

## **ANNEXE 6E**

---

### **Rapport sommaire de la modélisation de l'eau**

# RAPPORT DE SYNTHÈSE SUR LA MODELISATION DE L'EAU

Préparé pour  
**Rio Tinto Iron Ore Atlantic Ltd**

Date d'émission : juin 2023

Rapport préparé par



SRK Consulting (UK) Limited  
UK31243

**DROITS D'AUTEUR ET CLAUSE DE NON-RESPONSABILITÉ**

Les droits d'auteur (et tout autre droit de propriété intellectuelle applicable) de ce document et de toutes les données ou modèles qui l'accompagnent, créés par SRK Consulting (UK) Limited (« SRK »), sont réservés par SRK et sont protégés par les lois internationales sur les droits d'auteur et autres lois. Les droits d'auteur de tous les éléments constitutifs de ce document, tels que les images, sont détenus et réservés par le propriétaire des droits d'auteur, comme indiqué dans le présent document.

L'utilisation de ce document est strictement soumise aux conditions concédées par SRK au(x) destinataire(s) nommé(s) de ce document ou aux personnes auxquelles SRK a accepté qu'il soit transféré (les « destinataires »). Sauf accord contraire de SRK, cela ne confère aucun droit à un tiers. Ce document ne peut être utilisé ou invoqué à d'autres fins que celles pour lesquelles il est mentionné et SRK ne peut être tenue responsable d'aucune perte ou dommage causé par une telle utilisation ou inversion. Si le destinataire du présent document souhaite en utiliser le contenu à des fins autres que celles qui sont expressément mentionnées ou pour lever des fonds auprès d'un tiers et que le document n'est pas utilisé dans son intégralité à cette fin, il doit, avant toute utilisation, présenter à SRK, pour examen, un projet de rapport ou de document qu'il a produit et qui peut intégrer une partie du contenu du présent document, afin que SRK puisse s'assurer que ce document est présenté d'une manière qui reflète de manière précise et raisonnable les résultats ou les conclusions produits par SRK.

Le présent document ne peut être distribué à un tiers que dans son intégralité, tel que fourni par SRK, et ne peut être reproduit ou diffusé dans le domaine public (en tout ou en partie) ou sous une forme éditée, abrégée ou modifiée de quelque manière que ce soit, sauf accord exprès de SRK. Tout autre travail du propriétaire du droit d'auteur ne peut être séparé de ce document, utilisé ou reproduit à d'autres fins autres que celles de ce document, dans leur intégralité tel que sous licence par SRK. Dans le cas où ce document serait divulgué ou distribué à un tiers, ce dernier ne serait pas autorisé à se fier aux informations, garanties ou déclarations contenues dans ce document et les destinataires de ce document indemniseront SRK de toutes les réclamations, pertes et coûts que SRK pourrait encourir en relation avec ces tiers.

<b>Entité légale de SRK :</b>	SRK Consulting (UK) Limited
<b>Adresse de SRK :</b>	5ème étage Churchill House 17 Churchill Way Cardiff, CF10 2HH Pays de Galles, Royaume-Uni.
<b>Date :</b>	June, 2023
<b>Numéro de projet :</b>	UK31243
<b>Directeur de projet de SRK :</b> Tony Rex	Consultant en entreprise (hydrogéologie)
<b>Chef de projet de SRK :</b> Dylan John	Consultant senior (gestion de projet)
<b>Entité légale du client :</b>	Rio Tinto Iron Ore Atlantic Ltd
<b>Adresse du client :</b>	6 St James Square Londres, SW1Y 4AD Royaume-Uni

## Table des matières

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>MODELE SWAC-MODFLOW.....</b>	<b>2</b>
2.1	Configuration et étalonnage du modèle.....	2
2.1.1	Domaine et maillage du modèle.....	2
2.1.2	Paramètres SWAc.....	3
2.1.3	Paramètres MODFLOW .....	4
2.2	Scénarios prédictifs .....	6
2.2.1	Vue d'ensemble.....	6
2.2.2	Scénario d'assèchement passif.....	6
2.2.3	Scénario préliminaire d'assèchement actif.....	8
2.2.4	Scénario post-fermeture.....	13
2.3	Limites et priorités des futures mises à jour du modèle .....	16
<b>3</b>	<b>ÉQUILIBRE DE L'EAU ET DE LA CHARGE A L'ECHELLE DU SITE GOLDSIM .....</b>	<b>18</b>
3.1	Configuration du modèle.....	18
3.2	Concepts de l'équilibre hydrique.....	18
3.3	Bilan hydrique : apports et demandes .....	18
3.4	Termes sources géochimiques et qualité de l'eau de fond .....	23
3.5	Résultats .....	23
3.5.1	Bilan hydrique sur la durée de vie de la mine .....	23
3.5.2	Évaluation des impacts sur le débit en aval .....	25
3.5.3	Rejet dans l'environnement.....	26
3.5.4	Évaluation de la qualité de l'eau en aval .....	29
3.6	Limites et priorités des futures mises à jour du modèle .....	29
<b>4</b>	<b>REFERENCES .....</b>	<b>I</b>

## Liste des tableaux

Tableau 2-1 :	Résumé des coefficients de conductivité hydraulique et d'emménagement étalonnés .....	4
Tableau 3-1 :	Concentrations de métaux supposées pour la définition des charges dans SWWLB	23

## Liste des figures

Figure 2-1 :	SWAc-MODFLOW Model Domain, Google Earth View (exagération verticale x3) .....	3
Figure 2-2 :	Taux prédits d'infiltration passive de la mine sur la durée de vie de la mine .....	7
Figure 2-3 :	Prévision du rabattement de la nappe phréatique et de l'impact sur les cours d'eau, année 10 de l'exploitation de la mine (passage 290) .....	9
Figure 2-4 :	Prévision du rabattement de la nappe phréatique et de l'impact sur les cours d'eau, année 20 de l'exploitation de la mine (passage 290) .....	10
Figure 2-5 :	Prévision du rabattement de la nappe phréatique et de l'impact sur les cours d'eau, année 31 de l'exploitation de la mine (Run290) .....	11
Figure 2-6 :	Emplacement des puits d'assèchement simulés.....	12
Figure 2-7 :	Débit d'infiltration de la mine en cours d'assèchement actif prédit sur la durée de vie de la mine .....	13
Figure 2-8 :	Lacs de mine à la fermeture.....	15
Figure 3-1 :	Installations couvertes par SWWLB et les nœuds de bilan hydrique .....	19
Figure 3-2 :	Schéma du bilan hydrique.....	20
Figure 3-3 :	Bilan hydrique mensuel et annuel sur la durée de vie de la mine – Ouéléba .....	24
Figure 3-4 :	Série temporelle du débit journalier sur la durée de vie de la mine à RGS_BOY pour les scénarios de base, opérationnel et de débit compensé .....	25
Figure 3-5 :	Graphique en boîte mensuel (gauche) et courbe de durée d'écoulement (droite) pour les scénarios de base, opérationnel et de débit compensé à RGS_BOY.....	26
Figure 3-6 :	Rejets quotidiens simulés dans l'environnement (eau excédentaire) .....	27
Figure 3-7 :	Moyenne mensuelle et annuelle des rejets simulés dans l'environnement (excès d'eau) sur la durée de vie de la mine .....	28
Figure 3-8 :	Concentrations prévues de manganèse dans les eaux réceptrices du bassin versant de la Miya .....	29

## GLOSSAIRE ET ABREVIATIONS..... I

## RAPPORT DE SYNTHÈSE SUR LA MODÉLISATION DE L'EAU

### 1 INTRODUCTION

Le rapport suivant présente le modèle numérique intégré des eaux de surface et des eaux souterraines (modèle SWAc-MODFLOW) pour la zone du Projet de Ouéléba et le modèle associé de bilan hydrique et de charge à l'échelle du site (modèle SWWLB), développés à l'appui de l'étude de faisabilité de la mine.

Le modèle SWAc-MODFLOW a été développé pour :

- Fournir les débits d'assèchement prévus et les débits des cours d'eau afin d'évaluer les impacts sur les débits des eaux de surface en réponse à l'assèchement de la fosse pendant l'exploitation de la mine et aux changements de la forme du terrain après la fermeture. Les sorties de débit des cours d'eau du modèle des eaux de surface et des eaux souterraines constituent les séries temporelles d'entrée d'un modèle opérationnel de bilan hydrique et de charge à l'échelle du site.
- Fournir des pressions interstitielles prédites représentatives pour le système d'eau souterraine afin d'alimenter les modèles géotechniques.
- Fournir un outil physique pour tester, affiner et valider le modèle conceptuel de surface et d'eau souterraine de Ouéléba.

Le modèle SWWLB combine les résultats du modèle SWAc-MODFLOW et les flux de déchets minéraux. Il est utilisé pour :

- Évaluer et comprendre la disponibilité/le déficit en eau tout au long du cycle de vie de la mine (LoM).
- Quantifier la demande d'atténuation du débit environnemental pour le cycle de vie de la mine par la simulation de la réinjection de l'eau dans le bassin versant concerné à des endroits spécifiques du modèle SWAc-MODFLOW (points d'injection).
- Quantifier les impacts du débit (positifs et négatifs) sur les cours d'eau en aval.
- Entreprendre des études de compromis sur la taille des étangs dans le but de réduire les rejets d'eaux sales dans l'environnement et de fournir une capacité de stockage pour l'approvisionnement en eau pendant la saison sèche.

## 2 MODELE SWAC-MODFLOW

### 2.1 Configuration et étalonnage du modèle

Le modèle Ouéléba comprend un modèle numérique des eaux souterraines développé à l'aide des modèles MODFLOW-USG (MODFLOW-Unstructured Grid) et SWAc (Surface Water Accounting). Le composant SWAc (Groundwater Science, 2017) 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. MODFLOW-USG, développé et publié par l'USGS (Panday, 2013) est un code de modélisation des eaux souterraines par différences finies, standard de l'industrie et bien adapté à la simulation de l'assèchement des mines et des impacts conséquents sur les systèmes d'eaux de surface et d'eaux souterraines.

#### 2.1.1 Domaine et maillage du modèle

L'étendue spatiale du domaine du modèle SWAc-MODFLOW est présentée dans la **Error! Reference source not found.** Les dimensions maximales du modèle sont d'environ 23 km du nord au sud et de 14 km d'est en ouest, couvrant une zone d'environ 196 km<sup>2</sup>. Les limites extérieures du modèle des eaux souterraines ont été positionnées de manière à suivre, dans la mesure du possible, les limites connues des bassins versants ou les lignes de convergence des eaux souterraines, telles que les rivières ou les ruisseaux.

Le domaine du modèle est discrétisé au moyen d'un maillage de Voronoï bidimensionnel composé de 49 722 éléments. La maille régionale a un diamètre d'élément d'environ 500 m, et la maille a ensuite été affinée autour des zones et des caractéristiques d'intérêt, y compris les puits de mine (20 m), l'infrastructure de la mine (40 m), les principales rivières (40 m) et les ruisseaux (100 m).

Il existe 10 couches de modèles. La couche 1 est la seule couche du modèle qui n'est pas horizontale. Elle s'adapte à la topographie et a une épaisseur de 5 m sur l'ensemble du domaine du modèle. Les couches 2 à 10 sont horizontales et s'amincissent si le sommet de la couche intercepte la topographie. La couche 2 a une épaisseur de 150 m et se situe largement au-dessus de la nappe phréatique. Les couches 3 à 7 ont une épaisseur de 75 m, tandis que les couches 8 et 9 ont une épaisseur de 100 m. Cependant, lorsque la base de la couche 8 dépasse la topographie, la base est fixée à une profondeur de 30 m sous la topographie pour représenter le profil d'altération des basses terres au large de la ligne de crête de Ouéléba. Pour la même raison, lorsque la base de la couche 9 dépasse la topographie, elle est fixée à une profondeur de 80 m sous la topographie. La couche 10 a une épaisseur de 200 m et une altitude de fond de 400 mRL.



Figure 2-1 : SWAc-MODFLOW Model Domain, Google Earth View (exagération verticale x3)

### 2.1.2 Paramètres SWAc

Les principales données d'entrée du modèle SWAc sont les suivantes :

- Précipitations : des données pluviométriques quotidiennes ont été appliquées au domaine du modèle, la distribution spatiale étant basée sur la combinaison de la proximité d'une jauge (une « zone d'influence ») et de la topographie. Une analyse des précipitations à long terme a été entreprise pour s'assurer que des années humides et sèches extrêmes représentatives étaient présentes dans les relevés pluviométriques.
- Évapotranspiration potentielle (EP) : les séries temporelles d'EP ont été affectées à trois zones délimitées en fonction de l'altitude, comme décrit dans le Rapport de référence sur le climat (SRK, 2022).
- Utilisation des terres : une classification de l'utilisation des terres a été élaborée à partir de 72 images satellites multibandes Sentinel-2 avec une résolution spatiale de 10 m, les dates des images s'échelonnant de 2018 à 2021.
- Pente des collines : les catégories de pente des collines en degrés ont été calculées dans le domaine du modèle à partir d'un modèle numérique d'élévation LiDAR d'une résolution spatiale de 5 mètres.
- Interception du couvert : deux paramètres d'entrée de l'interception du couvert ont été attribués, à savoir une limite de stockage (mm) et une fraction d'écoulement. Une fraction globale de zéro a été appliquée, ce qui signifie que toutes les précipitations sur les classes d'utilisation des terres concernées sont soumises à l'interception de la canopée jusqu'à un maximum de la limite de stockage assignée en millimètres (mm). Les limites de stockage assignées étaient de 4 mm pour l'utilisation des terres forestières et de 2 mm pour l'utilisation des terres de broussailles et d'herbes vivaces.

