



**LES IMPACTS  
ENVIRONNEMENTAUX  
DE L'ACTIVITÉ MINIÈRE**

**PROJET MONTAGNE D'OR**

**THEME  
EAUX SOUTERRAINES**



# ETAT INITIAL SUR LE MILIEU PHYSIQUE

---

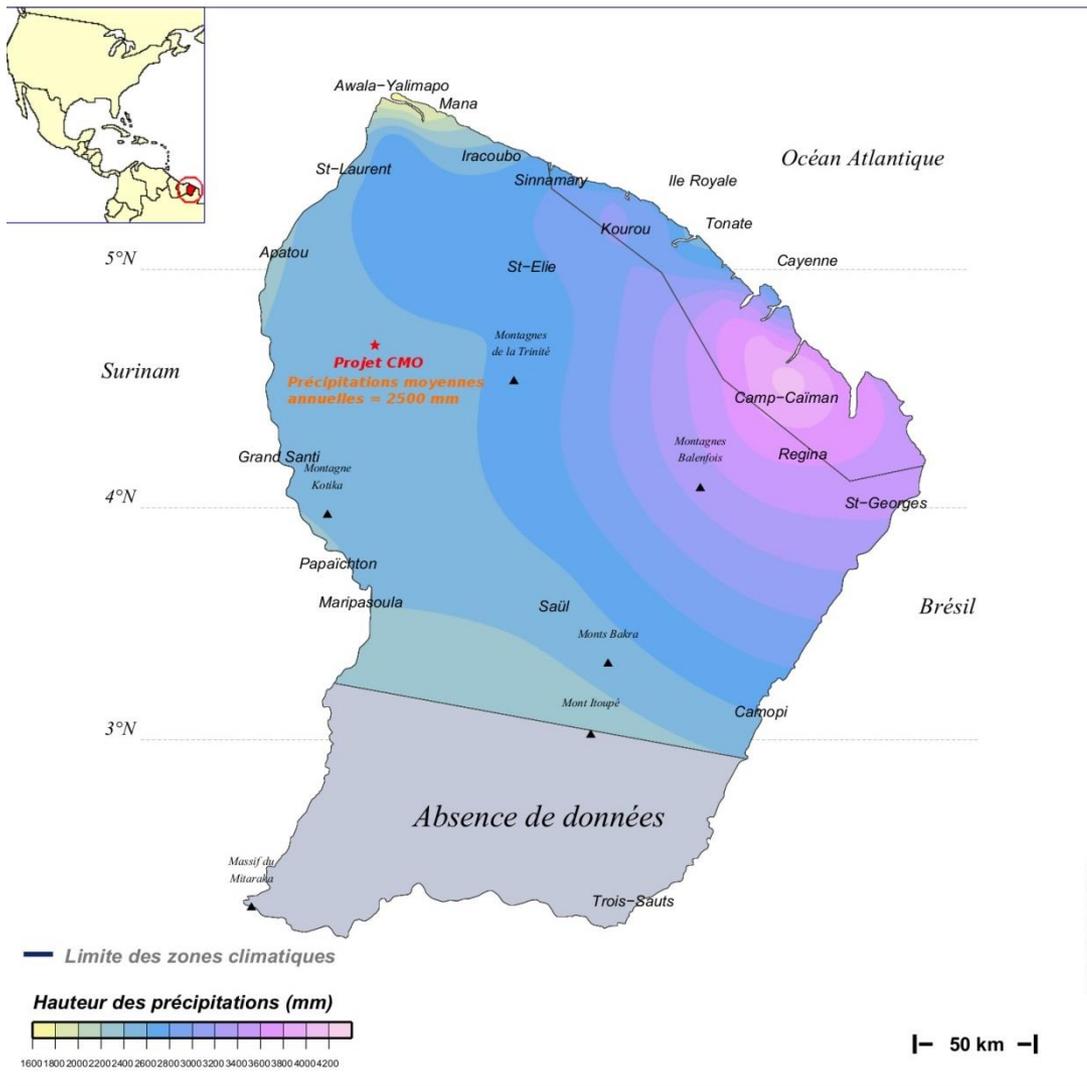
# L'eau et la mine

**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.**

## Documents consultés

- Dossier du Maitre d'ouvrage
- Etat initial sur le milieu physique Sections 1.1.4 à 1.1.6
- Etude de cadrage environnemental (WSP, Mai 2015)
- Réponses aux questions sur « [participons.debat.public.fr](http://participons.debat.public.fr) »
- SRK (2017) NI 43-101 Technical Report, Bankable Feasibility Study.

