

Document à accès réservé

**Expertise hydrogéologique visant à évaluer le
risque de perturbation des eaux souterraines
en lien avec l'exploitation minière de PRONY
notamment sur la tribu de Goro et la plaine
des Lacs – Étude n°5**



Rapport Provisoire

BRGM/RC-72196-FR

Version 4 du 24 octobre 2022

Choisissez un élément.

Selles A., Dewandel B., Audigane P., Belbeze S., Bailly-Comte, Mathurin F.

Vérificateur :		Approbateur :	
Nom :	KLINKA Thomas	Nom :	BELBEZE Stéphane
Fonction :	Hydrogéologue	Fonction :	
Date :	18/10/2022	Date :	18/11/2022
Signature :		Signature :	

Avertissement

Ce rapport est adressé en communication exclusive au demandeur, au nombre d'exemplaires prévu.

Le demandeur assure lui-même la diffusion des exemplaires de ce tirage initial.

La communicabilité et la réutilisation de ce rapport sont régies selon la réglementation en vigueur et/ou les termes de la convention.

Le BRGM ne saurait être tenu comme responsable de la divulgation du contenu de ce rapport à un tiers qui ne soit pas de son fait et des éventuelles conséquences pouvant en résulter.

Votre avis nous intéresse

Dans le cadre de notre démarche qualité et de l'amélioration continue de nos pratiques, nous souhaitons mesurer l'efficacité de réalisation de nos travaux.

Aussi, nous vous remercions de bien vouloir nous donner votre avis sur le présent rapport en complétant le formulaire accessible par cette adresse <https://forms.office.com/r/yMgFcU6Ctq> ou par ce code :



Mots clés : Expertise, parc à résidu, pollution, mine, eau souterraine, Nouvelle-Calédonie

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Selles A., Dewandel B., Audigane P., Belbeze S., Bailly-Comte, Mathurin F. (2022) – Expertise hydrogéologique visant à évaluer le risque de perturbation des eaux souterraines en lien avec l'exploitation minière de PRONY notamment sur la tribu de Goro et la plaine des Lacs – Étude n°5. Rapport Provisoire V4. BRGM/RC-72196-FR, 8 p.

© BRGM, 2022, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.
IM003-MT008-P2-20/01/2022

Synthèse

L'entreprise Prony Resources New Caledonia opère un site industriel minier de nickel et de cobalt dans le sud de la Nouvelle-Calédonie. L'exploitation de la mine (fosses et verses) entraîne une modification des caractéristiques hydrogéologiques que l'exploitant s'est attaché à évaluer. Les impacts attendus sont multiples et ont fait l'objet d'équipements de suivi et de plusieurs modélisations. Les enjeux potentiellement impactés sont nombreux et concernent les populations mais aussi le milieu naturel qui dépendent des ressources en eau.

Les populations du Grand Sud ont exprimé leur inquiétude concernant ces impacts. À partir de ces sollicitations, la DIMENC (Direction de l'Industrie, des Mines et de l'Énergie de la Nouvelle-Calédonie) a émis un questionnaire réparti en une dizaine d'expertises qui ont eu pour but de passer en revue l'ensemble des données et rapports de Prony concernant les impacts de leur activité dans cette zone.

L'objectif de cette expertise (E5) est de répondre aux questionnements exprimés concernant l'état des lieux des connaissances hydrogéologiques et des impacts de l'activité minière sur les circulations d'eau souterraine.

Les réponses ont été faites à partir d'une revue critique de l'ensemble des données, études et expertises, en lien avec ce sujet, fournies par Prony Resources sur le secteur spécifique de l'expertise. Ce secteur a été divisé en trois zones qui traduisent la densité d'études et de documents disponibles pour répondre aux questions.

L'expertise met en évidence une grande quantité de données disponibles à proximité de l'exploitation. La compréhension locale des circulations souterraines est avancée mais nécessite un approfondissement. Des analyses et des traitements de données déjà disponibles sont nécessaires pour affiner les hypothèses sur les circulations d'eau souterraine (géophysique aéroporté, réinterprétation des essais par pompage). Cependant, dans les zones plus éloignées, les connaissances hydrogéologiques ne sont pas suffisantes et nécessitent de nouvelles acquisitions de données (installation de piézomètres, essais par pompage, slug test, traçages).

Les simulations d'impacts sur la biodiversité à l'Est de la fosse minière indiquent de fortes dégradations et ces zones doivent faire l'objet de suivis particuliers et permanents. Les impacts hydrauliques sont attendus à l'Est mais très probablement aussi vers le Nord (Trou du Tahitien) avec un assèchement des lacs Xéré Wapo ainsi que le lac Robert. Un suivi complet des espèces menacées particulières est requis dans ces zones ainsi qu'aux alentours.

La poursuite et l'extension du réseau de suivi selon un zonage décrit en détail dans le rapport sont fortement recommandées.

Sommaire

Contexte.....	8
Zone 1.....	11
Z1-Etat des connaissances.....	11
Zone 2.....	12
Z2-Etat des connaissances.....	12
Z2-A1-Les connaissances actuelles des réseaux d'eau souterraines et de leurs interconnexions sont-elles suffisantes pour caractériser complètement le risque hydrogéologique ?	14
Z2-A2-Sinon, quelles données reste-t-il à acquérir pour améliorer ces connaissances ?	15
Z2-B1-Les conditions d'écoulement de type karstique sont-elles connues ou identifiées sur le secteur ?.....	16
Z2-B2-L'exploitation minière peut-elle être un facteur déclenchant (modification des écoulements, mise en charge ponctuelle et locale, création d'un gradient hydraulique) ?	16
Z2-C1-Quels risques l'exploitation minière de VNC fait-elle peser sur la ressource en eau du Grand Sud	16
Zone 3.....	17
Z3-Etat des connaissances.....	17
Z3-A1- Les connaissances actuelles des réseaux d'eau souterraines et de leurs interconnexions sont-elles suffisantes pour caractériser complètement le risque hydrogéologique ?	23
Z3-A2-Sinon, quelles données reste-t-il à acquérir pour améliorer ces connaissances ?	24
Z3-B1-Les conditions d'écoulement de type karstique sont-elles connues ou identifiées sur le secteur ?.....	25
Z3-B2-L'exploitation minière peut-elle être un facteur déclenchant (modification des écoulements, mise en charge ponctuelle et locale, création d'un gradient hydraulique) ?	25
Z3-C1-Quels risques l'exploitation minière de VNC fait-elle peser sur la ressource en eau du Grand Sud	26
Z3-C2-Existe-t-il un risque spécifique à l'extension prévue de la fosse minière à court ou long terme ?	33
Z3-C3-Quel est l'impact sur la biodiversité et sur la ripisylve ?.....	34
Z3-D-Existe-t-il un risque spécifique qu'engendrerait l'exploitation minière en lien avec le changement climatique, notamment sur le flanc de montagne littoral ?	35
Conclusion	37
Synthèse graphique	38
References.....	39

Liste des figures

Figure 1. Questions exprimées par la DIMENC sur la zone de l'expertise E5	9
Figure 2. Secteur de Goro avec la délimitation des trois zones de l'expertise E5 et la fosse d'activité de 2022 (en noir).....	10
Figure 3. Cartographie de la zone 1	11
Figure 4. Cartographie de la zone 2	12
Figure 5. Modèle conceptuel de fonctionnement hydrogéologique sous les crêtes	14
Figure 6. Réseau de suivi sur la zone 2 avec des recommandations pour ajouter deux points supplémentaires. 4 stations de mesure de niveau d'eau (lacs), 20 stations de mesure piézométrique, 9 stations de mesure de débits (rivières).....	15
Figure 7. Connexions interbassins suspectées (A, B) et confirmées (C)	16
Figure 8. Principales zones d'activités minières sur la zone 3, les rivières principales et les secteurs particuliers mentionnés dans l'expertise	18
Figure 9. Carte piézométrique au niveau du Trou du Tahitien, en rouge l'extension de la mine en 2026.....	19
Figure 10. Carte piézométrique avec isoligne principales et intermédiaires de la zone du bassin de sédimentation de BSKN avec le réseau de suivi 2022.	20
Figure 11. Connexions interbassins endoréiques confirmées (les bassins en jaune), et incertaines (autres couleurs) sur le secteur de Kwé Est.....	21
Figure 12. Résultats de l'analyse piézométrique permettant d'identifier les secteurs avec de forts écoulements verticaux en comparaison de l'extension de la mine actuel et celui prévu (modifié d'après Jeanpert, 2017)	22
Figure 13. Comparaison entre les deux modèles conceptuels utilisés par les modèles MODLOW et FEFLOW, la différence vient des propriétés aquifères ou aquitard de la zone de transition .	23
Figure 14. Carte de situation de la zone 3.....	26
Figure 15. Rabattement modélisé des niveaux piézométriques dans l'aquifère principal en 2036	27
Figure 16. Secteurs avec les impacts notables en réaction à l'extension de la fosse minière...	28
Figure 17. Hauteurs d'eau et turbidité au pas de temps mensuel aux stations KOL et KAL – Source : Prony, 2020 ²⁵	30
Figure 18. Chronique de conductivité électrique journalière à la station KAL et 1-A – Source : Prony, 2020 ²⁵	31
Figure 19. Données de conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$) aux stations 1-A (vert) et 1-E (orange) situées sur la Kwé principale – Source : Prony 2020 ²⁵	31

Liste des annexes

Annexe 1 Tableau de synthèse des recommandations.....	41
---	----

Contexte

Située sur les communes de Yaté et du Mont-Dore, à l'extrémité sud de la Nouvelle-Calédonie, l'entreprise *Prony Resources New Caledonia* opère un site industriel comprenant une mine à ciel ouvert, une usine hydro métallurgique, un port et un parc à résidus.

L'exploitation de la mine (fosses et verses) entraîne une modification des caractéristiques hydrogéologiques que l'exploitant s'est attaché à évaluer. Les impacts attendus sont multiples et ont fait l'objet d'équipements de suivi et de plusieurs modélisations numériques. Les enjeux potentiellement impactés sont nombreux et concernent les populations mais aussi le milieu naturel qui dépendent des ressources en eau.

Les péridotites de Nouvelle-Calédonie présentent la particularité d'avoir une structure pseudo-karstique, ce qui entraîne des écoulements complexes qu'il convient de comprendre afin d'appréhender les conséquences de l'exploitation minière. La préoccupation principale concerne l'appréhension de potentielles réactivations de drains karstifiés (structures drainantes) suite à l'activité minière et son extension.

L'objectif de cette expertise (E5) est de répondre aux questionnements exprimés par la *DIMENC* (*Direction de l'Industrie, des Mines et de l'Énergie de la Nouvelle-Calédonie*) formulés d'après les attentes et inquiétudes des populations du Grand Sud (Figure 1).

Les réponses ont été faites à partir d'une revue critique de l'ensemble des données, études et expertises, en lien avec ce sujet, fournies par *Prony Resources* sur le secteur spécifique de l'expertise (Figure 2). Ce secteur a été divisé en trois zones qui traduisent la densité d'études et de documents disponibles pour répondre aux questions :

- **Zone 1:** très peu de documents disponibles car aucune étude détaillée n'a été réalisée à notre connaissance sur le secteur. ;
- **Zone 2:** documents orientés vers l'étude des interactions Nord-Sud avec KO4 (secteur Kwé Ouest 4) sous les crêtes de la Plaine des Lacs ;
- **Zone 3:** la majorité des documents disponibles pour cette expertise concerne cette zone.

Pour chaque zone, un bilan des compétences extraites des documents sera fait avant de répondre à chaque question.

Questions de l'expertise E5	
A	<p>1- Les connaissances actuelles des réseaux d'eau souterraines et de leurs interconnexions sont-elles suffisantes pour caractériser complètement le risque hydrogéologique ?</p> <p>2- Sinon, quelles données reste-t-il à acquérir pour améliorer ces connaissances ?</p>
B	<p>1- Les conditions d'écoulement de type karstique sont-elles connues ou identifiées sur le secteur ?</p> <p>2- L'exploitation minière peut-elle être un facteur déclenchant (modification des écoulements, mise en charge ponctuelle et locale, création d'un gradient hydraulique) ?</p>
C	<p>1- Quels risques l'exploitation minière de VNC fait-elle peser sur la ressource en eau du Grand Sud (par exemple : risque de baisse des débits d'eau, de baisse du niveau voire de disparition de certains lacs et dolines, risques liés à l'engravement générés par la mine) ?</p> <p>2- Existe-t-il un risque spécifique à l'extension prévue de la fosse minière à court ou long terme ?</p> <p>3- Quel est l'impact sur la biodiversité et sur la ripisylve ?</p>
D	<p>Existe-t-il un risque spécifique qu'engendrerait l'exploitation minière en lien avec le changement climatique, notamment sur le flanc de montagne littoral ?</p>

Figure 1. Questions exprimées par la DIMENC sur la zone de l'expertise E5



Figure 2. Secteur de Goro avec la délimitation des trois zones de l'expertise E5 et la fosse d'activité de 2022 (en noir)

Zone 1

Z1-ETAT DES CONNAISSANCES

La zone 1 comprend un secteur de 82 km² au nord de la Plaine des Lacs, très étendu vers l'ouest. Aucune étude hydrogéologique n'a été réalisée sur cette zone. A notre connaissance, il n'y a pas de documents permettant de répondre aux questions dans ce périmètre dans ceux fournis pour cette expertise.



Recommandation.R001 : Dans l'optique de suivre l'évolution de l'impact de l'activité minière sur une zone très étendue, le développement d'un réseau de suivi sur la zone 1 est suggéré. Ce réseau devrait concerner le suivi des niveaux dans les dolines et les lacs ainsi que le débit des cours d'eau, en particulier l'amont de la Kwé Binyi et la rivière des Lacs. Une attention particulière peut s'avérer utile aux abords des réserves naturelles présentes sur cette zone (Figure 3). La réalisation d'études hydrogéologiques est aussi recommandée, et pourrait le cas échéant justifier l'implantation de piézomètres (type plateforme) pour déterminer des sens d'écoulements ou les propriétés hydrogéologiques. L'analyse géologique des données de terrain et des acquisitions géophysiques aéroportées est aussi recommandée afin d'évaluer la présence de structures drainantes.

