

ANNEXE 5

Évaluation des risques des déchets minéraux

ÉVALUATION DES RISQUES LIÉS AUX DÉCHETS MINÉRAUX, OUELEBA, PROJET DE MINÉRAI DE FER DE SIMANDOU, GUINÉE

Préparé pour
Rio Tinto Iron Ore Atlantic Pty Ltd

Rapport préparé par



SRK Consulting (UK) Limited
UK31243

Sommaire

1	INTRODUCTION	1
1.1	Contexte.....	1
1.2	Chimie de base de l'eau	2
1.3	Étendue des travaux.....	4
2	CADRE DU PROJET.....	5
2.1	Lieu	5
2.2	Aménagement du site.....	5
3	CARACTERISATION GEOCHIMIQUE	8
3.1	Détermination du potentiel acidogène (DPA) et essais cinétiques.....	8
3.2	Distribution du soufre.....	11
3.3	Répartition spatiale des matériaux PA dans la mine à ciel ouvert	14
3.3.1	Combustion spontanée	16
3.4	Lixiviation de solutés.....	16
3.4.1	Essais cinétiques.....	16
4	STERILES D'EXPLOITATION	21
4.1	Gestion des stériles et évaluation des risques	21
4.2	Échéancier et stockage des stériles	21
4.2.1	Échéancier minier et gestion des stériles.....	21
4.2.2	Matériaux PA.....	21
5	ÉVALUATIONS DES RISQUES LIES A LA QUALITE DE L'EAU	26
5.1	Exhaure de mine à ciel ouvert	26
5.2	Chimie des lacs de mine post-fermeture	32
5.3	Installations de stockage des stériles	42
5.3.1	DAM dans les eaux qui s'infiltrent dans les installations de stockage des stériles	42
5.3.2	Composés azotés dans les eaux d'infiltration des installations de stockage des stériles	46
5.4	HME2.....	48
5.5	Chimie des eaux de contact et des stériles de l'embranchement ferroviaire	49
5.6	Carrière.....	50
6	CONCLUSIONS	51
7	REFERENCES	I

Liste des tableaux

Tableau 3-1 :	Résumé par lithologie du soufre total pour tous les intervalles de forage testés classés comme « déchets » dans les limites extérieures de la mine de 2021 (OUEL2021_RSVS_PIT30).....	13
Tableau 5-1:	Résumé de la chimie des flux d'exhaure - Modèle de scénario de base (statistiques récapitulatives pour tous les flux de mine à ciel ouvert).....	30
Tableau 5-2 :	Scénario 1, scénario de base, résumé de la composition chimique du lac sud (sans remblayage).....	37
Tableau 5-3 :	Scénario 1, scénario de base, résumé de la composition chimique du lac central (sans remblayage).....	38
Tableau 5-4 :	Scénario 2, scénario de base avec remblayage à forte conductivité, résumé de la composition chimique du lac nord.....	39
Tableau 5-5 :	Scénario 3, scénario de base avec remblayage à faible conductivité, résumé de la composition chimique du lac nord.....	40
Tableau 5-6 :	WRSF1 — Résultats sommaires pour la chimie des eaux d'infiltration	43

Liste des figures

Figure 2-1 :	Infrastructure minière provisoire d'Ouéléba	7
Figure 3-1 :	Taux de libération de sulfates dans la colonne de lixiviation par rapport à la teneur en soufre total.....	10
Figure 3-2 :	Mine à ciel ouvert d'Ouéléba en 2021 montrant des zones de matériaux PA (> 0,05 % de S) dans les limites extérieures de la mine à ciel ouvert	15
Figure 3-3 :	Concentrations de cuivre représentées en fonction du pH pour les essais cinétiques	19
Figure 3-4 :	Concentrations de plomb représentées en fonction du pH pour les essais cinétiques	19
Figure 3-5 :	Concentrations de manganèse représentées en fonction du pH pour les essais cinétiques	20
Figure 3-6 :	Concentrations de zinc représentées en fonction du pH pour les essais cinétiques ..	20
Figure 4-1 :	Tonnage annuel de stériles à Ouéléba par GéoDomaine.....	22
Figure 4-2 :	Tonnage cumulé de stériles à Ouéléba par GéoDomaine	23
Figure 4-3 :	Tonnage annuel de matériaux PA à Ouéléba (> 0,05 % de S) par GéoDomaine (durée de vie de 32 ans).....	24
Figure 4-4 :	Tonnage cumulé de matériaux PA à Ouéléba par GéoDomaine (durée de vie de 32 ans).....	25
Figure 5-1 :	Bassins versants nord, centre et sud d'Ouéléba.....	29
Figure 5-2 :	Azote total prévu dans des flux d'exhaure entièrement mélangés.....	31
Figure 5-3 :	Ammoniac non ionisé prévu dans des flux d'exhaure entièrement mélangés pour différentes valeurs de pH	32
Figure 5-4 :	Ouéléba — Contours du lac de mine post-fermeture supposant un rebond jusqu'au niveau de repos (les cercles rouges indiquent les endroits où les eaux de surface pourraient émerger).....	36
Figure 5-5 :	Cuivre pour les lacs sud et central, scénario de base, sans remblayage	41
Figure 5-6 :	Cuivre pour les lacs nord, remblayage à forte conductivité	41
Figure 5-7 :	Cuivre pour les lacs nord, remblayage à faible conductivité	41
Figure 5-8 :	Plomb pour les lacs sud et central, scénario de base, sans remblayage	41
Figure 5-9 :	Plomb pour les lacs nord, remblayage à forte conductivité	41
Figure 5-10 :	Plomb pour les lacs nord, remblayage à faible conductivité	41
Figure 5-11 :	Manganèse pour les lacs sud et central, scénario de base, sans remblayage.....	41
Figure 5-12 :	Manganèse pour les lacs nord, remblayage à forte conductivité	41
Figure 5-13 :	Manganèse pour les lacs nord, remblayage à faible conductivité	41
Figure 5-14 :	Zinc pour les lacs sud et central, scénario de base, sans remblayage.....	41
Figure 5-15 :	Zinc pour les lacs nord, remblayage à forte conductivité	41
Figure 5-16 :	Zinc pour les lacs nord, remblayage à faible conductivité	41
Figure 5-17 :	Mélange des eaux d'infiltration prévues de WRSF1 nord avec le cours d'eau Farako — Concentrations de cuivre après mélange.....	45
Figure 5-18 :	Mélange des eaux d'infiltration prévues de WRSF1 nord avec le cours d'eau Farako — Concentrations de manganèse après mélange	46

Figure 5-19 :	Mélange des eaux d'infiltration prévues de WRSF1 nord avec le cours d'eau Farako — Concentrations de zinc après mélange	46
Figure 5-20 :	Concentrations estimatives d'azote total dans les eaux d'infiltration de WRSF1 à différents taux de lixiviation	47
Figure 5-21 :	Mélange des eaux d'infiltration de WRSF1 nord avec le ruisseau Farako — Concentrations prévues d'ammoniac non ionisé après mélange.....	47

ÉVALUATION DES RISQUES LIÉS AUX DÉCHETS MINÉRAUX, PROJET DE MINÉRAI DE FER DE SIMANDOU, GUINÉE

1 INTRODUCTION

1.1 Contexte

SRK Consulting (UK) Limited (« SRK ») est une société associée de la société holding internationale du groupe, SRK Consulting (Global) Limited (le « Groupe SRK »). SRK a été sollicitée par Rio Tinto Iron Ore Atlantic Pty Ltd (« Rio Tinto », ci-après également dénommée la « Société » ou le « Client ») pour réaliser des études géochimiques, géotechniques et hydrogéologiques au niveau de l'étude de faisabilité bancaire (EFB) dans le cadre de son projet de minerai de fer Simandou – Ouéléba situé en Guinée, en Afrique de l'Ouest.

Les crêtes d'Ouéléba et de Pic de Fon et les bassins versants environnants sont des zones écologiquement sensibles, à forte biodiversité, et abritent une faune et une flore très variées, dont un certain nombre d'espèces rares et en danger. Ces zones peuvent être sensibles aux changements de quantité et de qualité de l'eau. L'eau dans les bassins versants locaux est également importante pour les communautés locales qui en dépendent pour l'approvisionnement agricole et domestique.

Le développement du projet Simandou et de l'infrastructure associée présente six grandes sources de risque pour la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines :

- Une augmentation des solides en suspension dans les cours d'eau et rivières en raison de la nature friable et érodable des matériaux rocheux. Une perturbation du sol associée à la mine à ciel ouvert et à l'infrastructure pourrait accroître les niveaux de solides en suspension dans les eaux de ruissellement.
- L'oxydation et le vieillissement climatique des roches et des sols peuvent favoriser les risques de drainage acide et métallifère (DAM). Un DAM pourrait avoir lieu à l'intérieur de la mine à ciel ouvert, à partir des installations de stockage de stériles (WRSF), des piles de stockage de minerai et d'autres zones où les roches sont exposées, comme les zones de découpe de roche et de remblai associées aux routes de transport et à l'infrastructure du site. Les risques les plus élevés concernent généralement les matériaux contenant des sulfures qui sont potentiellement acidogènes (PA). Cependant, les métaux et autres solutés pourraient être lixiviés à partir de matériaux rocheux non acidogènes (NA).

- Les sols sulfatés acides (SSA) sont des sols généralement humides/gorgés d'eau et pauvres en oxygène. Des conditions réductrices se développent dans les sols et des cristaux microscopiques de minéraux de sulfure de fer (généralement de la pyrite) peuvent se former. Si les SSA sont drainés ou excavés, l'oxygène de l'atmosphère réagira avec les sulfures de fer générant de l'acidité, qui à son tour peut augmenter la solubilité des métaux et autres solutés. La mobilisation de l'acidité dans le ruissellement ou les eaux souterraines peut entraîner une détérioration de la qualité de l'eau. Les SSA peuvent également endommager les infrastructures par corrosion des matériaux de construction en acier et en béton.
- Des explosifs seront utilisés pour détacher et fragmenter les roches solides et portantes. Les explosifs contiennent des composés azotés : ammoniac et nitrate. Une combustion incomplète des explosifs ainsi qu'une lixiviation et/ou un déversement d'explosifs pourraient entraîner des concentrations élevées d'ammoniac et de nitrate dans les eaux de contact à l'intérieur de la mine à ciel ouvert ou une lixiviation à partir des installations de stockage des stériles et/ou des piles de stockage.
- Des déversements accidentels et des pertes incontrôlées peuvent se produire pour les hydrocarbures et les produits chimiques (par exemple, les pesticides).
- Effluents d'égout générés dans le camp, l'usine et d'autres zones du personnel.

Le présent rapport met l'accent sur les risques de DAM associés aux matériaux PA et NA, y compris aux matériaux SSA, et aux risques liés à l'utilisation d'explosifs. Ces risques s'appliquent principalement aux mines à ciel ouvert et aux installations de stockage de stériles connexes, mais également aux zones de perturbation du sol associées aux routes de transport et aux infrastructures de l'embranchement ferroviaire.

1.2 Chimie de base de l'eau

Plusieurs programmes de surveillance de la chimie de base de l'eau ont été entrepris à Simandou, dont un aperçu est présenté à l'Annexe 6D. Du point de vue géochimique, les principaux aspects de la chimie de base de l'eau sont les suivants :

- Les crêtes d'Ouéléba et de Pic de Fon comprennent des roches du Précambrien qui constituaient une crête pendant une longue période. La majeure partie des roches est largement lixiviée par la pluie, ce qui donne lieu à une teneur en fer de haute pureté qui fait des crêtes une ressource de fer de haute qualité. Le caractère fortement lixivié des roches se traduit par de très faibles teneurs en solutés dans les systèmes locaux d'eaux de surface et d'eaux souterraines. Par exemple, la conductivité électrique (CE) des eaux de source provenant des flancs des crêtes est généralement inférieure à 20 $\mu\text{S}/\text{cm}$, et les mesures de CE des eaux souterraines dans l'aquifère du gisement varient de < 10 à 70 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en fonction de la lithologie et de la profondeur.
- Le pH des eaux de surface tend à osciller entre 6 et 7, et plusieurs des sources ou des émergences de gisement indiquent des valeurs de pH plus faibles (entre 4 et 5). Des valeurs de pH plus faibles ressortent des données historiques, mais on considère qu'elles sont largement associées à des erreurs d'instrument (SRK, 2023). Les valeurs historiques de pH des piézomètres comprennent également des valeurs faibles, allant de 2,5 à 6,5, mais sont considérées comme peu fiables en raison de la méthode d'échantillonnage.

- Les données de l'étude d'accrétion débits des eaux de la saison sèche 2022 (qui est considérée comme fiable en termes de valeurs de pH) montrent que le pH a tendance à augmenter à mesure que l'on s'éloigne de la ligne de crête. Une augmentation initiale du pH est attribuée au dégazage du dioxyde de carbone de l'eau lorsqu'il s'équilibre avec l'atmosphère. L'évolution du pH en aval des sources dans le bassin versant de Boyboyba a indiqué des augmentations de pH d'environ 1 unité de pH à quelques centaines de mètres de l'émergence de la source, et aucun changement correspondant dans la CE.
- Les changements rapides de pH au point d'émergence de la source empêchent de se fier au pH comme indicateur pour la source d'eau souterraine, bien qu'une corrélation entre les eaux de surface à faible pH et les émergences de sources du gisement soit observée.
- Les concentrations d'alcalinité dans les sources, les cours d'eau et les eaux souterraines de gisement sont généralement faibles (moins de 25 mg/L en CaCO_3), ce qui reflète la présence limitée de minéraux carbonatés et donc une faible capacité tampon pour les eaux de base.
- On observe également une augmentation de l'alcalinité, de la CE et une autre augmentation incrémentielle du pH à mesure que l'on s'éloigne de la ligne de crête, mais on ne considère pas que cela est régi par le même mécanisme de dégazage que celui qui déclenche le changement initial de pH. Le changement de CE et d'alcalinité est attribué au débit de base des eaux souterraines plus minéralisées associées aux quartzites et aux aquifères de socle, et peut-être aussi à l'interaction géochimique avec les dépôts alluviaux associés aux cours d'eau plus grands dans les plaines de basse altitude au-delà des flancs des crêtes. La source d'alcalinité demeure incertaine, mais les processus de vieillissement climatique à la surface du sol sont considérés comme la source potentielle la plus plausible, étant donné la présence potentiellement limitée de carbonates dans la géologie locale.
- Les concentrations d'ions majeurs dans les eaux souterraines de gisement, les eaux de source et les eaux de surface des crêtes sont généralement faibles, ce qui concorde avec les faibles CE. Les concentrations de cations majeurs sont souvent inférieures à 1 mg/L, le sodium étant l'espèce de cations dominante. L'alcalinité est faible, mais il s'agit probablement de l'anion dominant, car les concentrations de sulfate et de chlorure sont également faibles (sulfate souvent inférieur à 1 mg/L, chlorure généralement inférieur à 0,2 mg/L).
- Les concentrations de solutés mesurées dans le cadre de la surveillance de base sont actuellement comparées aux valeurs guides par défaut (VGD) pour déterminer si les concentrations de base peuvent être considérées comme élevées. Les VGD sont des normes de chimie de l'eau provenant de plusieurs sources : SFI (2007a, 2007b), OMS (2022) et DWAF (South African Target Water Quality Guideline Values, 1996). Ces normes sont appliquées à titre de valeurs provisoires jusqu'à ce que des critères propres au site puissent être élaborés grâce à une compréhension globale de la chimie de base. Les VGD sont examinées au Chapitre 6 de l'EIES.
- Les concentrations de solutés dans les eaux de surface sont généralement très faibles. Les eaux souterraines échantillonnées à partir de piézomètres de gisements présentent des concentrations de métaux dissous plus élevées que les sources et les cours d'eau. Les concentrations de cuivre, de manganèse, de plomb et de zinc dans les eaux souterraines de gisements sont constamment élevées par rapport aux VGD.

- La différence de chimie et de CE observée entre les eaux souterraines et les sources indique que les débits peuvent être soumis à des voies d'écoulement préférentielles, presque similaires à un système d'eaux souterraines à double porosité, qui peuvent être résumées comme suit :
 - La recharge se produit lentement à travers une grande zone insaturée de matériaux fortement lixiviés. Une fois dans la nappe phréatique, la majeure partie de l'eau souterraine peut s'écouler par des voies préférentielles fortement lixiviées à travers des zones d'aquifères poreux et/ou fracturés/structurellement contrôlés. Ces voies peuvent constituer la principale source de débit de base vers les sources et les cours d'eau.
 - Des rétentions plus longues de l'eau souterraine peuvent être associées à un écoulement dans le reste de la matrice de l'aquifère de gisement. Ces eaux souterraines pourraient avoir des charges de solutés et des concentrations de métaux légèrement plus élevées en raison de temps de contact plus longs avec des matériaux moins altérés.

Un programme intensif d'échantillonnage de la chimie de l'eau sera mis en œuvre au cours des essais de pompage de longue durée en 2023 afin d'évaluer davantage la composition chimique des eaux souterraines. Des échantillons seront également prélevés dans les cours d'eau en aval de l'émergence du système d'exhaure pour évaluer le potentiel d'atténuation naturelle. La campagne d'échantillonnage des essais de pompage permettra également d'obtenir des échantillons représentatifs de l'aquifère de gisement afin de vérifier que les conclusions actuelles des campagnes d'échantillonnage des piézomètres sont valides.

1.3 Étendue des travaux

Afin d'aider à la planification opérationnelle et de fermeture dans le cadre de l'EFB d'Ouéléba et à l'appui de l'Étude d'Impact Environnemental et Social (EIES), SRK a entrepris une évaluation des risques liés aux déchets minéraux conformément à l'approche de pratiques reconnues de Rio Tinto (Green et Borden, 2011). Cette évaluation comprenait :

- une analyse de détermination du potentiel acidogène (DPA) ;
- une chimie lithologique, y compris la distribution du soufre ;
- les estimations de tonnes de matériaux à forte teneur en soufre selon le modèle minier ; et
- une cartographie de l'exposition de surface des unités stratigraphiques par rapport aux conceptions de mine à ciel ouvert finales proposées.

Les résultats préliminaires d'une évaluation de la qualité de l'eau qui s'infiltré dans les installations de stockage des stériles, de la composition chimique des eaux d'exhaure et des prévisions de qualité de l'eau des lacs de mine sont également inclus. Ces évaluations comprennent les effets potentiels du vieillissement climatique des matériaux rocheux et de l'utilisation d'explosifs.

Les travaux récents ont porté sur le gisement d'Ouéléba, qui sera le premier gisement miné. La géochimie de Pic de Fon est largement similaire à celle d'Ouéléba et, par conséquent, l'approche et les résultats pour Pic de Fon devraient être largement similaires à ceux d'Ouéléba. Une évaluation détaillée de la géochimie de Pic de Fon et des eaux de contact sera entreprise en temps utile et avant le développement de l'exploitation de Pic de Fon.

2 CADRE DU PROJET

2.1 Lieu

La mine Simandou proposée est située à environ 540 km à l'est de Conakry et à 90 km au nord de Nzérékoré, en République de Guinée, en Afrique de l'Ouest.

La propriété Simandou comprend deux gisements distincts : Ouéléba et Pic de Fon. Ils forment des crêtes orientées nord-sud, séparées d'environ 4 km l'un de l'autre. La crête d'Ouéléba a une altitude moyenne d'environ 1 200 m au-dessus du niveau moyen de la mer (mRL) (le point culminant se trouvant à 1 330 mRL). La crête de Pic de Fon s'élève en moyenne à environ 1 500 mRL, soit environ 700 m au-dessus de la topographie régionale. Le pic de Pic de Fon forme l'une des plus hautes caractéristiques de la Guinée (1 656 mRL). Les flancs des crêtes de Pic de Fon et d'Ouéléba sont abrupts et disséqués par des ravins portant des ruisseaux pérennes.

2.2 Aménagement du site

La Figure 2-1 illustre le projet de mine à ciel ouvert d'Ouéléba et les principales infrastructures minières associées.

Le minerai sera extrait de mines à ciel ouvert. L'extraction débutera à l'extrémité nord du gisement de minerai d'Ouéléba, la découverte et l'extraction se déplaçant progressivement vers le sud au cours des 32 années de vie de la mine. Une grande partie des minerais et stériles est constituée de matériaux friables qui seront extraits à l'aide d'excavatrices. Les matériaux les plus solides nécessiteront un dynamitage avant extraction.

Le minerai sera chargé dans des camions de transport et transporté vers des concasseurs et des calibreuses principaux et secondaires situés dans les mines à ciel ouvert. Une fois concassé, le minerai sera transporté vers le bas de la montagne via un système de convoyeur jusqu'à une usine de traitement du minerai située à la base, du côté est de la crête. Le minerai sera ensuite concassé à nouveau et tamisé avant d'être transporté vers un parc de stockage au terminal ferroviaire pour être acheminé jusqu'au port, puis expédié par bateau. Les stériles seront acheminés jusqu'aux installations de stockage des stériles.

L'accès routier principal sera initialement HME2 (Figure 2-1), qui sera acheminé autour du bassin versant de Boyboyba. Au fur et à mesure que l'exploitation minière progressera vers le sud, les routes de transport HME5 et HME4 seront également aménagées.

L'échéancier minier actuel prévoit l'extraction d'environ 442 Mt de stériles. Le plan minier d'Ouéléba prévoit le stockage des déchets miniers sur trois sites principaux :

- WRSF-1, l'installation nord de stockage des stériles
- WRSF-3, l'installation centrale de stockage des stériles

- Dans les zones épuisées de la mine à ciel ouvert, sous forme de remblai de déchets miniers

WRSF-5 est une installation de stockage des stériles alternative qui peut être utilisée.

Les stériles seront d'abord déposés dans l'installation WRSF-1, qui pourrait permettre de stocker des stériles pendant les 7 à 9 premières années de vie de la mine. Une fois que l'installation WRSF-1 aura atteint sa capacité finale, les stériles seront déposés dans l'installation WRSF-3 et/ou l'installation WRSF5. Plus tard dans la vie de la mine, potentiellement entre environ 15 et 20 ans, les stériles seront remblayés dans la zone de la mine à ciel ouvert au nord d'Ouéléba.

La période de remblayage doit encore être confirmée et dépendra de la récupération du minerai économique (pour éviter la stérilisation des ressources). Les quantités de déchets de remblayage et le profilage doivent également être confirmés au fur et à mesure de l'élaboration du plan minier.

3 CARACTERISATION GEOCHIMIQUE

Les principaux aspects des essais de caractérisation géochimique sont résumés dans les sections suivantes.

3.1 Détermination du potentiel acidogène (DPA) et essais cinétiques

Des essais de caractérisation géochimique ont été réalisés pour les roches d'Ouéléba et de Pic de Fon en utilisant des carottes obtenues lors des campagnes de forage d'exploration menées dans le cadre d'études antérieures (WMC 2009, SWS 2012, SWS 2013, SWS 2015).

