

Document public



Expertise hydrogéologique des documents portés au débat public sur le Projet Montagne d'or en Guyane

Rapport final

BRGM/RC-68061-FR

Mai 2018



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Document public

Expertise hydrogéologique des documents portés au débat public sur le Projet Montagne d'or en Guyane

Rapport final

BRGM/RC-68061-FR

Mai 2018

Réalisé dans le cadre du projet CF18CAY005

A. GUTIERREZ

Vérificateur :

Nom : Gaël Bellenfant

Fonction : Responsable scientifique de programme

Date : 15/06/2018

Signature :



Approbateur :

Nom : VERNEYRE Laure

Fonction: Directrice régionale BRGM Guyane

Date : 15/06/2018

Signature :



Le système de management de la qualité et de l'environnement est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

Contact : qualite@brgm.fr



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Mots-clés : Guyane, mine, or primaire, cyanure, eaux souterraines, eaux de surface, environnement, impact, risques, Saint-Laurent-Du-Maroni, Montagne d'Or, débat public.

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

A. GUTIERREZ (2018) – Expertise hydrogéologique des documents portés au débat public sur le Projet Montagne d'or en Guyane. Rapport final. BRGM/RC-68061-FR, 51 p., 21 ill.

Synthèse

Le projet dit de la Montagne d'or est un projet de mine d'or industrielle en Guyane. Le gisement d'or de Montagne d'Or (appellation historique) est à l'intérieur d'une concession située sur le secteur Paul Isnard, à 120 kilomètres au Sud-Est de Saint-Laurent-du Maroni, entre les massifs Lucifer et Dékou-Dékou, chacun constituant une Réserve Biologique Intégrale.

Dans le cadre de ce projet, la Commission Nationale du Débat Public a décidé le 6 septembre 2017, l'organisation en Guyane d'un débat public sur le projet Montagne d'Or, dont l'organisation a été confiée à une commission particulière (dite CPDP). Le 5 mars 2018, la CPDP a fait appel au BRGM pour réaliser une expertise du projet minier sur la cyanuration d'une part et sur l'hydrogéologie d'autre part, confirmée par lettre de commande en date du 26 mars 2018.

Cette expertise inclut une analyse hydrogéologique du dossier présenté par le maître d'ouvrage du projet dans le cadre du débat public, ainsi que la participation à un atelier thématique organisé le 22 mai 2018 sur le thème de l'hydrogéologie. Elle constitue le deuxième volet du débat public sur le thème « Mine et environnement ». Elle fait suite au premier volet, constitué de l'expertise de M. Pol Urien, et la rédaction du rapport RC-67967-FR.

A partir des documents fournis par l'opérateur minier et de l'expérience du BRGM en hydrogéologie guyanaise, une synthèse du contexte hydrogéologique au sens large est présentée dans un langage vulgarisé.

Dans une deuxième partie, l'expertise identifie les principaux effets et risques d'impacts sur la quantité et la qualité des eaux souterraines (et dans une certaine mesure des eaux de surface) des travaux et aménagements prévus par la compagnie minière, les difficultés auxquelles l'entreprise minière sera confrontée, soulignant par endroits les imprécisions qui demeurent.

En conclusion, quelques recommandations sont émises dans l'hypothèse où le projet serait maintenu.

Sommaire

1. Introduction	9
1.1. ORIGINE DE LA DEMANDE	9
1.2. DOCUMENTS CONSULTES	9
2. Contexte climatique	11
3. Contexte hydrologique	13
4. Contexte géologique	15
4.1. LE GISEMENT AURIFERE	17
4.2. CONTEXTE TECTONIQUE	18
4.3. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE	19
4.3.1. Aquifère de socle	19
4.3.2. Aquifères alluviaux	21
4.3.3. Besoins en eau du site de Montagne d'Or	21
4.3.4. Etat initial des eaux souterraines	21
4.4. ASPECTS QUALITATIFS : CONTEXTE GEOCHIMIQUE	23
4.4.1. Principe du drainage minier acide (DMA)	23
4.4.2. Potentiel acidogène et de lixiviation des métaux des roches du site de Montagne d'Or	24
5. Etat géochimique initial	27
5.1. ETAT INITIAL DES EAUX DE SURFACE	27
5.2. ETAT INITIAL DES EAUX SOUTERRAINES	27
6. Gestion des eaux dans la mine : points de vigilance	29
6.1. LE BILAN HYDRIQUE COMME OUTIL DE GESTION	31
6.2. LA FOSSE MINIERE	31
6.2.1. Risques durant l'exploitation	31
6.2.2. Précautions	32
6.2.3. Modélisation des écoulements vers la fosse	32
6.2.4. Risques après l'exploitation	33
6.2.5. Précautions	34
6.3. LE PARC A RESIDUS	35
6.4. LES VERSES A STERILES	36

6.5. LES AUTRES STOCKAGES	37
6.6. LA BASE VIE.....	38
6.7. AUTRES SOURCES DE CONTAMINATION POTENTIELLES.....	38
6.8. IMPACT SUR LES EAUX DE SURFACE	39
7. Conclusions	41
8. Bibliographie.....	43

Liste des figures

Illustration 1 : Pluviométrie mensuelle au site du projet (station Boeuf-Mort) et selon les données satellitaires TRMM. Source : CMO Section	12
Illustration 2 : Position des sous-bassins concernés par le projet (CMO).....	13
Illustration 3 : Position des principaux aménagements par rapport au réseau hydrographique .	14
Illustration 4 : Coupe schématique d'un profil latéritique (source : u-picardie.fr)	15
Illustration 5 : carottes de roches saines et de saprolite provenant du site (Source CMO)	16
Illustration 6 : Passage saprolite – Saprock au sondage MO-15-229 (Source : CMO).....	16
Illustration 7 : Coupe Sud-Nord montrant la configuration du gisement.....	17
Illustration 8 : modèle structural (Source:SRK NI 43-101 Technical Report, Bankable Feasibility Study).....	18
Illustration 9 : modèle conceptuel des aquifères de socle en Guyane (Weng – 2006 adapté de Wyns, 2004)	19
Illustration 10 : modèle conceptuel au niveau d'une faille tectonique	20
Illustration 11 : Carte piézométrique (source fiche 1.1.5 p.93).....	22
Illustration 12 : Exemples d'écoulements contaminés par du drainage minier acide.....	24
Illustration 13 :Estimation (CMO) des teneurs en métaux lourds dans les déchets de la future mine	25
Illustration 14 : Schéma des circulations d'eau dans la mine (source : CMO, modifié)	29
Illustration 15 : Infrastructures de gestion des eaux (Source : CMO, présentation du 22/05/2018)30	
Illustration 16 : Rabattement simulé dans la nappe souterraine autour de la fosse (source CMO).	33
Illustration 17 : Schéma récapitulatif du fonctionnement d'une fosse pendant et après exploitation (source : www.guardguide.com)	34
Illustration 18 : Exemple de digue à résidus avec système drainant (CMO).....	35
Illustration 19 : recouvrement final du parc à résidus (CMO)	36
Illustration 20 : Stockage et confinement des stériles (CMO)	36
Illustration 21 : Positions des stockages de sol et du minerai basse teneur (CMO)	38

1. Introduction

1.1. ORIGINE DE LA DEMANDE

Essentielle à l'industrie minière, l'eau est utilisée dans différentes activités telles que le traitement du minerai, l'élimination des poussières, le transport des boues et les besoins du personnel.

Le projet dit de la Montagne d'Or est un projet de mine d'or industrielle en Guyane situé sur la commune de Saint-Laurent-du-Maroni. Le gisement d'or de Montagne d'Or (appellation historique) est à l'intérieur d'une concession située sur le secteur Paul Isnard, à 120 kilomètres au Sud-Est de Saint-Laurent-du Maroni, entre les massifs Lucifer et Dékou-Dékou qui constituent une réserve biologique intégrale.

La Compagnie minière Montagne d'Or (CMO), détenue à 55,01 % par Nordgold S.E. et à 44,99 % par Columbus Gold Corporation porte ce projet. Une exploitation à ciel ouvert d'une superficie de 8 km² utilisant le procédé de récupération de l'or par cyanuration en circuit fermé est aujourd'hui le scénario privilégié.

Dans le cadre de ce projet, la Commission Nationale du Débat Public a décidé le 6 septembre 2017, l'organisation en Guyane d'un débat public sur le projet Montagne d'Or, dont l'organisation a été confiée à une commission particulière (dite CPDP). Le 5 mars 2018, la CPDP a saisi le BRGM pour la réalisation d'une expertise complémentaire portant sur la cyanuration d'une part et l'hydrogéologie d'autre part, confirmée par lettre de commande en date du 26 mars 2018.

Le projet se doit d'être compatible avec les meilleures techniques disponibles mentionnées dans la directive européenne 2010/75/UE (dite directive IED pour Industrial Extractive Directive) et reprises dans l'arrêté du 2 mai 2013 relatif aux définitions, liste et critères de la directive IED. La gestion des déchets est régie par l'Arrêté ministériel du 19 avril 2010 qui transcrit en droit français la directive européenne n° 2006/21/CE du 15 mars 2006 concernant la gestion des déchets de l'industrie extractive. Au titre des références, il faut également citer les BREF (Best available techniques Reference document) sur les déchets miniers, actuellement en cours de révision.

La mission d'expertise hydrogéologique vise à éclairer la population sur les enjeux hydrogéologiques du projet Montagne d'Or. La lettre de commande précise que les enjeux « sont à apprécier au regard des caractéristiques singulières : la proximité des massifs Lucifer et Dékou Dékou qui constituent une réserve biologique intégrale, une situation sur le bassin versant du fleuve Mana, le projet de creusement d'une fosse de 2,5 kmx400mx120 m de profondeur en moyenne et enfin la géologie particulière du plateau des Guyanes ». En fin de compte, derrière la question des enjeux se trouve celle des impacts, au cœur des interrogations du public, exprimées maintes fois lors des précédentes réunions du débat public et sur la plateforme participative mise en place par la commission. Sans prétendre en faire une expertise exhaustive, ce rapport a également pour objet de souligner les risques d'impacts sur l'environnement auxquels la compagnie minière doit faire face.

1.2. DOCUMENTS CONSULTÉS

L'expertise examine les conditions initiales de l'eau souterraine sur le site et les impacts que les aménagements miniers, s'ils se réalisent tels que décrits dans les documents de présentation, pourraient occasionner si les mesures appropriées ne sont pas prises ou mal appliquées.

Cette expertise inclut une analyse du dossier présenté par le maître d'ouvrage du projet dans le cadre du débat public et des fiches thématiques, ainsi que la participation à un atelier thématique organisé le 22 mai 2018 par la CPDP, deuxième volet sur le thème « Mine et environnement », afin d'enrichir les débats et d'apporter un regard scientifique neutre permettant à la population de mieux cerner les enjeux du projet. Il s'agit également pour la CPDP d'avoir une analyse indépendante du document proposé par le maître d'ouvrage.

Les documents concernés par l'expertise sont ceux mis à disposition par la CMO sur le site du débat public, à savoir :

- Dossier du Maître d'ouvrage (Mars 2018) ;
- Fiches thématiques : Etat initial sur le milieu physique, en particulier les sections 1.1.4 à 1.1.6 du dossier Autorisation d'Ouverture de Travaux Miniers (référencés dans ce rapport par le sigle AOTM suivi du numéro de section), daté de Septembre 2017 ;
- Etude de cadrage environnemental (WSP, Mai 2015) ;
- Réponses aux questions sur la plateforme participative (« participons.debat.public.fr ») ;
- Le rapport présenté pour l'obtention de la garantie bancaire, SRK (2017) NI 43-101 Technical Report, Bankable Feasibility Study.

Il convient de souligner la qualité globale des documents présentés, en particulier des fiches thématiques présentées par CMO. Même si le présent rapport souligne à plusieurs reprises des manques ou des imprécisions, les études ont été réalisées avec sérieux par des bureaux d'études compétents.

Une des difficultés du débat public tient à sa chronologie. En effet, le projet est dans une phase où sa conception est pratiquement fixée mais l'étude d'impact et l'étude de dangers ne sont pas encore réalisés. Cependant, l'information qui servira de base à ces études existe et les fiches thématiques en sont une transcription partielle. Certains éléments techniques portés à la connaissance lors de l'atelier du 22 mai n'ont pu être totalement intégrés dans cette expertise.

Il convient également de préciser que ce rapport ne constitue pas une tierce expertise. Il ne valide ni n'invalide aucun des calculs ou méthodes présentés par le maître d'ouvrage. Il doit servir à éclairer techniquement le débat en décrivant objectivement les risques d'impacts et soulignant les points de vigilance qui devront faire l'objet d'attentions particulières pour les prévenir ou les limiter.

Il semble également utile de préciser, au vu des remarques entendues lors de l'atelier du 22 mai 2018, que le BRGM n'a aucun lien avec le maître d'ouvrage ou ses actionnaires. Le BRGM intervient à la demande de la CNDP en tant qu'établissement public référent dans le domaine des géosciences.

Ce rapport complète le rapport de Mr P. Urien, intervenu comme expert BRGM sur le thème de la cyanuration lors du premier volet « Mine et environnement » le 4 avril 2018.

2. Contexte climatique

Le climat actuel de la Guyane est de type équatorial, caractérisé par une pluviométrie importante (2500 mm au niveau du site) et des épisodes de pluies intenses. L'évapotranspiration moyenne annuelle est de 1500 mm.

Une station météorologique a été déployée sur le site du projet pour obtenir des données locales. La station météorologique installée au site Boeuf-Mort (coordonnées N 04°42'46,2"; W 053°56'34,8") enregistre les paramètres suivants:

- Température ;
- Humidité ;
- Pression atmosphérique ;
- Cumul de vent ;
- Précipitations.

La station météorologique Boeuf-Mort est en opération depuis juillet 2014, et les données présentées couvrent une période de 2,5 ans (juillet 2014-décembre 2016) mais les enregistrements ne sont pas continus en raison de problèmes techniques sur les équipements (mesure du vent en particulier) limitant ainsi la représentativité des données. Les données de pluie journalière sont absentes sur 17% de la période.

Trois autres pluviomètres ont été déployés à partir de juin 2016 sur le site du projet mais la quantité de données collectée en limite l'usage en termes de climatologie.

