

ANNEXE 6B

Bilan hydrique conceptuel de Ouéléba Nord

Mémoire externe

À : Mike Lelliott De : Sarah Johnson, Vitor Sato
Entreprise : Rio Tinto Ore Atlantic Limited Numéro de projet : UK31243
Copie à : N/D Titre du projet : Bilan hydrique conceptuel de Ouéléba Nord
Réf. du I0016-1821-X-REP- dossier : 00033_0.Docx Date : Decembre, 2024
Objet : **Bilan hydrique conceptuel de Ouéléba Nord**

Ce document a été publié et modifié comme suit :

Rév	Date	Description	Créé par	Approuvé par
0	20/12/2024	A utiliser	Sarah Johnson Victor Sato	Mark Raynor

1 INTRODUCTION

1.1 Contexte

SRK Consulting (UK) Limited (« SRK ») a été sollicité par Rio Tinto Iron Ore Atlantic Pty Ltd (« RTIO », ci-après dénommé « l'Entreprise » ou « le Client ») pour développer le bilan hydrique conceptuel de la fosse de Ouéléba Nord¹ pendant le cycle de vie complet de la fosse.

Ouéleba Nord est une ligne de crête minéralisée qui est séparée du gisement principal de Ouéléba au sud par une dépression topographique (ou « selle ») et la forêt de Boyboyba. Les études de référence précédentes (SRK, 2023a, 2023b) et les études de modélisation numérique des eaux souterraines (SRK 2023c) ont inclus des données provenant de la région de Ouéléba Nord, mais ces études étaient principalement axées sur les zones minières de Ouéléba et du Pic de Fon au sud.

Par la suite, un modèle hydrogéologique conceptuel (MHC) et une prédiction de l'aire des eaux souterraines ont été élaborés pour la région de Ouéléba Nord (SRK, 2024a). Cette étude a également décrit l'état actuel, ou « de référence », de la zone.

¹ Remarque : Ouéléba Nord était historiquement nommée Josiane.

Ce memorandum technique développe un bilan hydrique semi-quantitatif de la fosse de Ouéléba Nord en appliquant les résultats des études de Ouéléba et du Pic de Fon à la zone de Ouéléba Nord. Un Plan conceptuel de gestion de l'eau pour la fosse de Ouéléba Nord est présenté séparément (SRK, 2024b).

1.2 Portée et objectifs

Les principaux objectifs de l'étude sont les suivants :

- Conceptualiser l'interaction entre la fosse de Ouéléba Nord et le régime d'écoulement hydrologique et hydrogéologique local.
- Développer un bilan hydrique de haut niveau pour la fosse de Ouéléba Nord.

Le champ d'application entrepris pour atteindre ces objectifs est le suivant :

- Examiner la description du Projet et l'infrastructure située à Ouéléba Nord.
- Visualiser l'interaction de l'enveloppe de la fosse de Ouéléba Nord avec les niveaux naturels de la nappe phréatique et la géologie locale.
- Déterminer les zones de captage et d'emprise de la fosse de Ouéléba Nord.
- Élaborer un bilan hydrique semi-quantitatif de la fosse de Ouéléba Nord à partir de la modélisation entreprise pour la zone minière de Ouéléba.
- Décrire le bilan hydrique conceptuel de la fosse de Ouéléba Nord tout au long du cycle de vie de la mine (y compris sa fermeture).

1.3 Exclusions

Les exclusions suivantes s'appliquent :

- La conceptualisation et le bilan hydrique ne s'appliquent qu'à la fosse à ciel ouvert de Ouéléba Nord.

1.4 Plan du document

Le memorandum présente la description du Projet (section 2). Les travaux antérieurs réalisés pour Ouéléba Nord sont ensuite résumés, ainsi que les analyses supplémentaires entreprises dans le cadre de la présente étude (section 3). Les données et analyses complémentaires sont compilées pour développer un bilan hydrique conceptuel pour la fosse de Ouéléba Nord (section 4).

2 DESCRIPTION DU PROJET

2.1 Introduction

Cette section résume la fosse à ciel ouvert de Ouéléba Nord qui est au centre de l'étude.

2.2 Fosse nord de Ouéléba

La fosse proposée pour Ouéléba Nord mesurera jusqu'à 575 m de large et 1,8 km de long, descendant jusqu'à une profondeur d'environ 286 m sous la surface. Le minerai sera extrait par forage et dynamitage conventionnels (50 % du minerai) et par excavation directe (les 50 % restants).

L'enveloppe de la fosse finale comprendra trois « fosses partielles », désignées dans le présent document comme les fosses partielles nord, centrale et sud. Les fosses partielles visibles sur la Figure 2-1 montrent l'évolution au fil du temps de l'enveloppe de la fosse de Ouéléba Nord.

L'exploitation de la fosse se fera par étapes :

- **Construction** : Les travaux de construction devraient durer environ 6 mois. Ces activités comprennent le décapage initial de la mine, la construction de routes et le défrichement du site.
- **Étape 1** : Années 1 à 3. Deux fosses partielles, l'une au nord et l'autre au sud. L'exploitation minière se concentrera sur la fosse partielle sud, avec un taux d'exploitation prévu de 4 Mtpa.
- **Étape 2** : Années 3 à 6. Deux fosses partielles, l'une au nord et l'autre au sud. L'exploitation minière se concentrera sur la fosse partielle nord, avec un taux d'exploitation prévu de 4 Mtpa.
- **Période d'inactivité** : Aucune exploitation minière active à la fosse de Ouéléba Nord. La durée de la période d'inactivité sera d'environ 15 ans.
- **Étape 3** : À partir de la vingt-deuxième année. Reprise de l'exploitation minière, approfondissement de la fosse dans toutes les zones et développement de la fosse partielle centrale.
- **Fermeture et post-fermeture** : Fermeture pendant la phase de fermeture du projet principal de Ouéléba.

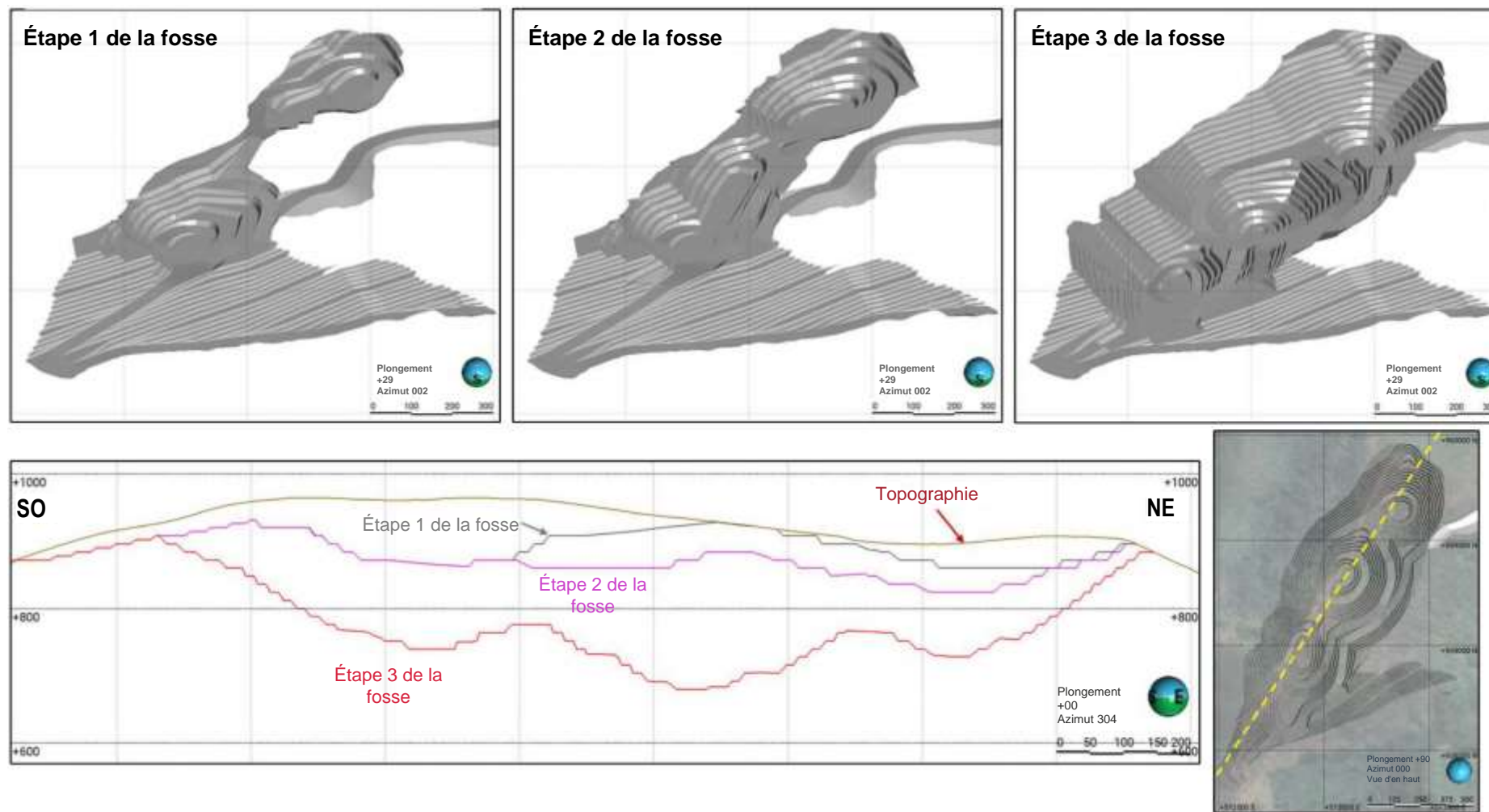


Figure 2-1 : Étapes de la fosse de Ouéléba Nord

3 DONNÉES ET ANALYSES COMPLÉMENTAIRES

3.1 Introduction

Cette section présente les données utilisées pour le développement du bilan hydrique conceptuel de la fosse de Ouéléba Nord. Cette étude s'appuie sur des travaux antérieurs, en particulier le modèle hydrogéologique conceptuel de la mine et de ses environs (SRK, 2024a). Le cas échéant, la section décrit l'analyse semi-quantitative supplémentaire entreprise à l'appui du développement du modèle conceptuel.

3.2 Bassins versants et réduction des bassins versants

La Figure 3-1 montre les enveloppes des fosses aux Étapes 1, 2 et 3 et les limites des bassins versants locaux. Les bassins versants sont divisés en niveaux « primaire », « secondaire » et « tertiaire » conformément à l'EIES de Ouéléba².

Le gisement de Ouéléba Nord recoupe les sources des bassins versants primaires de Farako, Mala et Miya. Les bassins versants sont subdivisés en bassins secondaires et tertiaires, délimités respectivement en orange et en bleu sur la Figure 3-1

Le tableau 3-1 présente la superficie de référence de chaque bassin versant. La fosse de Ouéléba Nord étant située sur la ligne de crête, la zone de captage de la fosse est nulle, mais la zone d'emprise de la fosse est indiquée pour chaque étape.

Tableau 3-1 : Zone de la fosse de Ouéléba Nord et bassins versants locaux

Emplacement	Niveau du bassin versant	Superficie (m ²)	Superficie (km ²)
Fosse de Ouéléba Nord, Étape 1	Fosse de la ligne de crête – pas de bassin versant	296 601	0,30
Fosse de Ouéléba Nord, Étape 2	Fosse de la ligne de crête – pas de bassin versant	386 153	0,39
Fosse de Ouéléba Nord, Étape 3	Fosse de la ligne de crête – pas de bassin versant	758 426	0,74
Farako1	Secondaire	14 968 290	14,97
Mala1	Secondaire	6 655 411	6,66
Mala2	Secondaire	6 885 690	6,89
Miya1	Secondaire	3 361 735	3,36
Farako1A	Tertiaire	1 652 668	1,65
Mala2A	Tertiaire	1 528 552	1,53
Miya1A	Tertiaire	1 231 655	1,23
Miya1B	Tertiaire	1 437 215	1,44

Remarques :

Les zones ombrées du tableau renvoient aux couleurs utilisées sur la Figure 3-1, qui montre l'emprise de la mine à chaque étape et les bassins versants environnants.

² Les bassins versants sont définis comme des bassins primaires, secondaires ou tertiaires. Les bassins versants primaires représentent les principaux bassins versants associés à la chaîne de montagnes du Simandou. Ceux-ci sont subdivisés en bassins secondaires qui portent le nom du bassin primaire suivi d'un suffixe numérique. La subdivision des bassins versants tertiaires applique un suffixe alphabétique aux noms des bassins versants secondaires et est introduite, le cas échéant, pour discrétiser les bassins versants d'eaux de surface.

L'excavation de la fosse de Ouéléba Nord réduira la superficie des bassins versants en aval. La réduction est présentée dans le Tableau 3-2 sous forme de superficie et de pourcentage de la zone de bassin versant de référence pour chaque étape du développement de la mine. La réduction est présentée pour le plus petit niveau de bassin versant affecté, c'est-à-dire les bassins versants tertiaires, à l'exception de MALA1 qui n'est pas subdivisé en bassins versants tertiaires. La réduction du bassin versant augmente au fur et à mesure que la fosse s'agrandit, passant de 0 à 8 % à l'Étape 1, à 1 à 23 % à l'Étape 3.

La réduction au niveau du bassin versant secondaire est également indiquée pour FARAKO1, MALA2 et MIYA1. La suppression de la zone d'emprise de la fosse a un impact plus faible que celui qu'on observe pour les bassins versants tertiaires, car les bassins versants secondaires sont plus étendus. La réduction est de 0,1 à 6 % à l'Étape 1, puis de 0,4 à 15 % à l'Étape 3.

Les précipitations directes seront retenues dans la fosse, ce qui entraînera une réduction du ruissellement des eaux de surface et de l'écoulement dans les bassins versants concernés. On s'attend à ce qu'une partie de l'eau retenue dans la fosse s'infiltre dans le circuit d'eaux souterraines et finisse par rejoindre les rivières en tant que débit de base. Étant donné que le ruissellement des eaux de surface se produit généralement pendant les périodes de fortes précipitations, on s'attend à ce que les modifications du débit des cours d'eau s'inscrivent dans le cadre de la variabilité interannuelle naturelle.

Il convient de noter que le bassin versant Miya1B englobe la forêt de Boyboyba. L'analyse indique que la fosse de Ouéléba Nord supprimera 7 à 15 % du bassin versant en amont. Cette perte de bassin versant a déjà été prise en compte dans l'EIES de Ouéléba, car il a été supposé que la zone située au nord-ouest de la route HME2, qui comprend la fosse de Ouéléba Nord, serait détournée.

