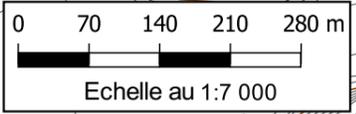
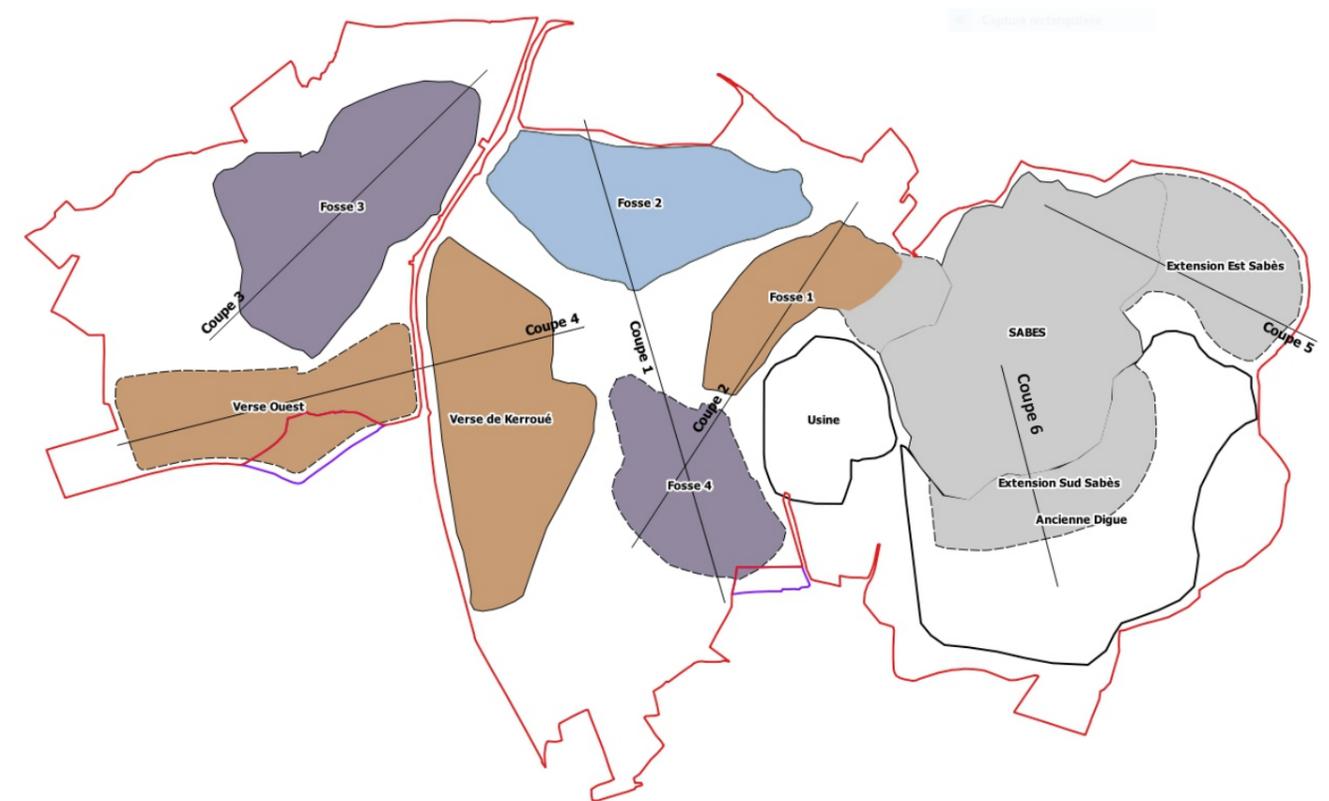
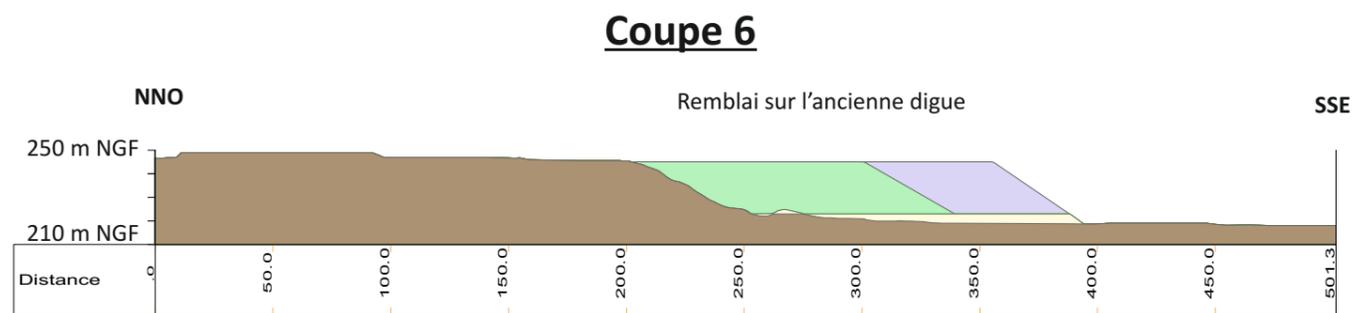
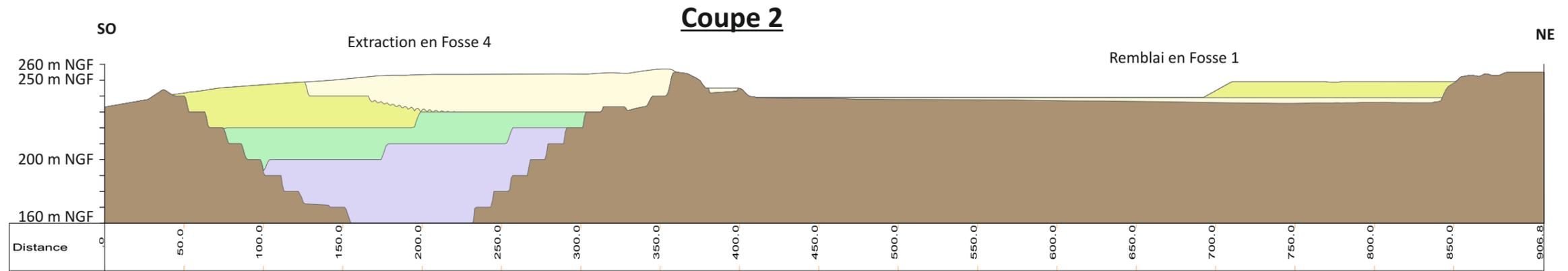
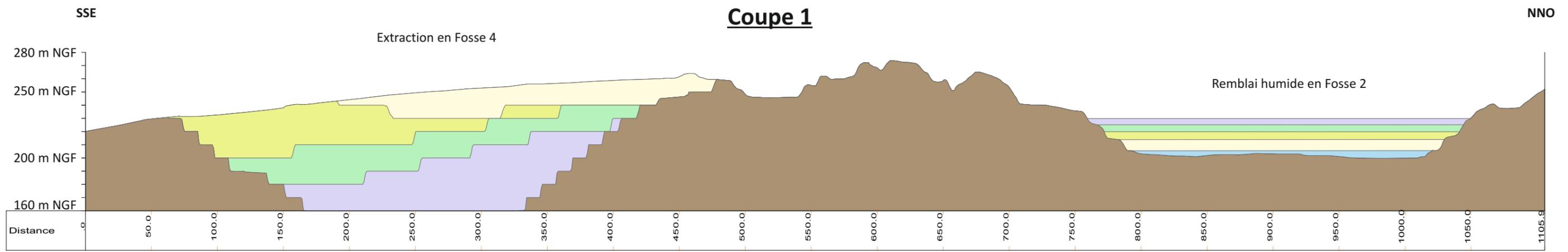


- Périmètre ICPE sollicité en renouvellement
- Périmètre ICPE sollicité en extension
- Topographie en fin de phase 4
- Courbes de niveau maitresses
- Courbes de niveau intermédiaires
- Zone réaménagée
- Zone non exploitée
- Extraction
- Plateforme technique
- Piste
- Stockage de résidus humides
- Stockage de stériles d'extraction
- Stockage de résidus secs (Sabès)
- Bassin
- Merlon



Imerys Refractory Minerals Glomel – Projet d'ouverture de la Fosse 4
 Exploitation d'Andalousite de Guerphalès
 Demande d'Autorisation Environnementale d'exploitation de carrière

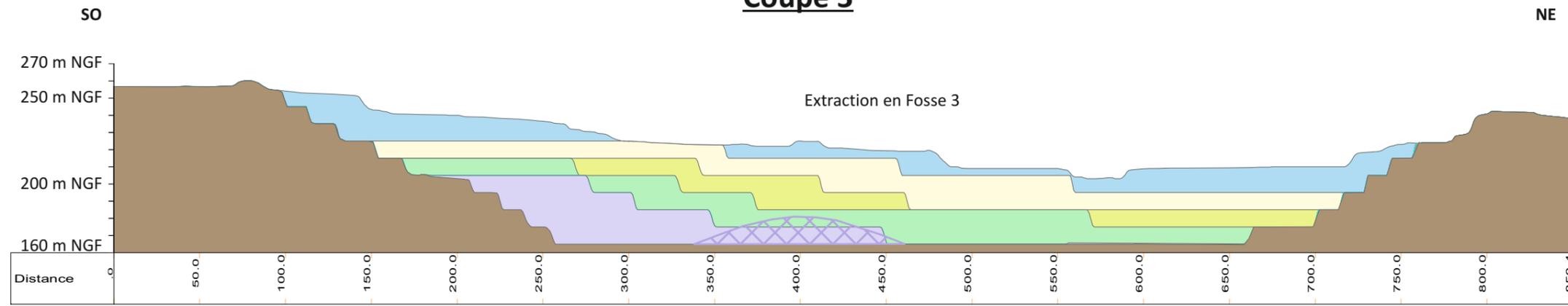
Topographie en fin de phase 4 (T0 +20 ans)
 Source : GéoPlusEnvironnement



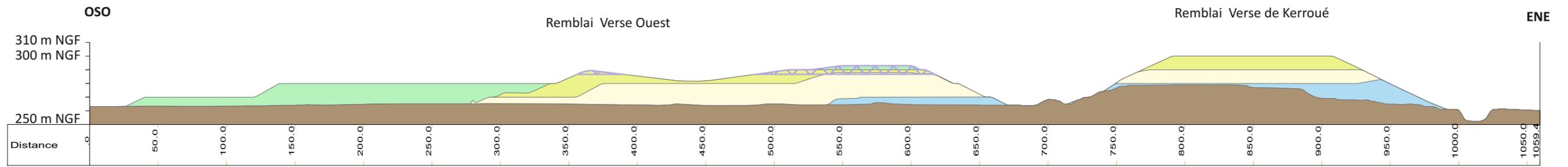
Echelle horizontale de 1/3 000 ième
Echelle verticale de 1/3 000 ième

- Phase 0
- Phase 1
- Phase 2
- Phase 3
- Phase 4

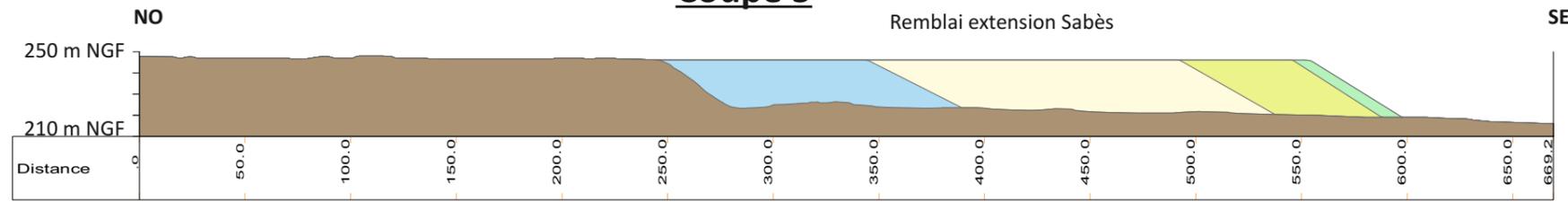
Coupe 3



Coupe 4

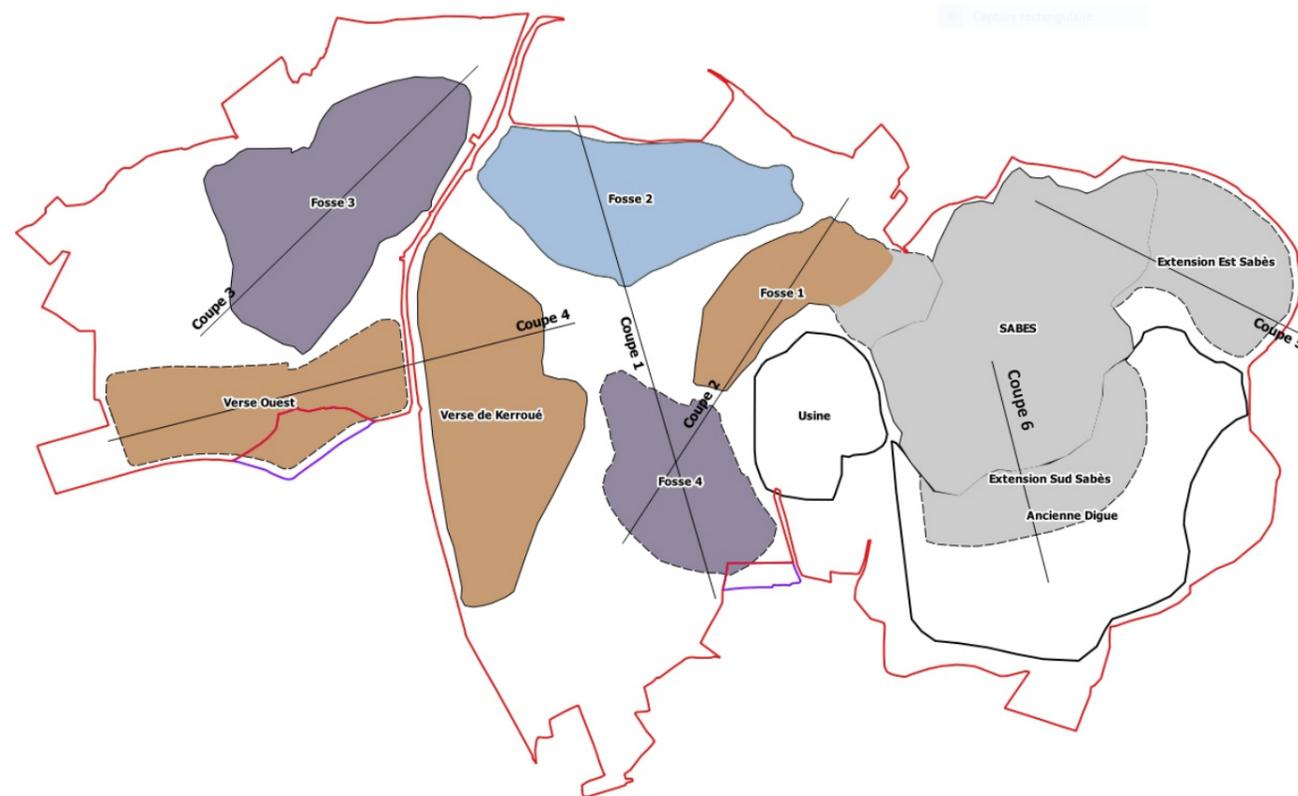


Coupe 5



Echelle horizontale de 1/3 000 ième
Echelle verticale de 1/3 000 ième

- Phase 0
- Phase 1
- Phase 2
- Phase 3
- Phase 4
- Phase 4

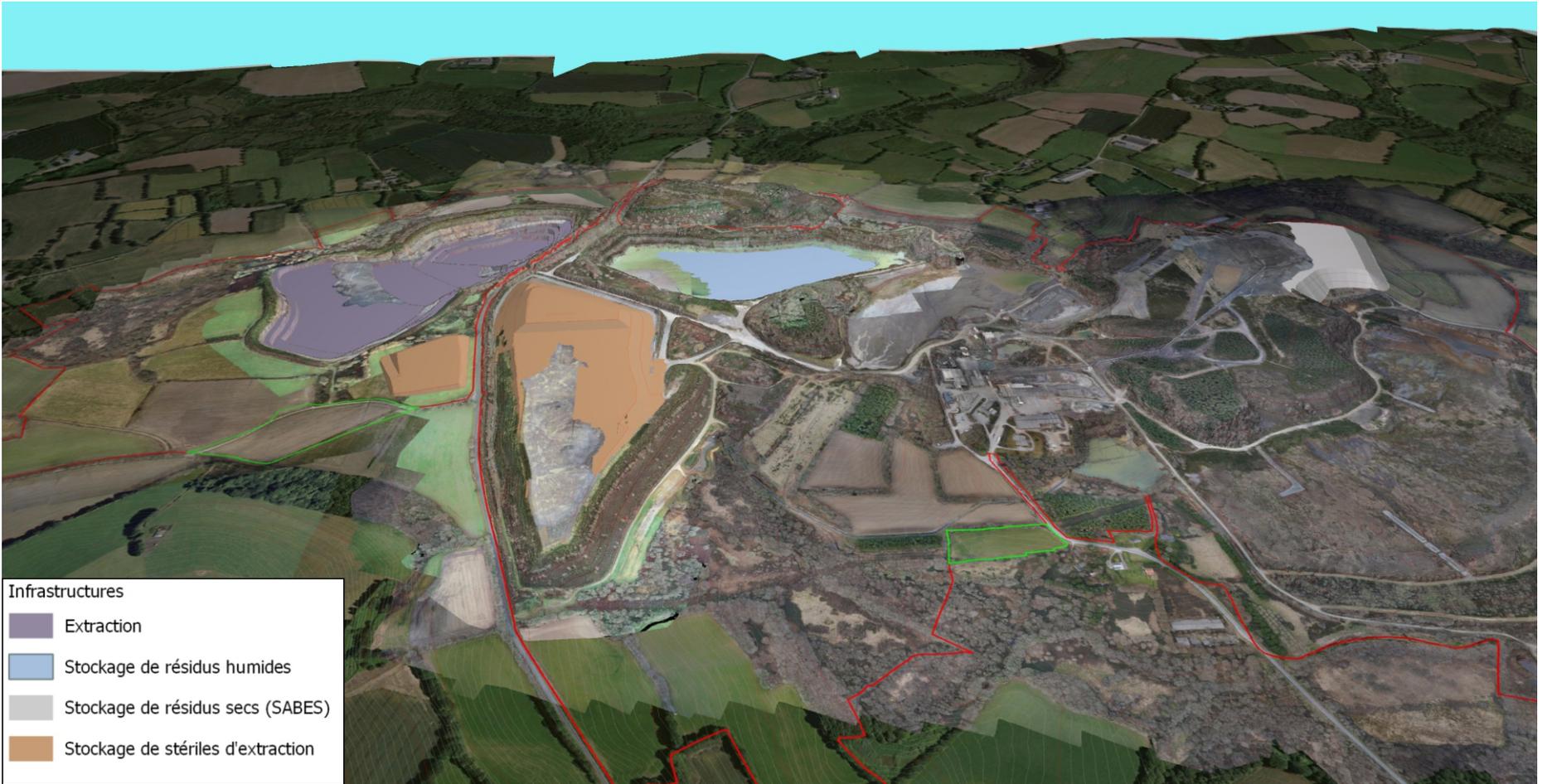


IMERYS REFRACTORY MINERALS GLOMEL - *Exploitation d'andalousite de Guerphalès (22)*
Demande d'Autorisation Environnementale d'exploitation de carrière - *Projet d'ouverture de la Fosse 4*
Mémoire Technique