Afin d'étendre le volume de données, les données journalières de la station de Boeuf Mort sont complétées par des données issues de l'interprétation d'images radar par la NASA (satellite TRMM). Cependant TRMM est désactivé depuis avril 2015. En revanche, une transition est mise en place depuis fin 2014 vers un système de production de données mettant en jeu plusieurs satellites (IMERGE pour "Integrated Multi satellitE Retrievals for GPM").

Si une comparaison entre les deux sources de données (mesures locales et satellite) est présentée, ces données ne font pas l'objet de tests de corrélations qui en valideraient peut-être leur usage.

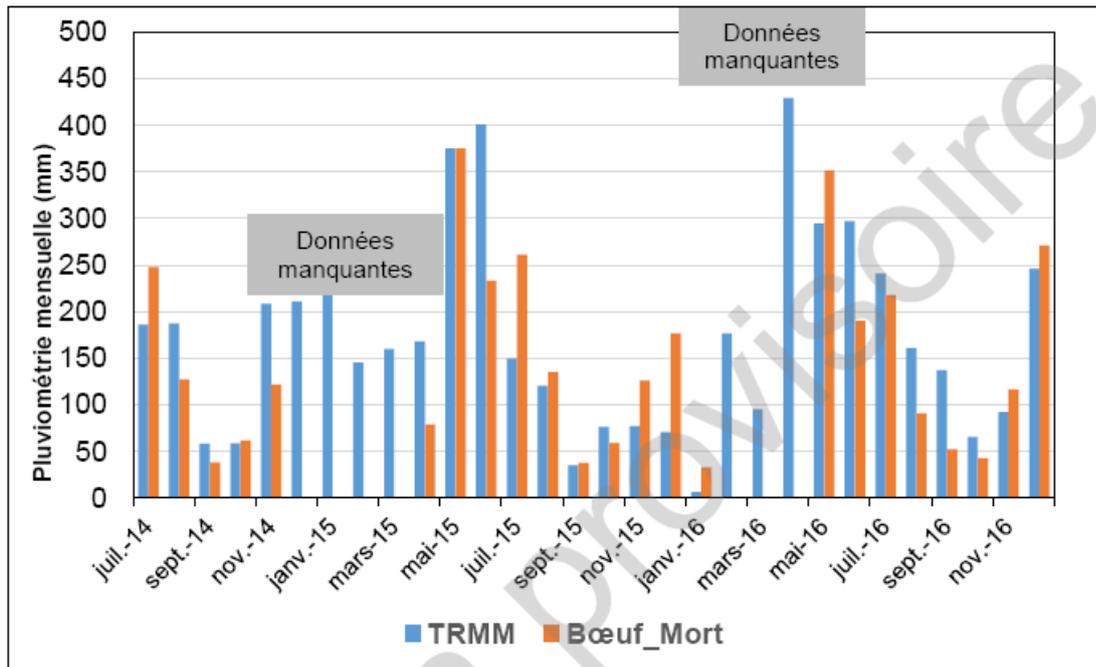


Illustration 1 : Pluviométrie mensuelle au site du projet (station Boeuf-Mort) et selon les données satellitaires TRMM. Source : CMO Section

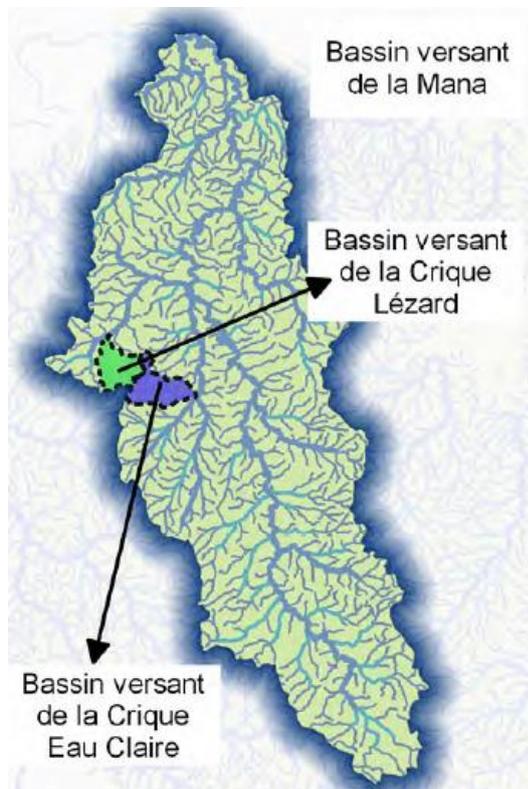
La connaissance de la pluviométrie et des autres paramètres climatiques est importante pour l'évaluation du bilan hydrique sur la mine, dont le principe sera développé plus loin et le dimensionnement des ouvrages de franchissement des criques, des tranchées drainantes autour des structures du site servant à dériver les criques et du réaménagement des criques à l'aval du site. Pour ces calculs de dimensionnement, il est nécessaire de disposer d'une longue chronique et pour des petits bassins versants le pas de temps horaire, qui ne semble pas être disponible, est souvent préférable pour certains calculs.

Disposer de données incomplètes est inhérent à ce type de projet qui s'intéresse à des secteurs géographiques généralement peu couverts par les organismes publics (en particulier MétéoFrance). Il est alors nécessaire de « fabriquer » des données climatiques les plus cohérentes possibles. CMO utilise des méthodes de reconstitution de l'intensité pluviométrique horaire à partir des pluies journalières et constitue une longue chronique de référence à partir de plusieurs stations.

Au cours de l'atelier du 22 mai 2018, la méthodologie de reconstitution des données a été précisée. La seule station pluviométrique ayant un nombre suffisant d'années de données complètes est la station de Cayenne (23 ans complets et 45 partiels). Elle sert donc de base après ajustement à la station de Maripasoula. Ces pratiques sont généralement encadrées par des contrôles statistiques (telle la méthode des doubles cumuls) qui ne sont pas présentés.

L'absence de données mesurées localement et les méthodes de reconstitution sont des sources d'incertitudes. **Il est important que ces incertitudes soient prises en compte sur les résultats des calculs et les dimensionnements qui en résultent.**

3. Contexte hydrologique



Le site de la Montagne d'Or se situe dans le bassin Versant de la Mana qui draine un réseau dense de sous-bassins versants. Le débit de la Mana est mesuré à la Station de Saut Sabbat à une centaine de kilomètres du site minier. Ce dernier intercepte divers sous bassins :

- Crique Petit Lézard qui descend du versant Nord du massif du Dékou Dékou; Crique Roche, qui descend du versant Sud du massif Lucifer. Ces deux cours d'eau rejoignent la Crique Grand Lézard ;
- Crique Tobre qui descend du Dékou Dékou et rejoint la Crique Bernard pour former la Crique Eau Claire, affluent de la Mana.

Le site est donc à cheval sur une ligne de partage des eaux entre les bassins versants Petit Lézard et Eau Claire. Cette position, en tête de bassin, limite l'amplitude des crues des criques pouvant survenir sur le site. En contrepartie, le site impacte potentiellement deux bassins versants.

Illustration 2 : Position des sous-bassins concernés par le projet (CMO)

L'essentiel des structures du site (fosse minière, verses à stériles, parc à résidu) se situe dans le bassin de la Crique Petit Lézard. Ces structures vont profondément modifier les sous-bassins de la Crique Infirmes. Après aménagement, le réseau hydrographique sera donc différent et très largement artificiel (canaux de dérivation). L'équilibre avec les eaux souterraines s'en trouvera également modifié.

En effet, le réseau hydrographique, dont l'orientation est dominée par les structures tectoniques du socle comme cela sera rappelé plus loin, est en liaison avec les eaux souterraines. Ce sont ces dernières, circulant dans les fissures de la roche, qui alimentent en eau le débit d'étiage (basses eaux) des criques (le débit de crue -hautes eaux- étant alimenté par le ruissellement de la pluie dans le bassin versant). Dévier ou déplacer les cours d'eau en surface ne déplacera pas les écoulements souterrains qui continueront à passer à travers ou sous ces structures.

Ainsi, malgré les tranchées de dérivation qui récupéreront les eaux de surface, les eaux souterraines continueront leur trajet vers la fosse. Sous la verse à stérile et la digue à résidus, elles seront également situées à faible profondeur au droit des vallées comblées, et seraient donc rapidement touchées en cas de fuite de l'une des structures de stockages.

L'illustration 3 montre la position des principales structures projetées : la fosse recoupe les thalwegs de la Crique Infirmes Amont et déborde légèrement sur les bassins de la Crique Violette et de la Beaugard.

Les verses à stériles se surimposent à la Crique Infirmes et à la tête de la Crique Topaze.

Le parc à résidus occupe la majeure partie de la Crique Infirmes aval et une partie de la Crique Reine qui conflue avec la Crique Infirmes à la station 8. C'est dans la Crique Reine (bassin versant en rose sur l'illustration 3), que le forage alimentant le camp Citron est situé.

Enfin, on note la position de la base vie, en aval hydraulique du parc à résidus. En cas de rupture de digue, la base vie serait directement exposée.

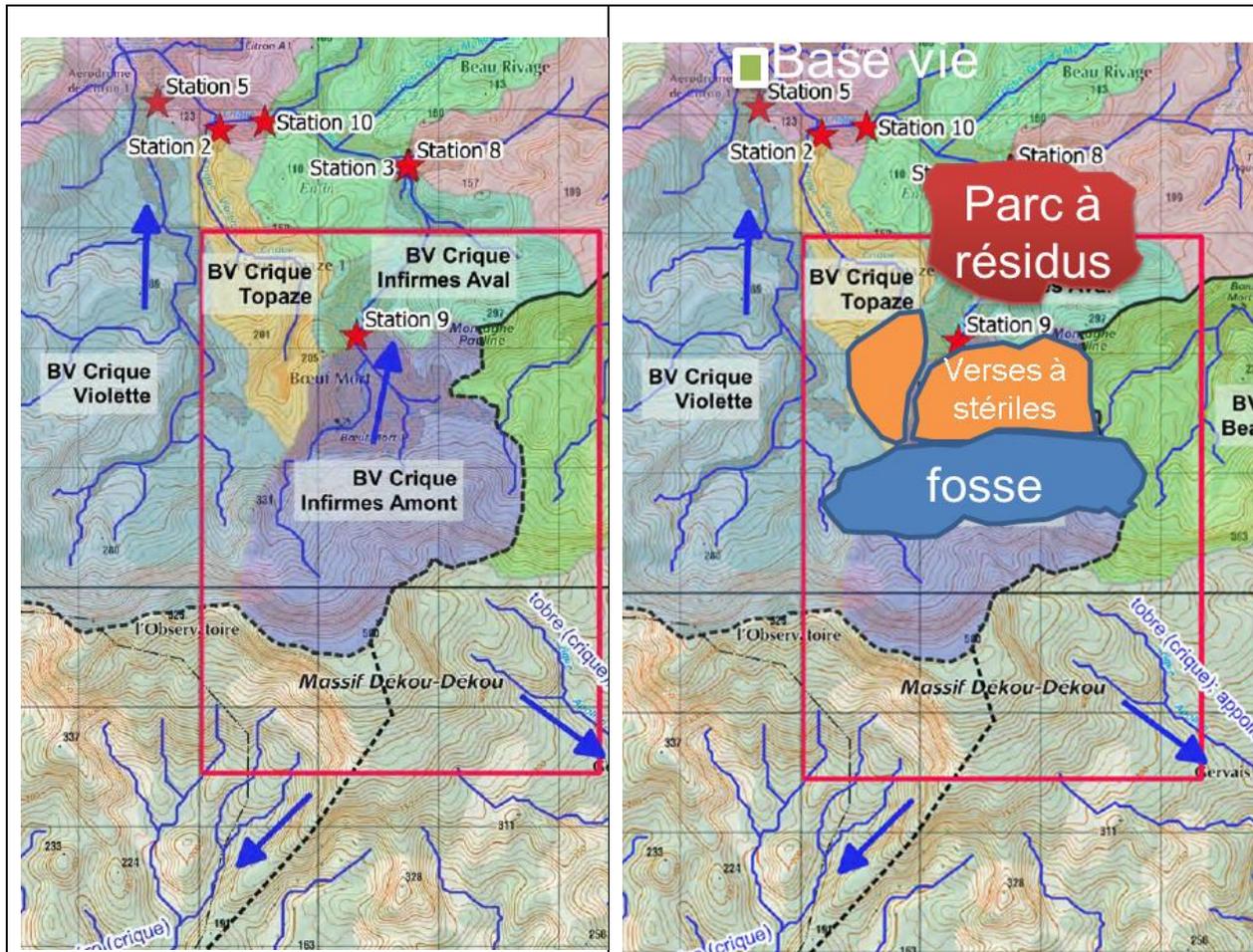


Illustration 3 : Position des principaux aménagements par rapport au réseau hydrographique

La piste Paul Isnard (reliant Saint-Laurent-du-Maroni au camp Citron) qui permet l'accès recoupe de nombreuses criques (58 franchissements de criques entre Saint-Laurent-du-Maroni et le site dont 38 sur la portion depuis Apatou jusqu'à Citron). L'aménagement des franchissements est une question de sécurité tout comme de limitation des impacts potentiels. CMO prévoit d'aménager 11 franchissements par des ponts et 12 (environ) par des buses. Ces criques n'ont jamais fait l'objet de suivis. Le dimensionnement des ouvrages de franchissement est basé sur le principe de similitudes dans lequel les paramètres de calculs des crues sont hérités de paramètres obtenus à partir de bassins similaires.

4. Contexte géologique

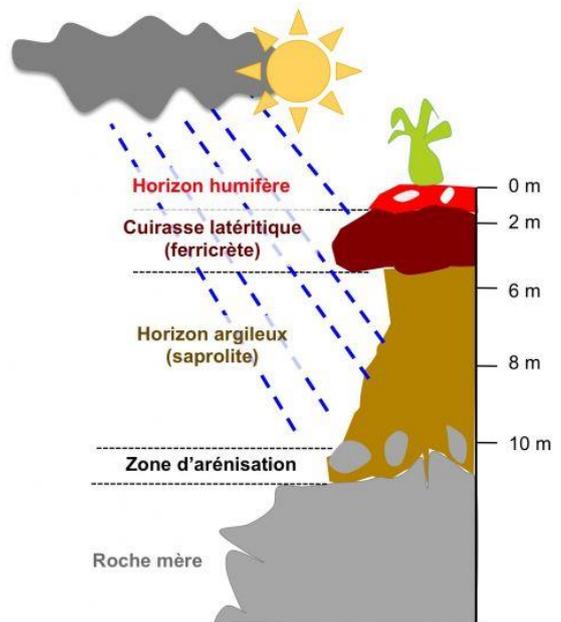
Le contexte géologique est celui de roches volcaniques et plutoniques classifiées en hydrogéologie dans la catégorie des roches de « socle ».