- Des essais statiques ont été effectués sur un total de 171 échantillons : 113 prélevés à Pic de Fon et 58 à Ouéléba. Ces échantillons ont été prélevés dans le cadre de plusieurs phases de caractérisation entre 2008 et 2012 environ, à l'aide des matériaux forés disponibles.
- La première phase d'échantillonnage comprenait 58 échantillons prélevés à Ouéléba et 95 à Pic de Fon. Aucun des échantillons ne représentait le GéoDomaine PHC ou ne contenait beaucoup de soufre. Une autre phase d'échantillonnage a été entreprise afin d'obtenir des matériaux PHC : 18 échantillons de PHC ont été obtenus dans les forages de Pic de Fon. Aucun échantillon de PHC n'a été obtenu à Ouéléba.
- Les essais statiques comprenaient plusieurs méthodes de détermination du potentiel acidogène ainsi que des essais d'analyse élémentaire et de lixiviation de la roche entière (selon le protocole de lixiviation par précipitation synthétique, SPLP). Une minéralogie, par la méthode de Rietveld de diffraction des rayons X, a également été réalisée sur un sous-ensemble limité des échantillons initiaux.
- Plusieurs phases d'essais cinétiques ont également été effectuées (décrites à la section 3.4.1).

Globalement, la géologie et la caractérisation géochimique des deux gisements sont similaires. Les résultats des essais ci-dessus sont résumés comme suit :

- La plupart des roches sont dépourvues de sulfures. La seule exception à cette règle est une partie limitée des matériaux rocheux plus profonds et plus solides, comme l'unité de phyllite compacte (PHC) qui contient jusqu'à environ 1 % de sulfure (seul un nombre limité d'intervalles de carottes a été identifié avec une teneur en sulfure plus élevée).
- En outre, les roches sont généralement dépourvues de minéraux carbonatés, c'est-à-dire de capacité de neutralisation facilement réactive. Des essais de laboratoire et des essais cinétiques ont indiqué que la neutralisation des carbonates peut être présente à de faibles niveaux, et la minéralisation des carbonates a été identifiée dans certaines lithologies compactes, plus particulièrement dans l'unité d'itabirite compacte magnétique « IPC-MG ». Cependant, dans l'ensemble, on s'attend à ce que la capacité de neutralisation des acides soit limitée dans les stériles et les roches des parois de la mine.

Des essais de lixiviation statique et des essais cinétiques en laboratoire et sur le terrain ont indiqué le potentiel de production de solutés métalliques à des concentrations qui pourraient avoir un impact sur les récepteurs en aval. Ces métaux comprennent le manganèse, le cuivre et le zinc. Les données indiquent une corrélation entre les solutions à pH faible (acide) et les concentrations maximales de métaux, mais les métaux peuvent encore être solubles à un pH neutre. Critères de classification PA

La teneur en soufre des roches d'Ouéléba et de Pic de Fon est essentiellement constituée de minéraux sulfurés, principalement de pyrite, mais aussi de pyrrhotite, de marcassite, de chalcopirite et d'autres minéraux sulfurés mineurs.

La teneur en sulfure est faible (< 0,05 % de S) dans la plupart des unités et en particulier les zones altérées et les unités du gisement. Les unités plus profondes et moins altérées peuvent avoir des teneurs en soufre plus élevées sous forme de minéraux sulfurés. La présence de minéraux carbonatés est limitée et les déchets miniers ont donc été classés sur la base de leur seule teneur en sulfure.

Les données de l'analyse des carottes de forage indiquent que seule une proportion relativement faible (~0,5 %) des carottes de forage avait une teneur en sulfure de soufre supérieure à 0,5 % de S. Cependant, la caractérisation géochimique des matériaux PHC contenant du sulfure a été effectuée principalement sur des matériaux à faible teneur en sulfure (< 0,05 % de S) et des matériaux à plus forte teneur en sulfure (> 0,5 % de S). Il existe donc un écart dans la caractérisation des matériaux sulfurés entre 0,05 % et 0,5 % de S, notamment pour les essais cinétiques.

Les taux d'oxydation (tels que déduits des taux de libération de sulfates) pour les essais sur cellules d'humidité (HCT) menés dans le laboratoire de Simandou ont été comparés aux résultats des essais en colonne d'échantillons de matériaux de formation de fer en bandes analogues provenant du Pilbara (Australie-Occidentale), comme le montre la

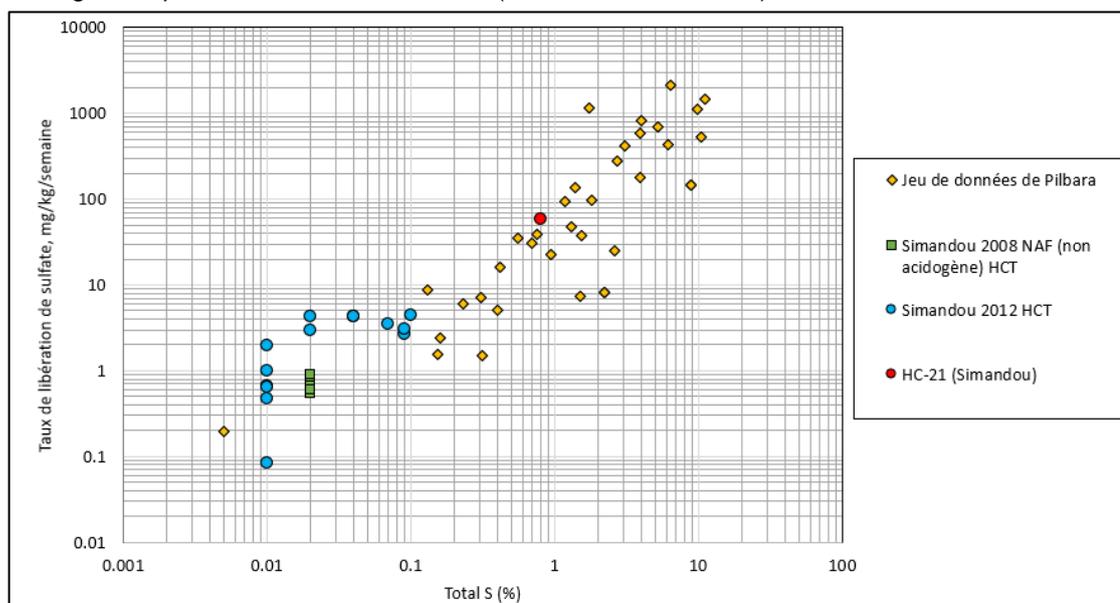


Figure 3-1, en fonction de leur teneur en soufre. Le taux de libération des sulfates pour les HCT de Simandou avec la plus forte concentration de soufre (HC-21) se situe dans la plage de données de Pilbara. Les résultats des HCT de 2008 et de 2012 pour Simandou se trouvent dans la plage de faible teneur en soufre total, inférieure à tous les échantillons de Pilbara, sauf un. Le taux de libération des sulfates pour l'ensemble de données de Pilbara montre une relation directement proportionnelle avec la teneur en soufre total entre 0,1 % et 10 % de S (à noter que cette relation se fait sur une échelle logarithmique). Les données HCT de 2008 pour Simandou s'inscrivent également dans cette tendance générale.

Dans la plus faible plage de teneur en soufre, les résultats des HCT de 2012 pour Simandou semblent s'écarter de la tendance générale. Les HCT de 2012 étaient des matériaux composites enrichis de PHC à forte teneur en soufre et il existe des incertitudes quant à la représentativité des sous-échantillons par rapport à la composition globale, les sous-échantillons risquant d'avoir des « effets pépites » en raison de la faible teneur en soufre et des faibles ratios de masse de PHC ajoutés aux échantillons en vrac. Par conséquent, il se peut que le sous-échantillonnage et l'analyse n'aient pas reflété fidèlement la teneur moyenne réelle en soufre.

Compte tenu de la tendance générale observée pour les résultats de Pilbara et de l'emplacement de l'ensemble de données HC-21 dans cette tendance, une proportionnalité directe conforme à l'ensemble de données de Pilbara a été adoptée pour déduire le taux d'oxydation des matériaux PA.

Dans l'ensemble, l'examen des essais géochimiques disponibles a permis de conclure que, d'après les matériaux testés, une teneur PA limite de 0,1 % de S pourrait ne pas être suffisamment prudente pour les conditions du site en raison de l'absence de données d'essai pour la plage inférieure de concentrations de soufre et de sulfure. Par conséquent, les données disponibles appuient une teneur limite en matériaux PA de 0,05 % de S. Cette limite sera révisée au fur et à mesure que d'autres travaux de caractérisation géochimique seront entrepris.

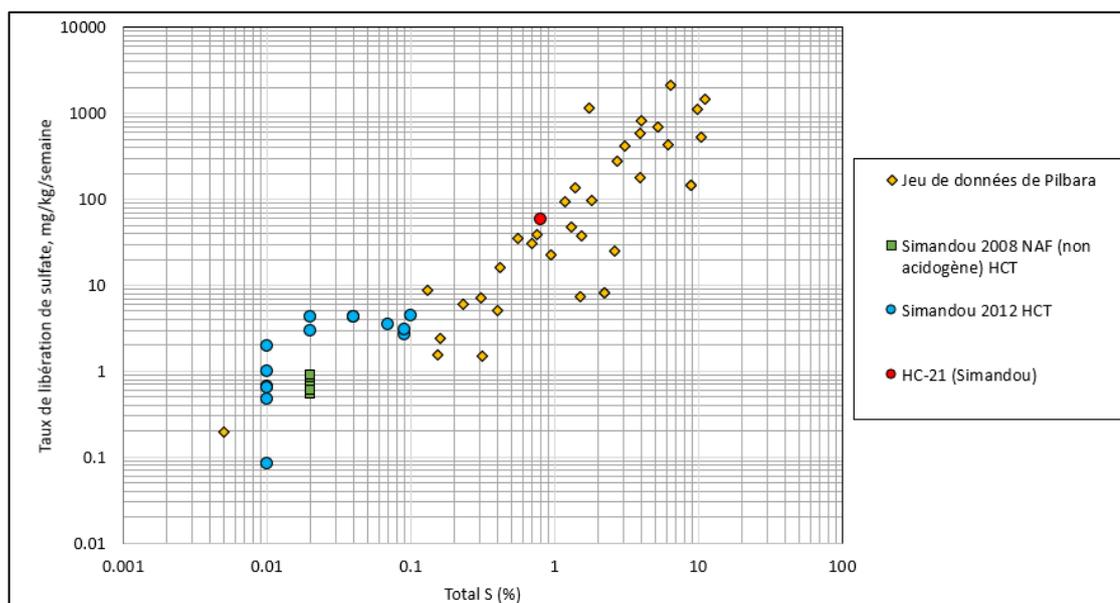


Figure 3-1 : Taux de libération de sulfates dans la colonne de lixiviation par rapport à la teneur en soufre total

3.2 Distribution du soufre

Le comportement géochimique et la chimie de l'eau de contact seront fonction de la géologie du site et du comportement au vieillissement climatique des différentes lithologies présentes à Simandou.

La géologie du site et les GéoDomaines sont décrits au Chapitre 5 de l'EIES. Les principales lithologies des gisements comprennent une minéralisation par hématite et hématite-goethite, principalement sous forme d'unités d'hématite (HEG, HEF), d'unités d'itabirite (IRF, IRC) et de matériaux de transition (TRN). Il existe également diverses unités près de la surface qui peuvent contenir du fer riche en minerai (CAN, CAP, LAT, BAX). Les lithologies des stériles comprennent généralement de la phyllite (PHW, PHV, PHS, PHC), du quartzite (QTW, QTC) et des unités de socle (BAS). Les lithologies d'itabirite à faible teneur en fer (IPF, IPC) et les lithologies de minerai à faible teneur en fer seront également considérées comme des déchets.

La majorité des carottes de forages d'exploration ont été analysées pour leur teneur élémentaire, ce qui fournit un vaste ensemble de données. Pour le gisement d'Ouéléba, la base de données d'essais jusqu'à fin 2012 comprenait 85 764 échantillons d'une longueur totale de 174 691 m. La majorité des intervalles analysés avaient une longueur de carotte de 2 m. Ces données ont été utilisées pour générer le modèle de bloc et définir la ressource et la mine à ciel ouvert.

Pour ce qui est de la répartition entre les matériaux PA et NA à l'aide d'une limite de 0,05 % de S, les données d'essai sont résumées comme suit :

- Dans l'ensemble, 98,86 % des carottes de forage (tous les matériaux de minerai et déchets, dans et hors de la mine à ciel ouvert) étaient des matériaux NA (< 0,05 % de S).
- À l'intérieur de la mine à ciel ouvert, les matériaux (minerai et déchets) se composaient à 99,64 % de matériaux NA, et 0,36 % des échantillons de forage étaient des matériaux PA.
- Si l'on considère les matériaux classés comme déchets uniquement (à l'exclusion du minerai), les échantillons de forage étaient constitués à 98,75 % de NA et à 1,25 % de PA.

Dans l'ensemble, la grande majorité des matériaux rocheux de la mine à ciel ouvert, y compris les stériles, ont une faible teneur en soufre et sont considérés comme NA.

Le Tableau 3-1 présente des données récapitulatives par GéoDomaine pour le sous-ensemble de données d'essai pour les carottes considérées comme des « déchets » et situées dans les limites extérieures de la mine à ciel ouvert (limites extérieures de la mine à ciel ouvert 2021 OUEL2021_RSVS_PIT30). Celui-ci comprend 18 921 échantillons représentant 35 665 m d'intervalle de carottes.

Les points clés concernant la teneur en soufre du Tableau 3-1 sont les suivants :

- Les principaux minerais et oxydes sont NA et sont les suivants : CAN, CAP, LAT, BAX, SAP, TRN, HEF, HGF, HGM, IRF et IPF.
- La PHC (phyllite compacte) a les teneurs en soufre les plus élevées et doit toujours être considérée comme PA.
- L'IPC, la PHW et la PHV peuvent contenir > 0,05 % de S et donc certains de ces matériaux peuvent être PA.

- Le BAS n'est pas présent dans la carotte des limites extérieures de la mine à ciel ouvert, car il est généralement présent en profondeur. Les carottes obtenues en dehors des limites extérieures de la mine à ciel ouvert indiquaient généralement une teneur en soufre > 0,05 %. Par conséquent, lorsqu'un BAS est détecté, il doit être considéré comme PA, sauf preuve du contraire.

Tableau 3-1 : Résumé par lithologie du soufre total pour tous les intervalles de forage testés classés comme « déchets » dans les limites extérieures de la mine de 2021 (OUEL2021_RSVS_PIT30)

						Nombre d'échantillons DH testés					Proportion d'échantillons par lithologie						
Code de lithologie		Domaine du modèle		Domaine du forage		Nombre d'échantillons testés	E ≤ 0,05 %	S > 0,05 %	S > 0,1 %	S > 0,4 %	S > 1 %	E ≤ 0,05 %	S > 0,05 %	S > 0,1 %	S > 0,4 %	S > 1 %	
LITH	Description	DOM	GDOM	GÉODOM	Description												
CG	Canga	CAN	90	CAN	Canga	5	4	1	0	0	0	80	20	0	0	0	
CA	Carapace/roche-couverture	CAP	70	CAP	Carapace minéralisée (itabirite)	2 336	2 275	61	0	0	0	97,4	2,61	0	0	0	
		LAT	100	LAT	Latérite	821	786	35	0	0	0	95,7	4,26	0	0	0	
		BAX	80	BAX	Bauxite	269	262	7	0	0	0	97,4	2,60	0	0	0	
		SAP	0	SAP	Saprolite	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Informatique	Itabirite	TRN	60	TRN	Minéralisation profondément altérée par les intempéries	2 257	2 252	5	0	0	0	99,8	0,22	0	0	0	
		HEF	42	HEC	Hématite compacte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
				HEM	Hématite médium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
				HEF	Hématite friable	13	13	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0
				HEP	Poudre d'hématite	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
				HGC	Hématite-goethite compacte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		HGF	52 & 53	HGM	Hématite-goethite médium	46	46	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0
				HGF	Hématite-goethite friable	1 044	1 043	1	0	0	0	0	99,9	0,10	0	0	0
				HGP	Poudre d'hématite-goethite	7	7	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0
		IRF	32	IRC	Riche en itabirite compacte	16	16	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0
				IRF	Riche en itabirite friable	1 342	1 341	1	1	0	0	0	99,9	0	0,075	0	0
				IPF	Pauvre en itabirite friable	626	623	3	1	1	0	0	99,5	0,32	0	0,16	0
IPC	24	IPC	Pauvre en itabirite compacte	487	466	21	8	1	0	0	95,7	2,67	1,44	0,21	0		
PH	Phyllite	PHS	11	PHS	Sol contenant de la phyllite	1 613	1 613	0	0	0	0	100	0	0	0	0	
		PHV	12	PHV	Phyllite très faible	3 927	3 901	26	0	0	0	99,3	0,66	0	0	0	
		PHW	13	PHW	Phyllite faible	3 326	3 301	25	3	0	0	99,2	0,66	0,090	0	0	
		PHC	18	PHC	Phyllite compacte	51	1	50	50	44	9	1,96	0	11,8	68,6	17,6	
QT	Quartzite	QTC	8	QTC	Quartzite compact	94	94	0	0	0	0	100	0	0	0	0	
		QTW	5	QTW	Quartzite faible	641	641	0	0	0	0	100	0	0	0	0	
BAS	Socle	BAS	1	BAS	Unités de socle indifférenciées	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
TOTAUX						18 921	18 685	236	63	46	9						

3.3 Répartition spatiale des matériaux PA dans la mine à ciel ouvert

Rio Tinto a développé son modèle de bloc de ressources à partir des données de lithologie de forage et d'analyse élémentaire disponibles. La Figure 3-2 montre les limites extérieures de la mine à ciel ouvert dans Leapfrog, avec les emplacements de ces blocs dans le modèle de bloc avec une teneur en S supérieure à 0,05 %. La Figure 3-2 montre que les matériaux PA sont généralement identifiés dans des zones spécifiques, avec relativement peu de zones de blocs isolés de matériaux PA.

Les principales zones de matériau PA se trouvent généralement dans la partie nord de la mine à ciel ouvert d'Ouéléba et le long du flanc ouest, tel qu'il est entouré et étiqueté à la Figure 3-2. Plusieurs incertitudes sont associées au modèle de bloc pour l'évaluation des stériles et des matériaux PA. Ils sont énumérés ci-dessous.

- Le matériau PA sur le flanc nord-ouest d'Ouéléba peut être surestimé. Cette zone présente des données de soufre limitées basées sur les seules données d'essai en forage, et les blocs à forte teneur en soufre peuvent être présents en raison des méthodes d'interpolation basées sur les données limitées en bord de crête. D'autres forages seraient nécessaires pour prouver si la quantité de matériaux PA dans cette zone est exacte.
- La zone de matériaux BAS PA sur la bordure ouest peut être surestimée. On rencontre généralement le matériau BAS en profondeur et le modèle de bloc suppose qu'il est PA. Cependant, cette zone de BAS est plus proche de la surface sur le flanc ouest et peut donc ne pas avoir la même teneur en soufre que le BAS plus profond.
- En plus de surestimer potentiellement les matériaux PA dans certaines zones, le modèle de bloc peut sous-estimer les matériaux PA en l'absence de données. Dans le nord d'Ouéléba, il existe une crête de phyllites faibles situées en profondeur entre deux zones de minerai. Le forage a cessé dès que des phyllites faibles ont été rencontrées. Cependant, des forages récents ont indiqué la présence de sulfures en profondeur dans cette zone. Cette zone à la base de la mine à ciel ouvert peut contenir des sulfures, mais l'étendue et la quantité n'ont pas été prouvées.

Il existe également une autre différence entre les données d'essai en forage et le modèle de bloc. Les données d'essai en forage indiquent que la majeure partie du soufre se trouve dans le matériau du GéoDomaine PHC, et que le soufre limité se situe dans le GéoDomaine IPC et d'autres GéoDomaines. Cependant, le modèle de bloc et l'échéancier minier indiquent que la PHC n'est pas le principal GéoDomaine PA, l'IPC étant la plus grande source de matériaux PA, suivi par la PHW.

Tout en reconnaissant qu'il peut y avoir des limites et des incertitudes associées au modèle de bloc actuel, et que le modèle de bloc sera révisé en temps opportun à mesure que davantage de données de forage seront recueillies, il a été nécessaire d'utiliser les données du modèle de bloc disponibles, en particulier pour les échéanciers de déchets miniers. Le modèle de bloc, l'échéancier des déchets miniers et les données de caractérisation géochimique seront développés davantage au fur et à mesure que le projet sera élaboré. En outre, les estimations des quantités de déchets PA et le calendrier seront révisés. Il est donc important que les plans de mine et les stratégies de manutention des matériaux PA soient souples en termes de quantités et de calendrier.

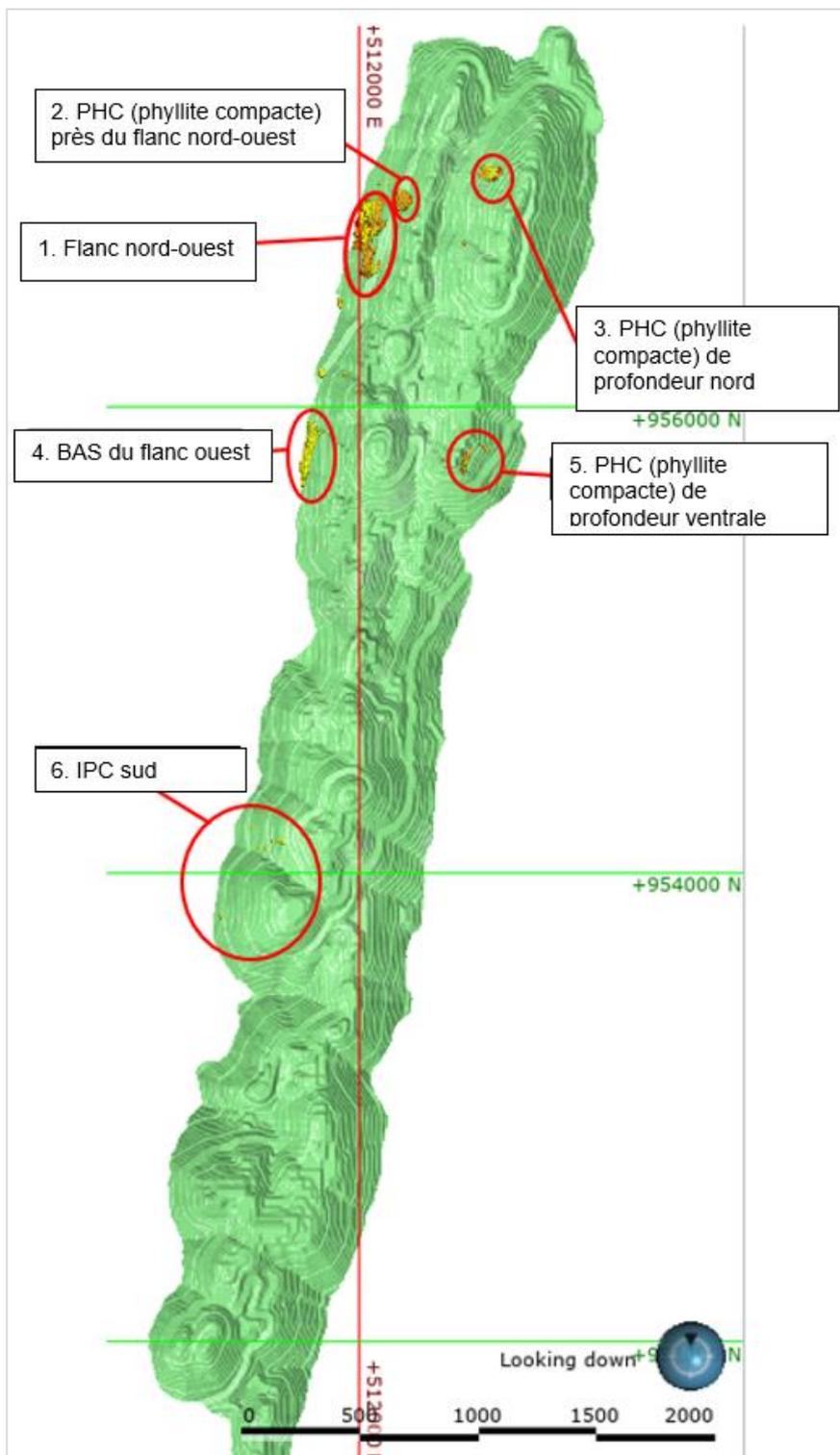


Figure 3-2 : Mine à ciel ouvert d'Ouéléba en 2021 montrant des zones de matériaux PA (> 0,05 % de S) dans les limites extérieures de la mine à ciel ouvert

3.3.1 Combustion spontanée

On sait que la combustion spontanée de déchets miniers survient dans certains matériaux de stériles de minerai de fer de Pilbara s'ils ne sont pas manipulés correctement. Ceci est dû à la présence de sulfures dans les schistes noirs carbonés ; l'oxydation des sulfures génère de la chaleur qui peut enflammer le carbone organique et peut conduire à des conditions d'emballage thermique.