Vues en coupe du phasage d'exploitation

Sources : IRMG et GéoPlusEnvironnement

Phase 0

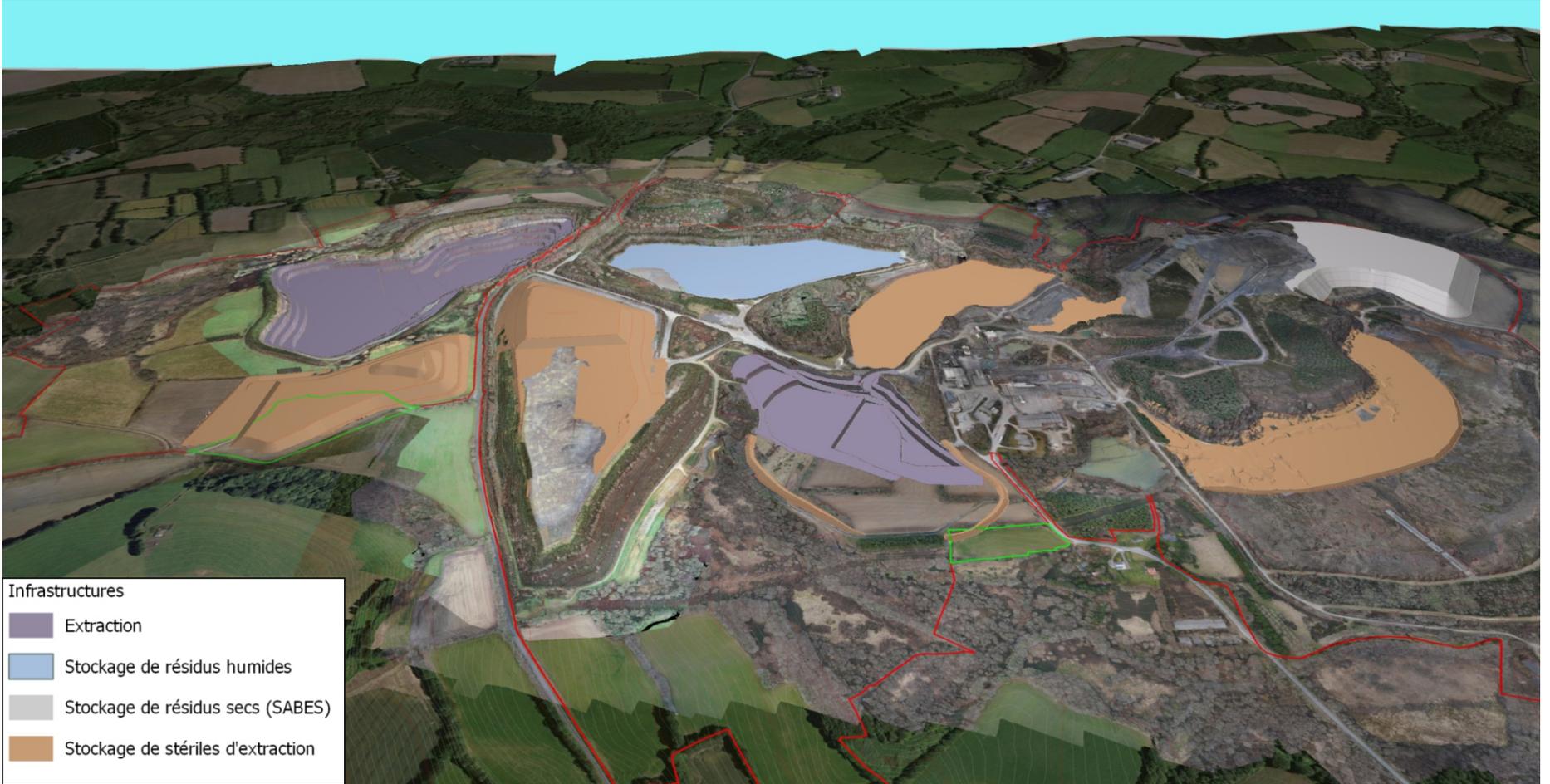


IMERYS REFRACTORY MINERALS GLOMEL - Exploitation d'andalouste de Guerphales (22)
Demande d'Autorisation Environnementale d'exploitation de carrière - Projet d'ouverture de la Fosse 4
Mémoire Technique

Vue 3D du phasage d'exploitation

Sources : IRMG et GéoplusEnvironnement

Phase 1

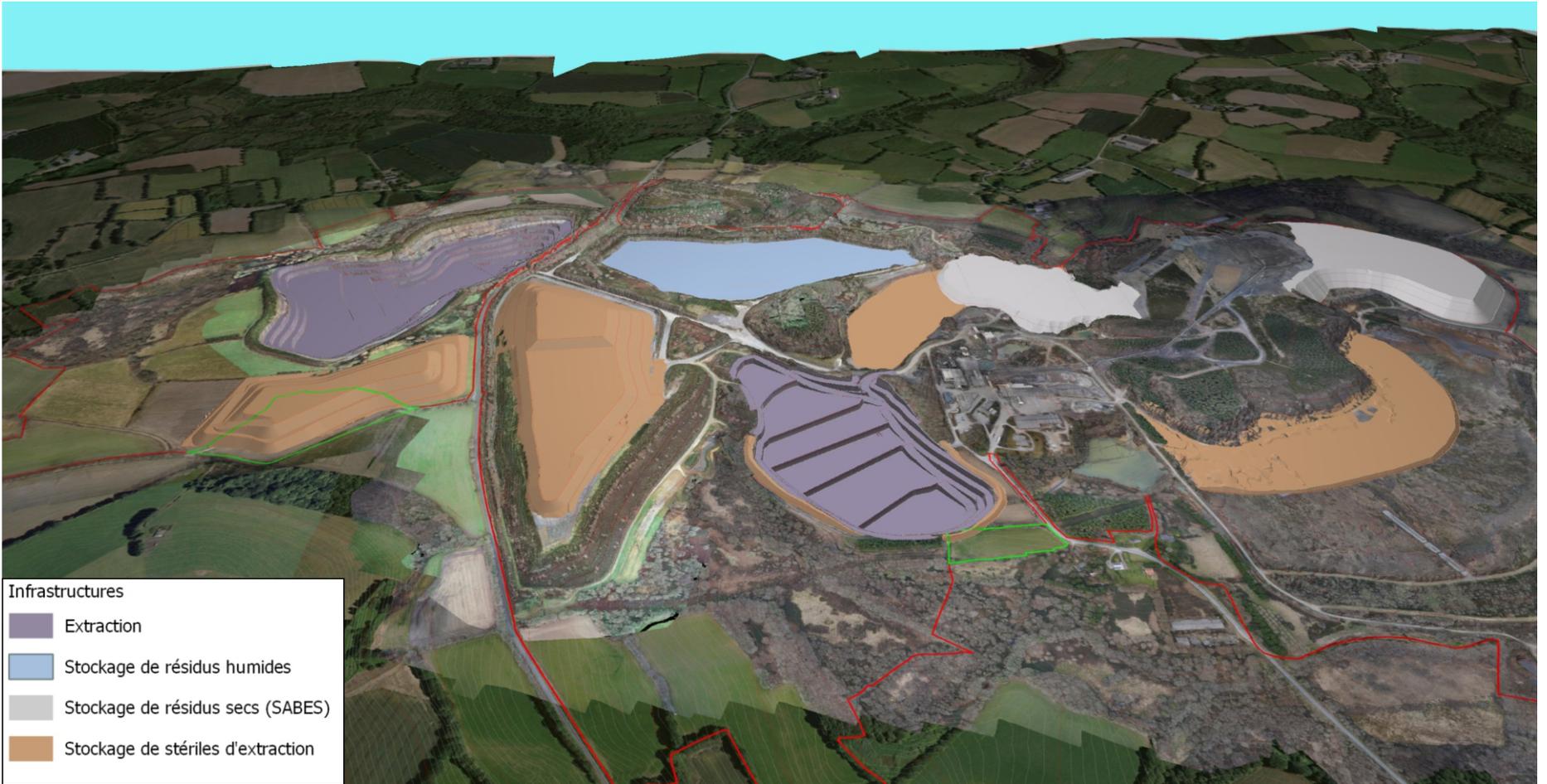


IMERYS REFRACTORY MINERALS GLOMEL - *Exploitation d'andalouste de Guerdalouste (22)*
Demande d'Autorisation Environnementale d'exploitation de carrière - *Projet d'ouverture de la Fosse 4*
Mémoire Technique

Vue 3D du phasage d'exploitation

Sources : IRMG et GéoplusEnvironnement

Phase 2

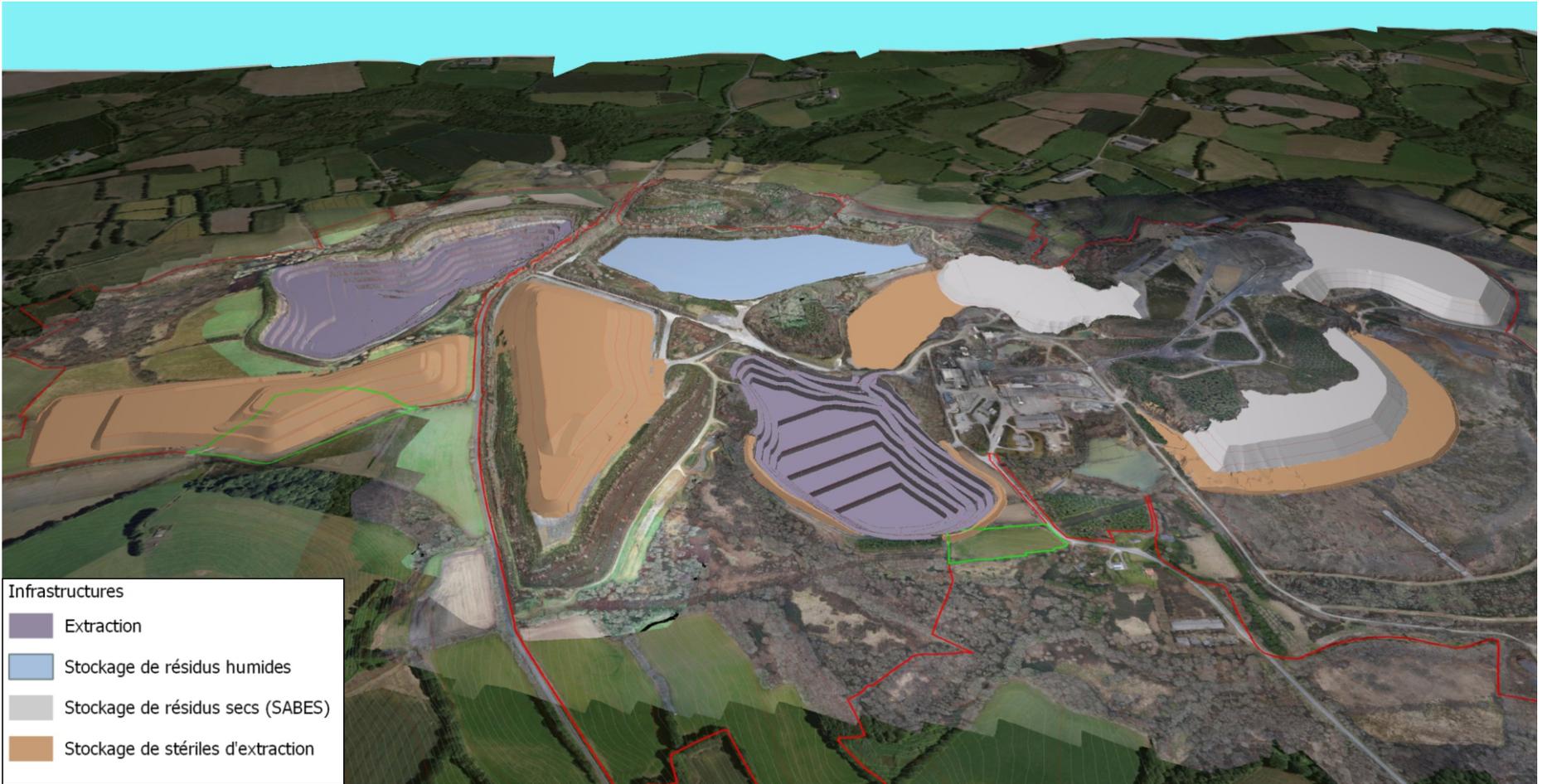


IMERYS REFRACTORY MINERALS GLOMEL - Exploitation d'andalouste de Guerphales (22)
Demande d'Autorisation Environnementale d'exploitation de carrière - *Projet d'ouverture de la Fosse 4*
Mémoire Technique

Vue 3D du phasage d'exploitation

Sources : IRMG et GéoplusEnvironnement

Phase 3

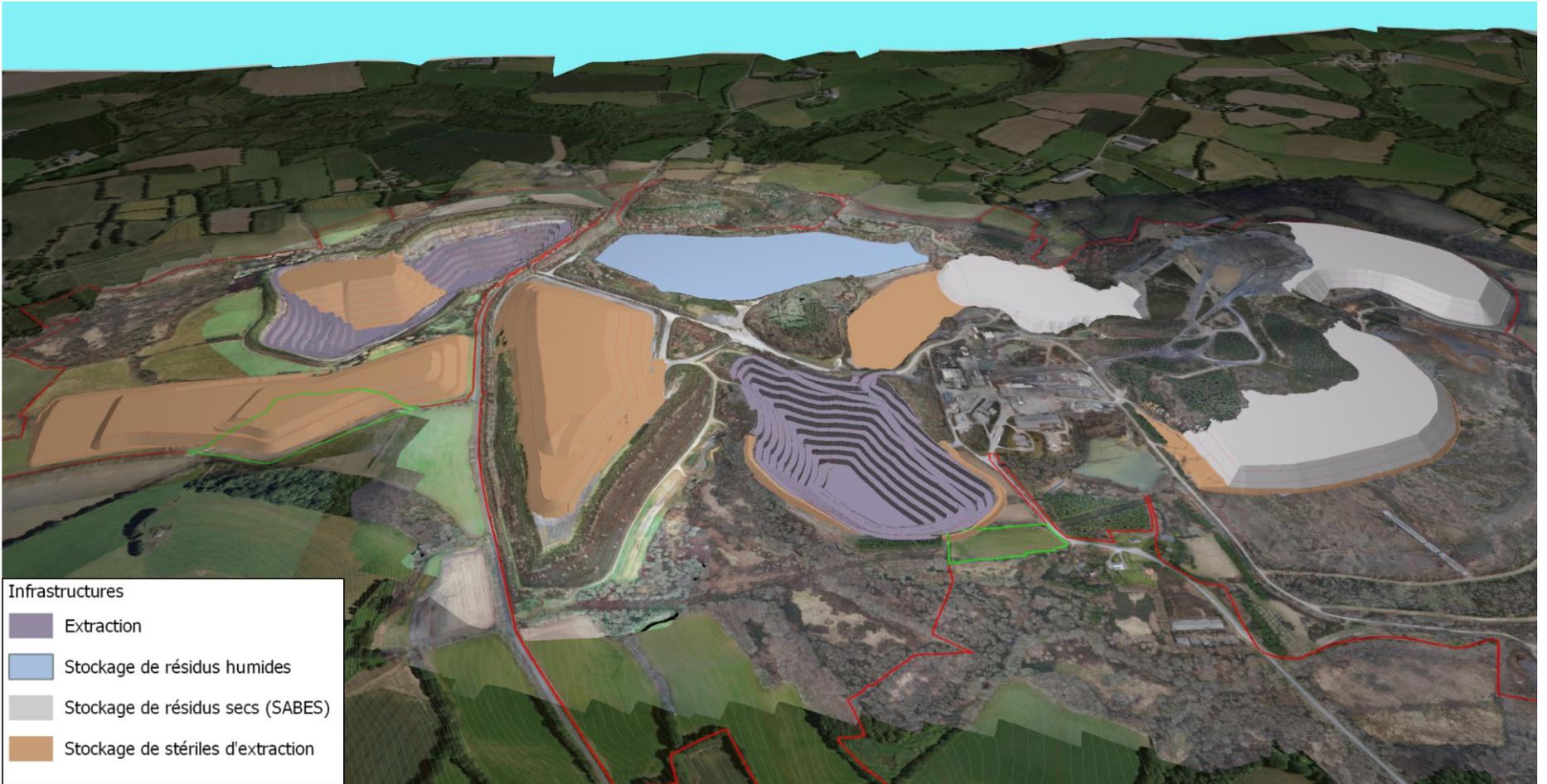


IMERYS REFRACTORY MINERALS GLOMEL - Exploitation d'andalouste de Guerphales (22)
Demande d'Autorisation Environnementale d'exploitation de carrière - Projet d'ouverture de la Fosse 4
Mémoire Technique

Vue 3D du phasage d'exploitation

Sources : IRMG et GéoplusEnvironnement

Phase 4



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

Vue 3D du phasage d'exploitation

Sources : IRMG et GéoplusEnvironnement

2.4 PLAN DE GESTION DES STÉRILES DE DÉCOUVERTE ET D'EXTRACTION

La transposition de la Directive Européenne 2006/21/CE (15 mars 2006 – Gestion des déchets de l'industrie extractive) en droit français a pris deux formes :

- Pour les déchets inertes et terres non polluées issus des activités extractives, les prescriptions de gestion sont fixées dans le **Décret n°2010-1394 du 12 novembre 2010 relatif aux prescriptions applicables à certaines exploitations de mines et aux installations de gestion de déchets inertes et des terres non polluées résultant de leur fonctionnement.**
- Pour les déchets non inertes (dangereux ou non) : création de la rubrique 2720 dans la nomenclature des ICPE. Les prescriptions d'exploitation sont fixées dans l'Arrêté Ministériel du 19 avril 2010, modifié par l'Arrêté du 24 avril 2017, relatifs à la gestion des déchets des industries extractives.

Ces dispositions obligent les exploitants à :

- Elaborer et mettre à jour un **plan de gestion** de leurs déchets (de découverte, d'extraction et de traitement), selon :
 - L'Art. 5 du Décret n°2010-1394 du 12 novembre 2010 pour les déchets inertes et terres non polluées ;
 - L'Art. 5 de l'AM du 19/04/2010 pour les déchets non inertes, dangereux ou non.
- Aménager et contrôler les **zones réservées à leur stockage** d'une durée supérieure à trois ans : Art. 10 à 25 de l'AM du 19/04/2010 pour les déchets non inertes, dangereux ou non.

Le présent § 2.4 constitue le Plan de Gestion des stériles d'extraction issus des Fosses 3 et 4.

Les stériles de découverte sont constitués par (Cf. § 2.1 p 38) :

- Les **terres végétales** (terres non polluées) ;
- Les **stériles de découverte** : limons, argiles, schistes altérés ;

Les stériles d'extraction sont constitués par (Cf. § 1.2.1.2 p 11) :

- Les **filons de dolérite** recoupant le gisement d'Est en Ouest ;
- Les **zones de cisaillement à kaolinite** et les **veines de quartz** ;
- Les **halos d'altération** de ces structures, appauvris en andalousite et plus riche en alcalins (sodium et potassium) ;
- Plus généralement, les **schistes/cornéennes à andalousite présentant une teneur en andalousite inférieure à 15,5%**.

Les sondages de pré-exploitation permettent de classer les zones stériles et les zones minéralisées en andalousite.

2.4.1 Gestion des terres végétales (terres non polluées) et des stériles de découverte

Les stériles de découverte du gisement d'andalousite se composent (Cf. [Figure 10](#)) :

- De 30 cm de terre végétale ;
- D'environ 3 m schistes altérés inertes et non acidogènes constitués de morceaux de schistes dans une matrice argileuse.

Les opérations de décapage de la terre végétale et des stériles de découverte sont **terminées sur la Fosse 3**.

La terre végétale et les stériles de découverte seront uniquement issus des travaux de **décapage de la Fosse 4**. La terre végétale sera décapée sélectivement et progressivement pour être **réutilisée immédiatement dans le cadre de la remise en état**, selon le principe du **réaménagement coordonné**.

Une partie des stériles de découverte sera également utilisée pour constituer **deux merlons (levées de terre) à vocation sécuritaire et paysagère** en bordures Sud-Est et Sud Ouest de la Fosse 4. Le reste des stériles de découverte sera stocké sur la Verse de Kerroué.

Un tombereau permettra le transfert de ces terres de découverte vers les zones réservées à la mise en place de merlons ou vers les zones en cours de remise en état.

Le tableau suivant récapitule le phasage quinquennal de stockage de la terre végétale et des stériles de découverte. Les zones de stockage sont localisées sur les planches des phases 1 et 2 en [p 45](#) et [46](#).

Tableau 5 : Phasage quinquennal de stockage de la terre végétale et des stériles de découverte

Phase	Volumes	Modalités de stockage
Phase 0 3 ans (jusqu'à obtention du nouvel AP) 2020-2022	0 m³	-
PHASE 1 5 ans (2023-2027)	Décapage Fosse 4 20 000 m³ de terre végétale 205 000 m³ de stériles de découverte	Merlons périphériques de la Fosse 4 : 20 000 m ³ de stériles de découverte Stockage sur la Verse de Kerroué : 185 000 m ³ de stériles de découverte Remise en état coordonnée des flancs de la Verse de Kerroué et de la plateforme sommitale du Sabès : 20 000 m ³ de terre végétale
PHASE 2 5 ans (2028-2032)	Décapage Fosse 4 10 000 m³ de terre végétale 115 000 m³ de stériles de découverte	Stockage sur la Verse de Kerroué : 115 000 m ³ de stériles de découverte Remise en état coordonnée des flancs de la Verse de Kerroué et de la plateforme sommitale du Sabès : 10 000 m ³ de terre végétale
PHASE 3, 4 et 5 (2033-2047)	0 m³	-
Total phases 1 à 5	30 000 m³ de terre végétale 320 000 m³ de stériles de découverte	

2.4.2 Caractérisation des stériles d’extraction

2.4.2.1 *Caractéristiques physiques et minéralogiques*

Les **schistes à andalousites** exploités sont pétrographiquement une cornéenne à andalousites. La paragenèse compte **neuf minéraux primaires** :

- Cinq majeurs : quartz (SiO_2), biotite ($\text{K}(\text{Mg,Fe})_3\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH,F})_2$), andalousite (AlSi_2O_5), feldspaths ($(\text{Na,Ca,K})[\text{Al}(\text{Si,Al})\text{Si}]_2\text{O}_8$) ;
- Trois mineurs : muscovite ($\text{KAl}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH,F})_2$), ilménite (FeTiO_3) et pyrite (FeS_2) ;
- Un rare, le grenat almandin, présent très localement.

