

# Carrière de Guerphalès

Commune de Glomel

Département des Côtes d'Armor (22)

## Plan de Gestion des Déchets d'Extraction provenant de la fosse 3 et stockés sur les verses Ouest et de Kerroué

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)

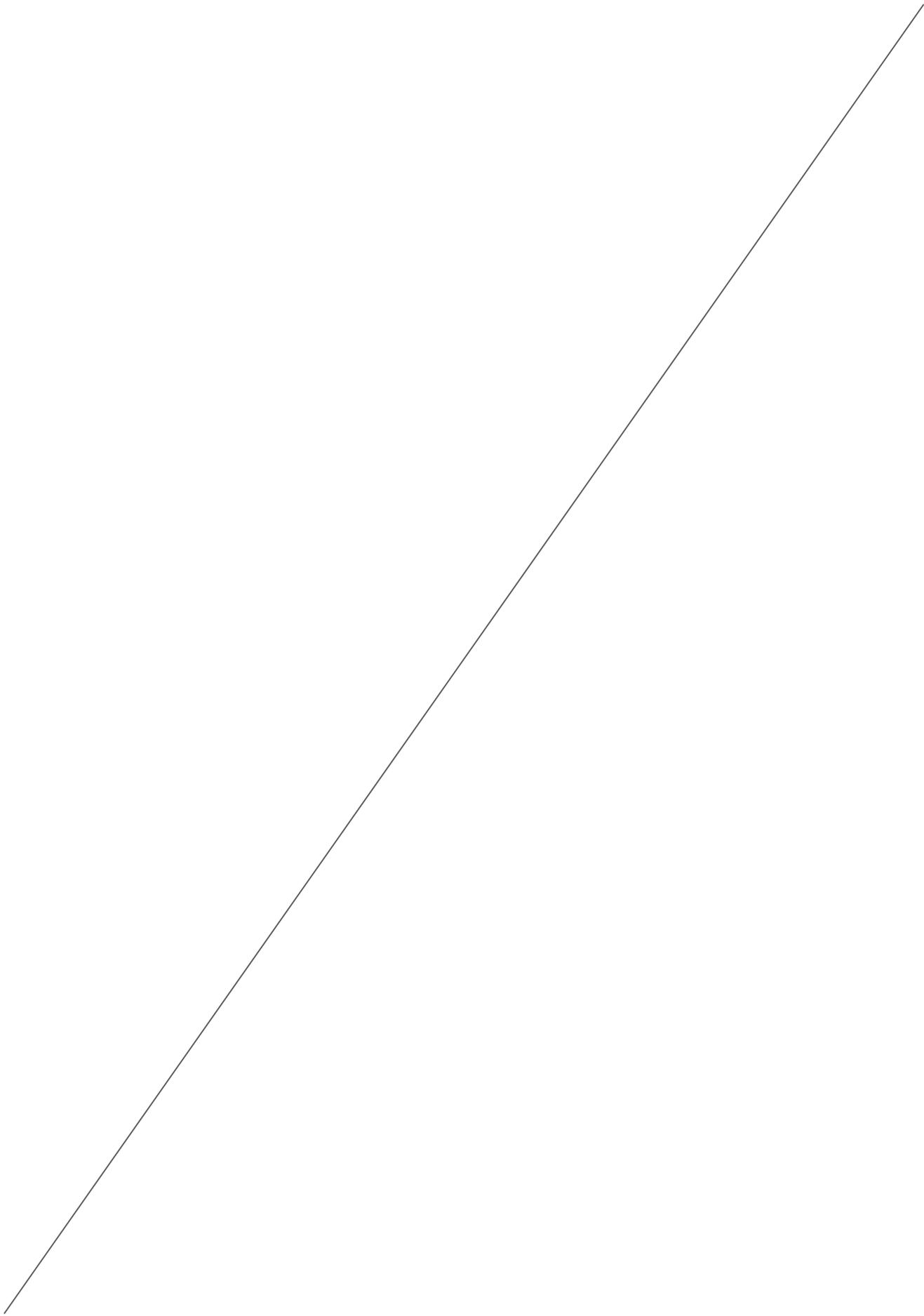
Version n°1 – Septembre 2018

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 .....	7
I.3. Comportement géotechnique des déchets .....	8
I.4. Caractéristiques et comportements géochimiques.....	8
I.5. Classification des déchets .....	10
I.6. Description des substances chimiques utilisées .....	10
I.7. Mode de stockage .....	11
I.8. Système de transport.....	11
<b>II. PLAN DE GESTION DES DECHETS .....</b>	<b>13</b>
II.1. Procédure d'échantillonnage .....	13
II.2. Caractérisation des déchets .....	13
II.3. Estimation des quantités de déchets .....	13
II.4. Description des modes de génération des déchets .....	14
II.5. Analyse des solutions pour la gestion des déchets .....	14
II.6. Lieu d'implantation envisagé et autres lieux possibles.....	15
II.7. Analyses des risques .....	15
II.8. Description des mesures techniques et d'organisation propres à réduire les phénomènes dangereux..	16
II.9. Mesures de prévention de la détérioration de la qualité de l'eau .....	17
II.10. Etude de l'état du terrain susceptible de subir des dommages.....	17
II.11. Procédure de contrôle .....	17
II.12. Etude géologique, hydrologique et hydrogéologique .....	18
II.13. Bilan hydrique .....	18
II.14. Plan concernant la fermeture, la remise en état et les procédures de suivi.....	19
<b>III. CONCLUSIONS.....</b>	<b>21</b>

# ANNEXES

---

Annexe 1 : Bulletins d'analyse des stériles de carrière .....	23
Annexe 2 : Etude géotechnique MECATER (2011) .....	25

# 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 provenant de la fosse 3 et stockés sur la verse de Kerroué en vigueur (réf. GMa/5161d – version de janvier 2011).**

# 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 déchets d'extraction du site de Guerphalès sont donc constitués par des blocs de schistes à andalousite dont les analyses chimiques ont montré qu'ils ne présentaient pas les caractéristiques suffisantes pour une utilisation industrielle ou pour un traitement économique de ces blocs.

Il s'agit de blocs n'ayant subi aucune transformation, dénommés ci-après « stériles de carrière ».

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

### ➤ CARACTERISTIQUES PHYSIQUES

Les stériles de carrière sont produits par les tirs de mines nécessaires à l'abattage du massif rocheux.

Ils sont composés essentiellement de blocs de dimensions variables, pouvant dépasser le mètre, sachant que la proportion de fine est très restreinte.

### ➤ CARACTERISTIQUES CHIMIQUES

Les minéraux suivants ont été identifiés par diffractométrie X dans la roche brute (schistes) :

Nom	Formule
Quartz	SiO <sub>2</sub>
Andalousite	AlSi <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Muscovite	KAl <sub>2</sub> [Si <sub>3</sub> AlO <sub>10</sub> (OH,F) <sub>2</sub> ]
Biotite	K(Mg,Fe) <sub>3</sub> [Si <sup>3</sup> AlO <sub>10</sub> (OH, F) <sub>2</sub> ]
Chlorite	(Mg,Fe) <sub>3</sub> Mg[(Si, Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> ](OH) <sub>6</sub>
Feldspaths	(Na,K)[Si <sub>3</sub> AlO <sub>8</sub> ]
Pyrite	FeS <sub>2</sub>

Outre ces principaux minéraux, les stériles de carrière renferment parfois de la kaolinite, des interstratifiés, de la sidérite et de la goethite (minéraux « accessoires »).

Exposés aux agents atmosphériques (oxygène de l'air et eaux météoriques), certains des minéraux constitutifs des stériles de carrière (et de la roche brute) sont susceptibles de s'altérer :

- les feldspaths vont évoluer vers des micas (séricites) et des argiles (illites),
- les biotites (micas) vont évoluer en chlorites.

Ces phénomènes d'altération des minéraux sont extrêmement lents à l'échelle des temps géologiques et concernent par conséquent sur la carrière de Guerphalès uniquement la surface externe des blocs.

A contrario, le quartz et l'andalousite restent stables.

Les pyrites (FeS<sub>2</sub>) en contact avec l'oxygène de l'air (O<sub>2</sub>) vont s'altérer rapidement en hydroxydes de fer (Fe(OH)<sub>3</sub>) avec création d'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) lors du lessivage par les eaux de pluie (H<sub>2</sub>O) :



Le déclenchement de cette réaction peut se faire en quelques mois ou quelques années. La réaction peut être accélérée par des micro-organismes (phénomène de catalyse).

### **I.3. COMPORTEMENT GEOTECHNIQUE DES DECHETS**

Les stériles de la carrière de Guerphalès sont composés de blocs rocheux, non compressibles et non gonflants au même titre que n'importe quel bloc rocheux « banal ».

Leurs caractéristiques mécaniques ne permettent pas de les utiliser en granulats routiers pour des raisons géotechniques (dureté insuffisante, faible résistance à l'attrition), l'induration engendrée par le métamorphisme (transformation des schistes alumineux en cornéennes) étant insuffisante.

### **I.4. CARACTERISTIQUES ET COMPORTEMENTS GEOCHIMIQUES**

#### **➤ ELEMENTS MAJEURS**

Les éléments majeurs des cornéennes exploitées sur la carrière de Guerphalès sont ceux définis dans la composition des principaux minéraux cités précédemment, à savoir Si, Al, Fe, K, Na, Mg, S et Mn. Il s'agit des éléments majeurs constitutifs des différentes roches de la région (Massif armoricain).

#### **➤ ELEMENTS TRACES METALLIQUES - ETM**

Ces minéraux contiennent également des Eléments Traces Métalliques (ETM) qui sont susceptibles d'être lessivés par les eaux météoriques. Pour cette raison, la société IRMG a fait analyser en 2010 par LABOCEA (ex LDA 22) les teneurs (sur brut) en ETM des stériles de la carrière de Guerphalès.

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

Paramètre	Unité	Teneurs sur sec	Teneurs sur brut
Humidité	%	0,2	-
Matière sèche		99,8	-
Arsenic (As)	mg/kg MS	15	15
Cadmium (Cd)		< 0,5	< 0,5
Chrome (Cr)		84	84
Cobalt (Co)		24	24
Cuivre (Cu)		45	45
Mercure (Hg)		< 0,02	< 0,02
Molybdène (Mo)		< 0,5	< 0,5
Nickel (Ni)		58	58
Plomb (Pb)		21	21
Sélénium (Se)		< 3	< 2,99
Zinc (Zn)		110	110

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) :

<b>Teneurs totales en élément traces dans les sols (France)</b>			
<b>Gamme de valeurs « ordinaires » et d'anomalies naturelles</b>			
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.			
	<b>gamme de valeurs couramment observées dans les sols</b> <b>"ordinaires" de toutes granulométries</b>	<b>gamme de valeurs observées dans le cas d'anomalies naturelles modérées</b>	<b>gamme de valeurs observées dans le cas de fortes anomalies naturelles</b>
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 :

- les teneurs des stériles de la carrière de Guerphalès en As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb et Se sont considérées comme « couramment observées » dans les sols « ordinaires »,
- les teneurs des stériles en Co, Cu et Zn correspondent à des teneurs observées dans le cas d' « anomalies naturelles modérées ».

Un test de lixiviation a été réalisé en décembre 2010 sur un échantillon de stériles bruts broyés afin de renseigner l'impact potentiel d'un éventuel lessivage de ces stériles par les eaux pluviales.

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 :

❖ **Remarque :**

La norme du test de lixiviation NF EN 12457-2 stipule que le test doit être réalisé sur des matériaux présentant une granularité inférieure à 4 mm, et ce même s'il ne s'agit pas de la granulométrie naturelle des matériaux testés. C'est pourquoi les stériles de la carrière de Guerphalès ont été préalablement broyés pour la réalisation du test.

Ce broyage augmentant la surface spécifique de contact eau / matériaux, les résultats des analyses de lixiviation sont majorants par rapport au lessivage réel des stériles stockés en verses à Glomel (matériaux à 80 % supérieurs à 500 mm).

Stériles de la carrière de Guerphalès			
Paramètre	Unité	Teneurs sur éluat	Seuils annexe II de l'AM du 12/12/2014
Arsenic (As)	mg/kg MS	< 0,05	0,5
Baryum (Ba)		0,39	20
Cadmium (Cd)		< 0,005	0,04
Chrome (Cr)		< 0,05	0,5
Cuivre (Cu)		0,58	2
Molybdène (Mo)		< 0,05	0,5
Nickel (Ni)		3,3	0,4
Plomb (Pb)		< 0,05	0,5
Antimoine (Sb)		< 0,05	0,06
Sélénium (Se)		< 0,05	0,1
Zinc (Zn)		8,1	4

De l'analyse comparative, il ressort que les teneurs sur éluat obtenues par test de lixiviation pour les ETM nickel et zinc sont au-dessus des seuils définis à l'annexe II de l'Arrêté du 12 décembre 2014.

### ➤ **ACIDITE ET POTENTIEL DE NEUTRALISATION**

La teneur en sulfures des stériles de la carrière de Guerphalès a été déterminée par le BRGM sur les matériaux bruts à 1,46 % (en masse).

Ce taux de sulfure étant supérieur à 1 %, la société IRMG a missionné le Laboratoire Environnement et Minéralurgie de Nancy pour déterminer le potentiel de neutralisation NPR des matériaux.

**Le potentiel de neutralisation NPR obtenu (0,1) étant inférieur à 3, les stériles de la carrière de Guerphalès ne peuvent être considérés comme inertes, conformément à l'article 3 de l'Arrêté Ministériel du 19 avril 2010.**

**En pratique, l'oxydation des sulfures par les eaux météoriques génère sur la carrière de Guerphalès des eaux acides (pH ≈ 3) qui nécessitent d'être neutralisées avant d'être rejetées au milieu naturel (ruisseau de Kergroaz, affluent du ruisseau du Crazius).**

## **I.5. CLASSIFICATION DES DECHETS**

Selon l'annexe II de l'article R541-8 du Code de l'Environnement, les stériles de la carrière de Guerphalès peuvent être classés sous le code 01 01 02 « Déchets provenant de l'extraction des minéraux non métallifères ».

## **I.6. DESCRIPTION DES SUBSTANCES CHIMIQUES UTILISEES**

Les stériles de la carrière de Guerphalès sont stockés en l'état, après réalisation des tirs de mines. Par conséquent, ils ne subissent aucun traitement et aucune substance chimique n'est utilisée.

## **I.7. MODE DE STOCKAGE**

Les stériles de la carrière de Guerphalès sont stockés en verse selon le principe suivant :

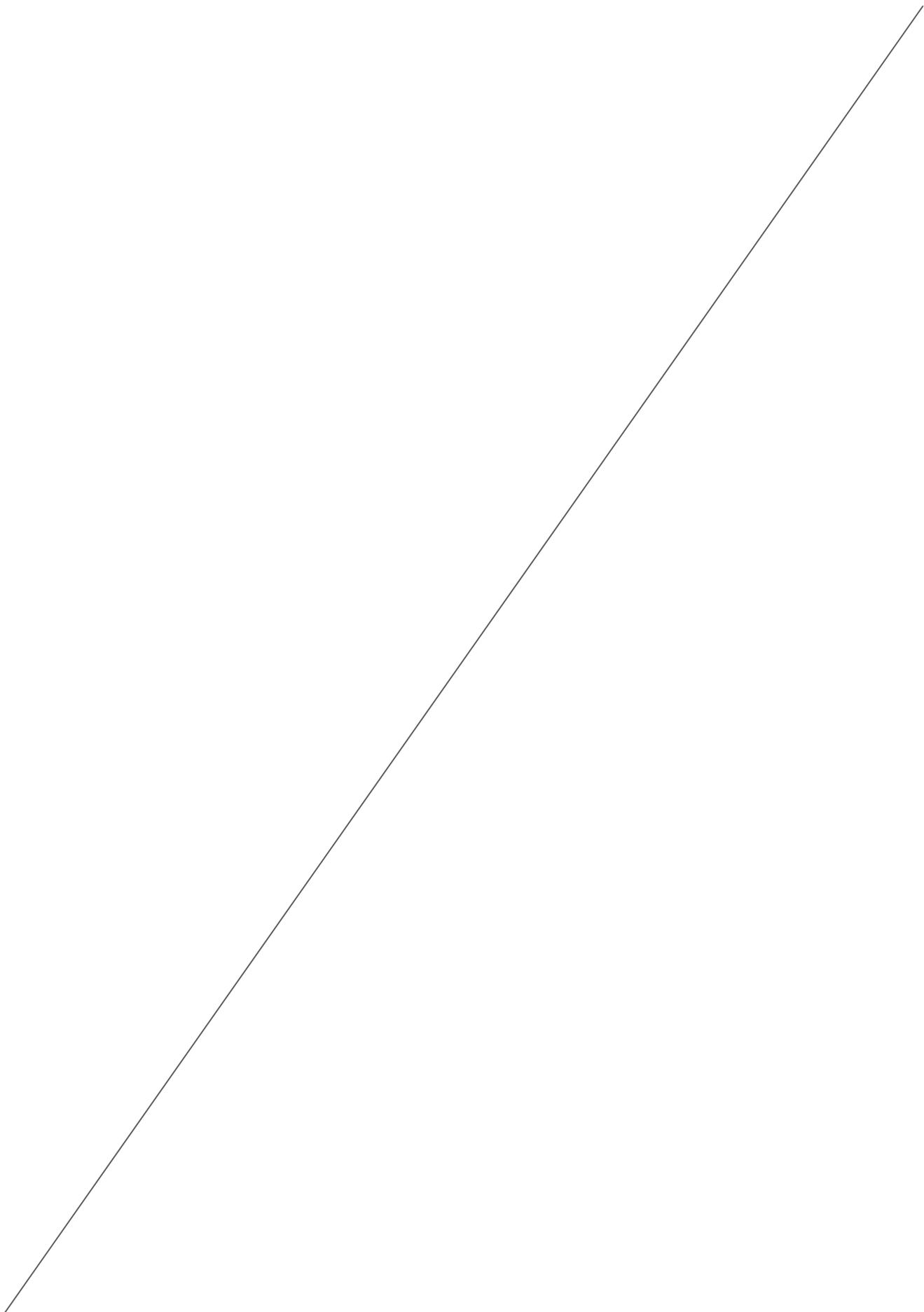
- mise en place d'un drain sous la verse (matériaux grossiers),
- mise en place d'une couche d'étanchéité en PS (fines de dépoussiérage produites sur le site dont la perméabilité après mise en place est inférieure à  $10^{-8}$  m/s),
- mise en place d'un drain afin de récupérer les eaux pluviales percolant dans les stériles,
- dépôt des stériles sur la verse par couches successives de 10 mètres d'épaisseur, la pente extérieure des stériles étant de l'ordre de  $26^\circ$  sur l'horizontale,
- entre chaque couche de 10 mètres d'épaisseur, un redan plat de 2 mètres est conservé pour permettre un recueil des eaux de ruissellement (après couverture),
- dès qu'une partie de la verse est arrivée au stade final, elle est recouverte d'une couche d'étanchéité, puis de 0,15 m de terre végétale et végétalisée,
- les eaux de percolation sont récupérées dans un bassin dédié aménagé en pied de verse, d'où elles sont redirigées par pompage vers le circuit de traitement des eaux d'exhaure,
- les eaux de ruissellement reçues sur les espaces annexes, qui n'ont pas été en contact avec les stériles, rejoignent directement le milieu naturel.