- Ruissellement rapide : le processus de ruissellement rapide a été réparti dans l'espace en fonction d'une combinaison de pentes de collines, de la présence d'arbres et de la position dans le paysage (gisement, plaine). Les pentes inférieures à 10 degrés sont considérées comme « faibles ». Les pentes comprises entre 10 et 30 degrés sont considérées comme « modérées », et les pentes supérieures à 30 degrés sont considérées comme « fortes ». Les catégories de pente ont été sélectionnées sur la base d'une analyse de fréquence de toutes les valeurs de pente dans le domaine du modèle.
- Comptabilisation de l'humidité du sol : en l'absence de cartographie détaillée des sols, on suppose que les caractéristiques de l'humidité du sol varient en fonction de l'utilisation des terres.
- Écoulement : le modèle suppose que l'écoulement varie en fonction de la pente et de la position dans le paysage. Les classes d'écoulement ont été basées sur trois catégories de pentes, faibles (0-10 degrés), modérées (10-30 degrés) et fortes (>30 degrés), et sur le contour d'élévation de 1 100 m qui définit les zones topographiques « en montagne » et « hors montagne ».

L'étalonnage du modèle SWAc a utilisé des données sur le débit des cours d'eau qui ont été analysées et décomposées en composantes distinctes pour le débit de base, le débit intermédiaire et le ruissellement rapide. Le développement du modèle SWAc a également été réalisé en parallèle avec le modèle des eaux souterraines, et les résultats de la recharge ont été itérés en fonction des besoins pour la calibration avec les niveaux observés des eaux souterraines et le bilan de masse de l'eau à l'échelle du site.

Des analyses de sensibilité ont été réalisées pour étudier l'impact des paramètres du modèle sur l'ensemble du système dans le cas de base du modèle SWAc.

### 2.1.3 Paramètres MODFLOW

L'hydrostratigraphie d'un système d'eau souterraine décrit la structure et les propriétés hydrauliques du sous-sol. En tant que telles, les unités hydrostratigraphiques sont constituées d'une unité géologique ou de groupes d'unités géologiques qui partagent des propriétés hydrauliques similaires. Un examen du modèle géologique et du modèle hydrogéologique conceptuel a permis de regrouper la lithologie en six unités hydrostratigraphiques principales qui ont été paramétrées en conséquence (en noir dans le Tableau 21). Au cours de l'étalonnage, trois autres unités locales ont été ajoutées (en bleu dans le Tableau 21).

Les valeurs initiales de conductivité hydraulique et de coefficient de stockage ont été choisies sur la base des fourchettes présentées dans des études antérieures et affinées pour refléter le modèle conceptuel actuel des eaux souterraines. Ces valeurs ont ensuite été mises à jour lors de l'étalonnage. Les valeurs finales utilisées pour les scénarios prévisionnels sont présentées dans le Tableau 21.

**Tableau 21 : Résumé des coefficients de conductivité hydraulique et d'emménagement étalonnés**

Unité hydrostratigraphique	Conductivité hydraulique horizontale Kh (m/s)	Rapport d'anisotropie verticale	Rendement spécifique Sy (-)	Stockage spécifique Ss (1/m)
Minerai friable	$1,74 \times 10^{-5}$	1	0,2	$1 \times 10^{-5}$
Phyllite altérée	$5,00 \times 10^{-8}$	1	0,02	$1 \times 10^{-5}$
Roche compacte	$1,00 \times 10^{-8}$	1	0,005	$1 \times 10^{-5}$

Unité hydrostratigraphique	Conductivité hydraulique horizontale Kh (m/s)	Rapport d'anisotropie verticale	Rendement spécifique Sy (-)	Stockage spécifique Ss (1/m)
Canga /Carapace	1,16 x 10 <sup>-5</sup>	1	0,05	1 x 10 <sup>-5</sup>
Saprolite du sous-sol	1,16 x 10 <sup>-7</sup>	1	0,05	1 x 10 <sup>-5</sup>
Sous-sol fracturé	2,31 x 10 <sup>-7</sup>	1	0,1	1 x 10 <sup>-5</sup>
Quartzite fracturé	2,89 x 10 <sup>-5</sup>	1	0,2	1 x 10 <sup>-5</sup>
Amélioration Kh du Pic de Fon	8,68 x 10 <sup>-6</sup>	1	0,2	1 x 10 <sup>-5</sup>
Zone d'écoulement peu profonde	2,31 x 10 <sup>-5</sup>	1	0,02	1 x 10 <sup>-5</sup>

Remarques :

1. La police noire indique les six unités hydrostatiques principales. Les caractères bleus indiquent des unités hydrostatiques locales supplémentaires.

Le modèle SWAc calcule la série chronologique de la recharge et l'écoulement des cours d'eau.

Lors de la modélisation prédictive, la fosse à ciel ouvert a été représentée à l'aide du module de drainage MODFLOW-USG. Ces drains sont placés sur l'emprise de la mine et descendent au fil du temps pour refléter la progression de l'excavation. L'eau retirée du modèle par ces drains est enregistrée et fournit une estimation du taux d'assèchement passif de la mine. Le modèle MODFLOW a été développé en utilisant le plan minier de 2022 (tracé de la fosse ABCD43b).

L'objectif principal de l'étalonnage du modèle des eaux souterraines est de vérifier que le modèle peut reproduire les données observées, telles que les niveaux des eaux souterraines ou les débits des cours d'eau, en utilisant des propriétés hydrauliques et des conditions aux limites qui adhèrent à des plages réalistes basées sur la compréhension du modèle conceptuel des eaux souterraines. Le processus d'étalonnage renforce la confiance dans la capacité du modèle à évaluer la réponse probable du réseau d'eaux souterraines à un changement d'utilisation ou d'état, tel que les impacts potentiels sur le débit des cours d'eau en réponse à l'assèchement de la mine, ou à des changements dans l'utilisation des sols.

L'étalonnage a été effectué en tenant compte de l'un des principaux objectifs du modèle, qui est de prévoir les impacts sur le débit des cours d'eau pendant l'exploitation et après la fermeture. Une attention particulière a été accordée à la concordance des débits des eaux de surface, en particulier le débit de référence pendant les périodes d'étiage où les répercussions de l'exploitation minière et des impacts induits par la fermeture seraient les plus importantes.

L'obtention d'une bonne adéquation avec les niveaux absolus des eaux souterraines est restée un objectif clé ; cependant, il était également important de prendre en compte le gradient horizontal des eaux souterraines dans le nord de Ouéléba à travers le cisaillement phylliteux nord, et le développement de gradients verticaux à travers le corps minéralisé et les phyllites et itabirites sous-jacents / adjacents pour s'assurer que le régime des eaux souterraines simulé respecte le modèle conceptuel. Un total de 60 points d'étalonnage a été utilisé pour l'étalonnage de la tête.

## 2.2 Scénarios prédictifs

### 2.2.1 Vue d'ensemble

Des modèles prédictifs ont été mis en place pour simuler les phases d'exploitation et de fermeture de la mine afin de quantifier à la fois l'écoulement des eaux de surface régionales et l'impact sur les eaux souterraines, et d'estimer les taux d'assèchement de la mine. Les paramètres du modèle et les données d'entrée du modèle à variante temporelle étalonné en fonction de la ligne de base ont été utilisés, à l'exception du routage de l'écoulement de surface et des paquets de recharge, qui ont été ajustés pour refléter les changements d'utilisation des terres liés aux activités minières, au vide de la fosse et au remblayage.

L'eau sera nécessaire pendant les opérations minières pour diverses utilisations autour du site minier, y compris le traitement du minerai, la suppression des poussières, l'approvisionnement en eau potable et l'augmentation des cours d'eau (« débits de compensation »). La majeure partie de cette eau devrait provenir directement de l'assèchement de la mine. Le profil d'assèchement le plus souhaitable comprend une augmentation progressive du taux d'assèchement jusqu'à un plateau, plutôt qu'un pic, afin de répondre aux besoins opérationnels de la mine au fil du temps, tout en maintenant des conditions sèches dans la fosse.

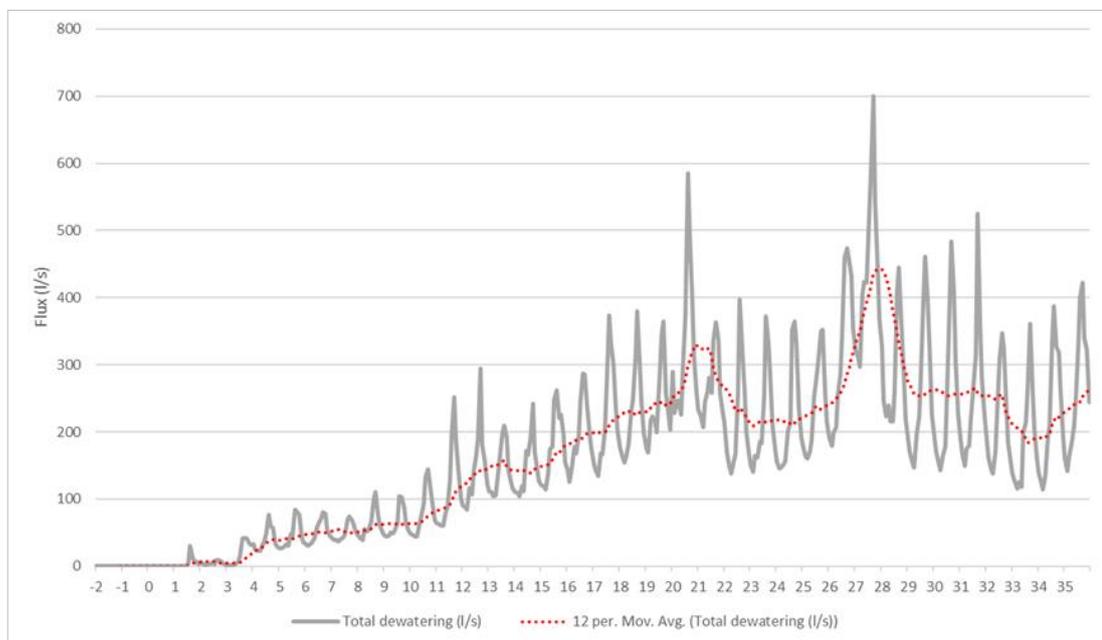
### 2.2.2 Scénario d'assèchement passif

Le scénario d'assèchement passif suppose que le pompage ne s'effectue qu'à partir de puits situés à l'intérieur de la fosse de la mine. Il s'agit d'un scénario de base pour l'assèchement de la mine. Les débits d'entrée des mines sont présentés dans la Figure 22-2, mois par mois (ce qui montre les variations saisonnières des débits d'entrée des mines) et sous forme de moyenne mobile sur douze mois.

Les apports d'eau souterraine à la mine devraient augmenter progressivement tout au long du développement de la mine jusqu'à l'année 19, avant de se stabiliser entre 200 et 250 L/s environ. Il y a deux pics pendant lesquels l'afflux d'eau souterraine dans la mine devrait dépasser ces taux. Le premier se produit entre les années minières 20 et 22, avec un débit saisonnier maximal prévu de près de 600 L/s, mais avec une moyenne mobile sur douze mois de près de 300 L/s. Ce pic est associé à l'excavation de la zone nord de la mine à pleine profondeur d'ici la fin de l'année minière 21. La deuxième période d'afflux maximal d'eaux souterraines se situe entre les années d'exploitation 26 et 29. Les débits maximum pendant cette période, qui sont étroitement liés aux précipitations saisonnières, atteignent 700 L/s. Le débit maximal basé sur une moyenne mobile de douze mois pendant cette période est d'environ 440 L/s. Ce pic est associé à l'excavation à pleine profondeur de la zone centrale de la mine et à l'excavation à profondeur partielle de l'extrémité sud de Ouéléba d'ici la fin de l'année minière 27.

L'augmentation progressive des débits d'entrée au cours des 20 premières années et l'absence de pics d'entrée importants au début de la durée de vie de la mine reflètent le plan de la mine, qui est conçu pour descendre jusqu'à l'élévation de la nappe phréatique avant l'exploitation avant de redescendre progressivement à pleine profondeur, en commençant par le nord et en se déplaçant vers le sud. Cela laisse le temps au drainage passif des eaux souterraines de se produire.

En outre, le déplacement du nord vers le sud signifie que l'afflux d'eau souterraine dans l'excavation proviendra principalement du sud au départ, ce qui réduit cet aspect du bilan hydrique de l'assèchement de la fosse lorsque le besoin de déstocker l'eau est élevé. Une fois la fosse établie sous la nappe phréatique au sud, l'écoulement des eaux souterraines vers la fosse depuis le nord améliorera encore les conditions d'excavation grâce à l'élimination des eaux souterraines retenues.



**Figure 22-2 : Taux prédits d'infiltration passive dans la mine sur la durée de vie de la mine**

L'abaissement des eaux souterraines au début (année 10 de la mine), au milieu (année 20 de la mine) et à la fin (année 31<sup>1</sup> de la mine) est présenté dans les **Error! Reference source not found.** à **Error! Reference source not found.**, respectivement. Il y a des impacts mineurs isolés au début de la vie de la mine en raison de l'exploitation d'aquifères perchés localisés au-dessus de la nappe phréatique du corps minéralisé pendant cette période. Au fur et à mesure que l'exploitation progresse sous la nappe phréatique, le rabattement augmente et s'étend vers le sud, atteignant toute la longueur de la zone minière vers la fin de la durée de vie de la mine, avec un rabattement maximal d'environ 180 m sous les niveaux de référence des eaux souterraines simulées dans le nord de Ouéléba.

**Error! Reference source not found.** et **Error! Reference source not found.** montrent également l'impact sur les flux d'eau de surface à proximité de la mine par rapport à la situation avant l'exploitation pour le mois de janvier (milieu de la saison sèche). Tout impact positif sur les flux, dû à l'augmentation de la recharge en raison de la perte de végétation et du défrichage, a été filtré. Les impacts sur les eaux de surface sont dus au rabattement des eaux souterraines décrit ci-dessus et montrent donc la même progression du nord au sud pendant la durée de vie de la mine.

<sup>11</sup>La modélisation numérique a été réalisée sur la base d'un plan minier de 31 ans et de 50 Mtpa.