Tableau 3-2 : Estimation de la réduction des bassins versants à chaque étape de la fosse

Bassin versant	Réduction du bassin versant (m ²)			Réduction du bassin versant (%)		
	Étape 1	Étape 2	Étape 3	Étape 1	Étape 2	Étape 3
Farako1	77 193	110 043	186 876	1 %	1 %	1 %
Mala1	26 706	26 977	45 337	0,4 %	0,4 %	1 %
Mala2	4 517	4 517	30 461	0,1 %	0,1 %	0,4 %
Miya1	188 178	244 609	495 744	6 %	7 %	15 %
Farako1A	77 193	110 043	186 876	5 %	7 %	11 %
Mala2A	4 517	4 517	30 461	0,3 %	0,3 %	2 %
Miya1A	93 525	149 925	282 740	8 %	12 %	23 %
Miya1B	94 654	94 684	213 004	7 %	7 %	15 %

Remarques :

Les zones colorées du tableau renvoient aux couleurs utilisées sur la Figure 3-1, qui montre l'emprise de la mine à chaque étape et les bassins versants environnants.

Les bassins versants secondaires Farako1, Mala2 et Miya1 sont subdivisés en bassins versants tertiaires. Il n'y a pas de subdivision du bassin versant secondaire Mala1.

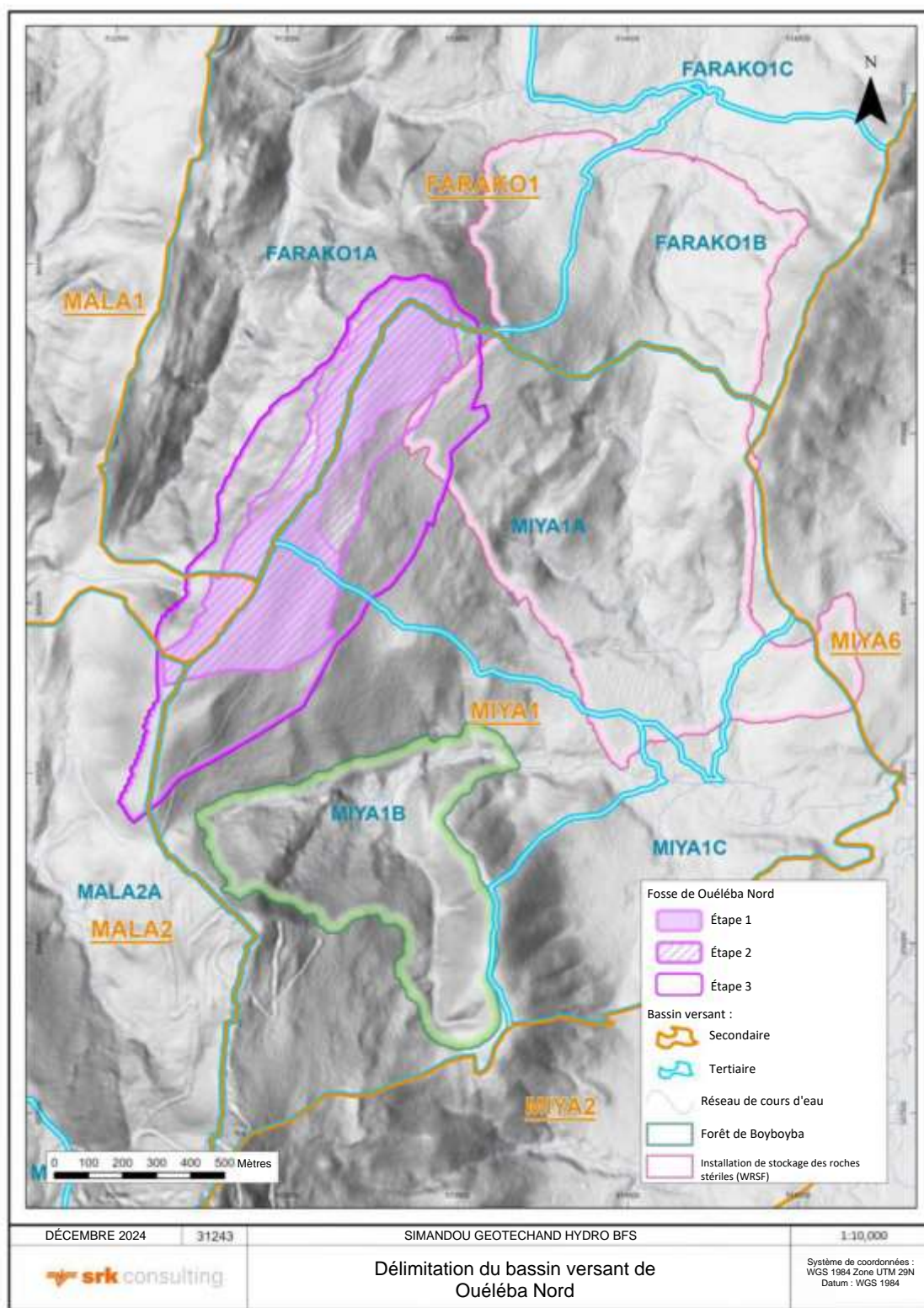


Figure 3-1 : Bassins versants de Ouéléba Nord

3.3 Modèle hydrogéologique conceptuel de Ouéléba Nord

Un modèle hydrogéologique conceptuel (MHC) est une image idéalisée d'un système hydrogéologique, développée à partir de l'interprétation des données disponibles sur les eaux souterraines. Le modèle conceptuel est utilisé pour fournir un résumé de l'interprétation actuelle des systèmes d'écoulement des eaux souterraines dans la région.

Un MHC de Ouéléba Nord, comprenant l'aire des eaux souterraines, a été développé pour informer la conception de la mine. Un résumé est présenté ci-dessous, et le lecteur est invité à consulter le site *Josiane Hydrogeological Conceptual Model Report* (SRK, 2024a) pour plus de détails.

Les principaux aspects du MHC de Ouéléba Nord, présentés sur la

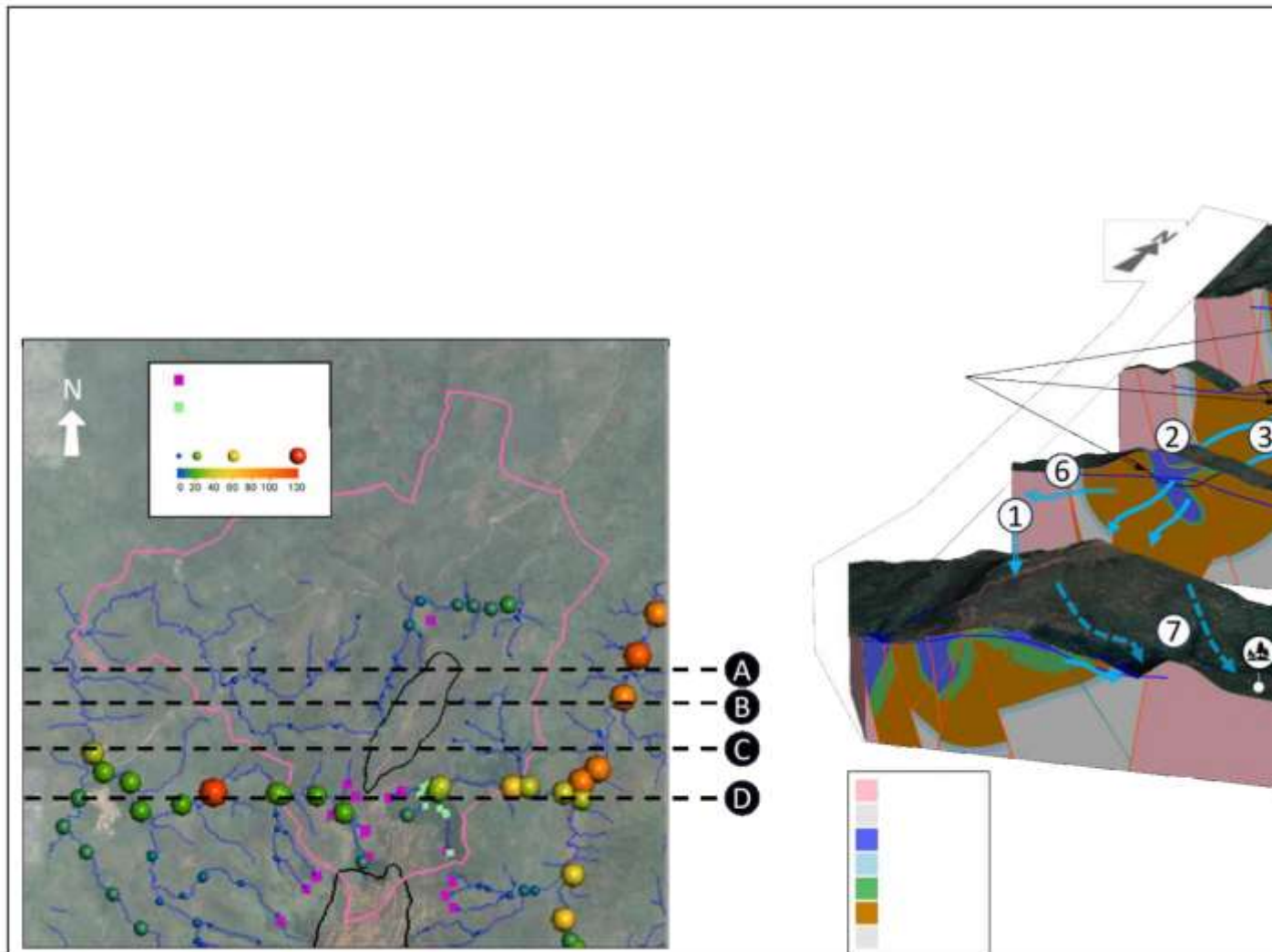


Figure 3-2, sont les suivants :

- Les principales hypothèses décrivant le régime et le comportement des eaux souterraines à Ouéléba (SRK, 2023a) sont valables pour Ouéléba Nord, la direction dominante d'écoulement des eaux souterraines NNE-SSW étant alignée sur la direction de l'aquifère du corps minéralisé. De plus amples détails concernant la relation entre la géologie, le comportement des eaux souterraines et le développement de la fosse de Ouéléba Nord sont fournis dans la section 3.4.

- Les études d'accrétion ont été utilisées pour identifier les décharges d'eaux souterraines dans les cours d'eau environnants. Il n'y a pas d'évidence de décharges importantes d'eau souterraine à l'est ou à l'ouest de la ligne de crête de Ouéléba Nord. Cependant, les données confirment l'écoulement des eaux souterraines dans le ruisseau Farako au nord et dans le bassin versant Miya1 au sud-est, comme nous le verrons plus en détail ci-dessous.
- Les données indiquent que l'écoulement dominant des eaux souterraines se fait vers le nord, en direction du ruisseau Farako. Les itabirites au nord de Ouéléba Nord ne sont pas saturées et aucun trajet lithologique n'est évident en direction du ruisseau Farako. Il est possible que les failles orientées vers le nord-ouest (Jos_NE_1 et Jos_NE_2) exercent une contrainte structurale sur le trajet d'écoulement vers le nord, bien que des structures non cartographiées et/ou un écoulement primaire à travers les unités siliciclastiques soient plausibles d'après les données disponibles.
- L'écoulement vers le sud dans le bassin versant Miya1 semble être contraint en partie par la structure (faille Jos_NE_1) et en partie par l'écoulement dans les unités de quartzite.
- Les précipitations directes et le ruissellement de surface localisé constituent la seule source d'alimentation de l'aquifère du corps minéralisé. La recharge directe du gisement est importante et les taux de ruissellement des eaux de surface sont relativement faibles.
- L'analyse des hydrogrammes des eaux souterraines de Ouéléba Nord et dans le nord d'Ouéleba a permis de mieux comprendre les processus de recharge et l'hétérogénéité de l'aquifère. Les réponses sont très variables, allant de réponses extrêmement rapides aux précipitations à des réponses saisonnières discrètes avec un décalage pouvant aller jusqu'à six mois.
- L'aire des eaux souterraines a été interpolée pour le gisement de Ouéléba Nord et la zone environnante. Le niveau de la nappe phréatique dans le corps minéralisé est d'environ 814 mètres au-dessus du niveau de la mer et diminue au-delà de la ligne de crête.
- Les résultats préliminaires d'un essai de pompage en cours à Ouéléba Nord indiquent que les propriétés hydrauliques sont similaires à celles de Ouéléba. Le degré d'altération influe sur les propriétés hydrauliques de la masse rocheuse. L'écoulement intergranulaire domine dans les unités friables, complété par des voies préférentielles et des vides. Les failles et les fractures présentes dans le gisement de Ouéléba Nord et les unités géologiques qui le bordent peuvent favoriser ou inhiber l'écoulement des eaux souterraines selon qu'il s'agit de structures ouvertes ou fermées.
- La conductivité hydraulique et les coefficients de stockage ont été affinés pour le gisement principal de Ouéléba après l'étalonnage en régime permanent du modèle numérique des eaux souterraines (SRK, 2023c) et sont indiqués dans le Tableau 3-3.

Tableau 3-3 : Conductivité hydraulique et coefficients de stockage après étalonnage en régime permanent (d'après SRK, 2023c)

Unité hydrostratigraphique	Conductivité hydraulique horizontale, K (m/s)	Rendement spécifique, Sy (-)	Stockage spécifique, Ss (1/m)	
Canga / Carapace	$1,16 \times 10^{-5}$		0,05	1×10^{-5}
Minerai friable	$1,74 \times 10^{-5}$	0,2	1×10^{-5}	
Sous-sol dégradé	$2,31 \times 10^{-6}$		0,1	1×10^{-5}

Phyllite altérée	5,00 x 10 ⁻⁷		0,02	1 x 10 ⁻⁵
Sous-sol de saprock	1,16 x 10 ⁻⁶		0,05	1 x 10 ⁻⁵
Roche compacte	1,00 x 10 ⁻⁸	0,005	1 x 10 ⁻⁵	

Les principales incertitudes relatives à la compréhension conceptuelle de l'hydrologie de Ouéléba Nord, dans le contexte des risques liés au Projet, sont les suivantes :

- L'aire des eaux souterraines devra être affinée, en particulier au nord et à l'ouest de la zone de Ouéléba Nord, où les données sur les eaux souterraines sont limitées. La confiance dans les niveaux des eaux souterraines est plus grande vers l'extrémité sud de la crête de Ouéléba Nord, où l'on dispose de plus de données.
- Le mécanisme d'évacuation des eaux souterraines au nord n'est pas bien contraint.
- La mesure dans laquelle le flux méridional provenant de Ouéléba Nord et de la tranchée nord de HME2 se déverse dans la forêt de Boyboyba est mal définie.
- Les propriétés hydrauliques de l'aquifère du gisement et des roches encaissantes adjacentes ne sont pas quantifiées. Pour répondre à cette incertitude, un puits d'assèchement pilote et un programme d'essai de pompage sont en cours de réalisation.

