

# Carrière de Guerphalès

Commune de Glomel

Département des Côtes d'Armor (22)

## Plan de Gestion des Déchets d'Extraction Stériles humides, résidus sableux (SABES) et boues d'hydroxydes

Selon l'article 5 de l'Arrêté Ministériel du 19 avril 2010



SAS Imerys Refractory Minerals Glomel  
Guerphalès – 22110 GLOMEL



Agence de Bruz

Campus de Ker-Lann. Rue Siméon Poisson – 35 170 BRUZ

☎ : 02 99 52 52 12 / Fax : 02 99 52 52 11

✉ : [axe@groupeaxe.com](mailto:axe@groupeaxe.com)

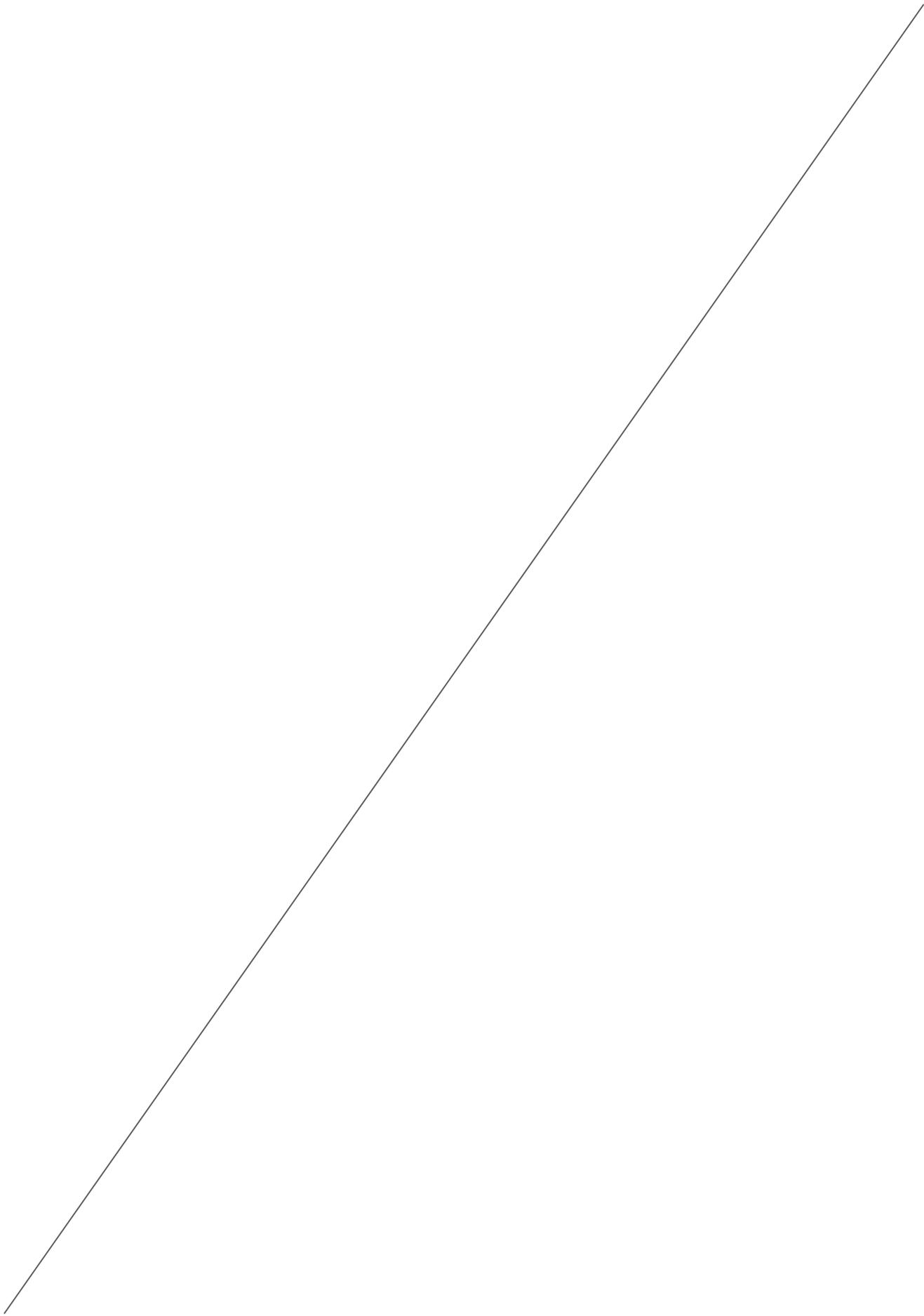
Version n°1 – Septembre 2018

YL/2018-1122

Affaire suivie par :

Yowen LEVEQUE (Géologue chargé d'études)

Gaëlle MALHAIRE (Responsable pôle carrières)



# SOMMAIRE

---

<b>I. CARACTERISATION DES DECHETS.....</b>	<b>7</b>
I.1. Nature des déchets et contexte géologique .....	7
I.2. Description des caractéristiques physiques/chimiques .....	8
I.3. Comportement géotechnique des déchets .....	9
I.4. Caractéristiques et comportements géochimiques.....	10
I.5. Classification des déchets .....	11
I.6. Description des substances chimiques utilisées .....	11
I.7. Mode de stockage .....	12
I.8. Système de transport.....	13
<b>II. PLAN DE GESTION DES DECHETS .....</b>	<b>15</b>
II.1. Procédure d'échantillonnage .....	15
II.2. Caractérisation des déchets .....	15
II.3. Estimation des quantités de déchets .....	15
II.4. Description des modes de génération des déchets.....	16
II.5. Analyse des solutions pour la gestion des déchets.....	16
II.6. Lieu d'implantation envisagé et autres lieux possibles.....	16
II.7. Analyses des risques.....	17
II.8. Description des mesures techniques et d'organisation propres à réduire les phénomènes dangereux..	19
II.9. Mesures de prévention de la détérioration de la qualité de l'eau .....	19
II.10. Etude de l'état du terrain susceptible de subir des dommages.....	21
II.11. Procédure de contrôle .....	21
II.12. Etude géologique, hydrologique et hydrogéologique .....	21
II.13. Bilan hydrique .....	22
II.14. Plan concernant la fermeture, la remise en état et les procédures de suivi.....	23
<b>III. CONCLUSIONS.....</b>	<b>25</b>

# ANNEXES

---

Annexe 1 : Bulletins d'analyse des différents stériles.....	27
Annexe 2 : Etude géotechnique MECATER (2011) .....	29
Annexe 3 : Détermination du potentiel de neutralisation.....	31

# INTRODUCTION

---

## ➤ PRESENTATION DU PROJET

La société IMERYS REFRACTORY MINERALS GLOMEL (IRMG) exploite une carrière de schistes à andalousite au lieu-dit « Guerphalès », sur la commune de Glomel dans le département des Côtes d'Armor (22).

La carrière est régulièrement autorisée par l'Arrêté Préfectoral du 3 août 2018 qui autorise pour une durée de 18 ans (soit jusqu'en 2036), dont 3 années de remise en état :

- une superficie totale de 264,7 ha, dont 20,3 ha pour les extractions en fosse 3,
- une cote minimale d'extraction en fosse 3 de 160 m NGF,
- un tonnage maximal extrait en fosse 3 de 1 500 000 t/an, correspondant à :
  - . un tonnage maximal alimentant les usines de 875 000 t/an,
  - . un tonnage maximal de produits finis commercialisés (andalousite) de 85 000 t/an,
- le stockage de 280 000 m<sup>3</sup>/an de déchets d'extraction en 2 verses dédiées :
  - . de « Kerroué » d'une surface de 19,8 ha pour une cote maximale de 300 m NGF,
  - . « Ouest » d'une surface de 11,2 ha pour une cote maximale de 300 m NGF,
- le stockage des résidus sableux et secs produits dans les usines sur une verse dédiée dite « SABES », à raison de 170 000 m<sup>3</sup>/an en moyenne sur une surface totale de 38,3 ha et pour une cote maximale de 246 m NGF,
- le stockage des stériles humides produits par les usines et des boues d'hydroxydes produites par le traitement des eaux d'exhaure dans la fosse 2, à raison de 130 000 t/an en moyenne sur une surface totale de 13,2 ha et pour une cote maximale de 210 m NGF,

### ❖ Remarque :

*La surface de la verse Ouest de 11,2 ha mentionnée dans l'Arrêté du 3 août 2018 correspond à la surface initialement prévue de la verse. Dans le cadre de l'enquête publique, la société IRMG a accepté de réduire cette surface à 9,5 ha.*

## ➤ CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE

Le présent plan est établi en vertu de l'article 5 de l'Arrêté Ministériel du 19 avril 2010 modifié relatif à la gestion des déchets des industries extractives, et en particulier des déchets d'extraction non inertes relevant de la rubrique 2720-2 de la nomenclature des Installations Classées.

Le présent Plan de Gestion des Déchets d'Extraction de la carrière de Guerphalès présente successivement, conformément à l'article 5 bis de l'Arrêté Ministériel du 19 avril 2010 :

- *« la procédure d'échantillonnage que l'exploitant adopte pour la caractérisation des déchets conformément à l'annexe I du présent arrêté,*
- *la caractérisation des déchets conformément à l'annexe I susmentionnée, accompagnée des vérifications de conformité décrites en annexe II,*
- *une estimation des quantités totales de déchets d'extraction et de traitement qui seront stockées et produites durant la période d'exploitation,*
- *la description des modes d'extraction et des procédés de traitement générant ces déchets,*
- *une analyse des solutions, compte tenu des techniques existantes à un coût économiquement acceptable, pour la gestion des déchets (présentation et justification des filières retenues),*
- *le lieu d'implantation envisagé pour l'installation de gestion des déchets et les autres lieux possibles,*

- une analyse des risques selon la méthodologie définie à l'annexe VII point 1 du présent arrêté,
- une description des mesures techniques (choix des modalités de stockage sur la base de calculs de résistance notamment) et des mesures d'organisation et de gestion pertinentes propres à réduire la probabilité et les effets des phénomènes dangereux (y compris les effets du lessivage des stockages de déchets lors des crues) et à agir sur leur cinétique,
- les mesures de prévention de la détérioration de la qualité de l'eau et celles prévues en vue de réduire la pollution de l'air et du sol pendant l'exploitation et après la fermeture,
- une étude de l'état du terrain susceptible de subir des dommages dus à l'installation de gestion de déchets,
- les procédures de contrôle et de surveillance, tout au long de la vie de l'installation,
- une étude géologique, hydrologique et hydrogéologique validant le choix d'emplacement des aires de stockage de déchets,
- le bilan hydrique prévu à l'article 24 du présent arrêté,
- le plan proposé en ce qui concerne la fermeture, y compris la remise en état, les procédures de suivi et de surveillance après fermeture. »

*Le plan de gestion des déchets permet de déterminer si l'installation de gestion de déchets présente un risque majeur et doit à ce titre être classée en catégorie A au sens de l'annexe VII du présent arrêté.*

[...]

*En matière d'impact, l'exploitant détermine dans le plan de gestion le caractère acidifiant des déchets et décrit les mesures prises pour la prévention du drainage acide, notamment dans les cas suivants :*

- présence de sulfures métalliques dans les résidus et/ou stériles,
- exposition des sulfures aux eaux météoriques entraînant l'oxydation de ces derniers,
- constat de la formation d'un lixiviat acide,
- manque de minéraux capables de neutraliser l'acidité. »

## ➤ **CAS DE LA CARRIERE DE GUERPHALES**

Sur la carrière de Guerphalès, les schistes à andalousite sont extraits par tirs de mines dans la fosse 3, localisée au Nord-Ouest du site. Par la suite, le devenir des matériaux varie en fonction de leur teneur en minerai d'andalousite, reconnue préalablement lors des sondages de pré-exploitation :

- les stériles d'extraction, pauvres en andalousite et qui représentent entre 40 et 60 % du volume total abattu, sont directement stockés en verses (de Kerroué ou Ouest),
- le minerai valorisable est acheminé en usine pour être traité :
  - . l'usine B traite le minerai tendre (60 %), généralement extrait en surface,
  - . l'usine C traite le minerai dur (40 %), généralement extrait en profondeur.

Les traitements du minerai en usine génèrent 2 types de stériles :

- des stériles humides stockés en fosse 2, au centre du site, depuis mai 2014,
- des stériles secs qui sont stockés sur le SABES au Nord-Est du site de Guerphalès.

**Le présent plan est établi afin de prendre en compte les modifications des conditions d'exploiter prévues par le nouvel Arrêté Préfectoral d'autorisation du site du 3 août 2018, conformément à l'article 6 de l'Arrêté Ministériel du 19 avril 2010.**

**Il remplace le plan de gestion des déchets d'extraction – stériles humides, résidus sableux et boues d'hydroxydes en vigueur (réf. GMa/5796 – version de février 2013).**

# I. CARACTERISATION DES DECHETS

La caractérisation des déchets d'extraction produits sur la carrière de Guerphalès à Glomel, objet du présent chapitre, est menée conformément à l'annexe I de l'Arrêté Ministériel du 19 avril 2010.

## I.1. NATURE DES DECHETS ET CONTEXTE GEOLOGIQUE

La carrière de Guerphalès exploite des schistes à andalousite pour la production de concentré d'andalousite destiné à l'industrie des réfractaires. Les schistes exploités, métamorphisés en cornéennes au contact du granite de Rostrenen, sont très riches en aluminium qui se présente sous la forme de baguettes pluri-millimétriques à pluri-centimétriques d'andalousite.

En fonction de leur teneur en andalousite et en fer, ces schistes peuvent ou non servir à l'élaboration du concentré. Afin de déterminer la destination des matériaux, des sondages de pré-exploitation sont réalisés. Ils consistent en la réalisation de forages destructifs de maille 5 m x 5 m avec analyse systématique des échantillons recueillis.

Les matériaux pour lesquels les analyses chimiques ont montré qu'ils présentent des caractéristiques suffisantes pour la production de concentré sont acheminés vers les 2 usines du site de Guerphalès :

- l'usine B qui traite le minerai « tendre », exploité généralement en surface,
- l'usine C qui traite le minerai « dur », exploité généralement en profondeur.

Pour isoler l'andalousite de la matrice et des autres minéraux, le process de traitement suivant est employé dans les usines de la carrière de Guerphalès :

- 1) concassage et broyage du minerai (schistes à andalousite),
- 2) criblage pour élimination de la fraction la plus fine,
- 3) élimination des micas noirs par séparation magnétique à haute densité,
- 4) enrichissement du produit en andalousite par séparation gravimétrique en liqueur dense,
- 5) élimination des impuretés restantes (micas, quartz, pyrite) par séparation électrostatique, magnétique et flottation.

À travers les différentes étapes du process, la production de concentré génère des sous-produits et des stériles. Certains peuvent être valorisés (fines PS pour la réalisation des couches d'étanchéité des verses) mais certains ne peuvent l'être. Ces derniers, dénommés « stériles de production », incluent :

- les stériles humides, mise en remblais dans la fosse 2 depuis mai 2014,
- les stériles secs (résidus sableux) stockés au Nord-Est du site dans une verse dédiée dénommée « SABES ».

Outre ces stériles de production, le traitement des eaux d'exhaure acides (neutralisation au lait de chaux / soude) génère des boues d'hydroxydes qu'il convient également de stocker sur le site.

**Le présent plan de gestion des déchets, établi indépendamment du plan de gestion des stériles d'extraction produits sur la fosse d'extraction (fosse 3), concerne donc les stériles humides, les résidus sableux (SABES) et les boues d'hydroxydes.**

## I.2. DESCRIPTION DES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES/CHIMIQUES

### ➤ CARACTERISTIQUES PHYSIQUES

#### ■ Les stériles humides

Les stériles humides sont constitués des rejets fins de laverie (limons et d'argiles peu plastiques).

#### ■ Les résidus sableux

Les résidus sableux sont les stériles secs produits par l'usine. Il s'agit de rejets sableux de laverie composés de sables fins propres.

#### ■ Les boues d'hydroxydes

Les eaux d'exhaure de la fosse 3, les eaux provenant des systèmes de drainage des verses de stockage de stériles de carrière et les eaux provenant des usines (décantation et flottation) rejoignent le circuit de traitement du site (stations NEUTRALAC I et III). Après neutralisation puis décantation, ces eaux sont rejetées au milieu naturel (ruisseau de Kergroaz).

Les hydroxydes résultants du traitement de ces eaux s'accumulent en fosse 2, à la sortie de la station NEUTRALAC I sous forme de boues d'hydroxydes semi-liquides (siccité d'environ 28 %), et dans 4 bassins de décantation dédiés en sortie de la station NEUTRALAC III.

### ➤ CARACTERISTIQUES CHIMIQUES

La société IRMG a fait analyser en 2010 par LABOCEA (ex LDA 22) les teneurs (sur brut) en éléments traces métalliques (ETM) des stériles de production (stériles humides et résidus sableux) et boues d'hydroxydes produits sur le site de Guerphalès.

Les modalités d'exploitation et de traitement des eaux n'ayant pas évolué, ces stériles de production n'ont également pas évolué depuis 2010.

Les bulletins d'analyses, joints en **annexe 1** du présent plan, sont synthétisés dans le tableau suivant :

Paramètre	Unité	Stériles humides		Résidus sableux		Boues d'hydroxydes	
		Sur sec	Sur brut	Sur sec	Sur brut	Sur sec	Sur brut
Humidité	%	0,2	-	0,1	-	71,7	-
Matière sèche		99,8	-	99,9	-	28,3	-
Arsenic (As)	mg/kg MS	22	22	22	22	14	4
Cadmium (Cd)		< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	2,7	0,76
Chrome (Cr)		87	87	110	110	22	6
Cobalt (Co)		23	23	30	30	2 590	733
Cuivre (Cu)		62	62	43	43	280	79
Mercure (Hg)		< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,01
Molybdène (Mo)		< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,2
Nickel (Ni)		49	49	70	70	3 870	1 095
Plomb (Pb)		33	33	26	26	24	7
Sélénium (Se)		< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 0,85
Zinc (Zn)		140	140	170	170	6 150	1 740

Les teneurs obtenues sont comparées aux références de fond géochimique naturel local établi par le BRGM dans l'ouvrage « *Les bases de données relatives à la qualité des sols. Contenu et utilisation dans le cadre de la gestion des sols pollués* » (2007) :

## Teneurs totales en élément traces dans les sols (France) Gamme de valeurs « ordinaires » et d'anomalies naturelles

Les gammes de valeurs présentées ci-dessous correspondent à divers horizons de sols, pas seulement les horizons de surface labourés. Les teneurs sont exprimées en mg/kg de "terre fine" (< 2 mm). Les numéros entre parenthèses renvoient à des types de sols effectivement analysés, succinctement décrits et localisés ci-dessous.

	gamme de valeurs couramment observées dans les sols "ordinaires" de toutes granulométries	gamme de valeurs observées dans le cas d'anomalies naturelles modérées	gamme de valeurs observées dans le cas de fortes anomalies naturelles
As	1,0 à 25,0	30 à 60 <sup>(1)</sup>	60 à 284 <sup>(1)</sup>
Cd	0,05 à 0,45	0,70 à 2,0 <sup>(1)(2)(3)(4)</sup>	2,0 à 46,3 <sup>(1)(2)(4)</sup>
Cr	10 à 90	90 à 150 <sup>(1)(2)(3)(4)(5)</sup>	150 à 3180 <sup>(1)(2)(3)(4)(5)(8)(9)</sup>
Co	2 à 23	23 à 90 <sup>(1)(2)(3)(4)(8)</sup>	105 à 148 <sup>(1)</sup>
Cu	2 à 20	20 à 62 <sup>(1)(4)(5)(8)</sup>	65 à 160 <sup>(8)</sup>
Hg	0,02 à 0,10	0,15 à 2,3	
Ni	2 à 60	60 à 130 <sup>(1)(3)(4)(5)</sup>	130 à 2076 <sup>(1)(4)(5)(8)(9)</sup>
Pb	9 à 50	60 à 90 <sup>(1)(2)(3)(4)</sup>	100 à 10180 <sup>(1)(3)</sup>
Se	0,10 à 0,70	0,8 à 2,0 <sup>(6)</sup>	2,0 à 4,5 <sup>(7)</sup>
Tl	0,10 à 1,7	2,5 à 4,4 <sup>(1)</sup>	7,0 à 55,0 <sup>(1)</sup>
Zn	10 à 100	100 à 250 <sup>(1)(2)</sup>	250 à 11426 <sup>(1)(3)</sup>

(1) zones de "métallotectes" à fortes minéralisations (à plomb, zinc, barytine, fluor, pyrite, antimoine) au contact entre bassins sédimentaires et massifs cristallins. Notamment roches liasiques et sols associés de la bordure nord et nord-est du Morvan (Yonne, Côte d'Or).