L'impact relatif sur l'écoulement des eaux de surface diminue généralement à mesure que le cours d'eau descend sur les flancs, comme on peut le voir dans les bassins versants de Kinyeko et Boyboyba (Miya 1). Le débit du cours supérieur de la Kinyeko devrait diminuer de 90 à 100 %, car l'abaissement induit par l'exploitation minière affecte le débit de base du cours d'eau ; cependant, plus bas dans le bassin versant, l'impact relatif se réduit à 30-40 %, car la contribution relative du débit du cours d'eau fourni par le cours supérieur par rapport au bassin versant situé en dessous se réduit.

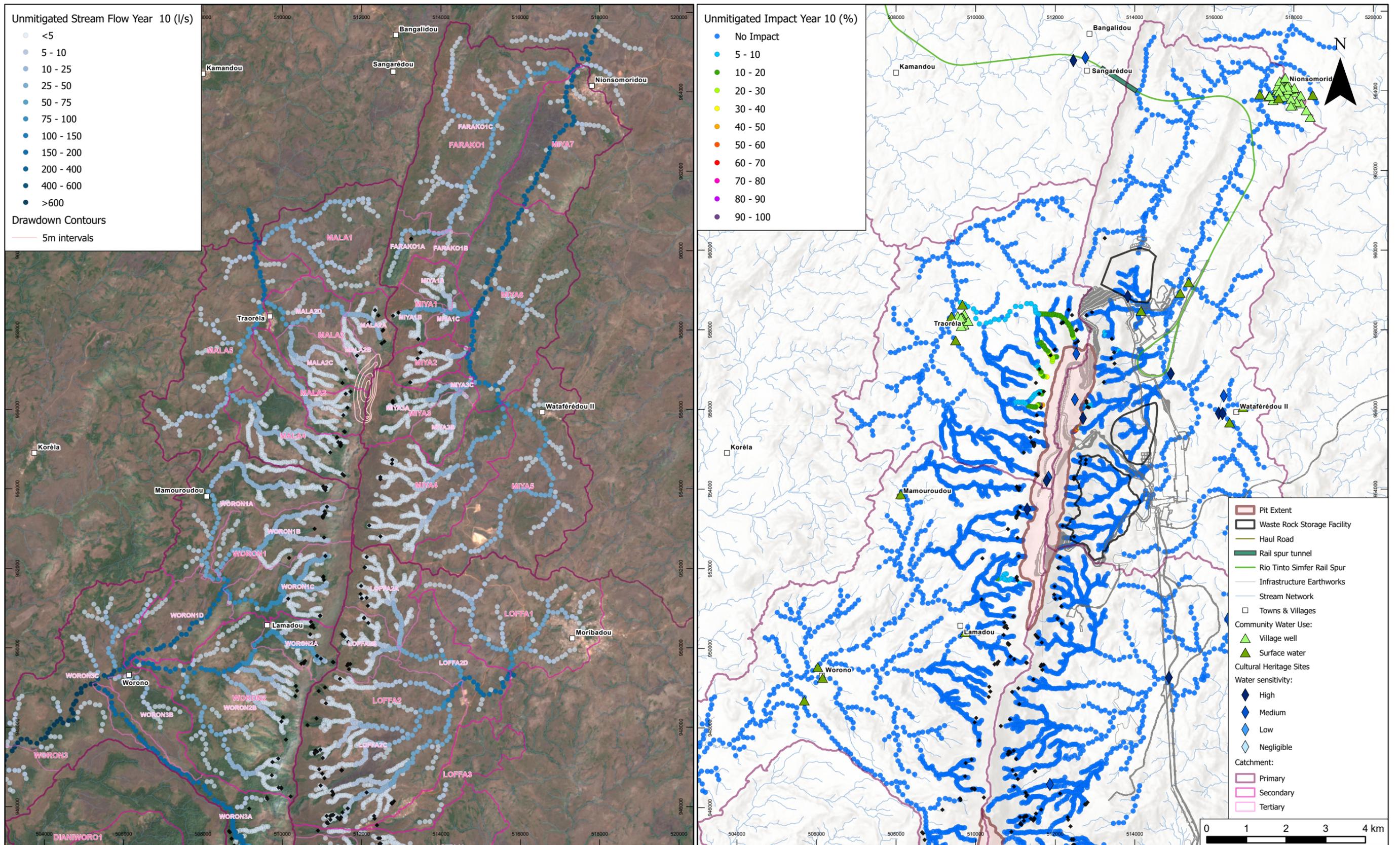
Les impacts prévus sur l'écoulement des eaux de surface à l'année 31 de l'exploitation minière s'étendent sur l'ensemble de la montagne Ouéléba. Les bassins versants particulièrement touchés sont ceux de Kinyeko et Boyboyba (Miya 1) au nord, de Miya 2 au nord-est et de Woron 1 au sud-ouest, ce qui reflète une plus grande dépendance des débits dans ces bassins versants vis-à-vis des décharges d'eaux souterraines provenant du système aquifère de Ouéléba.

### 2.2.3 Scénario préliminaire d'assèchement actif

Un scénario préliminaire d'assèchement actif a été entrepris dans lequel des puits d'assèchement ont été positionnés dans les lobes de minerai du nord-est et du nord pour cibler le stockage dans les zones minières actives. Des puits ont également été placés au sud des blocs miniers actifs simulés dans le modèle afin d'intercepter l'écoulement des eaux souterraines. L'utilisation de puits d'assèchement présente plusieurs avantages pour les exploitations, notamment une disponibilité plus rapide de l'eau pour l'exploitation, un meilleur contrôle de l'eau extraite du sol, des conditions plus sèches dans la fosse pendant l'excavation et moins d'afflux résiduels dans les puisards et les drains de la fosse. Les positions optimales des puits d'assèchement ont été notées pour les futurs scénarios du modèle. Ces scénarios seront exécutés une fois que des essais de pompage de longue durée auront été entrepris pour confirmer les rendements des puits d'assèchement.

Une double fonction est envisagée pour les puits d'assèchement pendant l'exploitation. Le fond de la fosse finale actuelle devrait atteindre une profondeur maximale de 180 m sous le niveau actuel de la nappe phréatique. L'assèchement avancé du corps minéralisé afin de réduire le volume d'eau stocké créera des conditions de travail plus sèches, favorisera des conditions de pente plus sûres et réduira le volume d'eau d'infiltration à gérer dans la mine à ciel ouvert. En outre, ces forages constitueront une source d'eau douce pour l'exploitation au début de la vie de la mine, lorsque le fond du puits n'a pas encore atteint la nappe phréatique.

Le modèle a été exécuté avec un total de 33 puits d'assèchement simulés, comme le montre la **Error! Reference source not found.** Les puits d'assèchement ciblent le corps minéralisé et sont représentés dans le modèle des eaux souterraines en tant que conditions aux limites du puits. On a attribué aux puits un rendement maximal de 25 L/s en se basant sur la conductivité hydraulique, le rabattement et l'épaisseur saturée actuellement supposés. Le taux d'extraction dans le modèle est automatiquement réduit si le nœud où se trouve le puits s'assèche. Cela signifie que les puits sont fermés lorsque les nœuds sont complètement désaturés ; par exemple, lorsque le fond de la fosse descend en dessous de l'élévation du nœud ou si d'autres puits situés à proximité font descendre la nappe phréatique.



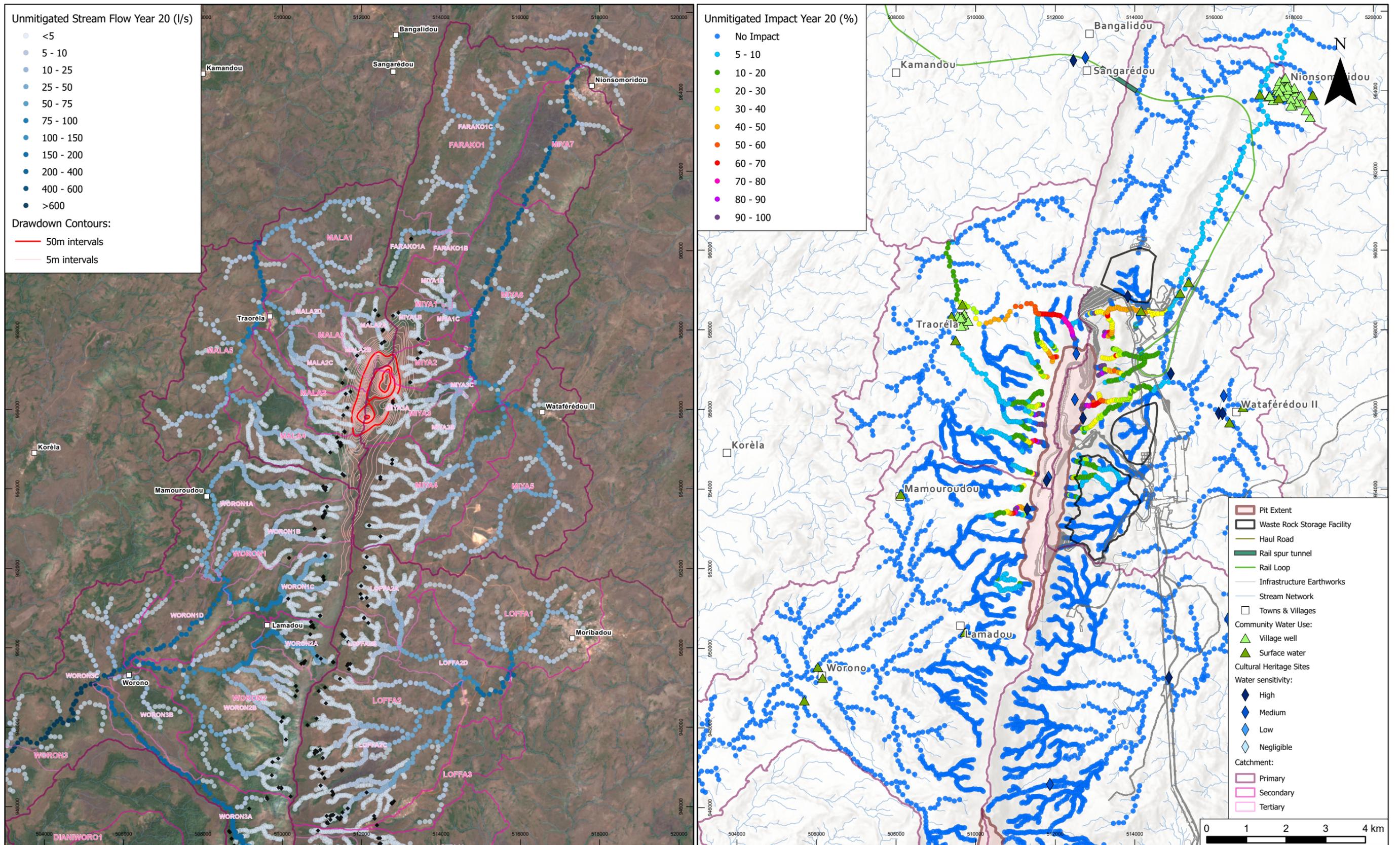
JUNE 2023

31243



Prévision du rabattement de la nappe phréatique et de l'impact sur les cours d'eau, année 10 de l'exploitation de la mine (passage 290)

Figure 2-3



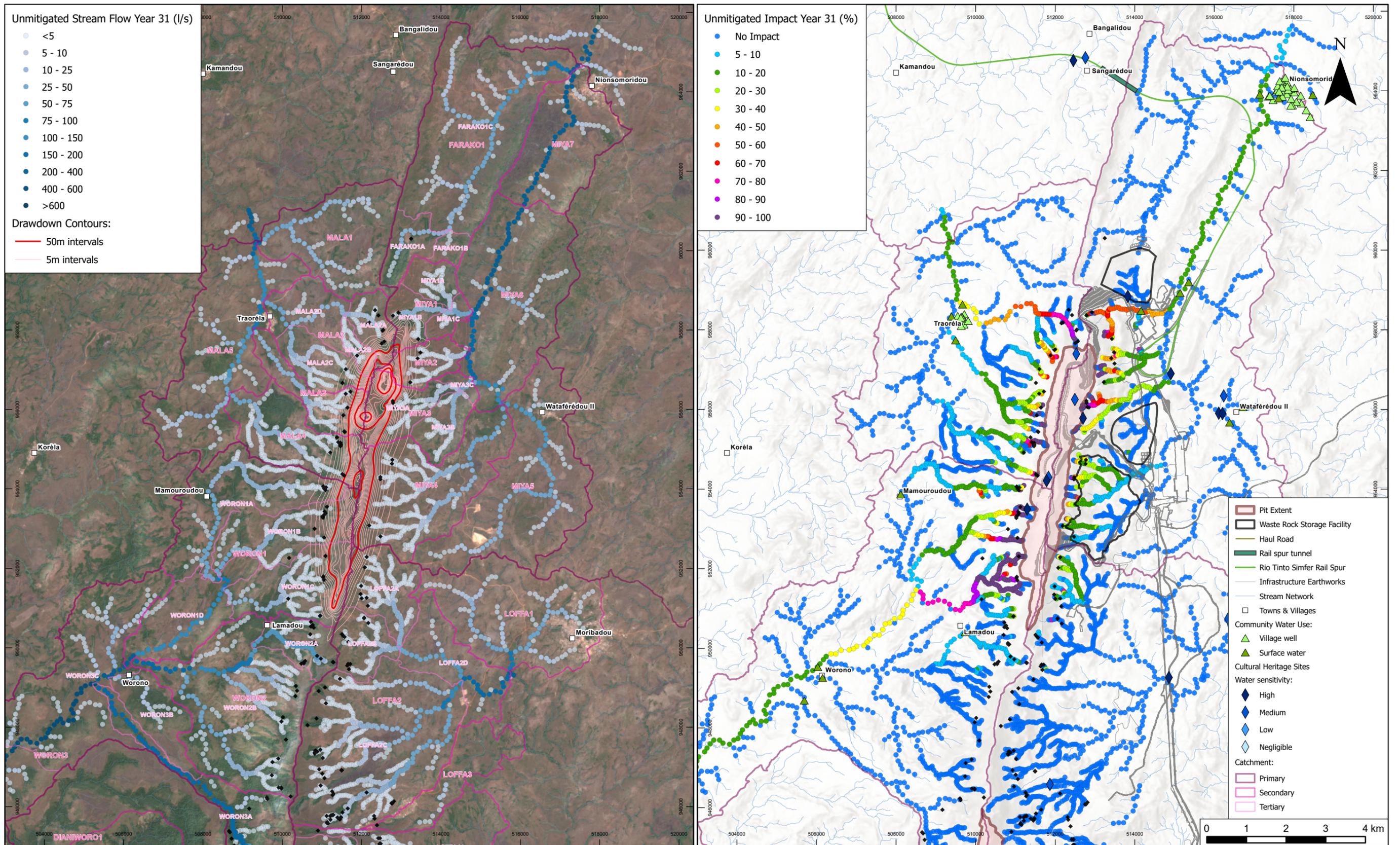
JUNE 2023

31243



Prévision du rabattement de la nappe phréatique et de l'impact sur les cours d'eau, année 20 de l'exploitation de la mine (passage 290)

