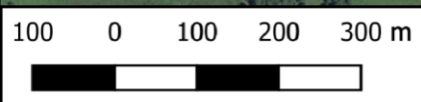


- Légende**
- Périmètre ICPE**
- Sollicité à l'extension
  - Autorisé et sollicité au renouvellement
- Infrastructures**
- Existant
  - Projet
  - Bassins de gestion des eaux
- Hydrologie**
- Limite de bassin versant
- Cours d'eau**
- Permanent
  - Temporaire
  - Plan d'eau
- Circuit des eaux**
- Eaux chargées (transport en conduites)
  - Eaux chargées (transport gravitaire dans un fossé)
  - Eaux traitées
  - Station de traitement des eaux
  - Pompe de transfert

**Bassin versant du Blavet**

**Bassin versant de l'Ellé**



IMERYS REFRACTORY MINERALS GLOMEL - *Exploitation d'andalousite de Guerphalès (22)*  
 Demande d'Autorisation Environnementale d'exploitation de carrière - *Projet d'ouverture de la Fosse 4*  
**Mémoire Technique**

Schéma du circuit actuel de gestion des eaux de l'exploitation d'andalousite de Guerphalès  
 Source : IRMG, GEO+, 2020

Figure 23



Afin de réguler le niveau d'eau dans la Fosse 2 et d'alimenter les activités de production de l'usine, deux pompes de 287 et 276 m<sup>3</sup>/h transfèrent les eaux de la Fosse 2 vers l'usine, dans le bassin **Dodin**. L'eau nécessaire au fonctionnement de l'usine est prélevée dans ce bassin et le surplus est envoyé, par débordement, au **bassin Richier**. A partir du bassin Richier, le surplus d'eau s'écoule gravitairement dans un fossé dit « VBora » pour rejoindre une autre station de neutralisation, appelée « **Station Neutralac 3** » où le traitement est réalisé par ajout de **lait de chaux**. Les eaux ainsi traitées passent par une série de 4 bassins de décantation où se déposent les matières en suspension et les hydroxydes métalliques, avant d'être rejetées au milieu naturel au niveau du point de rejet n°1. Les bassins de décantation 1 et 3 sont équipés de rideaux de turbidité pour optimiser la décantation des hydroxydes métalliques et des matières en suspension. Les eaux se déversent dans le ruisseau de Kergroaz, qui se jette dans le ruisseau du Crazius qui lui-même rejoint l'Ellé. La « **Station Neutralac 3** » dispose d'une cuve de soude liquide à 50% NaOH, qui peut servir en cas de défaillance de l'alimentation en lait de chaux.

Le traitement des eaux par les stations Neutralac 1 et 3 est géré par automatisme qui ajuste en permanence les apports de chaux. Un report du fonctionnement des automates et des pompes est effectué sur les écrans de surveillance au niveau des postes de commande de l'usine. Toute anomalie dans le fonctionnement du dispositif est reportée sur une alarme (avec astreinte), 24h/24 et 7j/7.

Toutes les pompes du circuit des eaux de l'exploitation d'andalousite sont équipées d'horamètres permettant de suivre les débits et les volumes d'eau et d'établir un bilan hydrique moyen de l'exploitation d'andalousite de Glomel. Les données de ce bilan hydrique entre 2015 et 2020 sont les suivantes :

- Volume d'eau collecté au niveau de la Fosse 2 : 1 980 000 m<sup>3</sup>/an
- Volume d'exhaure de la Fosse 3 : 228 000 m<sup>3</sup>/an
- Volume d'eau sortant de la Fosse 2 vers l'usine et le point de rejet n°1 : 3 120 000 m<sup>3</sup>/an
- Volume d'eau rejeté au milieu naturel après traitement : 1 300 000 m<sup>3</sup>/an
- Besoin en eau de l'usine : 1 873 000 m<sup>3</sup>/an
- Taux de recyclage effectif des eaux de l'usine : 57%
- Appoint au circuit fermé (eaux pluviales collectées par la fosse 2) : 810 000 m<sup>3</sup>/an

**Tableau 21 : Volumes d'eau collectés et traités annuellement sur l'exploitation d'andalousite de Glomel**

Année	Volume d'eau collecté au niveau de la Fosse 2 après traitement par Neutralac 1 (m <sup>3</sup> )	Volume d'exhaure de la Fosse 3 (m <sup>3</sup> )	Volume d'eau évacué de la Fosse 2 vers l'usine (m <sup>3</sup> )	Volume d'eau rejeté au milieu naturel après traitement par Neutralac 3 (m <sup>3</sup> )	Pluviométrie (mm)
2015	1 650 627	216 000	2 534 939	1 385 395	930
2016	1 468 717	181 800	2 429 771	1 534 461	898
2017	1 437 646	164 400	2 425 352	658 284	812
2018	2 141 399	276 000	3 391 480	1 372 961	1022
2019	2 374 200	248 000	3 761 322	1 083 528	1064
2020	2 800 100	279 360	4 176 895	1 771 586	1 222
<b>Moyenne 2015-2020</b>	<b>1 978 782</b>	<b>227 593</b>	<b>3 119 960</b>	<b>1 301 036</b>	<b>991</b>

Tableau 22 : Bilan hydrique de l'usine de traitement du minerai

Année	Volume d'eau alimentant l'usine à partir de la Fosse 2 (m <sup>3</sup> )	Volume d'eau recyclé vers la Fosse 2 (m <sup>3</sup> )	Taux de recyclage effectif	Appoint au circuit fermé de l'usine (eaux pluviales collectées par la Fosse 2) (m <sup>3</sup> )
2015	1 538 200	841 280	55%	696 920
2016	1 328 100	736 640	55%	591 460
2017	1 794 450	927 200	52%	867 250
2018	2 020 600	1 186 429	59%	834 171
2019	1 977 400	1 336 000	68%	641 400
2020	2 588 000	1 352 220	52%	1 235 780
<b>Moyenne 2015-2020</b>	<b>1 874 458</b>	<b>1 063 295</b>	<b>57%</b>	<b>811 164</b>

L'usine de traitement du minerai fonctionne en circuit fermé et il n'y a aucun prélèvement d'eau dans le milieu naturel. Les besoins en eau de l'usine sont assurés par la Fosse 2 où les eaux de procédé sont recyclées après décantation. L'appoint à ce circuit fermé (pertes liées à l'évaporation et à l'humidité des boues) est assuré par les eaux pluviales collectées dans la Fosse 2.

#### 4.1.2 Travaux réalisés en 2021

Conformément au calendrier d'abattement du manganèse fixé par l'Arrêté Préfectoral Complémentaire du 12 octobre 2020 fixe qui fixait une **première étape d'abaissement de la valeur limite de rejet de 10 à 6 mg/L au 1<sup>er</sup> janvier 2022 après optimisation de la station Neutralac 1.**

IRMG a réalisé les **travaux d'optimisation de la station Neutralac 1** au deuxième semestre 2021, pour une **mise en service fin novembre 2021.**

La station Neutralac 1 a été optimisée afin de traiter l'ensemble des eaux en entrée de la Fosse 2 en prenant en compte le relevage des eaux du fossé V Digue (transfert déjà réalisé), du bassin Bora et du fossé V Bora, par la mise en place :

- D'un **stockage de chaux éteinte** en silo d'environ 90 m<sup>3</sup> pour 18 m de hauteur ;
- D'un **groupe de préparation de lait de chaux**, équipé d'un système de recirculation et d'un bac spécifique directement alimenté par un silo de chaux ;
- D'un **skid de pompe péristaltique** qui permet d'assurer la distribution et le dosage de lait de chaux ;
- D'une **cuve de contact** équipée d'une sonde de mesure du pH, dans lequel l'injection de lait de chaux est réalisée pour neutraliser les eaux durant leur transfert gravitaire vers la Fosse 2.

Ces nouveaux équipements permettent de stabiliser la préparation du mélange par rapport à la situation passée avec des cycles de dilution qui font varier la concentration en chaux.

Le groupe de préparation de lait de chaux et le skid de pompe péristaltique sont dans un bâtiment construit sur une dalle béton qui accueille également le silo de chaux. L'ensemble a fait l'objet d'une demande de Permis de Construire un d'un dossier de Porter à Connaissance.



- **Remplacement de la cuve de prétraitement existante**
  - Pas de stockage sur place : très dépendant des livraisons de chaux
  - Mélange par dilutions successives : pH en entrée de fosse instable

- **Nouvelle installation mise en service fin 2021**
  - Silos de stockage de chaux éteinte
  - Cuve de mélange : concentration de chaux stable en entrée
- **Coût des travaux : 245 k€**

→ **Objectif : Amélioration du prétraitement de nos eaux**

28



### Illustration des travaux de rénovation et d'optimisation de la station Neutralac 1



**Groupe de préparation de lait de chaux et skid de pompe péristaltique à l'intérieur du bâtiment**

Le plan masse de la station Neutralac 1 optimisée et les fiches descriptives du silo de stockage de chaux, du bac de préparation et du skid de pompe péristaltique sont fournis en [Annexe 10](#).

Parallèlement à cette optimisation, IRMG a mis en place une **canalisation gravitaire d'une capacité de 300 m<sup>3</sup>/h entre le bassin Dodin, recevant les eaux claires traitées par la station Neutralac 1 et le point de rejet**. Cette canalisation permet de transférer une partie des eaux claires de la Fosse 2 directement au point de rejet et elle est mise en service lorsque les analyses quotidiennes des eaux en sortie de Fosse 2 sont conformes aux valeurs limites de rejet. En cas de non-conformité, les eaux passent par la station Neutralac 3 avant rejet. La canalisation a été installée en décembre 2021 et le démarrage du rejet direct a été effectué le 10 février 2022.



Localisation et photographie de la canalisation de « rejet direct »

Ces aménagements feront partie du circuit de gestion des eaux à venir du site de Guerphalès et sont représentés sur la Figure 25.

### 4.1.3 Efficacité du circuit de traitement des eaux

Les suivis de concentrations et de débit des eaux au point de rejet n°1 et des eaux brutes non traitées arrivant au niveau de la Fosse 2 permettent à IRMG de suivre l’efficacité circuit de traitement des eaux. Les tableaux ci-dessous présentent les taux d’abattement pour les différents paramètres.

Paramètre	ph	cond (µs/cm)	Al (mg/l)	Fe (mg/l)	Mn (mg/l)	SO4 (mg/l)
Eau brute non traitée 2013-2020	3,61	2375	68,33	192,59	30,39	1414
Moyenne 2013-2020 rejet final	7,86	2262	0,12	0,28	4,81	1477
<b>Abattement concentration</b>			<b>581</b>	<b>698</b>	<b>6,3</b>	<b>0</b>
<b>Abattement flux (%)</b>			<b>99,71%</b>	<b>99,71%</b>	<b>67,03%</b>	

Paramètre	ph	cond (µs/cm)	Al	Fe	Mn	SO4
Flux en tonnes eau non traitée/2013 à 2020			417,25	1333,89	202,87	
Flux rejet final en tonnes/2013 à 2020			1,33	3,12	55,73	
<b>Abattement (quantité)</b>			<b>314</b>	<b>427</b>	<b>3,6</b>	
<b>Abattement (%)</b>			<b>99,68%</b>	<b>99,77%</b>	<b>72,53%</b>	

Paramètre	ph	cond (µs/cm)	Al (mg/l)	Fe (mg/l)	Mn (mg/l)	SO4 (mg/l)
Limite			<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>10</b>	<b>1800</b>

Ces données montrent bien que les dispositifs mis en place permettent des **taux d’abattement très importants pour les métaux tels que l’aluminium, le fer, dans une moindre mesure le manganèse** et nuls pour les sulfates.

Ces résultats montrent que le fer et l’aluminium sont très bien éliminés par le traitement en place mais que le manganèse est plus difficile à traiter.

Par ailleurs, des travaux sont régulièrement effectués pour améliorer le système de traitement des eaux :

- Déplacement l'unité de traitement Neutralac 1 en 2014 ;
- Entretien et curage régulier des fossés de collecte des eaux au sein du site ;
- Mise en place un canal en béton en sortie de la cuve de Neutralac 3 afin d'améliorer le contact entre la chaux et l'eau à traiter durant l'été 2018 ;
- Optimisation de la station Neutralac 1 et mise en place d'un rejet direct par canalisation entre fin 2021 et début 2022.

## 4.2 GESTION A VENIR

De nouveaux flux d'eaux issus des nouvelles installations seront collectés, dirigés vers la Fosse 2 et gérés par le circuit des eaux du site :

- Eaux d'exhaure de la Fosse 4 ;
- Eaux de drainage de la verse Ouest ;
- Eaux de drainage des extensions Est, Ouest et Sud du Sabès.

Conformément aux prescriptions de l'article 4.3.12 de l'Arrêté Préfectoral du 03/08/2018, IRMG a mené une étude technico-économique de réduction des rejets en sulfates et en manganèse, en concertation avec l'ensemble des parties prenantes concernées (Eau du Morbihan, ARS, SAGE Ellé-Isole-Laita...). Cette étude, réalisée par IRH en 2019 et finalisée en septembre 2019, conclut qu'il n'existe pas de procédé de traitement des sulfates applicable à une échelle industrielle, mais propose une **optimisation du circuit actuel de gestion des eaux et la mise en œuvre d'une nouvelle unité de traitement** sur filtres à sable catalytique pour réduire la concentration en manganèse. Les essais pilotes de traitement sur filtres à sable catalytique menés en 2020 n'ayant pas été concluants (problématique de désorption du manganèse), IRMG s'est redirigée vers un procédé de traitement des eaux **par ozonation** dont les essais pilotes, réalisé en mars 2021, ont été concluants pour l'abattement du manganèse. **La gestion des boues d'ozonation** est prévue par décantation et les boues du décanteur seront renvoyées comme actuellement en Fosse 2.

IRMG a d'ores et déjà réalisé les **travaux d'optimisation du fonctionnement de la station Neutralac 1** (lait de chaux, canal de mélange), ce qui a permis d'abaisser la valeur limite de rejet en **manganèse à 6 mg/L le 1<sup>er</sup> janvier 2022**.

Par la suite, **courant 2023**, la **nouvelle unité de traitement des eaux par ozonation** viendra remplacer la station Neutralac 3, qui sera malgré tout conservée pour être utilisée si besoin (en cas de fortes crues par exemple) en complément de la station Neutralac 1. Cette nouvelle unité permettra d'abaisser une nouvelle fois la valeur limite de rejet en **manganèse à 2 mg/L**.

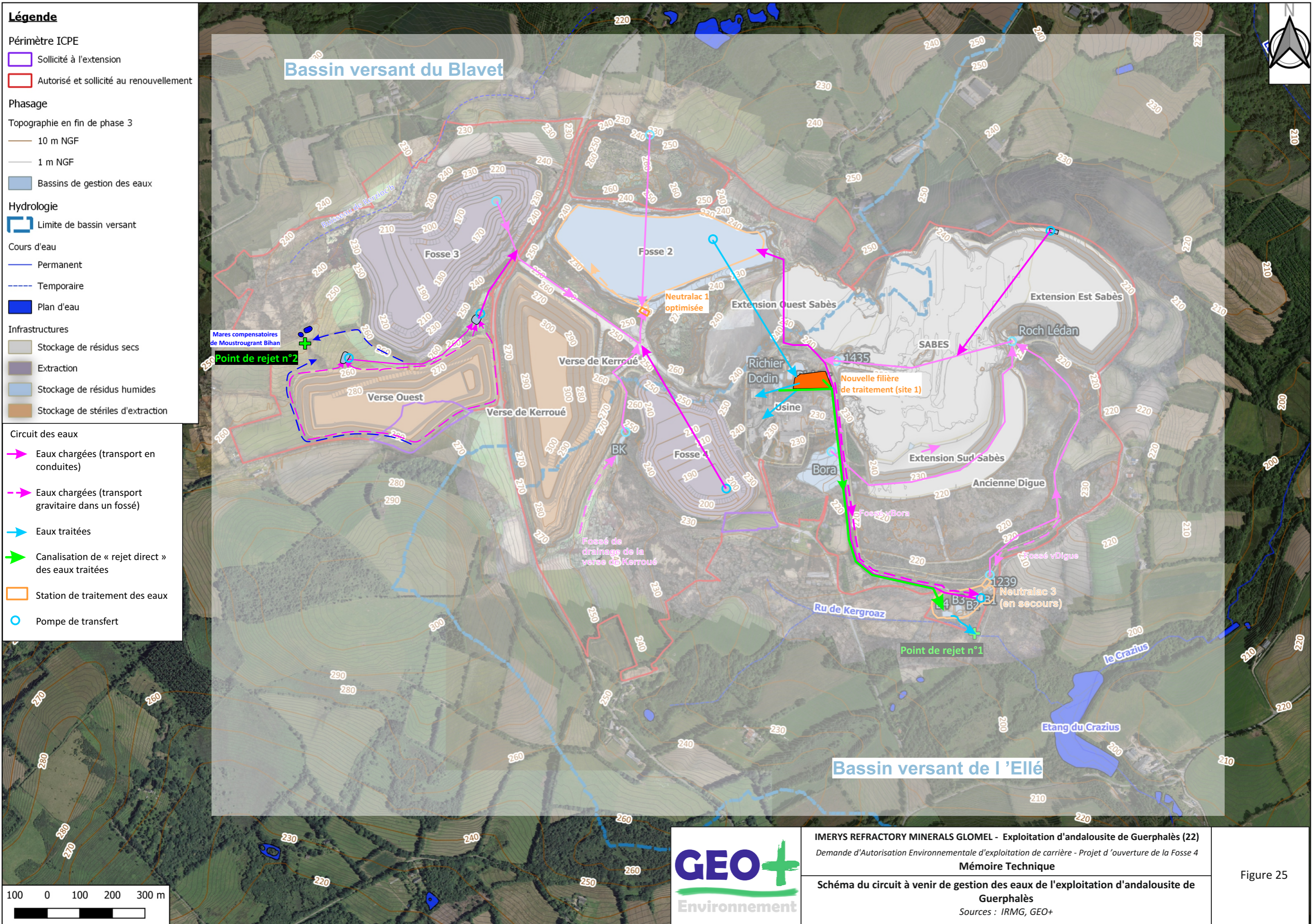
A terme les eaux traitées de la nouvelle installation de traitement du manganèse transiteront par les bassins de décantation avant rejet (bassins 2 à 4) pour préserver la zone humide des bassins de décantation qui a un intérêt écologique. Il est prévu de relever les eaux du fossé V Bora depuis le bassin 1 vers la Fosse 2 et d'acheminer les eaux de la nouvelle installation de traitement du manganèse par canalisation fermée vers le bassin 2.

Le circuit de gestion des eaux à venir est présenté en [Figure 25](#).

L'Arrêté Préfectoral Complémentaire du 12 octobre 2020 fixe le calendrier d'abattement du manganèse à **2 mg/L au 1<sup>er</sup> janvier 2024** après mise en service de la nouvelle station de traitement des eaux. IRMG s'engage en parallèle à maintenir une veille technologique poussée sur le traitement des sulfates avec communication d'un bilan annuel.

**Plusieurs optimisations ont été et seront donc réalisées afin de fiabiliser le traitement des eaux sur le site afin de respecter les valeurs limites de rejet autorisées.**





**Légende**

**Périmètre ICPE**

- Sollicité à l'extension
- Autorisé et sollicité au renouvellement

**Phasage**

Topographie en fin de phase 3

- 10 m NGF
- 1 m NGF
- Bassins de gestion des eaux

**Hydrologie**

- Limite de bassin versant
- Cours d'eau
  - Permanent
  - Temporaire
  - Plan d'eau
- Infrastructures
  - Stockage de résidus secs
  - Extraction
  - Stockage de résidus humides
  - Stockage de stériles d'extraction

**Circuit des eaux**

- Eaux chargées (transport en conduites)
- Eaux chargées (transport gravitaire dans un fossé)
- Eaux traitées
- Canalisation de « rejet direct » des eaux traitées
- Station de traitement des eaux
- Pompe de transfert

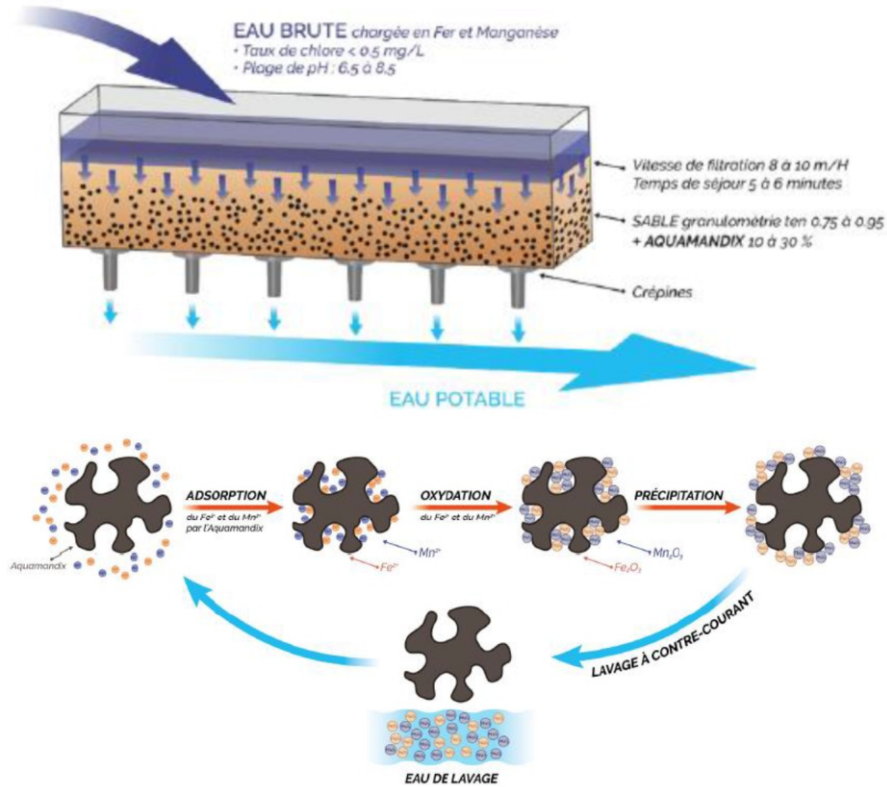
100 0 100 200 300 m



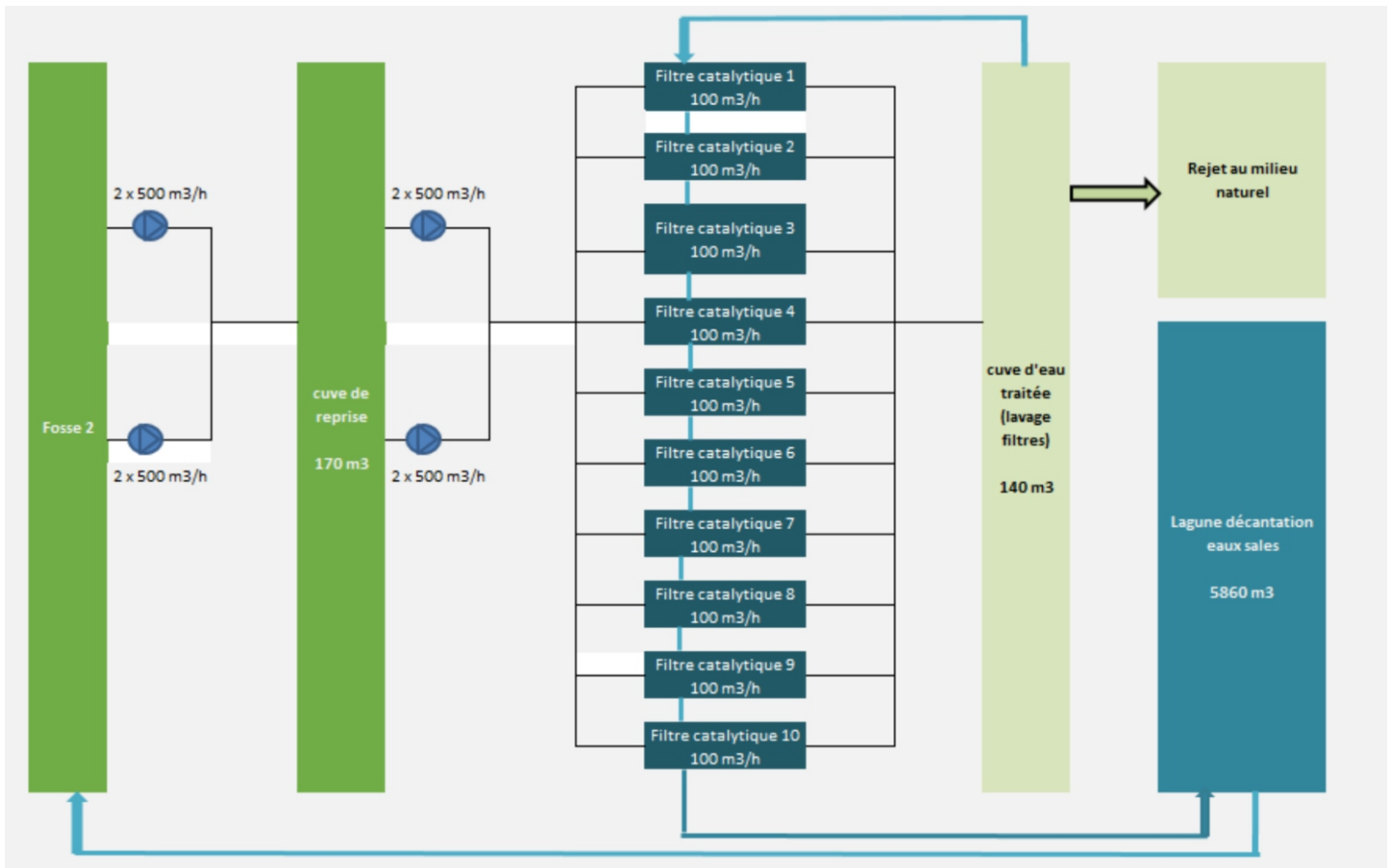
**IMERY'S REFRACTORY MINERALS GLOMEL - Exploitation d'andalousite de Guerphalès (22)**  
 Demande d'Autorisation Environnementale d'exploitation de carrière - Projet d'ouverture de la Fosse 4  
**Mémoire Technique**  
 Schéma du circuit à venir de gestion des eaux de l'exploitation d'andalousite de Guerphalès  
 Sources : IRMG, GEO+

Figure 25

## Principe de traitement du manganèse sur filtres à sable catalytique



## Schéma de la future filière de traitement des eaux sur filtres à sable catalytique



# ANNEXES

---

## **Annexe 1 :Fiche produit des concentrés d’andalousite vendus par IRMG**



# KERPHALITE™ KA 0,3-1,6mm

RUN OF MINE - ANDALUSITE - FRANCE

CHEMICAL ANALYSIS (%)	TYPICAL	SPECIFICATIONS
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	58,7	≥ 58,0
SiO <sub>2</sub>	38,5	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,05	≤ 1,15
TiO <sub>2</sub>	0,20	-
CaO	0,15	-
MgO	0,15	-
Na <sub>2</sub> O	0,10	[ ≤ 0,65
K <sub>2</sub> O	0,35	
L.O.I.	0,80	-

## PHYSICAL PROPERTIES

Specific gravity (g/cm <sup>3</sup> )	3,1	-
Loose bulk density (g/cm <sup>3</sup> )	1,75	-
Hardness (Mohs)	7,5	-
Seeger cone	37	-
Moisture (%)	-	≤ 0,5

## PARTICLE SIZE DISTRIBUTION (mm)

- 0,315	-	≤ 5
+ 1,0	20-70	-
+ 1,6	-	≤ 20

The technical information and specifications contained in this data sheet are only for information purposes. These information and specifications can be modified and do not constitute nor could be constitutive or be interpreted as a representation and/or as a warranty of the validity of the information and specifications specified. The general terms and conditions of sale, available on our website or upon request from our customer service, apply to the sale of our products.



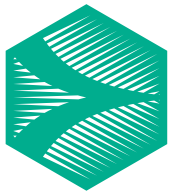
Revision 1 - 2014 July

IMERY'S REFRACTORY MINERALS  
154, rue de l'Université - 75 007 Paris - FRANCE

Tel: +33(0)1.49.55.65.60  
E.mail: refractory.minerals@imerys.com



[www.imerys-refractoryminerals.com](http://www.imerys-refractoryminerals.com)



# KERPHALITE™ KF 50-350μ

PREMIUM - ANDALUSITE - FRANCE

CHEMICAL ANALYSIS (%)	TYPICAL	SPECIFICATIONS
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	60,8	≥ 59,5
SiO <sub>2</sub>	38,1	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,45	≤ 0,60
TiO <sub>2</sub>	0,15	-
CaO	0,05	-
MgO	0,10	-
Na <sub>2</sub> O	0,10	[ ≤ 0,30
K <sub>2</sub> O	0,15	
L.O.I.	0,10	-

## PHYSICAL PROPERTIES

Specific gravity (g/cm <sup>3</sup> )	3,1	-
Loose bulk density (g/cm <sup>3</sup> )	0,7 - 1,55	-
Hardness (Mohs)	7,5	-
Seeger cone	38	-
Moisture (%)	-	≤ 0,5

## PARTICLE SIZE DISTRIBUTION (μ)

- 63	-	≤ 15
+ 80	-	-
+ 100	-	-
+ 200	15 - 50	-
+ 350	-	≤ 10

The technical information and specifications contained in this data sheet are only for information purposes. These information and specifications can be modified and do not constitute nor could be constitutive or be interpreted as a representation and/or as a warranty of the validity of the information and specifications specified. The general terms and conditions of sale, available on our website or upon request from our customer service, apply to the sale of our products.



Revision 1 - 2014 July

IMERYS REFRACTORY MINERALS  
154, rue de l'Université - 75 007 Paris - FRANCE

Tel: +33(0)1.49.55.65.60  
E.mail: refractory.minerals@imerys.com



[www.imerys-refractoryminerals.com](http://www.imerys-refractoryminerals.com)

## **Annexe 2 : Bordereaux d'analyse des stériles d'extraction et des résidus de traitement du minerai (LABOCEA, 2010)**

---



**PRELEVE 32 61072**  
 DAMREC GUERPHALES  
 MR MOAL  
 GUERPHALES  
 22110 GLOMEL

**DEBITEUR**  
 DAMREC GUERPHALES  
 MR MOAL  
 GUERPHALES  
 22110 GLOMEL

LABORATOIRE  
 DE DEVELOPPEMENT  
 ET D'ANALYSES  
 ZOOPOLE  
 PLOUFRAGAN

7, rue du sabot  
 BP 54  
 22440 PLOUFRAGAN

Tél : 02.96.01.37.22  
 Fax : 02.96.01.37.50  
 Mel : contact@lda22.com

**ANNEXE 1- Bulletins d'analyses**

**DESTINATAIRE**

**DAMREC GUERPHALES  
 MR MOAL  
 GUERPHALES**

**22110 GLOMEL**

En cours  
 Ouvert le : 24/11/2010 à 14h57 HY HI  
 Edité le : 06/01/2011 à 18h41

**4 ECHANTILLONS L.FONTAINE**

**Rapport  
 d'analyses  
 110079448**

Prélèvement 001 VERSE DE KERROUE

PEC PAYANTE  
 Date début d'analyse 24/12/2010

<i>ANALYSES PHYSIQUES</i>	<i>/brut</i>	<i>/sec</i>
Humidité ..... % :	0,2	
Matière sèche ..... % :	99,8	
<i>par étuvage NF EN 12880</i>		
Arsenic ..... 25.. 50 ..... (As) mg/kg MS :		15
<i>Dosage par ICP NF EN ISO 11885</i>		
Cadmium .... 1,2 .. 2,4 ..... (Cd) mg/kg MS :		<0,50
<i>Dosage par ICP NF EN ISO 11885</i>		
Chrome..... 90 .. 180 ..... (Cr) mg/kg MS :		84
<i>Dosage par ICP NF EN ISO 11885</i>		
Cobalt ..... (Co) mg/kg MS :		24
<i>Dosage par ICP NF EN ISO 11885</i>		
Cuivre ..... 45 ... 90 ..... (Cu) mg/kg MS :		45
<i>Dosage par ICP NF EN ISO 11885</i>		
Mercure .... 0,4 .. 0,8 ..... (Hg) mg/kg MS :		<0,02
<i>Dosage par fluorescence atomique NF EN ISO 17852 (T 90-139)</i>		
Molybdène ..... (Mo) mg/kg MS :		<0,50
<i>Dosage par ICP NF EN ISO 11885</i>		
Nickel ..... 37 .... 74 ..... (Ni) mg/kg MS :		58
<i>Dosage par ICP NF EN ISO 11885</i>		
Plomb ..... 100 .. 200 .. (Pb) mg/kg de MS :		21
<i>Dosage par ICP NF EN ISO 11885</i>		
Sélénium ..... (Se) mg/kg MS :		<3,00
<i>Dosage par ICP NF EN ISO 11885</i>		
Zinc ..... 276 ... 552 ..... (Zn) mg/kg MS :		110
<i>Dosage par ICP NF EN ISO 11885</i>		

*TEST DE LIXIVIATION (selon norme NF EN 12457-2)*

Refus tamis 4 mm % : 3  
 Nombre de lixiviation réalisées 1  
 Durée 1ère lixiviation : 24H  
 Caractérisation réalisée sur : le lixiviat obtenu

*NF EN ISO 17852 (T 90-139)*  
 Analyses sur le lixiviat en mg/kg de matière sèche du matériau d'origine





LABORATOIRE  
DE DEVELOPPEMENT  
ET D'ANALYSES  
ZOOPOLE  
PLOUFRAGAN

7, rue du sabot  
BP 54  
22440 PLOUFRAGAN  
Tél : 02.96.01.37.22  
Fax : 02.96.01.37.50  
Mel : contact@lda22.com

---

Mercure : <0,001  
NF EN ISO 17852 (T 90-139)

*Dosage des métaux selon NF EN ISO 11885 (T 90-136) (ICP) :*

Arsenic : <0,05  
Baryum : 0,39  
Cadmium : <0,005  
Chrome : <0,05  
Cuivre : 0,58  
Molybdène : <0,05  
Nickel : 3,3  
Plomb : <0,05  
Antimoine : <0,05  
Selenium : <0,05  
Zinc : 8,1

**Rapport  
d'analyses  
110079448**

Prélèvement 002 SABLES

PEC PAYANTE

Date début d'analyse 24/12/2010

## ANALYSES PHYSIQUES /brut /sec

Humidité ..... % : 0,1  
 Matière sèche ..... % : 99,9  
 par étuvage NF EN 12880

## ELEMENTS TRACES Niveau relatif (Arr. 09/08/2008)

	N1	N2	Résultat par kg de MS
Mise en solution des éléments à l'eau régale NF EN 13346			
Arsenic ..... 25.. 50 ..... (As) mg/kg MS :			22
Dosage par ICP NF EN ISO 11885			
Cadmium .... 1,2 .. 2,4 ..... (Cd) mg/kg MS :			<0,50
Dosage par ICP NF EN ISO 11885			
Chrome ..... 90 .. 180 ..... (Cr) mg/kg MS :			110
Dosage par ICP NF EN ISO 11885			
Cobalt ..... (Co) mg/kg MS :			30
Dosage par ICP NF EN ISO 11885			
Cuivre ..... 45 ... 90 ..... (Cu) mg/kg MS :			43
Dosage par ICP NF EN ISO 11885			
Mercuré .... 0,4 .. 0,8 ..... (Hg) mg/kg MS :			<0,02
Dosage par fluorescence atomique NF EN ISO 17852 (T 90-139)			
Molybdène ..... (Mo) mg/kg MS :			<0,50
Dosage par ICP NF EN ISO 11885			
Nickel ..... 37 .... 74 ..... (Ni) mg/kg MS :			70
Dosage par ICP NF EN ISO 11885			
Plomb ..... 100 .. 200 .. (Pb) mg/kg de MS :			26
Dosage par ICP NF EN ISO 11885			
Sélénium ..... (Se) mg/kg MS :			<3,00
Dosage par ICP NF EN ISO 11885			
Zinc ..... 276 ... 552 ..... (Zn) mg/kg MS :			170
Dosage par ICP NF EN ISO 11885			
Antimoine..... (Sb) mg/kg brut :			<10
Dosage par ICP NF EN ISO 11885			
Baryum..... (Ba) mg/kg brut :			360
Dosage par ICP NF EN ISO 11885			

TEST DE LIXIVIATION (selon norme NF EN 12457-2)

Refus tamis 4 mm % : 0  
 Nombre de lixiviation réalisées 1  
 Durée lère lixiviation : 24H  
 Caractérisation réalisée sur : le lixiviat obtenu

NF EN ISO 17852 (T 90-139)

Analyses sur le lixiviat en mg/kg de matière sèche du matériau d'origine

Mercuré : <0,001  
 NF EN ISO 17852 (T 90-139)

Dosage des métaux selon NF EN ISO 11885 (T 90-136) (ICP):

Arsenic : <0,05  
 Baryum : 0,13  
 Cadmium : <0,005  
 Chrome : <0,05  
 Cuivre : 0,09  
 Molybdène : <0,05  
 Nickel : 0,39

Plomb  
 Antimoine  
 Selenium  
 Zinc

110079448 / Page 4 / 8  
 : <0,05  
 : <0,05  
 : <0,05  
 : 1,3

Prélèvement 003 FOSSE 1 STERILES HUMIDES

PEC PAYANTE

Date début d'analyse 24/12/2010

ANALYSES PHYSIQUES	/brut	/sec
Humidité .....	% : 0,2	
Matière sèche .....	% : 99,8	
par étuvage NF EN 12880		

ELEMENTS TRACES Niveau relatif (Arr. 09/08/2008)

N1	N2	Résultat par kg de MS
Mise en solution des éléments à l'eau régale NF EN 13346		
Arsenic .....	25.. 50 .....	(As) mg/kg MS : 22
Dosage par ICP NF EN ISO 11885		
Cadmium .....	1,2 .. 2,4 .....	(Cd) mg/kg MS : <0,50
Dosage par ICP NF EN ISO 11885		
Chrome .....	90 .. 180 .....	(Cr) mg/kg MS : 87
Dosage par ICP NF EN ISO 11885		
Cobalt .....	.....	(Co) mg/kg MS : 23
Dosage par ICP NF EN ISO 11885		
Cuivre .....	45 ... 90 .....	(Cu) mg/kg MS : 62
Dosage par ICP NF EN ISO 11885		
Mercure .....	0,4 .. 0,8 .....	(Hg) mg/kg MS : <0,02
Dosage par fluorescence atomique NF EN ISO 17852 (T 90-139)		
Molybdène .....	.....	(Mo) mg/kg MS : <0,50
Dosage par ICP NF EN ISO 11885		
Nickel .....	37 .... 74 .....	(Ni) mg/kg MS : 49
Dosage par ICP NF EN ISO 11885		
Plomb .....	100 .. 200 ..	(Pb) mg/kg de MS : 33
Dosage par ICP NF EN ISO 11885		
Sélénium .....	.....	(Se) mg/kg MS : <3,00
Dosage par ICP NF EN ISO 11885		
Zinc .....	276 ... 552 .....	(Zn) mg/kg MS : 140
Dosage par ICP NF EN ISO 11885		
Antimoine .....	.....	(Sb) mg/kg brut : <10
Dosage par ICP NF EN ISO 11885		
Baryum .....	.....	(Ba) mg/kg brut : 260
Dosage par ICP NF EN ISO 11885		
TEST DE LIXIVIATION (selon norme NF EN 12457-2)		

Refus tamis 4 mm % : 0  
 Nombre de lixiviation réalisées 1  
 Durée lère lixiviation : 24H  
 Caractérisation réalisée sur : le lixiviat obtenu

NF EN ISO 17852 (T 90-139)

Analyses sur le lixiviat en mg/kg de matière sèche du matériau d'origine

Mercurure	:	<0,001
NF EN ISO 17852 (T 90-139)		

Dosage des métaux selon NF EN ISO 11885 (T 90-136) (ICP):

Arsenic	:	0,05
Baryum	:	0,55
Cadmium	:	0,014
Chrome	:	<0,05
Cuivre	:	1,5
Molybdène	:	<0,05
Nickel	:	1,3

LABORATOIRE  
 DE DEVELOPPEMENT  
 ET D'ANALYSES  
 ZOOPOLE  
 PLOUFRAGAN  
 7, rue du sabot  
 BP 54  
 22440 PLOUFRAGAN  
 Tel: 02.96.01.37.22  
 Fax: 02.96.01.37.50  
 Mail: contact@kda22.com

Rapport  
 d'analyses  
 110079448

Plomb  
 Antimoine  
 Selenium  
 Zinc

110079448 / Page 6 / 8  
 <0,05  
 <0,05  
 <0,05  
 3,1

LABORATOIRE  
 DE DEVELOPPEMENT  
 ET D'ANALYSES  
 ZOOPOLE  
 PLOUFRAGAN  
 7, rue du sabot  
 BP 54  
 22440 PLOUFRAGAN  
 Tel: 02.96.01.37.22  
 Fax: 02.96.01.37.50  
 Mail: contact@kda22.com

Rapport  
 d'analyses  
 110079448

## Prélèvement 004 BOUES DE DECANTATION

PEC PAYANTE

Date début d'analyse 24/12/2010

## ANALYSES PHYSIQUES /brut /sec

Humidité ..... % : 71,7  
 Matière sèche ..... % : 28,3  
 par étuvage NF EN 12880

## ELEMENTS TRACES Niveau relatif (Arr. 09/08/2008)

N1	N2	Résultat par kg de MS
Mise en solution des éléments à l'eau régale NF EN 13346		
Arsenic ..... 25.. 50 .....	(As) mg/kg MS :	14
Dosage par ICP NF EN ISO 11885		
Cadmium .... 1,2 .. 2,4 .....	(Cd) mg/kg MS :	2,7
Dosage par ICP NF EN ISO 11885		
Chrom. .... 90 .. 180 .....	(Cr) mg/kg MS :	22
Dosage par ICP NF EN ISO 11885		
Cobalt .....	(Co) mg/kg MS :	2 590
Dosage par ICP NF EN ISO 11885		
Cuivre .... 45 ... 90 .....	(Cu) mg/kg MS :	280
Dosage par ICP NF EN ISO 11885		
Mercure .... 0,4 .. 0,8 .....	(Hg) mg/kg MS :	<0,02
Dosage par fluorescence atomique NF EN ISO 17852 (T 90-139)		
Molybdène .....	(Mo) mg/kg MS :	<0,50
Dosage par ICP NF EN ISO 11885		
Nickel .... 37 .... 74 .....	(Ni) mg/kg MS :	3 870
Dosage par ICP NF EN ISO 11885		
Plomb ..... 100 .. 200 ..	(Pb) mg/kg de MS :	24
Dosage par ICP NF EN ISO 11885		
Sélénium .....	(Se) mg/kg MS :	<3,00
Dosage par ICP NF EN ISO 11885		
Zinc ..... 276 ... 552 .....	(Zn) mg/kg MS :	6 150
Dosage par ICP NF EN ISO 11885		
Antimoine.....	(Sb) mg/kg brut :	<10
Dosage par ICP NF EN ISO 11885		
Baryum.....	(Ba) mg/kg brut :	49
Dosage par ICP NF EN ISO 11885		

TEST DE LIXIVIATION (selon norme NF EN 12457-2)

Refus tamis 4 mm % : 1  
 Nombre de lixiviation réalisées 1  
 Durée 1ère lixiviation : 24H  
 Caractérisation réalisée sur : le lixiviat obtenu

NF EN ISO 17852 (T 90-139)

Analyses sur le lixiviat en mg/kg de matière sèche du matériau d'origine

-----  
 Mercure : <0,001  
 NF EN ISO 17852 (T 90-139)

Dosage des métaux selon NF EN ISO 11885 (T 90-136) (ICP):

Arsenic : <0,05  
 Baryum : <0,05  
 Cadmium : <0,005  
 Chrome : <0,05  
 Cuivre : 0,44  
 Molybdène : <0,05  
 Nickel : 0,31

LABORATOIRE  
 DE DEVELOPPEMENT  
 ET D'ANALYSES  
 ZOOPILOE  
 PLOUFRAGAN  
 7, rue du sabot  
 BP 54  
 22440 PLOUFRAGAN  
 Tél : 02 96 01 37 22  
 Fax : 02 96 01 37 50  
 Mail : contact@lde22.com

Rapport  
 d'analyses  
 110079448

LABORATOIRE  
 DE DEVELOPPEMENT  
 ET D'ANALYSES  
 ZOOPILOE  
 PLOUFRAGAN  
 7, rue du sabot  
 BP 54  
 22440 PLOUFRAGAN  
 Tél : 02 96 01 37 22  
 Fax : 02 96 01 37 50  
 Mail : contact@lde22.com

Rapport  
 d'analyses  
 110079448

Plomb : <0,05  
 Antimoine : <0,05  
 Sélénium : <0,05  
 Zinc : <0,1

Rapport d'analyses conclu le 10/01/2011 à 12H49 par PENNEC Sylvain

Seule l'édition papier originale signée engage la responsabilité du laboratoire

C. PRODHOMME  
PharmacienneC. GICQUEL  
IngénieurS. PENNEC  
Ingénieur


## **Résultats des essais de lixiviation**

---



Agité par le Ministère de la Santé pour le contrôle sanitaire des eaux  
 agréé par le Ministère chargé de l'Énergie (arrêté préfectoral n° 2.8.3.91)  
 Contrôle des Eaux de Surface et des Eaux souterraines

06 33 02 37 80 RD RD / Fax 03 68 97 20 46 - Email : gpi@wanadoo.fr - Adresse : Avenue National

12 147 05 044 (pour info) - 12 147 05 044 (pour info) - 12 147 05 044 (pour info)

**DAMREC**  
 à l'attention de Monsieur SARRAILH  
 Mine de Glomé  
 Guerphalés  
 22110 GLOMEL

**RAPPORT D'ESSAIS**

Nombre d'échantillons ..... 1  
 Référence laboratoire..... 14705/D04-497  
 Date de réception éch..... 24.08.04  
 Nature..... Boue  
 Vos références..... Commentaire 014542 - Boue fosse 1  
 Prélèvement le .....  
 par ..... le client

**ESSAIS DE LIXIVIATION**

Ils ont été réalisés conformément à la norme XP X 31-210 de mai 1986.

**I - ECHANTILLONNAGE AU LABORATOIRE**

Echantillons vos références nos références	Boue fosse 1 14705/D04-497
Poids total de l'échantillon reçu	2930 g
Méthode d'homogénéisation	pas de traitement particulier
Tamissage	4 mm
Refus de tamissage	0 %
Poids de l'échantillon représentatif après division	370 g

Fait à Guédel, le 27 juillet 2004

Cedric GRU  
 ingénieur

**II - LIXIVIATION**

Une prise d'essai de 100 g d'échantillon est mise en contact avec 1000 ml d'eau déminéralisée pendant 24 heures à l'aide d'un agitateur oscillant (60 cps/mn). La séparation liquide/solide a été effectuée par une centrifugation (3000 trs/mn) suivie d'une filtration (filtre de porosité 0.45 µm) permettant d'obtenir le lixiviat.

Les analyses ont été effectuées sur le lixiviat.

**III - METHODE D'ANALYSES**

Les analyses ont été réalisées conformément aux normes :

- Matière sèche : méthode interne.

**IV - RESULTATS**

La matière sèche de l'échantillon est de 1000 g/kg de produit brut.

Paramètres	Méthode	Teneur dans le lixiviat	Teneurs rapportées au produit sec
Antimoine	NF EN ISO 11885	< 5 µg/L	< 50 µg/Kg
Argent	NF EN ISO 11885	< 5 µg/L	< 50 µg/Kg
Arsenic	FD T90-119	9 µg/L	90 µg/Kg
Baryum	NF EN ISO 11885	0,04 mg/L	0,40 mg/Kg
Cadmium	NF EN ISO 11885	< 1 µg/L	< 10 µg/Kg
Chrome	NF EN ISO 11885	< 5 µg/L	< 50 µg/Kg
Cobalt	NF EN ISO 11885	81 µg/L	810 µg/Kg
Cuivre	NF EN ISO 11885	< 0,02 mg/L	< 0,20 mg/Kg
Etain	NF EN ISO 11885	< 100 µg/L	< 1000 µg/Kg
Fer	NF EN ISO 11885	< 10 µg/L	< 100 µg/Kg
Manganèse	NF EN ISO 11885	1671 µg/L	16,7 mg/Kg
Mercurie	NF EN 1493	< 1,0 µg/L	< 10 µg/Kg
Molybdène	NF EN ISO 11885	< 5 µg/L	< 50 µg/Kg
Nickel	NF EN ISO 11885	131 µg/L	1310 µg/Kg
Prométhium	FD T90-119	< 5 µg/L	< 50 µg/Kg
Sélénium	FD T90-119	< 5 µg/L	< 50 µg/Kg
Tellure	Méthode interne	< 50 µg/L	< 500 µg/Kg
Thallium	Méthode interne	< 50 µg/L	< 500 µg/Kg
Vanadium	NF EN ISO 11885	< 5 mg/L	< 50 mg/Kg
Zinc	NF EN ISO 11885	< 0,10 mg/L	< 1,0 mg/Kg
Aluminium	NF EN ISO 11885	0,02 mg/L	0,20 mg/Kg



# flandres-analyses

16, Quai des Marais - B.P. 2158 - 50937 Dunkerque Cedex 1  
 Tél. 03 28 65 80 80 - Fax 03 28 63 91 08 - E-mail : contact@flandres-analyses.fr  
 www.flandres-analyses.fr



Agréé par  
 la Communauté flamande pour les analyses de sols (par 1.2, 3 et 8)  
 le Institut flamand de Normalisation et de Standardisation (INM)  
 et l'Institut de Recherche de la Région wallonne et de la Région de Bruxelles-Capitale  
 pour les analyses d'effluents  
 le Ministère de l'Énergie, de l'Équipement, de l'Énergie et de l'Équipement  
 le Ministère de l'Énergie, de l'Équipement, de l'Énergie et de l'Équipement

V06 Ref :

Le 20/01/2007

Nos Ref. 2007.01.15402

## RAPPORT D'ANALYSES

Date de réception : 16/01/2007 à 08:30

Prélevé par : DAMREC

Observations : ESSAI DE LIXIVIATION SUR 24H

ANALYSE / ECHANTILLON ANALYSE DE BOUES		NORME	BOUE DECANTEUR L1 Du 16/01/2007
pH à 20°C	U pH	NFT 90 008	7,95
T° de mesure de pH	°C		10,8
CONDUCTIVITE	µS/cm	NF EN 27868	172
T° de la mesure de conductivité	°C		18,8
FER (ICP)	%	NF EN ISO 11885	< 0,0002
ALUMINIUM (ICP)	%	NF EN ISO 11885	< 0,0002
CALCIUM	%	NF EN ISO 7390	0,010
SODIUM	%	NFT 90 020	0,002
POTASSIUM	%	NFT 90 020	0,003
MAGNESIUM	%	AA Flamme	0,080
ZINC (ICP)	%	NF EN ISO 11885	0,00008
NICKEL (ICP)	%	NF EN ISO 11885	0,00005
COBALT (ICP)	%	NF EN ISO 11885	0,00004
CUIVRE (ICP)	%	NF EN ISO 11885	0,00001
ESSAI DE LIXIVIATION sur 24h (00)		NF EN 12457-2	220/107

J. BARDEL, PEG

P. SADYS, Chef de laboratoire

**Annexe 3 :Analyse du soufre sous forme de sulfure et caractérisation du  
potentiel acidogène des stériles d'extraction et des résidus de  
traitement du minerai (BRGM et LEM Nancy, 2010)**

---



Inna Laboratoire Environnement et Minéralurgie/LEM UMR 7569	Filippova Rapport d'une étude pour le compte de Damrec	25/02/2011	Version 01 préliminaire
Test de la capacité d'acidification des eaux : Test ABA			

## PROTOCOLE de détermination du potentiel de neutralisation PN

### Réactifs et appareils de laboratoire

#### Réactifs

- Eau distillée ou déminéralisée.
- Acide chlorhydrique (de qualité analytique), **1 mol/l**.
- Hydroxyde de sodium (de qualité analytique), **0,1 mol/l**.

#### Appareils de laboratoire

- Balance analytique (d'une précision de 0,05 g).
- Flacons ou récipients (250 ml) en matériau inerte, tel que verre, polyéthylène haute densité (PEHD) ou polypropylène (PP), munis d'un couvercle en matériau inerte (par exemple PTFE).  
Le rinçage est impératif.
- Matériel de fragmentation, par exemple concasseur à mâchoires, broyeur rotatif, broyeur à boulets ou autre dispositif similaire.
- Agitateur ou agitateur magnétique muni d'un barreau magnétique revêtu de PTFE. Les parties en contact avec la suspension doivent être fabriquées dans des matériaux n'ayant pas d'influence sur le résultat de l'essai, tels que le verre, le PTFE.
- pH-mètre ayant une précision de mesure d'au moins  $\pm 0,05$  unité de pH.
- Diviseurs d'échantillon (par exemple, diviseur rotatif ou répartiteur) ou méthode de quartage.
- Tamis, satisfaisant aux exigences de l'ISO 3310-1, avec une ouverture de maille de 0,125 mm.

#### Échantillon pour essai

Concasser l'échantillon pour laboratoire jusqu'à une taille inférieure à 2 mm en suivant les modes opératoires décrits dans l'EN 15002. Prélever un sous-échantillon dans le matériau concassé, par exemple à l'aide d'un diviseur approprié.

Le sous-échantillon, d'environ 100 g, est ensuite broyé jusqu'à ce que 95 % des particules aient une taille inférieure à 0,125 mm.

Peser une prise d'essai précisément **M<sub>w</sub>** correspondant à 2,00 g  $\pm$  0,10 g de masse sèche (M<sub>d</sub>) dans un récipient ou un flacon d'essai. Enregistrer le poids exact de l'échantillon. (M<sub>d</sub>=2,00 +/- 0,10g).

Inna Laboratoire Environnement et Minéralurgie/LEM UMR 7569	Filippova Rapport d'une étude pour le compte de Damrec	25/02/2011	Version 01 préliminaire
Test de la capacité d'acidification des eaux : Test ABA			

### Mode opératoire d'essai

1. Ajouter 90mL +/- 5mL d'eau déminéralisée, noter **Veau démin**
2. Agiter pendant 15 min +/- 5 min. Maintenir température à 20°C +/- 5°C pendant toute la durée de l'essai.
3. Prendre **pH(t=0) avant addition d'acide**. *Si pH < 2* : cet échantillon ne peut pas être qualifié par cet essai.
4. Ajouter VA, t=0 - volume d'acide ajouté à t=0. Nous avons choisi les trois premières colonnes du tableau ci-dessous car nous ne connaissons pas la teneur en C *inorganique*. Un ajustement sera réalisé à la réception des résultats d'analyse.