A noter qu'en terme minier, ces stockages sont appelés « verse » bien que les stériles de carrière soient mis en place par couches successives et non pas déversés sur une pente.

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

Les blocs rocheux résultant des tirs de mines qui ne présentent pas des teneurs suffisantes en andalousites seront transportés par tombereau depuis la fosse d'extraction (fosse 3) :

- durant la phase 1 (période 2018-2023) sur les verses Ouest et de Kerroué,
- durant les phases 2 et 3 (période 2023-2033) sur la verse Ouest uniquement.



## II. PLAN DE GESTION DES DECHETS

### II.1. PROCEDURE D'ECHANTILLONNAGE

Afin de caractériser les stériles de la carrière de Guerphalès, plusieurs échantillons ont été prélevés par la société IRMG en 2010 sur la verse de Kerroué, et ce de façon aléatoire.

Ces échantillons ont été broyés / quartés pour ensuite être fournis :

- au LABOCEA de Ploufragan (ex LDA 22) pour le test de lixiviation, à hauteur d'environ 2 kg,
- au BRMG pour la détermination du taux de sulfures, à hauteur d'environ 100 g.

Les quantités fournies sont largement supérieures au besoin des analyses.

### II.2. CARACTERISATION DES DECHETS

La caractérisation des stériles de 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 les stériles de la carrière de Guerphalès sont non inertes.

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

Conformément au phasage d'exploitation prévisionnel établi (annexes 2 à 4 de l'Arrêté Préfectoral d'autorisation IRMG du 3 août 2018), les stériles de carrière produits par l'exploitation de la fosse 3 seront stockés sur les verses Ouest et de Kerroué.

Les caractéristiques de ces verses sont les suivantes :

Caractéristique	Verse de Kerroué	Verse Ouest
Dimensions et cotes		
Superficie totale de la verse	19,8 ha	9,5 ha
Côte du terrain naturel	Entre 231 et 244 m NGF	Entre
Côte maximale de stockage	300 m NGF	
Volumes stockés		
Volume moyen annuel stocké	148 000 m <sup>3</sup> /an	
Volume total stocké sur la verse	≈ 4 400 000 m <sup>3</sup>	≈ 1 500 000 m <sup>3</sup>

❖ **Remarque :**

*L'ancienne verse de « Roscoat » (9,4 ha) située au Nord de la fosse 2 est réaménagée. Elle a fait l'objet d'une procédure de mise à l'arrêt définitif et ne fait plus aujourd'hui partie du périmètre ICPE de la carrière de Guerphalès.*

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

### **➤ SONDAGES DE RECONNAISSANCE**

Dans un premier temps, les zones exploitables du site de Guerphalès sont définies par la réalisation de sondages de reconnaissance à la maille large 50 m x 50 m.

Des analyses chimiques des échantillons recueillis, préalablement broyés, permettent de différencier le futur minerai des futurs stériles.

Cette première reconnaissance sert à définir la géométrie des différentes fosses d'extraction de la carrière de Guerphalès, au sein desquelles le rapport minerai / stériles doit être économiquement viable.

### **➤ SONDAGES DE PRE-EXPLOITATION**

Après ouverture d'une fosse (fosse 3 actuellement), une campagne de sondages de pré-exploitation est réalisée afin de préciser les informations fournies par les sondages de reconnaissance.

Ces sondages se font sur une maille fine de 5 m x 5 m et des analyses sont effectuées sur les échantillons recueillis.

Cette pré-exploitation permet de choisir les zones à exploiter en fonction de la qualité de minerai nécessaire à un moment donné, afin d'assurer une alimentation optimale des 2 usines du site.

### **➤ ABATTAGE DU MINERAI**

Le massif rocheux est ensuite abattu à l'explosif, à raison de 1 à 2 tirs par semaine, sachant que des tirs de pré-découpage sont réalisés autant que de besoin pour garantir une bonne stabilité des fronts.

Les matériaux abattus (entre 5 000 et 10 000 tonnes par tir) sont ensuite repris à la chargeuse ou à la pelle hydraulique pour chargement des tombereaux.

En fonction de la qualité reconnue lors de la pré-exploitation, les matériaux sont acheminés soit :

- sur l'une des deux verses à stériles de carrière (verse Ouest ou de Kerroué),
- sur l'une des deux usines pour être traités.

Les stériles de carrière représentent entre 40 et 60 % du volume total abattu, soit entre 400 000 et 600 000 tonnes/an pour un tonnage moyen annuel de tout venant abattu de 1 000 000 tonnes.

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

### **➤ VALORISATION DES STERILES EN GRANULATS ROUTIERS**

Les stériles de carrière sont des matériaux rocheux qui, si leurs caractéristiques mécaniques le permettent, peuvent être utilisés pour la production de granulats routiers ou comme enrochement.

La possibilité de telles utilisations a évidemment été recherchée par la société IRMG pour des raisons économiques. Malheureusement, les caractéristiques géotechniques des stériles de la carrière de Guerphalès ne permettent pas ce type de valorisation (induration insuffisante).

Il est donc nécessaire de stocker les stériles de carrière sur le site même, afin de minimiser la distance lieu de production / lieu de stockage, ainsi que les coûts de transport inhérents.

## ➤ CHOIX DE LA METHODE DE STOCKAGE DES STERILES

Les verses de stockage constituant de nouveaux « reliefs » anthropiques aux impacts paysagers potentiellement importants, la société IRMG privilégie la mise en remblais de ses différents stériles.

Néanmoins, les différentes fosses du site de Guerphalès ne peuvent accueillir les stériles de carrière produits par les extractions effectuées en fosse 3 pour les raisons suivantes :

- la fosse 1, employée jusqu'en 2014 pour le stockage des stériles humides produits par les usines et des boues d'hydroxydes produits par le traitement des eaux d'exhaure, est aujourd'hui intégralement remblayée,
- la fosse 2 est employée depuis 2014 pour le stockage de ces stériles et boues,
- la fosse 3 constitue la zone d'extraction actuelle du minerai et ne peut donc pas être remblayée sans entraîner la perte d'une partie du gisement autorisé à l'extraction.

Par conséquent, la seule possibilité pour la société IRMG est le stockage en verse.

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

Les stériles produits sur la fosse 3 sont actuellement stockés sur la verse de Kerroué.

La société IRMG a choisi de ne pas étendre la verse de Kerroué vers le Sud, comme cela était initialement autorisé par l'ancien Arrêté Préfectoral du 23 août 2012, pour les raisons suivantes :

- le rehaussement de la verse aurait augmenté son impact paysager (effet d'écrasement),
- l'extension initialement envisagée vers le Sud inclus une zone humide de 1,2 ha.

En remplacement de cette extension, elle a privilégié la création d'une nouvelle verse de stockage des stériles de carrière dite « verse Ouest » pour les raisons suivantes :

- la nouvelle verse étant située en limite Sud de la fosse 3, son édification permettra de rationaliser le transport des stériles (gain de carburant, réduction des émissions de CO<sub>2</sub>...),
- les terrains de la nouvelle verse sont constitués de parcelles agricoles présentant des enjeux biologiques faibles et aucune zone humide.

## II.7. ANALYSES DES RISQUES

### ➤ RISQUE D'INSTABILITE DES STOCKAGES

L'édification de la verse de Kerroué a fait l'objet d'une étude géotechnique par le bureau d'études spécialisée MECATER en janvier 2011.

Cette étude, jointe en **annexe 2** du présent plan de gestion, développe successivement :

- les caractéristiques du site,
- l'analyse de la stabilité de la verse,
- la justification du dispositif de drainage,
- la construction de la verse,
- le contrôle et la surveillance appliqués.

Deux scénarii de gestion des eaux avaient été étudiés par MECATER :

- un drainage normal,
- un drainage insuffisant avec remontée de nappe.

Les principales conclusions formulées par MECATER en 2011 sont les suivantes :

- « les calculs de stabilité montrent que le cercle de glissement le plus critique passe à mi-profondeur du schiste altéré et englobe l'ensemble du talus de la verse,
- le coefficient de sécurité minimum obtenu en cas de drainage parfait est de 1,57. Cette valeur permet de garantir la stabilité de la verse à long terme,
- par les mêmes calculs, nous démontrons qu'en cas de remontée accidentelle du niveau de la nappe dans la verse, le coefficient de sécurité reste supérieur à 1,3,
- nous tenons à rappeler qu'en conditions minières normales, la stabilité d'un ouvrage est assurée lorsque le coefficient de sécurité est supérieur à 1,3. Ce seuil de stabilité peut être ramené à 1,1 pour rendre compte de conditions exceptionnelles telles que l'occurrence d'événements sismiques.
- Ainsi, nous estimons que le potentiel de stabilité de la verse de Kerroué est satisfaisant même en cas de montée accidentelle du niveau hydrostatique dans la verse. »

❖ **Remarque :**

La remontée de la nappe a été analysée comme étant la conséquence d'un événement pluvieux exceptionnel.

**Sur le long terme, l'étude géotechnique de 2011 démontre l'absence de risque de pollution sur la verse de Kerroué, les mesures techniques adéquates étant appliquées (cf. chapitre II.8 ci-après).**

**Pour ces raisons, la nouvelle verse Ouest sera édifiée en suivant les recommandations formulées par MECATER en 2011 pour la verse de Kerroué.**

### ➤ **RISQUE D'AFFAISSEMENT DES FLANCS DES VERSES**

La société IRMG a intégré au périmètre du site de Guerphalès les espaces annexes des verses Ouest et de Kerroué. Ainsi, un éventuel affaissement sur les flancs Nord et Ouest de la verse Ouest ou sur les flancs Sud et Est de la verse de Kerroué ne sera pas susceptible d'affecter les terrains périphériques.

### ➤ **RISQUE DE DEVERSEMENT INTEMPESTIF D'EAUX ACIDES**

De plus, en cas de déversement intempestif d'eaux acides faisant suite à un épisode pluvieux exceptionnel, un trop-plein permettra de diriger le volume excédentaire d'eaux acides collectées sur la verse Ouest vers la fosse 3, prévenant ainsi tout impact sur le réseau hydrographique local.

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

Les modalités d'édification des verses Ouest et de Kerroué prennent en compte les mesures définies par MECATER en 2011 afin de réduire les phénomènes dangereux :

- choix des pentes de talus externes très inférieures à l'angle de talus naturel des matériaux,
- mise en place de fossés extérieurs collectant les eaux,
- mise en place de drainage interne,
- construction par couche.

Ces mesures sont détaillées dans l'étude géotechnique jointe en annexe 2 du présent plan de gestion.

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

Ces mesures sont les suivantes :

- mise en place de couches à faible perméabilité sur et sous la verse, composées de fines PS de perméabilité  $10^{-8}$  m/s produits sur les usines de la carrière,
- création de fossés et de bassins de collecte des eaux autour des verses,
- renvoie des eaux des verses par pompage automatisé (double pompes) vers le circuit des eaux général du site, pour neutralisation et précipitation des métaux (traitement à la soude et au lait de chaux) puis décantation avant rejet au milieu naturel,
- un trop-plein du bassin de collecte de la verse Ouest permettra de diriger les eaux vers la fosse 3 en cas de défaillance du dispositif de pompage,
- l'imperméabilisation progressive des flancs des verses (couverture en PS) permettra de réduire progressivement les volumes d'eaux pluviales pouvant percoler dans les stériles.

### **❖ Remarque :**

*L'utilisation de fines PS pour l'aménagement des verses permet de valoriser ce sous-produit issu du traitement dans l'usine. La valorisation des fines PS comme couche d'étanchéité a fait l'objet d'une thèse présentée à l'INSA de Rennes.*

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

Les terrains susceptibles de subir des dommages sont des parcelles à usage agricole intégrées au périmètre ICPE de la carrière de Guerphalès en tant qu'annexes des verses de stockage. La société IRMG dispose de la maîtrise foncière de ces terrains.

De plus, la mise en place d'une couche de faible perméabilité (PS à  $10^{-8}$  m/s) sous les verses limite les risques de pollution des terrains sous-jacents par infiltration d'eaux acides.

L'étude géotechnique a examiné les caractéristiques des terrains sous-jacents à la verse de Kerroué.

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

La verse de Kerroué est régulièrement inspectée (contrôle visuel) par le personnel de la société IRMG.

Il en sera de même pour la future verse Ouest, pour laquelle la société IRMG mettra en œuvre les mesures de contrôles définies par MECATER pour l'extension (avortée) de la verse de Kerroué :

*« Afin d'assurer la construction de la verse dans des conditions sécuritaires, il est recommandé d'installer un dispositif d'auscultation. Ce dispositif comportera les équipements suivants : »*

- Mesures de déformation :
  - . ces mesures sont effectuées avec deux inclinomètres afin de prévenir les risques de rupture et de confirmer la stabilité à long terme des verses,
  - . le premier inclinomètre est placé au pied d'une verse et descend jusqu'à environ 10 m de profondeur dans le socle dur,
  - . le deuxième inclinomètre est posé sur le flanc d'une verse et descend également jusqu'à environ 10 m dans le socle rocheux.

- Mesures piézométriques :
  - . un réseau de surveillance est présent autour du site de Guerphalès afin de contrôler la qualité des eaux souterraines. Il comprend les piézomètres Sud, KJ2, MO1, RO1, RO2, PzA, PzB et PzC, ainsi que les puits de « Guermeur » et de « Kerzioc'h »,
  - . 2 nouveaux piézomètres profonds Pz1 et Pz2 seront implantés sur les fractures entre la fosse 3 et les captages AEP du Minez Du, localisés au Sud-Ouest du site.

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

L'Arrêté Préfectoral du 3 août 2018 prévoit de conserver l'emprise actuelle de la verse de Kerroué, la société IRMG ayant renoncé à l'étendre vers le Sud afin de conserver la zone humide de 1,2 ha.

Concernant la nouvelle verse Ouest, l'étude d'impact du dossier de demande d'autorisation d'exploiter dont l'instruction a abouti à la prise de l'Arrêté du 3 août 2018 précise que :

- le sous-sol au droit de la future verse Ouest est constitué de grès armoricain sur sa partie Sud et de schistes à andalousite sur sa partie Nord (socle rocheux « dur »),
- les sondages de reconnaissance et pré-exploitation réalisés par la société IRMG ont permis de distinguer les secteurs présentant une teneur suffisante en andalousite pour être intégrés à la fosse 3 des secteurs périphériques pouvant accueillir la nouvelle verse,
- le toit de la nappe des altérites est situé entre 258 (niveau amont au Sud) et 210 (niveau aval imposé par le pompage en fosse 3 au Nord) m NGF au droit de l'emprise de la future verse.

En outre, aucun écoulement ni aucune émergence n'a été identifié sur ou à proximité de l'emprise de la future verse Ouest, les terrains de l'emprise étant constitués de parcelles agricoles.

## **II.13. BILAN HYDRIQUE**

### **➤ EVOLUTION DU VOLUME DE PERCOLATS DANS LES VERSES**

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).

Ainsi, la pluviométrie moyenne annuelle locale de 1131 mm/an engendrera les volumes moyens annuels suivants de percolats dans les verses Ouest et de Kerroué au cours de l'exploitation (les parties réhabilitées (flancs / sommet) des verses, recouvertes de PS, ne produisant plus de percolats) :

Phase	PERCOLATS DANS LA VERSE DE KERROUÉ			PERCOLATS DANS LA VERSE OUEST		
	Surface en exploitation (ha)	Surface réhabilitée (ha)	Percolats (m³/an)	Surface en exploitation (ha)	Surface réhabilitée (ha)	Percolats (m³/an)
1 (2018-2023)	8,4	11,4	95 000	9,5	0	107 000
2 (2023-2028)	0	19,8	0	9,5	0	107 000
3 (2028-2033)	0	19,8	0	6,4	3,1	72 000
4 (2033-2036)	0	19,8	0	0	9,5	0

Il y aura donc une décroissance progressive des volumes de percolats durant l'exploitation.

#### **❖ Remarque :**

*Les volumes calculés sont établis à partir de moyennes statistiques et ne prennent pas en compte les années présentant des hivers exceptionnellement pluvieux (environ 1500 mm/an soit + 30 %).*

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

Le réaménagement des verses de stockage des stériles de carrière se fera progressivement, au fur et à mesure de leur édification :

- dans un premier temps, seuls les flancs des verses seront réaménagés (cas de la verse de Kerroué actuelle),
- une fois la cote maximale de stockage atteinte, les sommets seront réaménagés conformément au phasage d'exploitation prévisionnel joint en annexes 2 à 4 de l'Arrêté Préfectoral d'autorisation IRMG du 3 août 2018.

Les travaux de réaménagement des flancs / sommets des verses sont les suivants :

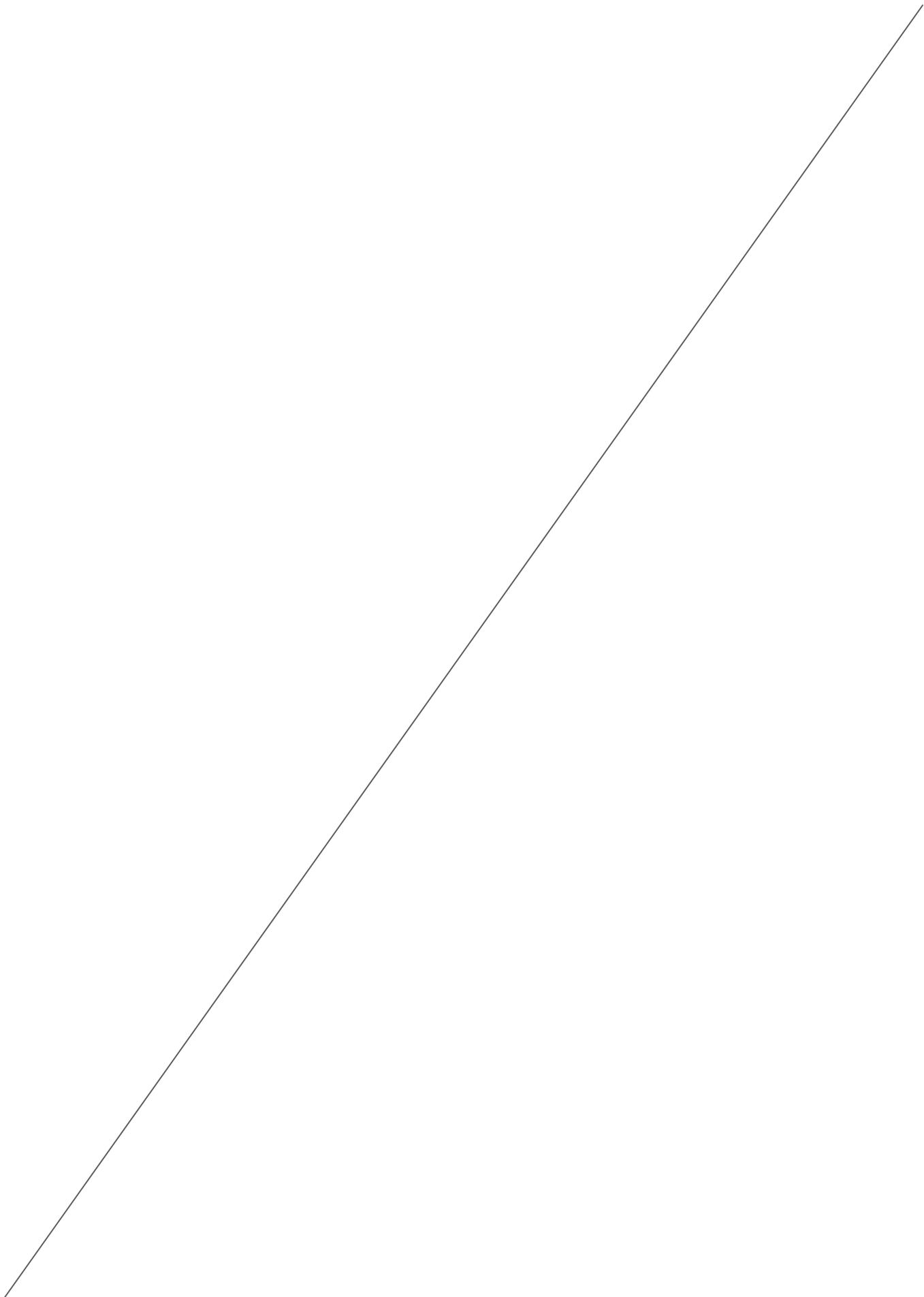
- mise en place puis compactage d'une couche d'étanchéité (fines PS) sur les stériles,
- mise en place de 0,15 m de terre végétale sur la couche d'étanchéité,
- ensemencement (graminées) de la terre végétale.