Figure 2-4



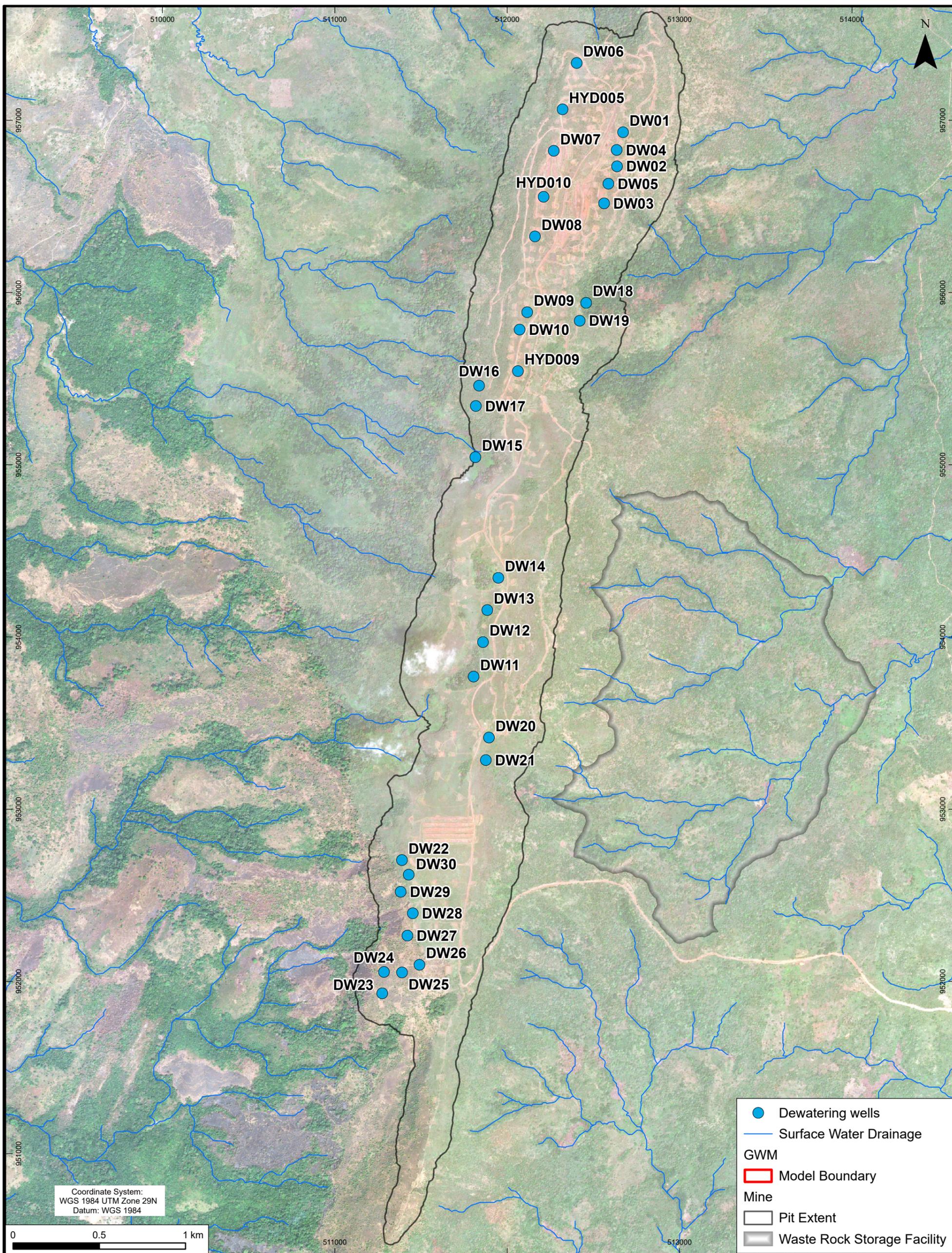
JUNE 2023

31243



Prévision du rabattement de la nappe phréatique et de l'impact sur les cours d'eau, année 31 de l'exploitation de la mine (passage 290)

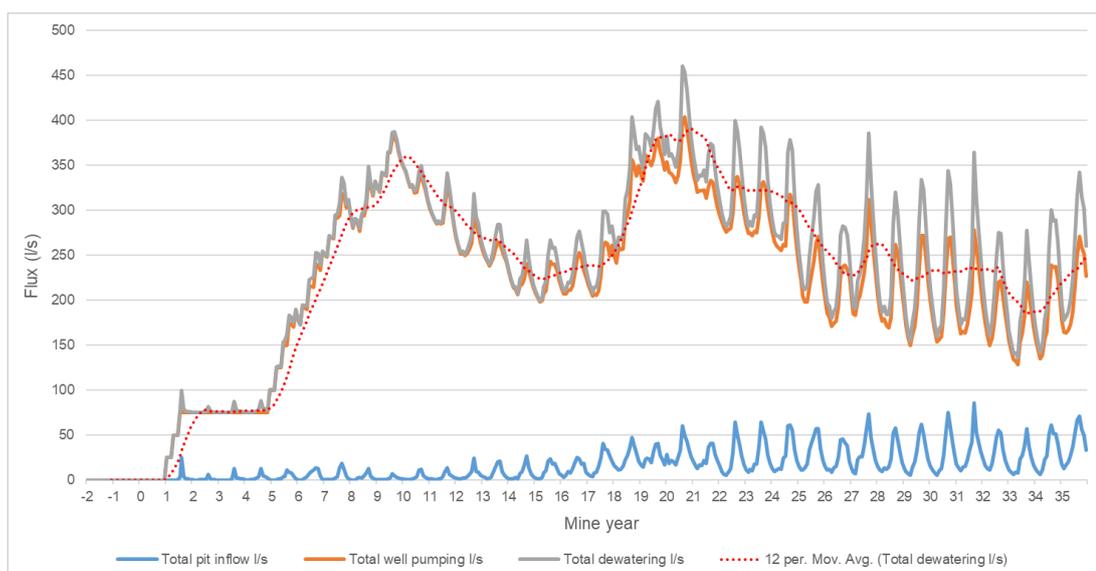
Figure 2-5



JUNE 2023

31243

La Figure 22-7 présente les débits d'entrée dans les puits et les taux d'assèchement des puits prévus par le modèle pour le scénario d'assèchement actif. Les taux d'assèchement totaux devraient généralement être plus élevés que dans le scénario d'assèchement passif, en particulier au cours des 15 premières années, lorsqu'une grande partie de l'exploitation minière a lieu au-dessus de la nappe phréatique. Les taux d'assèchement atteignent 350 L/s en l'espace de 10 ans avant de retomber entre 200 et 250 L/s après 15 ans. Les taux remontent entre 350 et 400 L/s au cours de la vingtième année d'exploitation, avant de redescendre à environ 250 L/s à la fin de la durée de vie de la mine. Les débits résiduels de la fosse sont de l'ordre de 30 L/s pendant les dernières années de la vie de la mine, contre 250 L/s dans le scénario d'assèchement de la fosse à ciel ouvert uniquement.



**Figure 22-7 : Débit d'infiltration de la mine en cours d'assèchement actif prédit sur la durée de vie de la mine**

La conception et la disposition du puits d'assèchement devraient être revues une fois qu'un essai de pompage à grande échelle aura été réalisé avec succès dans le corps minéralisé. Cela permettra d'obtenir des informations précieuses sur les performances potentielles des puits d'assèchement, ainsi que sur les propriétés hydrauliques du système des eaux souterraines.

#### 2.2.4 Scénario post-fermeture

La fin de l'exploitation minière et la fermeture entraîneront des changements dans les régimes hydrogéologiques et des eaux de surface. L'assèchement de la fosse cessera, le niveau des eaux souterraines se rétablira (c'est-à-dire qu'il augmentera) et des lacs de fosse pourront se former en fonction de l'étendue du remblayage. Le modèle numérique des eaux souterraines a été utilisé pour simuler le rebond des eaux souterraines dans la zone de la fosse afin d'estimer le temps nécessaire au rétablissement des conditions de repos des eaux. Le modèle de rebond a ensuite alimenté un modèle de post-fermeture afin d'évaluer les impacts résiduels à long terme sur les cours d'eau de surface.

Le remblai sera mis en place dans la zone nord de la fosse jusqu'à une altitude de 956 masl, laissant le reste de la fosse comme un vide. Le temps nécessaire à la remontée des eaux souterraines dépendra principalement de la nature du remblai placé dans les cavités de la fosse. Comme les propriétés hydrauliques du matériau à mettre en place doivent encore être confirmées, une valeur par défaut de 2 m/d et un rendement spécifique de 0,2 ont été utilisés dans cette simulation et fournissent une première estimation du temps de rebond de la nappe phréatique. Une conductivité hydraulique de 100 m/j et un coefficient d'emmagasinement de 100 % ont été attribués au vide restant de la fosse. Des scénarios alternatifs dans lesquels différentes propriétés hydrauliques du remblai ont été évaluées ont été entrepris pour l'étude de modélisation géochimique du lac de la fosse (SRK, 2023c).

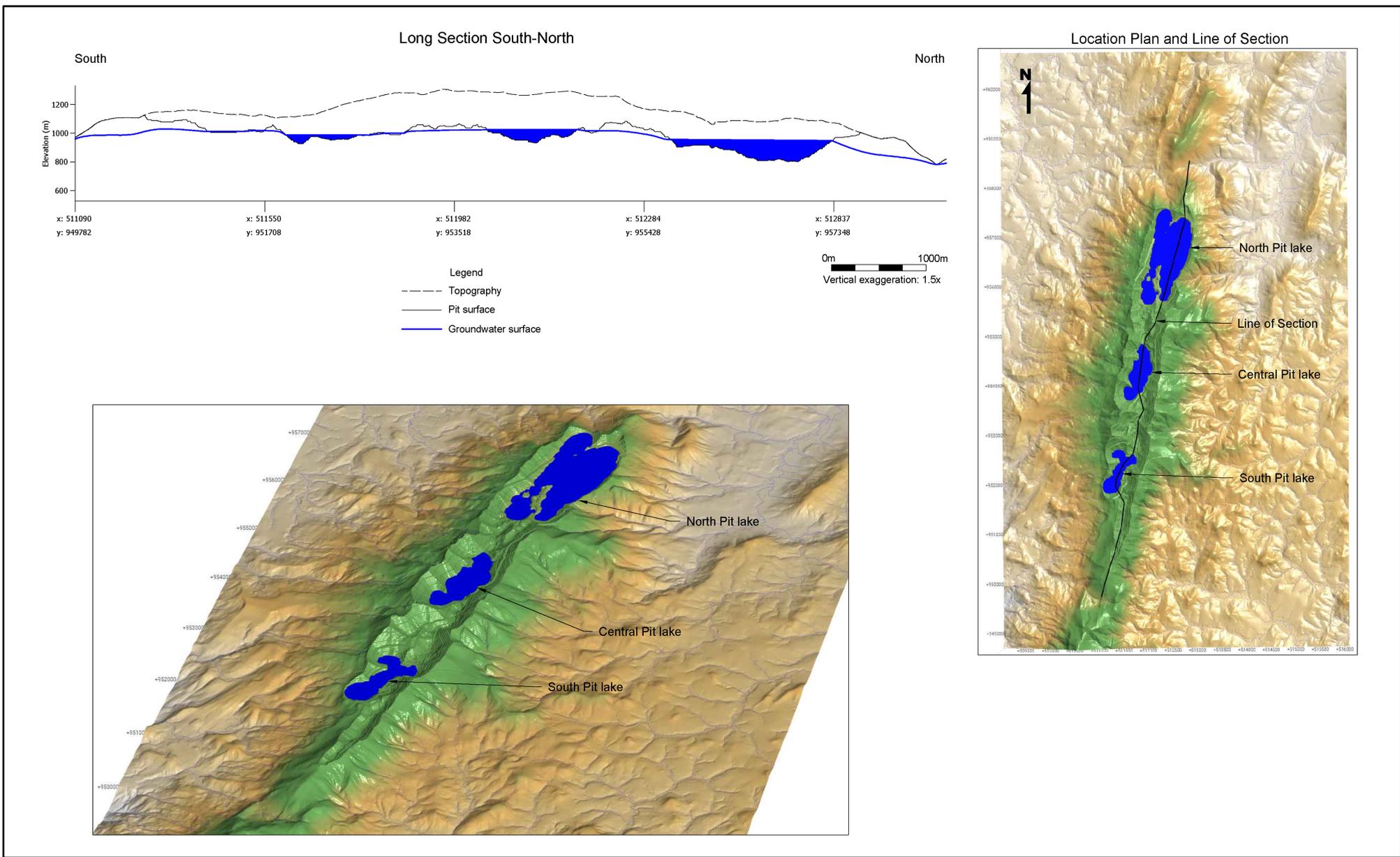
Les hauteurs de déversement pour chaque zone de la fosse ont été calculées et des conditions limites de drainage ont été appliquées aux points de déversement correspondants afin d'éliminer l'excès d'eau et de contrôler le niveau du lac.