Les **filons de dolérite** sont constitués principalement de feldspaths ($(\text{Na,Ca,K})[\text{Al}(\text{Si,Al})\text{Si}]_2\text{O}_8$), et de grands cristaux d’amphibole (actinote ($\text{Ca}_2(\text{Mg, Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$) et hornblende ($(\text{Ca,Na,K})_2(\text{Mg,Fe}^{2+},\text{Fe}^{3+},\text{Al})_5(\text{OH,F})_2$). La biotite et/ou chlorite, associées à des oxydes de Fe-Ti (leucoxène). Apatite ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3$) et épidote ($\text{Ca}_2(\text{Fe,Al})\text{Al}_2(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)\text{O}(\text{OH})$), sont omniprésentes dans les minéraux accessoires. La biotite, l’actinote et l’épidote peuvent renfermer des traces de manganèse.

2.4.2.2 *Caractéristiques et comportement géochimique*

Afin de caractériser les stériles de l’exploitation de Guerphalès, plusieurs échantillons ont été prélevés par 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 ;
- BRMG pour la détermination du taux de sulfures, à hauteur d’environ 100 g ;
- Laboratoire Environnement et Minéralurgie de Nancy pour déterminer le rapport de potentiel de neutralisation (RPN).

20 échantillons de cornéennes à andalousite et 6 échantillons de dolérites ont été analysées en 2020 par IRMG au Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimique de Nancy.

❖ Eléments majeurs

Les compositions en éléments majeurs des **cornéennes** exploitées sur le site de Guerphalès sont très constantes autour de 51% SiO_2 et 26% Al_2O_3 , 9% Fe_2O_3 , 3,2% K_2O et 2,2% MgO , avec des écarts types faibles. Les autres éléments sont en teneurs plus faibles : 1,1% TiO_2 , 0,76% Na_2O et 0,65% CaO (teneurs moyennes).

La dolérite saine est très mafique (50% SiO_2 , 13,6% Al_2O_3 , 14,6% Fe_2O_3) et présente une composition typique du volcanisme intraplaque continental. Cette dolérite est chimiquement très proche de celles de l’Est-Armoricain et appartient donc probablement au même épisode magmatique daté à 363 ± 6 Ma. Les filons de dolérite précèdent donc la mise en place du massif de Rostrenen d’environ 50 Ma.

Les échantillons très oxydés sont enrichis en Si, K et Al, et appauvris en Ca, Mg et Fe.

Tableau 6 : Composition chimique moyenne en éléments majeurs des cornéennes à andalousite et des dolérites (CRPG, IRMG, 2020)

Teneur moyenne (%)	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2	P_2O_5	Perte au feu
Cornéennes à andalousite (20 échantillons)	51,12	26,33	9,18	0,07	2,21	0,65	0,76	3,25	1,16	0,22	4,80
Dolérites saine (3 échantillons)	50,65	13,64	14,65	0,20	5,16	7,52	0,68	0,85	3,18	0,29	2,14

❖ Éléments traces métalliques

Les minéraux constitutifs des cornéennes à andalousite contiennent également des Éléments Traces Métalliques (ETM) qui sont susceptibles d'être lessivés par les eaux météoriques. Pour cette raison, IRMG a fait analyser en 2010 par LABOCEA (ex LDA 22) les teneurs (sur brut) en ETM des stériles de la Fosse 3.

Les bordereaux d'analyses, joints en Annexe 2, sont synthétisés dans le tableau suivant :

Tableau 7 : Composition moyenne en éléments traces métalliques de 4 échantillons de la verse à stériles de Kerroué (IRMG, 2010)

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

Teneurs totales en éléments 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 ⁽¹⁾	60 à 284 ⁽¹⁾
Cd	0,05 à 0,45	0,70 à 2,0 ⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾	2,0 à 46,3 ⁽¹⁾⁽²⁾⁽⁴⁾
Cr	10 à 90	90 à 150 ⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾	150 à 3180 ⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁹⁾
Co	2 à 23	23 à 90 ⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁶⁾	105 à 148 ⁽¹⁾
Cu	2 à 20	20 à 62 ⁽¹⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁸⁾	65 à 160 ⁽⁸⁾
Hg	0,02 à 0,10	0,15 à 2,3	
Ni	2 à 60	60 à 130 ⁽¹⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾	130 à 2076 ⁽¹⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾
Pb	9 à 50	60 à 90 ⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾	100 à 10180 ⁽¹⁾⁽³⁾
Se	0,10 à 0,70	0,8 à 2,0 ⁽⁶⁾	2,0 à 4,5 ⁽⁷⁾
Tl	0,10 à 1,7	2,5 à 4,4 ⁽¹⁾	7,0 à 55,0 ⁽¹⁾
Zn	10 à 100	100 à 250 ⁽¹⁾⁽²⁾	250 à 11426 ⁽¹⁾⁽³⁾

(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)

Les teneurs obtenues sont comparées, à titre indicatif aux gammes de valeurs « ordinaires » et d'anomalies naturelles en ETM dans les sols en France, acquises par D. BAIZE, chercheur à l'INRA d'Orléans, et reprises 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).

De cette comparaison, il ressort que :

- Les teneurs des cornéennes à andalousite « stériles » de la Fosse 3 de l'exploitation d'andalousite de Guerphalès en As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb et Se sont considérées comme « couramment observées » dans les sols « ordinaires » ;
- Les teneurs 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 comparées 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.

Ce test de lixiviation met en évidence un **potentiel de lixiviation pour le nickel, le zinc, le cuivre et le baryum**. A noter que les concentrations sur éluat obtenues pour le nickel et zinc sont au-dessus des seuils définis à l'annexe II de l'Arrêté du 12 décembre 2014.

Tableau 8 : Résultats des tests de lixiviation effectués sur 4 échantillons de la verse à stériles de Kerroué (IRMG, 2010)

Paramètre	Unité	Teneur sur éluat (mg/kg MS)	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

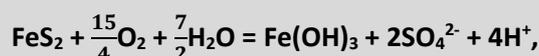
NB : La norme du test de lixiviation NF EN 12457-2 stipule que le test doit être réalisé sur des matériaux présentant une granularité inférieure à 4 mm, et ce même s'il ne s'agit pas de la granulométrie naturelle des matériaux testés. C'est pourquoi les stériles de la carrière de Guerphalès ont été préalablement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

❖ **Potentiel acidogène**

Le **Drainage Minier Acide (DMA)** est issu de l'oxydation naturelle de minéraux sulfurés qui ont été exposés à l'air et à l'eau par l'activité extractive. Les eaux de drainage issues du processus d'oxydation peuvent être neutres à acides et contenir ou non des métaux lourds dissous. Le DMA est attribuable à une série de réactions et d'étapes qui, de manière générale, font passer les conditions d'un milieu de pH presque neutre à des conditions de pH plus acide.

L'équation suivante représente la réaction la plus couramment utilisée pour décrire l'oxydation de la pyrite :



La teneur en **soufre sous forme de sulfures** des stériles de la Fosse 3 de l'exploitation d'andalousite de Guerphalès a été déterminée par le BRGM sur les matériaux bruts à **1,46 %** (en masse).

IRMG a également missionné le Laboratoire Environnement et Minéralurgie de Nancy pour déterminer le rapport de potentiel de neutralisation (RPN) des matériaux.

Le **rapport de potentiel de neutralisation (RPN) obtenu (0,1) étant inférieur à 1**, cela signifie que le potentiel de neutralisation (et donc la présence de minéraux neutralisants comme des carbonates) est insuffisant pour tamponner le potentiel acidogène associé à la présence de sulfures.

Les stériles d'extraction de l'exploitation d'andalousite de Guerphalès (stériles actuels de la Fosse 3 et, par extension, stériles à venir de la Fosse 3 et de la Fosse 4) sont **acidogènes**.

Dans la réalité, l'oxydation des sulfures contenus dans les cornéennes, par les eaux météoriques génère effectivement sur la carrière de Guerphalès des eaux acides (pH de l'ordre de 3) qui sont collectées et neutralisées avant d'être rejetées au milieu naturel (ruisseau de Kergroaz, affluent du ruisseau du Crazius).

2.4.2.3 Comportement géotechnique

Les stériles d'extraction 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 fines est restreinte. Ces blocs rocheux sont non compressibles et non gonflants au même titre que n'importe quel bloc rocheux « banal ».

Les caractéristiques géomécaniques des stériles retenues par MECATER pour la conception des verses à stériles sont les suivantes :

- Poids volumique apparent : 20 KN/m³
- Cohésion : 0 kPa
- Angle de frottement : 35°

2.4.2.4 Description des substances chimiques utilisées

Les stériles d'extraction 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**.

Les stériles de carrière sont non dangereux d'après la classification réglementaire.

2.4.2.5 Classification des stériles d'extraction

Les stériles d'extraction issus de la Fosse 4 auront les mêmes caractéristiques minéralogiques, géochimiques et géotechniques que les stériles actuellement issus de la Fosse 3 décrits dans les paragraphes précédents.

Selon l'annexe II de l'article R541-8 du Code de l'Environnement, les stériles d'extraction de l'exploitation d'andalousite de Guerphalès (stériles actuels de la Fosse 3 et, par extension, stériles à venir de la Fosse 3 et de la Fosse 4) sont classés sous le **code 01 01 02 « Déchets provenant de l'extraction des minéraux non métallifère »**.

La caractérisation présentée dans les paragraphes précédents permet de conclure que ces **stériles d'extraction** sont **acidogènes** et donc considérés comme des **déchets non inertes et non dangereux** au regard l'article 3 de l'Arrêté Ministériel du 19 avril 2010.

2.4.3 Modalités et phasage de stockage des stériles d’extraction

Les **stériles d’extraction** correspondent à des cornéennes pauvres en andalousite (<15,5% d’andalousite) et aux filons de dolérite recoupant le gisement. Ils représentent en moyenne **40 % du tonnage extrait**, avec une **densité de 2,2 après foisonnement**, soit. **490 000 t/an ou 220 000 m³/an** à stocker en moyenne.

Actuellement, les **stériles d’extraction de la Fosse 3** sont stockés sur la Verse de Kerroué. A partir de 2022, les stériles d’extraction issus de la Fosse 3 seront stockés, par ordre de priorité :

- Au niveau d’une nouvelle verse dite « **Verse Ouest** », située au Sud de la Fosse 3 qui permettra de limiter le transport des stériles d’extraction de la Fosse 3 vers la Verse de Kerroué plus éloignée et d’éviter l’extension de la Verse de Kerroué vers le Sud et la destruction partielle des milieux humides du vallon de Kerroué ;
- En **auto-remblayage de la Fosse 3** afin d’optimiser l’emprise de la Verse Ouest (suppression d’une rampe d’accès Ouest et remblaiement de la zone du Périmètre de Protection du Captage de Mézouët avec des stériles sous eau) ;
- A nouveau sur la **Verse de Kerroué**, en fin d’exploitation.

Les **stériles d’extraction de la Fosse 4** seront quant à eux stockés, par ordre de priorité :

- Au niveau du « **Vallon digue cyclonée** » et sur l’emprise de la **Fosse 1**, afin de constituer une plateforme stable destinée à accueillir un stockage de stériles du Sabès ;
- Au niveau de l’**ancienne digue**, afin de constituer une autre plateforme stable destinée à accueillir un stockage de stériles du Sabès ;
- Au niveau de la **Verse de Kerroué**.

2.4.3.1 *Caractéristiques et capacités des installations de stockage*

Les différentes zones de stockage de stériles d’extraction et leur design sont représentées sur la [Figure 12 p 43](#). Le tableau ci-dessous récapitule les principales caractéristiques de ces zones de stockage ainsi que leurs capacités à fin 2019, d’après les données fournies par IRMG en octobre 2020 :

Tableau 9 : Caractéristiques et capacités des installations de stockage des stériles

Installation de stockage des stériles d’extraction	Type / géométrie	Surface	Capacité de stockage à fin 2019	Nombre d’années de stockage
Verse de Kerroué	Verse à stériles, pente intégratrice de 2/1 (27°) avec une banquette de 4 m de large tous les 10 m jusqu’à la cote 300 m NGF (53 m de hauteur maximum)	18,6 ha	1,630 Mm³ 3,585 Mt	7,35
Verse Ouest	Verse à stériles, pente intégratrice de 2/1 (27°) avec une banquette de 4 m de large tous les 10 m jusqu’à la cote 300 m NGF (37 m de hauteur maximum)	12,8 ha	2,020 Mm³ 4,450 Mt	9
Vallon digue cyclonée	Remblaiement d’un thalweg jusqu’à la cote 231 m NGF (0 à 9 m d’épaisseur)	1 ha	0,045 Mm³ 0,1 Mt	0,2
Fosse 1	Régalage d’une couche de stériles jusqu’à la cote 239 m NGF (1 à 3 m d’épaisseur)	7,6 ha	0,170 Mm³ 0,370 Mt	0,8
Ancienne digue	Régalage d’une couche de stériles jusqu’à la cote 223 m NGF (4 m d’épaisseur)	13 ha	0,295 Mm³ 0,645 Mt	1,3

Installation de stockage des stériles d'extraction	Type / géométrie	Surface	Capacité de stockage à fin 2019	Nombre d'années de stockage
Merlons périphériques Fosse 4	5 m de hauteur maximum, pente de 2/1 (27°)	0,7 ha	0,015 Mm ³ 0,035 Mt	0,05
Fosse 3	Remblayage partiel de la fosse 3	2,3 ha	1,175 Mm ³ 2,590 Mt	5,3
Total		56 ha	5,350 Mm³ 11,775 Mt	24

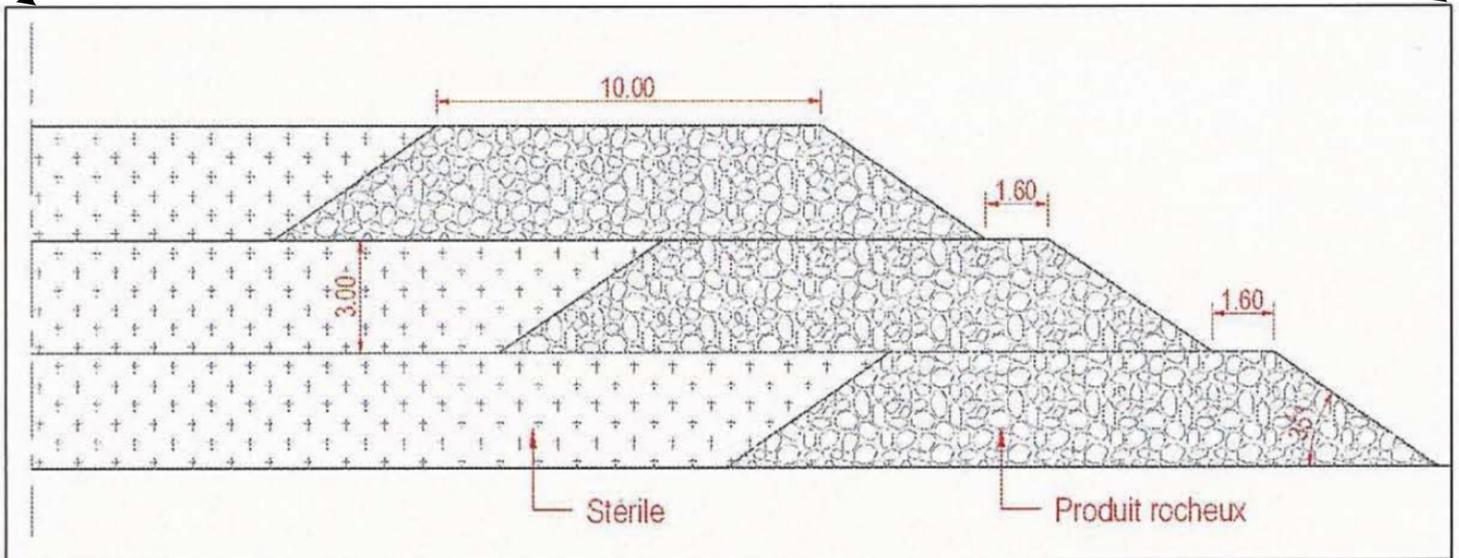
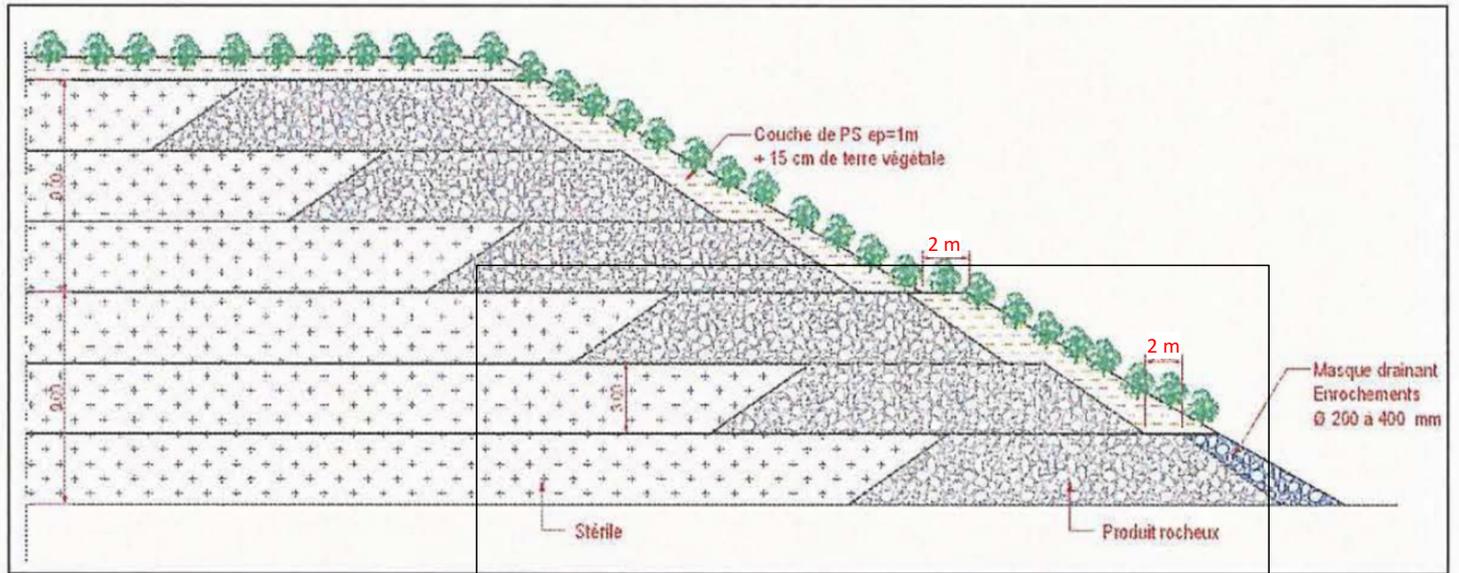
NB : L'ancienne verse de Roscoat, située au Nord de la Fosse 2, a été entièrement réhabilitée et a fait l'objet d'une Déclaration de cessation partielle d'activité en 2010. Elle ne fait donc plus partie du périmètre ICPE autorisé. Cette verse a accueilli les stériles d'extraction de la Fosse 1.

2.4.3.2 Mode d'édification des verses à stériles

La poursuite de l'édification de la Verse de Kerroué et la conception de la Verse Ouest ont fait l'objet d'études géotechniques par le bureau d'études MECATER en janvier 2011 pour la Verse de Kerroué (Cf. Annexe 4) et en février 2021 pour la Verse Ouest (Cf. Annexe 6).

Les grands principes de conception destinés à assurer la stabilité des stockages sont rappelés ci-dessous (voir coupe conceptuelle en Figure 16) :

- Des **drains** aménagés **dans le terrain naturel** permettant de capter les potentielles résurgences d'eaux souterraines (Cf. Figure 18) ;
- Dépôt des stériles sur la verse par **couches successives de 9-10 mètres** d'épaisseur, la pente extérieure des stériles étant de l'ordre de **26°** sur l'horizontale (inférieure à l'angle de stabilisation naturel), afin de limiter le risque d'instabilité en masse ;
- Entre chaque couche de 10 mètres d'épaisseur, conservation d'un **redan plat de 2 mètres** pour permettre un recueil des eaux de ruissellement (après couverture) ;
- Compactage régulier des stériles ;



- **Couverture finale par une couche d’étanchéité de 0,5 à 1 m** (fines de dépoussiérage « PS » compactées), puis de 0,15 m de terre végétale et végétalisation dès qu’une partie de la verse est arrivée au stade final ;
- Dispositifs d’auscultation et de surveillance : piézomètres, plots topographiques.

2.4.3.3 Phasage de stockage des stériles

Le Tableau 10 présente le phasage quinquennal de stockage des stériles d’extraction, sur la base d’une production moyenne et des données fournies par IRMG en octobre 2020. Ce phasage est représenté en plan, en coupe et en vues 3D p 46 à 53.

NB : Afin de tenir compte du délai nécessaire au montage du présent dossier et de l’obtention de la nouvelle autorisation, une **Phase 0 de 3 ans (2020 à 2022)** a été introduite.