(2) sols argileux développés sur certains calcaires durs du Jurassique moyen et supérieur (Bourgogne, Jura).

(3) paléosols ferrallitiques du Poitou ("terres rouges").

(4) sols développés dans des "argiles à chailles" (Nièvre, Yonne, Indre).

(5) sols limono-sableux du Pays de Gex (Ain) et du Plateau Suisse.

(6) "bornais" de la région de Poitiers (horizons profonds argileux).

(7) sols tropicaux de Guadeloupe.

(8) sols d'altération d'amphibolites (région de La Châtre - Indre).

(9) matériaux d'altération d'amphibolites (région de La Châtre - Indre)

De cette comparaison, il ressort que :

- pour les stériles humides et les résidus sableux, les teneurs des paramètres analysés sont considérées comme « couramment observées » dans les sols « ordinaires » ou pour les teneurs les plus élevées comme « anomalies naturelles modérées ».
- par contre, en ce qui concerne les boues d'hydroxydes, les teneurs en Cd, Co, Cu, Ni et Zn sont très élevées, comparables voire supérieures aux valeurs observées dans le cas de « fortes anomalies naturelles ».

Ceci s'explique par le fait que les boues d'hydroxydes résultent du traitement des eaux dont l'objectif est de capter les particules et les métaux afin de rejeter au milieu naturel une eau faiblement chargée.

**L'extension de la fosse 3 et du SABES, actée par l'Arrêté Préfectoral d'autorisation IRMG du 3 août 2018, n'entraîne aucune modification des caractéristiques physiques et chimiques des stériles humides, des résidus sableux et des boues d'hydroxydes définies en 2011.**

### I.3. COMPORTEMENT GEOTECHNIQUE DES DECHETS

#### ➤ LES STERILES HUMIDES

Les caractéristique des stériles humides produits au sein des usines de la carrière de Guerphalès ont été définies en 2011 dans le cadre de l'étude géotechnique réalisée par MECATER sur la fosse 1 (lieu de stockage des stériles humides avant mai 2014). Cette étude est jointe en **annexe 2** du présent plan.

Ils sont les suivants :

Déchets d'extraction	Poids volumique (kN/m <sup>3</sup> )	Cohésion (KPa)	Angle de frottement (°)
Stériles humides	18,5	2	30

### ➤ LES RESIDEUX SABLEUX

Pour les résidus sableux, il n'existe pas de données géotechniques disponibles.

Précisons qu'il s'agit de sables fins dont les caractéristiques géotechniques ne sont pas satisfaisantes pour permettre leur utilisation comme matériaux de construction.

### ➤ LES BOUES D'HYDROXYDES

Il n'existe pas de données géotechniques concernant les boues d'hydroxydes.

Rappelons que ces boues sont semi-liquides (siccité de 28 %).

**L'extension de la fosse 3 et du SABES, actée par l'Arrêté Préfectoral d'autorisation IRMG du 3 août 2018, n'entraîne aucune modification des caractéristiques géotechniques des stériles humides, des résidus sableux et des boues d'hydroxydes définies en 2011.**

## I.4. CARACTERISTIQUES ET COMPORTEMENTS GEOCHIMIQUES

### ➤ TESTS DE LIXIVIATION

Un test de lixiviation a été réalisé en décembre 2010 sur un échantillon des 3 types de déchets d'extraction afin de renseigner l'impact potentiel d'un éventuel lessivage de ces déchets par les eaux pluviales (résidus sableux du SABES) ou d'exhaure (stériles humides / boues d'hydroxydes en fosse 2).

Les concentrations obtenues sur éluat par ce test de lixiviation sont synthétisées dans le tableau suivant et comparés aux seuils admissibles pour les déchets inertes définis en annexe II de l'Arrêté Ministériel du 12 décembre 2014 relatif aux conditions des déchets inertes dans les installations :

Paramètre	Unité	Stériles humides	Résidus sableux	Boues d'hydroxydes	Seuils annexe II de l'AM du 12/12/2014
Arsenic (As)	mg/kg MS	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,5
Baryum (Ba)		0,55	0,13	< 0,05	20
Cadmium (Cd)		0,1	< 0,005	< 0,005	0,04
Chrome (Cr)		< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,5
Cuivre (Cu)		< 0,001	< 0,001	< 0,001	2
Molybdène (Mo)		< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,5
Nickel (Ni)		1,3	0,39	0,31	0,4
Plomb (Pb)		< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,5
Antimoine (Sb)		< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,06
Sélénium (Se)		< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,1
Zinc (Zn)		3,1	1,3	< 0,1	4

Les teneurs sur éluat obtenues par test de lixiviation sont toutes inférieures aux seuils définis à l'annexe II de l'Arrêté du 12 décembre 2014, hormis la teneur en nickel du lixiviat des stériles humides.

## ➤ ACIDITE ET POTENTIEL DE NEUTRALISATION

La société IRMG a missionné en 2011 le Laboratoire Environnement et Minéralurgie de Nancy pour déterminer la teneur en sulfures ainsi que le potentiel de neutralisation NPR des stériles humides et des résidus sableux produits par les usines de la carrière de DAMREC.

### ❖ Remarque :

*Les boues d'hydroxydes résultant de la neutralisation de l'acidité des eaux d'exhaure, elles ne sont par définition pas génératrices d'acidité et n'ont pas fait l'objet de cette détermination.*

Les résultats sont présentés en **annexe 3** du présent plan et sont synthétisés dans le tableau suivant :

Stériles de production	Teneur en soufre		Ratio de neutralisation (NPR)	
	Soufre total (en %)	Dont sulfates (en %)		
Stériles humides (fosse 2)	0,67	0,09	NPR < 1	Générateur d'acide
Résidus sableux (SABES)	1,12	0,05	NPR < 1	Générateur d'acide

**Les potentiels de neutralisation NPR obtenus (0,67 et 0,12) étant inférieur à 3, les stériles humides et résidus sableux de la carrière de Guerphalès ne peuvent être considérés comme inertes, conformément à l'article 3 de l'Arrêté Ministériel du 19 avril 2010.**

**L'extension de la fosse 3 et du SABES, actée par l'Arrêté Préfectoral d'autorisation IRMG du 3 août 2018, n'entraîne aucune modification des caractéristiques géochimiques des stériles humides, des résidus sableux et des boues d'hydroxydes définies en 2011.**

## I.5. CLASSIFICATION DES DECHETS

Selon l'annexe II de l'article R541-8 du Code de l'Environnement, les stériles humides, les résidus secs et les boues d'hydroxydes produits sur la carrière de Guerphalès peuvent être classées comme suit :

Nature du déchet	Code	Appellation
Stériles humides	01 04 09	Déchets de sables et d'argile
Résidus sableux	01 04 09	Déchets de sables et d'argile
Boues d'hydroxydes	01 04 99	Déchets non spécifiés ailleurs

Précisons que la codification « 01 04 XX » correspond aux « déchets provenant de la transformation physique et chimique des minéraux non métallifères ».

## I.6. DESCRIPTION DES SUBSTANCES CHIMIQUES UTILISEES

### ➤ LES STERILES HUMIDES

Le process de transformation du minerai (schistes à andalousite) en concentré nécessite l'emploi des divers produits chimiques, listés dans le tableau ci-après.

Les fiches de sécurité (FDS) de ces produits, obtenues auprès de leurs fournisseurs respectifs, sont consultables sur la carrière IRMG de Guerphalès.

Produits	Utilisation	Consommation annuelle
Amylxsanthate potassium	Process : réactifs de flottation	5 160 kg
Mélange de polyglycols (agent de flottation)		6 800 kg
Sulfonate de sodium		36 300 kg
Agent tensio-actif (produit chimique d'extraction)		7 100 kg
Acide sulfurique		19 900 kg

Sur la quantité des produits utilisés, il est estimé que 60 % se retrouve dans la composition du concentré et que 40 % sont dirigés vers la fosse 2 pour stockage, mêlés aux stériles humides.

Les quantités de ces produits sont minimales par rapport à la quantité globale de stériles humides auxquels ils sont mélangés (130 000 t/an en moyenne).

### ➤ LES RESIDUS SECS

Les résidus sableux stockés sur le SABES sont constitués de sables fins propres. Ils ne contiennent aucun produit chimique.

### ➤ LES BOUES D'HYDROXYDES

Le traitement des eaux acides collectées sur le site de Guerphalès implique l'utilisation de neutralisants :

Produits	Utilisation	Consommation annuelle
Lait de chaux	Neutralisation de l'acidité	1 700 t
Chaux (Neutralac)		621 t
Soude		21 t

La majorité de ces produits disparaît lors de la réaction de neutralisation de l'acidité. Une partie (réactif en excès) se retrouve dans la composition des boues d'hydroxydes.

## I.7. MODE DE STOCKAGE

### ➤ LES STERILES HUMIDES

Depuis mai 2014, les stériles humides sont mis en remblais dans la fosse 2, localisée au centre du site de Guerphalès entre l'ancienne verse de Roscoat au Nord, la verse de Kerroué au Sud-Ouest et l'ancienne fosse 1 remblayée au Sud-Est.

La fosse 2 présente une superficie de 13,2 ha pour une profondeur maximale de 65 m (fond de fouille à 170 m NGF), ce qui correspond à une capacité totale de stockage de 2,9 millions de m<sup>3</sup> (Mm<sup>3</sup>).

### ➤ LES RESIDUS SABLEUX

Les résidus sableux produits par les usines sont acheminés par convoyeur aérien jusqu'à une verse de stockage dédiée dénommée « SABES », localisée sur la partie Nord-Est du site de Guerphalès.

L'Arrêté Préfectoral du 3 août 2018 autorise la société IRMG à étendre vers l'Est sur environ 8,5 ha le SABES qui atteindra à terme 38,3 ha. L'extension du SABES représente une capacité de stockage des résidus sableux d'environ 10 ans.

Les caractéristiques géotechniques du SABES ont été déterminées par MECATER dans son étude de 2011, jointe en annexe 2 du présent plan. Elles sont les suivantes :

- le soubassement du SABES est constituée d'une couche d'enrochement et de drains sous-jacents permettant d'assurer la stabilité de l'ensemble,
- les résidus sableux étant déversés gravitairement par convoyeur en sommet de verse, la pente du talus du SABES est égale à l'angle du talus naturel des résidus sableux soit 35° ,
- la hauteur maximale du SABES est d'environ 30 m, pour une cote maximale de stockage autorisée par l'Arrêté Préfectoral du 3 août 2018 de 245 m NGF,
- le réaménagement progressif du SABES inclut la mise en place d'une couche d'étanchéité (fines PS) recouverte d'environ 1 m de terre végétale, puis la végétalisation de la verse (cote finale de 246 m NGF),
- toutes les eaux collectées au niveau du SABES sont dirigées vers le circuit de traitement des eaux du site.

### ➤ **LES BOUES D'HYDROXYDES**

Les boues d'hydroxydes sont produites par les stations de traitement des eaux de la carrière de Guerphalès dites NEUTRALAC I et NEUTRALAC III (la station NEUTRALAC II ayant été supprimée).

Les boues d'hydroxydes produites par ces stations sont mises en remblais dans la fosse 2, mêlées aux stériles humides produits par les usines.

**L'extension de la fosse 3 et du SABES, actée par l'Arrêté Préfectoral d'autorisation IRMG du 3 août 2018, n'entraîne aucune modification des modes de gestion des stériles humides, des résidus sableux et des boues d'hydroxydes.**

## **I.8. SYSTEME DE TRANSPORT**

### ➤ **LES STERILES HUMIDES**

Les stériles humides produits dans les usines sont acheminés dans la fosse 2 par refoulement hydraulique via une canalisation dédiée.

### ➤ **LES RESIDUS SABLEUX**

Les résidus sableux sont transportés puis déversés au sommet du SABES depuis les usines par un convoyeur aérien que la société IRMG prolonge régulièrement selon l'avancée de la verse de stockage.

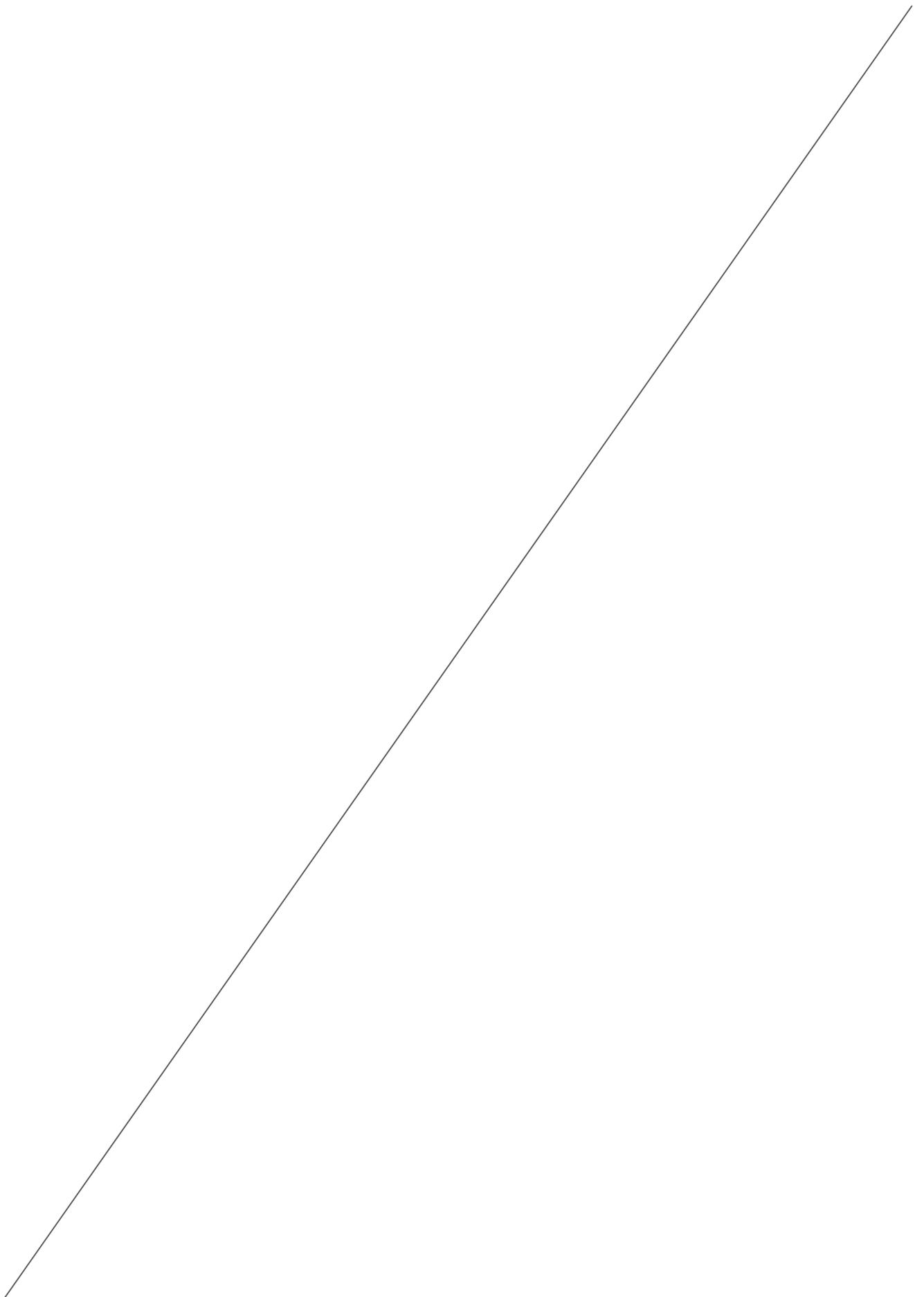
### ➤ **LES BOUES D'HYDROXYDES**

La station NEUTRALAC I étant localisée en limite Sud de la fosse 2, les boues d'hydroxydes qu'elle produit sont directement acheminées en fosse 2 par une canalisation dédiée.

La station NEUTRALAC III est localisée à l'aval du circuit des eaux du site, au Sud-Est de la carrière de Guerphalès. Les boues d'hydroxydes qu'elle produit sont collectées dans 4 bassins dédiés aménagés entre la station et le ruisseau de Kergroaz, milieu récepteur des eaux d'exhaure traitées.

Les boues stockées dans ces 4 bassins sont régulièrement refoulées vers la fosse 2 par pompage, en moyenne toutes les 2 à 3 semaines, via un réseau de canalisations équipées de vannes.

**L'extension de la fosse 3 et du SABES, actée par l'Arrêté Préfectoral d'autorisation IRMG du 3 août 2018, n'entraîne aucune modification des modes de transport des stériles humides, des résidus sableux et des boues d'hydroxydes.**



## **II. PLAN DE GESTION DES DECHETS**

---

### **II.1. PROCEDURE D'ECHANTILLONNAGE**

Afin de caractériser les stériles humides, les résidus sableux et les boues d'hydroxydes, plusieurs échantillons ont été prélevés par la société IRMG en 2011 dans la fosse 1 (fosse de stockage des stériles et boues d'hydroxydes avant mai 2014) et sur le SABES.

Ces échantillons ont été fournis :

- au LABOCEA de Ploufragan (ex LDA 22) pour le test de lixiviation,
- au Laboratoire Environnement et Minéralurgie de Nancy pour déterminer le potentiel de neutralisation de ces différents déchets d'extraction.

### **II.2. CARACTERISATION DES DECHETS**

La caractérisation des stériles humides, des résidus sableux et des boues d'hydroxydes produits sur la carrière de Guerphalès, réalisée conformément à l'annexe I de l'Arrêté Ministériel du 19 avril 2010, fait l'objet du chapitre I du présent plan de gestion.

Cette caractérisation conclut que ces déchets d'extraction sont des déchets non inertes non dangereux.

### **II.3. ESTIMATION DES QUANTITES DE DECHETS**

#### **➤ LES STERILES HUMIDES**

La quantité de stériles humides produite annuellement dans les usines et stockée en fosse 2 est de 130 000 m<sup>3</sup>/an en moyenne, conformément à l'annexe II de l'Arrêté Préfectoral du 3 août 2018.

