

# SYNDICAT MIXTE DE LA ZONE DU VERDON

ISDND « Pied de la Chèvre »  
GINASSERVIS (83)

## Annexe technique : Calcul de stabilité

Rapport

Réf : CDMCSE150382 / RDMCSE00913

FBN / AC / GRE

17/04/2017







[www.burgeap.fr](http://www.burgeap.fr)

## SYNDIACT MIXTE DE LA ZONE DU VERDON

ISDND « Pied de la Chèvre » GINASSERVIS (83)

Annexe technique : Calcul de stabilité

Objet de l'indice	Date	Indice	Rédaction		Vérification		Validation	
			Nom	Signature	Nom	Signature	Nom	Signature
Rapport	15/09/2015	01	F.BERNADET		A.CHEREL		G.REGNARD	
Rapport	17/04/2017	02					G.REGNARD	

Numéro de contrat / de rapport :	Réf : CDMCSE150382 / RDMCSE00913
Numéro d'affaire :	A07399
Domaine technique :	SD04
Mots clé du thésaurus	CENTRE DE STOCKAGE DE DECHETS DOSSIER D'AUTORISATION

Agence Sud-Est – site d'Avignon  
 Agroparc - 940, route de l'aérodrome - BP 51 260 – 84911 Avignon Cedex 9  
 Tél : 04.90.88.31.92 • Fax : 04.90.88.31.63  
[agence.de.avignon@burgeap.fr](mailto:agence.de.avignon@burgeap.fr)

## SOMMAIRE

<b>1. Généralités</b>	<b>4</b>
<b>2. Caractérisation des matériaux du site</b>	<b>4</b>
2.1 Rappel de la géologie au droit du site	4
2.2 Essais pressiométriques	4
<b>3. Calculs de stabilité de l'ouvrage</b>	<b>5</b>
3.1 Caractéristiques géométriques retenues	5
3.2 Caractéristiques géomécaniques	6
3.3 Données hydraulique	7
3.4 Méthodologie	7
3.5 Résultats et commentaires	8
3.5.1 Données géomécaniques bibliographiques	8
3.5.2 Données itératives	9

## FIGURES

Figure 1 : Identification de l'interface entre déchets et calcaires	5
Figure 2 : Données géomécaniques bibliographiques	6
Figure 3 : Profil géométrique du nouveau bloc de stockage	7
Figure 4 : Résultats de la modélisation avec les données bibliographiques	8
Figure 5 : Résultats de la modélisation avec les données itératives	11

## TABLEAUX

Tableau 1 : Valeurs extrêmes des essais pressiométriques	5
Tableau 2 : Résultats de la modélisation avec les données bibliographiques	8
Tableau 3 : Données géomécaniques obtenues par itérations	10
Tableau 4 : Coefficients considérés pour un ouvrage stable à long terme	10

## 1. Généralités

Le Syndicat Mixte de la Zone du Verdon (SMZV) exploitait jusqu'en novembre 2016 les casiers 2 et 3 (site 1) de l'ISDND de Ginasservis (83), au lieu-dit « Pied de la Chèvre ».

L'installation, d'une emprise totale de l'ordre de 13,8 ha, recevait depuis 2011 un tonnage annuel de 21 600 T (18 000 m<sup>3</sup>) (Cf. Arrêté complémentaire du 5 août 2011).

Dans le cadre de la poursuite d'exploitation du site, le SMZV souhaite créer un nouveau bloc de stockage (casier 4, site 2), dans le prolongement des casiers actuellement en exploitation. Celui-ci viendra s'épauler sur le casier 3 (site 1) et s'étendra vers l'aval du site, en direction des bassins de stockage d'eaux pluviales et lixiviats. Les déchets qui y seront stockés seront totalement indépendants de ceux stockés dans le casier 3 (site 1).

Le nouveau casier de stockage (casier 4, site 2), d'une emprise d'environ 3,8 ha, a été dimensionné selon les caractéristiques suivantes,

- durée d'exploitation : 19 ans,
- tonnage et volume annuels entrant estimés : 27 000 T / 30 000 m<sup>3</sup>,
- tonnage et volume du casier de stockage : 506 520 T / 562 800 m<sup>3</sup>,
- nombre d'alvéoles : 5.