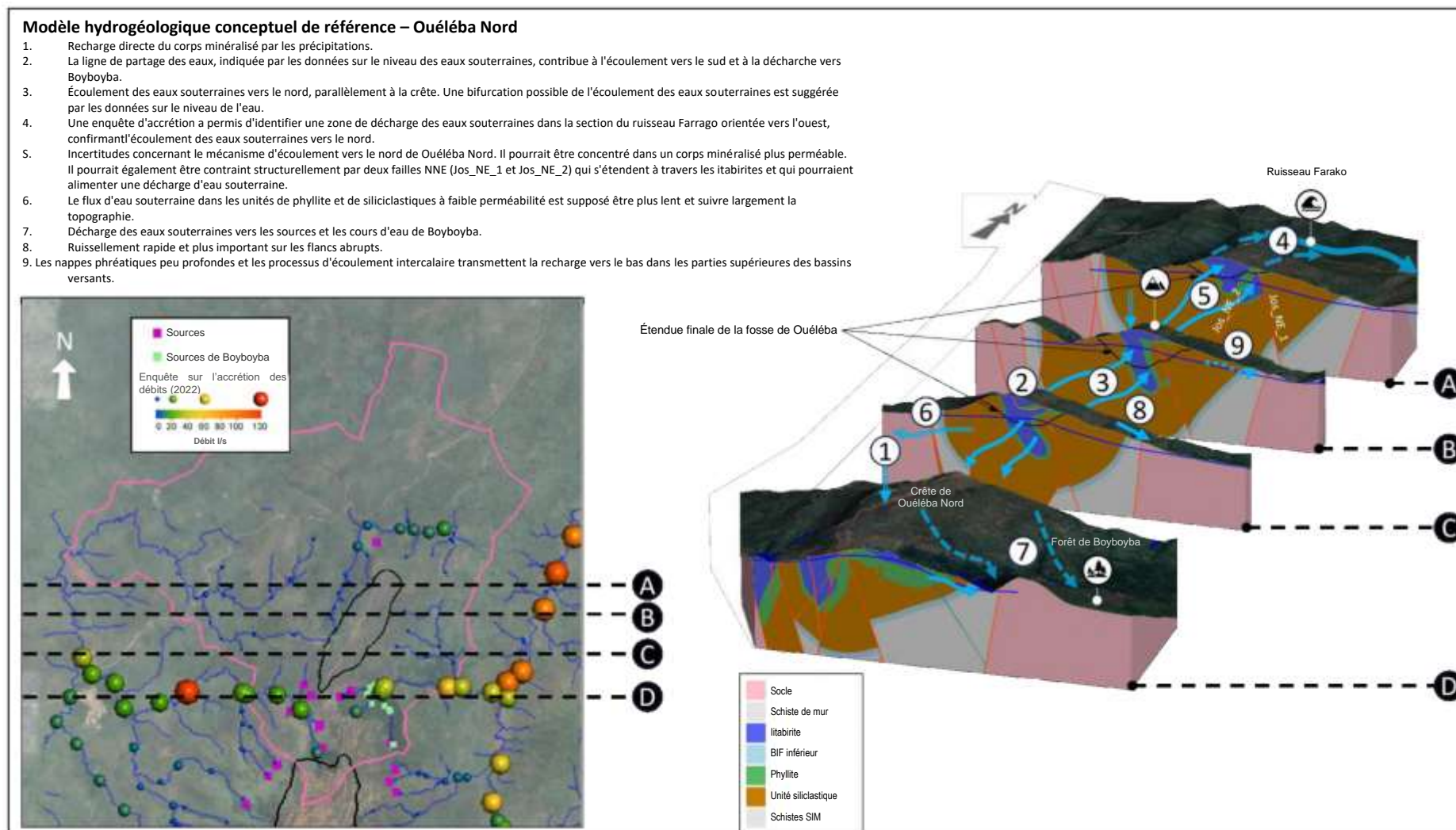


Figure 3-2 : Modèle hydrogéologique conceptuel de Ouéléba Nord (d'après SRK, 2024a)

3.4 Enveloppe, géologie et eaux souterraines des fosses

Les enveloppes des fosses ont été visualisées parallèlement au modèle géologique et à la surface des eaux souterraines générés pour le modèle conceptuel hydrogéologique de Ouéléba Nord (SRK, 2024a) afin de conceptualiser l'écoulement de l'eau dans la fosse et en dehors.

Le Tableau 3-4 résume les principales propriétés de l'enveloppe des Étapes 1, 2 et 3 de la fosse de Ouéléba Nord. La progression de la fosse est illustrée par la

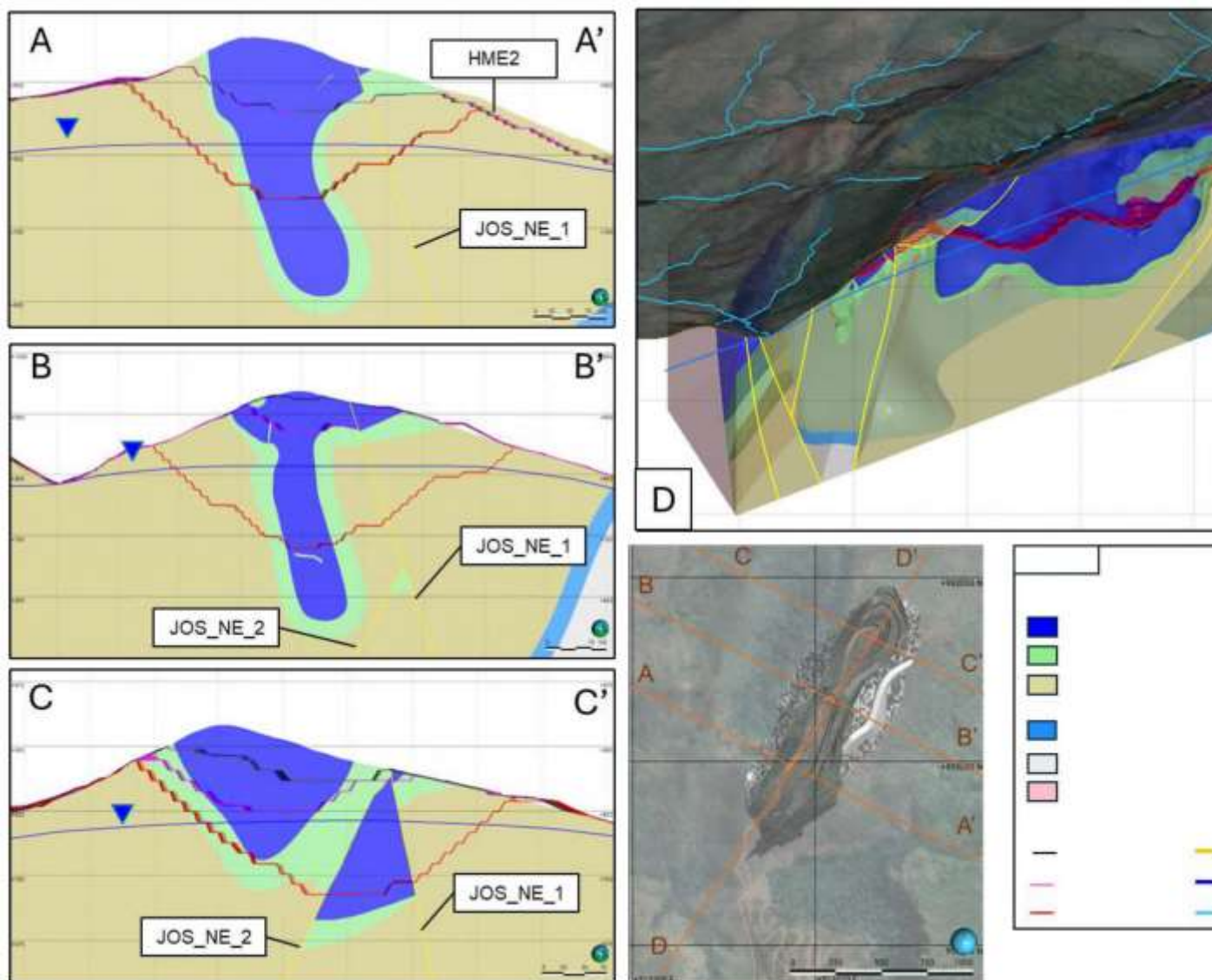


Figure 3-3.

Tableau 3-4 : Résumé des étapes de la fosse de Ouéléba Nord

Étape	Surface d'emprise (m ²)	Volume excavé (m ³)	Profondeur maximale (m sous le niveau du sol)
1	296 840	9 990 300	102
2	386 460	6 578 300	106
3	759 030	56 324 000	261

La relation entre l'enveloppe des fosses, la géologie et les eaux souterraines est illustrée sur

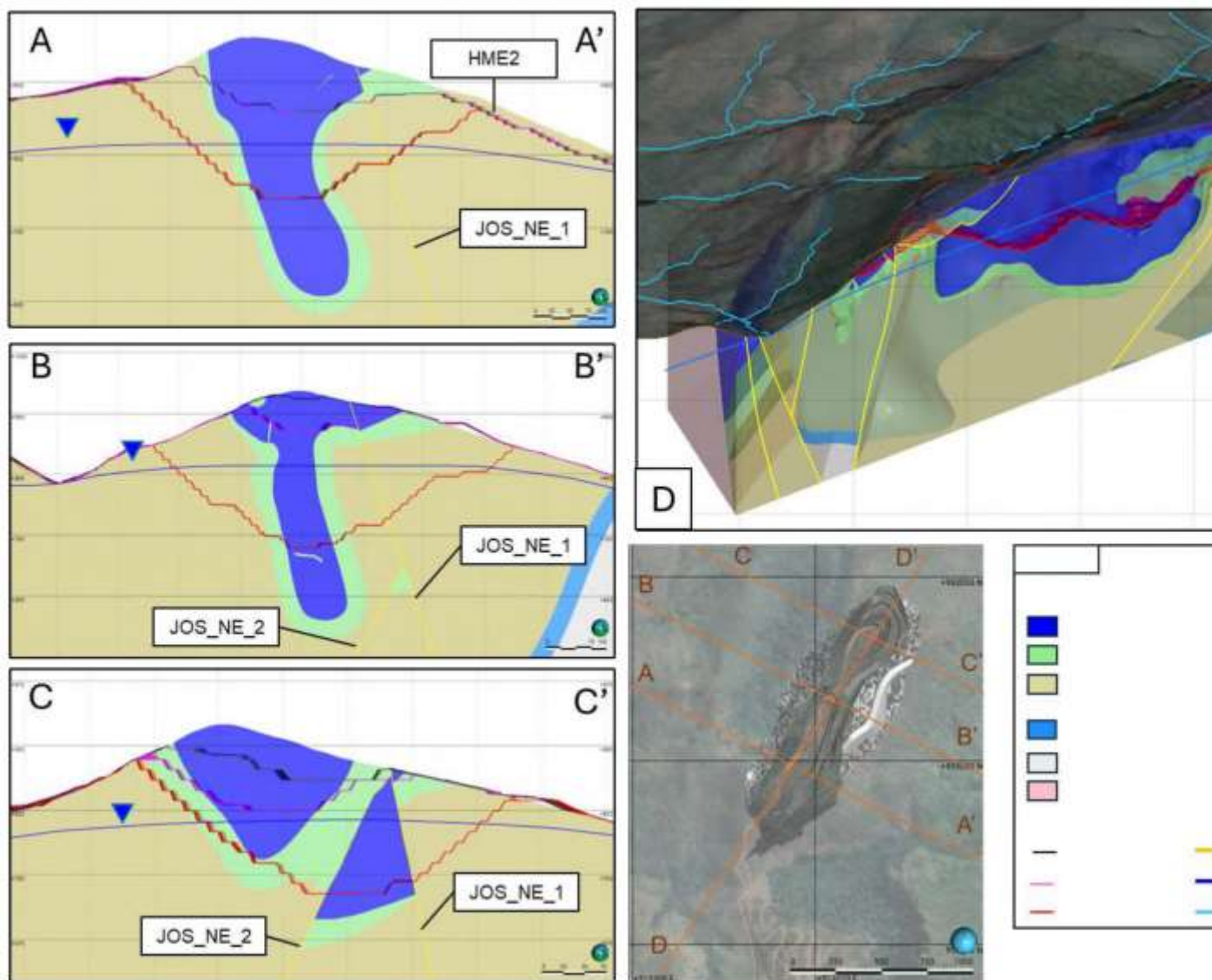


Figure 3-3. La figure illustre quatre coupes transversales de la fosse : trois sections transversales à travers les zones sud, centrale et nord de la fosse (sections transversales A, B et C respectivement), et une section longitudinale (section transversale D).

Les principales unités géologiques interceptées par l'enveloppe des fosses sont des pierres de fer (hématite et itabirite), des phyllites et des unités siliciclastiques. L'unité siliciclastique comprend une intercalation de quartzite et de phyllite. La zone centrale de la fosse est dominée par les pierres de fer, tandis que les pentes de la fosse sont principalement composées d'unités siliciclastiques. Le degré d'altération influe sur les propriétés hydrauliques de la masse rocheuse. L'altération affecte généralement les sédiments peu profonds situés à moins de 50 m de la surface du sol. Cependant, la profondeur de l'altération est plus importante dans les pierres de fer (jusqu'à 400 m).

Une analyse plus approfondie de chaque étape de la fosse est présentée ci-dessous.