Zone 2

Z2-ETAT DES CONNAISSANCES

Avec une superficie de 27 km², la zone 2 englobe une grande partie de la Plaine des Lacs depuis le lac en Huit à l'Ouest pour s'arrêter avant le Trou du Tahitien à l'Est (Figure 4). La plupart des documents mentionnent un projet d'extension de l'activité minière de l'autre côté de la crête au sud dans le secteur de KO4¹. De nombreux documents évaluent l'impact de cette extension d'activité en lien avec la Plaine des Lacs². Les tests hydrauliques (longue durée de 48h) n'ont pas montré d'incidence sur les forages alentours de la crête (le plus proche à 75 m), n'a pas mis en évidence de zone perméable ($T= 3.10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$)³. Les connexions possibles entre la Plaines des Lacs et KO4 ont donc été étudiées au travers de plusieurs études dont des analyses piézométriques⁴ et des essais de traçages⁵. Néanmoins, aujourd'hui ces aménagements sur KO4 ne sont plus d'actualité, mais les principaux éléments à retenir sont que la connexion entre la Plaine des Lacs et KO4 reste à confirmer. L'analyse de données géophysiques aéroportées (données électromagnétiques) pourrait apporter des informations complémentaires sur la structure du substratum mais aussi sur la potentialité de structure pseudo-karstique dans le sous-sol.



Figure 4. Cartographie de la zone 2

1 103-VALE NC 2013 KO4 connaissances hydrogéologiques FEL2

2 110-GHD 2014 hydrogeology KO4

3 A2EP-ROCHE 2013 interprétation forage et pompages_Camp Géol_Rev0

4 104-A2EP ROCHE, 2014 Synthèse_analyses_piezometriques_2011-2013 final.pdf

5 115 - GOLDER, 2002. Document B-295. Groundwater Mapping and Tracing Study - East Kwe Waste Disposal Areas.

Un suivi dense de piézomètres et des données de perméabilité sont disponibles sur cette zone. Le sud-est de la Plaine des Lacs (ancienne piste d'atterrissage) est la zone où la conductivité hydraulique est la plus importante ($1,6 \cdot 10^{-6}$ m/s). Cela pourrait traduire la présence de failles ouvertes locales ou de structures pseudo-karstiques actives.

Des simulations ont été proposées dans la zone de KO4 afin d'évaluer l'impact sur la Plaine des Lacs⁶. Un schéma conceptuel est proposé pour décrire les écoulements verticaux mais surtout aussi les possibles drains karstiques sous les crêtes (Figure 5).

Extrait du rapport « VALE NC 2014b Livret_D_VOLET C » :

Le manteau d'altération et les chaînons rocheux constituent un système hydrogéologique classique, constitué par un niveau de saturation régional qui se répartit dans un ensemble de couches plus ou moins interdépendantes.

Cependant, ce schéma hydrogéologique simple est complexifié par la présence de failles d'extension régionale associées ou non à des phénomènes de karstification. Cette fracturation introduit deux modalités supplémentaires de circulation des eaux qui viennent se surimposer au schéma initial.

À l'échelle régionale, le système peut être décrit comme un puzzle de cellules, peu ou pas fracturées, séparées par des failles (Figure 5), l'ensemble étant plus ou moins interconnecté. Le fonctionnement de ce système à cellules peut être décrit au travers de deux fonctions :

- Une fonction de transfert aux frontières des cellules. En période de pluie, elle correspond à des écoulements très rapides et probablement fugaces au travers de la fracturation. Hors période de pluie les écoulements proviennent du drainage du profil d'altération à l'intérieur des cellules. Ils présentent alors les caractéristiques associées à une fonction capacitive. La vitesse moyenne d'écoulement est de l'ordre de 1 à 100 m par jour dans les failles actives et de quelques mètres par an dans les failles colmatées par les produits latéritiques. Lorsque des systèmes pseudo-karstiques se mettent en place, les vitesses d'écoulement augmentent de façon significative (potentiellement plusieurs kilomètres par jour) ;
- Une fonction capacitive caractérisée par des écoulements lents et tamponnés dans le manteau d'altération. L'alimentation des unités présentes dans le profil provient essentiellement de pluie infiltrée en surface de cellule. La vitesse moyenne d'écoulement est de l'ordre de quelques mètres par an dans l'aquitard latéritique et de quelques centaines de mètres par an dans l'aquifère principal. Cette fonction capacitive est à l'origine du débit de base et d'étiage des principales rivières du Massif du Sud.

Le socle rocheux constitue un substratum hydrogéologique régional. La profondeur à partir de laquelle sa perméabilité peut être considérée comme négligeable n'est pas connue avec précision, elle varie selon que l'on considère les zones de passage des grandes failles ou les panneaux intacts. Sur la base des études menées dans le secteur de Goro, la péridotite est considérée comme imperméable au-delà de 50 m d'épaisseur.

⁶ ARTELIA, 2013b. Simulation des impacts hydrogéologiques. Secteur KO4

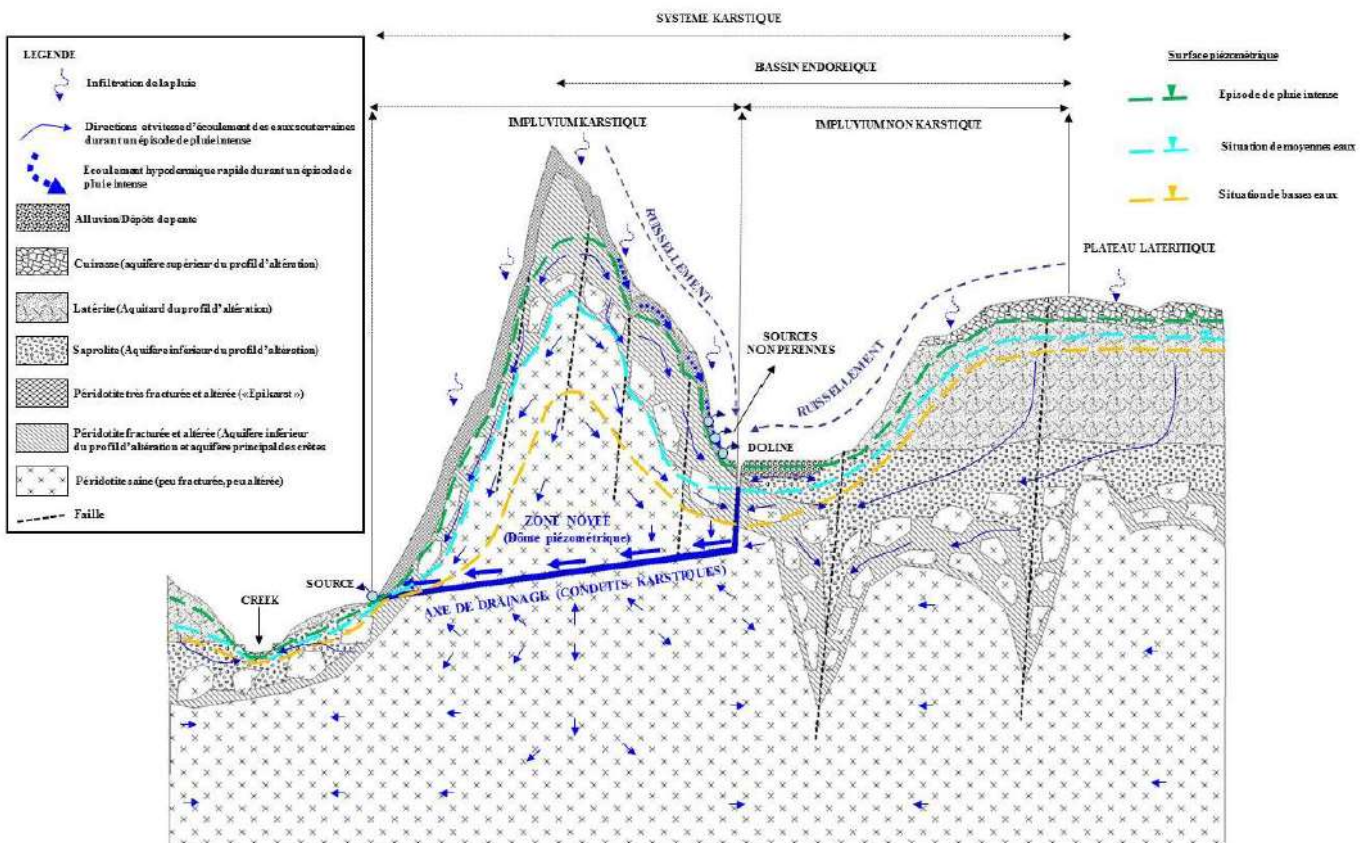


Figure 10 : Modèle conceptuel de fonctionnement d'un système pseudokarstique de chaînon rocheux

Figure 5. Modèle conceptuel de fonctionnement hydrogéologique sous les crêtes⁷

Z2-A1-LES CONNAISSANCES ACTUELLES DES RESEAUX D'EAU SOUTERRAINES ET DE LEURS INTERCONNEXIONS SONT-ELLES SUFFISANTES POUR CARACTERISER COMPLETEMENT LE RISQUE HYDROGEOLOGIQUE ?

La zone fait l'état de plus de 260 études, notamment concernant les liaisons Nord-Sud entre la Plaine des Lacs et le secteur minier KO4. Du fait de l'annulation des projets d'extension sur le secteur KO4, le risque hydrogéologique semble assez faible sur cette zone.

R002 : Continuer l'acquisition des données piézométriques (pression/température et idéalement conductivité électrique), et le cas échéant, s'ils existent, le débit des cours d'eau (hauteur et/ou jaugeage selon les zones disponibles) ainsi que les sources du secteur.

⁷ VALE NC (2014b) livret D – gestion et protection des eaux superficielles et souterraines communes du Mont-Dore et de Yaté Nouvelle-Calédonie volet C – cadre hydrologique et hydrogéologique régional

Z2-A2-SINON, QUELLES DONNEES RESTE-T-IL A ACQUERIR POUR AMELIORER CES CONNAISSANCES ?

Une augmentation de la densité de points de suivi est prévue pour 2025⁸. Ce nouveau réseau comprendra de nouveaux points de mesures de débits et de niveau d'eau sur le réseau de surface et sur les lacs ainsi que 18 nouvelles plateformes piézométriques (plusieurs piézomètres) (Figure 6).

R003 : Afin d'obtenir le suivi le plus complet possible de la zone, deux points de suivi piézométrique additionnels sont recommandés dans la zone annotée « recommandation de suivi ». Cela permettra de compléter le quadrillage prévu. Il est aussi conseillé de faire des essais hydrauliques (slug tests ou pompage de longue durée (48-72h)) sur la plupart des ouvrages pour caractériser les propriétés hydrauliques du système.

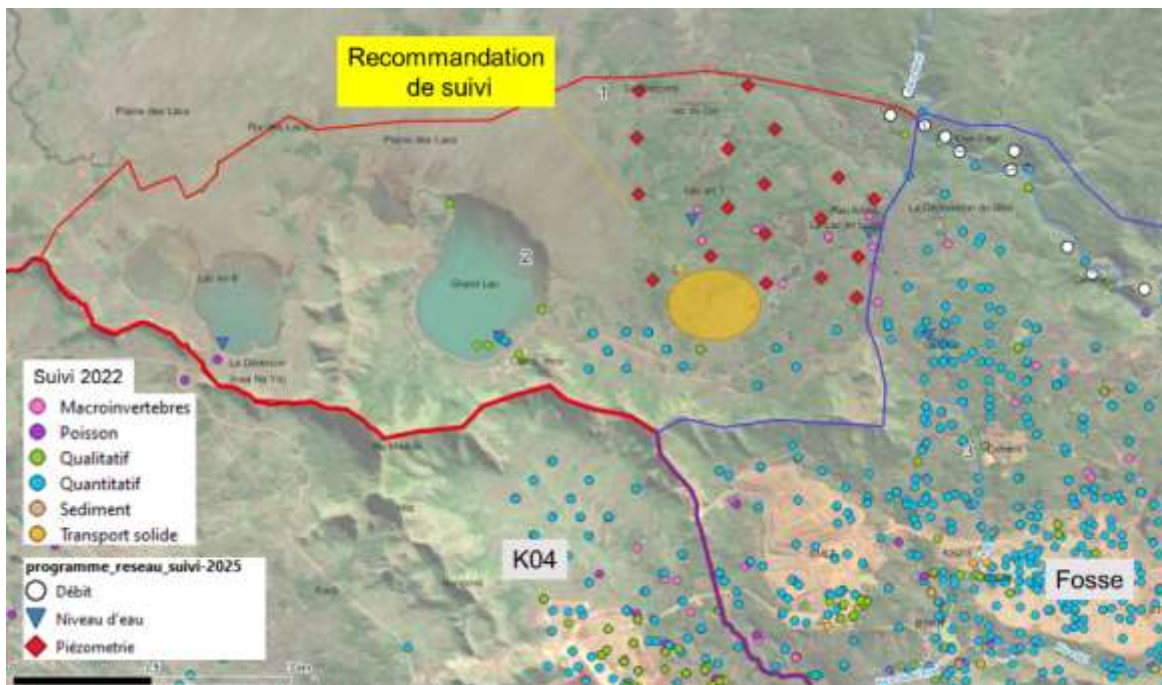


Figure 6. Réseau de suivi sur la zone 2 avec des recommandations pour ajouter deux points supplémentaires. 4 stations de mesure de niveau d'eau (lacs), 20 stations de mesure piézométrique, 9 stations de mesure de débits (rivières)

⁸ Secteur Plaine des lacs plan actions hydrogéologiques 2019-2025

Z2-B1-LES CONDITIONS D'ÉCOULEMENT DE TYPE KARSTIQUE SONT-ELLES CONNUES OU IDENTIFIÉES SUR LE SECTEUR ?

Sur la zone 2, une seule connexion pseudo-karstique, entre la plaine des Grands Lacs et la zone sud a été confirmée⁹ (connexion C, Figure 7). Les autres connexions sont fortement suspectées notamment par l'analyse des gradients piézométriques de chaque côté de la crête.

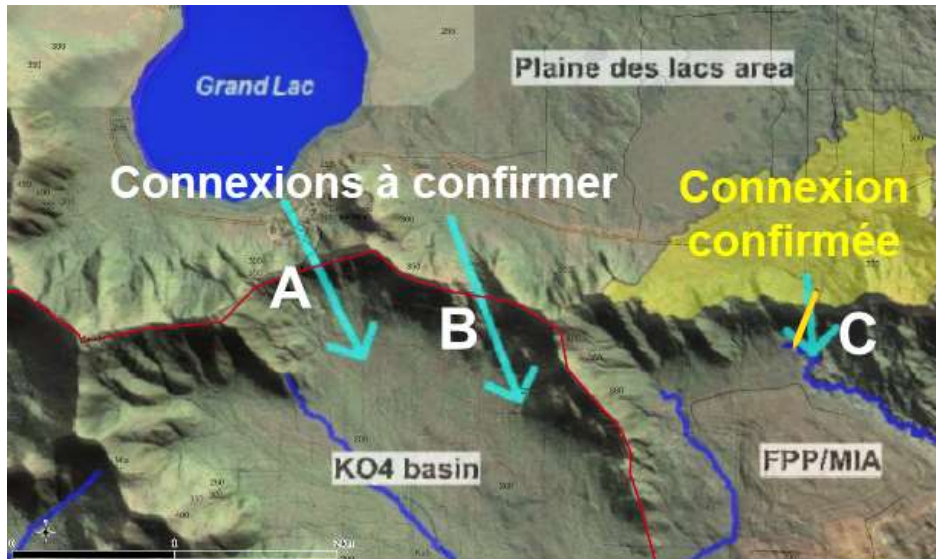


Figure 7. Connexions interbassins suspectées (A, B) et confirmées (C)

R004 : La zone KO4 n'étant plus considéré comme une zone potentielle d'exploitation, l'identification des connexions entre la plaine des Lacs et KO4 n'est pas une priorité. Dans le cas de figure où une activité est envisagée sur cette zone, il serait recommandé d'effectuer des mesures additionnelles (estimation de la transmissivité par essais de pompage ou slug test par exemple, réalisation de nouveaux essais par traçage).