Les données statiques de Simandou ont été examinées pour évaluer les risques de combustion spontanée pour le projet. La majorité des échantillons de roche d'Ouéléba pour les essais géochimiques/DPA étaient faibles en carbone total :

- 44 des 58 échantillons contenaient moins de 0,1 % de carbone total
- 11 des 58 échantillons contenaient entre 0,1 et 0,5 % de carbone total
- 2 des 58 échantillons contenaient plus de 0,5 % de carbone total (0,63 % et 0,86 %).

Cela donne à penser qu'en raison de la faible teneur en S et de la faible teneur en carbone, il est peu probable que les stériles d'Ouéléba présentent un risque de combustion spontanée (les schistes noirs de Pilbara ont une teneur en carbone organique nettement plus élevée qu'à Simandou).

La population d'échantillons d'essais statiques d'Ouéléba ne comprend pas beaucoup d'échantillons de matériau compact et il n'y a pas eu d'échantillons de PHC. Les seuls échantillons de PHC recueillis provenaient du gisement de Pic de Fon, prélevés dans le cadre d'essais de suivi une fois que la présence de PHC soufrée a été décelée. Ces 18 échantillons de PHC de Pic de Fon indiquent une teneur en carbone plus élevée, mais encore modeste, oscillant entre 0,42 et 0,96 % de carbone total. Aucune donnée sur la spéciation du carbone n'étant documentée, on ne sait pas quelle proportion du carbone est constituée de carbone organique.

Dans l'ensemble, il ne semble pas y avoir de présence importante de carbone organique dans les stériles et, par conséquent, les risques de combustion spontanée sont considérés comme faibles.

3.4 Lixiviation de solutés

Les mécanismes et, par conséquent, les contrôles de la libération de solutés varient entre les matériaux PA et NA. Pour les matériaux PA, le principal contrôle sur la libération de solutés (pour la plupart des solutés) sera le taux d'oxydation des sulfures. L'oxydation des sulfures libère de l'acidité, des sulfates et des métaux, et la libération d'acidité peut réduire le pH, ce qui à son tour augmente la mobilité des espèces solutés, en particulier des espèces métalliques.

Les taux de libération de solutés les plus élevés sont donc associés aux eaux acides qui pourraient se produire par oxydation des sulfures. Toutefois, les données de base sur la qualité de l'eau et les essais de caractérisation géochimique ont indiqué que même dans des conditions de pH neutre, des métaux pourraient se retrouver dans les eaux de contact à des concentrations supérieures aux VGD.

3.4.1 Essais cinétiques

Des essais cinétiques du comportement au vieillissement climatique des roches ont été

effectués à l'aide d'essais sur cellules d'humidité (HCT) et d'essais sur carottier sur site. L'objectif de ces essais était d'évaluer le comportement au vieillissement climatique des roches.

Le principe des essais HCT et sur carottier est similaire : on laisse l'eau s'infiltrer dans les matériaux rocheux, puis l'eau est recueillie à la base des colonnes et analysée, fournissant ainsi une mesure de la libération de solutés et de la chimie de l'eau de contact pour les eaux en contact avec les matériaux rocheux. Les principales différences entre les méthodes d'essai HCT et sur carottier sont l'échelle et l'environnement :

- Les HCT sont effectués sur 1 kg de roche dans des conditions de laboratoire, avec des cycles hebdomadaires de lessivage. Les essais HCT fournissent des conditions très contrôlées et génèrent des données sur une base hebdomadaire, bien que le rapport eau/roche soit généralement plus élevé que ce qui serait observé pour l'exploitation à l'échelle de la mine.
- Des essais sur carottier ont été effectués sur le site avec environ 300 à 400 kg de roche dans chaque carottier. Les carottiers étaient à ciel ouvert, ce qui permettait à la pluie de tomber sur les roches et à l'eau de s'évaporer. Les essais sur carottier sont effectués dans des conditions de terrain, et le rapport eau/roche est plus semblable aux conditions à l'échelle de la mine que pour les essais HCT.

Trois phases d'essais cinétiques ont été menées sur les roches de Simandou de 2008 à 2013, comme suit :

1. En 2008, 12 essais sur cellules d'humidité (HCT) ont été effectués pendant 20 semaines. Ces HCT ont été effectués sur des matériaux NA ayant une teneur en soufre inférieure à 0,05 % de S et ils n'ont pas indiqué de comportement générateur d'acide.
2. Six essais sur carottiers sur site ont été effectués à Canga East. Il s'agissait de quatre carottiers de matériaux de Pic de Fon et de deux carottiers de matériaux d'Ouéléba. Ces carottiers comprenaient des composites des différentes lithologies ainsi qu'une partie de matériaux PHC. L'infiltration à travers les carottiers a été collectée pendant plusieurs années. Les données récapitulatives montrent que trois des carottiers de matériaux de Pic de Fon ont indiqué une infiltration à faible pH (moyenne inférieure à 5). Des concentrations élevées de métaux ont été mesurées dans le lixiviat, souvent associées aux conditions de faible pH.
3. Une deuxième phase de 20 HCT a été préparée en 2012, comprenant des matériaux composites qui visaient à déterminer une valeur limite de la proportion de PHC/teneur en soufre qui donnerait lieu à une infiltration acide, et s'il existait un seuil de soufre PHC qui ne donnerait pas lieu à une infiltration acide. Les HCT ont été préparés avec un mélange de matériaux provenant des deux gisements. Le processus de composition de ces essais était compliqué. La PHC utilisée pour les essais avait une teneur élevée en S dans les carottiers. Un lixiviat à pH faible ($\text{pH} < 5$) a été signalé pour plusieurs de ces HCT. Des concentrations élevées de métaux ont été signalées pour un certain nombre de HCT.

Les résultats des essais cinétiques fournissent également des renseignements sur la libération de métaux. Les Figure 3-3 à Figure 3-6 présentent des points de concentration de métaux en fonction du pH pour le cuivre, le plomb, le manganèse et le zinc.

Les points montrent qu'il existe une relation générale entre le pH et les concentrations de métaux, qui reflète une augmentation de la mobilité des métaux à mesure que le pH diminue. Cependant, les graphiques montrent également qu'il peut y avoir des concentrations relativement élevées, même dans des conditions moins acides ou neutres. Les concentrations de cuivre et de zinc sont faibles, mais demeurent solubles, et ces paramètres devraient être inclus dans les programmes de surveillance sur site et pris en compte dans la modélisation prédictive.

Des concentrations relativement élevées de ces métaux (Cu, Pb, Mn et Zn) sont également observées à divers degrés dans les données de base sur la qualité de l'eau provenant des piézomètres de gisements, ainsi que dans les puits des villages. Les données de surveillance de base appuient donc la possibilité de concentrations élevées de ces métaux dans les eaux de contact.

La source du cuivre, du plomb et du zinc présents dans les eaux de référence et dans les essais cinétiques n'est pas claire. La base de données d'essai en forage et les essais géochimiques statiques indiquent que les concentrations de ces éléments dans les matériaux rocheux sont généralement faibles et que les roches ne seraient pas considérées comme étant enrichies par rapport à ces éléments. Toutefois, les données indiquent que ces solutés sont modérément solubles dans les eaux de contact. Les concentrations de manganèse dans les matériaux rocheux sont modérées, car le manganèse est un élément relativement abondant et sa présence ne serait pas surprenante en association avec les gisements de minerai de fer. Cependant, la raison de la mobilité potentiellement supérieure du manganèse dans les eaux de Simandou n'est pas claire.

Pour les matériaux NA, les principaux contrôles de la libération de solutés seront l'oxydation des faibles niveaux résiduels de sulfure présents, la dissolution d'autres oligoéléments comme les carbonates ou les phases moins solubles comme les oxydes et les silicates, et l'échange de tous éléments sorbés ou faiblement liés. Ce sont ces processus qui peuvent être à l'origine de la présence de cuivre, de plomb et de zinc dans les eaux de contact. Il s'agira d'un domaine d'étude du programme de caractérisation géochimique en cours.

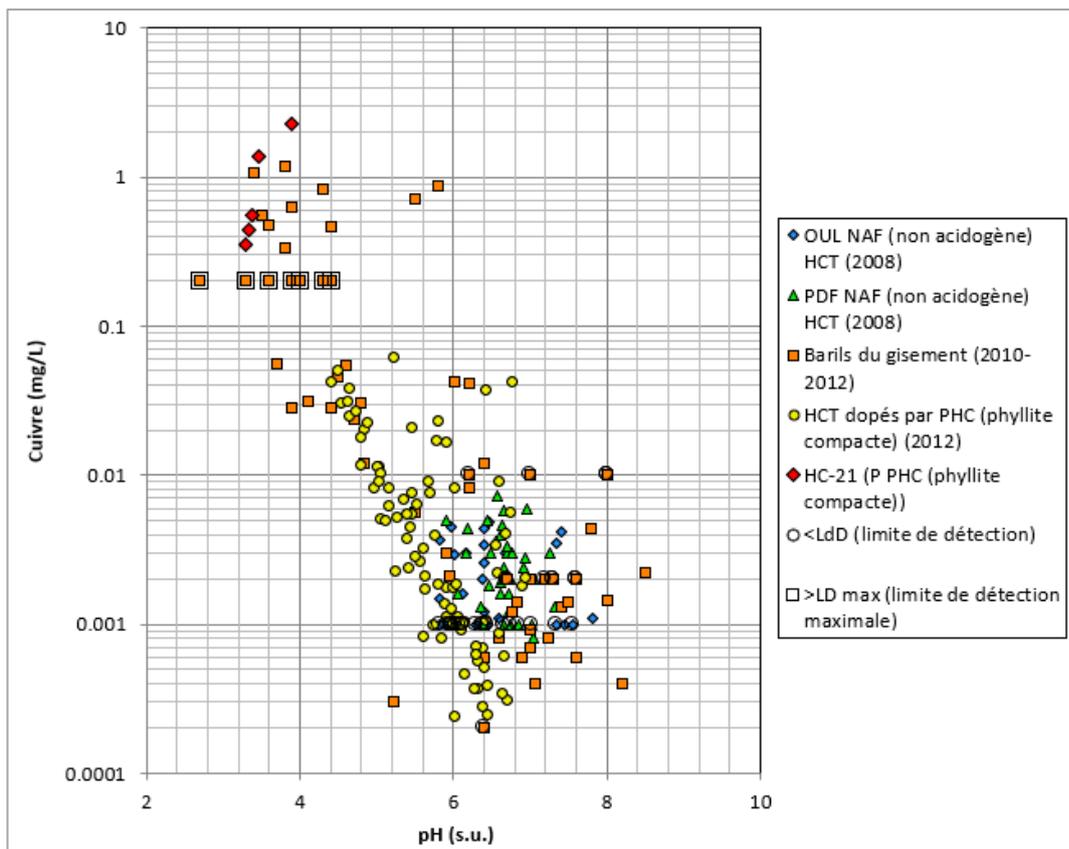


Figure 3-3 : Concentrations de cuivre représentées en fonction du pH pour les essais cinétiques

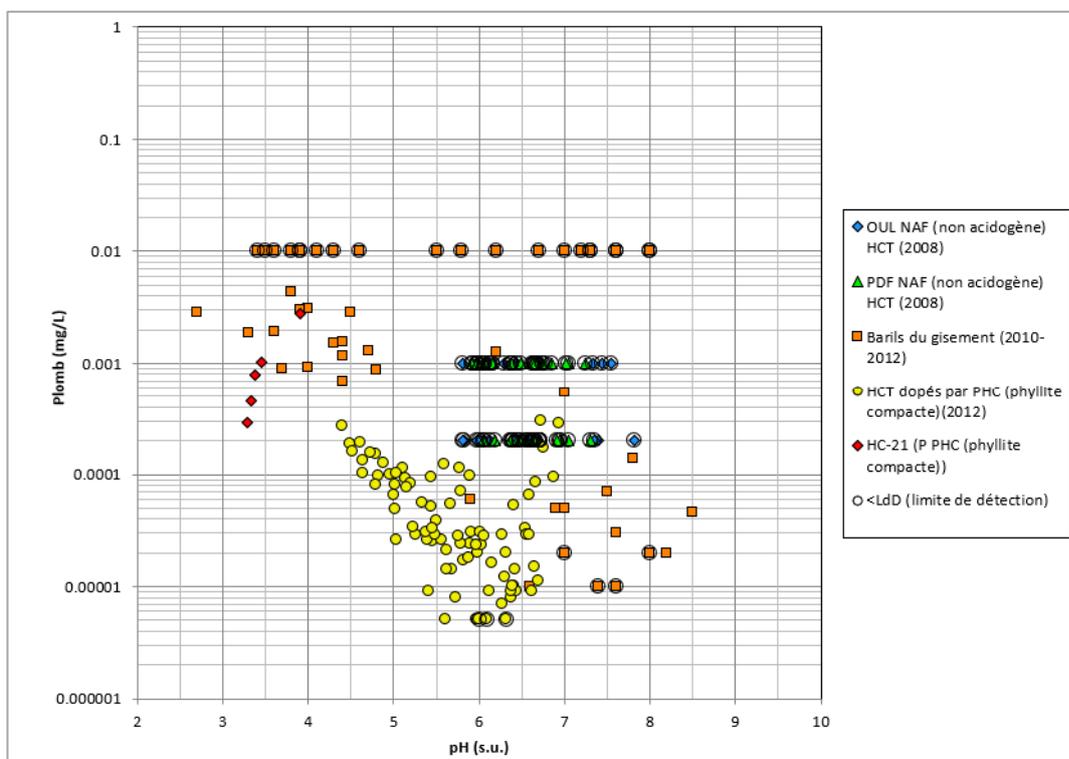


Figure 3-4 : Concentrations de plomb représentées en fonction du pH pour les essais cinétiques

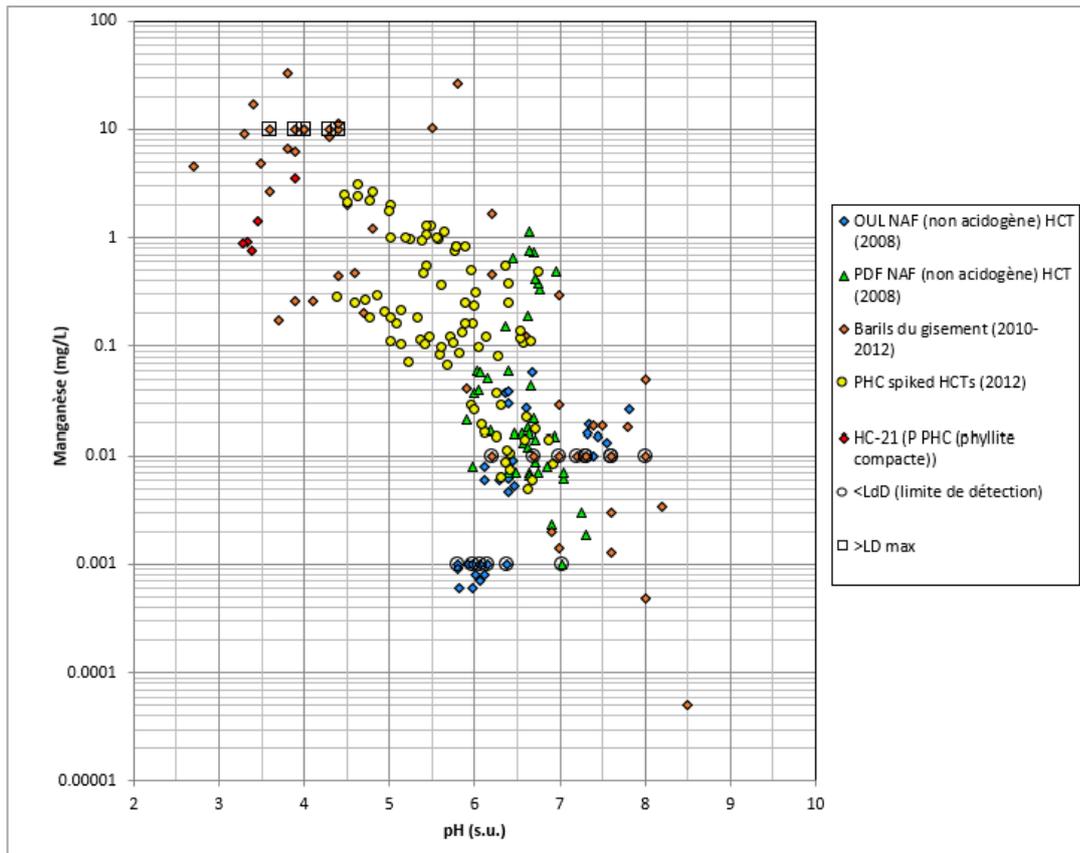


Figure 3-5 : Concentrations de manganèse représentées en fonction du pH pour les essais cinétiques

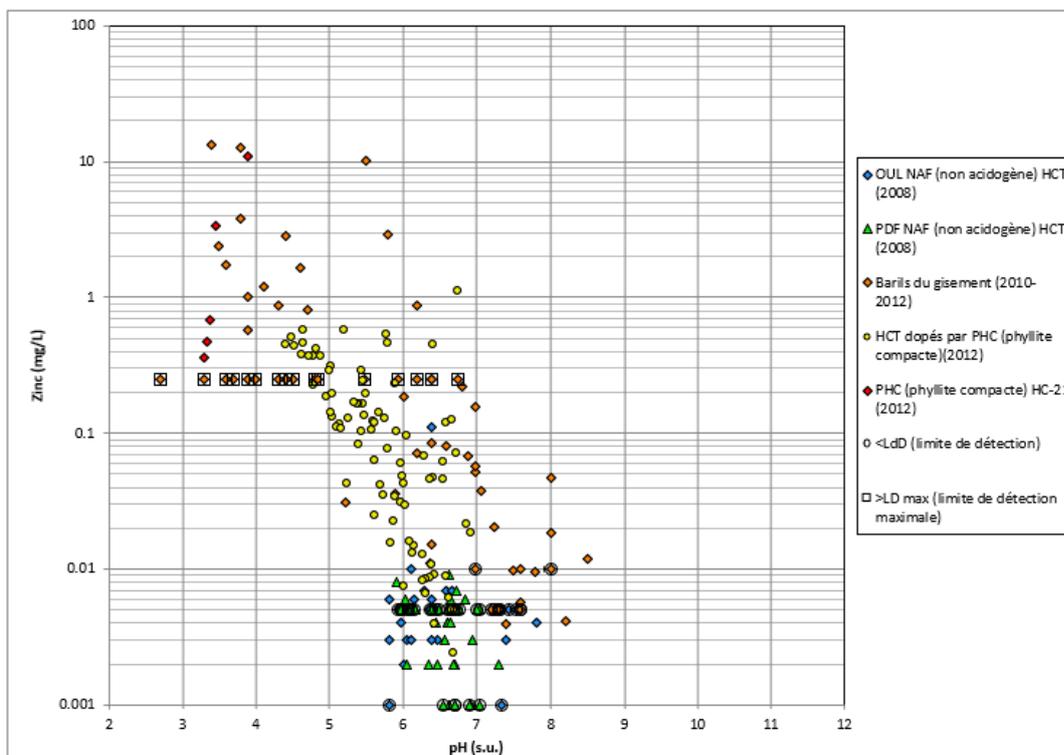


Figure 3-6 : Concentrations de zinc représentées en fonction du pH pour les essais cinétiques

4 STERILES D'EXPLOITATION

4.1 Gestion des stériles et évaluation des risques

Les stériles des gisements d'Ouéléba et de Pic de Fon seront initialement stockés dans des installations de stockage des stériles situées à l'extérieur des mines à ciel ouvert. Plus tard dans la vie des mines, lorsque les espaces libres ne seront plus susceptibles de stériliser les ressources importantes, les stériles seront remblayés dans ces espaces.

Les études les plus récentes d'évaluation des risques liés aux déchets minéraux ont été menées initialement pour l'installation de stockage des stériles WRSF1 au nord d'Ouéléba. WRSF1 sera la première installation à recevoir des stériles et sera située au nord-est de la mine à ciel ouvert, et au nord-est de HME2 et du bassin versant de Boyboyba. L'évaluation de l'installation WRSF1 d'Ouéléba servira également de base à la conception et aux évaluations des autres installations de stockage des stériles externes pour Ouéléba et Pic de Fon. Ces installations adopteront les mêmes stratégies pour la gestion des matériaux PA et pour la construction, la fermeture et la réhabilitation des installations de stockage des stériles.

4.2 Échéancier et stockage des stériles

4.2.1 Échéancier minier et gestion des stériles

La Figure 4-1 présente l'échéancier actuel de stockage des stériles qui repose sur le plan minier de 50 Mt pour les tonnages annuels de production par GéoDomaine. Cette valeur est fondée sur l'échéancier minier excluant les tonnes présumées. Le taux de production de stériles atteindra 31 Mt par an au cours de l'année 9. La production cumulée de stériles est illustrée à la Figure 4-2.