Une végétation de type ajoncs peut ensuite recoloniser les surfaces réaménagées comme cela se fait actuellement sur les flancs de la verse de Kerroué.

Les percolats seront collectés puis traités sur toute la période d'exploitation (jusqu'en 2036).

Le suivi des eaux souterraines (piézométrie et qualité) sera réalisé en amont et en aval de chacune des verses et maintenu durant la phase finale de remise (période 2033-2036) afin de valider l'efficacité du réaménagement des verses :

- verse de Kerroué : ouvrages MO3 et Pi2,
- verse Ouest : ouvrages MO3, MO1, MOUS1 et PzB.

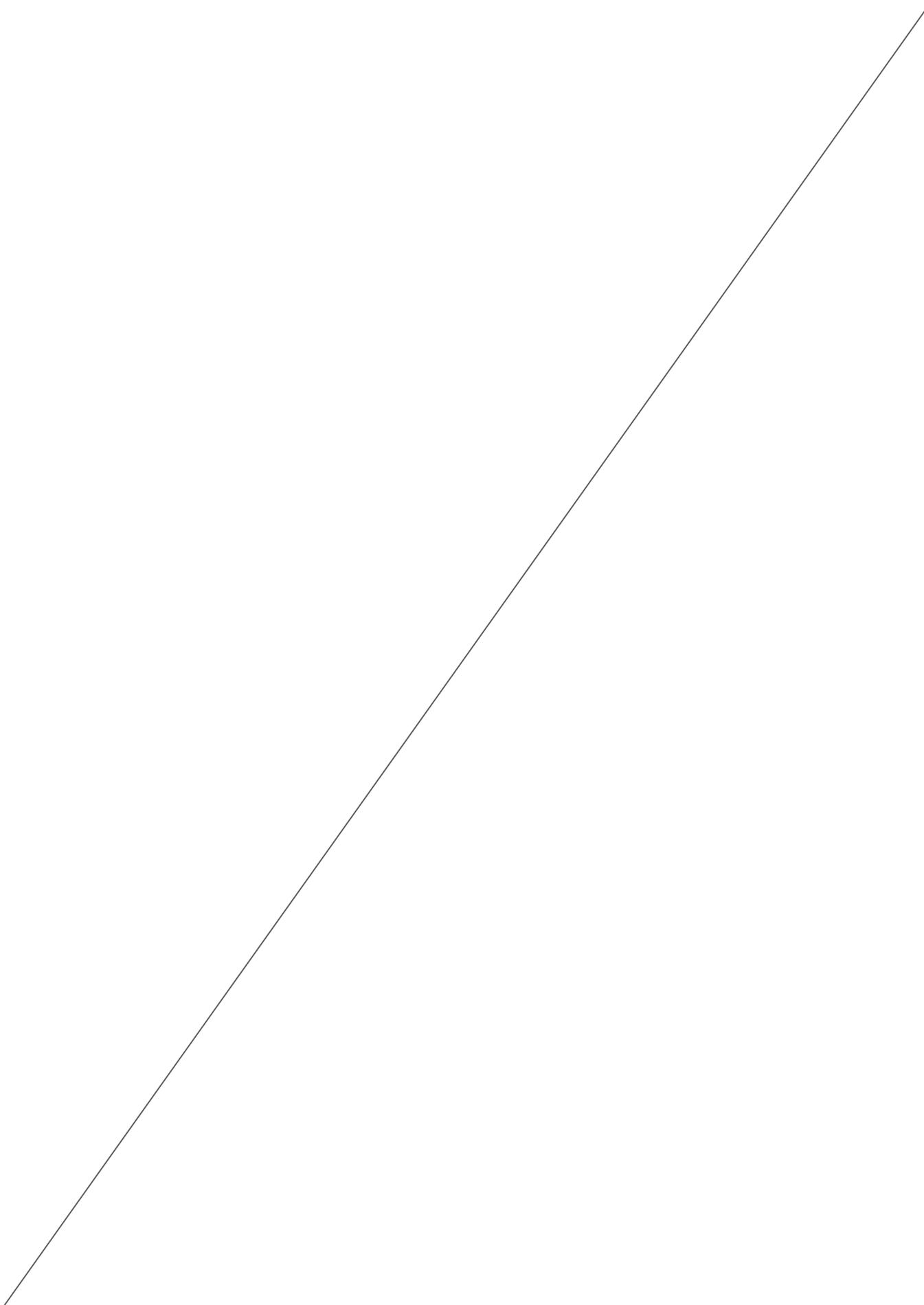


### **III. CONCLUSIONS**

---

La caractérisation des stériles de carrière 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 générateur d'acidité doivent être considérés comme des déchets « non inertes ».

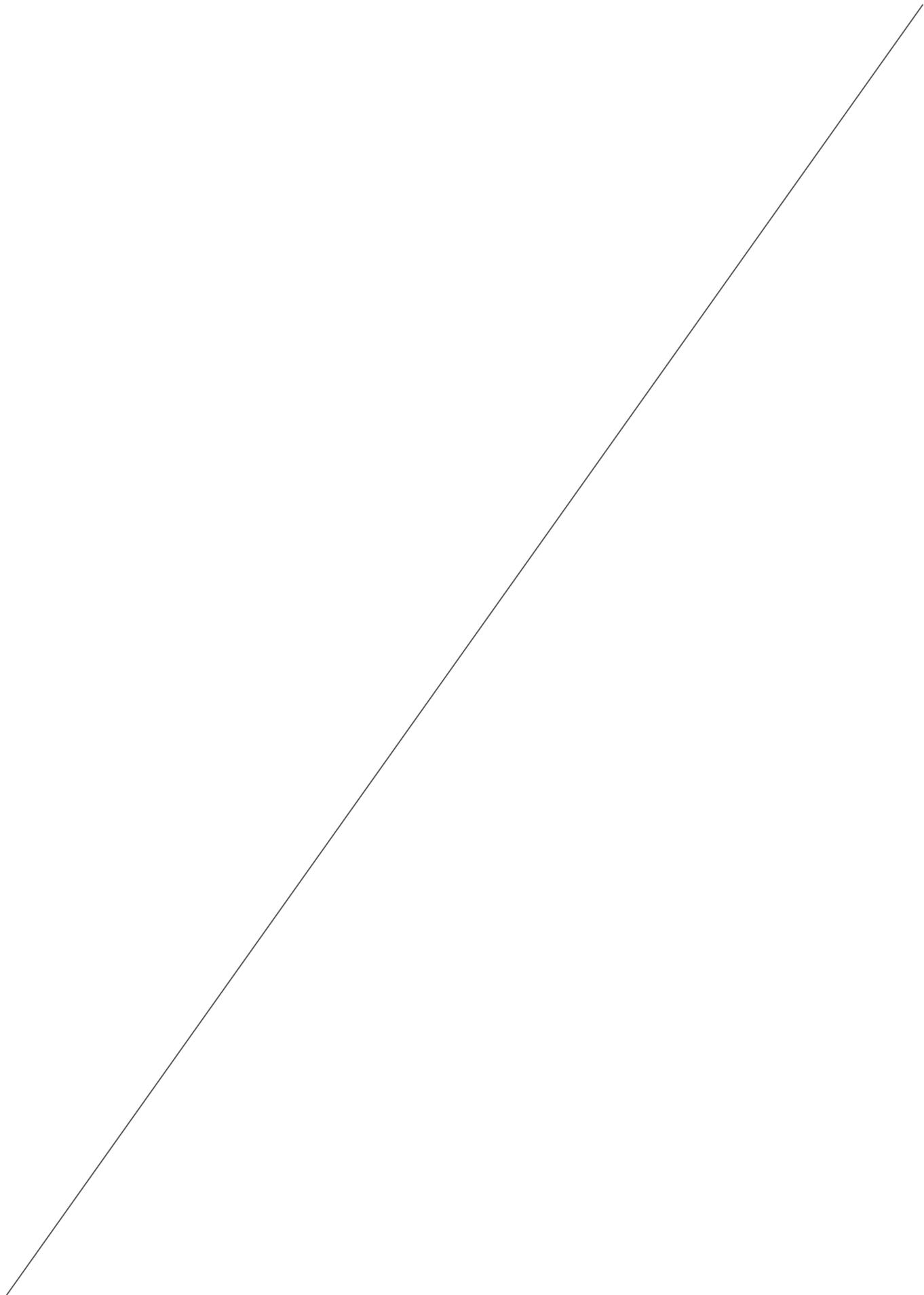
Néanmoins, l'analyse des modalités de gestion de ces stériles en verses (Ouest et de Kerroué) a montré que cette gestion ne présente pas de risque majeur particulier. Pour cette raison, ces stériles ne sauraient constituer des déchets de « catégorie A » au sens de l'article VII de l'Arrêté.



# **ANNEXE 1 :**

## **BULLETINS D'ANALYSE DES STERILES DE CARRIERE**

---





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

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

LABORATOIRE  
 DE DEVELOPPEMENT  
 ET D'ANALYSES  
 ZOOPOLE  
 PLOUFRAGAN

7, rue du sabot  
 BP 54  
 22440 PLOUFRAGAN

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

**ANNEXE 1- Bulletins d'analyses**

**DESTINATAIRE**

**DAMREC GUERPHALES  
 MR MOAL  
 GUERPHALES**

**22110 GLOMEL**

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

**4 ECHANTILLONS L.FONTAINE**

**Rapport  
 d'analyses  
 110079448**

Prélèvement 001 VERSE DE KERROUE

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

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

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

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

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



LABORATOIRE  
DE DEVELOPPEMENT  
ET D'ANALYSES

ZOOPOLE  
PLOUFRAGAN

7, rue du sabot  
BP 54  
22440 PLOUFRAGAN

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

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

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

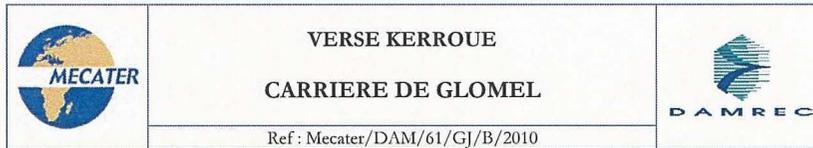
Arsenic	:	<0,05
Baryum	:	0,39
Cadmium	:	<0,005
Chrome	:	<0,05
Cuivre	:	0,58
Molybdène	:	<0,05
Nickel	:	3,3
Plomb	:	<0,05
Antimoine	:	<0,05
Selenium	:	<0,05
Zinc	:	8,1

**Rapport  
d'analyses  
110079448**

## **ANNEXE 2 : ETUDE GEOTECHNIQUE MECATER (2011)**

---





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

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

**SOMMAIRE**

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

**LISTE DES FIGURES**

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

## LISTE DES TABLEAUX

---

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

## 1. CONTEXTE ET OBJET

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

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

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

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

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

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

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

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

## 2. PRESENTATION DES CARACTERISTIQUES DU SITE

### 2.1. Description de la verse existante

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

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

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

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

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

La verse existante présente deux flancs libres :

- Talus Ouest

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

- Talus Est

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

En phase ultime, la verse aura 4 talus libres :

- Talus Est au niveau de la zone d'extension

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

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

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

- Talus Est au niveau de la zone de rehausse

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

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

- Talus Nord Est

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

- Talus Ouest

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

## 2.3. Contexte géologique et structural

Le gisement de Glomel s'insère dans le domaine Centre 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 mètre de schiste altéré avec des blocs durs de schiste flottant dans une masse terreuse. Ce niveau constitue le recouvrement du gisement.
- Niveau 2 : Le gisement, constitué de schiste massif sur plus de 100 m d'épaisseur et comportant de l'andalousite sous forme de paillettes. Ce niveau est constitué de roche relativement tendre dans sa partie supérieure devenant très résistante dans sa partie inférieure.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

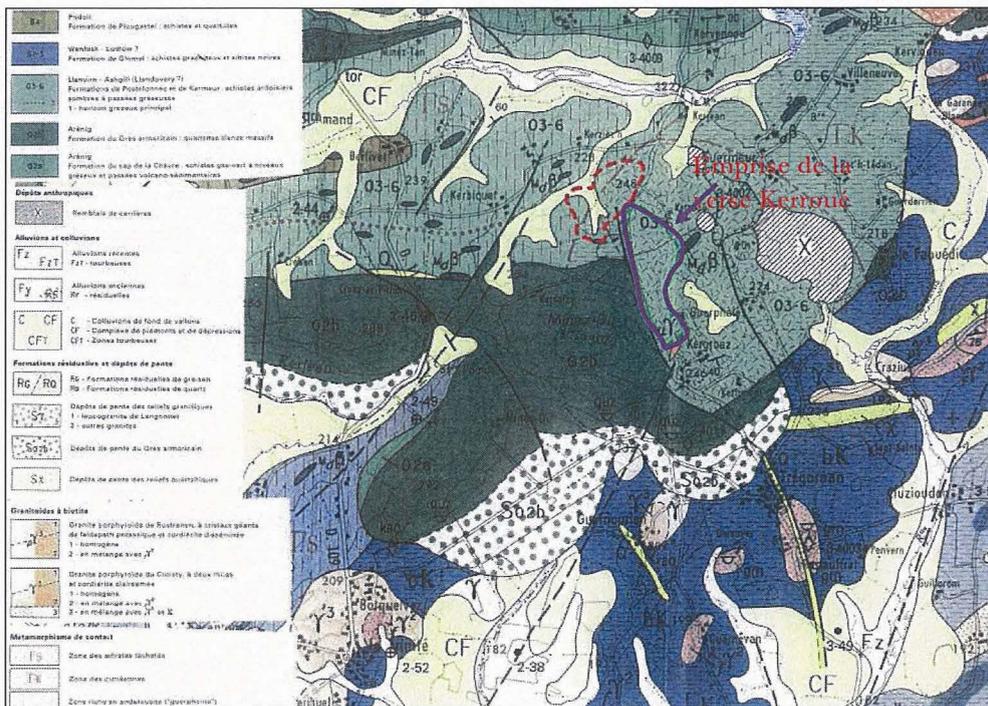


Figure 2: Extrait de la carte géologique de Rostrenen

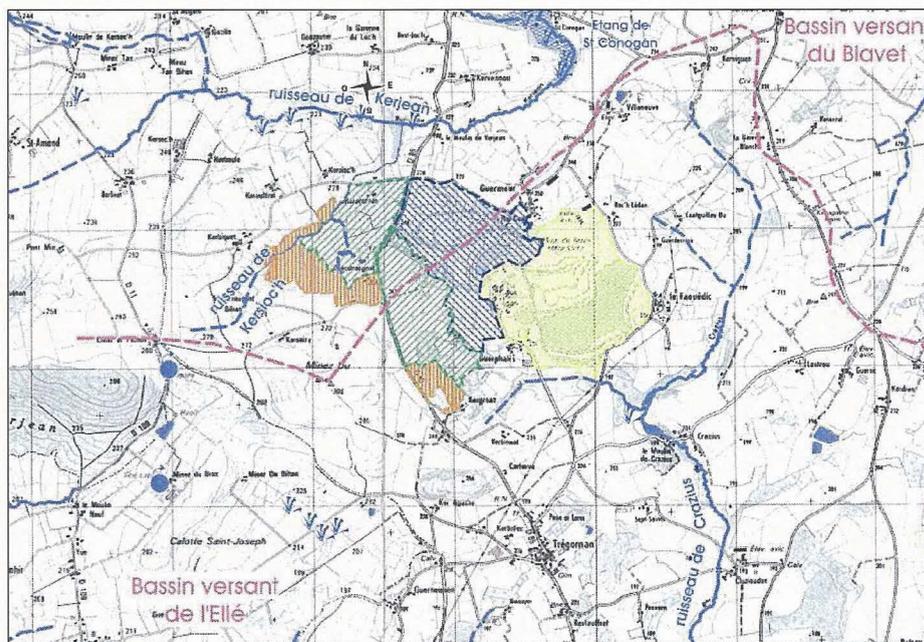


Figure 3 : Réseau hydrographique au droit du site (Source : Etude d'impact sur l'environnement, Géomorpho environnement)



## 2.6. Contexte géotechnique

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

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

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

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

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

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

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

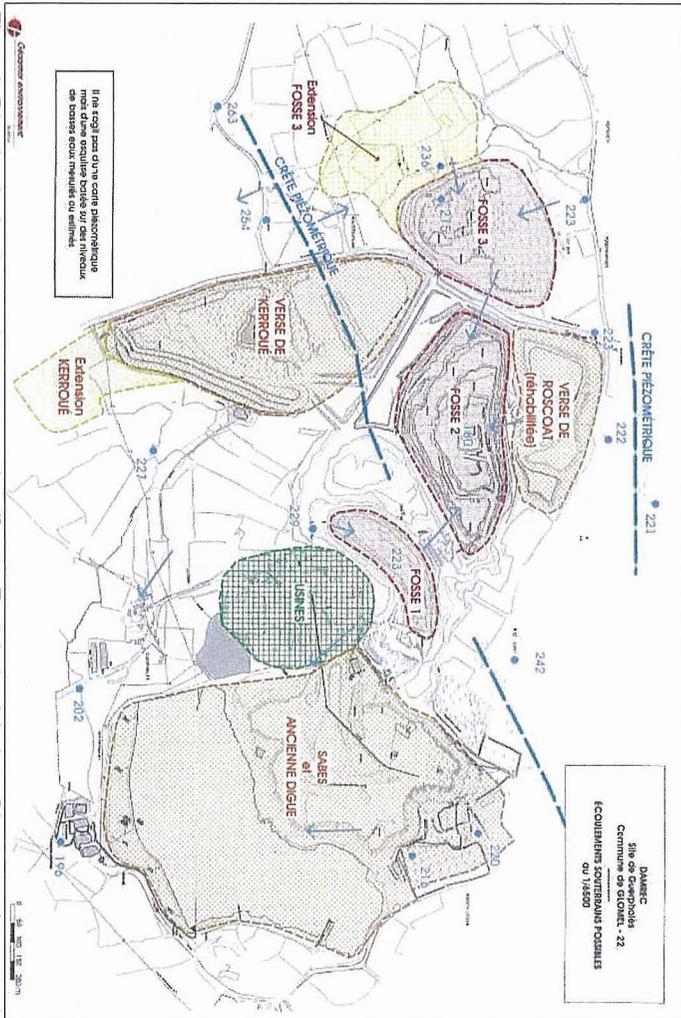


Figure 4 : Direction des écoulements des eaux souterraines (Source : Etude hydrogéologique, Géomorpho environnement)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Tableau 2 : Calcul de stabilité