Le volume total de stériles humides qui sera produit sur l'ensemble de la durée autorisée (15 ans) sera d'environ 1 950 000 m<sup>3</sup>, soit nettement en deçà de la capacité de stockage de la fosse 2 (2,9 Mm<sup>3</sup>).

#### **➤ LES RESIDUS SABLEUX**

La quantité de résidus sableux produite annuellement par les usines et stockée sur le SABES est de 170 000 m<sup>3</sup>/an en moyenne, conformément à l'annexe II de l'Arrêté Préfectoral du 3 août 2018.

L'Arrêté Préfectoral du 3 août 2018 autorise la société IRMG à étendre le SABES vers l'Est sur environ 8,5 ha. Cette extension représente un volume de stockage d'environ 1 700 000 m<sup>3</sup> correspondant à une période de stockage des résidus sableux d'environ 10 ans (période 2018-2028).

De fait, l'extension permettra d'accorder un délai supplémentaire à la mise en place du SABES sur l'ancienne digue, afin d'assurer une stabilisation et un drainage optimal de l'ancienne digue, et minimiser de ce fait tout risque éventuel pour l'environnement lié à cette mise en place.

A terme (période 2028-2033), le SABES sera étendu vers le Sud-Est directement sur l'ancienne digue.

#### **➤ LES BOUES D'HYDROXYDES**

La quantité annuelle de boues d'hydroxydes retirées des bassins est d'environ 300 t/an. Ainsi, environ 4500 tonnes de boues seront stockées en fosse 2 durant les 15 années d'exploitation autorisées.

Cette quantité est négligeable vis-à-vis de la quantité de stériles humides également stockés en fosse 2.

## **II.4. DESCRIPTION DES MODES DE GENERATION DES DECHETS**

### **➤ LES STERILES HUMIDES**

Les stériles humides sont les rejets fins de laverie issus du process de fabrication du concentré d'andalousite.

### **➤ LES RESIDUS SABLEUX**

Les résidus sableux sont les sables secs issus du process de fabrication du concentré d'andalousite.

### **➤ LES BOUES D'HYDROXYDES**

Les boues sont produites par la neutralisation des eaux d'exhaure acides de la carrière de Guerphalès au lait de chaux et à la soude. Cette neutralisation, qui consiste à remonter le pH des eaux de 3 à 7, entraîne la formation de boues composées d'oxy-hydroxydes métalliques ( $Al_2O_3$ ,  $FeO_3$ ,  $MnO_2$ ...).

## **II.5. ANALYSE DES SOLUTIONS POUR LA GESTION DES DECHETS**

Les stériles humides, résidus sableux et boues d'hydroxydes produits sur la carrière de Guerphalès ne sont pas valorisables en l'état d'une part du fait de leur caractère non inerte, et d'autres par du fait de leurs propriétés mécaniques insuffisantes pour être employés en terrassement ou construction.

De fait, la société IRMG doit stocker ces différents stériles d'extraction directement sur son site.

## **II.6. LIEU D'IMPLANTATION ENVISAGE ET AUTRES LIEUX POSSIBLES**

La société IRMG a recherché les différentes possibilités de stockage de ses déchets d'extraction.

### **➤ LES STERILES HUMIDES**

Jusqu'en 1999, les stériles humides étaient stockés dans l'ancienne digue sur la partie Sud-Est du site.

Après le remplissage total de l'ancienne digue, les stériles humides ont été stockés dans la fosse 1 jusqu'au comblement intégral de celle-ci en mai 2014 (après rehausse de 2 m des barrages périphériques de la fosse 1 en 2012 validée par étude géotechnique préalable).

Depuis lors, les stériles humides sont stockés dans la fosse 2 dont le remblaiement se poursuivra sur toute la durée d'exploitation autorisée (soit jusqu'en 2033).

### **➤ LES RESIDUS SABLEUX**

Comme pour les stériles humides, le caractère non inerte des résidus sableux ne permet d'envisager leur stockage à l'extérieur du site de Guerphalès, le coût de mise en place sur un terriil éloigné des lieux de production (usines) constituant un obstacle supplémentaire.

Initialement, la société IRMG avait envisagé de prolonger le SABES vers le Sud-Est, directement sur l'ancienne digue des stériles humides dont le remblaiement était terminé depuis 1999. Cette extension du SABES était d'ailleurs autorisée par l'Arrêté Préfectoral du 23 août 2012.

Néanmoins, la société IRMG a choisi dans un premier temps d'étendre le SABES vers l'Est sur des parcelles agricoles (8,5 ha) afin d'accorder un délai supplémentaire à la mise en place du SABES sur l'ancienne digue, assurant ainsi une stabilisation et un drainage optimal de celle-ci.

A terme (période 2028-2033), le SABES sera étendu vers le Sud-Est sur l'ancienne digue.

## ➤ LES BOUES D'HYDROXYDES

Les boues d'hydroxydes sont semi-liquides et non transportables par camion. De fait, il est moins coûteux et plus rationnel de gérer ces boues sur le site, par mise en remblais dans une ancienne fosse d'extraction.

La fosse 1 étant intégralement comblée depuis mai 2014, les boues d'hydroxydes sont par conséquent stockées depuis lors en fosse 2, mêlées aux stériles humides produits par les usines.

## II.7. ANALYSES DES RISQUES

Le bureau d'études MECATER a réalisé en avril 2011 pour la société IRMG une étude géotechnique détaillée de la fosse 1 (ancien stockage des stériles humides et boues d'hydroxydes, remplacé par la fosse 2 en mai 2014) et du SABES (stockage des résidus sableux) afin de permettre la classification environnementale de ces stockages, conformément à l'annexe VII de l'Arrêté du 19 avril 2010.

Pour mémoire, cette étude est jointe en annexe 2 du présent plan de gestion.

### ➤ METHODOLOGIE DE L'ETUDE MECATER

L'étude géotechnique MECATER de 2011 précise successivement :

- la caractérisation de l'environnement des stockages du site de Guerphalès, notamment le contexte hydrologique, géologique et hydrogéologique,
- la démarche utilisée pour la classification environnementale des installations de stockage des déchets (classement ou non en catégorie A),
- l'analyse des risques pour chaque stockage de déchets.

A partir de ces éléments, l'étude définit les aléas à prendre en compte pour la fosse 1 et le SABES :

- aléa 1 : mouvements de terrain liés à des crues extrêmes, au vieillissement des ouvrages, à des défauts de construction, à un séisme, aux tirs de mine,
- aléa 2 : infiltration des eaux acides dans l'assise des stockages.

Les risques ont ainsi pu être déterminés à partir des dégâts pouvant être occasionnés par ces aléas pour chacun des deux stockages étudiés (fosse 1 et SABES).

### ➤ LES STERILES HUMIDES ET BOUES D'HYDROXYDES (FOSSE 1)

Les conclusions formulées par MECATER sont les suivantes :

*« 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 fosse 1.*

*L'analyse de risque 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.*

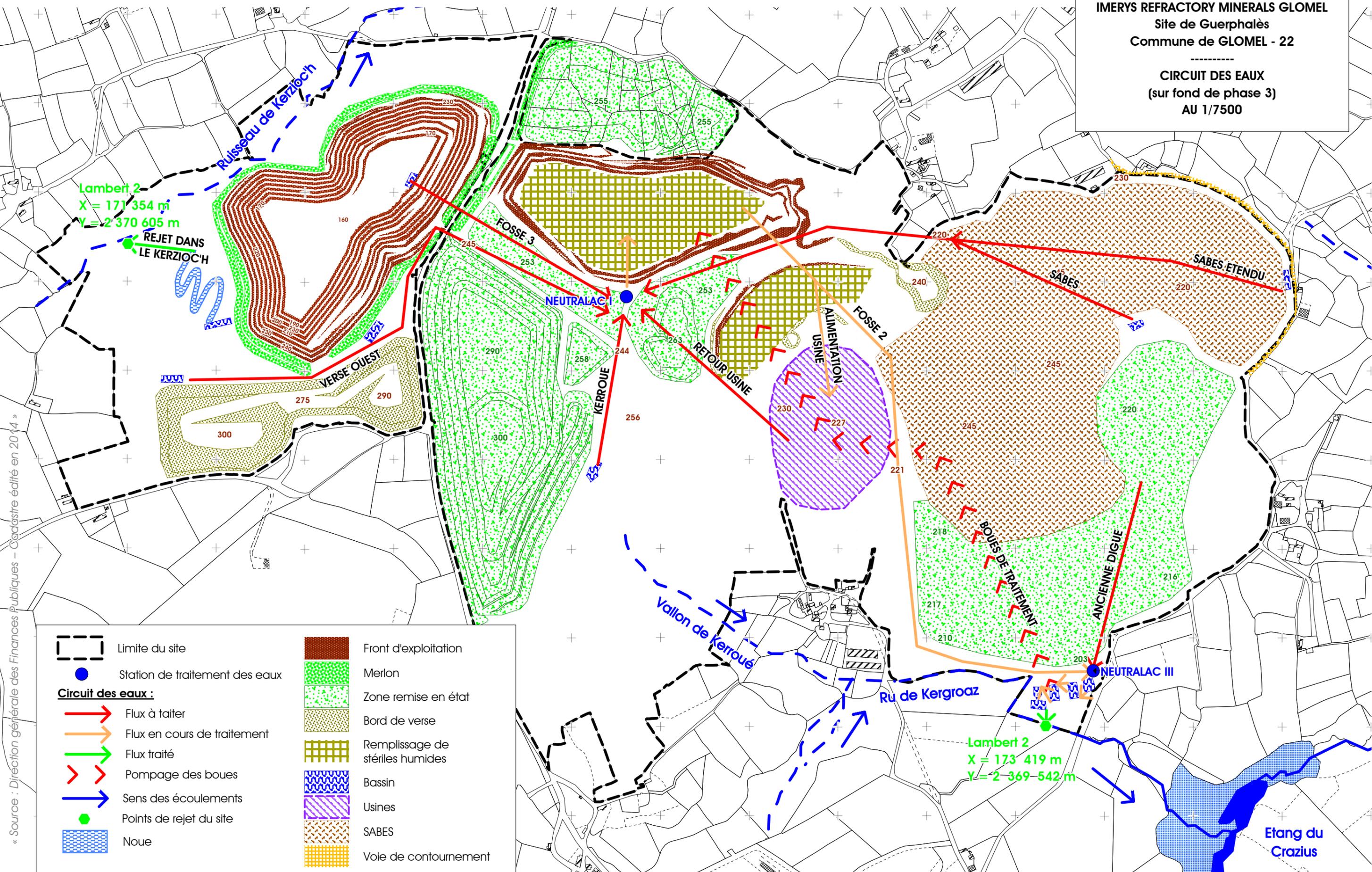
*En se basant sur cette analyse, nous estimons que la fosse 1 n'est pas classée dans la catégorie A ».*

**La fosse 2 présentant un environnement et des caractéristiques similaires à la fosse 1, elle n'est pas non plus classée en catégorie A, d'autant plus le stockage en fosse 2 n'est pas délimité par des barrages mais directement par les fronts rocheux contrairement à la fosse 1.**

**IMERYS REFRACTORY MINERALS GLOMEL**  
 Site de Guerphalès  
 Commune de GLOMEL - 22

---

**CIRCUIT DES EAUX**  
 (sur fond de phase 3)  
 AU 1/7500



	Limite du site		Front d'exploitation
	Station de traitement des eaux		Merlon
<b>Circuit des eaux :</b>			
	Flux à traiter		Zone remise en état
	Flux en cours de traitement		Bord de verse
	Flux traité		Remplissage de stériles humides
	Pompage des boues		Bassin
	Sens des écoulements		Usines
	Points de rejet du site		SABES
	Noue		Voie de contournement

« Source : Direction générale des Finances Publiques – Cadastre édité en 2014 »



### ➤ **LES RESIDUS SABLEUX (SABES)**

Les conclusions formulées par MECATER sont les suivantes :

*« 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 SABES.*

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

**Les extensions prévues du SABES dans son prolongement Est (8,5 ha) puis sur l'ancienne digue seront réalisées selon les mêmes prescriptions techniques qu'actuellement (soubassement en enrochement + drains, stockage limité à la cote 245 m NGF, respect de l'angle de talus naturel des résidus sableux...). Par conséquent, le SABES ne sera pas classé en catégorie A.**

## **II.8. DESCRIPTION DES MESURES TECHNIQUES ET D'ORGANISATION PROPRES A REDUIRE LES PHENOMENES DANGEREUX**

### ➤ **LES STERILES HUMIDES ET BOUES D'HYDROXYDES (FOSSE 2)**

Les stériles humides et boues d'hydroxydes sont mis en remblais gravitairement dans la fosse 2 en eau dont les parois sont constituées par le massif rocheux (schistes à andalousite) peu perméable.

La capacité totale de stockage (2,9 Mm<sup>3</sup>) est nettement suffisante pour recueillir l'intégralité des stériles humides (1,95 Mm<sup>3</sup>) et boues d'hydroxydes (4,5 kt) qui seront produits sur la durée autorisée (15 ans).

Ce choix de stockage constitue une mesure d'organisation réduisant les aléas « mouvement de terrain » et « infiltration des eaux acides dans l'assise ».

### ➤ **LES RESIDUS SABLEUX (SABES)**

Les dispositions constructives du SABES sont autant de mesures techniques permettant de réduire les aléas « mouvement de terrain » et « infiltration des eaux acides dans l'assise » :

- pentes de talus externes correspondant à l'angle de talus naturel des résidus sableux (35°),
- collecte des eaux du SABES pour transfert vers le circuit de traitement des eaux d'exhaure,
- mise en place des couches d'enrochement et de drainage sous la verse,

Ces éléments sont détaillés dans l'étude MECATER de 2011 annexée au présent plan de gestion.

## **II.9. MESURES DE PREVENTION DE LA DETERIOTATION DE LA QUALITE DE L'EAU**

Toutes les eaux pluviales et souterraines collectées sur le site de Guerphalès sont traitées dans 2 stations (NEUTRALAC I et III). Une partie de ces eaux est recyclée dans les usines (alimentation par pompage depuis la fosse 2), l'excédent étant restitué au milieu naturel (ruisseau de Kergroaz).

### ➤ **CIRCUIT DES EAUX :**

Les différents circuits des eaux, schématisés sur la carte ci-contre, sont les suivants :

- les eaux d'exhaure provenant de la fosse 3 en cours d'exploitation,
- les eaux provenant des systèmes de drainage des stockages d'extraction (verses, SABES),
- les eaux provenant des usines, résultant des procédés de décantation et flottation.

Toutes ces eaux rejoignent la station de traitement (NEUTRALAC I) située au centre du site de Guerphalès, où le pH est remonté au lait de chaux. Une fois neutralisées, les eaux sont mises à décanter dans la fosse 2, dans laquelle se déposent à la fois les fines contenues dans l'eau chargée et les hydroxydes précipitant suite à la remontée du pH.

L'eau neutralisée et décantée est ensuite repompée à l'Est de la fosse 2 pour :

- soit réalimenter les usines (recyclage des eaux),
- soit être dirigée vers le milieu naturel (ruisseau de Kergroaz) après second traitement final dans la station NEUTRALAC III (soude et chaux) puis nouvelles décantation dans 4 bassins de décantation dédiés.

La société IMRG réalise un suivi de ses rejets ainsi qu'un suivi des eaux superficielles et souterraines autour du site de Guerphalès, conformément à l'Arrêté Préfectoral du 3 août 2018.

### ➤ **SUIVI DU REJET**

Les points de rejet n°1 et n°2 sont localisés sur le plan du circuit des eaux présentés ci-avant.

Les modalités d'autocontrôle du rejet sont fixées par l'article 9.2.3 de l'Arrêté du 3 août 2018 :

- pour le point de rejet n°1 (rejet des eaux traitées dans le ruisseau de Kergroaz) :
  - . mesure en continu du débit, du pH, de la température et de la conductivité,
  - . mesure quotidienne des paramètres MES, sulfates, Manganèse et Nickel,
  - . mesure hebdomadaire des paramètres Aluminium, Cobalt et Zinc,
  - . mesure mensuelle des paramètres DCO et hydrocarbures,
- pour le rejet n°2 (rejet d'eaux pluviales dans le ruisseau de Kerzioc'h) :
  - . mesure trimestrielle des paramètres débit, pH, température, conductivité, MES, DCO, hydrocarbures, Aluminium, Fer et Manganèse.

En parallèle, des mesures comparatives par un organisme extérieur accrédité sont également réalisées.

### ➤ **SUIVI DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE**

Les modalités de ce suivi sont fixées par l'article 9.2.4 de l'Arrêté du 3 août 2018.

#### ■ **Suivi du ruisseau du Crazius, confluent du ruisseau de Kergroaz**

Pour 2 stations situées à l'amont et à l'aval du point de rejet n°1 et pour 2 stations situées à l'amont et à l'aval de la réserve de Magoar – Pen Vern :

- indices annuels (IBGN, IBD et IPS),
- pêche électrique annuelle,
- analyses sédimentaires annuelles (Fe, Al, Mn, SO<sub>4</sub>, granulométrie),
- analyses physico-chimiques trimestrielles (pH, MES, DCO, Fe, Al, Mn, SO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, P),
- pose d'échelles limnimétriques.

#### ■ **Suivi du ruisseau de Kerzioc'h**

Pour 2 stations situées à l'amont et à l'aval du point de rejet n°2 :

- analyses physico-chimiques annuelles (débit, pH, conductivité, SO<sub>4</sub>, Al, Mn),
- indices annuels (IBGN, IBD).

## ➤ **SUIVI DES EAUX SOUTERRAINES**

Les modalités de ce suivi sont fixées par l'article 9.2.5 de l'Arrêté du 3 août 2018.

### ■ **Réseau de surveillance**

Il comprend :

- les piézomètres Sud, KJ2, MO1, RO1, RO2, PzA, PzB et PzC,
- les puits de « Guermeur » et de « Kerzioc'h »,
- 2 nouveaux piézomètres Pz1 et Pz2 à implanter sur les fractures entre la fosse 3 et les captages AEP du Minez Du, localisés au Sud-Ouest du site de Guerphalès.

### ■ **Modalités de l'autosurveillance**

Elles sont les suivantes :

- mesure piézométrique mensuelle,
- analyses physico-chimiques mensuelles (pH, conductivité, SO<sub>4</sub>, Fe, Al, Mn et Ni).

## **II.10. ETUDE DE L'ETAT DU TERRAIN SUSCEPTIBLE DE SUBIR DES DOMMAGES**

Les stériles humides, les résidus sableux et les boues d'hydroxydes produits sur le site de Guerphalès sont stockés à l'intérieur même du site, au plus près de leur lieu de production.

La faisabilité géotechnique de réalisation des différents stockages (SABES et anciennement fosse 1) a été validée par un bureau d'études spécialisé (MECATER – 2011).

Du fait de ces mesures prises par la société IRMG suite aux recommandations de MECATER, les terrains périphériques à la fosse 2 et au SABES ne sont pas susceptibles de subir des dommages.

## **II.11. PROCEDURE DE CONTROLE**

La société IRMG a mis en place un ensemble de procédures pour la surveillance de ses différents stockages de déchets d'extraction, y compris pour la fosse 2 et le SABES.

Chaque jour, la société IRMG effectue une surveillance visuelle journalière de ces stockages et relève le niveau de l'eau dans la fosse 2 (niveau consigné dans un registre par le responsable de production).

Une visite mensuelle approfondie est également réalisée avec établissement d'un rapport enregistré auprès du responsable de production.