Étapes 1 et 2 de la fosse

- L'enveloppe des fosses des Étapes 1 et 2 n'intercepte pas le niveau de la nappe phréatique avant l'exploitation. Les précipitations directes et le ruissellement de surface devraient constituer la principale source d'apport d'eau.
- Un certain flux entrant peut provenir des trous de drainage de décharge de la pression interstitielle mais on s'attend à ce que ce volume soit très faible par rapport aux précipitations et au ruissellement. L'écoulement se produit d'abord lorsque les pentes de la fosse sont dépressurisées. Par la suite, les unités à faible perméabilité, telles que les phyllites, peuvent être saturées dans les zones peu profondes après les précipitations. Il peut en résulter des apports dans la fosse en raison de l'écoulement intercalaire à travers ces unités.
- La plupart des excavations se font dans des matériaux très altérés ou friables, qu'il s'agisse de sols résiduels ou de roches très fragiles. L'écoulement intergranulaire devrait être le mécanisme d'écoulement dominant dans ces unités.

Étape 3 de la fosse

- La fosse avancera sous la nappe phréatique à l'Étape 3. La profondeur maximale sous la surface de la nappe phréatique avant exploitation est de 134 m, avec une moyenne de 48 m. Environ 55 % de l'emprise de la fosse (~414 150 m²) sera exploitée sous le niveau de l'eau.
- Les apports d'eau souterraine les plus importants sont attendus lorsque la fosse interceptera des pierres de fer friables. L'hématite est la principale unité de pierre ferreuse dans l'emprise de la fosse. L'hématite présente une conductivité hydraulique et un coefficient de stockage plus élevés que les unités environnantes et l'écoulement des eaux souterraines est principalement intergranulaire. L'hématite est généralement présente au centre et au fond de la fosse.
- À des profondeurs plus importantes, des roches plus compétentes sont interceptées et la porosité secondaire, contrôlée par des structures perméables, contribue à l'écoulement des eaux souterraines. Des infiltrations localisées associées à des intervalles fracturés et à la foliation sont attendues. C'est le cas des itabirites, des phyllites et des unités siliciclastiques plus compactes.
- La pente sud-est des fosses partielles sud et centrale est interceptée par une faille NE-SW (JOS_NE_1), parallèle à la direction de la fosse et plongeant vers le sud-est. Le fond de la fosse partielle nord est intercepté par une structure parallèle (JOS_NE_2), qui plonge vers l'ouest.
- Il n'existe pas de preuves directes démontrant que les failles orientées vers le nord-est soient perméables. Cependant, les réponses de recharge éclair observées dans les données PFV suggèrent que la présence de voies de recharge préférentielles et de discontinuités telles que les failles, pourrait être liée à ce processus. Par conséquent, un certain flux entrant est prévu lorsque la fosse interceptera des structures de faille.

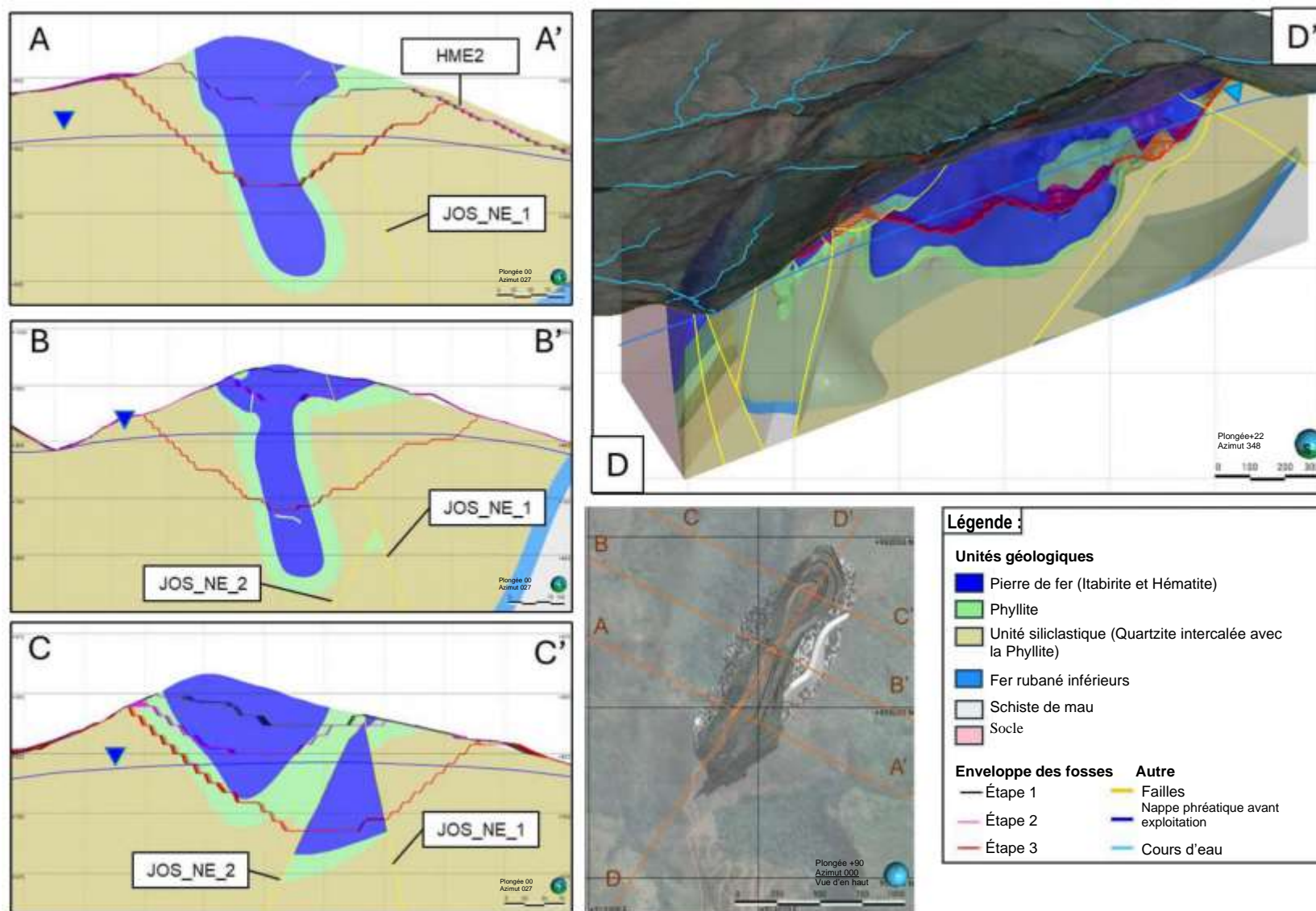


Figure 3-3 : Relation entre l'enveloppe des fosses de Ouéléba Nord, la géologie et les eaux souterraines

3.5 Modèle de comptabilisation des eaux de surface de Ouéléba

Le modèle de comptabilisation des eaux de surface SWAc (Surface Water Accounting) développé pour la fosse de Ouéléba (SRK, 2023c) a été utilisé pour estimer la recharge pluviale, l'écoulement intermédiaire, l'évaporation et l'infiltration dans les eaux souterraines pour la fosse de Ouéléba Nord.

Le modèle SWAc est un modèle distribué utilisé pour simuler les processus pédologiques, topographiques et atmosphériques qui divisent les précipitations en recharge des eaux souterraines, en ruissellement des eaux de surface et en évaporation réelle. Les paramètres du modèle SWAc appliqués à la zone de WRSF1 dans des conditions opérationnelles sont similaires aux propriétés appliquées à la fosse de Ouéléba, et par conséquent les résultats pour la zone de WRSF1 sont considérés comme appropriés pour la fosse de Ouéléba Nord. Les pourcentages de répartition des précipitations pour la zone de WRSF1 dans les conditions de référence et les conditions opérationnelles sont présentés dans le Tableau 3-5.

Dans les conditions préopérationnelles, environ 67 % des précipitations directes sont perdues par évaporation, 19 % étant retenus dans la canopée et le reste s'évaporant à partir du sol. Sur les 33 % de précipitations restantes, la majeure partie (24 %) s'infiltré dans le circuit d'eaux souterraines sous forme de recharge, le reste (9 %) s'écoulant vers le réseau d'eaux de surface sous forme de ruissellement et d'inter-flux à travers les sédiments peu profonds.

Dans les conditions opérationnelles, le sol est dénudé et toutes les précipitations atteignent le niveau du sol (c'est-à-dire une absence de perte due à la canopée). Le ruissellement rapide augmente de 5 % à 36 %, et l'infiltration dans les eaux souterraines augmente également de 23 % à 34 %. L'écoulement intercalaire reste similaire. La proportion des précipitations perdues par évaporation diminue de 67 % à 26 %.

Tableau 3-5 : Comparaison du bilan hydrique SWAc pour les scénarios de référence et opérationnel au niveau de WRSF1 (d'après SRK, 2023c)

Composante	ID de la composante / calcul	État de référence (run65_WRSF1)	État opérationnel (run71_WRSF1)
Précipitations	1	100,0 %	100,0 %
Précipitations au niveau du sol	2	80,8 %	100,0 %
Ruissellement rapide	3	4,9 %	36,3 %
Recharge par infiltration	4	23,4 %	34,1 %
Écoulement intercalaire dans les eaux de surface	5	4,5 %	4,1 %
Recharge combinée	= 4	23,4 %	34,1 %
Eaux de surface combinées	= 3 + 5	9,3 %	40,4 %
Évaporation réelle combinée	= 1 – (3+4+5)	67,8 %	25,7 %

3.6 Calcul du volume d'eau des fosses

Le volume d'eau rapporté à la fosse de Ouéléba Nord a été estimé à partir des résultats du modèle SWAc et de l'emprise de la fosse au fur et à mesure des étapes. L'analyse adopte une approche très simplifiée et il existe un degré élevé d'incertitude, en particulier en ce qui concerne les flux entrants d'eau souterraine, de sorte que les prévisions doivent être considérées uniquement comme indicatives.

Les résultats du modèle SWAc (section 3.5) ont été combinés avec des données climatiques pour estimer les apports potentiels d'eau de surface (section 3.6.1). Les apports d'eau souterraine ont été approximés en se basant sur les apports prévus à la fosse de Ouéléba (sections 3.6.2). Les principaux flux de sortie de la fosse, l'infiltration et l'évaporation, ont été estimés dans la section 3.6.3 sur la base de l'analyse SWAc. Les débits entrants et sortants sont combinés à la géométrie de la fosse pour évaluer le temps nécessaire pour inonder le vide de la fosse (section 3.6.4).

3.6.1 Flux entrant : Précipitations directes

Les apports d'eau de surface à la fosse ont été calculés en multipliant la surface de l'emprise de la fosse à chaque étape par les précipitations annuelles moyennes (PAM).

Le rapport de référence sur le climat (SRK, 2022) caractérise les précipitations dans la région, en se basant sur les stations météorologiques locales. La station de Canga Est possède l'enregistrement pluviométrique le plus long et le plus fiable et c'est la plus représentative de la crête de Ouéléba. Elle est donc utilisée pour cette analyse. La PAM basée sur un enregistrement de 19 ans (2002 - 2020) est de 1 739 mm/an, avec un minimum de 1 346 mm et un maximum de 2 030 mm.

La Figure 3-4 indique les débits minimum, maximum et moyens annuels estimés pour chaque étape de la fosse sur la base des valeurs de PAM de Canga East.

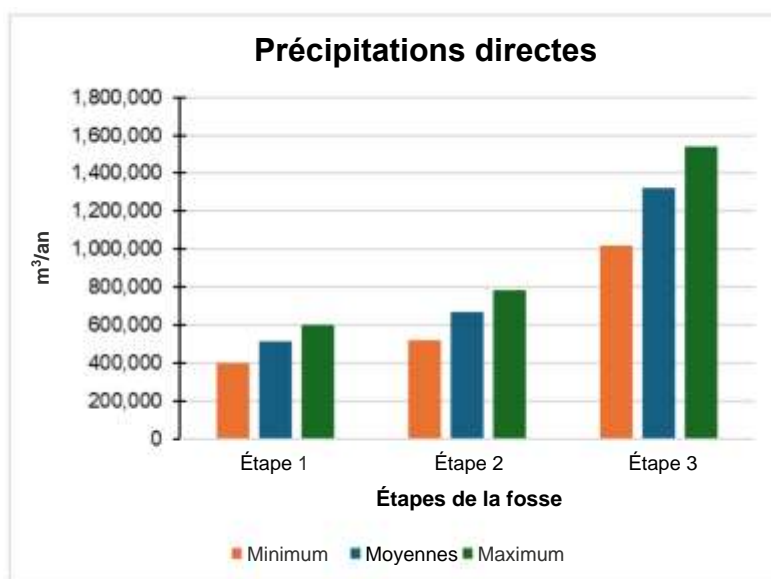


Figure 3-4 : Précipitations annuelles directes à la fosse de Ouéléba Nord
 Les valeurs mensuelles ont également été prises en compte pour donner une vue d'ensemble de la saisonnalité sur le site. Les f