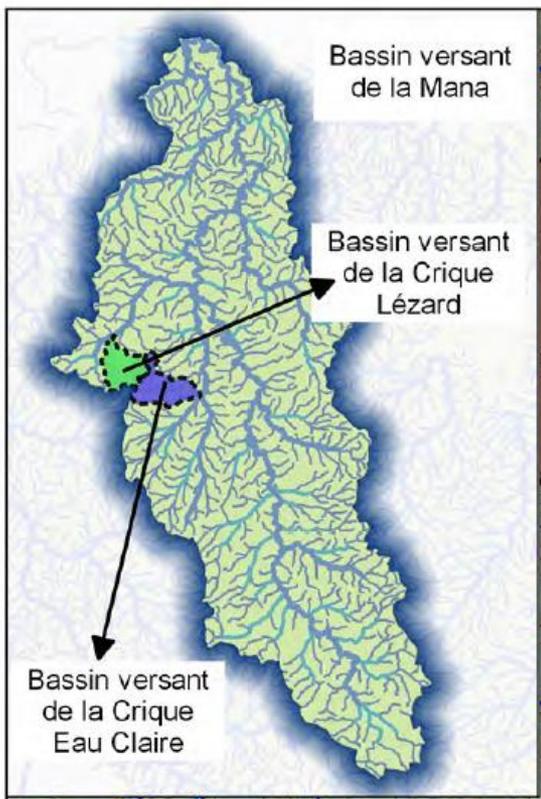
# Contexte climatique



Le climat actuel est de type équatorial avec une pluviométrie importante (2500 mm) et des épisodes de pluie intenses. L'évapotranspiration moyenne annuelle est de 1500 mm

Source: MeteoFrance (moyennes 1981-2010)

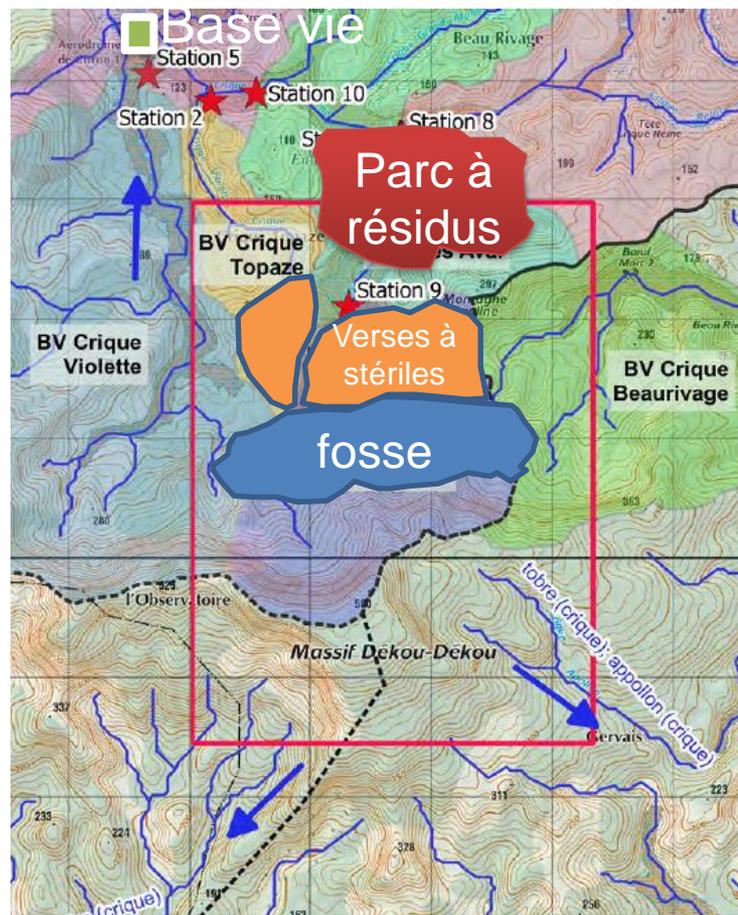
# Contexte hydrologique



Site à cheval sur une ligne de partage des eaux entre les BV Petit Léopard et Eau Claire, appartenant au bassin de la Mana.