De plus, la société IRMG mandate annuellement un géotechnicien pour contrôler l'avancée des stockages, pour laquelle la société prend régulièrement des photographies.

## **II.12. ETUDE GEOLOGIQUE, HYDROLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE**

Les éléments suivants relatifs au contexte géologique, hydrologique et hydrogéologique du site de Guerphalès sont extraits du dossier de demande d'autorisation d'exploiter (réf. AXE/2016-090) dont l'instruction a abouti à la prise de l'Arrêté Préfectoral du 3 août 2018.

## ➤ CONTEXTE GEOLOGIQUE DU SITE

Le contexte géologique du site de Guerphalès est décrit d'après la notice de la carte géologique de Rostrenen du BRGM (feuille n°312) :

- la remontée du granite de Rostrenen a engendré localement la recristallisation des schistes ardoisiers ordoviciens des Montagnes Noires en cornéennes par métamorphisme de contact,
- la recristallisation totale de ces schistes a entraîné la disparition de la schistosité d'origine et une recristallisation poussée, caractérisée par la présence de baguettes d'andalousite millimétriques à centimétriques dans une matrice sombre à quartz, biotite et muscovite,
- l'ensemble présente une puissance totale estimée à 300 m et une composition chimique très alumineuse (de 17 à 36 %) liée à la présence de l'andalousite ( $Al_2SiO_5$ ).

## ➤ CONTEXTE HYDROLOGIQUE

Le site de Guerphalès se trouve à la limite du bassin versant du Blavet (au Nord) et de l'Ellé au (Sud) :

- la fosse 2 est située dans le bassin versant du Blavet,
- le SABES est situé dans le bassin versant de l'Ellé.

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 borde la fosse 3 (ruisseau de Kerzioc'h et ses abords). Le point de rejet n°2 (rejet d'eaux pluviales) du site de Guerphalès est localisé dans ce bassin versant.

À 8 km au Sud, la commune de Gourin exploite les eaux de l'Ellé à la station de Pont Saint-Yves à Langonnet de façon occasionnelle 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

À 20 km à l'aval, le Syndicat de l'Ellé exploite également l'Ellé à la station de Barregant au Faouët.

## ➤ CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

Les formations locales de socle étant peu perméables, le principal aquifère en présence est l'aquifère superficiel des altérites, capté notamment par les puits de Guermeur et de Kerzioc'h qui sont inclus dans le réseau de surveillance du site.

## II.13. BILAN HYDRIQUE

### ➤ PLUVIOMETRIE LOCALE

Le bilan hydrique local a été établi dans la notice hydrogéologique annexée à l'étude d'impact à partir des données pluviométriques de MétéoFrance (station de Rostrenen – période 1980-2009).

D'après ces données, la pluviométrie moyenne locale est de 1131 mm/an mais elle présente de fortes variations selon les années (jusqu'à 1500 mm/an soit +30 %).

### ➤ LES STERILES HUMIDES ET BOUES D'HYDROXYDES (FOSSE 2)

Ces variations influent fortement sur les volumes d'eaux traitées transitant par la fosse 2 puis rejetées dans le ruisseau de Kergroaz (entre 800 000 et 1 410 000 m<sup>3</sup>/an entre 2008 et 2016) :

Année	Rejet total (en m <sup>3</sup> /an)	Volume journalier rejeté (m <sup>3</sup> /j)		
		Minimal	Moyen	Maximal
2008	1 120 805	72	3 062	12 581
2009	1 260 997	23	3 455	11 807

Année	Rejet total (en m <sup>3</sup> /an)	Volume journalier rejeté (m <sup>3</sup> /j)		
		Minimal	Moyen	Maximal
2010	1 057 905	2	2 898	12 938
2011	804 565	13	2 204	18 357
2012	1 105 545	0	3 021	17 249
2013	1 444 350	0	3 957	18 022
2014	1 409 823	0	7 770	30 252
2015	1 385 395	0	3 796	10 382
2016	1 381 491	0	4 193	9 602
2017*	447 720	0	1 994	5 282

\* au 31/08/2017

A contrario, le volume d'eaux traitées prélevé en fosse 2 pour alimenter les usines est globalement constant d'une année à l'autre (entre 600 000 et 700 000 m<sup>3</sup>/an).

### ➤ **LES RESIDUS SABLEUX (SABES)**

Les eaux pluviales percolant dans le SABES sont collectées par la couche d'étanchéité mise en place par la société IRMG à la base du stockage puis dirigées vers un bassin dédié de 4 600 m<sup>3</sup>.

Depuis ce bassin, les eaux sont pompées vers la station NEUTRALAC I pour neutralisation et précipitation des métaux puis sont transférées pour décantation dans la fosse 2 (cf. point précédent).

## **II.14. PLAN CONCERNANT LA FERMETURE, LA REMISE EN ETAT ET LES PROCEDURES DE SUIVI**

### ➤ **LES STERILES HUMIDES ET BOUES D'HYDROXYDES (FOSSE 2)**

Conformément à l'article 1.6.6.3 de l'Arrêté Préfectoral d'autorisation IRMG du 3 août 2018, la remise en état de la fosse 2 inclura les étapes suivantes :

- comblement partiel par des stériles humides et boues d'hydroxydes produits respectivement par le traitement du minerai dans les usines et le traitement des eaux acides,
- phase de stabilisation (compaction) des stériles et boues,
- mise en place d'une couche d'enrochement (stériles de carrière),
- mise en place d'une couche d'imperméabilisation (fines PS ou de matériaux équivalents).

### ➤ **LES RESIDUS SABLEUX (SABES)**

Conformément à cet article, la remise en état du SABES (et des autres verses) sera réalisée progressivement et de manière coordonnée à l'avancement du stockage, selon les étapes suivantes :

- stockage des résidus sableux jusqu'à la cote maximale de 245 m NGF,
- compactage des résidus sableux,
- mise en place d'une couche d'étanchéité (fines PS) d'1 m d'épaisseur,
- mise en place d'une couche de 0,15 m de terre végétale,
- ensemencement (qui devra faire l'objet d'une étude par un spécialiste du paysage).

## ➤ **SUIVI DE LA REMISE EN ETAT**

Les eaux du site seront collectées puis traitées sur toute la période d'exploitation (jusqu'en 2036).

Le suivi des eaux souterraines (piézométrie et qualité) sera maintenu durant la phase finale de remise (période 2033-2036) afin de valider l'efficacité du réaménagement des stockages.

Conformément à l'article 1.6.6.3 de l'Arrêté Préfectoral du 3 août 2018, la société IRMG réalisera avant l'arrêt des activités une « *étude technico-économique visant à se prononcer sur la nécessité de mettre en place ou non sur le site une zone de traitement passif (par ex. du type « Wetland » ou équivalent).* »

Cette étude s'appuiera notamment sur les résultats périodiques des différents débits pompés, traités et rejetés en provenance des différentes verses, dont le SABES, afin de valider l'efficacité de leur remise en état (imperméabilisation puis végétalisation).

### **III. CONCLUSIONS**

---

**La caractérisation des stériles humides, résidus sableux et boues d'hydroxydes produits sur le site de Guerphalès, menée conformément à l'annexe I de l'Arrêté Ministériel du 19 avril 2010, a permis de déterminer que ces déchets doivent être considérés comme « non inertes ».**

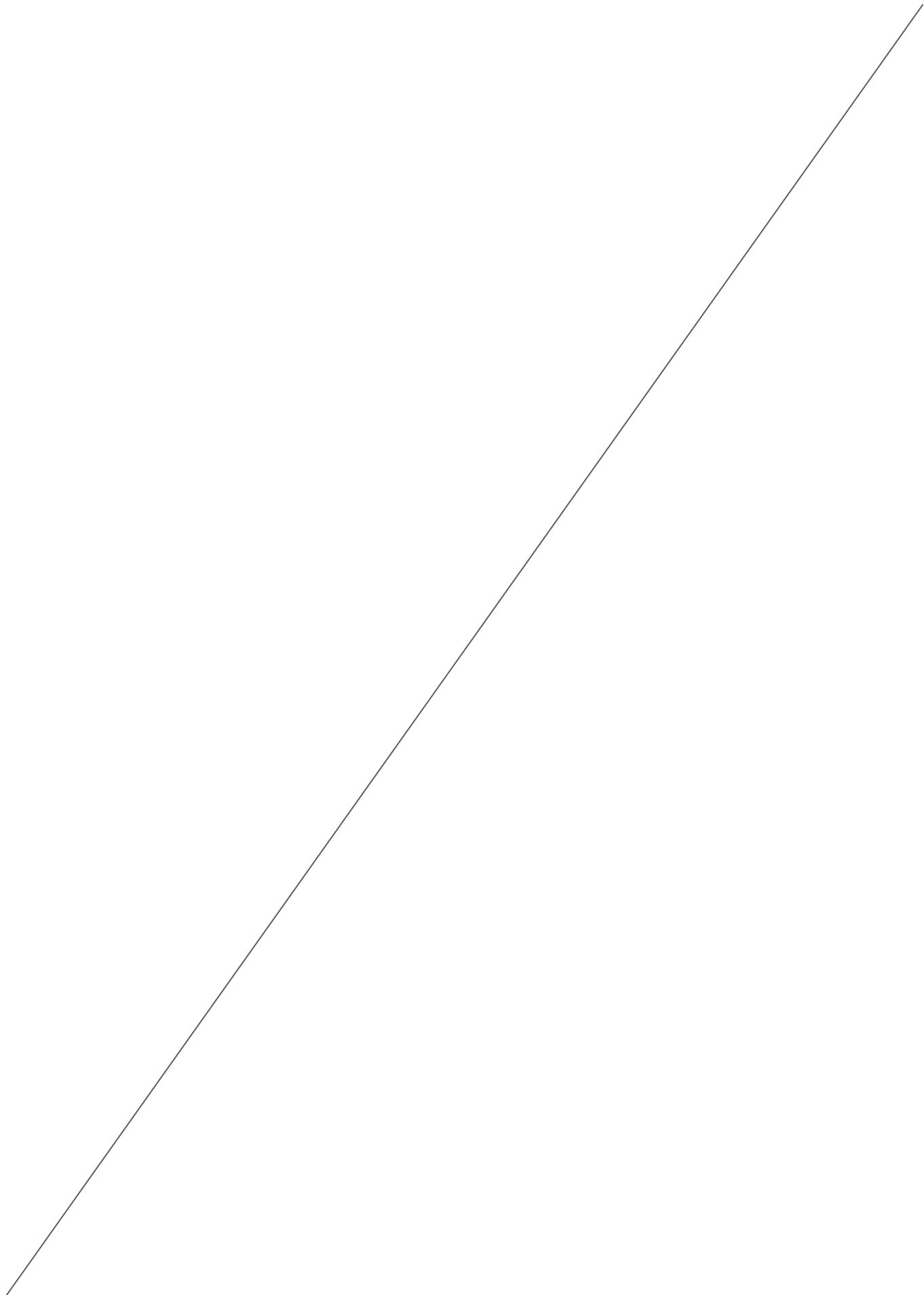
**Néanmoins, l'analyse des modalités de gestion de ces stériles (stériles humides et boues d'hydroxydes en remblais de la fosse 2 et résidus sableux sur la verse du SABES) a montré que cette gestion ne présente pas de risque majeur particulier. Pour cette raison, ces stériles ne sauraient constituer des déchets de « catégorie A » au sens de l'annexe VII de l'Arrêté.**



# **ANNEXE 1 :**

## **BULLETINS D'ANALYSE DES DIFFERENTS STERILES**

---



**Prélèvement 002 SABLES**

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

**ANALYSES PHYSIQUES**

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

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

NI	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	(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	45...90	(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		
Mercur	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		
Sélium	.....	(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

Mercur	:	<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

**Rapport d'analyses 110079448**

LABORATOIRE  
DE DEVELOPPEMENT  
ET D'ANALYSES  
ZOOPIRE  
PLOUFERGAN  
7, rue du sauto  
BP 54  
22440 PLOUFERGAN  
Tel 02.96.01.17.22  
Fax 02.96.01.17.50  
Mail : contact@lab22.com

**Rapport d'analyses 110079448**

LABORATOIRE  
DE DEVELOPPEMENT  
ET D'ANALYSES  
ZOOPIRE  
PLOUFERGAN  
7, rue du sauto  
BP 54  
22440 PLOUFERGAN  
Tel 02.96.01.17.22  
Fax 02.96.01.17.50  
Mail : contact@lab22.com

Plomb  
Antimoine  
Selenium  
Zinc

<0,05  
<0,05  
<0,05  
1,3

**Prélèvement 003 FOSBE 1 STERILES HUMIDES**

PEC PAYANTE  
 Date début d'analyse 24/12/2010  
**ANALYSES PHYSIQUES**  
 Humidité : 0,2 %  
 Matière sèche : 99,8 %  
 par étuvage NF EN 12880

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

NI	NZ	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		
Mercurure	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 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

Mercurure	NF EN ISO 17852 (T 90-139)
Arsenic	0,05
Baryum	0,55
Cadmium	0,014
Chrome	<0,05
Cuivre	1,5
Molybdène	<0,05
Nickel	1,3

**Rapport d'analyses 110079448**

LABORATOIRE DE DEVELOPPEMENT FTIDANALYSIS ZORRORE MONTFRAGAN 7 rue du Sabot BP 54 22440 MONTFRAGAN Tel 02.96.01.17.22 Fax 02.96.01.17.30 Site : contact@fdz2.com

Plomb  
 Antimoine  
 Selenium  
 Zinc

<0,05  
 <0,05  
 <0,05  
 3,1

**Rapport d'analyses 110079448**

LABORATOIRE DE DEVELOPPEMENT FTIDANALYSIS ZORRORE MONTFRAGAN 7 rue du Sabot BP 54 22440 MONTFRAGAN Tel 02.96.01.17.22 Fax 02.96.01.17.30 Site : contact@fdz2.com

## Prélèvement 004 BOURS DE DECONTANTION

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		
Chrome ..... 90 .. 180 .....	(Cr) mg/kg MS :	22
Dosage par ICP NF EN ISO 11885		
Cobalt ..... 45 .. 90 .....	(Co) mg/kg MS :	2 590
Dosage par ICP NF EN ISO 11885		
Cuivre ..... 0,4 .. 0,8 .....	(Cu) mg/kg MS :	280
Dosage par ICP NF EN ISO 11885		
Mercurure ..... 37 .. 74 .....	(Hg) mg/kg MS :	<0,02
Dosage par fluorescence atomique NF EN ISO 17852 (T 90-139)		
Molybdène ..... 100 .. 200 .....	(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 ..... 276 .. 552 .....	(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 ..... 100 .. 200 .....	(Sb) mg/kg brut :	<10
Dosage par ICP NF EN ISO 11885		
Baryum ..... 276 .. 552 .....	(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

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

**Rapport  
d'analyses  
110079448**

LABORATOIRE  
DE DEVELOPPEMENT  
FITANALYSES  
ZOOPIRE F  
P OUFERAVAN  
7, rue du sahel  
BP 54  
23440 P OUFERAVAN  
Tel 02 96 01 17 22  
Fax 02 96 01 17 50  
Mail contact@da22.com

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  
Pharmacienne

C. GICQUEL  
Ingénieur

S. PENNEC  
Ingénieur



**Rapport  
d'analyses  
110079448**

LABORATOIRE  
DE DEVELOPPEMENT  
FITANALYSES  
ZOOPIRE F  
P OUFERAVAN  
7, rue du sahel  
BP 54  
23440 P OUFERAVAN  
Tel 02 96 01 17 22  
Fax 02 96 01 17 50  
Mail contact@da22.com



## **ANNEXE 2 : ETUDE GEOTECHNIQUE 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).

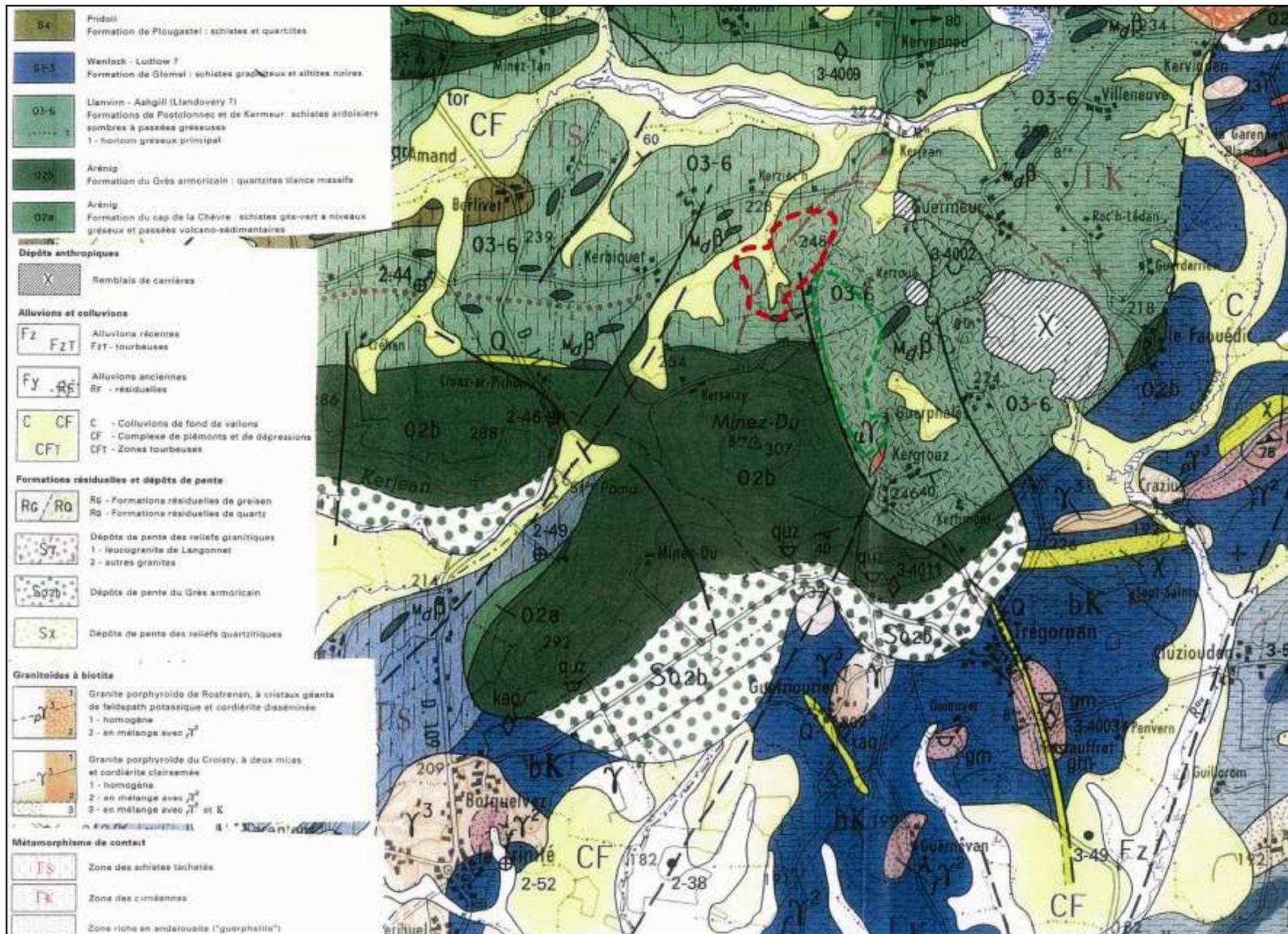


Figure 1 : Extrait de la carte géologique de Rostrenen

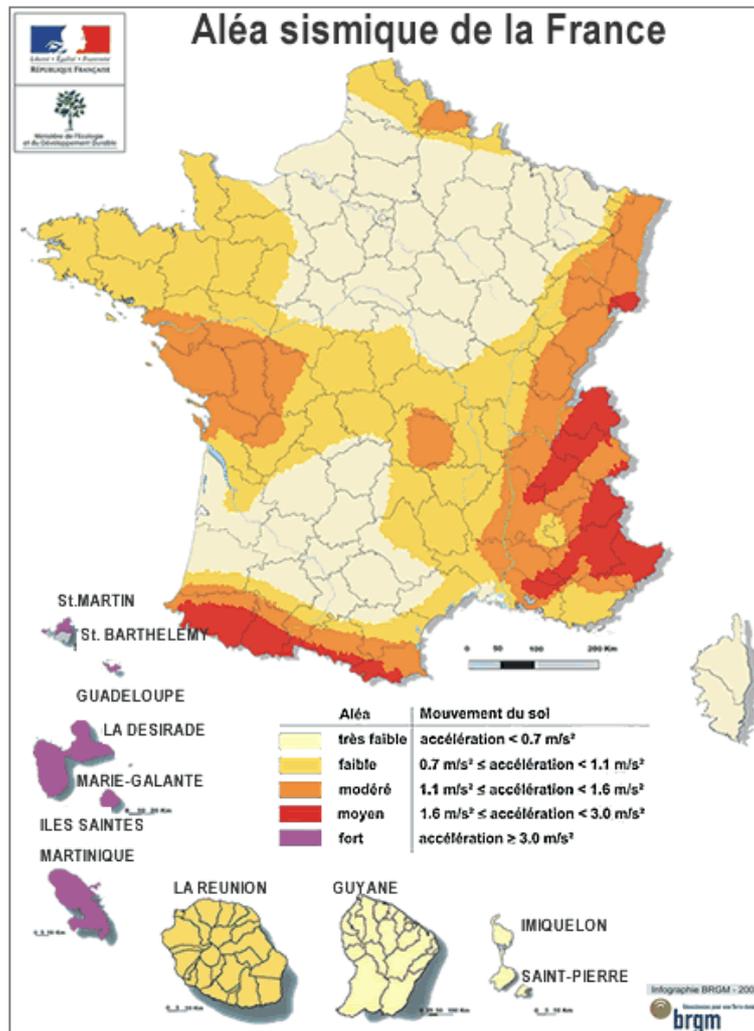


Figure 2 : Zonage sismique réglementaire de la France (T = 475 ans)

## 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'emmagasinement 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.