## 2. Caractérisation des matériaux du site

### 2.1 Rappel de la géologie au droit du site

D'après la carte géologique de Tavernes, le sous-sol du site comprend les formations suivantes (de la surface vers la profondeur) :

- calcaires du Berriasien (base du Crétacé) : calcaires en plaquettes avec intercalations marneuses et marno-calcaires, d'une épaisseur probable de plusieurs centaines de mètres,
- calcaires du Portlandien (sommet du Jurassique) : calcaires en plaquettes passant à des faciès récifaux en gros bancs avec la profondeur, d'une épaisseur de plusieurs centaines de mètres.

Les matériaux issus des opérations de terrassement du nouveau bloc de stockage seront de type calcaire avec présence ponctuelle d'horizons plus argileux (Cf. Dossier n°8 - Investigations géologiques et hydrogéologiques détaillées).

### 2.2 Essais pressiométriques

3 sondages destructifs ont été effectués au droit de l'ancienne décharge sauvage située au droit de l'alvéole 1 du casier 4 avec réalisation d'essais pressiométriques tous les 1,5 m. Les résultats des essais sont présentés ci-dessous.

**Tableau 1 : Valeurs extrêmes des essais pressiométriques**

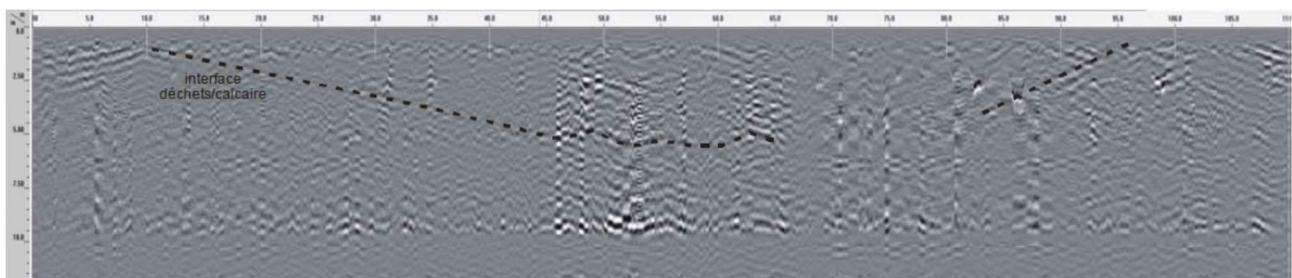
Sondage	Horizon	Profondeur (m)	PI* (MPa)	Pf (MPa)	Em (MPa)	EM/PI
SP1	Calcaires	1,4-10	1,42-3,8	0,63-3,8	14,2-500	10-100
SP2	Déchets	0-10	0,55-1,48	0,13-0,84	10,1-22,3	7-29
SP3	Déchets	0-2,5	0,53	0,38	5,3	10
SP3	Calcaires	2,5-8	3,63-4,37	3,6-4,37	139,8-438,7	10,-100

Pour compléter les sondages réalisés, des profils radar ont été réalisés pour vérifier l'absence de cavités au droit de l'ancienne décharge et mesurer l'épaisseur de déchets contenus dans l'ancienne décharge (Cf. **Dossier n°8 – Investigations géologiques et hydrogéologiques détaillées**).

GEOLITHE a réalisé :

- 12 profils longitudinaux de direction nord-ouest/sud-est, parallèles et espacés de 10 m, numérotés de 0 à 11 de l'ouest vers l'est. Chacun de ces profils est long de 70 m, excepté le profil 11 en bordure est de la zone qui mesure 60 m,
- 8 profils transversaux de direction NE-SW, parallèles et espacés de 10 m, référencés de A à H du sud vers le nord. Chacun de ces profils est long de 110 m, excepté le profil H en bordure nord de la zone, mesurant 100 m.

Ces profils ont notamment permis de mettre en évidence l'interface entre les calcaires du terrain naturel et les déchets contenus dans l'ancienne décharge sauvage (Cf. **Figure 1**).

**Figure 1 : Identification de l'interface entre déchets et calcaires**


Ces investigations ont permis de confirmer la stabilité du sous-sol et l'absence de cavités au droit des sondages réalisés. De même, cette étude a mis en évidence le fait que les tassements attendus seraient de l'ordre du centimètre pour les zones reposant sur le substratum, confirmant que le site peut accueillir le nouveau bloc de stockage.