Le temps nécessaire pour que les eaux souterraines retrouvent un niveau stable (et, par extension, pour que les lacs de fosse atteignent un volume stable) varie d'environ 20 ans dans les zones lacustres du nord et du sud à environ 35 ans dans la zone lacustre centrale. Il y a un haut degré d'incertitude associé à cette prédiction, et l'exécution du modèle en utilisant différentes propriétés de remblai donnerait des temps de récupération du lac plus longs ou plus courts.

La récupération des eaux souterraines devrait entraîner la formation de trois lacs de fosse isolés : nord, centre et sud (**Error! Reference source not found.**). Les fosses ne devraient pas former un lac unique en raison des divisions internes et des différences d'élévation des déversements dans les fosses. Lors de la modélisation des scénarios de fermeture, on a supposé que le remblai serait mis en place dans la zone nord de la fosse jusqu'à une altitude de 950 mRL, laissant le reste de la fosse vide. Il convient de noter que le lac de la fosse nord illustré à la **Error! Reference source not found.** est relatif à la fosse exploitée finale et non à la surface de remblayage. La surface de remblai prévue coïncide avec l'élévation du déversement du lac de fosse et donnera donc lieu à un lac de fosse ou à une zone humide très peu profonde dans le nord de Ouéléba.

Pendant la phase d'exploitation, les lignes de partage des eaux naturelles seront exploitées et de nouveaux bassins versants internes à la mine seront créés pour diriger les eaux de ruissellement de la zone exploitée vers les lacs de la mine. Aucun écoulement provenant de bassins versants extérieurs ne devrait se déverser dans la fosse.

Le temps modélisé nécessaire à la récupération des eaux souterraines varie d'environ 15 ans dans la zone du lac sud à plus de 30 ans dans la zone du lac central. Le temps nécessaire pour que les niveaux des eaux souterraines se rétablissent dans la fosse Nord (10 à 50 ans) dépendait principalement de la nature du remblai. Tous les scénarios supposent qu'au cours de l'exploitation minière, l'ensemble de la fosse est sec et que la récupération des eaux souterraines commence à la fermeture.



JUNE 2023

31243

srk consulting

Lacs de mine à la fermeture

Figure  
2-8

Les lacs de fosse devraient se déverser au nord-ouest et au sud-ouest dans les bassins versants de Kinyeko et de Woron respectivement. Le lac central débordera vers le nord dans le lac septentrional. Les impacts simulés de la post-fermeture sur le débit des cours d'eau sont peu fiables en raison des incertitudes concernant l'élévation précise des points de déversement du lac de la fosse et les propriétés hydrauliques du remblai, mais ils donnent une évaluation préliminaire des impacts potentiels non atténués de la post-fermeture sur le débit des cours d'eau. Une modification de plus de 40 % du débit est prévue dans les eaux d'amont de certains bassins versants en raison des débordements des lacs de fosse ; une diminution de 30 à 40 % du débit est prévue à Boyboyba (MIYA1) et une augmentation de plus de 40 % du débit est prévue dans les bassins versants de Kinyeko (MALA2) et de WORON1C. La différence de débit entre les bassins versants de Boyboyba et de Kinyeko reflète les propriétés supposées du remblai et l'emplacement du point de déversement du lac de la fosse dans les parties supérieures du bassin versant de Kinyeko.

Des réductions continues du débit des cours d'eau sont prévues dans de nombreuses sources affectées par les opérations, principalement en raison de l'élimination des bassins versants en amont et de la réorientation des eaux de ruissellement et de la recharge dans le vide de la mine.

### 2.3 Limites et priorités des futures mises à jour du modèle

Il est important de reconnaître et de comprendre les limites d'un modèle, car il s'agit nécessairement d'une représentation simplifiée et grossière du monde réel, assemblée avec des informations incomplètes sur le système qu'il est censé simuler.

Le modèle des eaux souterraines de l'Ouéléba tel que présenté dans ce rapport a été conçu, construit et étalonné en utilisant les connaissances et les informations disponibles au moment de son élaboration (août 2021 à mai 2022). Les programmes de travaux géologiques, géotechniques, hydrogéologiques et hydrologiques en cours continuent d'améliorer la compréhension du gisement de Ouéléba et de ses environs et seront utilisés pour améliorer le modèle conceptuel et informer les futures mises à jour du modèle. Des hypothèses et des simplifications ont été faites lors du passage d'un modèle conceptuel à un modèle numérique, et l'incertitude des données elles-mêmes doit être prise en compte lors de l'interprétation des prédictions du modèle.

Les limitations spécifiques sont les suivantes :

- Les contacts et les structures de la géologie tirés du modèle géologique et représentés dans le modèle des eaux souterraines ne peuvent être aussi détaillés que le maillage du modèle lui-même. En outre, du point de vue des données, le modèle géologique ne représente véritablement le profil lithologique que là où des trous de forage sont présents, toutes les autres zones étant interprétées avec un degré de confiance variable.
- Le corps minéralisé et les phyllites présentent une foliation marquée qui s'incline d'environ 60° et généralement (mais pas toujours) vers l'ouest, et qui, du point de vue de l'écoulement des eaux souterraines, est susceptible de contraindre les voies d'écoulement selon un axe principalement nord-sud à travers la ligne de crête de Ouéléba. Bien que les paramètres hydrauliques soient actuellement représentés comme isotropes dans le modèle, l'anisotropie et/ou les voies d'écoulement préférentielles pourraient être prises en compte dans de futures mises à jour.
- L'étude des débits de 2022 indique que la zone d'infiltration de la source est plus en amont dans les bassins versants de Boyboyba et de Woron que ce qui est supposé dans le réseau de cours d'eau modélisé actuel, qui pourrait donc être mis à jour.

- Une voie perméable en quartzite a été mise en place pour permettre aux eaux souterraines d'atteindre la principale zone de décharge des eaux souterraines du gisement de minerai dans le bassin versant de Boyboyba. L'inclusion de cet élément a été confirmée par les études menées sur le site au moment de l'étalonnage du modèle ; toutefois, la nature de l'élément est incertaine. Bien que l'existence d'une bande de quartzites fracturés ait été prouvée et que les gradients d'eau souterraine mesurés impliquent un drainage vers le bas, des études plus récentes, y compris l'étude des cours d'eau de 2022, des travaux de forage supplémentaires et une analyse de séparation isotopique suggèrent que les contrôles structuraux dans le corps minéralisé ou les phyllites et les itabirites représentent plutôt une voie secondaire ou principale pour le drainage de l'eau souterraine dans le nord de Ouéléba (SRK, 2023). Le rôle du quartzite dans le transport et l'évacuation des eaux souterraines vers le nord et vers le sud devrait donc être réexaminé.
- Une zone de recharge renforcée a été appliquée au-dessus d'une élévation de 1 100 masl pour atteindre les niveaux d'eau souterraine requis tout en maintenant les décharges enregistrées de Ouéléba. Les données sur le débit des cours d'eau obtenues lors de l'étude de 2009 ont servi de base pour justifier la mise en œuvre de cette recharge supplémentaire. Les données préliminaires obtenues à partir de l'étude des cours d'eau de 2022 semblent indiquer des débits mesurés plus faibles qu'en 2009 et, par conséquent, une vérification du bilan de masse devrait être effectuée pour valider l'ampleur de la recharge appliquée à la montagne dans la zone de recharge élevée.
- Il n'y avait pas de données structurelles ou hydrauliques significatives concernant l'aquifère de socle au moment de la construction et de l'étalonnage du modèle. Au lieu de cela, la paramétrisation des unités hydrostratigraphiques de l'aquifère du socle a été largement guidée par l'étalonnage sur les données de débit de la saison sèche régionale. Le rendement spécifique du socle fracturé est reconnu comme étant élevé (0,1) et bénéficierait d'une réduction pour au moins l'aligner sur la valeur utilisée pour la saprolite sus-jacente (0,05). Le programme actuel de forage des infrastructures devrait permettre de vérifier la validité de la séquence d'altération mise en œuvre dans le modèle. Une représentation améliorée de la séquence peut être nécessaire dans certains cas où une simulation précise des aquifères de socle à l'échelle locale est requise, comme la modélisation des infiltrations à partir des décharges de stériles.
- Les zones des installations de stockage des stériles (WRSF) n'étaient pas connues au moment du maillage du modèle et ne bénéficient donc pas d'un maillage plus fin qui serait nécessaire pour faciliter une étude détaillée. Ces domaines pourraient être affinés lors des prochaines mises à jour du modèle.
- La zone non saturée de Ouéléba peut avoir un impact profond sur le temps nécessaire pour que la recharge atteigne la nappe phréatique, étant donné que par endroits elle peut atteindre des épaisseurs de près de 200 m ; cependant, l'impact de la zone non saturée sur la régulation de la recharge n'a pas encore été entièrement évalué dans le modèle des eaux souterraines. Une évaluation de l'infiltration dans la zone non saturée à l'aide d'un modèle d'écoulement non saturé 1D et l'application d'un facteur d'atténuation à la recharge dans le modèle SWAc permettraient d'obtenir une meilleure adéquation avec le calendrier (par opposition à l'échelle, à la magnitude ou à l'amplitude) des profils de récession des hydrogrammes de l'écoulement régional.
- L'étalonnage de la hauteur de chute des eaux souterraines sur Ouéléba est globalement bon, bien que certaines zones puissent être améliorées ; par exemple, la hauteur de chute des eaux souterraines pourrait être augmentée dans certaines parties du lobe oriental où elles s'écoulent à travers le chemin de quartzite.

### 3 ÉQUILIBRE DE L'EAU ET DE LA CHARGE A L'ECHELLE DU SITE GOLDSIM

#### 3.1 Configuration du modèle

Le modèle SWWLB a été développé à l'aide du logiciel GoldSim, version 14. Le modèle couvre la durée de l'exploitation de la mine à ciel ouvert de Ouéléba, du début de l'année 0 (1er janvier 2025) à la fin de l'année 31 (31 décembre 2056) sur un pas de temps journalier.

#### 3.2 Concepts de l'équilibre hydrique

Les installations minières couvertes par le modèle SWWLB sont représentées en plan dans la **Error! Reference source not found.** Ils comprennent la mine à ciel ouvert de Ouéléba, l'aquifère du corps minéralisé, la pile de stockage de minerai et le bassin de sédimentation, le terminal minier (MET) et le bassin de sédimentation, l'installation de stockage des roches stériles du nord (WRSF1) et le système de bassin de sédimentation, l'installation de gestion des déchets (WMF) et le bassin de sédimentation, ainsi que la route de transport et l'infrastructure de EHM2. Les autres WRSF et les décharges en fosse sont actuellement exclus du modèle SWWLB car aucun détail n'était disponible au moment de la construction du modèle.

Outre les installations spécifiques décrites ci-dessus, le bilan hydrique comprend également des points d'intérêt, ou nœuds, sur le réseau d'eau de surface où les impacts simulés sur le débit et la qualité de l'eau sont quantifiés et où des mesures d'atténuation (c'est-à-dire des débits de compensation) sont mises en œuvre. L'emplacement des nœuds est indiqué sur la **Error! Reference source not found.**

**Error! Reference source not found.** présente le diagramme schématique du bilan hydrique. Il fournit une représentation visuelle de toutes les connexions entre les installations minières dans le bilan hydrique. Les connexions avec les eaux réceptrices sont également indiquées.

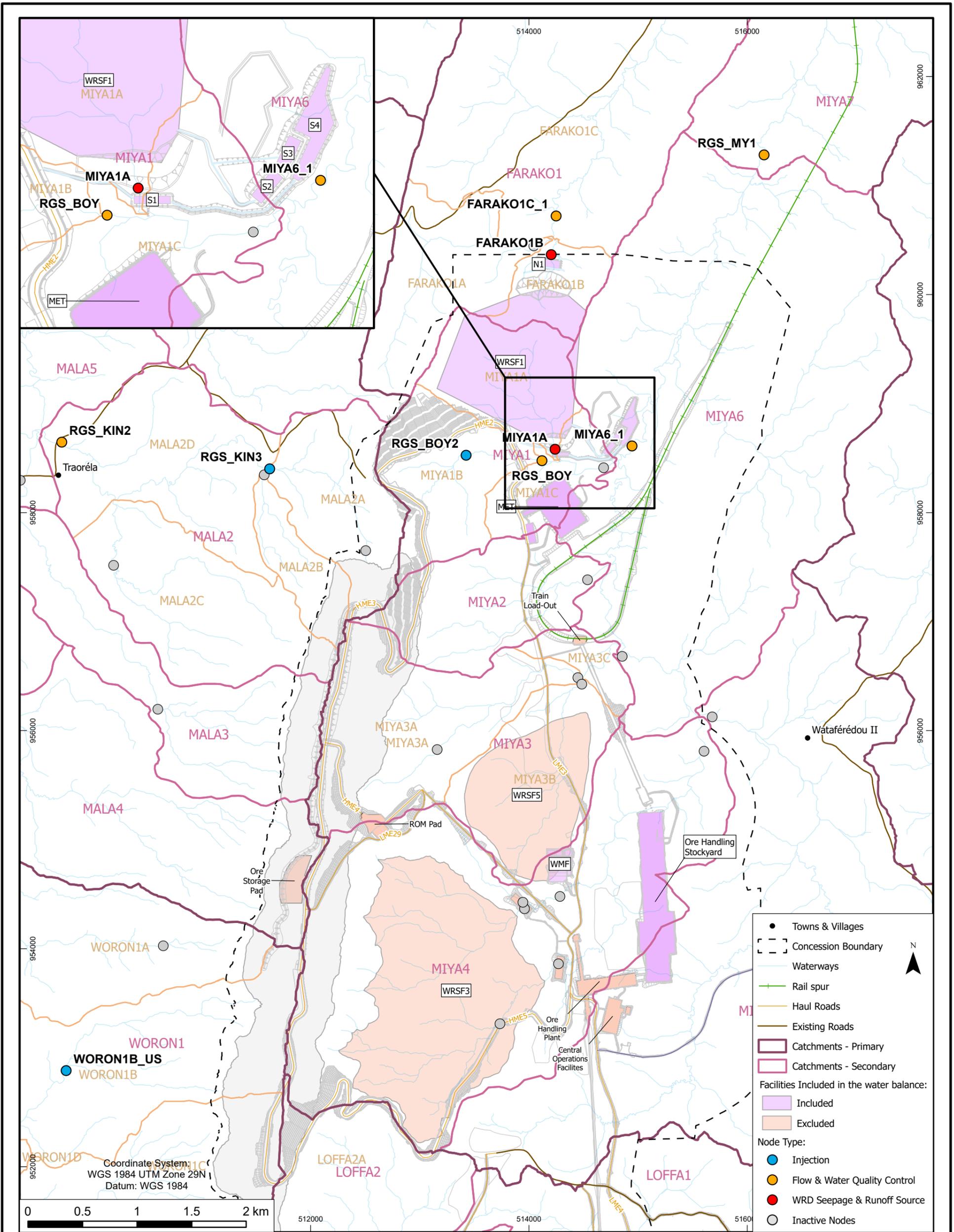
#### 3.3 Bilan hydrique : apports et demandes