**Tableau 1 - Addition of acid based on carbonate rating**

Line number	Carbonate Rating (CR) expressed as CO <sub>3</sub> -C mass fraction (%)	Volume of HCl to be added (ml)
		at t = 0 (VA, t=0)
<b>1</b>	<b>0-0,3</b>	<b>0,5</b>
<b>2</b>	<b>0,3-0,6</b>	<b>1,5</b>
<b>3</b>	<b>0,6-0,9</b>	<b>2,5</b>
4	0,9-1,2	3,5
5	1,2-1,8	5
6	1,8-2,4	7
7	2,4-3,6	10
8	3,6-4,8	14
9	4,8-6	18
10	>6	20

5. Agiter ☺
6. Mesurer **pH(t=22h +/- 15min, avant addition d'acide)**

*Si pH > 2,5* : ajouter acide pour avoir **2 < pH < 2,5**

noter **VA, t=22h** ajouté - volume d'acide ajouté à t=22h

noter **pH (t=22h, après addition d'acide)**

Inna Laboratoire Environnement et Minéralurgie/LEM UMR 7569	Filippova Rapport d'une étude pour le compte de Damrec	25/02/2011	Version 01 préliminaire
Test de la capacité d'acidification des eaux : Test ABA			

**Si pH < 2 : refaire test en remontant d'une ligne dans le tableau 1**

7. Si  $V_{A,t=22h} < 50\% V_{A\ total}$  : poursuivre l'essai ( $V_{A\ total} = V_{A,t=0} + V_{A,t=2h} + V_{A,t=22h}$ )  
Si  $V_{A,t=22h} > 50\% V_{A\ total}$  : **STOP !** Refaire essai avec ( $V_{A,t=0} + V_{A,t=2h}$ ) max <  $V_{A\ total}$  utilisé dans cet essai, dans tableau 1
8. A  $t=24h$  : STOP ! Ajouter eau déminéralisée pour avoir environ **125mL** de volume dans le flacon.
9. Mesurer **pH(t=24h)**. Si  $2 < pH < 2,5$  : titrer la solution avec NaOH à un **pH=8,3** ; noter **VB**  
Si  $pH < 2$  : répéter essai entier en réduisant le volume d'acide  
Si  $pH > 2,5$  : répéter essai entier en augmentant le volume d'acide

**Fiches de résultats**

**Tableau A.1 — fiche de résultats**

**SERIE 1** : Numéro de ligne 1 (tableau 1) qui correspondre au volume de HCL=0,5 ml à  $t=0h$  et de l'indice de teneur en carbonate (CR) exprimé en fraction massique (en%) de  $CO_3-C = 0-0,3$

Paramètre	Unité	Code de l'échantillon								
		F1			Sabes			KERROVE		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
Masse non séchée de la prise d'essai (MW) g		2,08	2,00	2,01	2,05	2,00	2,01	2,07	2,04	2,09
Eau déminéralisée ajoutée	ml	90+3 5	90+3 5	90+3 5	90+3 5	90+3 5	90+3 5	90+3 5	90+3 5	90+3 5
Concentration de HCl	mol/l	1	1	1	1	1	1	1	1	1
pH à $t = 0$ avant addition d'acide		5.732	5.802	5.809	6.915	6.978	6.814	6.155	6.235	6.062
Volume de HCl ajouté à $t = 0$ ( $V_{A,t=0}$ )	ml	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
pH à $t = 22$ h avant addition d'acide		2,791	2,764	2,786	2,795	2,784	2,788	2,893	2,893	2,894
Volume de HCl ajouté à $t = 22$ h ( $V_{A,t=22h}$ )	ml	0,25	0,3	0,35	0,3	0,25	0,4	0,5	0,3	0,4

Inna Laboratoire Environnement et Minéralurgie/LEM UMR 7569	Filippova Rapport d'une étude pour le compte de Damrec	25/02/2011	Version 01 préliminaire
Test de la capacité d'acidification des eaux : Test ABA			

pH à t = 22 h après addition d'acide		2,339	2,277	2,24	2,302	2,366	2,214	2,189	2,348	2,271
Volume total de HCl ajouté (VA)	ml	0,75	0,8	0,85	0,8	0,75	0,9	1	0,8	0,9
pH à t = 24 h après addition d'acide		2,525	2,47	2,437	2,386	2,54	2,485	2,527	2,597	2,424
	Essai a été refusé : pH limite $\geq 2,5$ à t=24h <i>Si pH &gt; 2,5</i> : répéter essai entier en augmentant le volume d'acide									
Volume de NaOH (0,1 mol/l) utilisé dans le titrage (VB)	ml		7,95	8,4	8,95		8,35			8,4
NPR=NP/AP (H+, mol/kg)			0,01	0,01	-0,07		0,05			0,04
	NPR < 1 $\Rightarrow$ <b>générateur d'acide</b>									
NNP=NP-AP (CaCO3,kg/t)			-20,87	-20,75	-37,33		-33,38			-39,06
	Non générateur d'acide: NNP (CaCO3)>20 Zone grise : -20 kg < NNP (CaCO3/t) < 20 kg <b>Générateur d'acide NNP (CaCO3/t) &lt; -20 kg</b>									

Inna Laboratoire Environnement et Minéralurgie/LEM UMR 7569	Filippova Rapport d'une étude pour le compte de Damrec	25/02/2011	Version 01 préliminaire
Test de la capacité d'acidification des eaux : Test ABA			

**Tableau A.2 — fiche de résultats**

**SERIE II** : Numéro de ligne 2 (tableau 1) qui correspondre au volume de HCL=1,5 ml à t=0h et de l'indice de teneur en carbonate (CR) exprimé en fraction massique (en%) de CO<sub>3</sub>-C = 0,3-0,6

Paramètre	Unité	Code de l'échantillon								
		F1			Sabes			KERROVE		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
Masse non séchée de la prise d'essai	(MW) g	2,03	2,01	2,01	2,03	2,02	2,05	2,09	2,02	2,09
Eau déminéralisée ajoutée	ml	90+3 5	90+3 5	90+3 5	90+3 5	90+3 5	90+3 5	90+3 5	90+3 5	90+3 5
Concentration de HCl	mol/l	1	1	1	1	1	1	1	1	1
pH à t = 0 avant addition d'acide		5.802	5.821	5.831	6.723	6.976	6.967	6.26	6.164	6.208
Volume de HCl ajouté à t = 0 (VA, t=0)	ml	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
pH à t = 22 h avant addition d'acide		2,052	2,022	2,073	2,066	2,018	2,033	2,087	2,063	2,072
Volume de HCl ajouté à t = 22 h (VA, t=22h)	ml	0	0	0	0	0	0	0	0	0
pH à t = 22 h après addition d'acide		2,052	2,022	2,073	2,066	2,018	2,033	2,087	2,063	2,072
Volume total de HCl ajouté (VA)	ml	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
pH à t = 24 h après addition d'acide		2,191	2,243	2,23	2,255	2,187	2,189	2,243	2,182	2,226
		<b><i>Si 2 &lt; pH &lt; 2,5</i></b> : titrer la solution avec NaOH à un <b>pH=8,3</b>								
Volume de NaOH (0,1 mol/l) utilisé dans le titrage (VB)	ml	13,55	13,00	13,55	13,00	13,99	13,55	13,15	13,40	13,40
NPR=NP/AP (H+, mol/kg)		0,17	0,24	0,17	0,14	0,07	0,10	0,11	0,10	0,09
		NPR < 1 ⇒ <b>générateur d'acide</b>								
NNP=NP-AP (CaCO <sub>3</sub> ,kg/t)		-17,42	-16,01	-17,38	-30,06	-32,49	-31,45	-36,06	-36,53	-36,66

Inna Laboratoire Environnement et Minéralurgie/LEM UMR 7569	Filippova Rapport d'une étude pour le compte de Damrec	25/02/2011	Version 01 préliminaire
Test de la capacité d'acidification des eaux : Test ABA			

		Non générateur d'acide: NNP (CaCO <sub>3</sub> /t)>20 Zone grise : -20 kg<NNP (CaCO <sub>3</sub> /t) <20 kg <b>Générateur d'acide NNP (CaCO<sub>3</sub>/t) &lt; -20 kg</b>
--	--	--

**Tableau A.3 —fiche de résultats**

**SERIE III** : Numéro de ligne 3 (tableau 1) qui corresponde au volume de HCL=2,5 ml à t=0 h et de l'indice de teneur en carbonate (CR) exprimé en fraction massique (en%) de CO<sub>3</sub>-C = 0,6-0,9

Paramètre	Unité	Code de l'échantillon								
		F1			Sabès			KERROVE		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
Masse non séchée de la prise d'essai	(MW) g	2	2	2,04	2,05	2,01	2	2,01	2,06	2,08
Eau déminéralisée ajoutée	ml	90+3 5	90+3 5	90+3 5	90+3 5	90+3 5	90+3 5	90+3 5	90+3 5	90+3 5
Concentration de HCl	mol/l	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
pH à t = 0 avant addition d'acide		5.667	5.765	5.825	6.872	6.899	7.043	6.047	6.181	6.045
Volume de HCl ajouté à t = 0 (VA,t=0)	ml	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
pH à t = 22 h avant addition d'acide		<b>1,713</b>	<b>1,534</b>	<b>1,683</b>	<b>1,56</b>	<b>1,718</b>	<b>1,56</b>	<b>1,738</b>	<b>1,725</b>	<b>1,545</b>
Volume de HCl ajouté à t = 22 h (VA, t=22h)	ml	<b>Essai a été refusé : pH&lt;2 à t=22h</b> <u>Si pH&lt;2</u> : refaire test en remontant d'une ligne dans le tableau 1								

**Tableau A.4 - Analyse chimique**

Inna Filippova Laboratoire Environnement et Minéralurgie/LEM UMR 7569	Rapport d'une étude pour le compte de Damrec	25/02/2011	Version 01 préliminaire
Test de la capacité d'acidification des eaux : Test ABA			

Échantillon pour essai	S tot %	S de SO <sub>4</sub> %	C tot %	C organique %	PA=31,25*w(S)
<b>F1</b>	0,67	0,09	3,4		<b>20,9</b>
<b>SABES</b>	1,12	0,05	3,76		<b>35,0</b>
<b>KERROUE</b>	1,29	0,08	3,31		<b>40,3</b>

Tableau A.5 – Détermination d'AP

n° échantillon	w(S)	AP=0,625*w(S)	AP=31,25*w(S)	%FeS2
	(S total, %)	(H+, mol/kg)	(CaCO3, kg/t)	%FeS2=(Mfes2/(2*Ms))*%Stot
<b>F1</b>	<b>0,67</b>	0,42	20,94	1,25
<b>SABES</b>	<b>1,12</b>	0,70	35,00	2,10
<b>KERROUE</b>	<b>1,29</b>	0,81	40,31	2,41

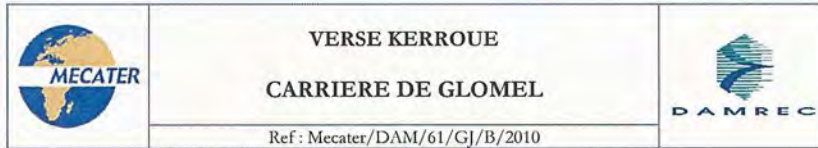
Inna V. Filippova

Ph.D , Docteur de l'INPL

## **Annexe 4 : Etude géotechnique du projet d'extension de la Verse de Kerroué (MECATER, 2011)**

---





**JUSTIFICATIONS GEOTECHNIQUES RELATIVES AU  
PROJET D'EXTENSION ET DE REHAUSSE DE LA VERSE  
KERROUE**

Indice	Date	Rédigé par	Vérifié par	Approuvé par
A	5/01/2011	G. JAMELEDDINE	F. HADJ HASSEN Conseiller scientifique	S. ENNOUR
B	7/01/2011	G. JAMELEDDINE	F. HADJ HASSEN Conseiller scientifique	S. ENNOUR

**SOMMAIRE**

1.	CONTEXTE ET OBJET .....	1
2.	PRESENTATION DES CARACTERISTIQUES DU SITE.....	3
2.1.	DESCRIPTION DE LA VERSE EXISTANTE.....	3
2.2.	DESCRIPTION SOMMAIRE DU PROJET D'EXTENSION ET DE REHAUSSE DE LA VERSE.....	4
2.3.	CONTEXTE GEOLOGIQUE ET STRUCTURAL.....	5
2.4.	CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE DE LA ZONE DU PROJET.....	6
2.5.	CONTEXTE HYDROLOGIQUE DE LA ZONE DU PROJET.....	6
2.6.	CONTEXTE GEOTECHNIQUE.....	11
3.	ANALYSE DE LA STABILITE DE LA VERSE APRES SA REHAUSSE.....	12
4.	JUSTIFICATION DU DISPOSITIF DE DRAINAGE .....	14
4.1.	PRINCIPE DE DRAINAGE DE LA VERSE.....	14
4.2.	PRESENTATION DU DISPOSITIF DE DRAINAGE.....	14
5.	CONSTRUCTION DE LA VERSE.....	20
6.	CONTROLE ET SURVEILLANCE DE LA VERSE.....	21
7.	CONCLUSION .....	22

**LISTE DES FIGURES**

Figure 1 :	Plan de localisation de la verse Kerroué .....	2
Figure 2 :	Extrait de la carte géologique de ROSTRENEN .....	8
Figure 3 :	Réseau hydrographique au droit du site (Source : Etude d'impact sur l'environnement, Géoarmor environnement).....	9
Figure 4 :	Direction des écoulements des eaux souterraines (Source : Etude hydrogéologique, Géoarmor environnement) .....	10
Figure 5 :	Coupe type du dispositif de collecte des eaux de résurgences .....	15
Figure 6 :	Coupe type de la tranchée drainante .....	15
Figure 7 :	Coupe type du drain .....	16
Figure 8 :	Principe de drainage de la verse par la mèche en entochements.....	17
Figure 9 :	Coupe type du système de drainage de la verse .....	18
Figure 10 :	Coupe type du fossé extérieur de collecte .....	19
Figure 11 :	Schéma conceptuel pour la construction d'un niveau de 9 m.....	20
Figure 12 :	Schéma conceptuel du talus définitif de la verse .....	21

## LISTE DES TABLEAUX

---

Tableau 1 : Caractéristiques géotechniques de référence des matériaux constituant la verse et son assise	11
Tableau 2 : Calcul de stabilité	13

## 1. CONTEXTE ET OBJET

La société DAMREC exploite un gisement de schistes à andalousite sur le site de Guerphalès à Glomel et y traite le minerai pour élaborer un concentré d'andalousite destiné à l'industrie.

L'extraction de l'andalousite génère des stériles miniers composés d'un mélange de terre sableuse et de blocs de dimensions variables pouvant dépasser le mètre. Ces produits sont stockés dans la verse Kerroué.

Afin de poursuivre l'exploitation du gisement après 2016, la société envisage d'augmenter la capacité de stockage de la verse Kerroué.

Pour ce faire un projet d'extension et de rehausse de la verse actuelle a été élaboré par l'exploitant.

La société DAMREC a mandaté le bureau d'études MECATER pour fournir les justifications géotechniques et hydrauliques du projet de rehausse et d'extension de la verse.

Ce rapport présente l'étude effectuée pour traiter les différents aspects liés à ce projet. On y trouvera en particulier :

- La stabilité mécanique de la verse.
- Le dispositif de drainage et de mise hors d'eau.
- Les règles constructives.

En guise de lancement de cette étude, une visite du site a eu lieu le 7 septembre 2010 pour acquérir les informations nécessaires, observer l'état de la verse et discuter avec l'exploitant du projet de rehausse et d'extension. Le compte-rendu de cette visite est fourni par l'annexe 1.

## 2. PRESENTATION DES CARACTERISTIQUES DU SITE

### 2.1. Description de la verse existante

Le gisement d'andalousite de DAMREC est situé au Nord-Est de la France près de la ville de Glomel.

L'extraction de l'andalousite génère trois types de rejets qui sont stockés en site :

- Les stériles miniers composés d'un mélange de terre sableuse et de blocs de dimensions variables pouvant dépasser le mètre. Ces produits sont stockés dans la verse Kerroué, objet de cette étude.
- Les rejets sableux de laverie, composés de sable fin assez propre. Ces produits sont stockés dans la verse Sabes.
- Les rejets fins de laverie, composés de limon et d'argile peu plastique "PS". Ils sont stockés par procédé hydraulique derrière une digue ou dans l'ancienne fosse. (Carrière 1)

La verse Kerroué est en cours de construction. Elle est conçue pour le stockage des stériles provenant des carrières II et III.

La plateforme ultime de la verse projetée initialement est limitée à la cote 285 NGF. Actuellement, la verse couvre une superficie proche de 18 ha et sa plateforme sommitale se situe à la cote 260 NGF dans la partie Nord et remonte à la cote 275 NGF dans la partie Sud, soit 10 m en dessous de la cote ultime autorisée.

La verse existante présente deux flancs libres :

- Talus Ouest

Il s'élève du pied, situé à la cote 245 m, jusqu'à la crête, située à la cote 275 m, et présente ainsi une hauteur totale de 30 m avec une pente intégratrice proche de 27°.

- Talus Est

Ce flanc s'étend sur une largeur de 400 m et présente une pente maximale de 26° sur une hauteur de 12 m.

La construction de la verse a été réalisée par l'exploitant par couches de 10 m de hauteur. Elle comprend les aménagements suivants :



Figure 1 : Plan de localisation de la verse Kerroué et des principaux ouvrages du site

Justifications géotechniques relatives au projet d'extension et de rehausse de la verse Kerroué

- Un dispositif de drainage de l'assise de la verse (sous forme de tranchées drainantes) permettant la collecte des eaux propres provenant des résurgences naturelles.
- Un réseau de tranchées busées sous la verse permettant de collecter les eaux provenant de l'amont de la verse ainsi que les eaux de ruissellement au-dessus de la verse (plateforme sommitale) et les achemine vers le circuit de traitement des eaux polluées situé à l'aval de la verse.
- Un dispositif d'étanchéité à la base de la verse (couche "PS") assurant une étanchéité qui protégerait la nappe contre les eaux d'infiltration polluées provenant du stérile stocké dans la verse.
- Un tapis drainant au niveau des dépressions. Il permet d'éviter les montées de pression d'eau au pied de la verse.

## 2.2. Description sommaire du projet d'extension et de rehausse de la verse

Pour la poursuite du stockage des stériles de carrières, l'exploitant envisage d'étendre la verse actuelle vers le Sud en direction de Kergroaz et de la rehausser jusqu'à la cote 300 NGF, soit 15 m supplémentaire par rapport à la cote déjà autorisée. (Cf. Planche 1 de l'annexe 3).

L'emprise de l'extension couvre une superficie proche de 6.2 ha et se situe entre les cotes 231 et 244 NGF.

La rehausse de la cote 285 à la cote 300 et l'extension vers le Sud permettent de créer une capacité supplémentaire de stockage de 4.4 millions de m<sup>3</sup>.

La plateforme sommitale ultime atteindra la cote 300 NGF dans la partie Nord et la cote 279 NGF à l'extrémité Sud de la verse.

En phase ultime, la verse aura 4 talus libres :

- Talus Est au niveau de la zone d'extension

Le pied du talus de la verse est ancré à la cote 231 NGF. La zone d'ancrage du pied de la verse est relativement plane. La pente générale de l'assise est orientée vers le Sud Ouest. Elle est inférieure à 10 %.

Le talus de la verse remontera jusqu'à la plateforme sommitale ultime fixée à la cote 283 NGF, soit une hauteur maximale de 52 m.

La pente maximale du talus de la verse sera de 25° (Cf. Coupes N°1 et 2, Planches 2 et 3 de l'annexe 3).

- Talus Est au niveau de la zone de rehausse

Le talus présentera une hauteur maximale de 58 m, soit de la cote 300 m à la cote 242 m avec une pente intégratrice limitée à 22°.

Le talus est traversé par une piste d'accès frontale partant de la cote 257 et arrivant jusqu'à la cote 291 NGF (Cf. Coupe N°3, Planches 2 et 3 de l'annexe 3).

- Talus Nord Est

Le talus est ancré à la cote 259 NGF et remontera jusqu'à la plateforme sommitale ultime fixée à la cote 300 NGF, soit une hauteur maximale de 41 m. Sa pente sera limitée à 27° (Cf. Coupe N°4, Planches 2 et 3 de l'annexe 3).

- Talus Ouest

Ce flanc présente une pente intégratrice de 25° sur une hauteur de 37,5 m. Le pied du talus est ancré à la cote 262.5 NGF et sa crête ultime sera située à la cote 300 NGF (Cf. Coupe N°5, Planches 2 et 3 de l'annexe 3).

## 2.3. Contexte géologique et structural

Le gisement de Glomel s'insère dans le domaine Centre Armoricaire sur le flanc Nord des Montagnes Noires, en bordure du bassin de Châteaulin. Il s'agit d'un bassin sédimentaire d'âge carbonifère, limité au Nord par les Monts d'Arrée et au Sud par les Montagnes Noires.

Le profil du gisement comporte deux niveaux :

- Niveau 1 : Ce niveau de surface est composé d'une couche de moins d'un mètre de terre végétale argileuse et d'une couche faisant un à deux mètres de schiste altéré avec des blocs durs de schiste flottant dans une masse terreuse. Ce niveau constitue le recouvrement du gisement.
- Niveau 2 : Le gisement, constitué de schiste massif sur plus de 100 m d'épaisseur et comportant de l'andalousite sous forme de paillettes. Ce niveau est constitué de roche relativement tendre dans sa partie supérieure devenant très résistante dans sa partie inférieure.

Les structures géologiques affectant le gisement s'organisent selon trois directions majeures :

- Nord-Sud : Correspondant au cisaillement dextre des Montagnes Noires.
- N 40 à 45 : Correspondant au cisaillement Sud Armoricaïn.
- Est-Ouest : présente plutôt en micro- structurale par des fissures et des diaclases.

Ces structures présentent des pendages sub-verticaux, sauf pour la direction Est-Ouest qui peut avoir des pendages faibles.

#### 2.4. Contexte hydrogéologique de la zone du projet

Le gisement comporte une nappe perchée avec un écoulement préférentiel dans le réseau de fracturation. Initialement, les écoulements souterrains suivent globalement le pendage de la surface topographique.

Suite au pompage d'exhaure et aux travaux d'extraction de minerai, la circulation des eaux souterraines a été fortement modifiée. En effet, la fosse N°2 présente une dépression hydraulique qui collecte les eaux provenant du Nord du site.

Au niveau de la verse Kerroué, une crête piézométrique a été observée lors de l'étiage de 2008. Cette crête traverse la totalité du site de part en part.

Les essais de pompages réalisés montrent que la transmissivité varie entre  $1.75 \cdot 10^{-4}$  à  $4 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ . Cette grande variation est liée à priori au degré de fracturation de la roche ainsi qu'à l'état de ses fractures.

#### 2.5. Contexte hydrologique de la zone du projet

Le site de la verse Kerroué se trouve à la limite du bassin versant du ruisseau du Kerjean (affluent du Blavet) et du ruisseau de Crazius (affluent de l'Ellé). En effet, la partie Nord de la verse se trouve dans le ruisseau du Kerjean alors que l'extension de la verse se trouvera dans le ruisseau de Crazius.

Avant les travaux d'aménagement, les eaux de l'emprise de la verse étaient drainées par le ruisseau de Kergroas (affluent du ruisseau de Crazius).

Actuellement, toutes les eaux de la verse sont drainées artificiellement. En effet, les eaux sont récupérées dans un bassin puis envoyées par une canalisation vers le secteur de l'usine où elles sont traitées.

Le site de la verse actuelle ainsi que celui de l'extension sont mis hors d'eau par un fossé extérieur de collecte des eaux de ruissellement. Ainsi, le bassin versant de la verse se limite à son impluvium soit 6,2 ha.

En adoptant un débit spécifique décennal de  $15 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ , le débit de crue décennal collectée au niveau du point bas de la verse serait proche de  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  (soit  $15 * 0.062 \text{ Km}^2$ ).

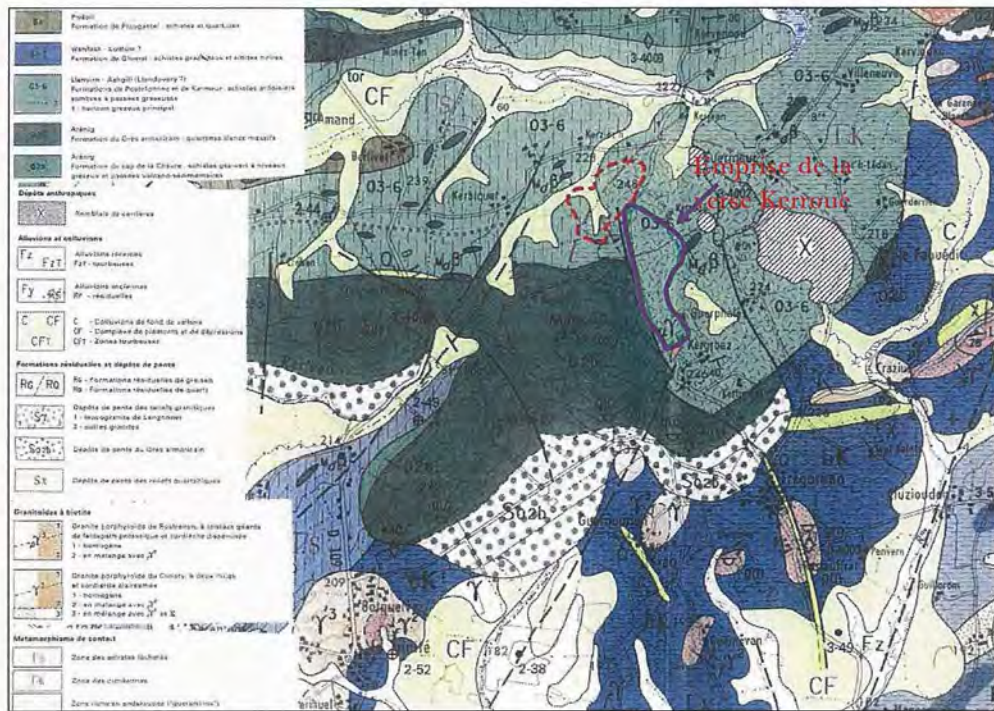


Figure 2: Extrait de la carte géologique de Rostrenen

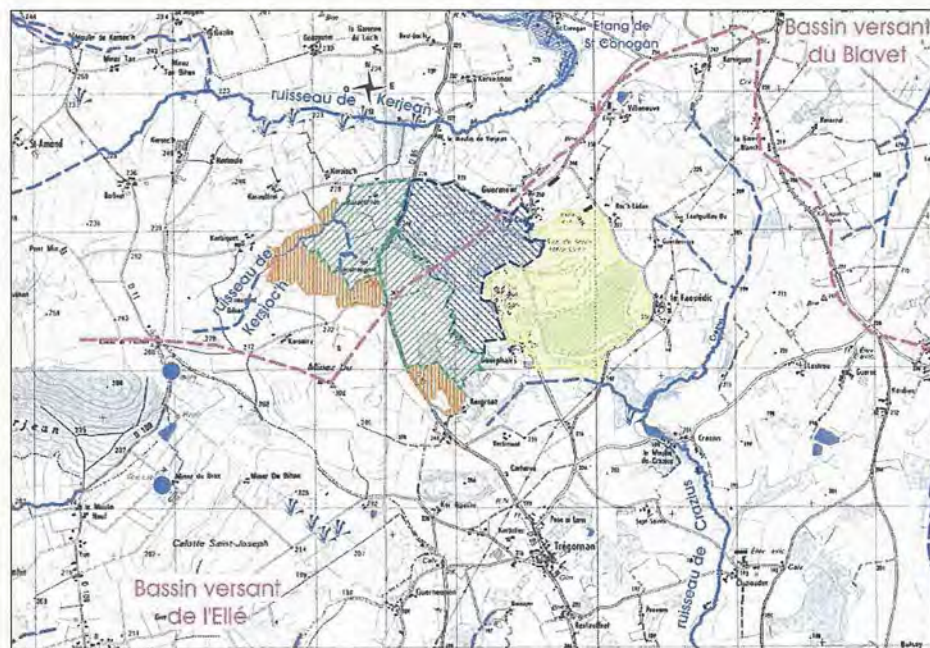


Figure 3 : Réseau hydrographique au droit du site (Source : Etude d'impact sur l'environnement, Géomorpho environnement)



## 2.6. Contexte géotechnique

Les essais d'identification réalisés par ANTEA sur les rejets de laverie appelée "PS" montrent que ce produit est composé de limon et d'argile peu plastique. Il se caractérise par une faible perméabilité ( $10^{-9}$  m/s) et une compressibilité moyenne.

Les essais triaxiaux, réalisés sur ce même produit ont donné une cohésion drainée de l'ordre de 10 KPa et un angle de frottement de  $29^\circ$  (référence : ANTEA STOP010108).

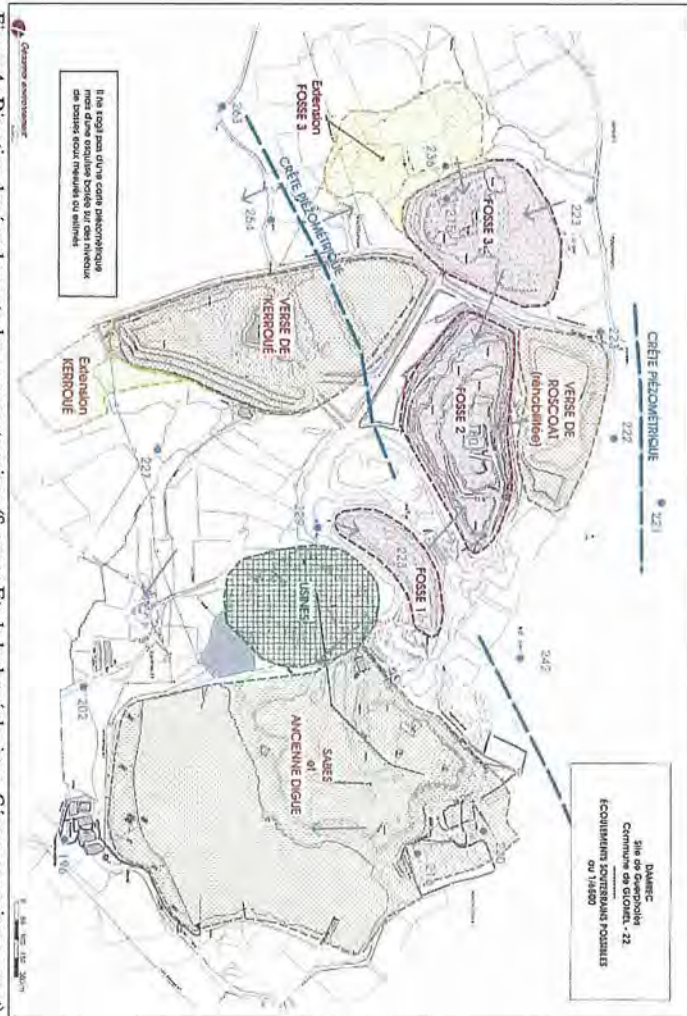
Les produits stériles sont constitués d'un mélange de blocs de schistes de dimensions centimétriques à métriques et de matériau sableux limoneux comportant une faible proportion d'éléments argileux.

Ces produits sont caractérisés par une faible sensibilité à l'eau et une bonne résistance mécanique. En effet, la cohésion drainée est de l'ordre de 10 KPa pour un angle de frottement de  $35^\circ$ .

En ce qui concerne les schistes altérés, son niveau d'altération nous a amenés à lui affecter des faibles propriétés mécaniques. Le tableau N°1 résume les principaux paramètres retenus pour caractériser les matériaux constituant la verse et son assise.

Tableau 1 : Caractéristiques géotechniques de référence des matériaux constituant la verse et son assise

Matériau	Description	Poids volumique saturé (KN/m <sup>3</sup> )	Cohésion (KPa)	Angle de frottement (°)
Stérile	mélange de blocs de schistes et de matériaux sableux limoneux	20	10	35
Couche PS	limon et argile peu plastique	18	10	29
Schiste altéré	Schiste altéré avec des blocs durs flottant dans une masse terreuse	22	20	20
Substratum	Terrain Sain	25	100	45



Justifications géotechniques relatives au projet d'extension et de rehausse de la versée Kerroué

### 3. ANALYSE DE LA STABILITE DE LA VERSE APRES SA REHAUSSE

Les calculs du coefficient de sécurité vis-à-vis du glissement ont été réalisés moyennant le code de calcul TALREN.

Le logiciel TALREN utilise la méthode de calcul d'équilibre limite (méthode des tranches verticales selon les hypothèses de BISHOP simplifiées) pour évaluer le facteur de sécurité le long d'une surface de glissement circulaire. Ce logiciel est couramment utilisé dans l'analyse de la stabilité des talus et a fait ses preuves sur de nombreux exemples.

L'étude a été réalisée sur cinq coupes représentant les configurations extrêmes des talus de la verse.

Étant donné que la stabilité de la verse est souvent très sensible aux conditions de drainage interne, nous avons étudié les deux scénarii de drainage suivants :

- **Drainage normal** : les pressions interstitielles sont en permanence nulles.
- **Drainage insuffisant** : la ligne de saturation remonte 5 m au dessus du pied de la verse et 10 m au dessus du terrain naturel à l'aplomb de la crête du talus de la verse.

Compte tenu du contexte géotechnique du site, trois mécanismes de ruptures peuvent affecter la verse :

- Une rupture intrinsèque qui se manifeste par la formation d'une loupe de glissement dans la verse, sans affecter l'assise.
- Une rupture par glissement de la verse sur la couche de PS.
- Une rupture par glissement profond dans l'assise, la surface de glissement affecte les terrains situés entre la verse est le substratum rigide.

Les valeurs du facteur de sécurité relatives aux différentes coupes et aux différentes conditions de drainage sont présentées dans le tableau N°2. On trouvera dans l'annexe 2 les illustrations graphiques de tous les calculs effectués (Figures 1 à 30).

Tableau 2 : Calcul de stabilité

Coupe	Rupture	Bon drainage	Mauvais drainage
Coupe 1	Intrinsèque	1.95	1.77
	PS	1.92	1.69
	Profond	1.87	1.63
Coupe 2	Intrinsèque	1.96	1.7
	PS	1.93	1.7
	Profond	1.7	1.44
Coupe 3	Intrinsèque	1.91	1.74
	PS	1.88	1.57
	Profond	1.82	1.43
Coupe 4	Intrinsèque	1.67	1.54
	PS	1.67	1.52
	Profond	<b>1.57</b>	<b>1.36</b>
Coupe 5	Intrinsèque	1.83	1.71
	PS	1.81	1.65
	Profond	1.73	1.49

Les calculs de stabilité montrent que le cercle de glissement le plus critique passe à mi-profondeur du schiste altéré et englobe l'ensemble du talus de la verse.

Le coefficient de sécurité minimum obtenu en cas de drainage parfait est de 1,57. Cette valeur permet de garantir la stabilité de la verse à long terme (Cf. Figure N°21, annexe 2).

Par les mêmes calculs, nous démontrons qu'en cas de remontée accidentelle du niveau de la nappe dans la verse, le coefficient de sécurité reste supérieur à 1,3 (Cf. Figure N°24, annexe 2).

Nous tenons à rappeler qu'en conditions minières normales, la stabilité d'un ouvrage est assurée lorsque le coefficient de sécurité est supérieur à 1,3. Ce seuil de stabilité peut être ramené à 1,1 pour rendre compte de conditions exceptionnelles telles que l'occurrence d'événements sismiques.

Ainsi, nous estimons que le potentiel de stabilité de la verse Kerroué est satisfaisant même en cas de montée accidentelle du niveau hydrostatique dans la verse.



## 4. JUSTIFICATION DU DISPOSITIF DE DRAINAGE

### 4.1. Principe de drainage de la verse

La gestion des eaux de ruissellement se fera en deux phases :

- Du démarrage du stockage dans la zone d'extension et jusqu'à atteindre la piste située en amont de la verse : les eaux provenant de la plateforme sommitale et du bassin versant résiduel seront envoyées vers une mèche enterrée située sous la verse. Pour garantir un drainage efficace, la plateforme devra être lissée et nivelée avec une pente de 4% vers l'entrée de la mèche.
- Au-delà de la cote de la piste amont : la gestion des eaux se fera en surface. Ainsi, la plateforme sommitale sera inclinée vers la piste d'accès qui sera aménagée sur le flanc de la verse. Les eaux collectées seront acheminées vers le bassin de stockage situé au pied de la verse.

Le dispositif de drainage de la verse doit permettre de collecter :

- Les eaux provenant des résurgences naturelles
- Les eaux provenant de l'amont de la verse
- Les eaux de ruissellement sur la plateforme sommitale
- Les eaux d'infiltration dans la verse

### 4.2. Présentation du dispositif de drainage

Le dispositif de drainage de la verse est composé des aménagements suivants :

#### 4.2.1. Tranchée drainante et drains creusés dans l'assise de la verse

Afin de collecter les eaux propres provenant des résurgences naturelles, une tranchée faisant 2 m de largeur sur 1 m de profondeur sera creusée dans l'assise à l'aplomb de la crête du talus Est de la zone d'extension. Cette tranchée s'étendra du pied du talus Sud actuelle de la verse jusqu'au pied du talus Sud ultime de la verse.

Cette tranchée sera remplie de ballast et entourée par du géotextile.

Afin d'évacuer les eaux collectées par cette tranchée, 4 drains espacés de 75 m seront aménagés à partir de la tranchée drainante et déboucheront au pied de la verse. Ces drains seront creusés dans l'assise perpendiculairement au flanc du talus de la verse et auront une section de 1 m<sup>2</sup>.

La tranchée drainante ainsi que les drains seront placés sous la couche d'étanchéité.



Les schémas de principe de la tranchée drainante et des drains sont présentés dans les figures 5,6 et 7 et la planche 4 de l'annexe 3.

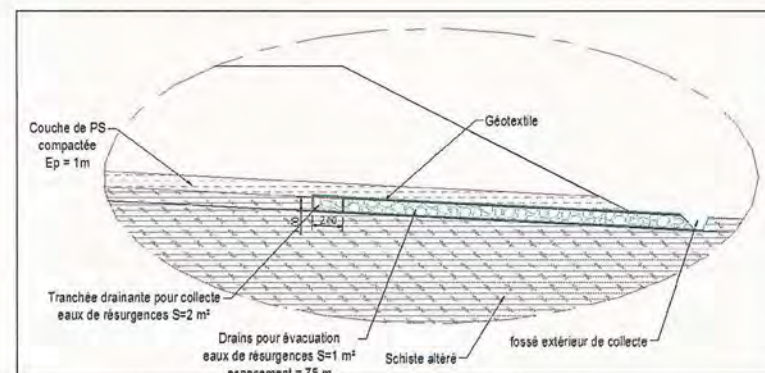


Figure 5 : Coupe type du dispositif de collecte des eaux de résurgences

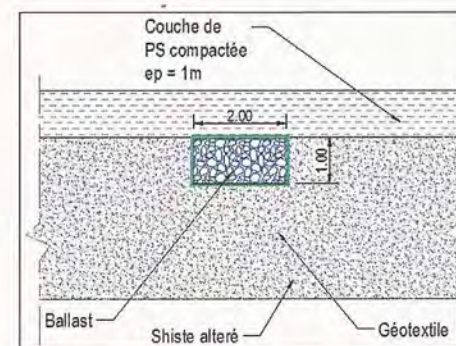


Figure 6 : Coupe type de la tranchée drainante



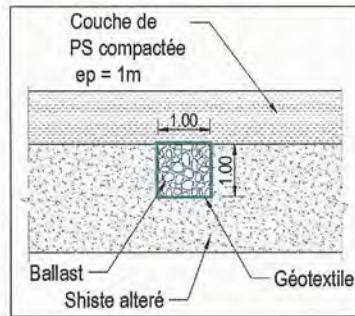


Figure 7 : Coupe type du drain

#### 4.2.2. Mèche

Au cours de construction de la verse, les eaux provenant de l'amont de la verse ainsi que les eaux de ruissellement sur la plateforme sommitale seront envoyées dans une mèche en enrochement aménagée sur la couche de PS.

Les eaux collectées par cette mèche seront envoyées dans le bassin situé à l'aval de la verse.

Ainsi, la plateforme sommitale de la verse devra être inclinée à 4% vers l'entrée de la mèche (Cf. Figure 8 et Planche 5 de l'annexe 3).

Une fois la plateforme sommitale de la verse atteint la cote moyenne 255 NGF, l'entrée de cette mèche sera mise hors d'eau et son rôle se limitera à la collecte et à l'évacuation des eaux d'infiltration dans la verse.

Au delà de la cote 255 NGF, la gestion des eaux de ruissellement sur la plateforme sommitale se fera en surface moyennant la piste d'accès frontale.

En appliquant la formule de Stephenson « 1979 », la section minimale S de la mèche est égale à :

$$S \geq Q \left( \frac{K_{st}}{gdn^2} \right)^{\frac{1}{2}} i^{-\frac{1}{2}}$$

Avec :

$$K_{st} : \text{Coefficient de Stephenson} : K_{st} = \frac{800}{R_x} + K,$$

$R_x$  : nombre de Reynolds

$K$  : paramètre représentant l'angularité de l'enrochement ( $K = 4$ )



$g$  : Constante gravitationnelle ( $m/s^2$ )

$d$  : diamètre moyen des blocs ( $=0,3m$ )

$n$  : Porosité de l'enrochement ( $=0,3$ )

$i$  : gradient hydraulique =  $Dh/Dx$  avec  $b$  est la charge hydraulique dans le cas d'un écoulement uniforme et à surface libre, le gradient hydraulique est proche de la pente de la mèche.

Le débit de crue de récurrence décennal qui sera envoyé dans la mèche est proche de  $1 m^3/s$  (Cf. paragraphe 2.3).

En admettant une pente moyenne du terrain naturel proche de 5%, la section de la mèche sera égale à  $20 m^2$  soit une largeur de 10 m sur une épaisseur de 2 m.

La mèche doit être constituée de blocs (200 à 400 mm) sur 2 m d'épaisseur et entourée par du géotextile.

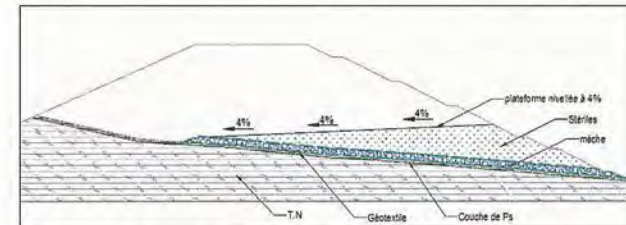


Figure 8 : Principe de drainage de la verse par la mèche en enrochements

#### 4.2.3. Drains de collecte des eaux d'infiltration

La présence de la couche d'étanchéité entrainera une accumulation des eaux d'infiltration à la base de la verse. Afin d'évacuer ces eaux, 6 drains en enrochements seront aménagés tous les 50 m.

Ces drains auront une section de  $1m^2$  et seront posés au dessus de la couche du PS (Cf. Figure 9).

#### 4.2.4. Masque drainant en enrochements

Un masque en enrochements sera posé sur le talus de verse et remontera jusqu'à 3 m au dessus du pied de la verse. Ce masque sera composé d'enrochements sur 1 m d'épaisseur et posé sur du géotextile. Son rôle sera, d'une part, d'empêcher le fluage de la couche de PS et, d'autre part, de confiner la zone de suintement au-dessus du pied de la verse en cas de dysfonctionnement du dispositif de drainage interne.



L'existence du géotextile derrière le masque drainant, empêchera l'érosion régressive sur le talus.

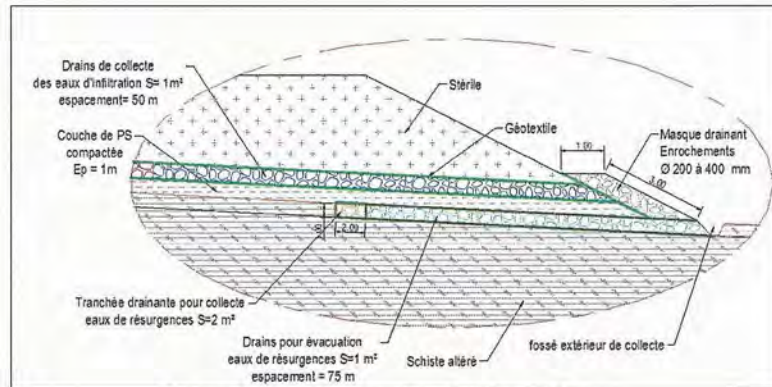


Figure 9 : Coupe type du système de drainage de la versé

#### 4.2.5. Fossé extérieur de collecte

Un fossé extérieur de collecte sera creusé autour de l'emprise étendue de la versé.

Son rôle sera d'éviter le ruissellement des eaux extérieures aux aires de stockage de stériles sur le site lui-même.

Ce fossé sera dimensionné pour capter les ruissellements consécutifs à un événement pluvieux de fréquence décennale.

La superficie du bassin versant contrôlé par le fossé avoisine 1 ha.

En adoptant un débit spécifique décennal de  $15 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ , le débit de crue décennal collecté à l'extrémité du fossé serait proche de  $0.15 \text{ m}^3/\text{s}$  (soit  $15 * 0.01 \text{ km}^2$ ).

Ainsi, le fossé fera 0.5 m de largeur à la base sur 1 m de profondeur (Cf. Figure 10). La vitesse d'écoulement serait inférieure à 1 m/s.

Ce fossé débouchera dans le bassin de stockage aménagé au pied de la versé.

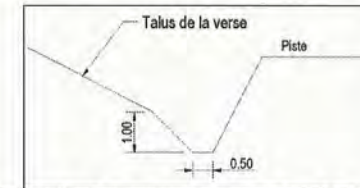


Figure 10 : Coupe type du fossé extérieur de collecte

#### 4.2.6. Bassin de stockage

Un bassin de stockage sera construit au pied de la versé. Cet ouvrage assurera la décantation des eaux de ruissellement intérieures aux aires de stockage de stériles, avant rejet dans le milieu naturel.

La capacité théorique du bassin de stockage est déterminée en calculant le volume d'eau généré par une crue de récurrence biennale et d'une durée d'une heure. En utilisant la méthode de l'hydrogramme triangulaire, ce volume est déterminé par la formule suivante :

$$V = 18 \times Q_2 \times S \times T$$

Avec:

- $V$  : Volume du bassin de stockage ( $\text{m}^3$ )
- $Q_2$  : débit spécifique biennal ( $10 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ )
- $T$  : durée de la crue (1 h)
- $S$  : surface du bassin versant (6.2 ha)

Ainsi, la capacité du bassin de stockage sera égale à  $1\,200 \text{ m}^3$ . Ce bassin sera implanté à la cote 230 NGF et fera 34 m de long sur 20 m de large, 2 m de profondeur avec une pente de talus de 1V/1.5H.

Les eaux collectées dans ce bassin seront envoyées par une canalisation vers le secteur de l'usine ou elles seront traitées.

## 5. CONSTRUCTION DE LA VERSE

La verse peut être construite selon les étapes suivantes (Cf. Figures 11 et 12).

- Creusement du fossé extérieur de collecte des eaux de ruissellement.
- Construction de la tranchée drainante de collecte des eaux de résurgence.
- Constructions des drains d'évacuation des eaux de résurgence.
- Mise en place de la couche d'étanchéité en PS. Le PS doit être séché pour ramener sa teneur en eau à une valeur proche de 15 % puis il sera étalé en couches de 50 cm puis compacté à l'aide d'un compacteur. L'épaisseur finale de la couche de PS est fixée à 1m.
- Mise en place des drains de collecte des eaux d'infiltration et de la mèche destinée à récupérer les eaux de ruissellement durant la première phase de construction de la verse.
- Construction d'une mini digue de 3 m de hauteur avec une largeur en crête de 10 m.
- Mise en place du stérile en partant de la mini digue vers l'amont de la verse.
- Mise en place d'une deuxième mini digue au dessus de la première avec un retrait de 1.6 m par rapport à la crête de la première mini digue, ce qui permet d'avoir une pente moyenne du talus de la verse égale 27°. La succession des mini-digues sera constituée de produit rocheux.
- Après 3 mini digues, une banquette de 2 m sera conservée. Cette banquette logera un caniveau destiné à la collecte des eaux de ruissellement.
- Recouvrement de la banquette et du talus de la verse par une couche d'étanchéité en PS puis par 15 cm de terre végétale.

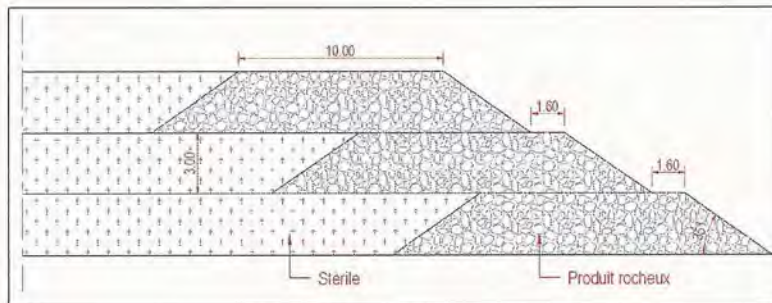


Figure 11 : Schéma conceptuel pour la construction d'un niveau de 9 m

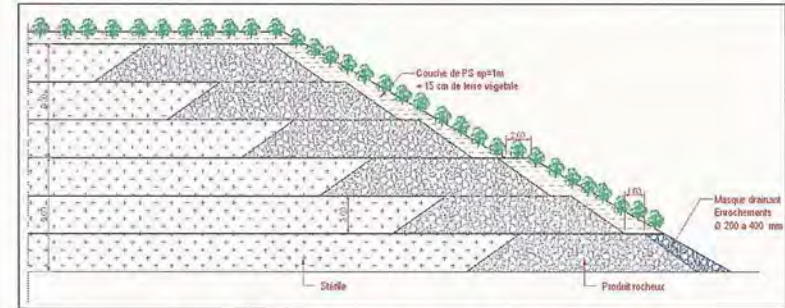


Figure 12 : Schéma conceptuel du talus définitif de la verse

## 6. CONTROLE ET SURVEILLANCE DE LA VERSE

Afin d'assurer la construction de la verse dans des conditions sécuritaires, il est recommandé d'installer un dispositif d'auscultation. Ce dispositif comportera les équipements suivants (Cf. Planche 6 de l'annexe 3):

- Mesures de déformations

Ces mesures seront effectuées avec deux inclinomètres afin de prévenir les risques de rupture et de confirmer la stabilité à long terme de la verse.

Le premier inclinomètre sera placé au pied de la verse au niveau de la zone d'extension et descendra jusqu'à 10 m dans le dur.

Le deuxième inclinomètre sera posé sur le flanc Est de la verse à une cote proche de 270 NGF et descendra jusqu'à 10 m dans le rocheux.

- Mesures piézométriques

Un piézomètre à tube ouvert sera installé sur le flanc Est de la verse. Ce piézomètre descendra jusqu'au toit de la couche de PS et sera crépiné sur toute la longueur. Il permettra de vérifier le bon fonctionnement du dispositif de drainage.

2 piézomètres à tubes ouverts seront également installés en amont et en aval hydraulique de la verse dans le but de contrôler son impact sur la qualité des eaux souterraines.

## 7. CONCLUSION

L'extension de la verse Kerroué nécessite essentiellement l'aménagement des ouvrages suivants :

- Un fossé périphérique
- Une mèche en enrochements de 20 m<sup>2</sup> de section
- Une tranchée drainante de 2 m<sup>2</sup> de section
- 5 drains de collecte des eaux d'infiltration de 1 m<sup>2</sup> de section
- 4 drains d'évacuation des eaux de résurgences de 1 m<sup>2</sup> de section
- Un bassin de sédimentation d'une capacité de 1 200 m<sup>3</sup>

En phase ultime après la rehausse, la verse aura une dénivelée maximale de 58 m avec une pente maximale du talus limitée à 27°.

Le contexte géotechnique est favorable au projet d'extension et de rehausse de la verse :

- La zone d'ancrage du pied de la verse est relativement plane.
- L'analyse de la stabilité de la verse montre qu'en conditions normales, le potentiel de stabilité des talus de la verse est assuré avec un coefficient de sécurité minimal de l'ordre de 1.5. En conditions exceptionnelles de remontée de la nappe, le coefficient de sécurité minimal serait de l'ordre de 1,3.

Afin de contrôler la stabilité de la verse au cours de sa construction, il est recommandé d'installer un dispositif d'auscultation composé de deux inclinomètres et d'un piézomètre à tube ouvert. Ce dispositif sera associé à un contrôle et une surveillance visuelle hebdomadaire.

Il est aussi recommandé de mettre en place deux piézomètres à tubes ouverts en amont et en aval hydraulique de la verse. Le prélèvement d'eau dans ces deux piézomètres permettra d'étudier l'impact de la verse sur la qualité des eaux souterraines.

Les principaux plans établis au cours de cette étude sont reportés dans l'annexe 3 (planches 1 à 6). Ils sont également fournis séparément en format électronique. On y trouvera :

- Planche 1 : Emprise de la verse actuelle et du projet d'extension
- Planche 2 : Implantation des coupes de l'étude géotechnique
- Planche 3 : Coupes de l'étude géotechnique
- Planche 4 : Dispositif de drainage
- Planche 5 : Dispositif de drainage de la plateforme
- Planche 6 : Dispositif d'auscultation

## LISTE DES ANNEXES

---

Annexe 1 : Compte-rendu de visite du site du 7/09/2010

Annexe 2 : Sorties du logiciel TALREN

Annexe 3 : Principaux plans de l'étude

---

## ANNEXE 1

---

### - Compte-rendu de visite du site du 7/09/2010 -

En guise de lancement de cette étude, une visite du site a eu lieu le 7 septembre 2010 pour acquérir les informations nécessaires, observer la verse Kerroué et ses ouvrages dans sa situation actuelle et enfin discuter avec l'exploitant du projet de rehausse et d'extension de cette verse.

La plupart des données concernant les caractéristiques de la verse, son assise, les matériaux stockés, les dispositifs de drainage et de collecte des eaux ainsi que le projet d'extension et de rehausse sont présentées dans le document principal. Nous nous contentons dans cette annexe de décrire brièvement la méthode de construction de la verse, de montrer quelques photos d'illustration et enfin de reporter quelques observations et des actions à entreprendre pour assurer des meilleures conditions de stabilité.

#### 1. Méthode de construction de la verse

Les principales opérations de constructions de la verse sont résumées comme suit :

- Aménagement d'une bande de roulement frontale en stérile rocheux de 3.5 m de hauteur.
- Rehausse de la bande de roulement en 3 passes de 3.5 m pour couvrir une épaisseur de l'ordre de 10 m.
- Poussage des stériles sur une épaisseur de 10 m en partant de la bande de roulement frontale avec une chargeuse (L150 Volvo) et des dumpers de 60 t de charge utile.
- Construction du talus par pelle en mettant en place une couche de "PS" de 50 cm, de la terre végétale de 20 cm et aménagement de caniveaux sur banquette tous les 10 m de talus.

#### 2. Photos d'illustrations

Les photos 1, 2 et 3 montrent respectivement la nature des matériaux stockés dans la verse, la protection des talus libre par les blocs rocheux et le dispositif de drainage et de mise hors d'eau de la verse.



Photo 1 : Matériaux stockés dans la verse

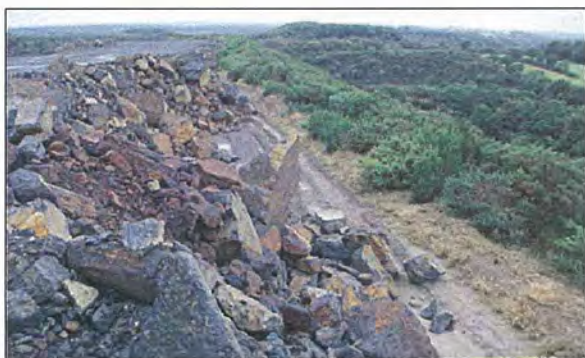


Photo 2 : Protection du talus libre par les matériaux rocheux



Photo 3 : Tranchée de drainage au pied de la verse

### 3. Observations et actions à entreprendre

Aucune anomalie significative, pouvant mettre en cause la stabilité générale de la verse, n'a été observée. Quelques irrégularités minimales ont été mises en évidence et nécessitent des actions de correction pour assurer des meilleures conditions de stabilité. On cite notamment :

- Le caniveau de mise hors d'eau situé à l'amont du site est peu fonctionnel et nécessite un curage régulier.
- Les eaux propres du bassin versant (pH=5,5) sont mélangées aux eaux acides sortant des drains sous la verse (pH=2 à 3). La séparation de ces eaux est recommandée.
- Des chenaux d'érosion régressive remontent au niveau de la plateforme de la verse (Photo 4). Ces chenaux sont alimentés par les eaux de ruissellement et contribuent à la recharge de la nappe à la base de la verse ainsi qu'à l'augmentation du lessivage des stériles. L'une des solutions qui permettent de lutter contre ce phénomène consiste à lisser et à incliner la plateforme (4 %) de façon à éviter la stagnation d'eau.



Photo 4 : Erosion régressive au niveau de la plateforme de la verse

- Les caniveaux de drainage des banquettes ne sont pas suffisamment nivelés et sont peu fonctionnels à cause d'un manque d'entretien. Il est donc nécessaire de conserver les accès pour assurer cette opération.
- La couche de "PS" assurant l'étanchéité et affleurant au pied de la verse s'érode progressivement et nécessite d'être protégée par des blocs (Photo. 5).
- Des glissements superficiels se manifestent sous forme de fluage lent de la terre végétale sur le flanc Ouest qui présente une hauteur dépassant les 10 m. Afin d'éviter ce genre d'instabilité, il faudrait découper le flanc par des banquettes (Photo 6).