Au cours des 10 premières années de vie de la mine, les principaux GéoDomaines de stériles seront les phyllites faibles (PHW, PHV et PHS) qui constitueront plus de la moitié des déchets annuels de l'année 2 à l'année 11. Plus tard dans la vie de la mine, vers l'année 12, les unités d'itabirite (IPC, IPF, IRF) constitueront les principaux stériles extraits. Dans l'ensemble, les phyllites faibles constitueront environ la moitié des stériles produits au cours de la vie de la mine.

4.2.2 Matériaux PA

L'échéancier de déchets a été élaboré à l'aide du modèle de bloc disponible et des données consultées pour évaluer la teneur en soufre des blocs de déchets. Ces données sont résumées dans les figures suivantes :

- Figure 4-3 : cette figure montre le tonnage annuel de matériaux PA par GéoDomaine pour la période de vie de 32 ans de la mine. La figure montre que la majorité des déchets PA (2,7 Mt, soit 2 % du tonnage total de NWRD) seront extraits au cours des années 3 à 7 et que des quantités limitées de matériaux PA seront extraites après l'année 21.
- Figure 4-4 : cette figure montre le tonnage cumulé de matériaux PA par GéoDomaine. Le tonnage total estimé de matériaux PA à produire pendant la durée de vie de la mine est de 4,4 Mt. Ce chiffre montre également que les principaux matériaux PA sont l'IPC et la PHW (et non la PHC).

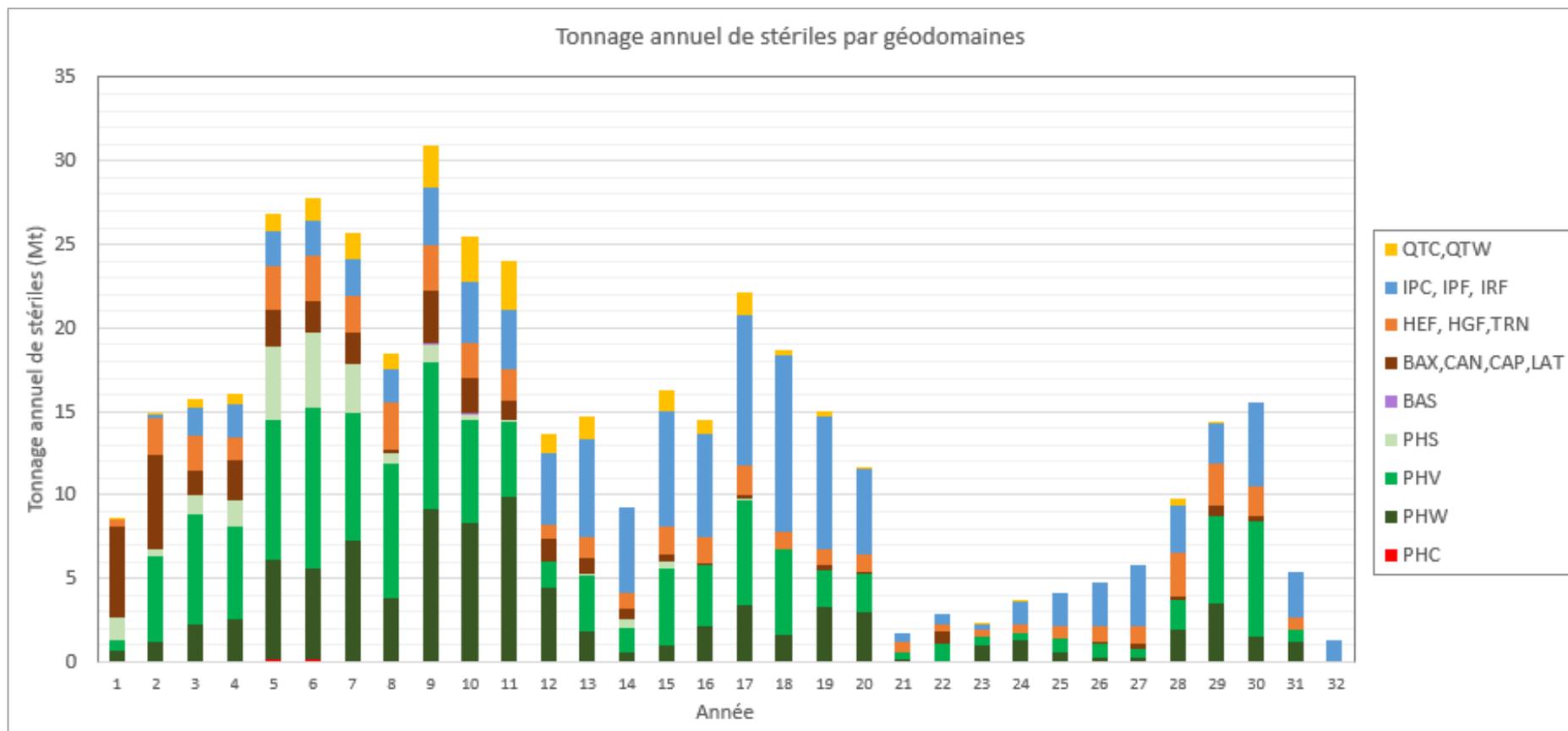


Figure 4-1 : Tonnage annuel de stériles à Ouéléba par GéoDomaine

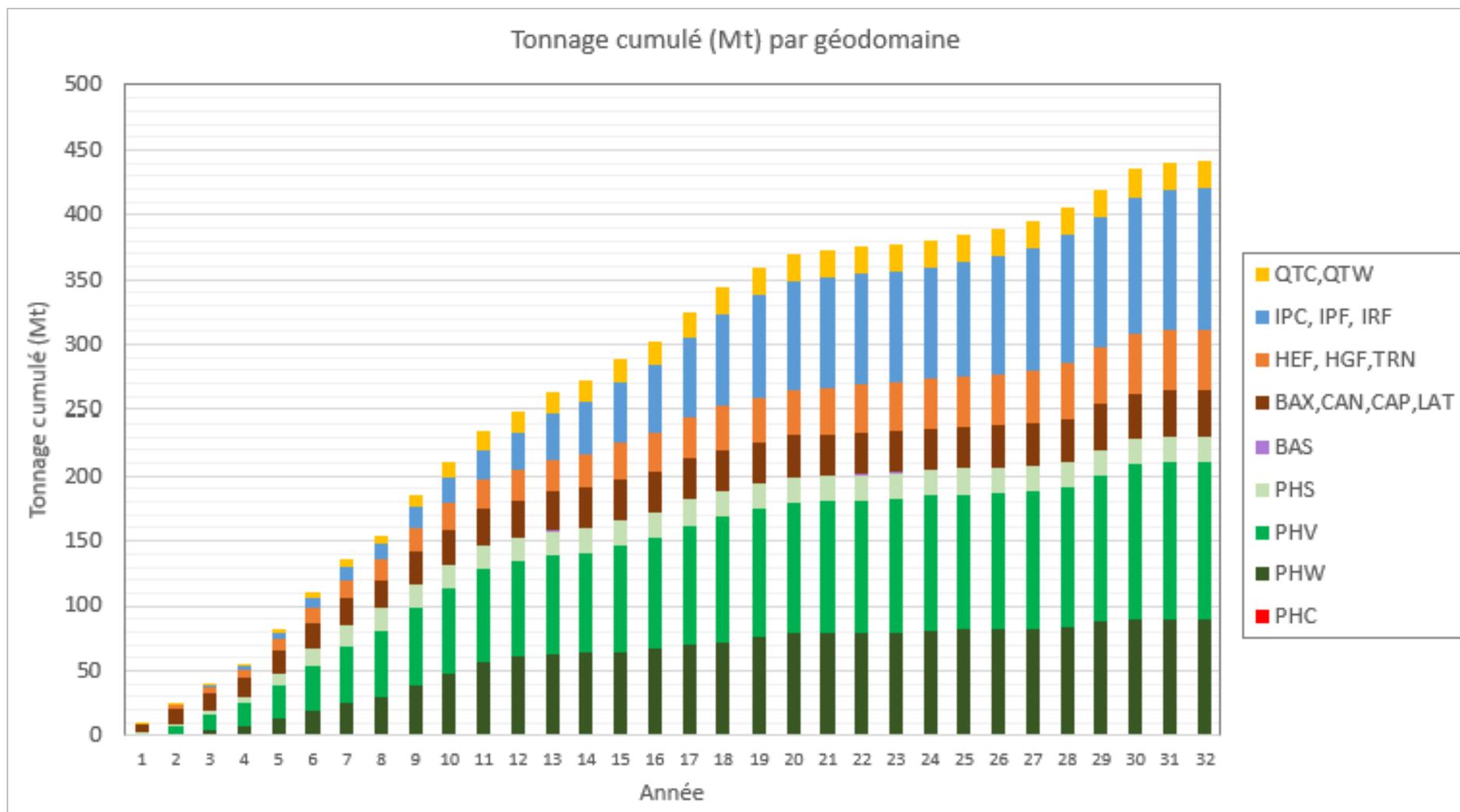


Figure 4-2 : Tonnage cumulé de stériles à Ouéléba par GéoDomaine

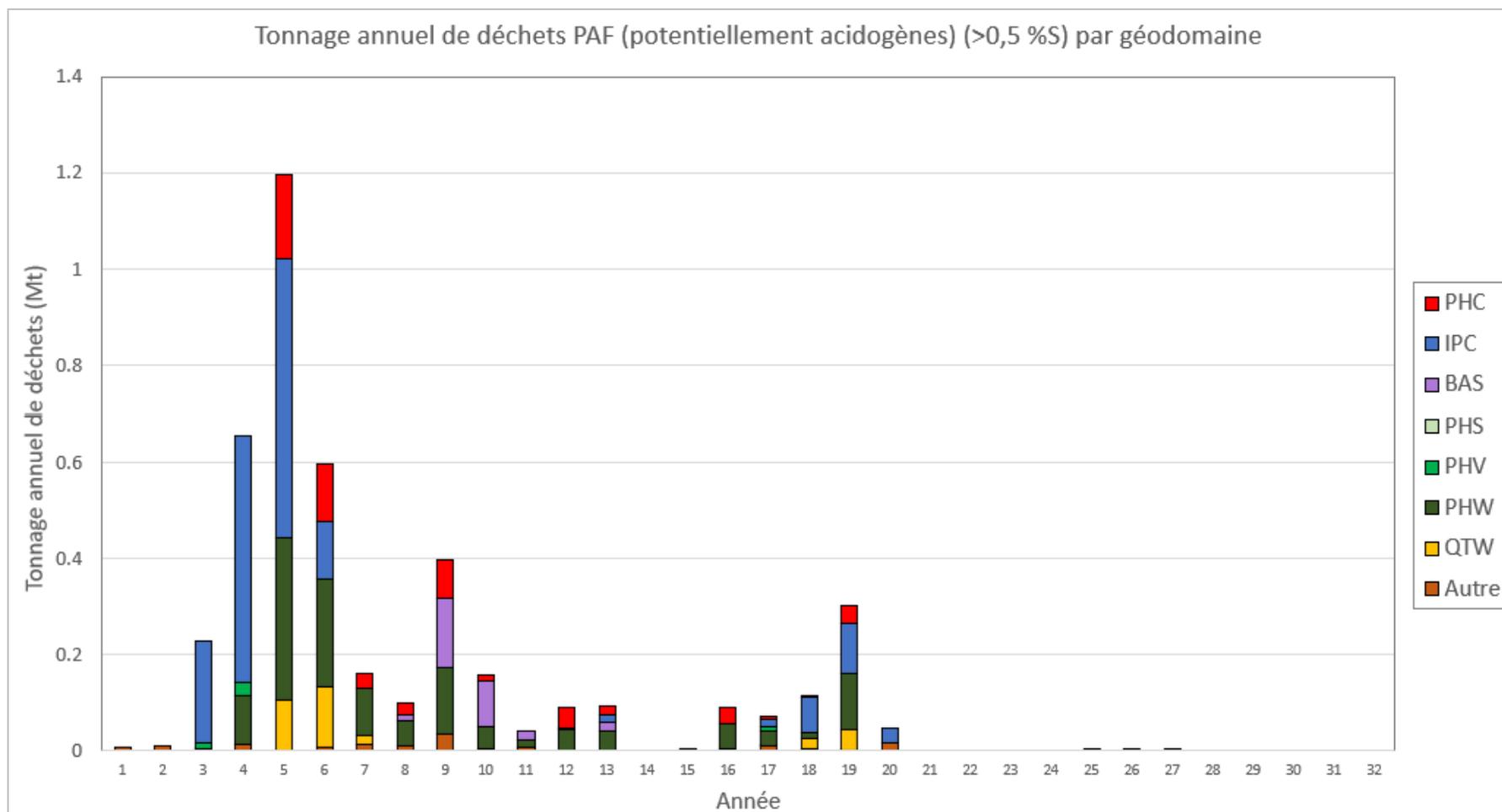


Figure 4-3 : Tonnage annuel de matériaux PA à Ouéléba (> 0,05 % de S) par GéoDomaine (durée de vie de 32 ans)

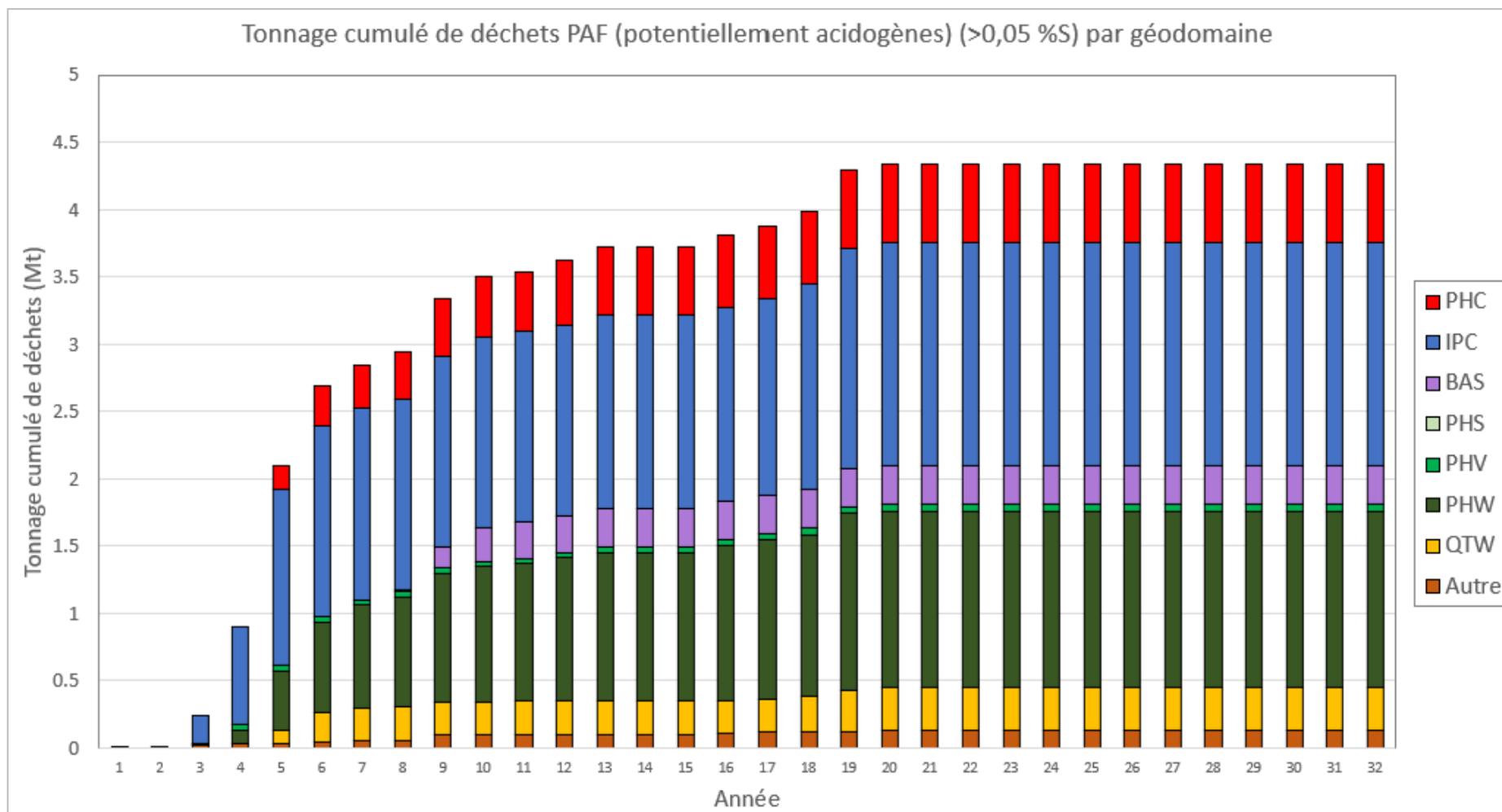


Figure 4-4 : Tonnage cumulé de matériaux PA à Ouéléba par GéoDomaine (durée de vie de 32 ans)

5 ÉVALUATIONS DES RISQUES LIES A LA QUALITE DE L'EAU

Le développement des mines et de l'infrastructure associée peut avoir un impact sur la qualité de l'eau en raison de l'influence du DAM, des SSA et de la présence de résidus explosifs si ces aspects ne sont pas bien compris et gérés.

Les aspects suivants ont été évalués dans le cadre des études EIES :

- Exhaure de mine à ciel ouvert : émergence d'eaux influencées par un DAM et des résidus d'explosifs
- Lacs de mine post-fermeture, remontée de nappe phréatique et débit de base des cours d'eau : eaux influencées par un DAM
- installations de stockage des stériles : ruissellement et infiltration influencés par un DAM et des résidus d'explosifs
- HME2 : ruissellement influencé par un DAM
- Embranchement ferroviaire : ruissellement influencé par les risques de DAM et/ou de SSA

Les évaluations et résultats sont décrits successivement dans les sous-sections suivantes :

5.1 Exhaure de mine à ciel ouvert

Les crêtes d'Ouéléba et de Pic de Fon forment de grandes unités aquifères qui sont rechargées par les pluies lors des tempêtes intenses de la saison humide. Pendant la saison humide, les pluies sont élevées et les débits des rivières augmentent en raison du ruissellement. Pendant la saison sèche, les débits des cours d'eau sont soutenus par l'émergence d'eaux souterraines provenant des crêtes (c.-à-d. le gisement). Pour Ouéléba, ces émergences d'eaux souterraines se produisent principalement dans les bassins versants de Miya et Mala, pour le nord d'Ouéléba, et les bassins versants de Woron pour le sud d'Ouéléba. Il existe aussi des débits de base des crêtes vers les autres bassins versants, mais ceux-ci sont plus faibles.

Pendant les exploitations de la mine, la crête sera asséchée. Ce processus abaissera la nappe phréatique et réduira le débit de base des eaux souterraines vers les cours d'eau entourant les mines. Pour compenser ces impacts, les eaux extraites des exploitations minières seront rejetées dans les sous-bassins versants principaux d'Ouéléba et de Pic de Fon.

La stratégie de gestion de l'eau pour l'exhaure suppose ce qui suit :

- L'eau souterraine sera prélevée des puits et des puisards dans l'emprise de la mine à ciel ouvert.
- Une grande partie du ruissellement des eaux de pluie à l'intérieur des mines à ciel ouvert pénètre dans le sous-sol en raison de la nature friable et poreuse de certaines unités hématitiques, et s'infiltré jusqu'à la nappe phréatique, puis se déplace avec les eaux souterraines.

- Le ruissellement des eaux résiduelles dans l'emprise de la mine à ciel ouvert sera recueilli dans des bassins d'infiltration (puisards) installés dans le fond de la mine à ciel ouvert et pourra généralement s'infiltrer dans l'aquifère du gisement. Pendant les périodes de pluies intenses, les bassins d'infiltration peuvent être asséchés. Il est peu probable que le ruissellement le long des parois de la mine à ciel ouvert reste séparé des flux d'exhaure des eaux souterraines en raison du mélange qui se produira dans le sous-sol.
- Les eaux pluviales excédentaires qui dépassent les exigences en termes de débits compensatoires et d'utilisation sur site seront rejetées dans l'environnement par l'intermédiaire de bassins de sédimentation.

Les limites extérieures prévues de la mine formeront un espace libre de mine continu, mais en raison de la topographie de la mine, cet espace libre formera effectivement trois zones de mine distinctes le long de la crête d'Ouéléba (au nord, au centre et au sud), qui seront reliées, mais auront leurs propres bassins hydrologiques, c'est-à-dire que les pluies des trois zones des mines à ciel ouvert seront probablement capturées dans des puisards à la base de ces mines à ciel ouvert, mais peuvent être gérées dans le même réseau d'exhaure. Les bassins versants dans la mine à ciel ouvert sont illustrés à la Figure 5-1.

La qualité potentielle de l'eau pour les flux d'exhaure a été évaluée à l'aide de calculs qui combinent les débits d'exhaure du modèle d'eaux souterraines, la chimie des eaux souterraines de base et les taux de libération des solutés pour les matériaux rocheux. Les résultats des modèles d'exhaure des eaux souterraines ont servi de base aux estimations de composition chimique des eaux d'exhaure.

Les principales sources contribuant à la charge de solutés dans les eaux souterraines influencées par les mines et extraites de la mine à ciel ouvert seront :

- Les eaux souterraines de l'aquifère de gisement qui pénètrent dans l'espace libre de la mine et sont extraites par des puisards et des puits dans la mine. On a supposé que les apports d'eau souterraine avaient une composition équivalente à la chimie médiane tirée des données historiques de chimie de base des eaux souterraines de gisement.
- Des flux de ruissellement dans la mine à ciel ouvert qui s'écouleront vers la base de la mine à ciel ouvert. La chimie des flux de ruissellement sera influencée par les solutés libérés en raison du vieillissement climatique de la roche des parois de la mine à ciel ouvert et des matériaux de talus :
 - Libération de solutés due au vieillissement climatique de matériaux potentiellement acidogènes (PA). Les minéraux sulfurés contenus dans les matériaux PA peuvent s'oxyder, libérant ainsi de l'acidité, du sulfate et d'autres solutés à des concentrations qui pourraient être élevées par rapport aux concentrations de solutés dans les cours d'eau locaux et les eaux souterraines.
 - Libération de solutés à partir de matériaux non acidogènes (NA) : cela comprend les minerais et la majorité des stériles à extraire. Ces matériaux ne produiront pas d'acide net. Cependant, les roches NA fraîchement exposées peuvent encore libérer des solutés à des concentrations qui pourraient influencer sur la chimie des eaux réceptrices.

- Les taux de libération des solutés à partir des roches des parois et des talus ont été calculés à l'aide des données HCT et mis à l'échelle en fonction de la surface des limites extérieures de la mine à ciel ouvert et de la distribution des GéoDomaines à partir du modèle de bloc pour en déduire les charges de solutés mobilisées/lessivées dans les eaux de ruissellement.