Tableau 10 : Phasage quinquennal de stockage des stériles d’extraction

Phase	Gestion des stériles d’extraction Tonnage moyen : 490 000 t/an Volume moyen : 220 000 m ³ /an	Aménagements à réaliser	Travaux de remise en état
Phase 0 3 ans (jusqu’à obtention du nouvel AP) 2020-2022	675 000 m³ Verse de Kerroué : 565 000 m ³ Verse Ouest : 110 000 m ³ en 2022	1 ^{ère} étape des travaux de décapage et d’étanchéification de la base de la Verse Ouest (2021-2022). Aménagement des fossés et bassins de collecte des eaux de ruissellement extérieures de la Verse Ouest.	Remise en état coordonnée des flancs de la Verse de Kerroué
PHASE 1 5 ans (2023-2027)	1 240 000 m³ Verse Ouest : 635 000 m ³ depuis la Fosse 3 Vallon digue cyclonée, Fosse1 et ancienne digue : 510 000 m ³ depuis la Fosse 4 Verse de Kerroué : 95 000 m ³ depuis la Fosse 4	2 ^{ème} étape des travaux de décapage et d’étanchéification de la base de la Verse Ouest (2023-2024). Travaux de stabilisation (remblayage d’une couche de stériles d’extraction) et de drainage sur l’ensemble Vallon 1435-Fosse 1 et sur l’ancienne digue pour permettre l’avancée du Sabès	Remise en état coordonnée des flancs de la Verse de Kerroué et de la Verse Ouest
PHASE 2 5 ans (2028-2032)	985 000 m³ Verse Ouest : 280 000 m ³ depuis la Fosse 3 Verse de Kerroué : 705 000 m ³ depuis la Fosse 4	3 ^{ème} et dernière étape des travaux de décapage et d’étanchéification de la base de la Verse Ouest (2029-2030).	Remise en état coordonnée des flancs de la Verse de Kerroué et de la Verse Ouest
PHASE 3 5 ans (2033-2037)	880 000 m³ Verse Ouest : 255 000 m ³ depuis la Fosse 3 Verse de Kerroué : 280 000 m ³ depuis la Fosse 4 Remblayage de la fosse 3 : 150 000 m ³ depuis la Fosse 3 195 000 m ³ depuis la Fosse 4	/	Remise en état coordonnée des flancs de la Verse de Kerroué et de la Verse Ouest

Phase	Gestion des stériles d’extraction Tonnage moyen : 490 000 t/an Volume moyen : 220 000 m ³ /an	Aménagements à réaliser	Travaux de remise en état
PHASE 4 5 ans (2038-2042)	865 000 m³ Remblayage de la fosse 3 : 420 000 m ³ depuis la Fosse 3 410 000 m ³ depuis la Fosse 4 Verse Ouest : 35 000 m ³ depuis la Fosse 3	/	Remise en état coordonnée des flancs de la Verse Ouest Finalisation de la remise en état de la Verse de Kerroué
PHASE 5 5 ans (2043-2047)	-	-	Finalisation de la remise en état de la Verse Ouest
Total phases 1 à 5	3 970 000 m³		

2.4.4 Contexte géologique, hydrogéologique et hydrologique de l’emprise des verses à stériles

Le sous-sol au droit de l’actuelle Verse de Kerroué et de la future Verse Ouest est constitué de grès armoricains sur leur partie Sud et de schistes à andalousite (non valorisables) sur leur partie Nord (Cf. [Figure 4 p 15](#)). L’emprise actuelle de la Verse de Kerroué sera conservée et aucune extension en surface de ce stockage n’est prévue.

Plus localement et en se basant sur les puits à la pelle réalisés dans le cadre de l’étude de conception de la Verse Ouest (Cf. [Annexe 6](#)), l’assise de la Verse Ouest est composée par la succession des couches suivantes :

	Terre végétale d’épaisseur moyenne de 0.3 m, allant de 0.25 m à 0.5 m
	Limon ± argilo-sableux à graveleux variant de 0.3 à 1.1 m et disparaît au niveau des puits P10 et P11
	Altérite ± argilo-sableuse limoneuse d’épaisseur minimale de 0.8 à 4.2 m jusqu’à 3 m soit l’arrêt du puits au niveau de P5, P7 et P8
	Cornéenne altérée à saine rencontrée dans les différents puits à l’exception de P3, P5, P6, P7 et P10.

Deux autres couches de terrain ont été localement rencontrées au Nord-Ouest de l’emprise de la verse :

- Colluvions (blocs à dominance gréseuse) au niveau du puits P4 ;
- Grès altéré à sain au niveau des puits P3, P6 et P10.

Les résultats des essais de perméabilité montrent que :

- Globalement, la perméabilité mesurée *in situ* pour les 15 puits varie de $9,8 \cdot 10^{-10}$ m/s à $2,0 \cdot 10^{-6}$ m/s, soit une moyenne de $7,5 \cdot 10^{-7}$ m/s ce qui témoigne d'horizons peu perméables avec une diminution considérable de la perméabilité en fonction de la profondeur ;
- La perméabilité mesurée au niveau de la couche de limon ± argilo-sableux à graveleux au niveau des puits P2, P4, P8 et P9 varie entre $2,9 \cdot 10^{-8}$ et $1,7 \cdot 10^{-7}$ m/s, soit une moyenne de $2,4 \cdot 10^{-7}$ m/s ;
- La perméabilité mesurée au niveau de la couche d'altérites ± argilo-sableuse, limoneuse au niveau de P1, P3, P5, P6, P7, P10, P11, P12, P13 et P15 varie entre $9,8 \cdot 10^{-10}$ et $2,0 \cdot 10^{-6}$ m/s, soit une moyenne de $3,1 \cdot 10^{-7}$ m/s ;
- La perméabilité mesurée au niveau de la couche de cornéenne altérée à saine au niveau du puits P14 est de $2,2 \cdot 10^{-7}$ m/s.

Aucune venue d'eau n'a été observée au sein des puits réalisés. Les suivis piézométriques réalisés par IRMG (piézomètres MO1 et MO2 situés en bordure Sud de la future Verse Ouest) montrent que le **toit de la nappe des altérites** est situé :

- A 265,4 m NGF (5 m de profondeur) en amont, en bordure Sud-Ouest de la future verse (piézomètre MO1) ;
- A 247,6 m NGF (8,2 m de profondeur) en aval, au Nord de la future verse (piézomètre MOUS1).

L'écoulement des eaux souterraines suit globalement la topographie et le drainage imposé par le pompage d'exhaure en Fosse 3.

L'emprise de la Verse Ouest se situe dans le sous-bassin versant du ruisseau de Kerjean, affluent du Blavet.

2.4.5 Etat du terrain susceptible de subir les dommages

Les terrains susceptibles de subir des dommages sont des parcelles à usage agricole intégrées au périmètre ICPE de l'exploitation d'andalousite de Guerphalès. IRMG dispose de la maîtrise foncière de ces terrains.

De plus, la mise en place d'un complexe d'étanchéité comprenant une géomembrane sous la Verse Ouest empêchera tout risque de pollution des terrains sous-jacents.

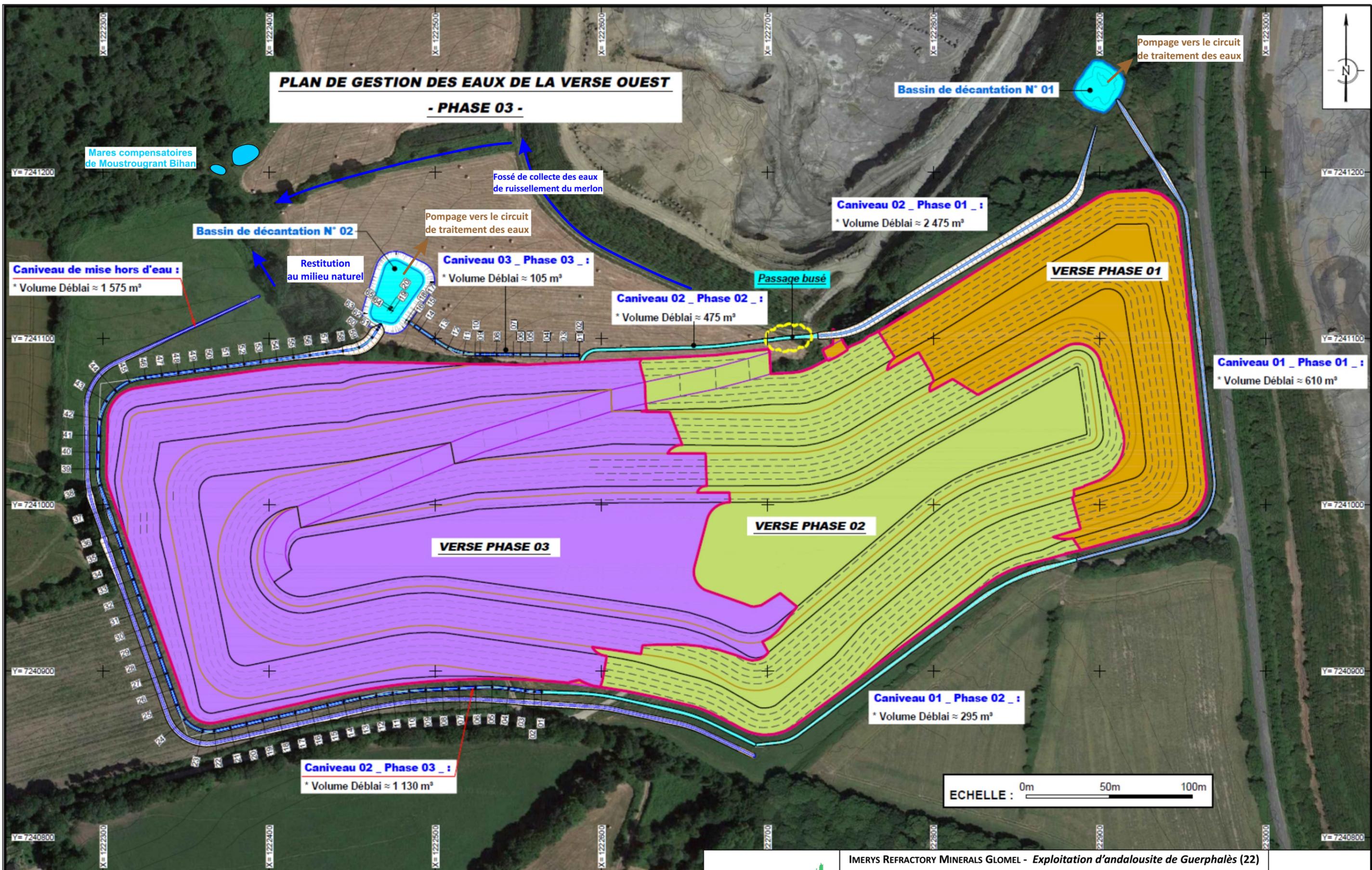
Les études géotechniques réalisées par MECATER ont examiné les caractéristiques des terrains sous-jacents à la Verse de Kerroué (Cf. Annexe 4) et à la Verse Ouest (Cf. Annexe 6).

2.4.6 Modalités de gestion des eaux des verses à stériles

Le principe général retenu dans les études géotechniques MECATER de 2011 et 2021 s'appuie sur les points suivants :

- Déviation des eaux de ruissellement amont de la verse vers le milieu naturel ;
- **Drainage et collecte des eaux** de ruissellement et de percolation internes à la verse pour les envoyer vers le circuit de gestion des eaux du site (traitement par Neutralac 1, stockage en Fosse 2, utilisation au niveau de l'usine et/ou passage par la nouvelle filière de traitement des eaux avant rejet au milieu naturel) ;
- **Etanchéification** de la base de la verse par un complexe d'étanchéité.

Le plan général de gestion des eaux de la Verse Ouest est donné en [Figure 17](#).



PLAN DE GESTION DES EAUX DE LA VERSE OUEST
- PHASE 03 -

Pompage vers le circuit de traitement des eaux

Bassin de décantation N° 01

Mares compensatoires de Moustrougrant Bihan

Fossé de collecte des eaux de ruissellement du merlon

Caniveau 02 _ Phase 01 _ :
* Volume Déblai ≈ 2 475 m³

Bassin de décantation N° 02

Pompage vers le circuit de traitement des eaux

Caniveau de mise hors d'eau :
* Volume Déblai ≈ 1 575 m³

Restitution au milieu naturel

Caniveau 03 _ Phase 03 _ :
* Volume Déblai ≈ 105 m³

Passage busé

VERSE PHASE 01

Caniveau 02 _ Phase 02 _ :
* Volume Déblai ≈ 475 m³

Caniveau 01 _ Phase 01 _ :
* Volume Déblai ≈ 610 m³

VERSE PHASE 02

VERSE PHASE 03

Caniveau 01 _ Phase 02 _ :
* Volume Déblai ≈ 295 m³

Caniveau 02 _ Phase 03 _ :
* Volume Déblai ≈ 1 130 m³

ECHELLE : 0m 50m 100m



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

Plan de gestion des eaux de la Verse Ouest

Sources : MECATER, IRMG

Figure 17

2.4.6.1 Dispositif de drainage

La gestion des eaux est basée sur la séparation entre les eaux claires provenant du bassin versant amont et des eaux chargées provenant de la zone de stockage. Ainsi, le dispositif de drainage de la Verse Ouest sera composé des aménagements suivants :

- Des **fossés de collecte situés en amont** immédiat de l'emprise de la verse projetée. Les eaux claires collectées par cet ouvrage seront restituées directement au milieu naturel au niveau du « bras » amont de la zone humide de Kerzioc'h alimentant la mare compensatoire de Moustrougrant Bihan (à noter que 2 nouvelles mares seront rendues fonctionnelles par ces fossés de collecte).
- Des **fossés de drainage** situés au pied de la verse et assurant la collecte des eaux de ruissellement de surface provenant de la zone de stockage. Ces eaux chargées transiteront par les bassins de décantation.
- Deux **bassins de décantation** aménagés au pied de la verse au niveau des points bas.
- Des descentes d'eau aménagées contre les talus de la verse et permettant d'acheminer les eaux de ruissellement sur les banquettes jusqu'au pied de la verse.
- Des **drains** aménagés **dans le terrain naturel** et permettant de capter les potentielles résurgences d'eaux souterraines en sous-face du complexe d'étanchéité. Etant donné que les eaux collectées par ces drains ne seront pas en contact avec les stériles, ces eaux claires seront restituées directement au milieu naturel de la même façon que les eaux de ruissellement amont (Cf. Figure 18).
- Des **drains aménagés au-dessus du complexe d'étanchéité** et permettant de collecter les eaux d'infiltration dans la verse. Ces drains déboucheront dans les fossés de drainage aménagés au pied de la verse. Ces eaux chargées seront collectées dans les deux ouvrages de décantation projetés (Cf. Figure 19).

Les eaux chargées ainsi collectées par les 2 bassins de décantation seront ensuite transférées vers la station Neutralac 1 et la Fosse 2.

2.4.6.2 Complexe d'étanchéité

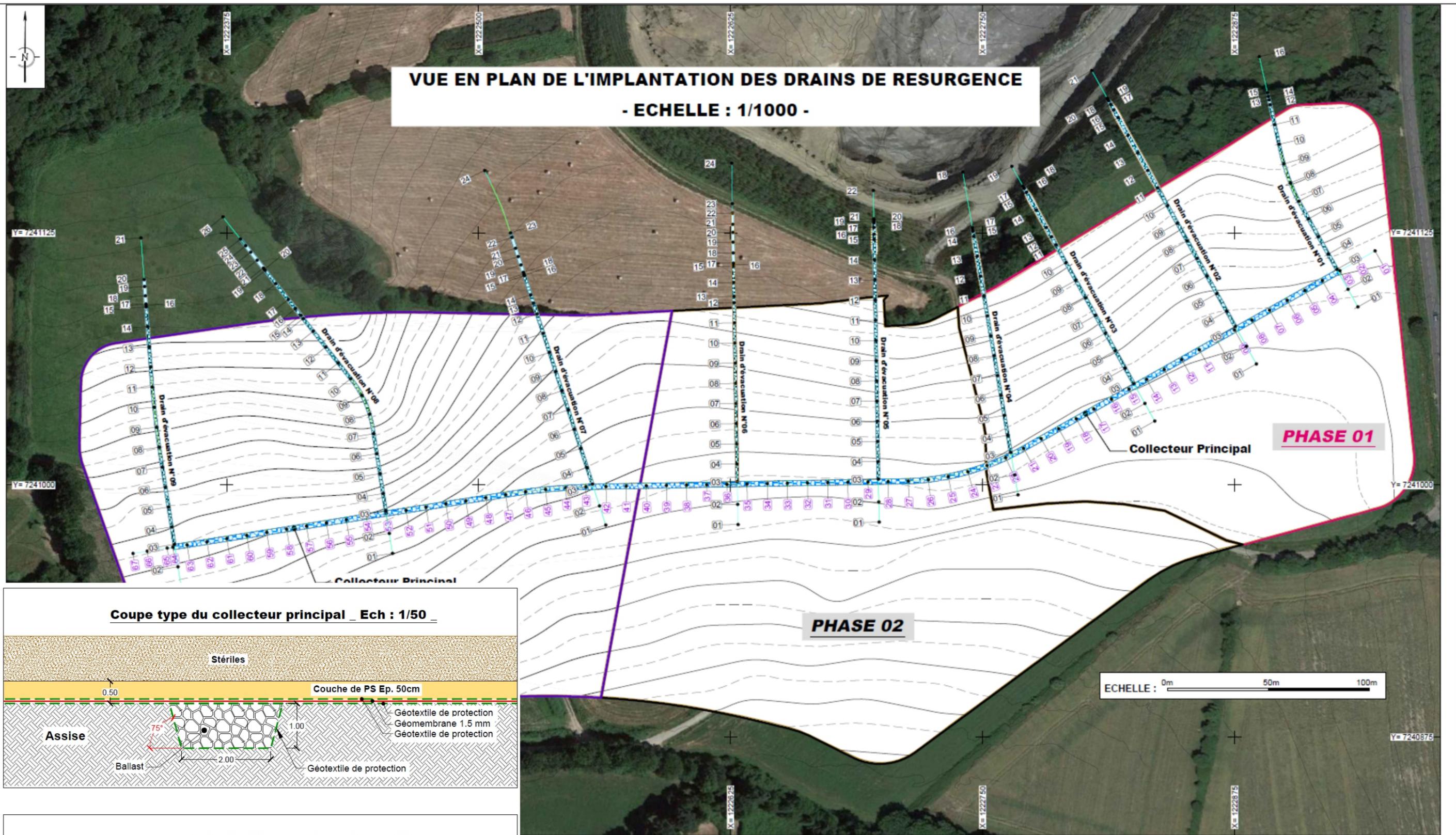
Afin de répondre aux exigences de l'Arrêté du 19 avril 2010 relatif à la gestion des déchets des industries extractives et en application des Meilleures Techniques Disponibles (MTD) relatives à la gestion des déchets des industries extractives, IRMG mettra en place un **complexe d'étanchéité** à la base de la Verse Ouest qui permettra d'atteindre une perméabilité équivalente inférieure à 10^{-9} m/s sur au moins 50 cm et ainsi isoler les stériles d'extraction du sol et des eaux souterraines.

Ce complexe d'étanchéité sera constitué, de la base vers le sommet par (voir la coupe en Figure 19) :

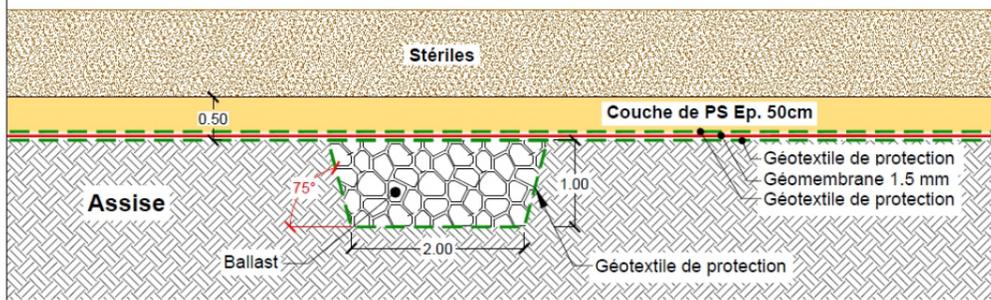
- Le terrain naturel décapé sur 30 à 50 cm ;
- Un géotextile de protection ;
- Une géomembrane de 1,5 mm d'épaisseur d'une perméabilité de l'ordre de 10^{-14} m/s ;
- Un géotextile de protection ;
- Une couche de 50 cm de fines de dépoussiérage (PS) compactées d'une perméabilité de l'ordre de 10^{-8} m/s.

Le complexe d'étanchéité de la Verse de Kerroué est constitué d'une couche de fines de dépoussiérage « PS » compactée permettant d'atteindre une perméabilité de 10^{-9} m/s.