### 3. Calculs de stabilité de l'ouvrage

#### 3.1 Caractéristiques géométriques retenues

Le talus intérieur du casier sera taillé à même le terrain naturel. Une risberme intermédiaire sera intégrée à ce talus dans la partie aval du bloc de stockage (i.e hors emprise de l'ancienne décharge naturelle) pour améliorer sa stabilité et favoriser la pose du Dispositif d'Étanchéité par Géosynthétiques (DEG). Elle sera positionnée à mi-hauteur du talus. La pente des talus sera de 1H/1V.

La cote de fond de fouille du casier 4 sera comprise entre +398,54 (partie aval) et +430,13 m NGF (alvéole 1) avec une profondeur de terrassement moyenne de 10,4 m, et pouvant aller jusqu'à 23 m en partie aval.

Au nord du nouveau bloc de stockage, une digue de pied viendra soutenir le massif de déchets. Elle présentera une pente intérieure de 1H/1V et une pente extérieure de 2H/1V.

La géométrie moyenne de cette digue de pied sera la suivante,

- largeur de la base : 45 m au plus large,
- largeur en crête : 10 m,
- cote de la crête de digue : entre +420 et +426 m NGF,
- hauteur maximale par rapport au TN : 12 m.

La digue de pied du casier 3 (site 1) est constituée d'argile de perméabilité  $1.10^{-9}$  m/s. Les matériaux utilisés pour faire les rehausses correspondent à des argiles de perméabilité  $1.10^{-7}$  m/s.

A la fin de l'exploitation, une couverture finale sera mise en place avec les matériaux du site. Conformément à la réglementation en vigueur celle-ci doit être mise en place au plus tard 2 an après la fermeture de chaque alvéole du 2<sup>ème</sup> étage. Elle sera composée du haut vers le bas de :

- d'une couche d'étanchéité (épaisseur de 0,5 mètre constituée de matériaux inertes d'une perméabilité inférieure à  $1.10^{-7}$  m/s,
- d'une couche de drainage des eaux de ruissellement composée de matériaux naturels d'une épaisseur minimale de 0,5 mètre ou de géosynthétiques ;
- d'une couche de terre de revêtement d'une épaisseur minimale d'un mètre.

### 3.2 Caractéristiques géomécaniques

L'objet de ce paragraphe est d'estimer les propriétés géomécaniques des matériaux situés au droit du nouveau casier de stockage et en particulier le poids volumique, la cohésion et l'angle de frottement effectif, nécessaires aux calculs de stabilité de l'ouvrage créé à long terme. L'estimation la plus défavorable a été prise en compte pour les calculs de stabilité.

D'après les données bibliographiques, les caractéristiques géomécaniques les plus défavorables des matériaux constituant le nouveau casier de stockage seraient les suivantes.

**Figure 2 : Données géomécaniques bibliographiques**

Unité	Poids volumique (kN/m <sup>3</sup> )	Cohésion c' (MPa)	Angle de frottement $\phi'$ (°)
Calcaire	22	0,6	20
Couverture et argile	19,3	4	44
Déchets	10	5	20
Tapis drainant	19	0	35

Dans une optique de réemploi des matériaux, la digue de pied a été modélisée en première approche avec des matériaux calcaires présentant les caractéristiques géomécaniques présentées ci-dessus.

### 3.3 Données hydrauliques

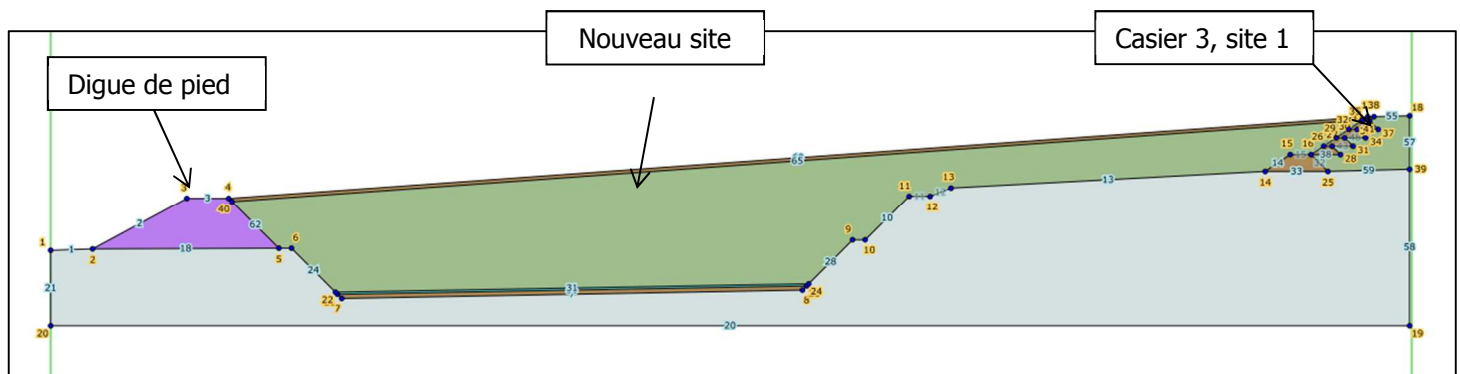
Les casiers étant supposés parfaitement drainés, il n'a pas été pris en compte de poussée hydrostatique.