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

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

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

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

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

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

## 4. JUSTIFICATION DU DISPOSITIF DE DRAINAGE

### 4.1. Principe de drainage de la verse

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

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

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

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

### 4.2. Présentation du dispositif de drainage

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

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

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

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

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

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

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

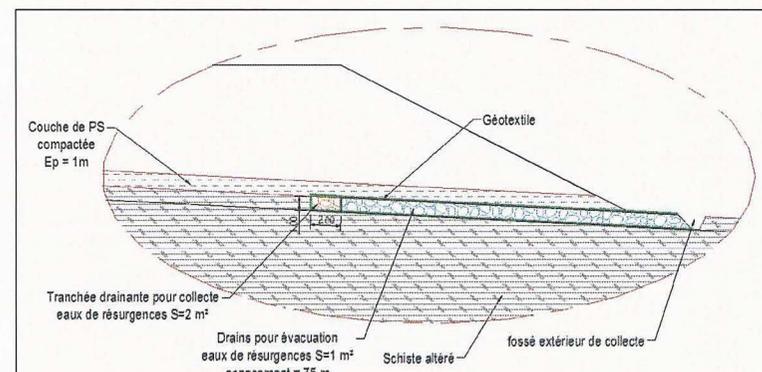


Figure 5 : Coupe type du dispositif de collecte des eaux de résurgences

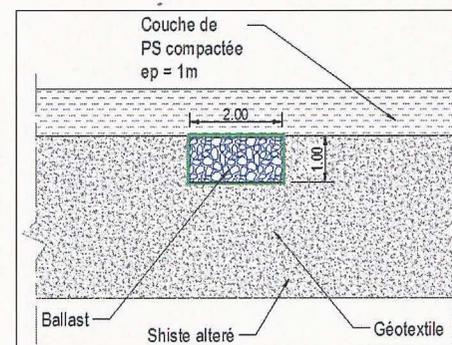


Figure 6 : Coupe type de la tranchée drainante

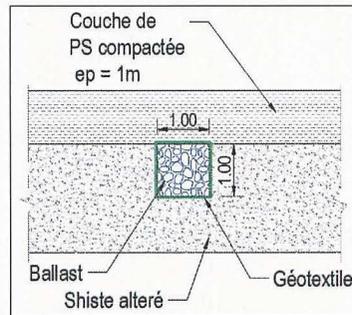


Figure 7 : Coupe type du drain

#### 4.2.2. Mèche

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

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

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

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

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

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

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

Avec :

$$K_{st} : \text{Coefficient de Stephenson} : K_{st} = \frac{800}{R_c} + K_i$$

$R_c$  : nombre de Reynolds

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



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

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

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

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

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

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

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

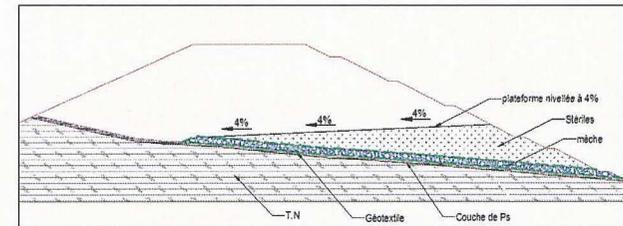


Figure 8 : Principe de drainage de la verse par la mèche en enrochements

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

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

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

#### 4.2.4. Masque drainant en enrochements

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



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

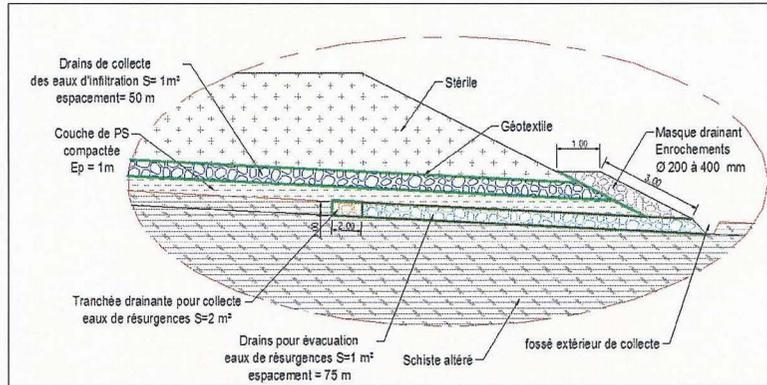


Figure 9 : Coupe type du système de drainage de la verse

#### 4.2.5. Fossé extérieur de collecte

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

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

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

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

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

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

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

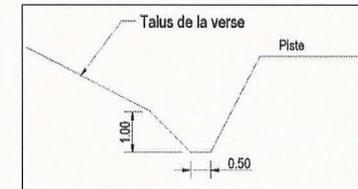


Figure 10 : Coupe type du fossé extérieur de collecte

#### 4.2.6. Bassin de stockage

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

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

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

Avec:

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

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

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

## 5. CONSTRUCTION DE LA VERSE

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

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

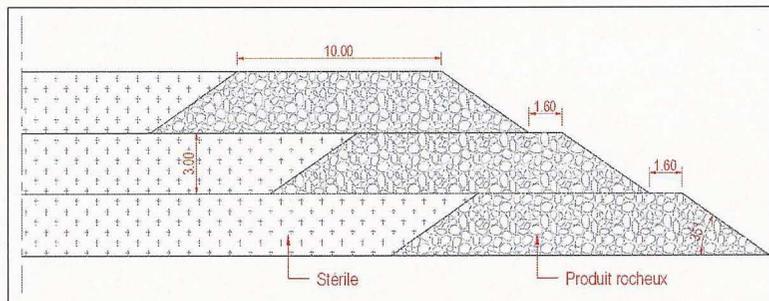


Figure 11 : Schéma conceptuel pour la construction d'un niveau de 9 m

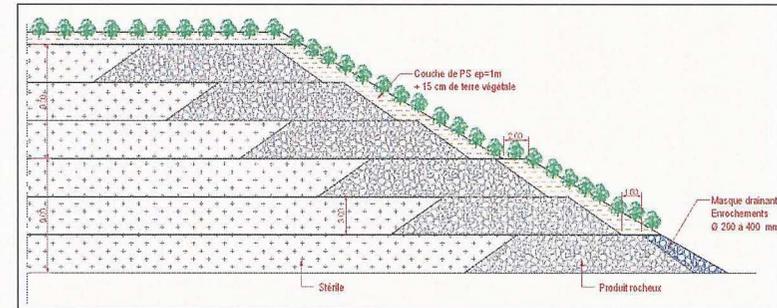


Figure 12 : Schéma conceptuel du talus définitif de la verse

## 6. CONTROLE ET SURVEILLANCE DE LA VERSE

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

- Mesures de déformations

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

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

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

- Mesures piézométriques

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

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

## 7. CONCLUSION

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## LISTE DES ANNEXES

---

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

**Annexe 2 : Sorties du logiciel TALREN**

**Annexe 3 : Principaux plans de l'étude**

---

## ANNEXE 1

---

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

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

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

### 1. Méthode de construction de la verse

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

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

### 2. Photos d'illustrations

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



Photo 1 : Matériaux stockés dans la verse



Photo 2 : Protection du talus libre par les matériaux rocheux



Photo 3 : Tranchée de drainage au pied de la verse

### 3. Observations et actions à entreprendre

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

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



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

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



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



**Photo 6 : Instabilité observée au niveau du talus Ouest**

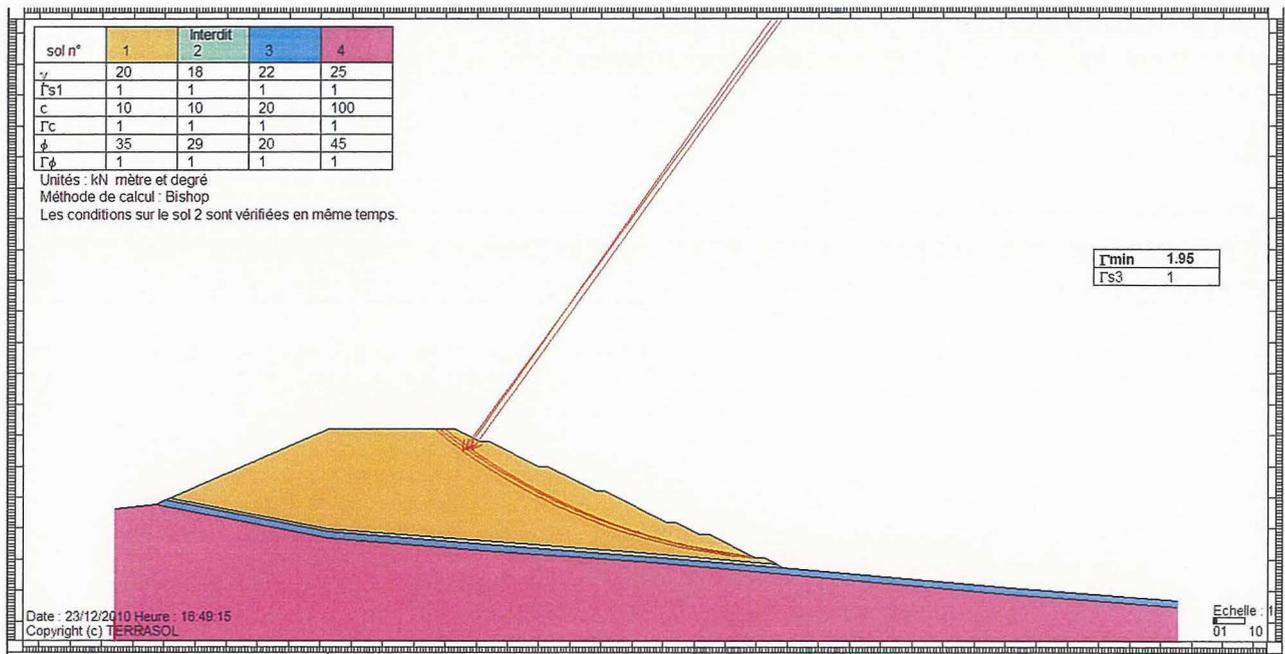


Figure N° - 1 : Coupe 1 : Stabilité intrinsèque de la verse

Annexe 2 -2

ANNEXE 2

- Sorties du logiciel TALREN -

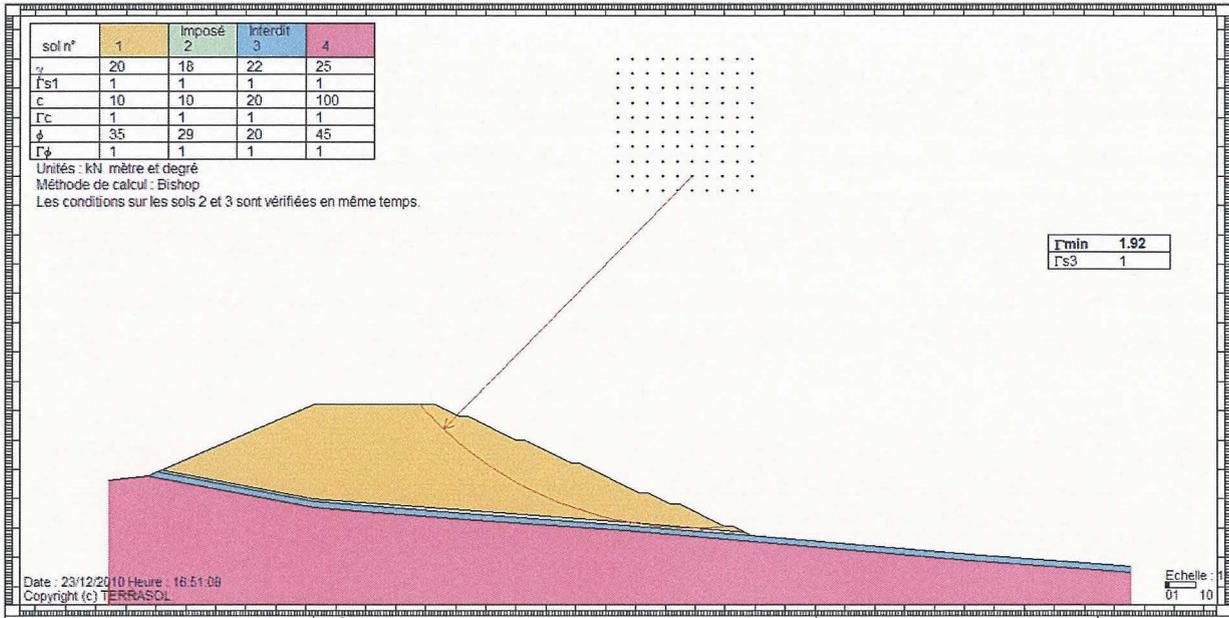


Figure N° - 2 : Coupe 1 : Stabilité vis-à-vis d'un glissement sur la couche de PS

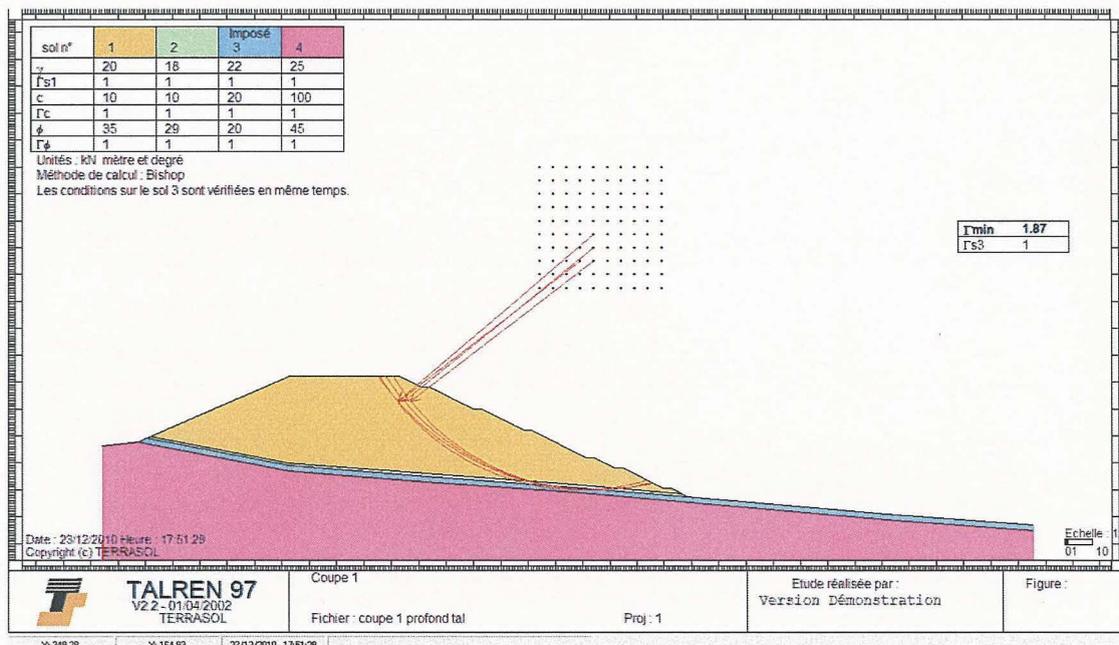


Figure N° - 3 : Coupe 1 : Stabilité vis-à-vis d'un glissement profond

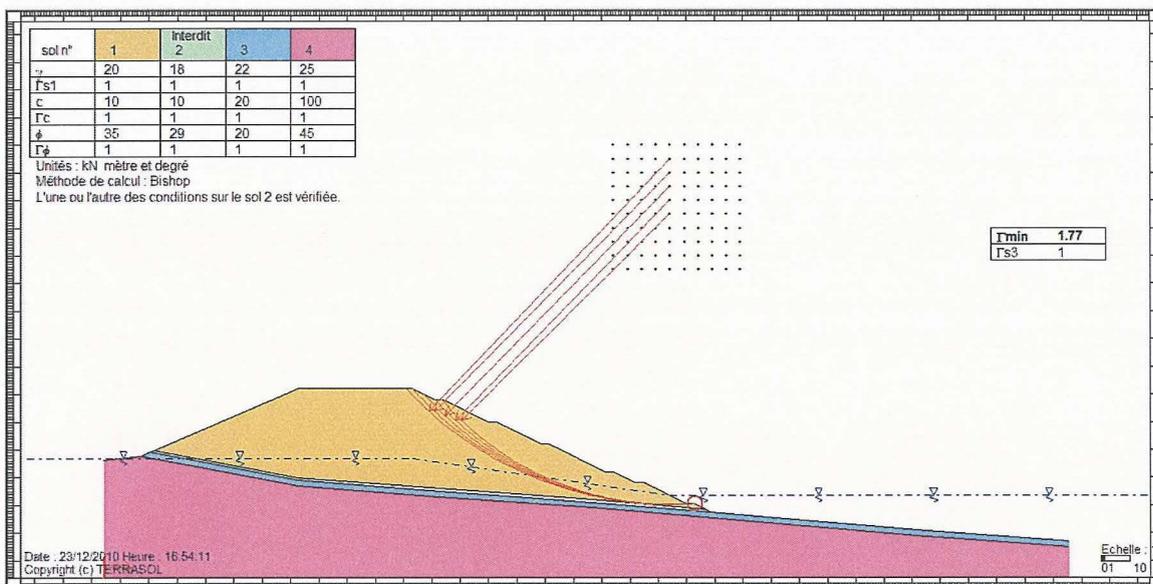


Figure N° - 4 : Coupe 1 : Stabilité intrinsèque de la verse avec remontée accidentelle du niveau de la nappe