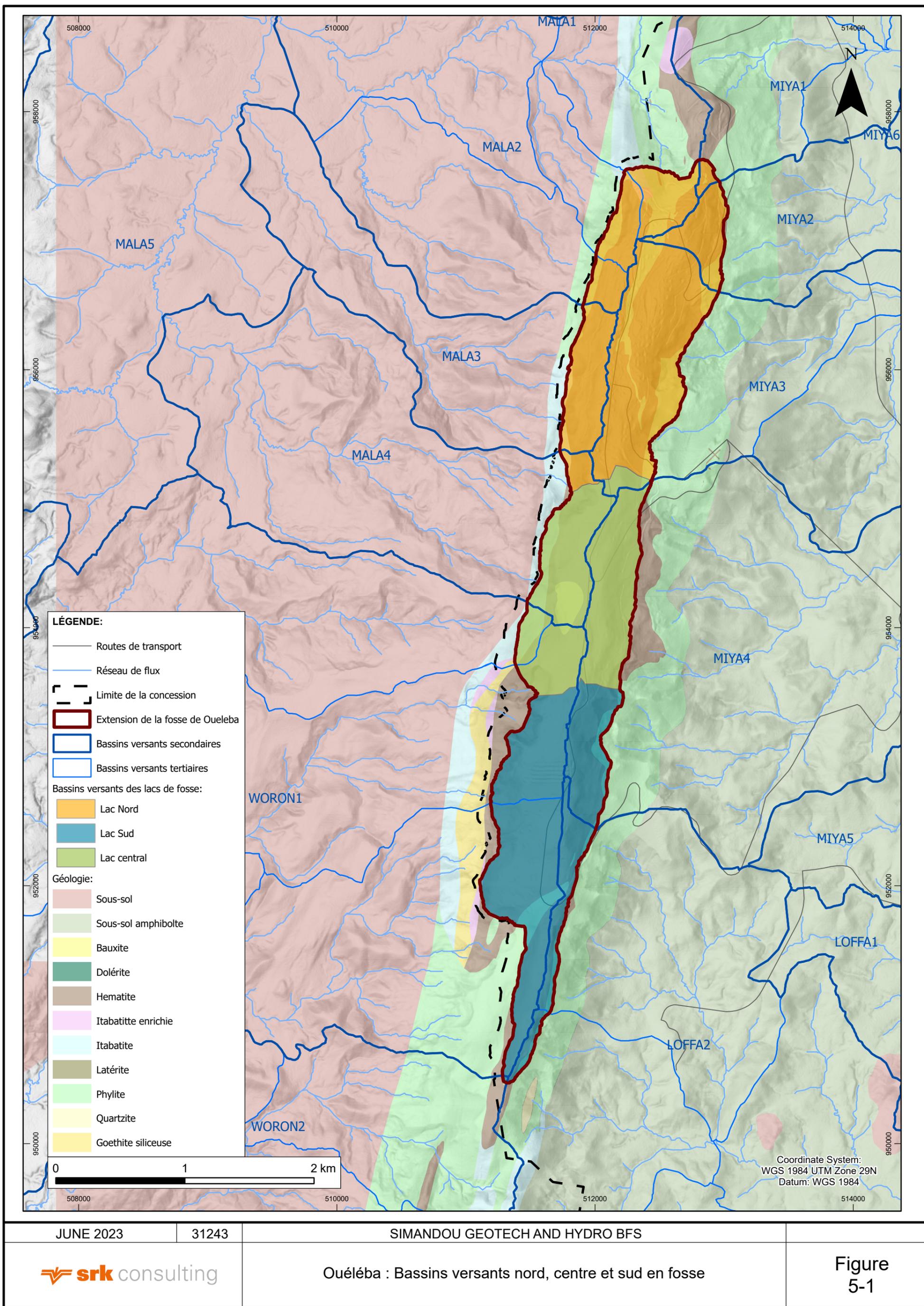
La modélisation prédictive a indiqué que pendant les mois de saison sèche, la chimie de l'eau serait généralement équivalente à la chimie de base des eaux souterraines entrantes. Dans l'étude de modélisation, durant les mois humides, les solutés libérés en raison du vieillissement climatique des roches des parois et des talus ont été mélangés à l'eau souterraine prélevée. Au début des mois humides, le modèle supposait que les produits de vieillissement climatique qui s'étaient accumulés pendant les mois secs étaient mobilisés lors du « premier lessivage » des mois humides. Le lessivage des produits de vieillissement climatique accumulés dans des écoulements relativement faibles entraîne des charges de solutés relativement élevées à la fin de la saison sèche/au début de la saison humide. Ce comportement saisonnier est observé pour la majorité des paramètres.

Le Tableau 5-1 résume les résultats du modèle de chimie des eaux d'exhaure, qui indique qu'il existe une possibilité que les concentrations dans les flux d'exhaure soient supérieures aux VGD pour plusieurs solutés métalliques : cuivre, plomb, manganèse et zinc. Ces prévisions sont appuyées par les données de base sur les eaux souterraines et les données d'essais cinétiques (section 3.4), qui sont toutes utilisées dans les modèles prédictifs.

La source minérale de ces métaux/composés métalliques et le processus de libération des solutés ne sont pas encore compris. Par conséquent, il se peut que ces solutés soient soumis à des limites de solubilité ou de libération (épuisement de la source). Par conséquent, bien que les modèles indiquent des risques liés à la qualité de l'eau, il faut approfondir les recherches pour affiner la caractérisation actuelle et évaluer les mesures d'atténuation, au besoin.

Les modèles géochimiques ne prédisent pas de concentrations élevées d'aluminium ou de fer. Toutefois, les modèles ne tiennent pas compte de la présence possible de sédiments en suspension/de particules dans les flux d'exhaure, c'est-à-dire de matériaux mobilisés à cause de l'érosion par l'eau des matériaux rocheux friables.

Comme le montrent les données de base sur les eaux de surface, des concentrations élevées d'aluminium et de fer sont attribuables aux sédiments en suspension, y compris aux particules à grains ultrafins qui peuvent passer à travers les filtres d'échantillonnage et apparaissent comme des concentrations dissoutes. La nature friable et hautement érodable des roches de Simandou signifie que de fortes concentrations de particules seraient probablement présentes dans les flux de ruissellement dans la mine et les eaux de puisard, les particules à grains ultrafins traversant les filtres d'échantillonnage, ce qui donnerait probablement lieu à des concentrations « dissoutes » élevées d'aluminium et de fer (SRK, 2023). Cette partie à grains fins des solides en suspension serait difficile à éliminer par simple décantation et d'autres travaux seront entrepris pour évaluer les options d'atténuation.



JUNE 2023

31243

SIMANDOU GEOTECH AND HYDRO BFS



Ouéléba : Bassins versants nord, centre et sud en fosse

Figure 5-1

Tableau 5-1: Résumé de la chimie des flux d'exhaure - Modèle de scénario de base (statistiques récapitulatives pour tous les flux de mine à ciel ouvert)

		SFI, 2007 a, b	OMS, 2022	TWQR SUD- AFRICAIN, 1996	MINIMUM	25 ^E %ILE	MEDIAN	MOYEN	75 ^E %ILE	95 ^E %ILE	MAXIMUM
pH	s.u.	6-9			5,88	6,84	7,17	7,07	7,27	7,57	7,95
Alcalinité	mg/l en CaCO ₃				0,13	1,84	3,95	4,17	4,96	10,0	25,8
Cl	mg/l				0,014	0,16	0,38	0,40	0,56	0,99	1,77
F	mg/l		1,5	0,75	0,00026	0,0032	0,0073	0,0078	0,010	0,019	0,044
Sulfate	mg/l		250		0,010	0,28	0,41	0,89	0,85	2,75	20,2
Ca	mg/l				0,019	0,31	0,63	0,67	0,73	1,62	5,90
K	mg/l				0,014	0,18	0,42	0,44	0,54	1,06	2,98
Mg	mg/l				0,0049	0,099	0,17	0,21	0,23	0,51	2,74
Na	mg/l				0,036	0,47	0,93	1,12	1,32	2,81	9,14
Al	mg/l			0,005 (pH<6,5) 0,01 (pH>6,5)	2.5E-05	3.1E-05	4.8E-05	5.1E-05	5.7E-05	0,00010	0,00025
En	mg/l	0,1	0,01	0,01	5.8E-06	4.3E-05	0,00021	0,00064	0,00076	0,0020	0,010
Ba	mg/l		1,3		0,00021	0,0030	0,0065	0,0068	0,0079	0,016	0,048
Cr	mg/l			0,05	1.4E-05	0,00017	0,00038	0,00040	0,00047	0,00095	0,0026
Cu	mg/l	0,3	2	0,0003	3.9E-05	0,00084	0,0011	0,0012	0,0015	0,0025	0,0083
Fe	mg/l	2	0,3		6.6E-05	0,00025	0,00033	0,00087	0,0010	0,0034	0,0074
Mn	mg/l		0,08	0,18	0,00052	0,011	0,018	0,024	0,026	0,061	0,34
Ni	mg/l		0,07		3.4E-05	0,00057	0,0013	0,0017	0,0017	0,0049	0,034
Pb	mg/l	0,5	0,01	0,0002	6.3E-05	0,00065	0,0013	0,0013	0,0021	0,0027	0,0049
Se	mg/l	0,2	0,04	0,002	5.8E-06	0,00012	0,00020	0,00025	0,00027	0,00058	0,0029
Zn	mg/l	0,5	3	0,002	0,00059	0,0072	0,017	0,018	0,022	0,043	0,11

Utilisation d'explosifs

Une grande partie des minerais et stériles d'Ouéléba sont des matériaux rocheux fragiles et friables qui seront extraits à l'aide d'excavatrices et de camions de transport, sans dynamitage. Toutefois, les matériaux rocheux solides et portants nécessiteront l'utilisation d'explosifs pour faciliter l'extraction.

Les explosifs utilisés pour l'extraction comprennent généralement des composés azotés contenant des nitrates et de l'ammonium et, par conséquent, l'eau de contact des mines peut contenir ces espèces azotées par dépôt, lixiviation et/ou détonation incomplète des explosifs pendant les activités de dynamitage. Même avec une bonne gestion et des précautions appropriées, il reste possible que des explosifs se répandent ou restent sur les surfaces minérales sous forme de résidus non détonés. Ces résidus explosifs présentent une source de composés azotés qui peuvent être lixiviés de la roche à l'intérieur de la mine à ciel ouvert ou des stériles qui se déposent dans les installations de stockage des stériles.

Plusieurs variables doivent être prises en considération pour appuyer les estimations des niveaux d'espèces azotées qui pourraient se produire lors de l'exhaure, comme les quantités de matériaux qui nécessitent un dynamitage, le taux d'utilisation d'explosifs, la quantité et la spéciation des résidus d'explosifs et la proportion de résidus d'explosifs qui pourraient s'échapper des matériaux se trouvant dans la mine à ciel ouvert. En outre, le pH des flux d'exhaure est important pour la spéciation de l'ammoniac. Si les flux d'exhaure sont inférieurs à 7, la concentration d'ammoniac non ionisé est sensiblement plus faible.

Les VGD pour l'azote et/ou le nitrate totaux sont fondées sur les normes de santé humaine. Les calculs prévoient que les concentrations seront les plus élevées au cours des premières années d'exploitation de la mine lorsque les flux d'exhaure sont les plus faibles (c.-à-d. faible potentiel de dilution). Les concentrations prévues d'azote total sont indiquées à la Figure 5-2 et dépassent les VGD au début.

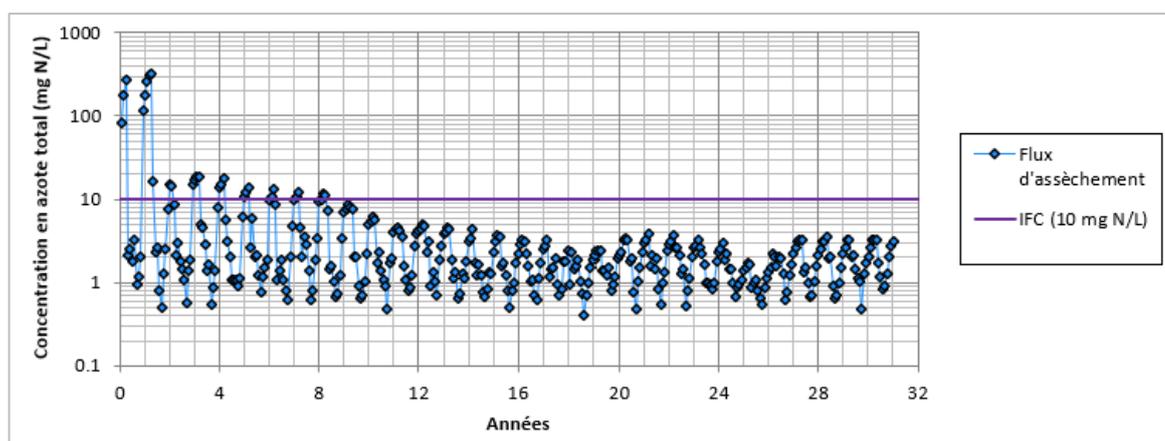


Figure 5-2 : Azote total prévu dans des flux d'exhaure entièrement mélangés

Les concentrations d'ammoniac non ionisé peuvent également être élevées par rapport aux VGD. Cependant, la concentration d'ammoniac non ionisé dépend fortement du pH de l'eau. D'après les calculs, les concentrations d'ammoniac non ionisé pourraient être plus élevées que les VGD pour un pH estimé entre 6,5 et 7,5. Les risques liés à l'ammoniac non ionisé sont beaucoup plus faibles si les flux d'exhaure ont un pH de 7 ou moins. Les VGD pour l'ammoniac non ionisé sont fondées sur les risques pour les espèces aquatiques.

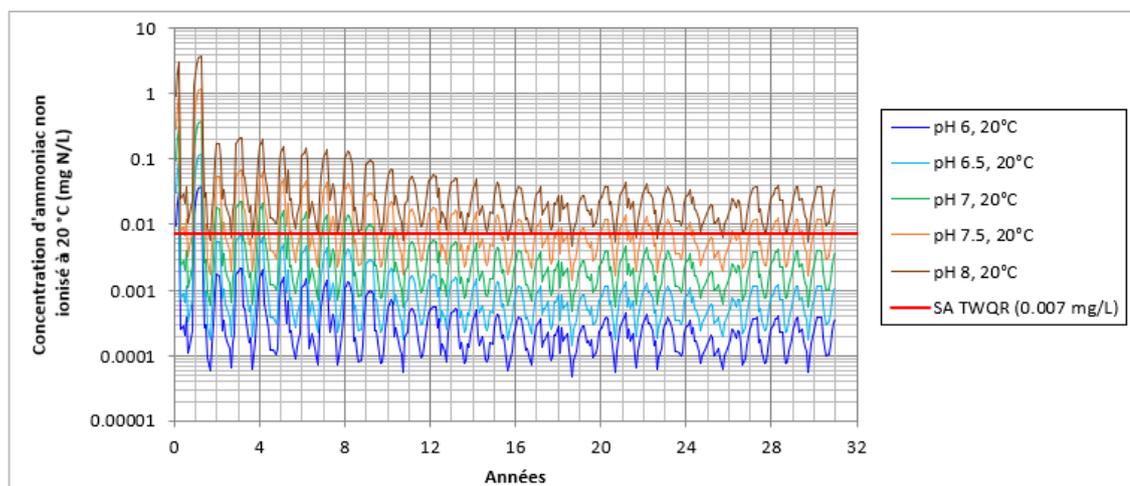


Figure 5-3 : Ammoniac non ionisé prévu dans des flux d'exhaure entièrement mélangés pour différentes valeurs de pH

Dans l'ensemble, les résultats des calculs numériques de la chimie des eaux d'exhaure fournissent une indication des problèmes de qualité de l'eau qui pourraient survenir et une plage de compositions chimiques possibles des eaux d'exhaure.

Les concentrations calculées sont des estimations pour les flux d'exhaure à l'intérieur de la mine à ciel ouvert seulement. Elles ne tiennent pas compte du mélange dans les eaux réceptrices ni des pertes d'ammoniac dues au dégazage ou à l'oxydation de l'ammoniac en nitrate qui pourraient entraîner une atténuation de l'ammoniac. Ces calculs fournissent donc une base pour l'évaluation initiale des risques liés à la qualité de l'eau et les mesures d'atténuation qui peuvent être requises.

5.2 Chimie des lacs de mine post-fermeture

À la fin de l'exploitation minière, l'exhaure active cessera et les niveaux d'eau souterraine à l'intérieur des espaces libres de la mine à ciel ouvert remonteront à mesure que l'eau souterraine, la pluie et le ruissellement de surface s'écouleront vers le fond de la mine à ciel ouvert. Le plan de fermeture actuel prévoit le remblayage de la mine à ciel ouvert d'Ouéléba nord à l'aide de déchets NA, après 15 à 20 ans. Le remblayage des espaces vides de la mine à ciel ouvert nord réduira la quantité de stériles à stocker dans les installations de stockage des stériles externes, ainsi que le temps nécessaire à la remontée de la nappe phréatique.

La modélisation numérique des eaux souterraines indique qu'en raison de la topographie des limites extérieures finales de la mine à ciel ouvert, la remontée de la nappe phréatique entraînera la formation de trois lacs de mine (nord, central et sud) selon les bassins versants qui ruissellent dans la mine à ciel ouvert (Figure 5-1). La Figure 5-4 montre l'étendue des lacs de mine après la remontée des eaux. Ces plans d'eau seront distincts et ne seront pas reliés à la surface, même si des voies d'eau souterraine relieront le lac central aux lacs nord et sud.

Les modèles d'eau souterraine indiquent que les lacs de mine se rempliront certainement à des rythmes différents :

- **Lac sud** : les niveaux d'eau devraient monter jusqu'au point de décantation de surface à 986 mRL au bout de 15 ans environ. On prévoit qu'un lac d'une profondeur maximale de 47 m se développera, environ 85 % des limites extérieures de la mine à ciel ouvert sud demeurant exposées au-dessus du lac. L'eau du lac migrera de la mine à ciel ouvert principalement sous forme d'eau souterraine, mais avec une certaine quantité d'eau de surface émergeant dans le bassin versant de Woron. L'émergence en surface varie selon la saison, avec des débits élevés pendant la saison humide.
- **Lac central** : les niveaux d'eau devraient atteindre environ 1 020 mRL (environ 10 m sous le niveau de déversement des remblais se trouvant à 1 030 mRL) après une vingtaine d'années. Le lac atteindra un « niveau d'équilibre dynamique », où les apports d'eau seront équilibrés par les pertes dans les eaux souterraines et par évaporation, et fera environ 95 m de profondeur. Environ 70 % des limites extérieures de la mine à ciel ouvert resteront exposées. Aucune émergence directe en surface ne se produira à partir de la mine centrale.
- **Lacs nord** : la mine à ciel ouvert d'Ouéléba nord comportera trois sous-mines : lac nord-est, lac nord-ouest et lac nord-sud. Le lac nord-sud sera la plus petite mine à ciel ouvert et le lac nord-est la plus grande. Une fois le rebond amorcé, environ 28 % des limites extérieures de la mine à ciel ouvert resteront exposées au-dessus du lac.

Le projet consiste à remblayer la mine d'Ouéléba nord avec des stériles NA à moins de 5 m du point de déversement en bordure de mine. Il en résulterait un lac moins profond et le niveau de l'eau remonterait plus rapidement, atteignant environ 955 mRL au bout d'une dizaine d'années. La majorité des pertes d'eau se produiront par infiltration dans les eaux souterraines. Selon les propriétés hydrauliques du remblai, il peut y avoir ou non une émergence en surface de l'eau du lac par l'intermédiaire d'une voie d'eau de surface. D'après les limites extérieures actuelles de la mine à ciel ouvert, on s'attend à ce que le point de déversement se trouve dans la partie nord-ouest du lac, dans le bassin versant de Kinyeko. Cependant, l'émergence en surface peut être envisagée dans le processus de fermeture de sorte que l'écoulement puisse se faire à Kinyeko et/ou à Boyboyba.

Sans remblayage dans la mine à ciel ouvert d'Ouéléba nord, le niveau d'équilibre à environ 955 mRL sera atteint une cinquantaine d'années après la fermeture. Le niveau de rebond se trouve juste en dessous du point de déversement, à environ 956 mRL. Compte tenu de la proximité du niveau du lac par rapport au point de déversement, il pourrait y avoir des émergences saisonnières d'eau de surface.

Ces évaluations de rebond supposent que toutes les exhaures soient actives jusqu'à la fermeture et arrêtées en même temps pour l'ensemble de la mine à ciel ouvert. La remontée du niveau d'eau et la formation du lac de mine pourraient être réalisées plus rapidement en utilisant une approche de fermeture progressive, dans laquelle l'eau pourrait remonter dans la mine à ciel ouvert nord après le remblayage de cette dernière, l'excédent d'eau provenant de l'exhaure asséchée de la mine sud étant utilisé pour renforcer la remontée du niveau d'eau de la mine nord.

On a procédé à des estimations numériques de la chimie des lacs en utilisant les résultats du modèle d'eaux souterraines comme base du bilan hydrique des lacs de mine.

Les principales sources contribuant à la charge de solutés dans les lacs de mine seront :

- Les eaux souterraines (censées avoir une chimie de base) entrant dans les espaces libres des mines après le rebond.
- Les pluies et flux de ruissellement dans les mines à ciel ouvert qui s'écouleront jusqu'aux lacs. La chimie des flux de ruissellement sera influencée par les solutés libérés en raison du vieillissement climatique de la roche des parois et des matériaux de talus :
 - Libération de solutés due au vieillissement climatique de matériaux potentiellement acidogènes (PA). Les minéraux sulfurés contenus dans les matériaux PA peuvent s'oxyder, libérant ainsi de l'acidité, du sulfate et d'autres solutés.
 - Libération de solutés à partir de matériaux non acidogènes (NA) : cela comprend les minerais et la majorité des stériles à extraire. Ces matériaux ne produiront pas d'acide net. Cependant, les roches NA exposées peuvent encore libérer des solutés à des concentrations qui pourraient influencer sur la chimie des eaux réceptrices.
- Dans le cas de la mine à ciel ouvert nord avec remblayage NA, l'eau interstitielle et l'eau souterraine se déplaçant à travers le remblai seront également influencées par la libération de solutés à partir du remblai.