### 3.4 Méthodologie

Une vérification de la stabilité du projet a été réalisée :

- à long terme sur le talus intérieur du nouveau bloc de stockage sans massif de déchets (talus intérieur du casier 2, site 2),
- à long terme sur le talus intérieur de la digue de pied sans massif de déchets avec application d'une charge statique en crête de digue,
- à long terme sur le talus extérieur de la digue de pied avec mise en place du massif de déchets et de la couverture et application d'une charge statique en crête de digue.

**Figure 3 : Profil géométrique du nouveau bloc de stockage**



Les calculs de stabilité ont été réalisés avec le logiciel TALREN 5 en considérant des modes de rupture circulaire. Ils ont été réalisés selon la méthode de calcul BISHOP avec un système de pondération traditionnel.

Les calculs ont tout d'abord été menés avec les données géomécaniques bibliographiques. Une démarche itérative a ensuite été menée jusqu'à trouver les critères garantissant la stabilité de l'ouvrage à long terme, notamment concernant les matériaux à utiliser pour réaliser la digue de pied. Les caractéristiques des autres matériaux ont été fixées à partir de données issues de la littérature ou du retour d'expérience sur les sols considérés.

Avec la méthode de calcul adoptée via le logiciel TALREN 5, le talus est instable si  $F_s \leq 1$  (amorce d'une rupture). Afin de garantir la stabilité des ouvrages étudiés, une sécurité de 0,3 est prise sur les résultats des calculs de stabilité.

### 3.5 Résultats et commentaires

Les coefficients de sécurité minimaux obtenus en fonction de la géométrie et des hypothèses considérées sont présentés ci-après.

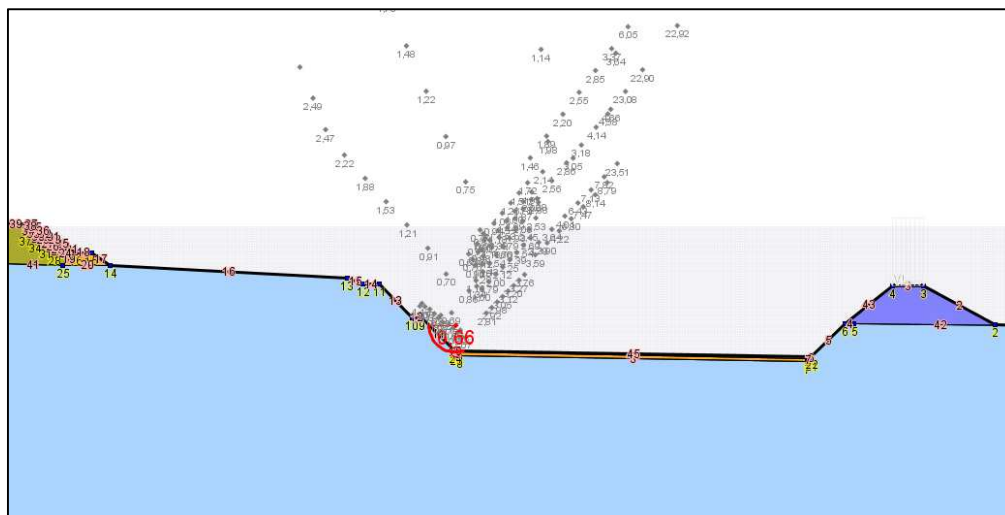
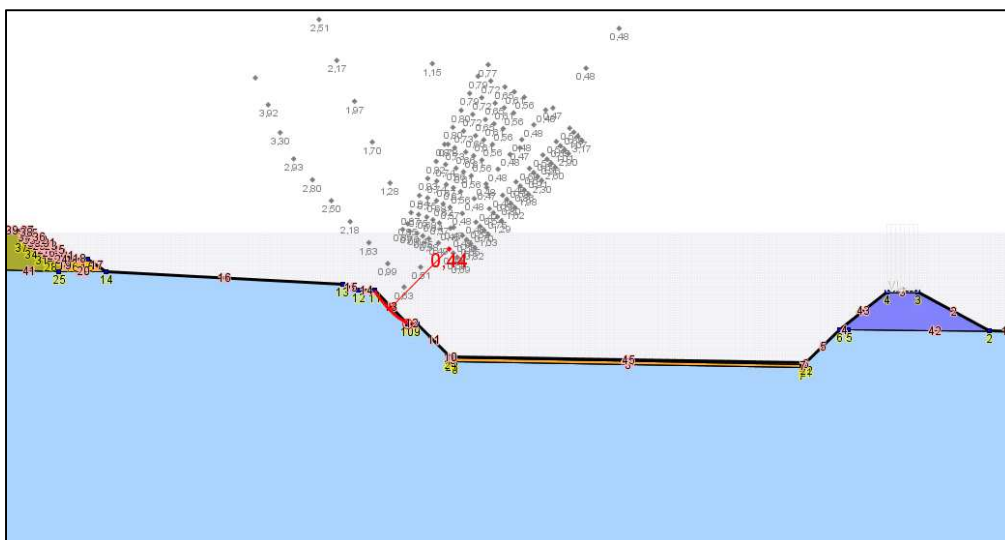
#### 3.5.1 Données géomécaniques bibliographiques