Il s'agit de roches dures (lorsqu'elles ne sont pas altérées) constituées :

- d'amphibolites (qui forment l'essentiel du massif du Dékou Dékou) ;
- des formations volcaniques de la série du Paramaca (tufs felsiques et mafiques) où se trouve le gisement d'or ;
- de roches plutoniques : gabbros (massif de Lucifer), diorite, granite pour l'essentiel.

Ces roches sont altérées en surface. Leur altération est variable selon la nature de la roche d'origine. Néanmoins, quelle que soit la roche mère, la roche altérée est désignée sous le nom de saprolite. Le terme saprolite, qui étymologiquement signifie « roche pourrie », désigne la partie altérée où la roche mère est encore reconnaissable. Lorsque la structure initiale de la roche a disparu, la roche prend le nom d'altérite. Le passage des altérites à la roche saine s'appelle le profil latéritique (Illustration 4). Un tel profil est progressif. Lorsqu'il est complet, le sommet est représenté par une croûte ferrugineuse pouvant atteindre quelques mètres : la cuirasse latéritique.

Illustration 4 : Coupe schématique d'un profil latéritique
(source : u-picardie.fr)



Autour du site, la cuirasse latéritique n'est présente qu'au sommet du Dékou Dékou. Les roches présentes sur le site à l'affleurement sont donc des saprolites et des dépôts récents (quaternaire : sous forme d'alluvions ou de colluvions) dans les vallées (flats alluviaux) ou le bas des pentes.

Les saprolites constituent la matière première des ouvrages de stockage que la CMO prévoit de construire : digues et couverture du parc à résidus, base, compartiments (alvéoles) et couverture des verses à stériles, base imperméable des bassins, etc....

Il est important de comprendre que les saprolites situées au-dessus du minerai identifié présentent elles-mêmes un potentiel minier. Elles sont alors considérées comme minerai. Celles dont la teneur en or est insuffisante pour justifier leur rentabilité doivent être considérées non pas comme des saprolites ordinaires, mais **comme un déchet minier**. Elles ne doivent pas être réemployées pour la constitution des digues du parc à résidus par exemple mais doivent être stockés dans la verse à stérile.

Il faut noter également que seule la partie supérieure de la saprolite est susceptible de présenter des caractéristiques de perméabilité satisfaisantes pour ces usages. La partie inférieure est en effet de plus en plus perméable car l'argilosité décroît avec la profondeur.

Considérant les volumes importants en matériau peu perméables, il sera nécessaire à l'entreprise minière de faire venir de la saprolite depuis des zones d'emprunts (carrières) plus ou moins proches du site.



Illustration 5 : carottes de roches saines et de saprolite provenant du site (Source CMO)

Le passage de la saprolite à la roche saine est rapide et se produit sur quelques mètres (Illustration 6). L'épaisseur de la saprolite semble varier entre 10 et 30 m (en moyenne 20 m).

Les flats alluviaux sont largement répandus au niveau des criques. Ils sont constitués de terrains argilo-limoneux et de graves qui ont été et sont encore intensément exploités pour l'orpaillage.



Illustration 6 : Passage saprolite – Saprock au sondage MO-15-229 (Source : CMO)

4.1. LE GISEMENT AURIFERE

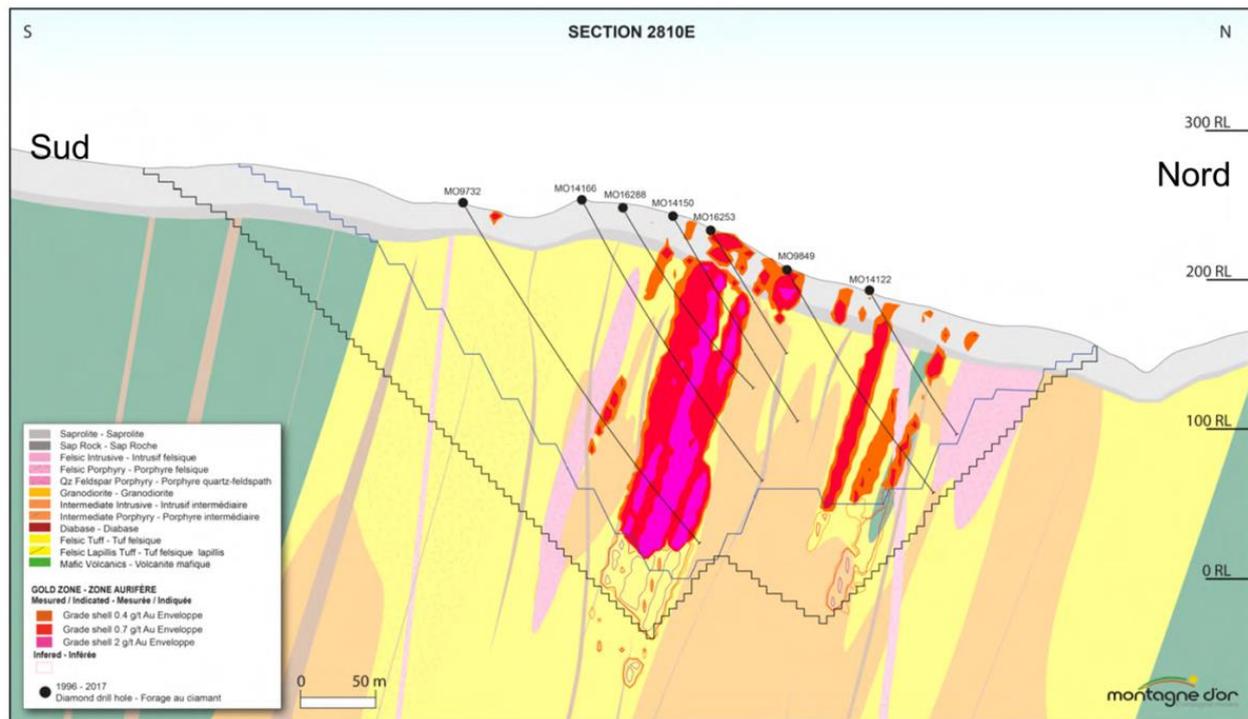


Illustration 7 : Coupe Sud-Nord montrant la configuration du gisement.

Le gisement est un amas sulfuré volcanogénique d'âge protérozoïque (2 milliards d'années environ) mis en place en contexte volcanique bimodal (présence de laves et tufs à la fois de composition mafique type basalte et felsique type rhyolite) sans carbonates présents et très riches en sulfures fortement acidogènes comme les sulfures de fer (pyrite, pyrrhotite, chalcopyrite et arsénopyrite en particulier) ;

Plus précisément, cet amas sulfuré contient de l'or en basses teneurs comme la plupart des amas sulfurés dans le monde mais cet or a été remobilisé le long de zones de cisaillement profondes (« shear zones »). La compression des terrains lors du rapprochement des plaques amazoniennes et africaines au Précambrien est à l'origine du redressement des couches et de leur cisaillement. Sur l'illustration 7, la coupe qui s'étend du versant nord du massif du Dékou Dékou à la crique infirmes, montre, au milieu des couches très redressées (pendage de 72 à 84° Sud), les minéralisations aurifères et le tracé de la fosse (trait bleu). Le deuxième tracé (trait noir) correspond à une autre hypothèse de creusement actuellement abandonnée.

Comme le souligne aussi Pol Urien dans son rapport (BRGM/RC-67967-FR) : Cette coupe illustre également la faible épaisseur (20m environ) de saprolite recouvrant la roche saine. Cette saprolite non qualifiée en paramètres géotechniques devra servir lors de son extraction à la réalisation des différents soubassements de versées à résidus, de digues en méthode aval et de compartimentage des stériles acidogènes. En l'absence de quantifications volumiques et de caractérisations géotechniques, les volumes possibles peuvent, a priori, paraître inférieurs aux besoins exprimés.

4.2. CONTEXTE TECTONIQUE

Le secteur semble profondément faillé. SRK (2015) indique que les failles et fractures sont bien développées selon quatre directions principales, qui sont visibles à l'échelle régionale. Les structures relevées sont :

- Nord Sud (48%);
- Nord-Est Sud-Ouest (28%);
- Nord-Ouest Sud-Est (16%); et
- Est-Ouest (7%).

Il faut noter que ces directions impriment leur marque au réseau hydrographique. Elles sont donc probablement « actives » sur le plan hydrogéologique, favorisant l'écoulement des eaux de surface comme souterraines.

SRK a bâti un modèle structural qui montre un réseau de failles principalement développé dans la direction Nord-Sud et des cisaillements (en gris) dans la direction Est-Ouest (Illustration 8). Les directions ne sont donc pas en cohérence avec ce qui est décrit à l'échelle régionale, sans doute parce que le modèle structural se focalise sur la zone de cisaillement. Il semble qu'aucun de ces accidents n'induit de déplacement sur les autres.

Il n'est pas mentionné si certaines directions sont plus ouvertes ou plus altérées que d'autres, ce qui peut avoir un impact sur les écoulements des eaux souterraines.

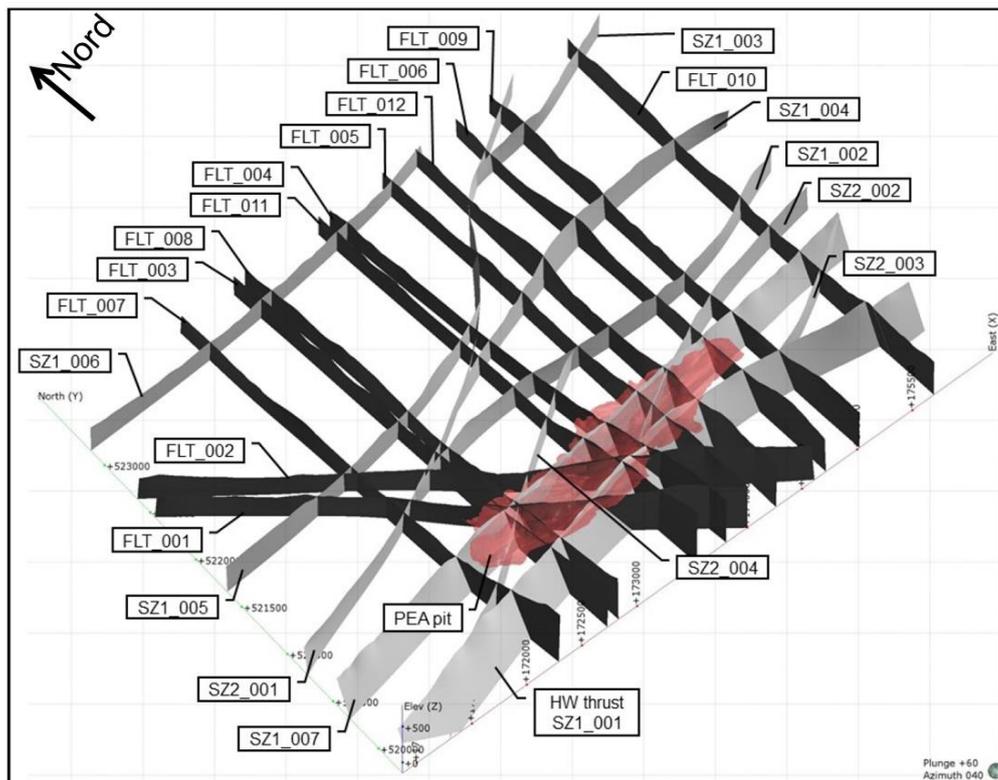


Illustration 8 : modèle structural (Source: SRK NI 43-101 Technical Report, Bankable Feasibility Study)

4.3. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

Parmi les formations qui affleurent en surface, les formations altérées, faiblement perméables ne favorisent pas l'infiltration. Bien au contraire, elles favorisent le ruissellement, et ce, d'autant plus que la pente est forte.

Sur les flats alluviaux en revanche, les eaux météoriques (ruissellement et pluies) peuvent s'infiltrer davantage.

Dans un tel contexte les aquifères sont de deux types :

- Aquifère à porosité de fissure dans les roches dures fracturées (aquifère de socle)
- Aquifère à porosité intergranulaire dans les flats alluviaux (aquifère alluvial)

4.3.1. Aquifère de socle

Le principe des écoulements dans les aquifères de socle est schématisé sur l'illustration 9. Ce modèle conceptuel considère les éléments géologiques précédemment décrits.

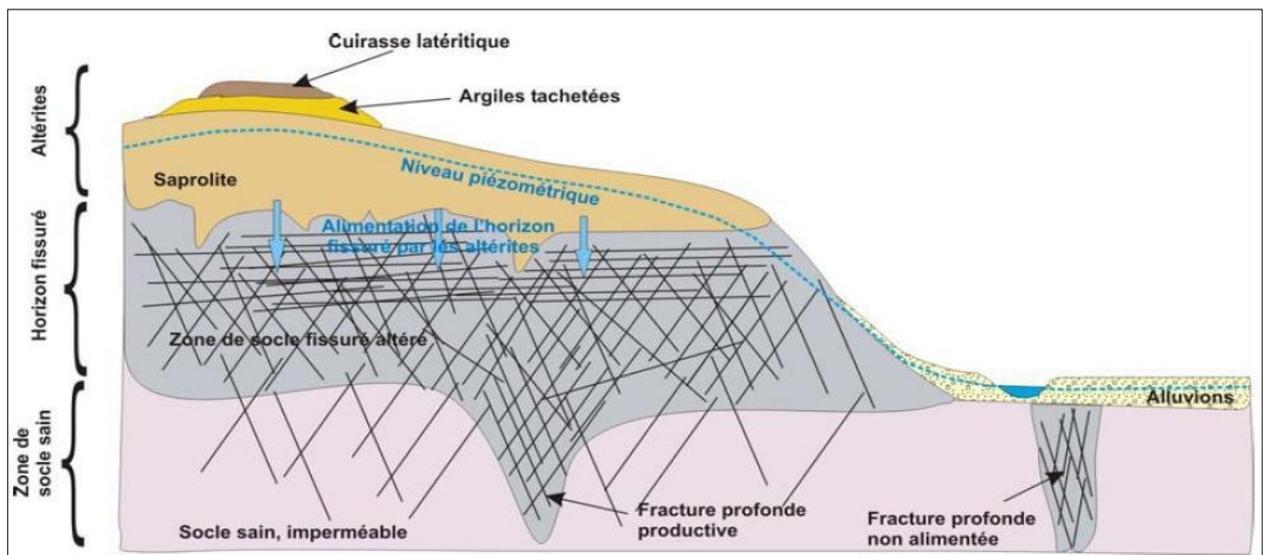


Illustration 9 : modèle conceptuel des aquifères de socle en Guyane (Weng – 2006 adapté de Wyns, 2004)

La cuirasse latéritique n'est présente qu'en lambeaux. CMO indique qu'elle coiffe le Dékou Dékou et qu'une nappe perchée, indépendante, s'y trouve.

