	H_r (m)	3.2	2.0
Hypothèses de chargement			
Densité du remblai	γ_r (kN/m ³)	20	20
Surcharge du remblai	q_r (kPa)	64	40
Surcharge d'exploitation	q' (kPa)	10	10
Surcharge de référence	q_{ref} (kPa)	74	50

..4.1.1. poinçonnement

Le facteur de sécurité F de l'assise des remblais techniques par rapport à une rupture au poinçonnement est calculé de la façon suivante :

Vérification à long terme :

$$F = \frac{k_p \cdot p_{le}^*}{q_{ref}} \geq 1.5$$

Où :

k_p est le facteur de portance pressiométrique ;

p_{le}^* est la pression limite nette équivalente des sols d'assise ;

q_{ref} est la surcharge totale du remblai.

Pour l'étude les remblais techniques du cas présent, les résultats obtenus sont résumés dans le tableau suivant.

Vérification à long terme		Digue 3	Digue 1 & 2
Facteur de portance	k_p (-)	0.8	0.8
Pression limite nette équivalente	p_{le}^* (kPa)	300	300
Facteur de sécurité	F (-)	3.2	4.8
Vérification critère	$F > 1.5$	Oui	Oui

Vérification à court terme (sols mous en conditions non drainées) :

$$F = \frac{C_u \cdot N_c}{Q_{ref}} \geq 1.5$$

Où :

c_u est la cohésion non drainée. Celle-ci peut être estimée à partir des expressions suivantes en fonction de la pression limite p_l :

$$C_u(kPa) = \frac{p_l - p_0}{5.5} \text{ pour } (p_l - p_0) < 300 \text{ kPa}$$

$$C_u(kPa) = \frac{p_l - p_0}{10} + 25 \text{ pour } (p_l - p_0) > 300 \text{ kPa}$$

N_c est le coefficient de portance d'un remblai de longueur moyenne B (à mi-talus) reposant sur un sol mou d'épaisseur h , calculé de la façon suivante selon MANDEL et SALENCON :

$$N_c = 0.47 \cdot \left(\frac{B}{h} - 1.49 \right) + 5.15 \text{ pour } 1.49 < \frac{B}{h} < 10$$

$$N_c = \pi + 2 \text{ pour } \frac{B}{h} < 1.49$$

q_{ref} est la surcharge totale du remblai.

Vérification à court terme (sols mous en conditions non drainées)		Digue 3	Digue 1 & 2
Cohésion non drainée	c_u (kPa)	54	54
Coefficient de portance	N_c (-)	$\geq 5,15$	$\geq 5,15$
Facteur de sécurité	F (-)	≥ 3.7	≥ 5.6
Vérification critère	$F > 1.5$	Oui	Oui

..4.1.2. Tassement prévisionnels

Un ordre de grandeur des tassements sous surcharge uniforme peut être évalué par la relation de Ménard :

$$s = P \sum_i \frac{h_i \alpha_i}{E_{Mi}}$$

Avec :

α_i = coefficient de structure du sol

P = contrainte uniforme apportée au toit de la couche considérée (MPa)

h_i = épaisseur de sol considérée (m)

E_{Mi} = module pressiométrique (MPa)

En considérant des tassements dans les couches C1 à C3, il vient :

Tassement		Digue 3	Digue 1 & 2
Surcharge de référence	q_{ref} (kPa)	74	50
Tassement	s (cm)	≈ 4 à 5	≈ 4 à 5

La majorité de ces tassements se produira durant le chantier.

5 – Paramètres et principes généraux de calcul

- Système d'endiguement de classe C (donnée fourni par ANTEA),
- Surcharge :

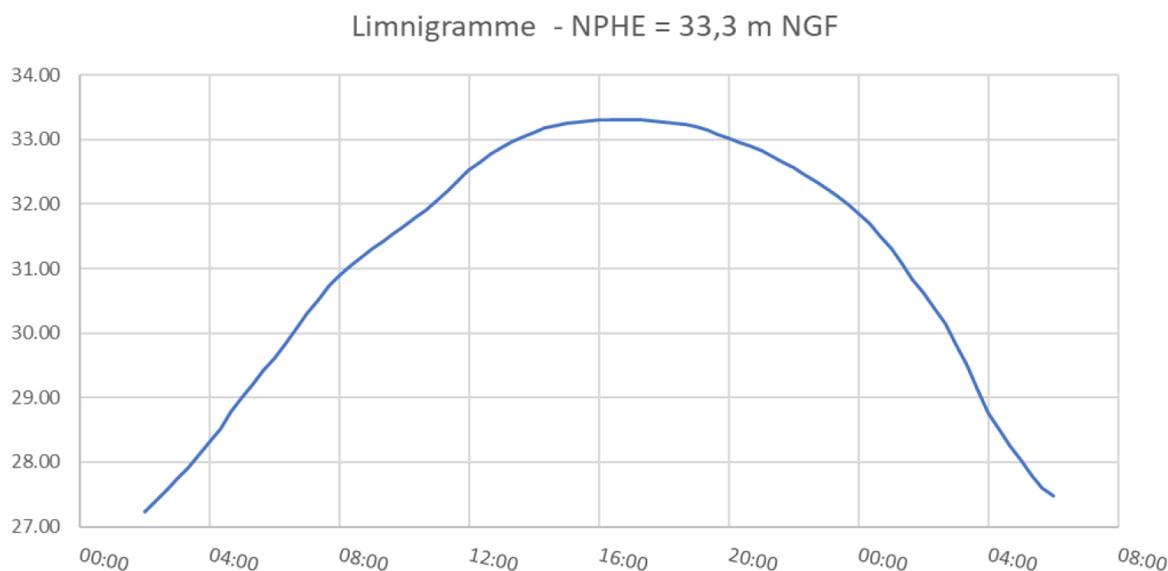
En situation normale d'exploitation on considérera une surcharge de 10 kPa, pour vérifier l'incidence relative sur la réduction du coefficient de sécurité sans surcharge.

- Condition hydraulique :

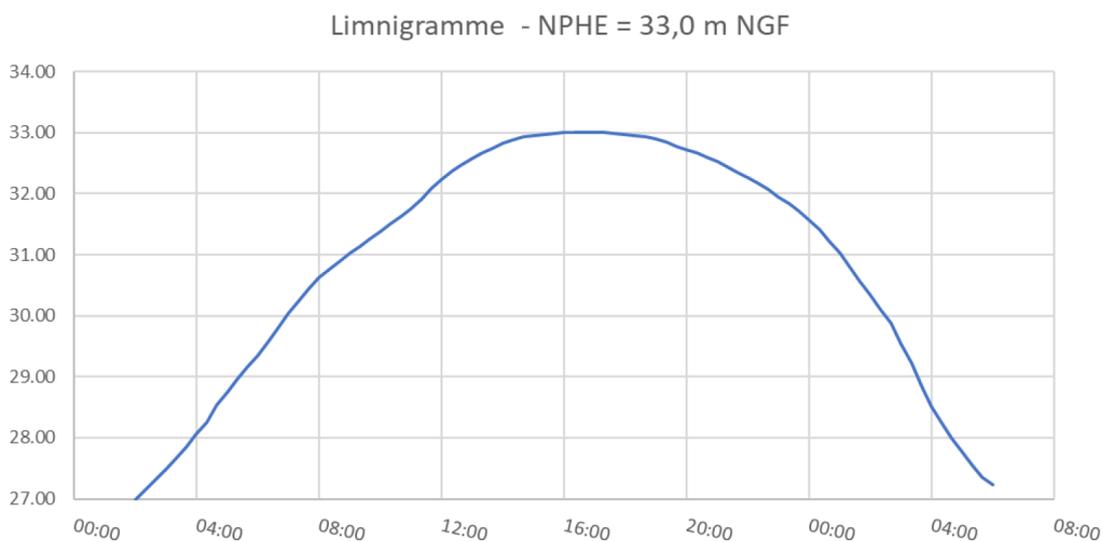
Les conditions hydrauliques sont les suivantes :

	Niveau d'eau courant (NGF)	Niveau PHE (NGF)	Niveau d'eau en crue coté terre (NGF)
Tronçon 1&2	26.00	33.30	30.00
Tronçon 3 (deversoir)	26.00	32.50	28.35
Tronçon 3 (courant)	26.00	33.00	29.70

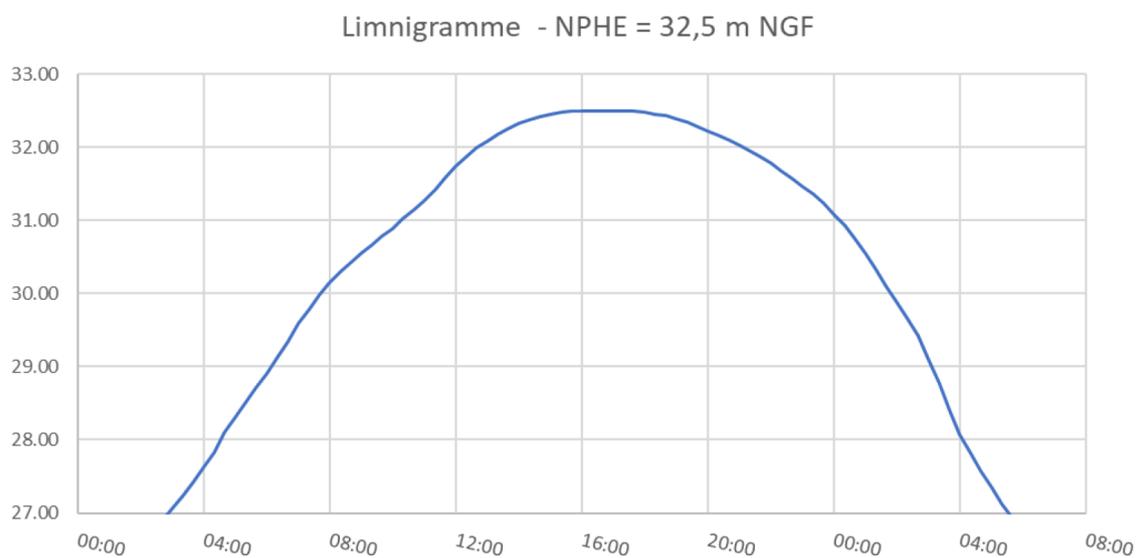
Limnigramme Tronçon I & 2 :



Limnigramme Tronçon 3-courant :



Limnigramme Tronçon 3-deversoir :



5.1 – Calculs PLAXFLOW

..5.1.1. Principe de la modélisation hydraulique

Les calculs ont été menés à l'aide du logiciel PLAXIS Version 2019, modélisation aux éléments finis.

Il s'agit d'une modélisation en 2D en déformation plane, consistant à prolonger le modèle dans la troisième dimension jusqu'à l'infini (dans l'axe longitudinal de la digue).

Les écoulements ont été modélisés à l'aide du logiciel PLAXFLOW intégré dans PLAXIS et permettant de simuler des régimes transitoires dans les milieux saturés et non saturés.

L'objectif est d'analyser l'évolution de la ligne de saturation lors du remplissage et la vidange de la Mosson et la stabilité dans ces conditions.

..5.1.2. Principe de la modélisation géo-mécanique

Des calculs ont été menés à l'aide du logiciel Plaxis, en utilisant la méthode c- ϕ réduction.

L'instabilité au grand glissement est liée à la présence de pressions interstitielles et des gradients au sein de la digue qui diminuent la résistance au cisaillement du sol permettant ainsi aux surfaces de glissement de se développer.

Le logiciel permet de vérifier la stabilité des parements amont et aval sur le même profil. Le logiciel présente uniquement le coefficient de sécurité minimum.

Aucun coefficient partiel n'est appliqué sur les paramètres de sols.

Dans ce cas, la sécurité est considérée comme satisfaisante lorsque l'on obtient les facteurs de sécurité Γ_{\min} suivants :

Phase transitoire : $\Gamma_{\min} \geq 1,3$

Phase service : $\Gamma_{\min} \geq 1,5$

(avec Γ_{\min} = coefficient de sécurité global sur l'ensemble des résistances au cisaillement appliqué à tout le modèle).

Les calculs de coefficient de sécurité ont été effectués à l'issue de la crue, puis pendant et après la décrue.

La stabilité de la digue est vérifiée pour chaque situation hydraulique.

Normale d'exploitation ; F recherché $\geq 1,5$

Crue et décrue : F recherché $\geq 1,3$

5.2 – Calculs TALREN

Les paramètres considérés sont issus du guide du CFBR, recommandations pour la justification de la stabilité des barrages et des digues en remblais, version d'octobre 2015 et du guide Risque sismique et sécurité des ouvrages hydrauliques d'octobre 2014.

L'analyse de la stabilité est réalisée avec le logiciel TALREN V5, sur la base d'une analyse des facteurs de sécurité aux cercles de rupture circulaires selon la méthode de BISHOP.

Les jeux de coefficient sont les suivants.

SITUATION	Coefficient partiel				coefficient de sécurité recherché
	c'	ϕ'	γ	coefficient de modèle	
Situation normale d'exploitation	1.25	1.25	1	1.2	1
Crue en régime transitoire	1.1	1.1	1	1.2	
Crue en régime permanent	1.1	1.1	1	1.2	
Cas de vidange rapide en régime transitoire	1.1	1.1	1	1.2	
séisme	1	1	1	1.1	

Pour le calcul au séisme, l'accélération maximale correspond à la valeur du tableau 7-26 du guide Risque sismique et sécurité des ouvrages hydrauliques d'octobre 2014.

Il vient les valeurs de k_h et k_v suivantes :

Calcul au séisme	k_h ($m.s^{-2}$)	k_v ($m.s^{-2}$)
Système d'endiguement de classe C	0.027	0.014

5.3 – Ouvrage de soutènement

Le calcul est mené de manière analytique.

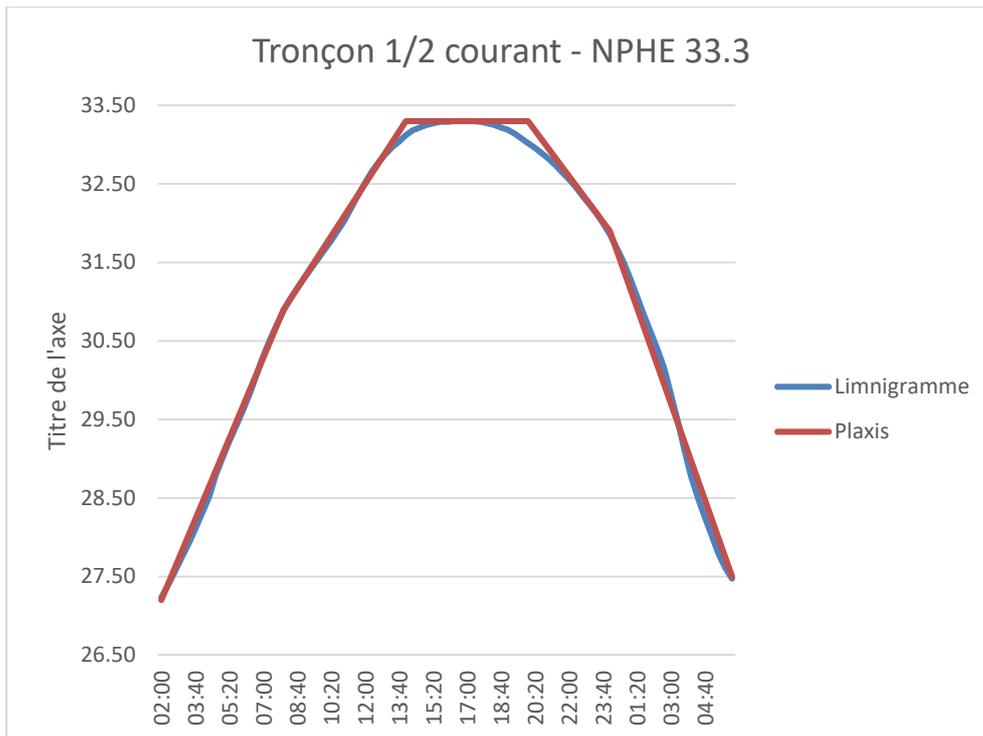
6 – Tronçon 1 & 2 courant – résultats PLAXFLOW

6.1 – Situation hydraulique

Nous avons retenu une nappe à la cote 26NGF.

Conformément au Limnigramme, nous avons considéré, pour l'étude des écoulements internes en régime transitoire :

- 12h de montée de crue de la Mosson jusqu'à 33.3 NGF (NPHE)
- 6h de niveau statique à 33.3NGF
- 10h de décrue jusqu'à 27.5NGF



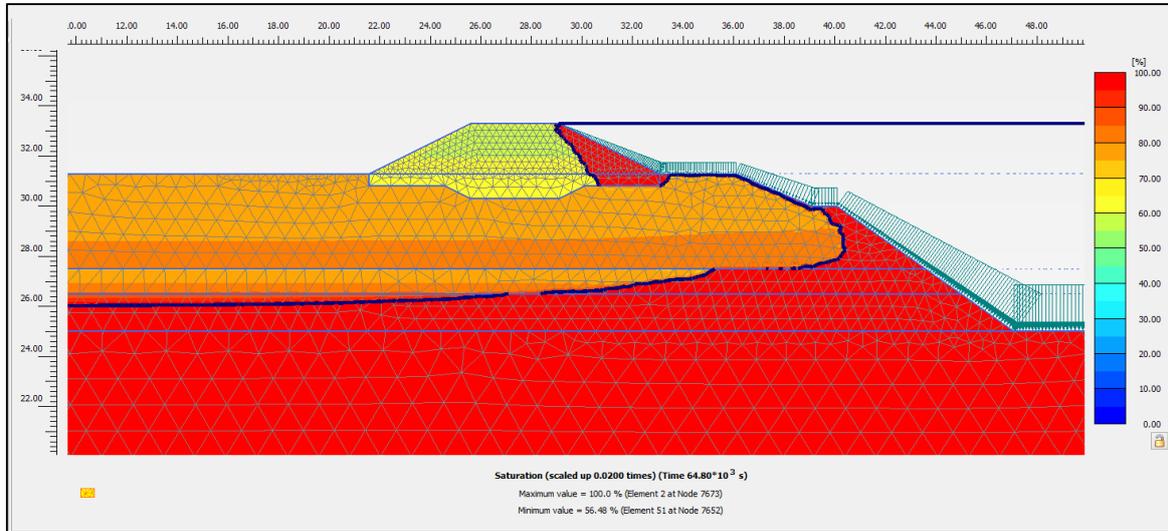
6.2 – Phasage

Initial phase [InitialPhase]		0.000 s
1-terrassement clé ancrage [Phase_1]		0.000 s
2- corps de digue en remblai [Phase_2]		0.000 s
3-crue mousson rég. perm. [Phase_4]		0.000 s
FS crue perm [Phase_5]		0.000 s
4a-crue 6h [Phase_8]		21.60E3 s
4b-crue 12h [Phase_11]		21.60E3 s
4c-crue maitien 6h [Phase_10]		21.60E3 s
FS crue 18h [Phase_3]		0.000 s
5a - décrue 4h [Phase_6]		14.40E3 s
5b - décrue 10h [Phase_9]		21.60E3 s
FS décrue 10h [Phase_7]		0.000 s

6.3 – Résultats modélisation hydraulique

..6.3.1. Crue

Le graphique ci-dessous montre l'avancée du front de saturation dans le corps de digue.

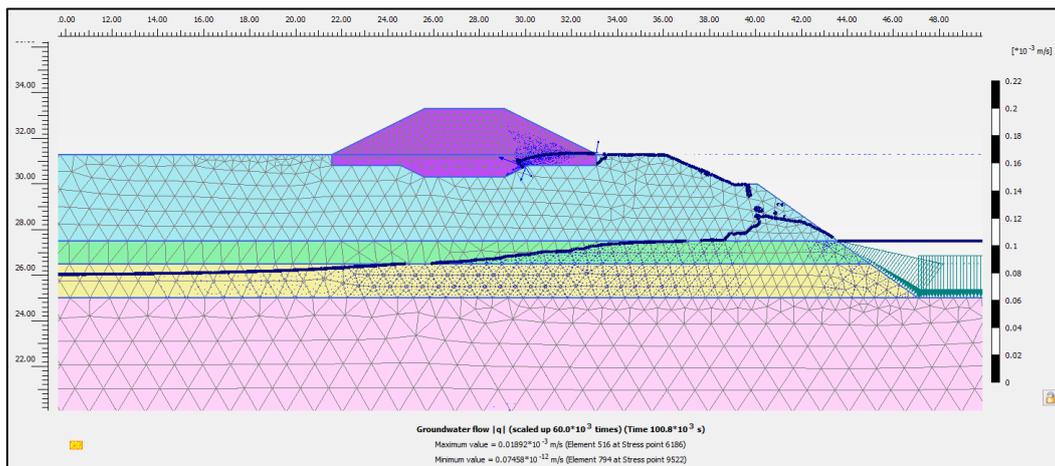


On constate qu'après la crue et 6h de niveau statique, l'eau s'infiltré légèrement dans la digue, compte tenu de la perméabilité de la digue ($k=10^{-5}$ m/s) et de la durée de la crue. La ligne de saturation n'atteint pas le côté aval de la digue, il n'y a donc pas de risque d'entraînement de fines.

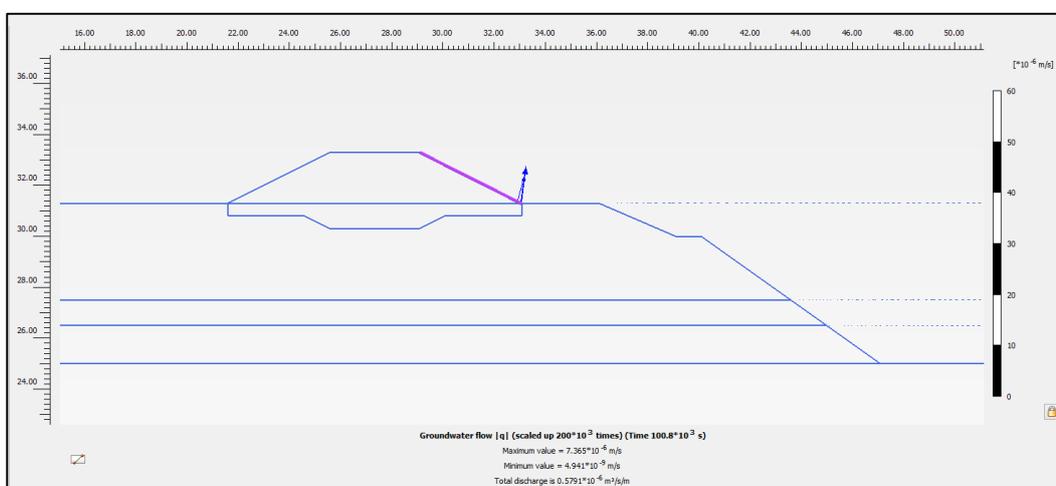
..6.3.2. Décrue

L'étude de la phase de décrue est intéressante du point de vue de l'influence du retrait des eaux sur la stabilité de la digue côté amont.

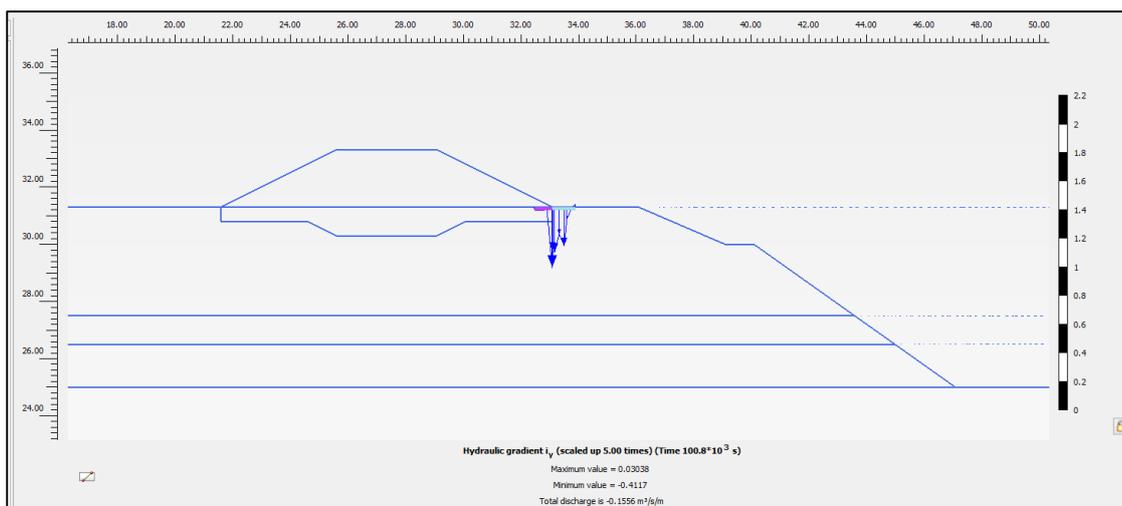
Le graphique ci-dessous représente l'amplitude des vitesses d'écoulement en amont de la digue après décrue. Compte tenu du temps de décrue, l'eau reste piégée en pied de digue dans la clé d'ancrage.

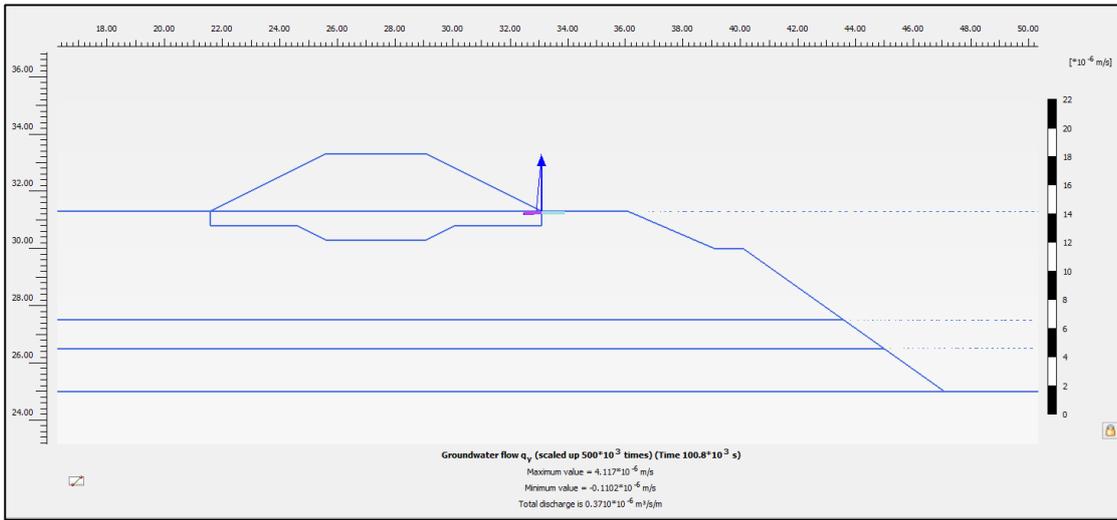


Le gradient maximum dans le talus amont de la digue est de l'ordre de 0,75 à la fin de la décrue et il s'agit d'un écoulement très localisé (cf. ci-dessous).

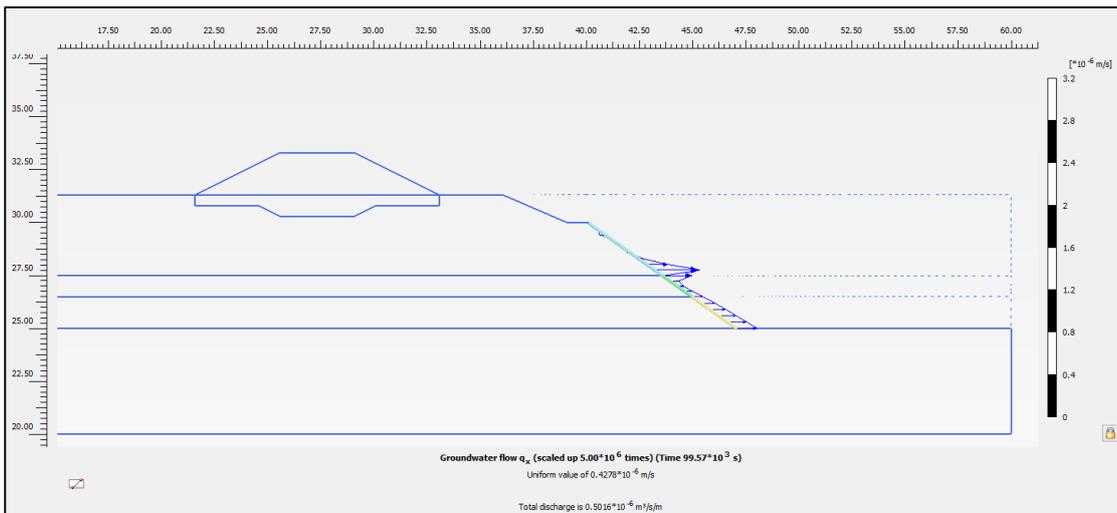
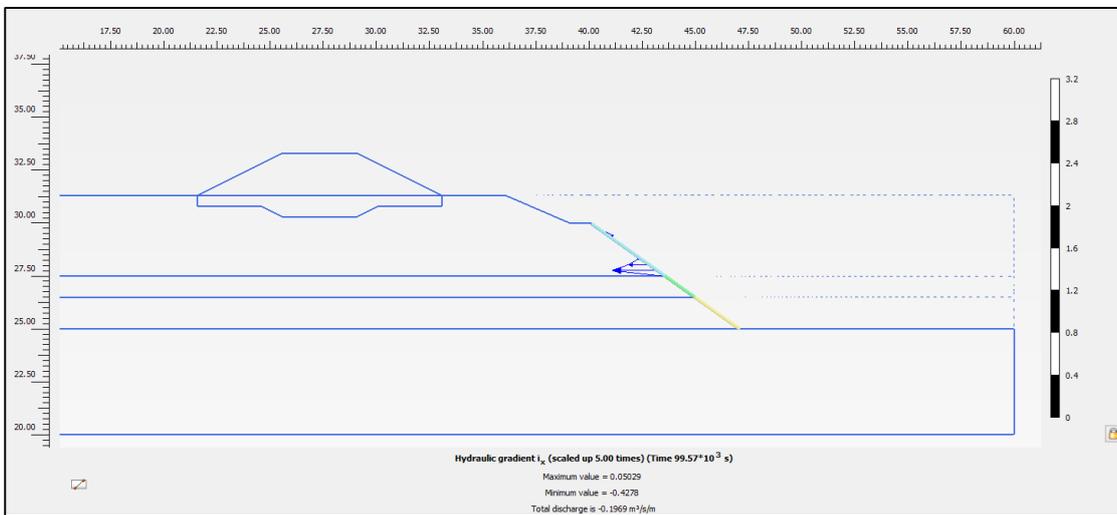


Le gradient vertical maximum en pied amont de la digue est de l'ordre de 0,4 à la fin de la décrue.



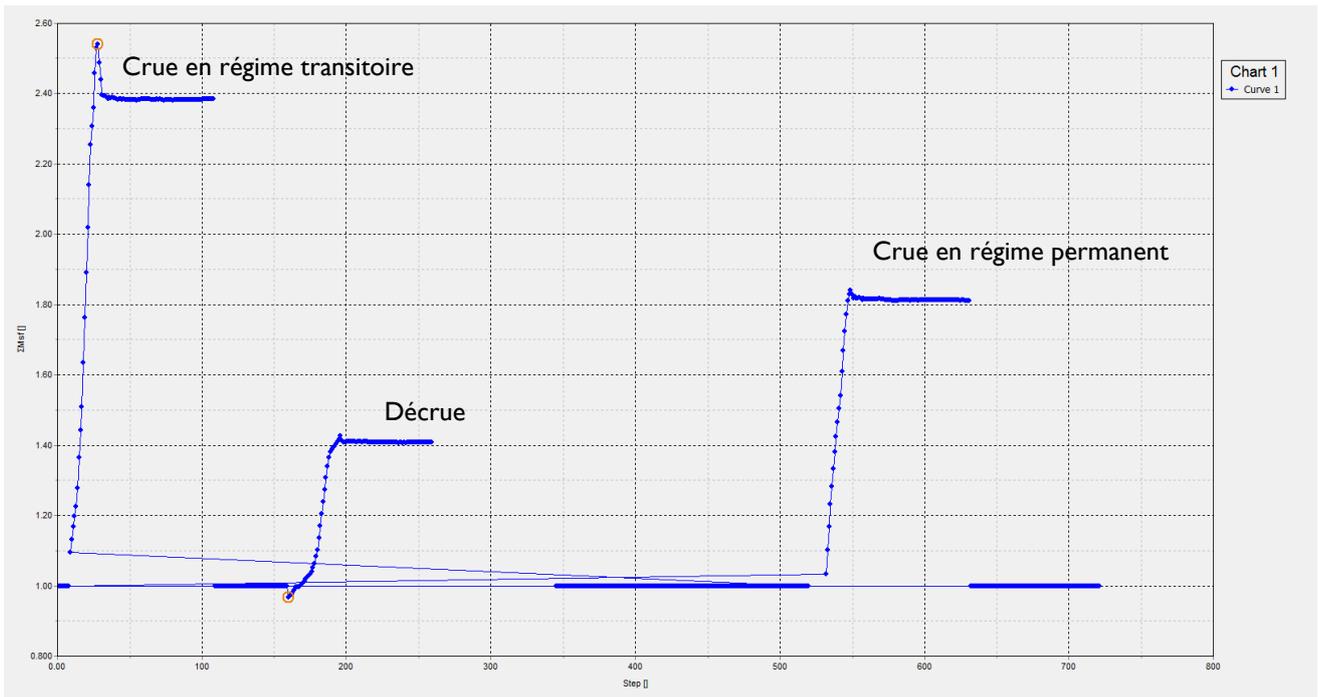


Le gradient horizontal maximum dans le talus de la Mosson est de l'ordre de 0,4 à la fin de la décrue.