Les résultats des calculs menés à long terme avec les données géomécaniques bibliographiques sont présentés ci-dessous.

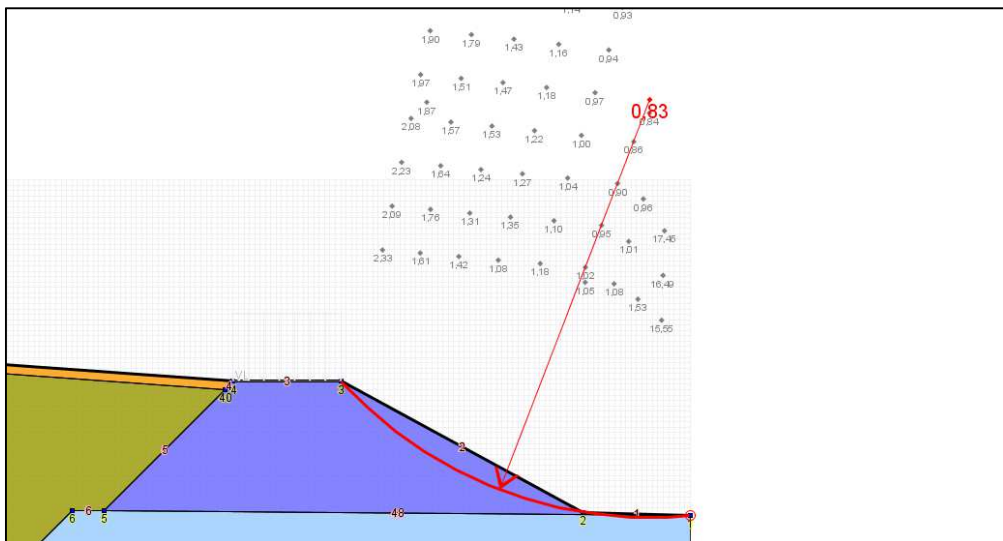
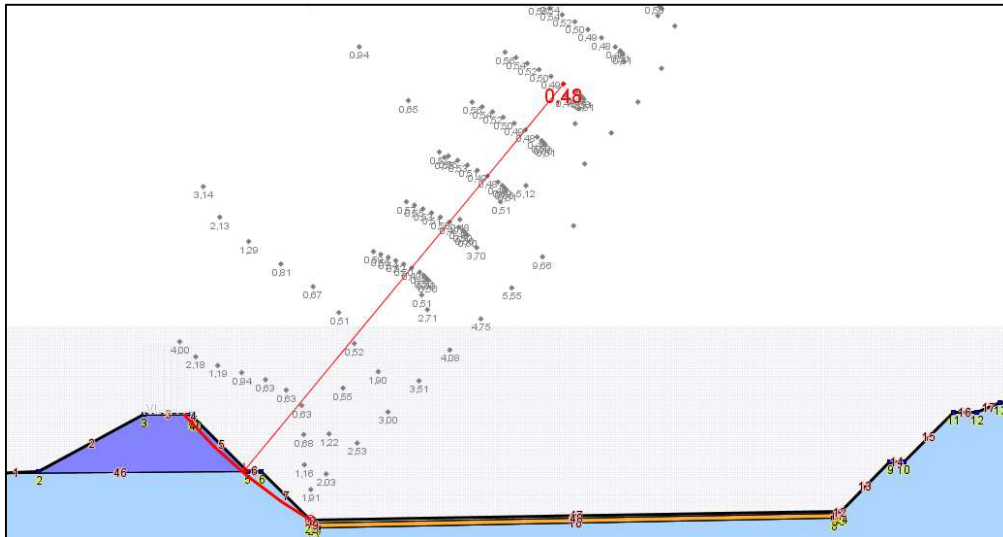
**Tableau 2 : Résultats de la modélisation avec les données bibliographiques**