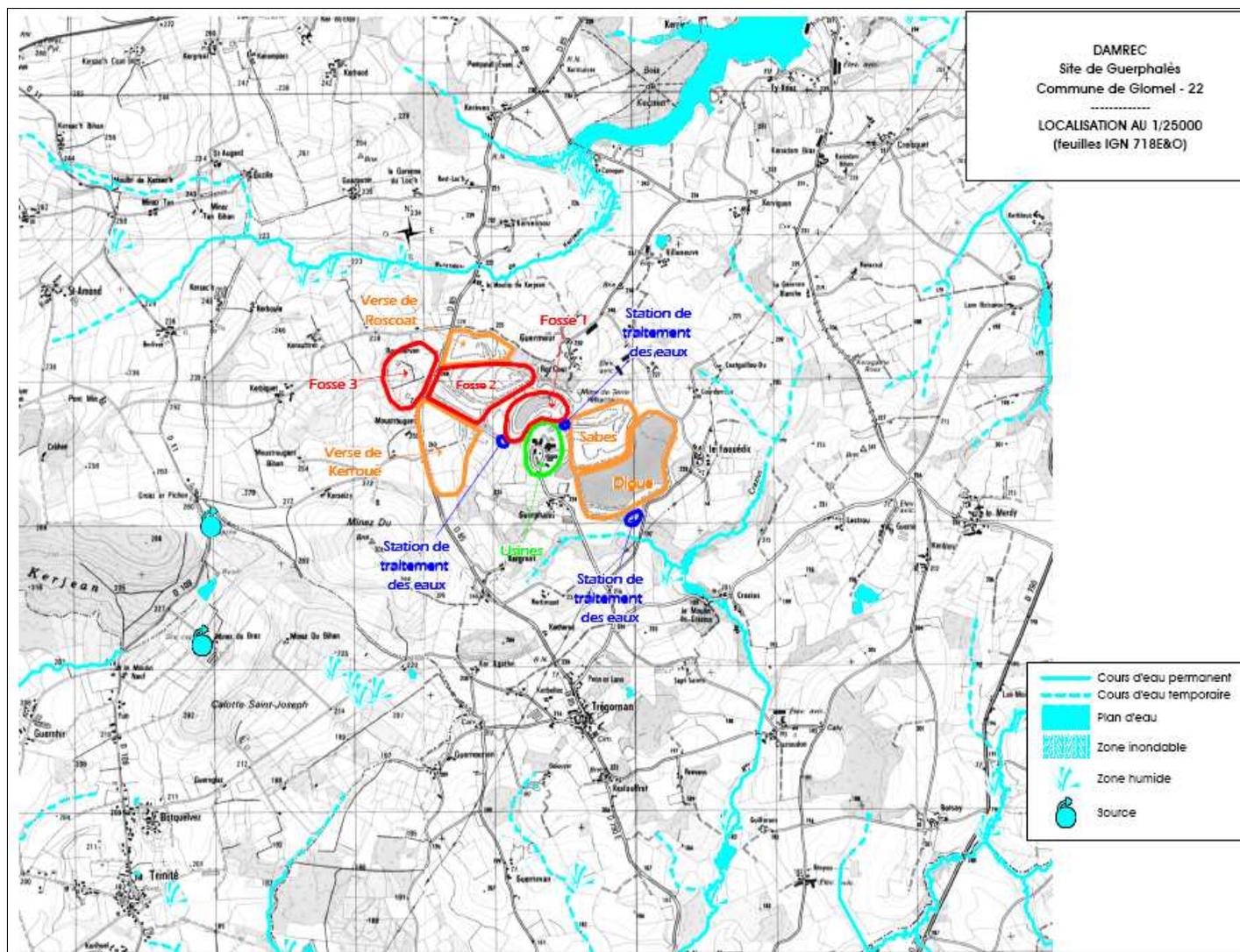


Figure 3 : Réseau hydrographique au droit du site (Source : Etude d'impact sur l'environnement, Géoarmor environnement)

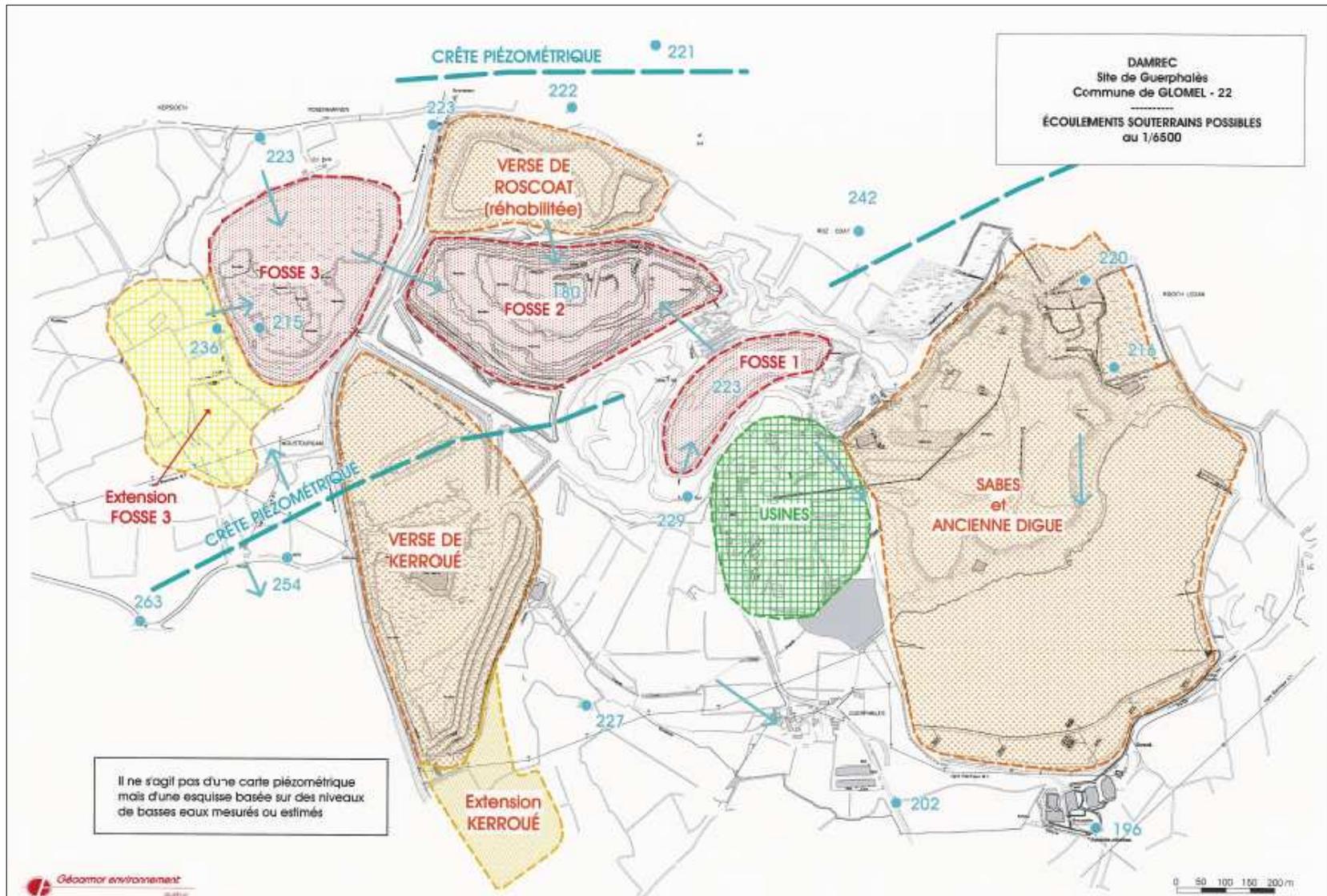


Figure 4 : Direction des écoulements des eaux souterraines (Source : Etude hydrogéologique, Géoarmor environnement)



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).

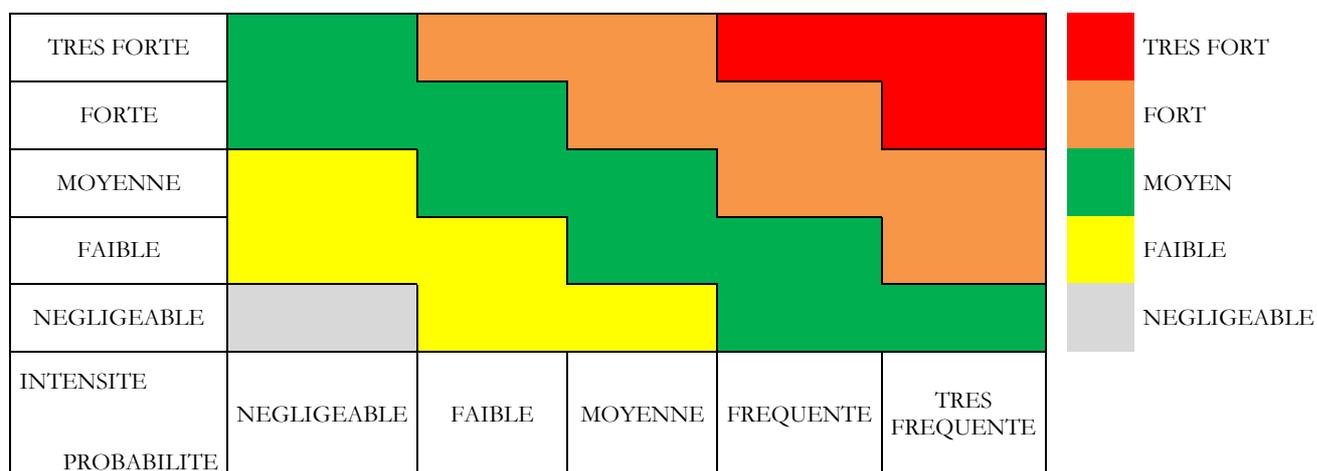


Figure 7 : Grille d'évaluation des aléas

### 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).

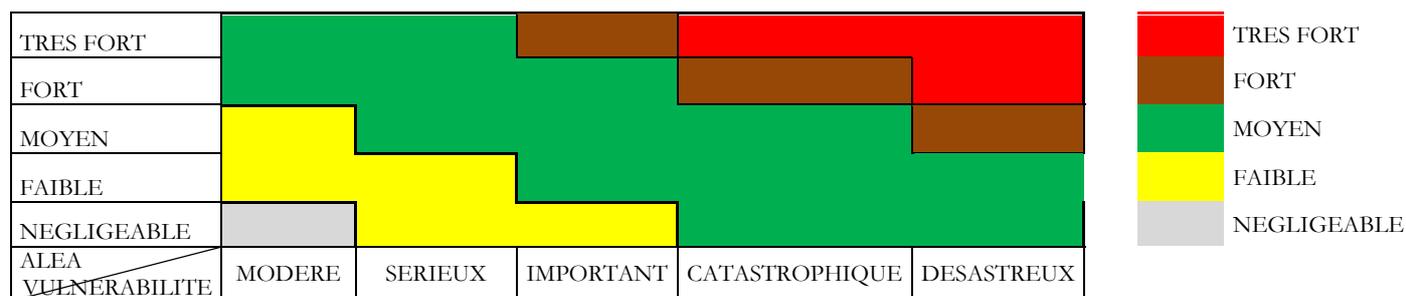


Figure 8 : Grille d'évaluation des risques

#### 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.

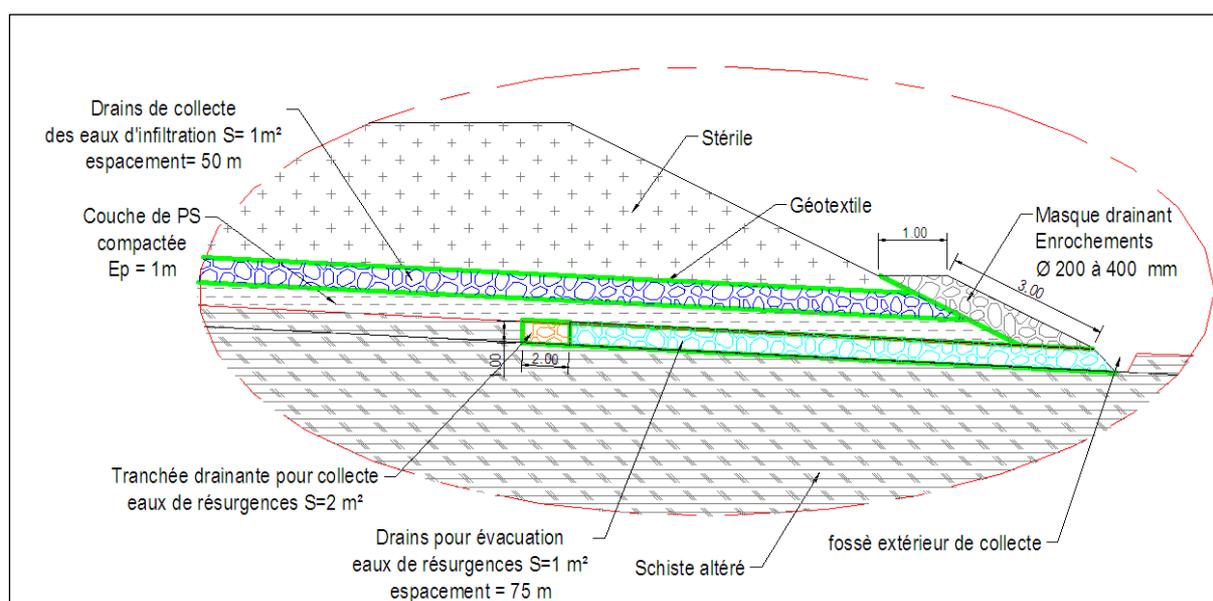
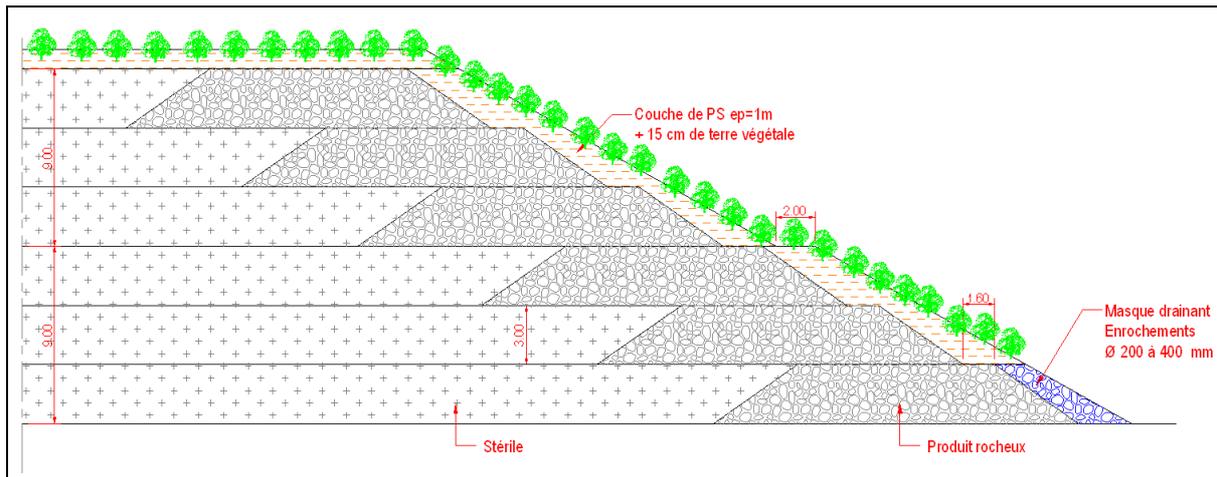


Figure 9 : Coupe type du système de drainage de la verse



**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 « Vieillissement 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 disfonctionnement 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>Coupure 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 classés 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 cyclonnés 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

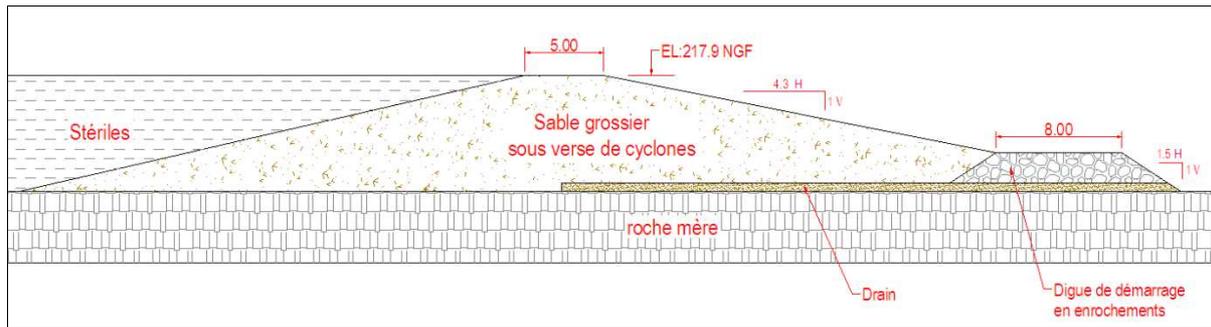


Figure 11 : Coupe type de l'ancienne Digue

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
- Vieillessement 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 »**

Événement 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 éboulée. 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 »**

Événement initiateur	Intensité de l'aléa	Probabilité	Aléa mouvement de terrain	Dégâts	Risque	
Infiltration des eaux à travers la couche d'étanchéité	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.