6.4 – Résultats modélisation hydraulique

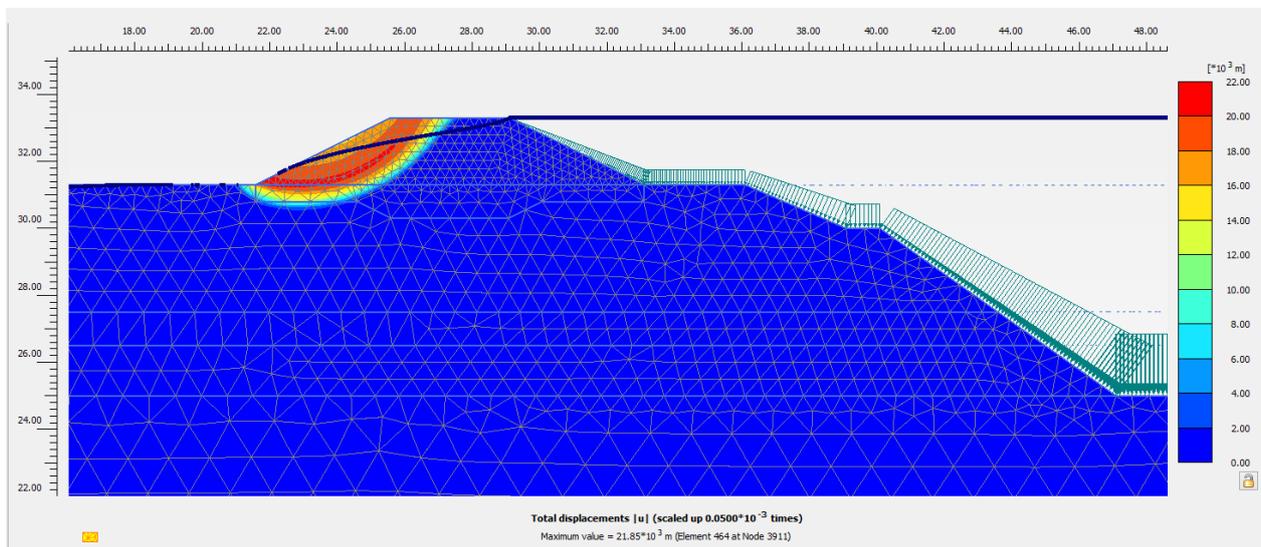
Le graphique ci-dessous présente les coefficients de sécurité obtenus pour chaque phase.



Crue en régime permanent :

Le coefficient de sécurité minimum est obtenu au niveau du parement aval de la digue et correspond à une rupture circulaire.

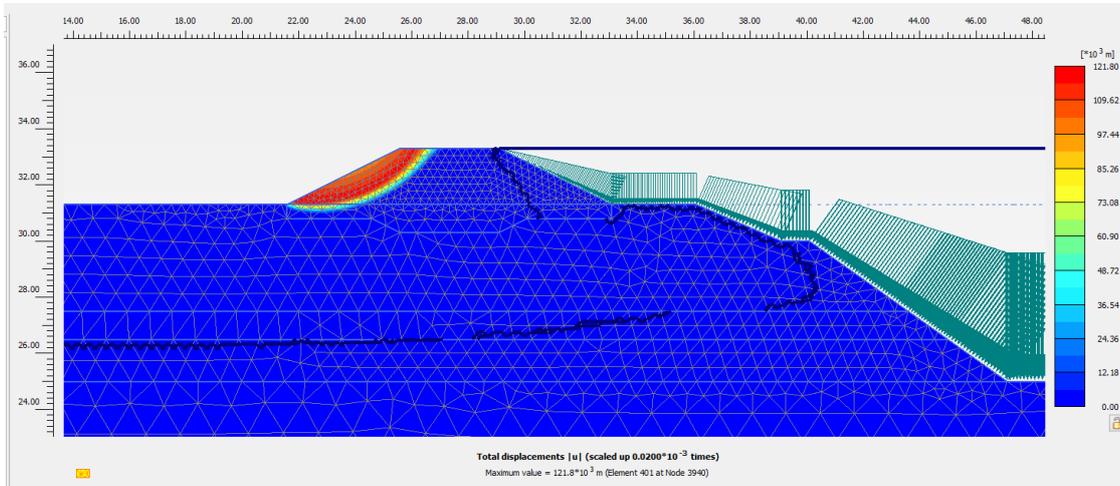
Nous avons obtenu $F = 1,8$. La stabilité au glissement est assurée ($F \geq 1,3$).



Crue en régime transitoire :

Le coefficient de sécurité minimum est obtenu au niveau du parement aval de la digue et correspond à une rupture circulaire.

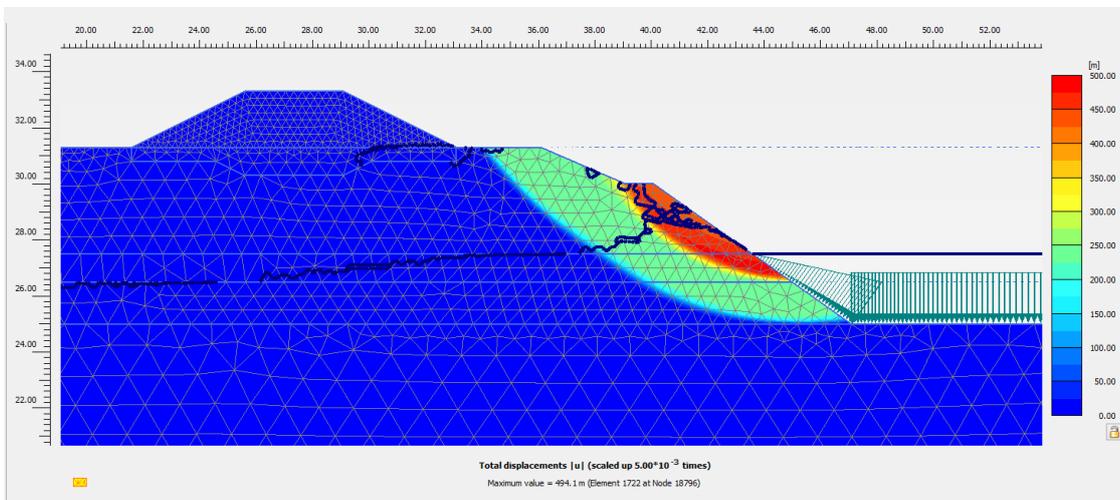
Nous avons obtenu $F = 2,4$. La stabilité au glissement est assurée ($F \geq 1,3$).



Décru en régime transitoire :

Le coefficient de sécurité minimum est obtenu au niveau du talus en contrebas de la digue, côté amont et correspond à une rupture circulaire.

Nous avons obtenu $F = 1,4$. La stabilité au glissement est assurée ($F \geq 1,3$).



7 – Tronçon I & 2 courant – résultats TALREN

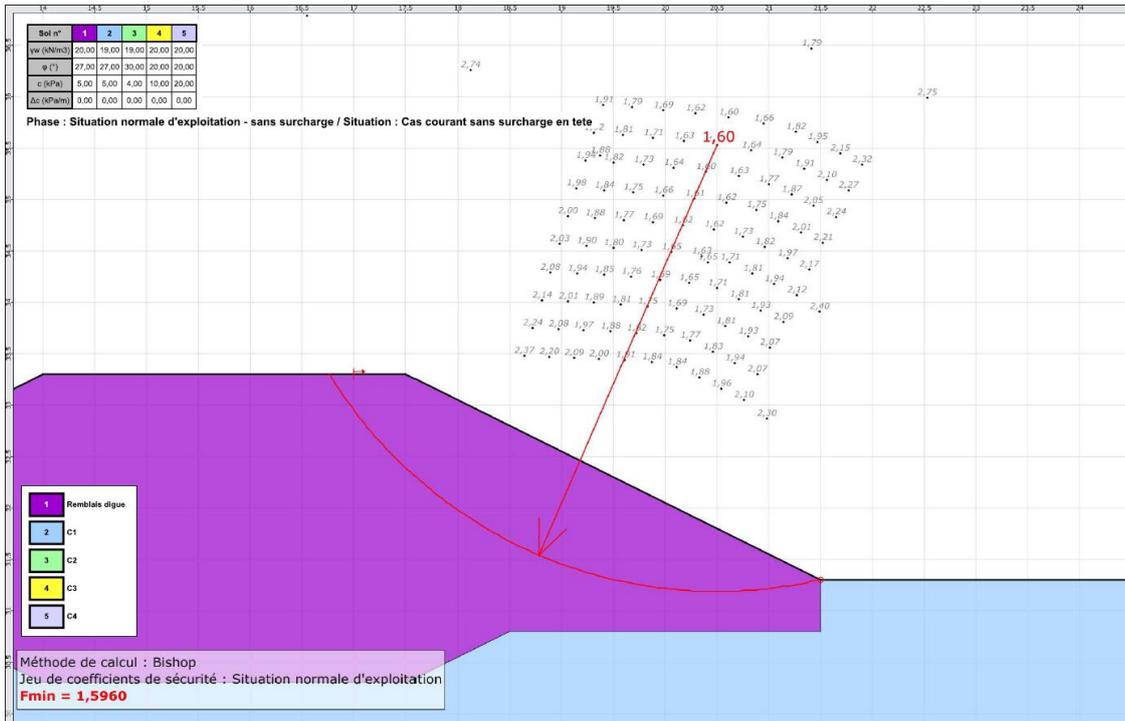
Il a été réalisé une série de calcul de stabilité au glissement à partir du logiciel TALREN.

Les niveaux d'eau pris en compte pour les régimes permanent et transitoire correspondent aux niveaux obtenus à partir des calculs PLAXFLOW.

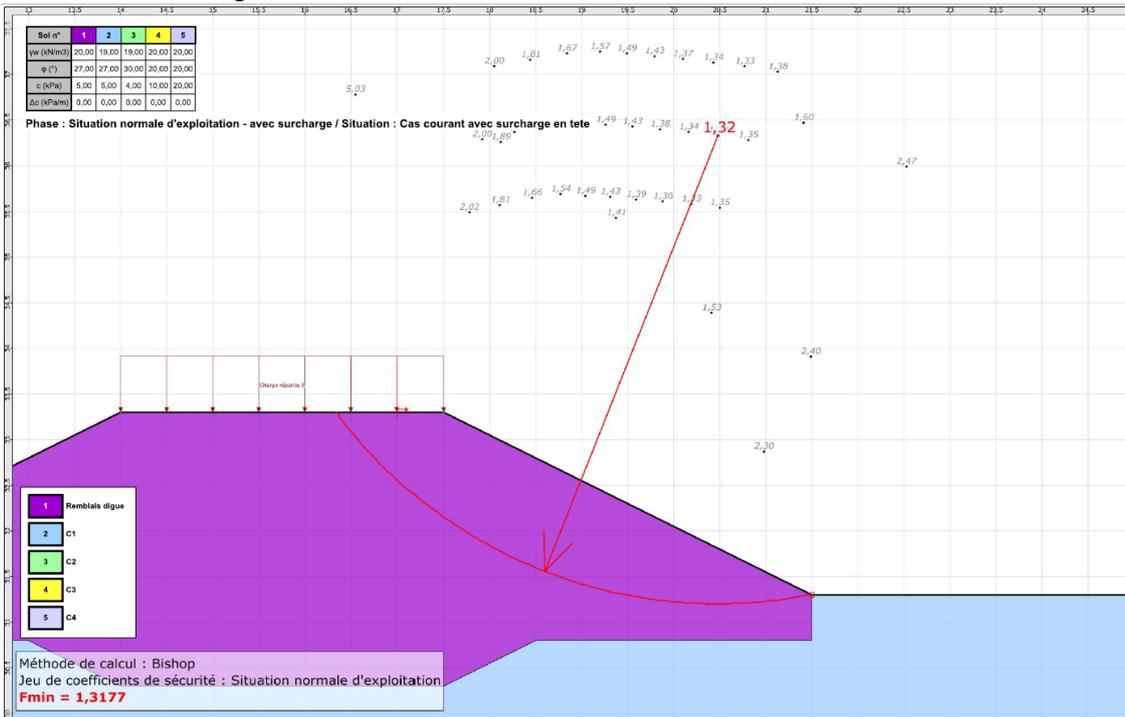
7.1 – Situation normale d'exploitation

..7.1.1. Coté terre

Calcul sans surcharge en tête



Calcul avec surcharge en tête



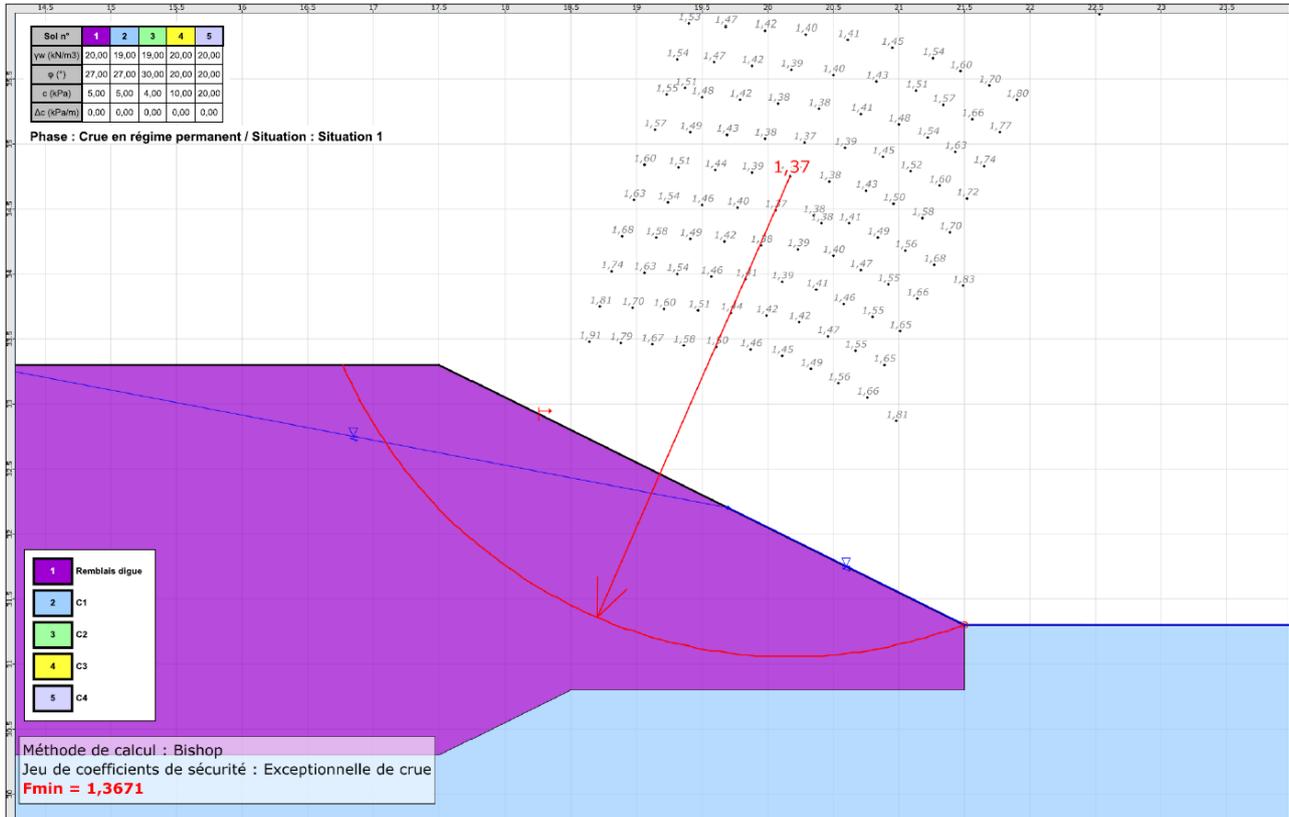
On constate une dégradation d'environ 17% du résultat du calcul suite à la mise en place de la surcharge.

..7.1.2. Coté Rivière

La digue étant symétrique, les résultats sont identiques au cas coté terre.

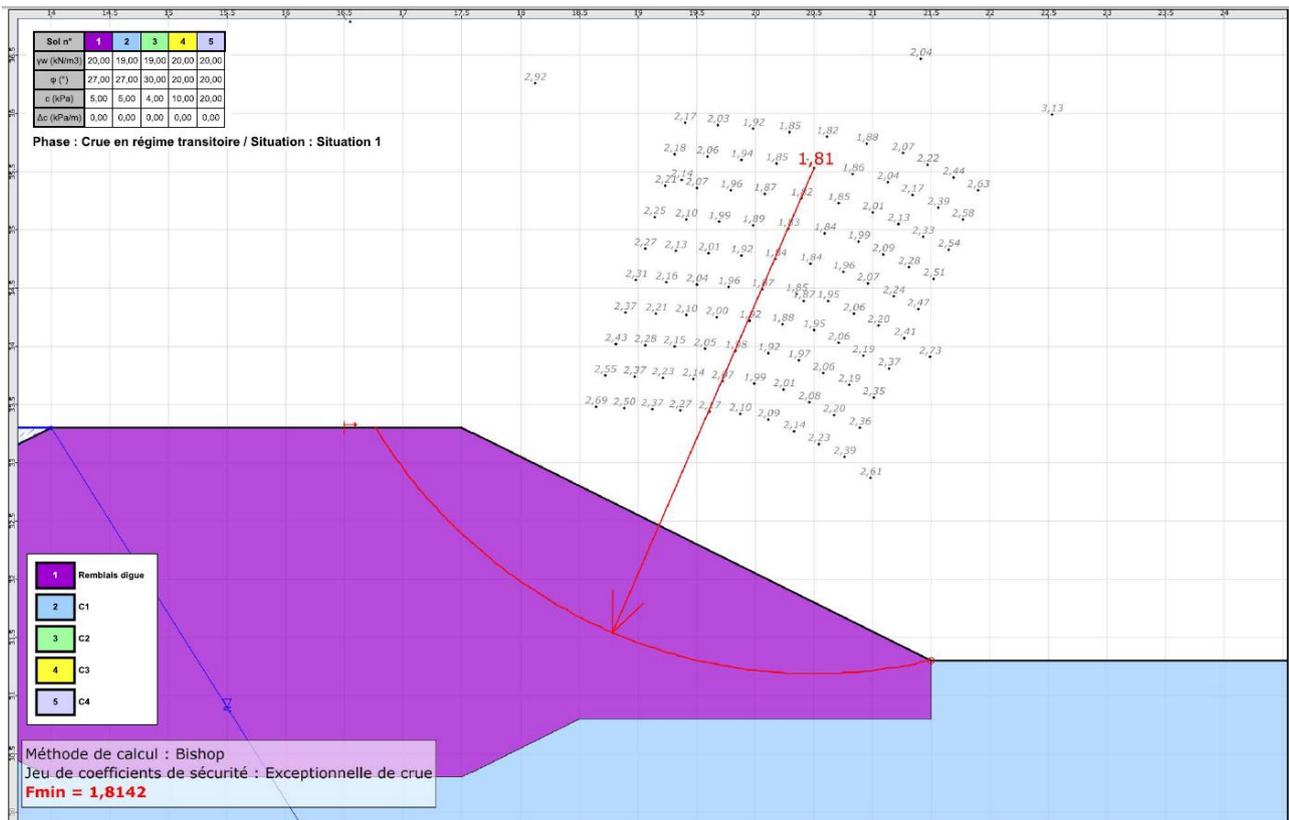
7.2 – Crue en régime permanent

..7.2.1. Coté terre



7.3 – Crue en régime transitoire

..7.3.1. Coté terre



Remarque :

Les calculs PLAXFLOW ont montrés qu'en régime transitoire, l'eau s'infiltré très légèrement dans la digue, sans influence sur le côté terre.

On constate que ce résultat Γ_{\min} est supérieur par rapport au cas de situation normale d'exploitation, cela est dû à la prise en compte de coefficients partiels différents pour les calculs.

7.4 – Cas de vidange rapide en régime transitoire

..7.4.1. Coté Rivière

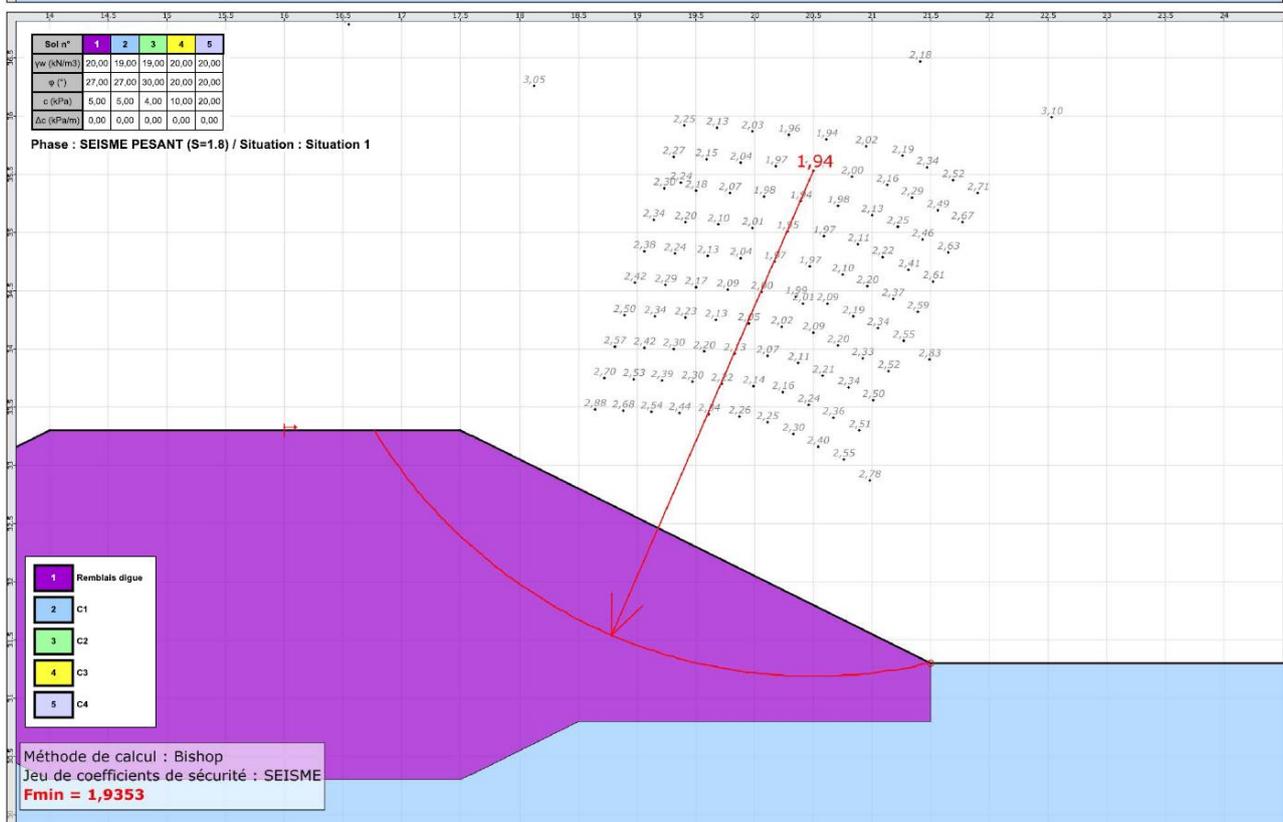
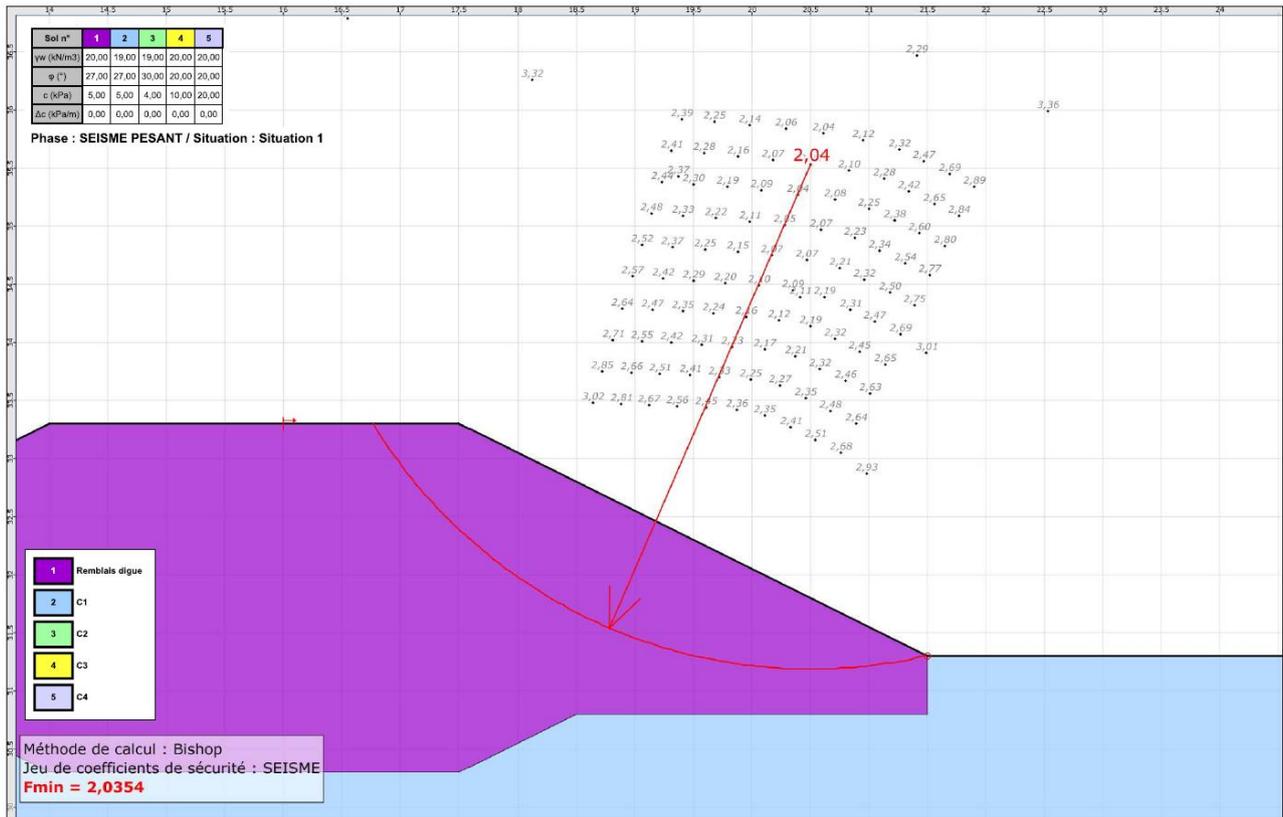
Les résultats des calculs PLAXFLOW indiquent qu'en régime transitoire, l'eau s'infiltré très peu dans la digue.

De plus lors de la décrue (en régime transitoire), les niveaux d'eau dans la digue diminuent quasiment en même temps.

Le calcul de vidange rapide en régime transitoire n'est donc pas significatif.

7.5 – Cas du séisme

..7.5.1. Coté Rivière



Remarque :

On constate que ces résultats Γ_{\min} sont supérieurs par rapport au cas de situation normale d'exploitation, cela est dû à la prise en compte de coefficients partiels différents pour les calculs.

7.6 – Synthèse

Les calculs de stabilité d'ensemble effectués avec TALREN montrent les résultats suivants :

Cas du calcul	Surcharge	Coté digue	Γ_{\min}
Situation normale d'exploitation	10kPa	Coté Rivière	1.32
	10 kPa	Coté Terre	1.32
	-	Coté Rivière	1.60
	-	Coté Terre	1.60
Crue en régime permanent	-	Coté Terre	1.37
Crue en régime transitoire	-	Coté Terre	1.81
Cas de vidange rapide en régime transitoire	-	Coté Rivière	>1
Séisme (hors crue)	-	Coté Rivière	1.94

Remarque :

Il a également été mené, pour vérification, des calculs à partir de coefficient unitaire. Les résultats obtenus étaient identiques aux valeurs calculées par la méthode du c-phi réduction de plaxis.

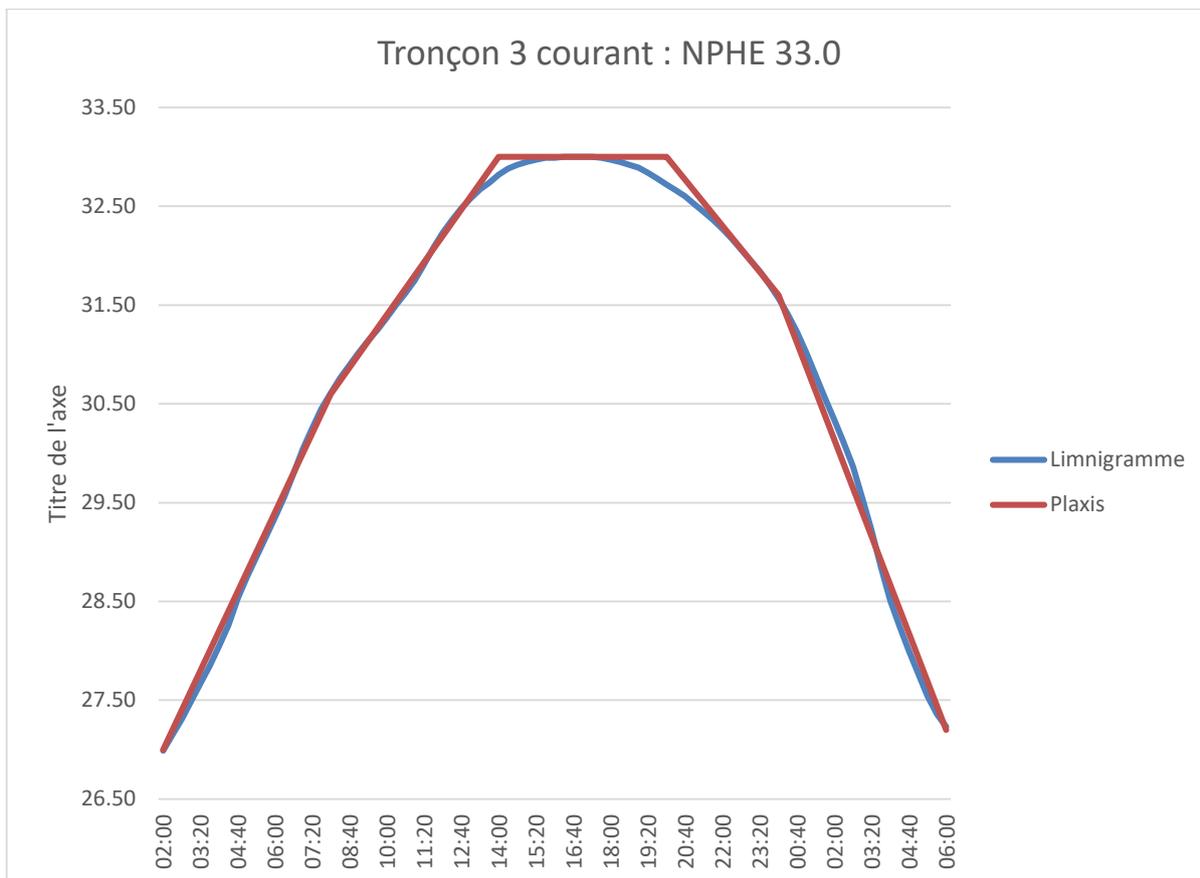
8 – Tronçon 3 courant – résultats PLAXFLOW

8.1 – Situation hydraulique

Nous avons retenu une nappe à la cote 26NGF.

Conformément au Linnigramme, nous avons considéré, pour l'étude des écoulements internes en régime transitoire :

- 12h de montée de crue de la Mosson jusqu'à 33.0NGF (NPHE)
- 6h de niveau statique à 33.0NGF
- 10h de décrue jusqu'à 27.2NGF



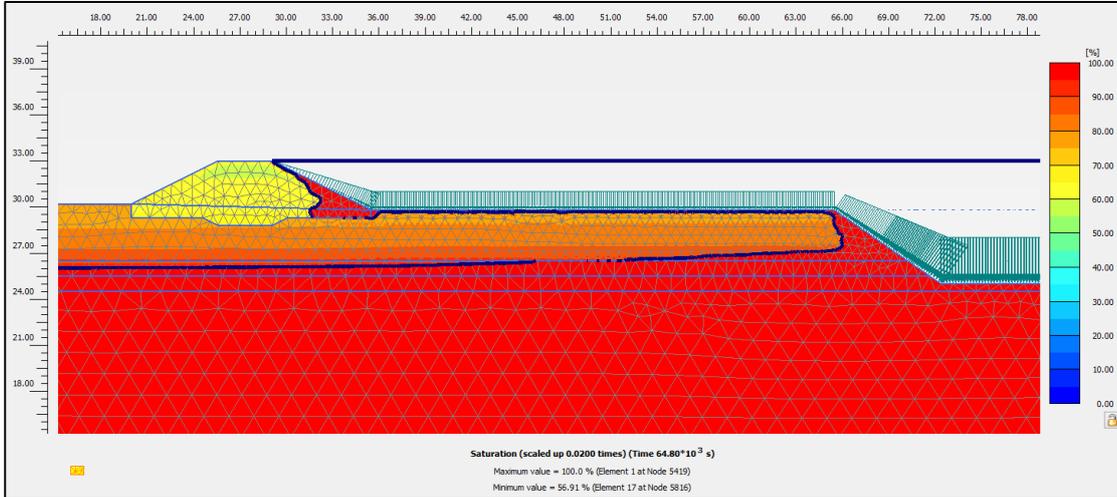
8.2 – Phasage

Initial phase [InitialPhase]				0.000 s
1-terrassement clé ancrage [Phase_1]				0.000 s
2- corps de digue en remblai [Phase_2]				0.000 s
3-crue mousson rég. perm. [Phase_4]				0.000 s
FS crue perm [Phase_5]				0.000 s
4a-crue 6h [Phase_8]				21.60E3 s
4b-crue 12h [Phase_3]				21.60E3 s
4c-maitien crue 6h [Phase_6]				21.60E3 s
FS crue 18h [Phase_7]				0.000 s
5a-décrue 4h [Phase_9]				14.40E3 s
5b-décrue 10h [Phase_10]				21.60E3 s
FS décrue 10h [Phase_11]				0.000 s

8.3 – Résultats modélisation hydraulique

..8.3.1. Crue

Le graphique ci-dessous montre l'avancée du front de saturation dans le corps de digue.