Z2-B2-L'EXPLOITATION MINIÈRE PEUT-ELLE ÊTRE UN FACTEUR DÉCLENCHANT (MODIFICATION DES ÉCOULEMENTS, MISE EN CHARGE PONCTUELLE ET LOCALE, CRÉATION D'UN GRADIENT HYDRAULIQUE) ?

Cette zone est un secteur à risque en particulier en cas de réactivation de drain pseudo-karstique avec le secteur des Grands Lacs et de KO4 (relation non identifiée actuellement). L'activité minière sur KO4 n'étant plus d'actualité, le risque est désormais faible.

Z2-C1-QUELS RISQUES L'EXPLOITATION MINIÈRE DE VNC FAIT-ELLE PESER SUR LA RESSOURCE EN EAU DU GRAND SUD

La zone 2 ne fait pas l'objet d'activité minière directe. Mais dans le cas d'une reprise d'activité dans ce secteur, la connexion entre la Plaine des Lacs et KO4 devra être vérifiée en détail : essais par pompage, slug test, traçage voire création de nouvelles plateformes piézométriques de chaque côté de la crête.

⁹ 106-VALE NC 2014b Livret_D_VOLET C_cadre_hydro_rev0

Zone 3

Z3-ETAT DES CONNAISSANCES

La zone 3 s'étend de la Kwé Binyi au nord, jusqu'au littoral sud sur une surface de 100 km², et inclut la fosse d'activité minière (Figure 8). Cette zone est suivie par de nombreux points de mesures piézométriques et par les simulations des deux modèles mathématiques (FEFLOW et MODFLOW) pour évaluer l'impact de l'activité minière présente et future sur les niveaux d'eau des aquifères et les dolines¹⁰¹¹. La zone 3 présente donc des modèles conceptuels pertinents et de bonnes connaissances sur la dynamique piézométrique. Cependant, davantage d'investigations hydrogéologique et biologiques sont nécessaires dans les zones plus éloignées de la fosse minière. La thèse de J. Jeanpert couvre une grande partie de cette zone et donne des éléments sur l'identification des structures drainantes, ou du moins leur potentielle probabilité de localisation¹². Il y a eu des analyses de piézométrie dans la partie Est de la zone (vers la versée à stériles « SMLT ») qui montrent que les amplitudes piézométriques augmentent à mesure que l'on se rapproche des crêtes et des axes des vallées. Les amplitudes les plus fortes sont observées au pied des crêtes et dans les crêtes.

R.005 : La zone 3 a fait l'objet de nombreuses études. Les nouvelles investigations proposées porteront sur des zones périphériques ou à la transition entre la zone 3 et la zone 2.

¹⁰ ARTELIA, 2013a. Simulation des impacts hydrogéologiques. Secteur Goro

¹¹ HYDRIAD, 2013. Simulation des impacts hydrogéologiques – Secteur Fosse minière

¹² JEANPERT 2017 PhD thesis-hydrogeology of peridotites



Figure 8. Principales zones d'activités minières sur la zone 3, les rivières principales et les secteurs particuliers mentionnés dans l'expertise

Secteur du Trou du Tahitien (Le Trou)

C'est un secteur relativement peu connu, avec une forte dominance d'écoulements verticaux, voire même des zones plus perméables de type pseudo-karstique, mais la direction d'évacuation des eaux souterraines reste incertaine. Le traçage du Trou du Tahitien présente une faible réponse de restitution au sel (un seul essai sur deux a montré une restitution), mais la réponse est bien structurée et confirmée par des analyses. Le signal est cependant très faible et dans le même ordre de grandeur que d'autres variations non imputables au passage du traceur. Les deux traçages au sel n'ont pas été concluants, le premier ayant indiqué un exutoire au sud alors que le second n'a pu être restitué¹³.

En raison de la nature potentiellement karstique des écoulements depuis le Trou du Tahitien, les données piézométriques ne sont pas suffisantes pour statuer sur une direction d'écoulement vers le Sud plutôt que vers le nord (Figure 9).

¹³ 121 - GEOS4D 2020 Rapport traçage Trou du Tahitien FINAL

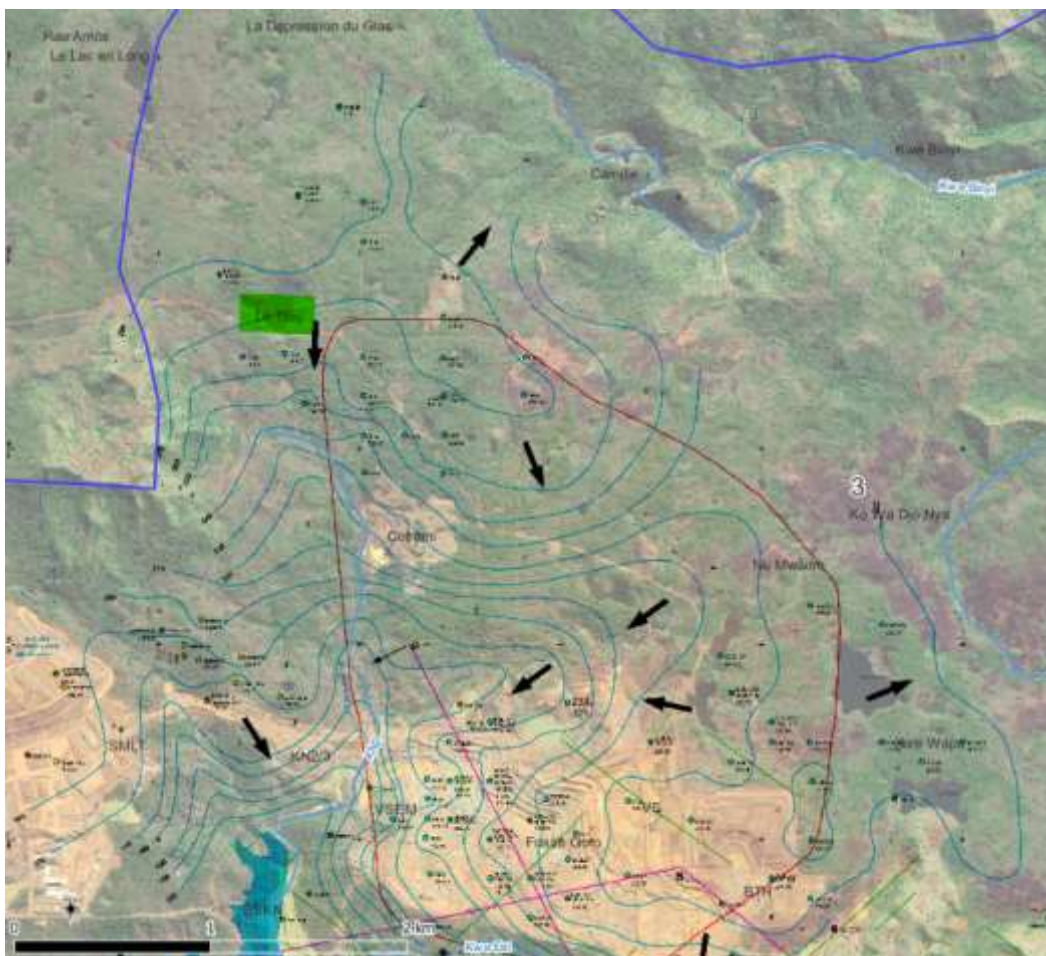


Figure 9. Carte piézométrique au niveau du Trou du Tahitien, en rouge l'extension de la mine en 2026¹⁴.

Secteur BSKN

L'identification d'une charge hydraulique diminuant avec la profondeur sous le niveau prévisionnel de la zone proche du bassin de sédimentation « BSKN » indiquerait des écoulements préférentiels, interprétée comme une faille, mais cela reste à vérifier¹⁵. Cependant, la majorité des écoulements rejoindront la Kwé par le canyon contournant la crête (Figure 10), la connexion hydraulique et la présence de la faille seraient intéressants à vérifier avec les données EM aéroportées mais n'impactent pas d'avantage les zones en aval.

¹⁴ 86-GOLDER 2001a Doc B-192 V.4

¹⁵ GOLDER 2002d Doc B-691

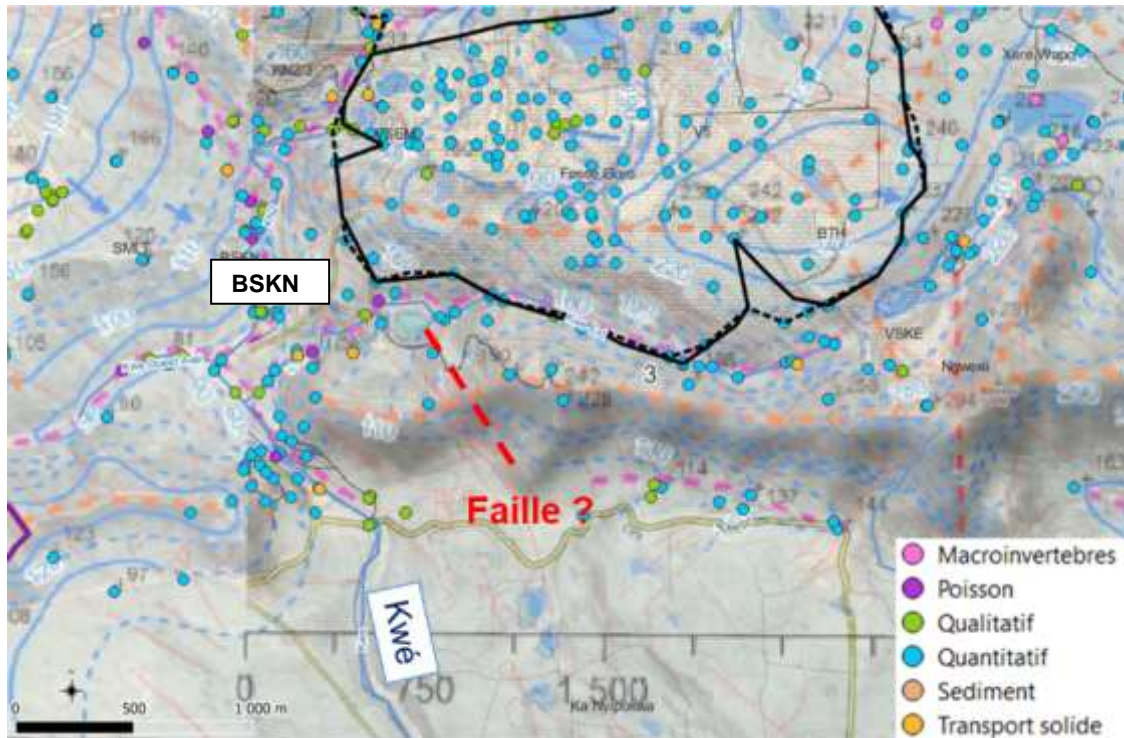


Figure 10. Carte piézométrique avec isoligne principales et intermédiaires de la zone du bassin de sédimentation de BSKN avec le réseau de suivi 2022¹⁶.

Secteur Kwé Est-VSKE (Verse à Stérile Kwé Est)

Dans ce secteur il y a une relativement bonne connaissance sur les perméabilités (environ 22 piézomètres en tout). De fortes perméabilités ont été observées bien qu'elles n'aient pu être mesurées par des tests réalisés sur les ouvrages dans l'horizon fracturé en zone de crêtes ($K > 1.10^{-5}$ m/s). De plus, les niveaux piézométriques des ouvrages au niveau de la crête sont très bas. Ces zones de crêtes pourraient avoir un développement probable de structures pseudo-karstiques¹⁷.

Les résultats des traçages de direction Nord-Sud depuis plateau endorique de Kwé Est et le bassin « entonnoir » sont fiables compte tenu de la très forte coloration observée aux exutoires et des suivis réalisés, et de la reproductibilité des essais^{18,19}. Les résultats obtenus sur les forages lors des essais utilisant des traceurs salins (TBH032/42) sont discutables en l'absence de réponse structurée.

¹⁶ 104-A2EP ROCHE, 2014 Synthèse_analyses_piezometriques_2011-2013 final

¹⁷ GOLDR 2002a Doc B357 V4.0

¹⁸ 120 - EMR, 2011. Réalisation de traçages à la fluorescéine au niveau des secteurs Entonnoir-Cascade et Gouffre-Captage. Rapport Ra-11-0313- V1, mai 2011

¹⁹ 119 - EMR 2010 traçage secteur Entonnoir – Cascade et creek pl des lacs

Les traçages artificiels ont permis de déterminer des connexions entre le bassin VSKE (verse à stérile Kwé Est)²⁰ et la rivière Truu au sud-est (Figure 11).