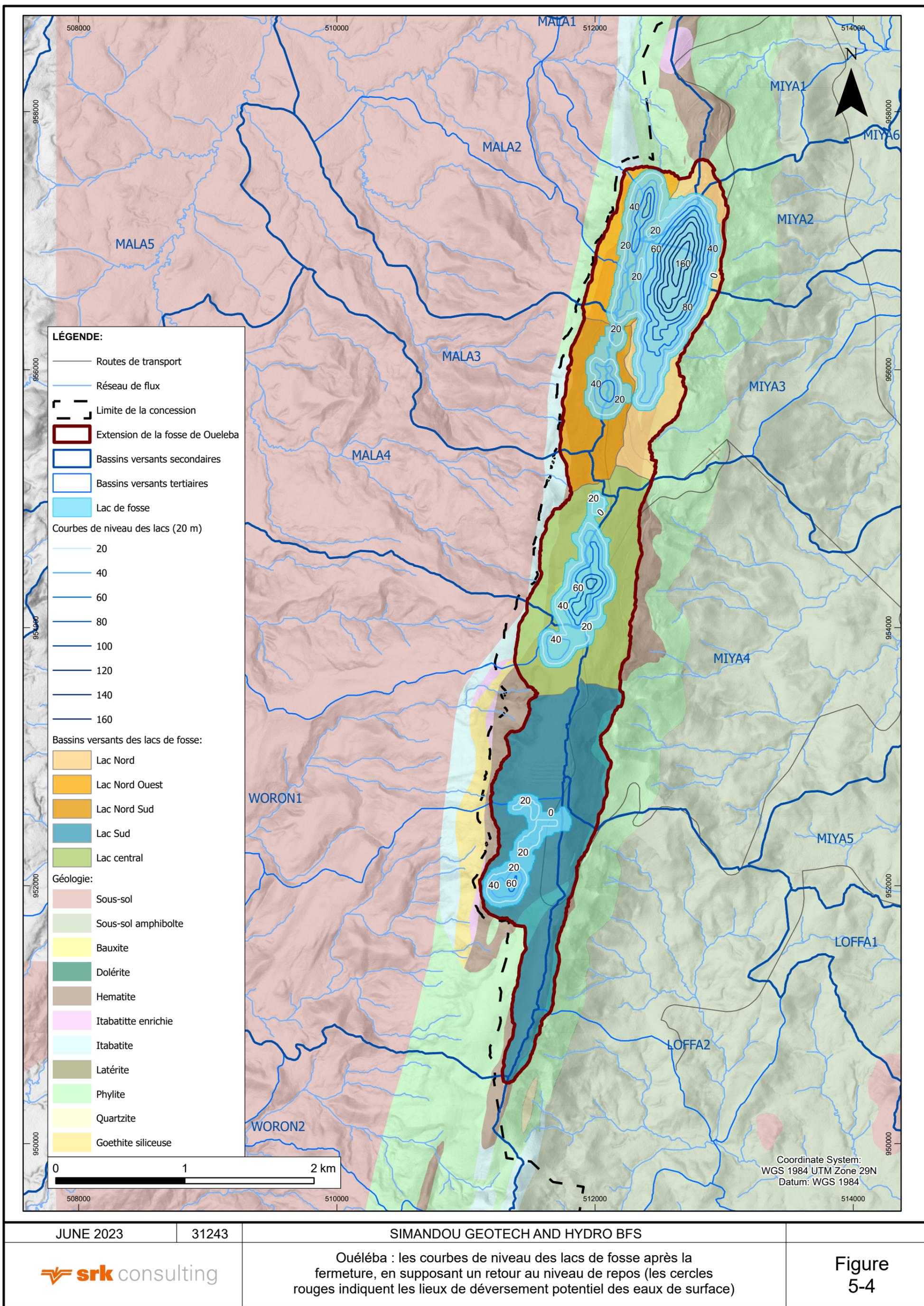
La modélisation prédictive de la chimie des lacs de mine a permis d'évaluer les lacs de mine individuels et, pour le lac nord, trois scénarios différents ressortent : scénario 1 : remblayage à forte conductivité hydraulique ; scénario 2 : remblayage à faible conductivité hydraulique ; et scénario 3 : aucun matériau de remblai.

Pour le scénario de base (scénario 1), les résultats pour les lacs sud et central sont respectivement résumés dans le Tableau 5-2 et le Tableau 5-3. La chimie du lac nord-est présentée dans le Tableau 5-4 pour le scénario de remblayage à forte conductivité (scénario 2) et dans le Tableau 5-5 pour le scénario de remblayage à faible conductivité (scénario 3).

Les modèles prédictifs indiquent que les lacs de mine seront chacun d'une alcalinité quasi neutre à modérée (pH autour de 7 à 8), avec de faibles concentrations de solutés d'ions majeurs. La comparaison de la chimie de l'eau prévue avec les VGD correspondantes indique que le cuivre, le plomb et le zinc sont constamment supérieurs aux VGD. Cela s'explique principalement par le fait que la qualité de base des eaux souterraines appliquée dans le modèle repose sur la moyenne arithmétique des concentrations dans les eaux souterraines de gisement qui étaient supérieures aux VGD correspondantes. La roche des parois, le talus et le remblai contribuent également à la chimie des lacs de mine.

Des graphiques chronologiques pour le cuivre, le plomb, le manganèse et le zinc prévus sont présentés de la Figure 5-5 à la Figure 5-16. Les concentrations de solutés dans les lacs nord sont initialement supérieures à celles prévues pour les lacs sud et central. Ceci est dû à la présence du remblai qui présente une grande masse de roche susceptible de libérer des solutés. À mesure que les niveaux d'eau monteront, la roche des parois, le talus et le remblai seront submergés et les taux de libération de solutés diminueront. À mesure que cela se produira, la qualité des lacs de mine pour les lacs nord s'améliorera progressivement et deviendra largement comparable aux concentrations dans les lacs sud et central.

Dans l'ensemble, les résultats des calculs numériques de la chimie de l'eau pour les lacs de mine post-fermeture donnent une indication des métaux solubles potentiels en solution. Ces calculs fournissent une base pour l'évaluation initiale des risques liés à la qualité de l'eau et les mesures d'atténuation qui peuvent être requises. Comme dans le cas des prédictions de qualité des exhaures, des incertitudes demeurent quant aux sources minérales et aux processus de libération des solutés de ces métaux. Par conséquent, bien que les modèles indiquent des risques liés à la qualité de l'eau, il faut approfondir les recherches pour affiner la caractérisation actuelle et évaluer les mesures d'atténuation, au besoin.



JUNE 2023

31243

SIMANDOU GEOTECH AND HYDRO BFS



Ouéleba : les courbes de niveau des lacs de fosse après la fermeture, en supposant un retour au niveau de repos (les cercles rouges indiquent les lieux de déversement potentiel des eaux de surface)

Figure 5-4

Tableau 5-2 : Scénario 1, scénario de base, résumé de la composition chimique du lac sud (sans remblayage)

		SFI, 2007	OMS, 2022	TWQR sud-africain, 1996	Minimum	25° %ile	Médian	Moyen	75° %ile	95° %ile	Maximum
pH	s.u.	6-9			7,35	7,36	7,37	7,38	7,37	7,48	7,51
Alcalinité	mg/l en CaCO ₃				5,99	6,19	6,25	6,54	6,35	8,31	8,85
Cl	mg/L				0,34	0,46	0,47	0,46	0,48	0,48	0,49
F	mg/L		1,5	0,75	0,0097	0,0100	0,010	0,010	0,010	0,011	0,011
Sulfate	mg/L		250		1,46	1,52	1,55	1,84	1,73	3,35	3,92
Ca	mg/L				1,01	1,04	1,06	1,14	1,09	1,59	1,74
K	mg/L				0,56	0,57	0,58	0,59	0,59	0,67	0,70
Mg	mg/L				0,33	0,35	0,35	0,39	0,37	0,61	0,69
Na	mg/L				1,65	1,71	1,73	1,82	1,76	2,36	2,52
Al	mg/L			0,005 (pH<6,5) 0,01 (pH>6,5)	6.6E-05	6.8E-05	6.9E-05	7.1E-05	6.9E-05	8.7E-05	9.2E-05
En	mg/L	0,1	0,01	0,01	0,0016	0,0017	0,0017	0,0022	0,0020	0,0042	0,0050
Ba	mg/L		1,3		0,0093	0,0096	0,0097	0,010	0,0098	0,012	0,013
Cr	mg/L			0,05	0,00049	0,00051	0,00052	0,00057	0,00054	0,00085	0,00095
Cu	mg/L	0,3	2	0,0003	0,0014	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0016
Fe	mg/L	2	0,3		0,00014	0,00020	0,00020	0,00019	0,00020	0,00021	0,00021
Mn	mg/L		0,08	0,18	0,043	0,045	0,046	0,052	0,049	0,086	0,098
Ni	mg/L	0,5	0,07		0,0013	0,0013	0,0013	0,0014	0,0014	0,0015	0,0015
Pb	mg/L	0,2	0,01	0,0002	0,00063	0,0012	0,0013	0,0012	0,0013	0,0013	0,0013
Zn	mg/L	0,5	3	0,002	0,022	0,022	0,023	0,023	0,023	0,024	0,025

Tableau 5-3 : Scénario 1, scénario de base, résumé de la composition chimique du lac central (sans remblayage)

		SFI, 2007	OMS, 2022	TWQR sud-africain, 1996	Minimum	25° %ile	Médian	Moyen	75° %ile	95° %ile	Maximum
pH	s.u.	6-9			7,30	7,33	7,35	7,34	7,35	7,36	7,40
Alcalinité	mg/l en CaCO ₃				5,44	5,82	6,02	5,93	6,06	6,14	6,91
Cl	mg/L				0,17	0,25	0,27	0,28	0,31	0,32	0,32
F	mg/L		1,5	0,75	0,0068	0,0073	0,0077	0,0077	0,0081	0,0082	0,0083
Sulfate	mg/L		250		2,24	2,37	2,45	2,46	2,51	2,58	3,67
Ca	mg/L				1,06	1,14	1,15	1,14	1,16	1,18	1,45
K	mg/L				0,43	0,46	0,48	0,48	0,50	0,51	0,51
Mg	mg/L				0,41	0,44	0,44	0,44	0,45	0,46	0,61
Na	mg/L				1,57	1,67	1,72	1,70	1,73	1,75	2,02
Al	mg/L			0,005 (pH<6,5) 0,01 (pH>6,5)	6.0E-05	6.4E-05	6.6E-05	6.5E-05	6.6E-05	6.7E-05	7.3E-05
En	mg/L	0,1	0,01	0,01	0,0028	0,0030	0,0031	0,0031	0,0032	0,0033	0,0048
Ba	mg/L		1,3		0,0082	0,0088	0,0091	0,0090	0,0092	0,0093	0,010
Cr	mg/L			0,05	0,00062	0,00066	0,00067	0,00068	0,00068	0,00070	0,00090
Cu	mg/L	0,3	2	0,0003	0,0015	0,0015	0,0016	0,0016	0,0016	0,0016	0,0016
Fe	mg/L	2	0,3		0,00018	0,00021	0,00021	0,00021	0,00022	0,00023	0,00023
Mn	mg/L		0,08	0,18	0,053	0,055	0,057	0,057	0,059	0,062	0,087
Ni	mg/L	0,5	0,07		0,0011	0,0012	0,0012	0,0012	0,0013	0,0013	0,0013
Pb	mg/L	0,2	0,01	0,0002	0,00044	0,00065	0,00070	0,00071	0,00077	0,00080	0,00080
Zn	mg/L	0,5	3	0,002	0,016	0,017	0,017	0,017	0,018	0,019	0,019

Tableau 5-4 : Scénario 2, scénario de base avec remblayage à forte conductivité, résumé de la composition chimique du lac nord

		SFI, 2007	OMS, 2022	TWQR sud-africain, 1996	Minimum	25° %ile	Médian	Moyen	75° %ile	95° %ile	Maximum
pH	s.u.	6-9			7,12	7,21	7,26	7,43	7,56	8,04	8,06
Alcalinité	mg/l en CaCO ₃				3,49	4,33	4,84	10,0	10,0	31,7	34,0
Cl	mg/L				0,15	0,28	0,41	0,38	0,48	0,52	0,54
F	mg/L		1,5	0,75	0,0036	0,0069	0,0094	0,012	0,013	0,031	0,033
Sulfate	mg/L		250		0,65	0,97	1,64	5,23	7,21	19,4	21,6
Ca	mg/L				0,57	0,71	0,88	2,09	2,28	7,10	7,59
K	mg/L				0,36	0,44	0,47	0,82	0,87	2,26	2,39
Mg	mg/L				0,18	0,23	0,32	0,86	1,07	3,08	3,36
Na	mg/L				0,88	1,22	1,41	2,97	3,24	9,46	10,1
Al	mg/L			0,005 (pH<6,5) 0,01 (pH>6,5)	4.3E-05	5.1E-05	5.5E-05	0,00010	0,00010	0,00030	0,00032
En	mg/L	0,1	0,01	0,01	0,00053	0,00087	0,0017	0,0055	0,0073	0,021	0,023
Ba	mg/L		1,3		0,0057	0,0070	0,0078	0,016	0,016	0,048	0,051
Cr	mg/L			0,05	0,00036	0,00053	0,00074	0,0018	0,0030	0,0050	0,0057
Cu	mg/L	0,3	2	0,0003	0,0012	0,0014	0,0017	0,0021	0,0025	0,0041	0,0044
Fe	mg/L	2	0,3		5.7E-05	0,00013	0,00026	0,00022	0,00030	0,00039	0,00040
Mn	mg/L		0,08	0,18	0,019	0,033	0,050	0,11	0,12	0,36	0,40
Ni	mg/L	0,5	0,07		0,00094	0,0015	0,0019	0,0033	0,0053	0,0074	0,0091
Pb	mg/L	0,2	0,01	0,0002	0,00038	0,00069	0,0010	0,00098	0,0012	0,0014	0,0015
Zn	mg/L	0,5	3	0,002	0,014	0,018	0,019	0,027	0,030	0,060	0,063

Tableau 5-5 : Scénario 3, scénario de base avec remblayage à faible conductivité, résumé de la composition chimique du lac nord

		SFI, 2007	OMS, 2022	TWQR sud-africain, 1996	Minimum	25° %ile	Médian	Moyen	75° %ile	95° %ile	Maximum
pH	s.u.	6-9			7,19	7,30	7,48	7,58	7,90	8,17	8,22
Alcalinité	mg/l en CaCO ₃				4,19	5,42	8,46	14,9	23,1	43,8	50,4
Cl	mg/L				0,078	0,18	0,24	0,28	0,42	0,51	0,56
F	mg/L		1,5	0,75	0,0020	0,0049	0,0099	0,014	0,022	0,041	0,047
Sulfate	mg/L		250		0,76	1,81	4,99	8,89	13,9	28,4	32,8
Ca	mg/L				0,76	0,94	1,88	3,27	5,12	10,0	11,6
K	mg/L				0,34	0,51	0,73	1,13	1,64	3,06	3,51
Mg	mg/L				0,23	0,34	0,80	1,41	2,22	4,43	5,11
Na	mg/L				1,06	1,40	2,61	4,41	6,84	13,2	15,2
Al	mg/L			0,005 (pH<6,5) 0,01 (pH>6,5)	4.9E-05	6.1E-05	8.8E-05	0,00014	0,00022	0,00040	0,00046
En	mg/L	0,1	0,01	0,01	0,00069	0,0021	0,0055	0,0093	0,016	0,028	0,031
Ba	mg/L		1,3		0,0064	0,0085	0,014	0,022	0,035	0,064	0,066
Cr	mg/L			0,05	0,00037	0,00066	0,0017	0,0027	0,0048	0,0075	0,0086
Cu	mg/L	0,3	2	0,0003	0,0013	0,0016	0,0018	0,0026	0,0027	0,0068	0,0085
Fe	mg/L	2	0,3		4.9E-05	7.0E-05	0,00015	0,00016	0,00023	0,00029	0,00032
Mn	mg/L		0,08	0,18	0,029	0,051	0,097	0,17	0,27	0,52	0,60
Ni	mg/L	0,5	0,07		0,00086	0,0016	0,0027	0,0045	0,0071	0,011	0,012
Pb	mg/L	0,2	0,01	0,0002	0,00033	0,00057	0,00077	0,00082	0,00098	0,0014	0,0016
Zn	mg/L	0,5	3	0,002	0,012	0,020	0,026	0,034	0,046	0,076	0,086

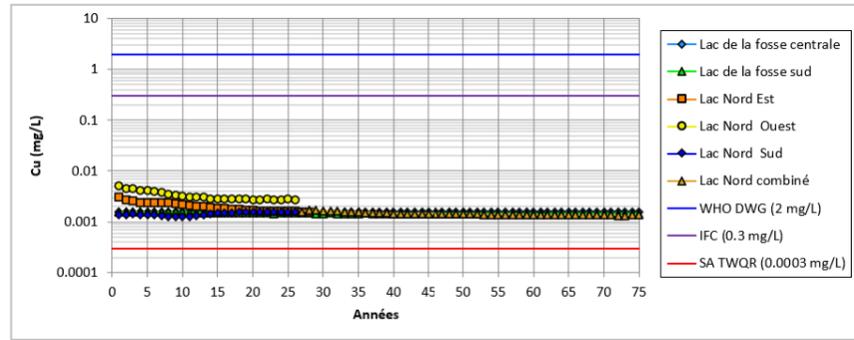


Figure 5-5 : Cuivre pour les lacs sud et central, scénario de base, sans remblayage

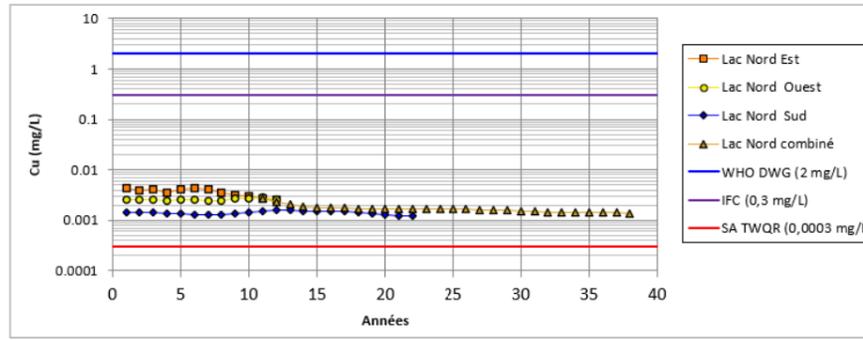


Figure 5-6 : Cuivre pour les lacs nord, remblayage à forte conductivité

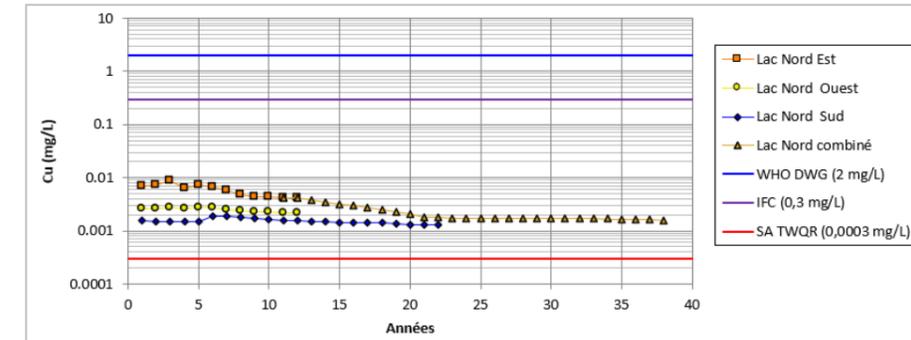


Figure 5-7 : Cuivre pour les lacs nord, remblayage à faible conductivité

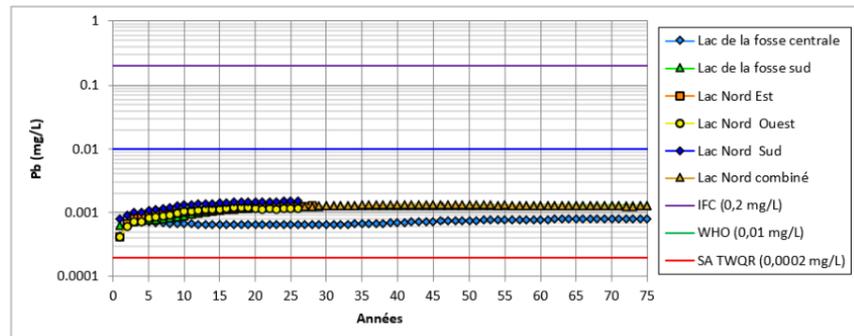


Figure 5-8 : Plomb pour les lacs sud et central, scénario de base, sans remblayage

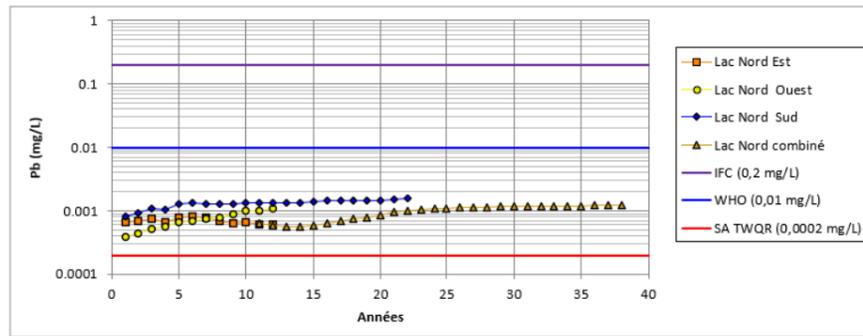


Figure 5-9 : Plomb pour les lacs nord, remblayage à forte conductivité

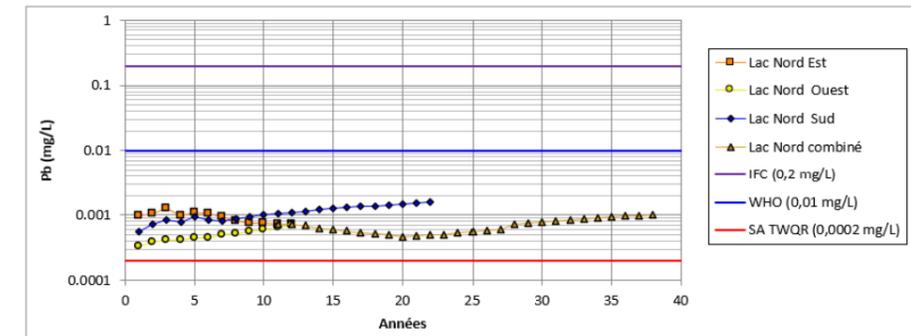


Figure 5-10 : Plomb pour les lacs nord, remblayage à faible conductivité

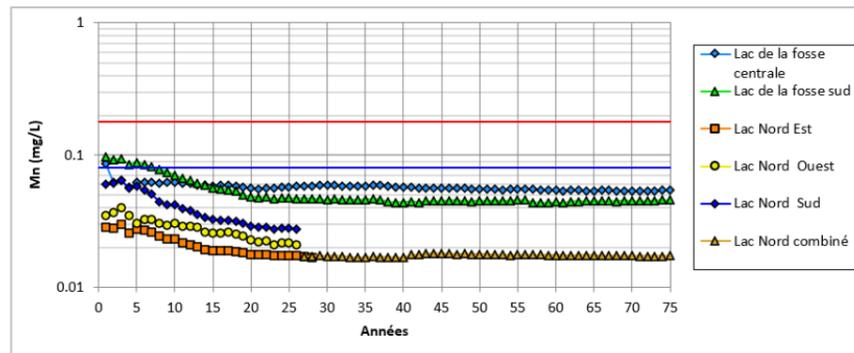


Figure 5-11 : Manganèse pour les lacs sud et central, scénario de base, sans remblayage