Photo 5 : Erosion de la couche de "PS" au pied de la verse



Photo 6 : Instabilité observée au niveau du talus Ouest



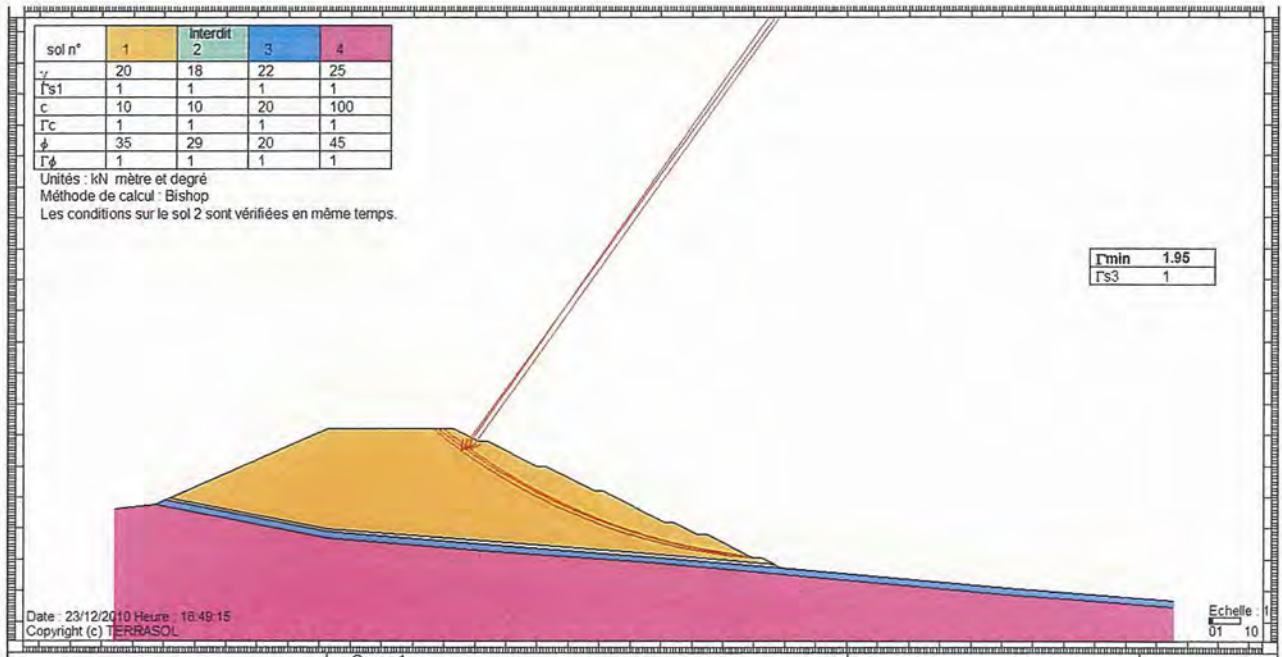


Figure N° - 1 : Coupe 1 : Stabilité intrinsèque de la verse

Annexe 2 -2

ANNEXE 2

- Sorties du logiciel TALREN -

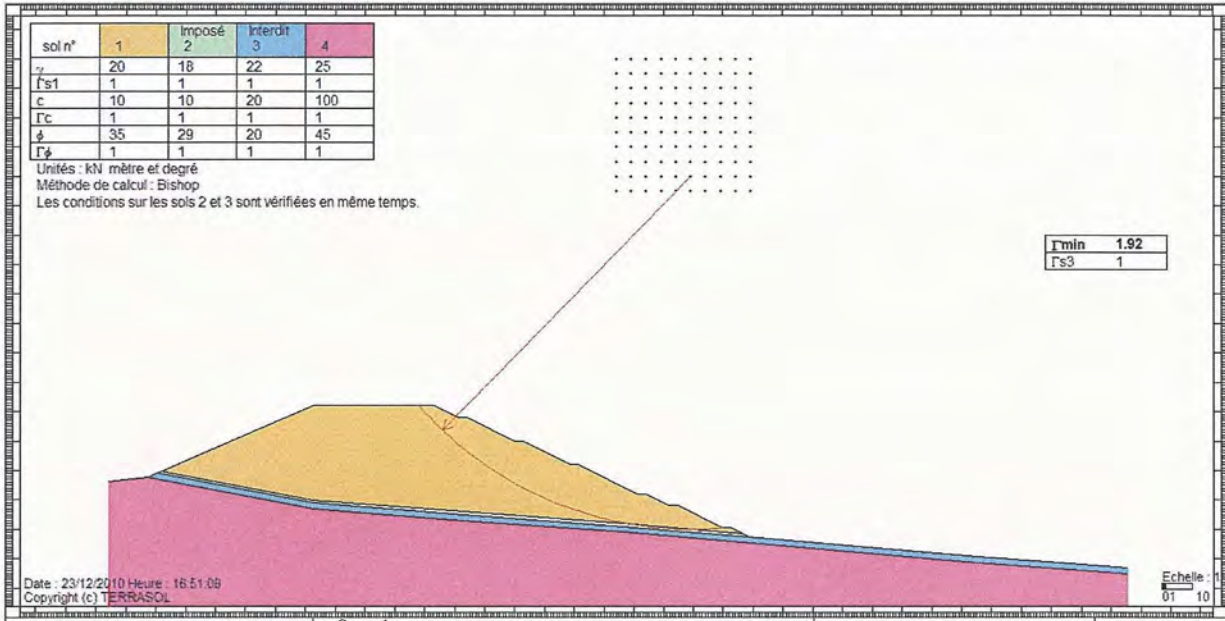


Figure N° - 2 : Coupe 1 : Stabilité vis-à-vis d'un glissement sur la couche de PS

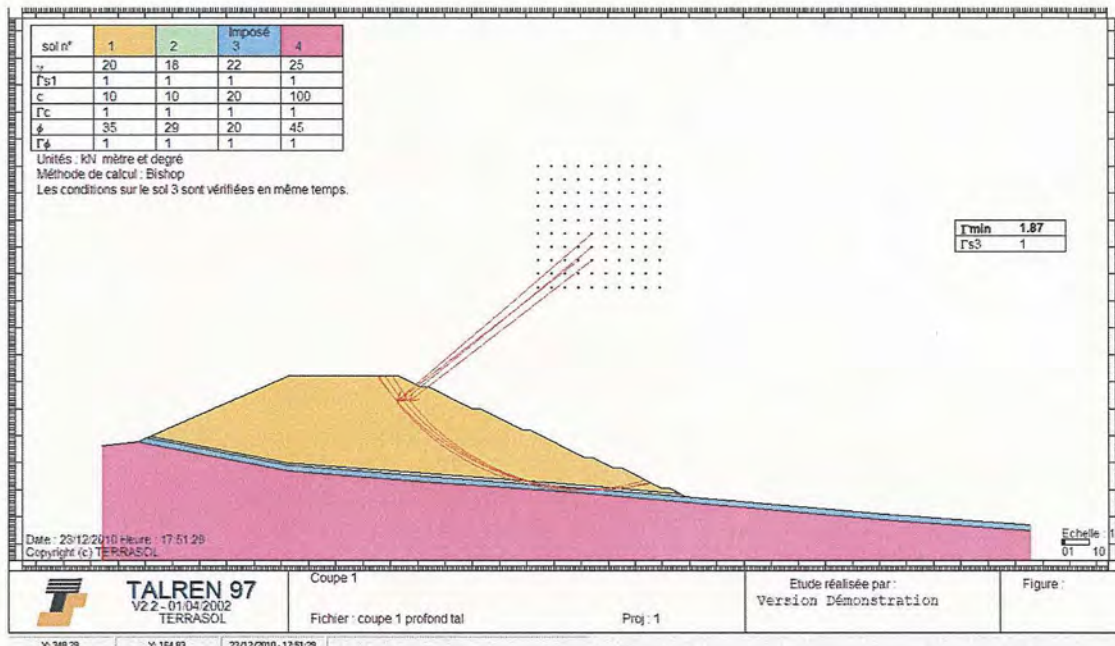


Figure N° - 3 : Coupe 1 : Stabilité vis-à-vis d'un glissement profond

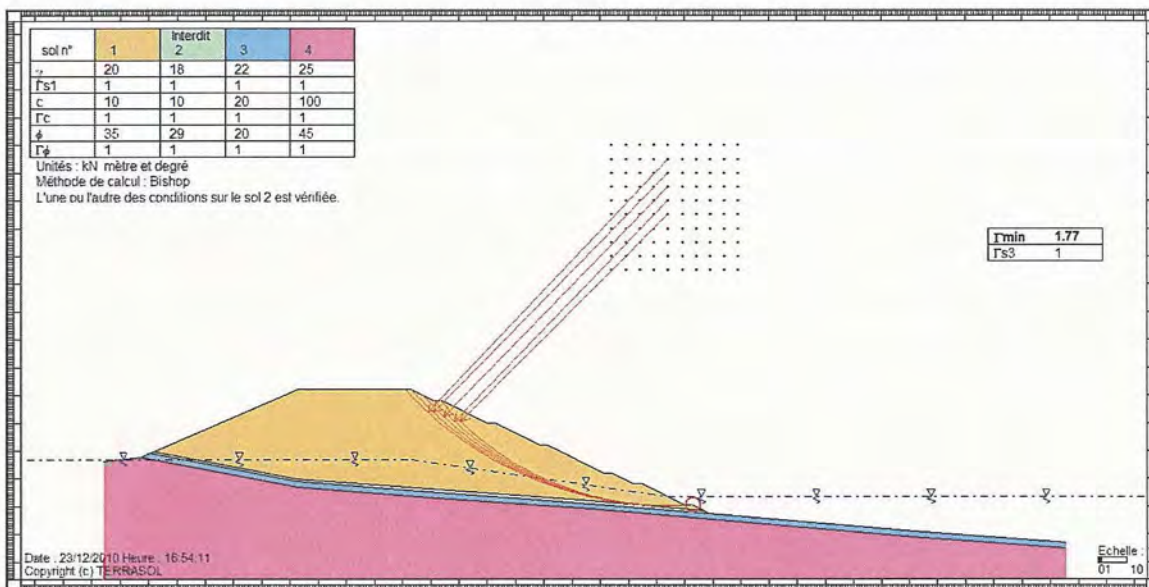


Figure N° - 4 : Coupe 1 : Stabilité intrinsèque de la verse avec remontée accidentelle du niveau de la nappe

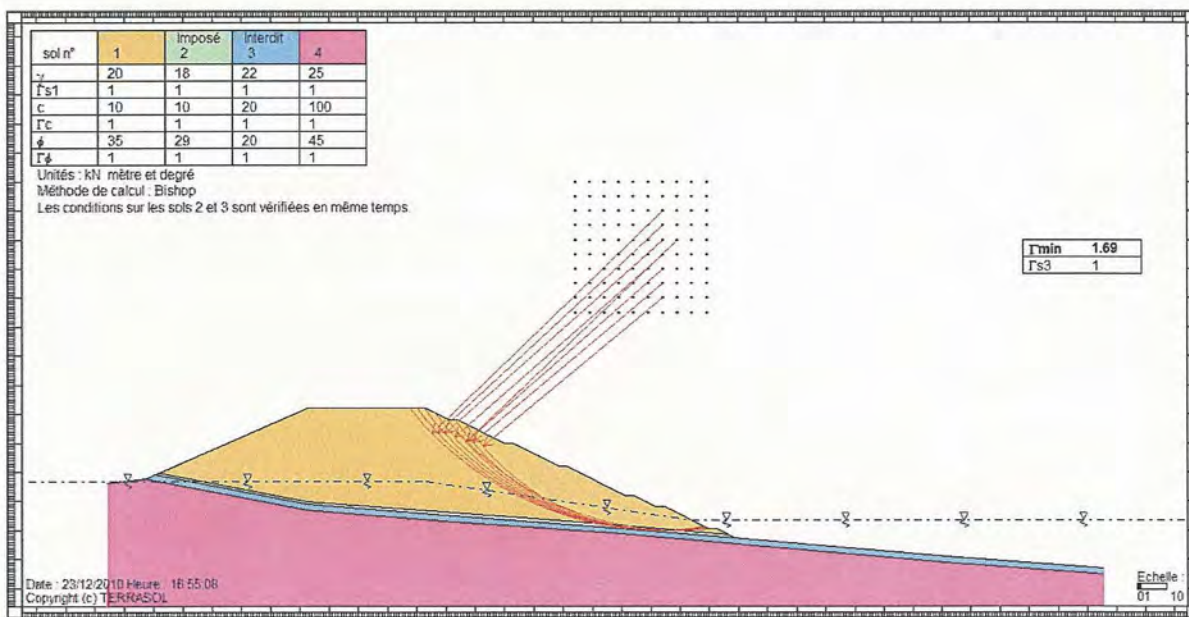


Figure N° - 5 : Coupe 1 : Stabilité vis-à-vis d'un glissement sur la couche de PS avec remontée accidentelle du niveau de la nappe

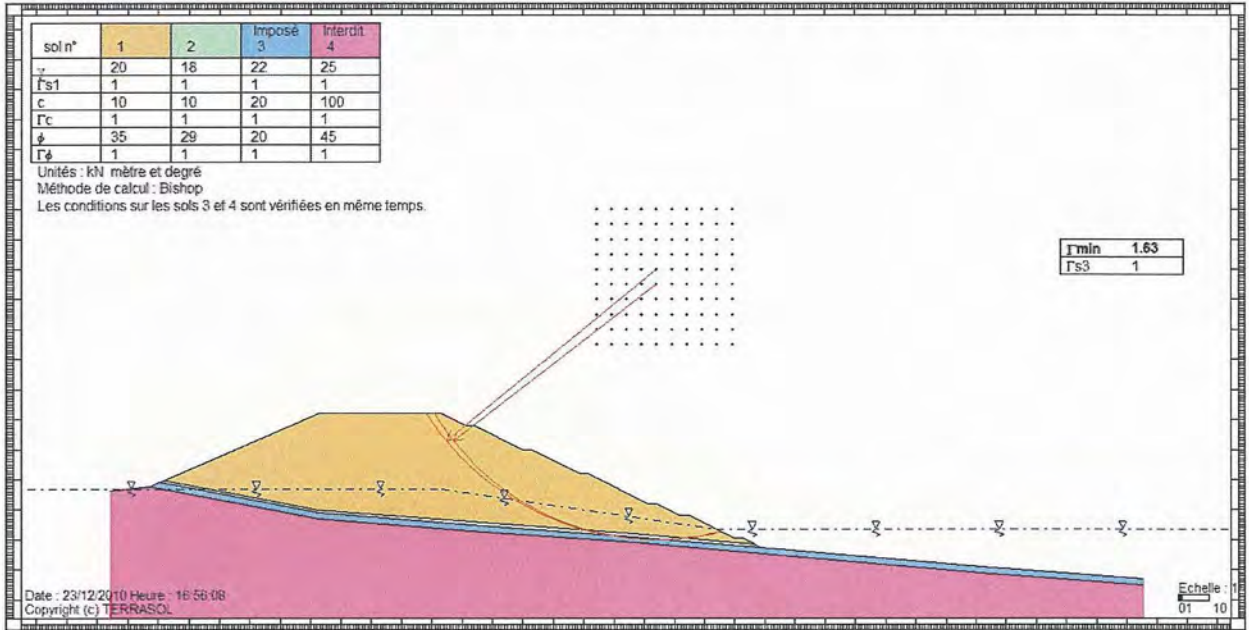


Figure N° - 6 : Coupe 1 : Stabilité vis-à-vis d'un glissement profond avec remontée accidentelle du niveau de la nappe

Annexe 2 -7

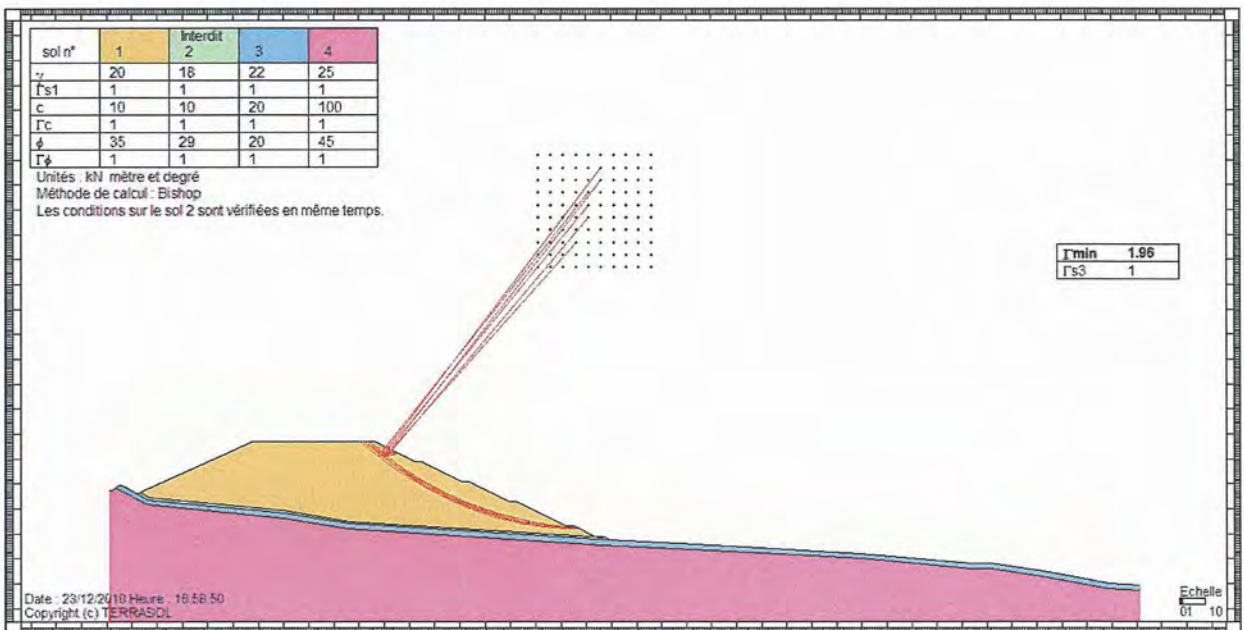


Figure N° - 7 : Coupe 2 : Stabilité intrinsèque de la verse

Annexe 2 -8

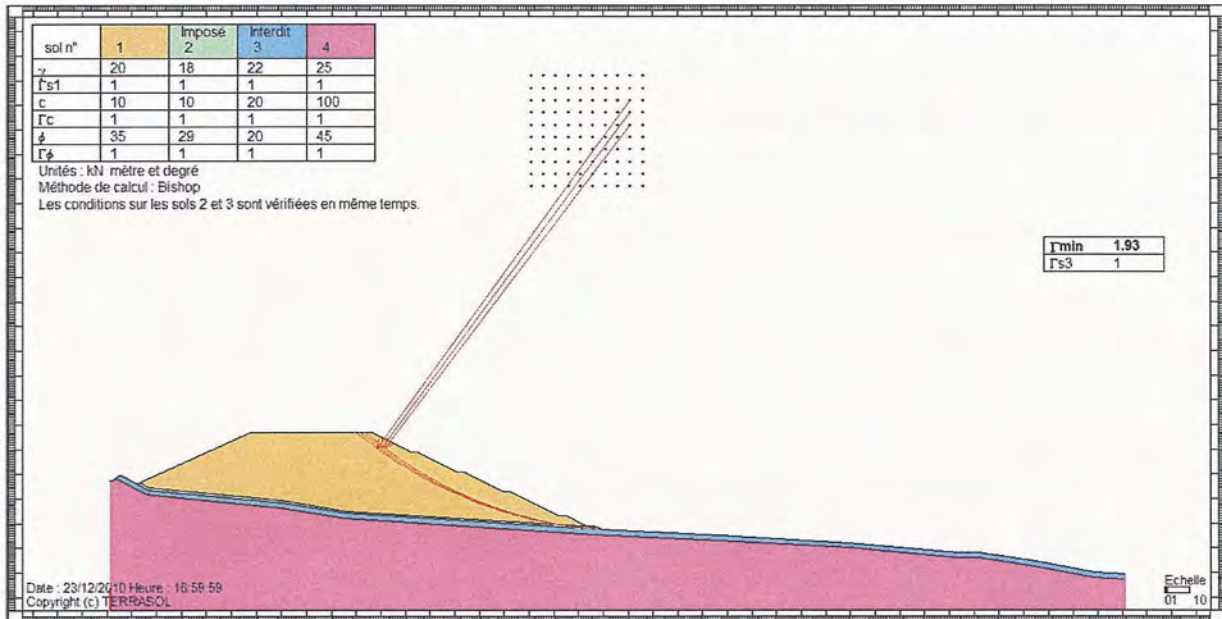


Figure N° - 8 : Coupe 2 : Stabilité vis-à-vis d'un glissement sur la couche de PS

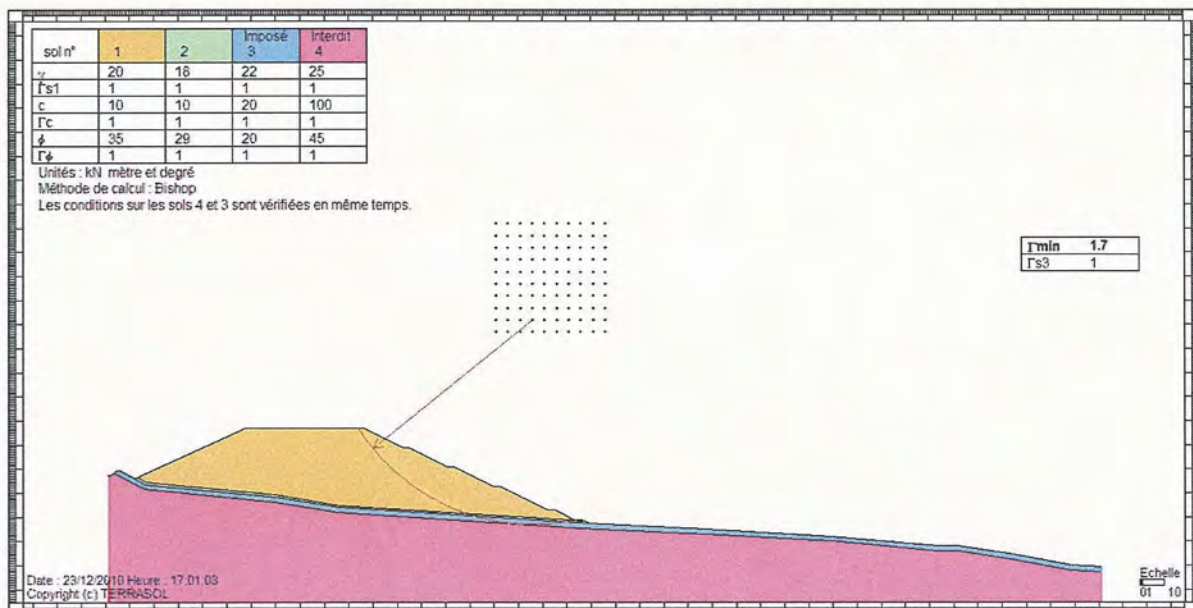


Figure N° - 9 : Coupe 2 : Stabilité vis-à-vis d'un glissement profond

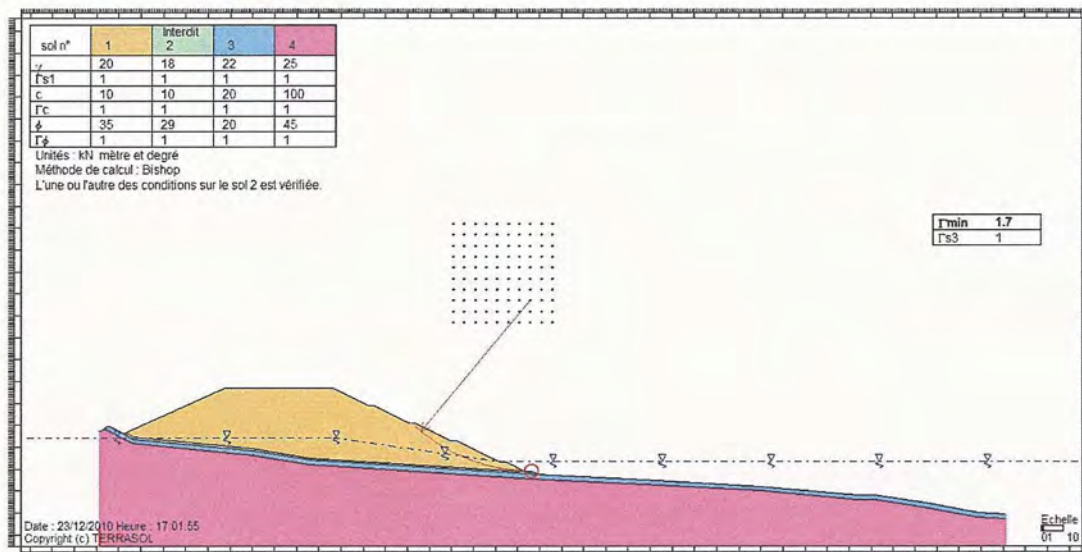


Figure N° - 10 : Coupe 2 : Stabilité intrinsèque de la verse avec remontée accidentelle du niveau de la nappe

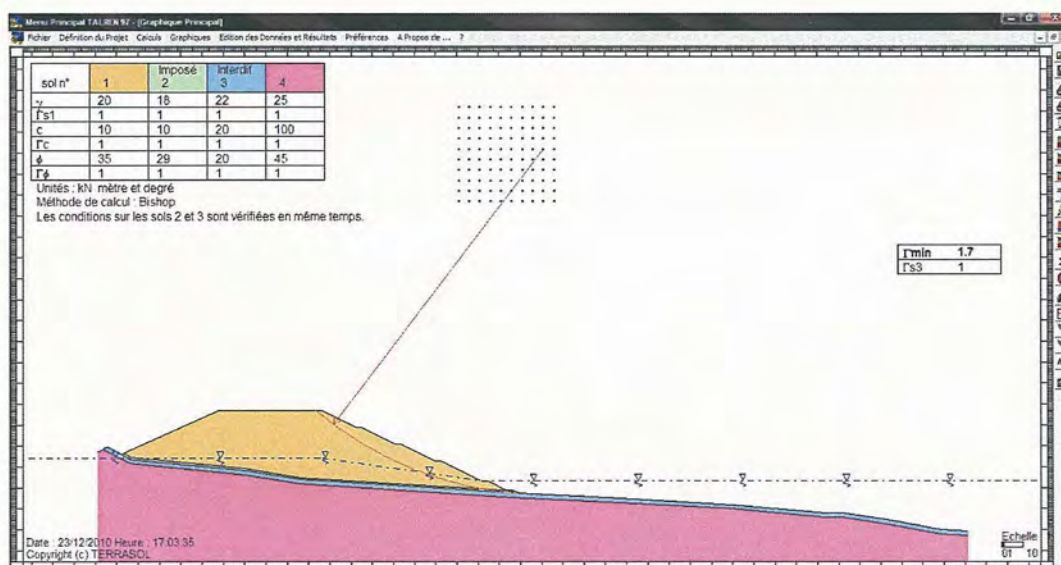


Figure N° - 11 : Coupe 2 : Stabilité vis-à-vis d'un glissement sur la couche de PS avec remontée accidentelle du niveau de la nappe

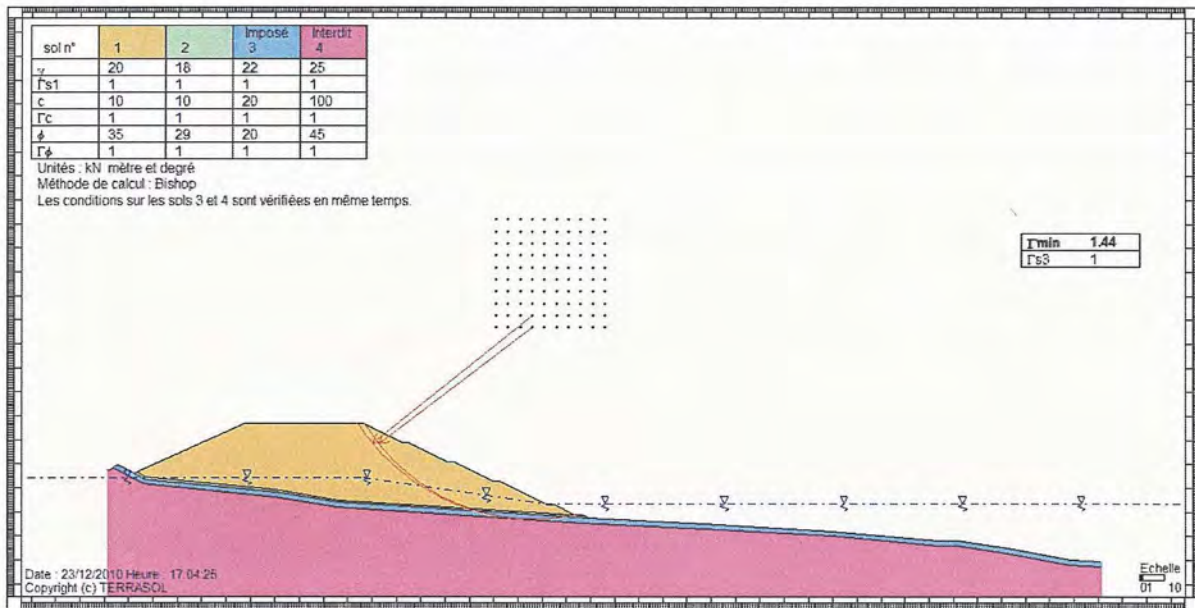


Figure N° - 12 : Coupe 2 : Stabilité vis-à-vis d'un glissement profond avec remontée accidentelle du niveau de la nappe

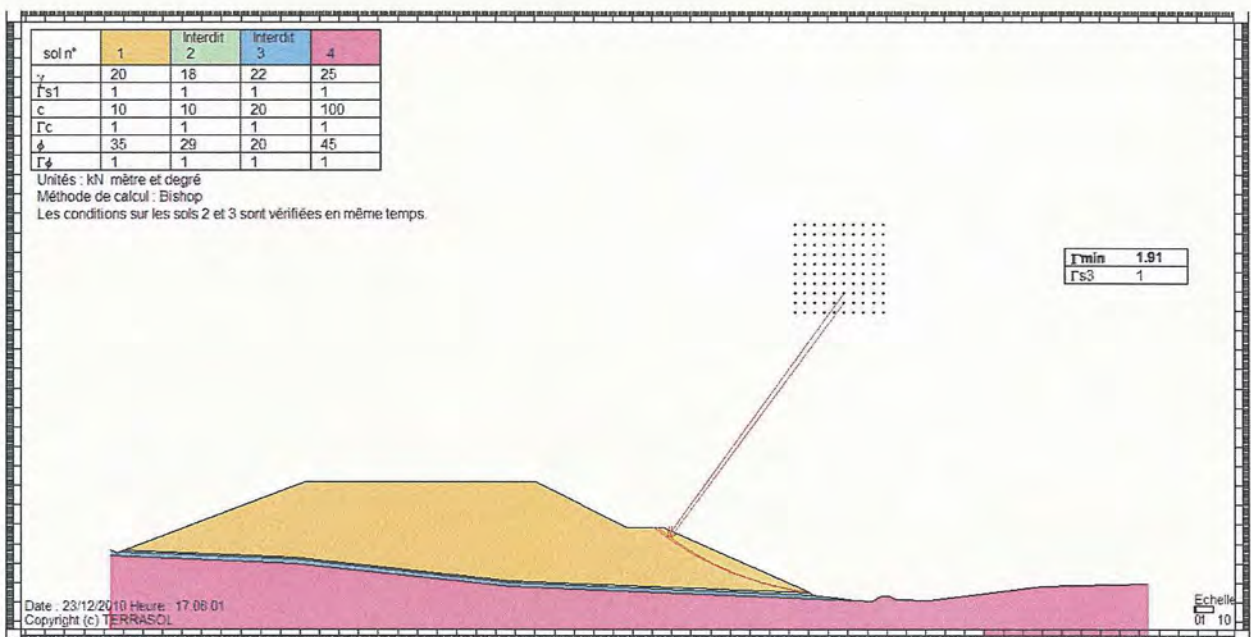


Figure N° - 13 : Coupe 3 : Stabilité intrinsèque de la versé

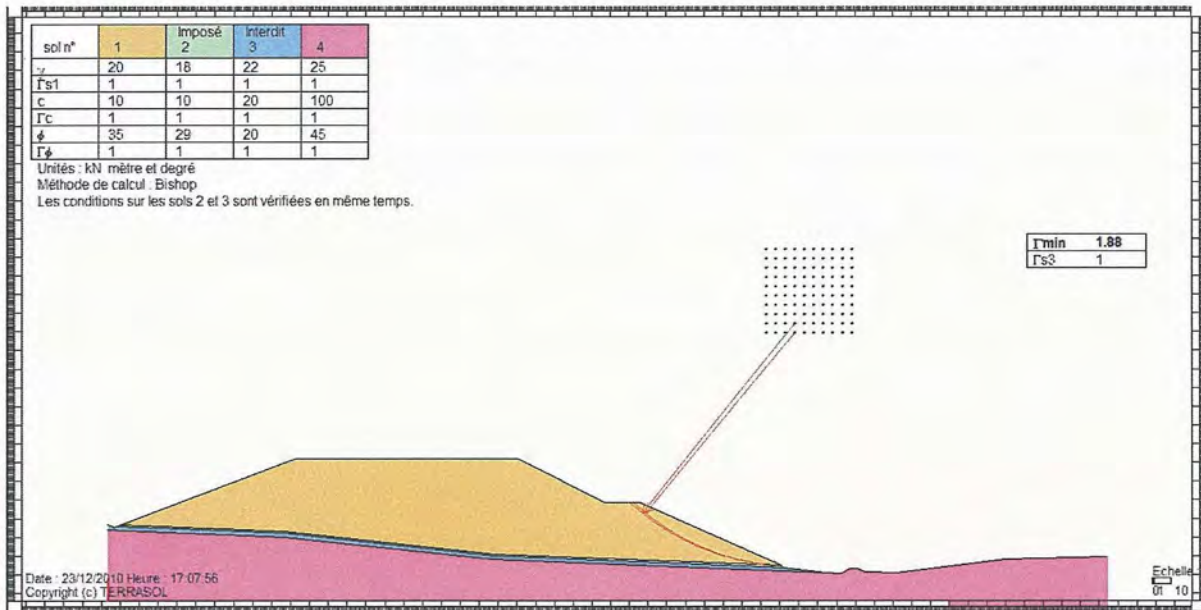


Figure N° - 14 : Coupe 3 : Stabilité vis-à-vis d'un glissement sur la couche de PS

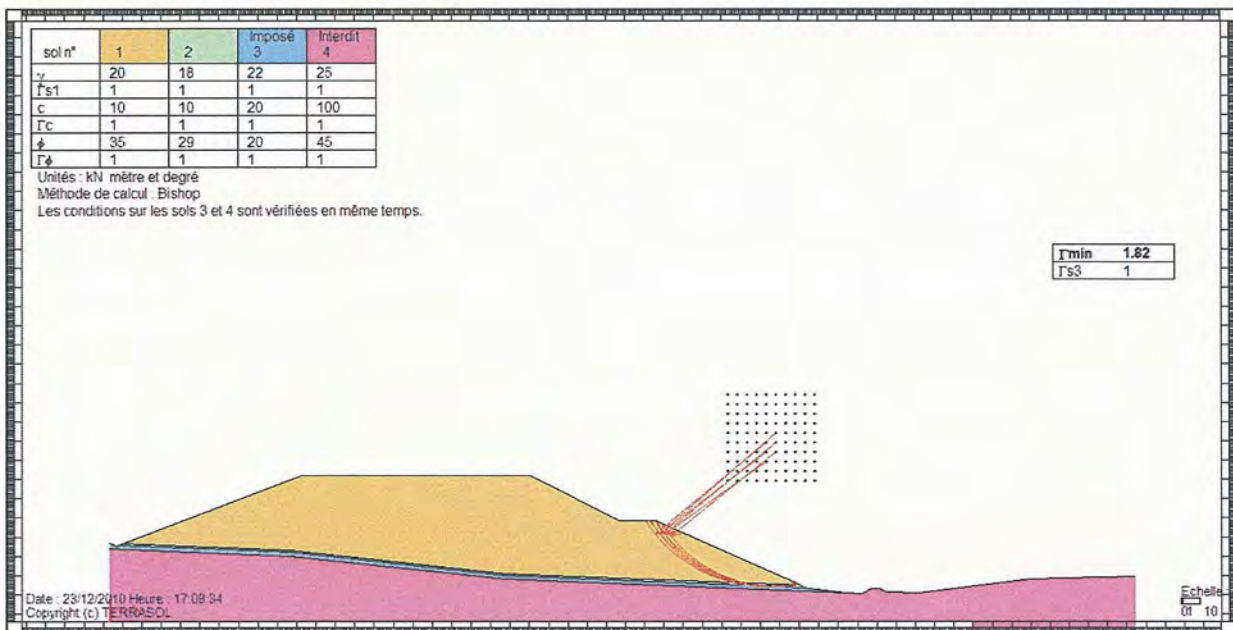


Figure N° - 15 : Coupe 3 : Stabilité vis-à-vis d'un glissement profond



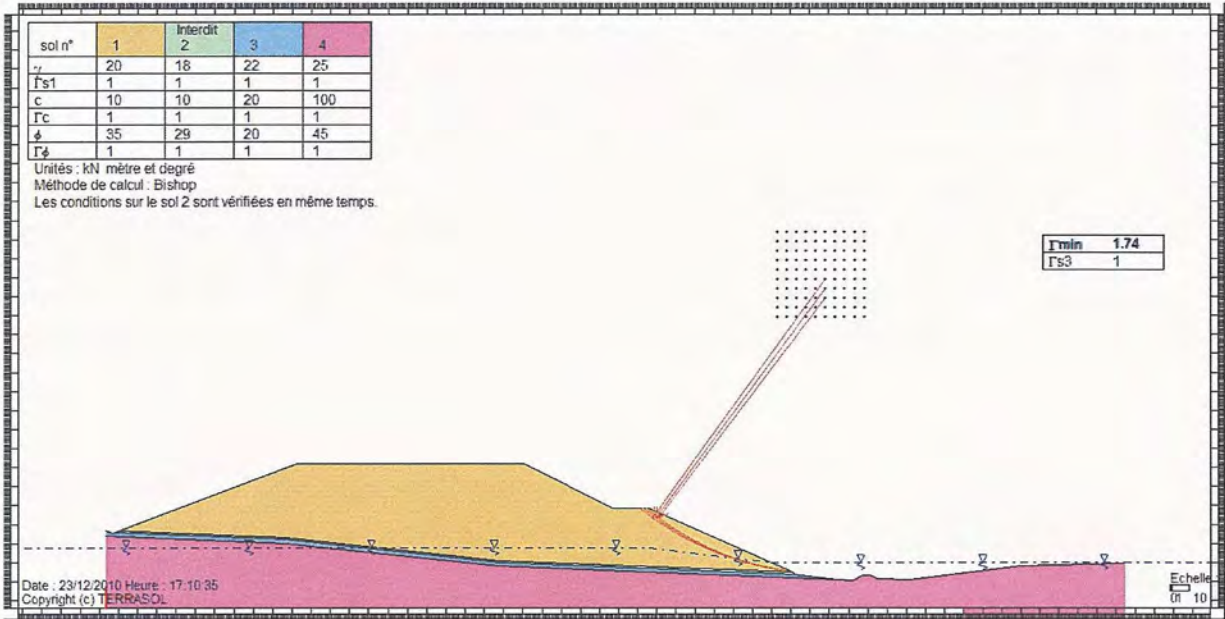


Figure N° - 16 : Coupe 3 : Stabilité intrinsèque de la verse avec remontée accidentelle du niveau de la nappe

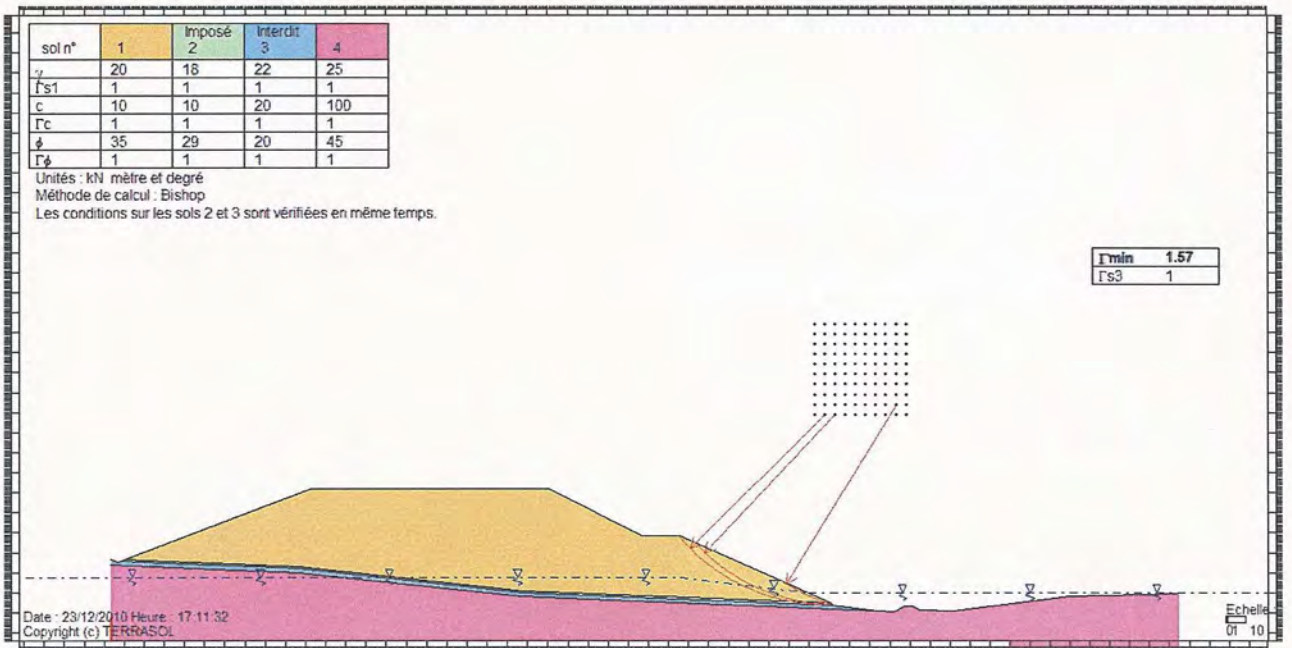


Figure N° - 17 : Coupe 3 : Stabilité vis-à-vis d'un glissement sur la couche de PS avec remontée accidentelle du niveau de la nappe

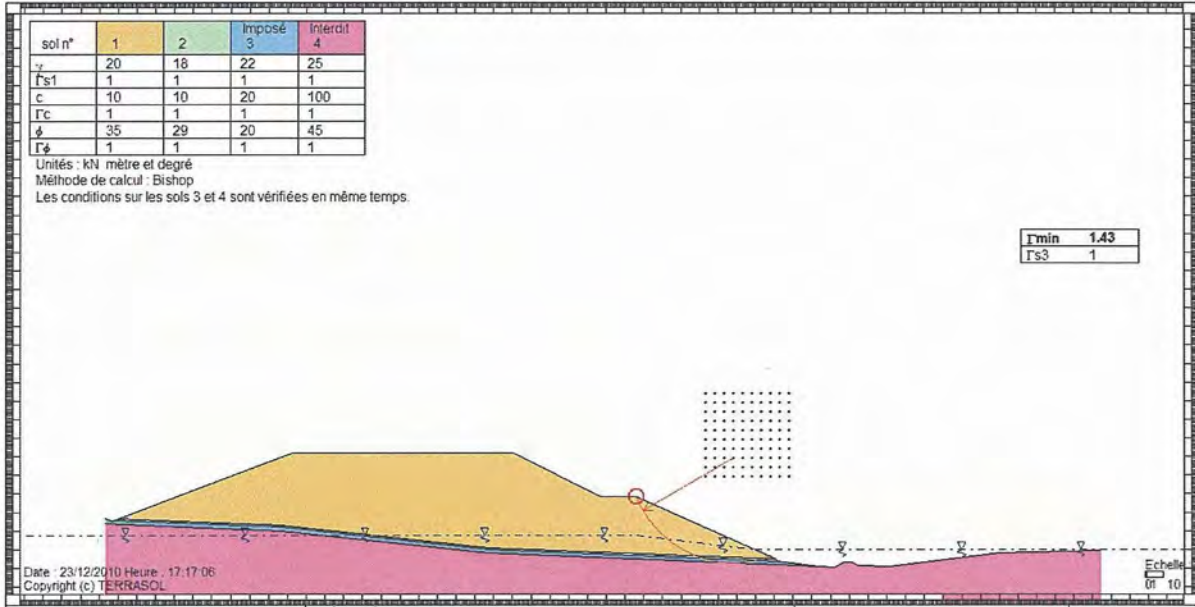


Figure N° - 18 : Coupe 3 : Stabilité vis-à-vis d'un glissement profond avec remontée accidentelle du niveau de la nappe

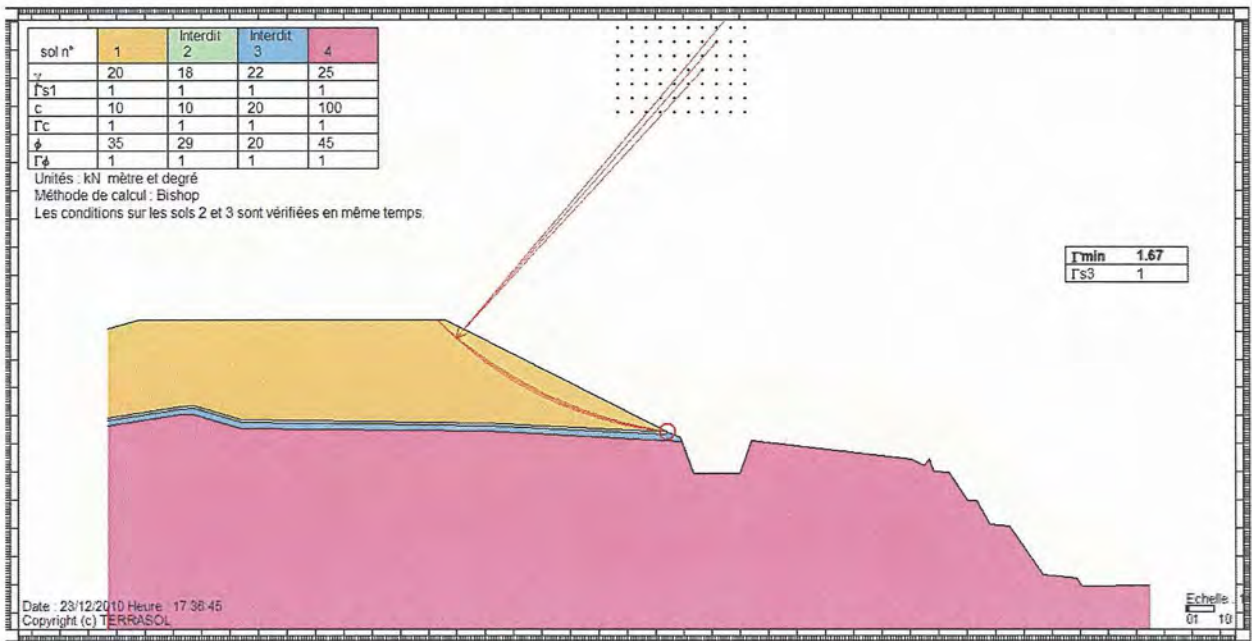


Figure N° - 19 : Coupe 4 : Stabilité intrinsèque de la verse

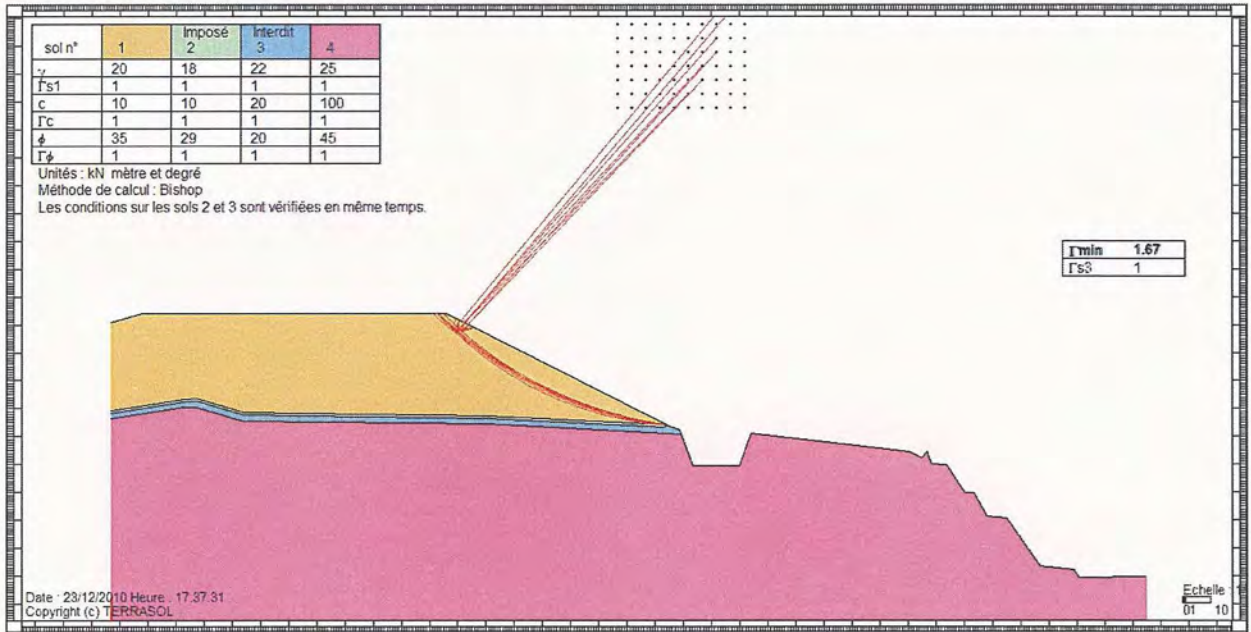


Figure N° - 20 : Coupe 4 : Stabilité vis-à-vis d'un glissement sur la couche de PS

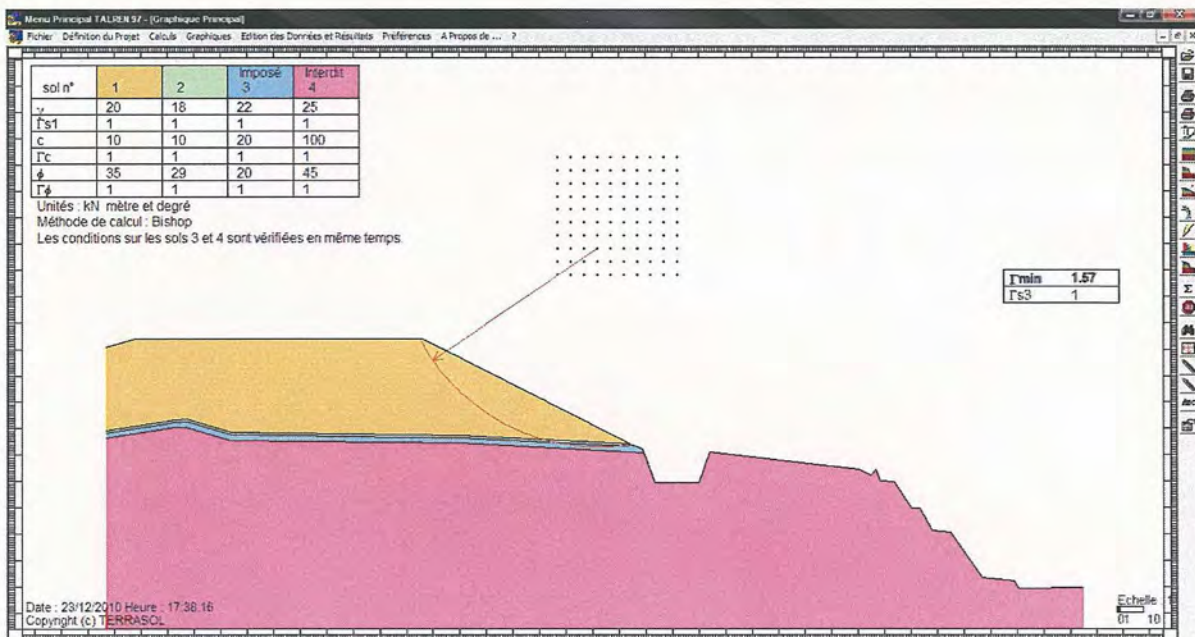


Figure N° - 21 : Coupe 4 : Stabilité vis-à-vis d'un glissement profond

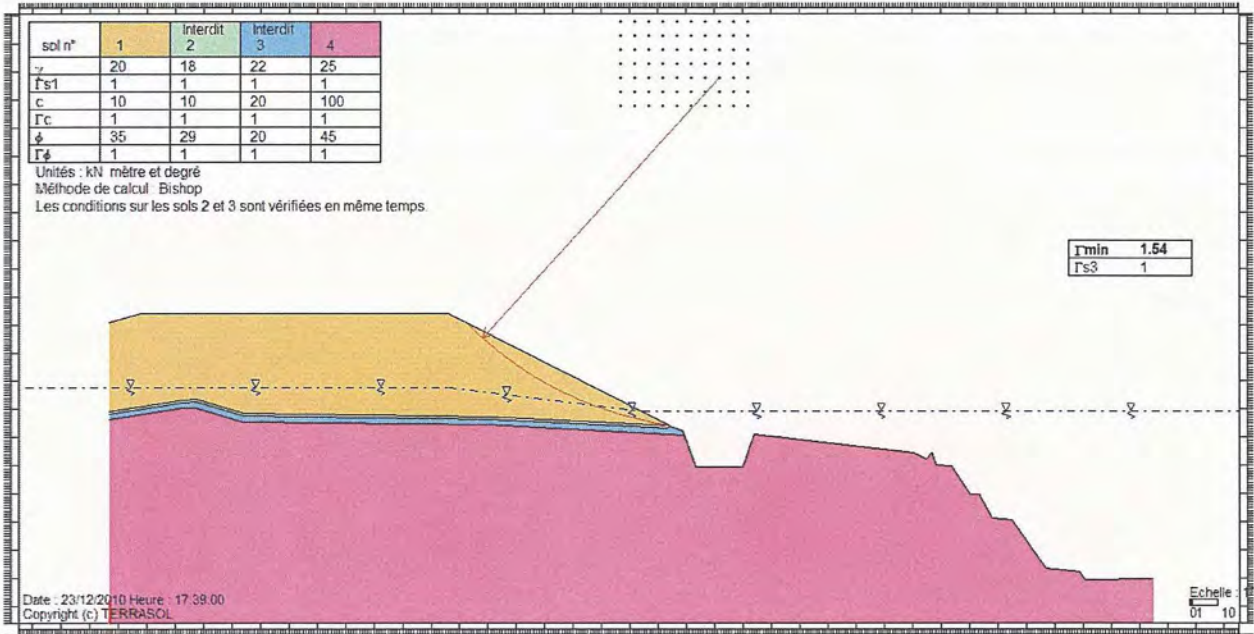


Figure N° - 22 : Coupe 4 : Stabilité intrinsèque de la verse avec remontée accidentelle du niveau de la nappe

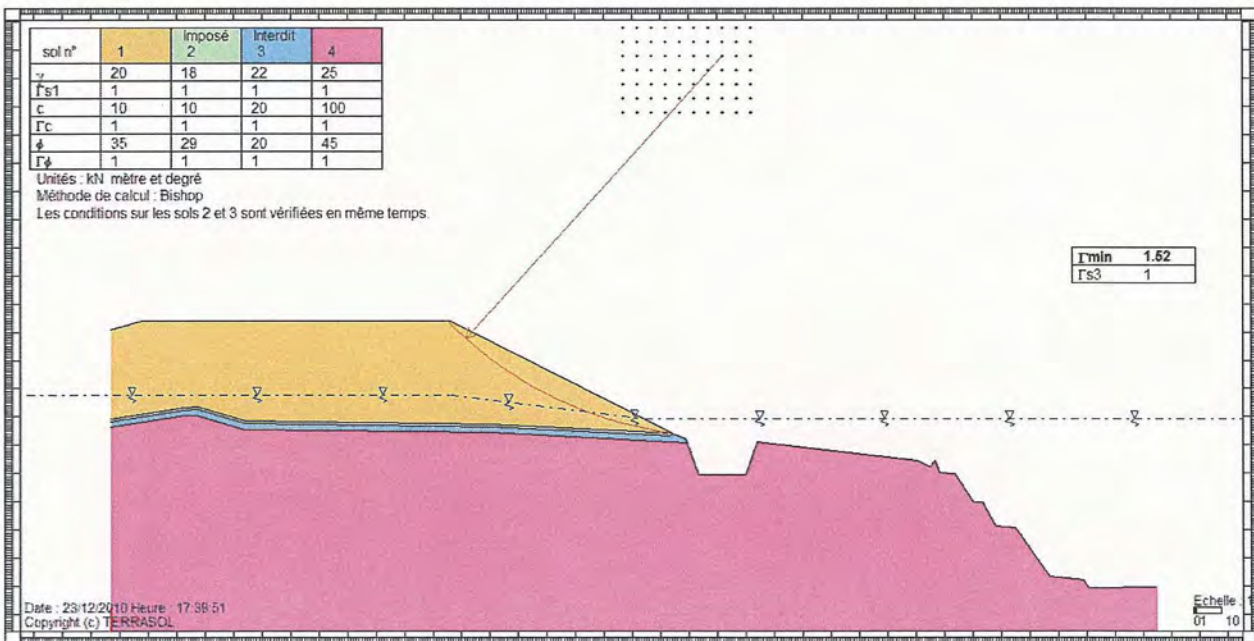


Figure N° - 23 : Coupe 4 : Stabilité vis-à-vis d'un glissement sur la couche de PS avec remontée accidentelle du niveau de la nappe

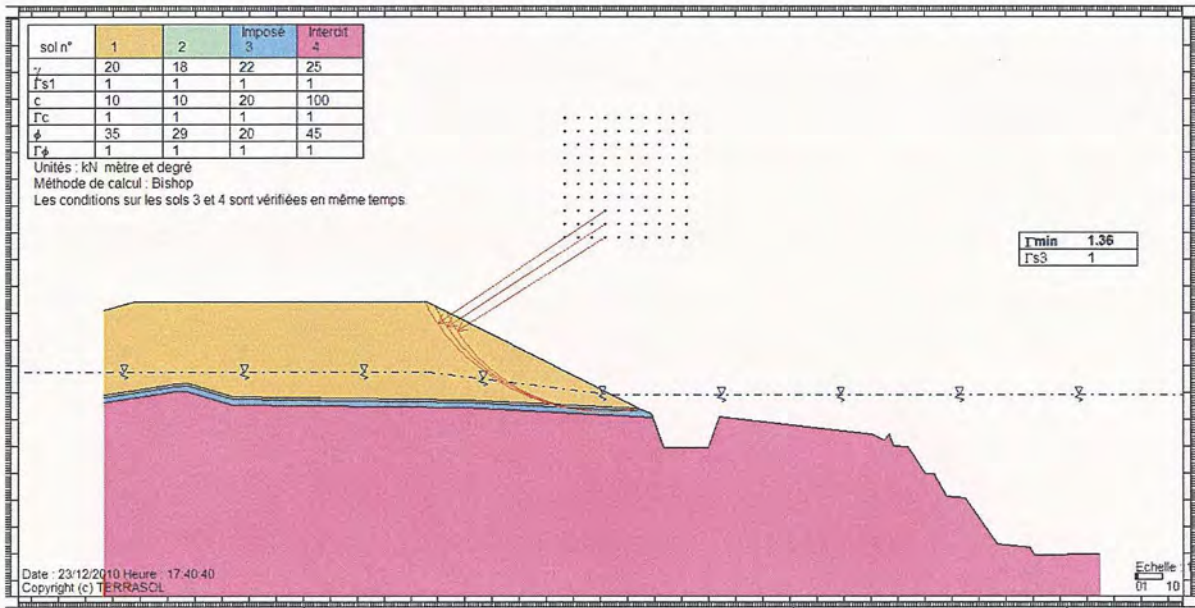


Figure N° - 24 : Coupe 4 : Stabilité vis-à-vis d'un glissement profond avec remontée accidentelle du niveau de la nappe