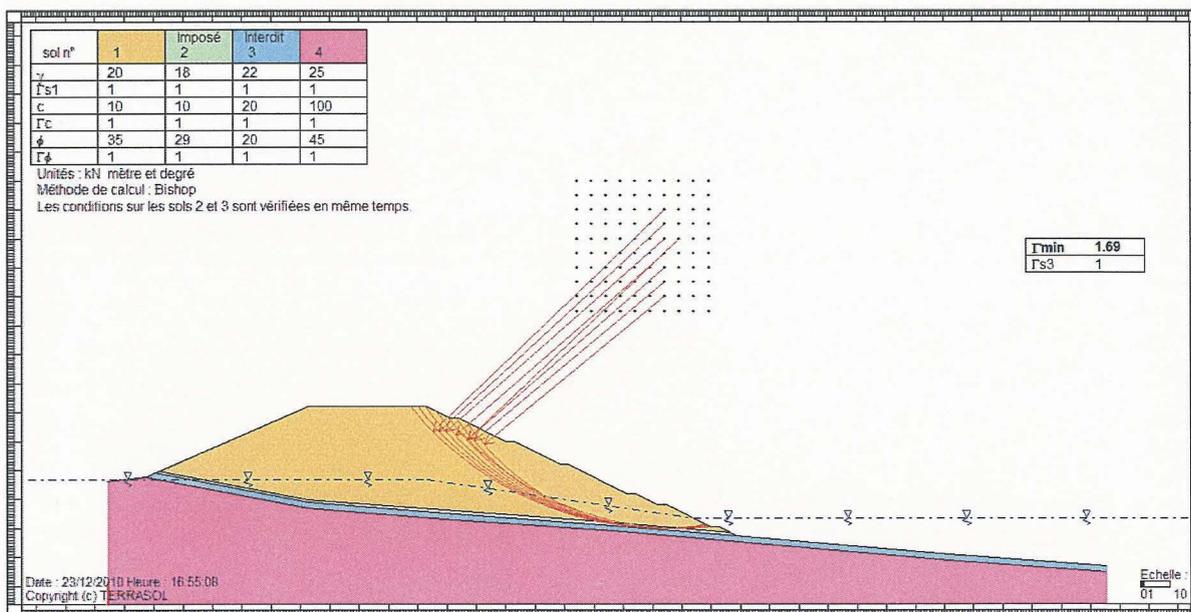


Figure N° - 5 : Coupe 1 : Stabilité vis-à-vis d'un glissement sur la couche de PS avec remontée accidentelle du niveau de la nappe

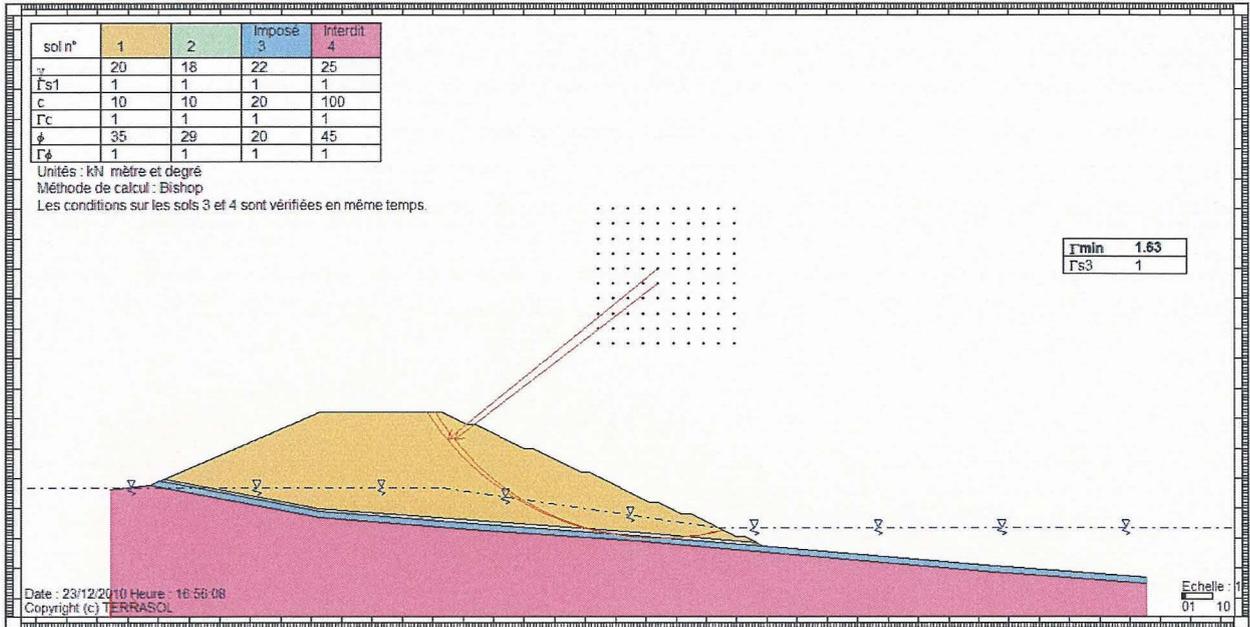


Figure N° - 6 : Coupe 1 : Stabilité vis-à-vis d'un glissement profond avec remontée accidentelle du niveau de la nappe

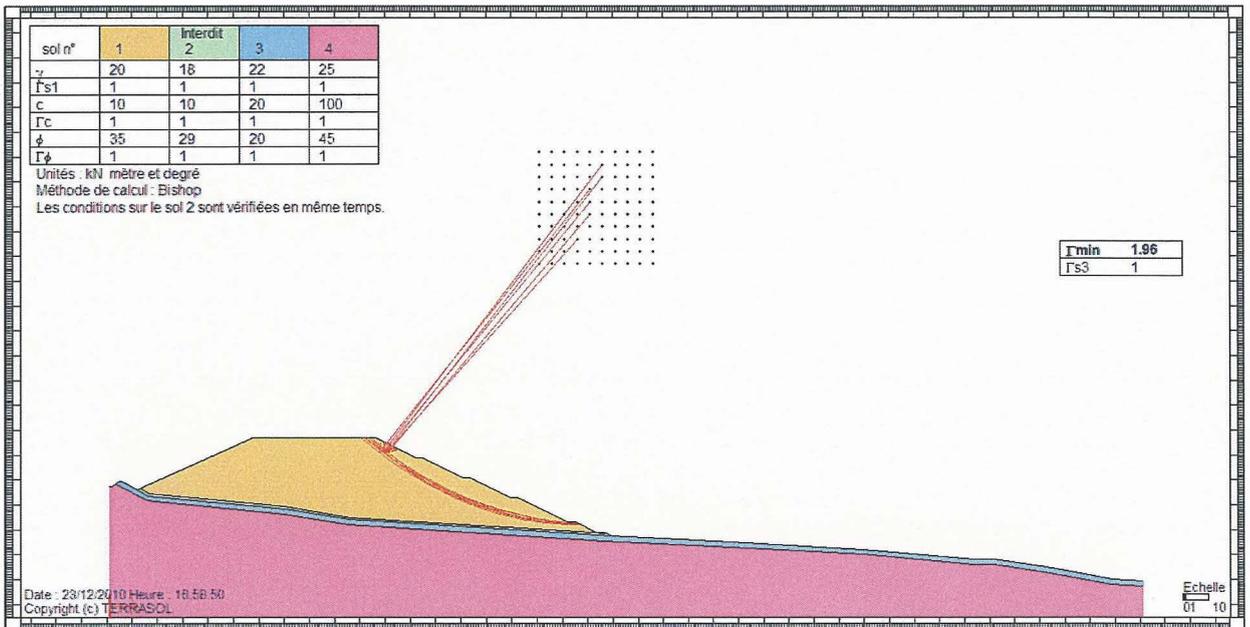


Figure N° - 7 : Coupe 2 : Stabilité intrinsèque de la verse

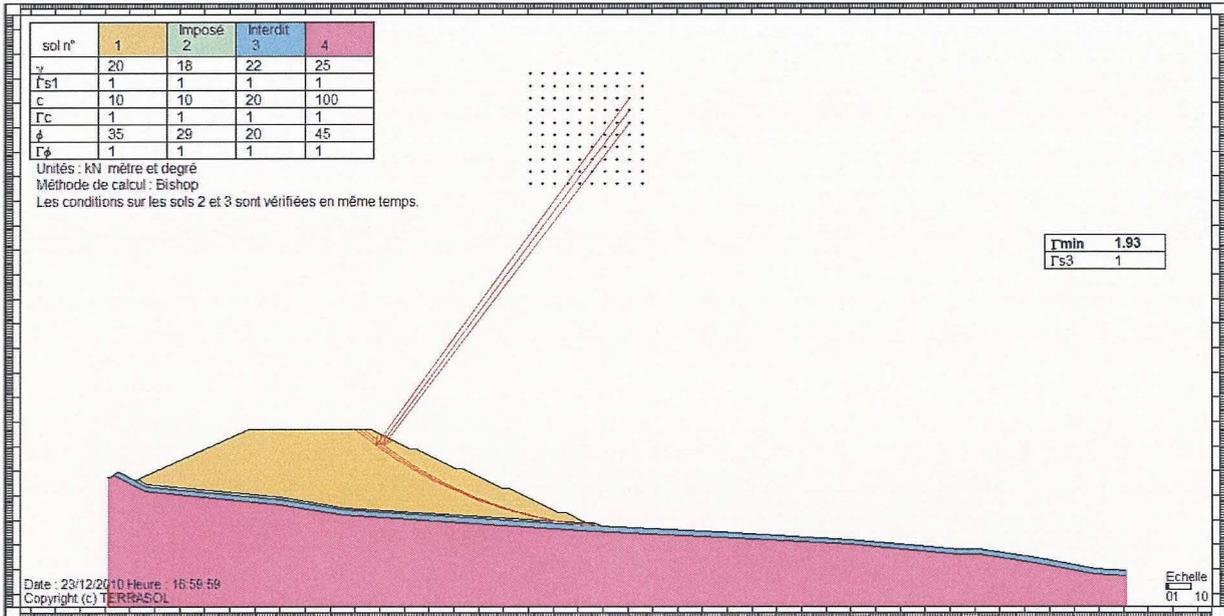


Figure N° - 8 : Coupe 2 : Stabilité vis-à-vis d'un glissement sur la couche de PS

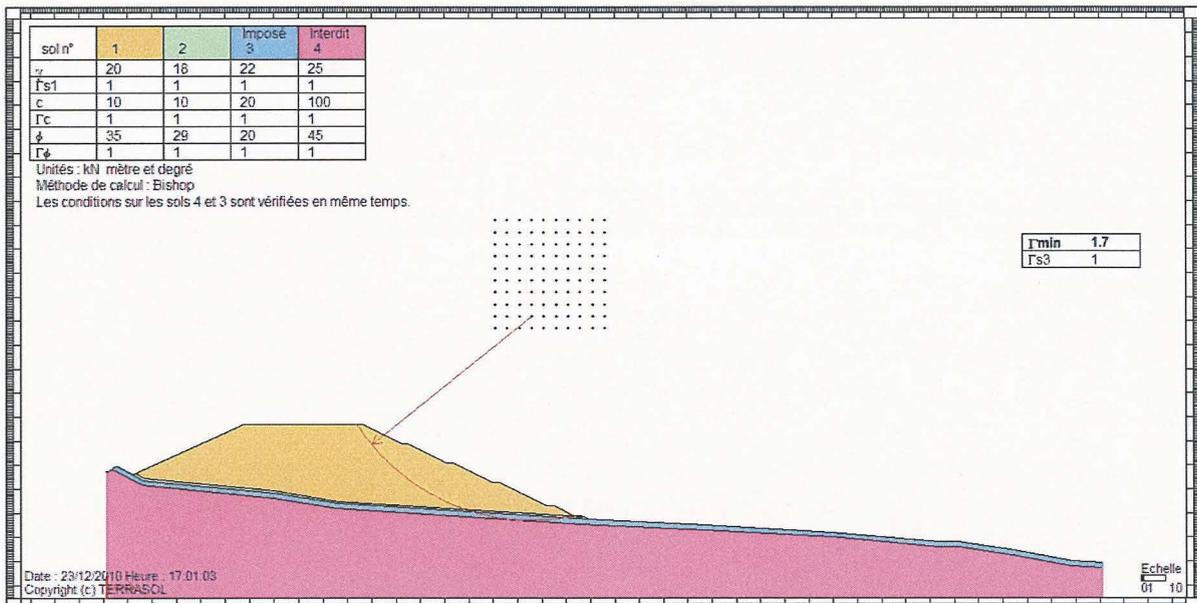


Figure N° - 9 : Coupe 2 : Stabilité vis-à-vis d'un glissement profond

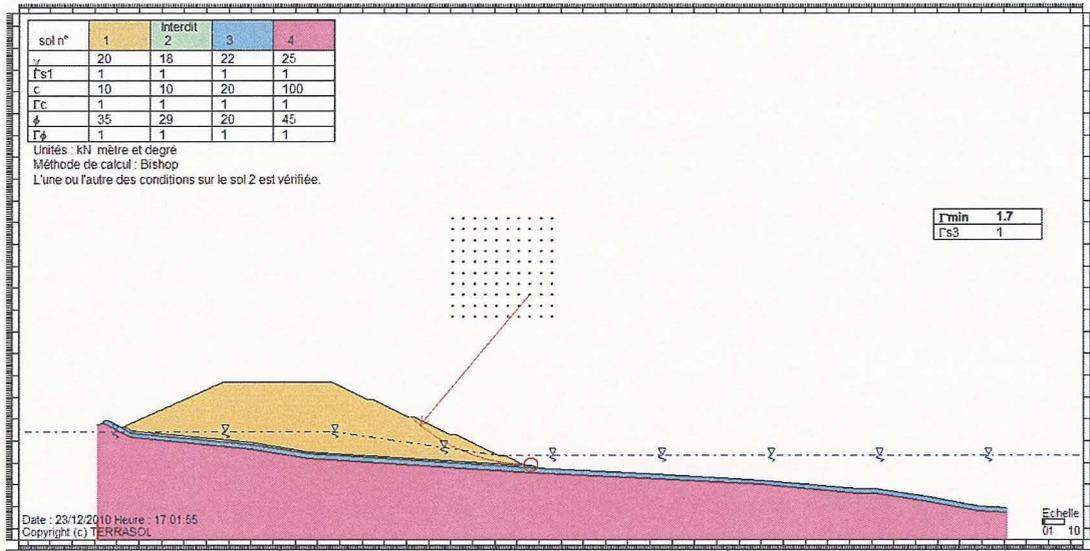


Figure N° - 10 : Coupe 2 : Stabilité intrinsèque de la verse avec remontée accidentelle du niveau de la nappe

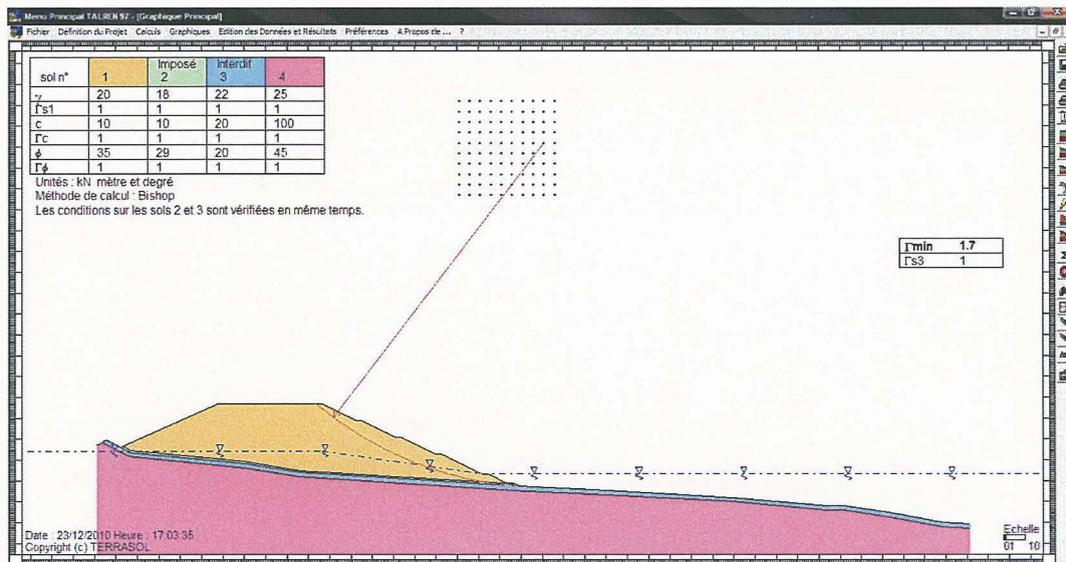


Figure N° - 11 : Coupe 2 : Stabilité vis-à-vis d'un glissement sur la couche de PS avec remontée accidentelle du niveau de la nappe

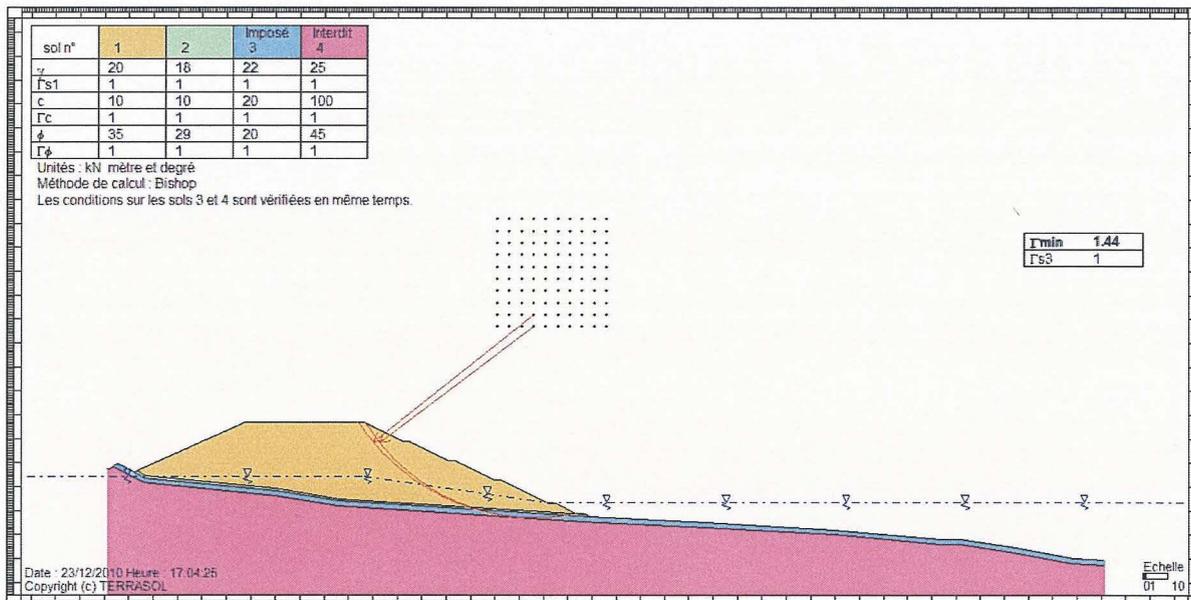


Figure N° - 12 : Coupe 2 : Stabilité vis-à-vis d'un glissement profond avec remontée accidentelle du niveau de la nappe