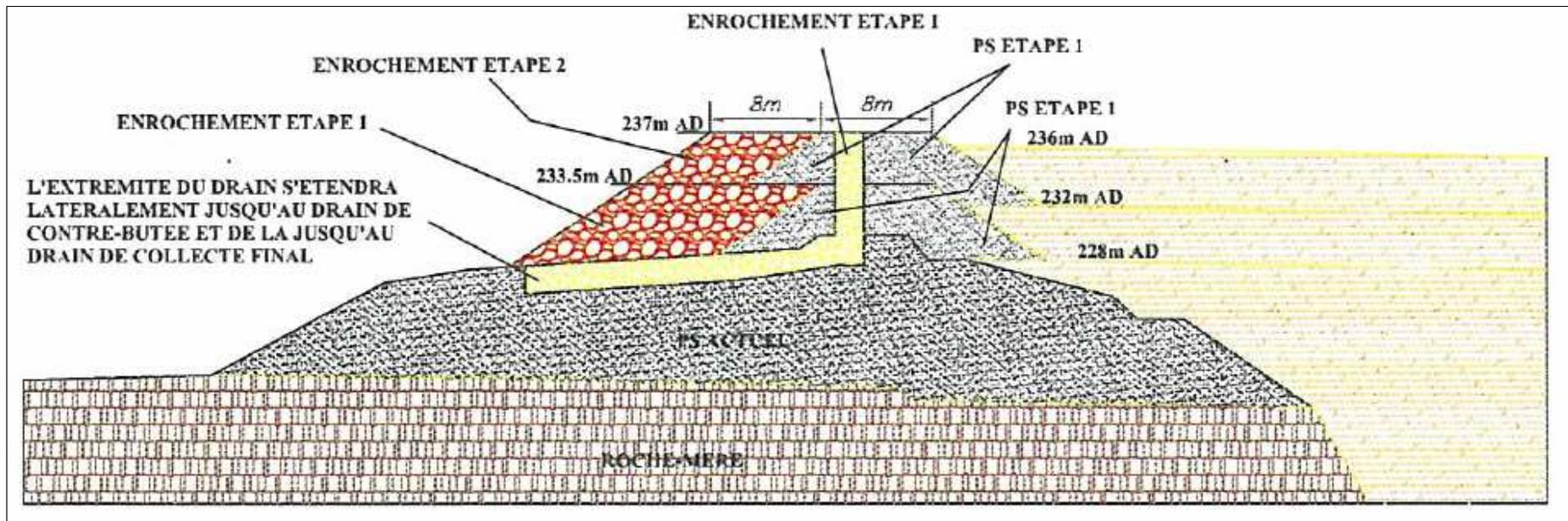


Figure 12 : Coupe type du barrage interfosse

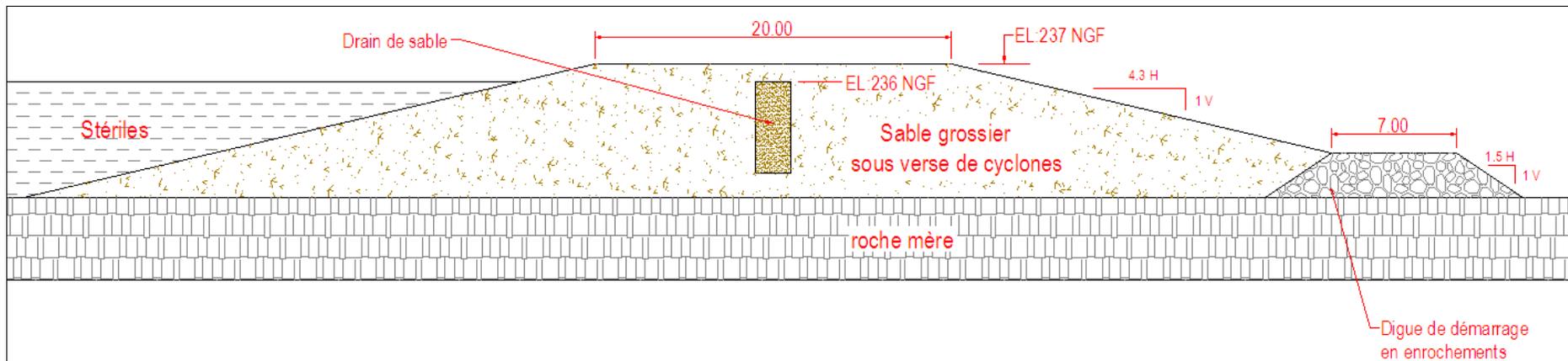


Figure 13 : Coupe type du barrage cyclonné

## 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 cycloné 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**

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>• 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>	
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 <b>Faible</b>
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 <b>Faible</b>

## 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).

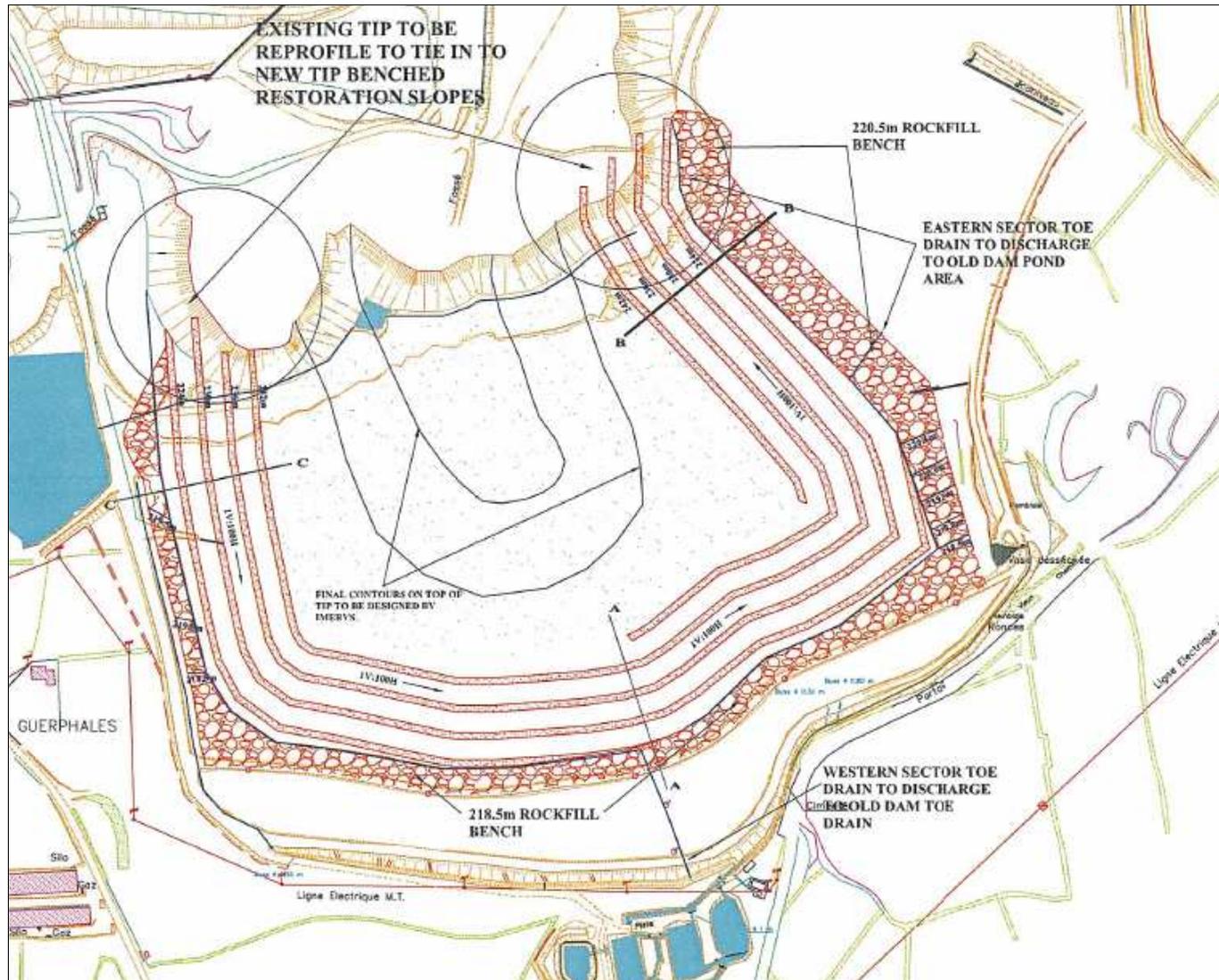


Figure 14 : Vue en plan de la verse Sabès après extension sur l'ancienne Digue

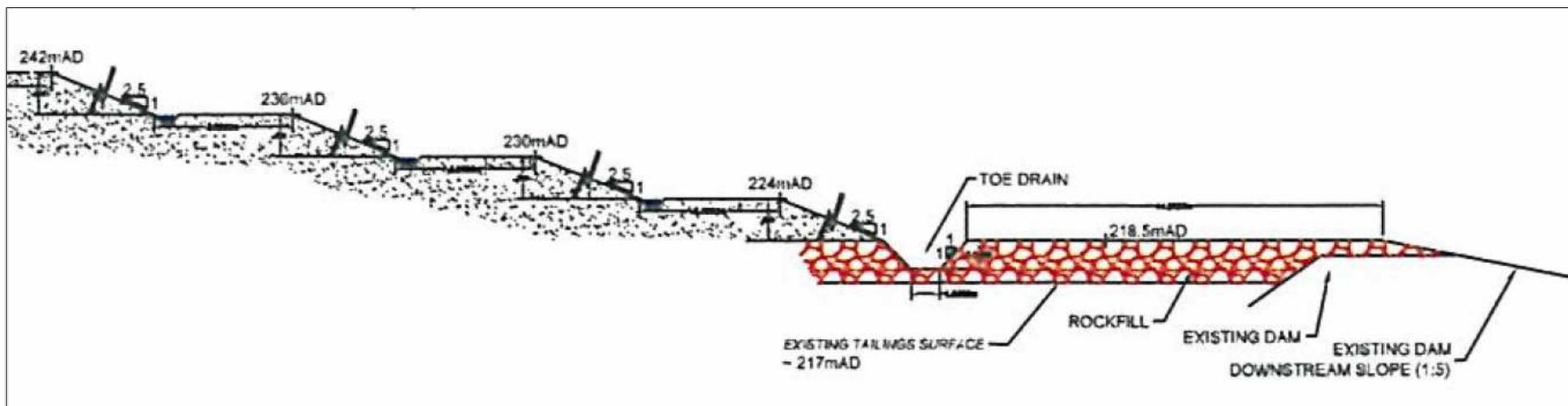


Figure 15 : Coupe type de la verse Sabès en phase ultime

## 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**

Evénement 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 installations industrielles se situent à plus de 50 m par rapport au pied de la verse. Ces installations ne seront pas, par conséquent, 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	
Crue extrême	Ravinement	<1000 m <sup>3</sup>	Négligeable	Faible	Faible	<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>
			Moyenne					
Crue extrême	Glissement peu profond	<50 000 m <sup>3</sup>	Moyenne	Faible	Moyen	<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>
			Moyenne					
Séisme	Glissement peu profond	<50 000 m <sup>3</sup>	Moyenne	Négligeable	Faible			<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 : Moyenne		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**

---

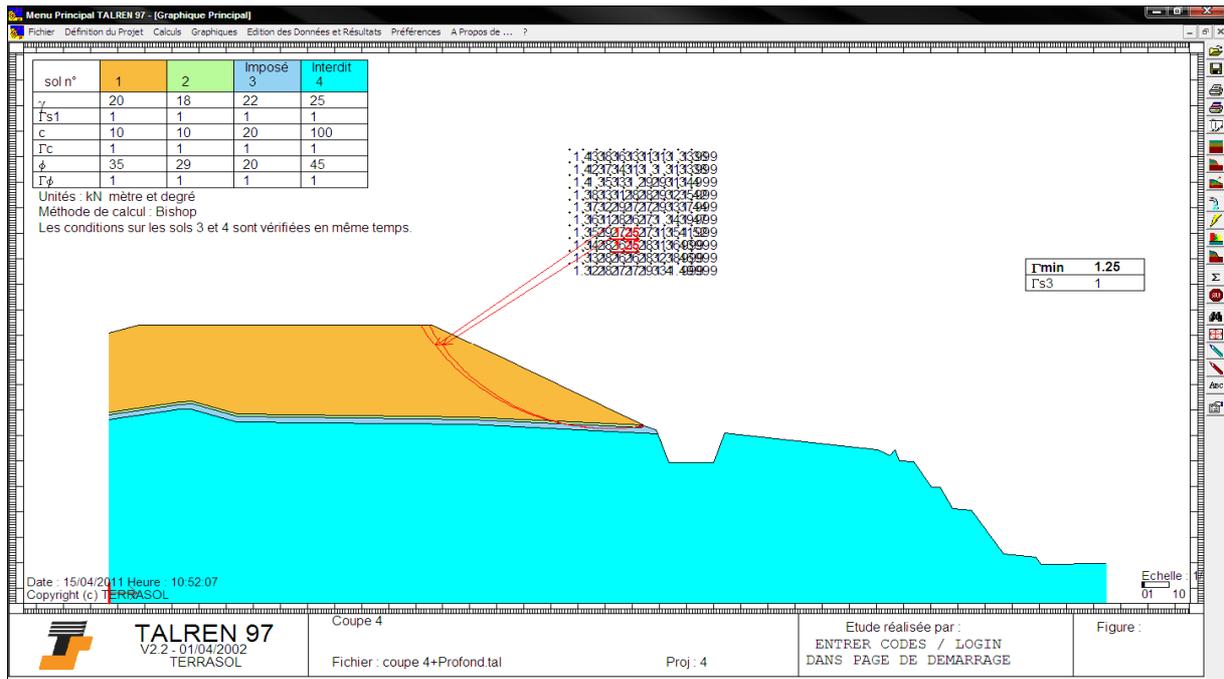


Figure n° 1 : Rupture profonde de la versé Kerroué suite à un séisme de récurrence 1/475 ans  
( $F_s = 1.25$ )

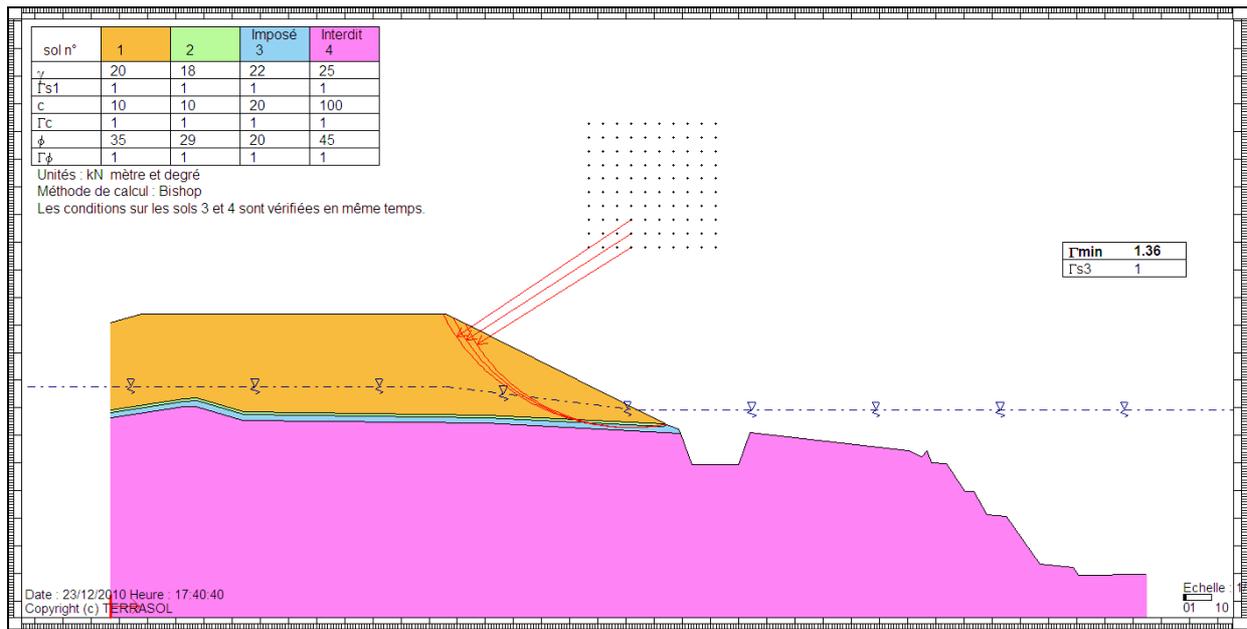


Figure n° 2 : Stabilité de la versé Kerroué suite à un colmatage des drains internes  
( $F_s = 1.36$ )

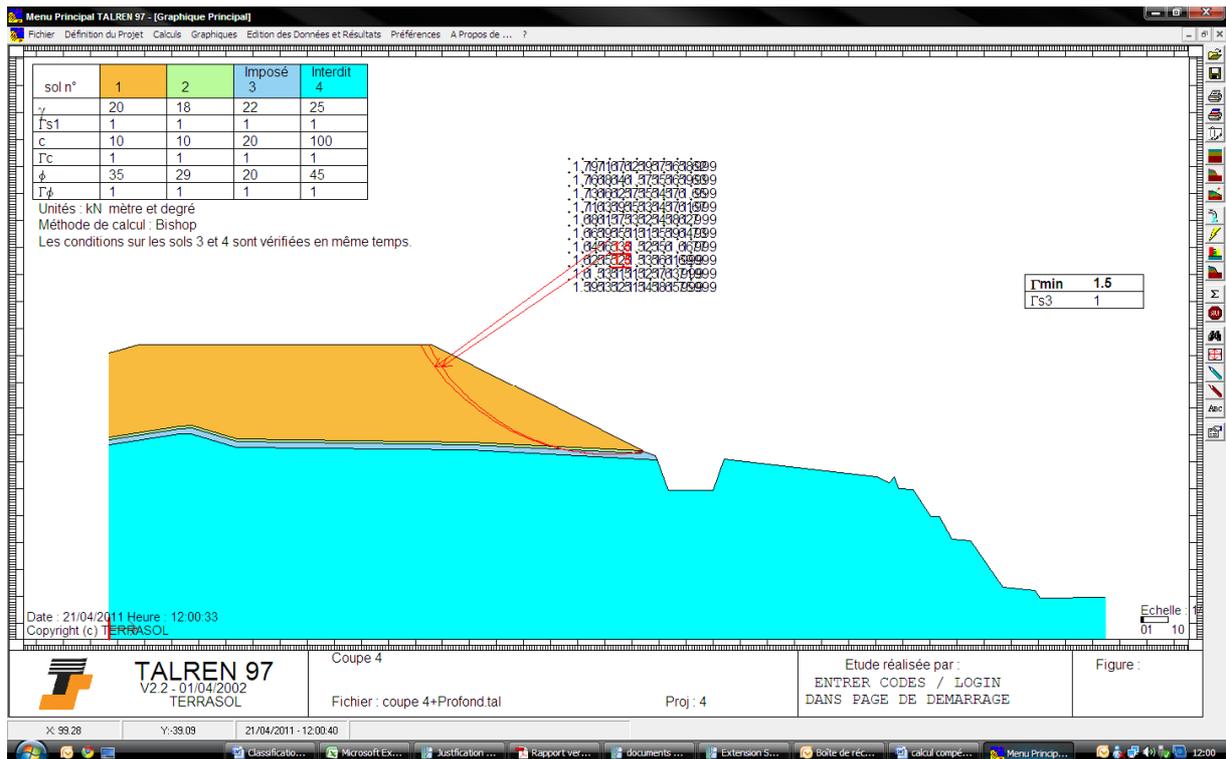


Figure n° 3 : Stabilité de la verse Kerroué en tenant compte des accélérations induites par les tirs de mine ( $a_h = 0.02$  ;  $a_v = 0.06$ ) ( $F_s = 1.5$ )