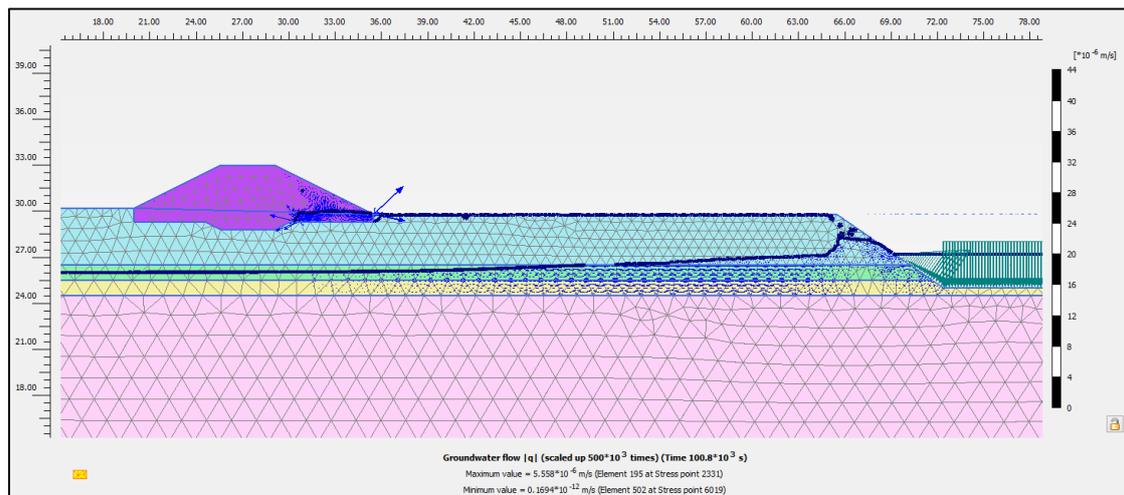
On constate qu'après la crue et 6h de niveau statique, l'eau s'infiltré légèrement dans la digue, compte tenu de la perméabilité de la digue ($k=10^{-5}$ m/s) et de la durée de la crue.

La ligne de saturation n'atteint pas le côté aval de la digue, il n'y a donc pas de risque d'entraînement de fines.

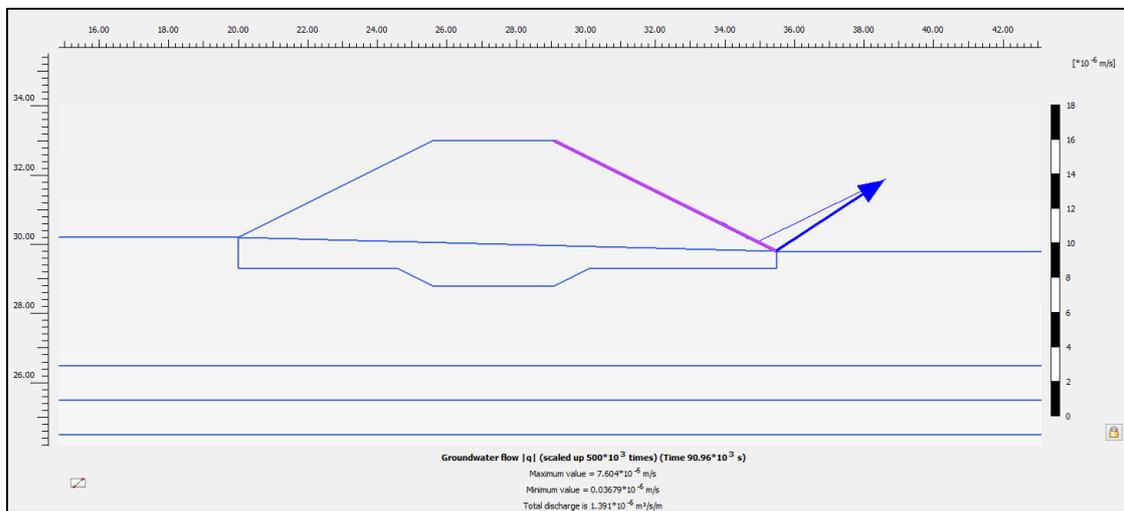
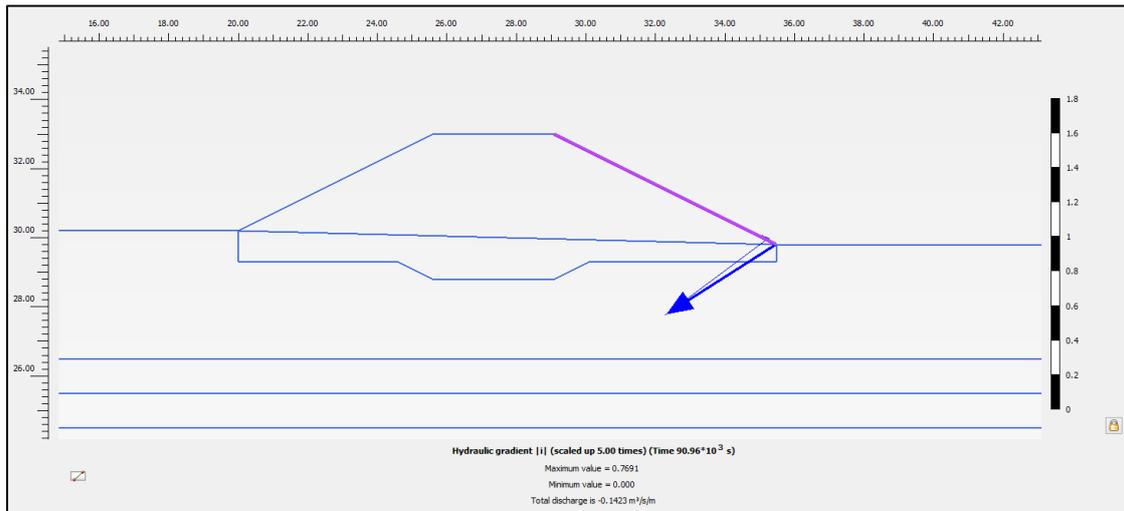
..8.3.2. Décru

L'étude de la phase de décrue est intéressante du point de vue de l'influence du retrait des eaux sur la stabilité de la digue côté amont.

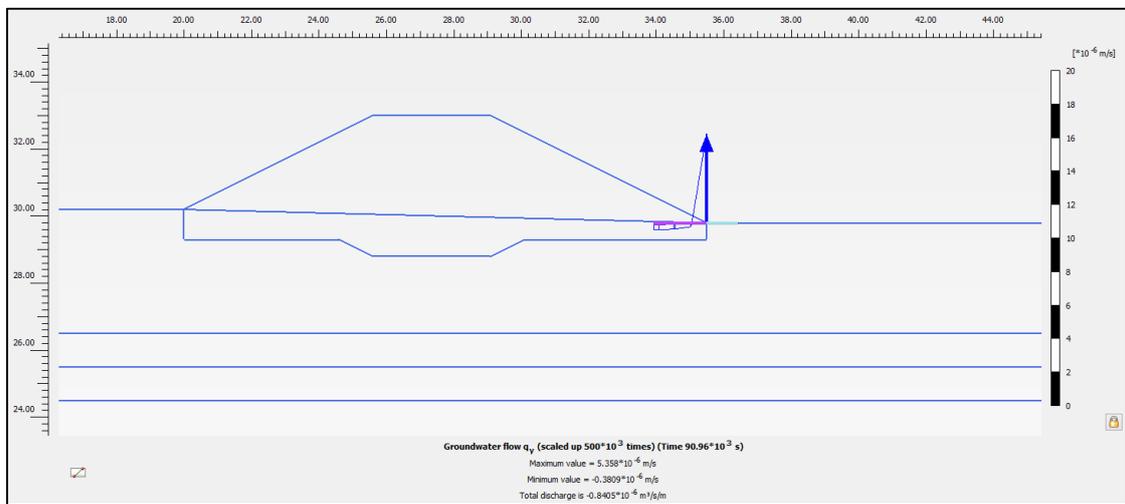
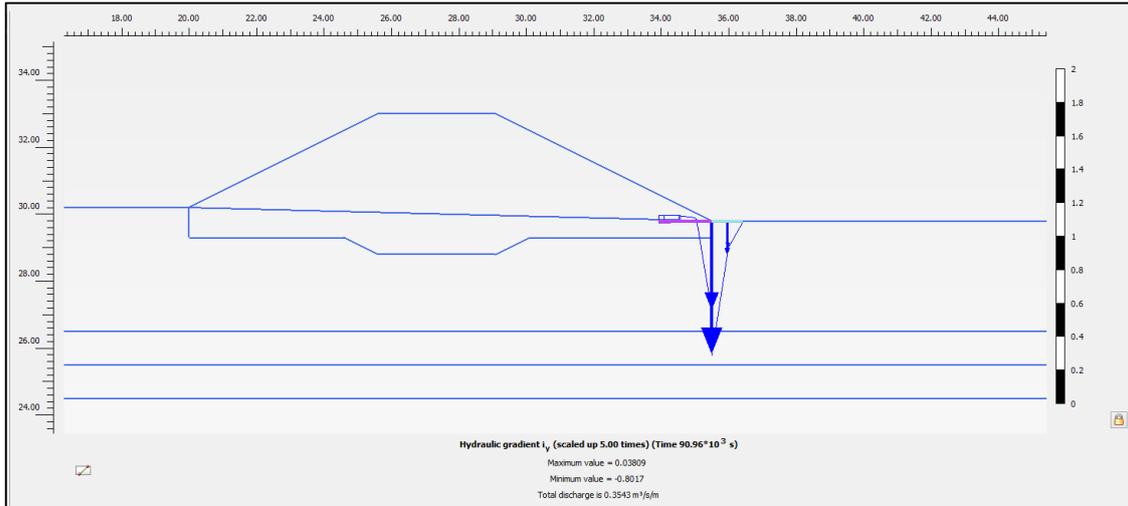
Le graphique ci-dessous représente l'amplitude des vitesses d'écoulement en amont de la digue après décrue. Compte tenu du temps de décrue, l'eau reste piégée en pied de digue dans la clé d'ancrage.



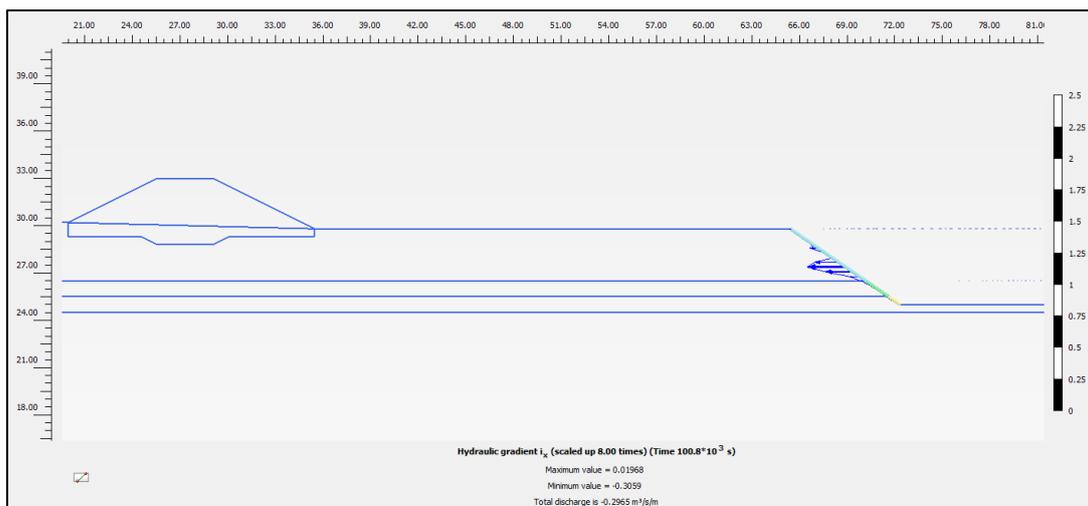
Le gradient maximum dans le talus amont de la digue est de l'ordre de 0,77 pendant la décrue (Eau vers 29.2NGF) et il s'agit d'un écoulement très localisé.

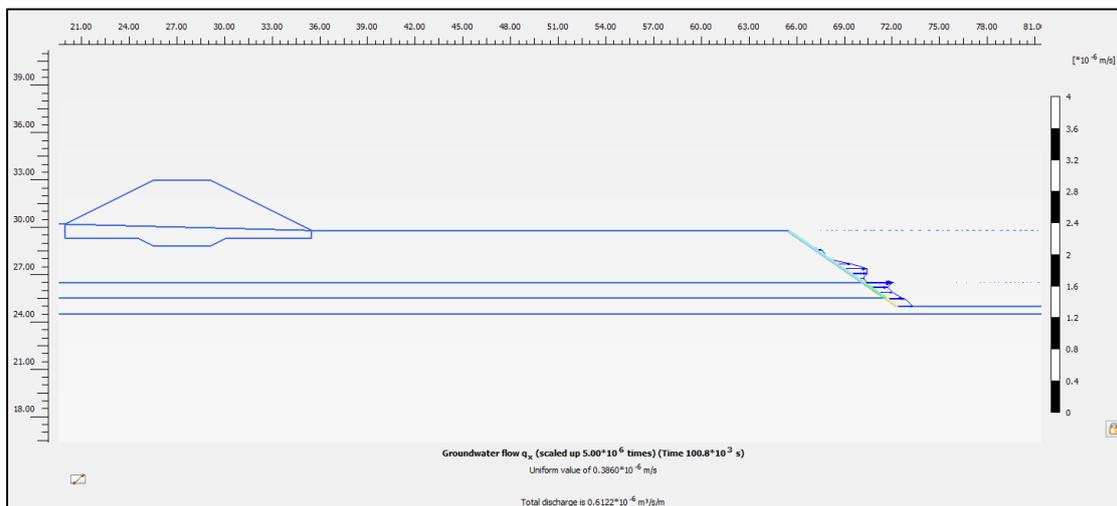


Le gradient vertical maximum en pied amont de la digue est de l'ordre de 0,8 pendant la décrue (Eau vers 29.2NGF). Il n'y a donc pas d'entraînement de fines vis-à-vis des phénomènes de Renard.



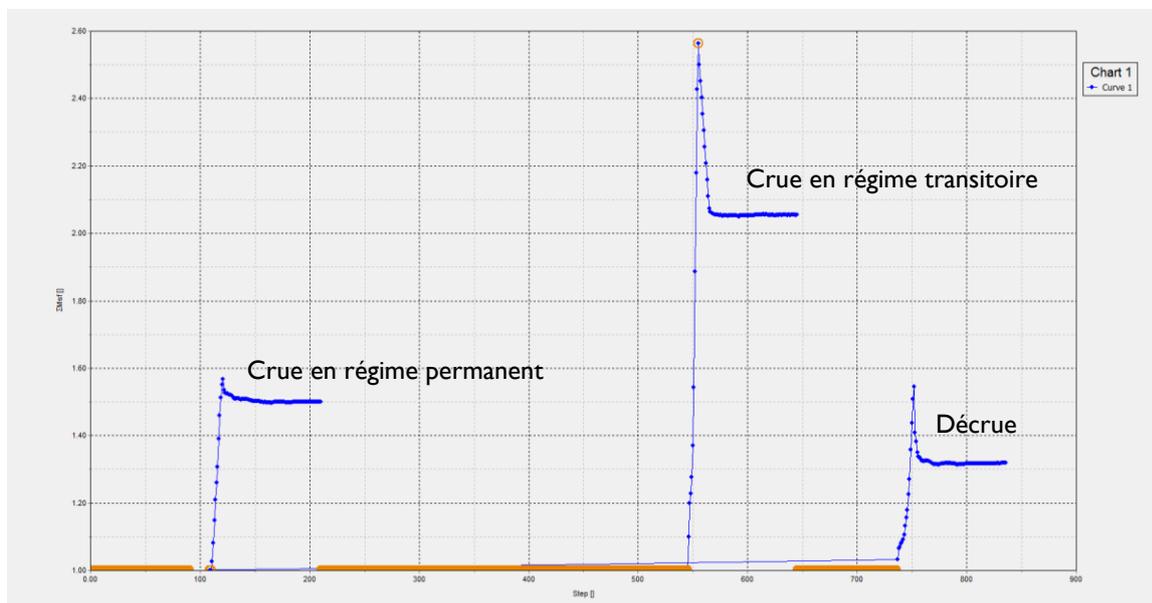
Le gradient horizontal maximum dans le talus de la Mosson est de l'ordre de 0,3 à la fin de la décrue.





8.4 – Résultats modélisation géo-mécanique

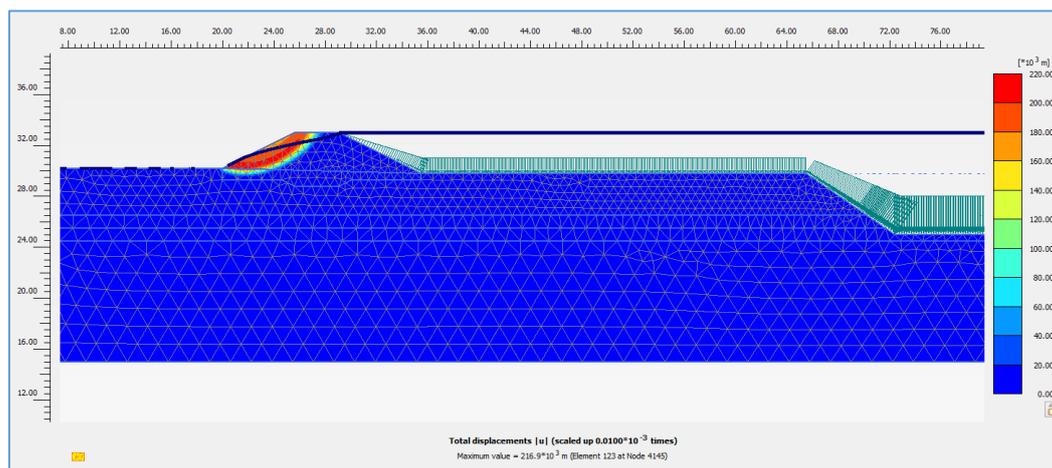
Le graphique ci-dessous présente les coefficients de sécurité obtenus pour chaque phase.



Cruce en régime permanent :

Le coefficient de sécurité minimum est obtenu au niveau du parement aval de la digue et correspond à une rupture circulaire.

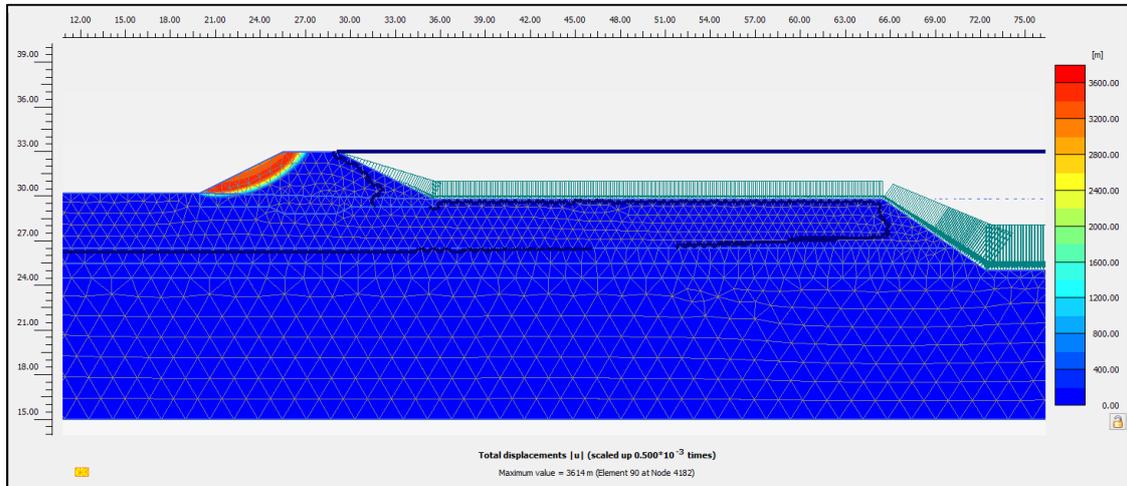
Nous avons obtenu $F = 1,5$. La stabilité au glissement est assurée ($F \geq 1,3$).



Crue en régime transitoire :

Le coefficient de sécurité minimum est obtenu au niveau du parement aval de la digue et correspond à une rupture circulaire.

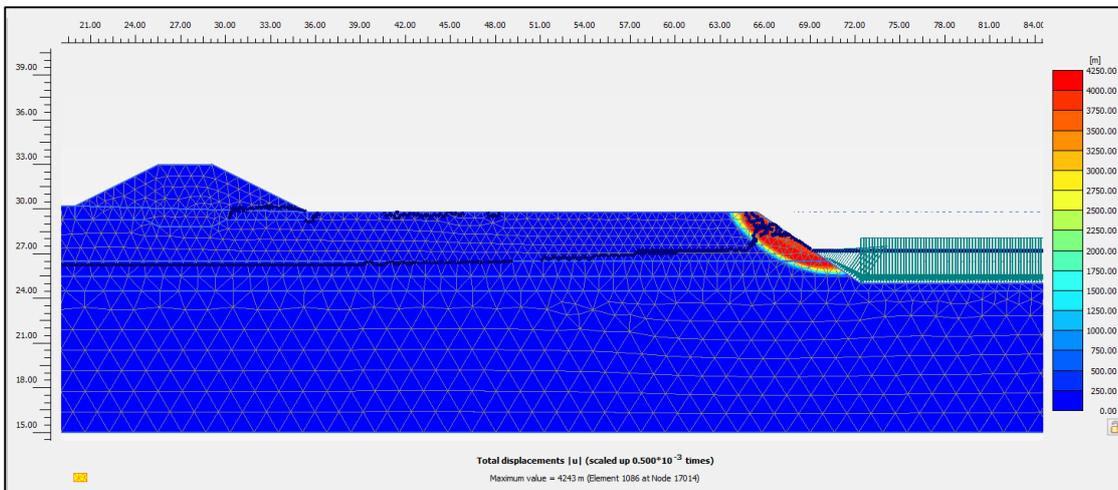
Nous avons obtenu $F = 2,05$. La stabilité au glissement est assurée ($F \geq 1,3$).



Décru en régime transitoire :

Le coefficient de sécurité minimum est obtenu au niveau du talus de la Mosson en contrebas de la digue et correspond à une rupture circulaire.

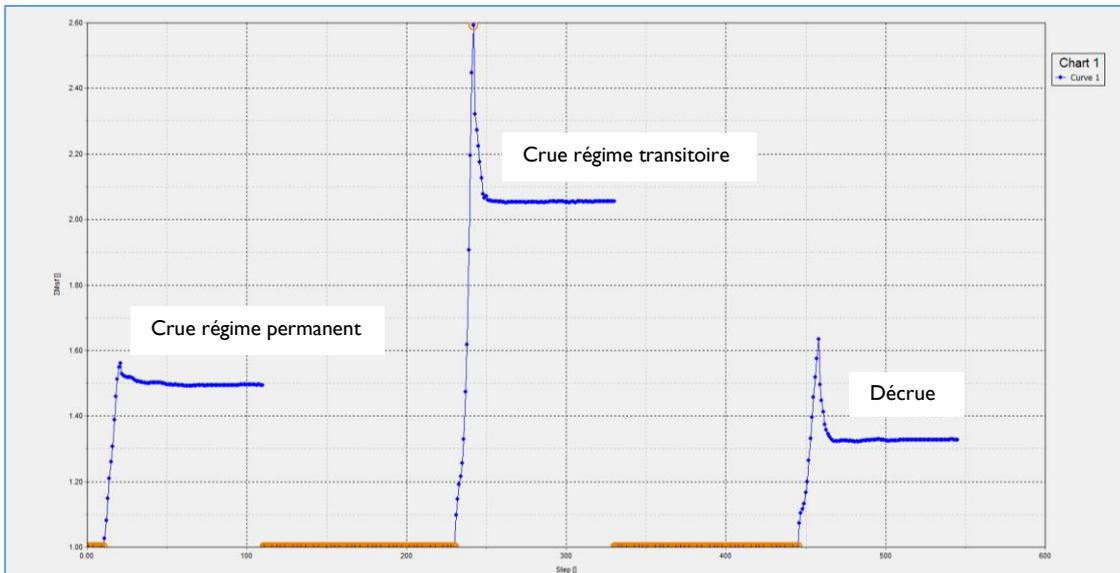
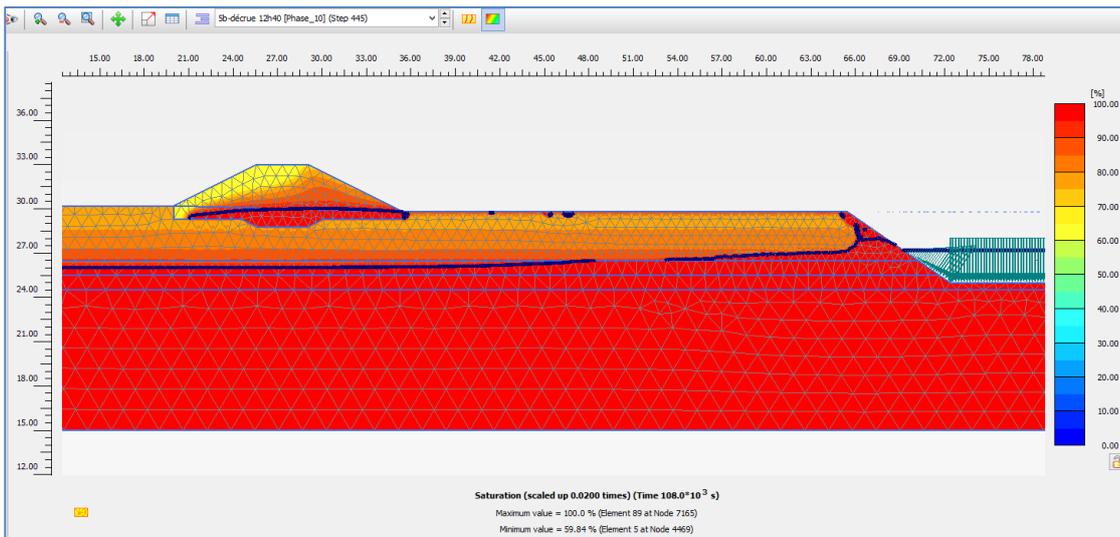
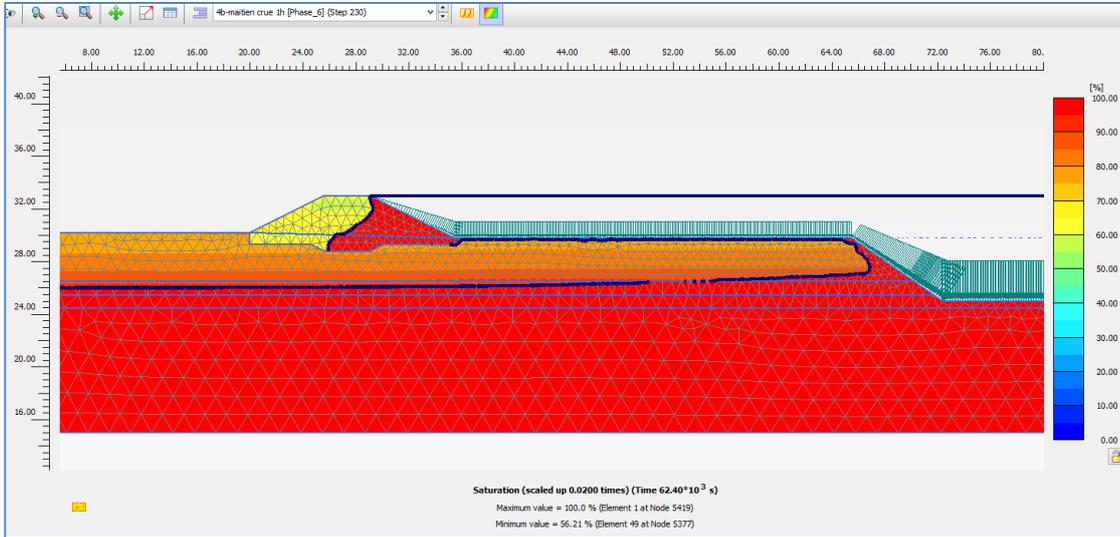
Nous avons obtenu $F = 1,31$. La stabilité au glissement est juste assurée ($F \geq 1,3$), mais un tel glissement n'aurait dans tous les cas aucun impact sur la digue.



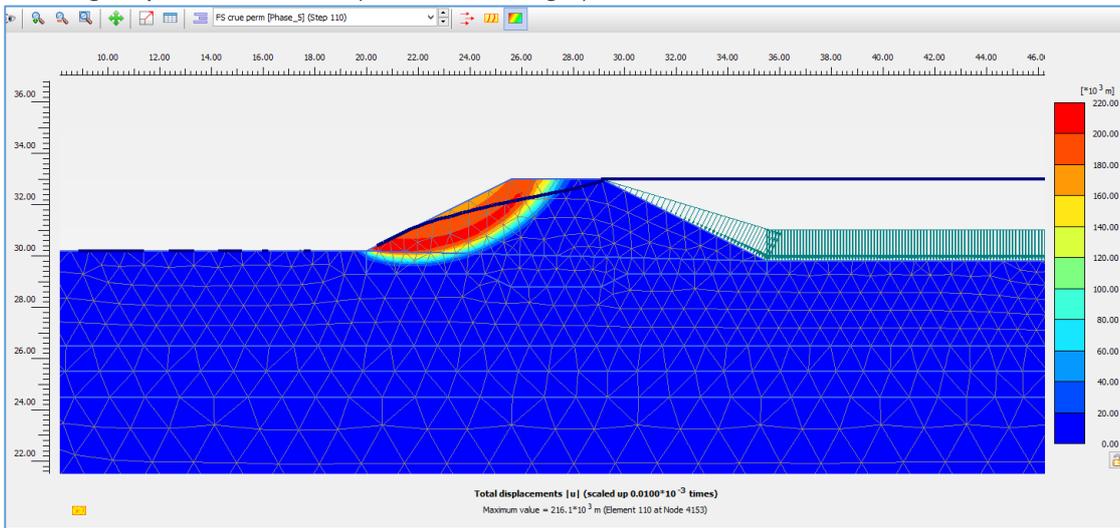
8.5 – Test de l'impact de la perméabilité sur le coefficient de sécurité

A la demande d'ANTEA, un calcul permettant de vérifier l'impact de la perméabilité sur le coefficient de sécurité a été mené. Les résultats sont présentés ci-dessous.