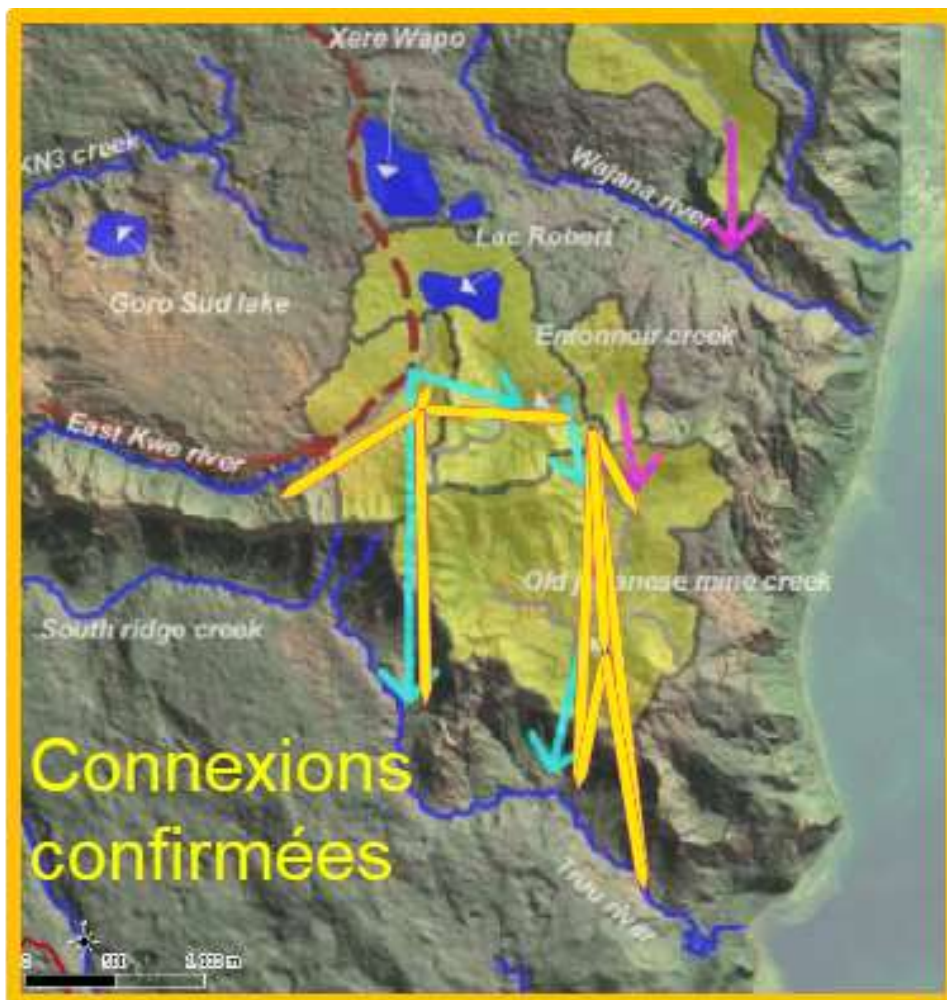


Figure 11. Connexions interbassins endoréiques confirmées (les bassins en jaune), et incertaines (autres couleurs) sur le secteur de Kwé Est²¹

Les cartes de transmissivité, de gradients piézométriques et du coefficient de tarissement des nappes (Jeanpert, 2017), suggèrent une zone à fort potentiel d'écoulement verticaux donc une possible zone de drainage (pseudo-karst) (Figure 12). Cette méthode a été effectuée à posteriori des essais par traçage et montre des résultats cohérents sur les zones potentiellement karstiques. Cette approche de cartes de transmissivité est donc préconisée pour les zones périphériques de la fosse minière (proche du littoral, vers Goro) et les zones de transition Zone 2 / Zone3.

²⁰ VALE NC 2010d Note état des connaissances hydrogéologiques secteur VSKE

²¹ 103-VALE NC 2013 KO4 connaissances hydrogéologiques FEL2

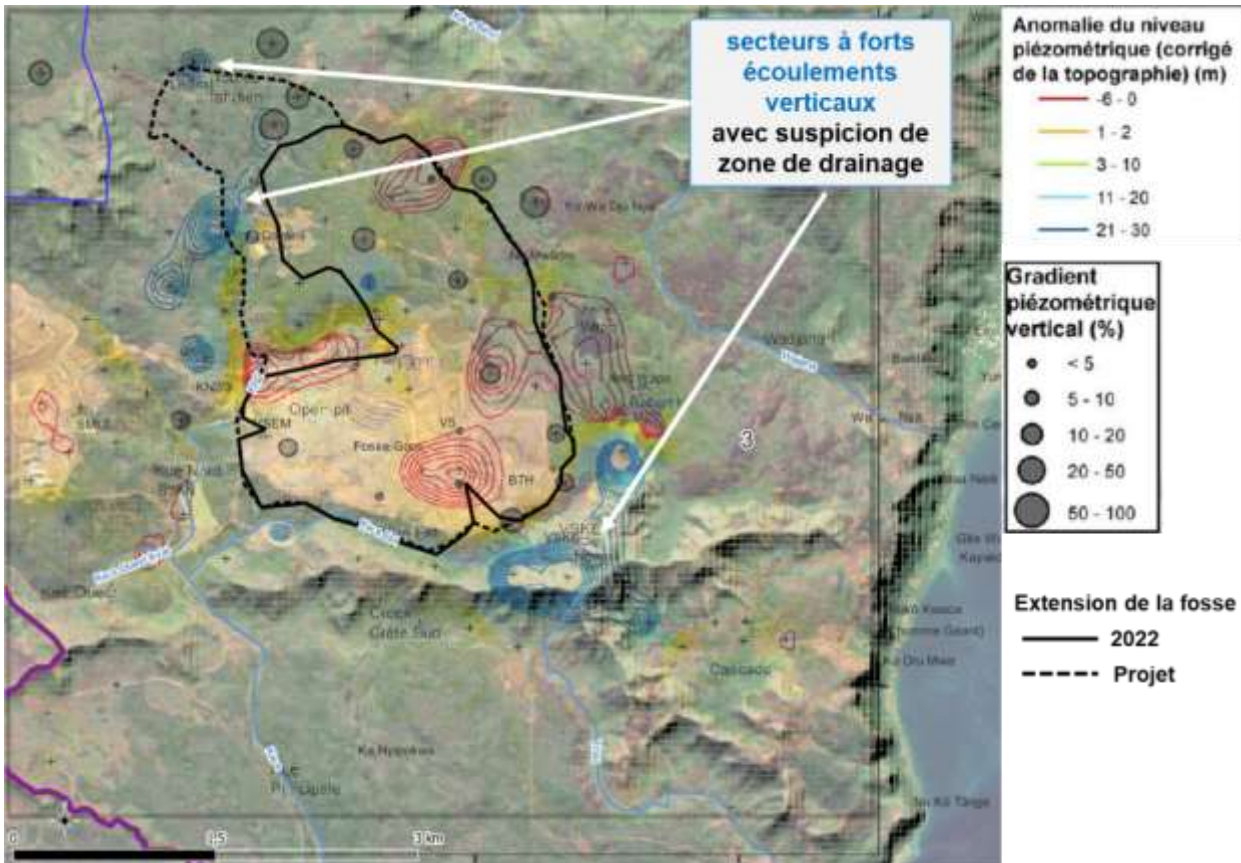


Figure 12. Résultats de l'analyse piézométrique permettant d'identifier les secteurs avec de forts écoulements verticaux en comparaison de l'extension de la mine actuel et celui prévu (modifié d'après Jeanpert, 2017)

La zone 3 a fait l'objet de simulations à l'aide de deux modèles numériques. Les résultats de baisse des débits des rivières et de piézométrie calculés varient selon les deux modèles ; le modèle FEFLOW estimant en général des impacts plus importants que le modèle MODFLOW. Les écarts entre les modèles proviennent de différences au niveau :

- i) des modèles conceptuels initiaux (la zone de transition dans les altérites ayant des propriétés aquifères pour MODFLOW et aquitard pour FEFLOW),
- ii) des extensions de maillages,
- iii) des conditions limites appliquées, ainsi que
- iv) du réseau de points utilisés pour le calage.

Profil géologique type	Fonction hydrogéologique	Découpage vertical Modèle MODFLOW	Découpage vertical Modèles FEFLOW
Cuirasse	Aquifère supérieur		
Latérite rouge	Aquitard	Couche 1	Couche 1
Latérite jaune			<i>Différence significative</i>
Transition	? (Rôle ambigu)		Couche 2
Saprolite	Aquifère principal	Couche 2	
Bedrock fracturé			Couche 3
Bedrock sain	Substratum hydrogéologique	Couche 3	Couche 4

Figure 13. Comparaison entre les deux modèles conceptuels utilisés par les modèles MODFLOW et FEFLOW, la différence vient des propriétés aquifères ou aquitard de la zone de transition²²

L'approche multi-modèles est intéressante pour ce genre de contexte complexe. Les deux modèles ont des approches différentes et permettent une meilleure évaluation des incertitudes sur les impacts. Les deux modèles conceptuels peuvent être validés localement par des observations en forage et s'applique à des superficies différentes. Le modèle FEFLOW sera plus robuste à petite échelle tandis que le modèle MODFLOW est plus simplifié (moins de couches) et peut localement être plus approximatif mais sera potentiellement plus robuste à grande échelle.

Z3-A1- LES CONNAISSANCES ACTUELLES DES RESEAUX D'EAU SOUTERRAINES ET DE LEURS INTERCONNEXIONS SONT-ELLES SUFFISANTES POUR CARACTERISER COMPLETEMENT LE RISQUE HYDROGEOLOGIQUE ?

Cette zone est intensément suivie. Les connaissances actuelles permettent d'évaluer l'impact des activités minières sur les écoulements grâce aux outils de modélisation. Néanmoins, certains secteurs mériteraient une attention particulière avec un suivi accru et de nouvelles expériences de traçage ou d'essais par pompage/slug test. C'est le cas notamment pour le secteur du Trou du Tahitien ou la zone sud à proximité du littoral (à proximité de Goro).

R006 : Continuer à poursuivre l'acquisition des données piézométriques, et le cas échéant, s'ils existent, le débit des cours et sources du secteur.

²² VALE NC 2014 comparaison modèles hydrogéologiques

Z3-A2-SINON, QUELLES DONNEES RESTE-T-IL A ACQUERIR POUR AMELIORER CES CONNAISSANCES ?

La zone 3 a été soumise à un grand nombre d'étude et la caractérisation hydrodynamique à proximité de la fosse minière a bien été évalué. Les recommandations qui suivent concernent donc des zones locales précises où des compléments d'informations seraient nécessaires pour valider les observations déjà effectués ainsi que les zones en périphérie (zone littoral vers Goro et à la transition de la zone 2, vers la plaine des Grand Lacs).

R.007 : Possibilité, à partir des données disponibles (données de perméabilité ou à partir des cartes piézométriques détaillées - cf. Thèse J. Jeanpert), d'établir des cartes de conductivité hydraulique ou de transmissivité, et de faire des analyses des gradients verticaux et des coefficients de tarissement de la nappe (en particulier sur le secteur Kwé Ouest). Ces analyses devraient permettre d'évaluer la présence de secteurs potentiellement drainants (structure pseudo-karstiques par exemple), qu'il conviendra, si nécessaire, de vérifier *in-situ* par d'autres moyens (forage, traçage par exemple).

R.008 : Pour le traçage dans le secteur du Trou du Tahitien, la fluorescéine semble être le meilleur traceur du fait de sa toxicité quasi-nulle, de sa dégradation rapide à la lumière du soleil et de son rendement de fluorescence très élevé permettant de limiter les quantités à injecter. Des traçages successifs avec des quantités de traceur de plus en plus importantes pourraient permettre d'identifier les exutoires restituant le traceur sans risquer de colorer les rivières, et ainsi limiter l'impact sociétal de ces expériences. La durée entre les traçages dépendra des observations aux exutoires. Ces traçages doivent être dimensionnés à partir des exemples de traçages positifs réalisés précédemment, et notamment ceux ayant donné lieu à de très fortes colorations aux exutoires.

Les injections devront être faites lorsque le Trou du Tahitien est encore en eau et se vidange, à l'aide d'un dispositif (tube crépiné enfoncé dans le sol par exemple) permettant de réaliser l'injection directement au niveau de la zone de perte pour limiter la coloration de l'eau du Trou du Tahitien. Une étude de faisabilité d'injection de traceur pourra être réalisée au préalable afin de bien dimensionner l'essai.

Pour le suivi de la restitution, l'installation de fluorimètres sera préférée aux prélèvements d'eau. L'avantage des fluorimètres est de favoriser une détection plus fine et sans risque de contamination entre les sites. Des échantillonnages seront réalisés en complément avant l'injection et lors de chaque passage de maintenance des appareils en vue d'une analyse spectrofluorimétrique (excitation et émission) au laboratoire en cas de doutes sur les données des fluorimètres (perturbations causées par des pics de turbidité par exemple).

Z3-B1-LES CONDITIONS D'ÉCOULEMENT DE TYPE KARSTIQUE SONT-ELLES CONNUES OU IDENTIFIÉES SUR LE SECTEUR ?

Il y a une bonne connaissance en général du secteur en termes de sens d'écoulement et de variations piézométriques (cartes piézométriques disponibles sur la partie nord²³ mais qui pourraient être réactualisées et à poursuivre dans le sud).

Quelques incertitudes persistent donc sur les secteurs où la présence de conduits karstiques ou structures drainantes est suspectée Kwé Est et Trou du Tahitien.

R.009 : Extension et réactualisation des cartes piézométriques sur l'ensemble du réseau de suivi. À partir de ces données et des distributions statistiques des perméabilités (K) ou transmissivités (T) des cartes de ces paramètres (K ou T) pourraient être établies (cf. Thèse J. Jeanpert 2017). Ces cartes vont aussi permettre d'affiner les directions des écoulements.

R.010 : Effectuer des slug tests ou si possible des essais par pompage pour évaluer les transmissivités et en proposer une cartographie dans les zones périphériques de la fosse minière. Les slug tests sont à préférer aux essais Lugeon ou Lefranc car ils permettent d'explorer une plus large gamme de perméabilité que ces derniers. Si les slug tests permettent d'appréhender la perméabilité de l'aquifère dans un espace restreint (local) autour d'un forage (« proche puits »), des essais par pompage de longue durée (de plusieurs heures à 24h suivant l'objectif de ce dernier), permettent de donner des informations sur la structure du réservoir :

- la possibilité d'interception de l'ouvrage avec une structure drainante,
- l'ordre de grandeur de la géométrie de l'aquifère,
- les possibles limites de l'aquifère et estimer la drainance.

Ces essais pourraient être conduits sur les ouvrages où l'on suspecte des structures anormalement perméables.

Z3-B2-L'EXPLOITATION MINIERE PEUT-ELLE ETRE UN FACTEUR DECLENCHANT (MODIFICATION DES ECOULEMENTS, MISE EN CHARGE PONCTUELLE ET LOCALE, CREATION D'UN GRADIENT HYDRAULIQUE) ?

Il y a un risque identifié de faire disparaître localement la limite de partage des eaux dans le secteur Kwé Est/Rivière Truu suite à un décaissage trop important considérant le manque de connaissance sur les circulations souterraines au niveau des crêtes.

Il existe un risque lié à la non-étanchéité de la crête séparant la Kwé Ouest du secteur BSKN : il y a un risque d'écoulement souterrain par le Sud et donc vers la Kwé principale.

Le secteur du Trou du Tahitien pourrait présenter une (ré)activation de réseaux pseudo-karstiques, lors de la poursuite de l'exploitation vers le Nord. Cette remise en fonction de drains de circulation pourrait réorienter des flux souterrains et créer des « vidanges » des eaux de surface.