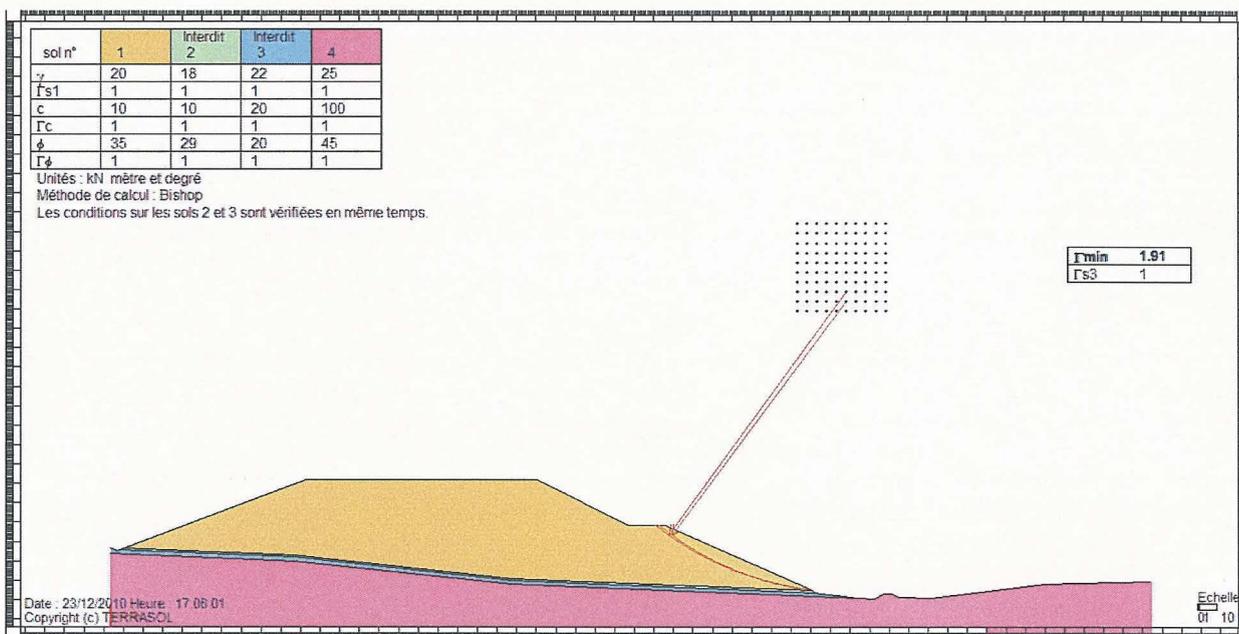


Figure N° - 13 : Coupe 3 : Stabilité intrinsèque de la versé

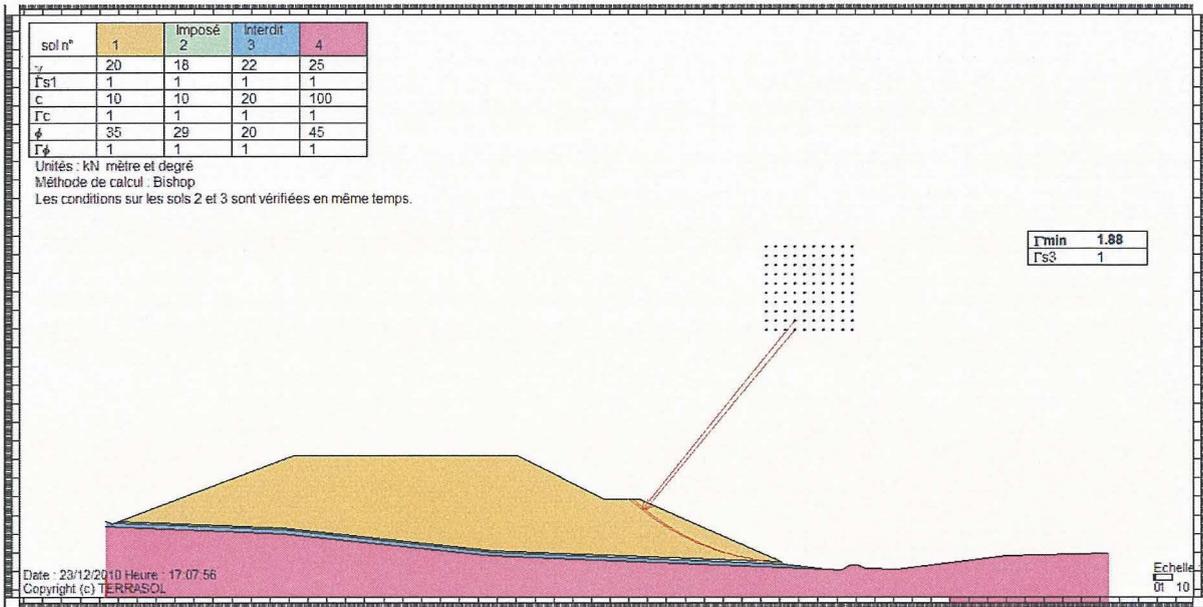


Figure N° - 14 : Coupe 3 : Stabilité vis-à-vis d'un glissement sur la couche de PS

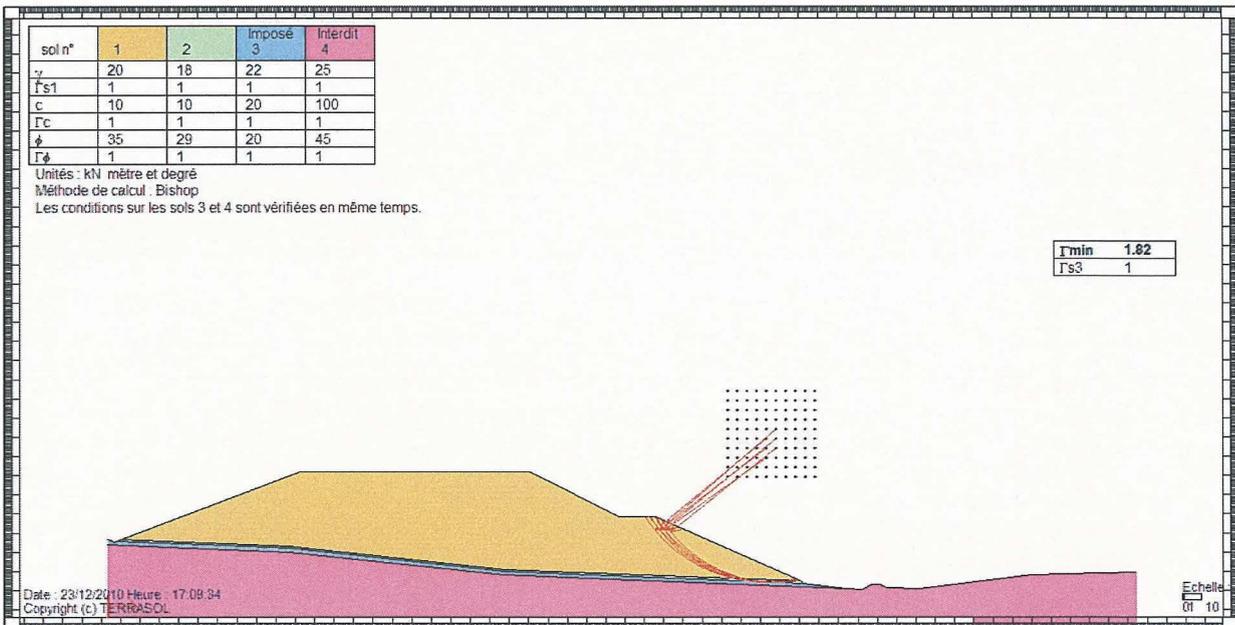


Figure N° - 15 : Coupe 3 : Stabilité vis-à-vis d'un glissement profond

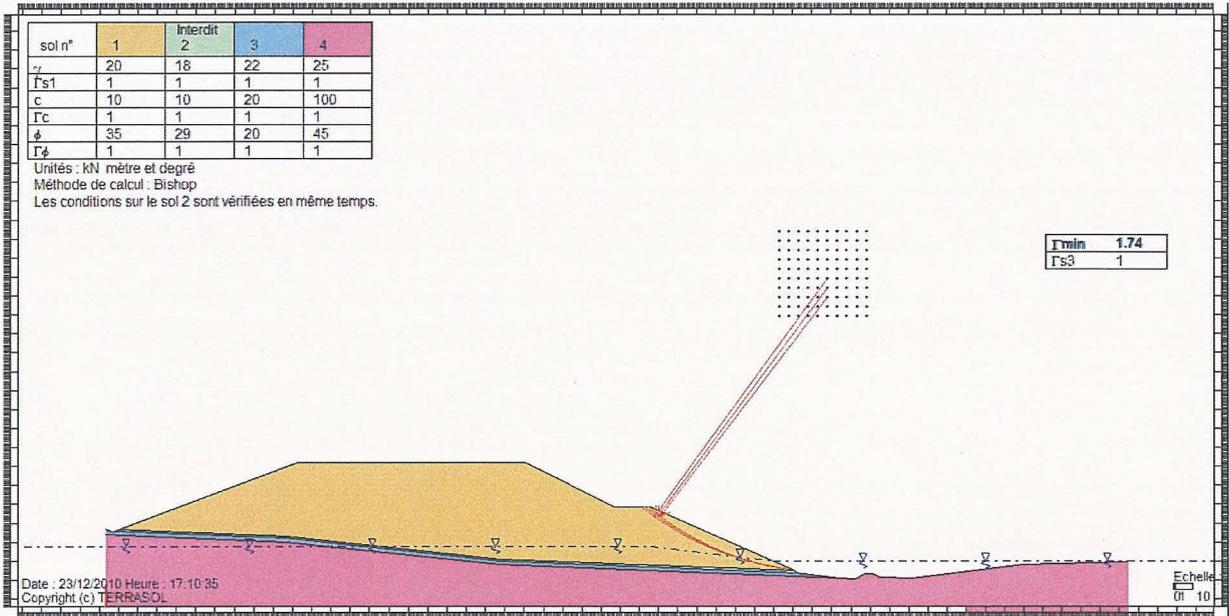


Figure N° - 16 : Coupe 3 : Stabilité intrinsèque de la verse avec remontée accidentelle du niveau de la nappe

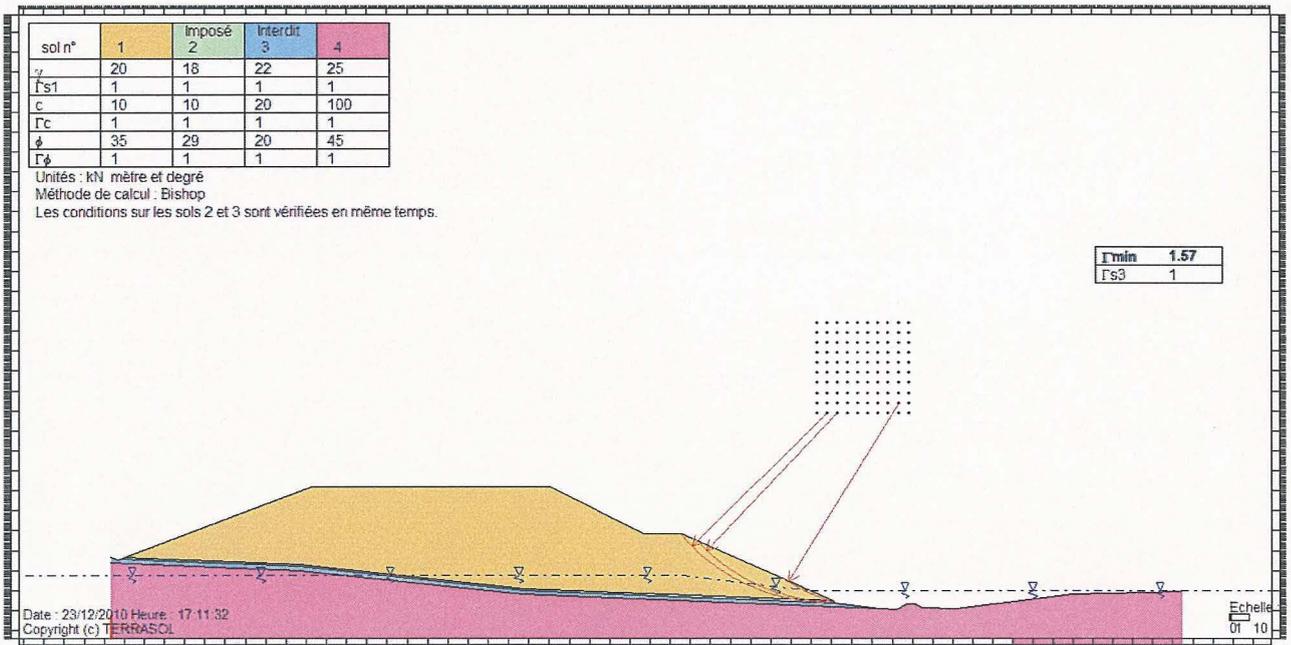


Figure N° - 17 : Coupe 3 : Stabilité vis-à-vis d'un glissement sur la couche de PS avec remontée accidentelle du niveau de la nappe

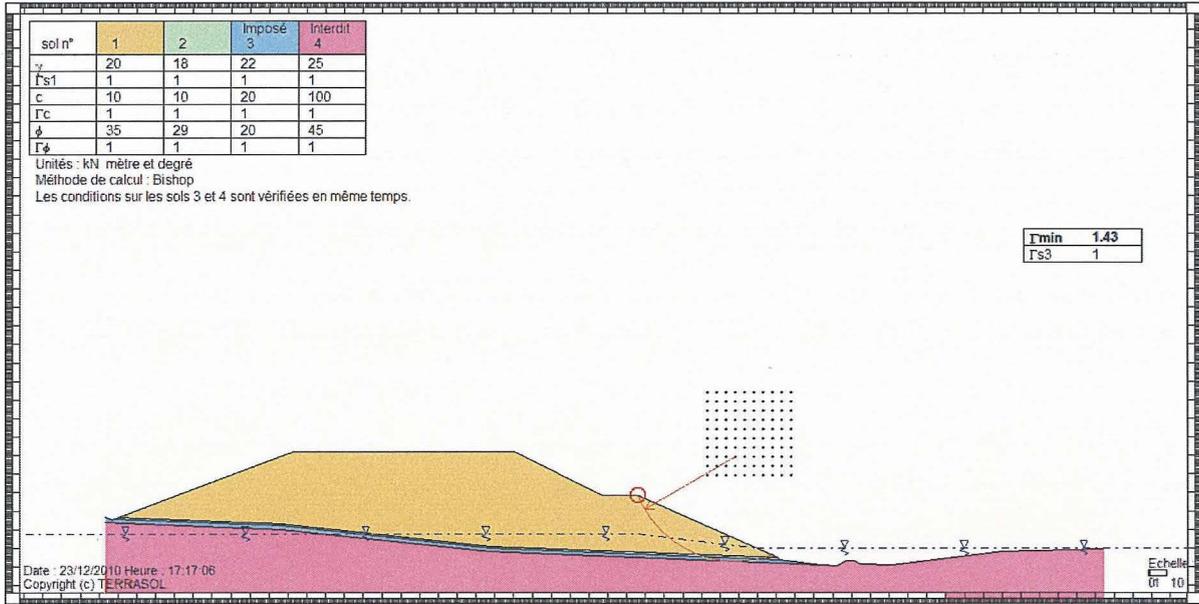


Figure N° - 18 : Coupe 3 : Stabilité vis-à-vis d'un glissement profond avec remontée accidentelle du niveau de la nappe

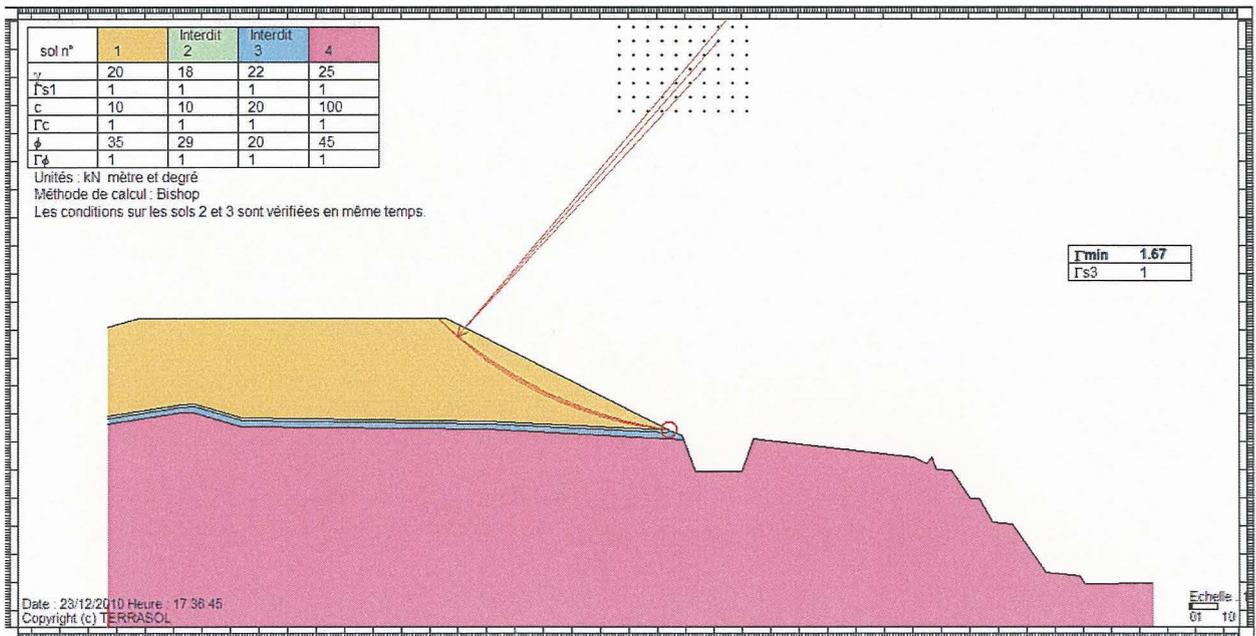


Figure N° - 19 : Coupe 4 : Stabilité intrinsèque de la verse

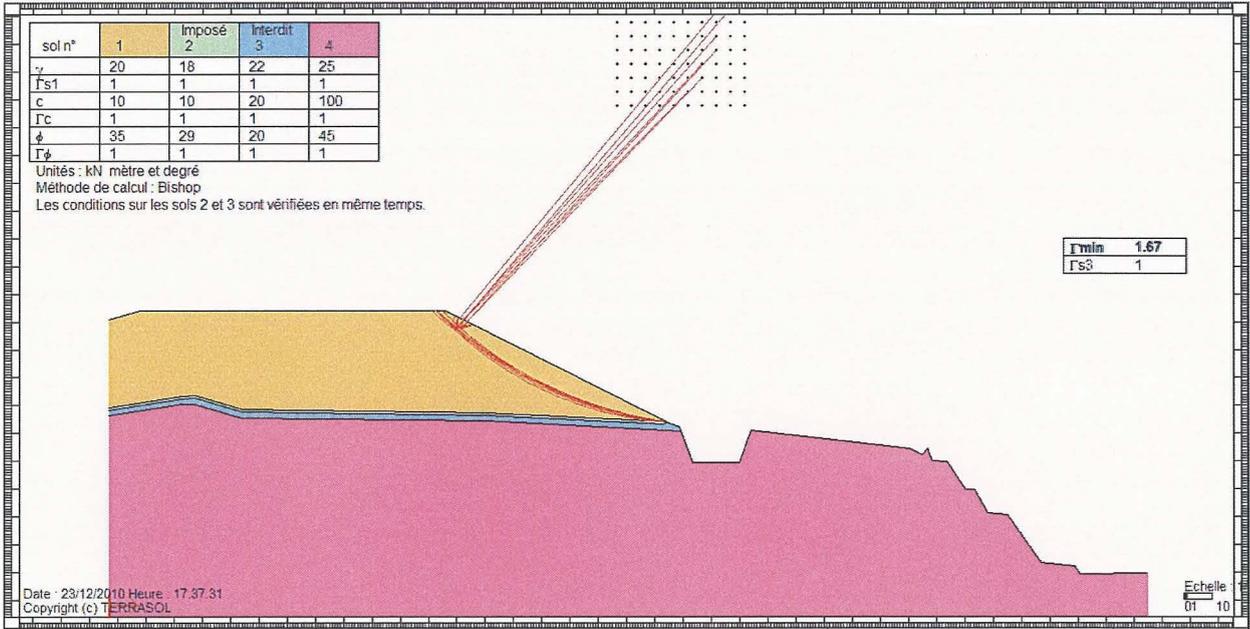


Figure N° - 20 : Coupe 4 : Stabilité vis-à-vis d'un glissement sur la couche de PS