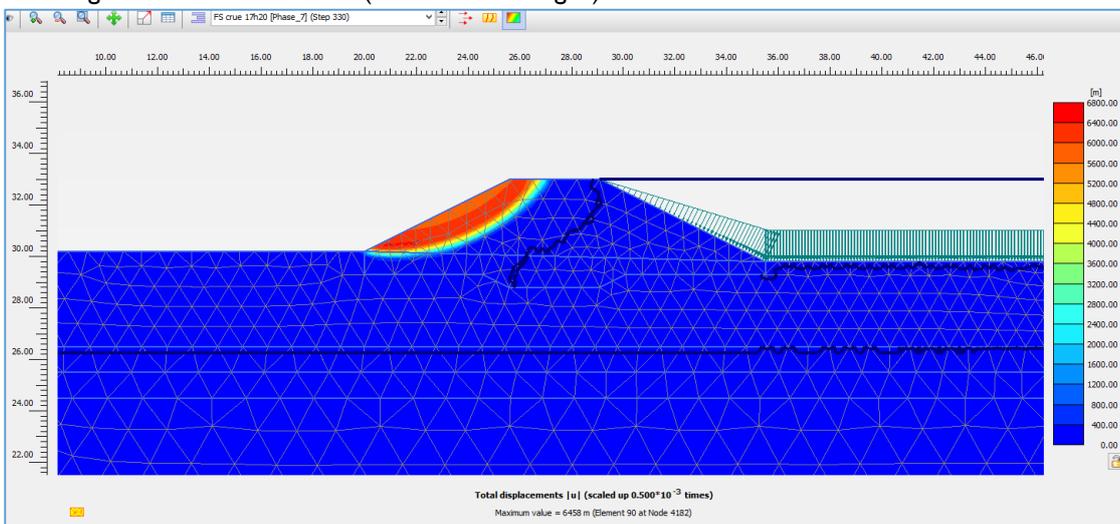
$K \text{ digue} = 10^{-4} \text{ m/s}$



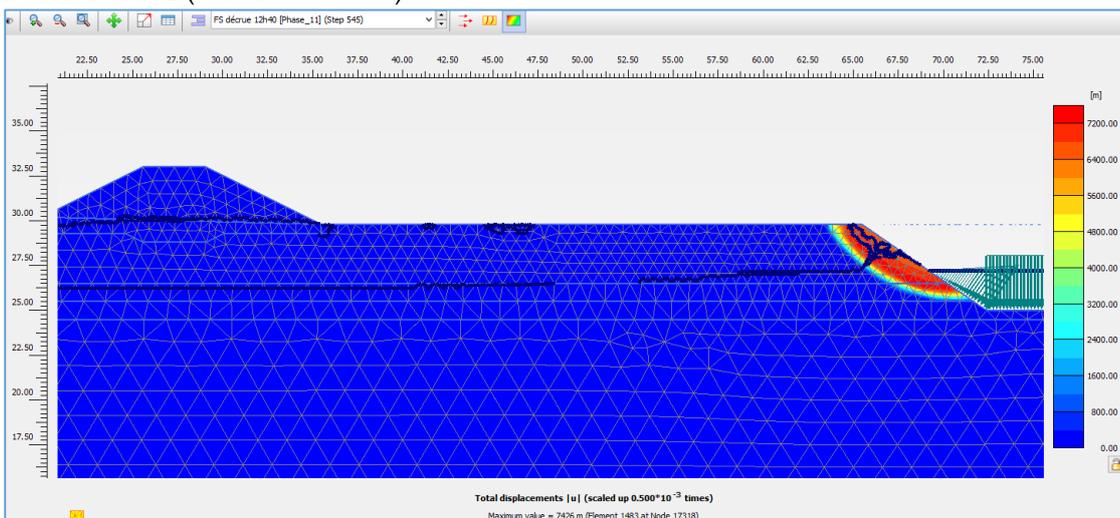
Crue régime permanent : F=1,5 (talus aval de la digue)



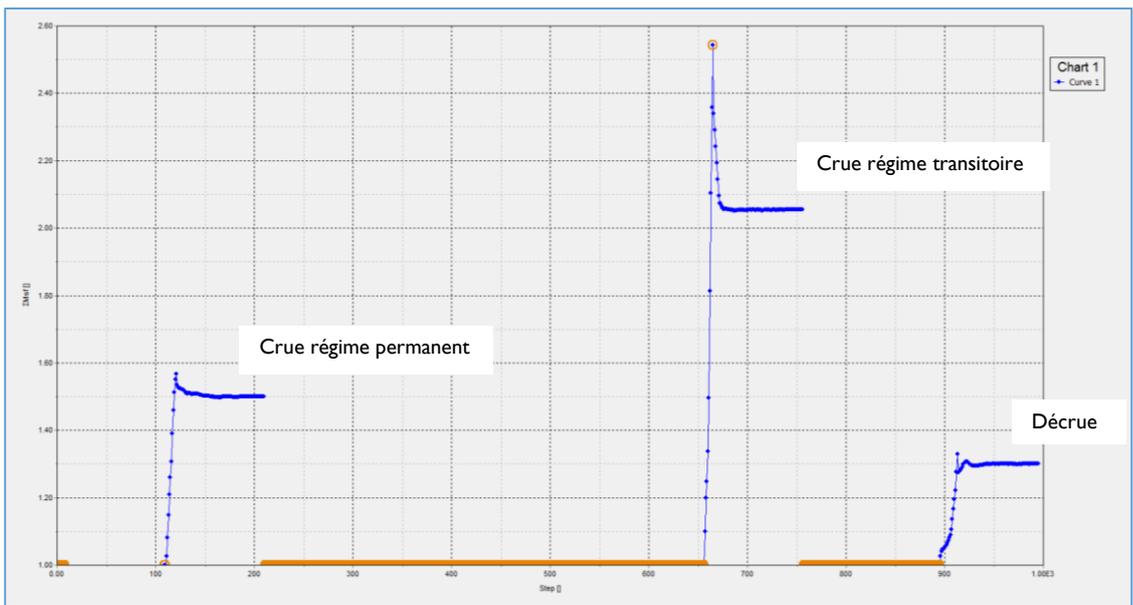
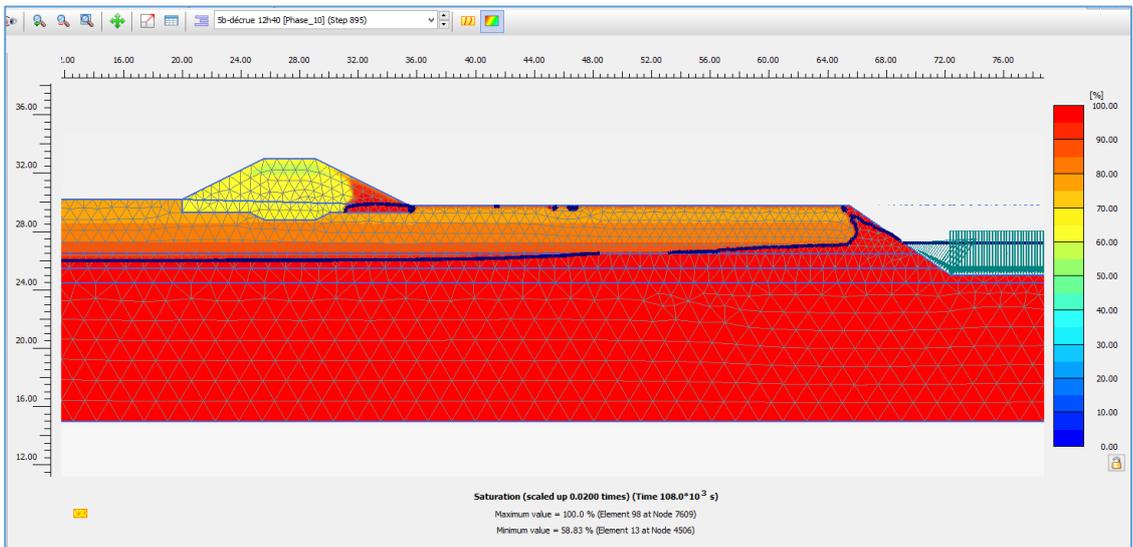
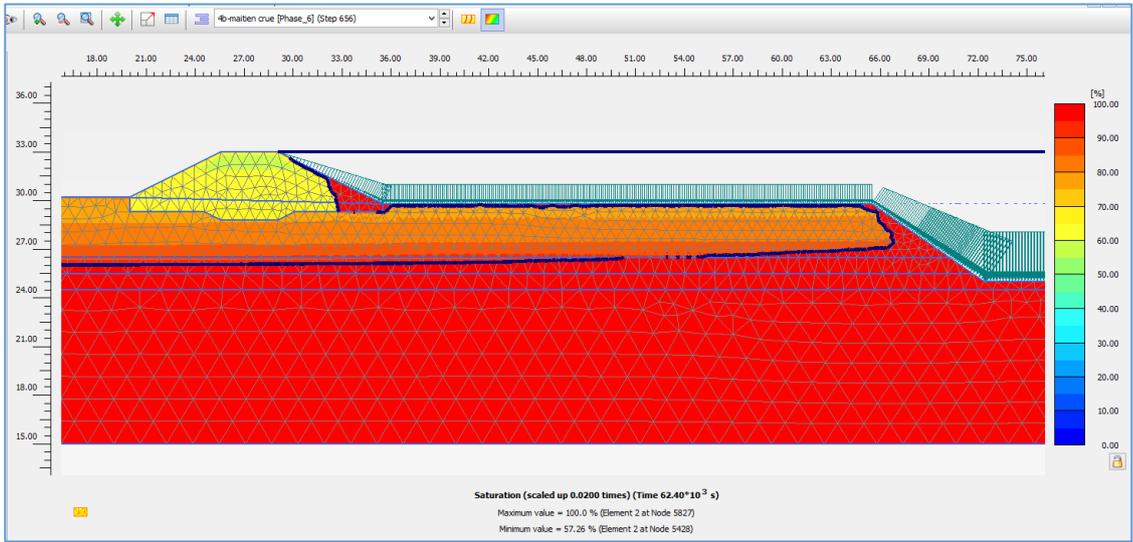
Crue régime transitoire : F=2.05 (talus aval de la digue)



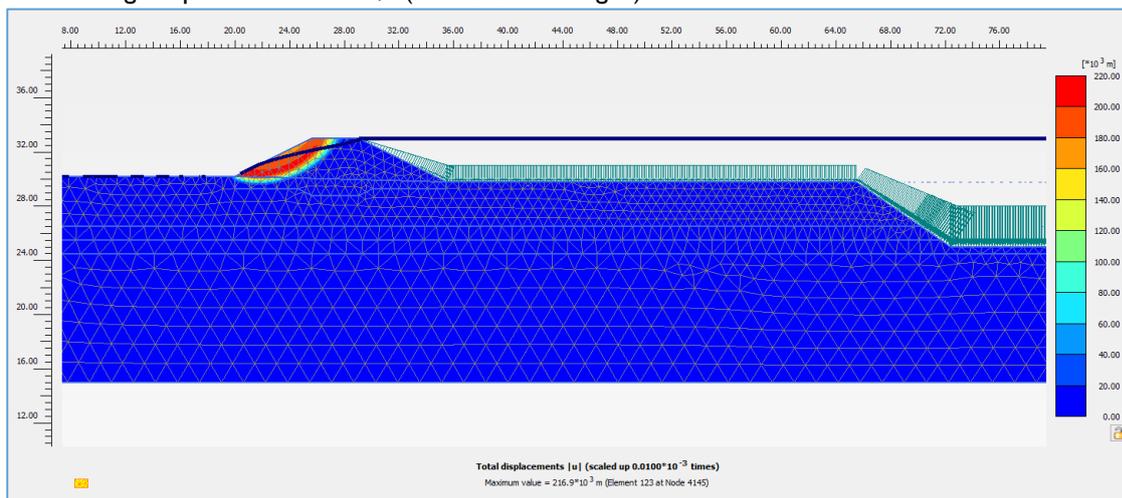
Décrué : F=1.32 (talus de la Mosson)



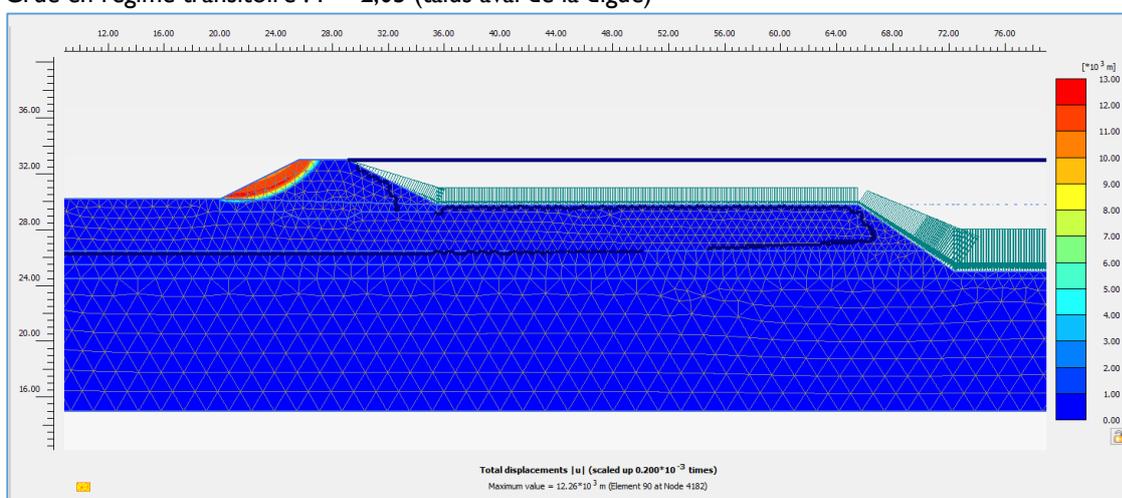
$K \text{ digue} = 10^{-5} \text{ m/s}$



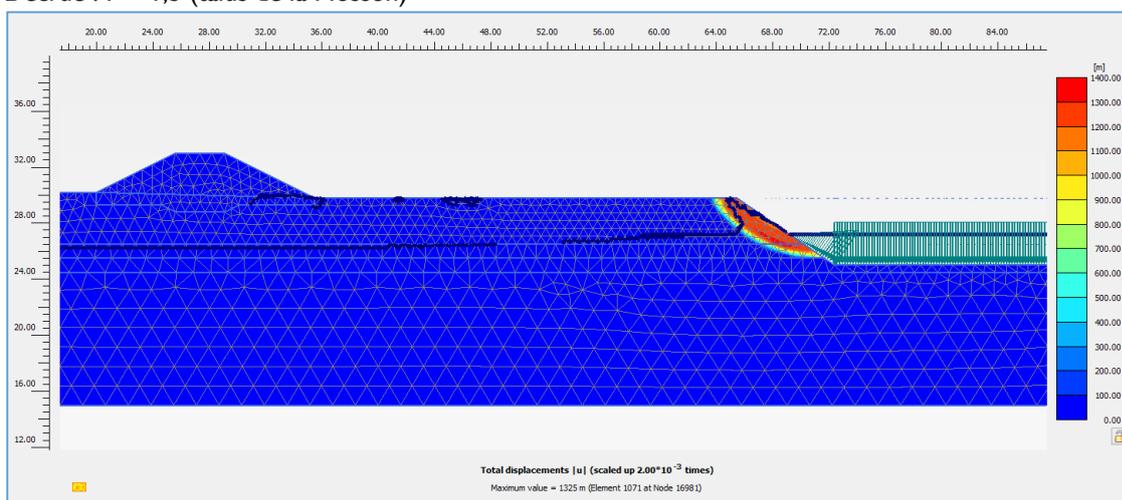
Crue en régime permanent : F = 1,5 (talus aval de la digue)



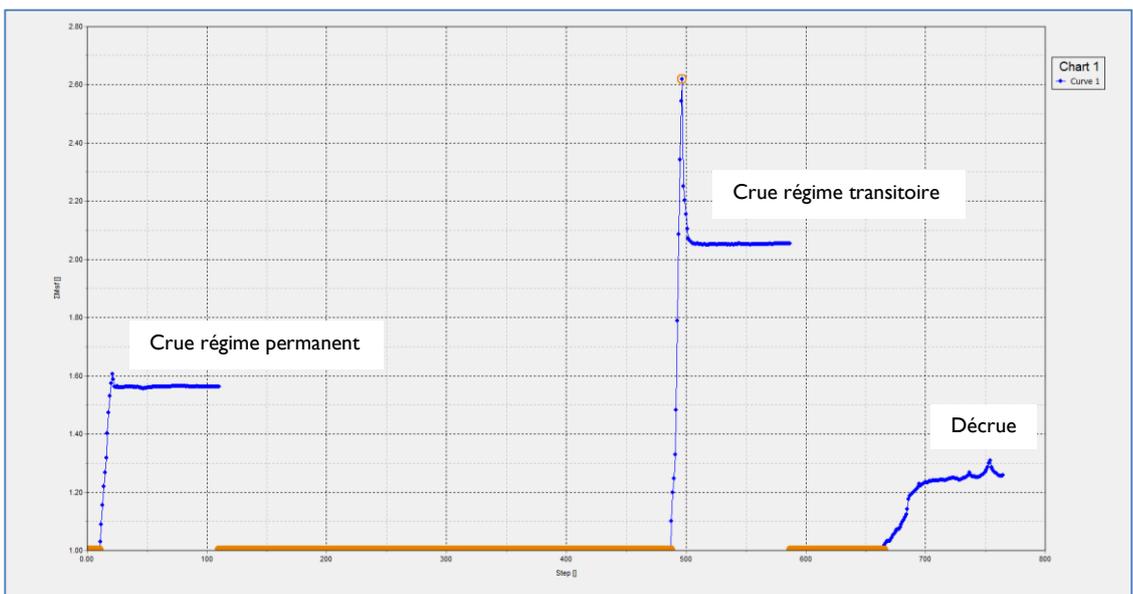
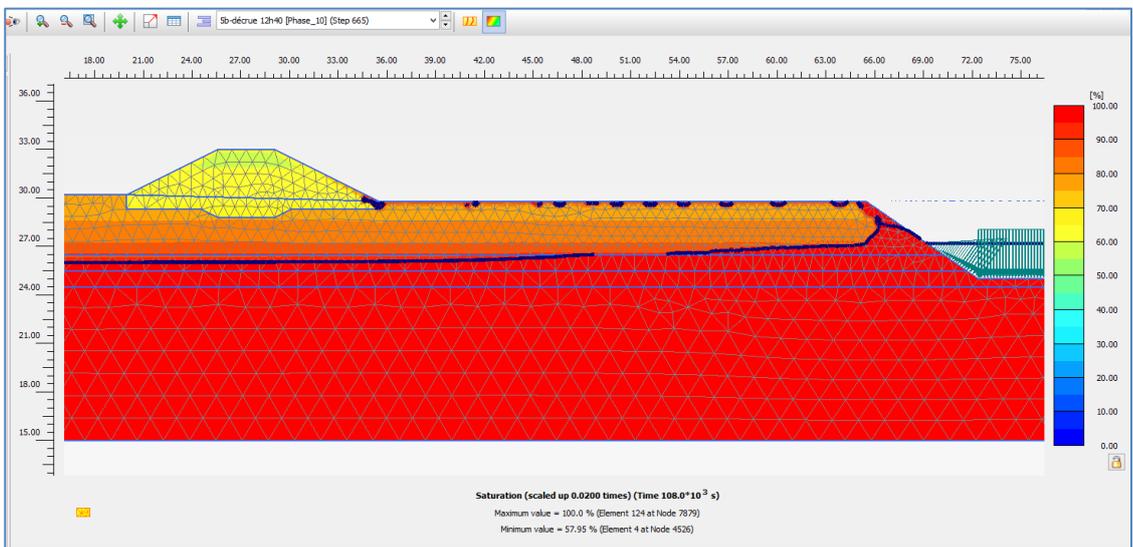
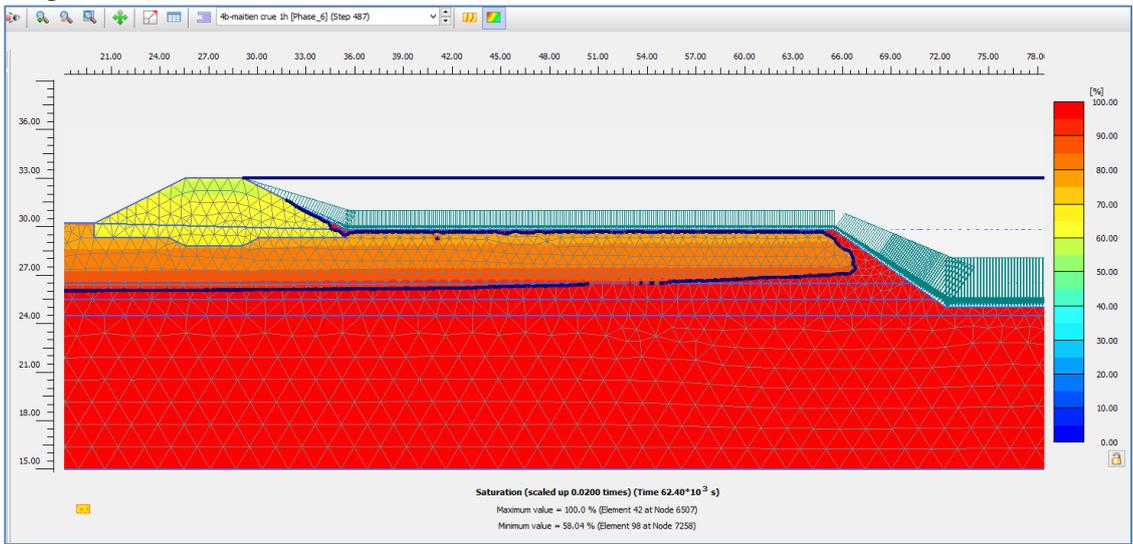
Crue en régime transitoire : F = 2,05 (talus aval de la digue)



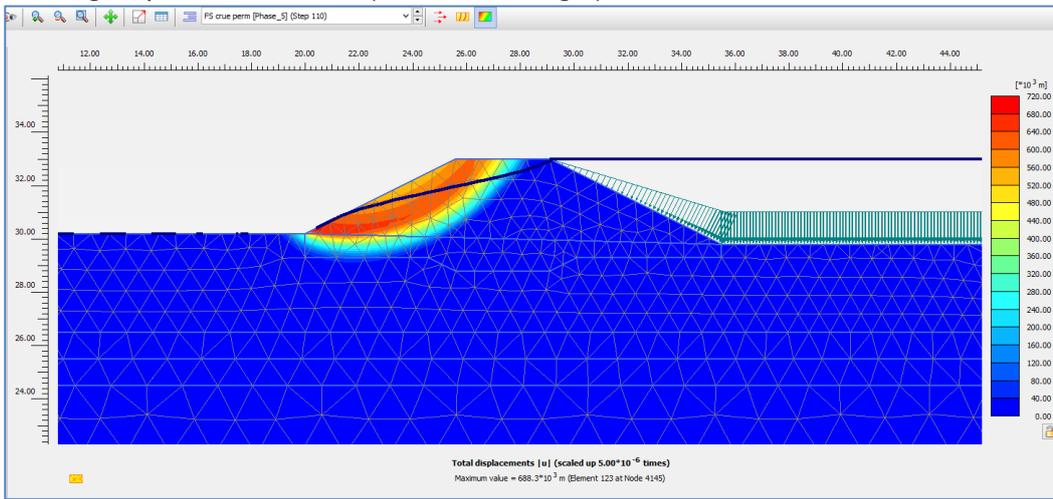
Décrué : F = 1,3 (talus de la Mosson)



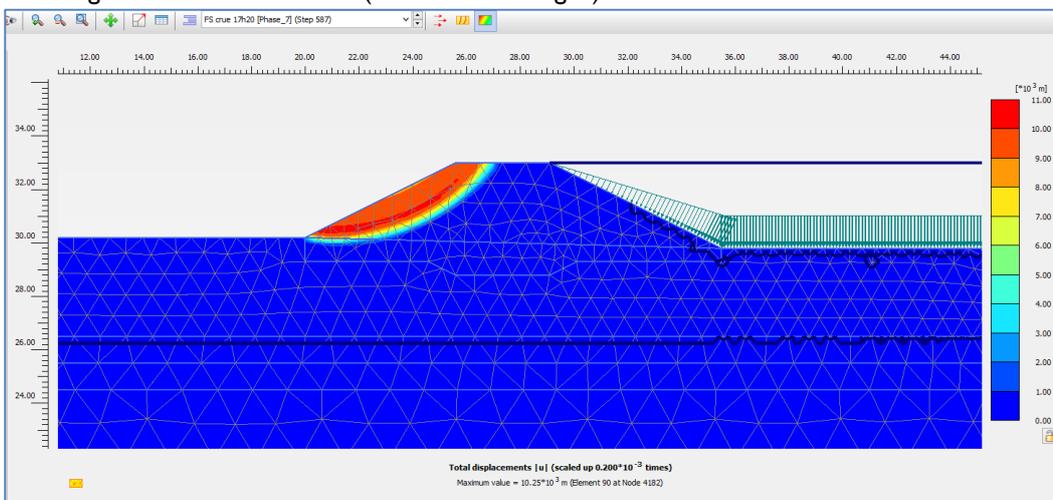
$K \text{ digue} = 10^{-6} \text{ m/s}$



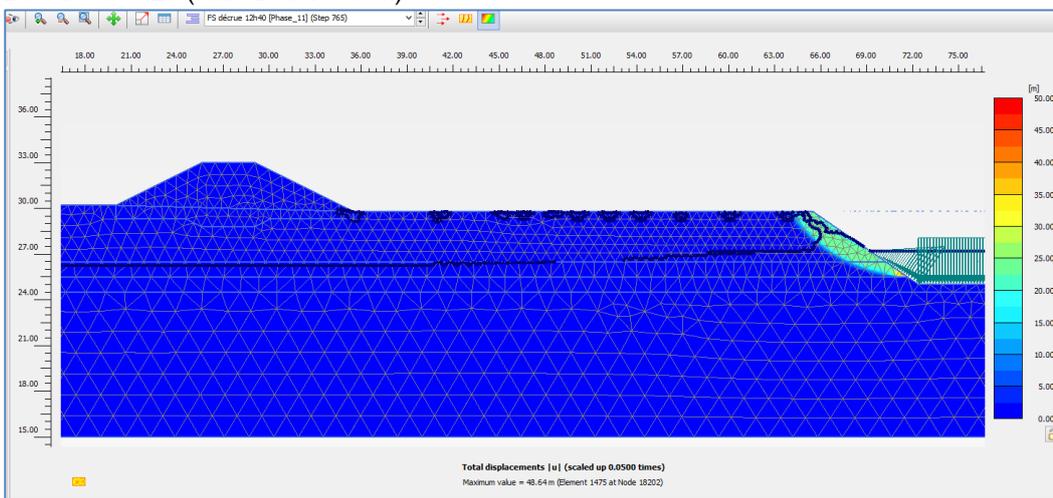
Crue régime permanent : F=1.56 (talus aval de la digue)



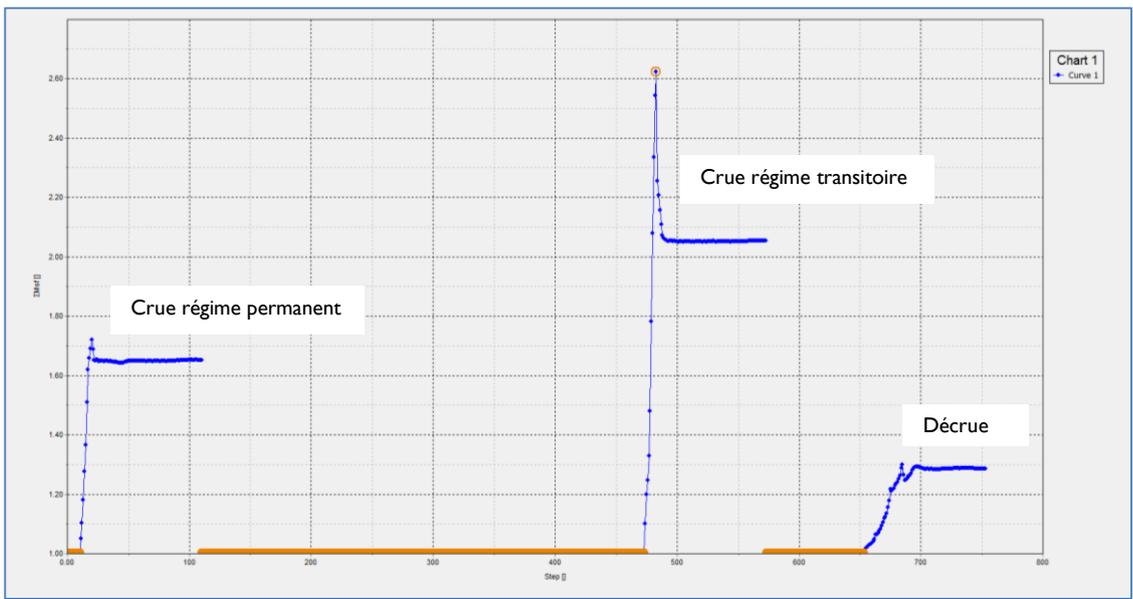
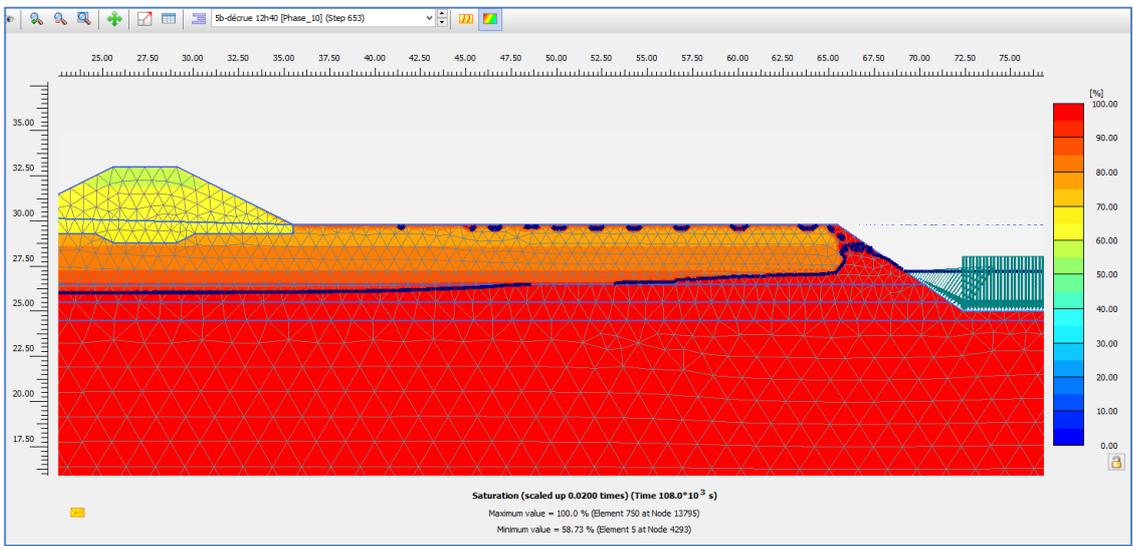
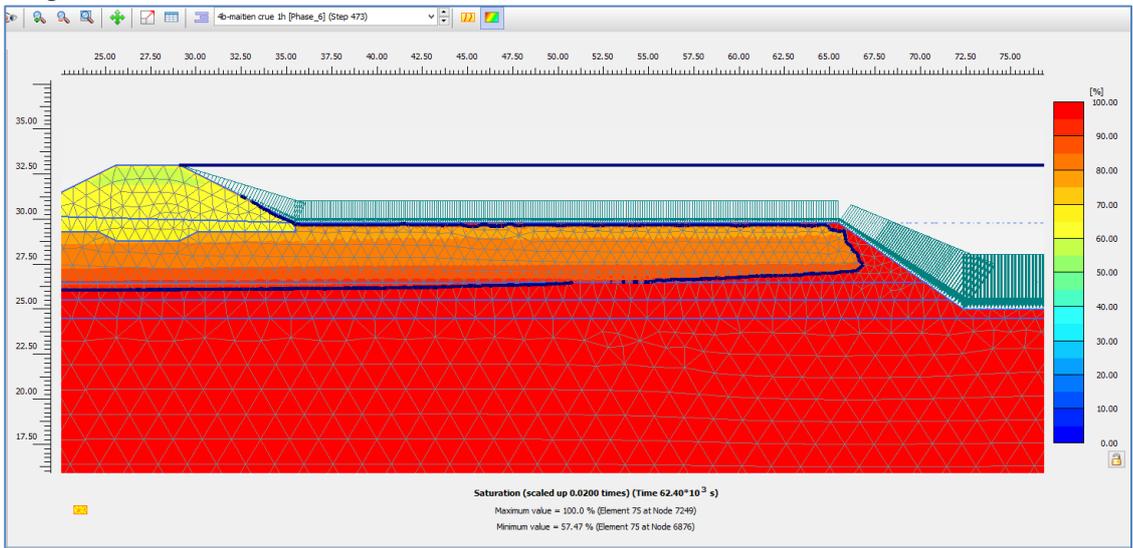
Crue régime transitoire : F=2.05 (talus aval de la digue)



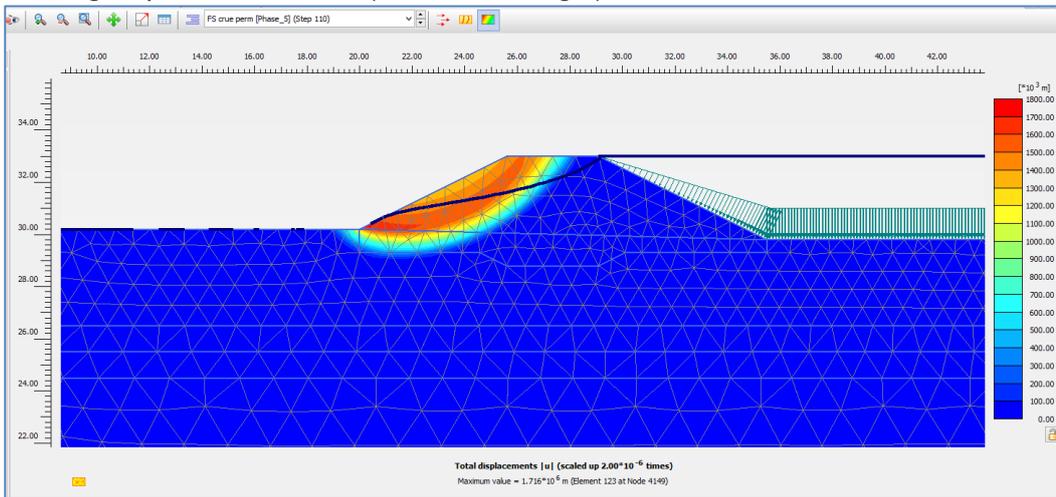
Décrué : F=1.26 (talus de la Mosson)



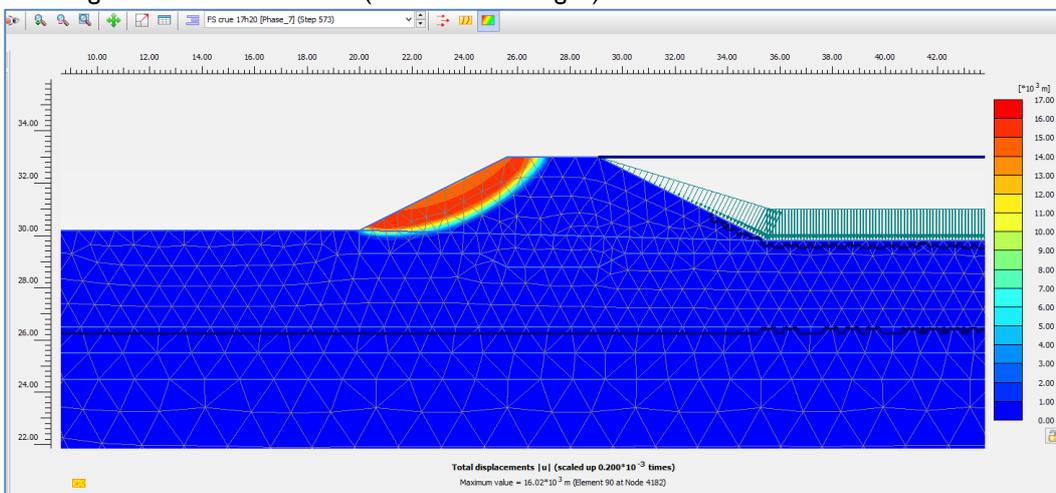
$K_{\text{digue}} = 10^{-7} \text{ m/s}$