²³ VALE NC 2014a CPVSKE note hydrogéologique finale 20140113 revue 1

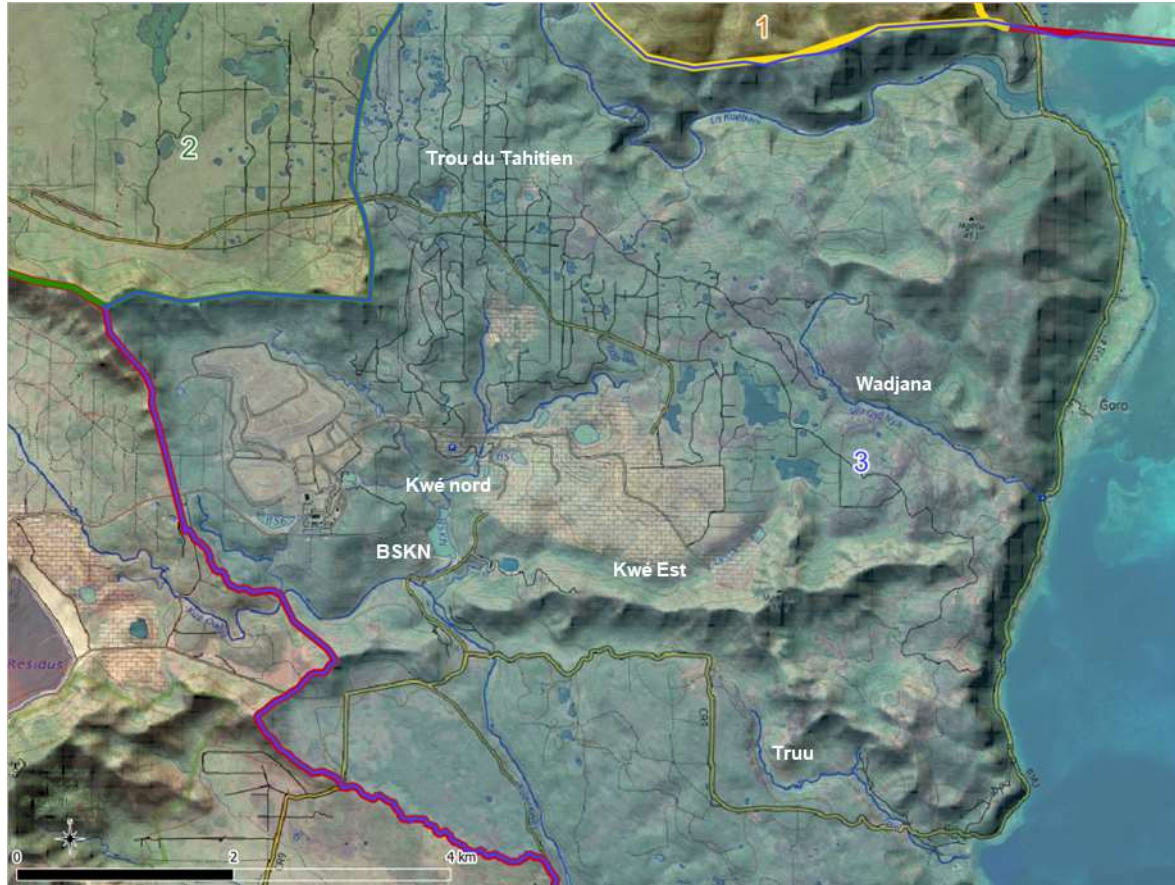


Figure 14. Carte de situation de la zone 3

Z3-C1-QUELS RISQUES L'EXPLOITATION MINIERE DE VNC FAIT-ELLE PESER SUR LA RESSOURCE EN EAU DU GRAND SUD

Impact sur la quantité de la ressource

Sur le secteur du Trou du Tahitien, il n'est pas exclu qu'une partie (ou la totalité) des écoulements souterrains se fasse vers le Nord (Kwé Beni) lors de certaines conditions de saturation du système. Le plan d'action prévu par l'exploitant correspond au manque de connaissance sur ce secteur.

D'après les simulations d'agrandissement de la fosse, le secteur avec le Lac Robert manifesterait une baisse de la piézométrie et une disparition du lac.

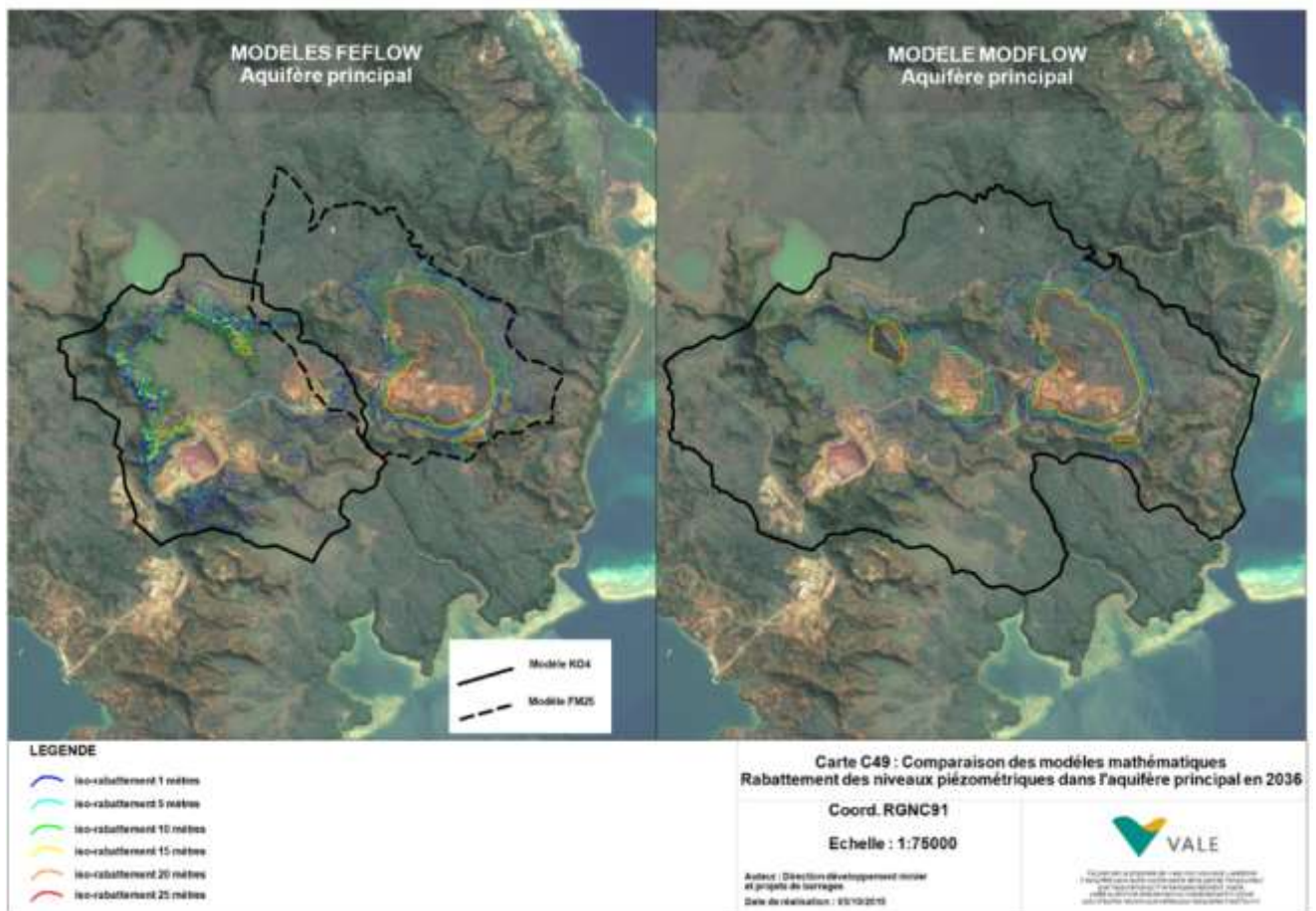


Figure 15. Rabattement modélisé des niveaux piézométriques dans l'aquifère principal en 2036²⁴

R.011 : Surveillance en quantité et qualité des nappes souterraines et des cours d'eau avec une attention particulière sur les zones Wadjana, Kwé Est, KN2 et le Trou du Tahitien (Figure 16).

²⁴ DAEM_2015_Livret_C_Volet_C

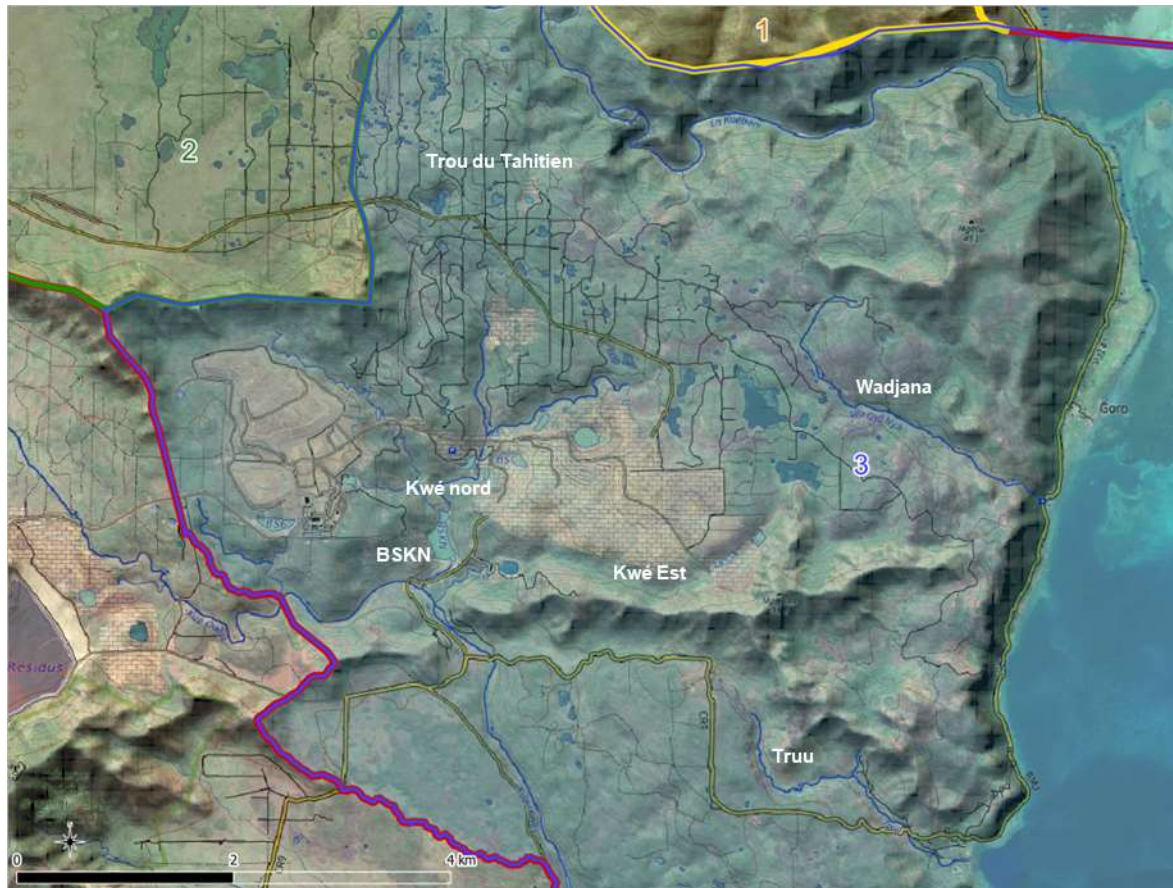


Figure 16. Secteurs avec les impacts notables en réaction à l'extension de la fosse minière

D'après les simulations des modèles, l'exploitation de la mine est susceptible d'assécher certaines dolines, voire de dé-saturer en partie les aquifères, et donc d'abaisser des cours d'eau et notamment au cours de l'étiage.

Voici quelques simulations des impacts d'extensions de la fosse minière (code couleur en accord avec la Figure 16²⁵ ²⁶) :

- **KWE NORD** jusqu'à 60% de baisse du débit de base des cours d'eau (les deux modèles sont proches)
- **KWE EST** 70% de baisse du débit de base des cours d'eau pour le modèle FEFLOW, 35% pour le modèle MODFLOW
- **WAJANA** 16% de baisse du débit de base des cours d'eau pour le modèle FEFLOW et 0% pour le modèle MODFLOW

Ces simulations montrent que les impacts seront importants sur la Kwé Nord et Kwé Ouest, mais les études nuancent de près de 30% les diminutions de débits des rivières avec la réinjection possible de eaux de drainage et de ruissellement dans les cours d'eau.

²⁵ HYDRIAD, 2013. Simulation des impacts hydrogéologiques – Secteur Fosse minière

²⁶ ARTELIA, 2013a. Simulation des impacts hydrogéologiques. Secteur Goro

R.012 : En cas de réinjection des eaux de drainage et de ruissellement, la qualité de ces dernières devra répondre aux normes environnementales en vigueur et son suivi devra être effectué. La qualité de l'eau réinjectée n'est pas mentionnée dans les documents fournis, elle devra donc être un point d'attention particulier afin de nuire ni à l'alimentation en eau potable des populations, ni à l'environnement.

Impact sur la qualité des eaux

La rivière de la Kwé Est sera la plus impactée à l'échelle du bassin versant de la Kwé, la moitié du cours d'eau étant actuellement non pérenne sans nouvelle extension majeure de la fosse minière. En cas d'extension de la fosse minière, l'étude d'impact ne doit pas exclure le risque sur la rivière Wadjana, dont le bassin versant se situe à l'Est de la fosse minière actuelle.

Si l'influence de l'extension de la fosse minière sur les débits des cours d'eau a fait l'objet de modélisations prédictives, l'influence sur la qualité des eaux des rivières concernées reste non évaluée dans les études mises à disposition dans le cadre de l'expertise. Outre la problématique de l'impact environnemental, la qualité des eaux pendant l'exploitation minière constitue également l'un des facteurs de perturbation ou de stress sur les espèces aquatiques. La composante qualité des eaux constitue donc l'un des prérequis pour mener au plus juste l'étude d'impact sur la biodiversité et la ripisylve. Par conséquent, certains éléments de réponse sont apportés par le BRGM sur le volet qualité des eaux de rivière à partir des quelques tendances disponibles dans les rapports annuels de surveillance des milieux récepteurs²⁷, transmis par Prony dans le cadre d'une autre expertise (*expertise E6*). À noter que le rapport annuel 2020 concernant l'activité minière ne fait pas partie des documents versés aux différents dossiers d'expertise menés par le BRGM. Les résultats complémentaires potentiellement disponibles dans ce document ne sont donc pas pris en compte ci-après.

Afin de détecter les impacts liés aux activités minières et extractives, les eaux de surface font l'objet de suivis des concentrations et des paramètres physico-chimiques (conductivité, pH, Eh, oxygène dissous), conformément à l'arrêté autorisant l'exploitation du site minier de « GORO » n°2698-2016/QRR/DIMENC. Aucun résultat n'est présenté dans le rapport annuel de surveillance pour la station WJ-01 située sur la rivière Wadjana²⁵, ou la station KE-05, située sur la Kwé Est. En conséquence, seules les stations de surveillance 1-A (ou KAL) et 1E, situées sur la Kwé principale, font l'objet d'une analyse descriptive des tendances générales des paramètres physico-chimiques en fonction de l'évolution des niveaux d'eau de la rivière.