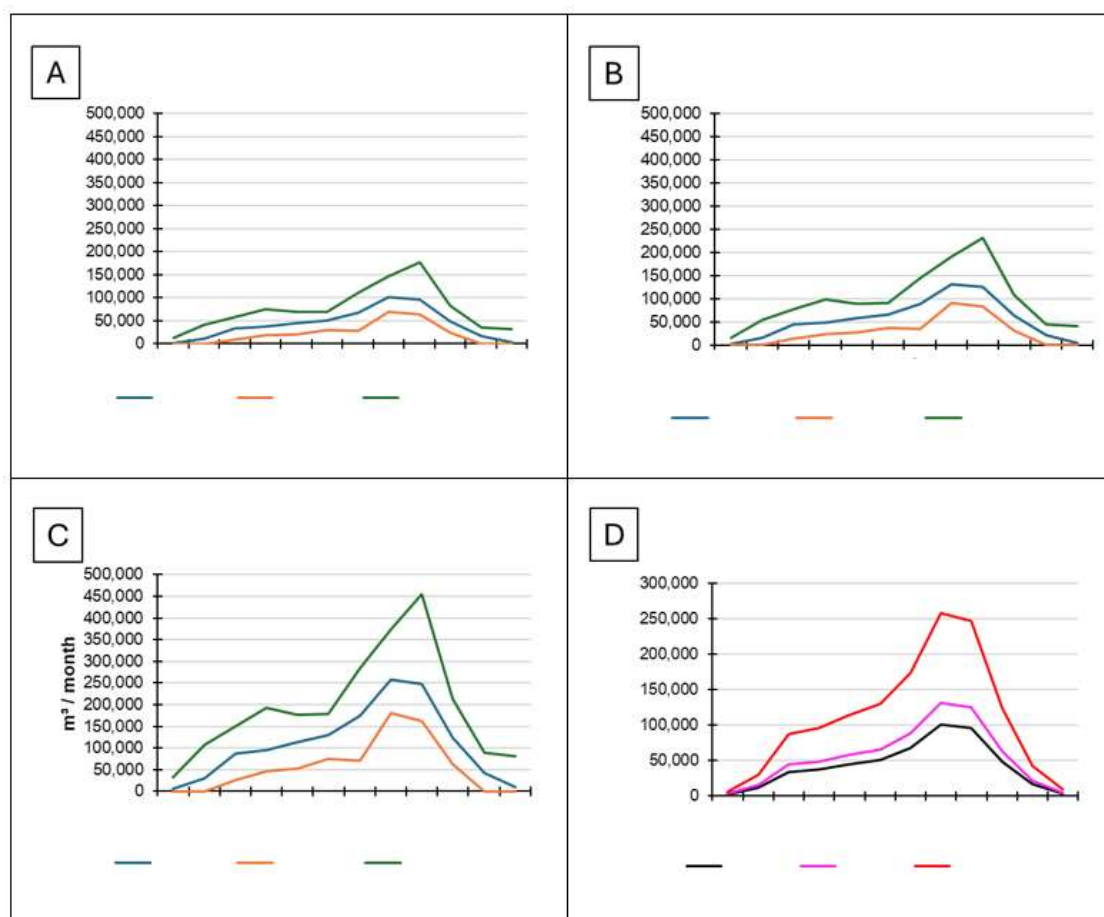


Figure 3-5(A), (B) et (C) montrent les fluctuations mensuelles du flux entrant d'eau de surface dans la fosse pour les Étapes 1, 2 et 3 respectivement, en tenant compte des précipitations mensuelles minimales, maximales et moyennes. La

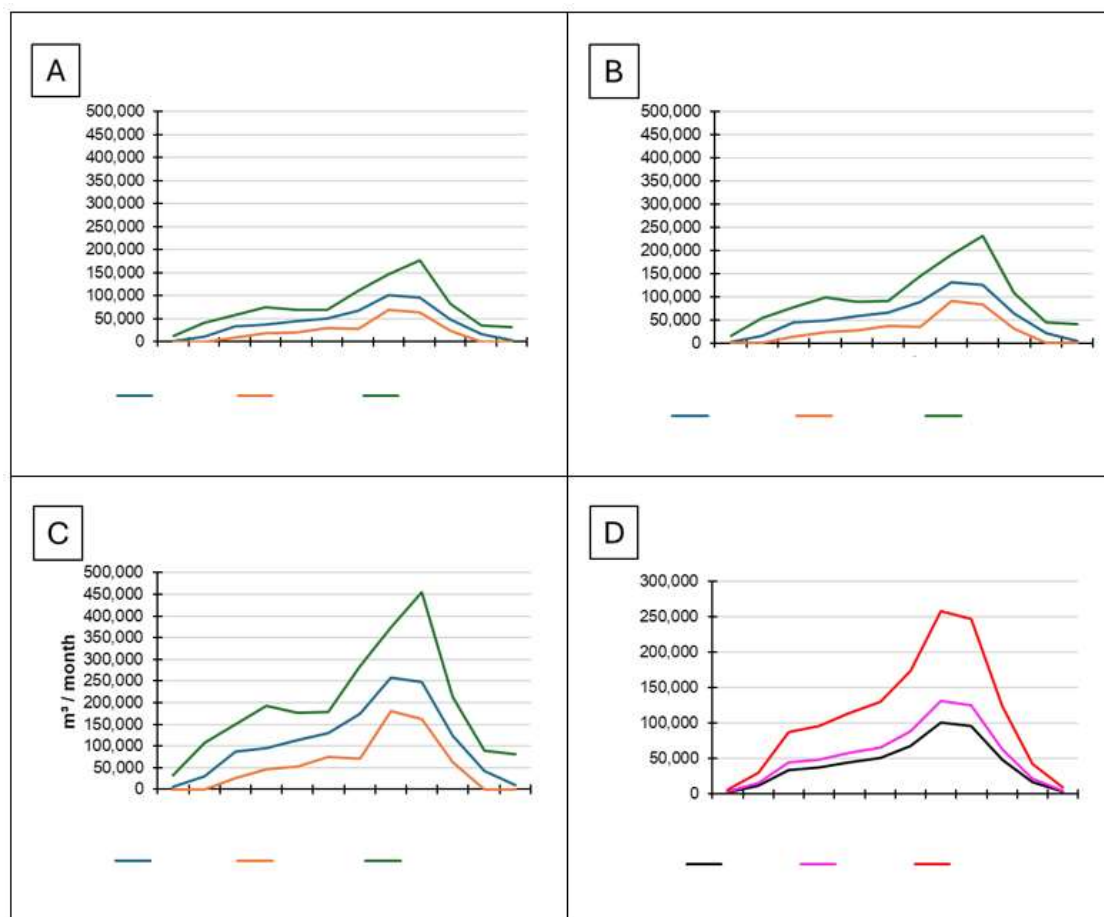


Figure 3-5(D) compare le scénario moyen de chaque étape de la fosse. L'augmentation du volume de flux entrant démontrée dans la

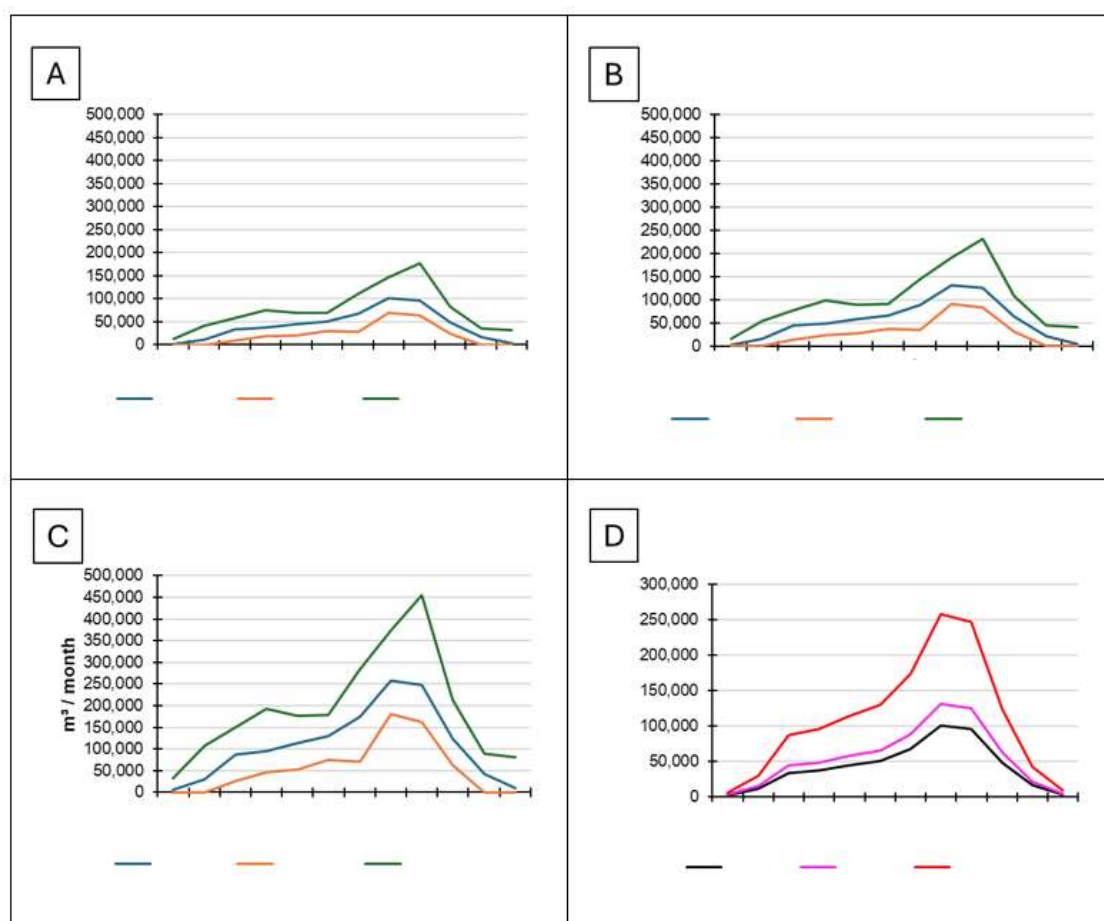


Figure 3-5(D) est proportionnelle à l'augmentation de la surface de l'emprise de la fosse. L'emprise des Étapes 1 et 2 est similaire, mais on observe une nette expansion à l'Étape 3.

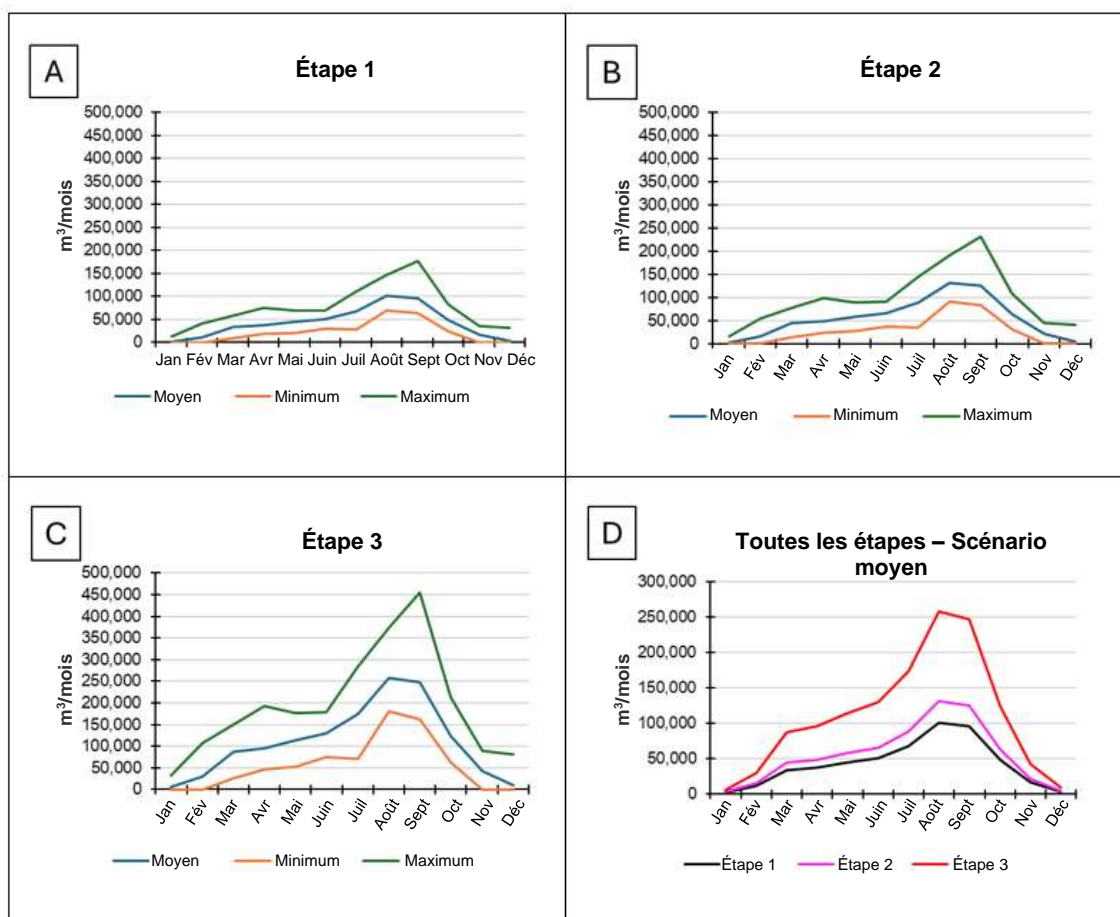


Figure 3-5 : Fluctuations mensuelles des flux entrants d'eau de surface à la fosse de Ouéléba Nord

3.6.2 Flux entrant : Eaux souterraines

Au cours des Étapes 1 et 2, la base de la fosse se trouve au-dessus du niveau de la nappe phréatique avant l'exploitation, de sorte que les apports d'eau souterraine devraient être proches de zéro (voir la section 4.2). Cependant, la fosse de l'Étape 3 recoupera la nappe phréatique et les apports d'eau souterraine doivent donc être pris en compte au cours de l'Étape 3.

Les flux entrants d'eau souterraine vers la fosse de Ouéléba Nord ont été estimés à partir des apports de la fosse de Ouéléba prédits par le modèle numérique (SRK, 2023c) en utilisant l'approche suivante :

1. L'enveloppe des fosses de Ouéléba ont été comparées à l'enveloppe de la fosse de l'Étape 3 de Ouéléba Nord afin d'identifier les fosses de Ouéléba dont la profondeur sous la nappe phréatique est similaire à celle de la fosse de l'Étape 3 de Ouéléba Nord. Les fosses de Ouéléba de l'année 15 et de l'année 21 ont été sélectionnées en fonction de leur position par rapport à la nappe phréatique avant l'exploitation. La fosse de Ouéléba de l'année 15 est légèrement moins profonde que la fosse de Ouéléba Nord, et la fosse de Ouéléba de l'année 21 est légèrement plus profonde.

2. Les débits d'exhaure passive pour les fosses de Ouéléba de l'année 15 et de l'année 21 ont été extraits du rapport de modélisation numérique (SRK, 2023c). Les débits sont indiqués dans la colonne de droite du Tableau 3-6.
3. Pour tenir compte de la différence de superficie entre Ouéléba et Ouéléba Nord, un apport normalisé a été calculé en divisant l'apport total d'eau souterraine par la superficie excavée sous le niveau de l'eau.
4. La profondeur sous le niveau de la nappe phréatique avant exploitation à Ouéléba Nord se situe entre celles des deux fosses de Ouéléba décrites ci-dessus. Par conséquent, le flux entrant normalisé pour Ouéléba Nord a été calculé comme une moyenne des débits d'entrée estimés pour les deux fosses de Ouéléba.
5. Le flux entrant normalisé calculé à l'étape 4 a été multiplié par la zone exploitée sous le niveau de l'eau à Ouéléba Nord pour estimer le débit total des eaux souterraines dans la fosse de Ouéléba Nord. Le flux entrant d'eau souterraine prévu est d'environ 1,8 Mm³/an (60 L/s).

Les étapes du calcul sont résumées par le Tableau 3-6.