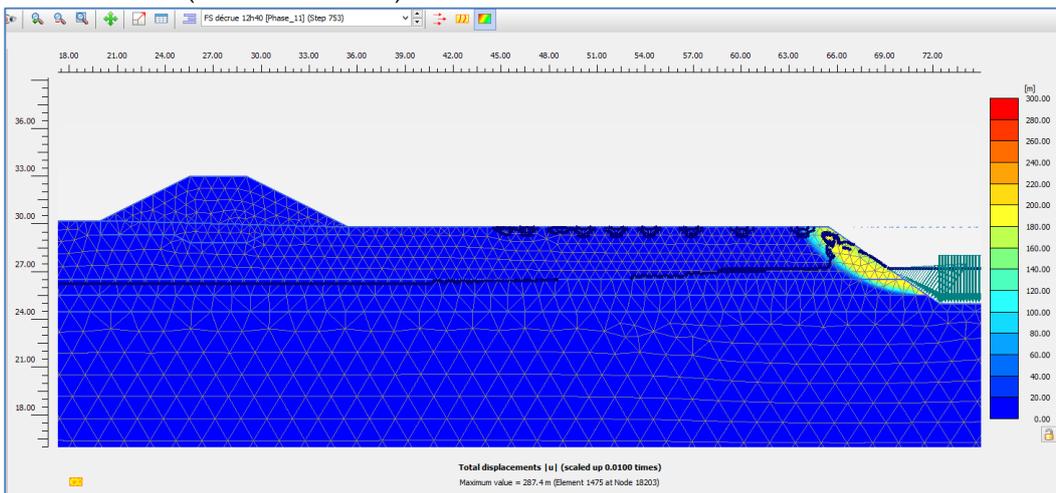
Crue régime permanent : $F=1.65$ (talus aval de la digue)



Crue régime transitoire : $F=2.05$ (talus aval de la digue)



Décrué : $F=1.28$ (talus de la Mosson)



9 – Tronçon 3 courant – résultats TALREN

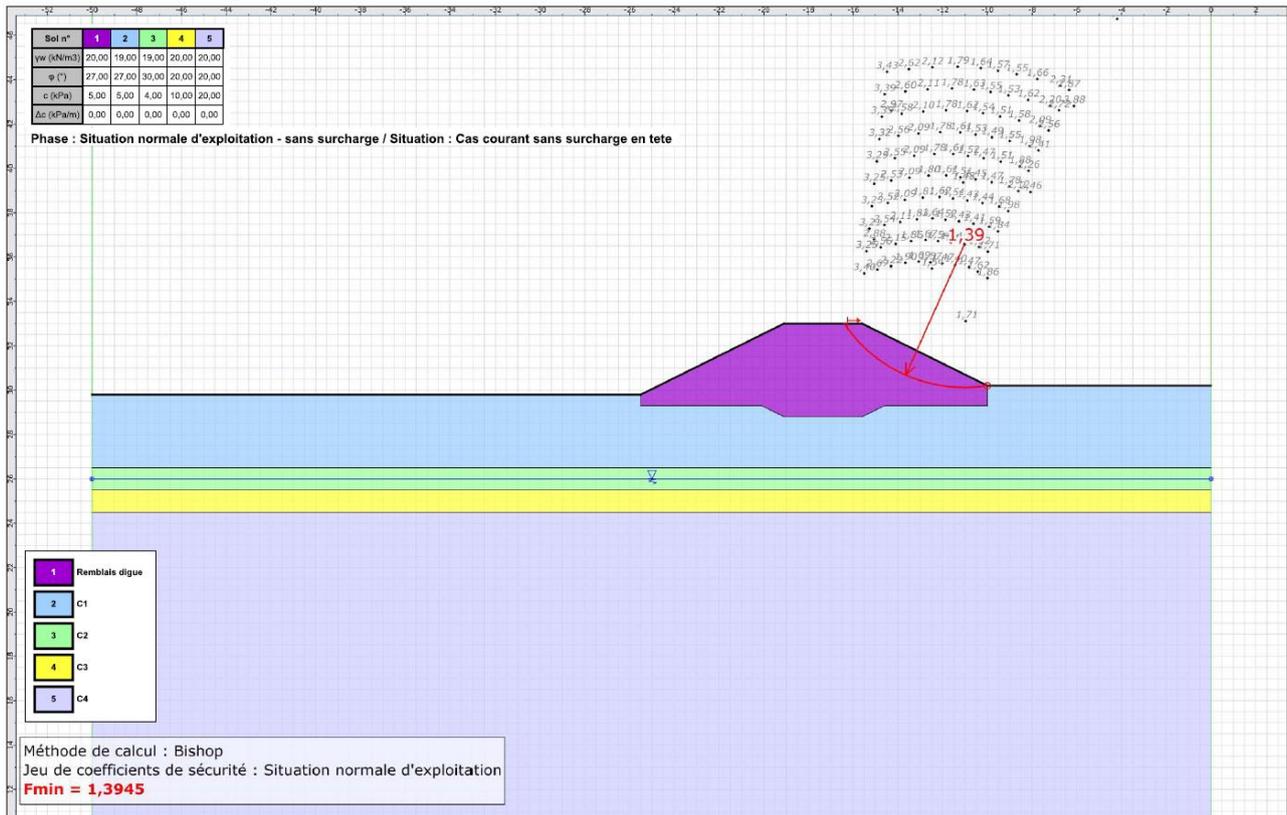
Il a été réalisé une série de calcul de stabilité au glissement à partir du logiciel TALREN.

Les niveaux d'eau pris en compte pour les régimes permanent et transitoire correspondent aux niveaux obtenus à partir des calculs PLAXFLOW.

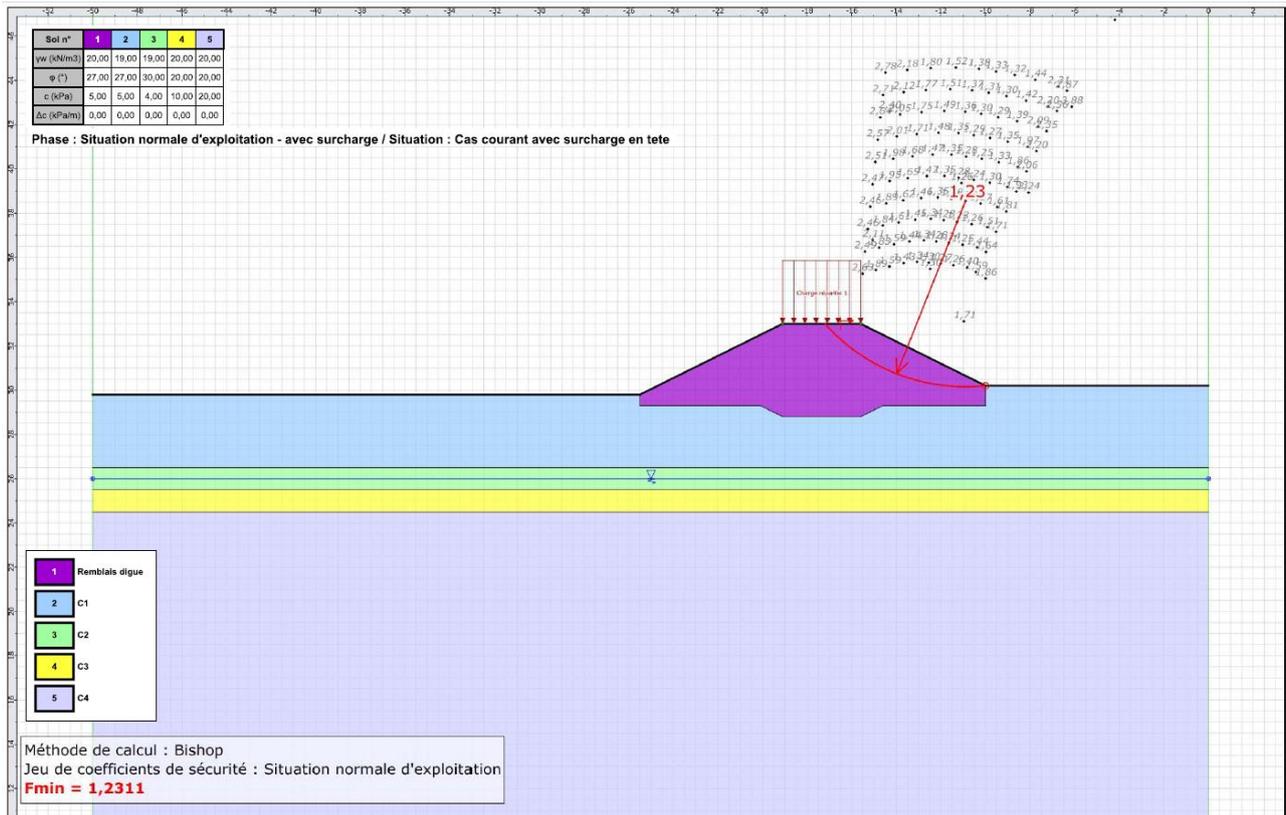
9.1 – Situation normale d'exploitation

..9.1.1. Coté terre

Calcul sans surcharge en tête



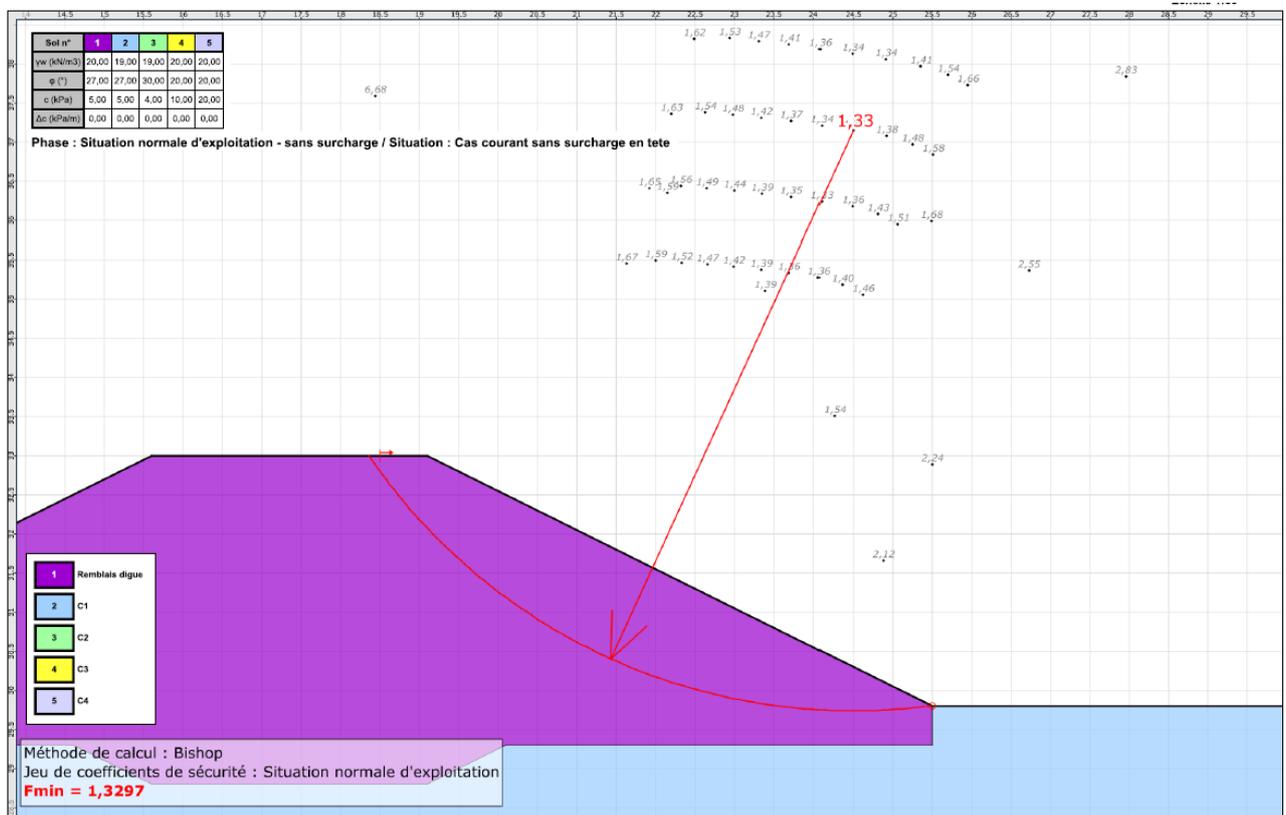
Calcul avec surcharge en tête :



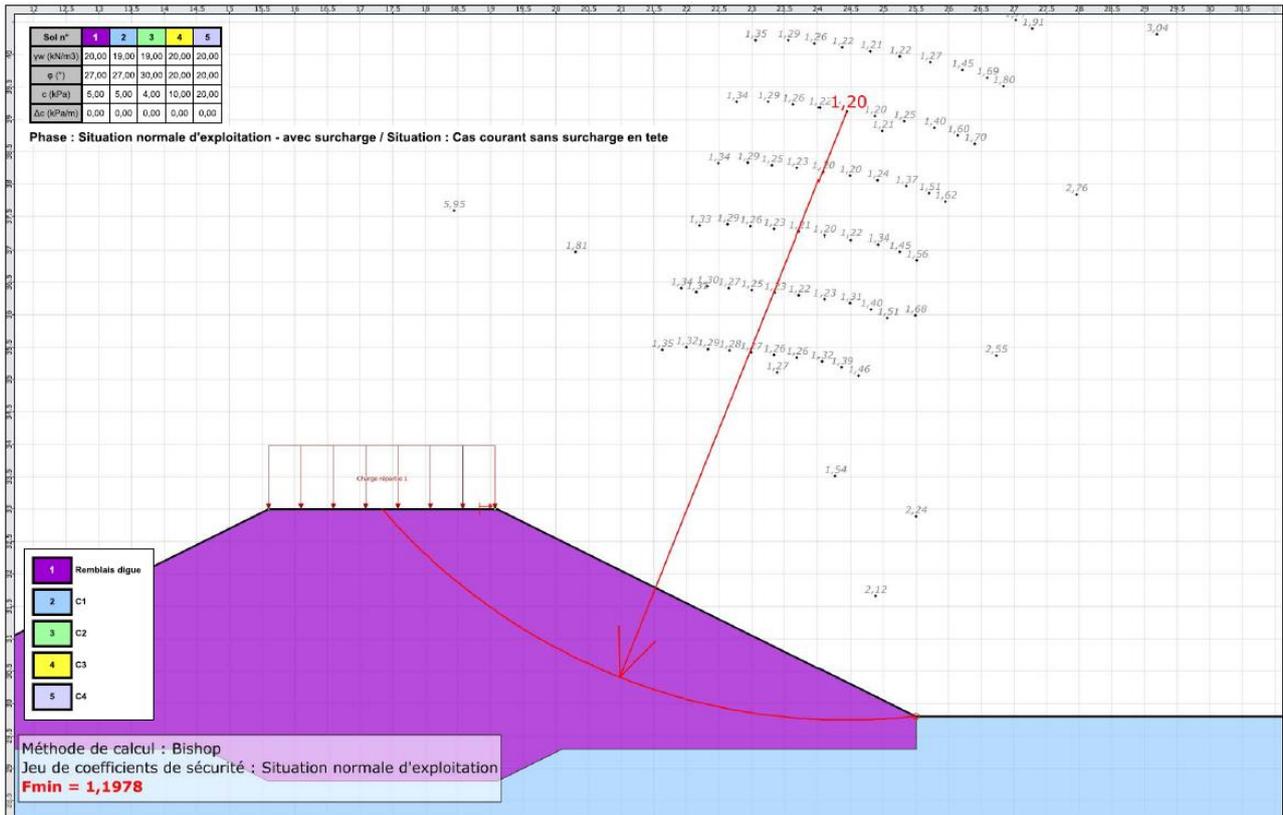
On constate une dégradation d'environ 11% du résultat du calcul suite à la mise en place de la surcharge.

..9.1.2. Coté Rivière

Calcul sans surcharge en tête :



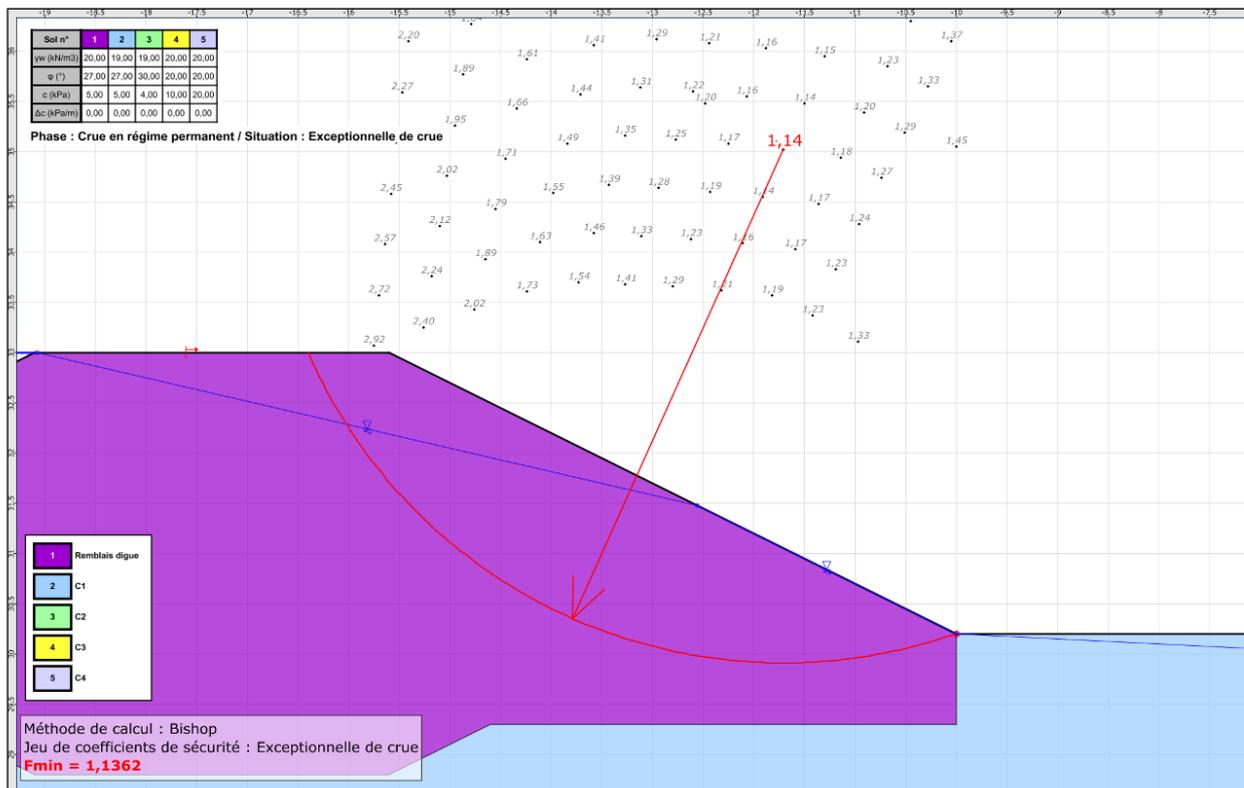
Calcul avec surcharge en tête :



On constate une dégradation d'environ 8% du résultat du calcul suite à la mise en place de la surcharge.

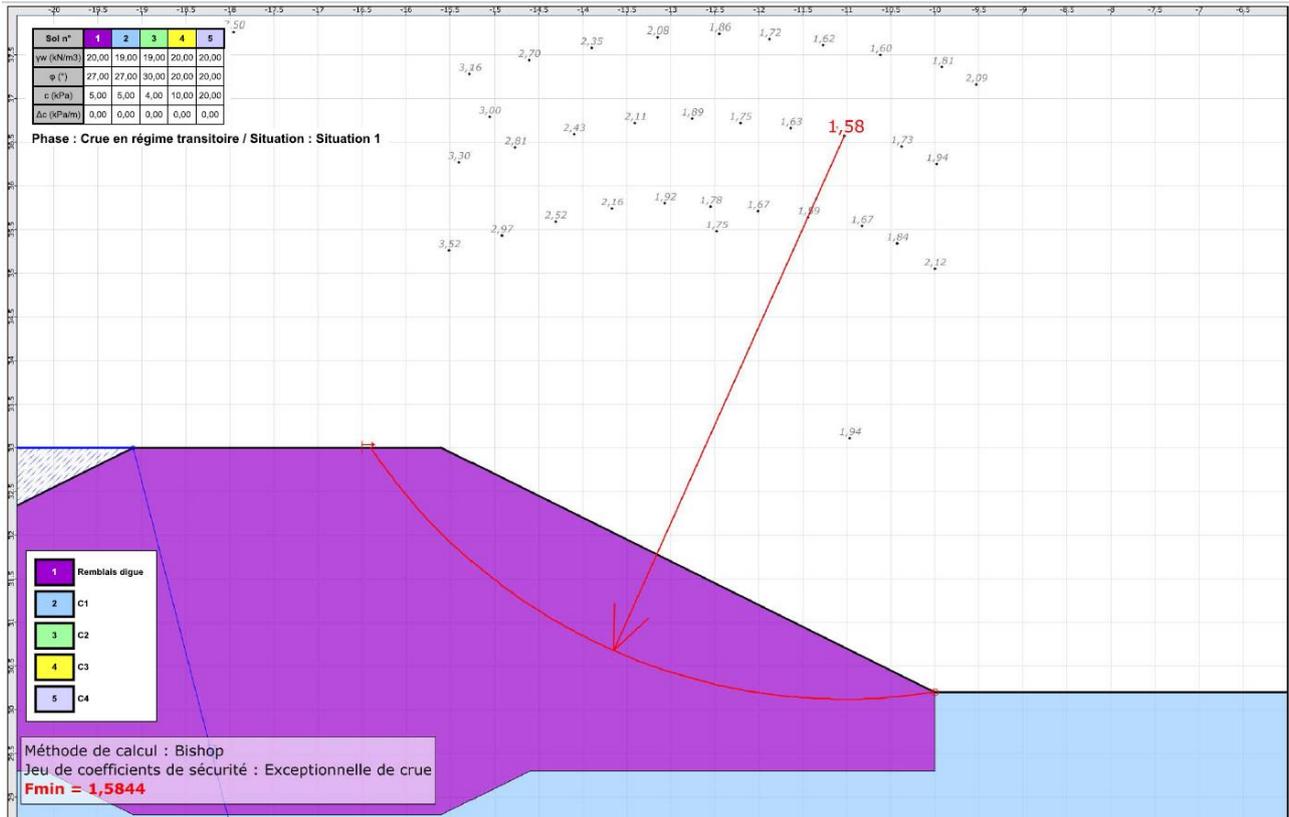
9.2 – Crue en régime permanent

- Coté terre



9.3 – Crue en régime transitoire

- Coté terre



Remarque :

Les calculs PLAXFLOW ont montrés que en régime transitoire, l'eau s'infiltré très légèrement dans la digue, sans influence sur le côté terre.

On constate que ce résultat Γ_{min} est supérieur par rapport au cas de situation normale d'exploitation, cela est dû à la prise en compte de coefficients partiels différents pour les calculs.

9.4 – Cas de vidange rapide en régime transitoire

- Coté Rivière

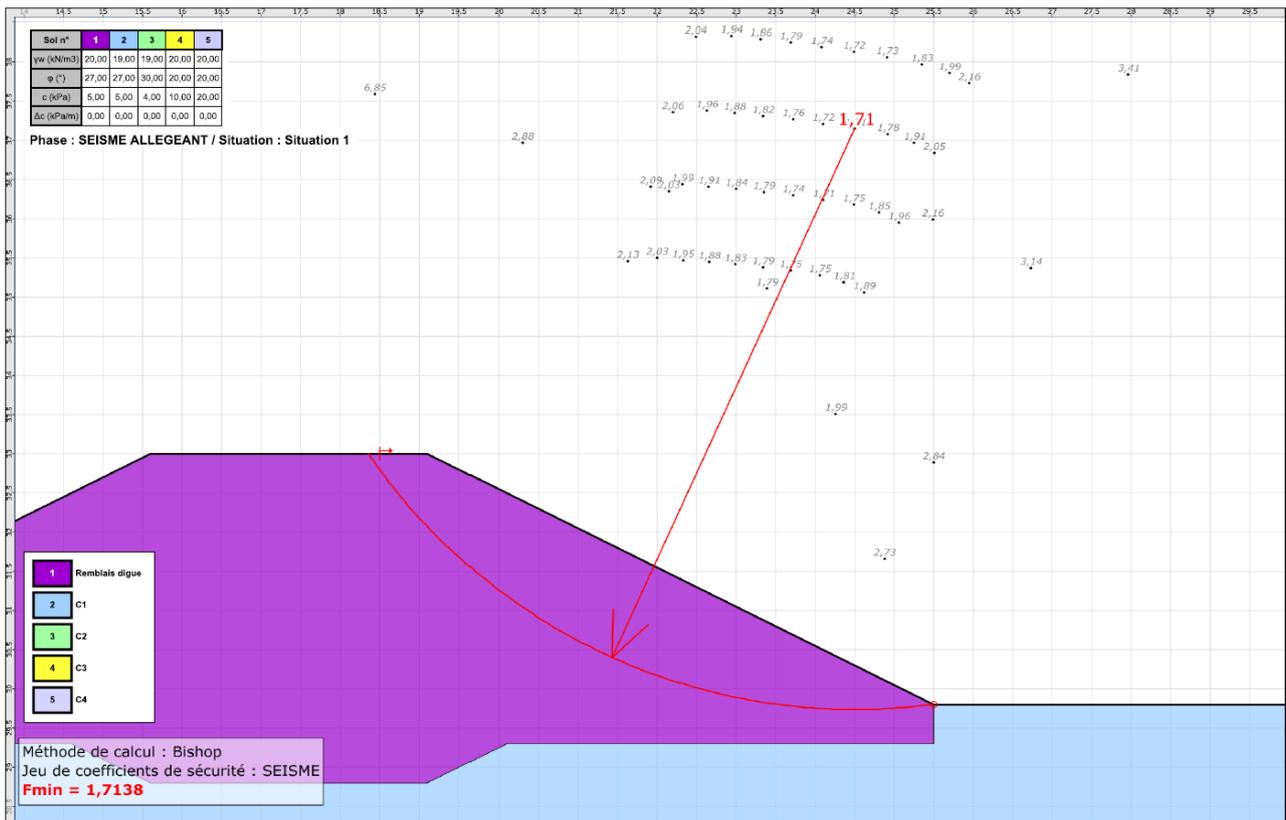
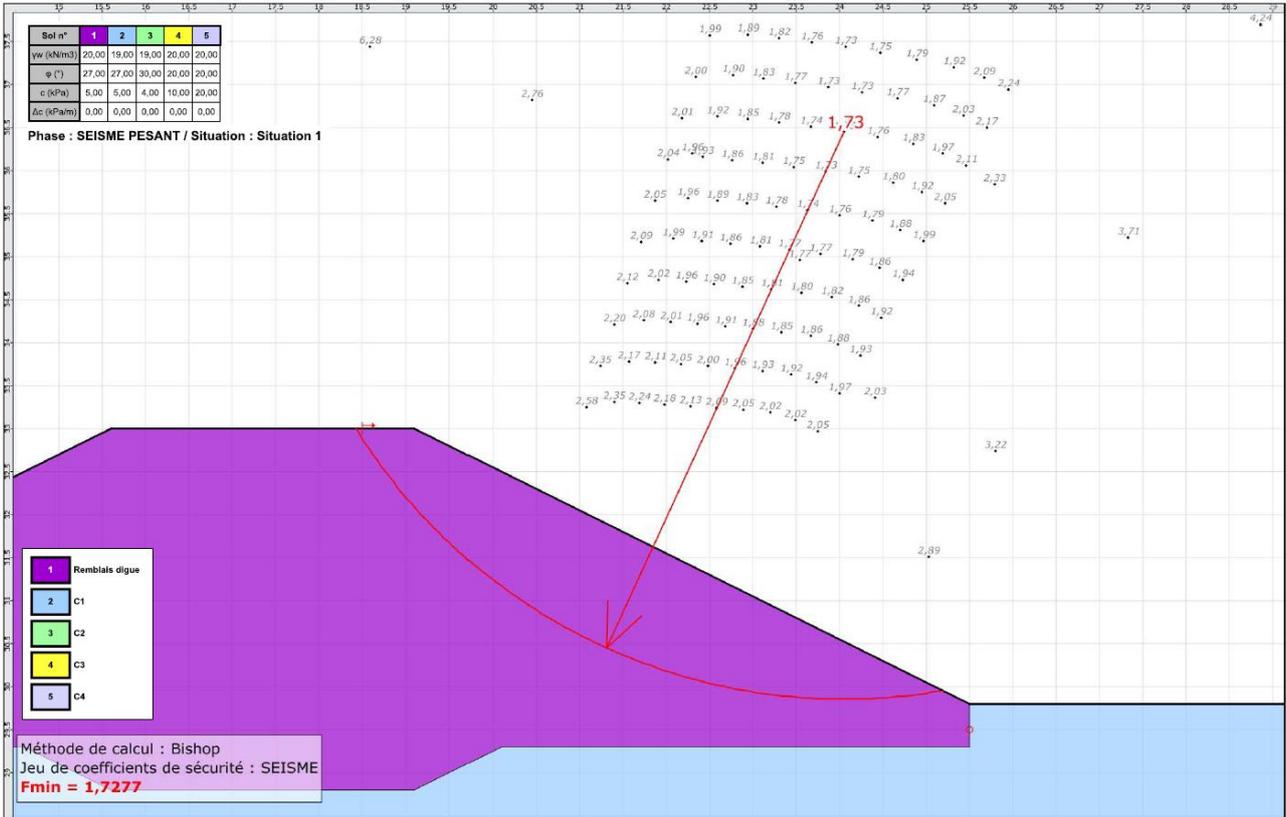
Les résultats des calculs PLAXFLOW indiquent qu'en régime transitoire, l'eau s'infiltré très peu dans la digue.

De plus lors de la décrue (en régime transitoire), les niveaux d'eau dans la digue diminuent quasiment en même temps.

Le calcul de vidange rapide en régime transitoire n'est donc pas significatif.

9.5 – Cas du séisme

- Coté Rivière



Remarque :

On constate que ces résultats Γ_{\min} sont supérieurs par rapport au cas de situation normale d'exploitation, cela est dû à la prise en compte de coefficients partiels différents pour les calculs.

9.6 – Synthèse

Les calculs de stabilité d'ensemble effectué avec TALREN montrent les résultats suivants :

Cas du calcul	Surcharge	Coté digue	Γ_{\min}
Situation normale d'exploitation	10kPa	Coté Rivière	1.20
	10 kPa	Coté Terre	1.23
	-	Coté Rivière	1.33
	-	Coté Terre	1.39
Crue en régime permanent	-	Coté Terre	1.14
Crue en régime transitoire	-	Coté Terre	1.58
Cas de vidange rapide en régime transitoire	-	Coté Rivière	--
Séisme (hors crue)	-	Coté Rivière	1.71

Remarque :

Il a également été mené pour vérification des calculs à partir de coefficient unitaire. Les résultats obtenus étaient identiques aux valeurs calculées par la méthode du c-phi réduction de plaxis.

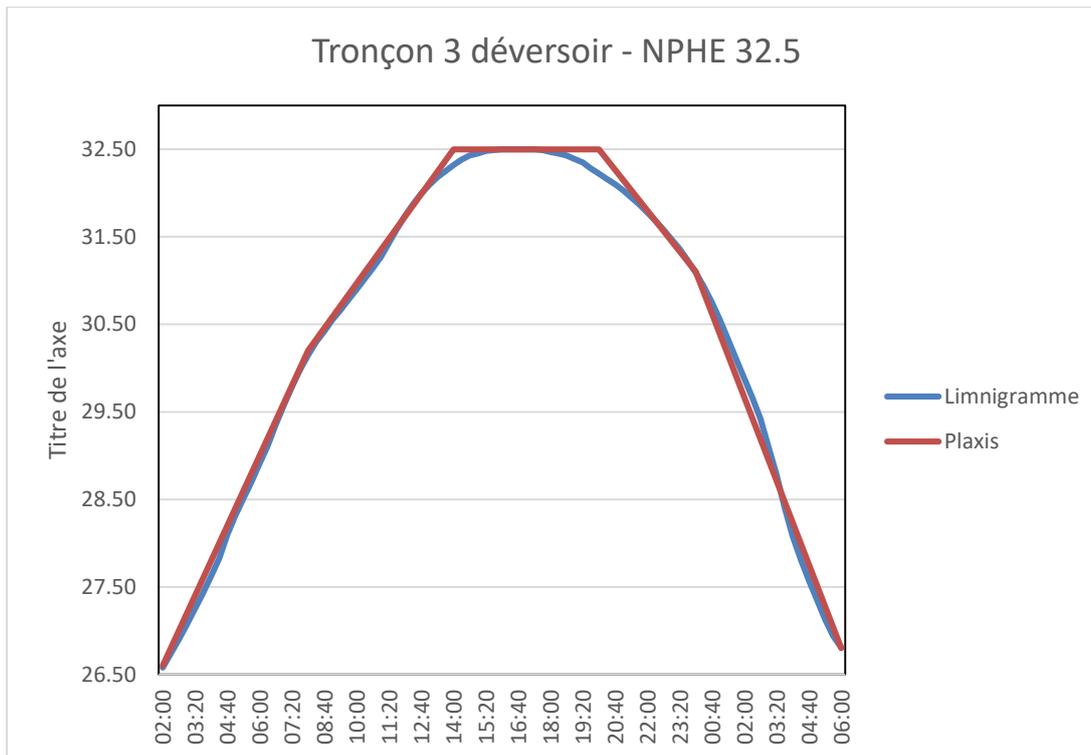
10 – Tronçon 3 déversoir – résultats PLAXFLOW

10.1 – Situation hydraulique

Nous avons retenu une nappe à la cote 26NGF.