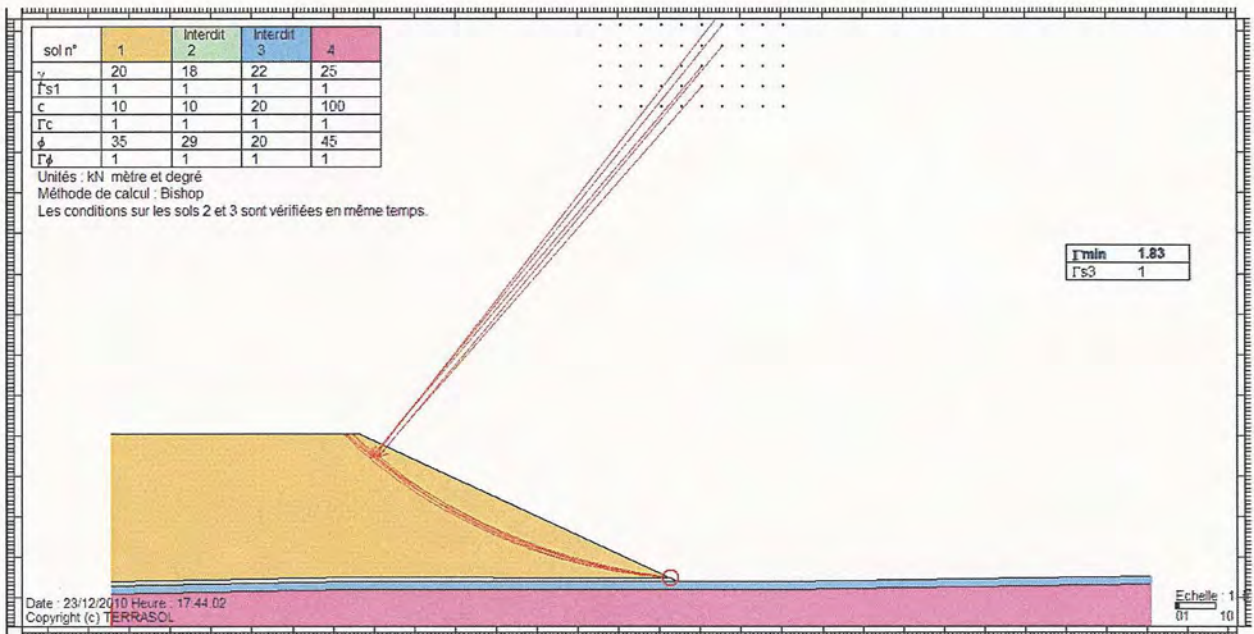


Figure N° - 25 : Coupe 5 : Stabilité intrinsèque de la verse

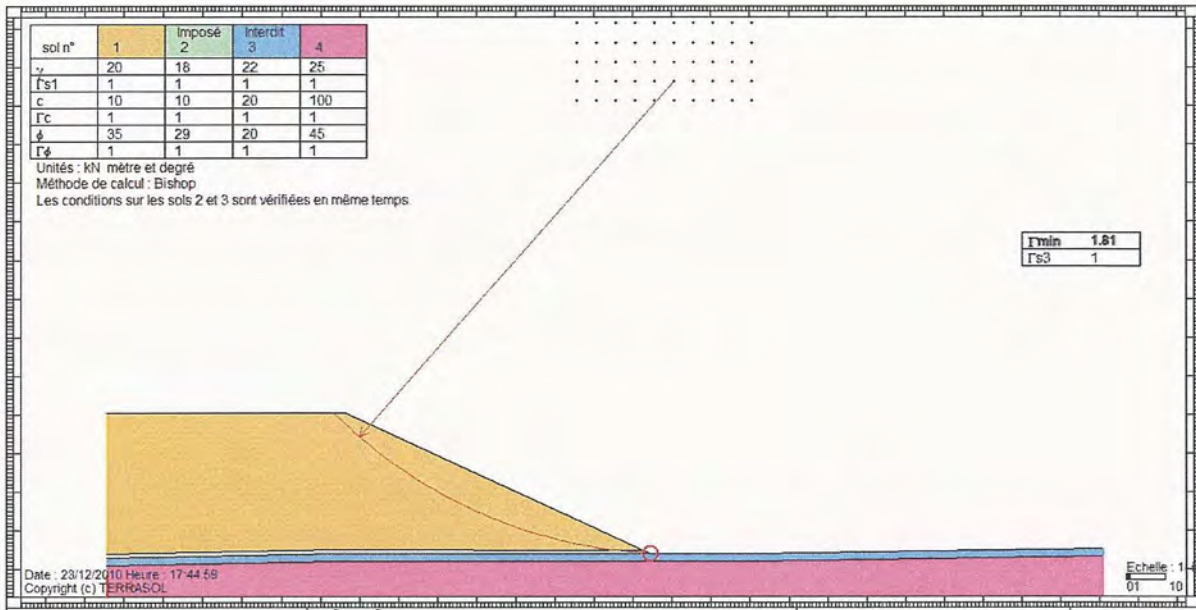


Figure N° - 26 : Coupe 5 : Stabilité vis-à-vis d'un glissement sur la couche de PS

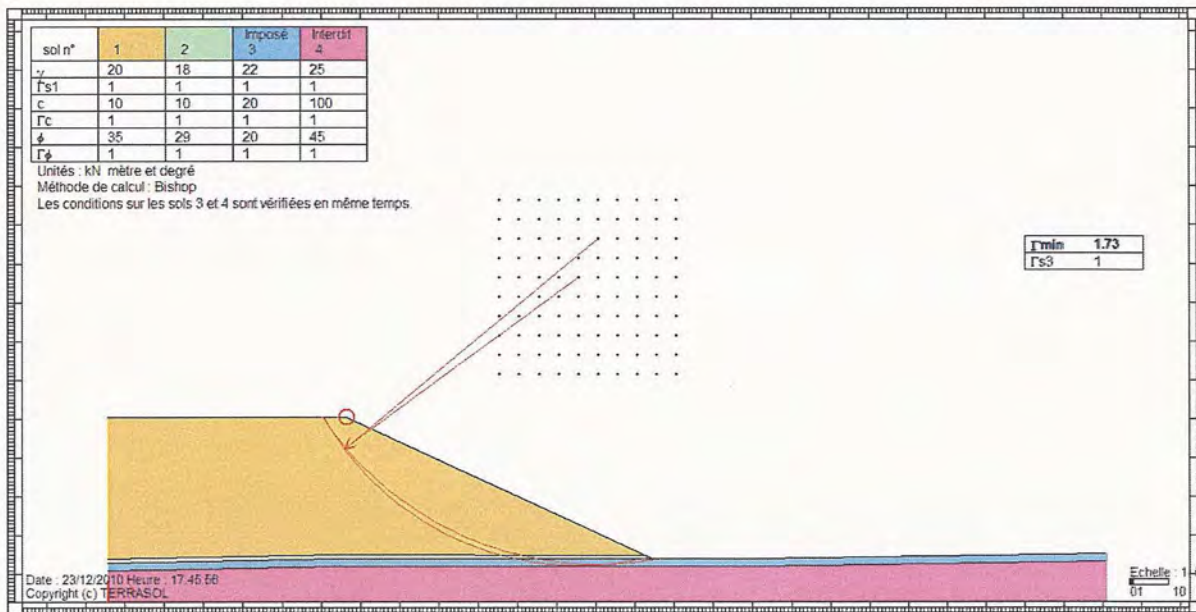


Figure N° - 27 : Coupe 5 : Stabilité vis-à-vis d'un glissement profond

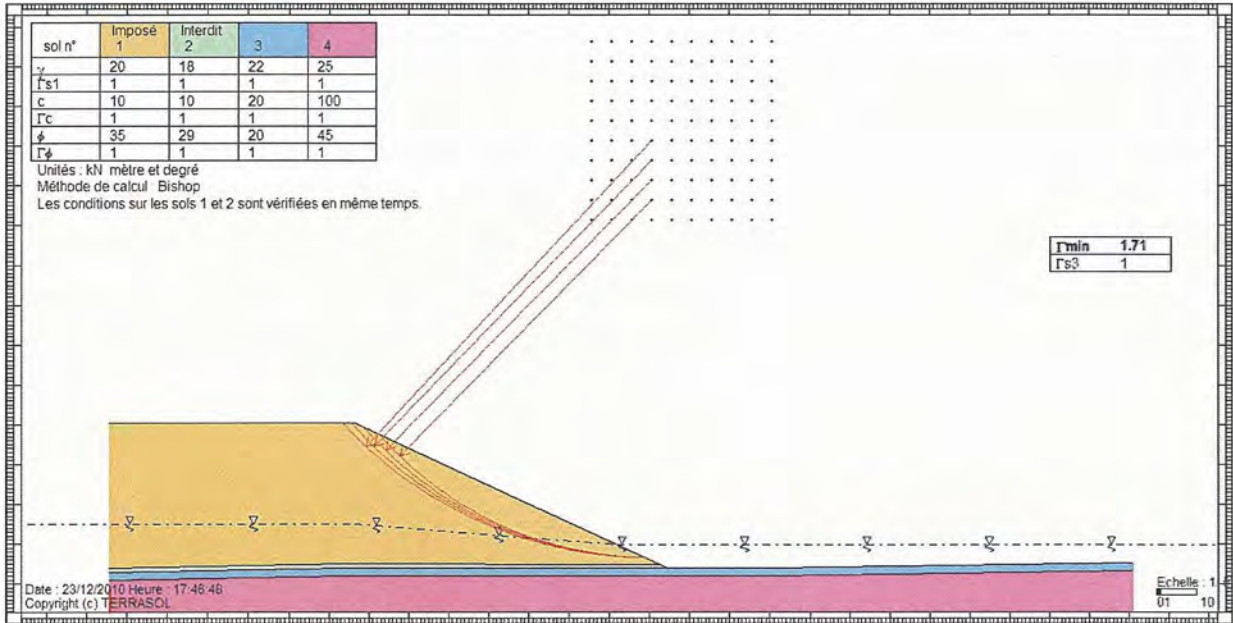


Figure N° - 28 : Coupe 5 : Stabilité intrinsèque de la verse avec remontée accidentelle du niveau de la nappe

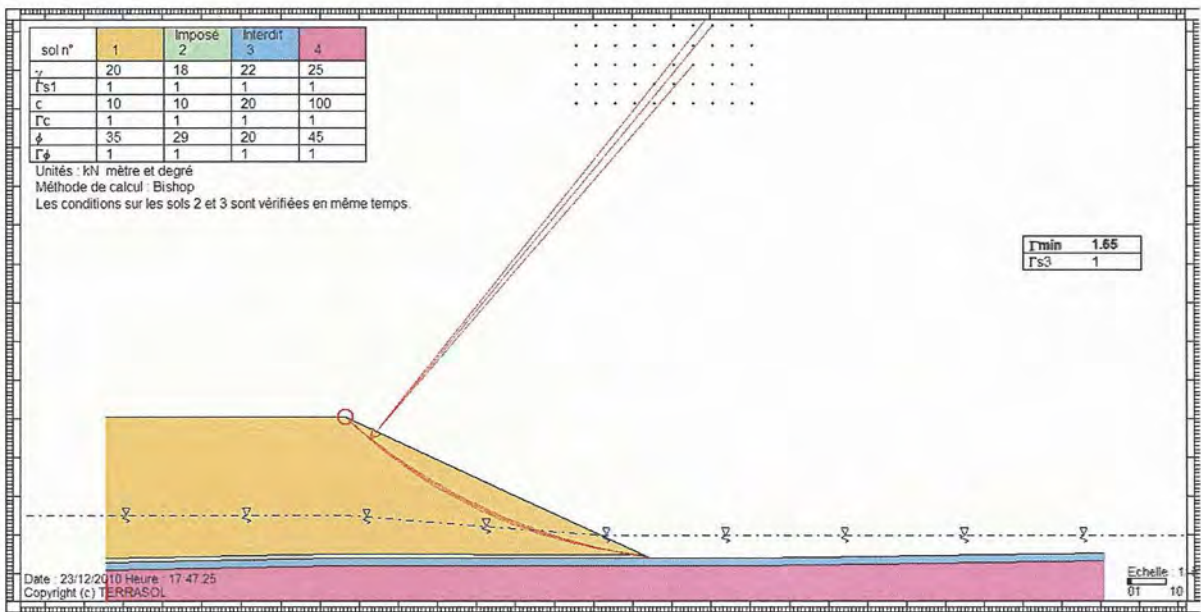


Figure N° - 29 : Coupe 5 : Stabilité vis-à-vis d'un glissement sur la couche de PS avec remontée accidentelle du niveau de la nappe

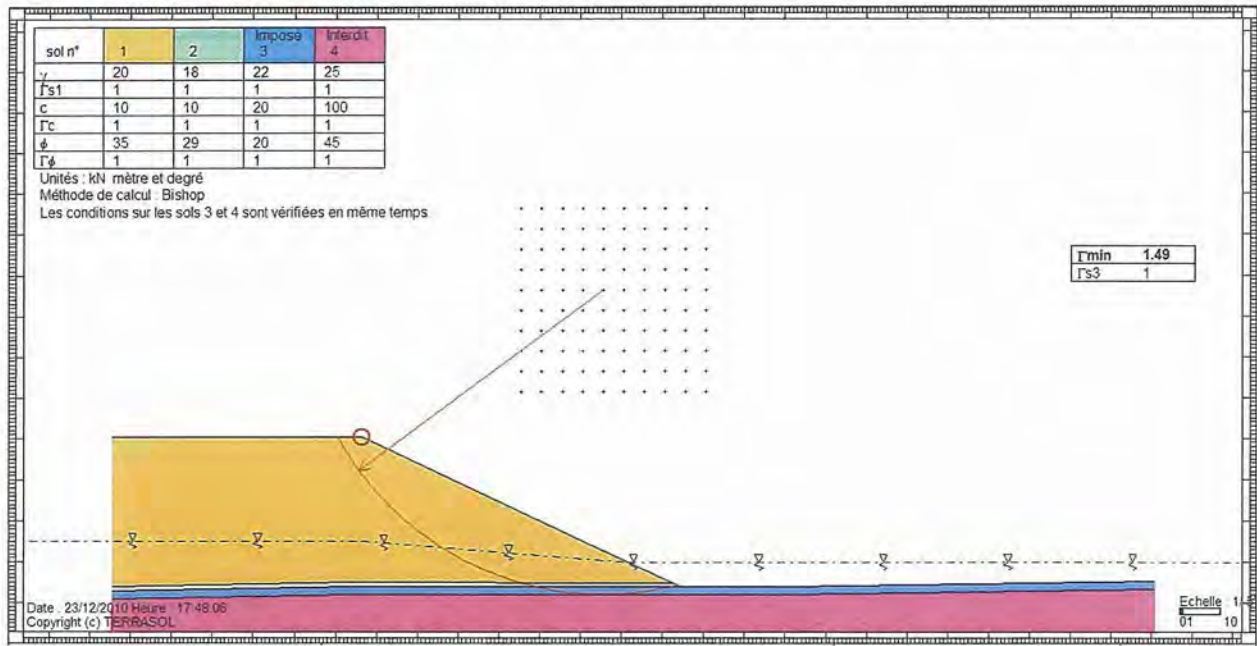
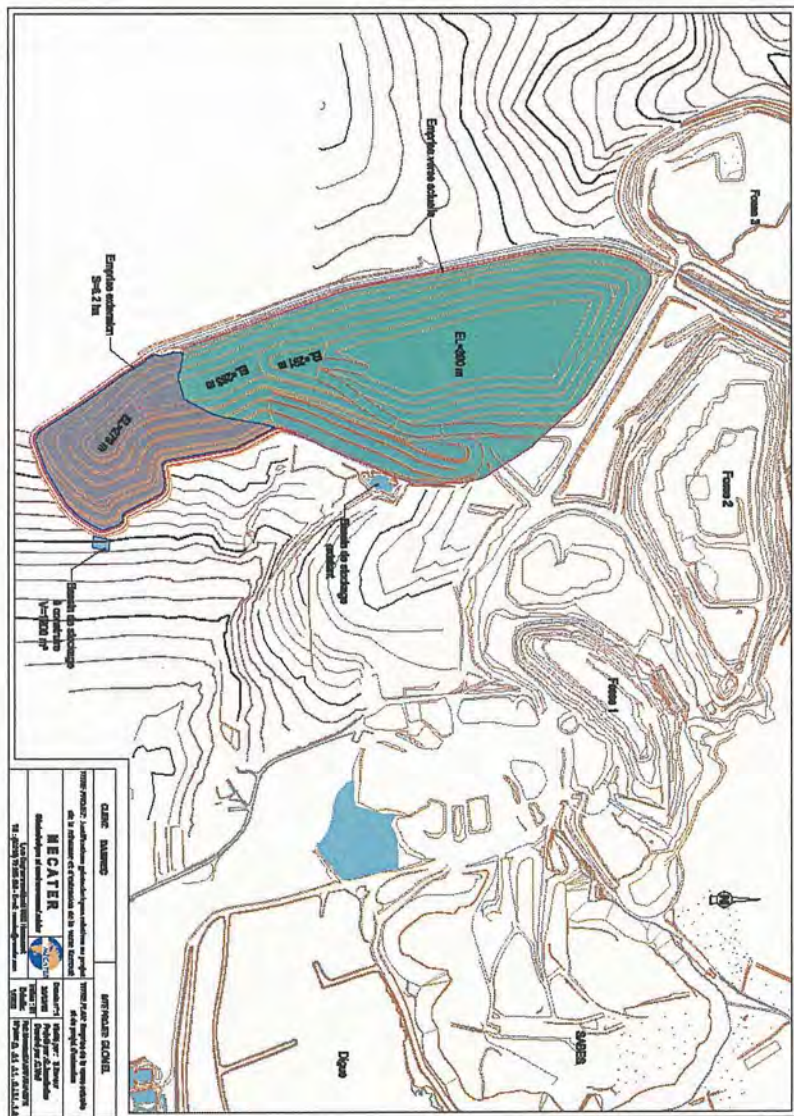


Figure N° - 30 : Coupe 5 : Stabilité vis-à-vis d'un glissement profond avec remontée accidentelle du niveau de la nappe

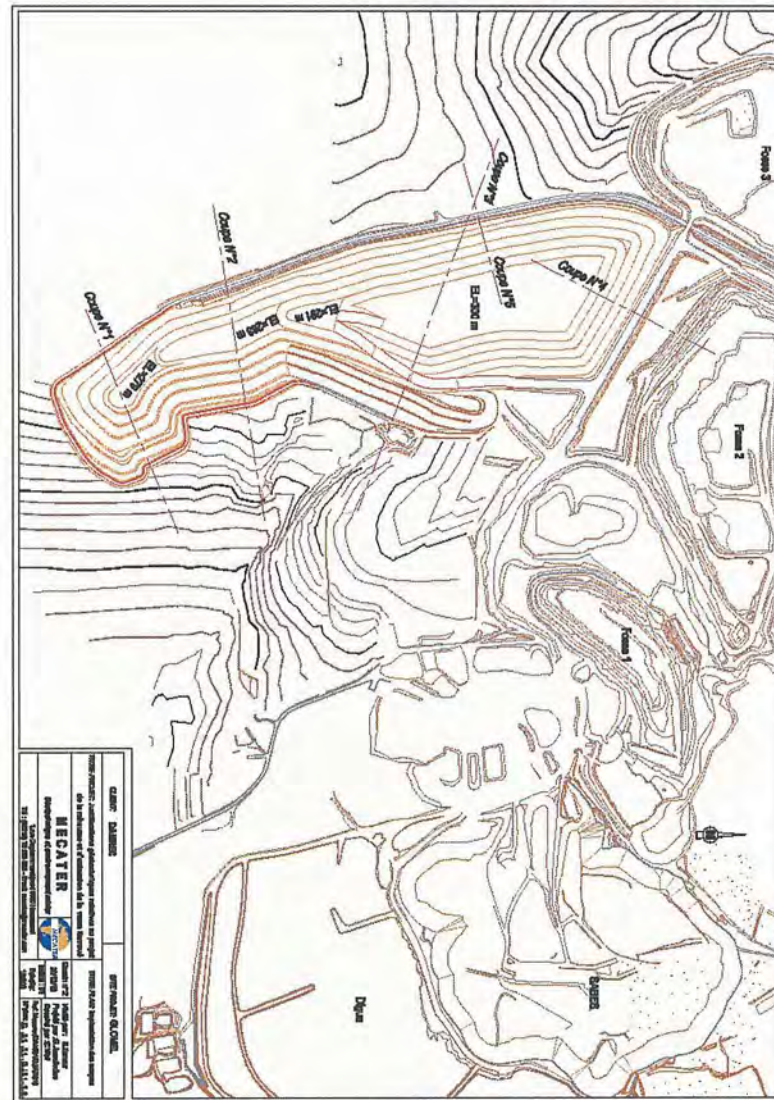
ANNEXE 3

- Principaux plans de l'étude -



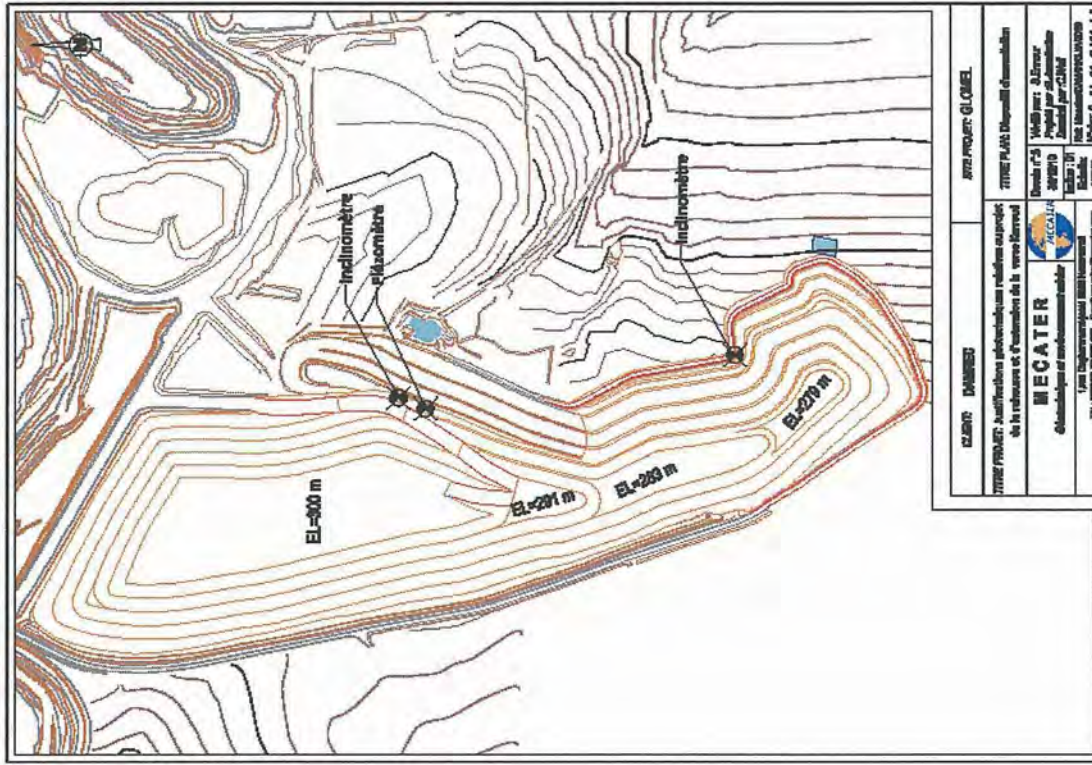
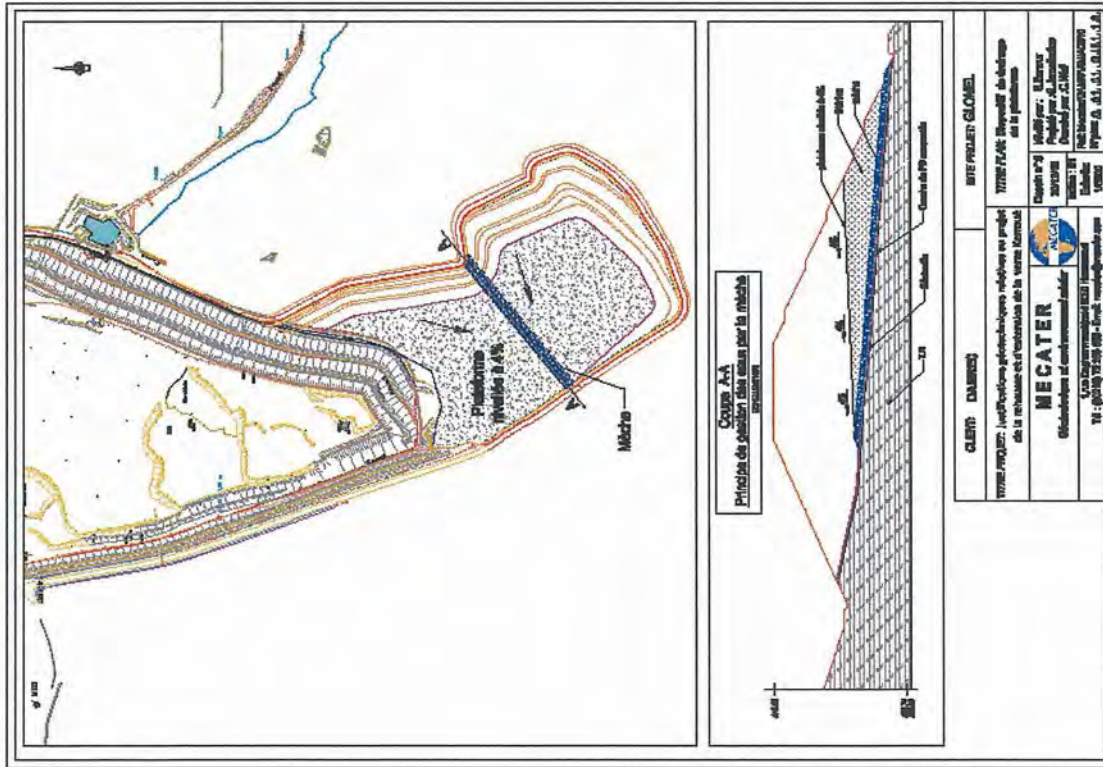


Annexe 3 -2



Annexe 3 -3





**Annexe 5 : Classification environnementale des installations de stockage  
des stériles et résidus de l'exploitation d'andalousite de Guerphalès  
(MECATER, 2011)**

---

	<b>CARRIERE DE GLOMEL</b>	
	Ref : MECATER/DAM/31/GJ/A/2011	

**CLASSIFICATION ENVIRONNEMENTALE DES INSTALLATIONS  
 DE STOCKAGE DES REJETS DE L'UNITE D'EXPLOITATION DE  
 GLOMEL**

Indice	Date	Rédigé par	Vérifié par	Approuvé par
A	13/05/2011	G.JAMALLEDDINE	S.ENNOUR F. HADJ HASSEN	S.ENNOUR

## SOMMAIRE

<b>1.</b>	<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>CARACTERISATION DE L'ENVIRONNEMENT DU SITE .....</b>	<b>1</b>
2.1	GEOLOGIE .....	1
2.2	SISMICITE DE LA ZONE D'ETUDE .....	2
2.3	EAUX DE SURFACE.....	5
2.4	EAUX SOUTERRAINES .....	5
2.5	DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT EN AVAL DES INSTALLATIONS DE STOCKAGE .....	10
<b>3.</b>	<b>DEMARCHE DE LA CLASSIFICATION ENVIRONNEMENTALE.....</b>	<b>12</b>
3.1	DEFINITION ET DEMARCHE DE CLASSIFICATION DANS LA CATEGORIE A.....	12
3.2	METHODOLOGIE DE L'ANALYSE DE RISQUE .....	12
<b>4.</b>	<b>CLASSIFICATION ENVIRONNEMENTALE DE LA VERSE KERROUE.....</b>	<b>14</b>
4.1	DESCRIPTION DE L'INSTALLATION DE STOCKAGE .....	14
4.2	CARACTERISATION DE L'ALEA MOUVEMENT DE TERRAIN .....	16
4.3	CARACTERISATION DE L'ALEA INFILTRATION DES EAUX ACIDES DANS L'ASSISE .....	19
4.4	EVALUATION DES DEGATS.....	20
4.5	ANALYSE DU RISQUE RELATIF AUX DIFFERENTS ALEAS.....	21
<b>5.</b>	<b>CLASSIFICATION ENVIRONNEMENTALE DE L'ANCIENNE DIGUE.....</b>	<b>25</b>
5.1	DESCRIPTION DE L'INSTALLATION DE STOCKAGE .....	25
5.2	CARACTERISATION DE L'ALEA MOUVEMENT DE TERRAIN .....	27
5.3	CARACTERISATION DE L'ALEA INFILTRATION DES EAUX ACIDES DANS L'ASSISE .....	29
5.4	EVALUATION DES DEGATS.....	29
5.5	ANALYSE DU RISQUE RELATIF AUX DIFFERENTS ALEAS.....	29
<b>6.</b>	<b>CLASSIFICATION ENVIRONNEMENTALE DE LA FOSSE 1.....</b>	<b>32</b>
6.1	DESCRIPTION DE L'INSTALLATION DE STOCKAGE .....	33
6.2	CARACTERISATION DE L'ALEA MOUVEMENT DE TERRAIN .....	38
6.3	CARACTERISATION DE L'ALEA INFILTRATION DES EAUX ACIDES DANS L'ASSISE .....	40
6.4	EVALUATION DES DEGATS.....	40
6.5	ANALYSE DU RISQUE RELATIF AUX DIFFERENTS ALEAS.....	42
<b>7.</b>	<b>CLASSIFICATION ENVIRONNEMENTALE DE LA VERSE SABES .....</b>	<b>45</b>
7.1	DESCRIPTION DE L'INSTALLATION DE STOCKAGE .....	45
7.2	CARACTERISATION DE L'ALEA MOUVEMENT DE TERRAIN .....	48
7.3	CARACTERISATION DE L'ALEA INFILTRATION DES EAUX ACIDES DANS L'ASSISE .....	49
7.4	EVALUATION DES DEGATS.....	50
7.5	ANALYSE DU RISQUE RELATIF AUX DIFFERENTS ALEAS.....	51
<b>8.</b>	<b>CONCLUSION.....</b>	<b>53</b>

## Liste des figures

Figure 1 : Extrait de la carte géologique de Rostrenen.....	3
Figure 2 : Zonage sismique règlementaire de la France (T = 475 ans) .....	4
Figure 3 : Réseau hydrographique au droit du site (Source : Etude d'impact sur l'environnement, Géoarmor environnement).....	7
Figure 4 : Direction des écoulements des eaux souterraines (Source : Etude hydrogéologique, Géoarmor environnement).....	8
Figure 5 : Implantation du dispositif de suivi de la qualité des eaux souterraines (Source : Etude hydrogéologique, Géoarmor environnement).....	9
Figure 6 : Plan masse.....	11
Figure 7 : Grille d'évaluation des aléas .....	13
Figure 8 : Grille d'évaluation des risques.....	13
Figure 9 : Coupe type du système de drainage de la verse.....	15
Figure 10 : Schéma conceptuel du talus définitif de la verse .....	16
Figure 11 : Coupe type de l'ancienne Digue .....	27
Figure 12 : Coupe type du barrage interfosse .....	37
Figure 13 : Coupe type du barrage cycloné.....	37
Figure 14 : Vue en plan de la verse Sabès après extension sur l'ancienne Digue.....	46
Figure 15 : Coupe type de la verse Sabès en phase ultime.....	47

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques géotechniques de référence des matériaux constituant la verse et son assise .....	16
Tableau 2 : Caractérisation de l'aléa mouvement de terrain .....	19
Tableau 3 : Risque relatif à l'aléa « Mouvement de terrain ».....	23
Tableau 4 : Risque relatif à l'aléa « Infiltration des eaux dans l'assise » .....	24
Tableau 5 : Caractéristiques géométriques de l'ancienne Digue .....	26
Tableau 6 : Caractéristiques géotechniques des matériaux constituant l'ancienne Digue .....	26
Tableau 7 : Caractérisation de l'aléa mouvement de terrain pour l'ancienne Digue .....	28
Tableau 8 : Risque relatif à l'aléa « Mouvement de terrain ».....	31
Tableau 9 : Risque relatif à l'aléa « Infiltration des eaux acides dans l'assise ».....	31
Tableau 10 : Caractéristiques géométriques du barrage interfosse.....	34
Tableau 11: Caractéristiques géotechniques des matériaux constituant le barrage interfosse .....	34
Tableau 12 : Caractéristiques géométriques du barrage cycloné .....	35
Tableau 13 : Caractéristiques géotechniques des matériaux constituant le barrage interfosse .....	35
Tableau 14 : Caractérisation de l'aléa mouvement de terrain .....	40
Tableau 15 : Risque relatif à l'aléa « Mouvement de terrain » dans le cas du barrage interfosse.....	43
Tableau 16 : Risque relatif à l'aléa « Mouvement de terrain » dans le cas du barrage cycloné.....	44
Tableau 17 : Risque relatif à l'aléa « Infiltration des eaux dans l'assise » .....	44
Tableau 18 : Caractérisation de l'aléa mouvement de terrain .....	49
Tableau 19 : Risque relatif à l'aléa « Mouvement de terrain » .....	52
Tableau 20 : Risque relatif à l'aléa « Infiltration des eaux dans l'assise » .....	52

## 1. INTRODUCTION

La société DAMREC exploite au lieu-dit Guerphalès sur la commune de GLOMEL (22) une carrière d'andalousite, minéral utilisé dans l'industrie pour la fabrication de matériaux réfractaires.

La roche brute est traitée dans une usine située sur le site pour produire un concentré commercialisable. Trois types de rejets sont générés par l'exploitation et stockés dans quatre installations différentes :

- Les stériles miniers composés d'un mélange de terre sableuse et de blocs de dimensions variables pouvant dépasser le mètre. Ces produits sont stockés dans la **verse Kerroué**.
- Les rejets sableux de laverie, composés de sable fin assez propre. Ces produits sont stockés dans la **verse Sabès**.
- Les rejets fins de laverie, composés de limons et d'argiles peu plastiques. Ils sont stockés par procédé hydraulique derrière une digue appelée « **ancienne digue** » et dans la **fosse 1**.

Dans le cadre de mise en conformité du site, DAMREC envisage de classer ces différentes installations de stockage.

Cette étude est réalisée conformément à l'arrêté du 19 avril 2010 relatif à la gestion des déchets des industries extractives.

Le présent rapport comporte six chapitres :

- Dans le premier chapitre, nous présentons une caractérisation de l'environnement du site, notamment le contexte hydrologique, géologique et hydrogéologique.
- Dans le deuxième chapitre, nous présentons la démarche de classification environnementale des installations de stockage et notamment la méthodologie de l'analyse du risque.
- Les quatre autres chapitres comportent une analyse du risque avec une classification environnementale spécifique à chacune des installations de stockage.

## 2. CARACTERISATION DE L'ENVIRONNEMENT DU SITE

### 2.1 Géologie

Le gisement de Glomel s'insère dans le domaine Centre Armoricaïn sur le flanc Nord des Montagnes Noires, en bordure du bassin de Châteaulin. Il s'agit d'un bassin sédimentaire d'âge carbonifère, limité au Nord par les Monts d'Arrée et au Sud par les Montagnes Noires.

Le profil du gisement comporte deux niveaux :

- Niveau 1 : Ce niveau de surface est composé d'une couche de moins d'un mètre de terre végétale argileuse et d'une couche faisant un à deux mètres de schiste altéré



avec des blocs durs de schiste flottant dans une masse terreuse. Ce niveau constitue le recouvrement du gisement.

- Niveau 2 : Le gisement, constitué de schiste massif sur plus de 100 m d'épaisseur et comportant de l'andalousite sous forme de paillettes. Ce niveau est constitué de roche relativement tendre dans sa partie supérieure devenant très résistante dans sa partie inférieure.

Les structures géologiques affectant le gisement s'organisent selon trois directions majeures :

- Nord-Sud : Correspondant au cisaillement dextre des Montagnes Noires.
- N 40 à 45 : Correspondant au cisaillement Sud Armoricaïn.
- Est-Ouest : Présente plutôt en micro-structurale par des fissures et des diaclases.

Ces structures présentent des pendages sub-verticaux, sauf pour la direction Est-Ouest qui peut avoir des pendages faibles (CF. Figure n°1).

## 2.2 Sismicité de la zone d'étude

Le zonage des aléas sismiques de la France montre que la région de Glomel se situe dans une zone à aléa faible. L'accélération sismique de cette zone, pour une période de retour de 475 ans est égale à  $1.1 \text{ m/s}^2$  (0,11g) (CF. Figure n°2).

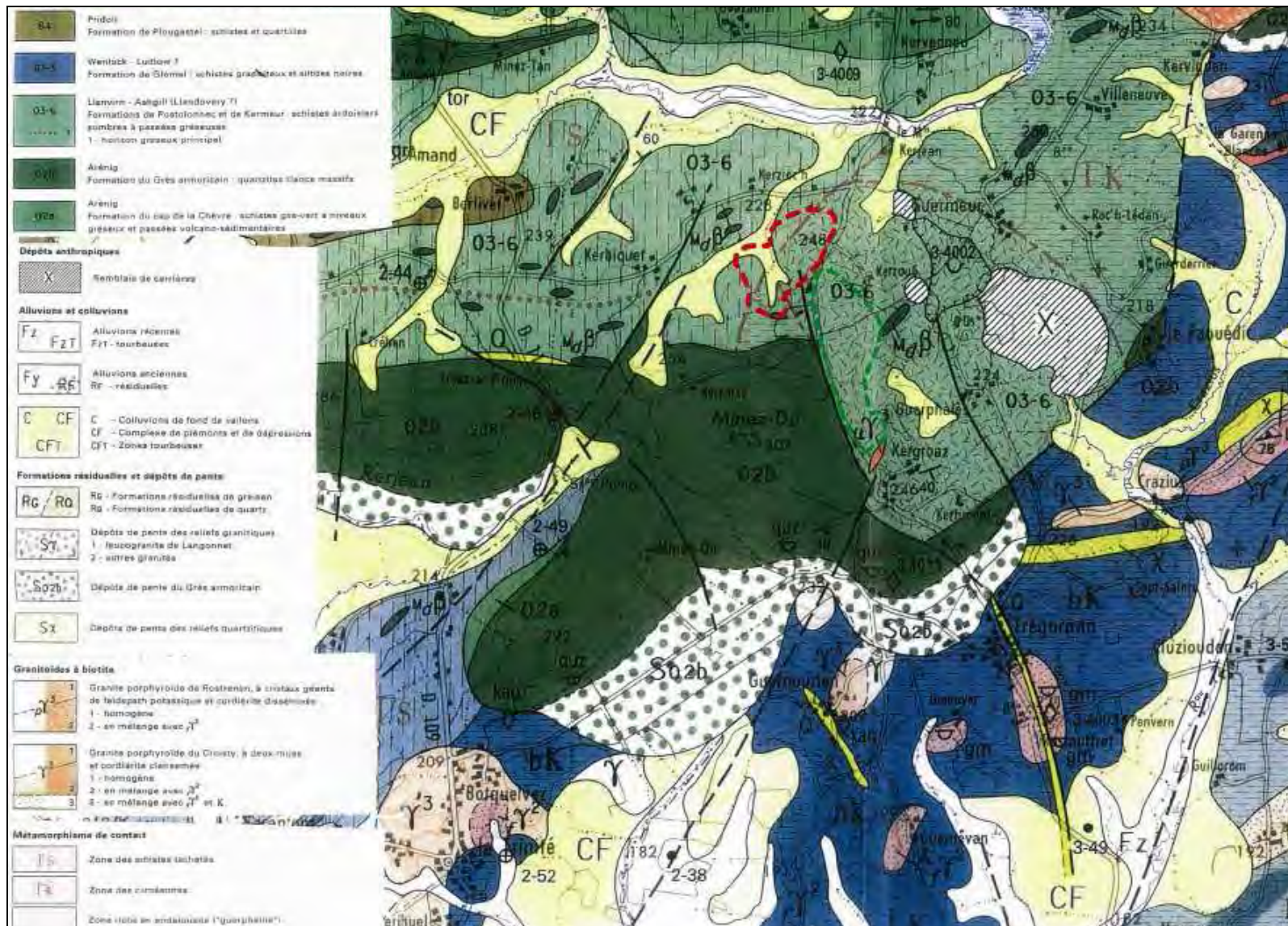


Figure 1 : Extrait de la carte géologique de Rostrenen

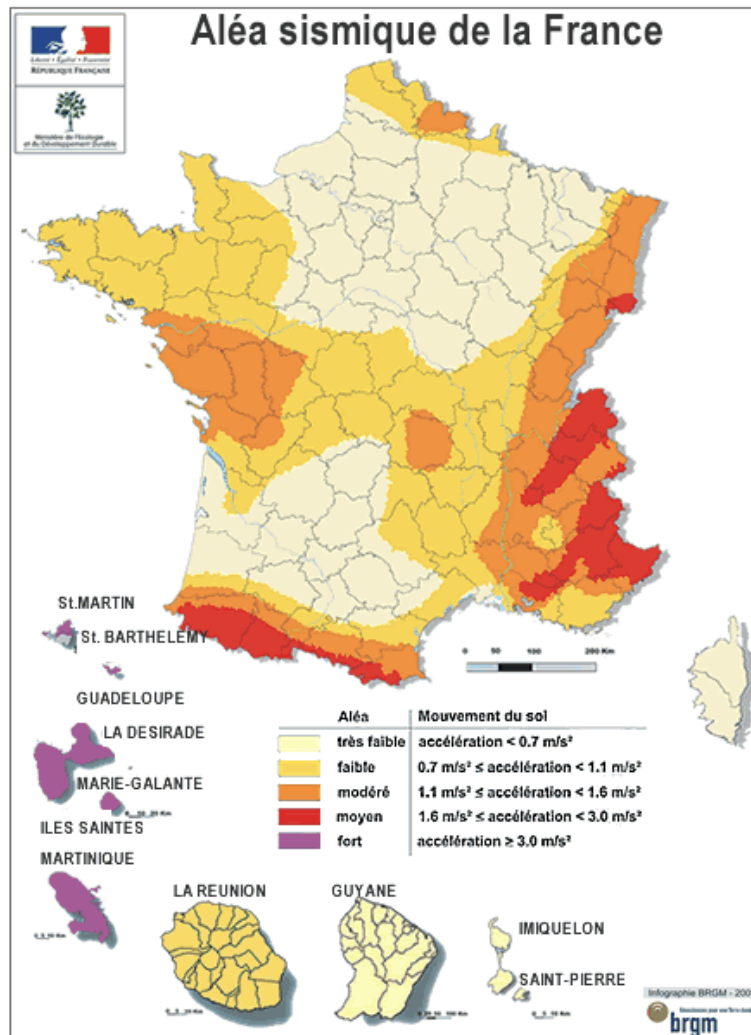


Figure 2 : Zonage sismique réglementaire de la France (T = 475 ans)

## 2.3 Eaux de surface

Le site de Guerphalès se trouve à la limite du bassin versant du Blavet et de l'Ellé.

La fosse 1 est en partie située sur le bassin versant d'un ru affluent du ruisseau de Crazius (lui-même affluent de l'Ellé).

La verse Kerroué est à cheval sur les bassins versants du ruisseau de Kerjean et du ruisseau du Crazius. Actuellement, toutes les eaux de la verse sont dirigées vers le bassin versant de l'Ellé.

La verse Sabès et l'ancienne digue sont aussi situées dans le bassin versant de l'Ellé.

En aval du site de Guerphalès, les ruisseaux du bassin versant de l'Ellé rejoignent l'étang du Crazius. Cet étang appartient à la société DAMREC et était utilisé autrefois comme stock d'eau tampon pour le circuit des eaux de l'usine.

Cet étang présente une superficie de 7.7 ha, une profondeur moyenne de 1.5 m et une capacité proche de 120 000 m<sup>3</sup>.

Trois stations de pompage d'eau superficielle pour l'AEP existent autour du site

- Au Nord, en aval du barrage du Corong, la prise d'eau de Mézouët pompe dans le bief de partage du canal de Nantes à Brest. Elle est exploitée par le Syndicat du Centre Bretagne. Son périmètre de protection rapprochée remonte le long du réseau hydrographique (le Kerjean) et borde la fosse 3. Aucun rejet d'eau n'est fait par DAMREC dans ce bassin versant.
- A 8 Km au Sud, sur L'ellé, la station de Pont St Yves à Langonnet est utilisée de façon occasionnelle par la commune de Gourin pour stocker de l'eau brute dans d'anciennes carrières. Il s'agit d'une sécurité permettant de faire face à un éventuel débit insuffisant sur la prise d'eau de Conveau.
- A 20 km à l'aval, toujours sur l'Ellé, la station de Barregant au Faouet, est exploitée par le Syndicat de l'Ellé.

Les installations étudiées (fosse 1, verse Kerroué, verse Sabès et l'ancienne digue) sont situées dans le bassin versant de l'Ellé.

## 2.4 Eaux souterraines

Le gisement comporte une nappe perchée avec un écoulement préférentiel dans le réseau de fracturation. Initialement, les écoulements souterrains suivaient globalement le pendage de la surface topographique.

Suite au pompage d'exhaure et aux travaux d'extraction de minerai, la circulation des eaux souterraines a été modifiée. En effet, la fosse N°2 présente une dépression hydraulique qui collecte les eaux provenant du Nord du site.

Au niveau de la verse Kerroué, une crête piézométrique a été observée lors de l'étiage de 2008. Cette crête traverse la totalité du site de part en part (CF. Figure n°4).

L'étude réalisée par le bureau d'étude LITHOLOGIC en 1993 montre qu'il n'existe pas de direction de fracturation privilégiée associée à la circulation des eaux souterraines.

De même, les essais de pompage réalisés montrent la présence de limites étanches compartimentant l'aquifère. En effet, aucune variation n'a été observée dans des piézomètres situés à moins de 100 m du puits de pompage.

Ces essais de pompage montrent que le coefficient d'emménagement est de l'ordre de  $10^{-4}$  et que la transmissivité serait proche de  $1.75 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ . Ces caractéristiques témoignent d'une faible circulation des eaux dans les schistes.

Les puits et les forages situés aux alentours du site sont utilisés pour le jardinage. En effet, toutes les habitations sont reliées au réseau d'AEP.

DAMREC assure un suivi mensuel du niveau de la nappe et de la qualité des eaux souterraines dans deux puits et dans quatre piézomètres de 40 m de profondeur répartis autour du site (CF. Figure n°5).

- Piézomètre Sortie Fosse 1 : Cet ouvrage est implanté dans le barrage interfosse.
- Piézomètre Neutralac : Ce piézomètre est situé au Sud-Ouest de la Fosse 1 près de la station de traitement I (Neutralac I).
- Piézomètre Sud : Ce piézomètre est situé en aval de l'ancienne digue.
- Piézomètre KJ2 : Il s'agit d'un piézomètre situé entre le site (fosse 1 et fosse 2) et le ruisseau de Kerjean.
- Puits Guermeur : C'est un puits du hameau de Guermeur situé au Nord-Est de la verve Sabès.
- Puits Roch Lédan, dans le hameau du même nom.

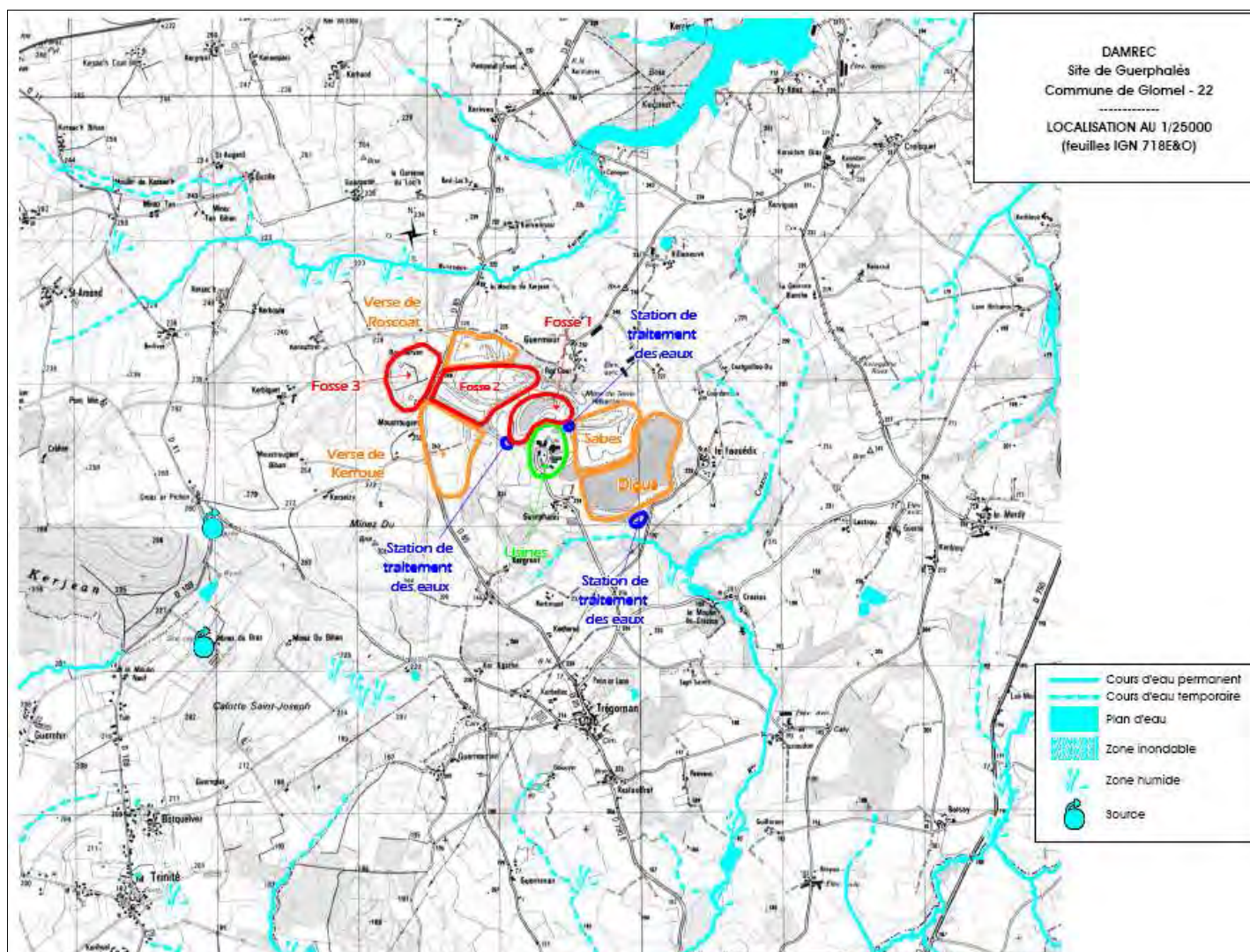


Figure 3 : Réseau hydrographique au droit du site (Source : Etude d'impact sur l'environnement, Géoarmor environnement)

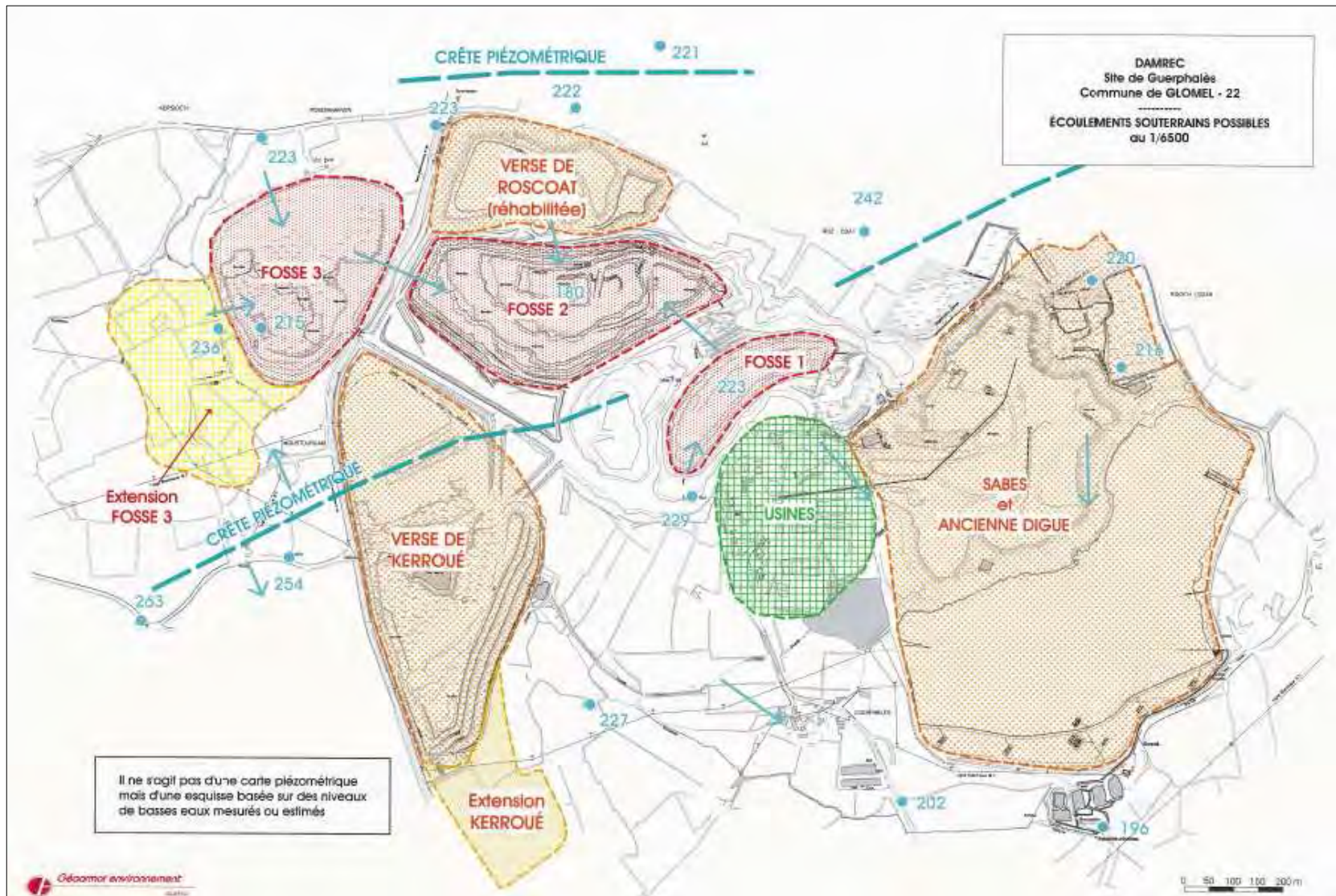


Figure 4 : Direction des écoulements des eaux souterraines (Source : Etude hydrogéologique, Géoarmor environnement)

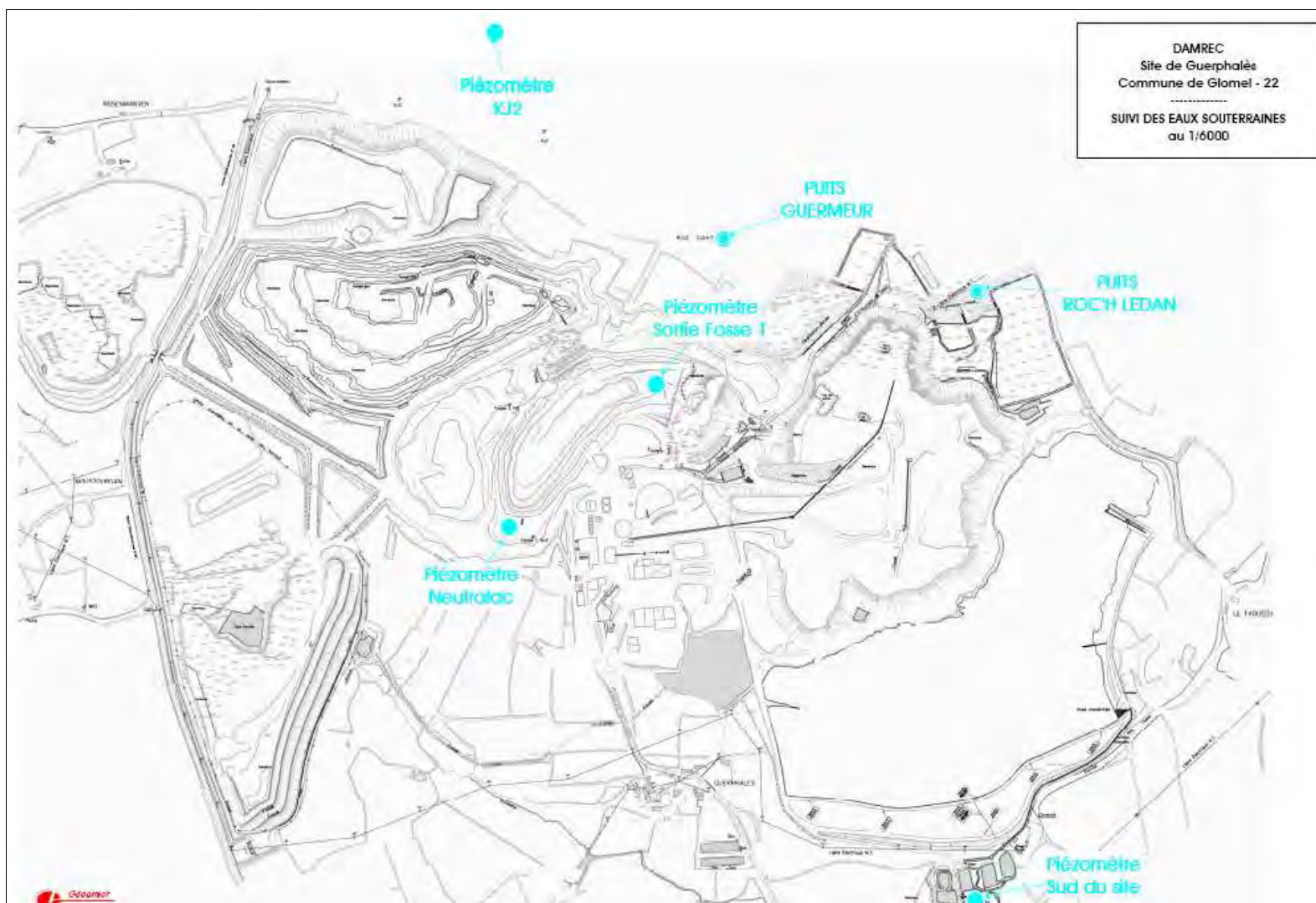


Figure 5 : Implantation du dispositif de suivi de la qualité des eaux souterraines (Source : Etude hydrogéologique, Géoarmor environnement)



## 2.5 Description de l'environnement en aval des installations de stockage

Le plan de la figure n°6 montre l'environnement en aval des différentes installations de stockage.

### 2.5.1 Environnement en aval de la verse Kerroué

Deux habitations sont situées à 600 m en aval de la verse Kerroué.

La topographie en aval de la verse Kerroué est relativement plate. En effet, la pente du terrain naturel est proche de 5%.

Un petit ruisseau est situé en aval de la zone d'extension. Ce ruisseau débouche dans l'étang de Crazius.

Les infrastructures existantes (outre les installations industrielles) sont les suivantes :

- Route départementale RD 85 située à 20 m en amont de la verse Kerroué. Un merlon de 5 m de hauteur sépare la route et le pied de la verse.
- Chemin rural situé en aval immédiat de la verse Kerroué. Il permet d'accéder aux périmètres actuels d'activité.

La partie Nord Est de la verse Kerroué se situe à 50 m en amont de la fosse 2 qui est en phase d'exploitation.

### 2.5.2 Environnement en aval du barrage interfosse

Le barrage interfosse se situe en amont de la fosse 2 qui est en cours d'exploitation.

Une banquette rocheuse faisant 10 à 15 m de largeur sépare le pied de la digue et l'entrée en terre de la fosse 2.

Aucune habitation ni installation industrielle n'a été recensée en aval du barrage interfosse.

#### 2.5.2.1 Environnement en aval du barrage cycloné

Le barrage cycloné se situe en amont immédiat de la verse Sabès. Aucune habitation ni installation industrielle n'a été recensée en aval de ce barrage.

### 2.5.3 Environnement en aval de la verse Sabès

Trois habitations se situent en aval de la verse Sabès :

- La maison des chasseurs (propriété de DAMREC) est située à moins de 100 m en aval de la verse Sabès étendue.
- Deux habitations sont situées à 300 m en aval de la verse Sabès étendue.