Versant nord du Dekou Dekou  
Pentes fortes (40% à mi hauteur du relief) pouvant induire de forts ruissellements et des transports solides.

L'essentiel des structures modifie profondément le bassin de la Crique infirmes -> nouveau réseau hydrographique et nouvelles relations avec les eaux souterraines.



# Contexte géologique (1)

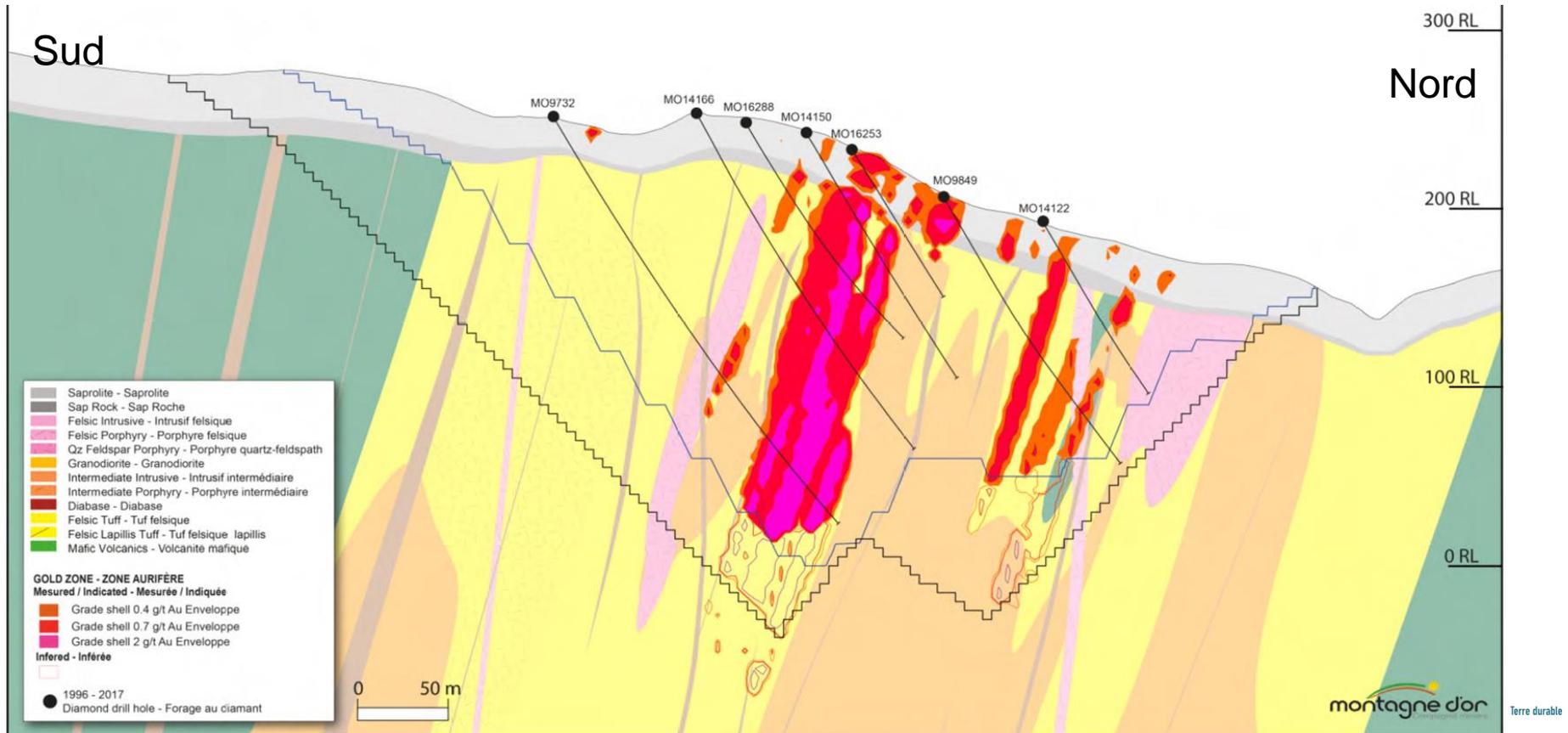
Roches de « socle »,

- Roches dures, plutoniques et volcaniques métamorphisées
- Roches altérées en surface (**saprolite** – la roche mère est encore reconnaissable – et altérites= argiles et cuirasse)
- Passage rapide de la saprolite à la roche saine