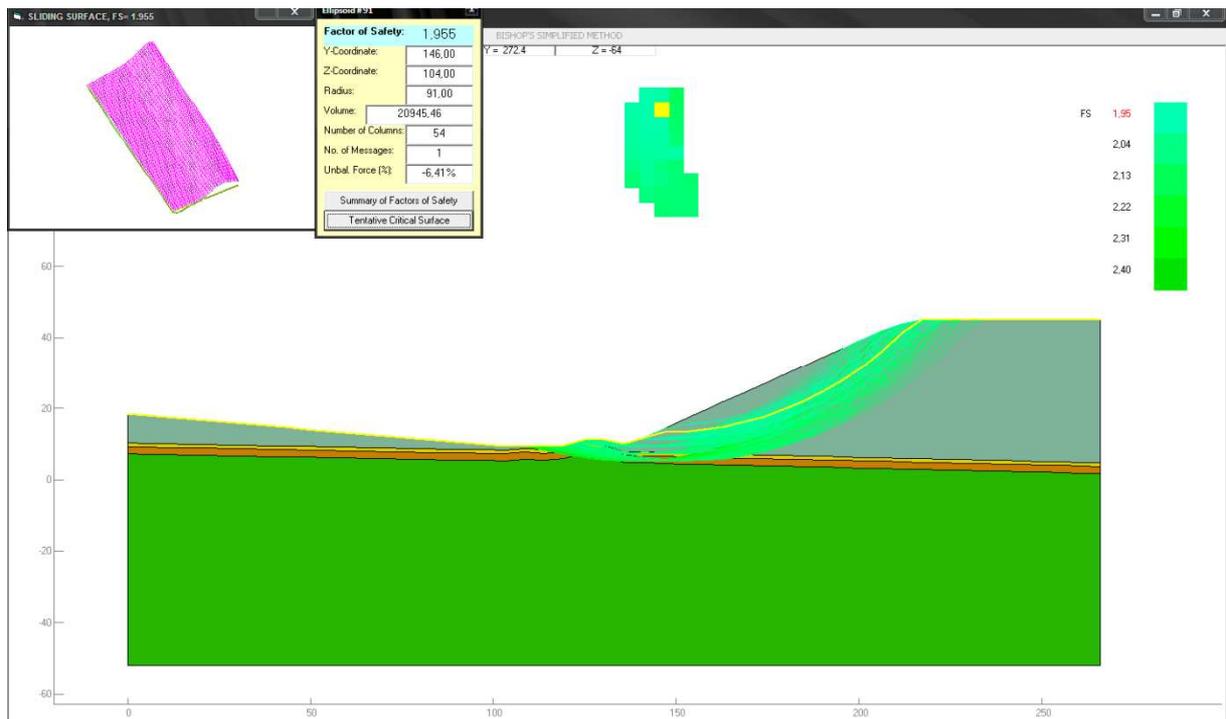


Figure n° 4 : Stabilité du flanc Ouest de la verse Kerroué (Volume instable = 21 000 m<sup>3</sup>,  $F_s = 1.95$ )

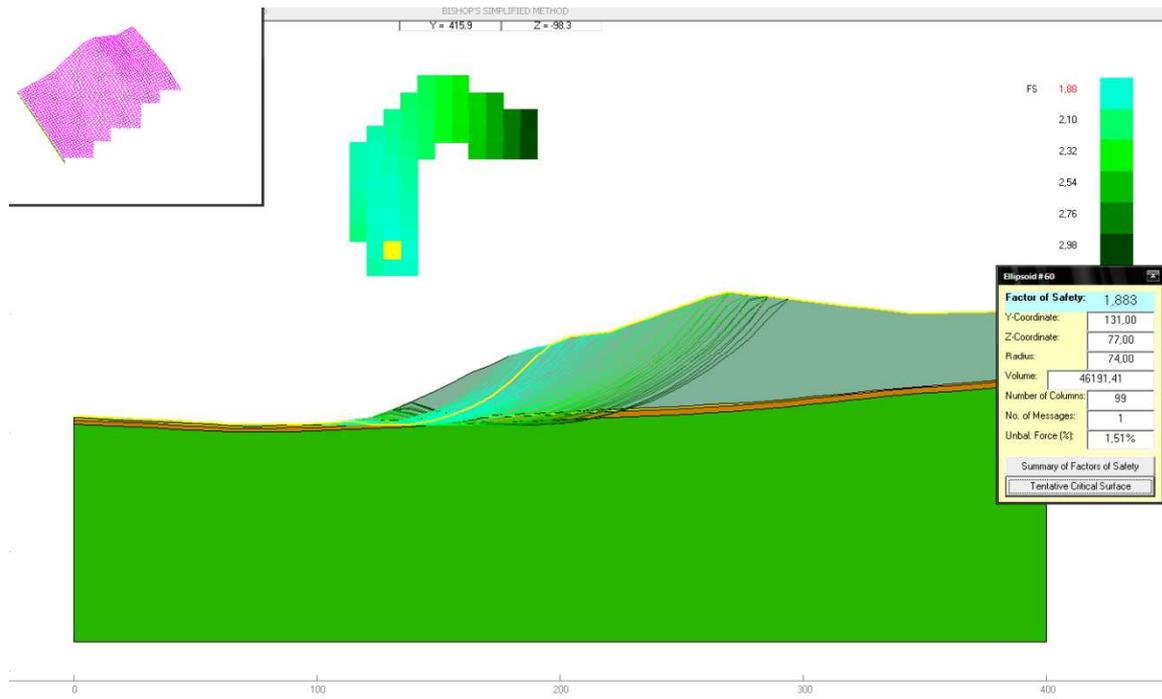


Figure n° 5 : Stabilité du flanc Est de la verse Kerroué (Volume instable = 46 000 m<sup>3</sup>, Fs = 1.88)

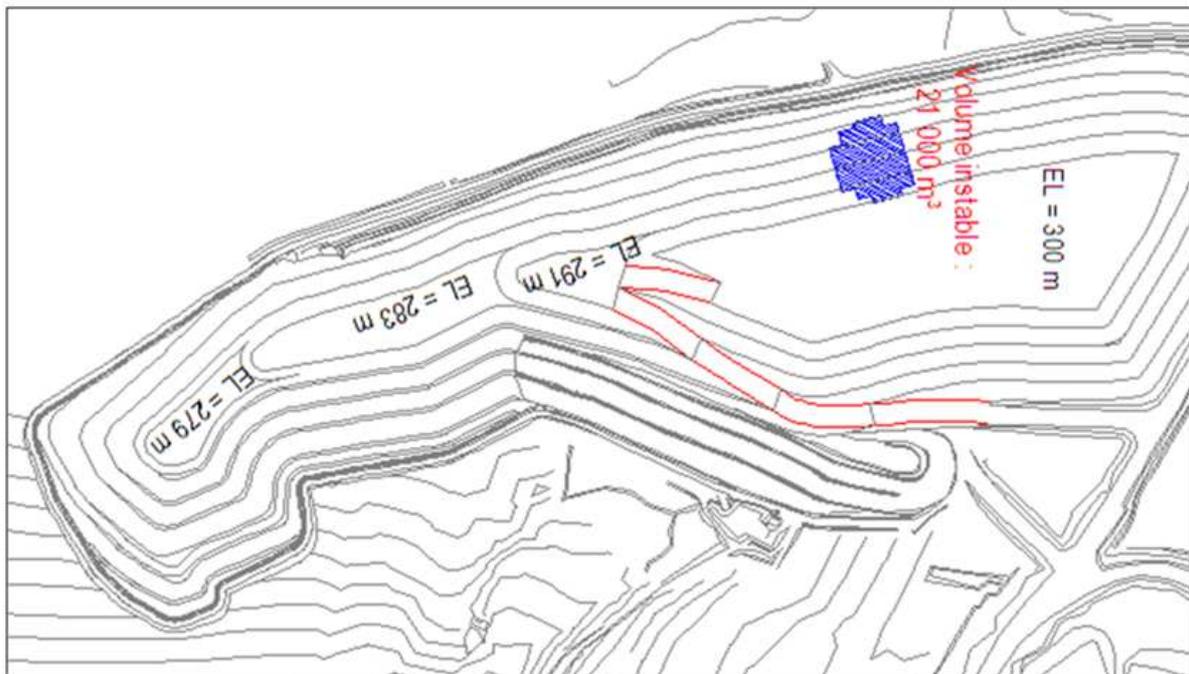


Figure n° 6 : Localisation de la zone potentielle de glissement dans le cas du talus Ouest de la verse Kerroué

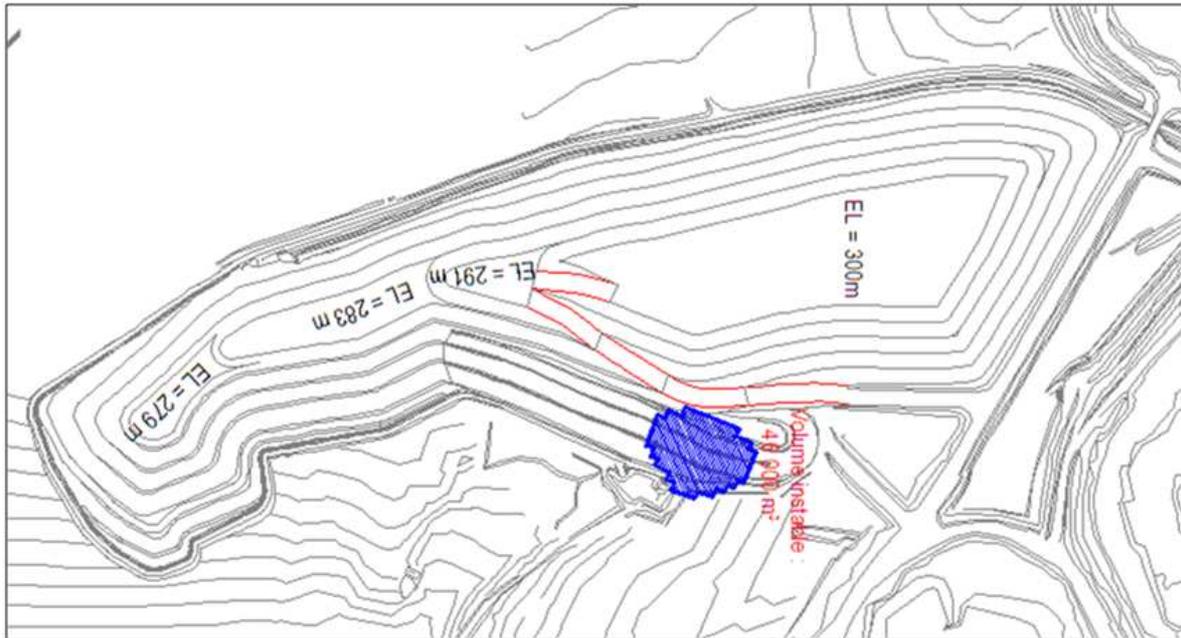


Figure n° 7 : Localisation de la zone potentielle de glissement dans le cas du talus Est de la  
verse Kerroué

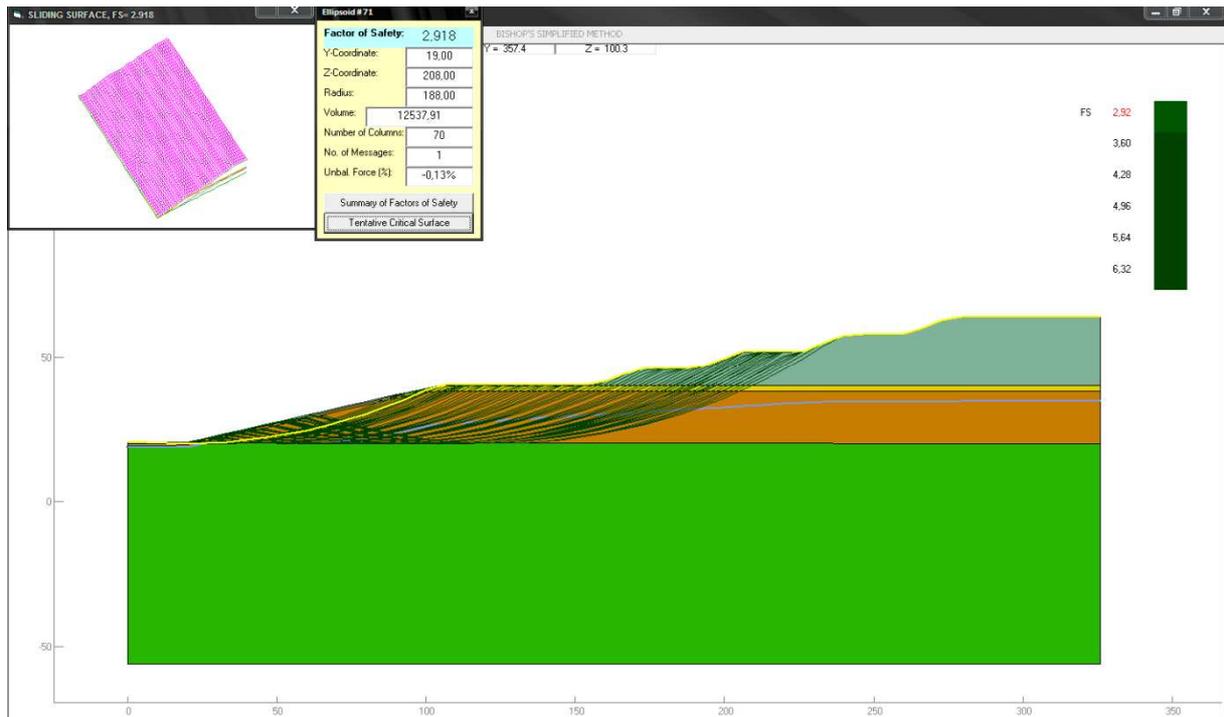


Figure n° 8 : Stabilité de l'ancienne digue à l'état actuel (Volume instable = 12 500 m<sup>3</sup>, Fs = 2.92)

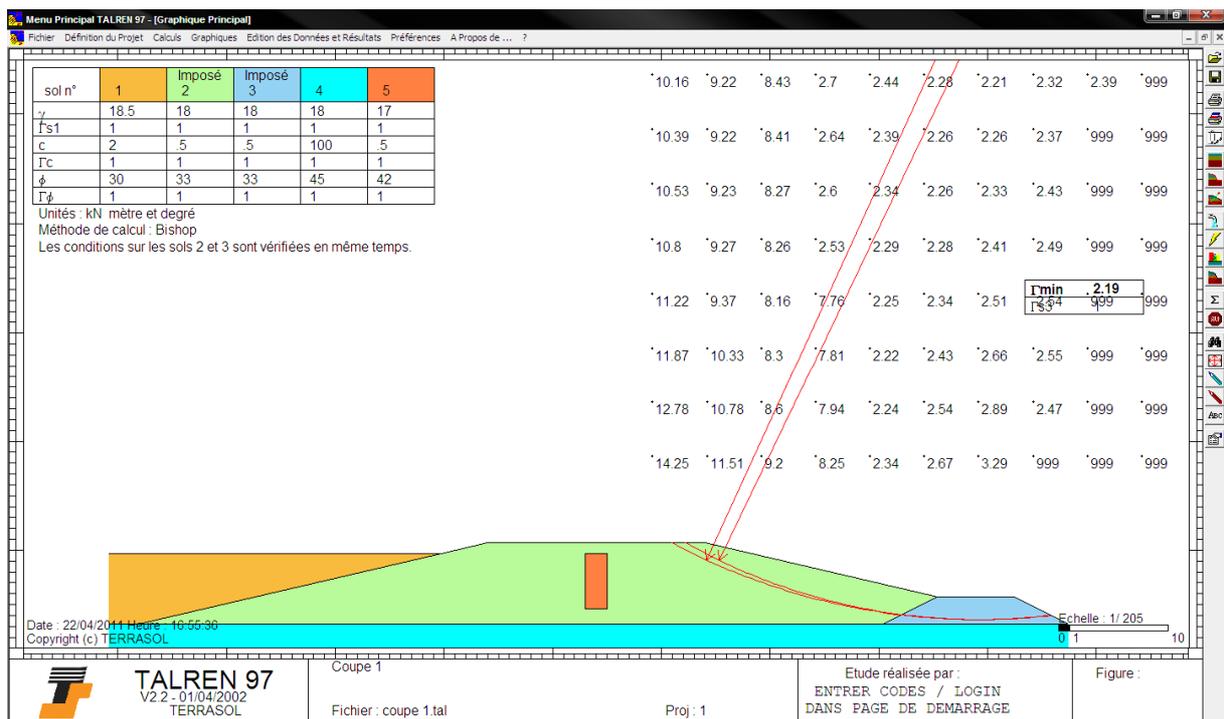


Figure n° 9 : Stabilité de l'ancienne digue suite à un séisme de récurrence 1/475 ans (Fs = 2.19)

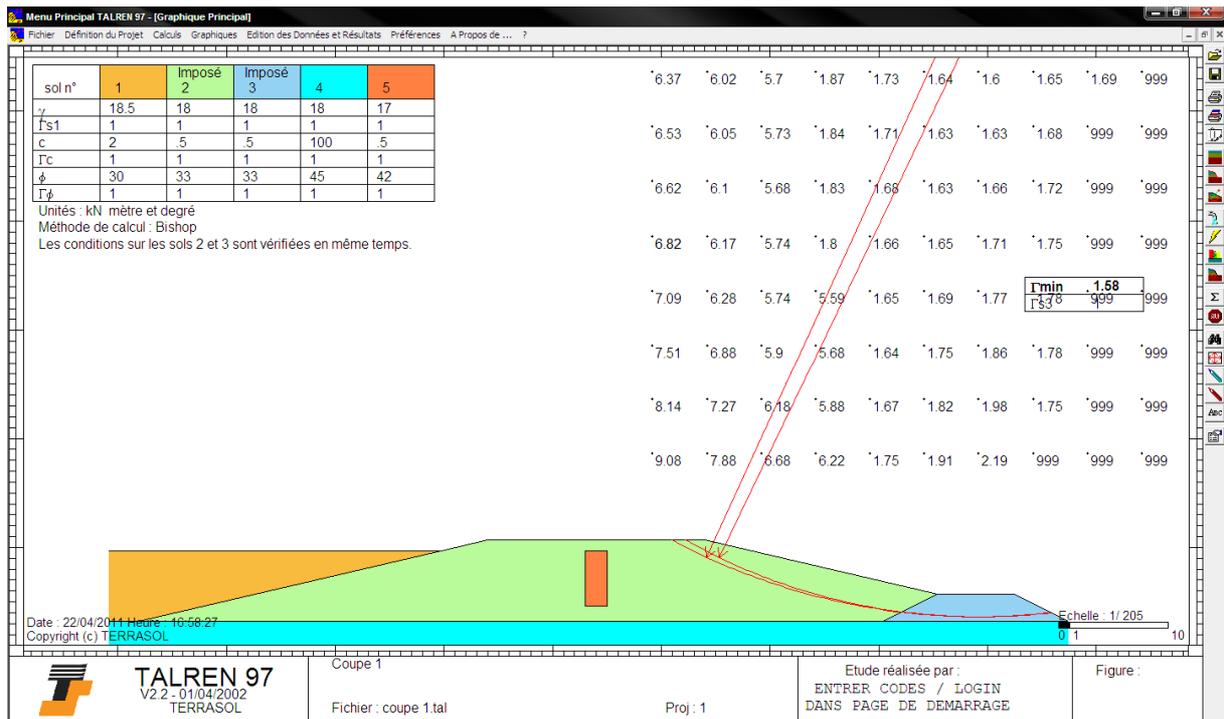


Figure n° 10 : Stabilité de l'ancienne digue suite à un séisme de récurrence 1/1000 ans ( $F_s = 1.58$ )