Conformément au Limnigramme, nous avons considéré, pour l'étude des écoulements internes en régime transitoire :

- 12h de montée de crue de la Mosson jusqu'à 32.5NGF (NPHE)
- 6h de niveau statique à 32.5NGF
- 10h de décrue jusqu'à 26.8NGF



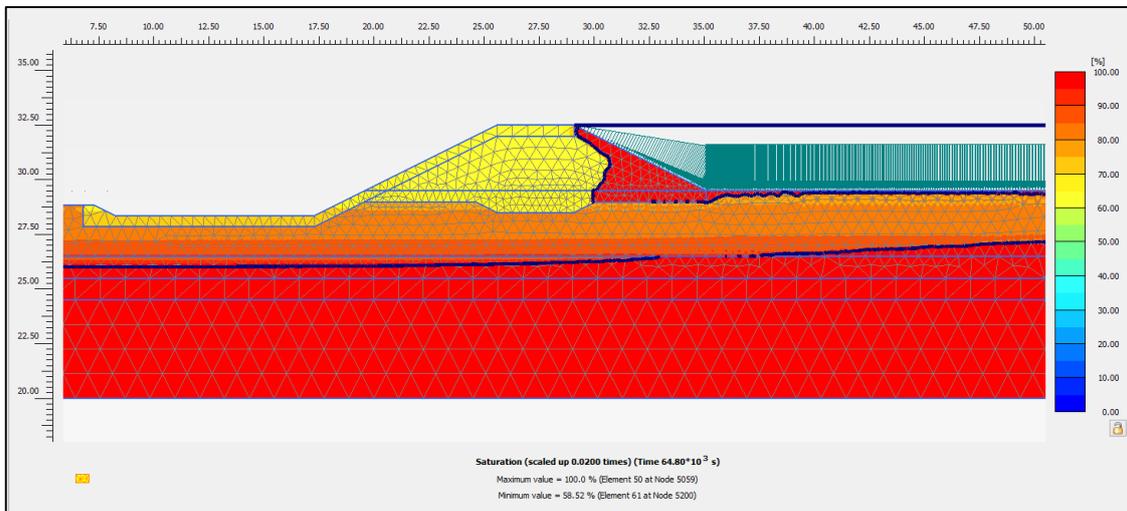
10.2 – Phasage

Initial phase [InitialPhase]			0.000 s
1-terrassement clé ancrage [Phase_1]			0.000 s
2- corps de digue en remblai [Phase_2]			0.000 s
3-crue mousson rég. perm. [Phase_4]			0.000 s
FS crue perm [Phase_5]			0.000 s
3a1-crue 6h [Phase_6]			21.60E3 s
3a2-crue 12h [Phase_10]			21.60E3 s
3b-maitien 6h [Phase_7]			21.60E3 s
FS crue 18h [Phase_8]			0.000 s
4a-Décrue 4h [Phase_9]			14.40E3 s
4b-Décrue 10h [Phase_11]			21.60E3 s
FS Décrue 10h [Phase_12]			0.000 s

10.3 – Résultats modélisation hydraulique

..10.3.1. Crue

Le graphique ci-dessous montre l'avancée du front de saturation dans le corps de digue.



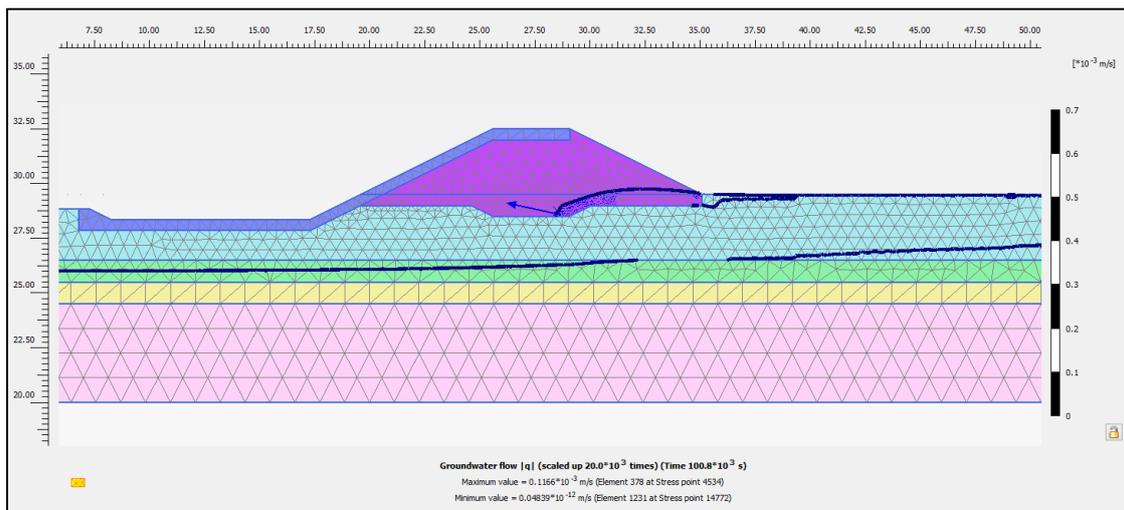
On constate qu'après la crue et 6h de niveau statique, l'eau s'infiltré dans la digue, compte tenu de la perméabilité de la digue ($k=10^{-5}$ m/s) et de la durée de la crue.

La ligne de saturation n'atteint pas le côté aval de la digue, il n'y a donc pas de risque d'entraînement de fines.

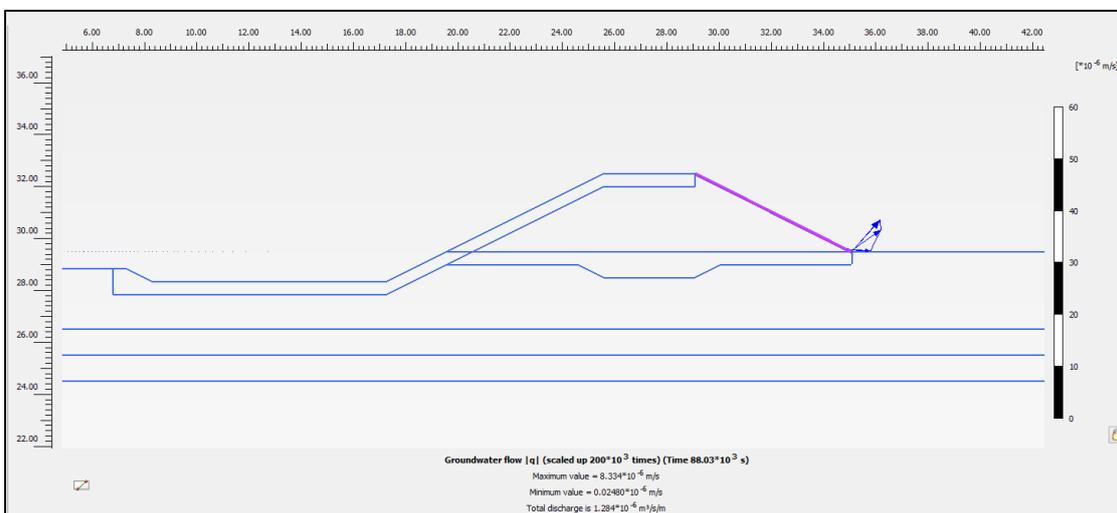
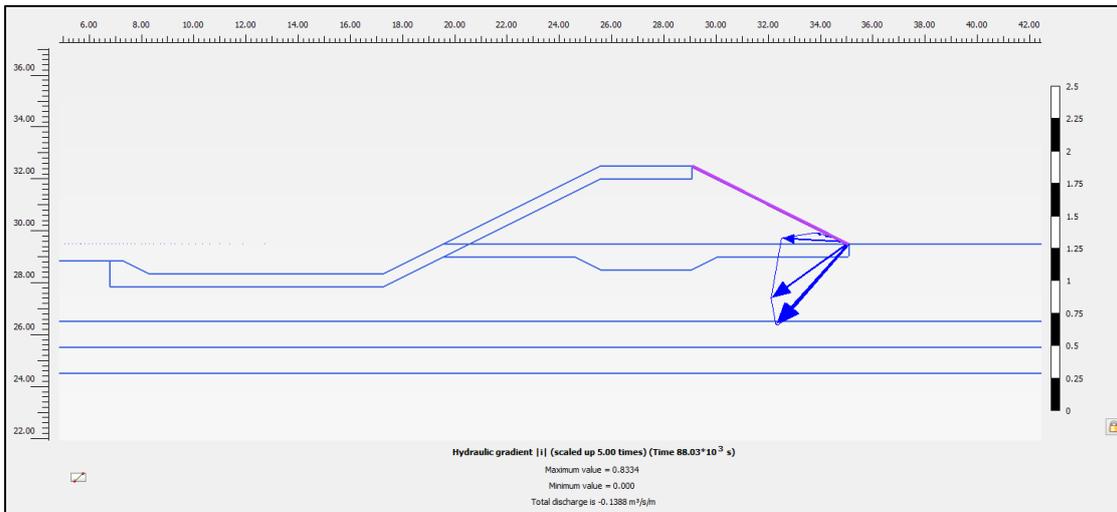
..10.3.2. Décrue

L'étude de la phase de décrue est intéressante du point de vue de l'influence du retrait des eaux sur la stabilité de la digue côté amont.

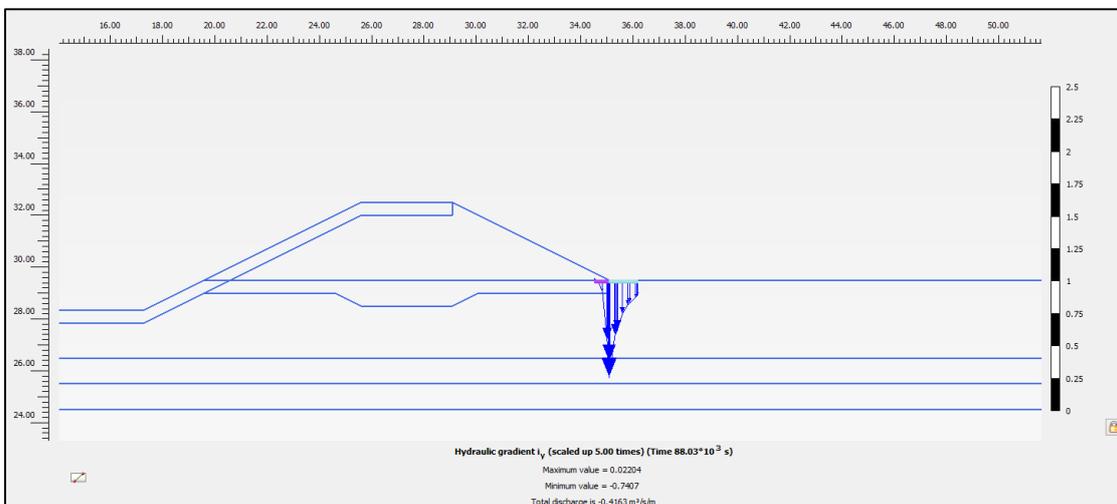
Le graphique ci-dessous représente l'amplitude des vitesses d'écoulement en amont de la digue après décrue. Compte tenu du temps de décrue, l'eau reste piégée en pied de digue dans la clé d'ancrage.

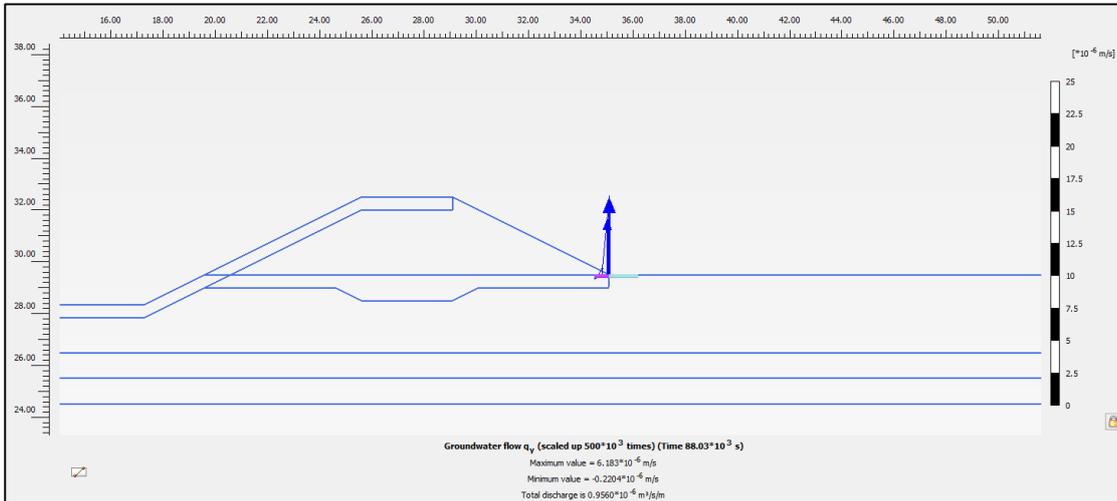


Le gradient maximum dans le talus amont de la digue est de l'ordre de 0,83 pendant la décrue (Eau vers 29.5NGF) et il s'agit d'un écoulement très localisé. Il n'y a donc pas d'entraînement de fines vis-à-vis des phénomènes de Renard.



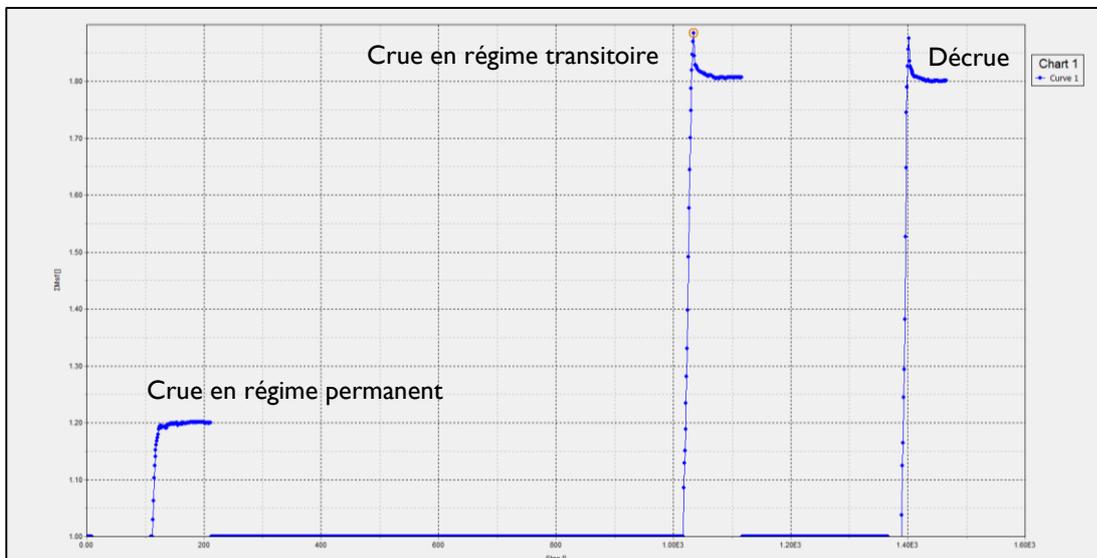
Le gradient vertical maximum en pied amont de la digue est de l'ordre de 0,74 pendant la décrue (Eau vers 29.5NGF). Cependant, il s'agit d'une valeur localisé (en l'occurrence sur 1 nœud). Il s'agit plutôt d'un artefact de modélisation.





10.4 – Résultats modélisation géo-mécanique

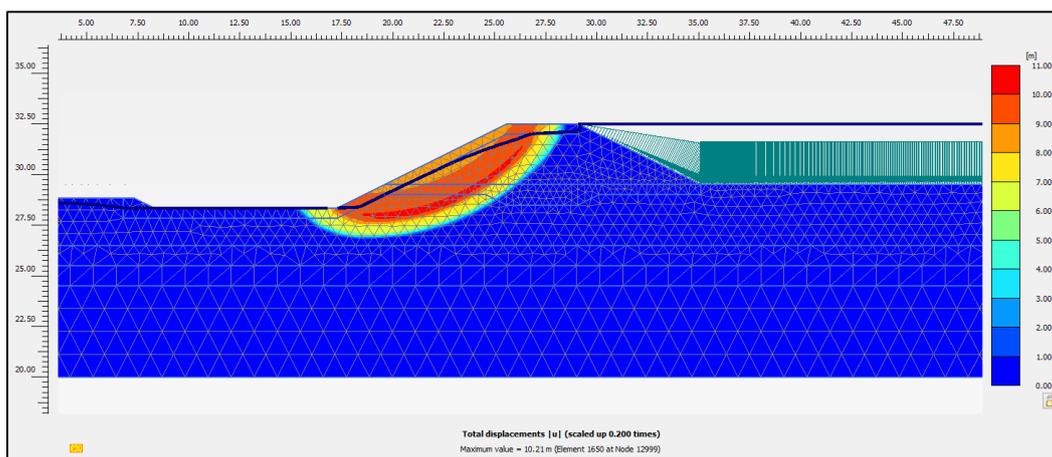
Le graphique ci-dessous présente les coefficients de sécurité obtenus pour chaque phase.



Crue en régime permanent :

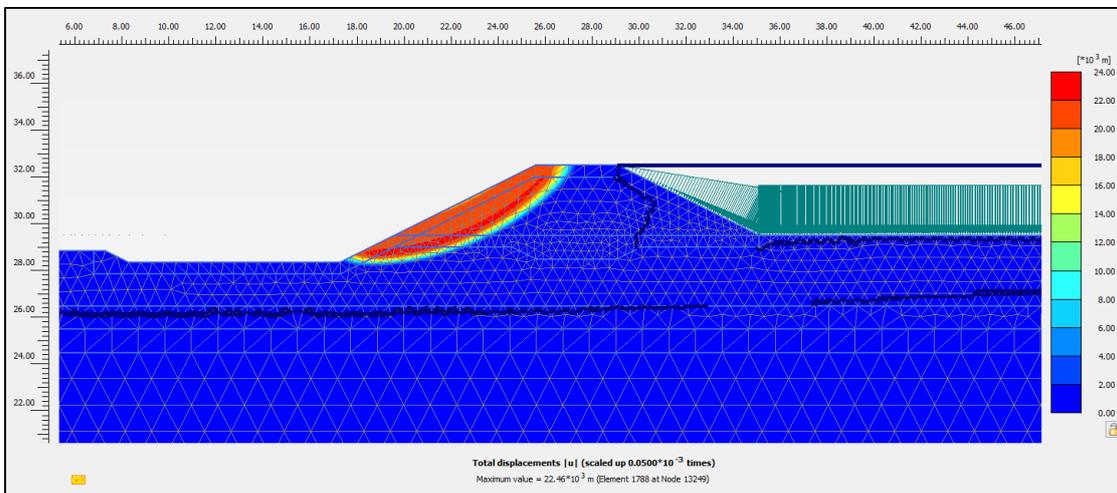
Le coefficient de sécurité minimum est obtenu au niveau du parement aval de la digue et correspond à une rupture circulaire.

Nous avons obtenu $F = 1,2$. La stabilité au glissement n'est pas assurée. Toutefois les calculs en régime transitoire ont montré que pour les durées de crues considérées l'eau était loin de saturer toute la largeur de la digue.



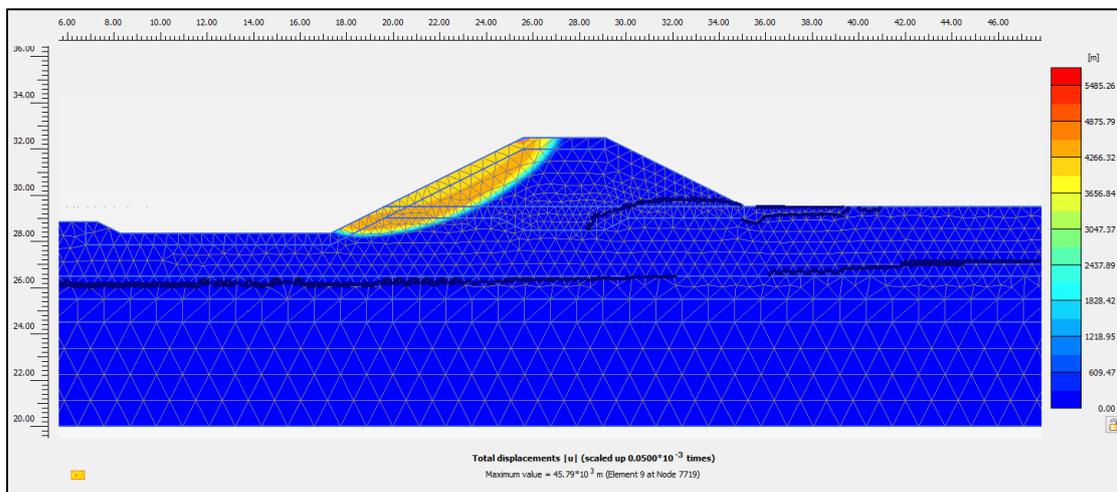
Crue en régime transitoire :

Le coefficient de sécurité minimum est obtenu au niveau du parement aval de la digue et correspond à une rupture circulaire.
Nous avons obtenu $F = 1,8$. La stabilité au glissement est assurée ($F \geq 1,3$).



Décrue en régime transitoire :

Le coefficient de sécurité minimum est obtenu au niveau du parement aval de la digue et correspond à une rupture circulaire.
Nous avons obtenu $F = 1,8$. La stabilité au glissement est assurée ($F \geq 1,3$).



II – Tronçon 3 déversoir – résultats TALREN

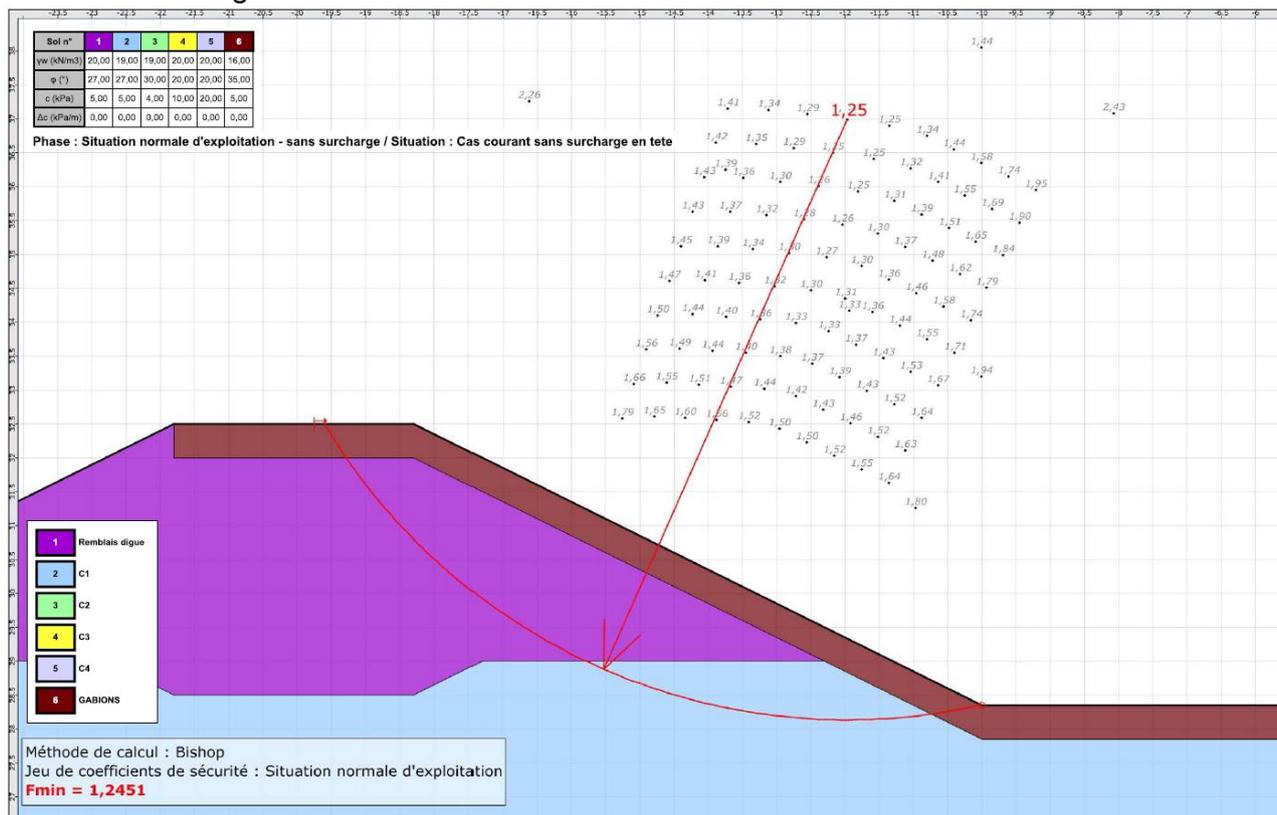
Il a été réalisé une série de calcul de stabilité au glissement à partir du logiciel TALREN.

Les niveaux d'eau pris en compte pour les régimes permanent et transitoire correspondent aux niveaux obtenus à partir des calculs PLAXFLOW.

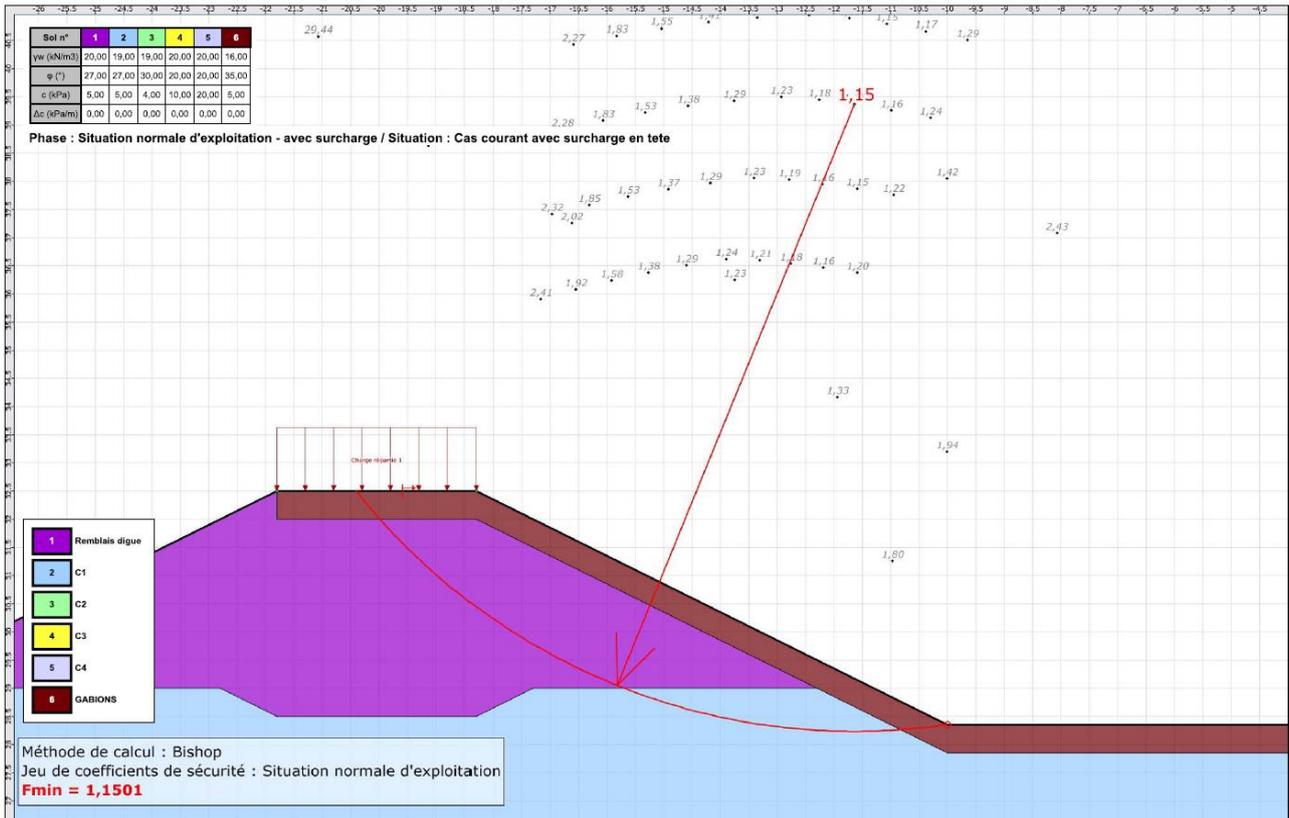
II.1 – Situation normale d'exploitation

..II.1.1. Coté terre

Calcul sans surcharge en tête



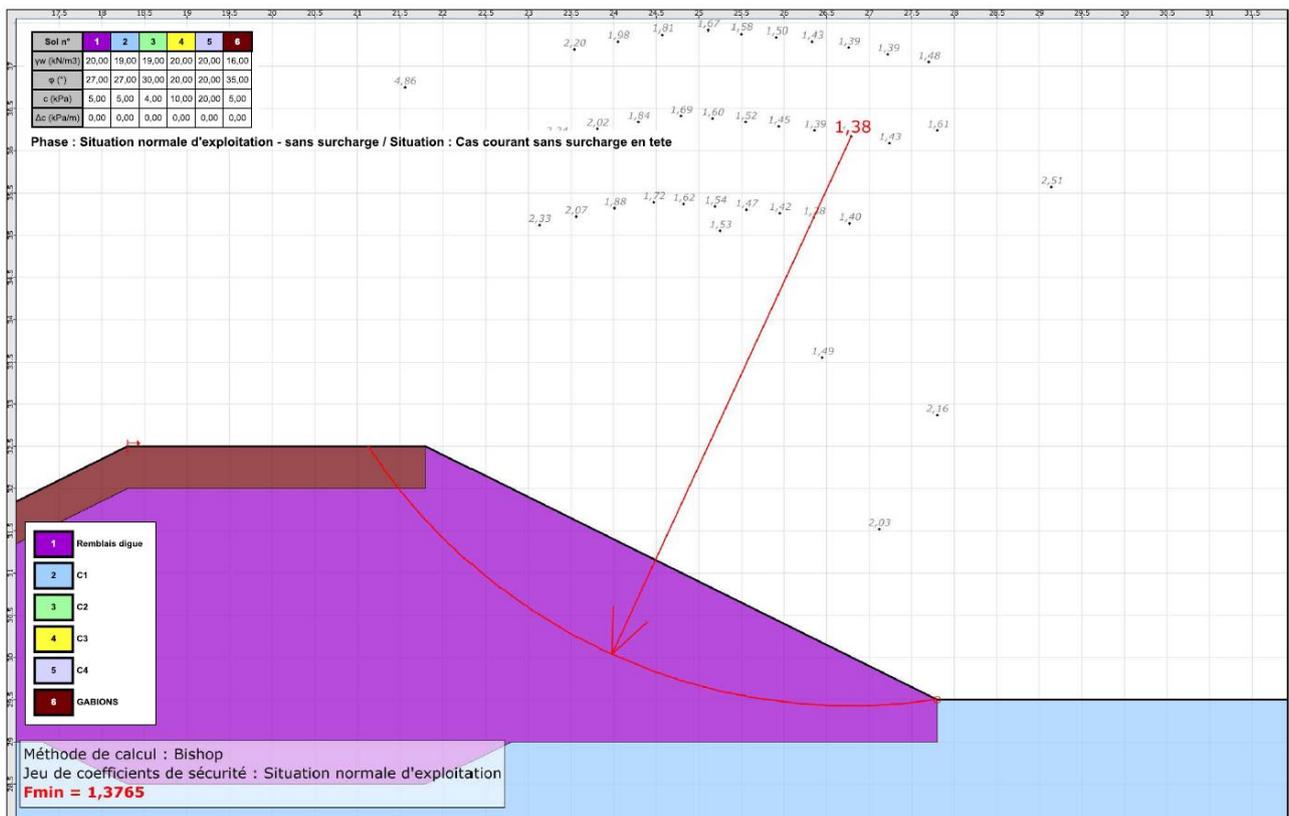
Calcul avec surcharge en tête



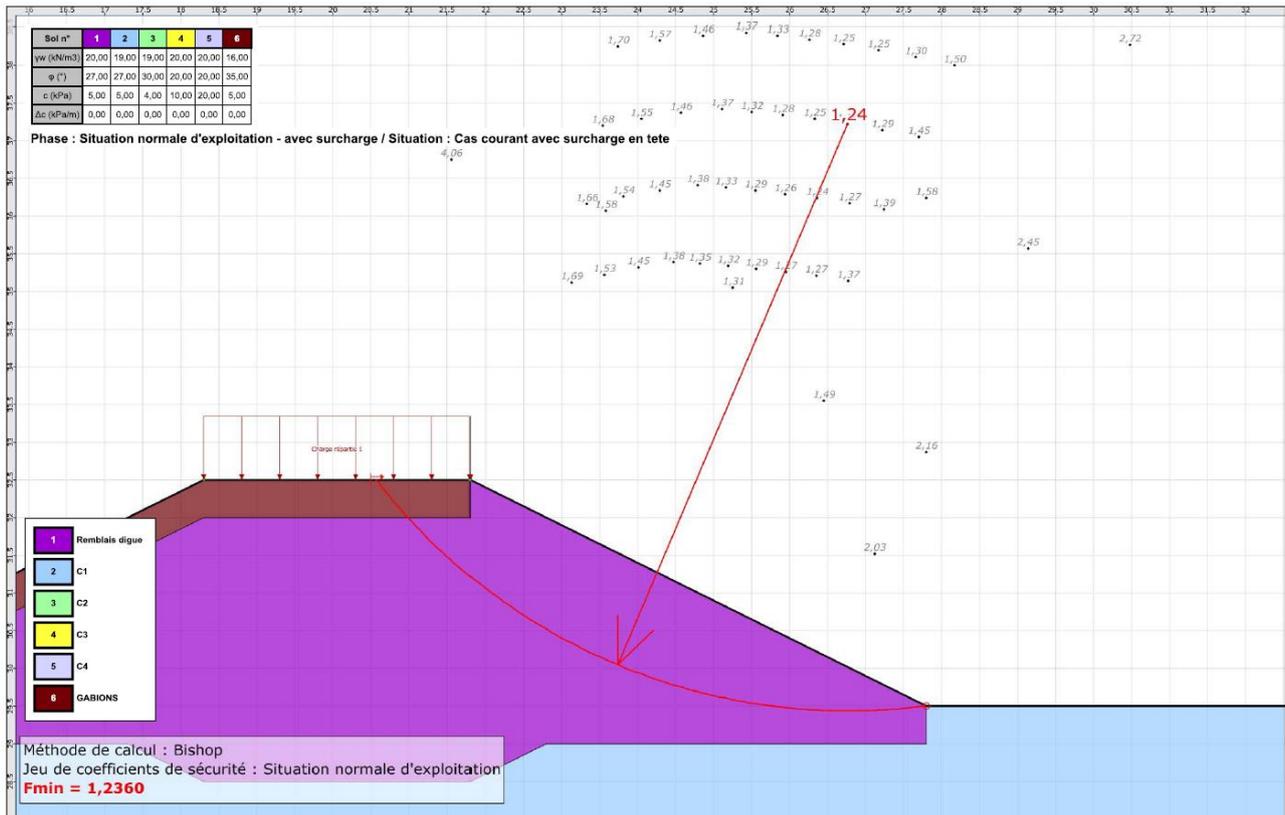
On constate une dégradation de 8% du résultat du calcul suite à la mise en place de la surcharge.