L'approche initiale testée par le BRGM vise à identifier l'état physico-chimique et la composition chimique des eaux de la Kwé pendant les périodes d'étiage les plus prononcées. Ces périodes pourraient être envisagées comme potentiellement représentatives des futurs niveaux d'eaux de base de la rivière pendant et après la future extension majeure de la fosse minière.

²⁷ Prony Ressources New Caledonia (Juin 2021) Surveillance des milieux récepteurs – Rapport annuel 2020, Eaux douces de surface.

Toutefois, l'évolution des niveaux de la rivière au droit des deux stations ne peut être exploitée à partir des graphiques présentés dans le rapport de suivi 2020²⁵, l'échelle de ces derniers n'étant pas adaptée à la démarche et à la problématique envisagée (Figure 17). En l'absence d'accès aux données brutes, il n'est pas possible de mener en l'état une étude fine des concentrations ou valeurs de paramètres physico-chimiques pendant les périodes d'étiage extrême de la rivière. Différentes tendances générales sont néanmoins observées à l'échelle des saisons (hautes-eaux, basses-eaux) ou depuis la mise en service du complexe minier en 2008, permettant d'émettre certaines hypothèses quant à l'impact de la fosse minière sur la qualité des eaux de la Kwé principale.

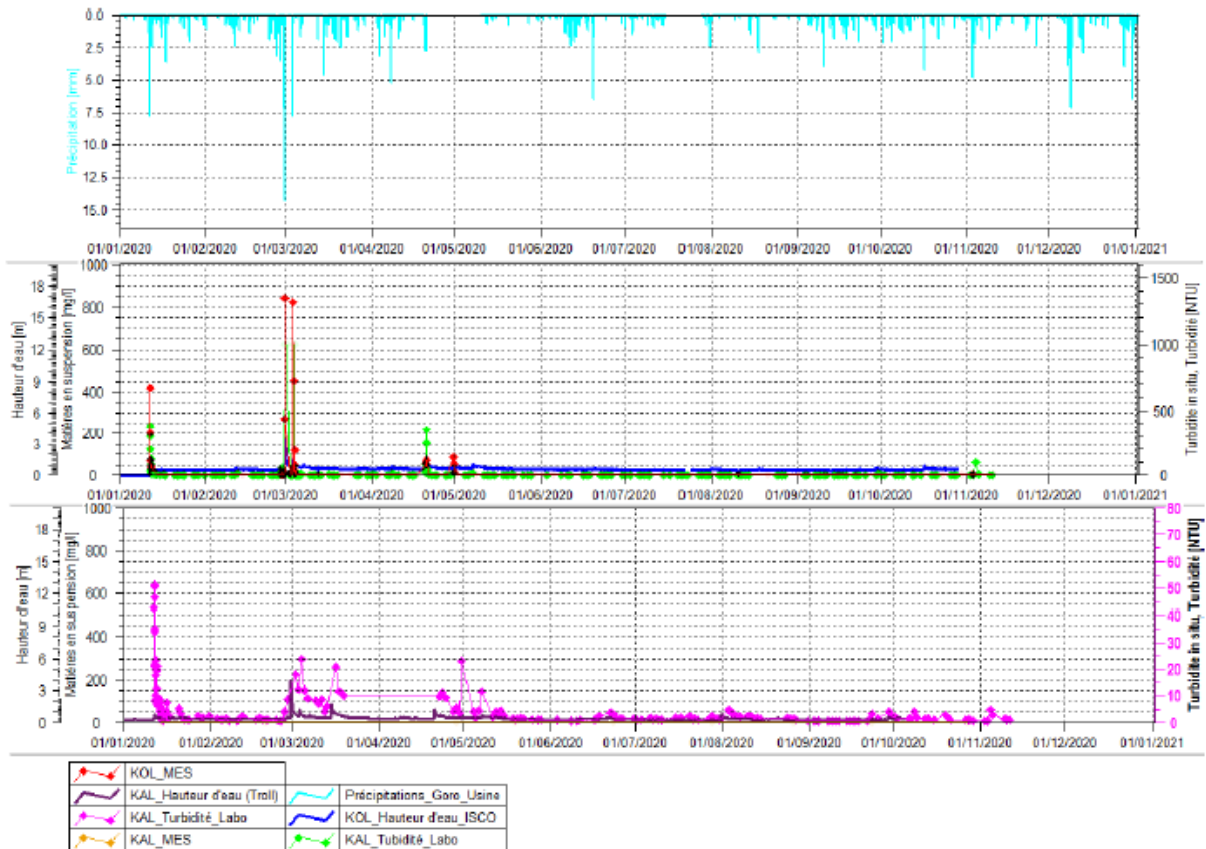


Figure 17. Hauteurs d'eau et turbidité au pas de temps mensuel aux stations KOL et KAL – Source : Prony, 2020²⁵

À l'échelle des saisons, les paramètres physicochimiques évoluent entre la période de hautes-eaux (mai en 2020) et la période de basses-eaux (octobre en 2020). Les valeurs (moyenne) de conductivités électriques, analogue qualitatif de la minéralisation des eaux, augmentent progressivement pendant cette période de plus faible niveau d'eau dans la rivière (Figure 18). Bien que les valeurs moyennes n'évoluent que de 140 à 170 $\mu\text{S}/\text{cm}$ sur la période, cette tendance souligne un enrichissement de certaines espèces majeures dissoutes dans les eaux de la rivière avec la baisse du niveau moyen de la rivière. Ce type de tendance est également observé pour les valeurs de potentiel redox – évolution de 270 vers 170 mV – et en oxygène dissous – évolution de 10 mg/L vers 9 mg/L – entre juin et octobre²⁵, (indicateur de stress pour la biodiversité aquatique) en période d'étiage saisonnier.

Les gammes de valeurs mesurées dans les eaux au cours de l'année 2020 sont globalement du même ordre que les valeurs mesurées en 2010²⁸.

D'après les données consultées, l'exploitation de la fosse minière semble avoir un faible impact global sur l'état physico-chimique des eaux de la Kwé principale, bien que la minéralisation de l'eau a significativement augmenté depuis 2008 (Figure 19). La hausse de la conductivité électrique résulte d'une augmentation progressive des concentrations en SO_4 et en Mg depuis 2014²⁵, associée à des défauts d'étanchéité du parc à résidus KO2 et des fuites de l'eau de procédé utilisée au niveau de l'unité de préparation du minerai (UPM) qui affectent les eaux de la Kwé Ouest (*confère Expertise 3*). Cette tendance ne peut donc être directement attribuée, à ce jour, à l'impact de l'exploitation de la fosse minière, la Kwé principale se trouvant en aval de l'ensemble des installations de l'exploitation minière.

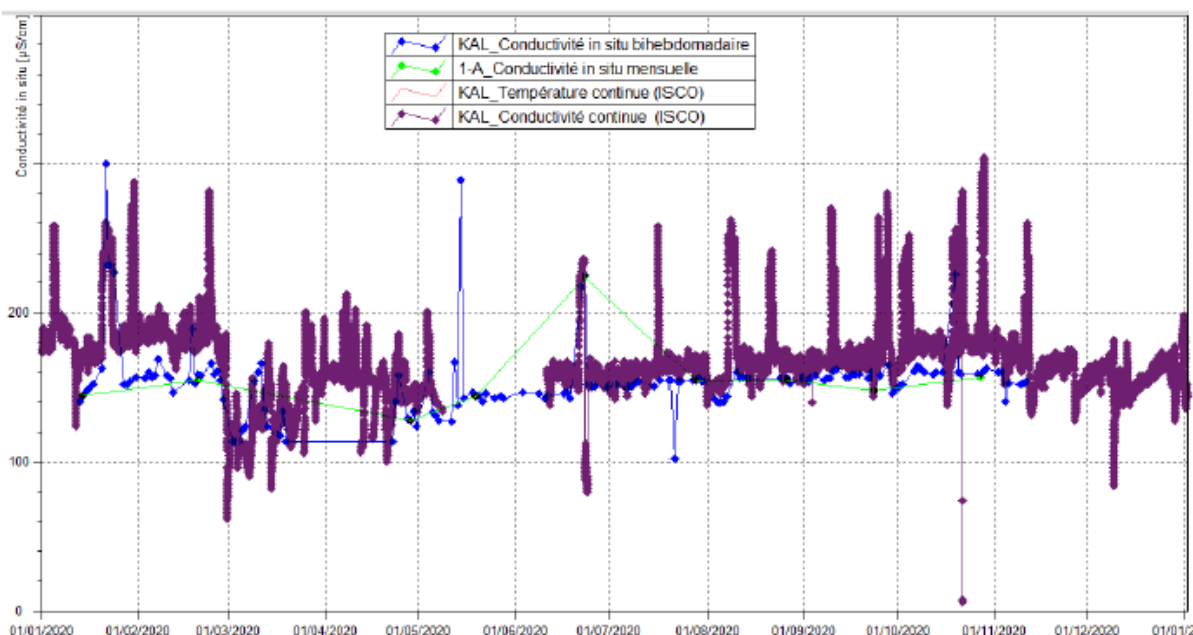


Figure 18. Chronique de conductivité électrique journalière à la station KAL et 1-A – Source : Prony, 2020²⁵

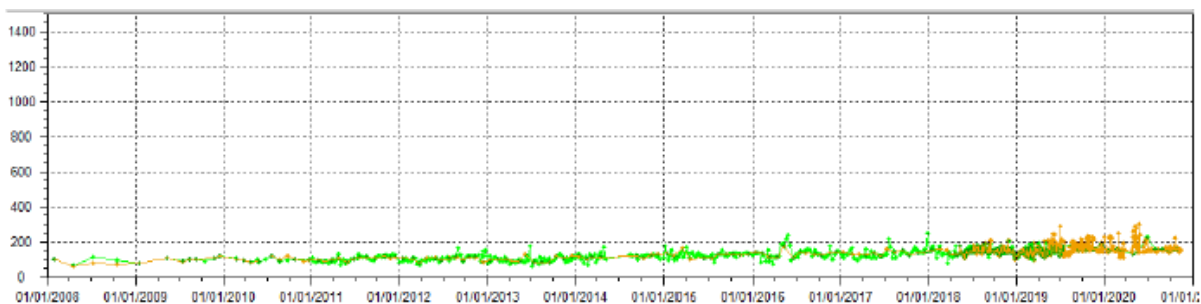


Figure 19. Données de conductivité ($\mu S/cm$) aux stations 1-A (vert) et 1-E (orange) situées sur la Kwé principale – Source : Prony 2020²⁵

²⁸ Vale Nouvelle-Calédonie (Février 2011) Suivi environnemental - Rapport Annuel 2010, Eaux douces de surface.

L'étude de l'évolution des chroniques de concentrations et conditions physico-chimiques des eaux au droit des stations KE-05 (Kwé Est), une station sur la Truu et dans une moindre mesure WJ-01 (rivière Wadjana) semble plus appropriée pour étudier l'impact de la fosse minière actuelle et future. D'après le rapport public de l'Observatoire de l'Environnement de Nouvelle-Calédonie²⁹, qui établit une synthèse annuelle des résultats des suivis environnementaux du Grand Sud, les données de suivi de la qualité de l'eau de la Kwé Est, au droit de la station KE-05, font état de concentrations relativement élevées (i.e. par rapport au fond géochimique) en SO₄, Mg, Si, NO₃, ainsi qu'en Ni et Cr en 2018. Les auteurs, après discussion avec Prony, attribuent la perturbation hydrochimique « à l'érosion intense sur le bassin versant » de la Kwé Est, « accentué par les activités minières et notamment l'accroissement de la taille de la fosse minière ». Cette hypothèse permet de lister les éléments majeurs et les métaux traces dont les concentrations sont susceptibles d'augmenter naturellement suite à l'extension future de la fosse minière. Le rapport ne présentant que des résultats de tendances (i.e. hausse, baisse) et non des valeurs quantifiées, il n'est toutefois pas possible de comparer les concentrations actuelles, notamment en métaux traces, avec d'éventuelles valeurs d'écotoxicité vis-à-vis de la faune aquatique.

Le BRGM signale que de nombreux épisodes de fortes conductivités (250 à 300 µS/cm en 2020) sont observés dans la chronique de valeurs des eaux de la Kwé principale (Figure 18). L'origine de ces fortes valeurs restent à clarifier (information non renseignée dans ²⁵). Dans l'hypothèse où ces épisodes résulteraient de rejets d'eau dans la rivière, il conviendrait de spécifier l'origine des rejets (fosse minière ou autre installation située en amont des stations) ainsi que la nature de ces rejets (bassins de collecte des eaux de ruissellement, bassins de surveillance, eaux de la fosse minière). Ce premier affinage permettrait de mieux identifier les perturbations anthropiques propres à l'activité de la fosse minière actuelle dans la Kwé. Si les épisodes de perturbation du milieu s'avéraient associés à des rejets en provenance des installations de la fosse minière, l'analyse des eaux rejetées et des eaux de la rivière en aval proche de la source de la perturbation est préconisée pendant les épisodes de rejets. Ce travail, s'il n'a pas déjà été mené dans le secteur de la fosse minière, permettra d'évaluer plus précisément l'influence (cas extrême) de la fosse minière actuelle et d'enrichir les simulations prédictives en incluant la composante du devenir de la qualité des eaux de la rivière selon le périmètre d'extension de la fosse envisagée dans les prochaines années.

R.013 : Procéder à une analyse fine de chronique de données existantes de la qualité des eaux au droit des stations KE-05 (Kwé Est) et la Truu et dans une moindre mesure WJ-01 (Rivière Wadjana) en fonction de l'évolution des niveaux de la rivière. Cette étude visera à définir les conditions physico-chimiques les plus extrêmes (i) pendant les périodes d'étiages, amenées à s'accroître avec l'extension de la fosse minière, et (ii) pendant les périodes de rejets éventuels d'eau en provenance de la zone de la fosse minière dans le Kwé Est et/ou la rivière Truu.

R.014 : Procéder à l'analyse des eaux présentes sur le secteur de la fosse minière – bassin de contrôle, bassin des eaux de ruissellement, fosse minière, etc. – en vue d'intégrer la qualité des eaux dans les simulations prédictives et/ou compléter les connaissances actuelles sur l'impact de la mine (documents non consultés par le BRGM).

²⁹ CEIL (Décembre 2019) Bilan technique 2018 : Synthèse annuelle des résultats des suivis environnementaux du Grand Sud pour l'année 2018 - Observatoire de l'environnement de Nouvelle-Calédonie. Auteurs : Desoutter, L., Bertaud, A.