Le bilan hydrique permet de suivre toutes les entrées, sorties et stockages disponibles. Le bilan hydrique peut être représenté de manière simpliste comme suit :

$$\frac{dEau\ stockée}{et} = Entrées\ d'eau - Sorties\ d'eau \quad (Eq. 1)$$

Les entrées d'eau dans le modèle GoldSim sont les suivantes :

- Apports d'eau souterraine à la mine à partir de l'aquifère du corps minéralisé : principale source d'eau pour le Projet. Le prélèvement total de l'aquifère du corps minéralisé est introduit dans le bilan hydrique sur un pas de temps mensuel en utilisant le scénario du modèle MODFLOW d'assèchement passif (Section 2.2.2). Le scénario de puits d'assèchement initial décrit à la section 2.2.3 n'est pas actuellement inclus dans le SWWLB car tous les scénarios d'optimisation des puits d'assèchement ont été reportés jusqu'à ce que les essais de pompage soient terminés en raison des incertitudes concernant les rendements projetés des puits.
- Pluies : ensemble de données utilisé dans le modèle SWAc-MODFLOW.
- Eaux de ruissellement des installations : intégrées dans le bilan hydrique via les sorties quotidiennes du modèle combiné MODFLOW-SWAc.



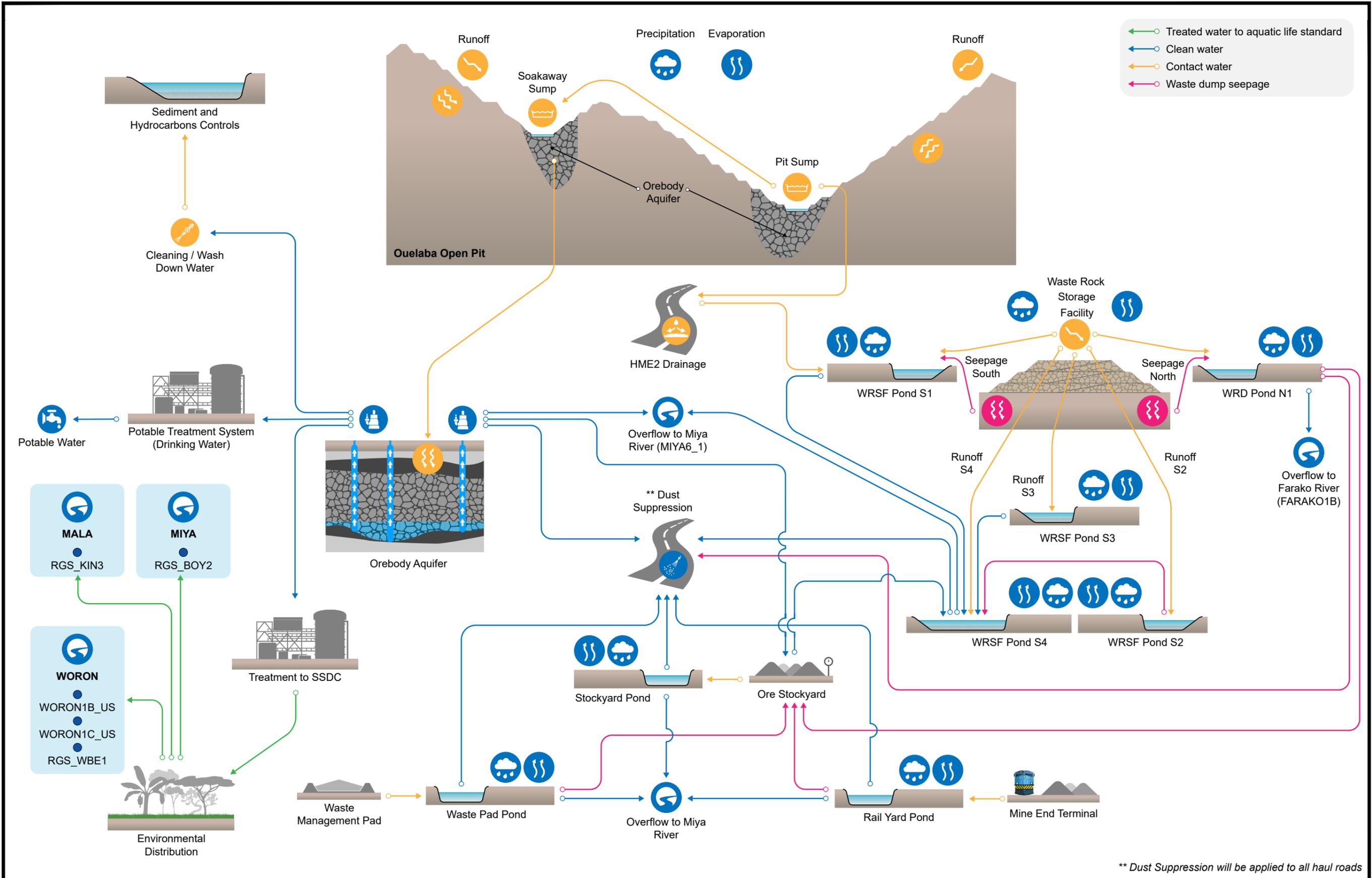
JUNE 2023

31243



Installations couvertes par les noeuds du SWWLB et du bilan hydrique

Figure 3-1



JUNE 2023

31243

Not to Scale

Les sorties d'eau dans le modèle GoldSim sont les suivantes :

- Demande de la pile de stockage du minerai : la zone de la pile de stockage du minerai comprend l'usine de traitement du minerai et la pile de stockage du minerai. Cette zone représente la plus grande consommation d'eau de la mine, l'eau étant utilisée à la fois pour le dépoussiérage et pour le conditionnement de l'humidité du minerai. La demande saisonnière en eau est estimée à 92 L/s pendant la saison sèche (décembre à mars), 46 L/s pendant les mois de novembre et d'avril et 0 L/s pendant la saison des pluies (mai à octobre). Toute l'eau appliquée à la zone de stockage pour la suppression des poussières et le conditionnement de l'humidité est supposée sortir du bilan hydrique par évaporation ou à l'intérieur du minerai. De même, on suppose que l'infiltration et la recharge de la zone stockagex ne sont pas prises en compte dans le bilan hydrique. On suppose que toutes les eaux de ruissellement provenant de la zone de stockage et du système de drainage souterrain sont recueillies dans le bassin de sédimentation et peuvent être réutilisées. L'humidité quittant le site dans le minerai transporté est estimée à environ 150 L/s sur la base d'une exploitation supposée de 60 Mtpa et d'une teneur en humidité du minerai de 8 % en poids.
- Evaporation des étangs : ensemble de données utilisé dans le modèle SWAc-MODFLOW.
- Dépoussiérage : exigence présumée pour toutes les routes de transport, y compris HME2. La demande est saisonnière, avec une demande quotidienne moyenne de 37 L/s pendant la saison sèche (novembre à avril) et de 0 L/s pendant la saison des pluies (mai à octobre). Pendant les mois de novembre et d'avril, la demande est supposée correspondre à 50 % de la demande de la saison sèche en raison des précipitations sporadiques au cours de ces mois. On suppose que l'eau consommée pour le dépoussiérage s'évaporerait et qu'il ne sera donc pas nécessaire de respecter les critères de rejet spécifiques au site. Les flux d'eau sale pourront donc être utilisés pour la suppression des poussières, bien qu'une taille minimale des particules soit exigée pour éviter la sédimentation dans les conduites et l'obstruction des robinets des camions-citernes et des arroseurs.
- Eau de construction : exigée uniquement pour les cinq premières années de vie de la mine. La demande est saisonnière avec une demande journalière moyenne supposée de 34 L/s pendant la saison sèche et de 0 L/s pendant la saison des pluies. Nécessite des sources d'eau principalement propres.
- Lavage : on suppose que le débit est constant à 0,95 L/s sur la durée de vie de la mine. Le rejet et la réutilisation des eaux de lavage ne sont pas représentés dans le bilan hydrique, car ils ne constituent qu'une faible proportion du bilan hydrique global.
- Eau douce/potable<sup>2</sup> : on suppose qu'elle est constante à 5 L/s pendant toute la durée de l'exploitation. Le bilan hydrique suppose actuellement que l'aquifère du corps minéralisé est la seule source d'eau potable pour le site minier et qu'un traitement peut être nécessaire pour satisfaire aux exigences de qualité de l'eau. Les réserves d'eau locales, telles que les sources actuellement utilisées pour alimenter le camp de Canga Est, ne sont pas prises en compte dans le bilan hydrique.

---

<sup>2</sup>L'eau potable provenant de l'aquifère du gisement sera traitée avant d'être consommée par l'homme.

- Demande de débit de compensation (DDC) : Le DDC est le volume d'eau nécessaire pour atténuer les impacts sur le débit des cours d'eau conformément aux engagements révisés du plan de gestion sociale et environnementale (PGSE) (SRK, 2022b). Ce chiffre est basé sur les résultats de la modélisation SWAc-MODFLOW. Pour calculer la demande de débits de compensation, les débits de référence sont soustraits des débits impactés à des points nodaux sélectionnés afin de préparer une série temporelle des impacts des débits les plus défavorables. Cette analyse permet d'évaluer l'impact maximal de l'assèchement dans toute la gamme des conditions climatiques. La série temporelle de cette analyse du cas le plus défavorable est ensuite utilisée pour générer des statistiques de débit qui sont utilisées pour définir la demande du bassin versant. Une courbe de fréquence cumulative de la réduction du débit est générée et les réductions Q50, Q75 et Q95 du débit sont obtenues.

Aux fins du bilan hydrique, la valeur Q75 a été utilisée comme critère pour le débit de compensation. Cela est dû au fait que la différence entre les CFD Q95 et Q50 est relativement faible et qu'elle se situe dans la plage d'incertitude des prédictions du modèle en raison des taux d'écoulement des eaux souterraines relativement constants de l'aquifère du corps minéralisé.

Un bassin versant est considéré comme touché si une réduction du débit est observée pendant 200 jours par an ou plus. Une fois déclenché, le flux de compensation est appliqué au bassin versant pour la durée restante du modèle. Le remblayage progressif et la fermeture des puits du nord de Ouéléba devraient entraîner une remontée des eaux souterraines et une réduction subséquente de la demande de débit de compensation au cours des dernières années d'exploitation, mais ces processus sont actuellement exclus de SWWLB.

- Flux d'assèchement excédentaires : aux fins du présent bilan hydrique, on suppose que tous les flux sont déversés dans la rivière Miya après décantation des solides.

Les estimations de la demande en eau varient entre une discrétisation quotidienne, saisonnière et annuelle. GoldSim fournit une interpolation linéaire entre les pas de temps quotidiens pour convertir les données d'entrée saisonnières et annuelles en taux quotidiens.

Les installations de collecte, de stockage et de gestion de l'eau (illustrées à la **Error! Reference source not found.**) sont incluses dans le modèle. Il est noté que :

- Le dimensionnement des installations est à l'état de projet à ce stade. SRK suppose que le dimensionnement des installations hydrauliques sera revu et modifié par les ingénieurs d'études au cours du processus de conception détaillée.
- La SWWLB définit une hiérarchie pour la distribution de l'approvisionnement en eau des bassins vers les différents points d'utilisation. Les bassins de WRSF1 (S4 & N1) sont d'abord utilisés pour le stockage du minerai et la suppression des poussières afin de minimiser la probabilité d'impacts sur la qualité des eaux réceptrices, suivis par tous les autres bassins. Les flux de compensation, la construction, le lavage et l'eau potable sont supposés être entièrement fournis par l'aquifère du corps minéralisé.
- Les réserves d'eau de surface pour l'eau de construction sont actuellement exclues du modèle.

### 3.4 Termes sources géochimiques et qualité de l'eau de fond

Les concentrations présentées dans le Tableau 31 ont été utilisées pour définir les charges pour les composants respectifs de SWWLB. Les paramètres ont été sélectionnés sur la base des concentrations attendues des rejets liés au Projet par rapport aux valeurs des directives de qualité de l'eau (SRK 2023a). Les hypothèses de base pour définir les concentrations dans les eaux de ruissellement et les contributions au débit de base sont les suivantes :

- Le ruissellement des eaux de surface est considéré comme la valeur médiane de tous les sites historiques d'échantillonnage de surface, conformément au tableau 4.4 du rapport sur la qualité de l'eau de référence (SRK, 2023a).
- La contribution du débit de base est égale au ruissellement des eaux de surface afin d'éliminer la saisonnalité (inconnue) de la sortie.
- Le débit d'assèchement est considéré comme la valeur médiane de tous les échantillons historiques de piézomètre, conformément au tableau 4.4 du rapport sur la qualité de l'eau de référence (SRK, 2023a). Ces valeurs ne tiennent pas compte de l'impact du ruissellement des parois de la fosse sur les eaux souterraines sous-jacentes, mais un élément de conservatisme est inclus dans la mesure où la qualité de base des eaux souterraines présente des concentrations significativement plus élevées que celles observées dans les écoulements de printemps (comme discuté dans SRK, 2023b).
- Aucune donnée ou résultat de modélisation n'est disponible pour contraindre les concentrations de ruissellement de WRSF1 ou celles des autres installations, de sorte que l'on suppose actuellement qu'elles sont égales au ruissellement naturel des eaux de surface. Cette hypothèse devra être actualisée en fonction d'une évaluation plus réaliste de la qualité des eaux de ruissellement provenant de ces installations.