Les altérites, peu perméables, diffusent et limitent l'infiltration. La saprolite peut néanmoins emmagasiner de l'eau. Elle a une capacité de stockage qui est liée à sa porosité efficace et qui peut atteindre plusieurs pour cents. Cependant, les circulations d'eau y sont très lentes. La saprolite est assimilable à une éponge qui retient l'humidité.

L'eau circule donc dans la roche grâce aux fissures, majoritairement présentes à proximité de la zone altérée (horizon fissuré ou saprock) excepté lors de la présence de failles plus profondes.

La roche saine, non fissurée, est imperméable. L'épaisseur de la zone fissurée représenterait 5 à 20 m seulement (diapo 21 de la présentation CMO du 22/05/2018).

Les réseaux de fissures superficiels drainent la saprolite « éponge » et dirigent les écoulements vers les criques. Les fractures profondes, plus rares, peuvent fonctionner indépendamment des réseaux hydrographiques et avoir leurs directions de circulation propres.

Les flux sont proportionnels à la densité de fracture mais aussi à l'ouverture de ces fractures/fissures souvent colmatées par de la saprolite. La présence de la saprolite confine l'eau contenue dans les fissures (on parle de nappe captive). L'eau s'y retrouve sous pression et sa libération par des forages ou des excavations peut s'accompagner de jaillissement ou d'effondrement de terrains.

Les failles tectoniques jouent le rôle de drains profonds (Illustration 10). Ce sont des cibles pour la recherche d'eau. Néanmoins, elles peuvent présenter également une altération interne favorisée par la fracturation et la circulation d'eau.

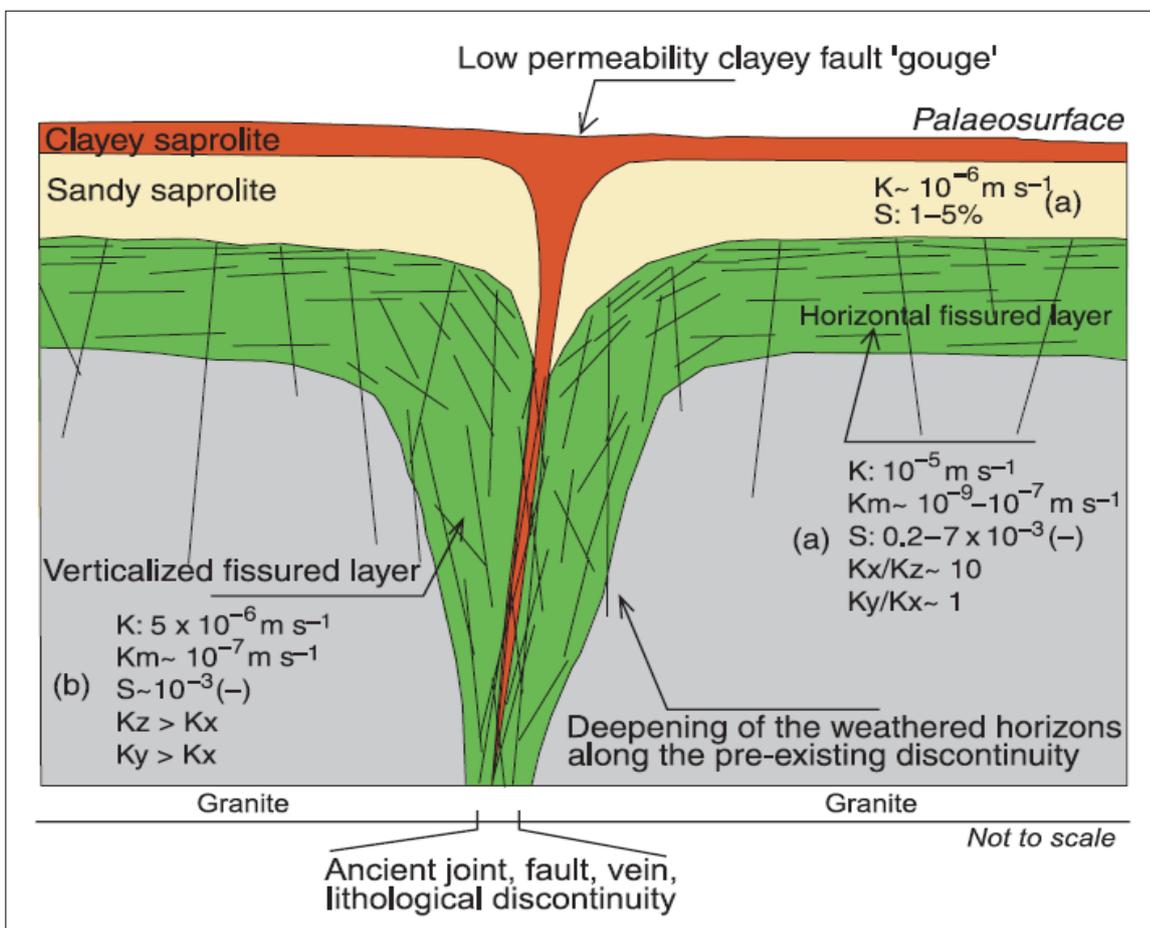


Illustration 10 : modèle conceptuel au niveau d'une faille tectonique

Du fait que l'eau ne circule que dans les fissures non colmatées, les débits des forages dans les aquifères de socle sont très faibles, inférieurs à 5 m³/h en moyenne (expérience du BRGM en Guyane et dans d'autres aquifères de même type)..

4.3.2. Aquifères alluviaux

Dans les flats alluviaux mais aussi dans les dépôts de bas de pente, remblais ou autre accumulations de matériaux détritiques constitués de sables ou de graviers, la présence d'eau est possible et fréquente, car ces matériaux se rencontrent dans les points bas. Ces aquifères sont en relation avec le réseau d'eau de surface.

L'alimentation de ces aquifères se fait principalement par une recharge depuis la surface et par contact avec la zone fissurée.

4.3.3. Besoins en eau du site de Montagne d'Or

CMO estime les besoins (Réponse à la question 44 du débat public):

- En eau brute industrielle à 460 m³/h
- En eau potable à 240 m³/j (soit 10 m³/h en moyenne)

L'estimation des besoins en eau potable est basée sur une consommation de 300 l/j/pers pour 800 personnes. Il s'agit donc d'un débit de pointe qui ne sera que rarement atteint. Trois forages sont envisagés. Il faudra probablement traiter l'eau.

Actuellement (rapport 1.1.5 de sept 2017 p.103) il y a un forage pour le camp Citron. Il est situé dans les alluvions remaniées de la Crique Reine. (Débit: 3 m³/j). A cause de sa qualité (Fer et manganèse en excès), il n'est pas utilisé pour l'eau potable.

4.3.4. Etat initial des eaux souterraines

L'état quantitatif des eaux souterraines est généralement abordé à partir d'une carte piézométrique, qui représente l'altitude de la surface d'une nappe déterminée. Sur le site, cette carte est construite à partir d'une quarantaine de points mais les documents présentés n'indiquent pas les valeurs mesurées (Illustration 11). En réalité, il semble qu'il s'agisse d'une simulation de niveau de nappe et non d'une carte obtenue par l'interpolation des mesures.

Les points semblent concerner à la fois la saprolite et l'aquifère fissuré, voire les aquifères alluviaux pour certains. Il faudrait avoir accès à la coupe des forages pour déterminer quel aquifère est concerné. Selon ce document, l'écoulement suit la topographie. La carte est en réalité fortement influencée par l'hypothèse (classique en milieu de socle) selon laquelle l'épaisseur de roche concernée par la présence d'eau est peu épaisse (20-30 m) et relativement uniforme sous la surface. C'est probablement une hypothèse du modèle utilisé pour tracer la carte, ce qui permet de dessiner la nappe même là où il n'y a pas de mesure. Les éléments fournis ne permettent pas de vérifier les hypothèses de base.

Les gradients représentés (la pente de la nappe) sont très forts sur les versants nord et sud du Dékou Dékou. Les concepteurs de la carte ont donc émis l'hypothèse que le milieu y possède une très faible perméabilité du milieu fissuré. En effet, pour que l'eau soit présente avec de telles pentes, il faut qu'elle ne puisse pratiquement pas s'écouler, ou bien qu'elle soit alimentée en continu par une infiltration abondante, ce qui paraît peu probable vu la faible perméabilité en surface de la saprolite et des argiles.

La carte piézométrique est le document de référence des modèles mathématiques qui permettront de calculer les flux d'eau souterraine vers la fosse et l'impact potentiel sur les criques. Sa réalisation nécessite des mesures fiables et à différentes dates, de manière à produire une carte de basses eaux et une en hautes eaux. Il serait souhaitable de pouvoir confirmer les hypothèses de très faibles perméabilités sur les flancs du Dékou Dékou, car ce sont des hypothèses qui minimisent les impacts quantitatifs en réduisant l'extension des impacts de la fosse. Ce sont également des hypothèses qui réduisent les quantités d'eau souterraine à évacuer, et qui augmentent le temps de remplissage de la fosse.

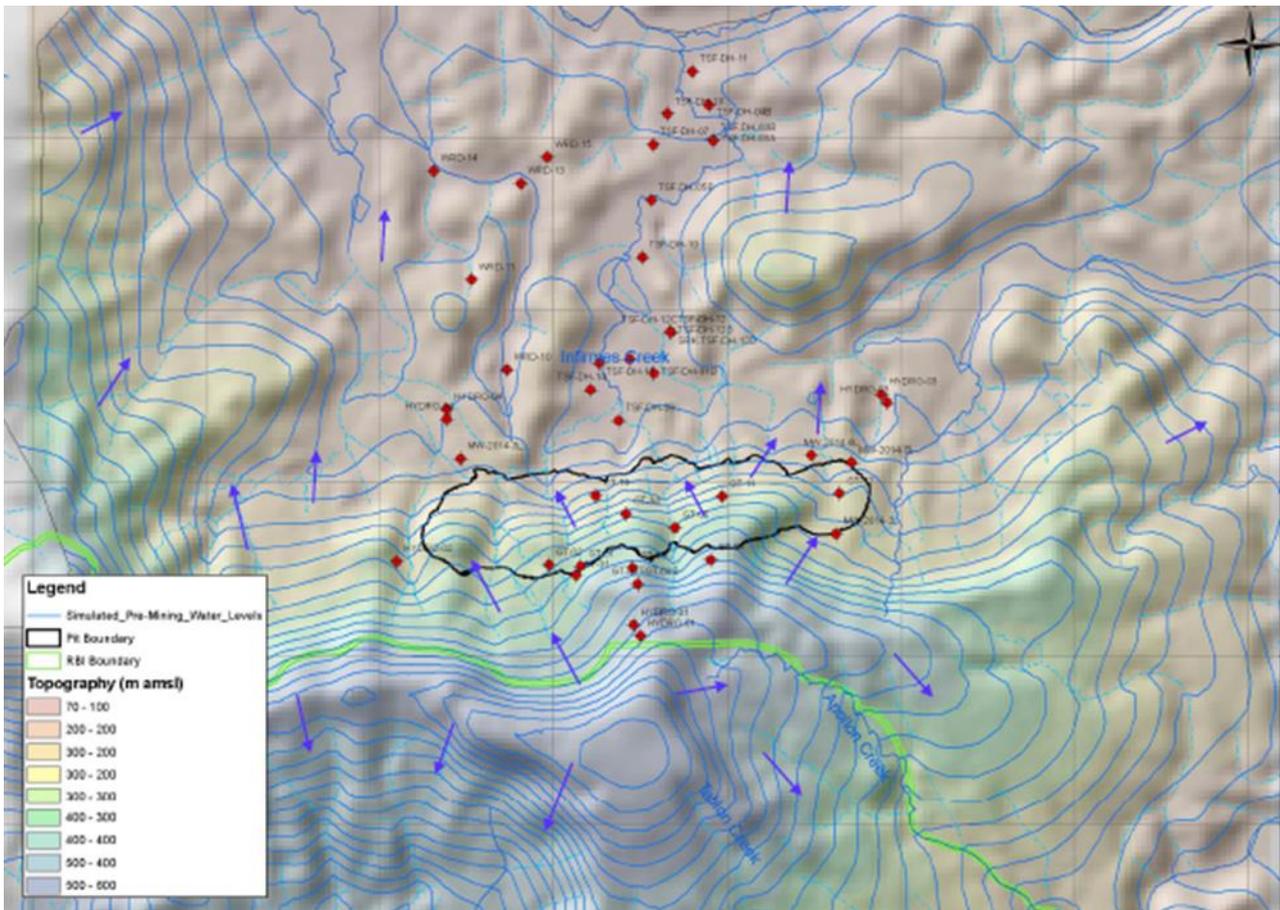


Illustration 11 : Carte piézométrique (source fiche 1.1.5 p.93)

Un réseau de piézomètres doit être établi pour suivre la nappe et valider/corriger les prédictions de débit en cours d'exploitation.

4.4. ASPECTS QUALITATIFS : CONTEXTE GEOCHIMIQUE

Le type de gisement auquel se rattache « Montagne d'Or » est potentiellement problématique dans le sens où, si les précautions adéquates ne sont pas prises ou bien mises en œuvre, la circulation des eaux au contact de la roche peut générer une solution acide chargée en éléments métalliques. C'est le phénomène du drainage minier acide dont il est utile d'expliquer le principe.

4.4.1. Principe du drainage minier acide (DMA)

Le drainage minier acide est un processus d'acidification des eaux de drainage dans un environnement minier d'exploitation primaire résultant de l'oxydation de minéraux sulfurés lors du contact avec l'air des matériaux de profondeur ramenés en surface.

La percolation acide peut alors générer des écoulements continus chargés d'éléments métalliques qui se déversent depuis les sites d'origine vers le réseau hydrographique le plus proche, ou atteignent l'aquifère (Illustration 12).