Tableau 3-6 : Estimation du flux entrant d'eau souterraine dans la fosse de Ouéléba Nord à l'Étape 3

Fosse	Enveloppe de la fosse	Profondeur de la fosse (mètres sous le niveau de la nappe phréatique avant exploitation)		Surface sous la nappe phréatique (m ²)	Flux entrant normalisé d'eau souterraine (L/s par m ²)	Prévision du flux entrant d'eau souterraine	
		Maximum	Moyenne			m ³ /an	L/s
Ouéléba	Année 15	107	37	1 227 860	0,00012	4 730 400	150
Ouéléba	Année 21	178	59	1 967 244	0,00017	10 249 200	325
Ouéléba Nord	Étape 3	134	49	414 149	0,00014	1 876 607	60

Remarques :

Les valeurs calculées sont surlignées en bleu.

L'approche est suffisante pour une estimation de haut niveau étant donné la similarité du régime d'écoulement des eaux souterraines et des propriétés des unités hydrogéologiques à Ouéléba Nord et Ouéléba (section 3.3). Cependant, il existe des différences entre les gisements qui font que la méthode est susceptible de surestimer les flux entrants d'eau souterraine dans la fosse de Ouéléba Nord :

- Le volume du gisement de Ouéléba Nord est nettement inférieur à celui de Ouéléba. Le minerai a un rendement spécifique (c'est-à-dire un volume de stockage) beaucoup plus élevé que les unités environnantes et contribue donc de manière significative au flux entrant d'eaux souterraines pendant l'assèchement de la fosse. Étant donné qu'une proportion plus faible du vide de la fosse à Ouéléba Nord est constituée de minerai (par rapport à Ouéléba), l'eau libérée du stockage sera plus faible que ce qui est actuellement prévu.

- Une part importante du flux entrant modélisé à l'extrémité nord de Ouéléba provient de l'extrémité sud du gisement de Ouéléba. À Ouéléba Nord, le volume du gisement à l'extérieur de la fosse est faible et il y a une ligne de partage des eaux souterraines au sud de la fosse qui tronque les eaux souterraines en provenance du sud. Il est probable que la contribution de l'écoulement régional des eaux souterraines vers la fosse sera plus faible à Ouéléba Nord que prévu à Ouéléba.

Le taux de flux entrant des eaux souterraines indiqué sur le Tableau 3-6 est donc considéré comme prudent.

3.6.3 Flux sortant : Infiltration et évaporation

Les principaux facteurs de flux sortant de la fosse de Ouéléba Nord sont l'infiltration dans les eaux souterraines et l'évaporation.

Les taux d'infiltration et d'évaporation basés sur les proportions du modèle SWAc et les précipitations moyennes annuelles sont présentés par le Tableau 3-7. Ces taux sont considérés comme applicables à toutes les étapes de la fosse de Ouéléba Nord sur la base du fait que l'assèchement actif (puits) maintiendra la nappe phréatique sous le plancher de la fosse au cours de l'Étape 3 et conservera la capacité d'infiltration.

Tableau 3-7 : Calcul de l'infiltration et de l'évaporation réelle avec les précipitations annuelles moyennes

Composante	État opérationnel	Précipitations annuelles moyennes (mm/an)
	(run71_WRSF1)	
Précipitations	100,0 %	1 739
Précipitations au niveau du sol	100,0 %	1 739
Ruissellement rapide	36,3 %	632
Recharge par infiltration	34,1 %	592
Écoulement intercalaire dans les eaux de surface	4,1 %	71
Recharge combinée	34,1 %	592
Eaux de surface combinées	40,4 %	702
Évaporation réelle combinée	25,7 %	447

Les résultats du modèle SWAc présentent une moyenne annuelle, mais l'évaporation fluctue. Le rapport Climate Baseline (SRK, 2022) caractérise l'évaporation dans la région. L'évaporation est plus importante pendant la saison sèche et plus faible pendant la saison humide.

3.6.4 Analyse du volume selon les étapes

L'assèchement actif cessera pendant la période d'inactivité suivant l'Étape 2 et la phase de fermeture suivant l'Étape 3, il est donc possible qu'un lac de fosse se forme. Étape : des courbes de volume ont été produites pour les fosses des Étapes 2 et 3, définissant la relation entre le volume et l'élévation du lac de la fosse.

La Figure 3-6 montre la courbe pour chaque étape de la fosse. L'élévation du niveau de débordement est définie par l'élévation minimale de la crête de la fosse, qui est mise en évidence par une ligne pointillée rouge sur les graphiques. Pour l'Étape 2, le lac de fosse ne connecte pas les fosses partielles sud et nord, de sorte que deux courbes distinctes sont produites pour cette étape.

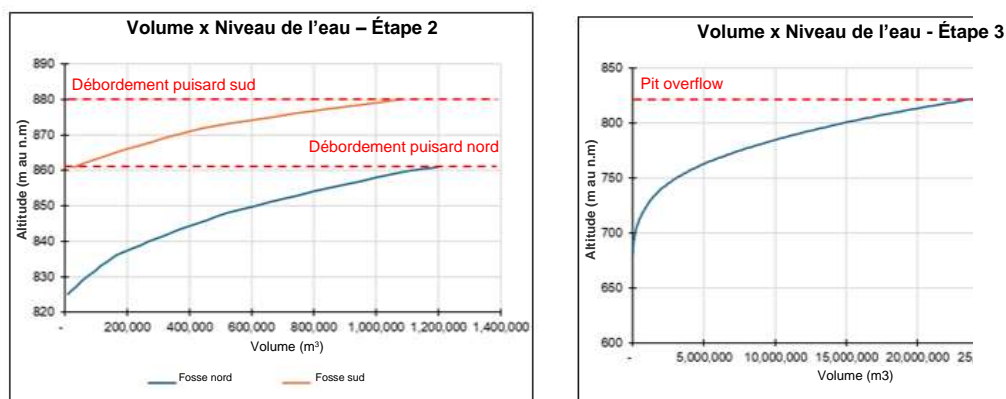


Figure 3-6 : Rapport étape/volume pour les fosses des Étapes 2 et 3. Le niveau d'eau de débordement de la fosse est surligné en rouge.

Le volume maximal du lac de la fosse a été combiné avec les débits de flux entrant et sortant annuels prévus pour estimer le temps nécessaire pour inonder le vide de la fosse, c'est-à-dire le temps nécessaire pour que le lac de la fosse déborde si aucune gestion de l'eau n'est entreprise. Le tableau 3-8 **Error! Reference source not found.** présente le calcul du bilan hydrique pour la période d'inactivité et la phase de fermeture, respectivement pour les fosses de l'Étape 2 et de l'Étape 3.

Les calculs estiment que le lac de la fosse débordera pendant la période d'inactivité (enveloppe de la fosse de l'Étape 2) et pendant la phase de fermeture (enveloppe de la fosse de l'Étape 3) après huit et quarante-sept ans respectivement. Il existe un risque de débordement de la fosse pendant la période d'inactivité de 15 ans et après la fermeture.

Il est à noter que le débit du flux entrant des eaux souterraines est probablement surestimé (voir section 3.6.2). Inversement, le calcul du bilan hydrique sous-estime l'évaporation car le taux d'évaporation d'un lac de fosse est plus élevé que l'évaporation du sol utilisée dans le modèle SWAC. Par conséquent, le temps nécessaire pour inonder le vide de la fosse sera probablement plus long que les valeurs fournies dans le tableau 3-8. Néanmoins, il reste possible qu'un lac de fosse déborde pendant la période d'inactivité et après la fermeture.

Tableau 3-8 : Estimation du délai de débordement du lac de fosse dans l'hypothèse d'une absence de gestion de l'eau

Analyse connexe →	Volume de la fosse / fosse partielle (m³)	Pluies directes (m³/an)	Flux entrant d'eaux souterraines (m³/an)	Évaporation (m³/an)	Infiltration (m³/an)	Flux entrant net (m³/an)	Délai de débordement (années)
Fosse ↓	Figure 3-6	Section 3.6.1	Section 3.6.2	Section 3.6.3	Section 3.6.3	Flux entrant – Flux sortant	Flux entrant net/volume de la fosse
Étape 2_Fosse complète	2 273 950	672 050	0	172 800	228 850	270 450	8,4
Étape 2_Fosse partielle sud	1 078 100	377 000	0	96 950	128 400	151 700	7,1
Étape 2_Fosse partielle nord	1 195 850	295 050	0	75 850	100 450	118 700	10,1

Étape 3_Fosse complète	24 816 750	1 319 950	0	339 350	449 450	2 407 750	46,7
-------------------------------	-------------------	------------------	----------	----------------	----------------	------------------	-------------

Remarques :

Aucune analyse n'est présentée pour l'Étape 1 car les eaux de la fosse seront gérées et il n'y a donc pas de risque de débordement.

L'enveloppe de fosse de l'Étape 2 représente le début de la période d'inactivité. L'enveloppe de fosse de l'Étape 3 représente le début de la phase de fermeture.

4 BILAN HYDROLOGIQUE CONCEPTUEL DE LA FOSSE

4.1 Introduction

Cette section décrit le bilan hydrique conceptuel de la fosse de Ouéléba Nord. Un modèle conceptuel est présenté pour chaque étape, y compris la période d'inactivité suivant l'Étape 2 et la période post-fermeture. Une définition des étapes de la fosse a été fournie à la section **Error! Reference source not found.** et la géométrie des fosses a été résumée dans le Tableau 3-4.

Le modèle conceptuel du bilan hydrique de la fosse décrit les flux entrants, les flux sortants et le potentiel de formation de lacs de fosse. Un résumé du bilan hydrique de la fosse est fourni pour chaque étape dans Le modèle conceptuel de la fosse de Ouéléba Nord est résumé par la Figure 4-1.

Tableau 4-1 Les valeurs du tableau 4-1 est basé sur l'analyse présentée à la section 4, en supposant des PAM moyennes.

Le modèle conceptuel de la fosse de Ouéléba Nord est résumé par la Figure 4-1.

Tableau 4-1 : Bilan hydrologique de la fosse pour chaque étape en supposant des précipitations annuelles moyennes

	Paramètres (valeurs en m ³ /an)	Étape 1	Étape 2 ⁽¹⁾	Étape 3	Fermeture
Flux entrants	Précipitations directes	517 000	673 000	1 320 000	1 320 000
	Eaux souterraines	0	0	1 877 000	0
	Total des flux entrants	517 000	673 000	3 197 000	1 320 000
Flux sortants	Évaporation	133 000	173 000	340 000	340 000
	Infiltration	176 000	229 000	450 000	450 000
	Total des flux sortants	309 000	402 000	789 000	789 000
Bilan net		208 000	271 000	2 408 000	531 000

Remarques

1. Les calculs s'appliquent également à la période d'inactivité.

4.2 Étape 1 et Étape 2

Flux entrants

La principale source de flux entrant sera due aux précipitations directes sur l'emprise de la fosse. Les eaux de ruissellement s'écoulent vers les puits situés au fond de la fosse. Il peut y avoir un certain écoulement intercalaire dans le matériau fracturé derrière les parois de la fosse, qui s'écoulera également vers les puits de la fosse. L'analyse indique que le volume des précipitations directes dans la fosse sera de l'ordre de 400 000 à 600 000 m³/an à l'Étape 1, et de 520 000 à 780 000 m³/an à l'Étape 2 (section 3.6.1).

La base des Étapes 1 et 2 se trouve au-dessus de la nappe phréatique antérieure à l'exploitation, et l'on ne s'attend donc pas à ce que des eaux souterraines pénètrent dans la fosse. Cependant, il peut y avoir une petite quantité d'eau souterraine provenant des trous de drainage de décharge de la pression interstitielle dans les parois de la fosse.

Flux sortants

La modélisation SWAc indique qu'environ 34 % des précipitations directes s'infiltreront dans les eaux souterraines, 26 % s'évaporeront et les 40 % restants s'écouleront dans les puits de la fosse sous forme d'eau de surface (Tableau 3-5). Ces proportions du modèle SWAc représentent une moyenne annuelle.

Les données climatiques montrent une nette saisonnalité (

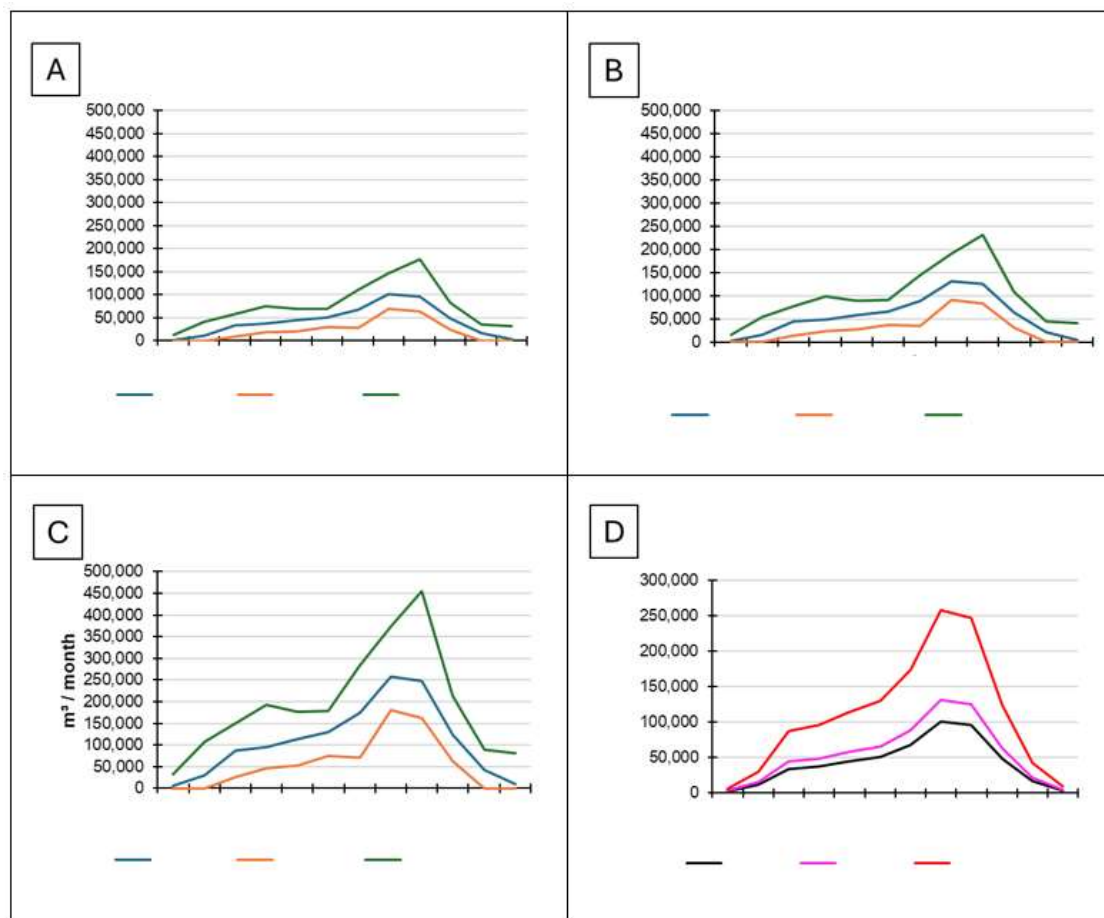


Figure 3-5). Les précipitations directes mensuelles prévues varient de zéro à 180 000 m^3/mois à l'Étape 1, et de zéro à 230 000 m^3/mois à l'Étape 2. Le volume d'eau entrant dans la fosse varie en fonction de l'intensité des précipitations et des conditions antérieures. Il est probable que le ruissellement des eaux de surface augmentera lors des événements de forte intensité, une plus grande proportion des précipitations directes s'écoulant vers les puisards de la fosse sous forme de ruissellement des eaux de surface. Inversement, pendant les périodes de précipitations relativement faibles, l'évaporation de la surface des fosses est susceptible d'être supérieure à la moyenne annuelle et le ruissellement des eaux de surface est plus faible.