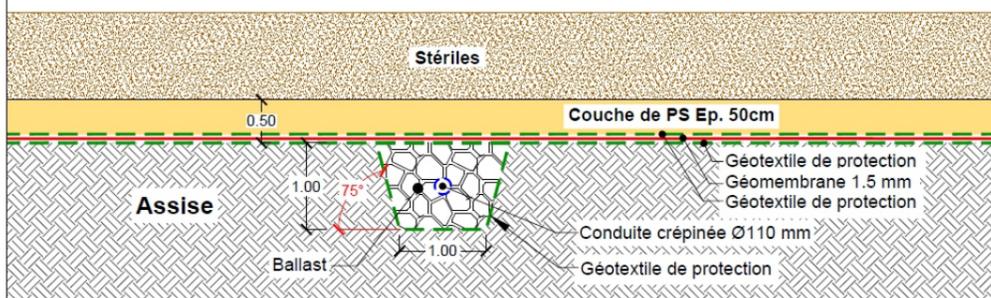
VUE EN PLAN DE L'IMPLANTATION DES DRAINS DE RESURGENCE
- ECHELLE : 1/1000 -



Coupe type du collecteur principal _ Ech : 1/50 _



Coupe type du drain d'évacuation _ Ech : 1/50 _



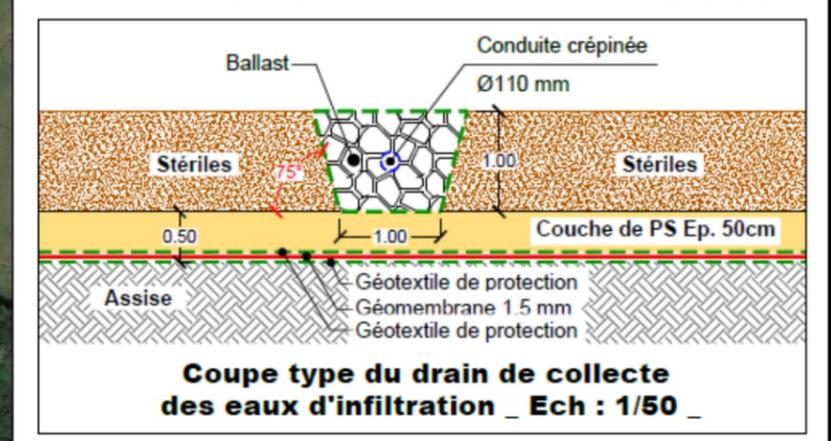
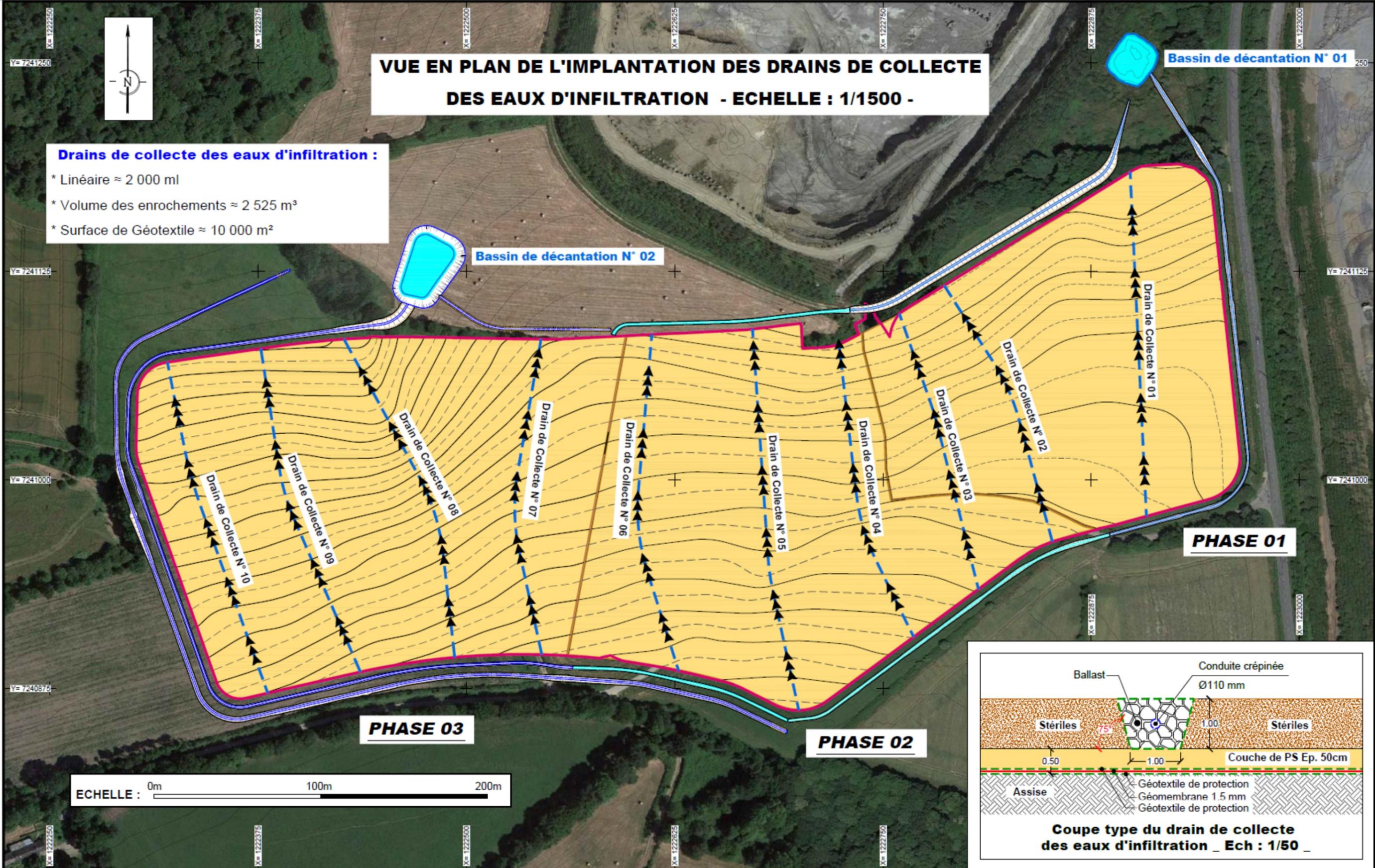
IMERYS REFRACTORY MINERALS GLOMEL - *Exploitation d'andalousite de Guerphalès (22)*
 Demande d'Autorisation Environnementale d'exploitation de carrière - *Projet d'ouverture de la Fosse 4*
Mémoire Technique

Vues en plan et en coupe du réseau de drainage des résurgences potentielles des
 eaux souterraines sous la verse Ouest
 Sources : MECATER, IRMG

**VUE EN PLAN DE L'IMPLANTATION DES DRAINS DE COLLECTE
DES EAUX D'INFILTRATION - ECHELLE : 1/1500 -**

Drains de collecte des eaux d'infiltration :

- * Linéaire ≈ 2 000 ml
- * Volume des enrochements ≈ 2 525 m³
- * Surface de Géotextile ≈ 10 000 m²



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

Vues en plan et en coupe du complexe d'étanchéité et du réseau de drainage des
 eaux d'infiltration de la verse Ouest

Sources : MECATER, IRMG

Figure 19

La géomembrane utilisée dans le complexe d'étanchéité de la verse Ouest est certifiée ASQUAL (Cf. Annexe Z). Cette certification est une démarche volontaire dont l'évaluation porte sur les critères suivants :

- Mesure des **caractéristiques techniques** des produits (épaisseur, poinçonnement statique, traction, perforation dynamique) et la mesure des **caractéristiques physico-chimiques et la soudabilité** de la géomembrane ;
- Maîtrise de la reproductibilité et surveillance interne des caractéristiques techniques ;
- Organisation qualité et suivi statistique des caractéristiques techniques.

La certification ASQUAL «Géomembranes» garantit que les valeurs nominales annoncées par le producteur (VNAP) se situent dans des plages relatives de variation (PRV) imposées par le référentiel et que la géomembrane respecte les exigences spécifiques à sa famille.

2.4.7 Analyse des solutions alternatives pour la gestion des stériles d'extraction

2.4.7.1 Valorisation des stériles d'extraction 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 été recherchée par IRMG pour des raisons économiques et de développement de l'économie circulaire. Malheureusement, les caractéristiques géomécaniques des stériles de l'exploitation d'andalousite de Guerphalès sont inadaptées et ne permettent pas ce type de valorisation : minéraux incompatibles avec les formulations béton (sulfures, micas), dureté insuffisante et faible résistance à l'attrition, l'induration engendrée par le métamorphisme (transformation des schistes alumineux en cornéennes) étant 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.

Malgré tout, IRMG poursuivra ses efforts de recherche et développement pour optimiser l'extraction du minerai afin de valoriser au mieux le gisement tout en réduisant la quantité de stériles.

2.4.7.2 Choix de la méthode de stockage des stériles

Les verses de stockage constituant de nouveaux « reliefs » anthropiques aux impacts paysagers potentiellement importants, IRMG privilégiera autant que possible la mise en remblais de ses différents stériles. Ainsi, **42% des stériles produits par la poursuite de l'exploitation (Phases 1 à 4) ne seront pas mis en verse :**

- **510 000 m³ seront utilisés pour constituer des plateformes** stables en vue du stockage de résidus sec de traitement du minerai sur la Fosse 1 et l'ancienne digue ;
- **1 175 000 m³ viendront en auto-remblayage de la Fosse 3.**

Le reste des stériles sera stocké en verse : Verse de Kerroué telle qu'actuellement autorisée et Verse Ouest étendue.

Le remblaiement total des Fosses 3 et 4 par les stériles d'extraction n'est pas envisageable :

- **Pour des raisons techniques :** la **sélectivité** de l'extraction du minerai d'andalousite et la nécessité d'avoir un minerai de qualité constante en entrée de l'usine font que l'extraction se déroule de

façon simultanée sur les différents paliers des fosses. Il y a donc à un instant donné, très peu de secteurs arrivés en position finale et susceptibles d'être remblayés de façon coordonnée.

- **Pour des raisons environnementale** : remblayer entièrement les Fosses 3 et 4 supposerait de stocker les stériles en verses puis de les reprendre pour remblayer les fosses, soit une **double manipulation des stériles** avec un impact important sur les émissions de CO₂ du site. En effet, l'extraction, le chargement et le transport des stériles représente près de 25% des émissions de CO₂ du site.

2.4.7.3 Lieu d'implantation des verses à stériles

Les stériles produits sur la Fosse 3 sont actuellement stockés sur la Verse de Kerroué.

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 incluait une partie de la zone humide de Kerroué sur 1,2 ha.

En remplacement de cette extension, IRMG 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 CO₂...) ;
- Les terrains de la nouvelle verse sont constitués de parcelles agricoles présentant des enjeux biologiques faibles et aucune zone humide ;
- La création d'une nouvelle verse permettra à IRMG de mettre en œuvre les meilleures techniques disponibles quant à l'étanchéification de la base de la verse et à la gestion des eaux.

2.4.8 Analyse des risques potentiels pour l'environnement et la santé humaine et positionnement des verses à stériles au regard de la « catégorie A » de l'Arrêté du 19 Avril 2010

2.4.8.1 Définition de la « catégorie A »

Une installation de gestion de déchets est classée dans la catégorie A, au sens de l'Arrêté du 19 Avril 2010, 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 des conséquences graves sur les personnes physiques et/ou des dommages graves sur la santé humaine et l'environnement.

Le cycle de vie complet de l'installation, y compris la phase de suivi après fermeture des installations de stockage, est pris en compte lors de l'évaluation des risques que présente l'installation.

On entend par « **intégrité structurelle** » d'une installation de gestion de déchets la capacité de cette installation à contenir les déchets à l'intérieur de ses limites suivant les modalités prévues lors de sa conception. La perte d'intégrité structurelle couvre tous les mécanismes de défaillance susceptibles de toucher la structure de l'installation de gestion de déchets concernée. L'évaluation des conséquences de la perte d'intégrité structurelle comprend l'incidence immédiate de tout transport de matériau hors de l'installation du fait de la défaillance et les effets qui en résultent à court et long terme.

On entend par « **défaillances de fonctionnement ou d'exploitation** » de l'installation de gestion de déchets, les modes d'exploitation ou de fonctionnement susceptibles de donner lieu à un accident majeur, y compris le mauvais fonctionnement des mesures de prévention ou de protection de l'environnement et une conception défectueuse ou insuffisante de l'installation.

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

- 1) Le niveau de risque de perte d'intégrité des installations de stockage ;
- 2) La quantité de déchets dangereux présente dans les stockages ;
- 3) La quantité de substances et préparations dangereuses présente dans les bassins de résidus.

2.4.8.2 Analyse des risques d'instabilité et de contamination des eaux

La poursuite de l'édification de la Verse de Kerroué et la conception de la Verse Ouest ont fait l'objet d'études géotechniques par le bureau d'études MECATER en janvier 2011 pour la Verse de Kerroué (Cf. Annexe 4) et en février 2021 pour la Verse de Kerroué (Cf. Annexe 6).

Ces études développent successivement :

- Les caractéristiques géologiques, hydrogéologiques et hydrologiques du site ;
- L'analyse de la stabilité des verses ;
- La justification du dispositif de drainage ;
- La construction des verses ;
- Le contrôle et la surveillance appliqués.

Deux scénarii de gestion des eaux ont été étudiés par MECATER : un drainage normal et un drainage insuffisant avec remontée de nappe.

Les principales conclusions formulées par MECATER en 2011 pour la **Verse de Kerroué** 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. ».*

Les principales conclusions formulées par MECATER en 2021 pour la **Verse Ouest** sont les suivantes :

- *« Les coefficients de sécurité obtenus pour les différentes coupes sont supérieurs à **1,5** en **considérant un drainage efficace** de la verse ;*

- **En cas de colmatage partiel des drains, le coefficient de sécurité calculé est supérieur à la valeur minimale requise de 1,1 ;**
- **Nous estimons que le potentiel de stabilité de la Verse Ouest est suffisant pour couvrir les aléas géotechniques et naturels (pluies extrêmes, colmatage des drains, hétérogénéité locale des matériaux de l'assise ou de la verse, ...).** ».

Les risques de détérioration de la qualité des eaux peuvent être associés à :

- L'infiltration d'eaux acides et chargées vers les eaux souterraines à travers la base des verses du fait d'un défaut d'étanchéité ;
- Un déversement intempestif d'eaux acides faisant suite à un épisode pluvieux exceptionnel.

2.4.8.3 Conclusion de l'analyse de risque

Le tableau suivant reprend l'analyse préliminaires des risques d'instabilité et de contaminations des eaux au niveau des verses à stériles réalisée dans le Tome 4 : Etude de Dangers :

Tableau 11 : Analyse préliminaires des risques d’instabilité et de contaminations des eaux au niveau des verses à stériles

Situation de danger	Mesures préventives existantes (réduction de la probabilité)	Conséquences	Cinétique	Phénomène dangereux	Gravité brute	Mesures curatives (réduction de la gravité)	Gravité résiduelle	Effets potentiels sur des tiers à l’extérieur du site
Ravinement (défaut de construction, crue extrême)	- Procédures de contrôle des pentes et des hauteurs de talus en cours de construction	Erosion	Lente	Mouvement de terrain Diminution de la qualité des eaux superficielles	M	Récupération des eaux dans le bassin situé au pied de la Verse puis traitement dans la station Neutralac 1 au lait de chaux, et décantation dans la Fosse 1.	M	NON
Glissement superficiel (défaut de construction)	- Dispositif de drainage avec séparation eaux propres et eaux chargées - Dispositif d’étanchéité :	Charriage des éboulis par les écoulements de surface, qui se chargent alors en Matières En Suspension (MES)	Lente		M		M	NON
Glissement peu profond (Tirs de mines, crue extrême, vieillissement de l’ouvrage)	géotextile + géomembrane +couche PS - Visite technique approfondie 1 fois tous les 5 ans par un bureau d’études spécialisé		Lente Rapide pour tir de mines		S	Récupération des eaux dans le bassin situé au pied de la Verse En cas de dysfonctionnement les eaux chargées en MES seront piégées dans l’étang de Crazius Dégâts sur l’environnement réversibles	M	NON
Glissement profond (séisme)	- Dispositif d’auscultation : - inclinomètres, et piézomètres		Lente		S	M	NON	
Infiltration des eaux	Couche d’étanchéité Dispositif de drainage		Augmentation de l’acidité des eaux souterraines du site	Lente	Diminution de la qualité des eaux souterraines au droit du site	S	Couche d’étanchéité Dilution des eaux acides au fur et à mesure de leur propagation et pas de pompage AEP à proximité	M

M : Gravité modérée

S : Gravité sérieuse

Ainsi, au regard des critères de l’annexe VII de l’Arrêté du 19 Avril 2010, **la Verse de Kerroué et la Verse Ouest ne sont pas classées dans la catégorie A :**

- Niveau de risque de perte d’intégrité : verses édifiées selon les préconisations des études géotechniques de MECATER, permettant de garantir leur stabilité à long terme, soit un risque improbable voire très improbable, sans effet potentiel sur les tiers à l’extérieurs du site ;
- Déchet non dangereux ;
- Aucune substance ou préparation dangereuse.

2.4.9 Procédure de contrôle

La Verse de Kerroué est régulièrement inspectée (contrôle visuel) par le personnel d'IRMG et est équipée de deux piézomètre (PK2 et PK3) dont un traversant les stériles et ancré jusqu'à environ 10 m de profondeur dans le socle rocheux (Cf. Figure 20).

Le piézomètre permet d'identifier une éventuelle mise en charge de la verse et l'inclinomètre permet de prévenir les risques de rupture et de confirmer la stabilité à long terme de la verse.

Le dispositif d'auscultation préconisé par MECATER pour la Verse Ouest est le suivant (Cf. Figure 20) :

- Deux piézomètres placés au niveau du talus Nord de la verse à la cote 270 NGF et permettant de suivre le niveau d'eau dans la verse. Les piézomètres sont crépinés sur toute la verse et arrêtés 1 m au dessus de la géomembrane située à la base ;
- Six plots topographiques qui permettront de suivre les éventuels déplacements en altimétrie et en altitude de la verse.

2.4.10 Bilan hydrique

Le volume d'eau de ruissellement et d'infiltration collecté par le réseau de drainage de la Verse de Kerroué peut être estimé à partir de la surface de la verse et de la pluie efficace annuelle ruisselée sur la verse (en considérant une réserve utile de 20 mm (surface décapée) et un coefficient de ruissellement de 80% : 379 à 957 mm entre 1981 et 2019, Cf. Bilan hydrologique à l'échelle de l'exploitation au § 2.1.3 du Tome 3 bis Etude hydrologique et hydrogéologique) :