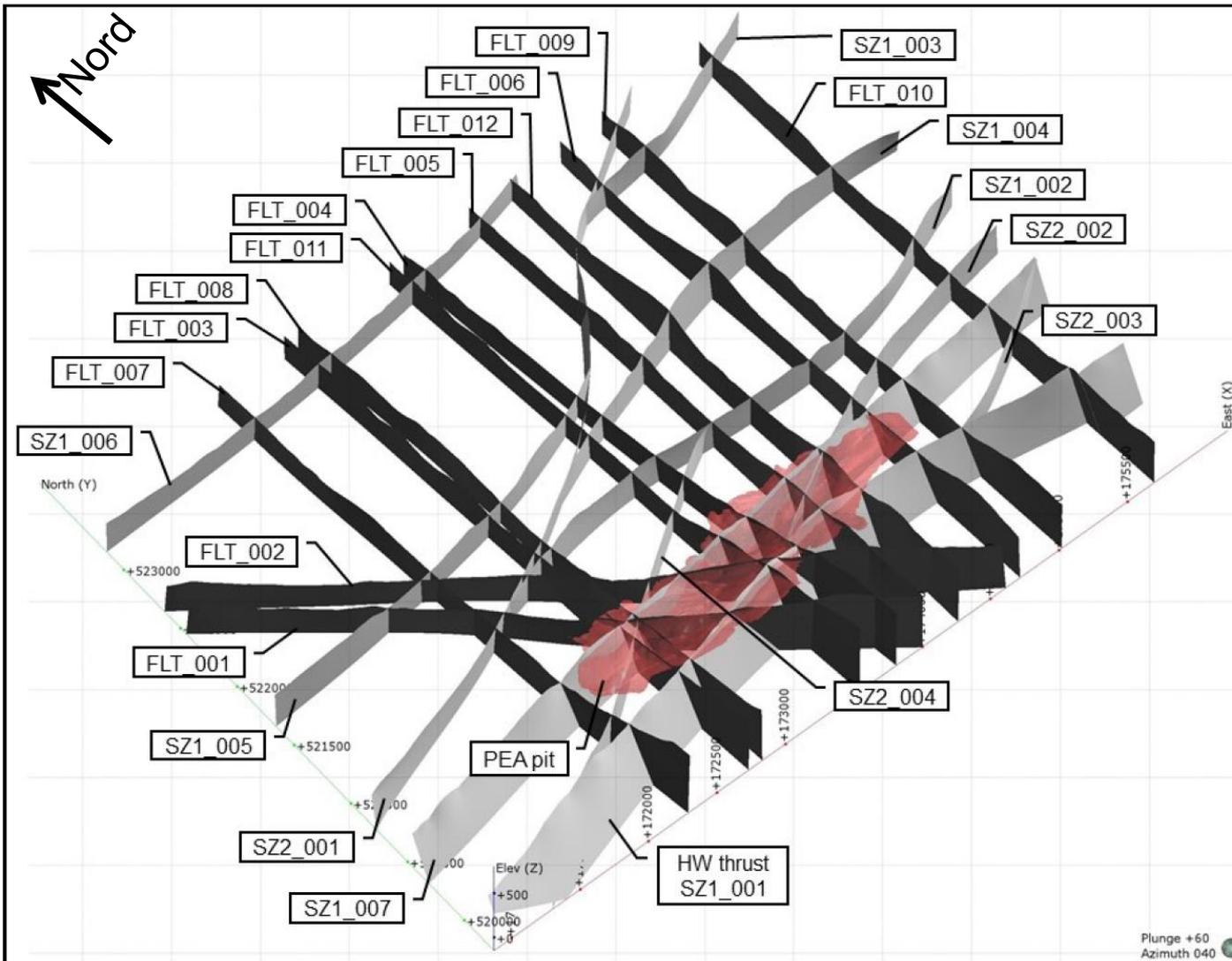


# Contexte géologique (2)

- Gisement de type amas sulfuré volcanogénique. L'or a été remobilisé le long de zones de cisaillement profondes EW. Secteur particulièrement fracturé.