La source principale du DMA est l'oxydation des amas minéraux sulfurés suite à leur exposition à l'air et à l'eau et à des microorganismes (Itard et Bosc., 2001). Les sulfures de fer en particulier sont les plus réactifs (pyrite, pyrrhotite, arsénopyrite, ...). L'acidification faisant suite à cette oxydation va favoriser la solubilisation des métaux présents. Le pH de ces écoulements peut atteindre dans des cas extrêmes des valeurs inférieures à 2.

Une fois que le processus d'acidification est enclenché, le DMA est très difficile à contrôler et son traitement est très onéreux. Le processus géochimique du DMA est une spirale dans laquelle les réactions d'oxydoréduction (en particulier la libération de Fe³⁺) au sein des déchets miniers offrent de l'énergie aux microorganismes dont le développement accélère lui-même le processus. On parle de « bioréacteur chimique ».

Il existe des techniques d'atténuation. Aucune n'est miraculeuse (Itard et Bosc, 2001 ; Kefeni et al., 2017). C'est pourquoi tous les efforts doivent être entrepris afin de prévenir la génération de DMA. Ces méthodes de préventions sont connues et appartiennent aux bonnes pratiques de la gestion des déchets miniers (cf. « La mine en France », Tome 12). Le principe en est simple : il faut éviter que les sulfures soient exposés à l'air, à l'eau et aux bactéries. Mais la réalisation en est souvent délicate.



Ci-dessus, Algues filamenteuses acidophiles dans un fossé en bordure de résidus miniers République Dominicaine, (Photo Francis Cottard)



Ci-dessus : Eaux très acides (pH 2) du Rio Tinto dont le fer dissous lui confère sa couleur si caractéristique (Nerva, Espagne, 2015 – Photo Johann Tuduri).

Illustration 12 : Exemples d'écoulements contaminés par du drainage minier acide

4.4.2. Potentiel acidogène et de lixiviation des métaux des roches du site de Montagne d'Or.

Plus de la moitié des roches analysées sur le site sont des sulfures. L'évaluation du potentiel de production de DMA des résidus miniers par une approche minéralo-chimique et thermodynamique est complexe (Itard et Bosc, 2001). La fiche 1.1.1 p.26 indique que 54,7% des stériles sont potentiellement acidogènes, c'est-à-dire susceptibles de générer du « drainage minier acide ». « Les tufs felsiques et les tufs à lapillis, qui représentent 1/3 des 448 échantillons étudiés, sont les lithologies les plus acidogènes (respectivement 100% et 92% d'échantillons potentiellement acidogènes). »

La pyrite (FeS_2) est le principal minéral sulfuré, présente sous forme disséminée dans la roche ou en inclusion dans les veines de quartz. Les autres sulfures occasionnellement observés dans les veines de quartz sont la pyrrhotite (FeS_{1-x}), l'acanthite (Ag_2S), la chalcocite (Cu_2S), la chalcopirite (CuFeS_2), la gersdoffite (NiAsS), la sphalérite (ZnS) la galène (PbS), et plus rarement (3 échantillons sur 448) l'arsénopyrite (FeAsS).

Selon l'annexe II de l'article R. 541-8 du Code de l'Environnement, les déchets miniers riches en sulfure relèvent de la rubrique 01 03 04 * du catalogue européens sur les déchets « stériles acidogènes provenant de la transformation du sulfure » et sont de fait classifiés **déchets dangereux** (Laperche et Cottard, 2012).

Il n'y a pas de roche carbonatée à proximité du site. Ces roches sont utiles pour atténuer ou neutraliser le drainage minier acide. En cas de génération de DMA, l'acheminement sur le site de minéraux neutralisants sera coûteux.

Le contexte climatique de la Guyane (eaux météoriques oxydantes, intenses et abondantes) augmente considérablement les risques de génération de DMA.

Les amas sulfurés comme celui de la Montagne d'Or présentent un fort potentiel de lixiviation des métaux et métalloïdes en provenance des stériles, notamment en cuivre, zinc, plomb et arsenic. CMO a produit peu avant le débat du 22 mai une « fiche thématique métaux-lourds » dont les chiffres sont repris dans l'illustration 13. Le tableau présente des valeurs moyennes des teneurs qui sont estimées sur les déchets miniers : boues du parc à résidu, stériles, eau du parc à résidu après décantation (surnageant) et eau de percolation des verses à stériles. La méthode de calcul de ces estimations n'est pas précisée. Les teneurs sont exprimées en ppm (« parties par million »), unité équivalente au mg/l. Une dernière colonne est ajoutée à ce tableau avec les valeurs guides de la Banque Mondiale (Source « WORLD BANK GROUP. 2007. Environmental, Health, and Safety Guidelines – General EHS guidelines » citée dans l'Etude de cadrage environnemental, Table 3-1)

Élément	Teneur moyenne dans la fraction solide des résidus décyanurés (en ppm)	Teneur moyenne dans les roches stériles de Montagne d'Or (en ppm)	Teneur moyenne dans la fraction liquide du parc à résidu (surnageant) (en ppm)	Teneur moyenne dans la fraction liquide issue des verses à stériles (en ppm)	Valeurs maximales pour les effluents rejetés dans les eaux de surface (en ppm) Source= étude de cadrage
Arsenic (As)	66	35	0.05	0.006	0.1
Cadmium (Cd)	<0.5	0.42	0.0001	0.0013	0.05
Chrome (Cr)	207	88.6	0.003	0.098	0.1
Cuivre (Cu)	965	212	0.071	2.02	0.3
Mercure (Hg)	0.11	0.02	Non déterminé	0.000049	0.002
Plomb	14	8.25	0.216	<0.0001	0.2
Zinc (Zn)	111	127	0.012	0.37	0.5

Illustration 13 : Estimation (CMO) des teneurs en métaux lourds dans les déchets de la future mine

La toxicité des métaux lourds a conduit les pouvoirs publics à réglementer les émissions en fixant des teneurs limites. Les teneurs sont fixées par arrêté préfectoral. Généralement, elles sont fixées par rapport aux concentrations naturelles ou aux concentrations de fond.

Selon les données de référence de la Banque Mondiale présentées en dernière colonne, le cuivre dans la fraction liquide issue des verses à stériles se trouverait en excès par rapport à cette référence nécessitant un traitement avant rejet dans le milieu naturel. En tout état de cause, c'est par rapport à l'arrêté préfectoral et aux données réellement observée qu'il conviendra de faire des comparaisons. CMO a prévu de traiter toutes les eaux non conformes avant rejet dans le milieu naturel.

5. Etat géochimique initial

Tout projet minier doit être accompagné d'une analyse de l'état initial avant-projet. C'est un état de référence par rapport auquel d'éventuelles futures modifications de l'environnement pourront être évaluées. Il fixe en particulier le contexte géochimique naturel qui conditionne les rejets dans l'environnement.

L'état initial est un élément de l'étude d'impact qui n'a pas encore été présentée. Les documents fournis pour le débat public ne couvrent que partiellement les éléments chimiques et les zones qui devraient être analysés dans l'étude d'impact.

5.1. ETAT INITIAL DES EAUX DE SURFACE

Huit stations ont été échantillonnées (Hydreco) en mai 2014 et 13 sites en juillet et octobre 2014. Les sites de prélèvements sont centrés sur l'emprise de la fosse et des déchets miniers (la crique infirmes). Cette distribution des points de prélèvements nous semble insuffisante. **La caractérisation du fond géochimique doit concerner les cours d'eau sur l'ensemble du bassin versant aval pour l'eau et les sédiments.**

Les eaux sont de pH neutre (6.8 à 7.9), légèrement minéralisées (30 à 130 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Elles sont classées en « bon état » à « très bon état » sur le versant du Dékou Dékou mais elles sont fortement dégradées en aval (MES, Tu) du fait du ruissellement accéléré par la déforestation et les pratiques d'orpaillage passées ou en cours.

Les documents ne précisent pas le fond géochimique complet des eaux de surface (il manque en particulier les métaux lourds, dont le mercure).

5.2. ETAT INITIAL DES EAUX SOUTERRAINES

Trois campagnes de prélèvements ont eu lieu en 2014. 26 points de mesures de différentes profondeurs ont été échantillonnés.

Les eaux sont faiblement minéralisées ce qui traduit un court séjour dans le milieu souterrain. Cette constatation est logique dans la mesure où les zones d'infiltration sont proches et les aquifères sont d'extension limitées. Néanmoins, les faibles perméabilités de certains secteurs, en limitant les vitesses de circulation dans l'aquifère, favorisent les échanges entre les éléments chimiques contenus dans la roche et l'eau. Cette interaction Eau-Roche se traduit en particulier par des eaux riches (parfois en quantité excessive) en aluminium, fer, manganèse, nickel, plomb et zinc. Ces concentrations augmentent avec la profondeur. Elles traduisent la présence de l'amas sulfuré.

Le pH des eaux est légèrement acide (5.5 à 6.2) dans les piézomètres. L'oxygène dissous y est très faible, traduisant un milieu réducteur et une probable activité bactérienne (valeurs élevées de DBO5 et DCO dans certains ouvrages). Il est à noter qu'une seule valeur notable en hydrocarbures a été mesurée, sur MW-2014-7long, probablement imputable à une contamination lors de la foration.

L'état initial présenté dans les documents de CMO est très centré autour de la future fosse. Cependant, **la caractérisation du fond géochimique devrait être plus largement étendue.** Elle devrait concerner les sources du Dékou Dékou ainsi que divers points des nappes alluviales en aval du site.

6. Gestion des eaux dans la mine : points de vigilance

La compagnie Montagne d'Or a fourni un schéma des circulations de l'eau dans la mine (Illustration 14). Malgré les précautions prises pour dériver les criques et détourner les eaux de ruissellement, le contact avec le minerai est inévitable. Il est donc prévu de collecter et de traiter et recycler ces « eaux de contact ».