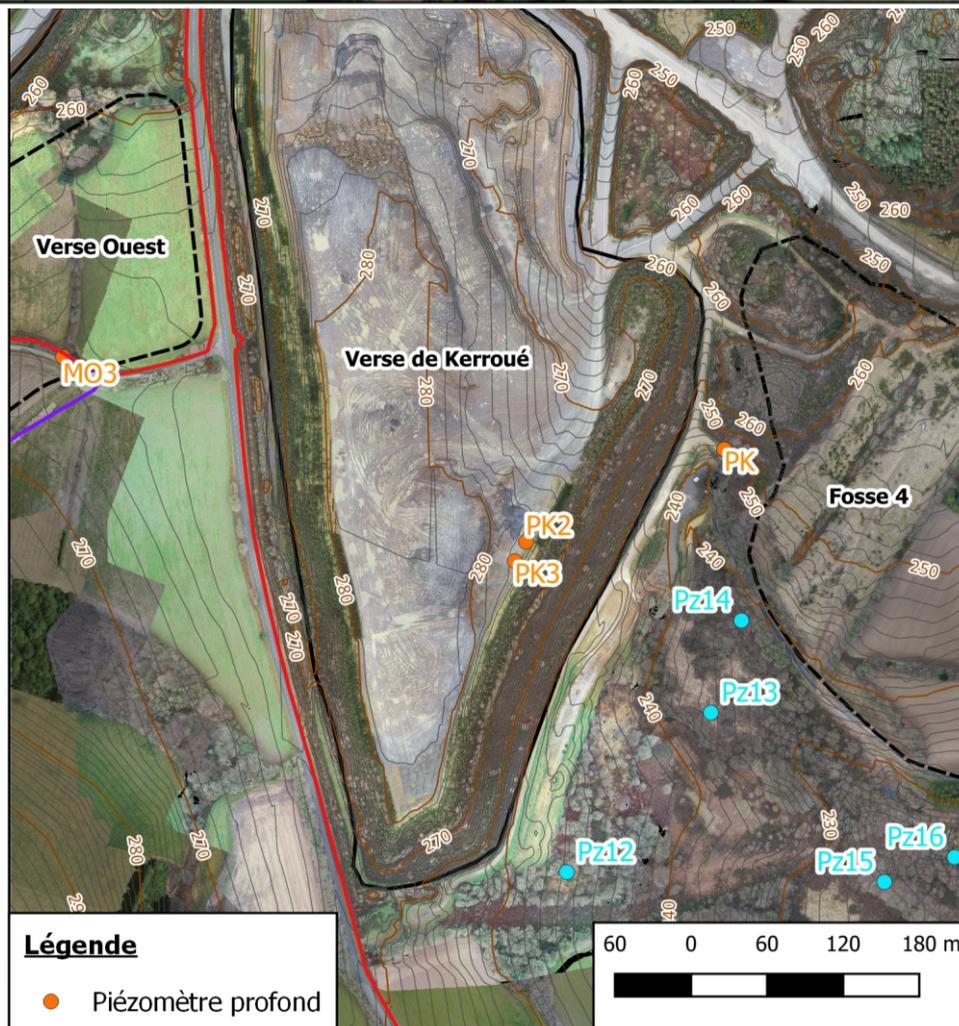
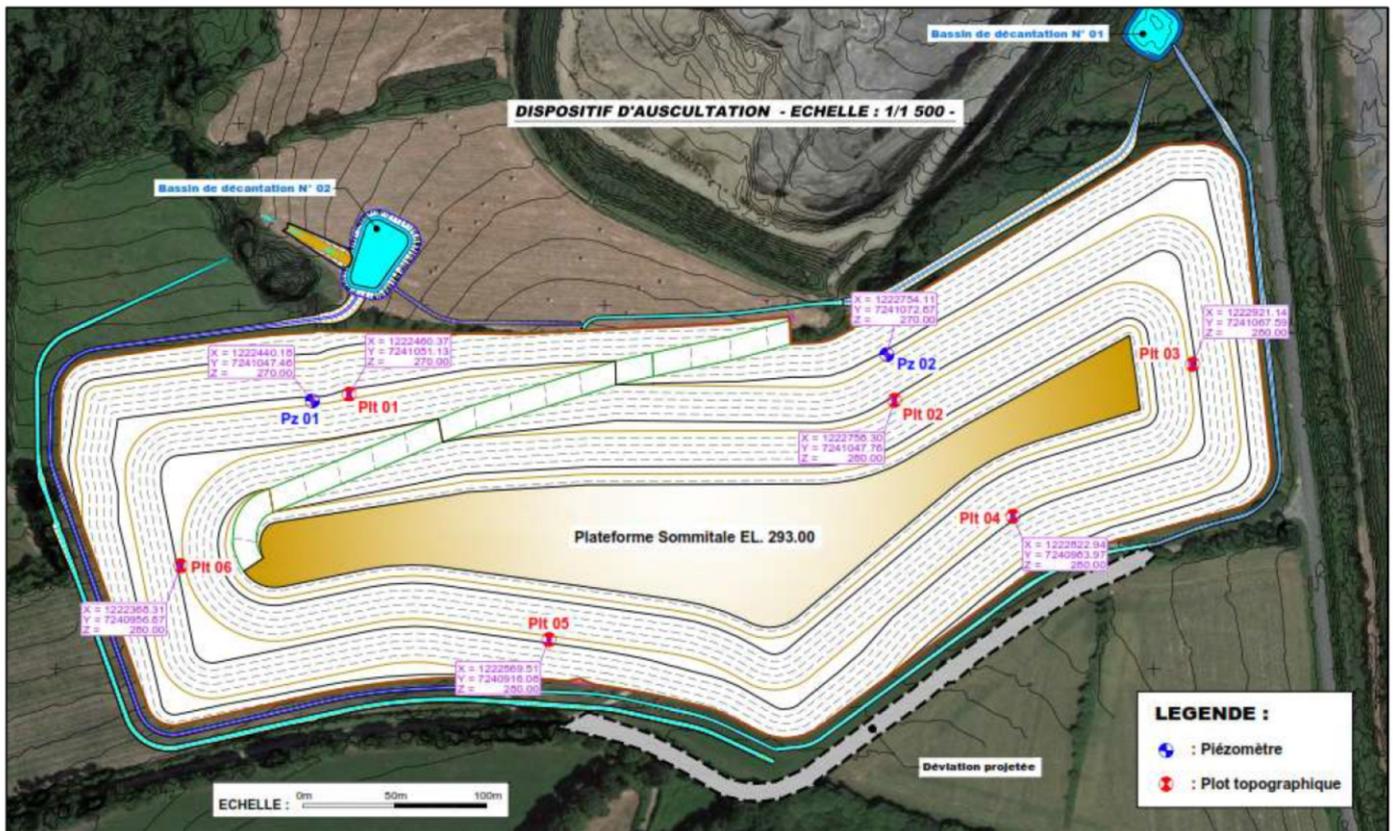
13,6 ha x 379 à 957 mm/an ≈ 50 000 à 130 000 m³/an soit 5 à 15 m³/h en moyenne

Ces valeurs sont cohérentes avec les débits suivis par IRMG en sortie du bassin BK qui collecte les eaux de la Verse de Kerroué.

A l'instar des eaux qui percolent actuellement au sein de la Verse de Kerroué, les eaux pluviales qui percoleront dans la Verse Ouest seront collectées et dirigées vers le circuit de traitement des eaux du site de Guerphalès, pour être à terme rejetées dans le ruisseau du Crazius, dans le bassin versant de l'Ellé.

Le volume d'eau de ruissellement et d'infiltration qui sera collecté par le réseau de drainage de la Verse Ouest peut-être estimé à :

12,8 ha x 379 à 957 mm/an ≈ 48 000 à 122 000 m³/an soit 5 à 15 m³/h en moyenne



2.4.11 Fermeture, remise en état et suivi des verses à stériles

La remise en état 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 remis en état.

Les travaux de remise en état des flancs / sommets des verses sont les suivants :

- Mise en place puis compactage d'une couche d'étanchéité (fines PS) de 0,5 à 1 m sur les stériles ;
- Mise en place de 0,15 m de terre végétale sur la couche d'étanchéité, ensemencement (graminées) de la terre végétale ;
- Plantations paysagères sur la Verse Ouest.

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 2047). Après finalisation des travaux de remise en état, les eaux de pluies ne s'infiltreront plus dans les verses et ruisselleront sur une surface inerte et végétalisée. Elles pourront rejoindre le milieu naturel.

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 2043-2047) afin de valider l'efficacité du réaménagement des verses :

- Verse de Kerroué : ouvrages MO1 et PK ;
- Verse Ouest : ouvrages MO1, MOUS1 et PzB.

Les fossés bordant les verses seront conservés et la qualité des eaux s'y écoulant continuera d'être suivie.

La stabilité des verses fera l'objet d'un état des lieux annuel par un géotechnicien.

Ce suivi sera maintenu sur une période de 5 ans suivant la fin des travaux de remise en état.

2.4.12 Remblaiement partiel de la Fosse 3 dans le périmètre de protection du captage AEP de la prise d'eau de Mézouët

L'arrêté de Déclaration d'Utilité Publique de la prise d'eau n'autorise pas les plans d'eau dans le périmètre de protection du captage AEP. Le remblaiement partiel de la Fosse 3, avec des stériles de l'exploitation de Guerphalès, dans l'emprise du périmètre de protection rapprochée de la prise d'eau de Mézouët est une préconisation de l'Arrêté Préfectoral du site.

Le secteur de la Fosse 3 situé dans le périmètre de protection du captage AEP de la **prise d'eau de Mézouët** sera **remblayé à partir de stériles d'extraction du site** jusqu'à 1 m au-dessus des hautes eaux estimées pour le plan d'eau, soit **231 m NGF**. Dans le mode de construction de ce remblai, une couche d'étanchéité sera mise en place sur toute la hauteur du talus (y compris la partie immergée) pour assurer le caractère confiné du stockage avec un dispositif renforcé dans la zone de battement de la nappe tout

secteur ayant atteint la cote finale de stockage, sur chaque palier de stériles, sera **recouvert d'une couche d'étanchéité de 50 à 80 cm** (fines de dépeussierage ou PS compactées) puis de 15 à 30 cm de terre végétale, pour finalement être végétalisé par ensemencement de graminées. Cela permet de limiter les volumes d'eaux pluviales susceptibles de s'acidifier durant la phase de remblaiement puis de montée et de stabilisation du plan d'eau après remise en état. Cette couche d'étanchéité réduira le drainage acide au niveau de la zone de remblai.

Une végétation de type ajoncs peut ensuite recoloniser les surfaces réaménagées hors d'eau comme cela se fait actuellement sur les flancs de la Verse de Kerroué.

Le suivi des eaux souterraines (piézométrie et qualité) sera réalisé autour de la Fosse 3 et maintenu durant la phase finale de remise (période 2043-2047) afin de valider l'efficacité du réaménagement. Les ouvrages concernés seront les piézomètres PZA et RO1.

Le projet de remise en état et les programmes de suivi post-exploitation sont détaillés dans le Chapitre 7 du Tome 3 : Etude d'Impact.

3 TRAITEMENT DU MINERAI D'ANDALOUSITE ET PLAN DE GESTION DES RESIDUS DE TRAITEMENT DU MINERAI

3.1 DESCRIPTION DU PROCEDE DE TRAITEMENT DU MINERAI

La cornéenne à andalousite de Glomel comprend 5 constituants principaux :

- **25% d'andalousite**, silicate d'alumine (Al_2SiO_5), recherchée pour ses propriétés réfractaires et abrasives. Elle présente une **densité élevée (3,15 à 3,7)**.
- **30 à 50% de biotite (mica noir)** qui est un phyllosilicate, riche fer, de densité 2,8 à 3,4 ; **paramagnétique** et non conducteur.
- **20 à 50% de quartz** qui est un oxyde de silicium, de **densité 2,65** ; non magnétique et non conducteur.
- **Moins de 5% de pyrite** qui est sulfure de fer, de densité 5, non magnétique, mais **conductrice**.

En provenance des fosses, le minerai est dirigé vers l'une des deux usines existant sur le site :

- Le minerai de surface, altéré ou **minerai tendre** est traité au niveau de l'**usine B** par **voie humide** ;
- Le minerai profond, sain ou **minerai dur** est traité au niveau de l'**usine C** par **voie sèche**.

Le tout-venant 0-1 000 mm est acheminé par tombereau depuis la carrière jusqu'à un **concasseur à mâchoires** qui réduit le minerai à une granulométrie 0-250 mm qui alimente soit un stock à terre (minerai tendre pour l'usine B), soit un silo (minerai dur pour l'usine C).

Les usines du site concentrent l'andalousite en la séparant des autres minéraux, via **3 procédés minéralurgiques** basés sur les propriétés physico-chimiques des différents minéraux constituant les cornéennes à andalousite :

1. Le **broyage à boulets pour la voie humide et le broyage semi autogène pour la voie sèche**, suivis d'une **classification** pour éliminer les particules les plus friables, donc les plus fines (<300 μ m). Cette première étape représente la plus grosse perte de masse, avec 50% de masse en moins. Dans le traitement par voie humide, la fraction >300 μ m est séchée dans un tambour à 300°C.
2. La **séparation magnétique à haute intensité** pour éliminer la biotite. A l'issue de cette étape, il ne reste plus que 15% des matériaux par rapport au début du traitement.
3. La **séparation densimétrique par cyclonage** en milieu dense (ferrosilicium) pour séparer l'andalousite, de densité 3,1 à 3,2 du quartz, de densité 2,8. Dans les cyclones de séparation densimétrique, les particules d'andalousite sont plaquées contre la paroi, tandis que le quartz reste au centre et est éliminé par surverse.

Le concentré compris entre 0,3 et 1,6 mm passe par trois autres étapes de traitement afin d'augmenter la teneur en andalousite du concentré final :

- L'**attrition**, qui permet de nettoyer les cristaux d'andalousite ;
- La **séparation électrostatique**, servant à éliminer les pyrites ;
- Une dernière **séparation magnétique** destinée à l'affinage du produit.

Des particules fines d'andalousite peuvent être perdues dans les fractions fines (200-600 µm) issues de la séparation magnétique et de la séparation densimétrique. Un **atelier de flottation** permet de valoriser ces particules fines d'andalousite.

Un flow-sheet simplifié des usines est présenté en Figure 21. Deux vues aériennes oblique de la plateforme technique des usines sont présentées en Figure 9 p 30. Un photolog des usines, réalisé par IRMG, et détaillant plus précisément les organes des usines, est présenté en Annexe 8.

La puissance électrique maximale installée des installations de traitement des matériaux du site de Guerphalès est de 5 500 kW.

En plus de l'andalousite, certains matériaux (sous-produits) sont valorisés. Il s'agit :

- Des sables (sables « déclassés »), valorisés comme sables drainants de tranchées ou intégrés dans certains enrobés ;
- Les **fines de dépeussierage ou « PS » (0-300 µm)** du broyage et de la classification par voie sèche qui sont utilisées, dans des conditions particulières d'humidité et de compactage pour former des couches d'étanchéités au niveau des verses à stériles.

Le projet d'ouverture de la Fosse 4 ne prévoit aucune modification dans le procédé de traitement du minerai et de la puissance électrique totale installée des usines.

3.2 ALIMENTATION EN EAU DE PROCEDE

Le **procédé de traitement** par voie humide, sur la base d'une disponibilité de 90% (330 j/an), nécessite un apport de **220 m³/h en moyenne annuelle (2015-2019) d'eau de procédé**. Cette eau alimente notamment :

- Le broyage par voie humide ;
- La séparation densimétrique par cyclonage en milieu dense ;
- L'attrition ;
- L'atelier de flottation.

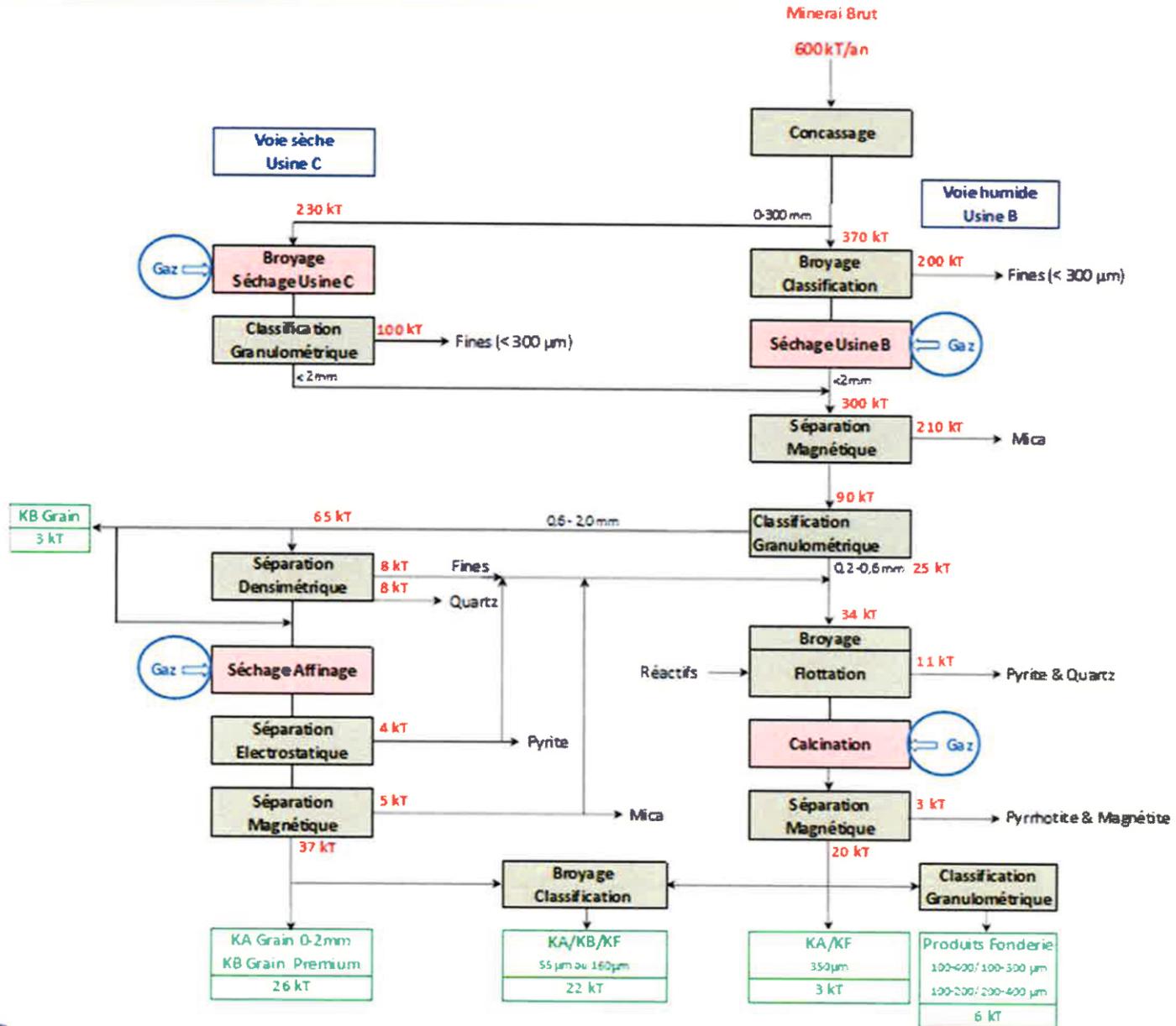
L'usine de traitement du minerai fonctionne en circuit fermé et il n'y a aucun prélèvement d'eau dans le milieu naturel. Les besoins en eau de l'usine sont assurés par :

- Recirculation des eaux de décantation et d'égouttage de l'usine ;
- La Fosse 2 où les eaux de procédé sont recyclées après décantation des résidus humides (fraction fine (<300 µm) du broyage par voie humide et stériles de flottation).

Ce circuit fermé nécessite malgré tout un appoint pour compenser les pertes liées à l'évaporation et à l'humidité des boues. Cet appoint est assuré par les eaux pluviales collectées dans la Fosse 2.

Le circuit des eaux de l'ensemble du site est décrit au § 4.

Flow sheet simplifié



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

Flow sheet simplifié des usines

Source : IRMG

Figure 21

Le suivi des horamètres des pompes du site permet d’établir un bilan hydrique moyen de l’usine entre 2015 et 2020 et d’évaluer un taux de recyclage moyen des eaux de procédé de 58% :

Tableau 12 : Bilan hydrique de l’usine de traitement du minerai

Année	Volume d’eau alimentant l’usine à partir de la Fosse 2 (m ³)	Volume d’eau recyclé vers la Fosse 2 (m ³)	Taux de recyclage effectif	Appoint au circuit fermé de l’usine (eaux pluviales collectées par la Fosse 2) (m ³)
2015	1 538 200	841 280	55%	696 920
2016	1 328 100	736 640	55%	591 460
2017	1 794 450	927 200	52%	867 250
2018	2 020 600	1 186 429	59%	834 171
2019	1 977 400	1 336 000	68%	641 400
2020	2 588 000	1 352 220	52%	1 235 780
Moyenne 2015-2020	1 874 460	1 063 300	57%	811 165

3.3 PLAN DE GESTION DES RESIDUS DE TRAITEMENT DU MINERAI

Le présent § 3.3 constitue le Plan de Gestion des résidus de traitement du minerai d’andalousite établi conformément à l’Art. 5 de l’AM du 19/04/2010.

Les procédés de traitement du minerai mis en œuvre au niveau des usines du site de Guerphalès génèrent **3 principaux types de résidus** :

- Des **résidus humides ou « PGP »** sous forme de **pulpes**, correspondant à la fraction fine (<300 µm) du broyage par voie humide dans l’usine B et aux stériles de flottation. Ces résidus représentent **37% du tonnage entrant** des usines, avec une **densité de 1,7**, soit **235 000 t/an ou 140 000 m³/an** à stocker en moyenne.
- Des **résidus secs ou « Sabès »**, sous forme de **sables à biotite**, correspondant aux stériles de séparation magnétique des usines B et C. Ces résidus représentent **48% du tonnage entrant** des usines, avec une **densité de 1,6**, soit **300 000 t/an ou 190 000 m³/an** à stocker en moyenne.
- Des **boues d’hydroxydes de fer, manganèse ou aluminium** issues de l’actuel traitement des eaux au lait de chaux avant rejet au milieu naturel au niveau de la station Neutralac 3. Ces boues, issues du curage du premier bassin de décantation des eaux traitées, représentent un tonnage de **300 t/an**.

La gestion des boues de la **future installation de traitement du manganèse par ozonation** (mise en service au 1^{er} janvier 2024) est en cours d’élaboration (décantation + renvoi en Fosse 2 ou épaissement par filtres-presses).

La **future installation de traitement du manganèse par ozonation** (mise en service au 1^{er} janvier 2024) est en cours de conception.

Cette nouvelle installation remplacera la station Neutralac 3 et **les boues qu’elle produira seront renvoyées comme actuellement en Fosse 2** après une phase de décantation.

3.3.1 Caractérisation des résidus

3.3.1.1 *Caractéristiques physiques et minéralogiques*

❖ Les résidus humides

Les stériles humides ont la consistance de limons et d’argiles peu plastiques.

❖ Les résidus secs (« Sabès »)

Les résidus secs sont des sables fin à moyens propres et riches en biotite.

❖ Les boues d’hydroxydes

Les eaux d’exhaure de la Fosse 3, les eaux provenant des systèmes de drainage des verses à stériles et les eaux provenant des usines (décantation et flottation) rejoignent le circuit de traitement du site (stations Neutralac 1 et 3). Après neutralisation puis décantation, ces eaux sont rejetées au milieu naturel (ruisseau de Kergroaz).