- Couches très redressées (72 à 84 ° S)
- Epaisseur de saprolite faible (env. 20 m).



# Contexte tectonique



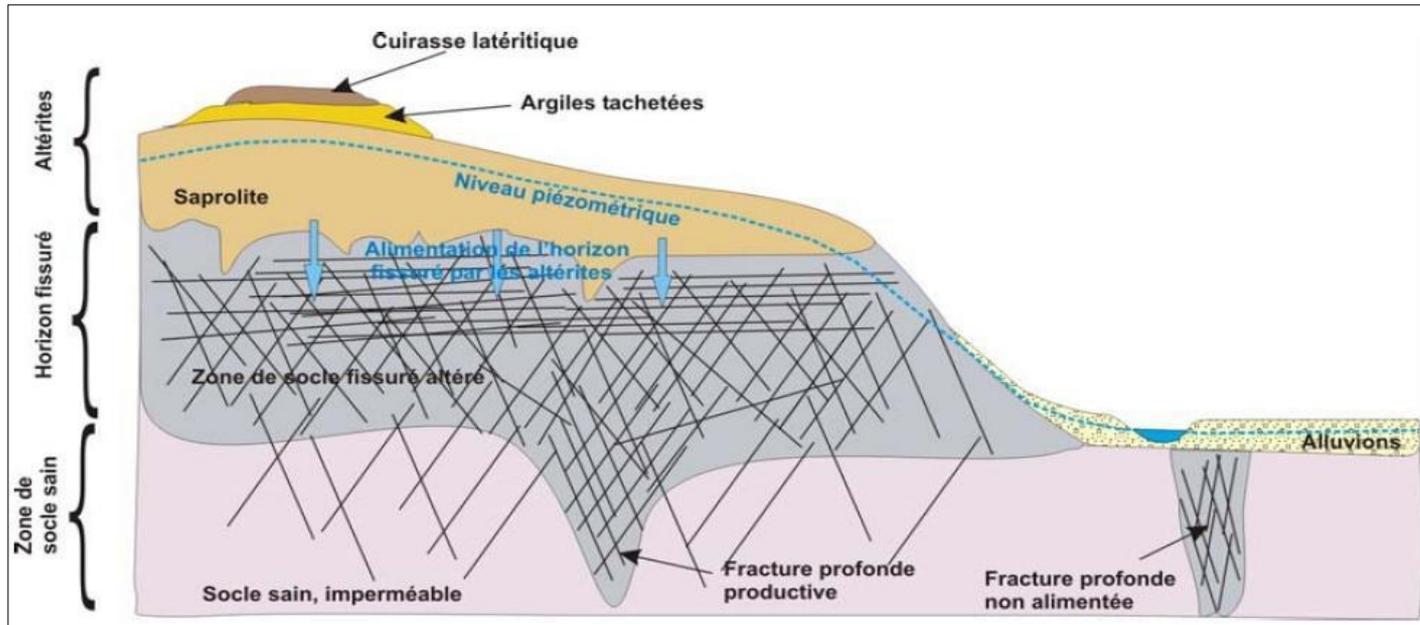
Failles principales  
sont NS et NW-  
SE  
Cisaillements EW