Etat	Lieu	Coefficient $\Gamma$
Casier de stockage sans massif de déchets	Talus intérieur bloc de stockage	0,44-0,66
	Talus intérieur digue de pied	0,48
Bloc de stockage avec massif de déchets	Talus extérieur digue de pied	0,83

**Figure 4 : Résultats de la modélisation avec les données bibliographiques**







### 3.5.2 Données itératives

Compte-tenu de la teneur défavorable des résultats ( $F_s < 1$ ), des calculs par itération ont ensuite été menés jusqu'à obtention de la stabilité du casier de stockage à long terme avec et sans massif de déchets.

Les données géomécaniques ayant permis d'obtenir la stabilité du nouveau casier de stockage pour les différentes parties du projet sont présentés ci-dessous.

**Tableau 3 : Données géomécaniques obtenues par itérations**

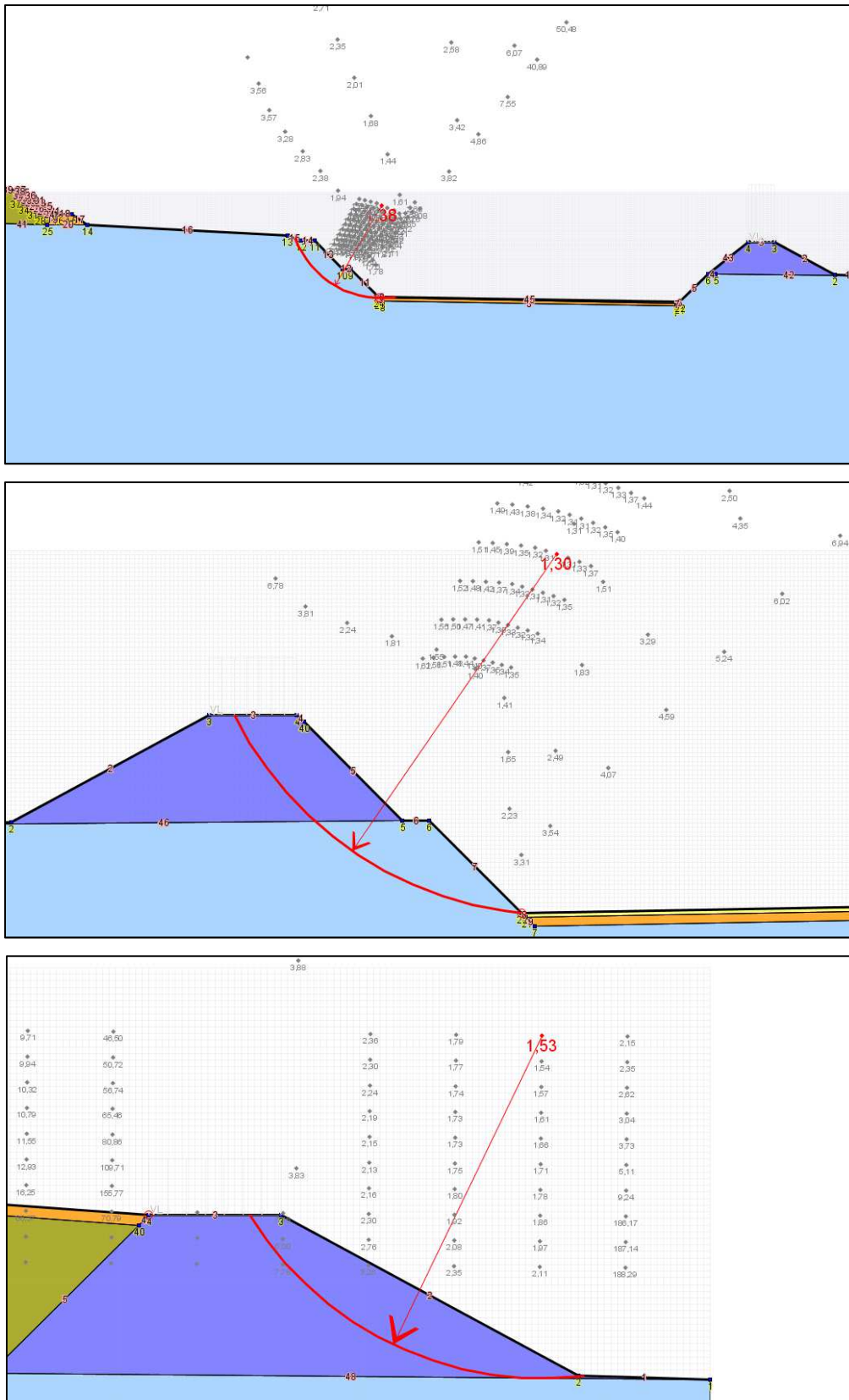
Unité	Poids volumique (kN/m <sup>3</sup> )	Cohésion c' (MPa)	Angle de frottement $\phi'$ (°)
Tapis drainant	19	0	35
Couverture et argile	19,3	44	4
Déchets	10	5	20
Talus intérieur casier de stockage			
Calcaire	22	35	25
Talus intérieur digue de pied			
Matériaux digue	22	30	25
Calcaire	22	35	25
Talus extérieur digue de pied			
Matériaux digue	22	13	25
Calcaire	22	10	25