Les hydroxydes (principalement de fer, manganèse et aluminium) résultants du traitement de ces eaux s’accumulent en Fosse 2, à la sortie de la station Neutralac 1 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 3.

3.3.1.2 *Caractéristiques et comportement géochimique*

❖ Éléments traces métalliques

IRMG a fait analyser en 2010 par le LABOCEA (ex LDA 22) les teneurs (sur brut) en éléments traces métalliques (ETM) des résidus de traitement du minerai et boues d’hydroxydes produits sur le site de Guerphalès. Les modalités d’exploitation et de traitement des eaux n’ayant pas évolué ou peu, ces stériles de production n’ont également pas évolué depuis 2010.

Les bulletins d’analyses, joints en Annexe 2, sont synthétisés dans le tableau suivant :

Tableau 13 : Composition moyenne en éléments traces métalliques des résidus de traitement du minerai et des boues d’hydroxydes (IRMG, 2010)

Paramètre	Unité	Résidus humides		Résidus secs		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).

De cette comparaison, il ressort que :

- Pour les résidus humides et les résidus secs, les teneurs des paramètres analysés sont considérées comme « couramment observées » dans les sols « ordinaires » ou pour les teneurs les plus élevées (chrome, cobalt, cuivre, molybdène, zinc) 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, compatible avec l'acceptabilité du milieu récepteur.

L'ouverture de la Fosse 4, l'extension de la Verse Ouest et les nouvelles extensions du Sabès n'entraînent aucune modification des caractéristiques physiques et chimiques des résidus de traitement du minerai et des boues d'hydroxydes définies en 2011.

❖ Test 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 secs du Sabès) ou d'exhaure (résidus 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 :

Tableau 14 : Résultats des tests de lixiviation effectués sur les résidus de traitement du minerai et des boues d'hydroxydes (IRMG, 2010)

Paramètre	Unité	Stériles humides	Résidus secs	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 résidus humides.

❖ **Potentiel acidogène**

IRMG a missionné en 2011 le Laboratoire Environnement et Minéralurgie de Nancy pour déterminer la teneur en sulfures ainsi que le ratio de potentiel de neutralisation NPR des résidus humides et des résidus secs produits par l'exploitation d'andalousite de Guerphalès.

NB : Les boues d'hydroxydes résultant de la neutralisation de l'acidité des eaux d'exhaure 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 et sont synthétisés dans le tableau suivant.

Tableau 15 : Résultats de la détermination du potentiel acidogène des résidus de traitement du minerai (IRMG, 2010)

Résidus	Teneur en soufre		NPR = PN/PA Potentiel net de neutralisation = potentiel de neutralisation / potentiel de génération d'acide	
	Soufre total (en %)	Dont sulfates (en %)		
Résidus humides (fosse 2)	0,67	0,09	0,17	Générateur d'acide (NPR<1)
			0,24	
			0,17	
Résidus secs (Sabès)	1,12	0,05	0,14	Générateur d'acide (NPR<1)
			0,07	
			0,10	

Les résidus humides analysés présentent une teneur en soufre sous forme de sulfure inférieure à 1% et un potentiel net de neutralisation (ratio de neutralisation) inférieur à 1.

Les résidus secs analysés présentent une teneur en soufre sous forme de sulfure supérieure à 1%.

Les résidus humides et résidus secs de l'exploitation d'andalousite de Guerphalès sont **non inertes, conformément à l'article 3 de l'Arrêté Ministériel du 19 avril 2010 car acidogènes.**

Les caractéristiques géochimiques des résidus humides, des résidus secs et des boues d'hydroxydes définies en 2011 resteront du même ordre pour les résidus issus de l'exploitation de la future Fosse 4.

3.3.1.3 Comportement géotechnique

❖ **Les résidus humides**

Les caractéristiques des résidus humides produits au sein des usines du site 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 5.

- Poids volumique : 18,5 kN/m³ ;
- Cohésion : 2 kPa ;
- Angle de frottement : 30°

❖ **Les résidus secs (« Sabès »)**

Les résidus secs sont des 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 %).

Les caractéristiques géotechniques des résidus humides, des résidus secs et des boues d’hydroxydes définies en 2011 resteront du même ordre pour les résidus issus de l’exploitation de la future Fosse 4.

3.3.1.4 Description des substances chimiques utilisées

❖ **Les résidus humides**

L’atelier de flottation mis en œuvre pour valoriser les particules fines d’andalousite emploie 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 fournies en Annexe 9 et consultables sur le site.

Produits	Codes des mentions de dangers	Utilisation	Consommation annuelle	Concentration dans les résidus humides
Amylxanthate potassium	H228, H302, H312, H315, H314, H335	Réactifs de flottation	5 160 kg	9 g/t
Mélange de polyglycols (agent de flottation)	H302		6 800 kg	12 g/t
Sulfonate de sodium	H319, H315, H318, H412		36 300 kg	67 g/t
Agent tensio-actif (produit chimique d’extraction)			7 100 kg	12 g/t
Acide sulfurique	H314		19 900 kg	35 g/t

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 (235 000 t/an en moyenne).

La classification réglementaire des déchets issus de l’industrie extractive par rapport à son contenu en substances et mélanges dangereux dépend directement de la concentration des déchets en substances et mélanges dangereux. Dans le cas présent, cette classification est réglementée par les textes suivants :

- Décision 2014/955/UE de la Commission du 18 décembre 2014 modifiant la décision 2000/532/CE établissant la liste des déchets, conformément à la directive 2008/98/CE du Parlement européen et du Conseil ;
- Règlement (UE) n°1357/2014 de la Commission du 18 décembre 2014 remplaçant l’annexe III de la directive 2008/98/CE du Parlement européen et du Conseil relative aux déchets et abrogeant certaines directives : Annexe III : Propriétés qui rendent les déchets dangereux ;

- Règlement (UE) n°2017/997 du Conseil du 8 juin 2017 modifiant l'annexe III de la directive 2008/98/CE du Parlement européen et du Conseil en ce qui concerne la propriété dangereuse HP 14 « Écotoxique ».

D’après les codes des mentions de dangers répertoriés dans les fiches de données sécurité des produits de flottation, **les produits utilisés ne rendent pas les résidus humides dangereux** et ce quelle que soit la concentration (aucune des propriétés associées au codes des mentions de dangers ne rendent les résidus dangereux au sens du Règlement (UE) n°1357/2014).

❖ Les résidus secs (« Sabès »)

Les résidus secs stockés sur le Sabès 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	Codes des mentions de dangers	Utilisation	Consommation annuelle
Lait de chaux	H315, H318, H335 H290, H314	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.

D’après les codes des mentions de dangers répertoriés dans les fiches de données sécurité des produits de neutralisation, **les produits utilisés ne rendent pas les boues d’hydroxydes dangereuses** et ce quelle que soit la concentration (aucune des propriétés associées au codes des mentions de dangers ne tendent les résidus dangereux au sens du Règlement (UE) n°1357/2014).

3.3.1.5 Classification des résidus de traitement du minerai

Selon l’annexe II de l’article R541-8 du Code de l’Environnement, les résidus de traitement du minerai d’andalousite de Guerphalès (résidus actuels issus de la Fosse 3 et, par extension, résidus à venir de la Fosse 3 et de la Fosse 4) sont classés sous le **code 01 04 09 « Déchets provenant de la transformation physique et chimique des minéraux non métallifère »**.

La caractérisation présentée dans les paragraphes précédents permet de conclure que ces **résidus** sont **acidogènes et non dangereux**. Ils sont donc considérés comme des **déchets non inertes et non dangereux** au regard l’article 3 de l’Arrêté Ministériel du 19 avril 2010.

3.3.2 Modalités et phasage de stockage des résidus de traitement du minéral

3.3.2.1 *Caractéristiques et capacités des installations de stockage*

Les **résidus humides** sont et seront **stockés**, comme actuellement dans la **Fosse 2**.

Les **résidus secs** seront quant à eux stockés, par ordre de priorité (Cf. Figure 12 p 43) :

- A l’Est du site, au niveau de l’**extension de la verse du Sabès actuellement autorisée** afin de permettre les travaux préparatoires de stabilisation et de drainage optimaux des plateformes de stockage suivantes (« Vallon digue cyclonée », Fosse 1 et Ancienne digue) ;
- Sur la plateforme constituée par le remblaiement de stériles au niveau du « **Vallon digue cyclonée** » et de la **Fosse 1 : extension vers l’Ouest de la verse du Sabès** ;
- Sur la plateforme constituée par le remblaiement de stériles au niveau de l’**ancienne digue : extension vers le Sud de la verse du Sabès**.

Les différentes zones de stockage de résidus de traitement minier et leur design sont représentés sur la Figure 12 p 43. Le tableau ci-dessous récapitule les principales caractéristiques des zones de stockage de résidus secs ainsi que leurs capacités à fin 2019, d’après les données fournies par IRMG en octobre 2020 :

Tableau 16 : Caractéristiques et capacités des installations de stockage des résidus secs (Sabès)

Installation de stockage de <u>résidus de traitement minier secs</u>	Type / géométrie	Surface	Capacité de stockage à fin 2019	Nombre d’années de stockage
Extension Est de la verse du Sabès	Verse de pente intégratrice 30° (angle de stabilité des sables à biotite) jusqu’à la cote 249 m NGF (29 m de hauteur maximum)	9,1 ha	1,730 Mm³ 2,770 Mt	9,1
Extension Ouest de la verse du Sabès (plateforme Vallon digue cyclonée et Fosse 1)	Verse de pente intégratrice 30° (angle de stabilité des sables à biotite) jusqu’à la cote 249 m NGF (10 m de hauteur maximum)	5,7 ha	0,610 Mm³ 0,980 Mt	3,2
Extension Sud de la verse du Sabès (plateforme Ancienne digue)	Verse de pente intégratrice 30° (angle de stabilité des sables à biotite) jusqu’à la cote 249 m NGF (26 m de hauteur maximum)	8,2 ha	1,665 Mm³ 2,665 Mt	8,7
Total		24 ha	4,005 Mm³ 6,415 Mt	21

Le tableau ci-dessous récapitule les principales caractéristiques de la zone de stockage de résidus humides ainsi que sa capacité à fin 2019 :

Tableau 17 : Caractéristiques et capacités des installations de stockage des résidus humides

Installation de stockage de <u>résidus de traitement minier humides</u>	Type / géométrie	Surface	Capacité de stockage à fin 2019	Nombre d’années de stockage
Fosse 2	Remblayage d’une ancienne fosse en dent creuse jusqu’à la cote 233 m NGF	15,6 ha	2,905 Mm³ 4,940 Mt	21

3.3.2.2 Mode de stockage

❖ Les résidus humides et les boues d'hydroxydes

Les résidus humides et les boues d'hydroxydes sont transportés par canalisation PHED et déversés dans la Fosse 2 après ajout de chaux pour neutralisation.

La gestion des boues de la **future installation de traitement du manganèse par ozonation** (mise en service au 1^{er} janvier 2024) est en cours d'élaboration (décantation + renvoi en Fosse 2 ou épaissement par filtres-presses).

La future installation de traitement du manganèse par ozonation (mise en service au 1er janvier 2024) est en cours de conception.

Cette nouvelle installation remplacera la station Neutralac 3 et **les boues qu'elle produira seront renvoyées comme actuellement en Fosse 2** après une phase de décantation.

❖ Les résidus secs (« Sabès »)

Les résidus secs de séparation magnétique sont acheminés par convoyeur aérien jusqu'à une verse de stockage dédiée dénommée « Sabès », actuellement localisée sur la partie Nord-Est du site de Guerphalès. 3 extensions, vers l'Est, vers l'Ouest et vers le Sud sont prévues pour cette verse du Sabès (dans l'emprise actuellement autorisée).

Les caractéristiques géotechniques du « Sabès » et de ses extensions ont été déterminées par MECATER dans son étude de 2011 (reprenant une étude SLR de 2008), jointe en Annexe 5. Elles sont les suivantes :

- Le soubassement des extensions Sud et Ouest du Sabès sur l'ancienne digue et la Fosse 1 sera constituée d'une couche d'enrochement (stériles d'extraction) et de drains sous-jacents permettant d'assurer la stabilité de l'ensemble ;
- Les résidus secs étant déversés gravitairement par convoyeur en sommet de verse, les pentes de talus du Sabès sont égales à l'angle de frottement naturel des résidus secs soit 35° ;
- La hauteur maximale du Sabès est d'environ 30 m, pour une cote maximale de stockage autorisée par l'Arrêté Préfectoral Complémentaire du 12 octobre 2020 de 249 m NGF ;
- Le réaménagement progressif du Sabès inclut la mise en place d'une couche d'étanchéité (fines PS) de 0,5 à 1 m recouverte d'environ 15 cm de terre végétale, puis la végétalisation de la verse.

3.3.2.3 Phasage de stockage des résidus

Le tableau suivant présente le phasage quinquennal de stockage des résidus de traitement du minerai, sur la base d'une production moyenne et des données fournies par IRMG en octobre 2020. Ce phasage est représenté en plan, en coupe et en vues 3D p 46 à 53.

NB : Afin de tenir compte du délai nécessaire au montage du présent dossier et de l'obtention de la nouvelle autorisation, une **Phase 0 de 3 ans (2020 à 2022)** a été introduite.

Tableau 18 : Phasage quinquennal de stockage des résidus de traitement du minerai

Phase	Gestion des résidus de traitement du minerai Résidus secs : 300 000 t/an ou 190 000 m ³ /an Résidus humides : 235 000 t/an ou 140 000 m ³ /an		Aménagements à réaliser	Travaux de remise en état
	Résidus secs	Résidus humides (Fosse 2)		
Phase 0 3 ans (jusqu'à obtention du nouvel AP) 2020-2022	Extension Sabès vers l'Est : 565 000 m ³	410 000 m ³	Travaux de décapage de l'extension du Sabès.	Remise en état coordonnée de la plateforme sommitale du Sabès (extension vers l'Est).
PHASE 1 5 ans (2023-2027)	Extension Sabès vers l'Est : 890 000 m ³	645 000 m ³	Finalisation des travaux de décapage de l'extension du Sabès. Travaux de stabilisation (remblayage d'une couche de stériles d'extraction) et de drainage sur l'ensemble Vallon digue cyclonée-Fosse 1 et sur l'ancienne digue pour permettre l'avancée du Sabès	Remise en état coordonnée des flancs et de la plateforme sommitale du Sabès (extension vers l'Est).
PHASE 2 5 ans (2028-2032)	Extension Sabès vers l'Est : 235 000 m ³ Extension Sabès vers l'Ouest, sur la plateforme Vallon digue cyclonée-Fosse 1 : 615 000 m ³	615 000 m ³	/	Finalisation de la remise en état de l'extension Sabès vers Est. Remise en état coordonnée des flancs et de la plateforme sommitale du Sabès (extension vers l'Ouest).
PHASE 3 5 ans (2033-2037)	Extension Sabès vers le Sud-Est, sur la plateforme de l'ancienne digue : 865 000 m ³	630 000 m ³	/	Finalisation de la remise en état de l'extension Sabès vers l'Ouest et du reste de la Fosse 1. Remise en état coordonnée des flancs et de la plateforme sommitale du Sabès (extension vers le Sud-Est).
PHASE 4 5 ans (2038-2042)	Extension Sabès vers le Sud-Est, sur la plateforme de l'ancienne digue : 835 000 m ³	605 000 m ³	/	Remise en état coordonnée des flancs et de la plateforme sommitale du Sabès (extension vers le Sud-Est).
PHASE 5 5 ans (2043-2047)				Finalisation de la remise en état : <ul style="list-style-type: none"> ▪ De l'extension vers le Sud-Est du Sabès ; ▪ De la Fosse 2 (stockage des résidus humides) ;

Phase	Gestion des résidus de traitement du minéral Résidus secs : 300 000 t/an ou 190 000 m ³ /an Résidus humides : 235 000 t/an ou 140 000 m ³ /an		Aménagements à réaliser	Travaux de remise en état
	Résidus secs	Résidus humides (Fosse 2)		
Total phases 1 à 5	3 440 000 m³	2 495 000 m³		

3.3.3 Modalités de gestion des eaux

3.3.3.1 *Extension Est du Sabès*

L’extension Est du Sabès est autorisée par l’Arrêté Préfectoral du 03/08/2018. Les travaux de préparation ont été réalisés en 2019 et le stockage y a débuté en 2020.

Les eaux d’infiltration sont et seront collectées par un réseau de drains creusés dans le terrain naturel décapé et remplis de granulats concassés 0-100 mm enveloppés dans un géotextile. Ces drains rejoignent un fossé périphérique dirigé vers un bassin situé au niveau d’un point bas. Ce bassin sera équipé d’une pompe qui transférera les eaux collectées vers le circuit de traitement des eaux (Cf. Figure 22).

3.3.3.2 *Extensions Sud et Ouest du Sabès*

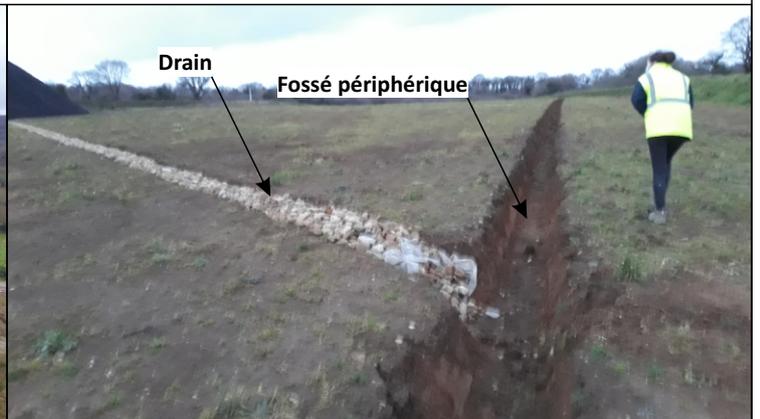
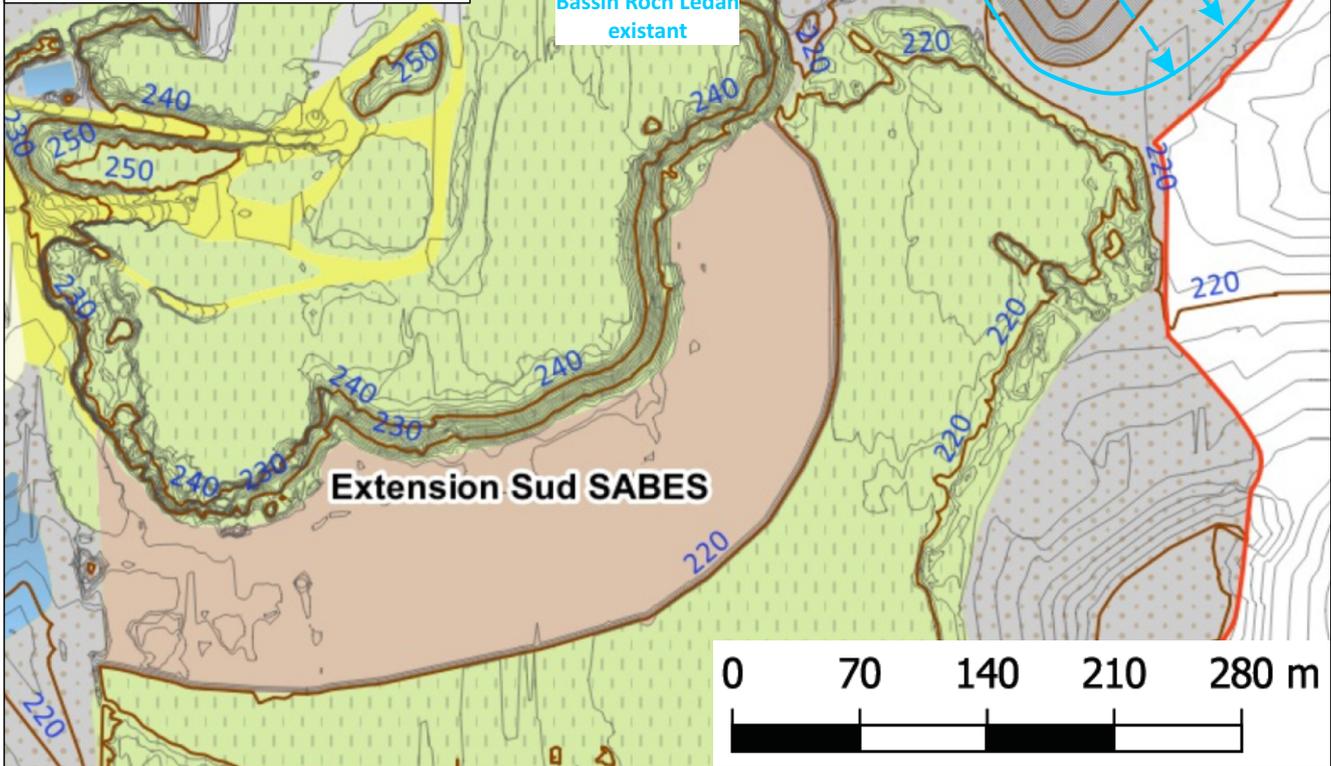
Les extensions Sud et Ouest du Sabès progresseront sur une plateforme constituée de stériles d’extraction rocheux de 4 m d’épaisseur installée sur l’ancienne digue (extension Sud) et sur la Fosse 1 (extension Ouest).