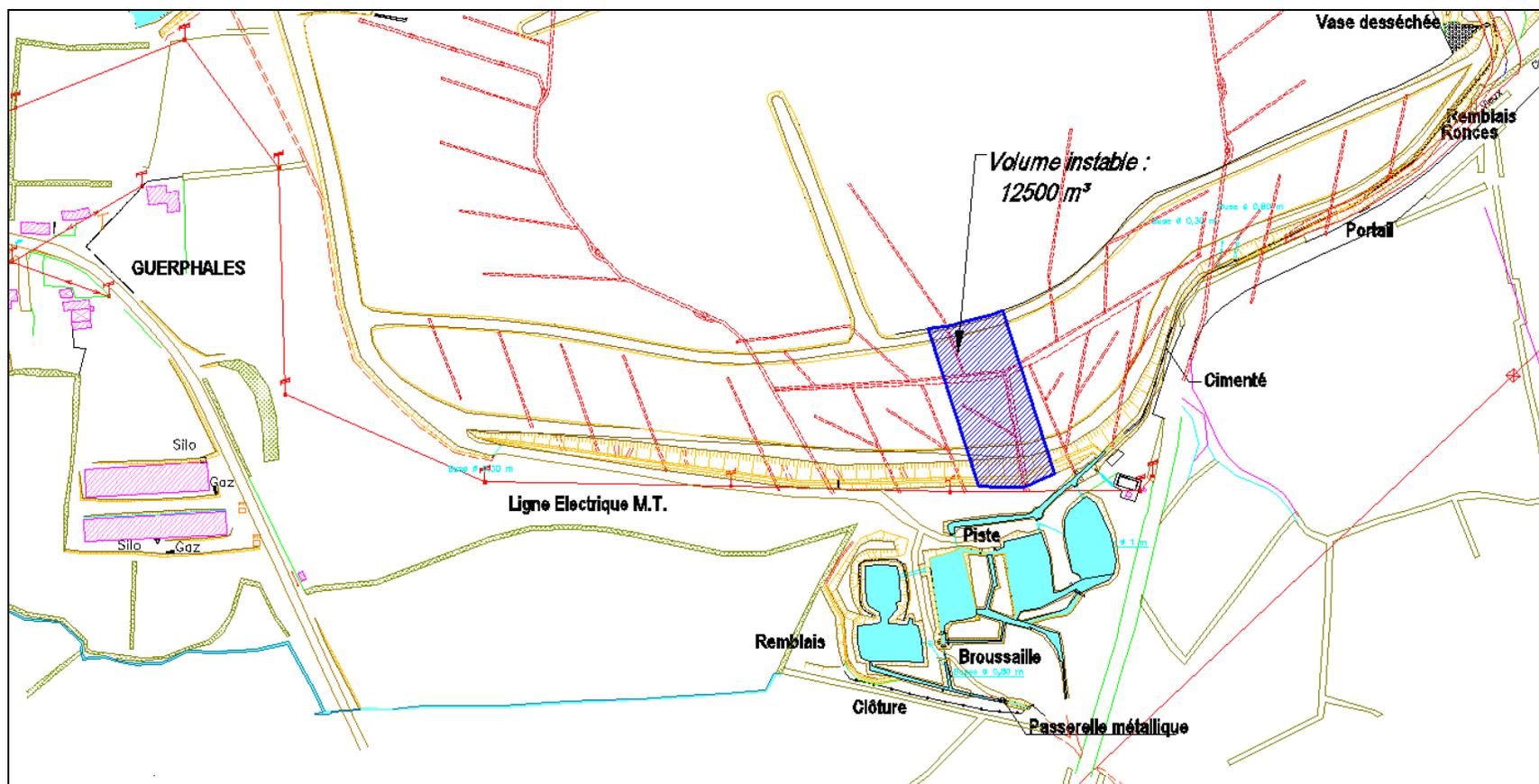


Figure n° 11 : Localisation de la zone potentielle de glissement affectant le talus de l'ancienne Digue

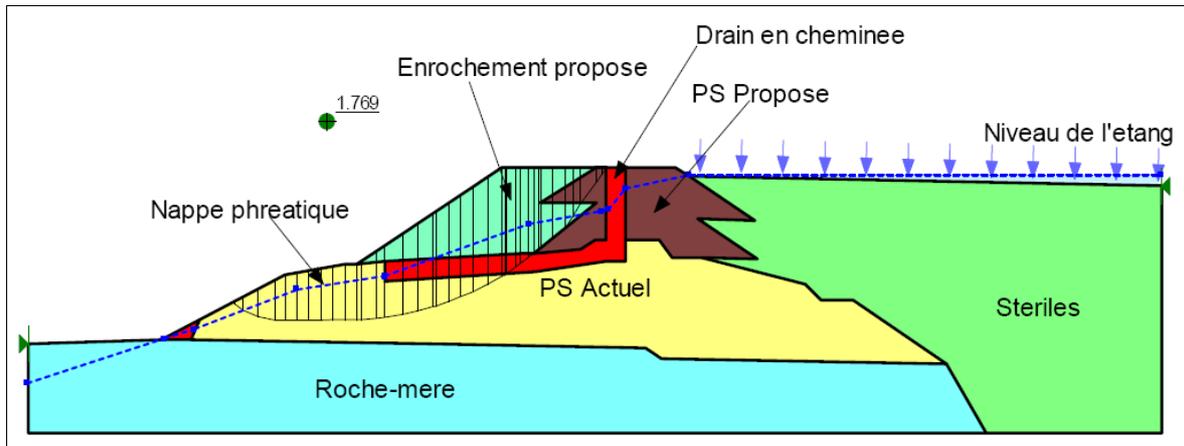


Figure n° 12 : Stabilité à long terme du barrage interfosse ( $F_s = 1.769$ )

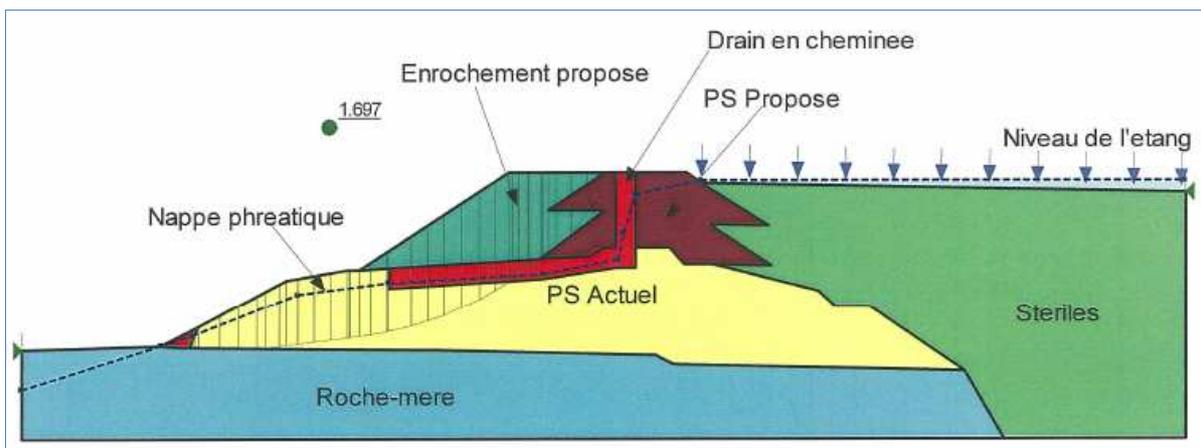


Figure n° 13 : Stabilité à long terme du barrage interfosse en tenant compte des accélérations induites par les tirs de mine ( $a_h = 0.02$  ;  $a_v = 0.06$ )  $F_s = 1.697$

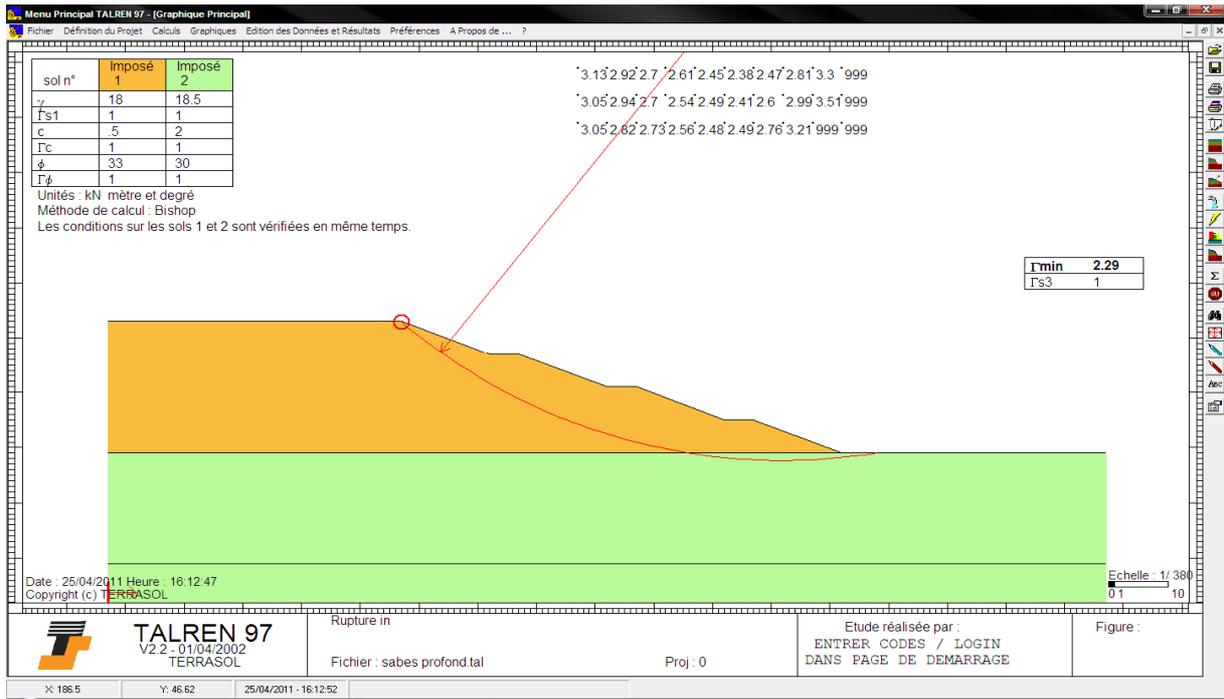


Figure n° 14 : Rupture peu profonde de la verse Sabès ( $F_s = 2.29$ )

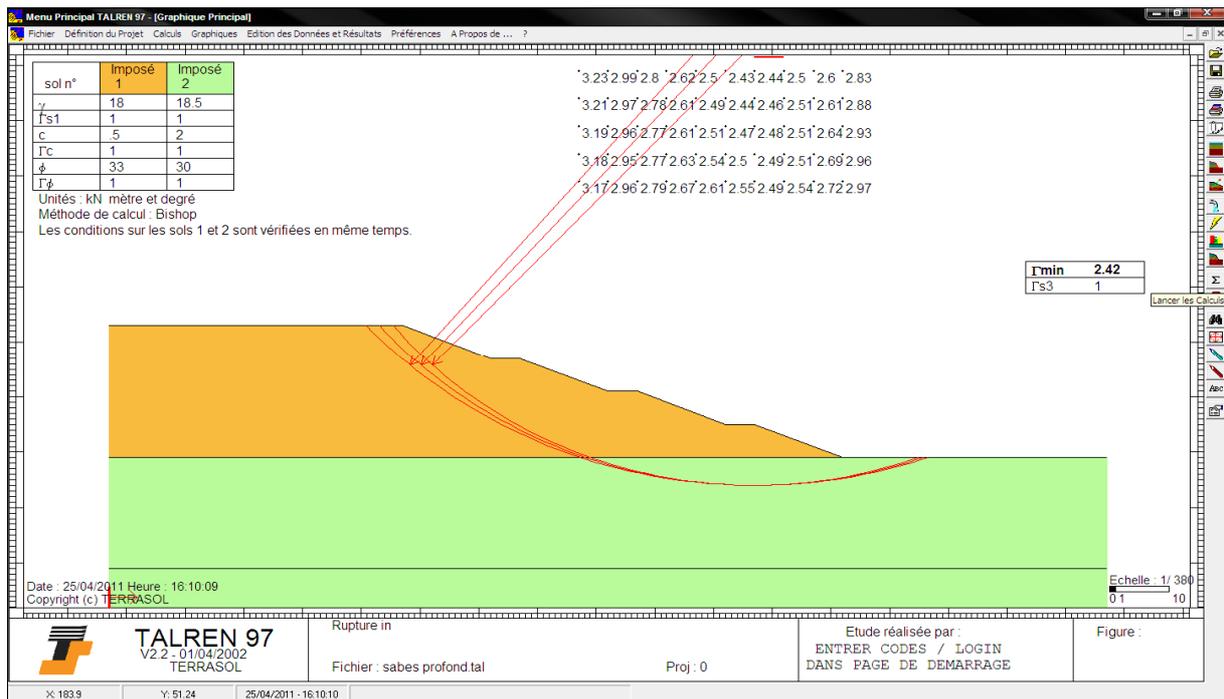


Figure n° 15 : Rupture profonde de la verse Sabès ( $F_s = 2.42$ )

## **ANNEXE 2 : Résultats LAD22 tous les échantillons**

---

### **ANNEXE 3 : Résultats BRGM soufre Kerroué**

---

**ANNEXE 4 : Protocole et résultats test ABA\_GLOMEL**

---

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 correspond 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
		<i>Si 2 &lt; pH &lt; 2,5 : titrer la solution avec NaOH à un pH=8,3</i>								
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 <sup>+</sup> , 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 (V <sub>A</sub> ,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 (V <sub>A</sub> , 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 5 : Résultats des essais de lixiviation**

---





# flandres-analyses

10, Couri des Moulins - B.P. 3158 - 59377 Dunkerque Cedex 1  
 Tél. 03 28 65 88 88 - Fax 03 28 63 91 08 - E-mail : contact@flandres-analyses.fr  
 www.flandres-analyses.fr



Appré par :

Le Ministère de l'Environnement pour l'analyse des eaux (jusqu'à 1,7, 3 et 5)  
 Le Ministère de l'Énergie et du Développement du Nord et de la Mer (jusqu'à 100)  
 Le Parc Naturel de la Région de l'Artois, et les parcs de la Région de l'Artois  
 pour la qualité de l'eau  
 Le Ministère de l'Énergie pour les analyses des eaux  
 Le Ministère de l'Énergie pour la mesure de l'eau



Vos Ref :

Le 29/01/2007

Nos Ref : 2007.01.15402

## RAPPORT D'ANALYSES

Date de réception : 18/01/2007 à 08:30

Préleveur : 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		18,8
CONDUCTIVITE	µS/cm	NF EN 27888	172
T° de la mesure de conductivité	°C		18,8
FER (ICP)	%	NF EN ISO 11885	< 0,00002
ALUMINIUM (ICP)	%	NF EN ISO 11885	< 0,00002
CALCIUM	%	NF EN ISO 7990	0,010
SODIUM	%	NFT 90 020	0,002
POTASSIUM	%	NFT 90 020	0,003
MAGNESIUM	%	AA Flamme	0,095
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 24H00		NF EN 12457-2	220/07

J. BARDEL, P.Q.

P. SADYS, Chef de laboratoire



## **ANNEXE 3 :**

# **DETERMINATION DU POTENTIEL DE NEUTRALISATION**

---



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			

### **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 **Mw** correspondant à  $2,00 \text{ g} \pm 0,10 \text{ g}$  de masse sèche (Md) dans un récipient ou un flacon d'essai. Enregistrer le poids exact de l'échantillon.  
(Md=2,00 +/- 0,10g).

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			

#### **Mode opératoire d'essai**

1. Ajouter 90mL +/- 5mL d'eau déminéralisée, noter **Veau démin**
2. Agiter pendant 15 min +/- 5 min. Maintenir température à  $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  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)**  
**Si pH<2 : refaire test en remontant d'une ligne dans le tableau 1**
7. *Si VA,t=22h < 50% VA total* : poursuivre l'essai (VA total = VA,t=0 + VA,t=2h + VA,t=22h)  
*Si VA,t=22h > 50% VA total* : **STOP !** Refaire essai avec (VA, t=0 + VA,t=2h) max < VA total utilisé dans cet essai, dans tableau 1

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			

**Tableau A.2 —fiche de résultats**

**SERIE II : Numéro de ligne 2 (tableau 1) qui correspond 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 CO3-C = 0,3-0,6**

Paramètre	Unité	Code de l'échantillon								
		F1			SABES			KERROUE		
		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		5.80	5.82	5.83	6.72	6.97	6.96	6.26	6.16	6.20
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		2,19 1	2,24 3	2,23 5	2,25 7	2,18 9	2,18 3	2,24 2	2,18 6	2,22 6
<i>Si 2 &lt; pH &lt; 2,5 : titrer la solution avec NaOH à un pH=8,3</i>										
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 (CaCO3,kg/t)		17,42	16,01	17,38	16,00	17,40	16,00	16,00	16,00	16,00
Non générateur d'acide: NNP (CaCO3/t) > 20 Zone grise : -20 kg < NNP (CaCO3/t) < 20 kg <b>générateur d'acide NNP (CaCO3/t) &lt; 20 kg</b>										

**Tableau A.3 —fiche de résultats**

**SERIE III : Numéro de ligne 3 (tableau 1) qui correspond 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 CO3-C = 0,6-0,9**

Paramètre	Unité	Code de l'échantillon
-----------	-------	-----------------------

5

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			

		F1			SABES			KERROUE		
		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	1	1	1	1	1	1	1	1	1
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		1,71 3	1,53 4	1,68 3	1,56	1,71 8	1,56	1,73 8	1,72 5	1,54 5
Volume de HCl ajouté à t = 22 h (VA, t=22h)	ml	Essai a été refusé : pH < 2 à t=22h <i>Si pH &lt; 2 : refaire test en remontant d'une ligne dans le tableau 1</i>								

**Tableau A.4 - Analyse chimique**

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

**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
F1	0,67	0,42	20,94	1,25
SABES	1,12	0,70	35,00	2,10
KERROUE	1,29	0,81	40,31	2,41

Inna V. Filippova  
Ph.D , Docteur de l'INPL

6