Toutes les concentrations de ruissellement, de débit de base et de décharge d'assèchement sont saisies comme des valeurs stables à l'heure actuelle. En outre, aucune variabilité spatiale du ruissellement naturel et de la qualité de l'eau du débit de base n'est actuellement incorporée dans la SWWLB. Les variations temporelles et spatiales de la qualité de l'eau de ruissellement et du débit de base seront nécessaires au fur et à mesure que des données de base supplémentaires sur la qualité de l'eau seront disponibles.

La qualité de l'eau d'infiltration de WRSF1 a été définie sur une base annuelle, sur la base de la qualité de l'eau d'infiltration présentée dans SRK, 2023a.

**Tableau 31 : Concentrations de métaux supposées pour la définition des charges dans SWWLB**

Paramètres	Ruissellement des eaux de surface	Débit de base	Décharge d'assèchement	Ruissellement de WRSF	Ruissellement de l'installation
Aluminium (mg/L)	0,016	0,016	0,006	0,016	0,016
Cuivre (mg/L)	0,0004	0,0004	0,0015	0,0004	0,0004
Manganèse (mg/L)	0,0039	0,0039	0,023	0,0039	0,0039
Zinc (mg/L)	0,001	0,001	0,021	0,001	0,001

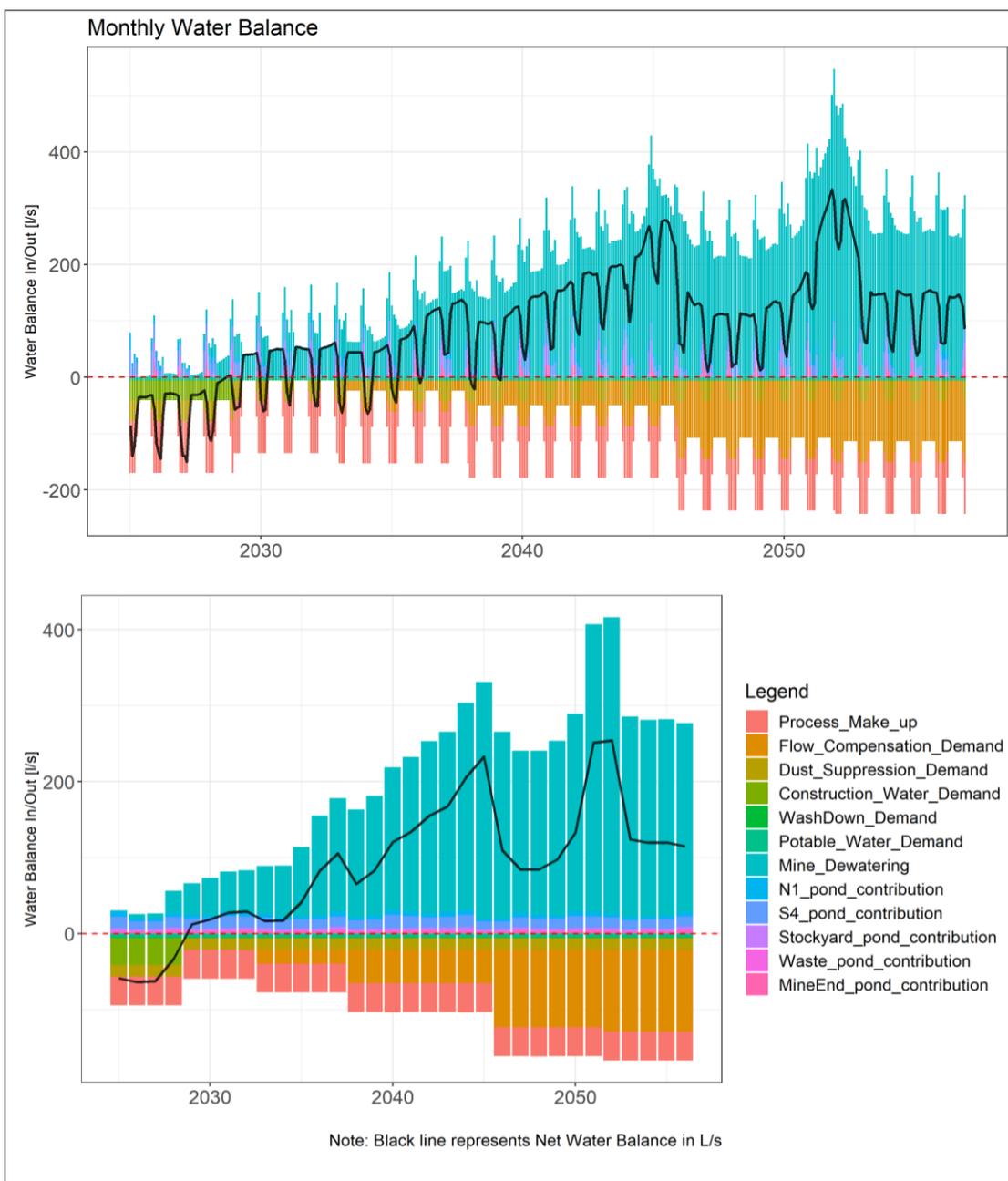
### 3.5 Résultats

#### 3.5.1 Bilan hydrique sur la durée de vie de la mine

Figure 33-3 présente un bilan hydrique sur la durée de vie de la mine pour Ouéléba sous la forme d'un diagramme à barres empilées. Des résumés mensuels et annuels sont présentés.

Les sources d'approvisionnement (y compris les débits d'assèchement) sont indiquées comme positives, les demandes sont négatives. Le bilan hydrique net, représenté par la ligne noire de la Figure 33-3, est négatif pendant les six premières années de la vie de la mine, reste presque neutre pendant les dix années suivantes, puis devient positif de l'année 16 à la fin de la vie de la mine, à mesure que les apports provenant de l'assèchement de la mine augmentent.

La série temporelle d'assèchement actuellement utilisée dans le bilan hydrique est basée sur les apports passifs d'eau souterraine, comme indiqué à la section 2.2.2. L'assèchement actif de la mine (c'est-à-dire l'eau prélevée par les puits d'assèchement) devrait compléter l'approvisionnement en eau au début et au milieu de la durée de vie de la mine afin de créer un bilan hydrique positif (c'est-à-dire d'éliminer le déficit actuellement observé).

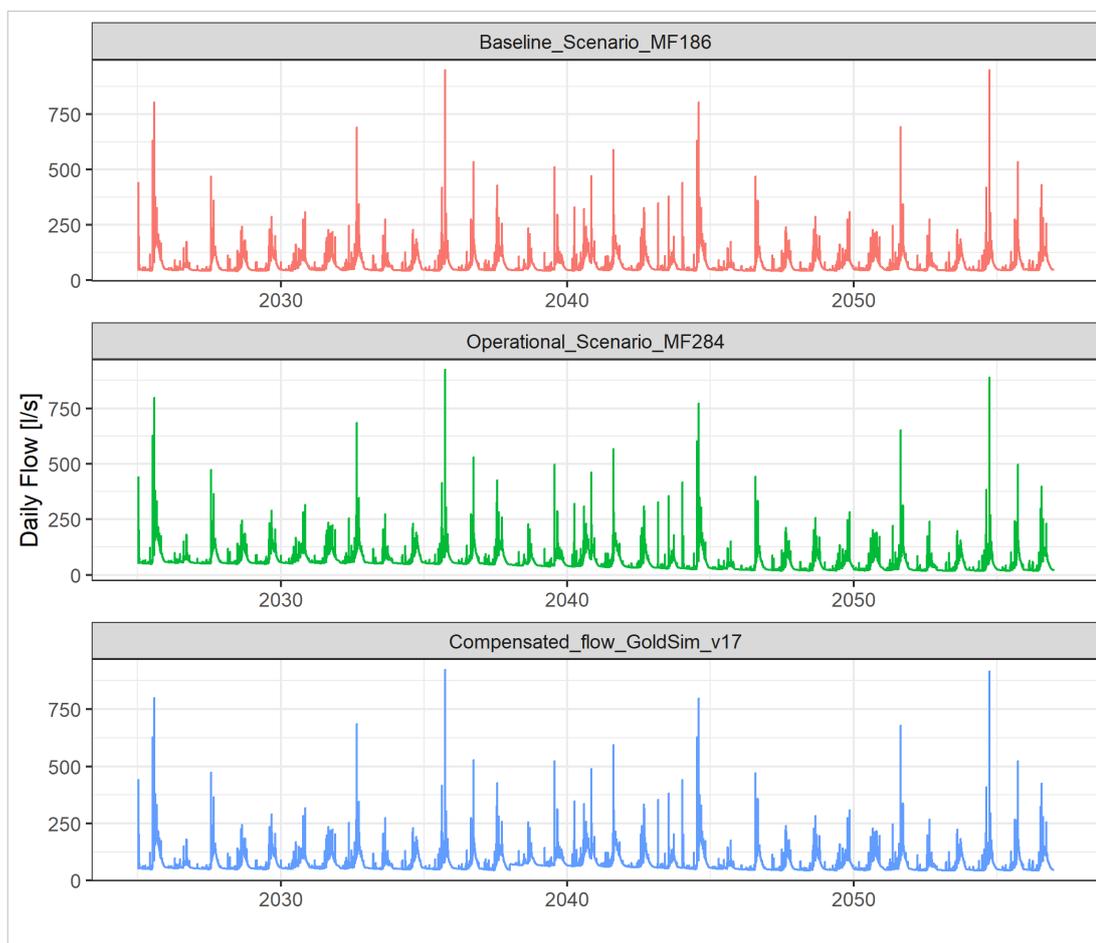


**Figure 33-3 : Bilan hydrique mensuel et annuel sur la durée de vie de la mine – Ouéléba**

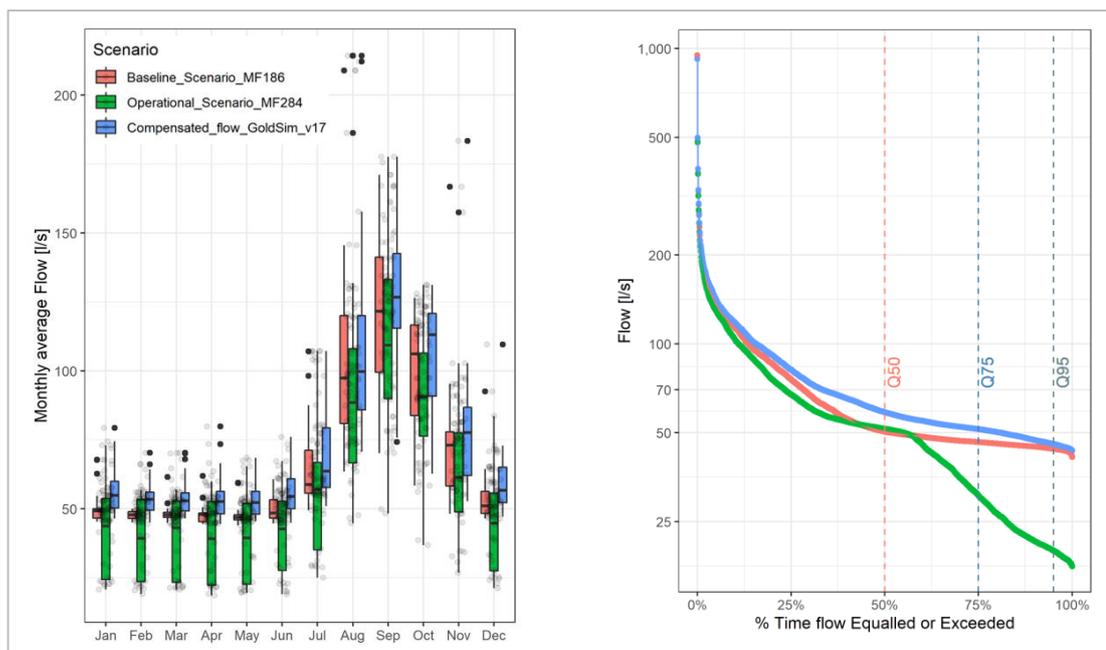
### 3.5.2 Évaluation des impacts sur le débit en aval

Le bilan hydrique prédit les débits journaliers de référence, opérationnels et compensés sur la durée de vie de la mine à chacun des points nodaux de contrôle du débit et de la qualité de l'eau (**Error! Reference source not found.**) le long du réseau de cours d'eau.

Figure 333-4 présente un exemple et montre les débits journaliers simulés à la station de jaugeage en aval dans la Boyboyba (RGS\_BOY) pour les scénarios de base, opérationnel et compensé. La perte de bassin versant dans le Boyboyba est minime (l'impact de la route de transport HME2 sur le ruissellement rapide et l'écoulement intermédiaire n'est pas représenté dans le modèle), de sorte que les seuls impacts notables concernent le débit de base. Ceci est facilement perceptible dans la Figure 33-5 qui montre le diagramme en boîte des débits mensuels sur le graphique de gauche et la courbe de durée du débit sur le graphique de droite. On observe que la demande de débit de compensation Q75 décrite à la section 3.3 (voir ligne bleue) atténue efficacement les impacts (ligne verte) pendant les périodes de faible débit et fournit une reproduction raisonnable des conditions de débit de base (ligne rouge) sur une base saisonnière.



**Figure 333-4** Série temporelle du débit journalier sur la durée de vie de la mine à RGS\_BOY pour les scénarios de base, opérationnel et de débit compensé



**Figure 33-5 : Graphique en boîte mensuel (gauche) et courbe de durée d'écoulement (droite) pour les scénarios de base, opérationnel et de débit compensé à RGS\_BOY**

### 3.5.3 Rejet dans l'environnement

Les rejets simulés dans l'environnement (excès d'eau) sont présentés à la Figure 33-6 sur un pas de temps journalier.