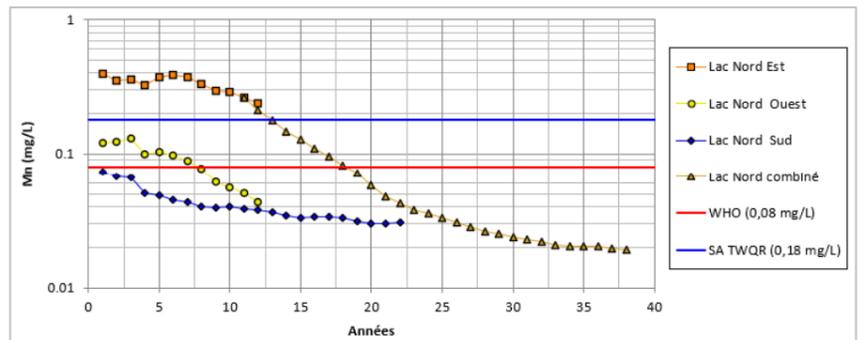


Figure 5-12 : Manganèse pour les lacs nord, remblayage à forte conductivité

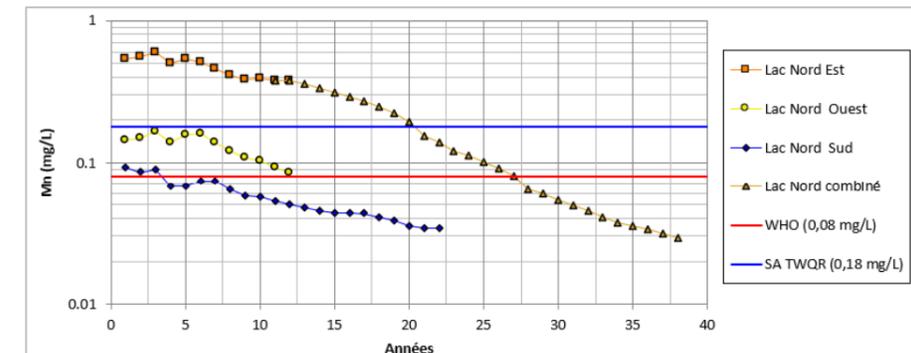


Figure 5-13 : Manganèse pour les lacs nord, remblayage à faible conductivité

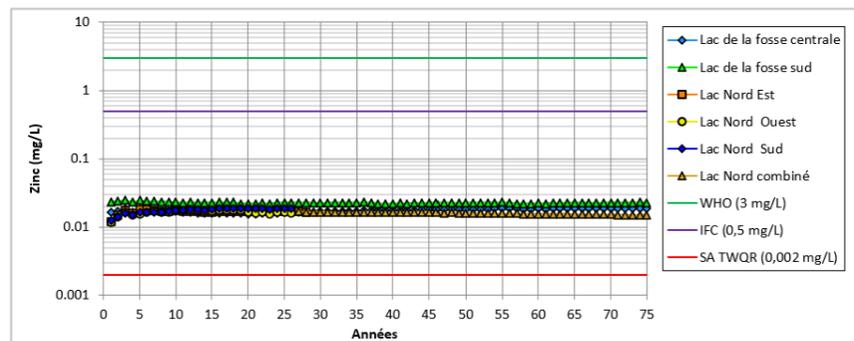


Figure 5-14 : Zinc pour les lacs sud et central, scénario de base, sans remblayage

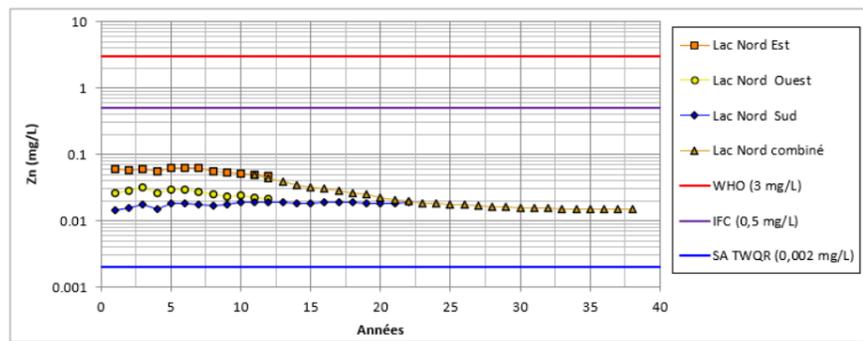


Figure 5-15 : Zinc pour les lacs nord, remblayage à forte conductivité

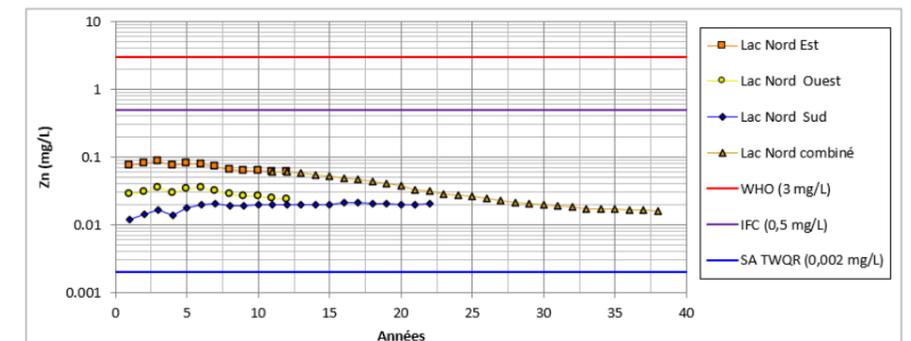


Figure 5-16 : Zinc pour les lacs nord, remblayage à faible conductivité

5.3 Installations de stockage des stériles

Des estimations des concentrations de solutés dans les eaux d'infiltration ont été préparées pour l'installation WRSF1 située au nord-ouest d'Ouéléba. WRSF1 chevauche une ligne de partage des eaux qui se traduira par l'écoulement d'une partie des eaux d'infiltration vers le nord et d'une partie vers le sud. Conformément à la stratégie DAM et comme décrit dans le Chapitre 6 de l'EIES, les matériaux PA seront encapsulés dans des cellules PA dédiées au sein des installations de stockage des stériles. Dans le cas de l'installation WRSF1, il est proposé de placer les stériles PA uniquement dans les limites du bassin versant sud, de sorte que toute infiltration de matériaux PA se produise dans le bassin versant sud, où il serait plus facile de gérer et d'atténuer une éventuelle infiltration problématique.

Les détails de conception pour les autres installations de stockage des stériles (WRSF-3, WRSF-4, WRSF-5) ne sont pas disponibles. Par conséquent, aucune modélisation géochimique n'a été entreprise pour ces installations. Toutefois, on prévoit que les eaux d'infiltration et de ruissellement auront une composition géochimique semblable à celle de l'installation WRSF1 et que toutes les mesures d'atténuation et de gestion qui s'appliquent à cette dernière s'appliqueront également aux autres installations de stockage des stériles.

5.3.1 DAM dans les eaux qui s'infiltrent dans les installations de stockage des stériles

La chimie des eaux d'infiltration a été estimée pour WRSF1 sur la base des taux de libération de solutés obtenus à partir des données cinétiques de laboratoire. Les proportions de stériles ont été obtenues à partir de l'échéancier minier disponible basé sur le modèle de bloc de ressources. Aucune conception technique pour WRSF1 n'a encore été finalisée et un certain nombre d'hypothèses ont été faites pour appuyer les estimations. En raison de la variabilité inhérente i) des stériles, ii) des processus de vieillissement climatique, iii) des conditions hydrologiques (par exemple, la pluviométrie et la proportion de déchets lessivés) et iv) de la caractérisation géochimique des matériaux d'Ouéléba, les calculs numériques fournissent une indication des concentrations probables de solutés. Plusieurs scénarios ont été évalués pour indiquer des plages potentielles de composition des eaux d'infiltration pour différents facteurs et conditions, y compris des scénarios où aucun matériau PA n'était contenu dans des cellules PA dédiées.

Les calculs prédictifs ont indiqué que les eaux d'infiltration des installations de stockage des stériles pourraient devenir acides si les déchets PA ne sont pas recouverts pour réduire le plus possible l'entrée d'oxygène. Sur la base des calculs de transport d'oxygène, la stratégie de gestion des matériaux PA (encapsulés dans des cellules, avec des couvertures provisoires et une couverture technique finale) devrait limiter l'oxydation aux 2 m supérieurs de matériaux PA (à condition qu'un matériau de couverture approprié soit mis en place). Les calculs indiquent que cela pourrait être suffisant pour empêcher l'apparition de conditions génératrices d'acide dans les matériaux PA sous-jacents.

La teneur en sulfure de la couche supérieure de matériaux PA s'appauvrirait progressivement et la distance de diffusion de l'oxygène augmenterait de sorte que le débit d'oxygène ralentirait au fil du temps. Il en résulterait une diminution progressive du taux d'oxydation des minéraux sulfurés. L'appauvrissement en sulfures dans la couche supérieure devrait se produire après environ 45 ans pour les matériaux PA sous une couverture de 1 m, et après 50 ans pour les matériaux NA.

Tableau 5-6 : WRSF1 — Résultats sommaires pour la chimie des eaux d'infiltration

		SFI, 2007	OMS, 2022	TWQR sud-africain, 1996	Minimum	25° %ile	Médian	Moyen	75° %ile	95° %ile	Maximum
pH	s.u.	6-9			7,23	7,99	7,99	7,98	8,07	8,07	8,07
Alcalinité	mg/l en CaCO ₃				15,1	98,2	99,0	100	116	118	119
Cl	mg/L				0,14	1,22	1,33	1,25	1,44	1,59	1,66
F	mg/L		1,5	0,75	0,014	0,12	0,14	0,13	0,15	0,16	0,17
Sulfate	mg/L		250		9,39	87,5	98,3	90,4	103	114	118
Ca	mg/L				3,45	22,5	22,9	22,1	24,5	24,8	25,0
K	mg/L				1,01	9,15	10,2	9,40	10,8	11,8	12,3
Mg	mg/L				1,50	12,2	12,4	11,5	12,6	12,8	12,8
Na	mg/L				3,32	29,7	32,5	30,4	35,1	38,7	40,5
Al	mg/L			0,005 (pH<6,5) 0,01 (pH>6,5)	5.4E-05	0,00028	0,00028	0,00028	0,00033	0,00033	0,00033
En	mg/L	0,1	0,01	0,01	0,013	0,096	0,11	0,099	0,11	0,13	0,13
Ba	mg/L		1,3		0,021	0,024	0,026	0,029	0,028	0,045	0,062
Cr	mg/L			0,05	0,0011	0,0095	0,010	0,0097	0,011	0,012	0,013
Cu	mg/L	0,3	2	0,0003	0,0034	0,019	0,019	0,018	0,019	0,019	0,019
Fe	mg/L	2	0,3		5.8E-05	5.8E-05	6.4E-05	7.2E-05	6.4E-05	9.4E-05	0,00029
Mn	mg/L		0,08	0,18	0,16	0,77	0,85	0,81	0,91	1,01	1,04
Ni	mg/L	0,5	0,07		0,0020	0,018	0,021	0,032	0,053	0,059	0,062
Pb	mg/L	0,2	0,01	0,0002	0,00056	0,0022	0,0023	0,0026	0,0033	0,0035	0,0036
Zn	mg/L	0,5	3	0,002	0,031	0,21	0,23	0,21	0,24	0,26	0,26

Les calculs d'infiltration ont été réalisés pour une période de 25 ans à compter du lancement de la construction. Le Tableau 5-6 présente la chimie prévue des eaux qui s'infiltreront dans la masse de déchets et peuvent émerger en tant qu'infiltration de pied aval en enrochement à la base de l'installation de stockage des stériles. Les calculs d'échelle pour l'installation WRSF1 d'Ouéléba ont estimé que le pH des eaux d'infiltration resterait neutre à légèrement alcalin (pH jusqu'à 8 environ) avec des concentrations globales de solides dissous totaux (SDT) faibles (bien que supérieures aux très faibles concentrations de SDT des eaux de source et des cours d'eau de référence autour des gisements).

Les estimations numériques des eaux de pH 8 ayant des concentrations modérées d'alcalinité sont différentes des eaux de faible pH et de faible alcalinité observées dans les sources et les cours d'eau supérieurs. Toutefois, les essais géochimiques en laboratoire et sur site ont révélé des concentrations de pH et d'alcalinité similaires. On considère que cela reflète la présence de faibles niveaux de minéraux carbonatés et le vieillissement climatique mineur des minéraux silicatés dans les matériaux rocheux perturbés. La quantité de minéraux tamponnant le pH s'épuiserait probablement avec le temps.

Les calculs prédisent des concentrations élevées d'une plage de paramètres. Il a été prédit que les concentrations de cuivre, de plomb, de manganèse et de zinc seraient élevées et surviendraient à des concentrations supérieures aux VGD et aux concentrations prévues pour les exhaures et les lacs de mine. Selon les prédictions, les concentrations d'arsenic seraient également élevées, bien que cela puisse être un artefact du processus de calcul d'échelle, car en général les taux de libération d'arsenic mesurés lors des essais cinétiques étaient faibles.

Le fer et l'aluminium ont généralement une très faible solubilité dans une eau à pH 5 à 7 et dans des conditions oxydantes, et le modèle a donc prédit de faibles concentrations de ces éléments, inférieures aux VGD. Dans les eaux d'infiltration de WRSF1, on s'attend à la présence de particules/colloïdes à grains fins qui pourraient passer à travers les filtres et conduire à des concentrations « dissoutes » supérieures. La forme chimique (spéciation, et concentrations dissoutes/particules) est pertinente en ce qui concerne les risques toxicologiques et écotoxicologiques de ces solutés.

Les concentrations supérieures prévues dans les eaux d'infiltration de WRSF1 par rapport aux eaux de mine sont dues à la plus grande proportion de roche en contact avec l'eau par rapport aux exhaures et lacs de mine (p. ex. pour les WRSF, la pluie qui tombe à la surface s'infiltrera dans des dizaines de mètres de roche avant d'émerger à la base de l'installation de stockage des stériles et sera donc en contact avec une quantité relativement importante de roche sur une période prolongée).

Il convient de noter que les concentrations prévues dans le Tableau 5-6 ne tiennent pas compte du mélange ou de la dilution dans les eaux réceptrices. Les eaux d'infiltration et les eaux de ruissellement à la base de l'installation de stockage des stériles seront capturées dans les digues périphériques autour de la base de l'installation de stockage des stériles et canalisées vers les bassins de sédimentation. L'infiltration dans le pied aval en enrochement sera donc diluée par les ruissellements avant d'émerger dans les eaux réceptrices.

Des calculs préliminaires de mélange ont été effectués pour évaluer si la dilution dans les eaux réceptrices due au ruissellement et au débit de base suffira pour que les flux mélangés dans les chenaux se situent dans les VGD. Ces calculs ont été effectués pour le cuivre, le manganèse et le zinc et pour les infiltrations de la partie nord de WRSF1 dans le bassin versant de Faroko. Les effets de dilution ont donné lieu à des concentrations inférieures à celles calculées pour les eaux d'infiltration de WRSF1, mais la plupart du temps les concentrations sont restées supérieures aux VGD correspondantes pour le manganèse, le zinc et le cuivre (respectivement Figure 5-17, Figure 5-18 et Figure 5-19).

Par conséquent, le mélange dans les flux des bassins versants ne devrait pas fournir une dilution suffisante pour abaisser les concentrations à leurs niveaux de conformité proposés aux points de conformité, sur la base des données disponibles et des résultats du modèle actuel. D'autres études géochimiques sont en cours et serviront de base à d'autres évaluations visant à déterminer les solutions de gestion appropriées.

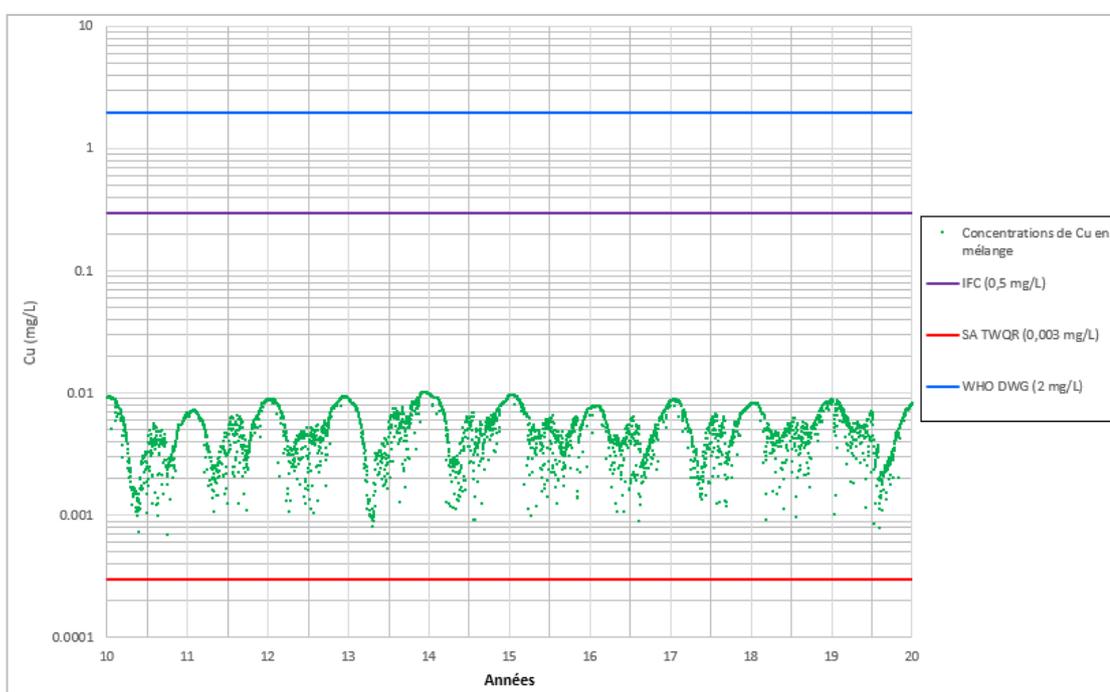


Figure 5-17 : Mélange des eaux d'infiltration prévues de WRSF1 nord avec le cours d'eau Farako — Concentrations de cuivre après mélange

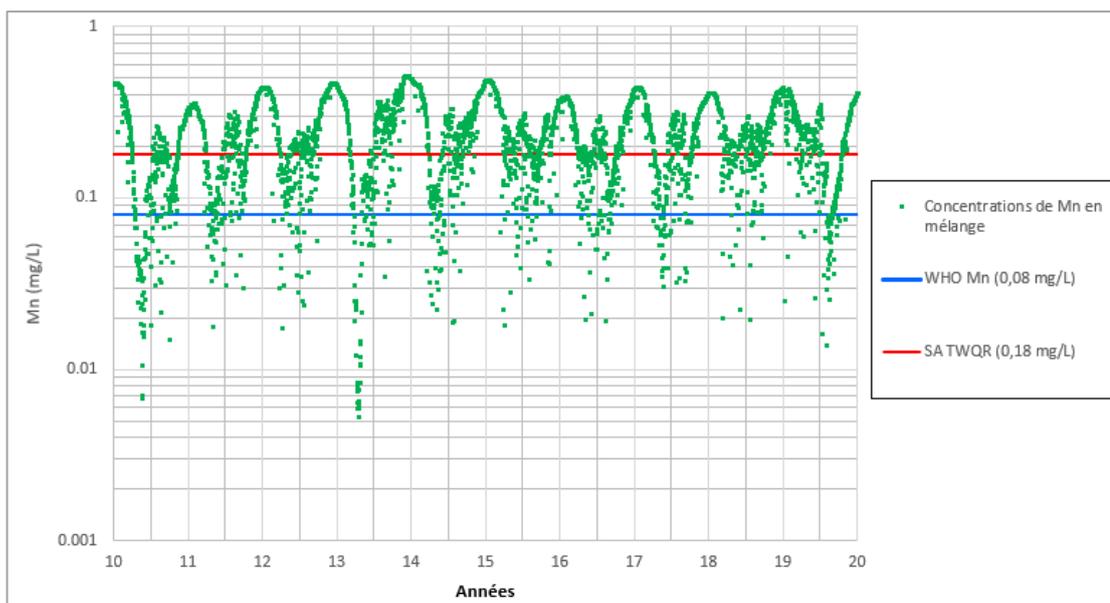


Figure 5-18 : Mélange des eaux d'infiltration prévues de WRSF1 nord avec le cours d'eau Farako — Concentrations de manganèse après mélange

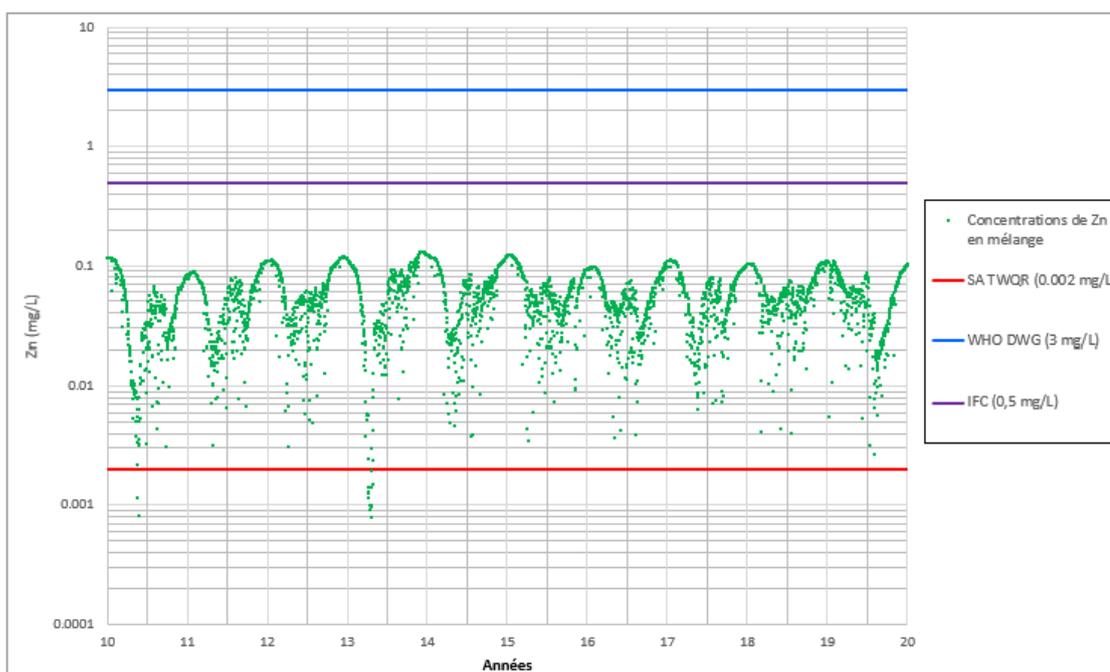


Figure 5-19 : Mélange des eaux d'infiltration prévues de WRSF1 nord avec le cours d'eau Farako — Concentrations de zinc après mélange

5.3.2 Composés azotés dans les eaux d'infiltration des installations de stockage des stériles

Des calculs ont été effectués afin d'estimer les concentrations de composés azotés qui pourraient se retrouver dans les eaux d'infiltration de WRSF1 après rétention de résidus de dynamitage. Ces calculs indiquent que les concentrations d'azote total devraient demeurer inférieures à la limite de la SFI (10 mg/L) pour l'azote total, ainsi qu'à la valeur guide de l'OMS (2022) pour les nitrates dans l'eau potable. Cela est en grande partie dû à la faible proportion de stériles solides qui nécessiteront un dynamitage (Figure 5-20).