..1.1.2. Coté Rivière

Calcul sans surcharge en tête



Calcul avec surcharge en tête

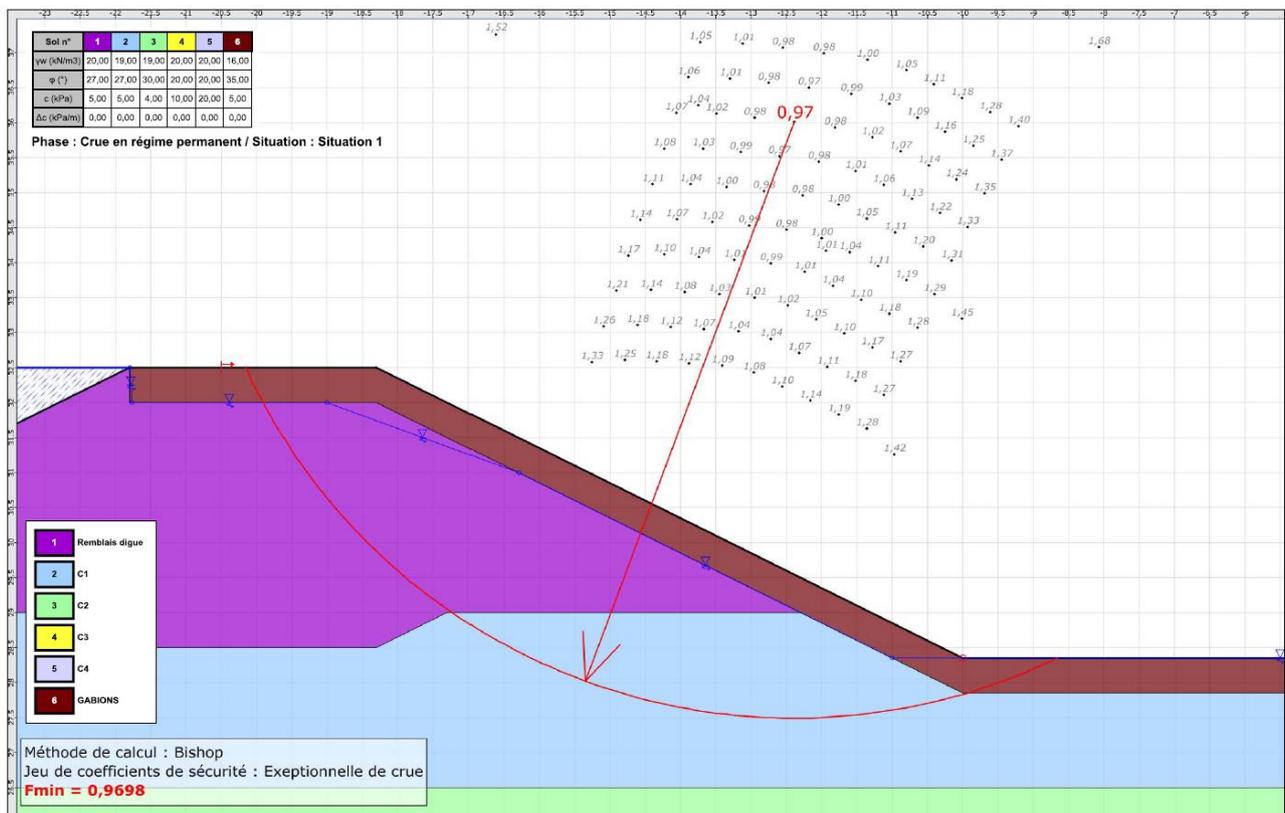


On constate une dégradation de 10% du résultat du calcul suite à la mise en place de la surcharge.

11.2 – Crue en régime permanent

..11.2.1.

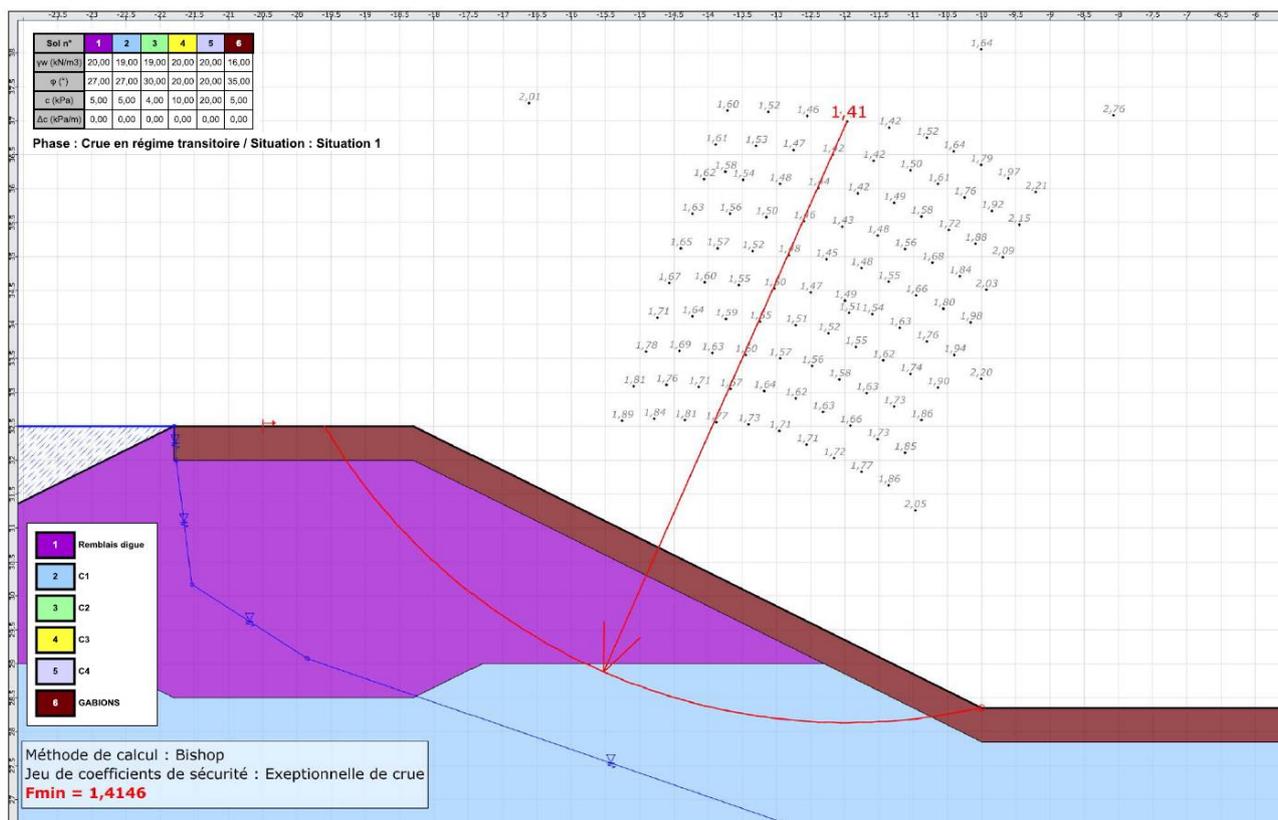
Coté terre



On constate que dans ce cas, le coefficient de sécurité n'est pas atteint.

11.3 – Crue en régime transitoire

..11.3.1. Coté terre



Remarque :

Les calculs PLAXFLOW ont montrés qu'en régime transitoire, l'eau s'infiltré très légèrement dans la digue, sans influence sur le côté terre.

On constate que ce résultat Γ_{min} est supérieur par rapport au cas de situation normale d'exploitation, cela est dû à la prise en compte de coefficients partiels différents pour les calculs.

11.4 – Cas de vidange rapide en régime transitoire

..11.4.1. Coté Rivière

Les résultats des calculs PLAXFLOW indiquent qu'en régime transitoire, l'eau s'infiltré très peu dans la digue.

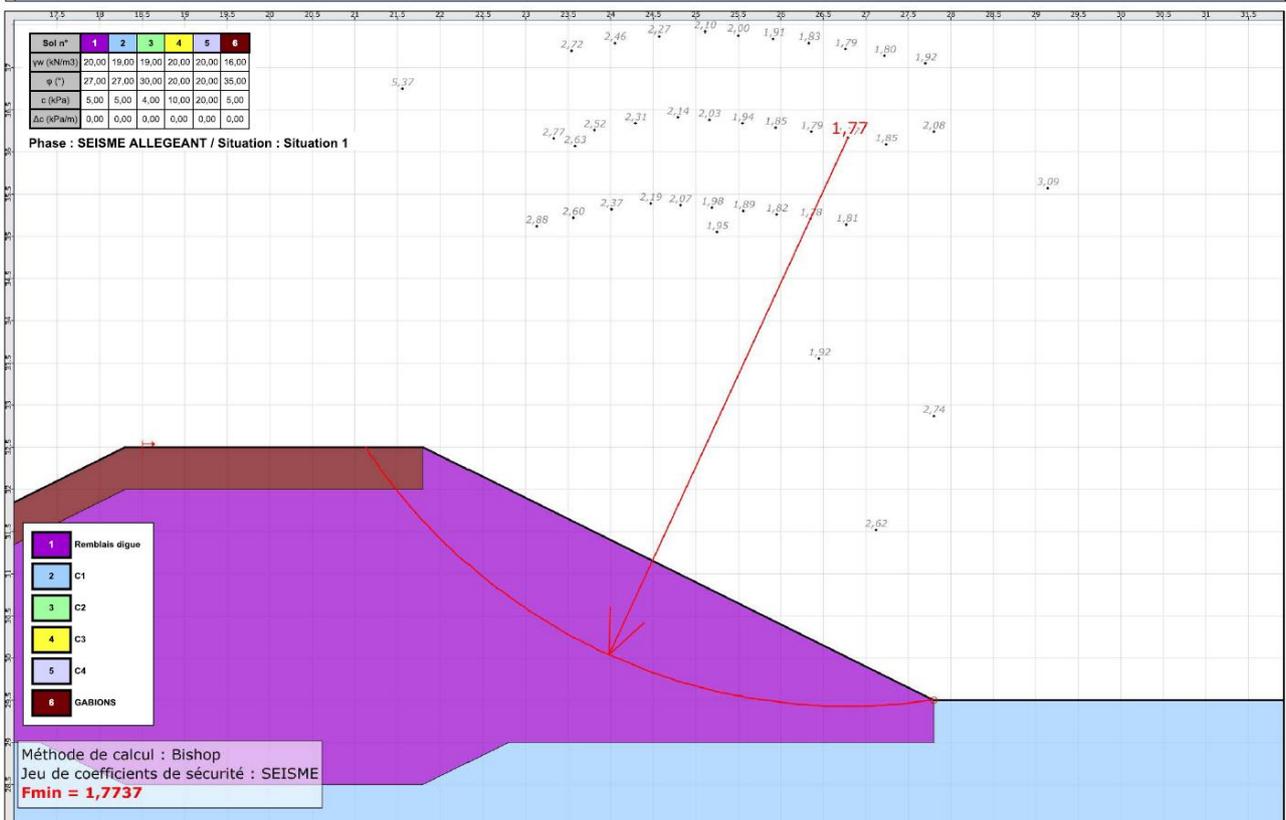
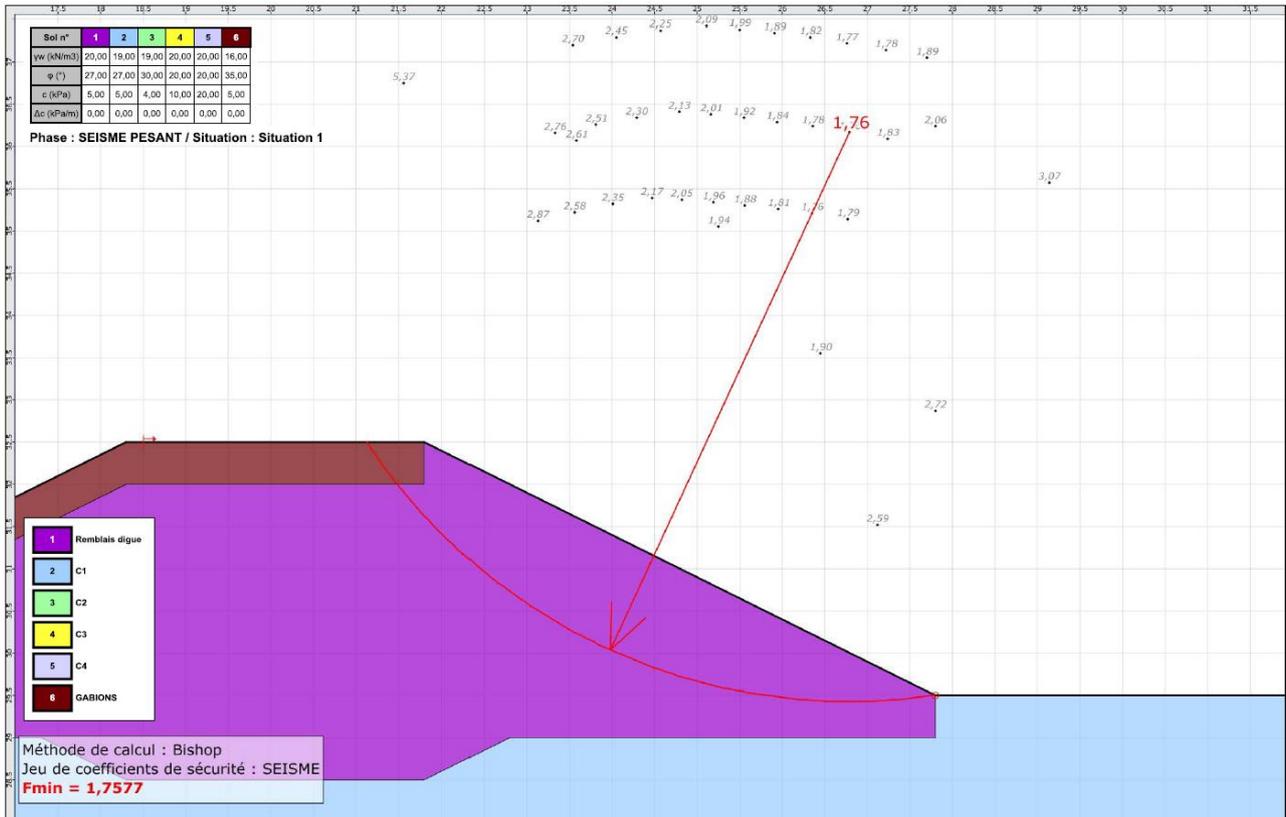
De plus lors de la décrue (en régime transitoire), les niveaux d'eau dans la digue diminuent quasiment en même temps.

Le calcul de vidange rapide en régime transitoire n'est donc pas significatif.

11.5 – Cas du séisme

..11.5.1.

Coté Rivière



11.6 – Synthèse

Les calculs de stabilité d'ensemble effectués avec TALREN montrent les résultats suivants :

Cas du calcul	Surcharge	Coté digue	Γ_{\min}
Situation normale d'exploitation	10kPa	Coté Rivière	1.24
	10 kPa	Coté Terre	1.15
	-	Coté Rivière	1.38
	-	Coté Terre	1.25
Crue en régime permanent	-	Coté Terre	0.97
Crue en régime transitoire	-	Coté Terre	1.41
Cas de vidange rapide en régime transitoire	-	Coté Rivière	--
Séisme (hors crue)	-	Coté Rivière	1.76

Remarque :

Il a également été mené pour vérification des calculs à partir de coefficient unitaire. Les résultats obtenus étaient identiques aux valeurs calculées par la méthode du c-phi réduction de plaxis.

Pour cette coupe, le coefficient de sécurité n'est pas atteint pour le cas de la crue en régime permanent, avec toutefois une valeur proche du coefficient recherché. Nous rappelons que ce cas de calcul est défavorable.

12 – Variante Tronçon 1 & 2

Il est également envisagé dans le cadre du projet, au niveau du tronçon 1 et 2 une variante à la construction d'une digue qui consiste en la construction d'un mur de protection.

Dans le cadre de cette étude G2 AVP, nous avons mené un calcul de stabilité de cet ouvrage par méthode analytique pour vérifier la stabilité externe (poinçonnement, renversement et glissement).

Il a été considéré pour ce calcul les hypothèses suivantes :

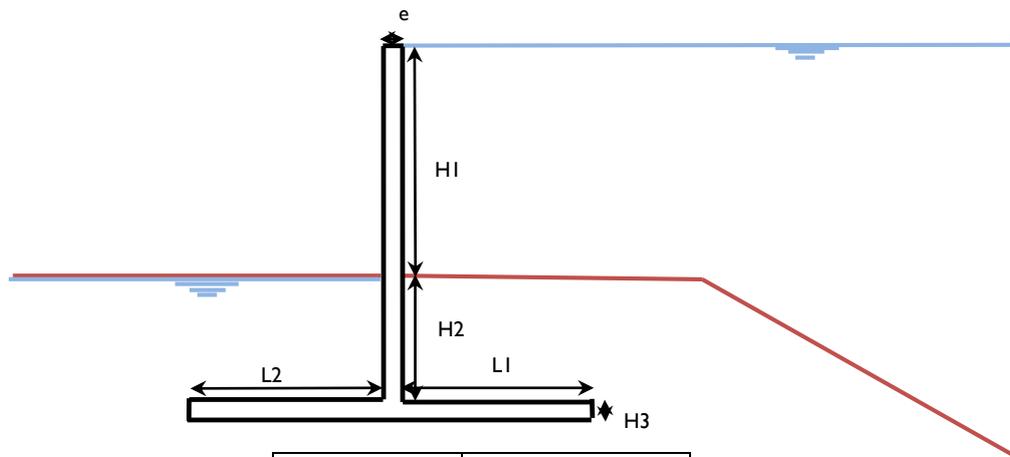
- Niveau d'eau en aval (coté terre) : 31.30 m NGF
- Terrain aval (coté terre) : 31.30 m NGF
- Niveau d'eau en amont (coté rivière) : 33.30 m NGF,
- Terrain amont (coté rivière) : 31.30 m NGF

Les sols d'assises sont constitués de la couche CI, les caractéristiques géotechniques sont indiquées dans le tableau page 27.

Pour les calculs, il n'a pas été tenu compte d'une déclivité du terrain au-dessus du patin amont. Dans le cas où cette variante est privilégiée, il conviendra donc soit de remblayer le terrain amont de manière à avoir un terrain plan, soit de tenir compte de cette déclivité dans les études à venir.

Aucune surcharge n'a été considérée pour le calcul.

Afin de vérifier la stabilité externe et pour fixer les ordres de grandeur (à affiner en phase PRO), les dimensions minimales du mur sont les suivantes :



H1 (m)	2
H2 (m)	2.2
H3 (m)	0.2
L1 (m)	2
L2 (m)	1.0
e (m)	0.2

Dans le cas d'un mur enterré à 2.40 m sous le niveau du terrain fini, il est nécessaire d'avoir une semelle de **3.20** m de longueur.

Les vérifications suivantes ont été menées :

Vérification au renversement (ELS) :

$$1 - \frac{2e}{B} \geq \frac{1}{2}$$

Avec : e l'excentricité du chargement,
B la largeur de la semelle

Vérification au glissement (ELU):

$$H_d \leq R_{h;d} + R_{p;d}$$

Avec : H_d la valeur de calcul de la charge horizontale (1.35 * la valeur caractéristique calculée),
 $R_{h;d}$ la valeur de calcul de la résistance au glissement de la fondation sur le terrain,
 $R_{p;d}$ la valeur de calcul de la résistance frontale ou tangentielle de la fondation à l'effet de H_d

Et

$$R_{h;d} = \frac{V_d \cdot \tan \delta_{a;k}}{\gamma_{R;h} \cdot \gamma_{R;d;h}}$$

Avec : V_d la valeur de calcul de la charge verticale,
 $\delta_{a;k}$ la valeur caractéristique de l'angle de frottement à l'interface entre la base de la fondation et le terrain, ici considéré à ϕ .
 $\gamma_{R;h}$ est un facteur partiel égale à 1.1
 $\gamma_{R;d;h}$ est un coefficient de modèle égal à 0.9

Vérification à la portance (ELS) :

$$V_d - R_0 \leq R_{v;d}$$

Avec : V_d la valeur de la charge verticale,
 R_0 la valeur du poids de volume de sol constitué du volume de la fondation sous le terrain après travaux et des sols compris entre la fondation et le terrain après travaux,
 $R_{v;d}$ valeur de calcul de la résistance nette du terrain sous la fondation du mur de soutènement.

Et :

$$R_{v;k} = \frac{A' \cdot q_{net}}{\gamma_{R;d;v}} \quad \text{et} \quad R_{v;d} = \frac{R_{v;k}}{\gamma_{R;v}}$$

Avec A' la valeur de la surface effective de la semelle calculée selon la norme NF P 94-261,
 q_{net} la valeur de la contrainte associée à la résistance nette du terrain calculée selon la norme NF P 94-261
 avec $\gamma_{R;v} = 2.3$ à l'ELS

Les résultats des calculs sont synthétisés dans le tableau ci-après :

Vérification renversement (ELS)	e (m)	0.39	ok
	B (m)	3.2	
Vérification au glissement (ELU)	H_d (kN/ml)	106	ok
	V_d (kN/ml)	100	
	$R_{h;d}$ (kN/ml)	51.6	
	$R_{p;d}$ (kN/ml)	54.9	
Vérification à la portance (ELS)	V_d (kN/ml)	116	ok
	P_{le} (kPa)	300	
	K_p	0.8	
	$i_{\delta\beta}$	0.48	
	q_{net} (Kpa)	115	
	A' (m ² /ml)	2.4	
	q'_{o} (kPa)	39.6	
	$R_{v;d}$ (kN/ml)	121	

Remarque :

Conformément à la norme NFP 94-261, dans le cas d'une fondation à proximité d'un talus, si le chargement est dirigé vers l'intérieur du talus, il convient de remplacer $i_{\delta, i\beta}$ par le coefficient $i_{\delta\beta}$.

Avec $i_{\delta\beta} = \min\left(\frac{i_{\beta}}{i_{\delta}}; i_{\delta}\right)$

Dans le cas d'une fondation de 3.2 m à 2.4 m de profondeur avec une distance de 1 m entre la fondation et le talus et pour un talus présentant un angle de 35°, il vient $i_{\beta} = 0.43$. Dans ce cas $i_{\delta\beta}=i_{\delta}=0.48$

Il s'agit de dimension importante pour un mur, qui nécessitera des terrassements de grande importance, qui impacteront les constructions situées dans la ZIG (Zone d'Influence Géotechnique).

En phase chantier, en prévoyant des travaux en période favorable, avec les profondeurs définies ci avant, il ne devrait pas être rencontré d'eau.

En prévoyant des pentes de talus provisoire à 1/1, l'emprise des terrassements serait au minimum de 4 m en amont et de 3m en aval.

Le remblaiement devra ensuite être le plus soigné possible, et pourra être effectué avec les matériaux extraits (couche C1 – limon +/- argileux) avec un objectif de compactage q4, en respectant les conditions du GTR.

Une solution variante à la digue pourrait consister en la création d'un écran de soutènement, de types pieux sécants, palplanches. Ces travaux réduiront l'impact des terrassements sur les existants, hors problématique des accès machines.

Des vérifications de la stabilité vis-à-vis de la rupture par soulèvement hydraulique (boulance) et vis-à-vis de la rupture du sol (renard solide) ont été menées. Pour un ouvrage reposant à 2.20 m de profondeur sous le niveau du terrain fini, ces risques sont écartés.

Cependant, coté amont, compte tenu de la nature des terrains (sols fins), il y a un risque d'affouillement.

Afin de préciser ce risque, nous conseillons de prévoir la réalisation d'une étude hydraulique spécifique.

En fonction des résultats de cette étude, une protection des berges contre l'affouillement pourra s'avérer nécessaire.

Les calculs et valeurs dimensionnelles donnés dans le présent rapport ne sont que des ébauches destinées à donner un premier aperçu des sujétions techniques d'exécution et ne constituent pas un dimensionnement du projet.

Ce rapport conclut la première phase (AVP) de la mission G2 qui nous a été confiée pour cette affaire.

Selon la norme NFP 94-500, cette mission est insuffisante pour consulter les entreprises.

Elle doit être suivie de la phase projet (PRO) de la mission G2 avant d'établir le DCE. Elle permettra de :

- optimiser et justifier les choix constructifs, définir le phasage des travaux et les dispositions particulières,
- établir les notes de dimensionnement niveau projet de tous les ouvrages, pour toutes les phases,
- la prise en compte des éventuels effets des sollicitations sismiques sur la conception des ouvrages géotechniques,
- donner les incertitudes qui subsistent et les risques géotechniques résiduels, ainsi que les dispositions constructives à envisager et les études à mener pour les lever,
- fournir un avis sur les valeurs seuils.

Cette mission devra être suivie d'études et de suivi géotechniques d'exécution G3 à la charge de l'entreprise ; parallèlement, le maître d'ouvrage devra confier à un géotechnicien une mission G4 de supervision géotechnique d'exécution.

FONDASOL est à la disposition de tous les intervenants pour réaliser toutes ou parties de ces missions.

1. Formation du Contrat

Toute commande par le co-contractant (« le Client »), qui a reçu un devis de la part de FONDASOL, ou l'une quelconque de ses filiales (ci-après le « Prestataire »), quelle qu'en soit la forme (par exemple bon de commande, lettre de commande, ordre d'exécution ou acceptation de devis, sans que cette liste ne soit exhaustive) et ses avenants éventuels, constituent l'acceptation totale et sans réserve des présentes conditions générales par ledit Client, que ce dernier ait contresigné les conditions générales ou non, ou qu'il ait émis des conditions contradictoires. Tout terme de la commande, quelle qu'en soit la forme, et de ses avenants éventuels, qui serait en contradiction avec les présentes conditions générales ou le devis, serait réputé de nul effet et inapplicable, sauf s'il a fait l'objet d'une acceptation écrite expresse non équivoque par le Prestataire. Cette acceptation ne peut pas résulter de l'exécution des Prestations prévues au devis et/ou à la commande, quelle qu'en soit la forme, et/ou avenant éventuel, ou de l'absence de réponse du Prestataire sur ledit terme.

Les présentes conditions générales prévalent sur toutes autres conditions y compris contenues dans la commande (quelle que soit sa forme) du Client ou dans les accusés de réception des échanges de données informatisés, sur portail électronique, dans la gestion électronique des achats ou dans les courriers électroniques du Client. Aucune exception ou dérogation n'est applicable sauf si elle est émise par le Prestataire ou acceptée expressément, préalablement et de manière non équivoque par écrit par le Prestataire. À ce titre, toute condition de la commande ne peut être considérée comme acceptée qu'après accord écrit exprès et non-équivoque du Prestataire. Le contrat est constitué par le dernier devis émis par le Prestataire, les présentes conditions générales, la commande ou l'acceptation de devis ou lettre de commande du Client et, à titre accessoire et complémentaire les conditions de la commande expressément acceptées et spécifiquement indiquées par écrit par le Prestataire comme acceptées (le « Contrat »).

2. Entrée en vigueur

Le Contrat n'entrera en vigueur qu'à la réception par le Prestataire de l'acompte prévu au Contrat ou suivant les conditions particulières du devis, ou, le cas échéant, de l'accusé de réception de commande et/ou de réception de paiement émis par le Prestataire. Sauf disposition contraire des conditions particulières du devis, les délais d'exécution par le Prestataire de ses obligations au titre du Contrat commencent quinze (15) jours ouvrés après la date d'entrée en vigueur du Contrat.

3. Prix

Les prix sont établis aux conditions économiques en vigueur à la date d'établissement du devis. Préalablement au Contrat, les prix sont valables selon la durée mentionnée au devis et au maximum pendant deux (2) mois à compter de la date du devis. À l'entrée en vigueur du Contrat, les prix sont fermes et définitifs pour une durée de six (6) mois mis à jour tous les six (6) mois par application de l'indice "Sondages et Forages TP 04" pour les investigations in situ et en laboratoire, et par application de l'indice « SYNTEC » pour les prestations d'études, l'Indice de base étant le dernier indice publié à la date d'émission du devis.

Les prix mentionnés dans le Contrat ou le devis ne comprennent pas la TVA, les taxes sur les ventes, les droits, les prélèvements, les taxes sur le chiffre d'affaires, les droits de douane et d'importation, les surtaxes, les droits de timbre, les impôts retenus à la source et toutes les autres taxes similaires qui peuvent être imposées au Prestataire, à ses employés, à ses sociétés affiliées et/ou à ses représentants, dans le cadre de l'exécution du Contrat (les « Impôts »), qui seront supportés par le Client en supplément des prix indiqués. Le Prestataire restera toutefois responsable du paiement de tous les impôts applicables en France.

Au cas où le Prestataire serait obligé de payer l'un des Impôts mentionnés ci-dessus, le Client remboursera le Prestataire dans les trente (30) jours suivant la réception des documents correspondants justifiant le paiement de celui-ci. Au cas où ce remboursement serait interdit par toute législation applicable, le Prestataire aura le droit d'augmenter les prix indiqués dans le devis ou spécifiés dans le Contrat du montant des Impôts réellement supportés.

Sauf indication contraire dans le devis, les prix des Prestations relatifs à des quantités à réaliser, quelle qu'en soit l'unité (notamment sans que cela ne soit exhaustif, profondeurs, mètres linéaires, nombre d'essais, etc) ne sont que des estimatifs sur la base des informations du Client, en conséquence seules les quantités réellement réalisées seront facturées sur la base des prix unitaires du Contrat.

4. Obligations générales du Client

4.1 Le terme « Prestations » désigne exclusivement les prestations énumérées dans le devis du Prestataire comme étant comprises dans le devis à la charge du Prestataire. Toute prestation non comprise dans les Prestations, ou dont le prix unitaire n'est pas indiqué au Contrat, fera l'objet d'un prix nouveau à négocier.

4.2 Par référence à la norme NF P 94-500, il appartient au maître d'ouvrage, au maître d'œuvre ou à toute entreprise de faire réaliser impérativement par des ingénieries compétentes chacune des missions géotechniques (successivement G1, G2, G3 et G4 et les investigations associées) pour suivre toutes les étapes d'élaboration et d'exécution du projet. Si la mission d'investigations est commandée seule, elle est limitée à l'exécution matérielle de sondages et à l'établissement d'un compte rendu factuel sans interprétation et elle exclut toute activité d'étude, d'ingénierie ou de conseil, ce que le Client reconnaît et accepte expressément.

La mission de diagnostic géotechnique G5 engage le géotechnicien uniquement dans le cadre strict des objectifs ponctuels fixés et acceptés expressément par écrit.