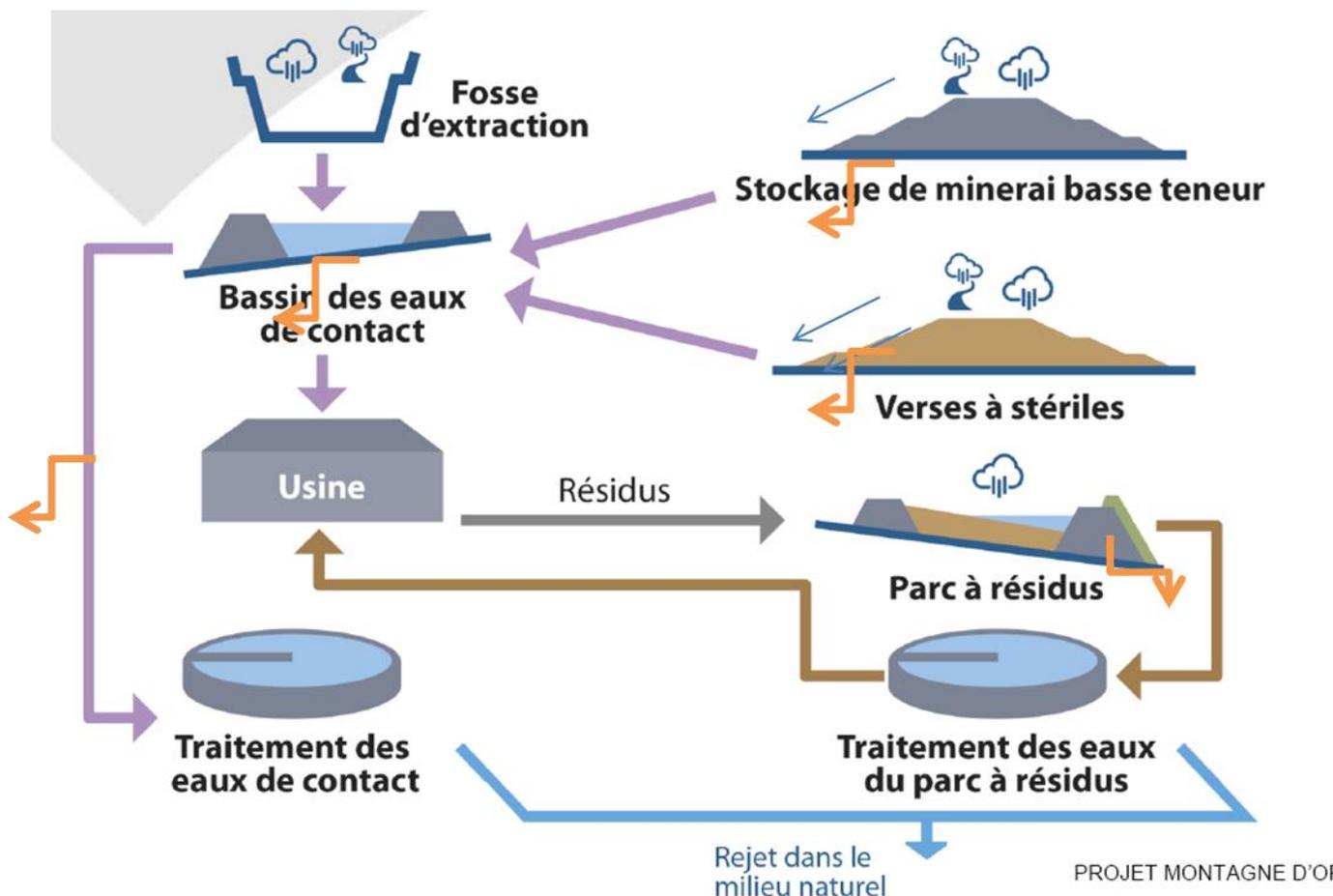


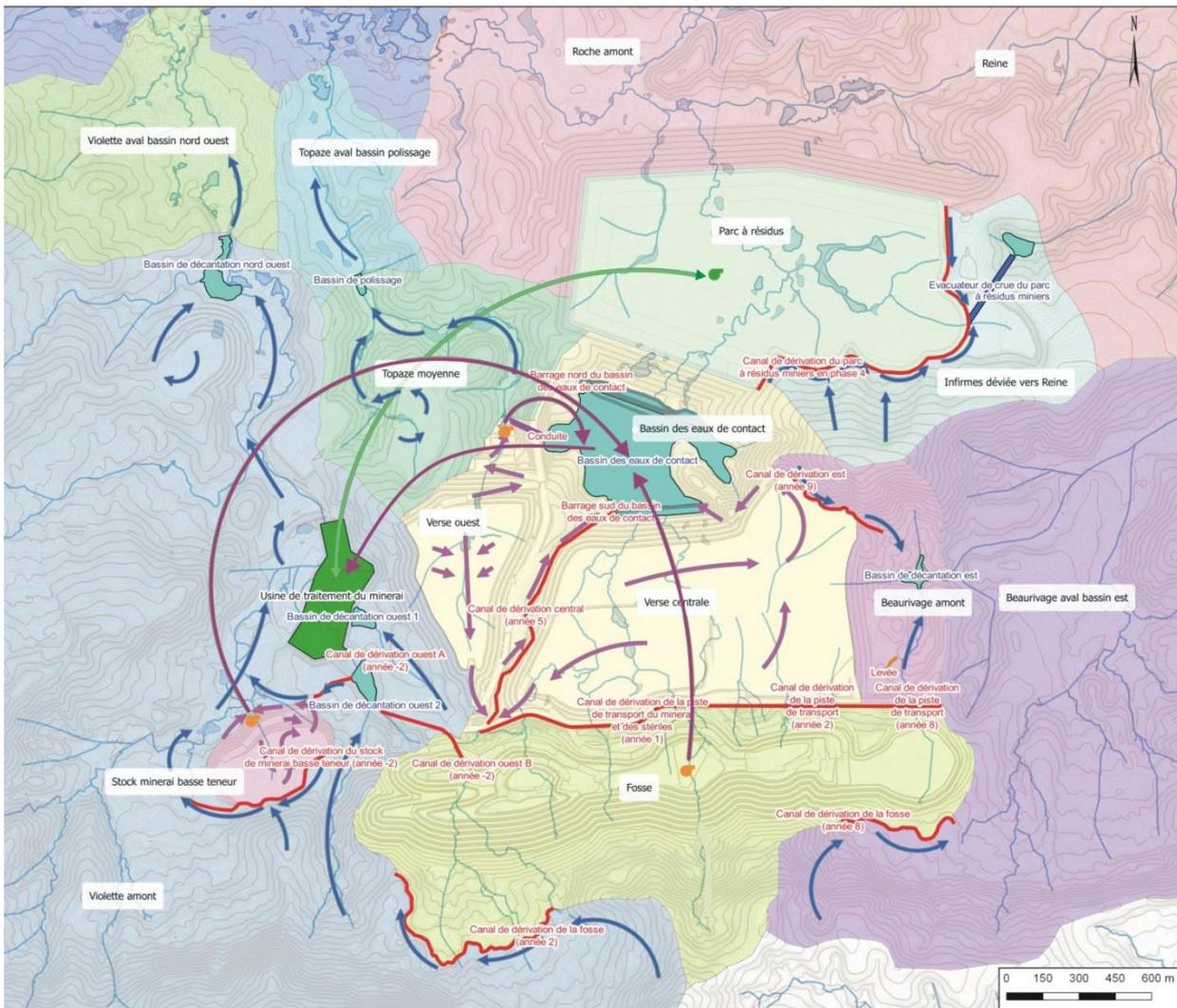
Illustration 14 : Schéma des circulations d'eau dans la mine (source : CMO, modifié)

Par rapport au document d'origine, nous avons ajouté les flèches orange, symbolisant les risques de fuites acides sur les infrastructures :

- Ruissellement et infiltrations sur le stockage de minerai basse teneur, très peu documenté ;
- A travers les verses à stériles ;
- Au niveau du bassin des eaux de contact ;
- Sous le parc à résidu et à travers la digue ;
- Sur les canalisations reliant les différents éléments.

Lors de l'atelier du 22 mai, CMO a produit un document complémentaire, beaucoup plus complexe, sur lequel apparaissent le tracé des canaux de dérivation, la position de bassins de décantation et du bassin de polissage localisés avant le rejet dans le milieu naturel, la position

du stock de minerai basse teneur qui faisait défaut aux documents présentés et la topographie du site après aménagement, qui influence notamment les ruissellements sur les verses à stériles.



Gestion des eaux :

- ➔ eaux de ruissellement
- ➔ eaux de contact
- ➔ eaux recirculées du parc à résidus

Illustration 15 : Infrastructures de gestion des eaux (Source : CMO, présentation du 22/05/2018)

La topographie du site évoluant avec l'exploitation, le schéma sera probablement différent en début de projet et au cours de son évolution. Néanmoins, les écoulements principaux semblent être anticipés. **On remarque toutefois qu'il n'y a pas de récupération de sous-écoulements sous la digue du parc à résidus.**

Il manque à ce schéma une estimation des flux associés, élaborés pour plusieurs étapes du projet à partir d'un bilan hydrique.

6.1. LE BILAN HYDRIQUE COMME OUTIL DE GESTION

Le bilan hydrique consiste à évaluer tous les flux et volumes d'eau transitant sur le site à divers points de contrôle. Il est obligatoire pour la conception et la construction de chacune des installations de déchets miniers (verses à stériles et parc à résidus).

De manière générale, une maîtrise du bilan hydrique permet à l'opérateur de réduire les risques liés à son activité et cela à chacune des phases de son projet : faisabilité, dimensionnement, opération, après-mine.

Le bilan hydrique permet de dimensionner les bassins de collecte des eaux de procédés, les tranchées de drainage des eaux de ruissellement sur les couvertures, etc.

En particulier, associé à un suivi des niveaux d'eau dans le parc à résidus miniers, le bilan hydrique fournit des signes de fuites incontrôlées. Le bilan hydrique doit également être calculé pour la phase de réhabilitation afin d'estimer les flux potentiels à travers les verses à stériles sur et au-delà des 30 ans de suivis postérieurs.

Lors de la présentation du 22 mai, CMO a indiqué avoir réalisé un bilan hydrique. La compagnie estime que « le bilan hydrique annuel du bassin des eaux de contact et du parc à résidus sera positif ». C'est-à-dire excédentaire. L'excédent d'eau sera traité puis analysé afin d'assurer sa conformité, puis rejeté dans le milieu naturel.

En réalité, chaque infrastructure (c'est à dire pas uniquement au niveau du bassin des eaux de contact et du parc à résidus) doit faire l'objet d'un calcul des flux entrants et sortants, à mettre en perspective avec les impacts potentiels sur l'environnement. L'étude d'impact détaillera probablement la position des points de contrôle des flux sur le site.

6.2. LA FOSSE MINIERE

La fosse minière est la zone où les eaux souterraines vont devoir être pompées pendant l'exploitation. Le débit d'eau souterraine qui alimentera la fosse n'est pas constant: il dépend de la saison, de la profondeur, de l'état de saturation de la roche. Toute l'épaisseur de la roche traversée n'est pas aquifère, comme cela est représenté sur l'illustration 9. Seules les premières dizaines de mètres sous la saprolite (voire la première dizaine seulement) sont suffisamment fissurés pour laisser passer l'eau.

La fosse minière recueille également les eaux de ruissellements qui n'auront pu être dérivées et les précipitations directes sur l'emprise de la fosse. Les flux recueillis sont donc variables dans le temps, et probablement difficile à estimer au stade actuel, en raison des faibles longueurs de chroniques d'observation et de l'hétérogénéité du milieu fissuré.

6.2.1. Risques durant l'exploitation

Sans chercher à les hiérarchiser, plusieurs risques concernant la fosse et liés à l'eau peuvent être listés :

- L'eau recueillie dans la fosse sera pompée vers le bassin des eaux de contact. Il est cependant probable que plusieurs flaques d'eau stagnante, voire de petits lacs se créent à divers endroits du fond de la fosse. Ces eaux seront des sources de génération de DMA.
- Du fait des fortes pentes sur le versant nord du Dékou Dékou et sur les flancs de la fosse, les eaux météoriques vont provoquer un ruissellement important, dont une large partie ne sera pas interceptée par les tranchées de dérivation (Illustration 15). Ce ruissellement

important pourrait avoir comme conséquence une érosion régressive des versants depuis les flancs de la fosse vers l'amont, affectant les sols et la végétation. De même, sur les pentes des versants, des flux de boue lors des épisodes climatiques intenses (transport solide) sont à prévoir, pouvant colmater les réseaux de dérivation, perturber le système de gestion des eaux du site, etc...

- L'excavation associée à l'impact des explosions sur la roche peut favoriser la déstabilisation des flancs, en particulier dans l'horizon fissuré (Saprock) et les saprolites. La présence de la nappe mise en pression hydraulique par les saprolites (nappe captive) est en effet susceptible d'exercer une pression sur les terrains et provoquer des glissements de terrains sur les flancs des versants à forte pente.
- Un impact hydraulique est probable sur les criques et les nappes superficielles en aval du site (assèchement possible) car la fosse et les pompages vont priver ces criques et ces nappes de leur alimentation naturelle.
- Un impact hydraulique est également possible en amont du fait du rabattement de la nappe créée par la fosse et les pompages. Cette influence pourrait être sensible sur des sources éloignées. Il manque cependant dans les documents présentés un inventaire exhaustif (et une caractérisation géochimique) de ces sources.

6.2.2. Précautions

Les précautions à prendre pour éviter ou limiter ces risques sont pour la plupart considérées par CMO. Il s'agit de :

- Limiter les apports en eau de surface par des tranchées drainantes ;
- Entretenir régulièrement ces tranchées pour qu'elles soient fonctionnelles même en période d'orages ;
- Réaliser des études hydrogéologiques avec modélisation des flux souterrains et de surface pour estimer et réajuster les quantités d'eau à pomper ;
- Localiser les zones de pompage les plus pertinentes afin de ne pas laisser se former des petits lacs acides ;
- Réaliser une étude géotechnique et des auscultations régulières des flancs de la fosse pour anticiper les glissements de terrain.

6.2.3. Modélisation des écoulements vers la fosse

CMO a présenté le 22/05/2018 les résultats d'une modélisation hydrogéologique. D'après ces calculs, la réduction des débits d'étiage (en étiage, les cours d'eau sont alimentés par les eaux souterraines), serait de 64% au maximum pour la crique infirmes. Bien que située sur le versant sud-est du Dékou Dékou La crique Apollon, pourrait également être affectée par le rabattement de la nappe mais avec un impact maximal de l'ordre de 2,5 m³/j, soit une diminution de débit de 1,3%.

La modélisation présentée par CMO calcule que le débit de pompage maximum prévu sera de 1 300 m³/h en fin d'exploitation (lorsque la fosse aura son extension maximale), dont environ 150 m³/h proviendra des eaux souterraines. Ces débits assureraient donc largement la satisfaction des besoins en eau de procédés de la mine (460 m³/h). La station de traitement des eaux devra donc être dimensionnée de manière à être en capacité de traiter ces débits, représentant 31 000 m³/j, soit l'équivalent de la consommation moyenne d'une ville de 200 000 habitant.

CMO a également présenté les résultats de la modélisation du rabattement de la nappe, c'est-à-dire la différence entre l'état piézométrique initial (Illustration 11) et la surface de la nappe en fin d'exploitation. Il est prédit un rabattement de l'ordre de 40 m en bord de fosse, ce qui signifie

probablement un assèchement de la nappe car l'épaisseur de l'aquifère est de cet ordre de grandeur.

Le rabattement serait de 3 m sur une distance d'environ 100 à 250 m en aval de la fosse et sur une distance de 250 à 420 m en amont.

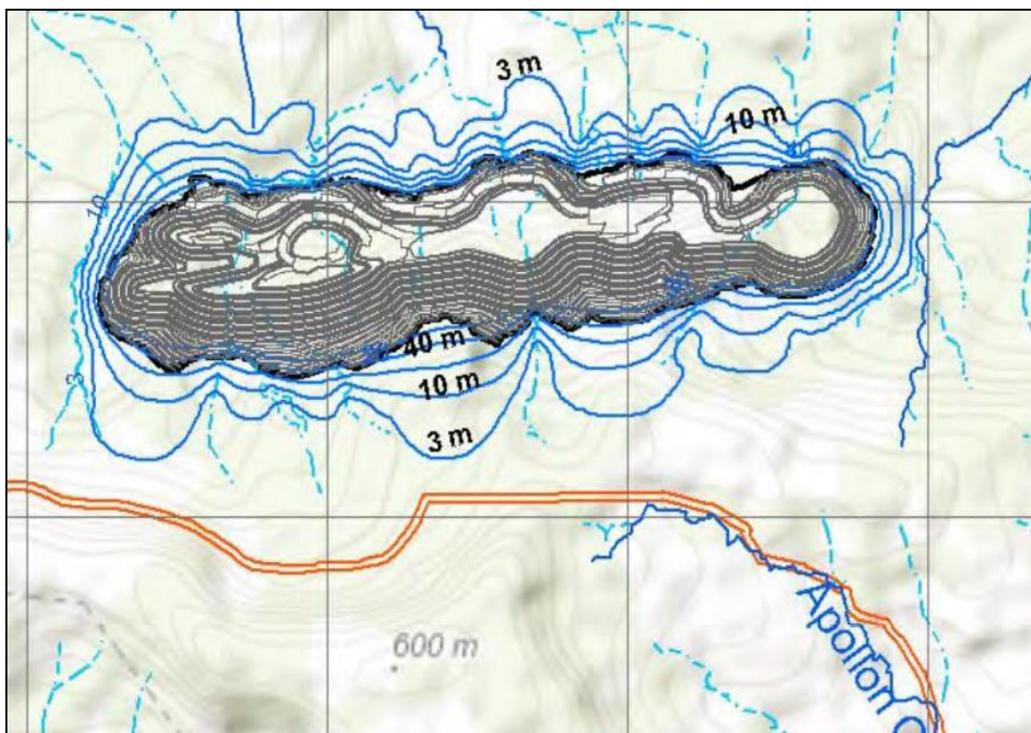


Illustration 16 : Rabattement simulé dans la nappe souterraine autour de la fosse (source CMO).

Il convient de remarquer qu'aucun des calculs présentés ne fait l'objet d'un calcul d'incertitudes ou d'une analyse de sensibilité. Or dans le milieu fissuré, les perméabilités sont mal connues et difficile à apprécier. Elles seront probablement augmentées localement par la fracturation des roches lors des tirs de mines. En amont elles sont probablement faibles mais une incertitude d'un facteur 10 est tout à fait possible.

Une sous-estimation de la perméabilité d'un facteur x conduit à sous-estimer les débits d'eau souterraine entrant dans la fosse du même facteur. En parallèle, l'impact sur la nappe est plus fort mais moins étendu que dans la réalité. Et inversement, si les perméabilités considérées sont plus fortes que dans la réalité, l'impact simulé sur la nappe est plus vaste que dans la réalité mais les débits simulés parvenant à la fosse seront surestimés. Ce paramètre est donc très sensible, en particulier sur le temps de remplissage après l'exploitation.