Les concentrations d'ammoniac non ionisé dans les eaux d'infiltration de WRSF1 pourraient être supérieures à la valeur guide par défaut de plage cible de qualité de l'eau (TWQR) proposée par le DWAF. Toutefois, la spéciation de l'ammoniac dépend du pH, et le mélange des eaux d'infiltration dans les eaux en aval devrait entraîner un pH global inférieur à 7, ce qui risque de réduire la proportion d'ammoniac non ionisé à des concentrations inférieures à la valeur TWQR proposée par le DWAF (Figure 5-21).

Si la proportion de matériaux rocheux solides change considérablement ou si les facteurs de poudre et/ou les intensités de dynamitage augmentent, les eaux d'infiltration de WRSF1 pourraient contenir des concentrations plus élevées de composés azotés.

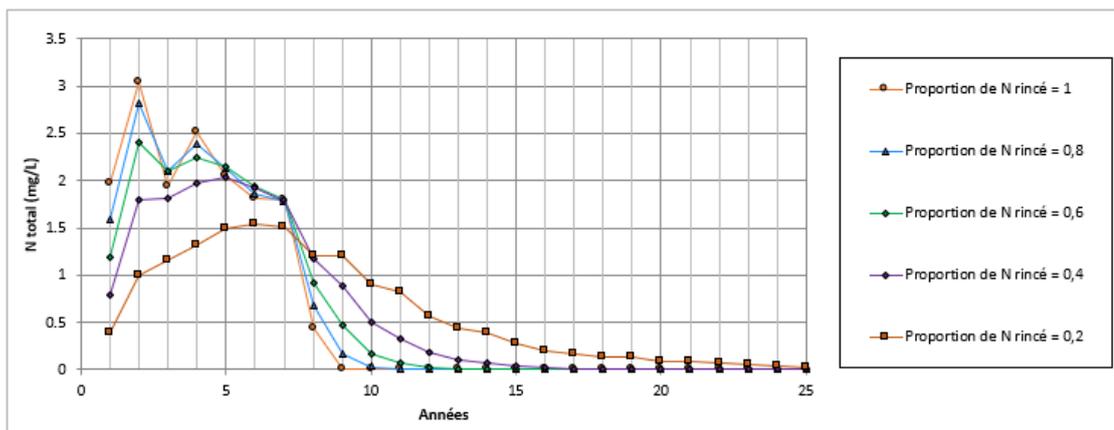


Figure 5-20 : Concentrations estimatives d'azote total dans les eaux d'infiltration de WRSF1 à différents taux de lixiviation

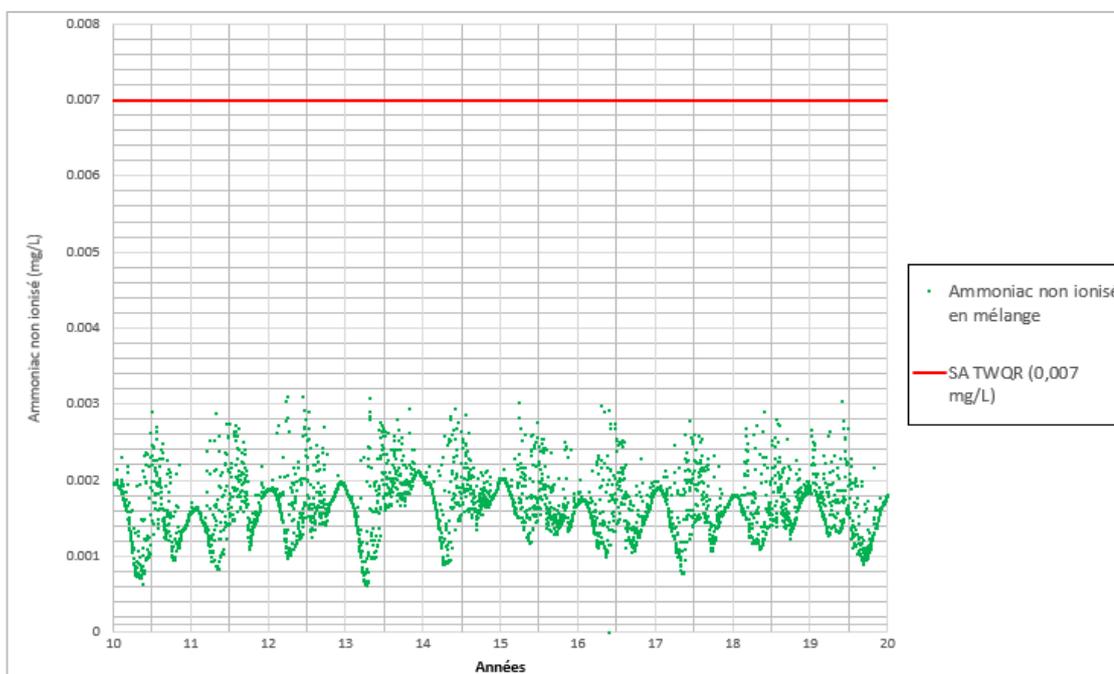


Figure 5-21 : Mélange des eaux d'infiltration de WRSF1 nord avec le ruisseau Farako — Concentrations prévues d'ammoniac non ionisé après mélange

5.4 HME2

La première route principale de transport est appelée HME2 et s'étendra de la boucle ferroviaire autour de la forêt de Boyboyba jusqu'à l'extrémité nord d'Ouéléba. Le développement de la route de transport HME2 comportera des coupes dans le flanc de la crête ainsi que le dépôt de matériaux de remblai pour les voies en remblai. L'interaction de l'eau avec la roche dans les talus exposés et les matériaux de remblai pourrait entraîner un DAM.

Il existe un certain nombre de forages de recherche sur le site, le long de la route HME2, et de forages de ressources dans le nord d'Ouéléba, qui fournissent des informations géologiques sur les matériaux qui seront exposés pendant la construction de HME2.

Les forages dans les zones inférieures autour de la boucle ferroviaire ont tendance à comprendre des matériaux altérés (SAP, CAN, COL) recouvrant le BAS et le GNE. Ces GéoDomaines sont différents de ceux de la crête où l'on rencontre les lithologies de minerai (TRN, HEM, IRF, etc.) et les unités de phyllite. Les forages d'infrastructure étaient généralement de moins de 50 m de profondeur, et la diagraphie indique un profil de vieillissement climatique avec des matériaux fortement altérés près de la surface.

Les forages HM02 et HM03 se trouvent sur la section de la route HME2 à partir de la boucle ferroviaire et le long de la limite nord de Boyboyba. Ces forages ont rencontré des matériaux CAN et CAP recouvrant des phyllites altérées. Des quartzites faibles (QW) ont été rencontrés en profondeur dans le HM03. À l'ouest, dans le HM04, la séquence est passée de CAP à PHS puis PHV, puis à TRN et IPC, ce qui est plus typique des GéoDomaines des matériaux de crête et de gisement.

Des forages le long de la section sud de HME2, le long de la forêt de Boyboyba, ont enregistré des GéoDomaines typiques du gisement d'Ouéléba, avec des séquences d'itabirites et de phyllites. La caractérisation géochimique du comportement au vieillissement climatique et à la lixiviation des matériaux rocheux découpés et remblayés de HME2 est en cours dans le cadre des recherches géochimiques actuelles.

Dans l'ensemble, les matériaux de HME2 semblent être altérés et lixiviés et il est peu probable qu'ils contiennent des sulfures frais. En supposant que ces roches sont similaires à celles caractérisées dans le gisement d'Ouéléba, la majorité des roches de HME2 sont susceptibles d'être des NA à faible teneur en carbonates et ont donc une capacité de consommation d'acide négligeable à faible. La zone inférieure située au-delà de la forêt de Boyboyba et près de la boucle ferroviaire pourrait présenter un risque plus élevé de sols sulfatés acides, car les données d'essai en forage indiquent des concentrations potentielles de soufre allant jusqu'à 1 % de S.

Même avec un faible risque de matériaux PA, les coupes et les matériaux de remblai provenant de la route HME2 pourraient potentiellement lixivier des métaux et d'autres solutés dans les eaux de contact et de ruissellement. Le potentiel de lixiviation des solutés métalliques pourrait être semblable à celui enregistré dans le cadre de la caractérisation géochimique des stériles d'Ouéléba. Plus les roches sont abondamment lixiviées, moins il est probable que des métaux soient libérés dans les eaux de contact. La composition chimique globale des eaux de contact par ruissellement et infiltration pour les matériaux en contact avec la route de transport serait fonction du degré de lixiviation historique des matériaux exposés, du degré de lessivage et des quantités d'eau de contact.

Les remblais pour HME2 seront construits à partir de roche NA solide. Aucun matériau PA ne sera utilisé pour la construction de la route de transport. Les phyllites faibles (PHW, PHV et PHS) sont probablement trop faibles/géotechniquement instables pour la construction d'une route de transport en remblai.

Si les découpes de roches ne fournissent pas suffisamment de roches solides (et au bon moment) pour la construction de la route de transport, il est entendu que la roche solide sera obtenue à partir d'une carrière/mine d'emprunt à l'est de la boucle ferroviaire, comme expliqué à la section 5.6.

5.5 Chimie des eaux de contact et des stériles de l'embranchement ferroviaire

Le développement de l'embranchement ferroviaire de 65 km comprendra des sections de découpes de roches, des remblais et un tunnel. L'interaction de l'eau avec la roche dans les tunnels, les carrières, les talus exposés et les matériaux de remblai pourrait entraîner des impacts de DAM sur les eaux de contact, avec une baisse du pH et/ou une augmentation des concentrations de solutés. Même en l'absence de minéraux PA, les eaux de contact pourraient lixivier des métaux et d'autres solutés à des concentrations supérieures aux VGD. En plus des risques de DAM, il peut aussi exister des risques de SSA le long de l'embranchement ferroviaire, lorsque les sols gorgés d'eau créent des perturbations.

Cinq forages géotechniques ont été effectués le long du tracé du tunnel de l'embranchement ferroviaire. Il n'y a pas eu de caractérisation géochimique de la carotte récupérée. Cependant, d'après les diagraphies et les photographies de la carotte, les matériaux varient de modérément à fortement altérés. Les diagraphies n'indiquaient pas la présence de minéralisation sulfurée, et le degré de vieillissement climatique visible sur les photographies indiquerait une présence peu probable de minéraux sulfurés. Le risque de présence de matériaux PA est actuellement considéré comme faible pour le tunnel de l'embranchement ferroviaire. Il existe un potentiel de présence de SSA au-dessus du tunnel ferroviaire ou près des portails, et le drainage des zones de SSA pourrait donner lieu à des eaux à faible pH et à la mobilité des solutés associés.

En plus des risques de DAM et SSA, les eaux souterraines qui s'écouleront de la masse rocheuse sus-jacente dans le tunnel peuvent contenir des métaux à des concentrations proches des VGD ou supérieures à celles-ci (en fonction du comportement à la lixiviation observé pour les matériaux rocheux d'Ouéléba). Le vieillissement climatique ou l'oxydation des matériaux rocheux autour du tunnel pourrait entraîner un rejet supplémentaire de métaux dans les eaux de drainage, bien que ce taux de lixiviation puisse être faible s'il n'y a pas de sulfures dans les roches exposées par le tunnel. Les détails de construction des tunnels indiquent que les tunnels seront revêtus de béton à des fins de stabilité structurelle. Ce béton limiterait également l'exposition des roches des parois du tunnel au vieillissement climatique et à l'oxydation, et le béton fournirait également une capacité de tamponnage acide en présence d'eaux à pH faible en raison du contact avec des matériaux PA dans les roches exposées des parois du tunnel ou des SSA dans les sols sus-jacents.

D'après les informations disponibles, le potentiel de DAM dans le tunnel est faible, bien que des concentrations élevées de métaux dans les eaux d'infiltration n'aient pas été exclues. Des signalements anecdotiques font état de sols gorgés d'eau sur la crête au-dessus du tunnel, ce qui représente donc un potentiel de risques de SSA. Si l'infiltration d'eau souterraine présente des concentrations élevées de métaux, le potentiel que le drainage des eaux souterraines du tunnel ait un impact sur les eaux réceptrices dépendra alors du débit de drainage, mais aussi

du débit et de la chimie des eaux réceptrices. Si le débit de drainage est faible par rapport au débit dans les eaux réceptrices, les impacts potentiels seront probablement faibles.

Une caractérisation géochimique des roches du tunnel ainsi qu'une évaluation des risques de SSA le long de l'embranchement ferroviaire seront entreprises dans le cadre des études en cours. Une fois que les données de ces études seront disponibles, de même que les estimations hydrologiques de débits de drainage et des eaux réceptrices, une évaluation de la qualité des infiltrations de drainage et du mélange dans les eaux réceptrices sera entreprise.

La caractérisation géochimique des zones de découpe et des matériaux de carrière pour le remblai n'a pas encore été entreprise et les risques de DAM et de SSA n'ont pas encore été pleinement évalués. Ces évaluations seront effectuées au fur et à mesure de l'avancement du projet.

5.6 Carrière

Le projet minier d'Ouéléba utilisera des matériaux rocheux solides à diverses fins, notamment pour la construction d'une série d'infrastructures et de routes et pour la construction des installations de stockage des stériles, y compris pour les drains souterrains, les contreforts et éventuellement pour le blindage externe des talus des installations de stockage des stériles. La quantité de stériles solides disponibles dans la mine à ciel ouvert d'Ouéléba est limitée, et une grande partie ne sera disponible que plus tard dans la vie de la mine. Par conséquent, pour fournir des matériaux de construction solides au début de la vie de la mine, une source de roche solide a été identifiée dans une région montagneuse à l'est d'Ouéléba (voir Figure 2-1).

Pour pouvoir être utilisé dans la construction des diverses installations de surface, il est nécessaire que le matériau ne puisse pas générer d'acide ou présenter un risque de libération de solutés à des concentrations supérieures aux valeurs guides qui auraient un impact sur les récepteurs en aval.

Historiquement, le nombre de forages dans la zone de carrière proposée et les collines avoisinantes est limité, et aucune caractérisation géochimique n'a été réalisée pour les matériaux récupérés. Il faudra caractériser le comportement des matériaux rocheux au vieillissement climatique et à la lixiviation afin d'évaluer le potentiel d'évolution de la chimie de l'eau. Les diagraphies de ces forages indiquent que la roche est constituée de gneiss de socle recouvert d'une couche de saprolite et de sols altérés. Les diagraphies n'indiquent pas la présence de sulfures. Des forages sont prévus dans ces zones et une caractérisation géochimique sera entreprise pour évaluer le potentiel de DAM. Si l'évaluation conclut que les matériaux pourraient présenter un risque de DAM, alors ces matériaux ne seront pas utilisés pour la construction.

6 CONCLUSIONS

La caractérisation géochimique des matériaux rocheux d'Ouéléba a montré que ces matériaux sont généralement fortement lixiviés et contiennent de faibles quantités de matériaux solubles, y compris des minéraux carbonatés. Les matériaux sulfurés sont présents dans les matériaux rocheux plus profonds, principalement dans le GéoDomaine de phyllite compacte (PHC). Les données de détermination du potentiel acidogène indiquent qu'en raison de la présence négligeable de minéraux carbonatés tamponnant l'acide, la présence de sulfures (même à de faibles concentrations) pourrait encore donner lieu à des conditions acides nettes. Par conséquent, une teneur limite de 0,05 % de soufre total a été attribuée à ce stade pour définir un matériau PA. Ce niveau peut être révisé s'il est étayé par d'autres essais.

Les données d'une analyse des carottes de forage et un modèle de bloc géologique ont été examinés pour évaluer la répartition des matériaux PA. Il en ressort que la majorité des matériaux PA se trouvent dans la partie nord de la mine à ciel ouvert d'Ouéléba, avec des matériaux PA limités dans les zones des mines centrale et sud. D'après les informations relatives aux forages, 1,25 % des stériles se trouvant dans les limites extérieures de la mine à ciel ouvert d'Ouéléba seront des matériaux PA (> 0,05 % de S).

Les essais de caractérisation géochimique, y compris les méthodes d'essai statiques et cinétiques, indiquent que plusieurs espèces métalliques, notamment le cuivre, le plomb, le manganèse et le zinc, peuvent être lixiviées dans les eaux de contact à des concentrations élevées. Les données de base sur la surveillance de la qualité de l'eau pour la zone du projet ont également révélé que ces métaux peuvent être présents dans les eaux souterraines à des concentrations supérieures aux VGD correspondantes.

Des évaluations géochimiques des eaux d'exhaure, des lacs de mine post-fermeture, des installations de stockage des stériles et d'autres aspects présentant des risques liés à la qualité de l'eau ont été entreprises. En ce qui concerne les matériaux PA, les évaluations indiquent que la gestion des matériaux PA présents dans les stériles sera nécessaire afin de prévenir l'infiltration d'acides dans les installations de stockage des stériles. Aucune condition acide nette n'a été prédite pour les eaux d'exhaure ni pour les lacs de mine post-fermeture. Les données actuelles pour la carrière, la route HME2 et l'embranchement ferroviaire indiquent que les roches sont susceptibles d'être principalement NA, et que le risque de roche PA et les conditions acides nettes pour ces aspects sont donc également faibles. Toutefois, des évaluations des sols sulfatés acides (SSA) sont prévues pour déterminer si les matériaux de SSA peuvent être perturbés ou drainés dans le cadre des activités de construction.

Une modélisation numérique de la qualité de l'eau a été entreprise pour les eaux d'exhaure, les lacs de mine et les eaux d'infiltration de WRSF1. En raison de la variabilité inhérente des stériles, des processus de vieillissement climatique, des conditions hydrologiques (par exemple, la pluviométrie et la proportion de roches lessivées) et de la caractérisation géochimique des matériaux d'Ouéléba, les calculs numériques fournissent uniquement une indication des concentrations potentielles de solutés.

Les modèles ont prédit que les concentrations de cuivre, de plomb, de manganèse et de zinc pourraient être élevées par rapport aux VGD. Pour les eaux d'exhaure et d'infiltration dans les installations de stockage des stériles pendant l'exploitation, cela peut signifier que la qualité de l'eau dans les eaux réceptrices peut ne pas correspondre aux VGD génériques qui ne tiennent pas compte des concentrations naturellement élevées ou des tolérances écologiques propres au site. Cependant, cela dépendra du mélange avec les cours d'eau au point d'émergence. Les eaux des lacs de mine sont la source du débit de base des cours d'eau et des rivières autour de la crête d'Ouéléba. De ce fait, la migration des eaux des lacs de mine à travers les roches des limites extérieures des mines à ciel ouvert (et le remblai, le cas échéant) pourrait avoir un impact sur les eaux souterraines, puis sur les eaux de surface. Il pourrait en résulter des concentrations élevées de ces paramètres dans les cours supérieurs des cours d'eau autour d'Ouéléba.

Les prédictions de concentrations élevées de cuivre, de plomb, de manganèse et de zinc sont appuyées par la mesure de concentrations élevées de ces paramètres dans les lixiviats provenant d'essais sur cellules d'humidité en laboratoire et d'essais sur carottiers sur site. La lixiviation de ces métaux à partir des roches hôtes est corroborée par les données limitées de surveillance des eaux souterraines de base, qui indiquent que les concentrations de cuivre, de plomb, de manganèse et de zinc peuvent être naturellement élevées.

Rio Tinto a élaboré des plans et met actuellement en œuvre d'autres études visant à affiner la caractérisation géochimique du comportement des matériaux rocheux au vieillissement climatique, à obtenir d'autres échantillons d'eaux souterraines provenant de gisements et à évaluer si ces concentrations peuvent avoir un impact sur les personnes qui utilisent l'eau et l'environnement local.

Les travaux de caractérisation en cours permettront d'approfondir et d'affiner les termes sources pour la libération des solutés et de mieux comprendre les sources minérales de ces métaux ainsi que les processus géochimiques de leur libération dans les eaux de contact. Ces études supplémentaires serviront à affiner les prévisions pour les eaux de mine, les infiltrations dans les installations de stockage des stériles et d'autres aspects lorsque des problèmes de DAM et/ou de SSA peuvent se produire. Elles permettront également d'évaluer, d'identifier et d'apprécier les méthodes de gestion susceptibles de contrôler, si nécessaire, la chimie potentielle des lacs de mine. Les résultats de l'étude indiqueront si des mesures d'atténuation peuvent être nécessaires pour réduire les concentrations d'espèces solutés afin de protéger l'environnement.

Rio Tinto s'engage à protéger l'environnement et la qualité de l'eau, et par conséquent, si les études ultérieures confirment le potentiel de concentrations élevées de solutés et/ou d'impacts sur le milieu aquatique, les mesures d'intervention nécessaires seront mises en place pour atténuer ces risques.

Pour et au nom de SRK Consulting (UK) Limited

This signature has been scanned. The author has given permission to its use for this particular document. The original signature is held on file.



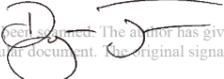
David Tait,
Consultant principal, Géochimie
SRK Consulting (UK) Limited

SRK Consulting - Certified Electronic Signature

SRK07-11-2020-Report
SRK-8808-0177-01-UK
This signature has been certified digitally. The Authority has given permission to its use for this document. The details are stored in the SRK Signature Database.

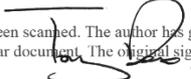
Claire Linklater
Consultant principal, Hydrogéologie
SRK Consulting (Australasia) Pty

This signature has been scanned. The author has given permission to its use for this particular document. The original signature is held on file.



Dylan John,
Conseiller principal,
Chef de projet
SRK Consulting (UK) Limited

This signature has been scanned. The author has given permission to its use for this particular document. The original signature is held on file.



Tony Rex,
Consultant d'entreprise, Hydrogéologie
SRK Consulting (UK) Limited

7 REFERENCES

DWAF (Department of Water Affairs and Forestry, South Africa), 1996. South African Water Quality Guidelines, Volume 7 Aquatic Ecosystems. DWAF, Pretoria. A Guide for the Health Related Assessment of the Quality of Water Supplies. Interdepartmental Coordinating and Liaison Committee for Water Supply and Sanitation., Department of Water Affairs and Forestry.

Green, R and Borden, R. K. 2011. Geochemical Risk Assessment Process for Rio Tinto's Pilbara Iron Ore Mines. Integrated Waste Management – Volume I, InTech, 23 August 2011.

IFC, 2007a. Environmental, Health, and Safety Guidelines for Mining. A report prepared by International Finance Corporation. December.

IFC, 2007b. Environmental, Health, and Safety Guidelines. Environmental Wastewater and Ambient Water Quality. A report prepared by International Finance Corporation. April.

SRK, 2023. Baseline Water Chemistry for the Simandou Project, Guinea. I0016-0400-X-REP-00005_A. January 2023.

WHO, 2022. Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda. Licence CC BY-NC-SA 3.0 IGO.