La plateforme en enrochements stériles assurera le drainage des eaux d’infiltration du Sabès qui seront récupérées par un fossé périphérique vers un bassin existant (Roch Ledan) ou à créer (Cf. Figure 25).

3.3.3.3 *Fosse 2 (stockage des résidus humides)*

Le stockage des résidus humides se fait dans un bassin enterré (Fosse 2). Les résidus humides y décantent et les eaux claires, ajoutées aux eaux pluviales, sont pompées vers les usines pour alimenter le broyage humide (Cf. § 3.2).

- Périmètre autorisé
- Périmètre d'extension
- Topographie en fin de phase 1
- Courbes de niveau maitresses
- Courbes de niveau intermédiaires
- Zone réaménagée
- Zone non exploitée
- Extraction
- Plateforme technique
- Piste
- Stockage de résidus humides
- Stockage de stériles d'extraction
- Stockage de résidus secs (SABES)
- Bassin
- Merlon



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

Illustration de la gestion des eaux de l'extension Est du Sabès

Sources : IRMG et GEO+ (photographies janvier 2021)

Figure 22

3.3.4 Contexte géologique, hydrogéologique et hydrologique de l'emprise des stockages de résidus humides

Le sous-sol au droit de l'actuelle Verse du Sabès est de ses extensions Est et Ouest est constitué de schistes à andalousite non valorisables. L'extension Sud de la Verse du Sabès se trouve sur un ancien stockage des résidus humides consolidés (« ancienne digue ») dont le substratum est constitué de grès armoricain sur sa partie Sud et de schistes à andalousite non valorisables sur sa partie Nord (Cf. Figure 4 p 15).

Les résidus humides continueront d'être stockés dans la Fosse 2 dont le substratum est constitué de schistes à andalousite anciennement exploités.

Les mesures piézométriques réalisés par GEO+ en 2020 (piézomètres SAB4 et SAB5 situés en bordure Est de la verse du Sabès) montrent que le **toit de la nappe des altérites** est situé entre 212,27 et 227,75 m NGF (3 à 5 m de profondeur).

L'extension Sud du Sabès reposera sur une nappe artificielle contenue dans les anciens résidus humides.

Les emprises du Sabès et de ses extensions Est et Sud se trouvent dans le bassin versant de l'Ellé.

Les emprises de la Fosse 2 et de l'extension Ouest du Sabès se trouvent dans le bassin versant du ruisseau de Kerjean, affluent du Blavet.

3.3.5 Etat du terrain susceptible de subir les dommages

Les stériles humides et les résidus sableux 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 (stériles humides en Fosse 2, extensions de la verse du Sabès) a été validée par des bureaux d'études spécialisés (SLR 2008, MECATER – 2011).

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

3.3.6 Analyse des solutions alternatives pour la gestion des résidus de traitement du minéral

Les différents résidus de traitement du minéral ne sont pas valorisables en l'état, d'une part du fait de leur caractère non inerte, et d'autre part du fait de leurs **propriétés mécaniques insuffisantes pour être employés en terrassement ou construction**. IRMG doit donc stocker ces différents résidus directement sur son site.

Malgré tout, IRMG poursuivra ses efforts de recherche et développement pour optimiser le traitement du minéral afin de valoriser au mieux le gisement tout en réduisant la quantité de résidus.

Le remblayage des anciennes fosses d'extraction (Fosse 1 jusqu'en 2014 puis Fosse 2 depuis) par les résidus humides constitue la meilleure solution de stockage d'un point de vue sécuritaire et environnemental, très loin devant le stockage en parc à résidus retenu par une digue comme cela a été fait par le passé sur l'ancienne digue. En effet, cette solution évite la création d'une autre zone de stockage de résidus et permet de combler les anciennes fosses d'extraction et d'assurer leur remise en état par végétalisation au niveau du terrain naturel.

Le remblaiement des résidus humides (issue du broyage du minerai extrait dans les fosses) dans les anciennes fosses permet de leur restituer un environnement géochimique similaire à celui d'origine, facilitant ainsi leur stabilisation, ce qui ne serait pas le cas si on les déplaçait vers une autre installation de stockage.

D'ailleurs les résultats des suivis réalisés sur les piézomètres autour de la Fosse 1 ne montrent aucun relargage.

Enfin, le dépôt des résidus humides, très fins (<300 µm), constitue une couche d'étanchéité (perméabilité <10⁻⁸ m/s) sur le fond et les flancs de la fosse, ce qui évite tout impact sur la qualité des eaux souterraines à l'extérieur du site. D'ailleurs, les suivis qualitatifs réalisés par IRMG sur les eaux souterraines ne mettent **pas en évidence d'impact de l'activité actuelle sur la qualité des eaux souterraines**, qui serait imputable au stockage des résidus humides en Fosse 2.

Ces boues qui sont caractérisées comme non dangereuses seront donc valorisées en remblaiement. L'évacuation des boues étant donné leur volume (108 000 m³/an en moyenne, soit 184 000 t/an), vers des installations de stockage de déchets ne semble pas être l'option la plus pertinente. De plus, la filière locale de gestion des déchets ne pourrait pas absorber de tels volumes.

L'extension du Sabès vers l'Est, sur un substratum naturel, pendant les 5 premières années permettra à IRMG de réaliser une étude géotechnique de conception (Avant Projet Détaillé) des extensions Ouest et Sud du Sabès sur la Fosse 1 et l'ancienne digue.

3.3.7 Analyse des risques potentiels pour l'environnement et la santé humaine et positionnement des stockages de résidus au regard de la « catégorie A » de l'Arrêté du 19 Avril 2010

3.3.7.1 Analyse des risques d'instabilité et de contamination des eaux

L'ancienne digue, les barrages encadrant la Fosse 1 (barrage interfosse et barrage cycloné) ainsi que le Sabès ont fait l'objet d'une conception géotechnique SLR Consulting en 2008 (Avant Projet Sommaire). Cette étude de conception intégrait déjà l'extension du Sabès sur l'ancienne digue.

Une analyse de stabilité a été réalisée le bureau d'études MECATER en 2011 (Cf. Annexe 4). Cette étude développe les caractéristiques géologiques, hydrogéologiques et hydrologiques du site et l'analyse de la stabilité des ouvrages. Le tableau suivant récapitule les facteurs de sécurité obtenus par MECATER :

Ouvrage	Coefficient de sécurité	Coefficient de sécurité avec séisme ou tir de mines
Ancienne digue	>2	>1,5
Barrages interfosse et cycloné (Fosse 1)	>1,5	>1,5
Sabès	>2	>2

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.

La stabilité des ouvrages en l'état actuel et de l'extension du Sabès vers l'Est sur le substratum naturel est assurée.

Une nouvelle étude géotechnique de conception (Avant Projet Détaillé) des extensions Ouest et Sud du Sabès sur la Fosse 1 et l'ancienne digue sera réalisée.

Les risques de détérioration de la qualité des eaux peuvent être associés à :

- L'infiltration d'eaux acides et chargées vers les eaux souterraines à travers le Sabès ou à partir de la Fosse 2 ;
- Un déversement intempestif d'eaux acides faisant suite à un épisode pluvieux exceptionnel.

3.3.7.2 Conclusion de l'analyse de risque

Le tableau suivant reprend l'analyse préliminaires des risques d'instabilité et de contaminations des eaux au niveau des verses à stériles réalisée dans le Tome 4 : Etude de Dangers :

Tableau 19 : Analyse préliminaires des risques d'instabilité et de contaminations des eaux au niveau des verses à stériles

Système concerné	Situation de danger	Mesures préventives existantes (réduction de la probabilité)	Conséquences	Cinétique	Phénomène dangereux	Gravité brute	Mesures curatives (réduction de la gravité)	Gravité résiduelle	Effets potentiels sur des tiers à l'extérieur du site
Ancienne digue	Glissement peu profond (crue extrême, séisme)	Dispositif de drainage Suivi du niveau piézométrique par 3 piézomètres Collecte des eaux de ruissellement à l'aide de 2 tranchées Station de pompage assurant la récupération et l'évacuation des eaux vers Neutralac 1	Charriage des éboulis par les écoulements de surface, qui se chargent alors en Matières En Suspension (MES)	Rapide	Mouvement de terrain Diminution de la qualité des eaux superficielles	M	Station de traitement Neutralac 3 et bassins de décantation	M	NON
	Infiltration des eaux	Dispositif de drainage Couche d'étanchéité en surface	Acidification des eaux souterraines du site Enrichissement en fer, manganèse et sulfates dissous	Lente	Diminution de la qualité des eaux souterraines au droit du site	M	Couche d'étanchéité Dilution des eaux acides au fur et à mesure de leur propagation et pas de pompage AEP à proximité	M	NON
Fosse 1	Glissement superficiel (défaut de construction)	Dispositif de drainage Revanche de 2 m entre le niveau d'eau dans la retenue et la crête de chaque barrage	Charriage des éboulis par les écoulements de surface qui se chargeront alors en MES et se déverseront dans la Fosse 2 Coupure totale de l'accès à la Fosse 2	Lente	Mouvement de terrain Diminution de la qualité des eaux superficielles	S	Déversement des écoulements de surface dans la Fosse 2 Accumulation des éboulis au pied du Sabès Dégâts sur l'environnement réversibles	M	NON
	Glissement peu profond (séisme, tir de mine, crue extrême)			Rapide		S		M	NON
	Infiltration des eaux	Colmatage du fond de la fosse par les résidus (10 ⁻⁸ m/s) Dispositif de drainage Couche d'étanchéité en surface à l'état final	Acidification des eaux souterraines du site Enrichissement en fer, manganèse et sulfates dissous	Lente	Diminution de la qualité des eaux souterraines au droit du site	M	Couche d'étanchéité Dilution des eaux acides au fur et à mesure de leur propagation et pas de pompage AEP à proximité	M	NON

M : Gravité modérée

S : Gravité sérieuse

Systeme concerné	Situation de danger	Mesures préventives existantes (réduction de la probabilité)	Conséquences	Cinétique	Phénomène dangereux	Gravité brute	Mesures curatives (réduction de la gravité)	Gravité résiduelle	Effets potentiels sur des tiers à l'extérieur du site
Verse Sabès et extension	Ravinement (Crue extrême)	Pente de talus externes de 35° (angle de talus naturel des résidus sableux) Couche d'enrochement et drains sous-jacents Collecte des eaux vers le système de traitement Neutralac 1 et 3	Erosion régressive des talus Transport des matériaux érodés dans les eaux de ruissellement	Lente	Mouvement de terrain Diminution de la qualité des eaux superficielles	M	Les MES rejoindront l'ancienne digue et seront piégées dans le bassin Roch Lédan Station de traitement Neutralac 1 et 3 et bassins de décantation	M	NON
	Glissement peu profond (Crue extrême, séisme)		Fluage des talus de la verse sur une étendue de 50 m Transport des matériaux érodés dans les eaux de ruissellement	Rapide	Mouvement de terrain Diminution de la qualité des eaux superficielles	S	Ancienne digue Bassin Roch Lédan Station de traitement Neutralac 1 et 3 et bassins de décantation	M	NON
	Infiltration des eaux	Dispositif de drainage Couche d'étanchéité en surface à l'état final	Acidification des eaux souterraines du site Enrichissement en fer, manganèse et sulfates dissous	Lente	Diminution de la qualité des eaux souterraines au droit du site	M	Changement de plan le	M	NON
Fosse 2	Glissement superficiel (défaut de construction)	Suivi des prévisions météorologiques pour prévenir une inondation par remontée de nappe ou un débordement Suivi automatique du niveau d'eau		Lente		S	Traitement des eaux préalable à la station Neutralac 1	M	NON
	Glissement peu profond (séisme, tir de mine, crue extrême) et déversement des eaux	Parois de la fosse constituées par le massif rocheux (schistes à andalousite) peu perméable Demande de dérogation aux volumes maximaux d'eau rejetés en cas d'intempéries persistantes et de niveau alarmant des eaux du site Circuit de gestion des eaux du site	Erosion des berges Transport des matériaux érodés dans les eaux de ruissellement	Rapide	Mouvement de terrain Diminution de la qualité des eaux superficielles	S	Après décantation, envoi des eaux vers l'usine ou directement vers la station Neutralac 3 puis ses bassins de décantation	M	NON
	Infiltration des eaux	Colmatage du fond de la fosse par les résidus (10 ⁻⁸ m/s) Couche d'étanchéité en surface à l'état final	Acidification des eaux souterraines du site Enrichissement en fer, manganèse et sulfates dissous	Lente	Diminution de la qualité des eaux souterraines au droit du site	M	Couche d'étanchéité Dilution des eaux acides au fur et à mesure de leur propagation et pas de pompage AEP à proximité	M	NON

M : Gravité modérée

S : Gravité sérieuse

Ainsi, au regard des critères de l’annexe VII de l’Arrêté du 19 Avril 2010, **les différents stockages des résidus de traitement du minerai ne sont pas classés dans la catégorie A :**

- Niveau de risque de perte d’intégrité : ouvrages édifés selon les préconisations d’études géotechniques, permettant de garantir leur stabilité à long terme, soit un risque improbable voire très improbable, sans effet potentiel sur les tiers à l’extérieurs du site ;
- Déchet non dangereux ;
- Aucune substance ou préparation dangereuse.

3.3.8 Procédure de contrôle

IRMG a mis en place un ensemble de procédures pour la surveillance de ses différents stockages de résidus de traitement du minerai, y compris pour la Fosse 2 et le Sabès :

- Surveillance visuelle journalière de ces stockages ;
- Suivi automatique du niveau de l’eau dans la Fosse 2 (niveau consigné dans un registre par le responsable de production) ;
- Visite mensuelle avec établissement d’un rapport enregistré auprès du responsable de production ;
- Visite annuelle de suivi par un géotechnicien.

3.3.9 Bilan hydrique

L’ensembles des eaux de ruissellement et d’infiltration du Sabès, de la Fosse 1 et de l’ancienne digue sont collectées et transférées vers la Fosse 2 qui reçoit également des eaux pluviales et l’eau contenue dans les résidus humides.

Le tableau suivant récapitule les volumes d’eau entrant et sortant de la Fosse 2 :

Tableau 20 : Volumes d’eau collectés et traités annuellement sur l’exploitation d’andalousite de Glomel

Année	Volume d’eau de ruissellement et d’exhaure collecté au niveau de la Fosse 2 après traitement par Neutralac 1 (m ³)	Volume d’eau évacué de la Fosse 2 vers l’usine (m ³)	Pluviométrie (mm)
2015	626 920	2 534 939	930
2016	707 180	2 429 771	898
2017	375 240	2 425 352	812
2018	745 090	3 391 480	1022
2019	854 130	3 761 322	1064
2020	1 306 320	3 908 519	1 222
Moyenne 2015-2020	769 147	3 075 231	991

Le volume d'eau de ruissellement et d'infiltration collecté généré par **l'extension Est du Sabès** peut être estimé à partir de sa surface et de la pluie efficace annuelle ruisselée (en considérant une réserve utile de 20 mm (surface décapée) et un coefficient de ruissellement de 80% : 379 à 957 mm entre 1981 et 2019, Cf. Bilan hydrologique à l'échelle de l'exploitation au § 2.1.3 du Tome 3 bis Etude hydrologique et hydrogéologique) :

9,1 ha x 379 à 957 mm/an ≈ 34 000 à 87 000 m³/an soit 4 à 10 m³/h en moyenne

Les extensions vers l'Ouest et vers le Sud du Sabès se trouvent sur des secteurs dont les eaux de ruissellement sont déjà collectées par le circuit des eaux du site (vallon 1435, Fosse 1 et ancienne digue). Elles ne généreront pas de volumes supplémentaires.

3.3.10 Fermeture, remise en état et suivi des installations de stockage de résidus

3.3.10.1 Fosse 1, Fosse 2 et ancienne digue

L'ancienne digue a déjà été entièrement remise en état et revégétalisée.

La Fosse 1, déjà comblée par les résidus humides de traitement du minerai puis par une couche de stériles d'extraction atteindra la cote de 240 m NGF.

La **Fosse 2** qui a pris la suite de la Fosse 1 depuis 2014 atteindra au maximum la cote de **233 m NGF**, soit un franc bord de 9 m par rapport à la crête du barrage interfosse (entre la Fosse 1 et la Fosse 2) qui constitue le point le plus bas en périphérie de la Fosse 2.

Un évacuateur de crue sera mis en place à l'Est de la Fosse 2, dans le terrain naturel, au Sud du barrage interfosse. Cet ouvrage sera prolongé par un fossé en bordure Nord-Ouest de la Fosse 1 et qui rejoindra la Fosse 4. Selon la cote de l'évacuateur de crue, un comblement pourrait être à prévoir au niveau du point bas du parement Nord de la Fosse 2 vers la verse de Roscoat. L'étude géotechnique à venir réalisera le dimensionnement précis de cet évacuateur de crue.

Le réaménagement des fosses de stockage des stériles humides inclura :

- Une phase d'assèchement et de stabilisation des résidus stockés ;
- La mise en place d'une couche de fines de dépoussiérage (PS) ou de matériaux équivalents afin d'imperméabiliser la surface supérieure du stockage sur au moins 50 cm ;
- Le régalage d'une couche de terre végétale de 15 cm.

Une fois ces éléments en place, les terrains seront végétalisés par ensemencement hydraulique puis laissés à la recolonisation naturelle.

3.3.10.2 Sabès étendu

Les modalités de remise en état du Sabès étendu demeureront les mêmes que celles actuellement mises en œuvre par IRMG, à savoir :

- Une couche d'étanchéité (PS compactée) d'environ 1 m sera régalée sur les secteurs atteignant la cote de stockage maximale de 245 m NGF (pour une cote finale du Sabès de 249 m NGF) ;
- Régalage de terre végétale (environ 15 à 30 cm) pour revégétalisation par ensemencement de graminées.

Les ruissellements et percolats seront collectés puis traités sur toute la période d'exploitation (jusqu'en 2047). Après finalisation des travaux de remise en état, les eaux de pluies ne s'infiltreront plus et ruisselleront sur une surface inerte et végétalisée. Elles pourront rejoindre le milieu naturel.

Les fossés bordant le Sabès seront conservés et la qualité des eaux s'y écoulant continuera d'être suivie.

La stabilité du Sabès et des barrages interfosse et cycloné fera l'objet d'un état des lieux annuel par un géotechnicien.

Ce suivi sera maintenu sur une période de 5 ans suivant la fin des travaux de remise en état.

Le projet de remise en état et les programme de suivi post-exploitation sont détaillés dans le Chapitre 7 du Tome 3 : Etude d'Impact.

4 GESTION DES EAUX

4.1 GESTION ACTUELLE

4.1.1 Circuit de gestion et de traitement des eaux jusqu'à fin 2021

Les activités d'extraction et de traitement du minerai et les installations de stockage des stériles et résidus qui en découlent génèrent des eaux acides et chargées en métaux. L'ensemble des eaux du site est collecté et traité avant tout rejet au milieu naturel. Le circuit de gestion des eaux actuellement en vigueur sur l'exploitation d'andalousite de Guerphalès est schématisé en [Figure 23](#) et illustré en [Figure 24](#).

L'ensemble des eaux du site est collecté par la **Fosse 2**, ancienne fosse d'extraction du site de Glomel qui reçoit également les résidus humides de l'usine de traitement du minerai. En entrée de Fosse 2, on peut distinguer :

- **Les eaux issues du drainage de la Fosse 3 en cours d'exploitation et des zones de stockage des stériles et résidus :**
 - Eaux d'exhaure de la Fosse 3, collectées par un puisard en fond de fouille ;
 - Eaux de ruissellement et d'infiltration de la Verse de Kerroué, collectées au niveau du bassin de Kerroué BK ;
 - Eaux de ruissellement et d'infiltration de la verse du Sabès, collectées au niveau du bassin Roch Lédan et du bassin 1435 ;
 - Eaux de drainage de l'ancienne digue, collectées par un fossé en pied de digue et envoyées vers le bassin Roch Lédan ;
 - Eaux de drainage de la plateforme de stockage des produits finis humides, collectées dans le bassin Bora et envoyées vers le bassin Roch Lédan ;
 - Eaux de drainage de la digue cyclonée (digue Est de surélévation du stockage des résidus humides dans l'ancienne Fosse 1), collectées au niveau du bassin 1435 ;
 - Eaux de ruissellement et d'infiltration de l'ancienne verse de Roscoat, collectées par le puits Roscoat.

- **Les eaux issues du procédé de concentration et de purification de l'andalousite :** les eaux et les boues du décanteur de l'usine, les eaux de flottation et de lavage de gaz.

Les eaux transférées dans la Fosse 2 passent par une étape de traitement à la **chaux éteinte** en poudre au niveau d'une station de neutralisation appelée « Station Neutralac 1 », qui permet d'augmenter le pH des eaux et de précipiter une partie des métaux (principalement fer, aluminium, manganèse) sous forme d'hydroxydes. Les matières en suspension contenues dans les eaux collectées décantent dans la Fosse 2.