Z3-C2-EXISTE-T-IL UN RISQUE SPECIFIQUE A L'EXTENSION PREVUE DE LA FOSSE MINIERE A COURT OU LONG TERME ?

Il existe un fort risque lié à l'assèchement des dolines (Lac robert et lac Xéré Wapo) suite à l'extension de la fosse minière.

Il y a un fort risque de réactivation des drains au niveau du secteur du Trou du Tahitien, ce qui pourrait potentiellement entraîner une modification des sens d'écoulement au sein du système pseudo karstique.

Il y a un fort risque de diminution des débits de base des cours d'eau : de 35 à 70% de baisse du débit de base sur les rivières dans le périmètre de l'activité minière (Kwé Nord, Kwé Est) et jusqu'à 16% de baisse du débit de base pour les rivières externes (Wajana).

R.015 : Comparer les résultats de ces modèles faits en 2014 avec les nouvelles données piézométriques en cours d'acquisition pour re-évaluer les rabattement engendrés par la fosse.

R.016 : L'analyse des données de géophysique EM sur la zone du Trou du Tahitien pourraient apporter des éléments sur la direction et la distribution des potentiels drains pseudo-karstiques.

R.017 : Étendre et réactualiser les analyses faites par J. Jeanpert en 2017. (Figure 12) : analyser les cartes piézométriques dans les zones périphériques de la fosse minière afin d'établir :

- des cartes d'anomalie du niveau piézométrique (il s'agit de l'écart de la piézométrie mesurée à la piézométrie moyenne du secteur, déduite d'une relation altitude-piézométrie)
- des évaluations du gradient hydraulique vertical (basé sur la différence de niveau sur les plateformes entre Pz_latérite et Pz_saprock/zone fracturée, soit PEC et PEL)
- et des évaluations des coefficients de tarissement basées sur les suivis des piézométriques.

Ces informations devraient permettre d'identifier les potentielles zones de drainage.

Z3-C3-QUEL EST L'IMPACT SUR LA BIODIVERSITE ET SUR LA RIPISYLVE ?

Les fluctuations du régime hydrologique des cours d'eau et des lacs sont nécessaires au maintien de la biodiversité endémique et du potentiel évolutif des écosystèmes aquatiques, riverains et des zones humides. Toute altération de ce régime et de ces variations naturelles constitue donc un risque pour les communautés aquatiques et rivulaires.

Les principales conséquences de ces altérations du régime hydrologique, et en particulier d'une réduction de débit, sur les habitats et sur biocénoses sont les suivantes :

- Une réduction de la disponibilité en habitats lotiques : modification de la structure de la biocénose et de l'abondance de certaines espèces (organismes rhéophiles vs. limnophiles).
- Possibilité d'assèchements de certaines parties de cours d'eau ou de zones humides (lacs, dolines, mares, etc.) dans certains cas de figure selon les saisons et les années :
 - Cours d'eau : fragmentation des habitats et rupture de la continuité écologique posant problème pour les espèces se déplaçant au sein du cours d'eau et entre le cours d'eau et le milieu marin.
 - Milieux lentiques : restriction des habitats / perte totale du milieu, jouant sur l'abondance et la structure des communautés (voire leur disparition en cas d'assèchement permanent).
- Réduction de la hauteur d'eau selon le type de faciès affecté : problème pour les espèces de grande taille nécessitant une profondeur d'eau suffisante par exemple.
- Réduction de la largeur du lit mouillé selon la nature et la pente des berges : perte d'habitats au niveau des berges et impacts sur les espèces fréquentant ces microhabitats ainsi que potentiellement sur la flore rivulaire.
- Interactions biotiques modifiées : modification de la chaîne trophique (compétition, prédation, nourriture disponible, etc.).

De nombreuses altérations sont d'ores-et-déjà recensées sur les milieux aquatiques au voisinage des activités de Prony Ressources (rappelons, en particulier, les seuils, radiers et autres ouvrages présents sur le bassin versant de la Kwé, bassin versant qui apparaît le plus anthropisé)³⁰. Les impacts de ces aménagements sont bien visualisables, notamment quant à la continuité écologique perturbée sur ce bassin versant. Citons à cet effet l'impact sur les anguilles, les mulots noirs, certains gobies ou encore certaines crevettes.

Or, la planification du projet minier prévoit de nombreuses activités et agrandissements dans cette zone. La création et l'exploitation d'une fosse minière constitue la source d'impact majeure sur ce bassin versant. Son extension, telle que prévue à l'horizon 2036, ne fera qu'augmenter davantage son impact sur les eaux douces souterraines et superficielles.

³⁰ A2EP, ERBIO, SORECO-NC (2015). Étude d'impact de la réduction des débits sur la flore et la faune aquatique - 303 pages.

La principale perturbation attendue sur les milieux aquatiques serait une modification du régime hydrologique notamment pour la Kwé. Le risque de déconnexion entre compartiments constitutifs des différents bassins versants en serait d'autant plus conséquent : il en va ainsi de la pérennité de certaines zones humides potentiellement menacées sur le long terme (voire de manière permanente, comme c'est le cas pour le lac Xéré Wapo, le Lac Robert ou encore le lac Goro), si le développement de l'activité minière se déroule tel que conjecturé. Faute de données suffisantes sur les populations (état zéro et de suivi de sites témoins), il est toutefois extrêmement hasardeux d'estimer le devenir des communautés animales et végétales.

R.018 : Suivi régulier de l'impact du projet sur la biodiversité, et en particulier (et a minima) par une continuation des suivis déjà réalisés :

Continuation des inventaires piscicoles et carcinologiques (pêche électrique + observations subaquatiques), macrobenthiques (IBNC – Indice Biotique de Nouvelle-Calédonie / IBS – Indice BioSédimentaire) et flore rivulaire sur le réseau de suivi existant.

Mise en place d'inventaires sur les zones nécessitant des données d'état zéro et/ou un suivi régulier : inventaires piscicoles et carcinologiques adaptés selon le type de milieu étudié (pêche, observations subaquatiques) IBNC/IBS (rivière), inventaires faune dulcicole des dolines (attention particulière sur la faune des milieux temporaires), flore associée.

Le secteur de la Plaine des Lacs est peu connu et devra faire l'objet d'un suivi spécifique.

Z3-D-EXISTE-T-IL UN RISQUE SPECIFIQUE QU'ENGENDRERAIT L'EXPLOITATION MINIÈRE EN LIEN AVEC LE CHANGEMENT CLIMATIQUE, NOTAMMENT SUR LE FLANC DE MONTAGNE LITTORAL ?

Les impacts hydrogéologiques et hydrologiques au niveau de la fosse prennent en compte des scénarii de changement climatique dans les simulations des modélisations. En revanche, le secteur du littoral n'a pas fait état d'étude d'impact sur le changement climatique. Il n'y a pas de documents permettant de répondre aux questions pour le périmètre d'étude dans ceux fournis pour cette expertise.

D'une manière générale, le changement climatique se traduit par un accroissement en fréquence et intensité des phénomènes climatiques extrêmes ainsi qu'une montée des eaux océaniques. Il convient en premier lieu d'en prévoir les effets (érosion des côtes, progression du biseau salé dans les eaux souterraines, salinisation des côtes) pour ensuite en déduire les conséquences sur le flanc littoral et les éventuels risques synergiques avec l'exploitation minière.

R.019 : Le BRGM recommande qu'une étude prospective des effets du réchauffement climatique à l'échelle régionale soit conduite par les organismes compétents à définir. Cette étude pourrait s'appuyer en ce qui concerne les débits de rivière et les nappes souterraines sur les données et modèles collectés à la suite de la présente expertise.

Conclusion

Les documents fournis par *Prony Resources New Caledonia* dans le cadre de cette expertise sont principalement centrés sur les zones 2 et 3. Les questions concernant la zone 1 ne peuvent alors trouver de réponse, faute d'information disponible sur cette dernière. L'implantation de suivis hydrologiques (cours d'eau, lacs et dolines), et d'études hydrogéologiques sont donc recommandés dans la zone 1. Le cas échéant, ces études pourraient justifier l'implantation de piézomètres (type plateforme multi-piézomètres) afin de définir les sens d'écoulement des eaux souterraines et les propriétés des aquifères. L'analyse géologique des données de terrain et des acquisitions géophysiques aéroportées est aussi recommandée afin d'évaluer la présence de structures drainantes.

Zone 2 : les interactions Nord-Sud entre la Plaine des Lacs et la zone d'activité minière sont confirmées en certains points mais nécessitent des validations au nord de la zone KO4. Étant donné que la zone n'est plus supposée faire l'objet d'une quelconque activité de la mine, la seule recommandation hydrogéologique faite est de continuer à poursuivre l'acquisition des données piézométriques, et le cas échéant, s'il existe, le débit des cours et sources du secteur.

Zone 3 : cette zone a été largement suivie et modélisée. La connaissance hydrogéologique de la zone est avancée mais la complexité du site requiert la continuation du suivi et de nouvelles interprétations des données piézométriques sur des zones en périphérie de la fosse minière et si possible des données géophysiques électromagnétiques afin de valider les modèles conceptuels. On s'attachera en particulier à :

- au niveau du Trou du Tahitien : améliorer la connaissance des sens des écoulements et évaluer s'il existe ou non un drain pseudo-karstique sur le secteur, a priori ce dernier serait en partie ou totalement colmaté et l'activité minière pourrait le réactiver et perturber les vitesses et l'orientation des circulations souterraines.
- concernant les secteurs de la Kwé Est, il convient de mieux caractériser les écoulements sur le secteur de la Kwé Est d'évaluer l'impact des verses à stériles sur un éventuel colmatage des réseaux souterrains (secteur drainant) car celui-ci pourrait nuire à l'alimentation par les eaux souterraines des sources et des cours au sein et à l'aval de cette zone (notamment l'alimentation de la rivière Truu).

Les documents examinés ne permettent de répondre aux questions posées concernant le réchauffement climatique sur le littoral. Pour ce faire, une étude prospective des effets du réchauffement climatique à l'échelle régionale devrait être conduite par les organismes institutionnels compétents. Cette étude pourrait s'appuyer en ce qui concerne les débits de rivière et les nappes souterraines sur les données et modèles collectés suite à la présente expertise.

La principale perturbation attendue sur la biodiversité des milieux aquatiques sera une modification du régime hydrologique de la Kwé et potentiellement entre compartiments constitutifs des différents bassins versants. Certaines zones humides sont potentiellement menacées sur le long terme (lac Xéré Wapo, le Lac Robert ou encore le lac Goro). Faute de données d'état zéro et de suivi de sites témoins, il est toutefois extrêmement hasardeux d'estimer le devenir des communautés animales et végétales. En conséquence, le BRGM recommande que soit instauré un suivi régulier de l'impact du projet sur la biodiversité, avec, a minima, une continuation des suivis déjà réalisés. Le secteur de la Plaine des Lacs reste peu connu et devra faire l'objet d'un suivi spécifique.

Synthèse graphique

Zone 1: Données insuffisantes et/ou en cours de traitement (EM)

Zone 2: Etudes centrées sur les relations Plaine Grands Lacs – KO4 (pas de projets prévus)

Zone 3: Forte densité de mesures et d'études, complétée par la modélisation. Manque d'information sur le Sud et l'Est.

- ① Connaissances
- A Recommendations
- ★ Points de vigilance



- ① Circulation N-S confirmée sur une partie des crêtes. Analyses piézométriques
- ② Forte densité de réseaux piézométriques repris dans la modélisation. Circulation des écoulements relativement bien caractérisés mais à confirmer
- ③ Identification des structures drainante, ou leur potentielle probabilité de localisation. Méthodologie à reproduire sur d'autres secteurs
- A Augmenter le réseaux de suivi piézométrique et débit des cours d'eau + interprétation des données géophysiques EM
- B Essais par pompage pour carte de transmissivité + augmenter la densité des suivis piézométriques + mesurer le débits des cours d'eau + analyses des données EM
- C Traçages + augmenter le suivi piézométrique en amont du Trou
- D Essais par pompage pour carte de transmissivité + augmenter la densité des suivis piézométriques + mesurer le débits des cours d'eau + analyses des données EM
- E Essais par pompage pour carte de transmissivité + augmenter la densité des suivis piézométriques + mesurer le débits des cours d'eau + analyses des données EM
- X ★ Evacuation du Trou du Tahitien mal connu. Circulation vers le Nord? Risque de re-activation de drain lors de l'extension de la fosse
- Y ★ Assèchement des dolines et diminution des débits des rivières. Revoir les simulations
- Z ★ Assèchement des dolines et diminution des débits des rivières.

References

- A2EP ROCHE (2014)** Synthèse des analyses piézométriques 2011-2013 final
- A2EP ROCHE (2014)** Synthese_analyses_piezometriques_2011-2013 final
- A2EP, ERBIO, SORECO-NC (2015)**. Étude d'impact de la réduction des débits sur la flore et la faune aquatique - 303 pages.
- A2EP-ROCHE (2013)** Interprétation forage et pompages_Camp Géol_Rev0
- ARTELIA (2013a)**. Simulation des impacts hydrogéologiques. Secteur Goro
- ARTELIA (2013b)**. Simulation des impacts hydrogéologiques. Secteur KO4
- DAEM (2015)** Livret_C_Volet_C
- EMR (2010)** Traçage sur le secteur Entonnoir – Cascade et creek pl des lacs
- EMR (2011)** Réalisation de traçages à la fluorescéine au niveau des secteurs Entonnoir-Cascade et Gouffre-Captage. Rapport Ra-11-0313- V1, mai 2011
- GEOS4D (2020)** Rapport traçage Trou du Tahitien FINAL
- GHD (2014)** Hydrogeology KO4
- GOLDER (2001a)** Doc B-192 V.4
- GOLDER (2002)**. Document B-295. Groundwater Mapping and Tracing Study - East Kwe Waste Disposal Areas.
- HYDRIAD (2013)**. Simulation des impacts hydrogéologiques – Secteur Fosse minière
- JEANPERT (2017)** PhD thesis-hydrogeology of peridotites
- ŒIL (2019)** Bilan technique 2018 : Synthèse annuelle des résultats des suivis environnementaux du Grand Sud pour l'année 2018 - Observatoire de l'environnement de Nouvelle-Calédonie. Auteurs : Desoutter, L., Bertaud, A.
- Prony Ressources New Caledonia (Juin 2021)** Surveillance des milieux récepteurs – Rapport annuel 2020, Eaux douces de surface.
- Secteur Plaine des lacs (2019)** Plan actions hydrogéologiques 2019-2025
- VALE NC (2010d)** Note état des connaissances hydrogéologiques secteur VSKE
- VALE NC (2013)** KO4 connaissances hydrogéologiques FEL2
- VALE NC (2013)** KO4 connaissances hydrogéologiques FEL2
- VALE NC (2014)** comparaison modèles hydrogéologiques

Expertise hydrogéologique visant à évaluer le risque de perturbation des eaux souterraines en lien avec l'exploitation minière de PRONY notamment sur la tribu de Goro et la plaine des Lacs – Étude n°5

VALE NC (2014a) CPVSKE note hydrogéologique finale 20140113 revue 1

VALE NC (2014b) livret D – gestion et protection des eaux superficielles et souterraines communes du Mont-Dore et de yaté Nouvelle-Calédonie volet C – cadre hydrologique et hydrogéologique régional

Vale Nouvelle-Calédonie (2011) Suivi environnemental - Rapport Annuel 2010, Eaux douces de surface.