La verse Sabès s'étendra sur l'ancienne digue. Le pied de la verse sera situé à plus de 50 m en amont de la crête de l'ancienne digue.

Les petits ruisseaux situés en aval de la zone d'extension déboucheront dans l'étang de Crazius.



Figure 6 : Plan masse du site d'exploitation de DAMREC à Glomel

### 3. DEMARCHE DE LA CLASSIFICATION ENVIRONNEMENTALE

#### 3.1 Définition et démarche de classification dans la catégorie A

Une installation de gestion de déchets est classée dans la catégorie A, au sens de l'arrêté du 19 avril 2010 relatif à la gestion des déchets des industries extractives, si les effets, à court ou à long terme, d'une défaillance due à une perte d'intégrité structurelle ou des défaillances de fonctionnement ou d'exploitation d'une installation de gestion de déchets peuvent entraîner :

- a) Des conséquences graves sur les personnes physiques ;
- b) Des dommages graves sur la santé humaine et l'environnement.

Le classement en catégorie A s'apprécie au regard de trois critères :

- le niveau de risque de perte d'intégrité des installations de stockage ;
- la quantité de déchets dangereux présents dans les stockages ;
- la quantité de substances et préparations dangereuses présentes dans les bassins de résidus.

Ainsi, l'exploitant d'une installation de stockage de déchets doit réaliser une analyse des risques des installations de stockage de déchets visant :

- d'une part, à identifier l'ensemble des risques et la gravité des conséquences associées aux défaillances potentielles de son installation ;
- d'autre part, à déterminer si l'installation de gestion de déchets relève de la catégorie A au regard de l'annexe III, premier tiret, de la directive 2006/21/CE.

Cette démarche sera utilisée pour la classification des 4 installations de stockage.

#### 3.2 Méthodologie de l'analyse de risque

L'analyse de risques est basée sur la méthode de croisement de l'aléa et des dégâts potentiels induits sur l'environnement (naturel, infrastructures, humain).

**L'aléa** traduit, la probabilité de réalisation d'un phénomène naturel avec une intensité donnée au cours d'une période de référence donnée. Du fait de la grande variabilité des phénomènes naturels et des nombreux paramètres qui interviennent dans leur déclenchement, l'aléa est défini par quatre classes : négligeable, faible, moyen et fort.

##### 3.2.1 Identification des aléas

En considérant l'environnement du site, les aléas susceptibles d'affecter les installations de stockage sont les suivants :

- Mouvement de terrain

- Infiltration des eaux acides dans l'assise

Les événements initiateurs pouvant entraîner des dysfonctionnements au niveau des installations sont les suivants :

- Crues extrêmes
- Séisme
- Tir de mine
- Vieillessement des ouvrages
- Défauts de construction

### 3.2.2 Grille d'évaluation des aléas

L'aléa est lié à la récurrence et à l'intensité d'un phénomène naturel. L'aléa peut s'écrire sous la forme suivante : **Aléa = Intensité x Probabilité** (CF. Figure n°7).

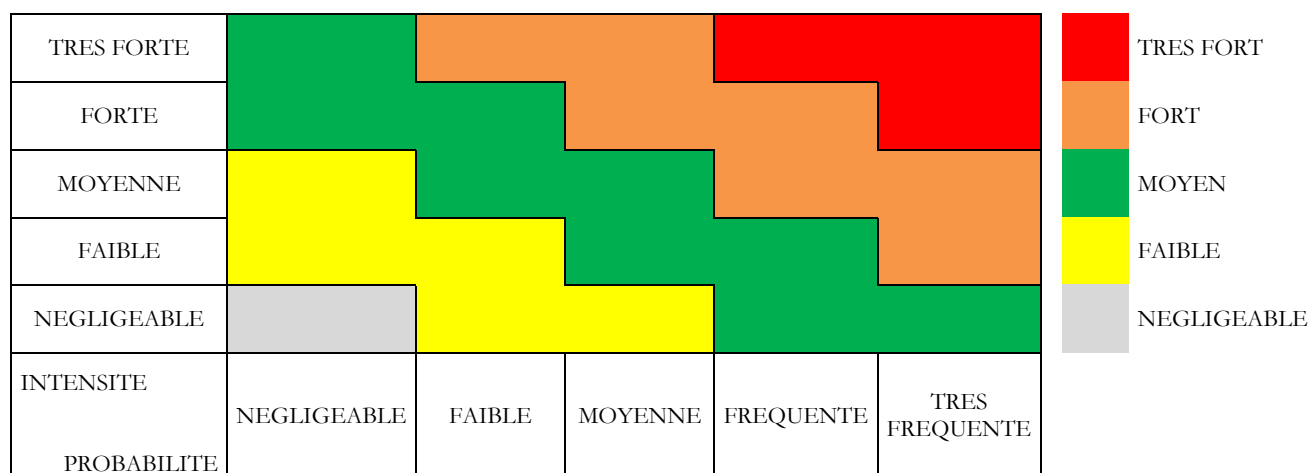


Figure 7 : Grille d'évaluation des aléas

### 3.2.3 Grille d'évaluation des risques

Le risque est une évaluation du danger qui s'exprime par la combinaison de l'aléa relative à un événement redouté et la vulnérabilité du milieu récepteur : **Risque = Aléa x Vulnérabilité** (CF. Figure n°8).

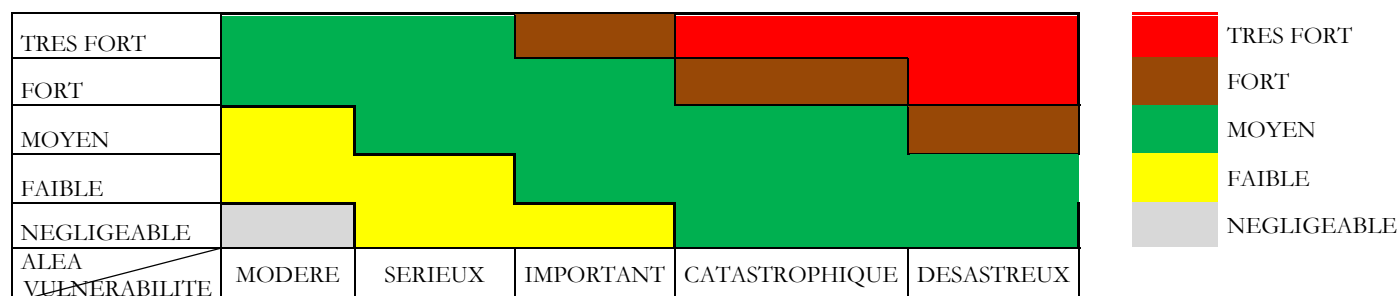


Figure 8 : Grille d'évaluation des risques

## 4. CLASSIFICATION ENVIRONNEMENTALE DE LA VERSE KERROUE

La verse Kerroué a été construite pour stocker les stériles miniers composés d'un mélange de terre sableuse et de blocs de dimensions variables pouvant dépasser le mètre.

Les analyses chimiques réalisées sur ce produit montrent que :

- Ces déchets présentent une teneur maximale en soufre sous forme de sulfure de 1.47% et un ratio de neutralisation inférieur à 3 (CF. Annexe 3 et 4).
- Ces déchets ne comportent pas d'éléments dangereux (CF. Annexe 2).

En se référant à l'arrêté du 19 avril 2010 relatif à la gestion des déchets des industries extractives, ces stériles sont classés comme des déchets non inertes non dangereux.

Nous tenons à préciser que ces déchets sont issus de la découverte de la carrière. Ils sont transportés directement de la carrière vers la verse et ils ne subissent aucun traitement particulier.

En absence de déchets dangereux dans la verse, la classification en catégorie A sera basée sur le niveau de risque de perte d'intégrité structurelle.

### 4.1 Description de l'installation de stockage

Actuellement, la verse couvre une superficie proche de 18 ha et sa plateforme sommitale se situe à la cote 260 NGF dans la partie Nord et remonte à la cote 275 NGF dans la partie Sud.

En phase ultime, la plateforme sommitale ultime atteindra la cote 300 NGF dans la partie Nord et la cote 279 NGF à l'extrémité Sud de la verse.

En phase ultime, la verse aura 4 talus libres :

- Talus Est au niveau de la zone d'extension

Le pied du talus de la verse est ancré à la cote 231 NGF. La zone d'ancrage du pied de la verse est relativement plane. La pente générale de l'assise est orientée vers le Sud Ouest. Elle est inférieure à 10 %.

Le talus de la verse remontera jusqu'à la plateforme sommitale ultime fixée à la cote 283 NGF, soit une hauteur maximale de 52 m.

La pente maximale du talus de la verse sera de 25°.

- Talus Est au niveau de la zone de rehausse

Le talus présentera une hauteur maximale de 58 m, soit de la cote 300 m à la cote 242 m avec une pente intégratrice limitée à 22°.

Le talus est traversé par une piste d'accès frontale partant de la cote 257 et arrivant jusqu'à la cote 291 NGF.

- Talus Nord Est

Le talus est ancré à la cote 259 NGF et remontera jusqu'à la plateforme sommitale ultime fixée à la cote 300 NGF, soit une hauteur maximale de 41 m. Sa pente sera limitée à 27°.

- Talus Ouest

Ce flanc présente une pente intégratrice de 25° sur une hauteur de 37,5 m. Le pied du talus est ancré à la cote 262.5 NGF et sa crête ultime sera située à la cote 300 NGF.

La construction de la verse a été réalisée par l'exploitant par couches de 3 m de hauteur. Elle comprend les aménagements suivants (CF. Figures n°9 et 10):

- Un dispositif de drainage de l'assise de la verse (sous forme de tranchées drainantes) permettant la collecte des eaux propres provenant des résurgences naturelles.
- Un réseau de tranchées busées sous la verse permettant de collecter les eaux provenant de l'amont de la verse ainsi que les eaux de ruissellement au-dessus de la verse (plateforme sommitale) et les achemine vers le circuit de traitement des eaux polluées situé à l'aval de la verse.
- Un dispositif d'étanchéité à la base de la verse (couche "PS") assurant une étanchéité qui protégerait la nappe contre les eaux d'infiltration polluées provenant du stérile stocké dans la verse.
- Un tapis drainant au niveau des dépressions. Il permet d'éviter les montées de pression d'eau au pied de la verse.

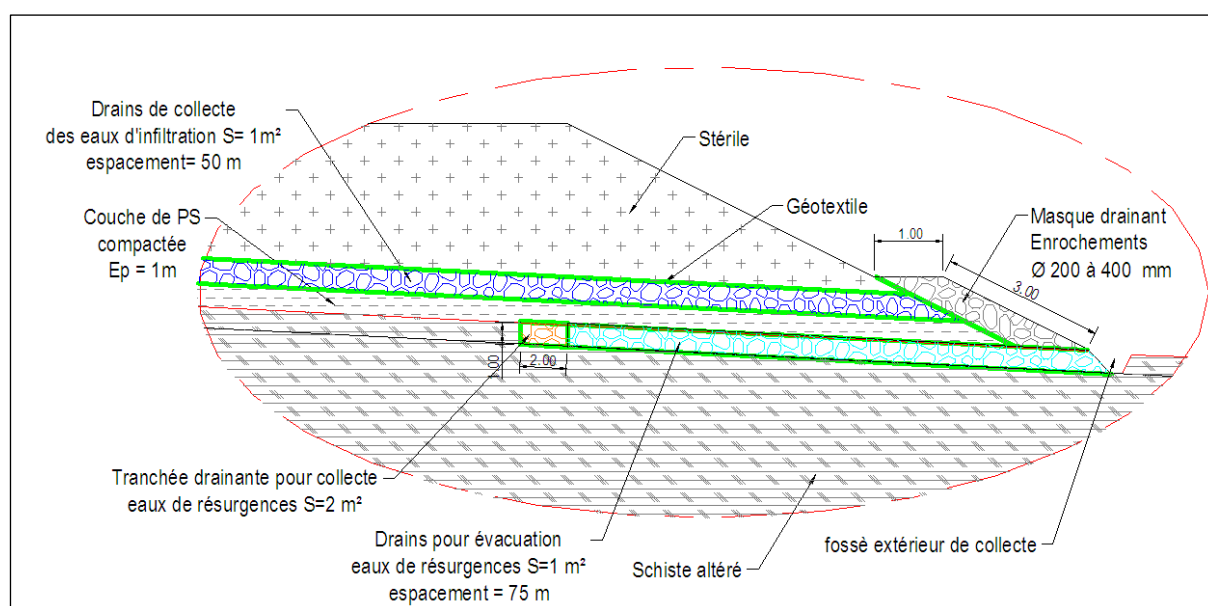
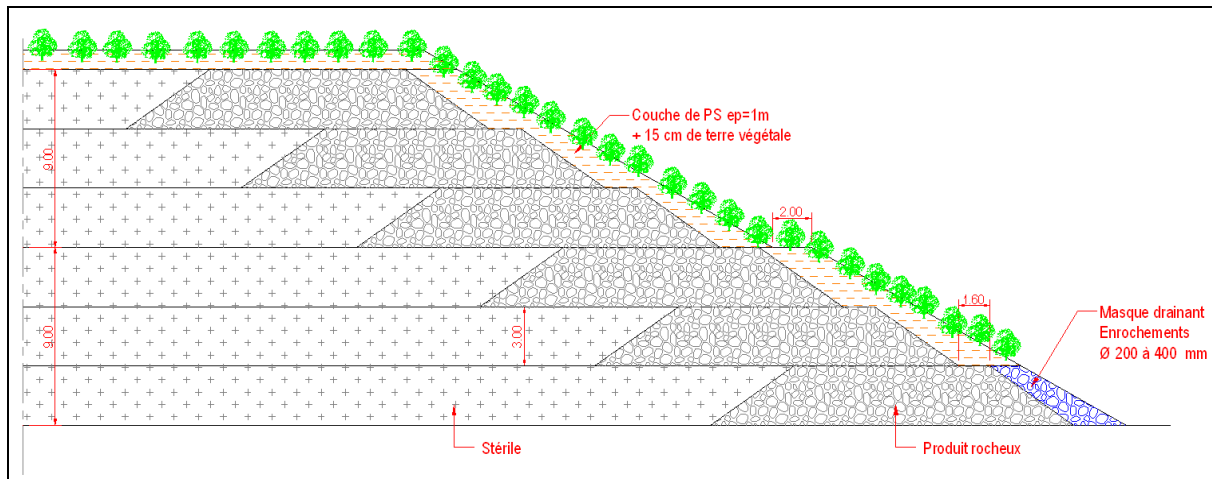


Figure 9 : Coupe type du système de drainage de la verse



**Figure 10 : Schéma conceptuel du talus définitif de la verse**

Les caractéristiques géotechniques de l'assise et des matériaux constituant la verse sont présentées dans le tableau ci dessous.

**Tableau 1 : Caractéristiques géotechniques de référence des matériaux constituant la verse et son assise**

Matériau	Description	Poids volumique saturé (KN/m <sup>3</sup> )	Cohésion (KPa)	Angle de frottement (°)
Stérile minier	Mélange de blocs de schiste et de matériaux sableux limoneux	20	10	35
Schiste altéré	Schiste altéré avec des blocs durs flottant dans une masse terreuse	22	20	20
Substratum	Terrain sain	25	100	45

#### 4.2 Caractérisation de l'Aléa mouvement de terrain

L'aléa mouvement de terrain peut survenir suite à :

- Des crues extrêmes
- Un vieillissement de l'ouvrage
- Des défauts de construction
- Un séisme
- Un tir de mine

#### 4.2.1 Evénement initiateur « crues extrêmes »

Le dispositif de drainage de la verse Kerroué est dimensionné pour une récurrence décennale.

Les crues extrêmes peuvent donner lieu à des stagnations d'eau sur la plateforme sommitale de la verse et à un débordement des eaux sur les talus.

Ainsi, l'événement initiateur « crue » peut provoquer des instabilités qui se manifestent selon deux intensités :

- Intensité **négligeable** : correspondant à un ravinement des talus de la verse. Il est provoqué par un dépassement du débit de dimensionnement de plus de 20%, soit une récurrence vingtennale. En présence de couvert végétal sur la verse, nous estimons que le volume mobilisable sera négligeable vis-à-vis de l'impact sur l'environnement.
- Intensité **moyenne** : correspondant à un glissement peu profond. Il peut survenir suite à une crue de récurrence centennale. Les calculs de stabilité réalisés montrent que le volume d'instabilité potentiel serait inférieur à 50 000 m<sup>3</sup>.

#### 4.2.2 Evénement initiateur « séisme »

Le zonage des aléas sismiques de la France montre que la région de Glomel se situe dans une zone à aléa faible. L'accélération sismique pour une période de retour de 475 ans est égale à 1.1 m/s<sup>2</sup> soit 0,11g.

Les calculs de stabilité montrent que le coefficient de sécurité de la verse dans des conditions d'un séisme de récurrence 1/475 est proche de 1.25 soit 25% de marge de sécurité vis-à-vis du glissement des talus de la verse. (CF. Figure n°1, annexe 1)

Pour une période de retour supérieure à 1 000 ans, l'accélération serait proche de 0.2g.

En présence d'une accélération de 0.2 g, la verse peut subir un glissement profond mobilisant près de 50 000 m<sup>3</sup> de matériaux.

##### 4.2.2.1 Evénement initiateur « Défauts de construction »

En supposant que la phase de construction de la verse Kerroué durera 20 ans et en admettant que :

- L'exploitant a mis en place une procédure de contrôle des pentes et des hauteurs des talus.
- La construction de la verse est réalisée par un personnel qualifié et doté d'expérience.
- Le coefficient de sécurité vis-à-vis du glissement est égal à 1.57 soit 57 % de marge de sécurité permettant de couvrir les défauts de construction (Référence : MECATER/DAM/61/GJ/A/2010 : justifications géotechniques relatives au projet d'extension et de rehausse de la verse Kerroué).



Nous estimons que la probabilité d'observer des instabilités suite à des défauts de construction est **faible**.

Les défauts de construction peuvent engendrer soit des ravinements des talus (intensité **négligeable**) soit des glissements superficiels (intensité **faible**).

#### 4.2.3 Evénement initiateur « Vieillessement de l'ouvrage »

Le vieillissement des ouvrages se manifeste essentiellement par le colmatage progressif du dispositif de drainage interne.

Un tel dysfonctionnement peut provoquer un glissement du talus de la verse engendrant une mobilisation d'un volume de matériaux inférieur à 50 000 m<sup>3</sup>. Ce glissement peut être classé en intensité **moyenne**.

Nous tenons à préciser que le rôle de drain se limite à l'évacuation des eaux d'infiltration durant la phase de construction de la verse. En effet, en phase ultime et suite au confinement de la verse (couche de PS + terre végétale + végétation), les eaux s'écouleront à travers la végétation sur les flancs libres pour atteindre le caniveau aménagé au pied de la verse.

Les calculs de la stabilité de la verse Kerroué montrent qu'en cas de colmatage du dispositif du drainage interne, la stabilité de la verse est assurée avec un coefficient de sécurité proche de 1.4.

Etant donné que les drains internes de la verse sont enveloppés dans une nappe de géotextile, que la durée de construction est de 20 ans et que le coefficient de stabilité vis-à-vis d'un glissement provoqué par un dysfonctionnement du système de drainage est de l'ordre de 1.4 (Cf. Figure n°2, annexe 1), la probabilité d'observer un mouvement de terrain induit par le vieillissement de l'ouvrage est jugée **négligeable**.

#### 4.2.4 Evénement initiateur « Tir de mine »

Des contrôles des niveaux de vibrations liées au tir de mine ont été réalisés par la société Géoarmor environnement. Ces contrôles ont montré que l'accélération induite par les tirs de mine est décomposée comme suit : 0.02 g pour l'accélération horizontale et 0.06 g pour l'accélération verticale.

Les tirs de mine peuvent engendrer des glissements d'intensité faible à moyenne des flancs libres de la verse.

Les calculs de stabilité de la verse Kerroué, montrent qu'en considérant une accélération horizontale de 0.02 g et une accélération verticale de 0.06 g, le coefficient de sécurité vis-à-vis du glissement de la verse est égal à 1.5 soit 50 % de marge de sécurité (Cf. Figure n°3, annexe 1).

Vu cette grande marge de sécurité, nous estimons que la probabilité d'un glissement suite aux tirs de mine est **négligeable**.

#### 4.2.5 Evaluation de l'aléa mouvement de terrain

Le tableau ci-dessous résume les effets induits par les différents événements initiateurs et définit les niveaux d'aléa correspondant.

Nous tenons à préciser que le niveau d'aléa retenu correspond au niveau le plus fort obtenu par le croisement de l'intensité et de la probabilité de chaque événement initiateur.

**Tableau 2 : Caractérisation de l'aléa mouvement de terrain**

Événement initiateur	Intensité de l'aléa			Probabilité	Aléa mouvement de terrain
Défaut de construction	Ravinement	<1000 m <sup>3</sup>	<b>Négligeable</b>	Faible	<b>Faible</b>
<b>Crue extrême</b>				Moyen	
<b>Défaut de construction</b>	Glissement superficiel	<10 000 m <sup>3</sup>	<b>Faible</b>	<b>Faible</b>	<b>Faible</b>
Tir de mine	Glissement peu profond	<50 000 m <sup>3</sup>	<b>Moyenne</b>	Négligeable	
<b>Crue extrême</b>				<b>Faible</b>	
Vieillessement de l'ouvrage				Négligeable	
<b>Séisme</b>	Glissement profond	>50 000 m <sup>3</sup>	<b>Forte</b>	<b>Négligeable</b>	<b>Moyen</b>

Cette analyse montre que l'aléa « mouvement de terrain » présente deux niveaux :

- Un niveau faible correspondant à un glissement superficiel ou à un ravinement mobilisant moins de 10 000 m<sup>3</sup> suite à un défaut de construction ou à une crue de récurrence vingtennale.
- Un niveau moyen correspondant à un glissement pouvant mobiliser plus de 10 000 m<sup>3</sup> suite à un séisme de récurrence millénnale ou à une crue de récurrence centennale.

### 4.3 Caractérisation de l'Aléa infiltration des eaux acides dans l'assise

Etant donné que la couche de PS de 1m d'épaisseur jouant le rôle d'une barrière active est installée avant toute opération de stockage des stériles et en admettant une durée de construction de 20 ans, la probabilité d'infiltration des eaux à travers la couche d'étanchéité en PS est jugée **moyenne**.

En phase ultime, vu la forte pente des talus et suite au confinement de la verse (mise en place de la couche d'étanchéité de surface en PS + terre végétale + végétation), la probabilité d'infiltration des eaux sera **négligeable**.

En cas d'infiltration des eaux à travers la couche de PS, nous estimons que l'intensité de la pollution sera **faible**. Le panache de l'acidité dépassera l'emprise de la verse mais il restera contenu dans le site d'exploitation. En effet, vu la faible perméabilité de l'aquifère et compte tenu de son cloisonnement (présence de structures étanches), la vitesse moyenne de circulation des eaux souterraines sera faible, ce qui limite la propagation des eaux acides.

Par conséquent, en se référant à la grille d'évaluation, l'aléa infiltration des eaux acides dans l'assise est jugé **moyen**.

## 4.4 Evaluation des dégâts

### 4.4.1 Evaluation des dégâts causés par les ravinements

Les dégâts potentiels qui pourraient survenir en cas d'un ravinement de talus seraient limités à l'érosion régressive des talus avec transport des matériaux érodés dans les eaux de ruissellements. Ces eaux seront récupérées dans le bassin situé au pied de la verse. Nous estimons ainsi que les dégâts induits par le ravinement des talus sont **modérés**.

### 4.4.2 Evaluation des dégâts causés par les glissements superficiels

Les dégâts potentiels qui pourraient survenir en cas d'un glissement superficiel de la verse sont limités au charriage à court terme (quelques jours) des éboulis par les écoulements de surface qui se chargeront en matières en suspension. Ces eaux seront récupérées dans le bassin situé au pied de la verse. Nous estimons ainsi que les dégâts induits par le glissement superficiel des talus sont **modérés**.

### 4.4.3 Evaluation des dégâts causés par les glissements peu profonds

Le volume mobilisable suite à un glissement peu profond serait respectivement : 21 000 m<sup>3</sup> pour le flanc Ouest de la verse et 46 000 m<sup>3</sup> pour le flanc Est de la verse (CF Figures n°4 et 5, annexe 1).

Afin de déterminer l'étendue de l'éboulement, nous avons réalisé un calcul géométrique en tenant compte de la topographie du site. Ce calcul a été effectué moyennant les deux hypothèses suivantes :

- Un facteur de foisonnement de 1.3 (les terrains éboulés occuperont un volume plus important par rapport à leur volume initial).
- Un angle de repos des éboulis de 25° pour tenir compte de l'énergie de chute et de la dynamique de la propagation.

Les résultats montrent que (CF. Figures n°6 et 7, annexe 1):

**En cas de glissement du flanc Ouest de la verse :** le merlon existant entre la route et le pied de la verse (4 m de hauteur) permettra de piéger les éboulis et d'empêcher leur propagation jusqu'à la route départementale RD 85.

**En cas de glissement du flanc Est de la verse :** la zone d'éboulement s'étendrait sur 50 m en aval du pied actuel de la verse. En effet, la topographie est très favorable pour le piégeage des éboulis. Les dégâts potentiels qui pourraient survenir suite au glissement du flanc Est de la verse se limiteront au charriage à court terme (quelques jours) des éboulis par les écoulements de surface qui se chargeront en matières en suspension (MES) et se déverseront dans les cours d'eau situés en contre bas de la zone éboulée. Ces MES seront piégées dans les bassins situés en aval de la verse. En cas de dysfonctionnement de ces bassins, les MES seront retenues dans l'étang de Crazius. Ainsi, les stations de pompage de Pont St Yves et de Barregant situées respectivement à 8 et à 20 Km en aval du site ne seront pas impactées par les éboulis.

Cette analyse montre que :

- Le glissement peu profond de la verse n'aura pas d'impact sur la vie humaine. En effet l'éboulement s'étendra sur 50 m, alors que les premières habitations sont situées à 600 m en aval de la verse.
- La route départementale RD 85 ne sera pas coupée suite au glissement.
- Pas d'impact sur les stations de pompage AEP.
- Les dégâts sur l'environnement seront réversibles.

En conclusion de cette analyse, nous estimons que les dégâts causés par les glissements peu profonds sont **modérés**.

#### 4.4.4 Evaluation des dégâts causés par les glissements profonds

Vu le contexte topographique favorable en aval du talus Est de la verse, les dégâts potentiels qui pourraient survenir en cas d'un glissement profond du talus Est de la verse sont similaires à ceux observés dans un glissement peu profond. Ainsi, les dégâts causés par le glissement profond du talus de la verse sont **modérés**.

Cependant, le glissement profond du talus Ouest de la verse induira une coupure totale de la route départementale RD 85.

Vu le faible trafic (<400 voitures par jour) et étant donné que les personnes ne sont pas présentes pendant de longues périodes dans la zone des effets irréversibles, les dégâts induits par le glissement profond du talus Ouest de la verse sont jugés **modérés**.

#### 4.4.5 Evaluation des dégâts causés par l'infiltration des eaux acides dans l'assise

Les dégâts potentiels qui pourraient survenir en cas d'infiltration des eaux acides dans l'assise sont limités à l'augmentation de l'acidité des eaux souterraines sous l'emprise du site.

Nous tenons à préciser que la dégradation de la qualité de l'eau souterraine reste contenue dans le site. (Ref : Géoarmor environnement ; Etude hydrogéologique Impact sur les eaux)

Vu l'absence de pompage pour l'AEP dans les environs immédiats du site et compte tenu de la dilution des eaux acides au fur et à mesure de leur propagation, nous estimons que les dégâts causés par l'infiltration des eaux acides dans l'assise sont **modérés**.

### 4.5 Analyse du risque relatif aux différents aléas

Afin de déterminer le risque relatif à chaque aléa, nous avons croisé la vulnérabilité et les dégâts (CF tableaux n°3 et 4).

**L'analyse montre que le niveau de risque de perte d'intégrité structurelle de la verse Kerroué est faible.** Bien que le niveau de risque soit faible, des mesures d'atténuation ont été adoptées :

- Procédure de contrôle des pentes et des hauteurs des talus en cours de construction.
- Visite technique approfondie réalisée une fois par an par le bureau SLR.
- Mise en place d'un dispositif d'auscultation composé de deux inclinomètres et d'un piézomètre à tube ouvert.

Le tableau 4 présente le croisement de l'aléa infiltration des eaux acides dans la verse avec les dégâts. Ce croisement montre que le risque associé à cet aléa est faible pour la verse Kerroué.

**Nous concluons ainsi que les aléas étudiés à savoir : mouvement de terrain et infiltration des eaux acides dans l'assise, ne présentent pas de dégâts sur la santé humaine. Par ailleurs, les dégâts sur l'environnement et les infrastructures sont modérés et réversibles. En se basant sur cette analyse, nous estimons que la verse Kerroué n'est pas classée dans la catégorie « A ».**

Tableau 3 : Risque relatif à l'aléa « Mouvement de terrain »

Événement initiateur	Intensité de l'aléa			Probabilité	Aléa mouvement de terrain	Dégâts	Risque	
Défaut de construction	Ravinement	<1000 m <sup>3</sup>	Négligeable	Faible	Faible	<ul style="list-style-type: none"> <li>Erosion régressive avec transport des matériaux érodés dans l'eau.</li> <li>Les eaux chargées seront récupérées dans le bassin situé au pied de la verse puis traitées dans la station de traitement I (NEUTRALAC I) où le PH est remonté au lait de chaux et seront mises à décanter dans la fosse 1.</li> </ul>	Modérés	<u>Faible</u>
Crue extrême				Moyen				
Défaut de construction	Glissement superficiel	<10 000 m <sup>3</sup>	Faible	Faible	Faible	<ul style="list-style-type: none"> <li>Charriage à court terme des éboulis par les écoulements de surface qui se chargeront en matières en suspension.</li> <li>Les eaux chargées seront récupérées dans le bassin situé au pied de la verse puis traitées dans la station de traitement I (NEUTRALAC I) où le PH est remonté au lait de chaux et seront mises à décanter dans la fosse 1.</li> </ul>	Modérés	<u>Faible</u>
Tir de mine	Glissement peu profond	<50 000 m <sup>3</sup>	Moyenne	Négligeable	Moyen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Charriage à court terme des éboulis par les écoulements de surface qui se chargeront en matières en suspension. En cas de dysfonctionnement du bassin situé au pied de la verse, les MES seront piégées dans l'étang de Crazius.</li> <li>Pas d'impact sur les stations de pompage situées en aval du site.</li> <li>Les dégâts sur l'environnement ne sont pas durables.</li> </ul>	Modérés	<u>Faible</u>
Crue extrême				Faible				
Vieillessement de l'ouvrage				Négligeable				
Séisme	Glissement profond	>50 000 m <sup>3</sup>	Forte	Négligeable	Moyen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Charriage à court terme des éboulis par les écoulements de surface qui se chargeront en matières en suspension.</li> <li>Les MES seront piégées dans l'étang de Crazius. Pas d'impact sur les stations de pompage situées en aval du site.</li> <li>Les dégâts sur l'environnement ne sont pas durables.</li> <li>Coupe totale de la route départementale RD85. Vu le faible trafic de la route (&lt;400 voitures/ jours) et étant donné que les personnes ne sont pas présentes de manière permanente sur la route, les dégâts sur la vie humaine sont négligeables.</li> </ul>	Modérés	<u>Faible</u>

**Tableau 4 : Risque relatif à l'aléa « Infiltration des eaux dans l'assise »**

Evénement initiateur	Intensité de l'aléa	Probabilité	Aléa mouvement de terrain	Dégâts		Risque
Infiltration des eaux à travers la couche d'étanchéité	<b>Faible</b>	En cours de construction : Moyenne En phase ultime : Négligeable	<b>Faible</b>	Réduction du PH des eaux souterraines	<b>Modérés</b>	<b><u>Faible</u></b>

## 5. CLASSIFICATION ENVIRONNEMENTALE DE L'ANCIENNE DIGUE

L'ancienne digue est située au Sud du site. Elle a été construite en 1977 pour le stockage des stériles humides. Cette digue **n'est plus en exploitation**.

L'ancienne Digue ne comporte pas de plan d'eau libre. La surface de la retenue est couverte par une couche d'étanchéité en PS.

Les déchets stockés derrière l'ancienne digue sont similaires au stériles stockés actuellement dans la fosse 1.

L'analyse chimique réalisée par le laboratoire de développement et d'analyses (LDA) a montré que les stériles humides ne sont pas classées comme déchets dangereux (CF. Annexe 2).

Les analyses chimiques réalisées par le laboratoire environnement et minéralogie (LEM) a montré que les stériles humides stockées dans la fosse 1 présentent une teneur en soufre sous forme de sulfures égale à 0.09 %. Théoriquement, ces déchets sont classés comme déchets inertes (CF. Annexe 4).

Ces mêmes analyses ont montré que le potentiel de neutralisation est inférieur à 3 (CF. Annexe 4).

Le suivi de la qualité de la qualité des eaux souterraines et des eaux de surfaces montrent une acidification des eaux.

Dans notre étude, nous allons considérer les stériles humides comme déchets non inertes non dangereux.

**En absence de plan d'eau en amont de la digue et vu que l'ancienne digue n'est plus en exploitation, la classification de cette installation de stockage sera basée sur le niveau de risque de perte d'intégrité structurelle.**

### 5.1 Description de l'installation de stockage

L'ancienne digue a été construite à partir d'une digue d'ancrage composée de matériaux grossiers, puis surélevée à l'aide de la fraction sableuse des rejets séparée par cyclonage.

La digue d'ancrage avait environ 250 m de longueur, 8 à 10 m de largeur en crête et 8 m de hauteur maximale par rapport au fond de la vallée lui-même à la cote 198.

Cette digue d'ancrage a été construite en 1977 avec la découverte de carrière constituée par un tout-venant provenant de la décomposition de schistes d'Angers mais contenant encore beaucoup de cailloux et blocs. Les talus de la digue de départ présentent des pentes variant de 30 à 35°.

La surélévation de la digue a été entreprise à partir de 1986 par le déchargement des sables cyclonés à partir du périmètre du barrage. La sous verse des cyclones (sables grossiers) était utilisée pour construire le mur externe du barrage dont la pente est de 1V/4.3H. La surverse plus fine des cyclones a été déposée dans la retenue (CF. Figure n° 11).



La crête de l'ancienne digue est calée à la cote 217.9 NGF, soit une hauteur totale de 19.9 m. La largeur en crête de la digue est de 5 m. L'ancienne digue présente une banquette de 8 m de large qui n'est que la crête de la digue de départ.

Le drainage du barrage est assuré par une série de drains aménagés sous le talus aval du barrage.

Le suivi du niveau piézométrique au niveau des trois piézomètres, installés en crête, à mi-hauteur et au niveau de la banquette, montre le bon fonctionnement du dispositif de drainage. En effet, la nappe d'eau dépasse rarement 2 m au dessus du terrain naturel.

L'ancienne digue contrôle un bassin versant proche de 30 ha. L'évacuation des eaux de ruissellement provenant essentiellement de l'impluvium de la retenue et du talus de la verse Sabès est assurée par les aménagements suivants :

- Une tranchée de 1 m<sup>2</sup> de section aménagée au niveau de l'extrémité amont de la retenue (au pied de la verse Sabès).
- Une tranchée latérale aménagée sur le côté gauche de la retenue. Cette tranchée a permis d'assécher la retenue et de collecter les eaux de ruissellements.
- Une station de pompage aménagée au niveau de la tranchée latérale assurant la récupération des eaux de ruissellement et l'évacuation de ces eaux vers la station de traitement NEUTRALAC I.

Les caractéristiques géométriques de cet ouvrage sont mentionnées dans le tableau n°5 :

**Tableau 5 : Caractéristiques géométriques de l'ancienne Digue**

	Ancienne Digue
Hauteur ultime (hors TN)	19.9 m
Hauteur ultime de la retenue	16 m
Largeur en crête	5 m
Volume de la retenue	900 000 m <sup>3</sup>
Pente du talus aval de la digue	1V/4.3H

Les caractéristiques géotechniques des matériaux constituant la digue sont présentées dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 6 : Caractéristiques géotechniques des matériaux constituant l'ancienne Digue**

	Poids volumique (KN/m <sup>3</sup> )	Cohésion (KPa)	Angle de frottement (°)
Stériles humides	18.5	2	30
Sable grossier (sous verse de cyclones)	18	0	33
Enrochements	20	0	45

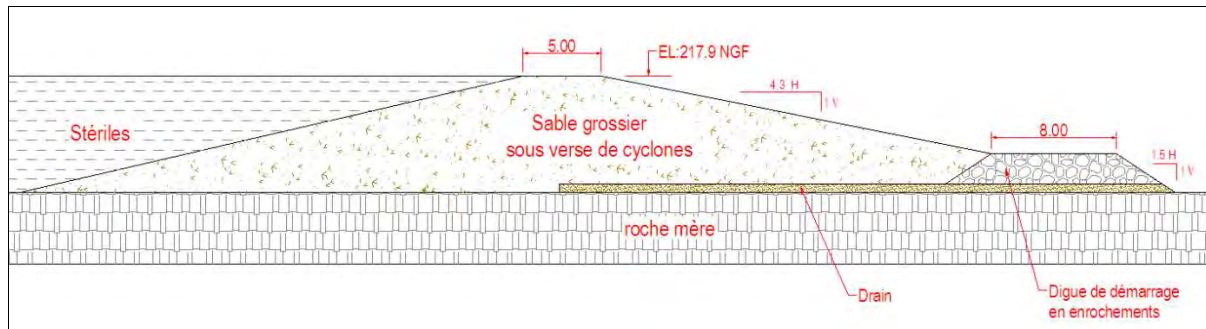


Figure 11 : Coupe type de l'ancienne Digue

Le risque relatif à l'ancienne digue est conditionné par les deux aléas suivants :

- Mouvement de terrain
- Infiltration des eaux acides dans l'assise

## 5.2 Caractérisation de l'Aléa mouvement de terrain

En tenant compte de la zone d'aménagement de la digue, les événements pouvant initié un mouvement de terrain sont les suivants :

- Crues extrêmes
- Vieillesse de l'ouvrage
- Séisme

Notant que l'événement tir de mine n'a pas d'impact sur la stabilité de cet ouvrage en raison de son éloignement ( $\cong 1.2$  km) par rapport aux zones d'exploitation.

### 5.2.1 Evénement initiateur « crues extrêmes »

Suite à la réduction significative du bassin versant contrôlé par la digue (extension de la verse Sabès) et compte tenu du développement d'un couvert végétal couvrant la quasi-totalité de la retenue, nous estimons que le système de drainage mis en place actuellement permet d'évacuer les crues de récurrence centennale. Ainsi, la probabilité de dépassement de cette récurrence est **faible**.

En cas de dépassement de la crue centennale, l'événement initiateur « crue » peut donner lieu à des instabilités d'intensité **moyenne**. Les calculs de stabilité réalisés montrent que le volume instable serait de l'ordre de 12 500 m<sup>3</sup> (CF. Figure n°8, annexe 1).

### 5.2.2 Evénement initiateur « séisme »

L'événement initiateur séisme peut donner lieu à 2 types d'instabilité :

- Liquéfaction de la digue : l'ancienne digue est construite de sable grossier qui est peu sensible à la vibration. L'étude du risque de liquéfaction montre que « *en cas de séisme d'intensité V, aucune instabilité ne devrait apparaître sur l'ouvrage. Même si l'intensité atteignait une valeur nettement plus élevée, VI ou VII, inconnue dans la région, un effondrement par liquéfaction ne pourrait se produire ; toute au plus pourrait-on constater un léger tassement du centre de l'ouvrage* » TEC-INGENIERIE, Rapport n° IZ052 R 52.001 B.

- Glissement du parement aval : les calculs de stabilité du parement aval de la digue suite à un séisme de récurrence 1/475 montrent que le coefficient de sécurité reste élevé (>2). (CF. Figure n°9, annexe 1)

Notant que même avec une accélération sismique horizontale = 0.2 g (événement de récurrence supérieur à la millénaire), le coefficient de sécurité reste supérieur à 1.5. (CF. Figure n°10, annexe 1)

En cas d'instabilité suite à un séisme, un glissement affectera le talus aval de la digue et mobilisera près de 20 000 m<sup>3</sup> de matériaux, soit une intensité moyenne.

Cette analyse montre que l'aléa mouvement de terrain induit par l'événement initiateur « séisme » est **faible**.

### 5.2.3 Evénement initiateur « Vieillissement de l'ouvrage »

Le vieillissement des ouvrages se manifeste essentiellement par la dégradation et la réduction des caractéristiques mécaniques des matériaux composant les digues (essentiellement sa cohésion), par le colmatage progressif des dispositifs de drainage interne et par l'érosion des talus des ouvrages.

Toutefois, nous estimons que le vieillissement de l'ouvrage n'a pas d'impact sur la stabilité de l'ancienne digue et ce pour les raisons suivantes :

- La digue est construite par un matériau non cohérent ( $C \cong 0$ ),
- Le colmatage du dispositif de drainage interne n'a pas d'effet significatif sur la stabilité de la digue en raison de l'absence de plan d'eau libre en amont de la digue,
- Le couvert végétal sur le talus aval de la digue empêche l'apparition de ravinement induit par les eaux de ruissellement.

Suite à cette analyse, nous retenons uniquement les événements initiateurs crues extrêmes et séisme.

Le tableau ci-dessous résume les effets induits par les différents événements initiateurs et définit les niveaux d'aléa correspondant.

Nous tenons à préciser que le niveau d'aléa retenu correspond au niveau le plus fort obtenu par le croisement de l'intensité et de la probabilité de chaque événement initiateur.

**Tableau 7 : Caractérisation de l'aléa mouvement de terrain pour l'ancienne Digue**

Evénement initiateur	Intensité de l'aléa			Probabilité	Aléa mouvement de terrain
Crue extrême	Glissement peu profond	<50 000 m <sup>3</sup>	<b>Moyenne</b>	<b>Faible</b>	<b>Moyen</b>
Séisme	Glissement peu profond	<50 000 m <sup>3</sup>	Moyenne	Négligeable	

Suite à cette analyse, nous constatons que l'aléa mouvement de terrain présente un niveau moyen correspondant à un glissement pouvant mobiliser moins de 50 000 m<sup>3</sup> suite à une crue de récurrence supérieure à la centennale.

### 5.3 Caractérisation de l'Aléa infiltration des eaux acides dans l'assise

Les eaux ruisselant sur les stériles stockés derrière l'ancienne digue sont gérées en surface moyennant la tranchée latérale aménagée sur le côté gauche de la retenue.

L'examen de l'ancienne digue montre l'existence d'une croûte solide de quelques décimètres d'épaisseur à la surface des stériles.

Compte tenu de cette croûte solide et vu le bon fonctionnement du système de drainage de surface, nous estimons que le transfert des eaux sera limité à l'infiltration de l'eau emmagasinée dans les stériles vers le substratum rocheux.

Ainsi, l'aléa infiltration des eaux acides dans l'assise rocheuse est jugée **faible**. En effet, l'eau interstitielle contenue dans les stériles humides est non mobilisable.

### 5.4 Evaluation des dégâts

#### 5.4.1 Evaluation des dégâts causés par les glissements peu profonds

La zone d'éboulement s'étend sur 25 m en aval du pied actuel de l'ancienne digue. Les dégâts potentiels qui pourraient survenir suite au glissement peu profond se limiteront au charriage à court terme des éboulis par les écoulements de surface qui se chargeront en matières en suspension et se déverseront dans les cours d'eau situés en contre bas de la zone éboulee. Ces MES seront piégées dans l'étang de Crazius.

Le glissement peu profond de la digue n'aura pas d'impact sur la vie humaine. En effet les habitations les plus proches sont situées à plus de 1 Km en aval de la zone d'éboulement.

En conclusion de cette analyse, nous estimons que les dégâts causés par les glissements peu profonds sont **modérés**.

#### 5.4.2 Evaluation des dégâts causés par l'infiltration des eaux acides dans l'assise

Les dégâts potentiels qui pourraient survenir en cas d'infiltration des eaux acides dans l'assise seraient une acidification des eaux et un enrichissement en fer, manganèse et sulfates dissous.

L'analyse de la qualité des eaux souterraines montre que l'impact de l'exploitation ne dépasse pas l'emprise du site.

Vu l'absence de puits de pompage destinés à l'AEP dans les environs immédiats du site et étant donné que l'intensité de la source de contamination potentielle est limitée à la quantité des eaux emmagasinées dans les stériles, nous estimons que les dégâts causés par l'infiltration des eaux acides dans l'assise sont **modérés**.

### 5.5 Analyse du risque relatif aux différents aléas

Afin de déterminer le risque relatif à chaque aléa, nous avons croisé la vulnérabilité et les dégâts (CF. Tableaux n°8 et 9).

L'analyse montre que le niveau de risque de perte d'intégrité structurelle de l'ancienne digue est **faible**.

**En absence de plan d'eau en amont de l'ancienne digue et vu le faible niveau du risque de perte d'intégrité structurelle, nous estimons que l'ancienne digue n'est pas classée dans la catégorie « A ».**

**Tableau 8 : Risque relatif à l'aléa « Mouvement de terrain »**

Evénement initiateur	Intensité de l'aléa			Probabilité	Aléa mouvement de terrain	Dégâts	Risque	
Crue extrême	Glissement peut profond	<50 000 m <sup>3</sup>	Moyen	Faible	Moyen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Charriage à court terme des éboulis par les écoulements de surface qui se chargeront en matières en suspension et se déverseront dans les cours d'eau situés en contre bas de la zone éboulee. Ces MES seront piégées dans l'étang de Crazius.</li> <li>• Pas d'impact sur la vie humaine. En effet les habitations les plus proches sont situées à plus de 1 Km m en aval de la zone d'éboulement.</li> <li>• Pas d'impact sur le captage ni de prise d'eau en aval de la zone d'éboulement.</li> <li>• Les dégâts sur l'environnement ne sont pas durables.</li> </ul>	Modérés	<u>Faible</u>
Séisme				Négligeable				

**Tableau 9 : Risque relatif à l'aléa « Infiltration des eaux acides dans l'assise »**

Evénement initiateur	Intensité de l'aléa			Probabilité	Aléa mouvement de terrain	Dégâts	Risque	
Infiltration des eaux à travers la couche d'étanchéité	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acidification des eaux.</li> <li>• Enrichissement en fer, manganèse et sulfates dissous.</li> </ul>	Modérés	<u>Faible</u>

## 6. CLASSIFICATION ENVIRONNEMENTALE DE LA FOSSE 1

La fosse 1, située immédiatement au Sud Est de la fosse 2, est utilisée actuellement comme aire de stockage des stériles humides. Le volume actuel de la fosse 1 est proche de 1.7 Mm<sup>3</sup>.

La quantité de stériles humides stockées annuellement dans la fosse 1 varie entre 150 000 et 200 000 tonnes (sèches).

L'analyse chimique réalisée par le laboratoire de développement et d'analyses (LDA) a montré que les stériles humides ne sont pas classées comme déchets dangereux (CF. Annexe 2).

Les analyses chimiques réalisées par le laboratoire environnement et minéralogie (LEM) a montré que les stériles humides stockées dans la fosse 1 présentent une teneur en soufre sous forme de sulfures égale à 0.09 %. Théoriquement, ces déchets sont classés comme déchets inertes (CF. Annexe 4).

Ces mêmes analyses ont montré que le potentiel de neutralisation est inférieur à 3 (CF. Annexe 4).

Le suivi de la qualité de la qualité des eaux souterraines et des eaux de surfaces montrent une acidification des eaux.

Dans notre étude, nous allons considérer les stériles humides comme déchets non inertes non dangereux.

En se référant à l'arrêté du 19 avril 2010 relatif à la gestion des déchets des industries extractives, ces stériles sont classés comme des déchets non inertes non dangereux.

Les eaux d'exhaure provenant des fosses 2 et 3, les eaux provenant des systèmes de drainage des installations de stockage de stériles et les eaux provenant de l'usine (décantation et flottation) rejoignent la station de traitement I (NEUTRALAC I) où le PH est remonté au lait de chaux et sont mises à décanter dans la fosse 1.

L'eau décantée est repompée en fosse 1 et

- soit renvoyée vers l'usine pour le traitement,
- soit rejetée dans le milieu naturel. Dans ce cas, elle passe par la station de traitement II (traitement au lait de chaux), ou par 4 bassins de décantation et une nouvelle station pouvant rectifier à nouveau le PH (soude et chaux).

Les boues d'hydroxydes résultants des traitements des eaux sont collectées dans les quatre bassins de décantation puis refoulés dans la fosse 1. La quantité annuelle des ces boues est évaluée à 300 tonnes par an.

En phase ultime de stockage, la quantité totale de boues accumulée dans la fosse 1 serait proche de 5 100 tonnes.

Les boues d'hydroxydes peuvent être classées comme déchets dangereux (CF. Annexe 5).

A la fin de la période d'exploitation, la capacité totale de la fosse 1 serait de 2.8 Millions de tonnes sèches.

Le rapport entre la quantité des déchets classés dangereux et la quantité totale des déchets susceptibles de se trouver dans l'installation à la fin de la période d'exploitation est égal à **0.2%**.

**En se référant à l'arrêté du 19 avril 2010 relatif à la gestion des déchets des industries extractives, la fosse 1 n'est pas classée dans la catégorie « A » sur la base des déchets dangereux qu'elle contient.**

L'analyse de la qualité des eaux stockées dans la fosse 1 montre que sur les 5 dernières années, la moyenne du Ph est égale à 5.

Cette même analyse montre que les eaux présentent une teneur moyenne en fer proche de 20 mg/l et une teneur en manganèse proche de 15 mg/l.

Des échantillons ont été prélevés pour analyse lors des 2 sondages réalisés au carottier au niveau de la fosse 1. Ces échantillons représentant la tranche 0-5 m ont été analysés par le Centre de Génie Industriel (56 - GUIDEL).

De même, un test de lixiviation a été réalisé au Centre de Génie Industriel (Guidel - 56) sur un des échantillons prélevés en fosse 1.

Les essais de lixiviation réalisées sur les stériles humides stockées dans la fosse 1 montrent que seules 2 éléments sont au dessus des normes définies pour l'eau potable : Mn et Ni. Le manganèse est un élément indésirable et le Nickel est considéré à toxicité faible (CF. Annexe 5).

En se basant sur l'analyse chimique directe de l'eau et sur les résultats de l'essai de lixiviation, nous estimons que l'eau stockée dans la fosse 1 n'est pas considérée comme une préparation dangereuse au sens de la législation européenne en vigueur.

## **6.1 Description de l'installation de stockage**

Afin d'augmenter la capacité de stockage de la fosse 1, deux barrages ont été construits au niveau des ouvertures à la topographie :

- Barrage interfosse
- Barrage cycloné (barrage Est)

### **6.1.1 Barrage interfosse**

La cote du rocher affleurant entre les fosses 1 et 2 s'abaisse au Nord Ouest de la fosse 1.

Le barrage interfosse a été construit en travers de ce col afin de retenir les stériles humides et les eaux stockées en fosse 1. Actuellement, la crête du barrage est située à la cote 229,5 NGF. Il est constitué par des sables fins (PS) compactés au rouleau par couches de 50 cm. Le volume actuel du barrage interfosse est proche de 80 000 m<sup>3</sup> pour une hauteur avoisinant les 12,5 m.

Le barrage interfosse sera rehaussé en deux étapes : la première rehausse de la cote actuelle jusqu'à la cote 233.5 NGF et une deuxième rehausse de la cote 233.5 jusqu'à la



cote ultime 237 NGF, soit une hauteur ultime de **20 m** (CF. Figure n° 12). Ces deux phases de rehaussement seront séparées par une période de repos de 2 ans permettant la dissipation des pressions interstitielles dans la structure.

A partir de la cote 229.5 NGF, le barrage sera construit de la manière suivante :

- Talus amont en PS et protégé contre l'érosion par une couche d'enrochement
- Drain central en cheminée de 2m de largeur et formé par excavation et mise en place de sable blanc
- Talus aval en enrochements avec une pente de 1V/1.75H

Nous tenons à préciser que selon le concepteur (SLR), une revanche de 2 m doit être assurée entre le niveau d'eau dans la retenue et la crête du barrage. Cette hauteur est suffisante pour retenir le volume d'eau généré par une crue de récurrence centennale.

Les caractéristiques géométriques du barrage interfosse sont mentionnées dans le tableau n°10.

**Tableau 10 : Caractéristiques géométriques du barrage interfosse**

	Caractéristiques du barrage interfosse
Cote crête actuelle	229.5 m
Cote crête ultime	237 m
Cote minimale du TN sous la crête de la digue	217 m
Hauteur actuelle du barrage	12.5 m
Hauteur du barrage en phase ultime	20 m
Largeur en crête du barrage en phase ultime	16 m
Pente du talus aval	1V/1.75H
Volume actuel de la digue	80 000 m <sup>3</sup>

Les caractéristiques géotechniques des matériaux constituant le barrage interfosse sont présentées dans le tableau ci dessous.

**Tableau 11: Caractéristiques géotechniques des matériaux constituant le barrage interfosse**

	Poids volumique (KN/m <sup>3</sup> )	Cohésion (KPa)	Angle de frottement (°)
Stériles humides	18.5	2	30
Sable blanc	17	0	42
PS	18	0	36
Enrochements	20	0	45

### 6.1.2 Barrage cyclonné

Le barrage cyclonné est construit pour couper la sortie Est de la fosse 1.

Il est construit à partir d'une digue d'ancrage en matériaux grossiers, puis surélevé à l'aide de la fraction sableuse des rejets de fabrication séparée par cyclonage. Le mur aval du barrage présente une pente proche de 1V/4.3 H.

Le volume actuel du barrage est proche de 170 000 m<sup>3</sup> avec une crête calée à la cote 233 NGF.

En phase ultime, le barrage sera calé à la cote 237 NGF et présentera une largeur en crête de 20 m et des pentes des talus de 1V/4.3H. La hauteur ultime du barrage sera de l'ordre de **17 m** (CF. Figure n° 13).

La digue de départ fait au moins 2 m de hauteur sur 7 m de largeur en crête. Le drainage du barrage est assuré par un drain en cheminée connectée aux filtres de sable blanc des butées.

Comme pour le barrage interfosse, le concepteur (SLR) prévoit une revanche de 2 m entre le niveau d'eau dans la retenue et la crête du barrage. Cette hauteur est suffisante pour retenir le volume d'eau généré par une crue de récurrence centennale.

Les caractéristiques géométriques du barrage cyclonné sont mentionnées dans le tableau n°12.

**Tableau 12 : Caractéristiques géométriques du barrage cyclonné**

	Caractéristiques du barrage cyclonné
Cote crête actuelle	233 m
Cote crête ultime	237 m
Cote minimale du TN sous la crête de la digue	227 m
Hauteur actuelle du barrage	13 m
Hauteur du barrage en phase ultime	17 m
Largeur en crête du barrage en phase ultime	20
Pente du talus aval	1V/4.3H
Volume actuel de la digue	170 000 m <sup>3</sup>

Les caractéristiques géotechniques des matériaux constituant le barrage cyclonné sont présentées dans le tableau ci dessous.

**Tableau 13 : Caractéristiques géotechniques des matériaux constituant le barrage interfosse**

	Poids volumique (KN/m <sup>3</sup> )	Cohésion (KPa)	Angle de frottement (°)
Stériles humides	18.5	2	30
Sable blanc	17	0	42
Sable grossier (sous verse de cyclones)	18	0	33
Enrochements	20	0	45

### 6.1.3 Couverture finale de la fosse 1

Une couche de 2 m de stériles de carrière sera mise en place sur la fosse 1. Cette couche permettra la circulation des engins.

Les stériles de carrière seront recouverts par un minimum de 1 m de matériaux PS puis par 0,15 à 0,20 m de terre végétale et végétalisés (ensemencement de graminées afin d'éviter le ravinement). Cette couche de matériaux PS créera une couverture étanche au dessus de la fosse. La topographie finale de la couverture sera dirigée vers le barrage interfosse de façon à ce que les eaux de ruissellement rejoignent la fosse 2.

#### 6.1.4 Mode de gestion de la fosse 1

Les stériles humides sont refoulés par une conduite jusqu'à un tas de sable cycloné situé sur la bordure Nord Est de la fosse 1.

La sousverse grossière des cyclones est utilisée pour construire le barrage cycloné (Barrage Est) alors que la surverse est dirigée vers une conduite qui la ramène vers la limite Sud Ouest de la fosse ou elle s'écoule. Cet écoulement forme une plage en pente douce vers le plan d'eau situé au Nord et au Nord Est de la fosse. L'eau est recyclée dans l'usine de traitement.

Afin d'assurer une revanche de 2 m, l'exploitant assure un suivi du niveau du plan d'eau moyennant une échelle graduée installée dans la retenue. Si la revanche est inférieure à 2m, le pompage est déclenché afin de rabattre le niveau d'eau dans la fosse 1.