Les puisards de la base de la fosse recoupent le minerai friable. Cette unité présente une conductivité hydraulique plus élevée que les roches murales adjacentes (Tableau 3-3), ce qui favorisera l'infiltration vers le bas en direction de la nappe phréatique. Le taux d'infiltration n'a pas été évalué pour Ouéléba Nord.

Bilan hydrologique

Le bilan hydrique annuel positif net est d'environ 210 000 m^3/an et 270 400 m^3/an pour les Étapes 1 et 2 respectivement, dans des conditions de précipitations moyennes (tableau 4-1).

Le bilan hydrique net est probablement saisonnier, l'excès d'eau étant plus susceptible de se produire pendant la saison humide (juillet à octobre), lorsque les précipitations mensuelles sont plus importantes et l'évaporation plus faible. Inversement, un bilan hydrologique négatif prévaudra probable pendant la saison sèche (de novembre à février), lorsque les précipitations directes sont plus faibles et l'évaporation plus importante.

Gestion des eaux des fosses

L'eau s'accumule dans des puisards au fond de la fosse. Le volume d'eau qui s'écoulera vers les puisards sera largement déterminé par les précipitations saisonnières, comme décrit ci-dessus. La position des puisards dans le minerai friable maximisera le potentiel d'infiltration vers le bas, mais il peut y avoir un excès d'eau qui nécessitera une gestion active.

4.3 Période Inactif après l'Étape 2

Flux entrants

Les flux entrants pendant la période d'inactivité seront globalement conformes à ceux de l'Étape 2 (section 4.2), c'est-à-dire que les précipitations directes constitueront la principale source d'eau.

Aucun apport d'eau souterraine n'est prévu pendant la période d'inactivité.

Flux sortants

Les flux sortants passifs pendant la période d'inactivité seront largement conformes à ceux de l'Étape 2 (section 4.2), c'est-à-dire évaporation et infiltration dans les eaux souterraines à travers le minerai friable.

Il est prévu qu'aucune gestion active de l'eau de la fosse ne sera nécessaire. Une discussion sur la formation et la gestion potentielles des lacs de fosse est présentée dans la section ci-dessous.

Bilan hydrologique

Le bilan hydrique annuel positif net est d'environ 270 400 m³/an dans des conditions de précipitations moyennes (tableau 4-1). Il est donc probable que le volume du lac de fosse augmente chaque année.

Les fluctuations saisonnières seront conformes à celles de l'Étape 2.

Gestion des eaux de la fosse

Le taux d'infiltration des eaux souterraines n'est pas connu et il est possible que le taux de flux entrant (précipitations) dépasse le taux auquel l'eau peut quitter la fosse (par évaporation et infiltration). En l'absence de gestion de l'eau de la fosse, un lac se formera à la base de la fosse.

La base de l'enveloppe de l'Étape 2 se trouve au-dessus du niveau de la nappe phréatique et l'eau du lac de fosse continuera donc à s'infiltrer vers le bas tout au long de l'année. Par conséquent, bien que des lacs de fosse puissent se former pendant les périodes de fortes précipitations, il est probable que le volume des lacs diminue pendant les périodes sèches, lorsque les précipitations sont faibles ou inexistantes, en raison d'une perte nette d'eau par infiltration et évaporation. Il est probable que l'évaporation du lac de la fosse soit supérieure à l'estimation du modèle SWAc, car l'évaporation d'une étendue d'eau libre est généralement plus importante que l'évaporation sur une surface de sol.

Des calculs ont été effectués pour estimer le temps nécessaire pour combler le vide de la fosse de l'Étape 2 (section 3.6.4). Ces données sont très prudentes car elles risquent de sous-estimer l'évaporation et l'infiltration. Néanmoins, les calculs estiment qu'il faut environ huit ans pour combler le vide. Cela laisse suffisamment de temps pour surveiller les niveaux d'eau dans la fosse de Ouéléba Nord et lancer l'assèchement actif de la fosse si nécessaire.

4.4 Étape 3

Flux entrants

Au cours de la période initiale de l'Étape 3, les flux entrants de la fosse seront identiques à ceux des Étapes 1 et 2. Les précipitations directes domineront les flux entrants, avec une contribution mineure des trous de drainage de décharge de la pression interstitielle dans les parois de la fosse. Les précipitations directes estimées pour l'emprise de l'Étape 3 sont de 1 à 1,5 Mm³/an.

Cependant, lorsque le fond de la fosse atteindra la nappe phréatique, les eaux souterraines contribueront également aux flux entrants dans la fosse. Il est probable que la géologie et les propriétés hydrauliques de la masse rocheuse de Ouéléba Nord soient similaires à celles du gisement de Ouéléba. Par conséquent, les flux d'eau souterraine entrants dans la fosse de Ouéléba Nord ont été estimés à partir des prévisions de la modélisation numérique pour la fosse de Ouéléba (Section 3.6.2). Les calculs suggèrent un débit d'entrée de 1,8 Mm³/an dans l'enveloppe de fosse définitive de l'Étape 3 de Ouéléba Nord. Les flux entrants d'eau souterraine augmenteront progressivement jusqu'à cette valeur maximale au fur et à mesure que l'enveloppe de la fosse s'étendra sous la nappe phréatique.

Il est à noter que cet afflux d'eau souterraine est probablement surestimé (section 3.6.2). Néanmoins, les calculs indiquent un volume d'afflux moyen combiné (c'est-à-dire précipitations et eaux souterraines) de 3,0 Mm³/an à Ouéléba Nord.

Flux sortants

L'eau s'évapore de la surface des fosses et de leurs puisards.

Initialement, la base de la fosse sera au-dessus de la nappe phréatique et les pertes par infiltration se produiront conformément aux Étapes 1 et 2. Au fur et à mesure que la fosse s'approfondira, elle recoupera la nappe phréatique qui existait avant l'exploitation. La dynamique de l'infiltration des puisards de la fosse sera alors contrôlée par des puits d'assèchement positionnés dans la fosse. Ces puits d'assèchement visent à :

- Maintenir le niveau des eaux souterraines en dessous du fond de la fosse pendant les opérations d'extraction à ciel ouvert, afin de minimiser les infiltrations d'eaux souterraines dans la fosse et de maintenir des conditions de travail sèches et sûres.

- Réduire les pressions interstitielles dans les parois de la fosse, ce qui rend les parois plus stables et offre un environnement de travail sûr.
- Fournir une source d'eau pour des usages opérationnels tels que l'élimination des poussières et des flux de compensation³.

Si le niveau des eaux souterraines est maintenu sous le plancher de la fosse, l'infiltration des eaux souterraines se poursuivra à travers le minerai friable. Cependant, si le fond de la fosse devient saturé, le taux d'infiltration à partir des bassins de la fosse est susceptible de diminuer, voire de devenir nul. Si le niveau des eaux souterraines est supérieur à celui du fond de la fosse, le gradient hydraulique peut faire remonter les eaux souterraines dans la fosse plutôt que de les en éloigner.

Bilan hydrologique

Le bilan hydrique annuel positif net est d'environ 2 407 800 m³/an dans des conditions de précipitations moyennes (tableau 4-1). Les flux entrants sont nettement plus importants que ceux des Étapes 1 ou 2 en raison de l'emprise plus vaste de la fosse et de la présence d'eaux souterraines. Le bilan continuera à fluctuer selon les saisons en raison des variations des précipitations et de l'évaporation, mais il ne devrait pas y avoir de périodes de bilan hydrique négatif net en raison des apports d'eau souterraine.

Gestion des eaux de la fosse

Comme pour les précédentes phases d'exploitation active, il est prévu d'installer des infrastructures d'assèchement pour gérer à la fois les flux saisonniers d'eau de surface et les apports pérennes d'eau souterraine.

4.5 Fermeture et post-fermeture

Flux entrants

L'assèchement actif cessera à la fermeture de la fosse de Ouéléba Nord. Le vide de la fosse sera inondé et le niveau de la nappe phréatique remontera.

Les précipitations directes continueront à contribuer au bilan hydrique de la fosse à hauteur de 1 à 1,5 Mm³/an. Les pentes exposées pourront se revégétaliser, ce qui réduirait la proportion de précipitations atteignant la surface du sol autour des rives du lac de fosse. Cet effet augmentera si le vide de la fosse est remblayé au-dessus du niveau du lac de fosse.

³ Le principal mécanisme permettant d'atténuer la réduction du débit des cours d'eau est le déversement de flux de compensation, conformément au Système de gestion des eaux minières (SGEM) de Ouéléba. Les eaux souterraines provenant des puits d'assèchement seront collectées et distribuées via un système de canalisations pour compléter les débits des cours d'eau affectés par l'assèchement et/ou la perte de bassin versant. L'objectif premier de ces flux de compensation est d'entretenir les débits environnementaux dans les bassins versants concernés.

La base de l'enveloppe de la fosse de Ouéléba Nord se trouve en dessous de l'élévation des rivières adjacentes (par exemple la Kinyeko au nord) et les systèmes d'eaux souterraines associés. Par conséquent, il y aura un afflux d'eau souterraine dans la fosse immédiatement après la fermeture, lorsque le niveau de la nappe phréatique remontera à travers les phyllites et les siliciclastiques moins perméables qui forment les parois de la fosse ; cependant ces taux d'afflux devraient être très faibles puisque la majorité des dépôts perméables auront été extraits et que le captage d'eau souterraine est limité à une petite zone de part et d'autre de la ligne de crête.

Les précipitations directes et le ruissellement sur les parois de la fosse seront probablement la principale source d'apport aux lacs de fosse après fermeture, et à mesure que le lac de fosse s'élèvera, l'apport d'eau souterraine diminuera encore. Une sortie nette des eaux souterraines du lac de fosse est prévue une fois que le niveau du lac se sera équilibré, et il est probable que la principale source d'alimentation du système d'eaux souterraines sera l'infiltration de l'eau du lac de fosse (voir plus loin).

En résumé, les eaux souterraines ne devraient pas représenter un flux entrant significatif pendant la phase de fermeture et un flux sortant net des eaux souterraines est prévu une fois que les niveaux du lac se seront équilibrés.

Flux sortants

Pendant la phase de fermeture, les flux sortants de la fosse se feront par évaporation à partir du lac de fosse et des pentes exposées de la fosse, et par infiltration dans les eaux souterraines.

L'exploitation minière enlèvera les pierres de fer friables (et relativement perméables), laissant un vide dans la phyllite et la matière siliciclastique moins perméables (

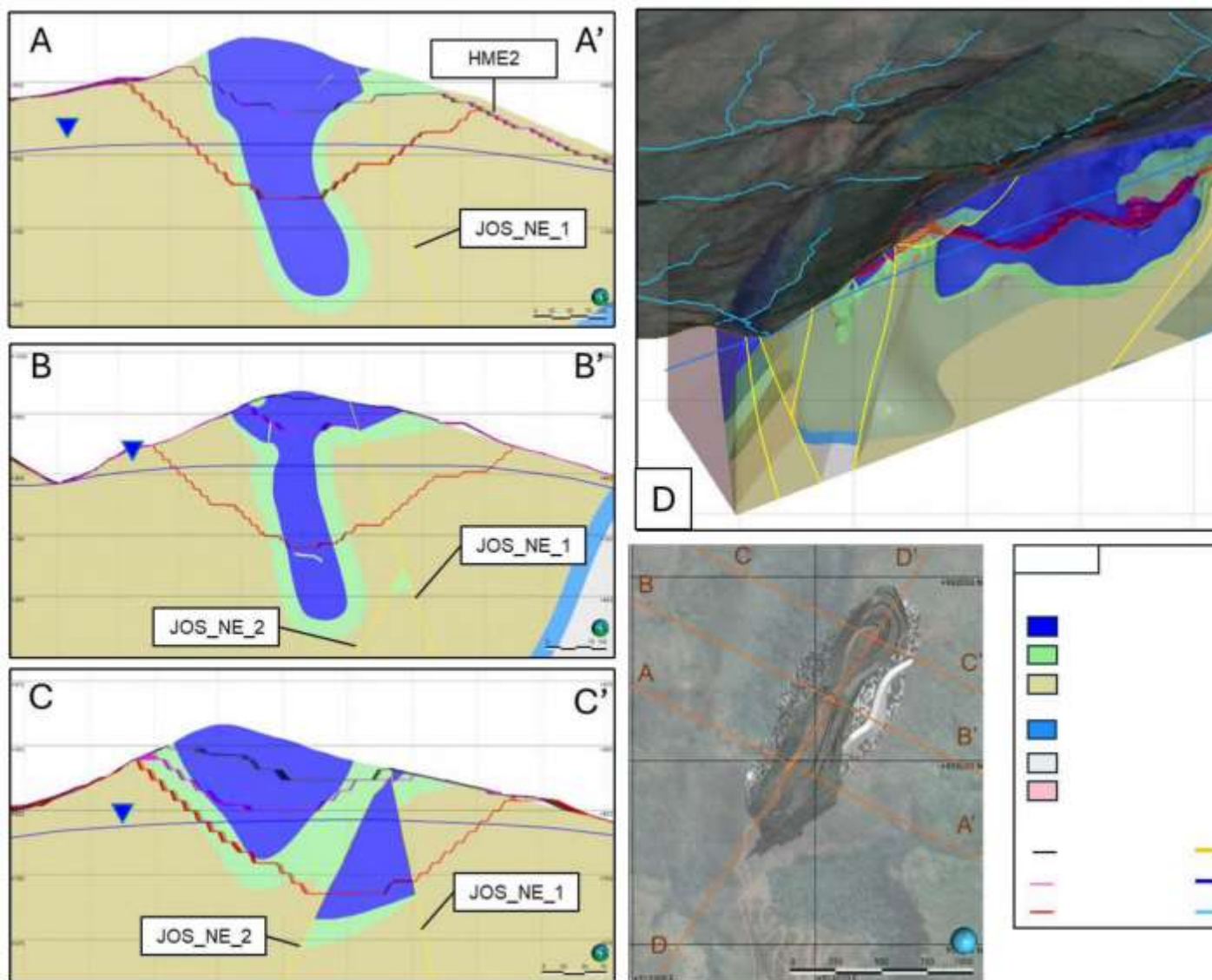


Figure 3-3). Ces unités auront été asséchées au cours de l'Étape 3, ce qui signifie qu'elles ne seront que partiellement saturées au moment de la fermeture.