4.3 Sauf disposition contraire expresse du devis, le Client obtiendra à ses propres frais, dans un délai permettant le respect du délai d'exécution du Contrat, tous les permis et autorisations d'importation nécessaires pour l'importation des matériels et équipements et l'exécution des Prestations dans le pays où les matériels et équipements doivent être livrés et où les Prestations doivent être exécutées. En plus de ce qui précède et sauf à ce que l'une ou plusieurs des obligations suivantes soient expressément et spécifiquement intégrées aux Prestations et au bordereau de prix, le Client devra également, notamment, sans que cela ne soit exhaustif :

- Payer au Prestataire les Prestations conformément aux conditions du Contrat ;
- Communiquer en temps utile toutes les informations et/ou documentations nécessaires pour l'exécution du Contrat et notamment, mais pas seulement, tout élément qui lui paraîtrait de nature à compromettre la bonne exécution des Prestations ou devant être pris en compte par le Prestataire ;
- Permettre un accès libre et rapide au Prestataire à ses locaux et/ou au site où sont réalisées les Prestations y compris pour la livraison des matériels et équipements nécessaires à la réalisation des Prestations et notamment, mais pas seulement, les machines de forage ;
- Approuver tous les documents du Prestataire conformément au devis et à défaut dans un délai de deux jours au plus ;
- Préparer ses installations pour l'exécution du Contrat, et notamment, sans que cela ne soit exhaustif, décider et préparer les implantations des forages, fournir eau et électricité, et veiller, le Client étant toujours responsable de ses installations, à ce que le Prestataire dispose en permanence de toutes les ressources nécessaires pour exécuter le Contrat, sauf accord spécifique contraire dans le Contrat. Si le Personnel du Client est tenu d'exécuter

un travail lié au Contrat incluant, mais sans s'y limiter, l'assemblage ou l'installation d'équipements, ce personnel sera qualifié et restera en permanence sous la responsabilité du Client. Le Client conservera le droit exclusif de diriger et de superviser le travail quotidien de son personnel. Dans ce cas, le Prestataire ne sera en aucun cas responsable d'une négligence ou d'une faute du personnel du Client dans l'exécution de ses tâches, y compris les conséquences que cette négligence ou faute peut avoir sur le Contrat. Par souci de clarté, tout sous-traitant du Prestataire imposé ou choisi par le Client restera sous l'entière responsabilité du Client ;

- fournir, conformément aux articles R.554-1 et suivants du même chapitre du code de l'environnement, à sa charge et sous sa responsabilité, l'implantation des réseaux privés, la liste et l'adresse des exploitants des réseaux publics à proximité des travaux, les plans, informations et résultats des investigations complémentaires consécutifs à sa Déclaration de projet de Travaux (DT). Ces informations sont indispensables pour permettre les éventuelles déclarations d'intentions de commencement de travaux (DICT) (le délai de réponse, est de 7 à 15 jours selon les cas, hors jours fériés) et pour connaître l'environnement du projet. En cas d'incertitude ou de complexité pour la localisation des réseaux sur le domaine public, il pourra être nécessaire de faire réaliser, à la charge du Client, des fouilles manuelles ou des avant-trous à la pelle mécanique pour les repérer. Les conséquences et la responsabilité de toute détérioration de ces réseaux par suite d'une mauvaise communication sont à la charge exclusive du Client.
- Déclarer aux autorités administratives compétentes tout forage réalisé, notamment, sans que cela ne soit exhaustif, de plus de 10 m de profondeur ou lorsqu'ils sont destinés à la recherche, la surveillance ou au prélèvement d'eaux souterraines (piézomètres notamment).

4.4 La responsabilité du Prestataire ne saurait être engagée en aucun cas pour quelque dommage que ce soit à des ouvrages publics ou privés (notamment, à titre d'exemple, des ouvrages, canalisations enterrés) dont la présence et l'emplacement précis ne lui auraient pas été signalés par écrit préalablement à l'émission du dernier devis et intégrés au Contrat.

5. Obligations générales du Prestataire

Le Prestataire devra :

- Exécuter avec le soin et la diligence requis ses obligations conformément au Contrat, toujours dans le respect des spécifications techniques et du calendrier convenus entre les Parties par écrit ;
- Respecter toutes les règles internes et les règles de sécurité raisonnables qui sont communiquées par le Client par écrit et qui sont applicables dans les endroits où les Prestations doivent être exécutées par le Prestataire ;
- S'assurer que son personnel reste à tout moment sous sa supervision et direction et exercer son pouvoir de contrôle et de direction sur ses équipes ;
- Procéder selon les moyens actuels de son art, à des recherches consciencieuses et à fournir les indications qu'on peut en attendre, étant entendu qu'il s'agit d'une obligation de moyen et en aucun cas d'une obligation de résultat ou de moyens renforcée ;
- Faire en sorte que son personnel localisé dans le pays de réalisation des Prestations respecte les lois dudit pays.

Le Prestataire n'est solidaire d'aucun autre intervenant sauf si la solidarité est explicitement prévue et expressément agréée dans le devis et dans ce cas la solidarité ne s'exerce que sur la durée de réalisation sur site du Client du Contrat.

En cas d'intervention du Prestataire sur site du Client, si des éléments de terrain diffèrent des informations préalables fournies par le Client, le Prestataire peut à tout moment décider que la protection de son personnel n'est pas assurée ou adéquate et suspendre ses Prestations jusqu'à ce que les mesures adéquates soient mises en œuvre pour assurer la protection du personnel, par exemple si des traces de pollution sont découvertes ou révélées. Une telle suspension sera considérée comme un Imprévu, tel que défini à l'article 14 ci-dessous.

6. Délais de réalisation

À défaut d'engagement précis, ferme et expresse du Prestataire dans le devis sur une date finale de réalisation ou une durée de réalisation fixe et non soumise à variations, les délais d'intervention et d'exécution données dans le devis sont purement indicatifs et, notamment du fait de la nature de l'activité du Prestataire, dépendante des interventions du Client ou de tiers, ne saurait en aucun cas engager le Prestataire. Les délais de réalisation sont soumis aux ajustements tels qu'indiqués au Contrat. À défaut d'accord exprès spécifique contraire, il ne sera pas appliqué de pénalités de retard. Nonobstant toute clause contraire, les pénalités de retard, si elles sont prévues, sont plafonnées à un montant total maximum et cumulé pour le Contrat de 5% du montant total HT du Contrat.

Le Prestataire réalise le Contrat sur la base des informations communiquées par le Client. Ce dernier est seul responsable de l'exactitude et de la complétude de ces données et transmettra au Prestataire toute information nécessaire à la réalisation des Prestations. En cas d'absence de transmission, d'inexactitude de ces données ou d'absence d'accès au(x) site(s) d'intervention, quelles que soient les hypothèses que le Prestataire a pu prendre, notamment en cas d'absence de données ou d'accès, le Prestataire est exonéré de toute responsabilité et les délais de réalisation sont automatiquement prolongés d'une durée au moins équivalente à la durée de correction de ces données et de reprise des Prestations correspondantes.

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

À l'exception d'un accord contraire dans les conditions spécifiques du devis ou dans les cas d'obligations législatives ou réglementaires non transférable par convention à la charge du Prestataire, toutes les démarches et formalités administratives ou autres, pour l'obtention des autorisations et permis de pénétrer sur les lieux et/ou d'effectuer les Prestations sont à la charge du Client. Le Client doit obtenir et communiquer les autorisations requises pour l'accès du personnel et des matériels nécessaires au Prestataire en toute sécurité dans l'enceinte des propriétés privées ou sur le domaine public. Le Client doit également fournir tous les documents et informations relatifs aux dangers et aux risques de toute nature, notamment sans que cela ne soit exhaustif, ceux cachés, liés aux réseaux, aux obstacles enterrés, à l'historique du site et à la pollution des sols, sous-sols et des nappes. Le Client communiquera les règles pratiques que les intervenants doivent respecter en matière de santé, sécurité, hygiène et respect de l'environnement. Il assure également en tant que de besoin la formation du personnel, notamment celui du Prestataire, sur les règles propres à son site, avant toute intervention sur site. Le Client sera responsable de tout dommage corporel, matériel ou immatériel, consécutif ou non consécutif, résultant des événements mentionnés au présent paragraphe et qui n'aurait pas été mentionné au Prestataire.

Lorsque les Prestations consistent à mesurer, relever voire analyser ou traiter des sols pollués, le Prestataire a l'obligation de prendre les mesures nécessaires pour protéger son personnel dans la réalisation desdites Prestations, sur la base des données fournies par le Client.

Les forages et investigations de sols et sous-sols peuvent par nature entraîner des dommages sur le site en ce compris tout chemin d'accès, en particulier sur la végétation, les cultures et les ouvrages existants, sans qu'il y ait négligence ou faute de la part du Prestataire. Ce dernier n'est en aucun cas tenu de remettre en état ou réparer ces dégâts, sauf si la remise en état et/ou les réparations font partie des Prestations, et n'est en aucun cas tenu d'indemniser le Client ou les tiers pour lesdits dommages inhérents à la réalisation des Prestations.

8. Implantation, nivellement des sondages

À l'exception des cas où l'implantation des sondages fait partie des Prestations à réaliser par le Prestataire, ce dernier est exonéré de toute responsabilité dans les événements consécutifs à ladite implantation et est tenu indemne des conséquences liées à la décision d'implantation, tels que notamment, sans que cela ne soit exhaustif, le retard de réalisation, les surcoûts et/ou la perte de forage. Les Prestations ne comprennent pas les implantations topographiques permettant de définir l'emprise des ouvrages et zones à étudier ni la mesure des coordonnées précises des points de sondages ou d'essais. Les éventuelles altitudes indiquées pour chaque sondage (qu'il s'agisse de cotes de références rattachées à un repère arbitraire ou de cotes NGF) ne sont données qu'à titre indicatif. Seules font foi les profondeurs mesurées depuis le sommet des sondages et comptées à partir du niveau du sol au moment de la réalisation des essais.

9. Hydrogéologie - Géotechnique

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

9.2 L'étude géotechnique s'appuie sur les renseignements reçus concernant le projet, sur un nombre limité de sondages et d'essais, et sur des profondeurs d'investigations limitées qui ne permettent pas de lever toutes les incertitudes inévitables à cette science naturelle. En dépit de la qualité de l'étude, des incertitudes subsistent du fait notamment du caractère ponctuel des investigations, de la variation d'épaisseur des remblais et/ou des différentes couches, de la présence de vestiges enterrés et de bien d'autres facteurs telle que la variation latérale de faciès. Les conclusions géotechniques ne peuvent donc conduire à traiter à forfait le prix des fondations compte tenu d'une hétérogénéité, naturelle ou du fait de l'homme, toujours possible et des aléas d'exécution pouvant survenir lors de la découverte des terrains. Si un caractère évolutif particulier a été mis en lumière (notamment à titre d'exemple glissement, érosion, dissolution, remblais évolutifs, tourbe), l'application des recommandations du rapport nécessite une actualisation à chaque étape du projet notamment s'il s'écoule un laps de temps important avant l'étape suivante.

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

10. Pollution - dépollution

Lorsque l'objet de la Prestation est le diagnostic ou l'analyse de la pollution de sols et/ou sous-sols, ou l'assistance à la maîtrise d'œuvre ou la maîtrise d'œuvre de prestations de dépollution, le Client devra désigner un coordonnateur de Sécurité et de Protection de la Santé sur le site (SPS), assister le Prestataire pour l'obtention des autorisations nécessaires auprès des autorités compétentes, fournir au Prestataire toute information (notamment visite sur site, documents et échantillons) nécessaire à l'obtention des Certificats d'Acceptation Préalable de Déchets ainsi que pour l'obtention des autorisations nécessaires au transport, au traitement et à l'élimination des terres, matériaux, effluents, rejets, déchets, et plus généralement de toute substance polluante. Sauf s'il s'agit de Prestations tel que précisé au devis, notre devis est réalisé sur le objet d'un site sur lequel il n'existe aucun danger potentiel lié à la présence de produits radioactifs. Les missions d'assistance à maîtrise d'œuvre ou de maîtrise d'œuvre seront exercées conformément à l'objectif de réhabilitation repris dans le devis. À défaut d'une telle définition d'objectif, ces missions ne pourront commencer.

11. Rapport de mission, réception des Prestations par le Client

Les dispositions contraires du Contrat et sous réserve des présentes conditions générales, la remise du dernier document à fournir dans le cadre des Prestations marque la fin de la réalisation des Prestations. La fin de la réalisation des Prestations sur site du Client est marquée par le départ autorisé du personnel du Prestataire du site. L'approbation du dernier document fourni dans le cadre des Prestations doit intervenir au plus tard deux semaines après sa remise au Client. À défaut de rejet explicite et par écrit par le Client dans ce délai, le document sera considéré comme approuvé. L'émission de commentaires ne vaut pas rejet et n'interrompt pas le délai d'approbation. Le Prestataire répondra aux commentaires dans les dix (10) jours de leur réception. À défaut de rejet explicite et par écrit par le Client dans les cinq (5) jours de la réception des réponses aux commentaires ou du document modifié, le document sera considéré comme approuvé. Si le Client refuse le document et que le document n'est toujours pas approuvé deux (2) mois après sa remise initiale, les Parties pourront mettre en œuvre le processus de règlement des litiges tel que défini au Contrat. À défaut de mise en œuvre de ce processus, le rapport sera considéré comme approuvé définitivement trois mois après la date de sa remise initiale au Client.

12. Réserve de propriété, confidentialité

Les coupes de sondages, plans et documents établis par le Prestataire dans le cadre des Prestations ne peuvent être utilisés, publiés ou reproduits par des tiers sans son autorisation. Le Client ne peut pas les utiliser pour d'autres ouvrages sans accord écrit préalable exprès du Prestataire. Le Client s'engage à maintenir confidentielle et à ne pas utiliser pour tout autre objectif que celui prévu au Contrat ou pour le compte de tiers, toute information se rapportant au savoir-faire, techniques et données du Prestataire, que ces éléments soient brevetés ou non, dont le Client a pu avoir connaissance au cours des Prestations ou qui ont été acquises ou développées par le Prestataire au cours du Contrat, sauf accord préalable écrit exprès du Prestataire.

13. Propriété Intellectuelle

Si dans le cadre du Contrat, le Prestataire met au point, développe ou utilise une nouvelle technique, celle-ci est et/ou reste sa propriété exclusive. Le Prestataire est libre de déposer tout brevet s'y rapportant. Le Prestataire est titulaire des droits d'auteur et de propriété sur les résultats et/ou données compris, relevés ou utilisés dans les ou, au cours des, Prestations et/ou développés, générés, compilés et/ou traités dans le cadre du Contrat. Le Prestataire concède au Client, sous réserve qu'il remplisse ses obligations au titre du Contrat, un droit non exclusif de reproduction des documents remis dans le cadre des Prestations pour la seule utilisation des besoins de l'exploitation, la maintenance et l'entretien du site Client concerné.

En cas de reproduction des documents remis par le Prestataire dans le cadre des Prestations, le Client s'engage à indiquer la source en portant sur tous les documents diffusés intégrant lesdits documents du Prestataire, quelle que soit leur forme, la mention suivante en caractères apparents

: « source originelle : Groupe Fondasol – date du document : JJJ/MM/AAAA » sans que ces mentions ne puissent être interprétées comme une quelconque garantie donnée par le Prestataire. Le Client s'engage à ce que tout tiers à qui il aurait été dans l'obligation de remettre l'un ou les documents, se conforme à l'obligation de citation de la source originelle telle que prévue au présent article.

14. Modifications du contenu des Prestations en cours de réalisation

La nature des Prestations et des moyens à mettre en œuvre, les prévisions des avancements et délais, ainsi que les prix sont déterminés en fonction des éléments communiqués par le Client et ceux recueillis lors de l'établissement du devis. Des conditions imprévisibles par le Prestataire au moment de l'établissement du devis touchant à la géologie et éléments de terrains et découvertes imprévues, aux hypothèses de travail, au projet et à son environnement, à la législation et aux règlements, à des événements imprévus, survenant au cours de la réalisation des Prestations (l'ensemble désigné par les « Imprévus ») pourront conduire le Prestataire à proposer au Client un ou des avenant(s) avec notamment application des prix du bordereau du devis, ou en leur absence, de nouveau prix raisonnables et des délais de réalisation mis à jour. À défaut d'un refus écrit exprès du Client dans un délai de sept (7) jours à compter de la réception de la proposition d'avenant ou de modification des Prestations, ledit avenant ou modification des Prestations devient pleinement effectif et le Prestataire est donc rémunéré du prix de cet avenant ou de cette modification des Prestations, en sus. En cas de refus écrit exprès du Client, le Prestataire est en droit de suspendre immédiatement l'exécution des Prestations jusqu'à confirmation écrite expresse du Client des modalités pour traiter de ces Imprévus et accord des deux Parties sur lesdites modalités. Les Prestations réalisées à cette date sont facturées et rémunérées intégralement, sans que le Client ne puisse faire état d'un préjudice. Le temps d'immobilisation du personnel du Prestataire est rémunéré selon le prix unitaire indiqué dans le bordereau de prix du devis. Dans l'hypothèse où le Prestataire notifie qu'il est dans l'impossibilité d'accepter les modalités de traitement des Imprévus telles que demandées par le Client, ce dernier aura le droit de résilier le Contrat selon les termes prévus à l'article 19.2 (Résiliation).

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

Le rapport de fin de mission, quel que soit son nom, constitue une synthèse des Prestations telle que définie au Contrat. Ce rapport et ses annexes forment un ensemble indissociable. Toute interprétation, reproduction partielle ou totale, ou utilisation par un autre maître de l'ouvrage, un autre constructeur ou maître d'œuvre, ou conseil desdits maître d'ouvrage, constructeur ou maître d'œuvre pour un projet différent de celui objet du Contrat est interdite et ne saurait en aucun cas engager la responsabilité du Prestataire à quelque titre que ce soit. La responsabilité du Prestataire ne saurait être engagée en dehors du cadre de la mission objet du rapport. Toute modification apportée au projet, au site, à l'ouvrage et/ou à son environnement non révisé expressément au Prestataire lors de la réalisation des Prestations ou dont il lui a été demandé de ne pas tenir compte, rend le rapport caduc, dégage la responsabilité du Prestataire et engage celle du Client. Le Client doit faire actualiser le dernier rapport émis dans le cadre du Contrat en cas d'ouverture du chantier (pour lequel le rapport a été émis) plus d'un après remise dudit rapport. Il en est de même notamment en cas de travaux de terrassements, de démolition ou de réhabilitation du site (à la suite d'une contamination des terrains et/ou de la nappe) modifiant entre autres les qualités mécaniques, les dispositions constructives et/ou la répartition de tout ou partie des sols sur les emprises concernées par l'étude géotechnique.

16. Force Majeure

Le Prestataire ne sera pas responsable, de quelque manière que ce soit, de la non-exécution ou du retard d'exécution de ses obligations à la suite d'un événement de Force majeure. La Force Majeure sera définie comme un événement qui empêche l'exécution totale ou partielle du Contrat et qui ne peut être surmonté en dépit des efforts raisonnables de la part de la Partie affectée, qui lui est extérieure. La Force Majeure inclura, notamment les événements suivants: catastrophes naturelles ou climatiques, pénurie de main d'œuvre qualifiée ou de matières premières, incidents majeurs affectant la production des agents ou sous-traitants du Prestataire, actes de guerre, de terrorisme, sabotages, embargos, insurrections, émeutes ou atteintes à l'ordre public.

Tout événement de Force Majeure sera notifié par écrit à l'autre Partie dès que raisonnablement possible. Si l'événement de Force Majeure se poursuit pendant plus de deux (2) mois et que les Parties ne se sont pas mises d'accord sur les conditions de poursuite du Contrat, l'une ou l'autre des Parties aura le droit de résilier le Contrat, sur préavis écrit d'au moins trente (30) jours adressé à l'autre Partie, auquel cas la stipulation de la clause de Résiliation du Contrat s'appliquera. Quand l'événement de Force Majeure aura cessé de produire ses effets, le Prestataire reprendra l'exécution des obligations affectées dès que possible. Le délai de réalisation sera automatiquement prolongé d'une période au moins équivalente à la durée réelle des effets de l'événement de Force Majeure. Tous frais supplémentaires raisonnablement engagés par le Prestataire suite à l'événement de Force Majeure seront remboursés par le Client au Prestataire contre présentation de la preuve de paiement associée et de la facture correspondante.

17. Conditions de paiement, acompte, retenue de garantie

Aucune retenue de garantie n'est appliquée sur les paiements des Prestations. Dans le cas où le Contrat nécessite une intervention d'une durée supérieure à un mois, des factures mensuelles intermédiaires sont établies et envoyées par le Prestataire pour paiement par le Client. Les paiements interviennent à réception et sans escompte. L'acompte dont le montant est défini dans les conditions particulières du devis est déduit de la facture ou décompte final(e). En cas de sous-traitance par le Client au Prestataire dans le cadre d'un ouvrage public, les factures du Prestataire sont réglées directement et intégralement par le maître d'ouvrage, conformément à la loi n°75-1334 du 31/12/1975.

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

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

Si la carence du Client rend nécessaire un recouvrement contentieux, le Client s'engage à payer, en sus du principal, des frais, dépens et émoluments ordinairement et légalement à sa charge et des dommages-intérêts éventuels, une indemnité fixée à 15% du montant TTC de la créance avec un minimum de 500 euros. Cette indemnité est due de plein droit, sans mise en demeure préalable, du seul fait du non-respect de la date de paiement. Les Parties reconnaissent expressément qu'elle constitue une évaluation raisonnable de l'indemnité de recouvrement et de l'indemnisation des frais de recouvrement.

Un désaccord quelconque dans le cadre de l'exécution des Prestations ne saurait en aucun cas constituer un motif de non-paiement des Prestations réalisées et non soumises à contestation précise et documentée. La compensation est formellement exclue. En conséquence, le Client s'interdit de déduire le montant des préjudices qu'il allègue du prix des Prestations facturés ou de retenir les paiements.

18. Suspension

L'exécution du Contrat ne peut être suspendue par le Prestataire que dans les cas suivants :

- (i) En cas d'Imprévis,
- (ii) En cas de violation par le Client d'une ou plusieurs de ses obligations contractuelles,
- (iii) En cas de Force Majeure.

Quand l'un des événements mentionnés ci-dessus se produit, le Prestataire a le droit de notifier au Client son intention de suspendre l'exécution du Contrat. Dans ce cas, le délai de réalisation sera prolongé d'une période équivalente à la durée de cette suspension et tous les frais associés engagés par le Prestataire suite à cette suspension seront remboursés par le Client contre présentation des preuves de paiement associées, en ce compris l'indemnité d'immobilisation au taux prévu au devis. Le Prestataire peut soumettre la reprise des obligations suspendues au remboursement par le Client au Prestataire des sommes mentionnées ci-dessus.

Si l'exécution du Contrat est suspendue pendant une période de plus de deux (2) mois, le Prestataire aura le droit de résilier le Contrat immédiatement sur préavis écrit d'au moins trente (30) jours, auquel cas les stipulations de l'article « Résiliation » (19.2 et suivants) du Contrat s'appliqueront. À partir du moment où les obligations du Prestataire ou le Contrat sont suspendus pendant une durée égale ou supérieure à deux (2) mois, les Prestations seront considérées comme finies et acceptées par le Client.

19. Résiliation

Toute procédure de résiliation est obligatoirement précédée d'une tentative de négociation et résolution amiable du différend.

19.1 Résiliation pour manquement

Si l'une des Parties commet une violation substantielle du Contrat, l'autre Partie peut demander, par écrit, que la Partie défaillante respecte les conditions du Contrat. Si dans un délai de trente (30) jours, ou dans un autre délai dont les Parties auront convenu, après la réception de cette demande, la Partie défaillante n'a pas pris de mesures satisfaisantes pour respecter le Contrat, la Partie non défaillante peut, sans préjudice de l'exercice des autres droits ou recours dont elle peut disposer, résilier le Contrat en remettant à la Partie défaillante une notification écrite à cet effet.

19.2 Résiliation pour insolvabilité ou événement similaire ou après suspension prolongée

Si l'une ou l'autre des Parties est en état de cessation des paiements ou devient incapable de répondre à ses obligations financières, ou après une suspension supérieure à deux (2) mois, l'autre Partie peut, sans préjudice de l'exercice des autres droits ou recours dont elle peut disposer, résilier le Contrat en remettant à la première Partie une notification à cet effet. Cette résiliation entrera en vigueur à la date où ladite notification de résiliation est reçue par la première Partie.

19.3 Indemnisation pour résiliation

En cas de résiliation du Contrat en totalité ou en partie par le Client ou le Prestataire, conformément aux stipulations des Articles 19.1 ou 19.2, le Client paiera au Prestataire :

- (i) Le solde du prix des Prestations exécutées conformément au Contrat, à la date de résiliation non encore payées, et
- (ii) Les coûts réellement engagés par le Prestataire jusqu'à la date de résiliation pour la réalisation des Prestations y compris si certaines Prestations ne sont pas terminées,
- (iii) les coûts engagés par le Prestataire suite à la résiliation, y compris, mais sans s'y limiter, tous les frais liés à l'annulation de ses contrats de sous-traitance ou de ses contrats avec ses propres fournisseurs et les frais engagés pour toute suspension prolongée (le cas échéant), et
- (iv) un montant raisonnable pour compenser les frais administratifs et généraux du Prestataire du fait de la résiliation, qui ne sera en aucun cas inférieur à quinze (15) pour cent du prix des Prestations restant à effectuer à la date de résiliation.

En cas de résiliation du Contrat due à un événement de Force Majeure conformément à l'Article 16, le Client paiera au Prestataire les montants mentionnés aux alinéas (i), (ii) et (iii) ci-dessus et tous les autres frais raisonnables engagés par le Prestataire suite à l'événement de Force Majeure et à la suspension associée.

19.4 Effets de la résiliation

La résiliation du Contrat en totalité ou en partie, pour quelque raison que ce soit, n'affectera pas les stipulations du présent article et des articles concernant la propriété intellectuelle, la confidentialité, la limitation de responsabilité, le droit applicable et le règlement des différends.

20. Répartition des risques, responsabilités

20.1 Le Prestataire n'est pas tenu d'avertir son Client sur les risques encourus déjà connus ou ne pouvant être ignorés du Client compte-tenu de sa compétence. Le devoir de conseil du Prestataire vis-à-vis du Client ne s'exerce que dans les domaines de compétence requis pour l'exécution des Prestations spécifiquement confiées. Tout élément nouveau connu du Client après la fin de la réalisation des Prestations doit être communiqué au Prestataire qui pourra, le cas échéant, proposer la réalisation d'une prestation complémentaire. À défaut de communication des éléments nouveaux ou d'acceptation de la prestation complémentaire, le Client en assumera toutes les conséquences. En aucun cas, le Prestataire ne sera tenu pour responsable des conséquences d'un non-respect de ses préconisations ou d'une modification de celles-ci par le Client pour quelque raison que ce soit. L'attention du Client est attirée sur le fait que toute estimation de quantités faite à partir des données obtenues par prélèvements ou essais ponctuels sur le site objet des Prestations possède une représentativité limitée et donc incertaine par rapport à l'ensemble du site pour lequel elles seraient extrapolées.

20.2 Le Prestataire est responsable des dommages qu'il cause directement par l'exécution de ses Prestations, dans les conditions et limites du Contrat. À ce titre, il est responsable de ses Prestations dont la défectuosité lui est imputable. Nonobstant toute clause contraire dans le Contrat ou tout autre document, la responsabilité totale et cumulée du Prestataire au titre du ou en relation avec le Contrat sera plafonnée au prix total HT du Contrat et à dix mille (10 000) euros pour tout Contrat dont le prix HT serait inférieur à ce montant, quel que soit le fondement de la responsabilité (contractuelle, délictuelle, garantie, légale ou autre). Nonobstant toute clause contraire dans le Contrat ou tout autre document, il est expressément convenu que le Prestataire ne sera pas responsable des dommages immatériels consécutifs et/ou non-consécutifs à un dommage matériel et ne sera pas responsable des dommages tels que, notamment, la perte d'exploitation, la perte de production, le manque à gagner, la perte de profit, la perte de contrat, la perte d'image, l'immobilisation de personnel ou d'équipements, que ceux-ci soient considérés directs ou non.

20.3 Le Prestataire sera garanti et indemnisé en totalité par le Client contre tous recours, demandes, actions, procédures, recherches en responsabilité de toute nature de la part de tiers au Contrat à l'encontre du Prestataire du fait des Prestations.

21. Assurances

Le Prestataire bénéficie d'un contrat d'assurance au titre de la responsabilité décennale afférente aux ouvrages soumis à obligation d'assurance, conformément à l'article L.241-1 du Code des assurances. **À ce titre et en toute hypothèse y compris pour les ouvrages non soumis à obligation d'assurance, les ouvrages dont la valeur**

HT (travaux et honoraires compris) excède au jour de la déclaration d'ouverture de chantier un montant de 15 M€ HT doivent faire l'objet d'une déclaration auprès du Prestataire. Il est expressément convenu que le Client a l'obligation d'informer le Prestataire d'un éventuel dépassement de ce seuil, et accepte, de fournir tous éléments d'information nécessaires à l'adaptation de la garantie. Au-delà de 15 M€ HT de valeur de l'ouvrage, le Client prend également l'engagement, de souscrire à ses frais un Contrat Collectif de Responsabilité Décennale (CCRD), contrat dans lequel le Prestataire sera expressément mentionné parmi les bénéficiaires. Le Client prendra en charge toute éventuelle sur-cotation qui serait demandée au Prestataire par rapport aux conditions de base de son contrat d'assurance. Par ailleurs, les ouvrages de caractère exceptionnel, voire inhabituels sont exclus du contrat d'assurance en vigueur et doivent faire l'objet d'une cotation particulière. À défaut de respecter ces engagements, le Client en supportera les conséquences financières. Le maître d'ouvrage est tenu d'informer le Prestataire de la DOC (déclaration d'ouverture de chantier).

Toutes les conséquences financières d'une déclaration insuffisante quant au coût de l'ouvrage seront supportées par le Client.

22. Changement de lois

Si à tout moment après la date du devis du Prestataire au Client, une loi, un règlement, une norme ou une méthode entre en vigueur ou change, et si cela augmente le coût de réalisation des Prestations, ou si cela affecte plus généralement l'une des conditions du Contrat, tel que, mais sans que ce ne soit limitatif, le délai de réalisation ou les garanties, le prix du Contrat sera ajusté en fonction de l'augmentation des coûts subie par le Prestataire du fait de ce changement et supporté par le Client. Les autres conditions du Contrat affectées seront ajustées de bonne foi pour refléter ce/ces changement(s).

23. Interprétation, langue

En cas de contradiction ou de conflit entre les termes des différents documents composant le Contrat tel qu'indiqué en article 1, les documents prévalent l'un sur l'autre dans l'ordre dans lequel ils sont énoncés audit article 1. Sauf clause contraire spécifique dans le devis, tout rapport et/ou document objet des Prestations sera fourni en français. Les titres des articles des présentes conditions générales n'ont aucune valeur juridique ni interprétative.

24. Cessibilité de Contrat, non-renonciation

Le Contrat ne peut être cédé, en tout ou en partie, par le Client ou le Prestataire à un tiers sans le consentement exprès, écrit, préalable de l'autre Partie. La sous-traitance par le Prestataire n'est pas considérée comme une cession au titre du présent article. Le fait que le Prestataire ne se prévale pas à un moment donné de l'une quelconque des stipulations du Contrat et/ou tolère un manquement par le Client à l'une quelconque des obligations visées dans le Contrat ne peut en aucun cas être interprété comme valant renonciation par le Prestataire à se prévaloir ultérieurement de l'une quelconque desdites stipulations.

25. Divisibilité

Si une stipulation du Contrat est jugée par une autorité compétente comme nulle et inapplicable en totalité ou en partie, la validité des autres stipulations du Contrat et le reste de la stipulation en question n'en sera pas affecté. Le Client et le Prestataire remplaceront cette stipulation par une stipulation aussi proche que possible de la stipulation rendue invalide, produisant les mêmes effets juridiques que ceux initialement prévus par le Client et le Prestataire.

26. Litiges - Attribution de juridiction

LE PRÉSENT CONTRAT EST SOUMIS AU DROIT FRANÇAIS ET TOUT LITIGE RELATIF AUDIT CONTRAT (SA VALIDITÉ, SON INTERPRÉTATION, SON EXISTENCE, SA RÉALISATION, DÉFECTUEUSE OU TOTALE, SON EXPIRATION OU SA RÉSILIATION NOTAMMENT) SERA SOUMIS EXCLUSIVEMENT AU DROIT FRANÇAIS.

À DÉFAUT D'ACCORD AMIABLE DANS UN DÉLAI DE 30 JOURS SUIVANT L'ENVOI D'UNE CORRESPONDANCE FAISANT ÉTAT D'UN DIFFÉREND, TOUT LITIGE SERA SOUMIS POUR RÉSOLUTION AUX JURIDICTIONS DU RESSORT DU SIÈGE SOCIAL DU PRESTATAIRE QUI SONT SEULES COMPÉTENTES, ET AUXQUELLES LES PARTIES ATTRIBUENT COMPÉTENCE EXCLUSIVE, MÊME EN CAS DE DEMANDE INCIDENTE OU D'APPEL EN GARANTIE OU DE PLURALITÉ DE DÉFENDEURS. LA LANGUE DU CONTRAT ET DE TOUT RÈGLEMENT DES LITIGES EST LE FRANÇAIS.

NOVEMBRE 2018

Enchaînement des missions types d'ingénierie géotechnique (Norme NF P 94-500)

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

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

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

Classification des missions d'ingénierie géotechnique en page suivante

Février 2014

Missions types d'ingénierie géotechnique (Norme NF P 94-500)

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

ETAPE 1 : ETUDE GEOTECHNIQUE PREALABLE (G1)

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

Phase Étude de Site (ES)

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

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

Phase Principes Généraux de Construction (PGC)

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

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

ETAPE 2 : ETUDE GEOTECHNIQUE DE CONCEPTION (G2)

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

Phase Avant-projet (AVP)

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

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

Phase Projet (PRO)

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

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

Phase DCE / ACT

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

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

ETAPE 3 : ETUDES GEOTECHNIQUES DE REALISATION (G3 et G 4, distinctes et simultanées)

ETUDE ET SUIVI GEOTECHNIQUES D'EXECUTION (G3)

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

Phase Étude

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

Phase Suivi

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

SUPERVISION GEOTECHNIQUE D'EXECUTION (G4)

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

Phase Supervision de l'étude d'exécution

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

Phase Supervision du suivi d'exécution

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

A TOUTES ETAPES : 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).

Février 2014



fondasol

TERRITOIRE(S) D'EXIGENCE

www.fondasol.fr