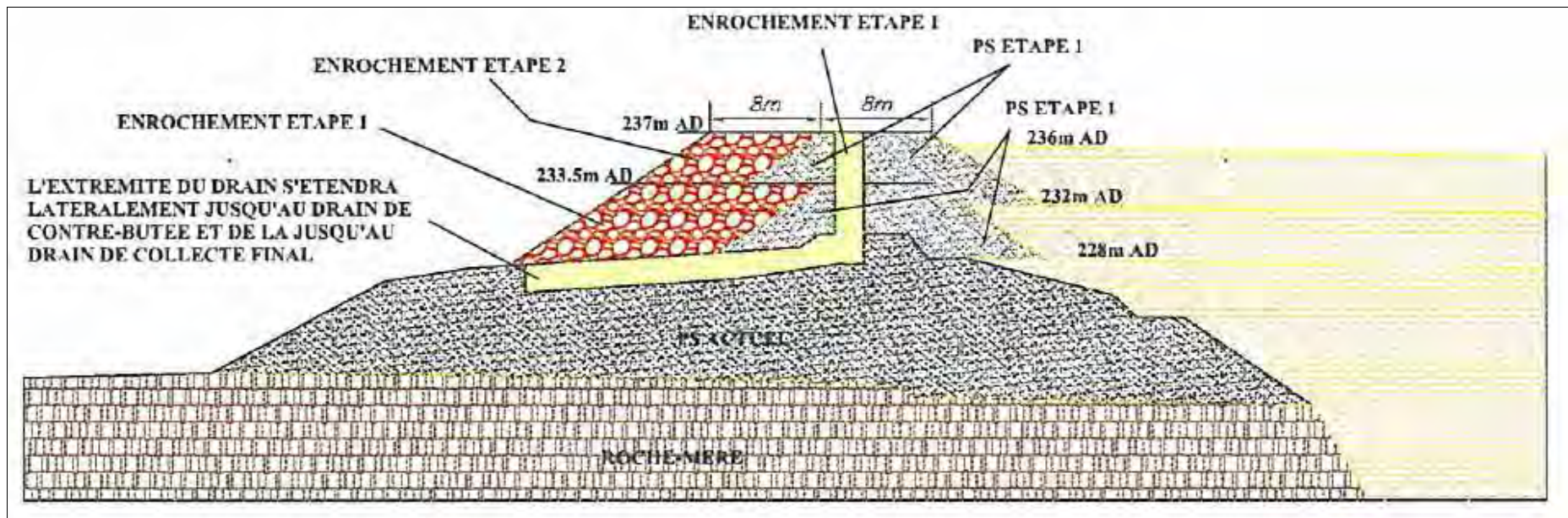


Figure 12 : Coupe type du barrage interfosse

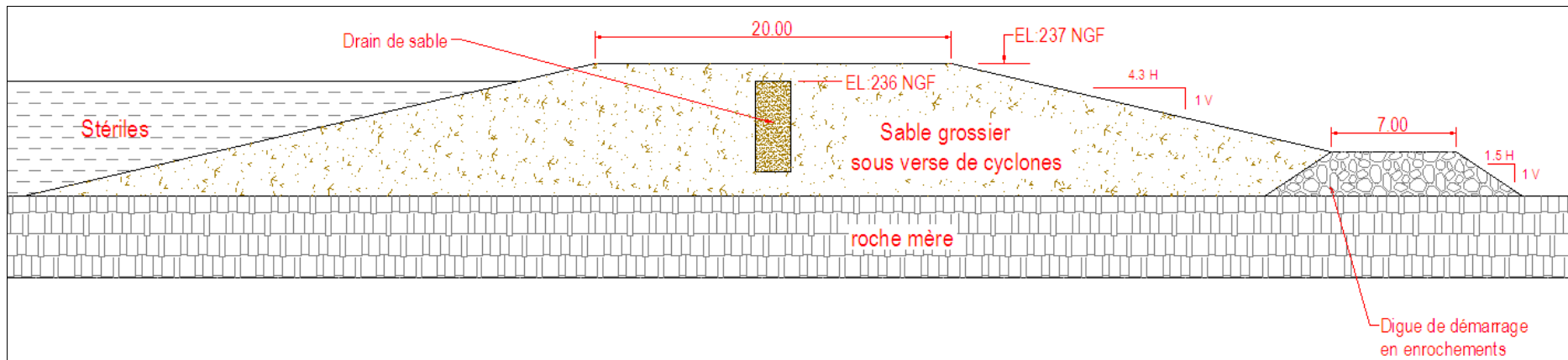


Figure 13 : Coupe type du barrage cycloné

## 6.2 Caractérisation de l'Aléa mouvement de terrain

L'aléa mouvement de terrain peut survenir suite à :

- Des crues extrêmes
- Un vieillissement de l'ouvrage
- Des défauts de construction
- Un séisme
- Un tir de mine

### 6.2.1 Evénement initiateur « crues extrêmes »

Les crues extrêmes constituent l'évènement le plus redouté pour les barrages.

Comme décrit ci-dessus, le concepteur de ces 2 ouvrages « SLR », a maintenu une revanche de 2 m permettant de stocker le volume d'eau généré par une crue de récurrence centennale. D'autre part, la fin d'exploitation de ces 2 ouvrages est prévue pour l'année 2017 soit une durée de vie restante de 6 ans. Ainsi, la probabilité de dépassement de cette récurrence 1/100 ans est égale à 5.85% soit une probabilité **faible**.

En cas d'observation d'une crue de récurrence supérieure à la centennale, un débordement des eaux sur la crête de la digue peut être observé. Un tel scénario engendrera un ravinement des talus avals des digues sans rupture.

En cas de crue **rare**, engendrant un volume d'eau nettement supérieur à la capacité de stockage de la fosse 1, le débordement des eaux sur la crête des digues peut provoquer un glissement profond des talus avals accompagné d'une libération du volume d'eau emmagasiné dans la fosse 1 soit 300 000 m<sup>3</sup>. L'intensité d'un tel scénario est jugée **forte**.

### 6.2.2 Evénement initiateur « Vieillissement de l'ouvrage »

Compte tenu de la durée de vie restante de ces 2 ouvrages (6 ans), nous estimons que la dégradation des caractéristiques mécaniques des matériaux constituant les digues n'aura pas d'impact sur leur stabilité.

### 6.2.3 Evénement initiateur « Défaut de construction »

La stabilité des barrages est étroitement liée aux respects des pentes des talus et à la bonne exécution du dispositif de drainage interne.

Toutefois, la pente du talus aval des barrages interfosse et cyclonné correspond à la pente d'équilibre des matériaux qui recouvrent leurs parements avals. Ainsi, seul le mode d'exécution du dispositif de drainage peut affecter la stabilité de ces ouvrages.

Compte tenu de la marge de sécurité vis-à-vis du glissement (coefficient de sécurité >1.5, CF. Figure n°12 annexe 1) et vu que les deux barrages sont construits par un personnel qualifié et doté d'expérience, nous estimons que la probabilité d'observer des instabilités suite à des défauts de construction est **faible**.

#### 6.2.4 Evénement initiateur « séisme »

Comme décrit ci-dessus, la région de Glomel se situe dans une zone à aléa faible.

L'événement initiateur séisme peut donner lieu à 2 types d'instabilités :

- Liquéfaction des digues :

Le barrage cycloné est construit de la même manière que l'ancienne digue. L'évaluation de la liquéfaction de cette dernière a conclu que « *un effondrement par liquéfaction ne pourrait se produire ; toute au plus pourrait-on constater un léger tassement du centre de l'ouvrage* » TEC-INGENIERIE, Rapport n° IZ052 R 52.001 B.

Le barrage interfosse est construit par un matériau fin non liquéfiable.

- Glissement du parement aval :

Le barrage cycloné présente les mêmes caractéristiques que l'ancienne digue. Il peut donc résister à une accélération sismique horizontale de 0.2 g (événement de récurrence supérieure à la millénaire). Le coefficient de sécurité reste >1.5. Ainsi, la probabilité de cet événement initiateur est jugée négligeable.

En cas de dépassement de la récurrence millénaire, le barrage cycloné peut subir un glissement profond mobilisant près de 20 000 m<sup>3</sup> de matériaux, soit une intensité moyenne.

Pour le barrage interfosse, la marge de sécurité vis-à-vis aux glissements est de 76.9%. Cette marge permet à cet ouvrage de résister à un séisme de récurrence millénaire soit une accélération de 0.2g. Ainsi, la probabilité de dépassement de cette récurrence « 1/1000 ans » est négligeable.

En cas de dépassement de la récurrence (1/1000), le barrage interfosse peut subir un glissement mobilisant près de 20 000 m<sup>3</sup> de matériaux, soit une intensité moyenne.

#### 6.2.5 Evénement initiateur « Tir de mine »

L'accélération induite par les tirs de mine est décomposée comme suit : 0.02 g pour l'accélération horizontale et 0.06 g pour l'accélération verticale (Cf §4.2.4).

Les calculs de stabilité du barrage interfosse, montrent qu'en considérant une accélération horizontale de 0.02 g et une accélération verticale de 0.06 g, le coefficient de sécurité vis-à-vis du glissement est égal à 1.697, soit près de 70 % de marge de sécurité. (CF. Figure n°13, annexe 1)

Vu cette grande marge de sécurité, nous estimons que la probabilité d'un glissement suite aux tirs de mine est négligeable.

Le barrage cycloné se situe à 400 m des zones de tirs de mine et ne sera pas, par conséquence, impacté par l'exploitation.

#### 6.2.6 Evaluation de l'aléa mouvement de terrain

Le tableau ci-dessous résume les effets induits par les différents événements initiateurs et définit les niveaux d'aléa correspondant.

**Tableau 14 : Caractérisation de l'aléa mouvement de terrain**

Evénement initiateur	Ouvrages	Intensité de l'aléa			Probabilité	Aléa mouvement de terrain
Défaut de construction	Barrage cycloné	Glissement superficiel	<10 000 m <sup>3</sup>	Faible	Faible	Faible
	Barrage interfosse					
Tir de mine	Barrage interfosse	Glissement peu profond	<50 000 m <sup>3</sup>	Moyenne	Négligeable	Faible
Séisme	Barrage cycloné				Négligeable	
	Barrage interfosse				Négligeable	
Crue rare	Barrage cycloné	Glissement profond générant une onde de crue boueuse		Forte	Faible	Moyen
	Barrage interfosse					

Cette analyse montre que l'aléa « mouvement de terrain » présente deux niveaux :

- Un niveau faible correspondant à un glissement superficiel mobilisant moins de 10 000 m<sup>3</sup> suite à un défaut de construction ou à un glissement peu profond mobilisant moins de 50 000 m<sup>3</sup> suite à un séisme de récurrence supérieure à 1000 ans ou suite à des tirs de mine.
- Un niveau moyen correspondant à un glissement profond libérant près de 300 000 m<sup>3</sup> d'eau chargée suite à une crue rare.

### 6.3 Caractérisation de l'Aléa infiltration des eaux acides dans l'assise

L'examen de la fracturation affectant le substratum rocheux de la fosse 1 montre une fracturation modérée et un colmatage important (Réf. Etude LITHOLOGIC).

Au cours de l'exploitation de la fosse 1, le transfert d'eau depuis la fosse vers le substratum fissuré est inévitable. Vu la faible perméabilité des stériles humides (<10<sup>-8</sup> m/s), nous estimons que la quantité d'eau infiltrée est faible.

A la fin de l'exploitation de la fosse 1, la retenue sera asséchée et comblée par une couche de faible perméabilité. Les eaux de ruissellement sur la fosse 1 s'écouleront sur l'ancienne retenue et seront envoyées dans la fosse N°2. Le transfert des eaux vers le substratum rocheux sera limité à l'infiltration de l'eau emmagasinée dans les stériles

Ainsi, l'aléa infiltration des eaux acides dans l'assise rocheuse est jugée **moyen**.

### 6.4 Evaluation des dégâts

#### 6.4.1 Evaluation des dégâts causés par les glissements superficiels

Les dégâts potentiels qui pourraient survenir suite au glissement superficiel du barrage interfosse sont :

- Charriage à court terme des éboulis par les écoulements de surface qui se chargeront en matières en suspension et se déverseront dans la fosse N°2.
- Coupure totale de la piste d'accès à la fosse N°2.

Selon l'arrêté du 19 avril 2010 relatif à la gestion des déchets des industries extractives, le risque de perte de vies humaines ou le danger pour la santé humaine est considéré comme négligeable ou peu important si les personnes susceptibles d'être atteintes, autres que le personnel travaillant dans l'installation, ne sont pas censées être présentes de manière permanente ou pendant de longues périodes dans la zone des effets irréversibles.

Étant donné que les personnes susceptibles d'être présentes dans la zone d'éboulement sont les employés de la société DAMREC, et en se référant à l'arrêté du 19 avril 2010, nous estimons que les dégâts causés par le glissement peu profond du barrage interfosse sont **modérés**.

Le glissement superficiel du barrage cycloné mobilisera moins de 12 000 m<sup>3</sup> de matériaux. Les éboulis seront accumulés au pied du talus Nord de la verse Sabès. Les personnes susceptibles d'être présentes dans la zone de l'éboulement sont les employés de la société DAMREC.

En conclusion de cette analyse, nous estimons que les dégâts causés par les glissements superficiels du barrage interfosse et du barrage cycloné sont **modérés**.

#### 6.4.2 Evaluation des dégâts causés par les glissements peu profonds

Vu le contexte topographique du site, le glissement peu profond provoquera les mêmes dégâts que le glissement superficiel. En effet, les éboulis du barrage interfosse seront piégés dans la fosse N°2 alors que les matériaux mobilisés suite à un glissement peu profond du barrage cycloné seront accumulés au pied du talus Nord de la verse Sabès. Ces dégâts sont jugés **modérés**.

#### 6.4.3 Evaluation des dégâts causés par les glissements profonds

Une crue extrême de récurrence **rare** peut engendrer un débordement des eaux sur la crête des digues interfosse et cycloné. Un tel scénario provoquera une onde de crue boueuse qui déferlera en aval des digues emportant essentiellement l'eau emmagasinée dans la tranche d'écrêtement des crues et les matériaux charriés par ravinement sur les talus avals des digues.

Cette onde de crue sera stoppée au pied des 2 barrages :

- D'une part, par le fond de la fosse 2 situé en aval immédiat du barrage interfosse. Ce fond de fosse permet de stocker près de 2.5 Mm<sup>3</sup> de matériaux, soit plus de 8 fois la quantité de boue susceptible de se libérer en cas de crue rare.
- D'autre part, par la verse Sabès située à moins de 40 m du pied du barrage cycloné. Cette configuration topographique permet de bloquer l'onde de crue déferlante sur le talus aval du barrage.

De plus, le glissement profond induira une inondation du pied du talus Nord de la verse Sabès ainsi que le fond de la fosse 2.



Étant donné que les personnes susceptibles d'être présentes dans la zone d'inondation sont les employés de la société DAMREC, et en se référant à l'arrêté du 19 avril 2010 relatif à la gestion des déchets des industries extractives, nous estimons que les dégâts causés par le glissement profond sont jugés **modérés**.

#### 6.4.4 Evaluation des dégâts causés par l'infiltration des eaux acides dans l'assise

Les dégâts potentiels qui pourraient survenir en cas d'infiltration des eaux acides dans l'assise sont :

- Acidification des eaux ;
- Augmentation des teneurs en fer, manganèse et sulfates dissous.

Vu l'absence de puits de pompage destinés à l'PAEP dans les environs immédiats du site et étant donné que l'intensité de la source de contamination potentielle est limitée à la quantité des eaux emmagasinées dans les stériles, nous estimons que les dégâts causés par l'infiltration des eaux acides dans l'assise sont **modérés**.

### 6.5 Analyse du risque relatif aux différents aléas

Les tableaux n°15, 16 et 17 résument les niveaux de risque déduits du croisement des aléas étudiés et des dégâts.

Cette analyse montre que le risque associé à l'aléa «mouvement de terrain» et le risque associé à l'aléa infiltration des eaux dans l'assise sont faibles pour la fosse 1. En dépit d'un niveau de risque faible, des mesures d'atténuation sont déjà mises en place :

- Contrôle des pentes et des hauteurs des talus en cours de construction du barrage interfosse.
- Visite technique approfondie réalisée une fois par an par le bureau SLR.
- Dispositif d'auscultation composé de plots topographiques et de piézomètres à tube ouvert.

L'analyse de risque présentée ci-dessus, nous a permis de démontrer que :

- Le niveau de risque de perte d'intégrité structurelle est faible.
- Le niveau de risque de perte de vies humaines est négligeable.

**En se basant sur cette analyse, nous estimons que la fosse 1 n'est pas classée dans la catégorie « A ».**

Tableau 15 : Risque relatif à l'aléa « Mouvement de terrain » dans le cas du barrage interfosse

Événement initiateur	Intensité de l'aléa			Probabilité	Aléa mouvement de terrain	Dégâts	Risque	
Défaut de construction	Glissement superficiel	<10 000 m <sup>3</sup>	Faible	Faible	Faible	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Charriage à court terme des éboulis par les écoulements de surface qui se chargeront en matières en suspension et se déverseront dans la fosse N°2.</li> <li>• Coupure totale de la piste d'accès à la fosse N°2.</li> <li>• Pas d'impact sur les prises d'eau situées en aval de la zone d'éboulement.</li> <li>• Les dégâts sur l'environnement ne sont pas durables.</li> </ul>	Modérés	
Séisme ou tir de mine	Glissement peu profond	<50 000 m <sup>3</sup>	Moyenne	Négligeable	Faible	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Charriage à court terme des éboulis par les écoulements de surface qui se chargeront en matières en suspension et se déverseront dans la fosse N°2.</li> <li>• Coupure totale de la piste d'accès à la fosse N°2.</li> <li>• Pas d'impact sur les prises d'eau situées en aval de la zone d'éboulement.</li> <li>• Les dégâts sur l'environnement ne sont pas durables.</li> </ul>		<u>Faible</u>
Crue extrême	Glissement peu profond et libération de 300 000 m <sup>3</sup> d'eau		Forte	Faible	Moyenne	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Charriage à court terme des éboulis par les écoulements de surface qui se chargeront en matières en suspension et se déverseront dans la fosse N°2.</li> <li>• Coupure totale de la piste d'accès à la fosse N°2.</li> <li>• Inondation de la fosse n°2</li> <li>• Pas d'impact sur les prises d'eau situées en aval de la zone d'éboulement.</li> <li>• Les dégâts sur l'environnement ne sont pas durables.</li> </ul>		

**Tableau 16 : Risque relatif à l'aléa « Mouvement de terrain » dans le cas du barrage cycloné**

Evénement initiateur	Intensité de l'aléa			Probabilité	Aléa mouvement de terrain	Dégâts	Risque
Défaut de construction	Glissement superficiel	<10 000 m <sup>3</sup>	Faible	Faible	Faible	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les éboulis seront accumulés au pied du talus Sud de la verse Sabès.</li> <li>• Pas d'impact sur les prises d'eau situées en aval de la zone d'éboulement.</li> <li>• Les dégâts sur l'environnement ne sont pas durables.</li> </ul>	Modérés
Séisme	Glissement peu profond	<50 000 m <sup>3</sup>	Moyenne	Négligeable	Faible	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Charriage à court terme des éboulis par les écoulements de surface qui se chargeront en matières en suspension.</li> <li>• Les éboulis seront accumulés au pied du talus sud de la verse Sabès.</li> <li>• Pas d'impact sur les prises d'eau situées en aval de la zone d'éboulement.</li> <li>• Les dégâts sur l'environnement ne sont pas durables.</li> </ul>	
Crue extrême	Glissement peu profond et libération de 300 000 m <sup>3</sup> d'eau		Fort	Faible	Moyenne	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Charriage à court terme des éboulis par les écoulements de surface qui se chargeront en matières en suspension.</li> <li>• Les boues seront accumulées au pied du talus Nord de la verse Sabès.</li> <li>• Pas d'impact sur les prises d'eau situées en aval de la zone d'éboulement.</li> <li>• Les dégâts sur l'environnement ne sont pas durables</li> </ul>	

**Tableau 17 : Risque relatif à l'aléa « Infiltration des eaux dans l'assise »**

Evénement initiateur	Intensité de l'aléa			Probabilité	Aléa mouvement de terrain	Dégâts	Risque
Infiltration des eaux à travers les stériles humides	Faible			Moyenne	Moyen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acidification des eaux</li> <li>• Enrichissement en fer, manganèse et sulfates dissous.</li> </ul>	Modérés

## 7. CLASSIFICATION ENVIRONNEMENTALE DE LA VERSE SABES

Les stériles secs produits par l'usine sont stockés sur le terril de Sabès. La verse Sabès est située à l'Est des usines et au Nord de l'ancienne digue de stockage des stériles humides.

L'analyse chimique réalisée par le laboratoire de développement et d'analyses (LDA) a montré que les stériles secs ne sont pas classés comme déchets dangereux (CF. Annexe 2).

Les analyses chimiques réalisées par le laboratoire environnement et minéralogie (LEM) a montré que les stériles secs stockés dans la verse Sabès présentent une teneur en soufre sous forme de sulfures égale à 0.05 %. Théoriquement, ces déchets sont classés comme déchets inertes (CF. Annexe 4).

Ces mêmes analyses ont montré que le potentiel de neutralisation est inférieur à 3 (CF. Annexe 4).

Le suivi de la qualité de la qualité des eaux souterraines et des eaux de surfaces montrent une acidification des eaux.

Dans notre étude, nous allons considérer les stériles humides comme déchets non inertes non dangereux.

**En absence de déchets dangereux dans la verse, la classification en catégorie « A » sera conditionnée par le niveau de risque de perte d'intégrité structurelle.**

### 7.1 Description de l'installation de stockage

Les déchets Sabès sont transportés au sommet du terril par un convoyeur et ils sont déchargés par un convoyeur mobile prolongeant le convoyeur principal.

Actuellement, la pente du talus de la verse Sabès est égale à l'angle du talus naturel soit 35°. Ceci est lié à la méthode de construction de la verse. En effet, les sables sont déchargés gravitairement à partir du sommet du terril existant.

La plateforme sommitale actuelle se trouve à la cote 245 NGF. La hauteur maximale des talus est proche de 30 m.

Le terril du Sabès serait prolongé sur l'ancienne digue de stockage de stériles humides.

L'avancée du terril sera précédée par la mise en place d'une couche d'enrochement et de drains sous-jacents pour assurer la stabilité de l'ensemble. Toutes les eaux seront également récupérées par le circuit de traitement.

Au fur et à mesure de l'avancement, ce terril sera recouvert (comme la fosse 1) d'une couche à faible perméabilité et végétalisée et ses flancs seront talutés en gradins peu pentus.

En phase ultime, la verse Sabès aura un dénivelé maximal de 30 m sur une pente de 1V/3H et présentera 4 talus libres. Elle sera formée d'une série de niveaux de 6 m de hauteur avec des pentes de 1 V/2.5 H. La largeur de la banquette séparant les deux niveaux est de 5 m (CF. Figures n° 14 et 15).

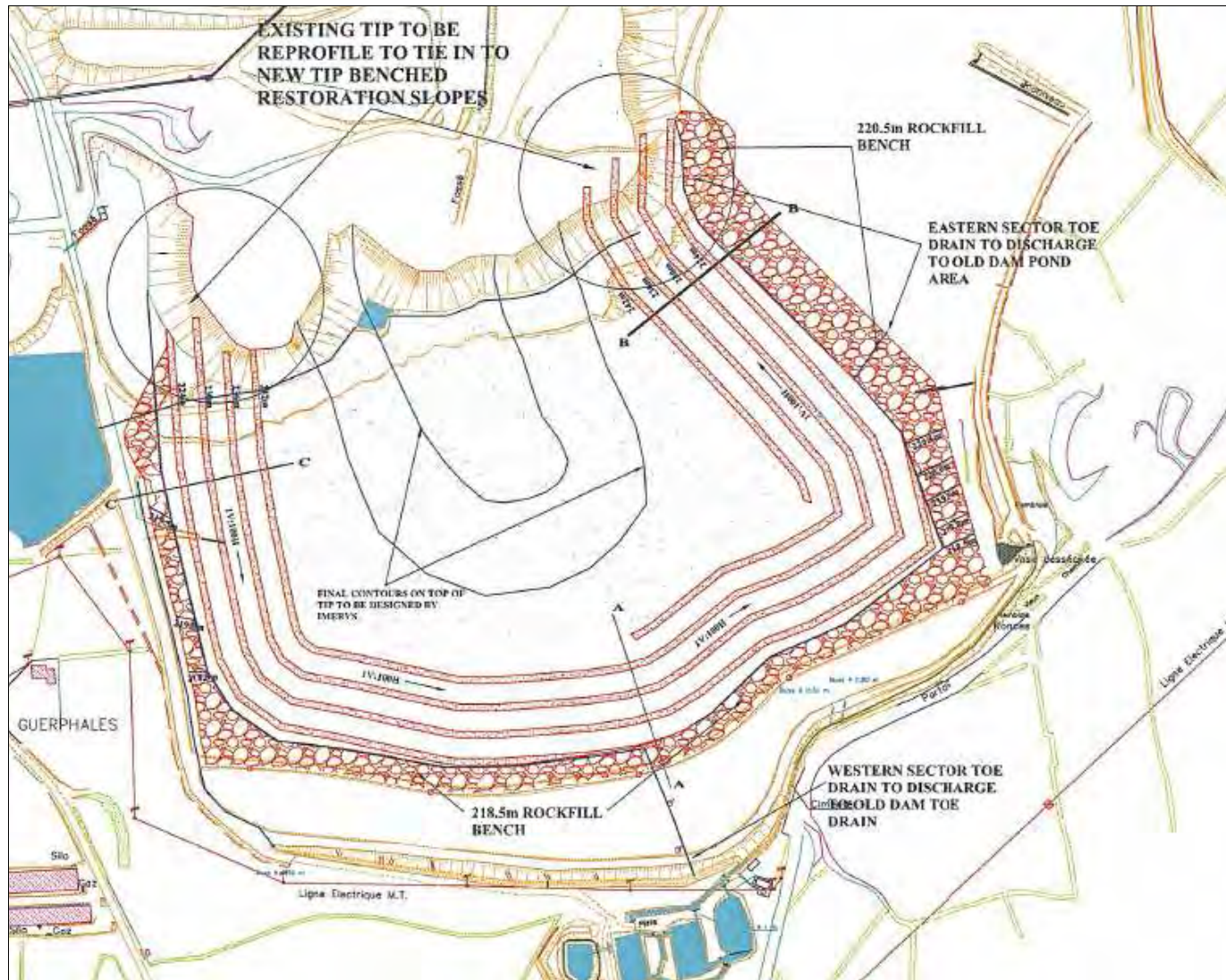


Figure 14 : Vue en plan de la verse Sabès après extension sur l'ancienne Digue

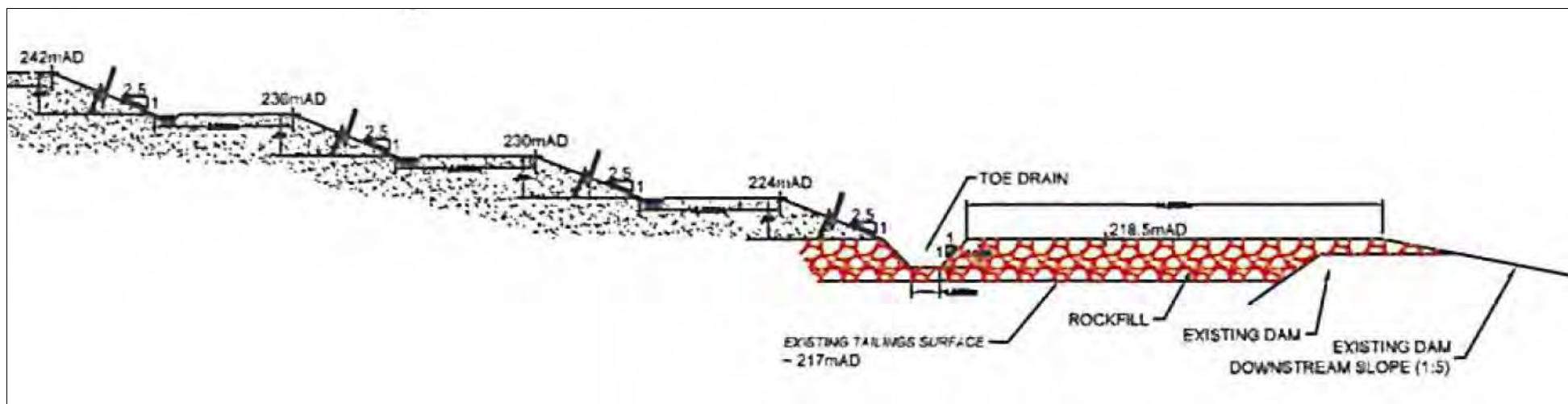


Figure 15 : Coupe type de la verse Sabès en phase ultime

## 7.2 Caractérisation de l'Aléa mouvement de terrain

L'aléa mouvement de terrain peut survenir suite à :

- Des crues extrêmes
- Un séisme

La verse Sabès est située à 500 m par rapport à la zone d'extraction du minerai. Cette distance est suffisante pour éviter l'interaction entre la verse et les vibrations induites par les tirs de mine.

En l'absence de système de drainage à la base de la verse actuelle et étant donné que les sables déversés à partir du sommet du terril vont se mettre à l'angle de repos, nous avons exclu l'événement initiateur « défaut de construction ».

Étant donné que les sables de la verse Sabès présentent une cohésion nulle et vu que la verse ne contient pas de système de drainage à la base, nous avons également exclu l'événement initiateur « vieillissement de l'ouvrage » de notre analyse.

### 7.2.1 Événement initiateur « crues extrêmes »

Actuellement la verse Sabès ne comporte aucun dispositif de drainage des eaux de ruissellement.

Ainsi, une crue extrême survenant durant la phase de construction de la verse peut provoquer des instabilités qui se manifesteront selon deux intensités :

- Intensité **négligeable** : correspondant à un ravinement des talus de la verse mobilisant une faible quantité de matériaux.
- Intensité **moyenne** : correspondant à un glissement peu profond. Les calculs de stabilité réalisés montrent que le volume instable serait proche de 24 000 m<sup>3</sup>.

La probabilité d'observer une crue extrême durant la phase de construction est jugée **faible**.

En phase ultime, la verse Sabès sera recouverte d'une couche de faible perméabilité et végétalisée. Chaque banquette comportera une tranchée de drainage faisant 0.5 m de largeur à la base sur 0.5 m de profondeur.

Compte tenu de la présence du couvert végétal, de la forte pente des talus et des dimensions des tranchées aménagées au niveau des banquettes finales, nous estimons que la verse peut résister à une crue de récurrence centennale. Au delà de cette récurrence, des glissements peu profonds mobilisant moins de 50 000 m<sup>3</sup> peuvent être observés.

### 7.2.2 Événement initiateur « séisme »

Comme décrit dans le paragraphe 2.2, la région de Glomel se situe dans une zone à aléa faible.

Les calculs de stabilité montrent qu'en conditions normales, le coefficient de sécurité de la verse est supérieur à 2 (CF. Figures n°14 et 15, annexe 1). Vu cette forte valeur du

coefficient de sécurité, nous estimons que la verse peut résister à un séisme de récurrence 1/475, soit une accélération de 0.11 g.

Au delà de cette récurrence, la verse peut subir un glissement peu **profond** mobilisant moins de 50 000 m<sup>3</sup> de matériaux. La probabilité de cet événement est jugée **négligeable**.

### 7.2.3 Evaluation de l'aléa mouvement de terrain

Le tableau ci-dessous résume les effets induits par les différents évènements initiateurs et définit les niveaux d'aléa correspondant.

Nous tenons à préciser que le niveau d'aléa retenu, correspond au niveau le plus fort obtenu par le croisement de l'intensité et de la probabilité de chaque évènement initiateur.

**Tableau 18 : Caractérisation de l'aléa mouvement de terrain**

Événement initiateur	Intensité de l'aléa			Probabilité	Aléa mouvement de terrain
Crue extrême	Ravinement	<1000 m <sup>3</sup>	<b>Négligeable</b>	<b>Faible</b>	<b>Faible</b>
Crue extrême	Glissement peu profond	<50 000 m <sup>3</sup>	<b>Moyenne</b>	<b>Faible</b>	<b>Moyen</b>
Séisme	Glissement profond	<50 000 m <sup>3</sup>	Moyenne	Négligeable	

Suite à cette analyse, nous constatons que l'aléa mouvement de terrain présente deux niveaux :

- Un niveau faible correspondant à un ravinement mobilisant moins de 1000 m<sup>3</sup> suite à une crue extrême.
- Un niveau moyen correspondant à un glissement pouvant mobiliser moins de 50 000 m<sup>3</sup> suite à un séisme de récurrence millénaire ou à une crue extrême.

### 7.3 Caractérisation de l'Aléa infiltration des eaux acides dans l'assise

Durant la phase de construction de la verse, la probabilité d'infiltration des eaux depuis la plateforme sommitale de la verse est jugée **moyenne**.

En phase ultime, et suite au confinement de la verse (mise en place de la couche d'étanchéité de surface en PS + terre végétale + végétation), la probabilité d'infiltration des eaux est **négligeable**.

Vu la faible perméabilité de l'aquifère et compte tenu de la présence de limite étanche, nous estimons que l'intensité de la pollution sera **faible**. Le panache de l'acidité restera contenu dans le site d'exploitation.

Par conséquent, en se référant à la grille d'évaluation, l'aléa infiltration des eaux acides dans l'assise est jugé **moyen**.



## 7.4 Evaluation des dégâts

### 7.4.1 Evaluation des dégâts causés par les ravinements

Les dégâts potentiels qui pourraient survenir en cas d'un ravinement de talus seront limités à l'érosion régressive des talus. Les matériaux érodés rejoindront l'ancienne digue et seront piégés par la suite dans le bassin Roch Lédan. Nous estimons ainsi que les dégâts induits par le ravinement des talus sont **modérés**.

### 7.4.2 Evaluation des dégâts causés par les glissements peu profonds

Un glissement peu profond affectant les talus de la verse Sabès engendrera l'apparition de loupe de glissement mobilisant un volume proche de 50 000 m<sup>3</sup>.

Afin de déterminer l'étendue de l'éboulement, nous avons réalisé un calcul géométrique en tenant compte de la topographie du site. Ce calcul a été effectué moyennant les deux hypothèses suivantes :

- un facteur de foisonnement de 1.3 (les terrains éboulés occuperont un volume plus important par rapport à leur volume initial).
- un angle de repos des éboulis de 25° pour tenir compte de l'énergie de chute et de la dynamique de la propagation.

Cette analyse nous a permis de montrer que l'étendue des éboulis générés par un glissement peu profond s'étendra sur une distance proche de 50 m en aval du pied de la verse.

Les dégâts potentiels qui pourraient survenir suite au glissement sont les suivants :

- Sur le coté Nord Ouest, un éboulement du talus de la verse sera stoppé par le pied aval du barrage cycloné.
- Sur le coté Nord, le rayon de 50 m impacté par l'éventuel éboulement est dépourvu d'installation ou d'habitation.
- Sur le coté Nord Est, il existe un bâtiment nommé « maisons des chasseurs ». Ce bâtiment est la **propriété de DAMREC**, il est utilisé **occasionnellement** par les chasseurs.
- Sur le coté Sud, le recul du pied ultime de la verse par rapport à la crête de l'ancienne digue dépasse les 50 m. Ainsi, nous estimons que le talus aval de l'ancienne digue ne sera pas touché par un glissement peu profond du talus de la verse Sabès.
- Sur le coté Ouest, les installassions industrielles se situent à plus de 50 m par rapport au pied de la verse. Ces installassions ne seront pas, par conséquence, touchées par un éventuel glissement peu profond du talus de la verse.
- Les matériaux érodés susceptibles d'être transportés dans l'eau de ruissellement rejoindront l'ancienne digue et seront piégés par la suite dans le bassin Roch Lédan.

Etant donné que les chasseurs ne sont pas présents d'une façon permanente dans la maison susceptible d'être affectée par l'éboulement, nous estimons que les dégâts causés par les glissements peu profonds de la verse Sabès sont **modérés**.

### 7.4.3 Evaluation des dégâts causés par l'infiltration des eaux acides dans l'assise

Les dégâts potentiels qui pourraient survenir en cas d'infiltration des eaux acides dans l'assise sont :

- Acidification des eaux ;
- Augmentation des teneurs en fer, manganèse et sulfates dissous.

En absence de puits de pompage destinés à l'AEP dans les environs immédiats du site et étant donné qu'une fois la verse Sabès est confinée, l'intensité de la source de contamination potentielle sera réduite, nous estimons que les dégâts causés par l'infiltration des eaux acides dans l'assise sont **modérés**.

### 7.5 Analyse du risque relatif aux différents aléas

Afin de déterminer le risque relatif à chaque aléa, nous avons croisé la vulnérabilité et les dégâts (CF. Tableaux n°19 et 20).

L'analyse montre que le risque associé à l'aléa « mouvement de terrain » et le risque associé à l'aléa « infiltration des eaux acides dans l'assise » sont faibles pour la verse Sabès.

**En absence de déchets dangereux dans la verse Sabès et vu le faible niveau du risque de perte d'intégrité structurelle, nous estimons que la verse Sabès n'est pas classée dans la catégorie « A ».**

**Tableau 19 : Risque relatif à l'aléa « Mouvement de terrain »**

Evénement initiateur	Intensité de l'aléa			Probabilité	Aléa mouvement de terrain	Dégâts	Risque
<b>Crue extrême</b>	Ravinement	<1000 m <sup>3</sup>	<b>Négligeable</b>	<b>Faible</b>	<b>Faible</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Erosion régressive des talus.</li> <li>Transport des matériaux érodés dans les eaux de ruissellement.</li> <li>Les MES rejoindront l'ancienne digue et seront piégées par la suite dans le bassin Roch Lédan.</li> <li>Pas d'impact sur les prises d'eau.</li> </ul>	Modérés  <b>Faible</b>
<b>Crue extrême</b>	Glissement peu profond	<50 000 m <sup>3</sup>	<b>Moyenne</b>	<b>Faible</b>	<b>Moyen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fluage des talus de la verse sur une étendue de 50m.</li> <li>La maison des chasseurs peut être touchée par les éboulis.</li> <li>Transport des matériaux érodés dans les eaux de ruissellement.</li> <li>Les MES rejoindront l'ancienne digue et seront piégées par la suite dans le bassin Roch Lédan.</li> <li>Pas d'impact sur les prises d'eau.</li> </ul>	Modérés  <b>Faible</b>
<b>Séisme</b>	Glissement peu profond	<50 000 m <sup>3</sup>	<b>Moyenne</b>	<b>Négligeable</b>	<b>Faible</b>		<b>Faible</b>

**Tableau 20 : Risque relatif à l'aléa « Infiltration des eaux dans l'assise »**

Evénement initiateur	Intensité de l'aléa	Probabilité		Aléa mouvement de terrain	Dégâts	Risque
Infiltration des eaux à travers la couche d'étanchéité	Faible	En cours de construction : <b>Moyenne</b>		Moyen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Acidification des eaux.</li> <li>Augmentation des teneurs en fer, manganèse et sulfates dissous.</li> </ul>	Modérés  <b>Faible</b>
		En phase ultime : Négligeable				

## 8. Conclusion

Le classement en catégorie A d'une installation de gestion de déchets s'apprécie au regard des trois critères suivants :

- le niveau de risque de perte d'intégrité de l'installation de stockage ;
- la quantité des déchets dangereux présents dans les stockages ;
- la quantité de substances et de préparations dangereuses présentes dans les bassins de résidus.

L'analyse chimique des stériles de carrière stockés dans la verse Kerroué, des stériles humides stockés derrière l'ancienne digue et dans la fosse 1 et des sables stockés dans la verse de Sabès montre qu'il s'agit de déchets non inertes non dangereux.

L'analyse de risque réalisée dans cette étude nous a permis de démontrer que les quatre installations de stockage étudiées, à savoir la verse Kerroué, la verse Sabès, l'ancienne digue et la fosse 1 présentent:

- Un faible niveau de risque de perte d'intégrité structurelle.
- Un faible niveau de risque sur la vie humaine.

En se référant à l'arrêté du 19 avril 2010 relatif à la gestion des déchets des industries extractives, nous estimons que la verse Kerroué, la verse Sabès, l'ancienne digue et la fosse 1 ne sont pas classées dans la catégorie A.

## **ANNEXE 1 : Résultats calculs géotechniques**

---

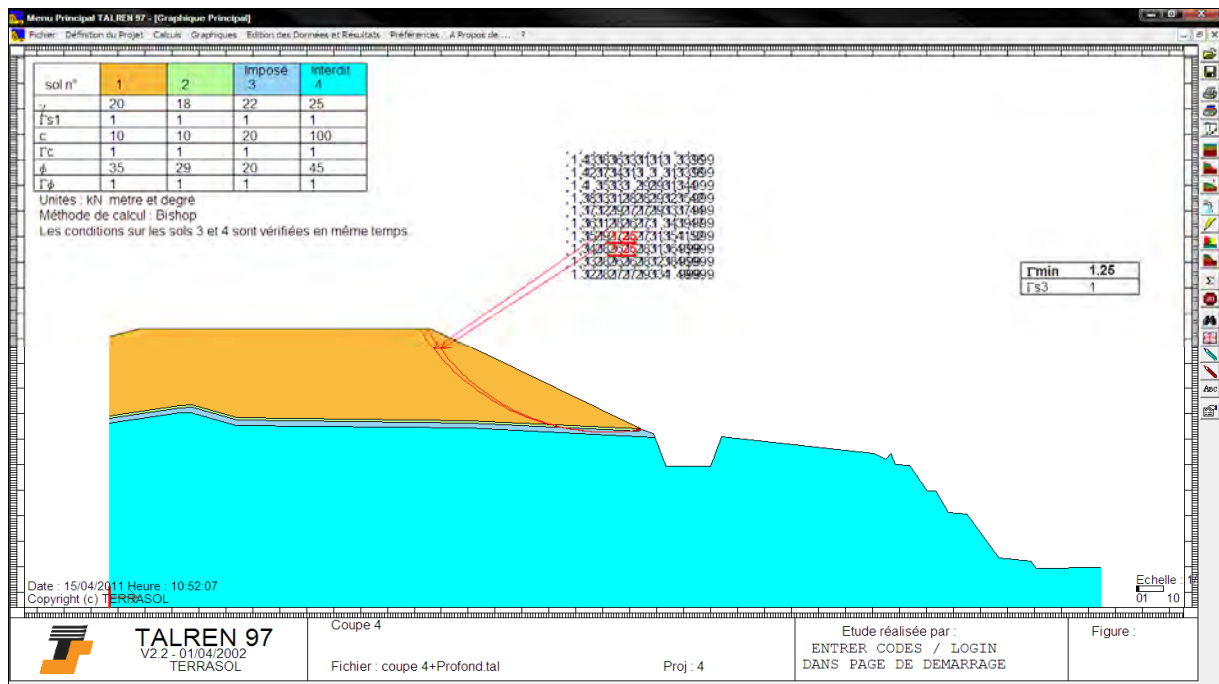


Figure n° 1 : Rupture profonde de la versé Kerroué suite à un séisme de récurrence 1/475 ans  
( $F_s = 1.25$ )

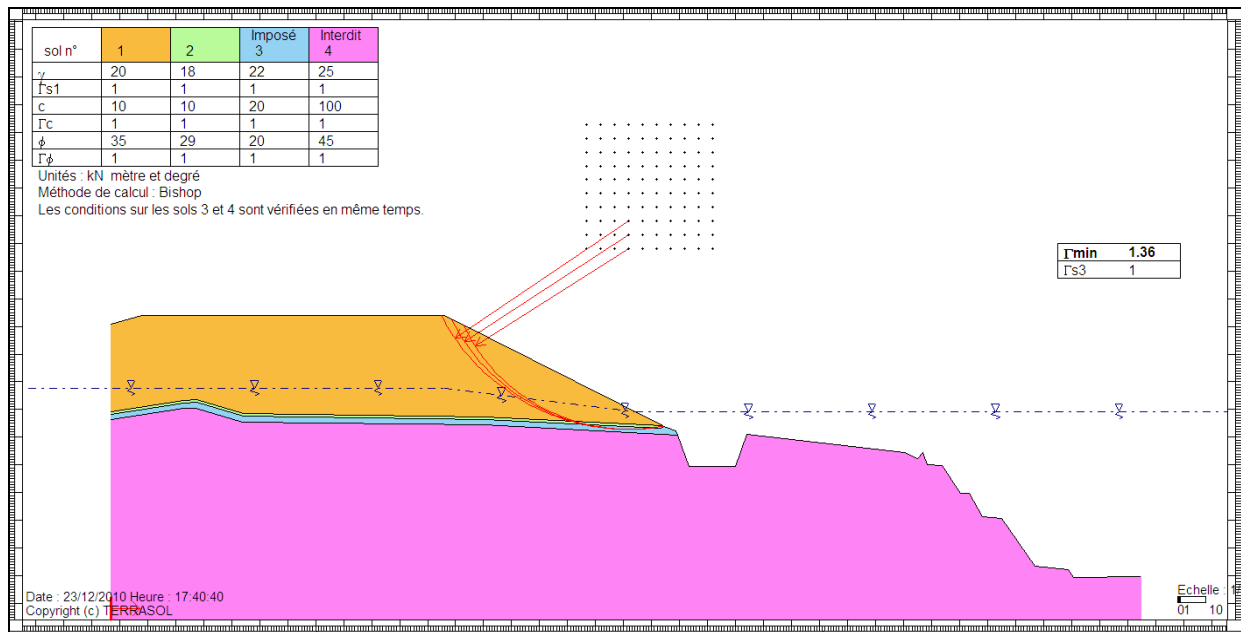


Figure n° 2 : Stabilité de la versé Kerroué suite à un colmatage des drains internes  
( $F_s = 1.36$ )

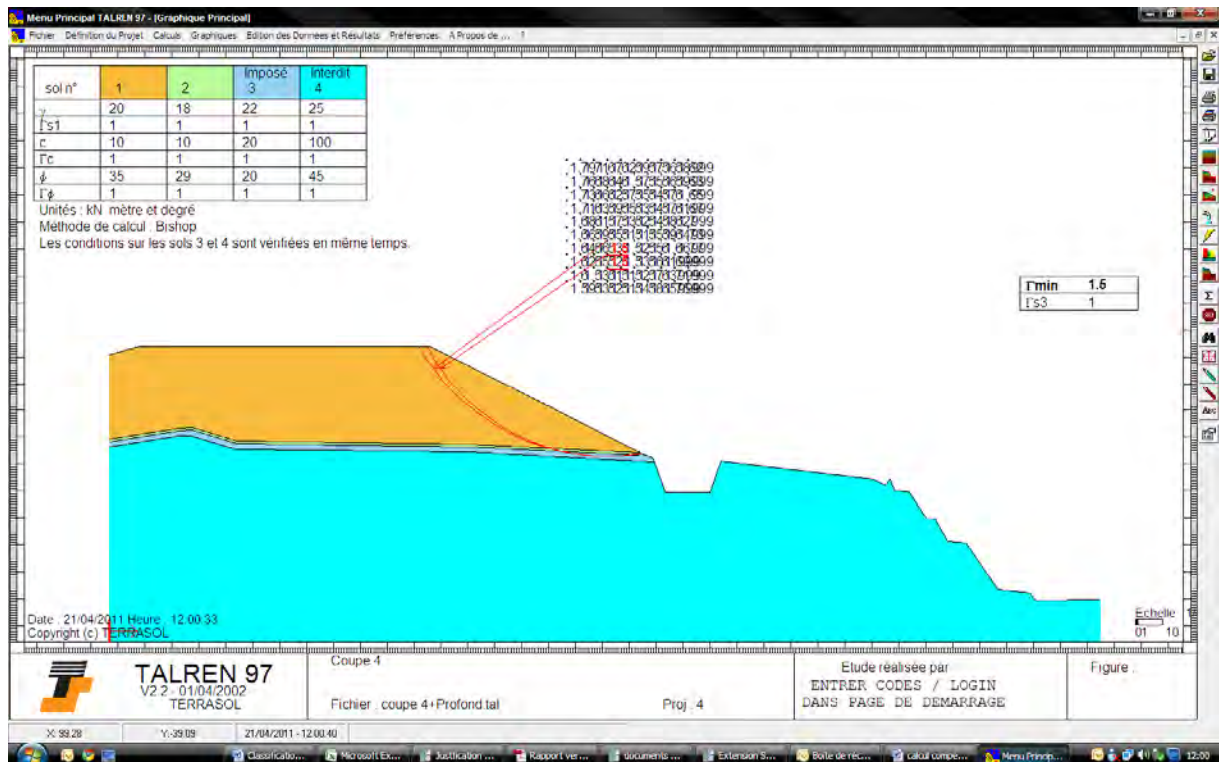


Figure n° 3 : Stabilité de la versé Kerroué en tenant compte des accélérations induites par les tirs de mine ( $a_h = 0.02$  ;  $a_v = 0.06$ ) ( $F_s = 1.5$ )

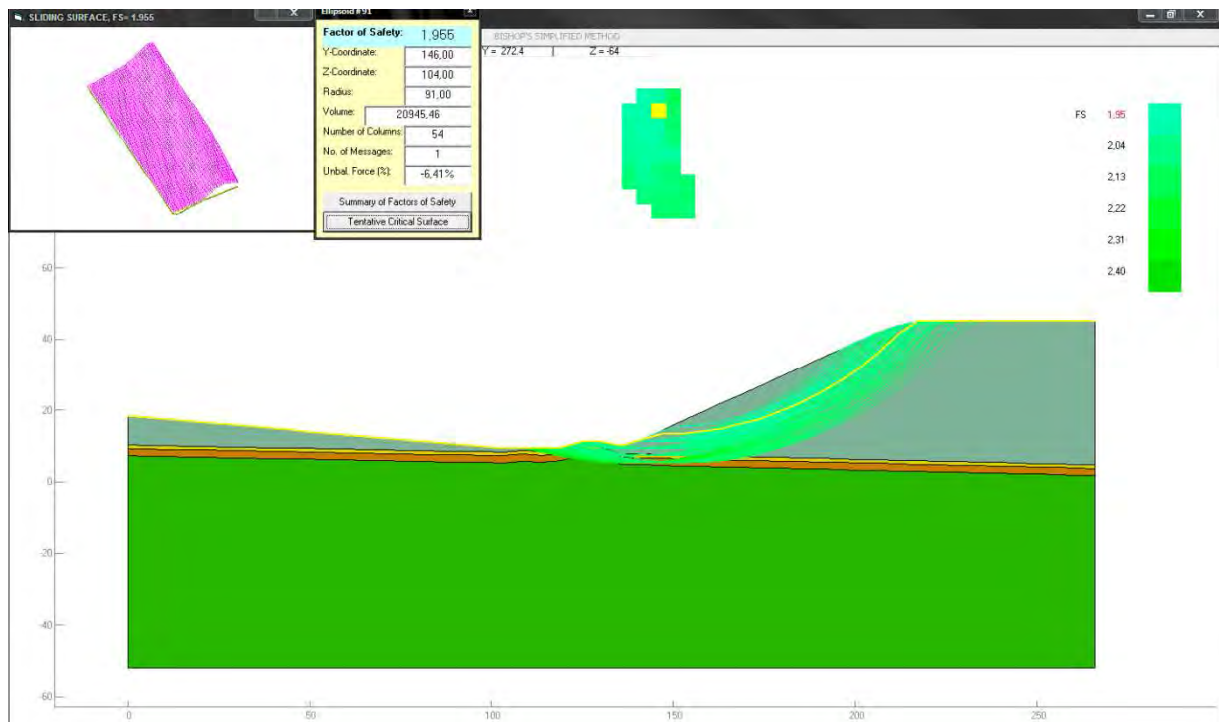


Figure n° 4 : Stabilité du flanc Ouest de la versé Kerroué (Volume instable = 21 000 m<sup>3</sup>,  $F_s = 1.95$ )

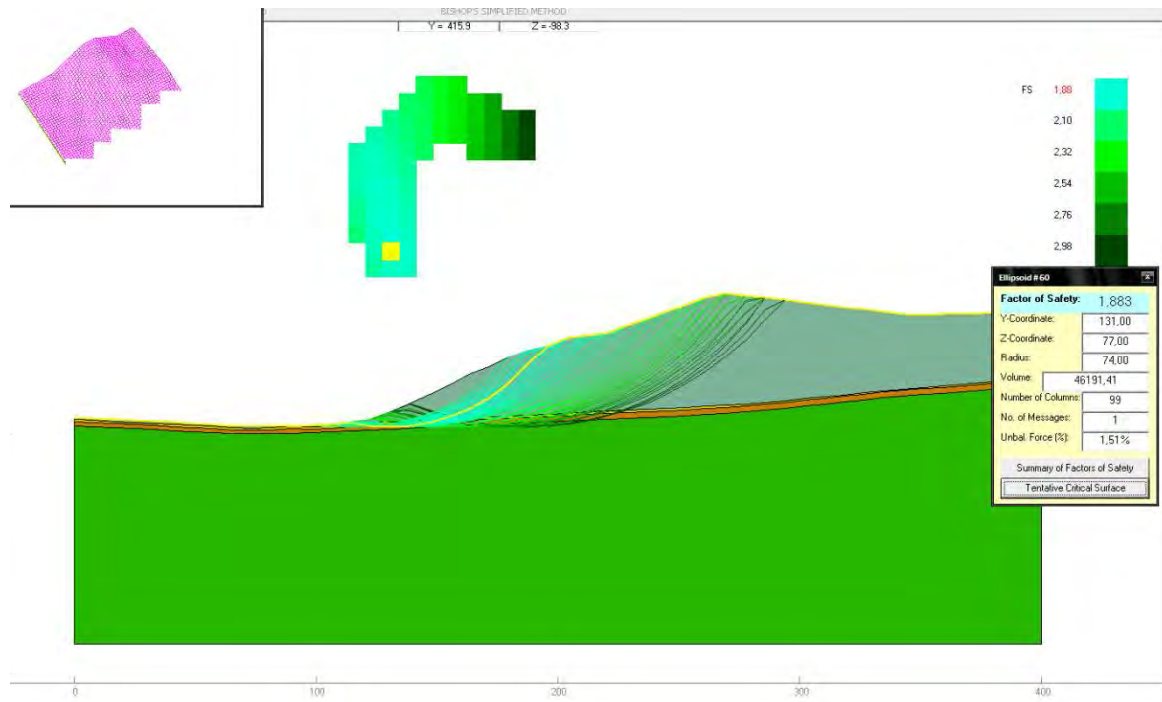


Figure n° 5 : Stabilité du flanc Est de la verse Kerroué (Volume instable = 46 000 m<sup>3</sup>, Fs = 1.88)

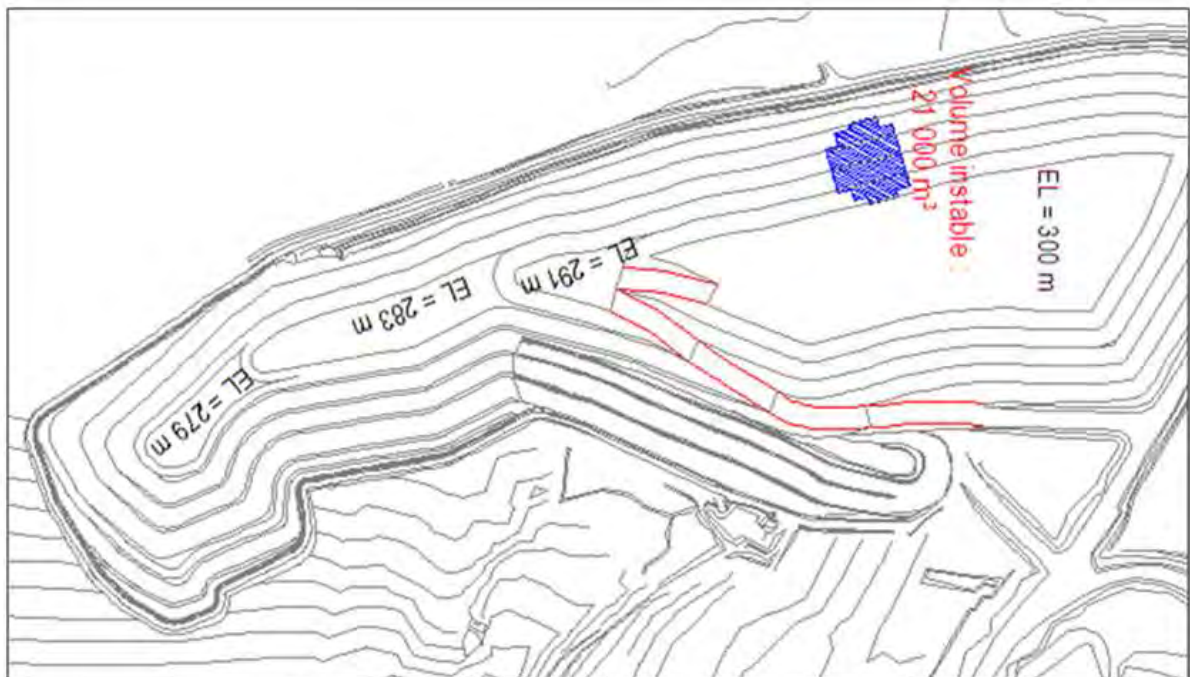


Figure n° 6 : Localisation de la zone potentielle de glissement dans le cas du talus Ouest de la verse Kerroué



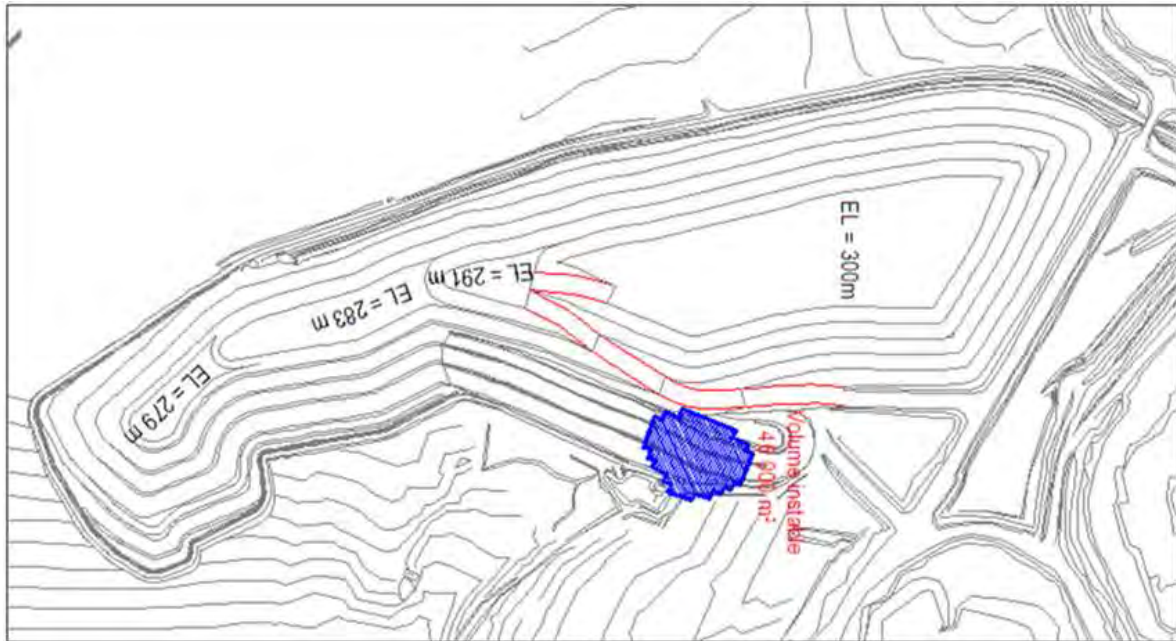


Figure n° 7 : Localisation de la zone potentielle de glissement dans le cas du talus Est de la  
verse Kerroué