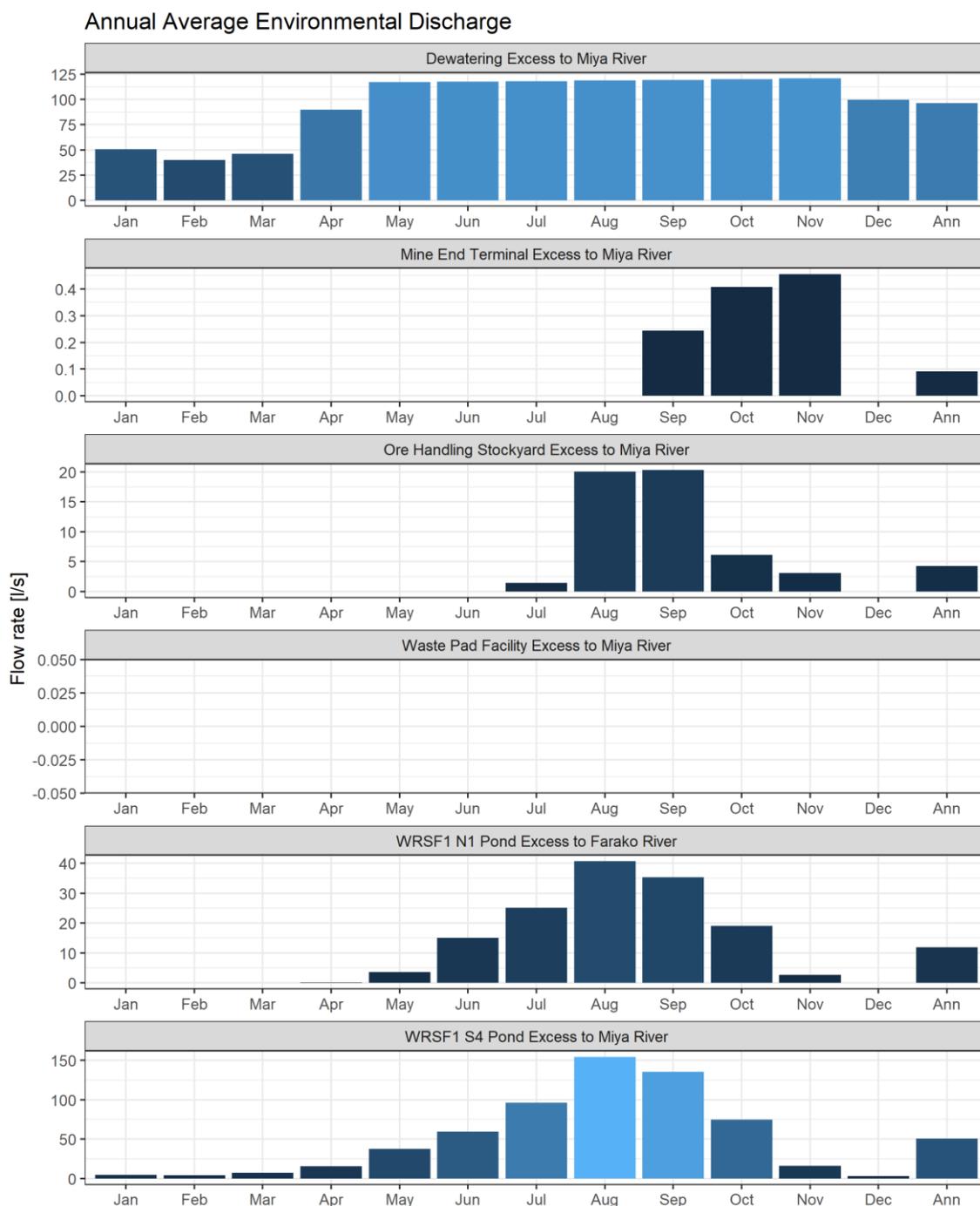
Les rejets moyens mensuels et annuels de chaque installation sont résumés dans la Figure 33-7 sur la durée de vie de la mine simulée sur 31 ans.

Le résultat indique un déversement régulier de WRSF1 et des bassins de stockage du minerai. Le bassin de l'installation de stockage des déchets ne présente aucun rejet dans l'environnement pendant toute la durée des opérations et le bassin MET ne déborde qu'en cas d'événements extrêmes.

L'optimisation du dimensionnement des bassins doit être poursuivie sur la base des dernières études techniques.



**Figure 33-6 : Rejets quotidiens simulés dans l'environnement (eau excédentaire)**



**Figure 33-7 : Moyenne mensuelle et annuelle des rejets simulés dans l'environnement (excès d'eau) sur la durée de vie de la mine**

### 3.5.4 Évaluation de la qualité de l'eau en aval

Le modèle SWWLB prédit les sorties quotidiennes des concentrations de métaux dans les eaux réceptrices en aval sur la base des données géochimiques et de qualité de l'eau décrites dans la section 3.43.4 La modélisation actuelle indique que, bien que faibles (de l'ordre de quelques microgrammes par litre), les concentrations de plusieurs métaux (dont le cuivre, le manganèse, le plomb et le zinc) pourraient encore être élevées par rapport aux valeurs de référence et aux valeurs indicatives de rejet. Il est important de noter que le paramétrage du modèle en ce qui concerne les termes sources géochimiques et la qualité de l'eau de base est préliminaire, tout comme les estimations des infiltrations de WRSF1.

Figure 33-8 présente un exemple de résultat et montre les concentrations de manganèse dans les eaux réceptrices du bassin versant de la Miya par rapport à la ligne directrice de l'OMS de 0,08 mg/L (représentée par la ligne bleue en pointillés). Des dépassements réguliers de la ligne directrice de l'OMS sont indiqués depuis le point de conformité à FARAKO1C\_1 jusqu'à FARAKO1C\_DS dans le village de Nionsonmoridou. Des concentrations plus faibles sont prévues dans la rivière Miya elle-même en raison d'une plus grande dilution dans les eaux réceptrices.



**Figure 33-8 : Concentrations prévues de manganèse dans les eaux réceptrices du bassin versant de la Miya**

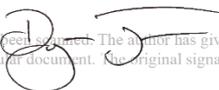
### 3.6 Limites et priorités des futures mises à jour du modèle

Le modèle SWWLB continue d'être développé et les notes suivantes se rapportent à son état de développement actuel :

- L'assèchement de la fosse dans le bilan hydrique utilise actuellement la série temporelle passive d'assèchement de MODFLOW. L'assèchement actif sera intégré dans le bilan hydrique une fois que les essais de pompage et les analyses de rendement des puits auront été réalisés. L'assèchement actif devrait fournir un apport plus important au bilan hydrique au début de la vie de la mine.
- Alors que les simulations du modèle MODFLOW-SWAc comprennent une phase de fermeture de la mine (section 2.2.4), la période de fermeture de la mine n'est pas actuellement incluse dans le bilan hydrique de Goldsim. Le régime d'écoulement post-fermeture sera incorporé dans Goldsim s'il est nécessaire d'évaluer les impacts sur la qualité de l'eau en aval lors de la fermeture. La fermeture progressive des puits par remblayage et inondation est prévue, mais le programme minier n'est pas suffisamment détaillé pour que ces données puissent être intégrées dans le bilan hydrique à l'heure actuelle.
- Le modèle adopte une approche extrêmement simplifiée pour estimer l'infiltration et le ruissellement de WRSF1. Les ingénieurs d'études procèdent actuellement à l'évaluation du ruissellement, de l'infiltration et de la couverture de WRSF1 et devraient être intégrés au modèle SWWLB dès qu'ils seront disponibles.
- La composante « charge » de SWWLB a été développée pour permettre l'évaluation des impacts en aval sur la qualité des eaux de surface en supposant uniquement une dilution et un transport de masse conservateur. Les termes sources du bilan de charge sont actuellement en état d'équilibre pour la concentration naturelle des eaux de surface et des eaux souterraines, et sur un pas de temps annuel pour les termes sources de WRSF1. Les variations temporelles et spatiales de la qualité de l'eau de ruissellement et du débit de base doivent être intégrées au modèle au fur et à mesure que des données de base supplémentaires sur la qualité de l'eau sont disponibles.
- Le bilan hydrique de Goldsim est utilisé pour déterminer les excès et les manques sur la durée de vie de la mine et sera finalement utilisé de manière itérative avec le modèle MODFLOW pour optimiser la programmation des puits d'assèchement.
- La prochaine étape de la modélisation du bilan hydrique nécessitera une évaluation plus complexe de l'utilisation et de la récupération de l'eau au niveau des piles de stockage, ainsi qu'une séparation plus poussée des utilisations (par exemple, canons à eau des stocks, dépoussiérage des empileurs et des récupérateurs, pulvérisations des concasseurs, etc.) Une évaluation plus poussée de la teneur en humidité du minerai entrant est également nécessaire, ce qui pourrait entraîner une réduction significative de la demande en eau pour la pile de stockage du minerai.

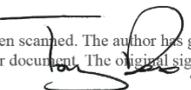
**Pour et au nom de SRK Consulting (UK) Limited**

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



Dylan John  
Consultant senior (gestion de projet)  
**Directeur 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 en entreprise (hydrogéologie)  
**Directeur 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.



Mark Raynor  
Consultant principal, hydrogéologie  
Responsable de l'hydrogéologie  
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.



Lorenzo Bianco  
Consultant, hydrotechnique  
Auteur  
SRK Consulting (UK) Limited



Ian Sutton  
Consultant principal, hydrogéologie  
Auteur  
SRK Consulting Australie



Stuart Daley  
Directeur, Hydrogéologie  
Auteur  
Science des eaux souterraines

**Date d'émission : juin 2023**

## GLOSSAIRE ET ABREVIATIONS

Définitions	
Évapotranspiration réelle (AE)	Le flux d'eau qui se produit réellement. Ce phénomène est limité par la quantité d'humidité disponible dans le sol.
Fermeture	Période au cours de laquelle les activités d'extraction de minerai d'une mine ont cessé et où le déclassement final et la remise en état de la mine sont en cours d'achèvement.
Débits de compensation	Les débits sont déversés dans le réseau d'eau de surface pour atténuer les effets de l'assèchement.
Demande de débit de compensation (DDC)	Le volume d'eau nécessaire pour atténuer les impacts sur le débit des cours d'eau conformément aux engagements révisés du PGES.
Intercalaire	Mouvement latéral de l'eau dans la zone non saturée ou la zone vadose.
Durée de vie de la mine (LoM)	Période pendant laquelle les réserves de minerai de la mine devraient être extraites grâce aux activités minières prévues.
Modèle MODFLOW	Modèle régional multicouche 3D des eaux souterraines de la mine à ciel ouvert de Ouéléba et des bassins versants en aval, exécuté sur un pas de temps mensuel et développé dans MODFLOW-USG.
MODFLOW-USG	Code de modélisation utilisé pour développer le modèle des eaux souterraines de l'Ouéléba. Code de modélisation des eaux souterraines standard, développé et publié par l'USGS. Une version à grille non structurée de MODFLOW pour simuler l'écoulement des eaux souterraines et adaptée à la simulation de l'assèchement des mines et des impacts qui en découlent sur les systèmes d'eaux de surface et d'eaux souterraines.
Post-fermeture	Lorsque la mine est entièrement fermée et qu'aucune mesure active n'est en place.
Modèle MODFLOW Post-fermeture	Modèle régional multicouche des eaux souterraines de la zone de la mine à ciel ouvert de Ouéléba et des bassins versants en aval, exécuté sur un pas de temps mensuel et développé dans MODFLOW-USG.
Évapotranspiration potentielle (EP)	Le flux d'eau dans des conditions non limitatives de l'eau du sol.
Modèle SWAc	Modèle de comptabilisation des eaux de surface. Modèle de ruissellement des eaux de surface distribuées spatialement – en exécution avec un pas de temps quotidien pour calculer le ruissellement rapide et l'interfluve vers les drainages des eaux de surface, l'interfluve vers les eaux de surface.
Modèle SWAc-MODFLOW	Sorties fusionnées des modèles SWAc et MODFLOW où le débit journalier de SWAc est fusionné avec le débit de base mensuel interpolé.
Modèle SWWLB	Modèle de bilan hydrique et de bilan de charge à l'échelle du site. Combine les résultats du modèle SWAc-MODFLOW et des flux de déchets minéraux.

Abréviations	Définition
AE	Évapotranspiration réelle
CFD	Demande de débit de compensation
LiDAR	Détection et télémétrie par ondes lumineuses
LoM	Durée de vie de la mine
masl	Mètres au-dessus du niveau de la mer
MET	Terminal ferroviaire côté mine
PE	Évapotranspiration potentielle
PGES	Plan de gestion environnementale et sociale
SWAc	Modèle de comptabilisation des eaux de surface
SWWLB	Bilan hydrique et de charge à l'échelle du site
WMF	Installation de gestion des déchets
WRSF	Installation de stockage des roches stériles
WRSF1	Installation Nord de stockage des roches stériles

## 4 REFERENCES

SRK, 2022). Référence climatique locale (I0016-0400-X-REP-00004\_1)

SRK, 2022a. Plan de surveillance des eaux du Simandou (I0016-0400-X-PLN-00002\_B)

SRK, 2022b. Engagements révisés du PGES, gestion des eaux d'exhaure ; document intermédiaire MS Excel

SRK, 2023). Rapport de référence sur les eaux souterraines du Simandou (I0016,0450-X-REP-00001\_A)

SRK, 2023a Évaluation géochimique du dépôt de stériles du nord de Ouéléba, Simandou, Guinée (I0016-0500-X-REP-00012\_A)

SRK, 2023b Rapport de référence sur la qualité de l'eau (I0016-0400-X-REP-00005\_0)

SRK, 2023c A Geochemical Assessment of Ouéléba Pit Dewatering Chemistry, Simandou, Guinea (I0016-0500-X-REP-00006\_A)