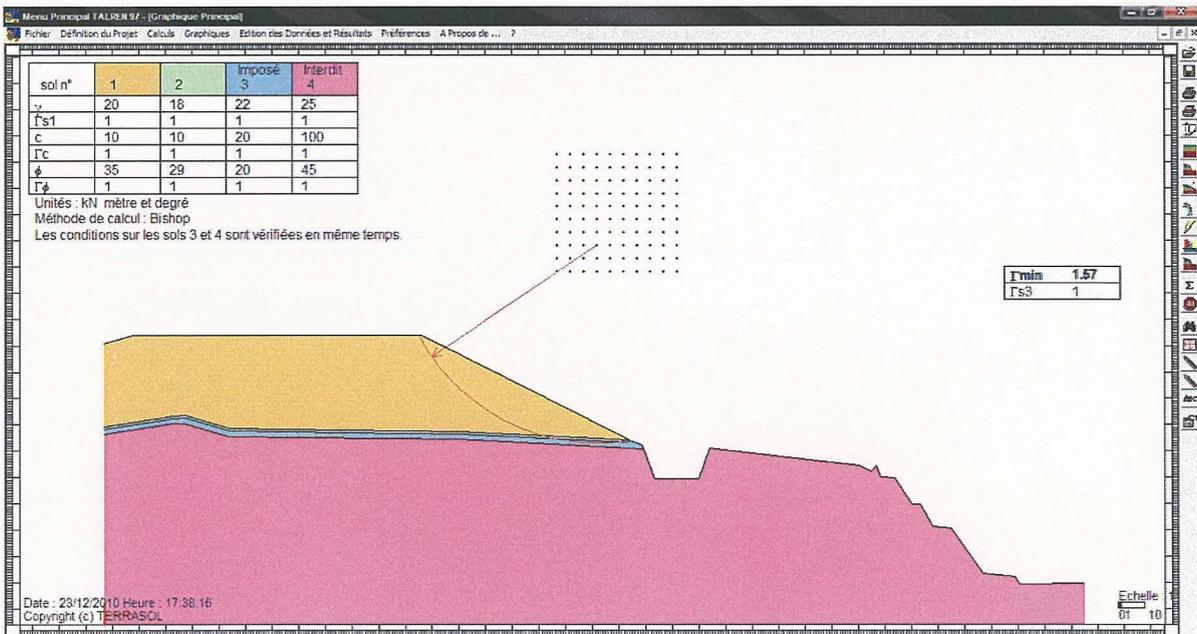


Figure N° - 21 : Coupe 4 : Stabilité vis-à-vis d'un glissement profond

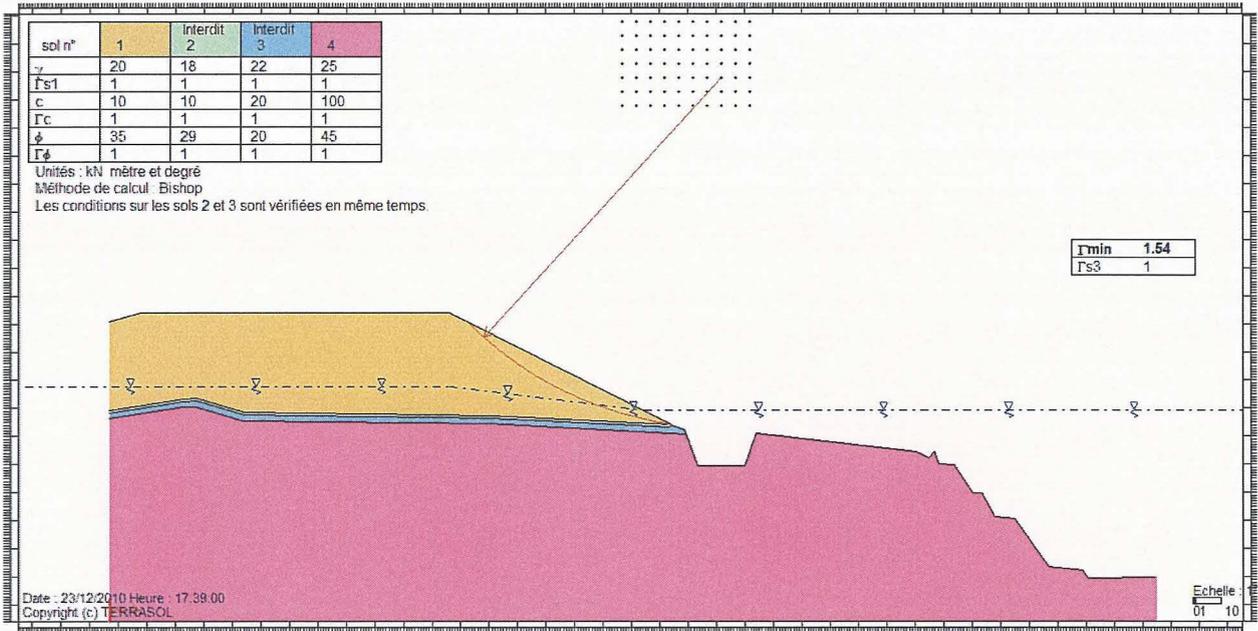


Figure N° - 22 : Coupe 4 : Stabilité intrinsèque de la verse avec remontée accidentelle du niveau de la nappe

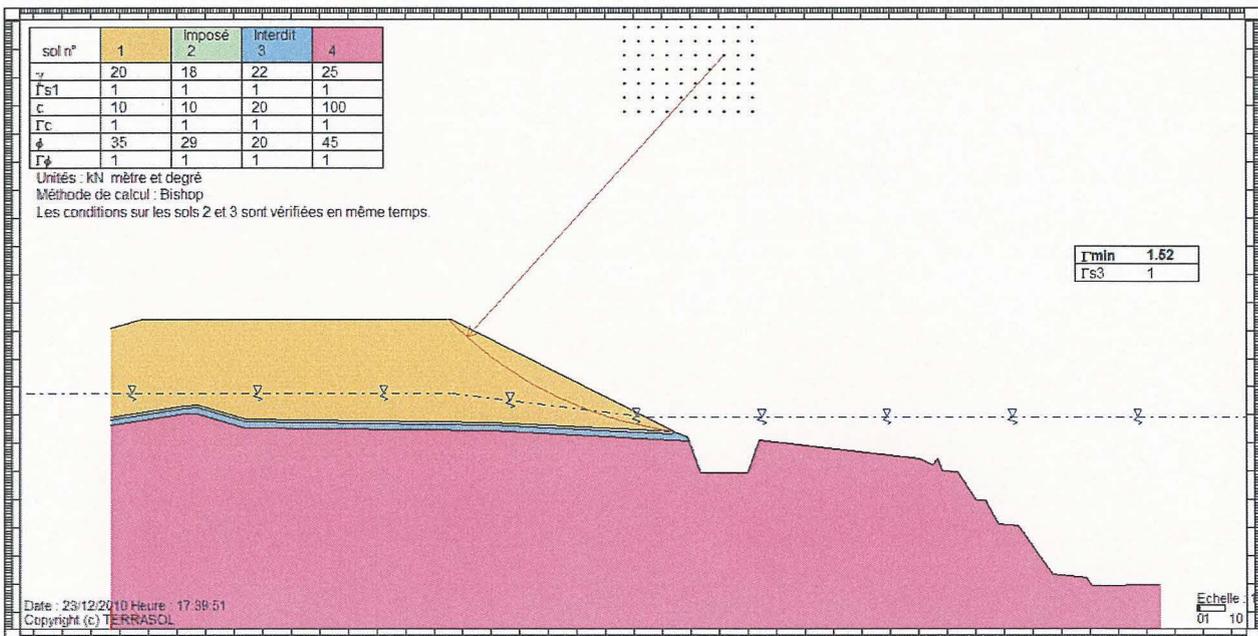


Figure N° - 23 : Coupe 4 : Stabilité vis-à-vis d'un glissement sur la couche de PS avec remontée accidentelle du niveau de la nappe

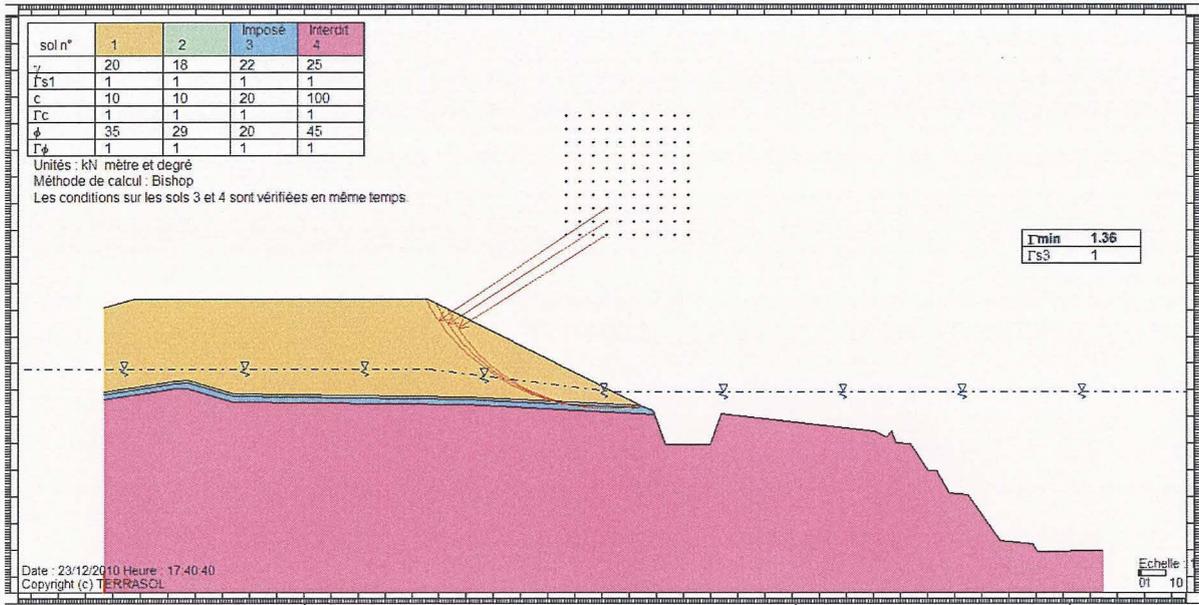


Figure N° - 24 : Coupe 4 : Stabilité vis-à-vis d'un glissement profond avec remontée accidentelle du niveau de la nappe

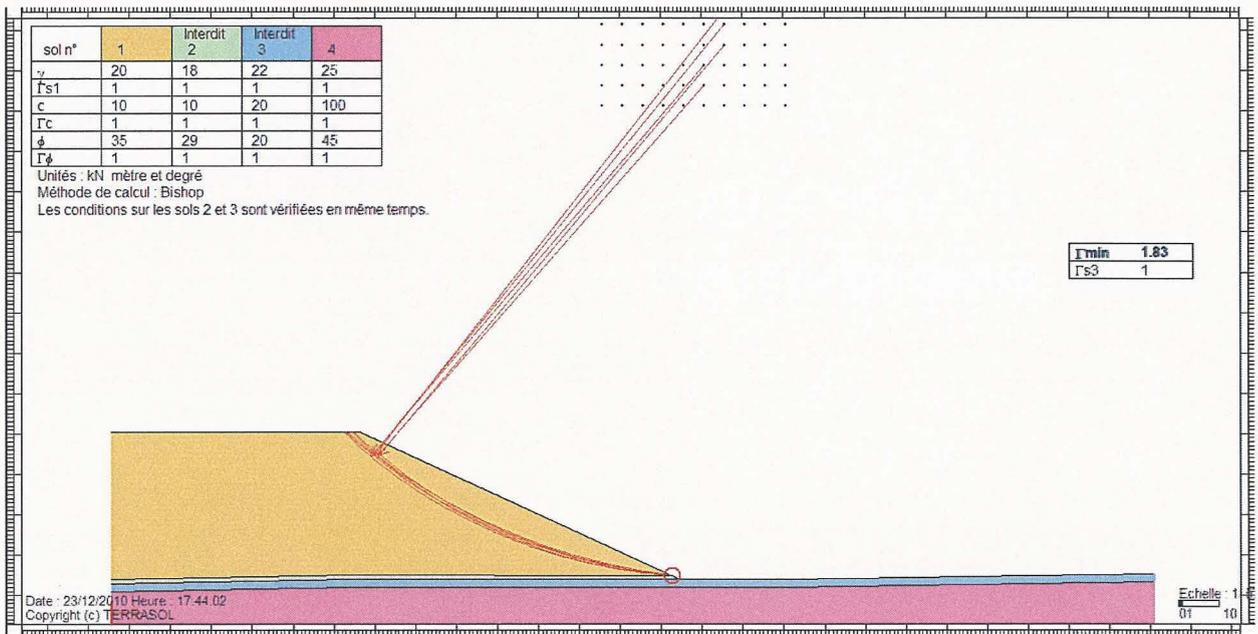


Figure N° - 25 : Coupe 5 : Stabilité intrinsèque de la verse

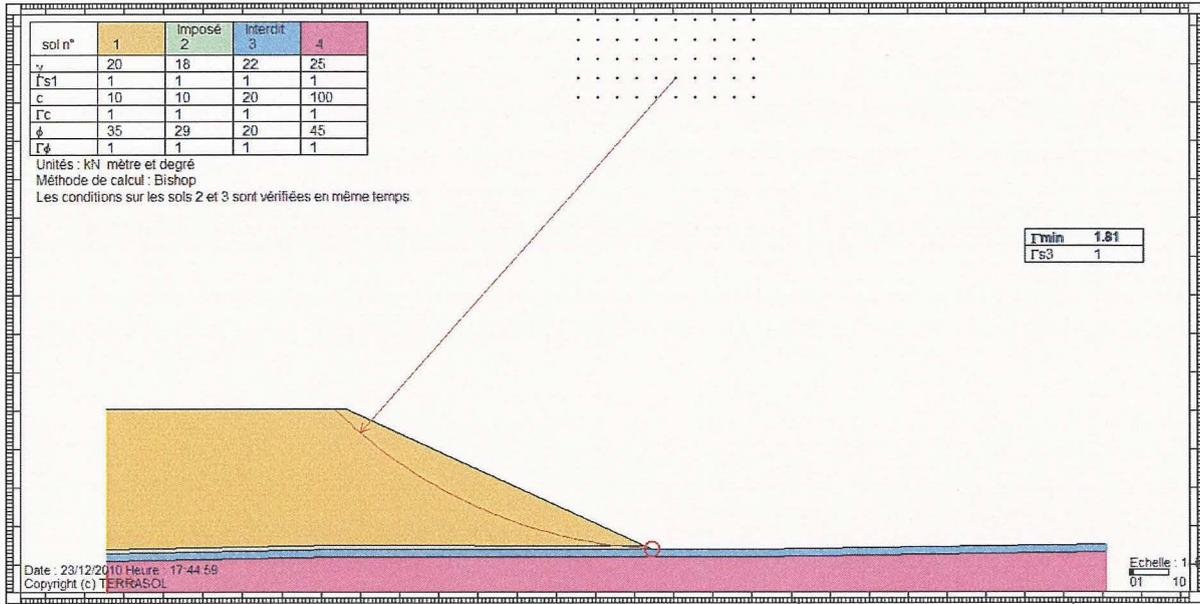


Figure N° - 26 : Coupe 5 : Stabilité vis-à-vis d'un glissement sur la couche de PS

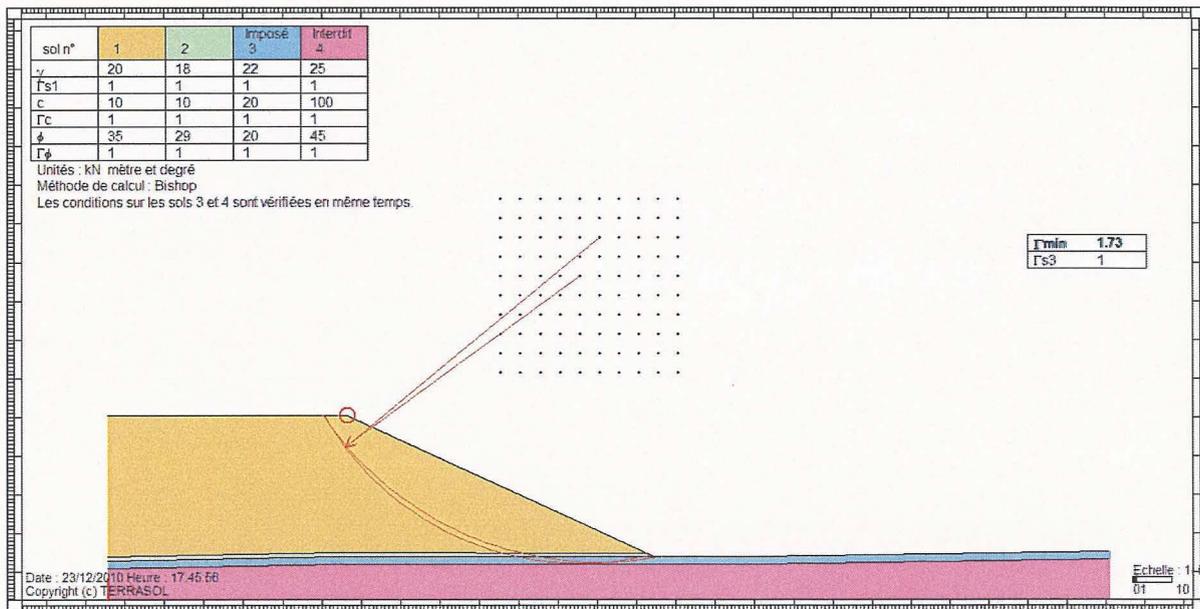


Figure N° - 27 : Coupe 5 : Stabilité vis-à-vis d'un glissement profond

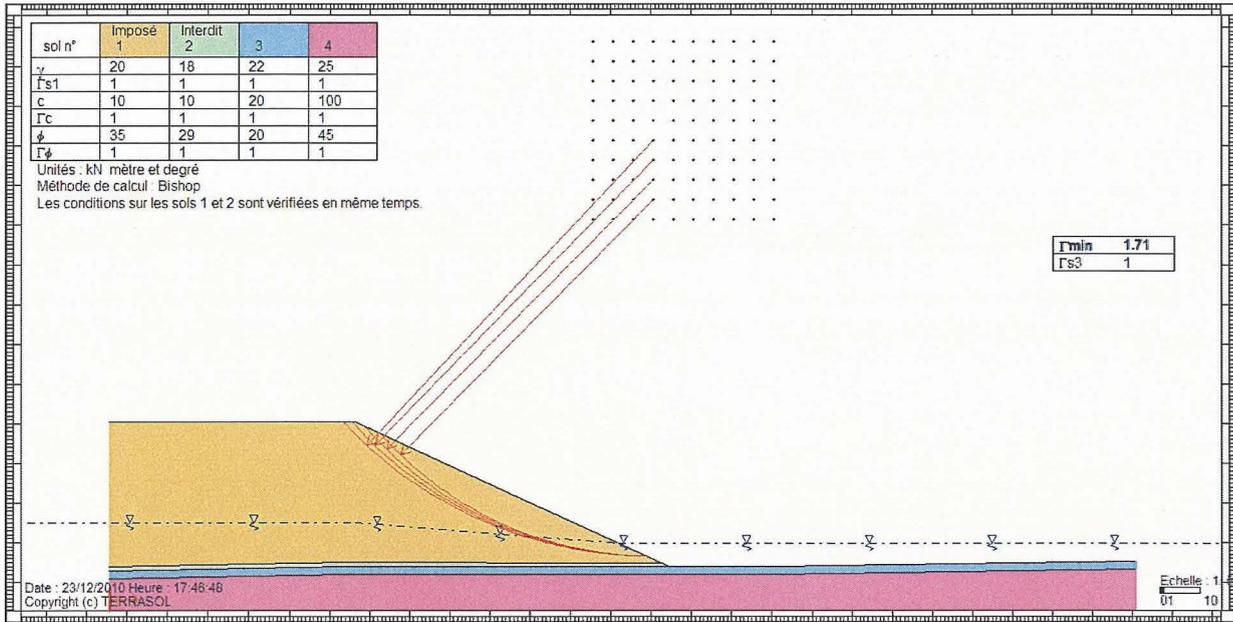


Figure N° - 28 : Coupe 5 : Stabilité intrinsèque de la verse avec remontée accidentelle du niveau de la nappe