6.2.4. Risques après l'exploitation

L'arrêt des pompages des eaux d'exhaure de la fosse en fin d'exploitation va provoquer le remplissage de la fosse. La mise en eau est progressive. Une partie des eaux de remplissage proviendra de l'usine de traitement des eaux sous réserve de leur conformité (rejet des eaux de contact, eaux de procédés, eau d'assèchement de la digue à résidus), et l'autre partie proviendra des écoulements naturels, dont on a vu qu'ils sont difficiles à estimer.

Le remplissage va mettre en contact des roches sulfurées qui n'auront pas été exploitées et d'éventuels stériles non évacués avec l'eau et l'oxygène. Si le remplissage est lent le risque est la création d'un lac acide. Ce risque est probablement faible et temporaire car les volumes en jeu et la profondeur devraient permettre de priver les sulfures d'oxygène à terme. Il n'a pas été considéré jusqu'à présent dans les études présentées.

Le lac sera en contact avec les eaux souterraines (qui alimentent les criques en étiage) et les eaux de surface (par surverse). Son niveau devra rester plus bas que la nappe afin d'y faire converger les écoulements souterrains.

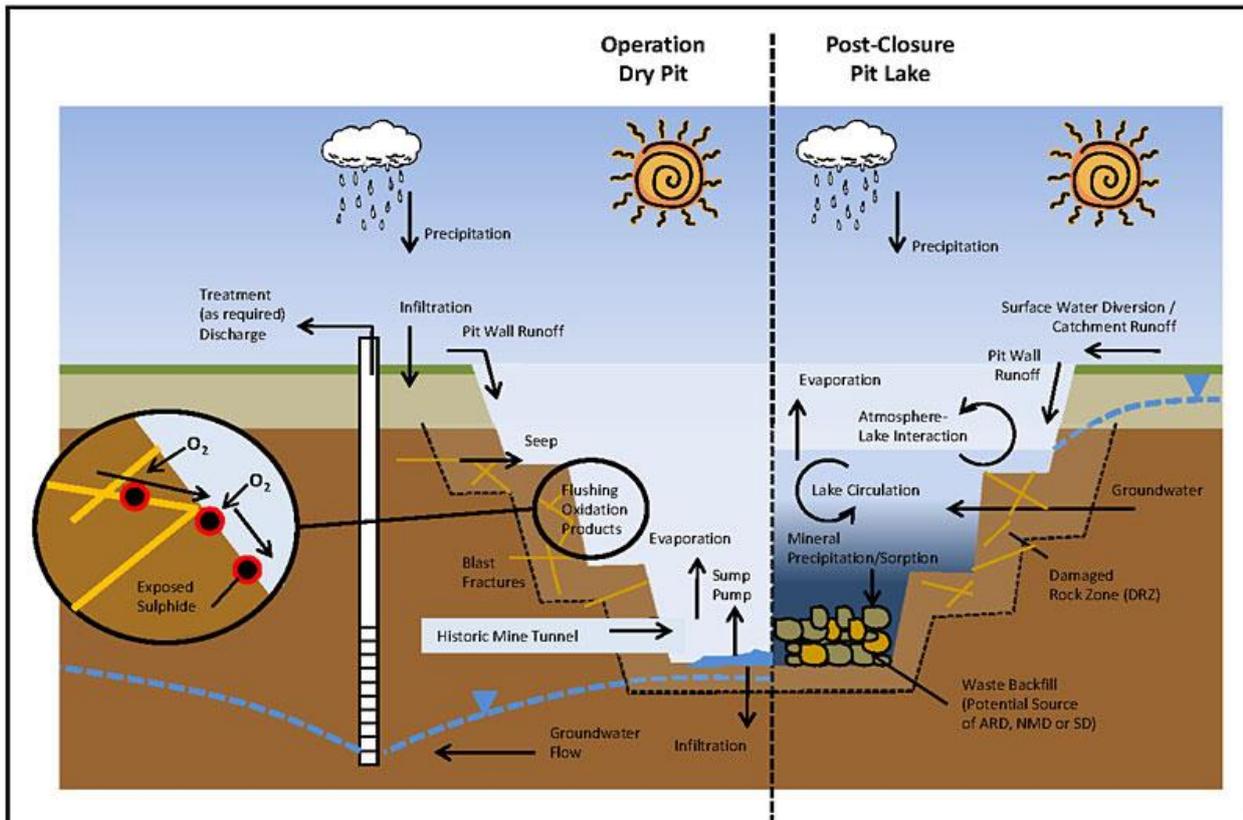


Illustration 17 : Schéma récapitulatif du fonctionnement d'une fosse pendant et après exploitation (source : www.guardguide.com)

6.2.5. Précautions

Les mesures pour éviter ou limiter les impacts sont les suivantes :

- Ne pas laisser s'installer des flaques acides afin de ne pas démarrer le remplissage dans des conditions de DMA
- Modéliser les scénarios de remplissage, sur le plan quantitatif mais également sur le plan chimique. En particulier, il est utile de connaître le retour à des conditions réductrices lié à l'accumulation d'eau sans écoulement dans la fosse.
- Favoriser le remplissage rapide de la fosse en supprimant une partie des canaux de dérivation des eaux de surface à la fin de l'exploitation.

CMO a présenté le 22/05/2018 un résultat de modélisation montrant que le temps de remplissage serait de 3,5 à 5,5 ans selon le scénario de remplissage retenu. Le scénario le plus rapide est

celui qui fait intervenir le traitement des eaux du parc à résidus et leur rejet dans la fosse **Les calculs ne sont accompagnés d'aucun calcul d'incertitude.**

La solution alternative consistant à réaliser une mine souterraine a été écartée dès le début par CMO pour des raisons de stabilité des terrains de surface et des raisons financières. Les mines souterraines présentent cependant moins de risques d'impact environnementaux que les mines à ciel ouvert, que ce soit vis-à-vis de l'eau ou de l'air. Il existe au Burkina Faso, dans des terrains similaires, une mine (Perkoa) dont les terrains superficiels ont été exploités à ciel ouvert et les terrains plus profonds font l'objet d'une exploitation souterraine.

6.3. LE PARC A RESIDUS

Les risques d'impacts liés au parc à résidus ont été largement traités lors des autres débats et ateliers, ainsi que dans le rapport de M. Urien (P.Urien, 2018). Ils sont également liés à l'eau et seront donc ici rappelés :

- Risque de rupture de digue ;
- Fuite à travers la géomembrane (défaut de positionnement, poinçonnement par des objets ou rocs tranchants laissés au sol).

Sur le premier point, lors de l'atelier du 22/05/2018, CMO a précisé que le cœur de la digue serait en enrochement. Cette précision interpelle car il n'en avait été fait mention nulle part. En particulier, le mode de construction « vers l'aval », mis en avant pour assurer la stabilité des digues de l'enceinte du parc à résidus ne le décrit pas. Le choix et l'origine des matériaux d'enrochement devra être précisé, de même que les quantités envisagées et la pente de la digue.

Concernant les fuites éventuelles à travers les géomembranes, le BRGM recommande de mettre en place un système drainant sous la géomembrane et la digue à résidus qui permettra de surveiller les fuites éventuelles et récupérer les eaux pour les traiter (Illustration 18). CMO a présenté le 22 mai un schéma avec un dispositif de drainage positionné au-dessus de la géomembrane qui ne répond pas au risque de fuite à travers la géomembrane et la digue. Rappelons qu'une géomembrane ne présente qu'une épaisseur de quelques millimètres et est donc très sensible aux poinçonnements. Elle accompagne mais ne remplace pas une étanchéité assurée par des matériaux naturels de type argileux compactés présentant une épaisseur et une perméabilité engendrant un débit de fuite compatible avec le milieu récepteur.

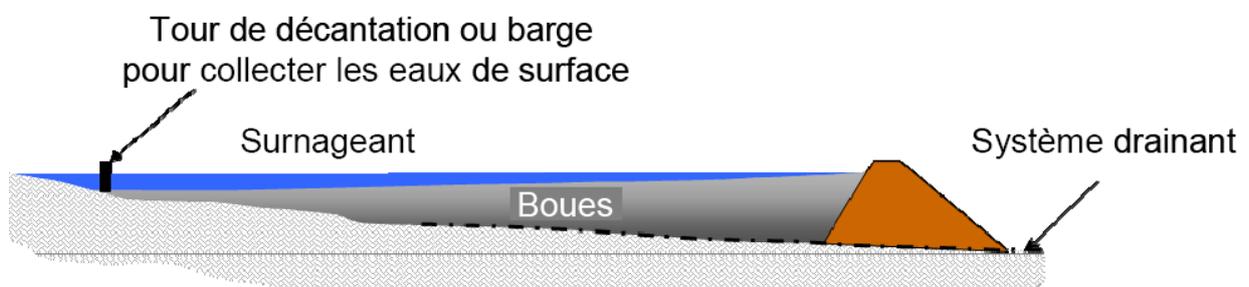


Illustration 18 : Exemple de digue à résidus avec système drainant (CMO)

Le recouvrement final du parc à résidus présenté lors de la session du 22/05/2018 fait partie des bonnes pratiques pour limiter les infiltrations et l'apport d'oxygène (Illustration 19).

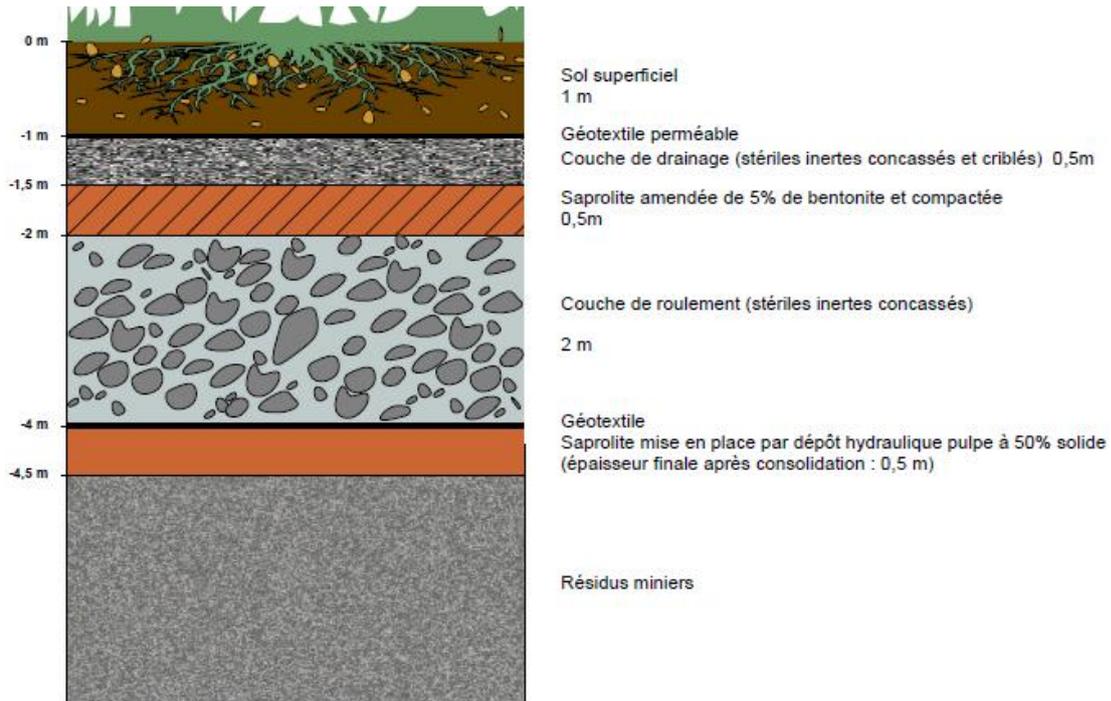


Illustration 19 : recouvrement final du parc à résidus (CMO)

6.4. LES VERSES A STERILES

Les stériles miniers, qui, comme nous l’avons vu, seront riches en roches acidogènes et en métaux lourds, seront disposés dans des alvéoles imperméables de 100 m x 100 m, selon une disposition décrite dans le dossier du maître d’ouvrage et synthétisée par l’Illustration 20.

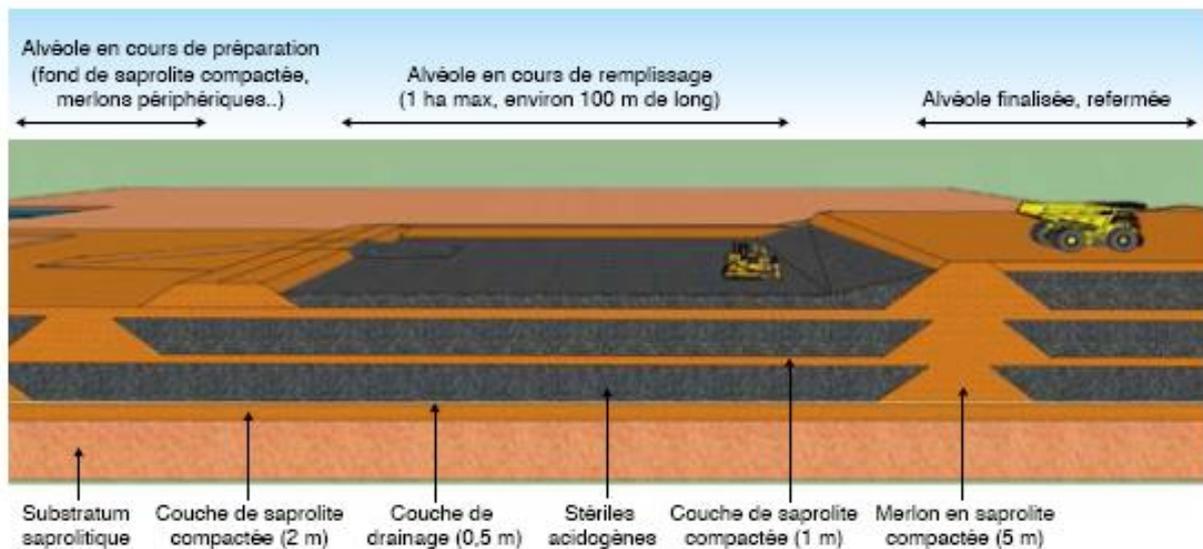


Illustration 20 : Stockage et confinement des stériles (CMO)

Dans la Crique Infirmes où seront positionnés les verses à stériles le sol a été remanié par des pratiques d’orpillage antérieures. Il nécessitera un terrassement. L’altitude est par définition plus

basse à proximité de la Crique que les environs. Les écoulements souterrains s'y concentrent. Le décapage nécessaire au terrassement du site avant la mise en place de la première couche de saprolite va réduire encore plus la zone non saturée. Il faudra éviter que la couche de saprolite soit atteinte par le niveau de la nappe. En effet, noyer la base du stockage pourrait faciliter la percolation des eaux à travers la base du stockage.