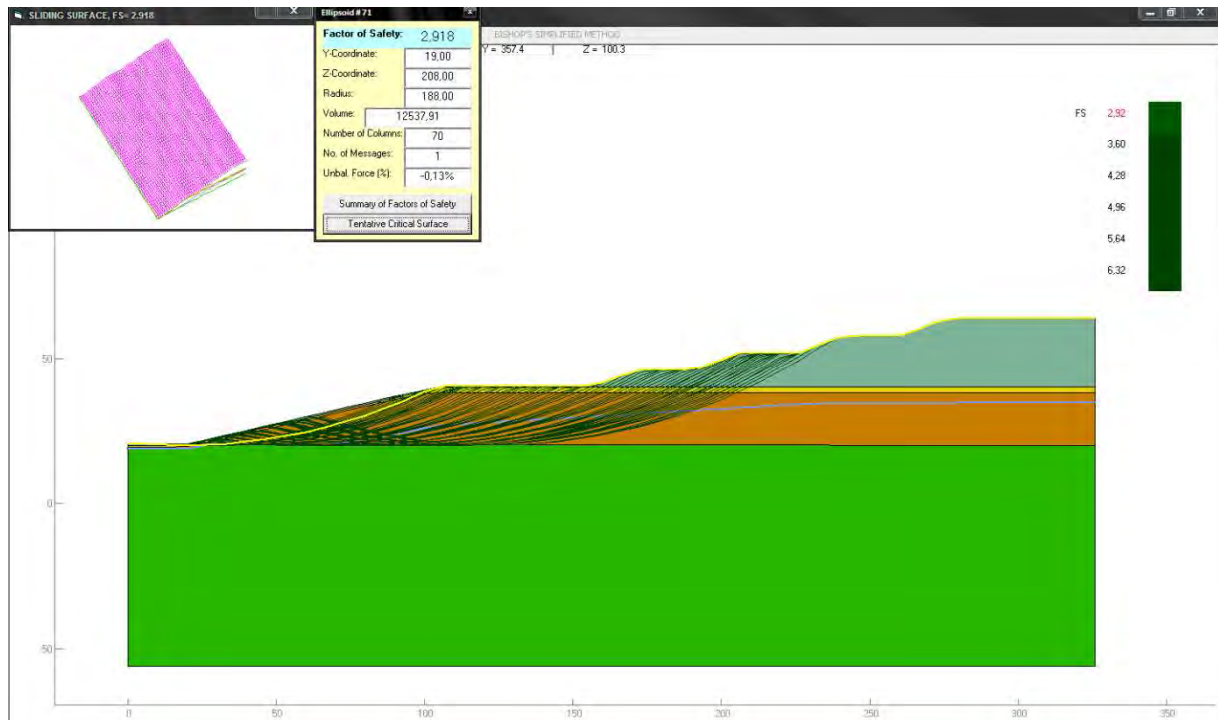


Figure n° 8 : Stabilité de l'ancienne digue à l'état actuel (Volume instable = 12 500 m3, Fs = 2.92)

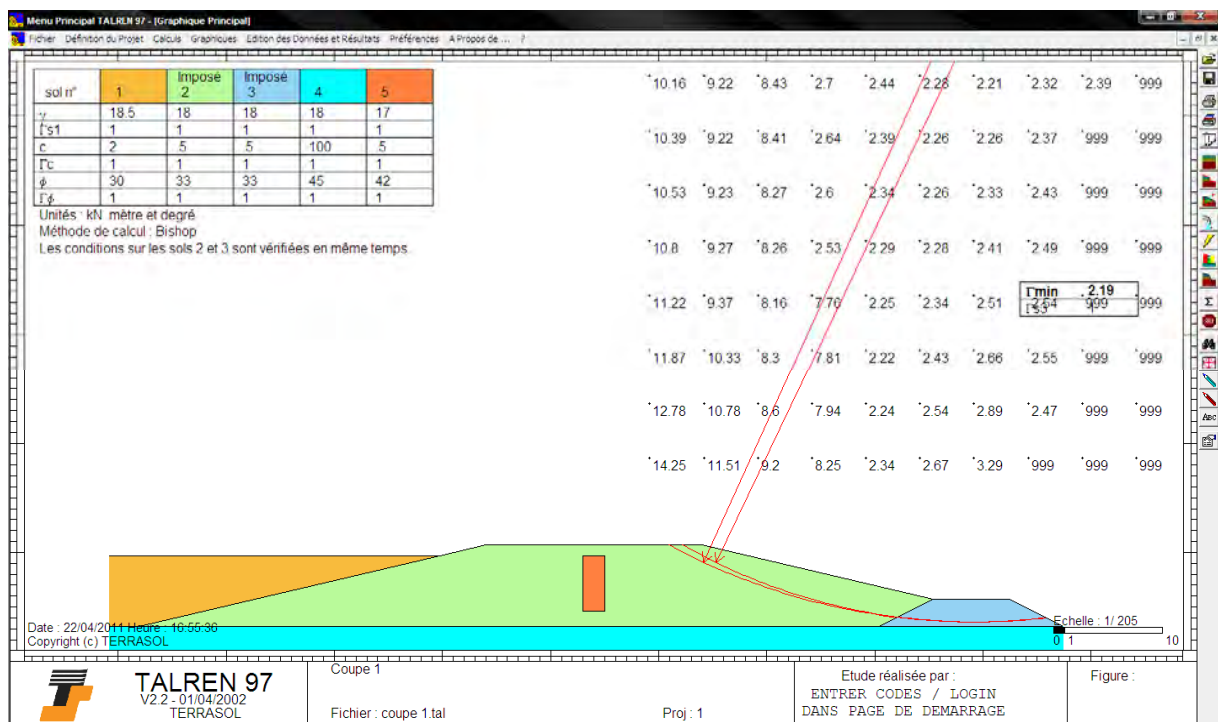


Figure n° 9 : Stabilité de l'ancienne digue suite à un séisme de récurrence 1/475 ans (Fs = 2.19)

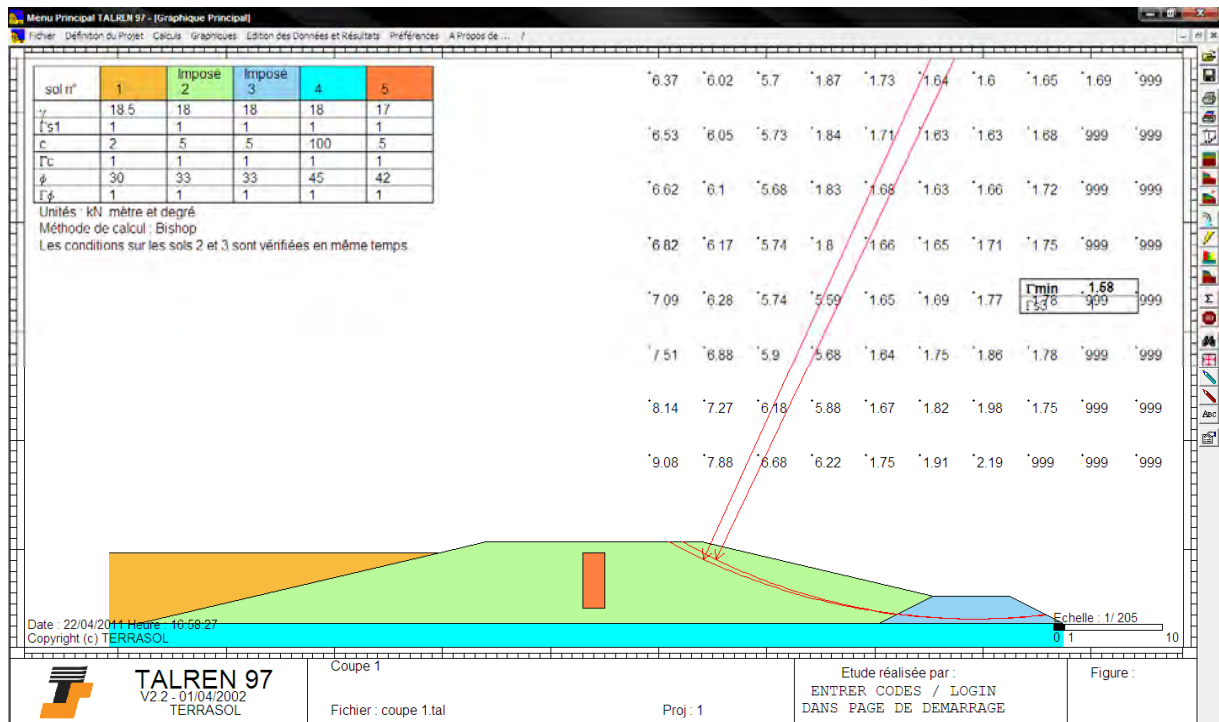


Figure n° 10 : Stabilité de l'ancienne digue suite à un séisme de récurrence 1/1000 ans ( $F_s = 1.58$ )

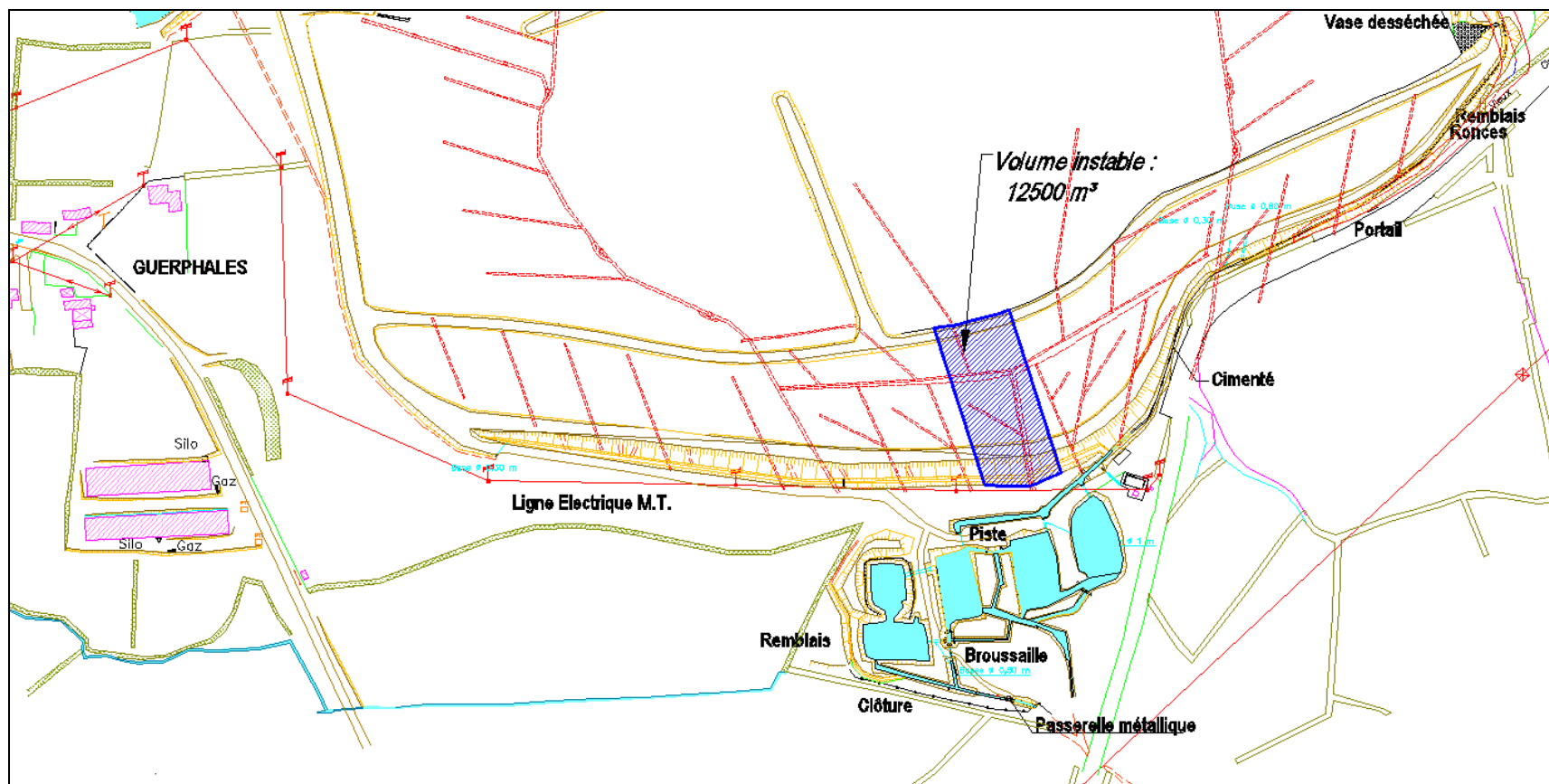


Figure n° 11 : Localisation de la zone potentielle de glissement affectant le talus de l'ancienne Digue

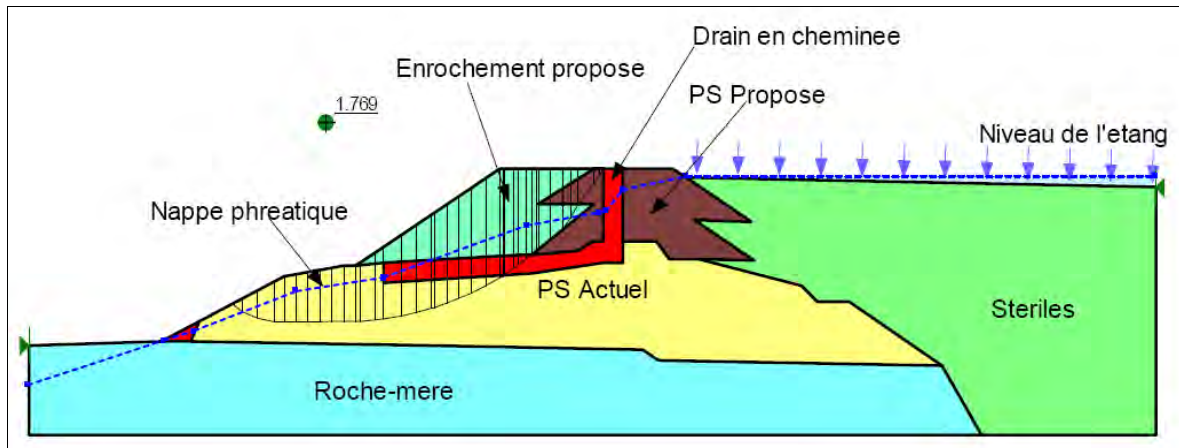


Figure n° 12 : Stabilité à long terme du barrage interfosse ( $F_s = 1.769$ )

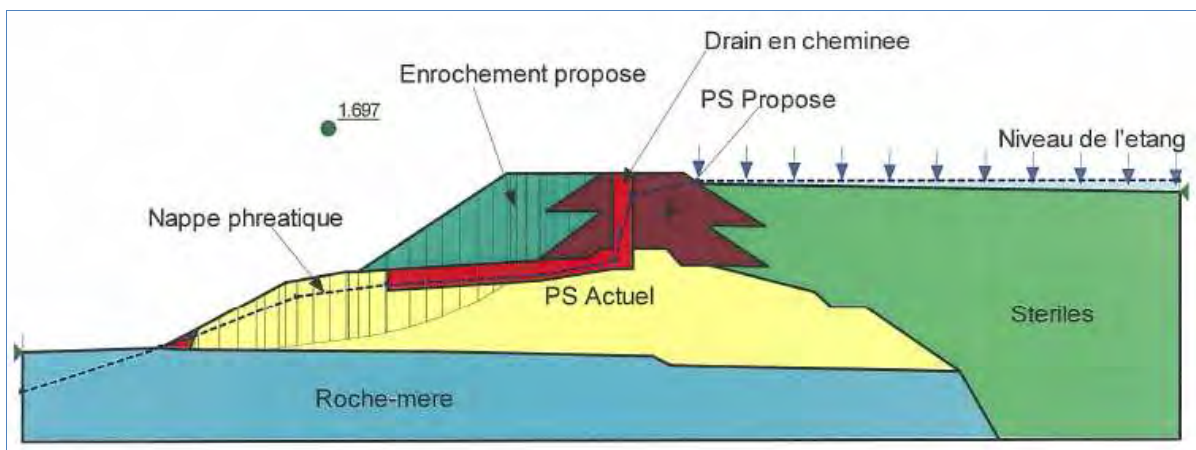


Figure n° 13 : Stabilité à long terme du barrage interfosse en tenant compte des accélérations induites par les tirs de mine ( $a_h = 0.02$  ;  $a_v = 0.06$ )  $F_s = 1.697$

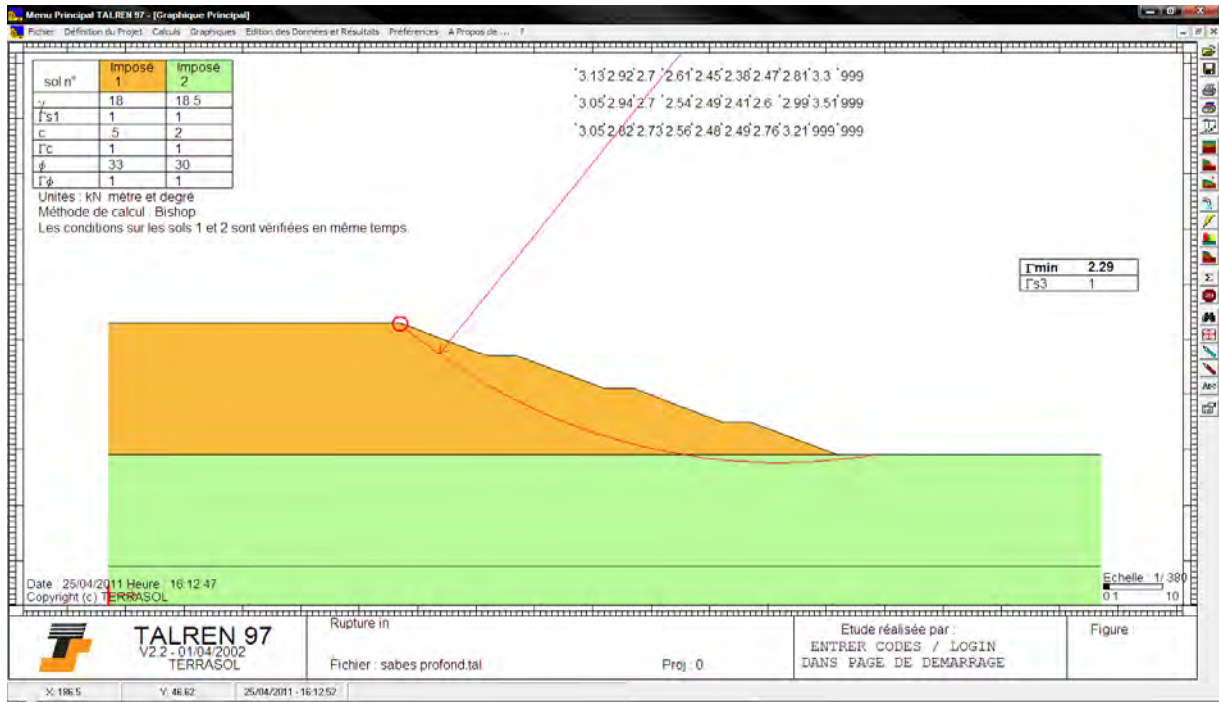


Figure n° 14 : Rupture peu profonde de la verse Sabès (Fs = 2.29)

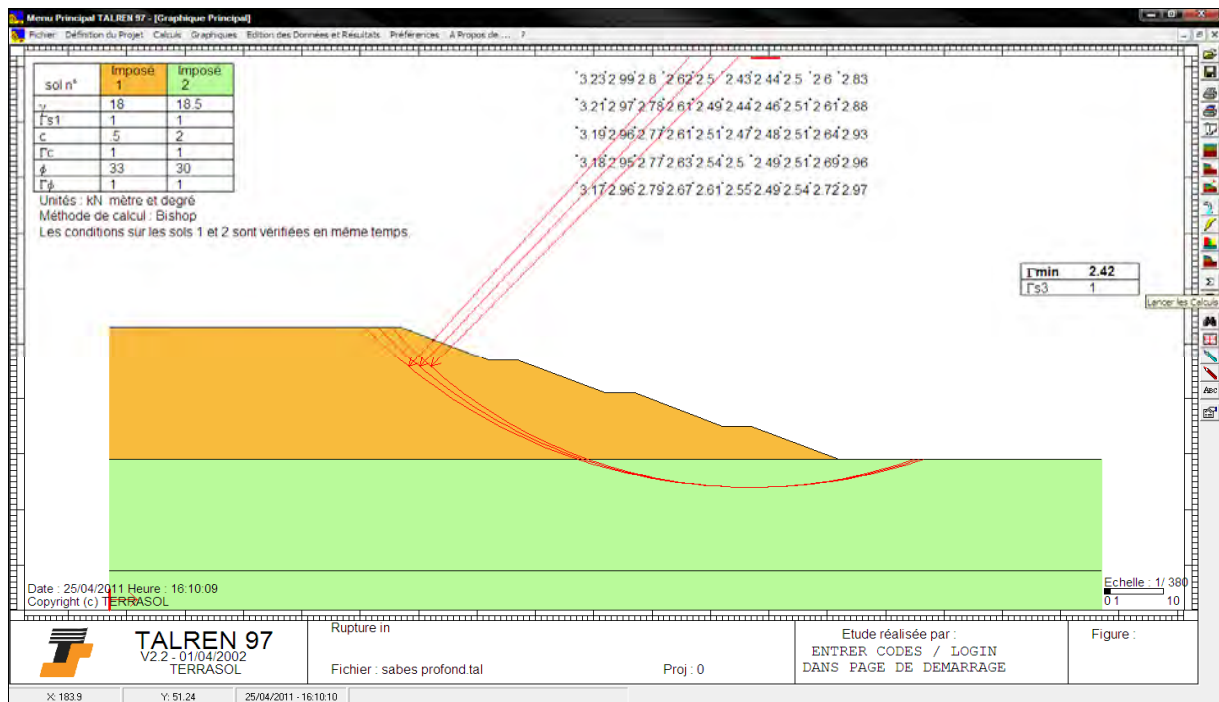
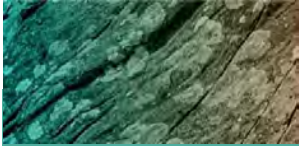


Figure n° 15 : Rupture profonde de la verse Sabès (Fs = 2.42)

## **Annexe 6 : Etude d'avant-projet détaillé de conception de la Verse Ouest (MECATER, février 2021)**

---



# ETUDE DE LA VERSE OUEST A GUERPHALES-GLOMEL

## ETUDE D'AVANT PROJET DETAILLE JUSTIFICATIONS TECHNIQUES

Client :



**MECATER**  
INGÉNIERIE

Réf : MC-20-138-IME-01-R03-B



B	17/02/2021	<i>Maj suite aux commentaires client</i>		
A	11/02/2021	<i>Création</i>		
Révision	Date	Objet de la modification		
		Rédacteur	Vérificateur	Approbateur
Nom et prénom		Seif ASKRI Rahma HAMDI	Fadhel SFAXI	Ghassen JAMELLEDDINE
Fonction		Ingénieur hydraulicien Ingénieur géotechnicien	Coordinateur de projets	Directeur de production

## SOMMAIRE

<b>1.</b>	<b>CONTEXTE ET OBJET</b> .....	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>DONNEES D'ENTREE</b> .....	<b>1</b>
<b>3.</b>	<b>CRITERES DE DESIGN</b> .....	<b>2</b>
3.1	CRITERES DE DESIGN POUR LA JUSTIFICATION GEOTECHNIQUE .....	2
3.1.1	<i>Caractérisation des matériaux constitutifs de la verse et de l'assise</i> .....	2
3.1.2	<i>Critères de design pour la justification géotechnique</i> .....	2
3.2	CRITERES DE DESIGN POUR LA JUSTIFICATION HYDRAULIQUE .....	3
<b>4.</b>	<b>DESCRIPTION DU PROJET DE LA VERSE OUEST</b> .....	<b>4</b>
4.1	DESCRIPTION DU PROJET DE LA VERSE OUEST .....	4
4.2	CONTEXTE TOPOGRAPHIQUE.....	7
4.3	CONTEXTE GEOLOGIQUE .....	8
4.4	CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE.....	9
4.5	CONTEXTE HYDROLOGIQUE .....	12
<b>5.</b>	<b>SYNTHESE DES RESULTATS DES ESSAIS GEOTECHNIQUES</b> .....	<b>13</b>
5.1	CONSISTANCE DES INVESTIGATIONS .....	13
5.2	RESULTATS ET INTERPRETATION DES INVESTIGATIONS .....	15
5.2.1	<i>Investigations in situ</i> .....	15
5.2.2	<i>Essais de laboratoire</i> .....	17
<b>6.</b>	<b>DISPOSITIF D'ETANCHEITE PAR GEOMEMBRANE</b> .....	<b>22</b>
<b>7.</b>	<b>PRINCIPE DE GESTION DES EAUX DU PROJET DE LA VERSE OUEST</b> .....	<b>23</b>
7.1	GESTION DES EAUX DE SURFACE PROVENANT DU BASSIN VERSANT AMONT DE LA VERSE.....	24
7.2	GESTION DES RESURGENCES SOUS LA VERSE.....	24
7.3	GESTION DES EAUX D'INFILTRATION DANS LA VERSE.....	26
7.4	GESTION DES EAUX DE RUISSELLEMENT SUR LA VERSE .....	27
<b>8.</b>	<b>DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES HYDRAULIQUES</b> .....	<b>30</b>
8.1	DESCENTES D'EAU .....	31
8.2	CANIVEAUX .....	32
8.3	DISPOSITIF DE DECANTATION.....	36
<b>9.</b>	<b>EVALUATION DU POTENTIEL DE STABILITE DE LA VERSE A LONG TERME</b> ..	<b>37</b>
<b>10.</b>	<b>DISPOSITIF D'AUSCULTATION ET DE SURVEILLANCE</b> .....	<b>40</b>
<b>11.</b>	<b>CONCLUSION</b> .....	<b>41</b>

---

## LISTE DES FIGURES

---

Figure 1 : Emprise finale de la Verse Ouest.....	5
Figure 2 : Vue 3D de la Verse Ouest-Phase 1 .....	6
Figure 3 : Vue 3D de la Verse Ouest-Phase 2 .....	6
Figure 4 : Vue 3D de la Verse Ouest-Phase ultime .....	7
Figure 5 : Carte des reliefs.....	7
Figure 6 : Carte des pentes (en degrés) .....	8
Figure 7 : Carte géologique au 1/50 000 du BRGM « N°312-Rostrenen » .....	9
Figure 8 : Coupe géologique type .....	9
Figure 9 : Implantation des piézomètres supplémentaires (Source : Analyse du contexte géologique structural entre la Fosse 3 et les captages du Minez Du, IGC Environnement-2018) .....	10
Figure 10 : Système aquifère identifié au niveau de la zone d'étude (Source : Etude hydrologique et hydrogéologique, Géoarmor environnement-2016) .....	11
Figure 11 : Ecoulements souterrains possibles (Source : Etude hydrologique et hydrogéologique, Geo+ Environnement - 2020) .....	12
Figure 12 : Réseau hydrographique au droit du site (Source : Etude hydrologique et hydrogéologique, Geo+ Environnement - 2020) .....	13
Figure 13 : Plan d'implantation des puits à la pelle.....	15
Figure 14 : Classification des échantillons selon le diagramme de Casagrande.....	19
Figure 15 : Dispositif d'étanchéité de la verse Ouest .....	23
Figure 16 : Principe de gestion des eaux de surface en phase ultime.....	24
Figure 17 : Coupe type du collecteur principal.....	25
Figure 18 : Vue en plan du dispositif de drainage des résurgences .....	25
Figure 19 : Coupe type du drain pour l'évacuation des eaux de résurgences .....	25
Figure 20 : Implantation des drains de collecte des eaux d'infiltration.....	26
Figure 21 : Coupe type du drain de collecte des eaux d'infiltration .....	27
Figure 22 : Principe de gestion des eaux-Phase 1.....	28
Figure 23 : Principe de gestion des eaux-Phase 2.....	29
Figure 24 : Principe de gestion des eaux-Phase 3.....	29
Figure 25 : Principe de gestion des eaux-Phase ultime- .....	30
Figure 26 : Implantation des piézomètres et des plots topographiques .....	40

---

## LISTE DES TABLEAUX

---

Tableau 1 : Caractéristiques géotechniques des différents matériaux .....	2
Tableau 2 : Critères de design.....	3
Tableau 3 : Paramètres de Montana .....	3
Tableau 4 : Méthode de design adoptées pour les justifications hydrauliques du projet.....	3
Tableau 5 : Volume de stériles stockés par année (Réf : Géo plus environnement) .....	5
Tableau 6 : Programme des essais de laboratoire.....	14
Tableau 7 : Echantillons prélevés des puits à la pelle .....	15
Tableau 8 : Résultats des investigations in situ .....	16
Tableau 9 : Caractérisation physique des différents matériaux .....	18
Tableau 10 : Résultats des essais réalisés sur la couche de PS.....	20
Tableau 11 : Résultats des essais réalisés sur les matériaux de l'assise .....	21
Tableau 12 : Caractéristiques des ouvrages hydrauliques : Descentes d'eau.....	31
Tableau 13 : Dimensionnement des caniveaux.....	32
Tableau 14 : Résultats de l'analyse de stabilité à long terme.....	39

## 1. CONTEXTE ET OBJET

La société Imerys Refractory Minerals Glomel (IRMG) exploite un gisement de schistes à andalousite sur le site de Guerphalès à Glomel et y traite le minerai pour élaborer un concentré d'andalousite destiné à l'industrie.

L'extraction de l'andalousite génère des stériles composés d'un mélange de matériaux argilo-sableux et de blocs de dimensions variables pouvant dépasser le mètre. Ces stériles sont stockés actuellement sur la verse Kerroué.

Etant donné que la verse existante atteindra prochainement sa capacité maximale, IRMG envisage de construire une nouvelle verse à proximité de la Fosse 3.

Cette nouvelle verse appelée « Verse Ouest » est déjà autorisée dans l'arrêté préfectoral du site du 03/08/2018 et IRMG envisage une extension limitée du périmètre ICPE d'environ 2,5 ha pour augmenter la capacité de stockage de cette verse dans le cadre du projet d'ouverture de la Fosse 4.

Dans ce cadre, IRMG a consulté Mecater Ingénierie pour élaborer l'étude d'aménagement de la Verse Ouest. En première phase, une étude conceptuelle a été élaborée et afin d'alimenter les études de détails en données de terrain, une campagne géotechnique a été réalisée.

Ce rapport, qui s'inscrit dans le cadre des études de détails, présente les justifications géotechniques et hydrauliques du projet.

Dans ce rapport, nous présentons :

- La synthèse des résultats des essais géotechniques ;
- Le dispositif d'étanchéité par géomembrane ;
- Le dispositif de drainage et de mise hors d'eau durant la construction de la verse en phase ultime ;
- Le dimensionnement des ouvrages hydrauliques ;
- L'évaluation du potentiel de la stabilité de la verse à long terme ;
- La vérification de la résistance mécanique du système d'étanchéité ;
- Dispositif de surveillance et d'auscultation de la verse.

## 2. DONNEES D'ENTREE

Les données d'entrée ayant servi pour l'élaboration du présent rapport comportent :

- Un set de plans en format DXF comportant essentiellement le design de la Verse Ouest élaboré par Imerys ;
- La topographie du site ;
- Rapport de résultats de la campagne géotechnique réalisée par Ginger en 2020 (20200729-PLO-Imerys, GLOMEL (22)-DA2020 0535-RAPPORT G1-G2AVP) ;
- Un plan d'implantation des piézomètres ;

- Les fiches des deux derniers piézomètres réalisés (PZS1 et PZS2) ;
- L'autorisation d'exploitation sur le site de Guerphalès ;
- La demande d'autorisation d'exploitation de la zone d'extension comprenant l'emprise de la verse Ouest ;
- Quelques rapports antérieurs portant sur la géologie et l'hydrogéologie du site réalisés par les bureaux d'études IGC Environnement et Axe Environnement ;
- Des résultats des essais de lixiviation réalisés sur des échantillons de stériles, de boues et de résidus.

### 3. CRITERES DE DESIGN

#### 3.1 Critères de design pour la justification géotechnique

##### 3.1.1 Caractérisation des matériaux constitutifs de la verse et de l'assise

Les caractéristiques mécaniques de l'ensemble des matériaux constitutifs de la verse ainsi que de l'assise, qui seront utilisées dans les calculs de stabilité mécanique sont déduites des résultats de la campagne géotechnique et résumées dans le tableau suivant :

**Tableau 1 : Caractéristiques géotechniques des différents matériaux**

Matériaux	Poids volumique apparent (KN/m <sup>3</sup> )	Cohésion (kPa)	Angle de frottement (Degrés)
Stériles	20	0	35
PS	18	10	29
Altération	19	0	30
Cornéenne	18	14	26
Substratum	25	100	45
Butée	22	5	40

*Les stériles stockés en verse, formés de blocs de schistes et de matériaux sableux limoneux, sont constitués de matériau frottant ayant une cohésion nulle.*

*Le matériau "PS" est un co-produit du site issu du dépoussiérage de l'usine et il a fait l'objet d'un brevet pour sa réutilisation comme couche d'étanchéité.*

##### 3.1.2 Critères de design pour la justification géotechnique

Pour l'analyse de la stabilité mécanique de la Verse Ouest, nous avons évalué le potentiel de stabilité de la verse à long terme en conditions normales.

D'après les décrets n°2010-1254 et n°2010-1255 modifiant les articles R. 563-1 à R.563-8 du Code de l'Environnement, la commune de Glomel est classée dans la zone de sismicité n°2 d'aléa faible. Ainsi, la vérification de la stabilité de la verse en conditions sismique n'est pas requise.

Les calculs seront basés sur la méthode des tranches verticales à l'équilibre limite, en utilisant les cohésions et les angles de frottement drainés des différents matériaux de l'assise et des stériles en verse.

Pour les conditions hydrodynamiques, nous avons adopté deux hypothèses selon les conditions de drainage interne de la verse :

- **Drainage parfait**

Les stériles, constitués essentiellement de produits rocheux et les drains de collecte des eaux d'infiltration permettent d'évacuer rapidement les eaux infiltrées évitant par conséquent le développement d'une nappe dans le remblai. Nous adoptons comme critère de stabilité, un coefficient de sécurité proche de 1,5.

- **Mauvais drainage**

Le dispositif de drainage est partiellement colmaté générant la création d'une nappe dans le remblai, notamment au moment des fortes pluies. Nous adoptons un coefficient de sécurité proche de 1,1.

### 3.2 Critères de design pour la justification hydraulique

Les critères de design retenus pour le dimensionnement des ouvrages hydrauliques de la Verse Ouest sont synthétisés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 2 : Critères de design**

Description	Unité	Valeur
Station météorologique	-	Rostrenen
Période de retour pour le design des descentes d'eau de drainage de la verse	an	100
Période de retour pour le design des caniveaux de drainage de la verse	an	100
Diamètre des enrochements	m	V <sup>2</sup> /45

Le dimensionnement des ouvrages hydrauliques sera basé sur les courbes IDF de la station Rostrenen située à proximité de Glomel (à environ 7 km).

**Tableau 3 : Paramètres de Montana**

Temps de concentration	6 =< Tc =< 30 min		30 min =< Tc =< 24 h	
	a	b	a	b
Durée de retour T				
10 ans	3,078	0,465	6,056	0,67
20 ans	3,685	0,454	8,442	0,703
50 ans	4,347	0,42	13,044	0,748
100 ans	4,848	0,391	18,201	0,784

La mise en œuvre des critères de design présentés dans le tableau N°3 sera réalisée suivant les méthodes de calcul détaillées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 4 : Méthode de design adoptées pour les justifications hydrauliques du projet**

Description	Valeur minimale requise	Valeur maximale autorisée	Méthode de calcul	Code de calcul
<b>Calcul des débits</b>				
Temps de concentration	Temps de concentration tc du bassin versant donné par la formule de Giandoti (heures) :			Analytique
	$t_c = \frac{1,5L + 4\sqrt{S}}{0,8\sqrt{H}}$			
	Avec :			
	L : Longueur de l'écoulement (km)			
	S : Surface du bassin versant (km <sup>2</sup> )			

Description	Valeur minimale requise	Valeur maximale autorisée	Méthode de calcul	Code de calcul
	H : Dénivelée moyenne (m)			
Débit de pointe	Le débit maximum Q (m <sup>3</sup> /s) relative à une récurrence donnée est donné par la méthode CIA :		$Q = \frac{C \times I \times S}{3.6}$	Analytique
	Avec : C : Coefficient de ruissellement I : Intensité de la pluie (mm/h) S : Superficie du bassin versant (km <sup>2</sup> )			
<b>Dimensionnement des ouvrages hydrauliques</b>				
Caniveau	0,5 m de profondeur	Dimensionnés pour Une récurrence de 100 ans (ouvrages permanents)	Formule de Manning-Strickler : $Q = V . S = S . K . R_H^{2/3} . i^{1/2}$ K : Coefficient de Manning-Strickler : 70 Rh : Rayon hydraulique I : Pente moyenne de l'ouvrage (%)	Analytique
Descente d'eau	0,5 m de profondeur	Dimensionnés pour Une récurrence de 100 ans (ouvrages permanents)	Formule de Manning-Strickler : $Q = V . S = S . K . R_H^{2/3} . i^{1/2}$ K : Coefficient de Manning-Strickler : 25 Rh : Rayon hydraulique I : Pente moyenne de l'ouvrage (%)	Analytique

## 4. DESCRIPTION DU PROJET DE LA VERSE OUEST

### 4.1 Description du projet de la Verse Ouest

La Verse Ouest sera située au Sud de la Fosse 3 et couvre une emprise totale de 12,76 ha ; (Cf. Figure 1). En phase ultime, la verse offre une capacité de stockage de 2.022 millions de m<sup>3</sup>. Les stériles miniers qui seront stockés dans la verse sont composés d'un mélange matériaux argilo-sableux et de blocs de dimensions variables pouvant dépasser le mètre.

Les analyses chimiques réalisées dans le cadre des études antérieures ont montré que les stériles stockés en verse sont potentiellement acidogènes (PAG).

La plateforme ultime de la verse projetée sera calée à la cote 293 NGF. L'accès à la plateforme sera assuré par une rampe aménagée au niveau du talus Nord de la verse. Cette rampe aura une largeur de 13 m pour une pente longitudinale limitée à 10%.

La verse présente quatre flancs libres qui sont projetés avec une pente intégratrice de 27°.

Le flanc Nord-Ouest présente le plus fort dénivelé à savoir une hauteur de 39 m.

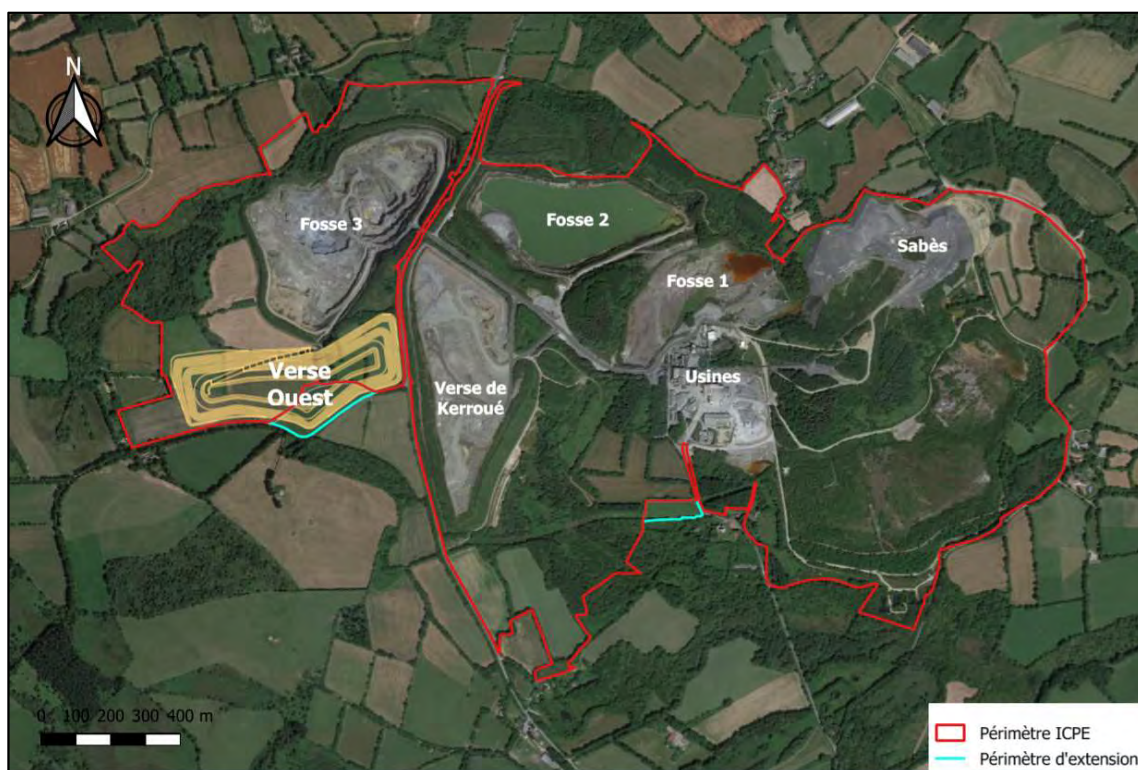


Figure 1 : Emprise finale de la Verse Ouest

Le tableau ci-dessous présente les volumes prévisionnels de stériles à stocker dans la Verse Ouest.

Tableau 5 : Volume de stériles stockés par année (Réf : Géo plus environnement)

Année	Volume (m3)
2022	110 000
2023-2027	635 000
2028-2032	280 000
2033-2037	255 000
2038-2042	35 000
<b>Total</b>	<b>1 315 000</b>

Pour une réalisation progressive de la verse, IRMG envisage de construire la Verse Ouest sur 3 phases :

❖ *Verse Ouest : Phase 1*

La première phase de la Verse Ouest couvrira une superficie de l'ordre de 3,35 ha permettant le stockage d'un volume de stériles de l'ordre de 358 000 m<sup>3</sup> (Cf. Figure 2).





Figure 2 : Vue 3D de la Verse Ouest-Phase 1

❖ Verse Ouest : Phase 2

Au cours de la deuxième phase, la verse s'étendra vers l'Ouest pour couvrir une superficie totale de l'ordre de 7,68 ha offrant ainsi une capacité de stockage supplémentaire de l'ordre de 727 000 m<sup>3</sup> (Cf. Figure 3).



Figure 3 : Vue 3D de la Verse Ouest-Phase 2

❖ Verse Ouest : Phase 3

Durant la dernière phase, la verse s'étendra vers l'Ouest sur une surface supplémentaire de 5,08 ha et atteindra la cote ultime, soit la cote 293 NGF (Cf. Figure 4).

Le volume supplémentaire de stériles mis en verse lors de cette phase est de l'ordre de 937 000 m<sup>3</sup>.

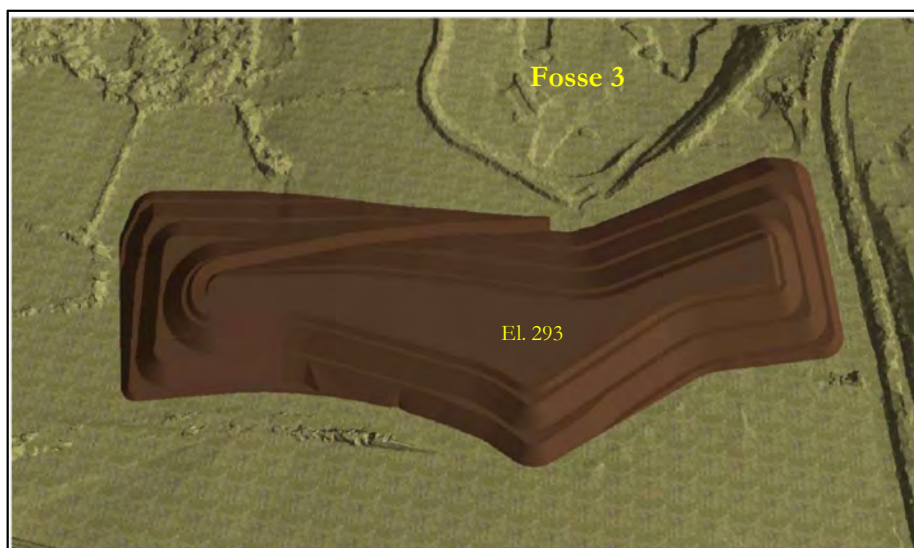


Figure 4 : Vue 3D de la Verse Ouest-Phase ultime

## 4.2 Contexte topographique

L'emprise de la Verse Ouest couvre une superficie proche de 13 ha. Elle s'étend sur une distance de 750 m orientée d'Est en Ouest et sur 350 m du Nord vers le Sud ; (CF. Figure 5).

Le pied de la verse projetée sera calé entre les cotes 255 et 270 NGF. La pente du terrain naturel est faible, ne dépassant pas les 6° (CF. Figure 6). Cette configuration topographique favorable offre des conditions d'ancrage acceptables.

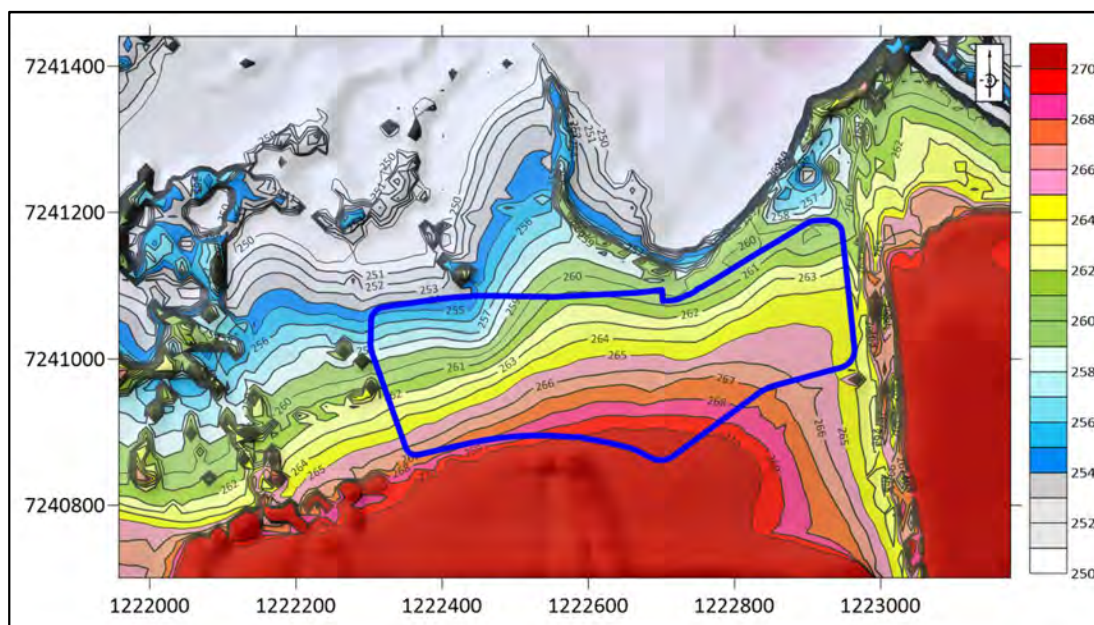


Figure 5 : Carte des reliefs

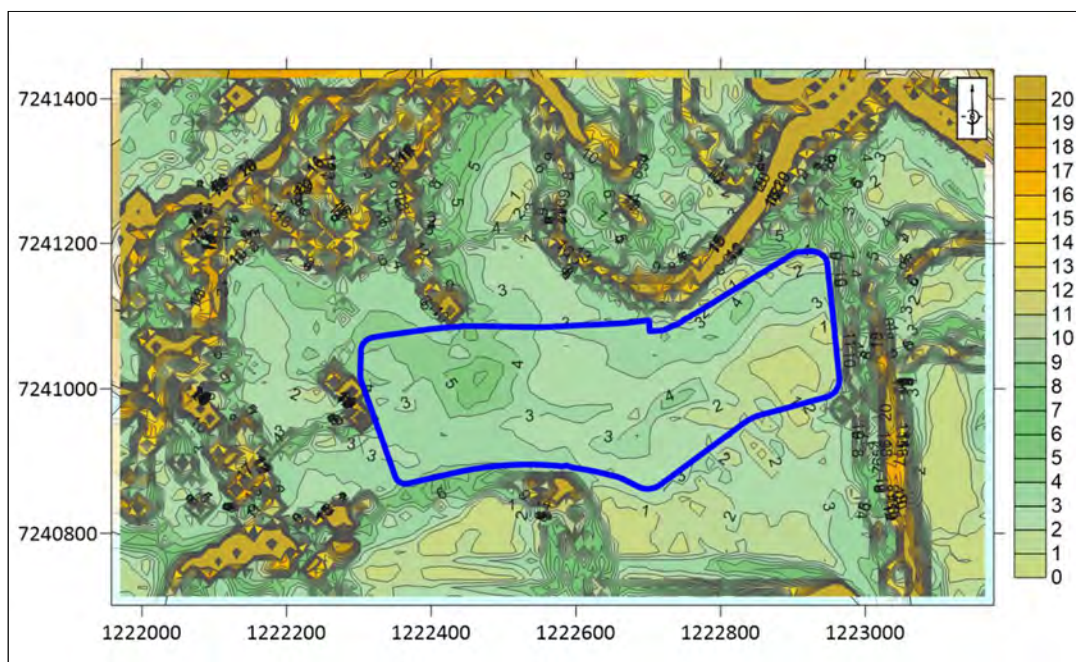


Figure 6 : Carte des pentes (en degrés)

### 4.3 Contexte géologique

En se basant sur la carte géologique au 1/50 000 du BRGM, les entités géologiques de la zone d'étude sont formées des deux ensembles principaux suivants (CF. Figure 7) :

- **Formations de Postolonnec et de Kermeur**, notées « o3-6 » sur la carte géologique et constitués de schistes ardoisiers sombres à passées gréseuses. Au sein de cette entité, une trame en bâtonnets rouges identifie un secteur dit « zone riche en andalousite - guerphalite ». Ce gisement d'andalousite (silicate d'alumine réfractaire), exploité par **le site de Guerphalès** résulte du métamorphisme des schistes ordoviciens par le granite de Rostrenen.
- Formation du Grès armoricain, notée « o2b » sur la carte géologique et constituée de quartzites blancs massifs.

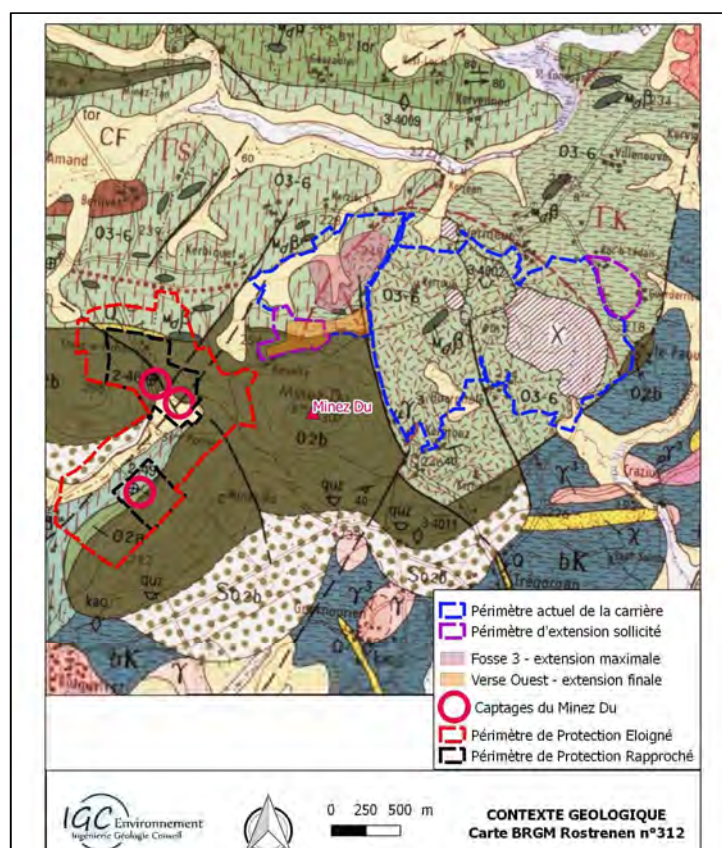


Figure 7 : Carte géologique au 1/50 000 du BRGM « N°312-Rostrenen »

Plus localement et en se basant sur les puits à la pelle réalisés dans le cadre de cette étude, la coupe géologique se caractérise par la succession des couches suivantes :

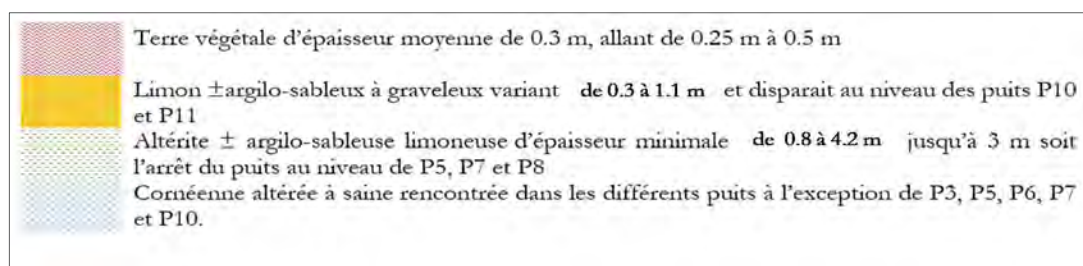


Figure 8 : Coupe géologique type

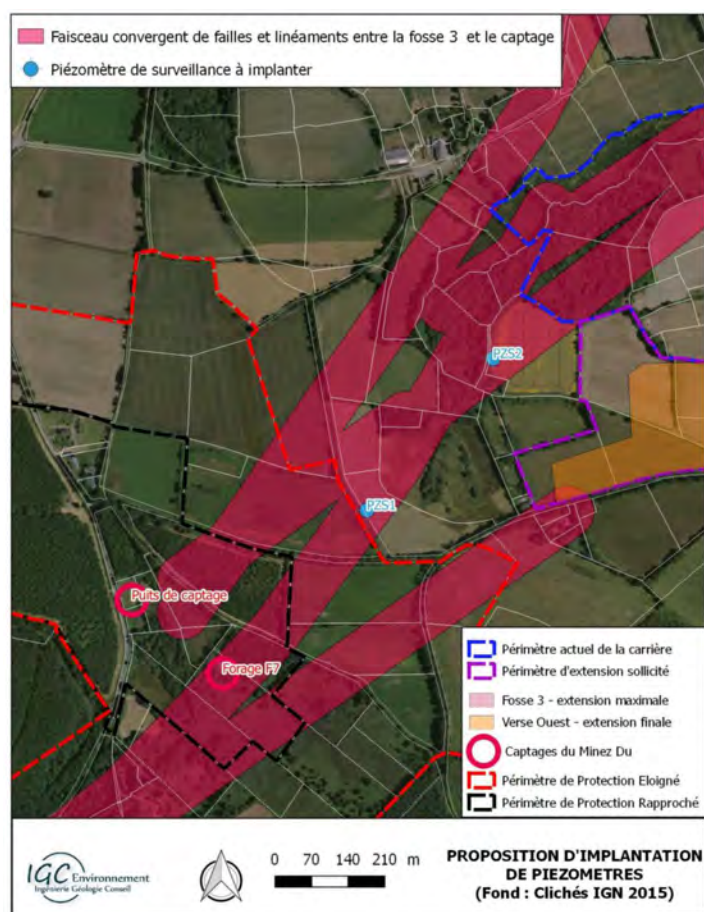
#### 4.4 Contexte hydrogéologique

Afin d'assurer un suivi piézométrique et qualitatif des eaux souterraines, IRMG a installé plusieurs piézomètres autour de son site (Piézomètre Sud, Piézomètre KJ2, piézomètres MO1, RO1 et RO2). Trois piézomètres profonds ont également été réalisés en mai 2016 :

- PzA : 70 m de profondeur, situé en limite de la Fosse 3 ;
- PzB et PzC : 30 m de profondeur, situés de part et d'autre de la zone humide située en amont de la Fosse 3.

Suite à l'étude menée par IGC Environnement en 2018 portant sur les impacts du projet d'approfondissement de la Fosse 3 sur les ressources en eau potable du secteur, deux piézomètres de contrôle supplémentaires ont été réalisés en 2019 (CF. Figure 9). Ces piézomètres ont été implantés le long d'éventuelles fractures qui joindraient la Fosse 3 et les captages du Minez Du, à l'Ouest de la verse projetée :

- PZS1 : 70 m de profondeur (terrain naturel autour de 270 NGF)
- PZS2 : 55 m de profondeur (terrain naturel autour de 250 NGF)

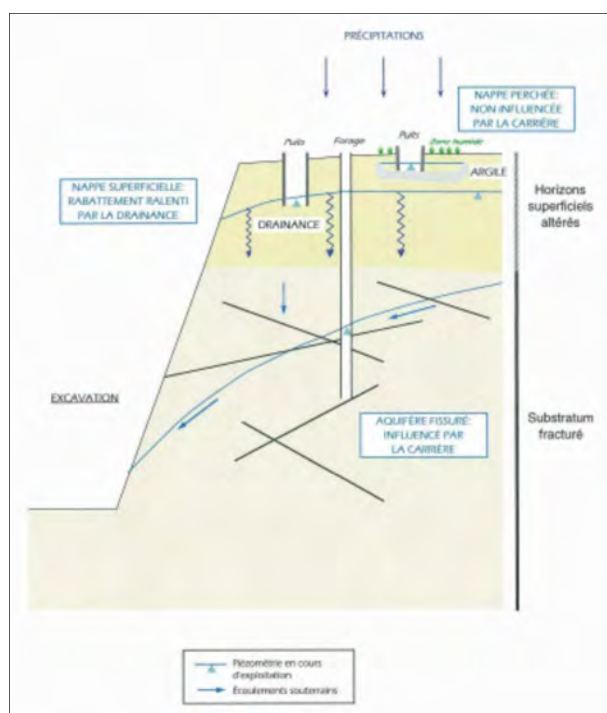


**Figure 9 : Implantation des piézomètres supplémentaires (Source : Analyse du contexte géologique structural entre la Fosse 3 et les captages du Minez Du, IGC Environnement-2018)**

Les mesures piézométriques mettent en évidence l'existence de deux aquifères (CF. Figure 10) :

- Un aquifère superficiel formé par les niveaux altérés de surface et alimenté par les eaux météoritiques où les écoulements suivent généralement la topographie ;
- Un aquifère profond qui se développe dans les réseaux de fracture de la roche et est alimenté par drainance de la nappe superficielle. Les écoulements vont suivre préférentiellement les zones faillées.