Annexe 1

Tableau de synthèse des recommandations

N°	Zone	Question	Remarques BRGM	Réponse du pétitionnaire	Avis du BRGM
R.001	Z1	ABC	R.001 : Le développement d'un réseau de suivi sur la zone 1 est suggéré. Ce réseau devrait concerner le suivi des niveaux dans les dolines et les lacs ainsi que le débit des cours d'eau, en particulier l'amont de la Kwé Binyi et la rivière des Lacs. La réalisation d'études hydrogéologiques est aussi recommandée, et pourrait le cas échéant justifier l'implantation de piézomètres (type plateforme) pour déterminer des sens d'écoulements ou les propriétés hydrogéologiques. L'analyse géologique des données de terrain et des acquisitions géophysiques aéroportées est aussi recommandée afin d'évaluer la présence de structures drainantes.		
R.002	Z2	A1	R.002 : Continuer l'acquisition des données piézométriques, et le cas échéant, s'ils existent, le débit des cours et sources du secteur.		
R.003	Z2	A2	R.003 : Deux points minimum de suivi piézométrique additionnel sont recommandés dans la zone annotée « recommandation de suivi ». Il est aussi conseillé de faire des essais hydrauliques (essais slug-tests ou pompage) sur la plupart des ouvrages pour caractériser les propriétés hydrauliques du système.	Sur quelles bases cela a été défini ? l'objectif est de cartographier les limites de partage des eaux souterraines et d'étendre le modèle hydrogéologique dans la zone 2. Cela n'est pas possible avec 2 points...	R003 : Afin d'obtenir le suivi le plus complet possible de la zone, deux points de suivi piézométrique additionnels sont recommandés dans la zone annotée « recommandation de suivi ». Cela permettra de compléter le quadrillage prévu. Il est aussi conseillé de faire des essais hydrauliques (slug tests ou pompage de longue durée (48-72h)) sur la plupart des ouvrages pour caractériser les propriétés hydrauliques du système.
R.004	Z2	B1	R004 : Des mesures additionnelles (estimation de la transmissivité par essais de pompage ou slug test par exemple, réalisation de nouveaux essais par traçage) sont nécessaires. Ces expérimentations pourront être effectuées sur le réseau de piézomètres prévu en 2025.	Cela ne concerne pas la zone potentiellement impactée par la fosse minière	R004 : La zone KO4 n'étant plus considéré comme une zone potentielle d'exploitation, l'identification des connexions entre la plaine des Lacs et KO4 n'est pas une priorité. Dans le cas de figure où une activité est envisagée sur cette zone, il serait recommandé d'effectuer des mesures additionnelles (estimation de la transmissivité par essais de pompage ou slug test par exemple, réalisation de nouveaux essais par traçage).
R.005	Z3	A1	R005 : Continuer à poursuivre l'acquisition des données piézométriques, et le cas échéant, s'ils existent, le débit des cours et sources du secteur.		
R.006	Z3	A2	R.006 : Possibilité, à partir des données disponibles (données de perméabilité ou à partir des cartes piézométriques détaillées - cf. Thèse J. Jeanpert), d'établir des cartes de conductivité hydraulique ou de transmissivité, et de faire des analyses des gradients verticaux et des coefficients de tarissement de la nappe (en particulier sur le secteur Kwé Ouest). Ces analyses devraient permettre d'évaluer la présence de secteurs potentiellement drainants (structure pseudo-karstiques par exemple), qu'il conviendra, si nécessaire, de vérifier in-situ par d'autres moyens (forage, traçage par exemple).	D'une manière générale, les exercices de modélisation amènent aux mêmes conclusions que ce que vous suggérez. Durant la calibration du modèle, on fait exactement ce que vous suggérez : évaluer des perméabilités, s'interroger sur des zones avec des drainages marqués ou non, des gradients verticaux marqués ou non etc. Des cartes de gradient verticaux sont disponibles dans A2EP, 2017. Cette analyse a déjà été réalisée	R006 : Continuer à poursuivre l'acquisition des données piézométriques, et le cas échéant, s'ils existent, le débit des cours et sources du secteur.
R.007	Z3	A2	R.007 : Pour le traçage dans le secteur du Trou du Tahitien, la fluorescéine semble être le meilleur traceur du fait de sa toxicité quasi-nulle, de sa dégradation rapide à la lumière du soleil et de son rendement de fluorescence très élevé permettant de limiter les quantités à injecter. Des traçages successifs avec des quantités de traceur de plus en plus importantes pourraient permettre d'identifier les exutoires restituant le traceur sans risquer de colorer les rivières, et ainsi limiter l'impact sociétal de ces expériences. La durée entre les traçages dépendra des observations aux exutoires. Ces traçages doivent être dimensionnés à partir des exemples de traçages positifs réalisés précédemment, et notamment ceux ayant donné lieu à de très fortes colorations aux exutoires. Les injections devront être faites lorsque le Trou du Tahitien est encore en eau et se vidange, à l'aide d'un dispositif (tube crépiné enfoncé dans le sol par exemple) permettant de réaliser l'injection directement au niveau de la zone de perte pour limiter la coloration de l'eau du Trou du Tahitien. Une étude de faisabilité d'injection de traceur pourra être réalisée au préalable afin de bien dimensionner l'essai. Pour le suivi de la restitution, l'installation de fluorimètres sera préférée aux prélèvements d'eau. L'avantage des fluorimètres est de favoriser une détection plus fine et sans risque de contamination entre les sites. Des échantillonnages seront réalisés en complément avant l'injection et lors de chaque passage de maintenance des appareils en vue d'une analyse spectrofluorimétrique (excitation et émission) au laboratoire en cas de doutes sur les données des fluorimètres (perturbations causées par des pics de turbidité par exemple).	Je dirais même que l'approche par modélisation donne des résultats plus probants que ceux obtenus par des tests hydrauliques locaux, voire même des essais par pompage longue durée. Problématique classique associée à la dépendance entre K et échelle d'observation.	R.008 : Pour le traçage dans le secteur du Trou du Tahitien, la fluorescéine semble être le meilleur traceur du fait de sa toxicité quasi-nulle, de sa dégradation rapide à la lumière du soleil et de son rendement de fluorescence très élevé permettant de limiter les quantités à injecter. Des traçages successifs avec des quantités de traceur de plus en plus importantes pourraient permettre d'identifier les exutoires restituant le traceur sans risquer de colorer les rivières, et ainsi limiter l'impact sociétal de ces expériences. La durée entre les traçages dépendra des observations aux exutoires. Ces traçages doivent être dimensionnés à partir des exemples de traçages positifs réalisés précédemment, et notamment ceux ayant donné lieu à de très fortes colorations aux exutoires. Les injections devront être faites lorsque le Trou du Tahitien est encore en eau et se vidange, à l'aide d'un dispositif (tube crépiné enfoncé dans le sol par exemple) permettant de réaliser l'injection directement au niveau de la zone de perte pour limiter la coloration de l'eau du Trou du Tahitien. Une étude de faisabilité d'injection de traceur pourra être réalisée au préalable afin de bien dimensionner l'essai. Pour le suivi de la restitution, l'installation de fluorimètres sera préférée aux prélèvements d'eau. L'avantage des fluorimètres est de favoriser une détection plus fine et sans risque de contamination entre les sites. Des échantillonnages seront réalisés en complément avant l'injection et lors de chaque passage de maintenance des appareils en vue d'une analyse spectrofluorimétrique (excitation et émission) au laboratoire en cas de doutes sur les données des fluorimètres (perturbations causées par des pics de turbidité par exemple).
R.008	Z3	B1	R.008 : Extension et réactualisation des cartes piézométriques sur l'ensemble du réseau de suivi. À partir de ces données et des distributions statistiques des K ou T des cartes de K ou T pourraient être établies (cf. Thèse J. Jeanpert 2017). Ces cartes vont aussi permettre d'affiner les directions des écoulements.		R.009 : Extension et réactualisation des cartes piézométriques sur l'ensemble du réseau de suivi. À partir de ces données et des distributions statistiques des perméabilités (K) ou transmissivités (T) des cartes de ces paramètres (K ou T) pourraient être établies (cf. Thèse J. Jeanpert 2017). Ces cartes vont aussi permettre d'affiner les directions des écoulements

R.009	Z3	B1	R.009 : Effectuer des slug-tests ou si possible des essais par pompage pour évaluer les transmissivités et en proposer une cartographie.	Ok mais en quoi cela va changer les résultats de l'étude d'impact ? En quoi ces infos très locales sont pertinentes pour établir des impacts régionaux ?	R.010 : Effectuer des slug tests ou si possible des essais par pompage pour évaluer les transmissivités et en proposer une cartographie dans les zones périphériques de la fosse minière. Les slug tests sont à préférer aux essais Lugeon ou Lefranc car ils permettent d'explorer une plus large gamme de perméabilité que ces derniers. Si les slug tests permettent d'appréhender la perméabilité de l'aquifère dans un espace restreint (local) autour d'un forage (« proche puits »), des essais par pompage de longue durée (de plusieurs heures à 24h suivant l'objectif de ce dernier), permettent de donner des informations sur la structure du réservoir : <ul style="list-style-type: none"> - la possibilité d'interception de l'ouvrage avec une structure drainante, - l'ordre de grandeur de la géométrie de l'aquifère, - les possibles limites de l'aquifère et estimer la drainance. Ces essais pourraient être conduits sur les ouvrages où l'on suspecte des structures anormalement perméables.
R.010	Z3	C1	R.010 : Surveillance en quantité et qualité des nappes souterraines et des cours d'eau avec une attention particulière sur les zones Wadjana, Kwé Ouest Aval, Kwé Est, KN2 et le Trou (Figure 15).	Pourquoi kwe ouest aval ?	
R.011	Z3	C1	R.011 : En cas de réinjection des eaux de drainage et de ruissellement, la qualité de ces dernières devra répondre aux normes environnementales en vigueur et son suivi devra être effectué. La qualité de l'eau réinjectée, non mentionnée dans les documents fournis, devra donc être un point d'attention particulier afin de nuire ni à l'alimentation en eaux potables des populations, ni à l'environnement.		
R.012	Z3	C1	R.012 : Procéder à une analyse fine de chronique de données existantes de la qualité des eaux au droit des stations KE-05 (Kwé Est) et WJ-01 (Rivière Wadjana) en fonction de l'évolution des niveaux de la rivière. Cette étude visera à définir les conditions physico-chimiques les plus extrêmes (i) pendant les périodes d'étiages, amenées à s'accroître avec l'extension de la fosse minière, et (ii) pendant les périodes de rejets éventuels d'eau en provenance de la zone de la fosse minière dans le Kwé Est et/ou la rivière Wadjana.	Il n'y a pas de rejet dans la wajana. Il n'est pas prévu d'en faire	R.014 : Procéder à l'analyse des eaux présentes sur le secteur de la fosse minière – bassin de contrôle, bassin des eaux de ruissellement, fosse minière, etc. – en vue d'intégrer la qualité des eaux dans les simulations prédictives et/ou compléter les connaissances actuelles sur l'impact de la mine (documents non consultés par le BRGM).
R.013	Z3	C2	R.013 : Procéder à l'analyse des eaux présentes sur le secteur de la fosse minière – bassin de contrôle, bassin des eaux de ruissellement, fosse minière, etc. – en vue d'intégrer la qualité des eaux dans les simulations prédictives et/ou compléter les connaissances actuelles sur l'impact de la mine (documents non consultés par le BRGM).		
R.014	Z3	C2	R.014 : Comparer les résultats de ces modèles faits en 2014 aux mesures observées dans le cadre du projet LUCY et de l'extension de la mine depuis cette date.	Pourquoi le projet lucy ? de quels résultats il fait allusion ? Par ailleurs, la capacité des modèles à correctement simuler le rabattement engendré	R.015 : Comparer les résultats de ces modèles faits en 2014 avec les nouvelles données piézométriques en cours d'acquisition pour réévaluer les rabattements engendrés par la fosse.
R.015	Z3	C2	R.015 : L'analyse des données de géophysique EM sur la zone du Trou du Tahitien pourraient apporter des éléments sur la direction et la distribution des potentiels drains pseudo-karstiques.		R.016 : L'analyse des données de géophysique EM sur la zone du Trou du Tahitien pourraient apporter des éléments sur la direction et la distribution des potentiels drains pseudo-karstiques.
R.016	Z3	C3	R.016 : Étendre et réactualiser les analyses faites par J. Jeanpert en 2017. (Figure 12) : analyser les cartes piézométriques afin d'établir : <ul style="list-style-type: none"> - Des cartes d'anomalie du niveau piézométrique (il s'agit de l'écart de la piézométrie mesurée à la piézométrie moyenne du secteur, déduite d'une relation altitude-piezométrie)- Des évaluations du gradient hydraulique vertical (basé sur la différence de niveau sur les plateformes entre Pz_latérite et Pz_saprock/zone fracturée, soit PEC et PEL) - Et des évaluations des coefficients de tarissement basées sur les suivis des piézométriques. Ces informations devraient permettre d'identifier les potentielles zones de drainage 	Cela a été indirectement fait dans le cadre du calage des modèles. Cela a été fait. Voir rapport A2EP, 2014. Indirectement fait avec les modèles	R.014, R016 redondantes et regroupées en R0015
R.017	Z3	D	R.017 : Suivi régulier de l'impact du projet sur la biodiversité, et en particulier (et a minima) par une continuation des suivis déjà réalisés. Le secteur de la Plaine des Lacs est peu connu et devra faire l'objet d'un suivi spécifique.		
R.018	Z3	D	R.018 : Le BRGM recommande qu'une étude prospective des effets du réchauffement climatique à l'échelle régionale soit conduite par les organismes compétents (IRD ?). Cette étude pourrait s'appuyer en ce qui concerne les débits de rivière et les nappes souterraines sur les données et modèles collectés à la suite de la présente expertise.	Le BRGM peut-il réaliser cette étude en deuxième phase ?.	R.019 : Le BRGM recommande qu'une étude prospective des effets du réchauffement climatique à l'échelle régionale soit conduite par les organismes compétents à définir. Cette étude pourrait s'appuyer en ce qui concerne les débits de rivière et les nappes souterraines sur les données et modèles collectés à la suite de la présente expertise.



Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34
Direction régionale ou UTAM
Adresse
Tél. :
www.brgm.fr