Comme le signale également Pol Urien (rapport BRGM/RC-67967-FR), il est nécessaire de :

- connaître la perméabilité des saprolites compactés sur 2 m d'épaisseur afin d'en déduire le débit de fuite et d'évaluer ainsi l'impact sur le substratum.
- décrire le dispositif de traitement de collecte et des eaux issus du stockage des stériles acidogènes et les matériaux du drain.
- estimer la durée de fonctionnement qui va dépendre de l'évolution dans le temps de la qualité des eaux qui sera elle fonction de la lixiviation des stériles acidogènes et du tamponnage éventuel des saprolites (dont il est donc nécessaire de connaître des propriétés en terme de potentiel de neutralisation d'acidité).
- décrire la couverture finale, dont l'objectif est de réduire au maximum l'infiltration en eau tout en protégeant contre l'érosion (qui va être très agressive vu la pluviométrie).

6.5. LES AUTRES STOCKAGES

Il s'agit des :

- Stockage de minerai basse teneur (15 ha) ;
- Stockage des terres végétales (9 et 12 ha) ;
- Bassin des eaux de contact ;
- Bassin de polishing.

Avant l'atelier du 22 mai, la position du stockage de minerai basse teneur et du stockage des terres végétales n'étaient pas précisées. Une image de la présentation CMO à l'atelier les identifie (Illustration 21).

Le stockage de minerai basse teneur permet de mettre de côté du minerai en attendant un cours meilleur. Un tel stockage est limité à 6 mois par la directive européenne. Dans le contexte géochimique et climatique du site, ce stockage situé en amont de la crique Violette est **une source de DMA**.

Le schéma de gestion des eaux (Illustration 15) indique une récupération des eaux de ruissellement (et drainage ?) vers le bassin des eaux de contact. Toutefois, les informations concernant l'étanchéification de ce stockage, ainsi que celui des autres stockages et bassins n'étaient pas indiqués dans les documents présentés à la date du 22 mai 2018.

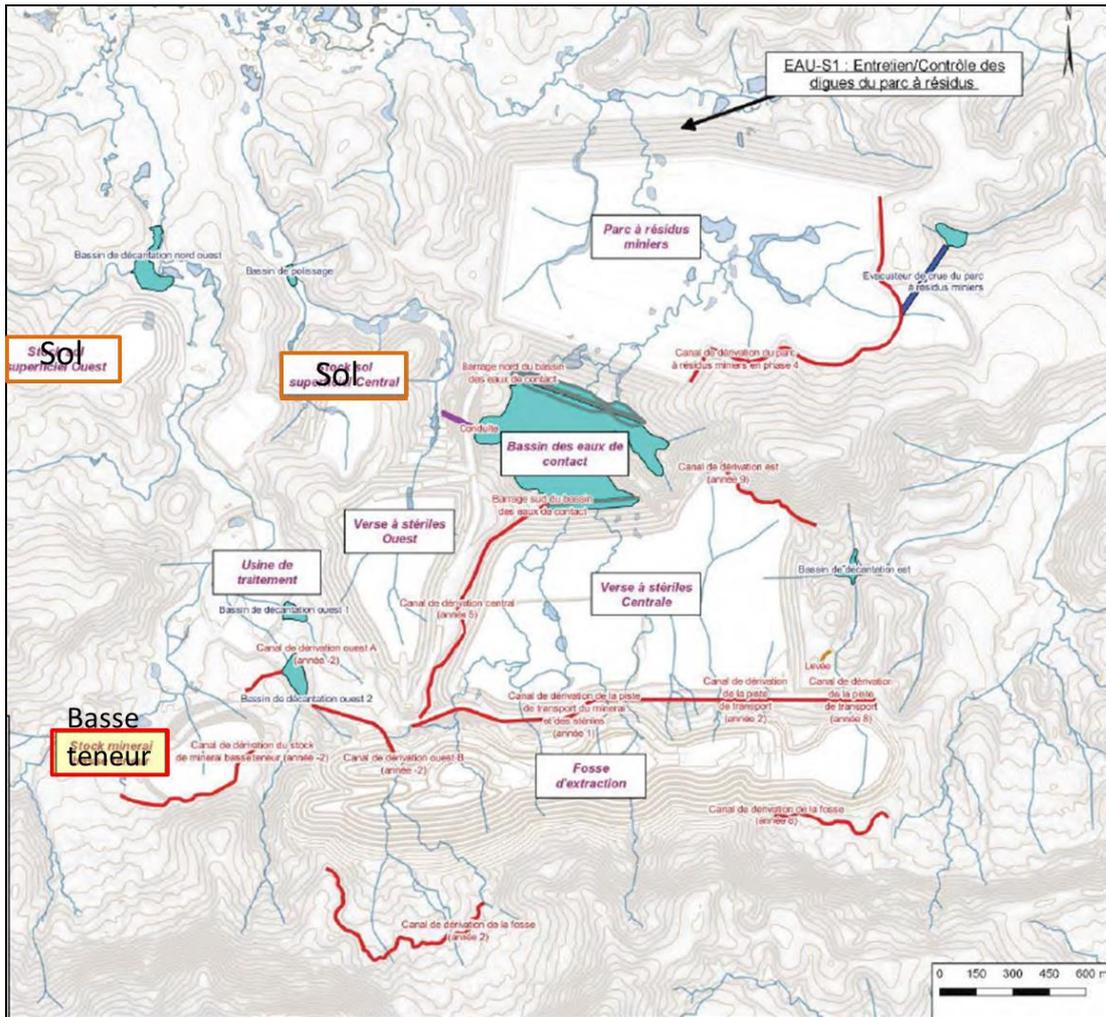


Illustration 21 : Positions des stockages de sol et du minerai basse teneur (CMO)

6.6. LA BASE VIE

La base vie sera alimentée en eau par 3 forages qui devront être suffisamment éloignés à la fois les uns des autres et des sources de contamination. Ces ouvrages devront respecter la norme forage (NFX10-999). Les besoins en eau ont été présentés au § 4.3.3

L'assainissement de la base vie sera un assainissement autonome dont le système et la dimension ne sont pas précisés. L'assainissement autonome étant une source potentielle de pollution des nappes et cours d'eau, sa conception devra être détaillée afin d'en apprécier son impact sur l'environnement.

6.7. AUTRES SOURCES DE CONTAMINATION POTENTIELLES

Sont rappelés ici les autres sources de contamination qui peuvent atteindre les nappes ou les eaux de surface :

- Transport et stockage des produits dangereux (Cyanure de sodium, explosifs, carburants) ;
- Stockages des déchets liquides ou solubles ;

- Huile de vidange... ;
- Accidents dans la fosse et sur le site ; gestion des sols contaminés en cas d'accident ;
- Remobilisation du mercure des sédiments des criques orpaillées lors des réaménagements des terrains (crique Infirmes) ;
- Modification des régimes d'écoulements des ruisseaux (remobilisation des sédiments).

Ces sources de contamination dont la plupart seraient accidentelles seront considérées dans l'étude de danger, non présentée à ce jour.

6.8. IMPACT SUR LES EAUX DE SURFACE

Les impacts sur les eaux de surface sont de deux types :

- Ouvrages de traversée de crique dans le cadre des travaux de création de la route d'accès depuis la croisée d'Apatou ;
- Dérivations de criques lors de la création de parcs à résidus, lors de la création de l'usine de traitement...

Le dimensionnement de ces ouvrages se heurte à de nombreuses incertitudes: il n'y a pas assez de mesures sur les criques traversées permettant l'analyse statistique des débits de crue.

Les données climatologiques disponibles sur le site minier sont très courtes (2 ans). Pour obtenir les « pluies de projet » nécessaires au dimensionnement des fossés, bassins, et autres infrastructures ou aménagements, les pluies journalières sont extrapolées notamment à partir de données satellitaires journalières et des pluies de Cayenne. Il est d'usage de justifier les reconstitutions de données manquantes par des corrélations et des analyses de sensibilité. La reconstitution des données manquantes avec aussi peu de données locales est problématique et les incertitudes devront être prises en compte dans les choix de dimensionnement.

Le pas de temps horaire pourrait s'avérer plus judicieux, en particulier au niveau du site, localisé en tête de bassin versant où les temps de concentration lors des averses intenses sont probablement inférieurs à la journée.

7. Conclusions

Les documents fournis par CMO dans le cadre du débat public se sont considérablement enrichis entre le début du débat et l'atelier « Environnement » du 22 mai 2018. Les fiches thématiques ont précisé la méthodologie et les premiers résultats des études environnementales. La réunion du 22 mai, bien que perturbée par des interventions virulentes des opposants au projet, a présenté un certain nombre de réponses à des interrogations soulevées à la fois par le public et par l'expertise BBRM. En dépit de cet apport documentaire progressif tout au long du débat, le fait que ni l'étude d'impact, ni l'étude de dangers, ne soient disponibles, laisse encore une large part d'incertitude sur les aménagements envisagés par CMO dans le cadre du projet minier Montagne d'Or.

L'expertise réalisée focalise sur les eaux souterraines. Elles sont présentes sur le site dans la roche fissurée, sous une couche d'altération de 10 à 30 m qui joue un rôle d'éponge, tandis que les fissures de la roche jouent le rôle de drain. L'épaisseur de la zone fissurée n'excéderait pas 20 m.

Il ne fait aucun doute que les ressources en eau souterraines sont globalement faibles, mais ces ressources soutiennent en étiage le débit des criques du secteur, et les écosystèmes associés. Elles pourront également être sollicitées pour l'alimentation en eau de la base vie. L'abondance des ressources en eau superficielle en revanche semble assurer l'approvisionnement en eau de procédés, en quantité largement suffisante si l'on en croit le résultat d'un modèle de simulation présentés par CMO.

Les impacts quantitatifs sur les eaux souterraines sont essentiellement liés à l'extraction de l'eau dans la fosse pendant son activité. La modélisation de cette extraction prévoit une extension limitée des impacts quantitatifs liées aux hypothèses de très faible perméabilité du milieu fissuré.

Les impacts qualitatifs majeurs sur les eaux souterraines sont essentiellement liés à la gestion des déchets miniers. Ces déchets appelés stériles sont riches en sulfures et en particulier en pyrite et pyrrhotite fortement acidogène. Le potentiel de lixiviation des métaux lourds contenus dans les stériles est élevé. Les risques de percolation à travers la géomembrane ou la digue du parc à résidus ou la digue ne doivent pas être négligés en raison de la persistance des contaminants qui y seront stockés et du risque de drainage minier acide. Un système de drains sous la membrane et la digue permettrait de contrôler l'absence de fuites et collecter (et contrôler) les eaux éventuelles qui y apparaîtraient.

Le stockage des stériles dans des alvéoles de saprolite compactée nécessitera un soin particulier lors de la mise en place des premières couches des verses à stériles. Le risque de remontée de nappe doit être envisagé.

Afin de prévenir et surveiller les impacts il faut mettre en œuvre des actions qui relèvent des bonnes pratiques de la mine responsable et qui sont encore peu décrites par CMO :

- Etablir le bilan hydrique au niveau de chaque infrastructure (fosse, stockage minier faible teneur, verses à stériles, parc à résidus, bassin des eaux de contact ainsi que chaque bassin de décantation ou polissage), avec des points de contrôle sur les différents réseaux

des flux d'eau et de boue. Prendre en compte l'incertitude sur les termes sources, en particulier les pluies qui ne sont connues sur le site que partiellement sur deux années.

- Etablir le fond géochimique des eaux de surface et des eaux souterraines qui constitue l'image de l'état initial (ou niveau de base) non seulement au niveau du site mais également dans toute la zone susceptible d'être impactée par les travaux ou scénarios d'accident.
- Réaliser des calculs d'incertitudes et des analyses de sensibilité des modèles de calcul des flux souterrains et de surface, tant au niveau des hypothèses climatiques que l'absence de données oblige à considérer, que des propriétés des roches qui conditionnent les écoulements souterrains.
- Densifier le réseau de monitoring afin de proposer un ensemble de points représentatifs des zones amont et aval (proche, moyen et éloigné), impactées et non impactées, fournissant les données de calibration dont les modèles ont besoin et permettant de contrôler sur des emplacements judicieux l'absence de contamination durant les travaux et au-delà. Il est probable qu'il soit nécessaire de distinguer plusieurs réseaux en fonction de leurs objectifs (modélisation, suivi quantitatif, suivi qualitatif...).

L'expertise réalisée dans un temps limité par les contraintes du débat public et à partir de documents incomplets ne se prétend pas exhaustive. Elle s'est attachée à développer, dans un souci de vulgarisation, tout en conservant une position neutre, les principaux enjeux environnementaux sous l'angle de vue d'un hydrogéologue. Considérant l'importance de ces enjeux, il semble évident que certains aspects nécessiteront des expertises plus poussées sur la base de documents techniquement plus élaborés, si le projet se confirme dans le futur.

8. Bibliographie

Collectif, 2017. Bonnes pratiques de l'activité minière. Collection « La mine en France ». Tome 12.

European Commission (2009): Reference Document on Best Available Techniques for Management of Tailings and Waste-Rock in Mining Activities. (http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/mmr_adopted_0109.pdf)

Itard Y., Bosc R., 2001. Traitements et prévention des drainages acides provenant des résidus miniers. Revue Bibliographique. Rapport BRGM/RP-50829

Kefeni K.K., Msagati T.A.M., Mamba B.B., 2017. Acid mine drainage: Prevention, treatment options, and resource recovery: A review. Journal of Cleaner Production 151 (2017) p. 475-493

Urien P., 2018. – Expertise Mine et Cyanure en débat public sur le Projet « Montagne d'or » en Guyane. Rapport final. BRGM/RC-67967-FR



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009

45060 – Orléans Cedex 2 – France

Tél. : 02 38 64 34 34 - www.brgm.fr

Direction régionale “Guyane”

Domaine de Suzini – Route de Montabo
BP 10552

97333 – Cayenne Cedex 2 – France

Tél. : 05 94 30 06 24