À ces deux types d'aquifères peuvent s'ajouter des nappes perchées, généralement de faible extension, issues d'un défaut d'infiltration des eaux de pluie, spécifiquement au niveau des secteurs où les horizons de sols superficiels présentent une proportion importante de matériaux argileux qui limitent les infiltrations.



**Figure 10 : Système aquifère identifié au niveau de la zone d'étude (Source : Etude hydrologique et hydrogéologique, Géoarmor environnement-2016)**

Avant l'approfondissement de la Fosse 3, les niveaux piézométriques montrent que le site de la Verse Ouest est traversé par une crête piézométrique (CF. Figure 11).

Actuellement, l'exploitation de la Fosse 3 met en évidence un léger rabattement (baisse de 5 à 8 m) de la nappe par l'extraction d'andalousite et le pompage d'exhaure sur la Fosse 3. Ce rabattement est limité aux abords immédiats de la Fosse 3 à l'Ouest et un peu plus étendu latéralement, sur une centaine de mètres vers le Nord.

Actuellement, le rabattement observé est très localisé et limité aux abords immédiats de la Fosse 3 (50 m vers l'Ouest et 140 m vers le Nord). Il ne touche aucun usage sensible et n'affecte pas la zone humide de Kersioc'h.

L'exploitation de la Fosse 4 serait susceptible d'impacter la circulation des eaux souterraines en rabattant la nappe. Le rayon d'influence et l'importance du rabattement dépendent de :

- La profondeur de l'excavation ;
- L'importance de la perméabilité des terrains ;
- La présence de limites étanches ou de limites d'alimentation.

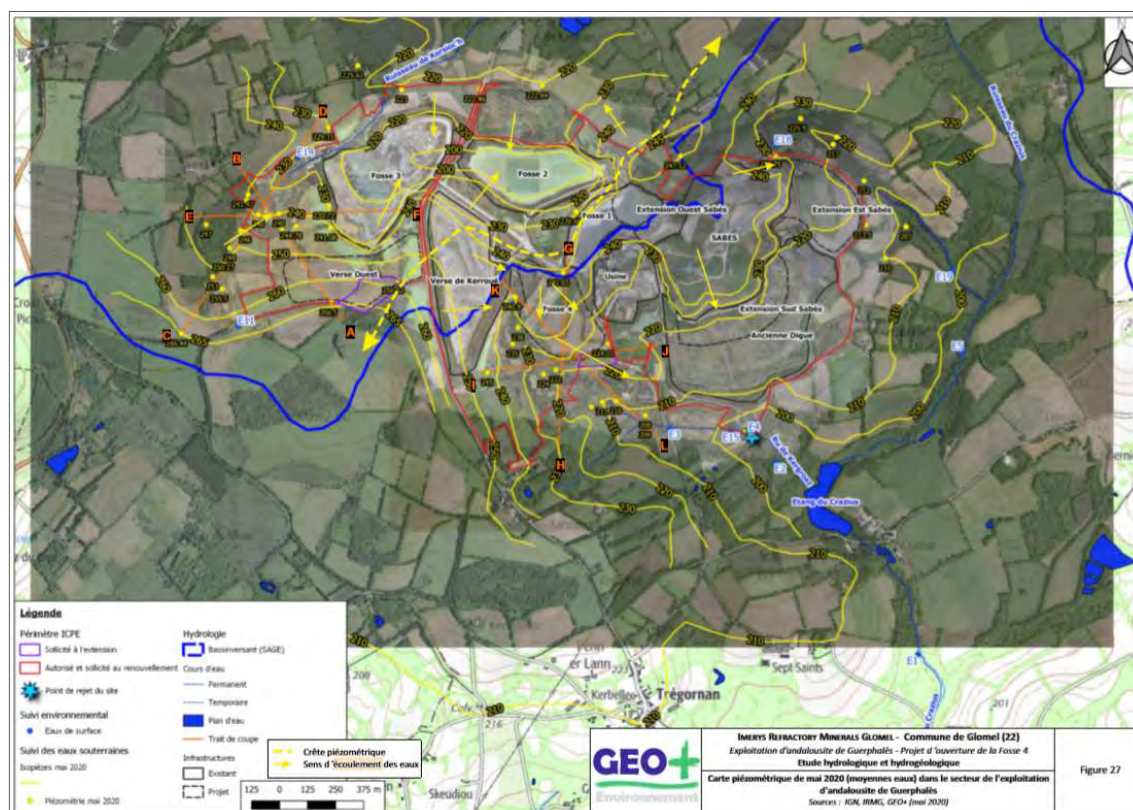


Figure 11 : Ecoulements souterrains possibles (Source : Etude hydrologique et hydrogéologique, Geo+ Environnement - 2020)

#### 4.5 Contexte hydrologique

Globalement, le site de Guerphalès s’inscrit dans les bassins versants du Blavet et de l’Ellé ; (CF. Figure 12).

Plus localement, la partie Ouest du site intègre, via le ruisseau de Kerzioc’h, le bassin versant du ruisseau de Kerjean (affluent du Blavet). La partie Est, via le ruisseau de Kergraz, intègre le bassin versant du ruisseau du Crazius (affluent de l’Ellé).

L’emprise de la Verse Ouest se situe dans le sous-bassin versant de Kerjean.

Le bassin versant amont du site de la Verse Ouest est de l’ordre de 19 ha.

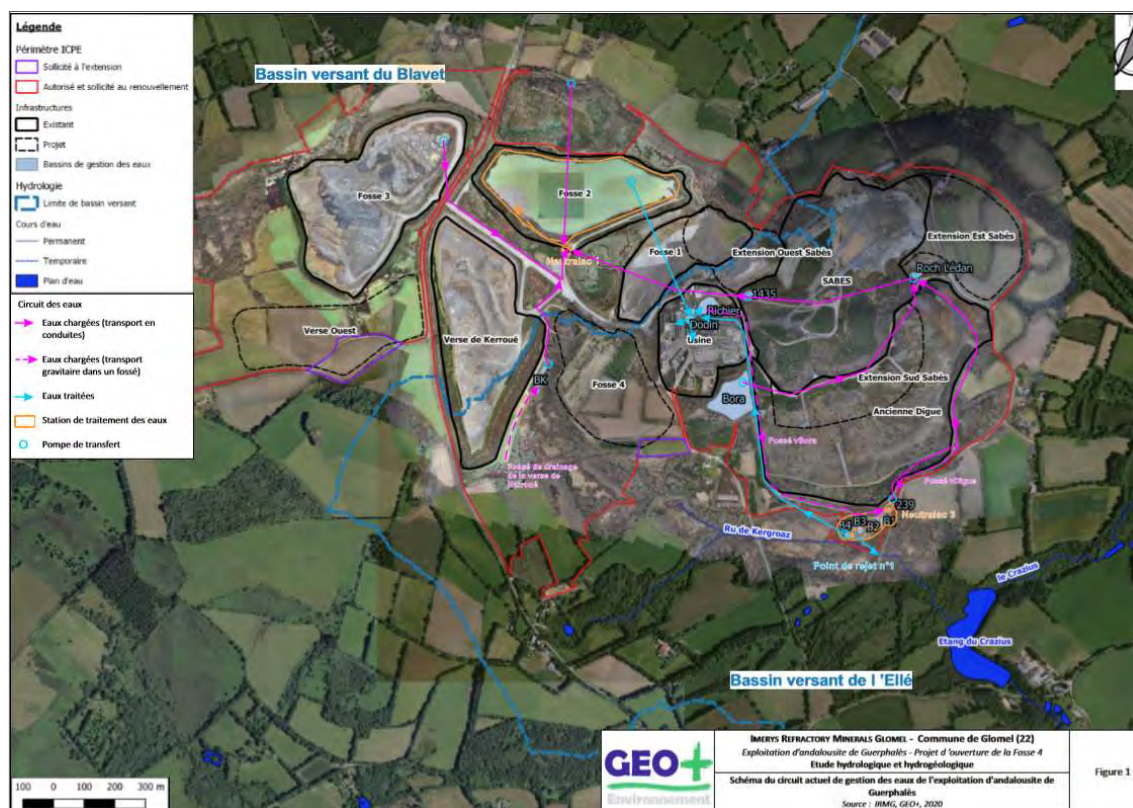


Figure 12 : Réseau hydrographique au droit du site (Source : Etude hydrologique et hydrogéologique, Geo+ Environnement - 2020)

## 5. SYNTHÈSE DES RESULTATS DES ESSAIS GEOTECHNIQUES

Suite à l'étude conceptuelle, Mecater a proposé une campagne d'investigation géotechnique afin d'affiner la géologie du site et de déterminer également les caractéristiques physiques et hydromécaniques de l'assise et de la couche de PS.

Cette partie du rapport synthétise les résultats de la campagne présentés dans le rapport fourni par le laboratoire CBTP avec une présentation des interprétations des essais de laboratoire.

### 5.1 Consistance des investigations

La campagne de reconnaissance a intégré :

- La réalisation de quinze (15) puits à la pelle/fouilles de profondeur maximale de 5 m ou au refus de la pelle mécanique (CF. Figure 13) ;
- Le prélèvement de trois (3) échantillons intacts à la trousse coupante ;
- La réalisation de quinze (15) mesures de perméabilité au niveau des puits à la pelle à -1m/TN à l'infiltromètre à double anneau selon NF X 30418 qui sont réalisées dans l'ensemble des puits afin de déterminer le coefficient de perméabilité des horizons superficiels ;



- La réalisation des essais de laboratoire sur les matériaux de l'assise et sur l'échantillon du matériau PS brut et amélioré à 10% et 15% de bentonite.

Le programme d'essais de laboratoire est résumé dans le Tableau 6.

**Tableau 6 : Programme des essais de laboratoire**

Essai réalisé		Norme	Echantillons			
			Echantillon prélevé à la trousse	Echantillon de matériau PS	Echantillon de matériau PS traité à la bentonite à 10%	Echantillon de matériau PS traité à la bentonite à 15%
Identification complète	Analyse granulométrique	NF P 94-056	3	1	-	-
	Limites d'Atterberg	NF P 94-051 & NF P 94052-1				
	Teneur en eau	NF P 94-050				
	Masse volumique des sols fins	NF P 94-053				
	Classification des sols selon la nomenclature GTR	NF P 11-300				
	Bleu de méthylène	NF P 94-068 - Octobre 1998				
Essai de compaction (Proctor standard)		NF P 94-093	-	1	1	1
Essai de consolidation œdométrique (œdomètre) avec mesure de perméabilité sur l'échantillon du moule Proctor		NF P 94-090-1	1	1	1	1
Essai de perméamètre à charge constante		-	-	1	1	1
Essai de cisaillement triaxial CU+u avec mesure de pression interstitielle		NF P 94-074	3	-	-	-

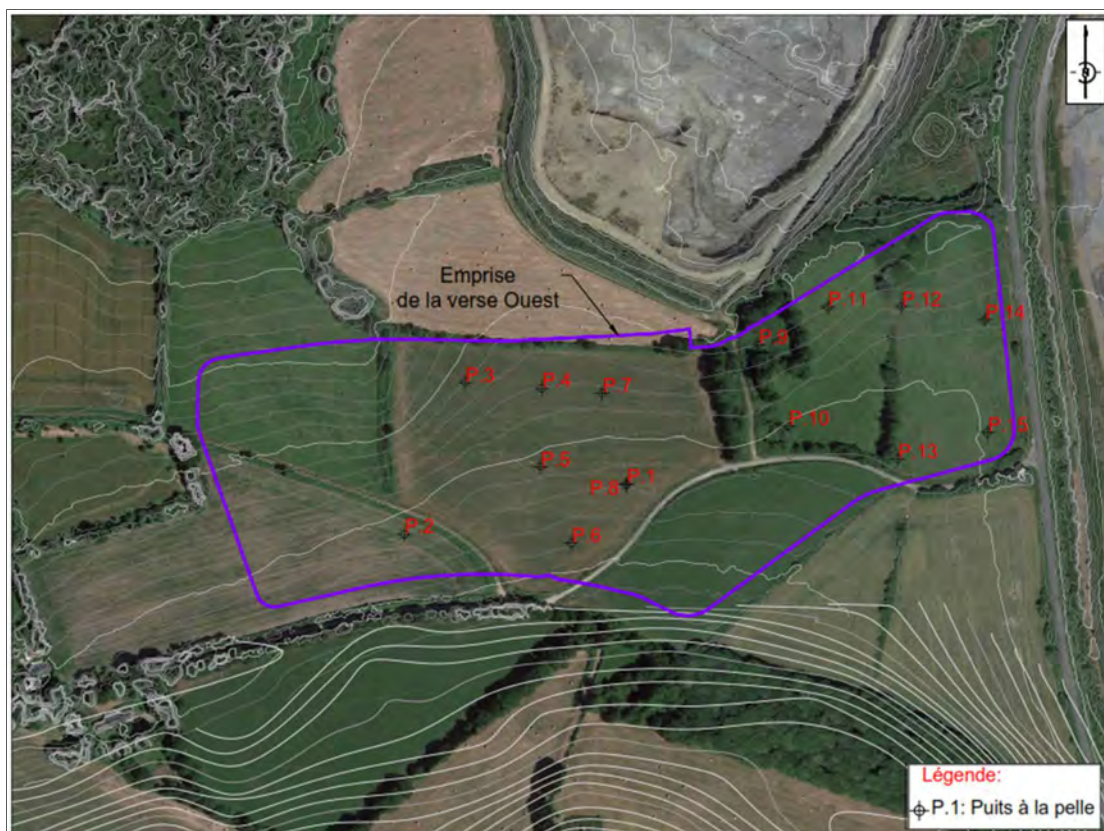


Figure 13 : Plan d'implantation des puits à la pelle

Les trois (3) échantillons intacts ont été prélevés à la trousse coupante à partir des puits à la pelle P2, P8 et P13 pour différents types d'horizon (Cf. Tableau 7).

Tableau 7 : Echantillons prélevés des puits à la pelle

Puits de prélèvement	Profondeur de prélèvement (m/TN)	Horizon prélevé
P2	-1,20	Altération argilo-sableuse, aspect gréseux
P8	-1,80	Altérite de cornéenne/cornéenne altérée
P13	-1,00	Altérite sableuse

## 5.2 Résultats et interprétation des investigations

### 5.2.1 Investigations in situ

La synthèse des résultats des investigations in situ est présentée dans le tableau suivant :

**Tableau 8 : Résultats des investigations in situ**





Puits à la pelle	Prof (m)	Profondeurs (m) des différentes couches rencontrées							Perméabilité mesurée in-situ (Avec infiltromètre) (m/s)
		Niveau de terrain naturel (m NGF)	Terre végétale	Limon ± argilo-sableux à graveleux	Colluvions (blocs à dominante gréseuse)	Altérite ± argilo-sableuse, limoneuse	Grès altéré à sain	Cornéenne altérée à saine	
<b>P1</b>	4.5	258,07	0,30	0,80	NR	2,50	NR	4.5	2,9 .10 <sup>-8</sup>
<b>P2</b>	4.5	265,92	0,30	1,20	NR	2,30	NR	4.5	3,7 .10 <sup>-7</sup>
<b>P3</b>	4.7	260,98	0,35	0,80	NR	2,10	4.7	NR	2,9 .10 <sup>-8</sup>
<b>P4</b>	4.5	262,95	0,30	1,40	1,80	3,30	NR	4.5	4,0 .10 <sup>-7</sup>
<b>P5</b>	4.5	265,51	0,35	0,70	NR	4.5	NR	NR	1,1 .10 <sup>-7</sup>
<b>P6</b>	4.5	268,87	0,30	0,60	NR	1,50	4.5	NR	9,8 .10 <sup>-10</sup>
<b>P7</b>	5	63,16	0,30	0,80	NR	5	NR	NR	5,3 .10 <sup>-7</sup>
<b>P8</b>	5	266,77	0,40	1,45	NR	5	-	-	2,9 .10 <sup>-8</sup>
<b>P9</b>	5	260,90	0,25	1,10	NR	2,50	NR	5	1,7 .10 <sup>-7</sup>
<b>P10</b>	5	264,74	0,50	NR	NR	2,80	5	NR	1,9 .10 <sup>-7</sup>
<b>P11</b>	3.3	260,46	0,35	NR	NR	0,90	NR	5	2,0 .10 <sup>-6</sup>
<b>P12</b>	3.4	262,66	0,30	0,60	NR	1,60	NR	3.3	1,8 .10 <sup>-7</sup>
<b>P13</b>	5	265,64	0,35	0,90	NR	3,00	NR	5	2,0 .10 <sup>-7</sup>
<b>P14</b>	3.5	263,64	0,30	0,60	NR	NR	NR	3.5	2,2 .10 <sup>-7</sup>
<b>P15</b>	3.5	264,70	0,35	0,80	NR	1,60	NR	3.5	1,3 .10 <sup>-7</sup>
<b>Epaisseur moyenne</b>	-	-	0.33	0.66	-	1.9	-	-	7.5.10 <sup>-7</sup>

NR = couche non rencontrée au droit de nos sondages

Les parois des sondages présentent généralement une bonne tenue, exception faite de P9 (tenue moyenne)

Les cellules en vert présentent les horizons sur lesquels les tests de mesure de perméabilité ont été réalisés

Selon les données de sondages présentées dans le tableau ci-dessus, l'assise de la verse est composée essentiellement, du haut en bas, par les horizons suivants (*Les photos des puits à la pelle ainsi que les coupes géologiques sont présentées en annexes A et B*) :

	Terre végétale d'épaisseur moyenne de 0,3 m, allant de 0,25m à 0,5 m.
	Limon ± argilo-sableux à graveleux d'épaisseur moyenne de 0.6 m, allant de 0,3 à 1,1 m et disparaît au niveau des puits P10 et P11.
	Altérite ± argilo-sableuse limoneuse d'épaisseur moyenne de 1,9 m, allant de 0.35 à 4.2 m, soit l'arrêt des puits au niveau des P5, P7 et P8.
	Cornéenne altérée à saine rencontrée dans les différents puits à l'exception des P3, P5, P6, P7 et P10.

Deux autres couches de terrain ont été localement rencontrées au Nord-Ouest de l'emprise de la verse :

- Colluvions (blocs à dominance gréseuse) au niveau du P4 ;
- Grès altéré à sain au niveau des puits P3, P6 et P10.

Les résultats des essais de perméabilité montrent que :

- Globalement, la perméabilité mesurée pour les 15 puits varie de  $9,8 \cdot 10^{-10}$  m/s à  $2,0 \cdot 10^{-6}$  m/s, soit une moyenne de  $7,5 \cdot 10^{-7}$  m/s ce qui témoigne d'horizons peu perméables avec une diminution considérable de la perméabilité en fonction de la profondeur ;
- La perméabilité mesurée au niveau de la couche de limon ± argilo-sableux à graveleux au niveau de P2, P4, P8 et P9 varie entre  $2,9 \cdot 10^{-8}$  et  $1,7 \cdot 10^{-7}$  m/s, soit une moyenne de  $2,4 \cdot 10^{-7}$  m/s ;
- La perméabilité mesurée au niveau de la couche d'altérites ± argilo-sableuse, limoneuse au niveau de P1, P3, P5, P6, P7, P10, P11, P12, P13 et P15 varie entre  $9,8 \cdot 10^{-10}$  et  $2,0 \cdot 10^{-6}$  m/s, soit une moyenne de  $3,1 \cdot 10^{-7}$  m/s ;
- La perméabilité mesurée au niveau de la couche de Cornéenne altérée à saine au niveau de P14 est de  $2,2 \cdot 10^{-7}$  m/s.

Nous tenons à préciser qu'aucune venue d'eau n'a été observée au sein des puits réalisés.

En conclusion, nous estimons que les essais réalisés montrent que les horizons géologiques constituant l'assise de la future verse présentent une perméabilité de l'ordre de  $10^{-7}$  m/s. Ainsi, l'aménagement d'une barrière d'étanchéité à la base est nécessaire pour satisfaire les exigences environnementales à l'égard du type de stériles à stocker.

## 5.2.2 Essais de laboratoire

### a. Caractérisation physique des matériaux

Des essais de caractérisation physique ont été réalisés sur 4 échantillons :

- Trois échantillons prélevés des puits P2, P8 et P13 ;
- Un échantillon de PS issu de l'usine.

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 9 : Caractérisation physique des différents matériaux

Ech	Prof. (m)	Horizon	Analyse granulométrique Passant (%)			W <sub>nat</sub> (%)	IPI	VBS	GTR	WL	IP	Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	
			0,08 mm	0,2 mm	2 mm							M.v. Hum	M.v. Sèche
			Ech.P2	1,20	Altération argilo-sableuse, aspect gréseux							40,6	65
Ech.P8	1,80	Altérite de cornéenne/cornéenne altérée	98,8	100	100	23,5	5	0,40	A <sub>1h</sub>	40	11	1830	1494
Ech.P13	1,00	Altérite sableuse	60,1	70	76	14,5	18,2	1,09	A <sub>1m</sub>	31	9	1874	1640
PS	-	-	87,5	98	-	21,4	15,2	0,54	A <sub>1m</sub>	34	10	1656	1382

En se basant sur le diagramme de Casagrande, les échantillons ont été classés selon leur plasticité (Cf. Figure 14) :

- L'Ech. P2 présente une fraction fine (<0,08 mm) de 40,6%, un faible indice de plasticité estimé à 5 pour une teneur en eau de 11%. Selon la classification GTR, il est de classe A<sub>1m</sub> : sol organique peu plastique.
- L'Ech. P8 présente une fraction de fine (<0,08 mm) de 98,8 %, la valeur de IP est de 11 pour une teneur en eau de 23,5% et une faible valeur de VBS de 0,40. Selon la classification GTR Il est de classe A<sub>1h</sub> : sol fin limoneux peu plastique avec un état d'humidité plus élevé.
- L'Ech. P13 prélevé des altérites sableuses, montre un pourcentage de fraction fine (<0,08 mm) de 60,1 %, une valeur de VBS autour de 1, un indice de plasticité de 9 pour une teneur en eau de 14,5%. Il est classé comme un sol argileux peu plastique appartenant à la classe A<sub>1m</sub>.
- L'échantillon de PS présente une fraction fine (<0,08 mm) de 87,5 %, un indice de plasticité égale à 10 pour une teneur en eau de 21,4%. Selon la classification GTR, il est classé comme matériau à dominance argileuse peu plastique.

La caractérisation physique du matériau de PS montre qu'il s'agit d'un matériau fin peu plastique à caractère argileux à limoneux.

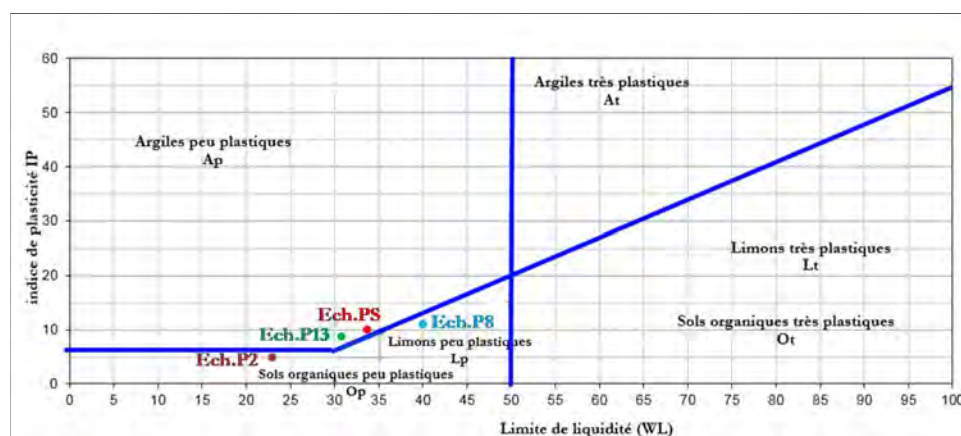


Figure 14 : Classification des échantillons selon le diagramme de Casagrande

Les essais de laboratoire réalisés sur les échantillons prélevés de P2, P8 et P13 montrent que :

- L'indice de plasticité varie entre 5 et 11 ;
- La valeur de VBS varie entre 0,4 et 1,09 ;
- La teneur en eau varie entre 11 et 23,5% ;
- Les échantillons prélevés sont des sols argileux à sablo-limoneux.

b. Caractérisation hydromécanique de la couche de PS

Dans le but d'étudier la possibilité d'utiliser la « PS » comme barrière d'étanchéité, nous avons ajouté de la bentonite à différents pourcentages.

Ainsi, trois échantillons ont été testés : la couche de PS brute, la PS traitée avec 10% de bentonite et la PS traitée avec 15% de bentonite. Ces trois échantillons ont fait l'objet des tests suivants :

- Essai Proctor normal ;
- Essai œdométrique avec mesure de perméabilités à différents paliers ;
- Mesure de la perméabilité à charge constante.

Les résultats de ces essais, synthétisés dans le tableau N°10, montrent que :

- L'ajout de bentonite induit une diminution de la densité de la couche de PS ;
- L'ajout de la bentonite n'a pas d'effet significatif sur la perméabilité de la couche de PS. En effet, le traitement de la « PS » à 15% de bentonite n'améliore la perméabilité que d'un facteur de 2.

**En se basant sur les résultats de ces essais, nous estimons que le traitement de la « PS » à la bentonite ne permet pas d'améliorer significativement les caractéristiques d'étanchéité.**

**Tableau 10 : Résultats des essais réalisés sur la couche de PS**

Echantillon	Densité sèche initiale (kg/m <sup>3</sup> )	Densité sèche finale (kg/m <sup>3</sup> )	W % OPN	γ <sub>d</sub> OPN (Mg/m <sup>3</sup> )	W initial	W final	e initial	e final	Cc	Cc/(1+e <sub>0</sub> )	Cs	Cv		Perméabilité K mesurée (Sous 600 kPa) (m/s)	Perméabilité à charge constante K <sub>20°C</sub> (m/s)
												σ <sub>v</sub> (kPa)	Cv mesuré (m <sup>2</sup> /s)		
PS	1674,7	1748,3	19	1,71	18,7	24,8	0,61	0,54	0,205	0,127	0,036	150-300	2,94E-06	-	8,4.10 <sup>-9</sup>
												300-600	2,78E-06	-	
												600-1200	2,55E-06	1,7.10 <sup>-9</sup>	
												1200-2400	2,32E-06	-	
PS + 10 %	1585,9	1667,3	23,1	1,62	23,9	27,0	0,70	0,62	0,157	0,092	0,046	125-250	2,96E-06	-	4,3.10 <sup>-9</sup>
												250-500	2,84E-06	-	
												500-1000	2,68E-06	1,4.10 <sup>-9</sup>	
												1000-2000	2,50E-06	-	
PS + 15 %	1470,0	1582,9	23,9	1,56	25,8	29,0	0,84	0,71	0,237	0,128	0,020	125-250	3,05E-06	-	3,6.10 <sup>-9</sup>
												250-500	2,97E-06	-	
												500-1000	2,78E-06	2,2.10 <sup>-9</sup>	
												1000-2000	2,48E-06	-	

## c. Caractérisation hydromécanique de l'assise

Afin de caractériser l'assise, trois échantillons intacts ont été prélevés à la trousse coupante au niveau des puits P2, P8 et P13. Ces trois échantillons ont fait l'objet des tests suivants :

- Essai œdométrique avec mesure de perméabilités à différents paliers pour l'échantillon prélevé du puits P8 ;
- Trois essais triaxiaux (CU+u) sur les échantillons prélevés des puits P2, P8 et P13.

Les résultats de ces essais, synthétisés dans le tableau N°11, montrent que :

- Les altérites présentent un angle de frottement drainé de 30° et une cohésion nulle ;
- Les altérites de Cornéenne présentent un angle de frottement drainé de 26° et une cohésion de 14 kPa.

**Tableau 11 : Résultats des essais réalisés sur les matériaux de l'assise**

Echantillon	Densité sèche initiale (kg/m <sup>3</sup> )	Densité sèche finale (kg/m <sup>3</sup> )	Cc	Cc/(1+e <sub>0</sub> )	Cs	Perméabilité K mesurée (Sous 600 kPa) (m/s)	C' (kPa)	Φ' (°)
Ech. P8 (Altérite de Cornéenne/ cornéenne altérée à 1,8 m de prof.)	1605,3	1739,5	0,109	0,065	0,025	-	14,0	26,4
						-		
						1,2.10 <sup>-9</sup>		
						-		
						2,2.10 <sup>-9</sup>		
						-		
Ech. P2 (Altération argilo-sableuse, aspect gréseux)							7,6	30,1
Ech. P13 (Altérite sableuse)							0,7	30,5



## 6. DISPOSITIF D'ÉTANCHEITE PAR GEOMEMBRANE

Les analyses chimiques réalisées dans le cadre des études antérieures sur les stériles à stocker en verse montrent que :

- Ces stériles présentent une teneur maximale en soufre sous forme de sulfure de 1.47% et un ratio de neutralisation inférieur à 3 ;
- Ces stériles ne comportent pas d'éléments dangereux.

Ces stériles issus de l'activité extractive sont transportés directement de la carrière vers la verse et ne subissent aucun traitement particulier.

En se référant à l'arrêté du 19 avril 2010 relatif à la gestion des déchets des industries extractives, **ces stériles sont classés comme des déchets non inertes non dangereux.**

Dans la réglementation française, les prescriptions applicables aux installations de gestion de déchets des industries extractives sont décrites dans l'arrêté du 15 février 2016. L'article 8 de ce dernier prescrit que :

*La protection du sol, des eaux souterraines et de surface est assurée par une barrière géologique dite « barrière de sécurité passive » constituée du terrain naturel en l'état répondant aux critères suivants :*

- *Le fond d'un casier présente, du haut en bas, une couche de perméabilité inférieure ou égale à  $1.10^{-9}$  m/s sur au moins 1 mètre d'épaisseur et une couche de perméabilité inférieure ou égale à  $1.10^{-6}$  m/s sur au moins 5 mètres d'épaisseur ;*
- *Les flancs d'un casier présentent une perméabilité inférieure ou égale à  $1.10^{-9}$  m/s sur au moins 1 mètre d'épaisseur.*

*La géométrie des flancs est déterminée de façon à assurer un coefficient de stabilité suffisant et à ne pas altérer l'efficacité de la barrière passive. L'étude de stabilité est jointe au dossier de demande d'autorisation d'exploiter.*

*Lorsque la barrière géologique ne répond pas naturellement aux conditions précitées, elle est complétée et renforcée par d'autres moyens présentant une protection équivalente. L'épaisseur de la barrière ainsi reconstituée ne doit pas être inférieure à 1 mètre pour le fond de forme et à 0,5 mètre pour les flancs jusqu'à une hauteur de 2 mètres par rapport au fond.*

En concertation avec IRMG, le choix d'une solution d'étanchéité en géomembrane a été retenue pour la Verse Ouest.

Afin de protéger la géomembrane contre les contraintes induites par le poids de la verse ainsi que le roulage des camions au moment de l'étalement des stériles, nous proposons le dispositif d'étanchéité suivant :

- Une nappe de géotextile de protection de 700 gr/m<sup>2</sup> en dessous de la géomembrane ;
- Une géomembrane en PEHD de 1,5 mm d'épaisseur ;
- Une nappe de géotextile de protection de 700 gr/m<sup>2</sup> au-dessus de la géomembrane ;

- Une couche de PS compacté de 50 cm d'épaisseur.

La couche de géomembrane présentant une perméabilité de l'ordre de  $10^{-11}$  m/s associée à une couche de PS compactée de 50 cm d'épaisseur permettra de répondre à l'exigence réglementaire à savoir 1 m à  $10^{-9}$  m/s.

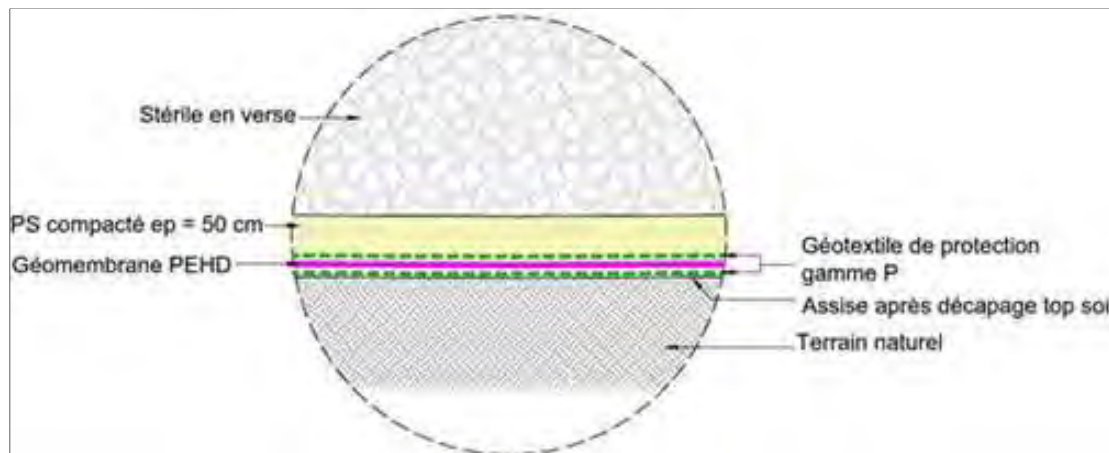


Figure 15 : Dispositif d'étanchéité de la verse Ouest

## 7. PRINCIPE DE GESTION DES EAUX DU PROJET DE LA VERSE OUEST

Le principe de gestion des eaux consiste à séparer les eaux claires provenant du bassin versant naturel amont des eaux chargées provenant de la verse.

Ainsi, le dispositif de drainage de la Verse Ouest sera composé des aménagements suivants (CF. Figure 16) :

- Un caniveau de mise hors d'eau situé en amont immédiat de l'emprise de la verse projetée. Les eaux claires collectées par cet ouvrage rejoindront le cordon de zone humide au Nord de la verse sans transit par les bassins de décantation pour réalimenter d'anciennes mares compensatoires ;
- Des caniveaux de drainage, étanches par géomembrane, seront situés au pied de la verse et assurant la collecte des eaux de ruissellement de surface provenant de la zone de stockage. Ces eaux chargées transiteront par les bassins de décantation ;
- Un bassin de décantation, étanche par géomembrane, sera aménagé au pied de la verse, situé au Nord-Est au niveau d'un point bas existant ;
- Un deuxième bassin de décantation, étanche par géomembrane, sera aménagé au Nord-Ouest de la verse ;
- Des descentes d'eau aménagées contre les talus de la verse et permettant d'acheminer les eaux de ruissellement sur les banquettes jusqu'au pied de la verse et ce également après réhabilitation ;
- Des drains aménagés dans le terrain naturel et permettant de capter les résurgences éventuelles d'eaux souterraines. Etant donné que les eaux collectées par les drains ne seront pas en contact avec les stériles, ces eaux seront rejetées directement vers le milieu naturel (zone humide de Kersioc'h) ;

- Des drains aménagés au-dessus du complexe d'étanchéité et permettant de collecter les eaux d'infiltration dans la verse. Ces drains déboucheront dans les caniveaux de drainage aménagés au pied de la verse. Ces eaux chargées seront envoyées vers les deux ouvrages de décantation projetés.

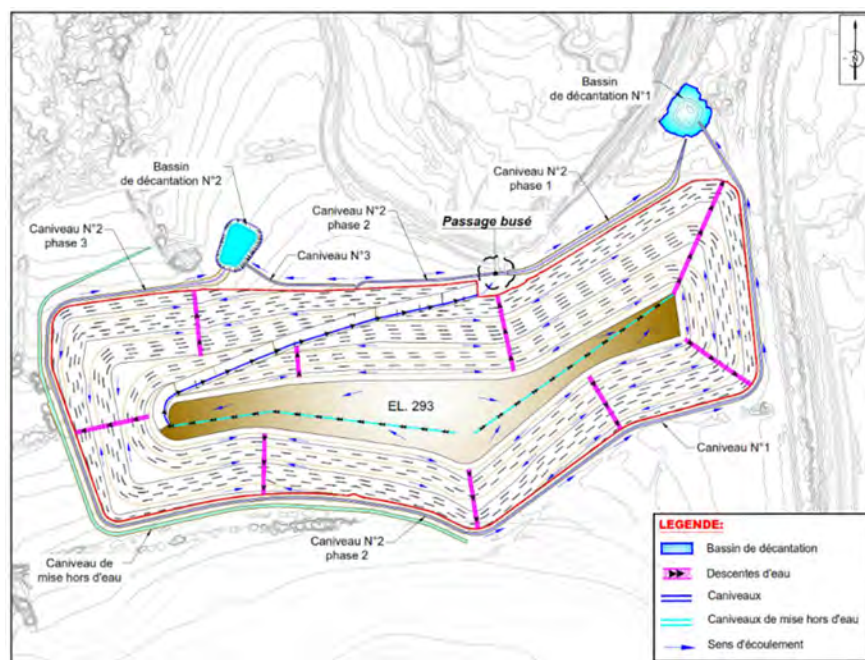


Figure 16 : Principe de gestion des eaux de surface en phase ultime

Nous présentons dans ce qui suit une brève description du principe de drainage des eaux de surface, des eaux de résurgences et des eaux d'infiltration.

### 7.1 Gestion des eaux de surface provenant du bassin versant amont de la verse

Le bassin versant situé en amont de la verse sera en partie drainé par un caniveau de mise hors d'eau longeant la piste de service projetée.

Le caniveau de mise hors d'eau de 690 ml de linéaire draine un bassin versant de 15,75 ha. Il sera construit au démarrage des travaux de mise en verse de la phase 2.

### 7.2 Gestion des résurgences sous la verse

Afin de collecter les éventuelles résurgences au niveau de l'assise de la future verse, un réseau de drainage composé d'un collecteur principal et de drains d'évacuation sera aménagé.

Le collecteur principal sera creusé dans l'assise de la verse et fera 2 m de largeur à la base sur 1 m de profondeur. Il sera composé de ballast entouré de géotextile (Cf. Figure 17).

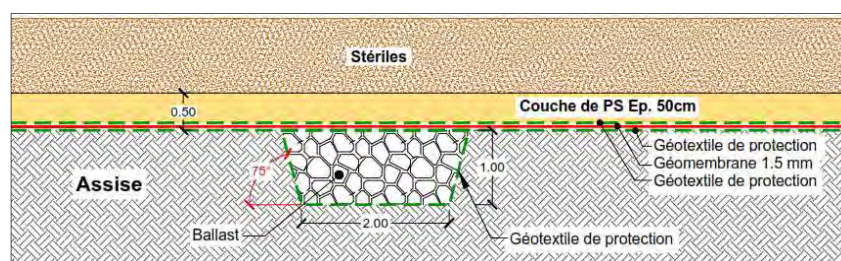


Figure 17 : Coupe type du collecteur principal

Afin d'évacuer les eaux collectées par ce collecteur, des drains seront aménagés, sous la couche d'étanchéité (CF. Figure 18).

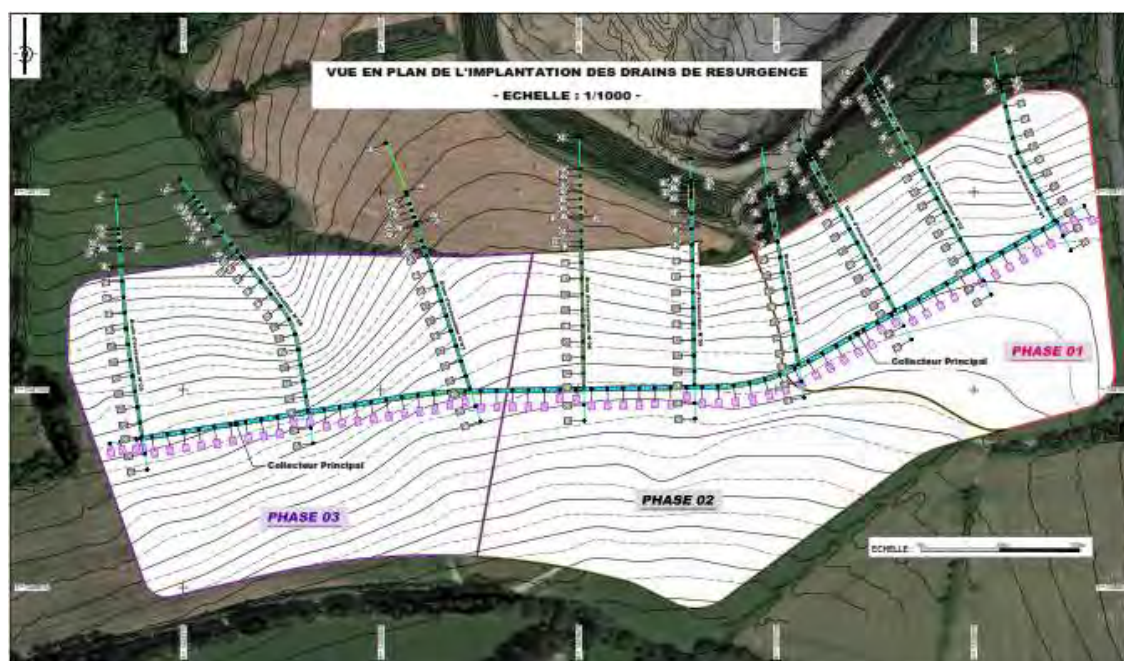


Figure 18 : Vue en plan du dispositif de drainage des résurgences

Ces drains creusés dans l'assise, perpendiculairement au flanc libre du talus de la verse, déboucheront en aval de la verse, dans le milieu naturel.

Ces drains feront 1 m de largeur à la base sur 1 m de profondeur. Ils seront composés de ballast entouré de géotextile et d'une conduite crépinée de 110 mm de diamètre (Cf. Figure 19).

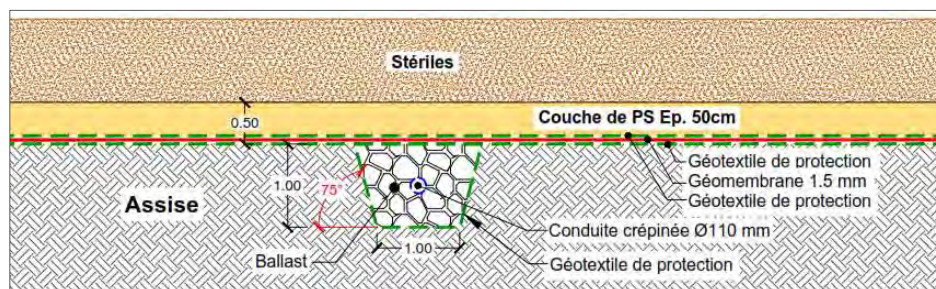


Figure 19 : Coupe type du drain pour l'évacuation des eaux de résurgences

Les plans portant les références « *MC-20-138-IME-02-P14-A, MC-20-138-IME-02-P15-A et MC-20-138-IME-01-P16-A* » présentent le dispositif de gestion des résurgences sous la verse.

### 7.3 Gestion des eaux d'infiltration dans la verse

La présence de la couche d'étanchéité à la base entraînera une accumulation des eaux d'infiltration à la base des stériles déposés dans la verse.

Afin d'évacuer ces eaux, des drains en enrochements seront aménagés au-dessus de la couche d'étanchéité (CF. Figure 20 et 21).

Ces drains de 1 m<sup>2</sup> de section seront composés de ballast et d'une conduite crépinée de 110 mm de diamètre.

Les drains de collecte des eaux d'infiltration débouchent dans les caniveaux projetés au pied de la verse. Ces eaux chargées seront envoyées vers les deux bassins de décantation projetés.

Un masque en enrochements sera posé sur le talus de la verse et qui remonte jusqu'à 3 m au-dessus du pied de la verse. Il permettra d'empêcher le fluage de la couche de PS et de renforcer le dispositif de drainage.

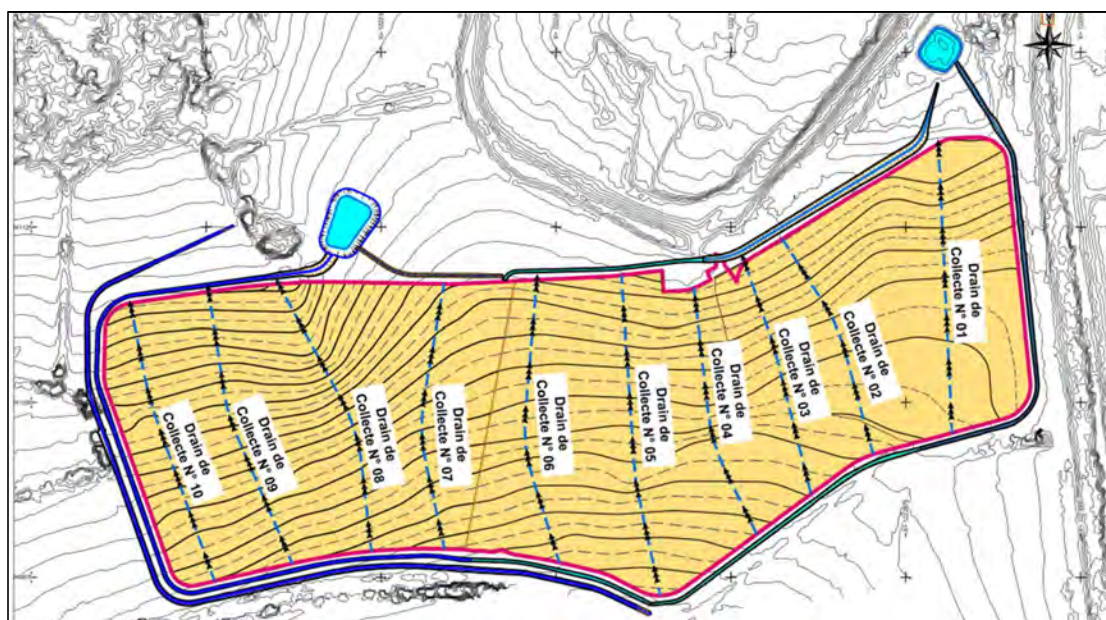


Figure 20 : Implantation des drains de collecte des eaux d'infiltration

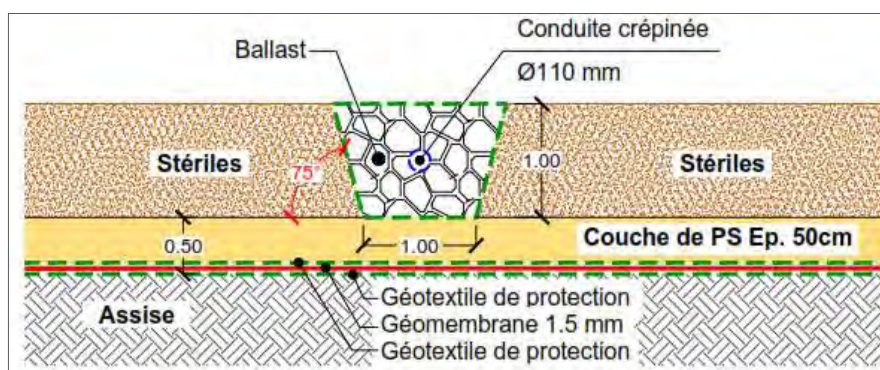


Figure 21 : Coupe type du drain de collecte des eaux d'infiltration

Les plans portant les références « *MC-20-138-IME-02-P17-A, MC-20-138-IME-02-P18-A et MC-20-138-IME-02-P19-A* » présentent le dispositif de gestion des eaux d'infiltration de la verse.

#### 7.4 Gestion des eaux de ruissellement sur la verse

Dans ce qui suit, nous présentons le dispositif de drainage de la verse pour chaque phase de construction ainsi que la phase ultime :

##### ❖ Phase N°1 :

Au cours de cette phase, la gestion des eaux de ruissellement se fera avec les ouvrages suivants (Cf. Figure 22) :

- Caniveau N°1-Phase 1 assurant la collecte des eaux de ruissellement des talus Sud et Est de la verse ;
- Caniveau N°2-Phase 1 assurant la collecte des eaux de ruissellement des talus Sud, Ouest et Nord de la verse. Ce caniveau sera composé de deux tronçons : un tronçon définitif au Sud et au Nord de la verse et un tronçon provisoire à l'Ouest de la verse qui sera fonctionnel uniquement durant cette phase. Au-delà de l'année 2023, ce tronçon sera comblé durant la construction de la verse phase 2 ;
- Caniveau N°3-Phase 1 assurant la collecte d'une partie des eaux provenant du talus Nord de la verse. Cet ouvrage déverse dans le caniveau N°2 ;
- Un bassin de décantation N°1 aménagé au pied de la verse assurant la collecte de toutes les eaux de ruissellement durant la phase 1. Ces eaux seront pompées vers la station de traitement avant d'être rejetées dans le milieu naturel.



Figure 22 : Principe de gestion des eaux-Phase 1

Le plan portant la référence « *MC-20-138-IME-02-P07-A* » présente le dispositif de drainage au cours de première phase de construction de la verse.

❖ *Phase N°2 :*

Avant le démarrage de la phase 2, un caniveau de mise hors d'eau définitif sera aménagé au Sud de la verse. Cet ouvrage permettra de dévier les eaux claires en provenance du bassin versant amont vers la zone humide.

En plus des ouvrages déjà construits au cours de la phase précédente, deux autres caniveaux, « Caniveau N°1-Phase 2 » et « Caniveau N°2-Phase 2 », seront aménagés et connectés respectivement aux caniveaux « Caniveau N°1-Phase 1 » et « Caniveau N°2-Phase 1 ».

Toutes les eaux de ruissellement sur la verse seront collectées dans le bassin de décantation N°1 projeté au pied de la verse (Cf. Figure 23).

Le plan portant la référence « *MC-20-138-IME-02-P09-A* » présente le dispositif de drainage au cours de la deuxième phase de construction de la verse.

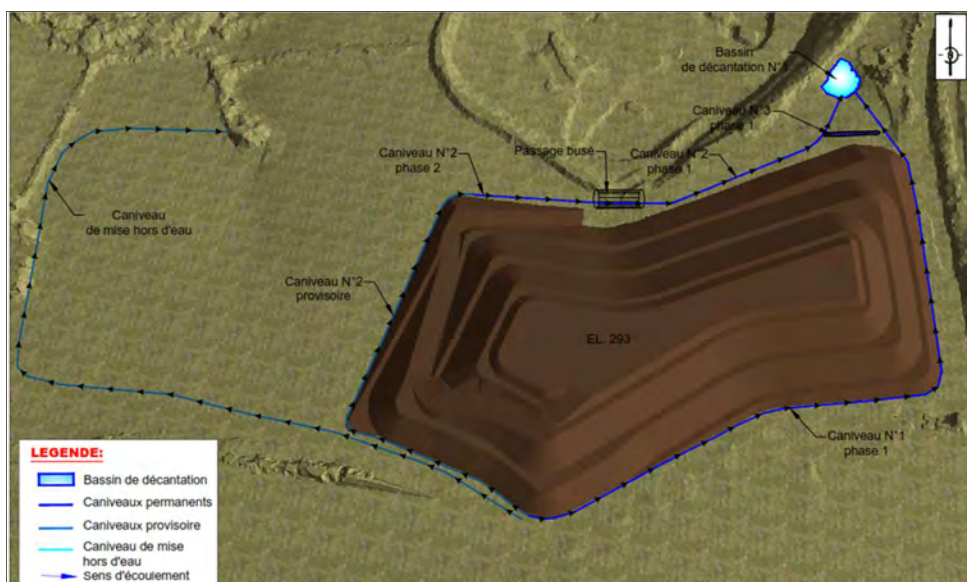


Figure 23 : Principe de gestion des eaux-Phase 2

❖ Phase N°3 :

En plus des ouvrages déjà construits durant les deux phases précédentes, les ouvrages suivants seront aménagés (Cf. Figure 24) :

- Caniveau N°2-Phase 3 qui collecte une partie des eaux provenant des talus Sud et Ouest de la verse ;
- Caniveau N°3- Phase 3 qui collecte une partie des eaux provenant du talus Nord de la verse ;
- Un deuxième bassin de décantation situé au Nord de la verse.

Ces ouvrages seront rendus étanches par la mise en place de géomembrane.

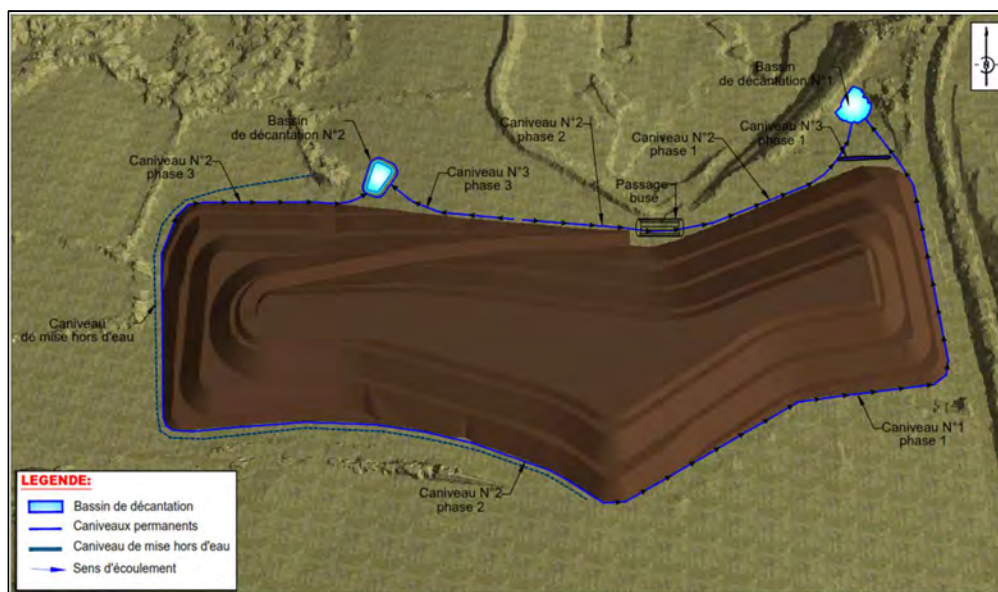


Figure 24 : Principe de gestion des eaux-Phase 3



❖ Phase ultime :

En phase ultime, l'exploitant envisage de réhabiliter la verse en (Cf. Figure 25) :

- Reprofilant la plateforme sommitale de façon à créer deux fils d'eau. Du côté Est, la plateforme sommitale sera nivelée vers un fil d'eau débouchant dans la descente d'eau N°1. Du côté Ouest, la plateforme sommitale sera nivelée vers un fil d'eau débouchant dans le caniveau de la piste d'accès ;
- Reprofilant les banquettes de façon à créer une pente longitudinale vers les points bas ;
- Aménageant 9 descentes d'eau au niveau des points bas des banquettes ;
- Aménageant un caniveau au niveau de la rampe d'accès.

Nous tenons à préciser que le sentier de randonnée sera intégré dans l'emprise de la verse.

Le plan portant la référence « **MC-20-138-IME-02-P11-A** » présente le dispositif de drainage en phase ultime de la verse.

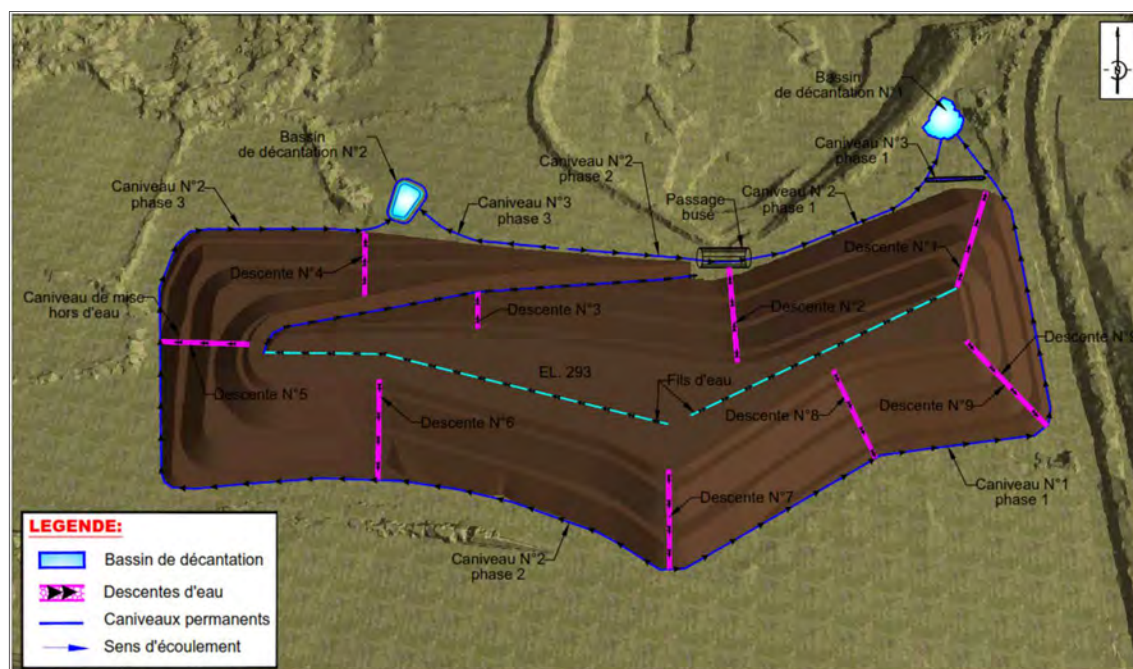


Figure 25 : Principe de gestion des eaux-Phase ultime-

## 8. DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES HYDRAULIQUES

Cette partie de l'étude concerne le dimensionnement des ouvrages hydrauliques projetés pour le drainage de la verse. Le débit retenu pour le dimensionnement de chaque ouvrage correspond au débit généré par une crue de récurrence centennale.