Au cours de la phase initiale de fermeture, les précipitations directes dans la fosse s'infiltreront dans le sol et re-satureront la roche sous le fond de la fosse. Le taux d'infiltration (et donc de re-saturation) dépendra de la perméabilité de la masse rocheuse et du taux de flux entrant (c'est-à-dire des précipitations directes).

Une fois que la nappe phréatique atteindra l'altitude du fond de la fosse, le niveau du lac de fosse sera identique à celui de la nappe phréatique à l'intérieur de l'emprise de la fosse. La vitesse à laquelle le niveau du lac de fosse s'élèvera sera déterminée par l'équilibre entre les flux entrants (c'est-à-dire les précipitations directes, le ruissellement et les apports mineurs d'eau souterraine provenant des roches de moindre perméabilité des parois), l'évaporation et le taux d'infiltration dans les eaux souterraines.

L'infiltration dans les phyllites et les matériaux siliciclastiques à faible perméabilité sera lente. Cependant, le MHC de Ouéléba Nord a identifié des décharges d'eaux souterraines vers le nord en direction du Farako et vers le sud en direction de la forêt de Boyboyba. Ces voies de perméabilité plus élevées sont susceptibles d'être réactivées au fur et à mesure que le niveau du lac de la fosse s'élèvera.

Une fois que le système aura atteint l'équilibre et que le niveau des eaux souterraines se sera rétabli, le gradient hydraulique antérieur à l'exploitation sera rétabli. Les eaux souterraines s'écouleront de la fosse comme on l'observe actuellement.

Bilan hydrologique

Le bilan hydrique positif net est estimé à environ 531 000 m³/an à la fermeture. Cependant, l'évaporation des lacs de fosse est probablement sous-estimée par le modèle SWAc, comme nous l'avons vu précédemment dans la section 3.6.4. En outre, il existe une grande incertitude quant au taux d'infiltration.

Si le taux d'évaporation et d'infiltration est suffisamment élevé pour compenser les précipitations directes, le niveau du lac de fosse s'élèvera jusqu'à ce qu'un équilibre entre les flux entrants et sortants soit atteint. Il est probable que le niveau final du lac de fosse sera plus élevé que le niveau de la nappe phréatique avant l'exploitation parce que le flux entrant est plus important (c'est-à-dire que les précipitations directes et le ruissellement des parois de la fosse après la fermeture l'emporteront sur la recharge de la nappe phréatique dans les conditions antérieures à l'exploitation). On assistera à des fluctuations saisonnières en raison de l'augmentation de la recharge des eaux souterraines et du ruissellement des eaux de surface pendant la saison des pluies, comme décrit précédemment.

Toutefois, si le taux d'évaporation et d'infiltration est nettement inférieur aux précipitations directes, le niveau d'eau de la fosse après fermeture pourrait continuer à augmenter chaque année en raison du bilan hydrique positif net, jusqu'à ce que le lac de fosse déborde. Toutefois, il est plus probable que le lac de fosse s'équilibre en dessous du point de déversement, car le flux sortant vers les eaux souterraines augmentera au fur et à mesure de l'élévation du niveau du lac.

Gestion des eaux de la fosse

Un lac de fosse se formera dans le vide de la fosse de Ouéléba Nord. Le point le plus bas sur le bord de la fosse de Ouéléba Nord est de 824 mètres au-dessus du niveau de la mer. Le niveau des eaux souterraines actuellement observé sur le site est d'environ 814 mètres au-dessus du niveau de la mer, ce qui donne un « franc-bord » maximum de 10 m. Le point bas est situé à l'extrémité sud-est de la fosse. Un débordement depuis ce point se déverserait dans HME2.

Il est possible que la surface du lac de fosse atteigne le bord de la fosse et la dépasse. D'autres travaux seront entrepris pour améliorer la confiance dans la caractérisation de la fermeture.

Des calculs ont été effectués pour estimer le temps nécessaire pour combler le vide de la fosse de l'Étape 3 à la fermeture (section 3.6.4). Comme indiqué précédemment, il s'agit d'une approche très conservatrice. Les calculs estiment à environ quarante-sept ans le temps nécessaire pour combler le vide. Les hypothèses qui sous-tendent le délai de récupération sont susceptibles de surestimer la vitesse de récupération. Il reste suffisamment de temps pour surveiller les niveaux d'eau dans la fosse de Ouéléba Nord et modifier l'approche de fermeture si nécessaire.

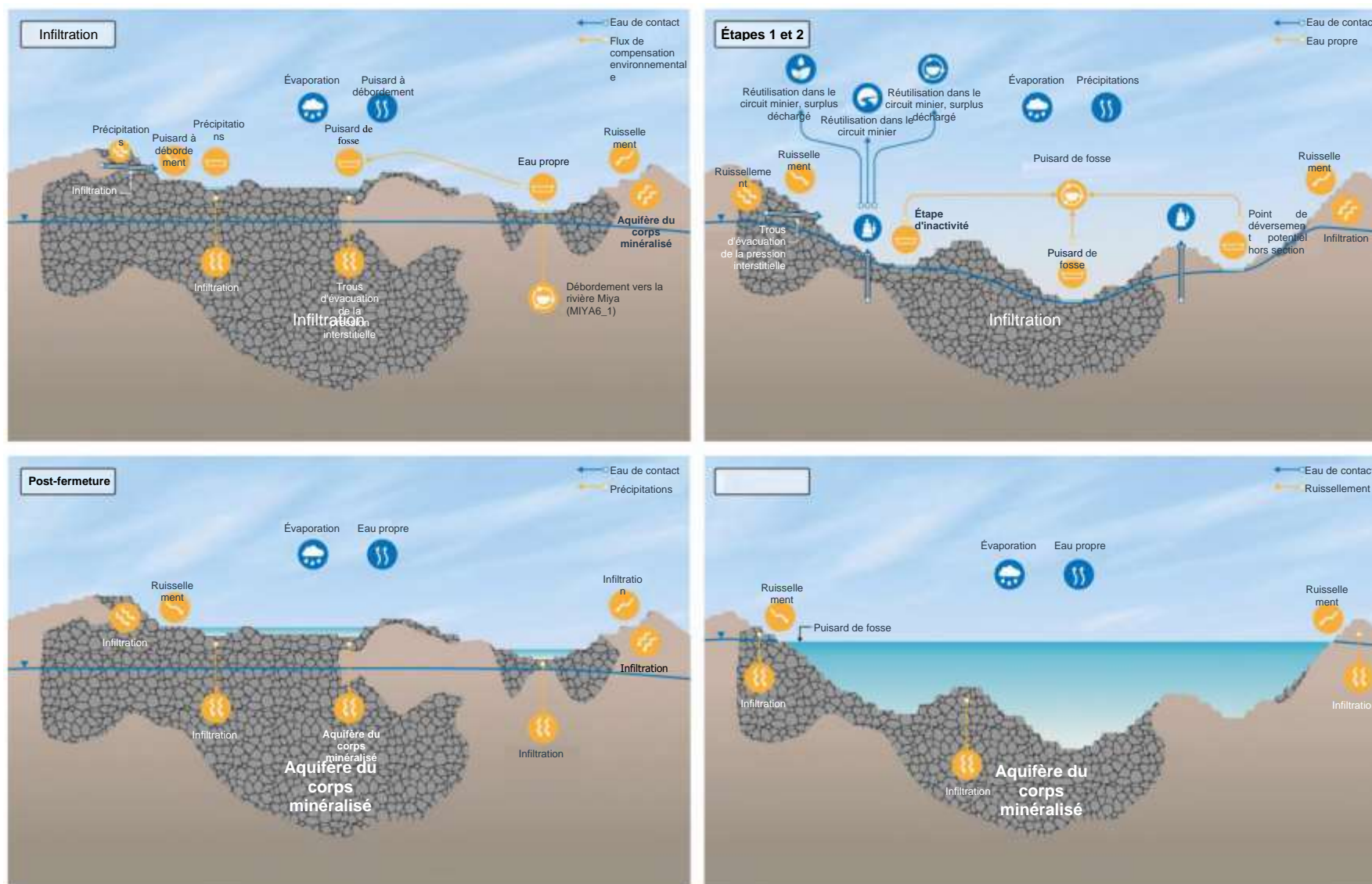


Figure 4-1 : Bilan hydrologique conceptuel de la fosse

5 RÉSUMÉ

L'analyse climatique et la modélisation numérique réalisées pour Ouéléba ont permis d'estimer les afflux potentiels d'eau de surface et d'eau souterraine dans la fosse de Ouéléba Nord. Les précipitations directes sur l'emprise de la mine sont de l'ordre de 0,4 à 1,5 Mm³/a, et augmenteront pendant la durée de vie de la mine au fur et à mesure que son emprise s'étendra. La base de la fosse est au-dessus du niveau de la nappe phréatique avant l'exploitation pendant les Étapes 1 et 2, et les afflux d'eau souterraine sont donc limités à de petits écoulements provenant des trous de drainage de décharge de la pression interstitielle dans les parois de la fosse. Une fois que la fosse croisera la nappe phréatique au cours de l'Étape 3, les apports d'eau souterraine augmenteront. Les apports passifs d'eau souterraine sont estimés à 1,8 Mm³/a (équivalent à 60 L/s).

On suppose que pendant les étapes d'exploitation, la gestion de l'eau de la fosse garantira l'absence de formation de lacs de fosse. Pendant la période d'inactivité (entre les Étapes 2 et 3), des lacs de fosse pourront se former en l'absence de toute gestion des eaux de fosse. Le bilan hydrique net est probablement saisonnier, les lacs de fosse se formant pendant les périodes de fortes précipitations, et le volume des lacs diminuant pendant les périodes sèches, lorsque les précipitations sont faibles ou inexistantes et qu'il y a une perte d'eau nette due à l'infiltration et à l'évaporation. Selon les calculs, il faudra environ huit ans pour combler le vide de la fosse pendant la période d'inactivité. Cela laisse suffisamment de temps pour surveiller les niveaux d'eau dans la fosse de Ouéléba Nord et lancer l'assèchement actif de la fosse si nécessaire.

Lors de la fermeture, le niveau de la nappe phréatique remontera et le vide de la fosse sera inondé. L'analyse estime qu'il faudra quarante-sept ans pour que la fosse soit inondée, mais note qu'il s'agit probablement d'une sous-estimation, c'est-à-dire que l'inondation de la fosse prendra probablement plus de temps. Les niveaux d'eau pourront remonter au-dessus du niveau actuel des eaux souterraines et il y a donc un risque que le niveau du lac de fosse atteigne le bord de la fosse et déborde vers le sud-est. Le niveau du lac de fosse variera selon les saisons.

6 RÉFÉRENCES

Rio Tinto Simfer, 2024. *Évaluation des impacts environnementaux et sociaux Projet de mine et de tronçon ferroviaire de Simandou*. Document n° I0016-6370-H-REP-00001 Rév 1

SRK, (2022). Données climatiques locales de référence. Rapport (I0016-0400-X-REP-00004_1)

SRK, 2023a. *Rapport de référence sur les eaux souterraines du Simandou* Rapport à Rio Tinto Atlantic Ltd. Document n° 10016.0450-X-REP-00001_A, SRK Consulting (UK) Ltd, Cardiff, Royaume-Uni.

SRK, 2023b. *Rapport de terrain sur Boyboyba*. Rapport à Rio Tinto Atlantic Ltd. Document n° I0016-1821-X-REP-00004, SRK Consulting (UK) Ltd, Cardiff, Royaume-Uni.

SRK, 2023c. *Modèle numérique 3D des eaux de surface et des eaux souterraines et bilan hydrique et de charge à l'échelle du site*. Rapport à Rio Tinto Atlantic Ltd. Document n° I-SM-0410-X-MOD-00001, SRK Consulting (UK) Ltd, Cardiff, Royaume-Uni.

SRK, 2024a. *Rapport sur le modèle conceptuel hydrogéologique de Josiane, projet Simandou, Guinée*. Rapport à Rio Tinto Atlantic Ltd. Document n° 0016-1000-X-REP-00003, SRK Consulting (UK) Ltd, Cardiff, Royaume-Uni.

SRK, 2024b. *Plan conceptuel de gestion de l'eau de Ouéléba Nord*. Rapport à Rio Tinto Atlantic Ltd. Document n° I0016-1821-X-REP-00034, SRK Consulting (UK) Ltd, Cardiff, Royaume-Uni.

Pour et au nom de SRK Consulting (UK) Limited

Dylan John,
Consultant senior (gestion de projet)
Directeur de projet
SRK Consulting (UK) Limited

Tony Rex,
Consultant d'entreprise (Eau)
Directeur de projet
SRK Consulting (UK) Limited

Mark Raynor
Consultant d'entreprise (Eau)
Réviser
SRK Consulting (UK) Limited

Sarah Johnson
Consultant principal, Eau
Auteur
SRK Consulting (UK) Limited

Vitor Sato
Consultant, Eau
Auteur
SRK Consulting (UK) Limited