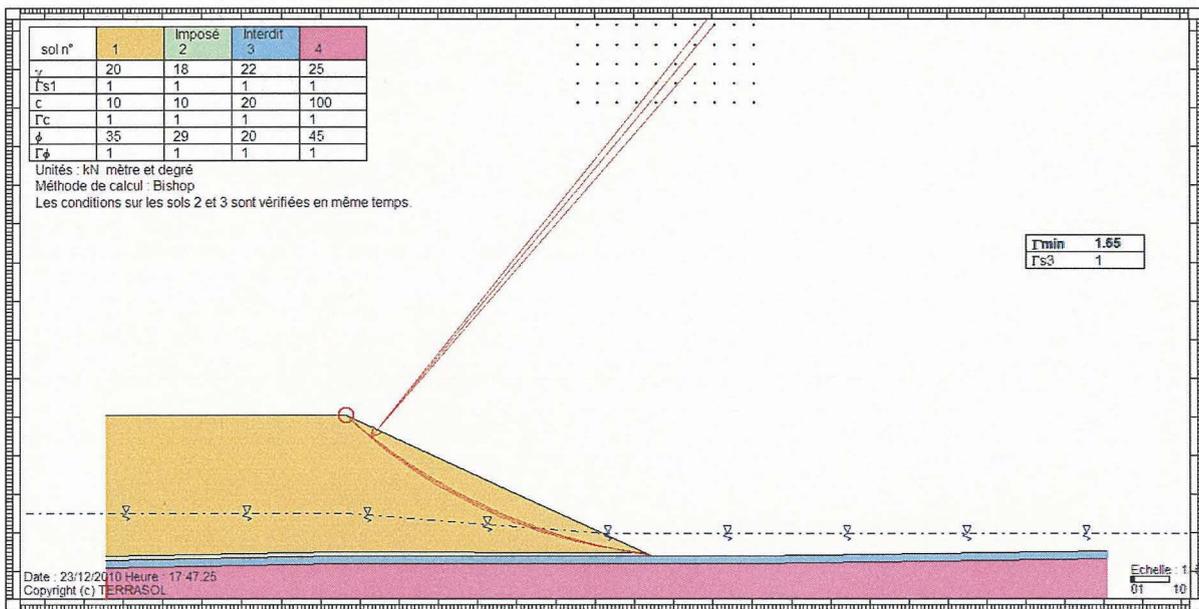


Figure N° - 29 : Coupe 5 : Stabilité vis-à-vis d'un glissement sur la couche de PS avec remontée accidentelle du niveau de la nappe

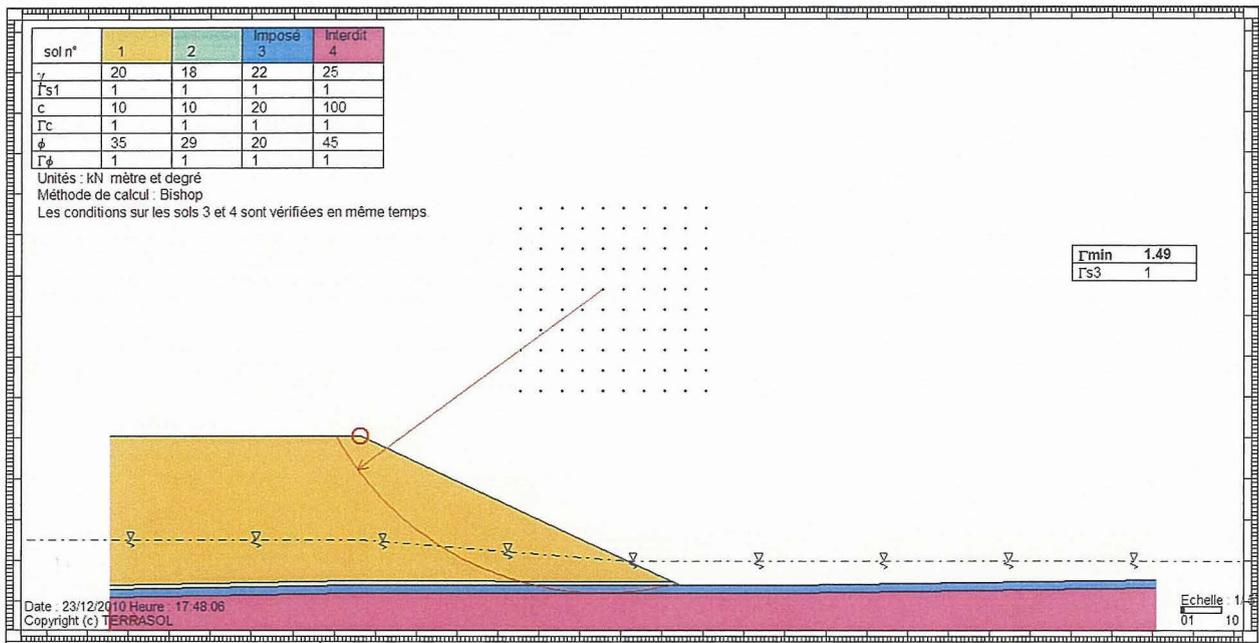
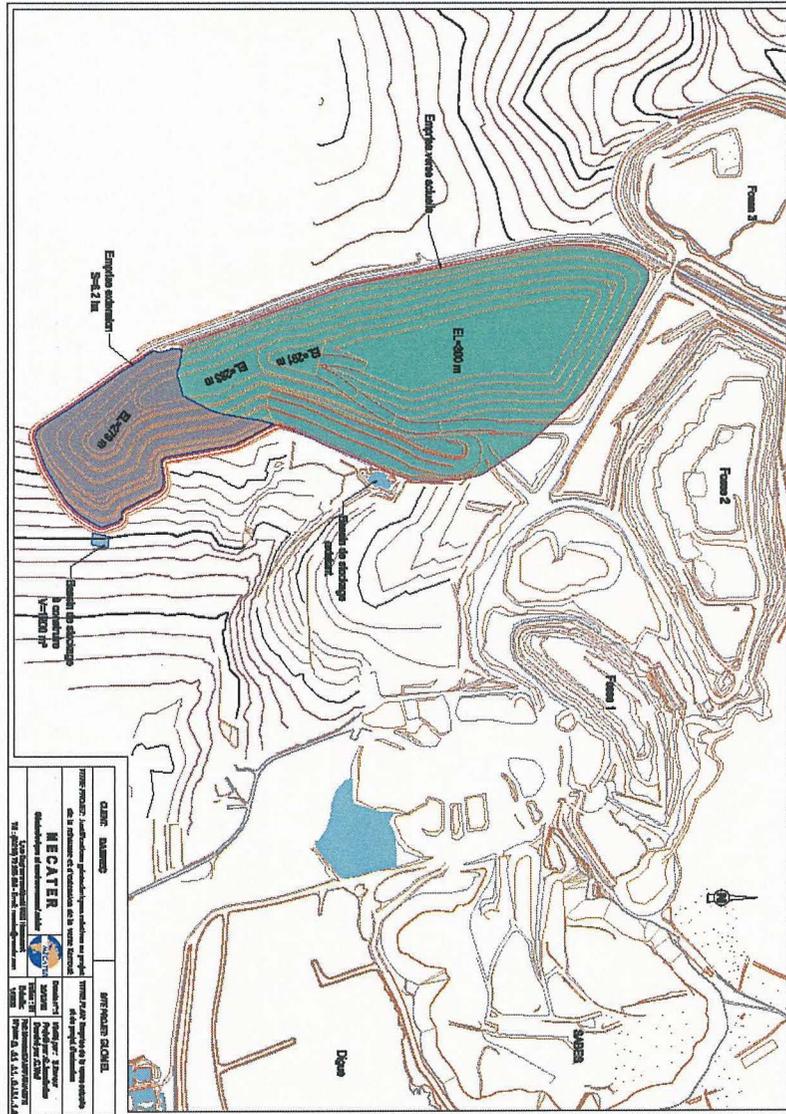


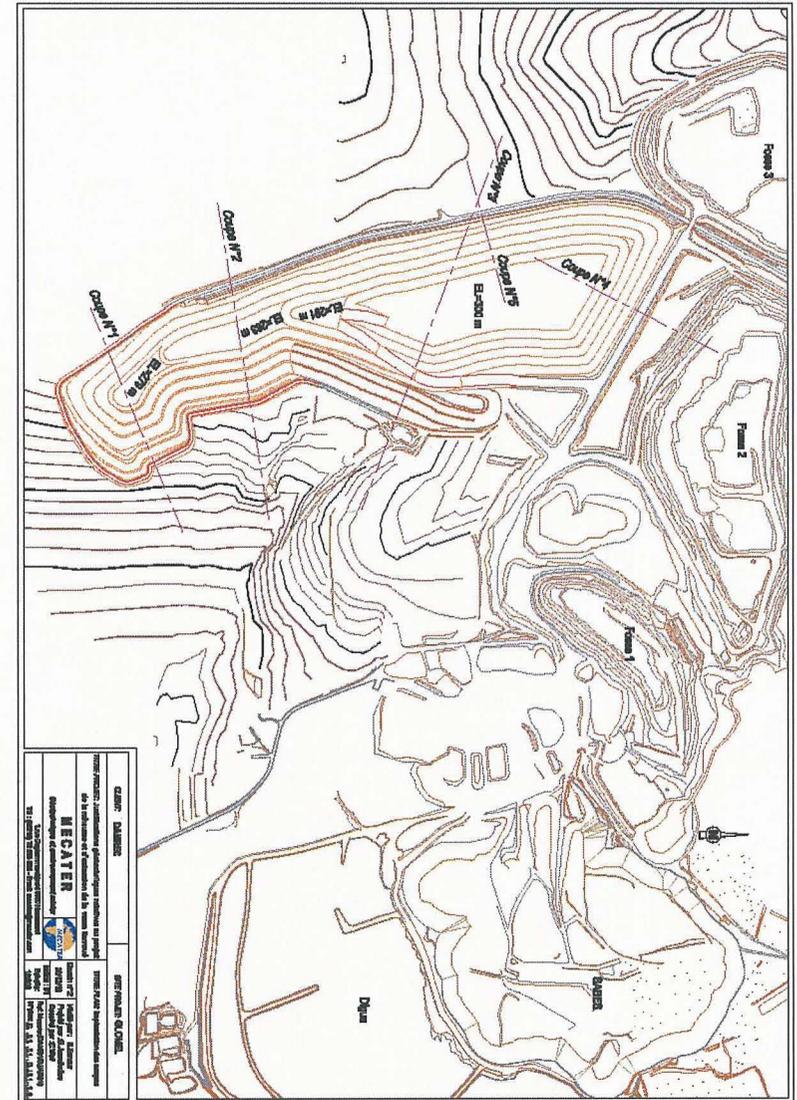
Figure N° - 30 : Coupe 5 : Stabilité vis-à-vis d'un glissement profond avec remontée accidentelle du niveau de la nappe

ANNEXE 3

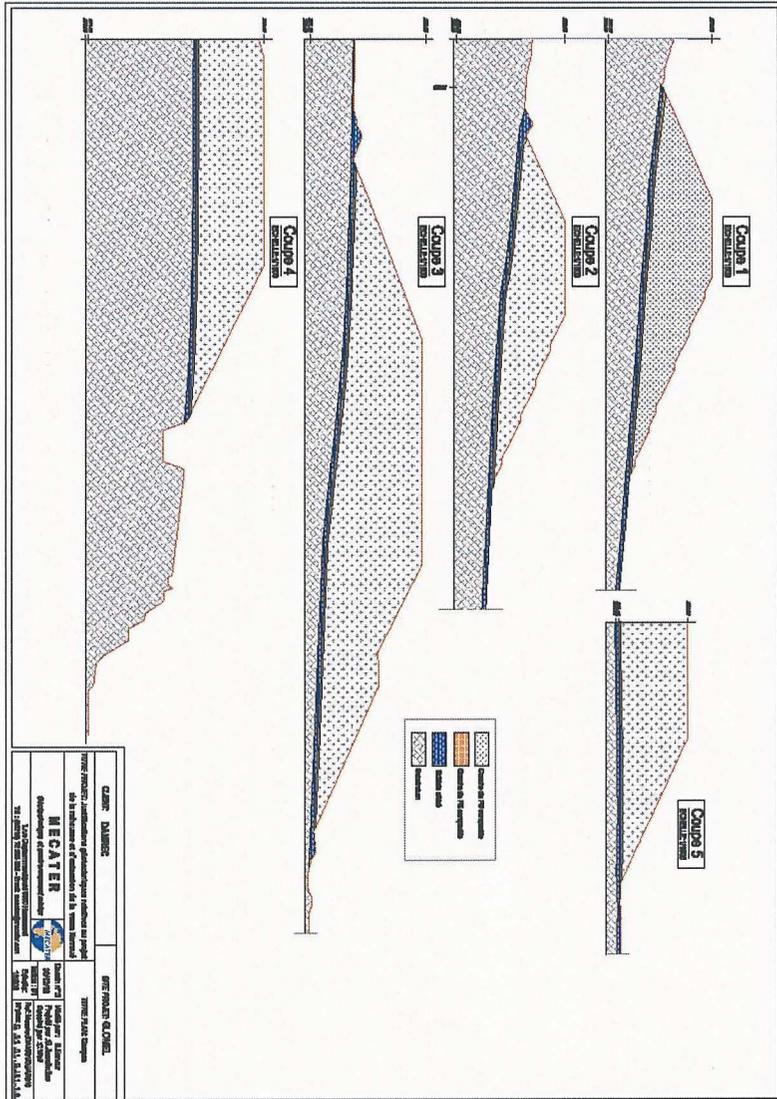
- Principaux plans de l'étude -



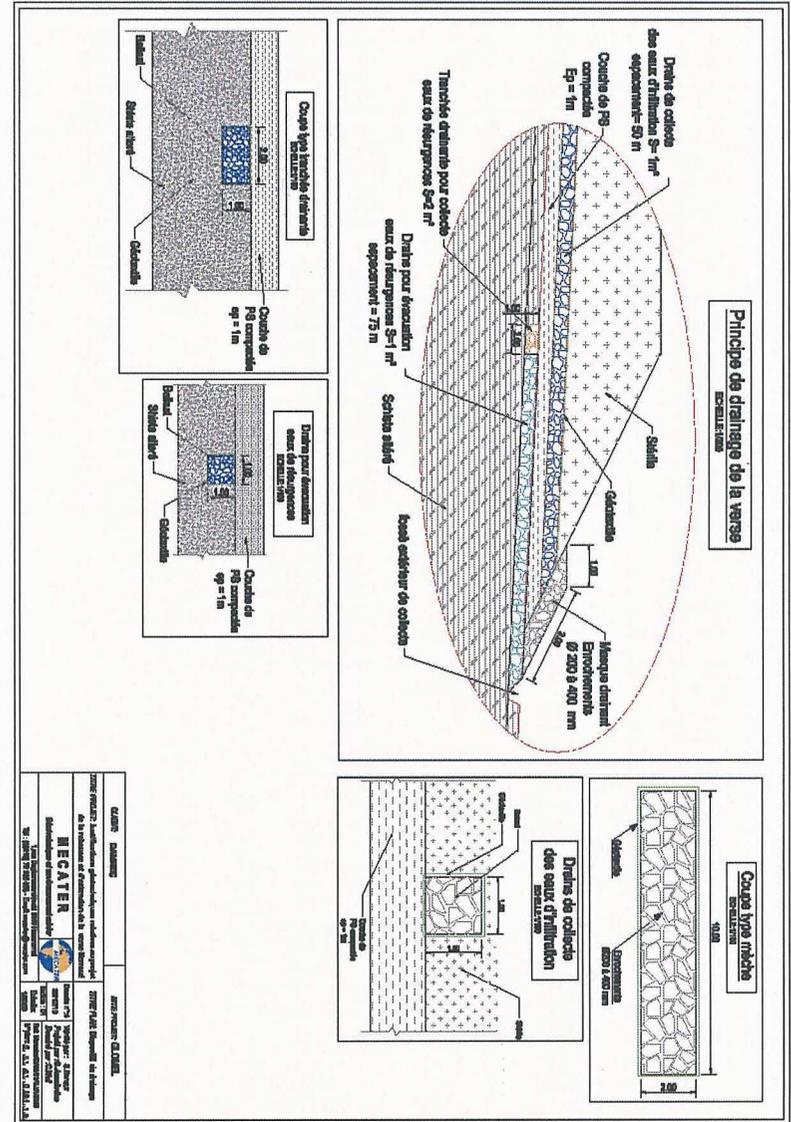
Annexe 3 -2



Annexe 3 -3



Annexe 3 -4



Annexe 3 -5