Les coefficients obtenus avec les données itératives ci-dessus sont donc les suivants.

**Tableau 4 : Coefficients considérés pour un ouvrage stable à long terme**

Etat	Lieu	Coefficient $\Gamma$
casier de stockage sans massif de déchets	Talus intérieur bloc de stockage	1,38
	Talus intérieur digue de pied	1,30
casier de stockage avec massif de déchets	Talus extérieur digue de pied	1,53

Figure 5 : Résultats de la modélisation avec les données itératives



Ainsi, **les données géomécaniques présentées dans le Tableau 3 devront être respectées** pour garantir une stabilité du nouveau casier de stockage à long terme avec et sans massif de déchets.

Tous les matériaux utilisés pour la constitution du nouveau casier de stockage, et en particulier ceux constituant la digue de pied, devront faire l'objet d'analyses géomécaniques en laboratoire avant leur mise en œuvre, et la stabilité de l'ouvrage devra être vérifiée par calcul en fonction des données réelles du projet avant les travaux.

Nous conseillons de prendre les précautions suivantes pour assurer la pérennité à long terme de l'ouvrage :

- tri et évacuation des éléments les plus grossiers ( $\varnothing > 200$  mm) du matériau constituant le corps de digue, afin d'apporter une meilleure homogénéité et une mise en œuvre optimale du point de vue de la compacité et de la stabilité de l'ouvrage,
- protection rapide du côté intérieur du casier par la barrière active réglementaire définie dans le **dossier 2** et du côté extérieur par géotextile ou végétalisation, afin de limiter les phénomènes d'érosion,
- mise en place d'un suivi topographique afin de détecter toute déformation importante et prévoir le cas échéant un renforcement en pied de digue.

Ce suivi topographique est un suivi classique de l'ouvrage (tête/pied de digue + crête de talus au minimum) pour vérifier qu'il ne s'affaisse pas. Le renforcement en pied de digue par de l'enrochement, est juste un exemple de solution curative uniquement si des désordres sont constatés ;

- mise en œuvre d'un dispositif de récupération et d'évacuation des eaux de pluie, notamment en crête de digue, pour éviter les infiltrations au sein de l'ouvrage.

En effet, la bonne gestion des EP est importante car s'il y a des infiltrations en tête de talus, cela peut à terme charger les matériaux en eau et créer au minimum des glissements de peau. Il sera donc nécessaire de gérer les EP avec des cunettes ou des fossés ainsi que des descentes d'eau permettant de récupérer le réseau des eaux internes en pied de digue.

- pompage et rabattement permanent des lixiviats.