La tectonique  
marque les  
directions du  
réseau  
hydrographique

## Modèle structural

- Source: NI 43-101 Technical Report, Bankable Feasibility Study

# Contexte hydrogéologique

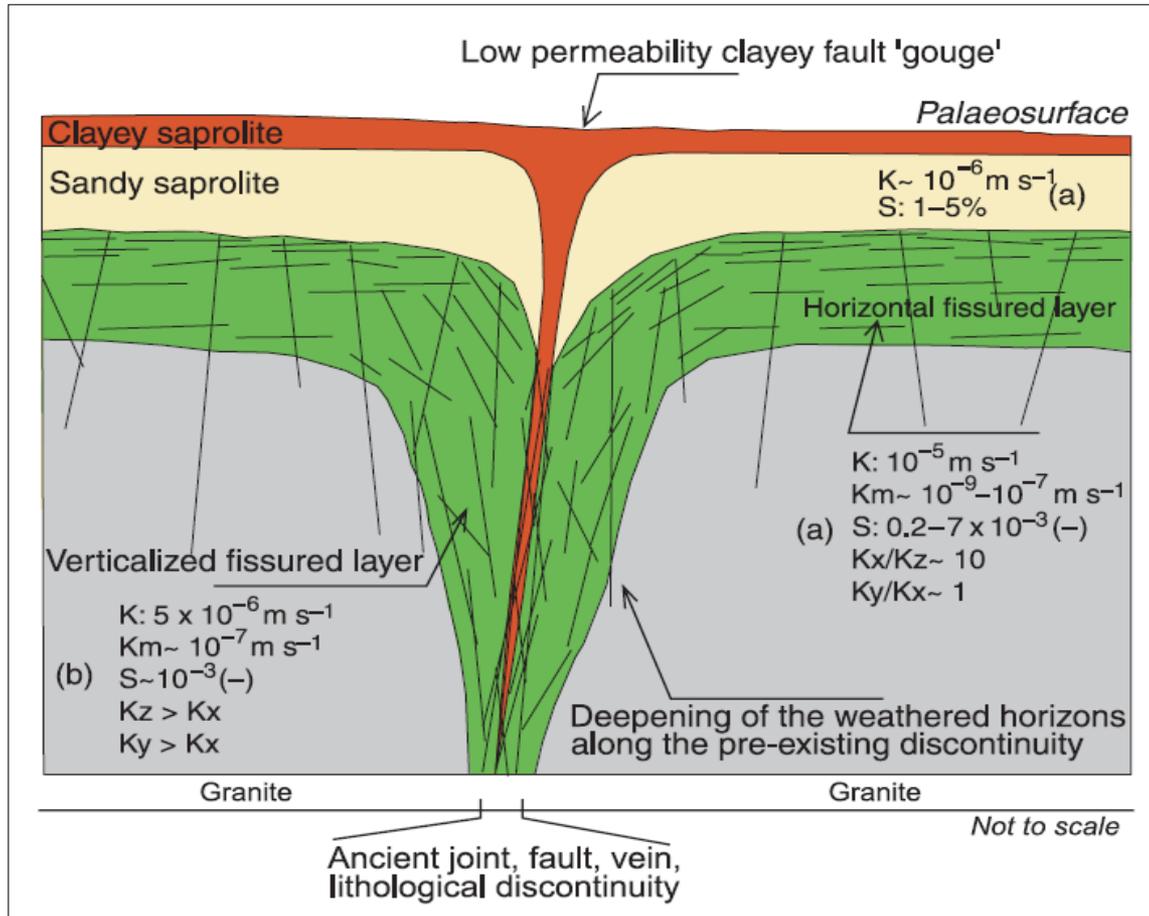


Source: Weng 2006, d'après Wyns et al., 2004

Modèle conceptuel des écoulements en zone de socle:

- Les altérites, peu perméables, diffèrent et limitent l'infiltration
- L'eau circule dans la roche grâce aux fissures, majoritairement présentes à proximité de la zone altérée (horizon fissuré) excepté lors de la présence de failles plus profondes.
- La roche saine est imperméable
- Contact possible avec des aquifères superficiels (alluvions, alluvions remaniées, colluvions)

# Contexte hydrogéologique



- Les failles tectoniques jouent le rôle de drains profonds.
- Ce sont des cibles pour la recherche d'eau.
- Néanmoins les débits des forages en aquifères de socle sont faibles : <1 à 5 m<sup>3</sup>/h en moyenne
- Les alluvions des criques = ressource médiocre et vulnérable

# Besoins en eau du site de Montagne d'Or

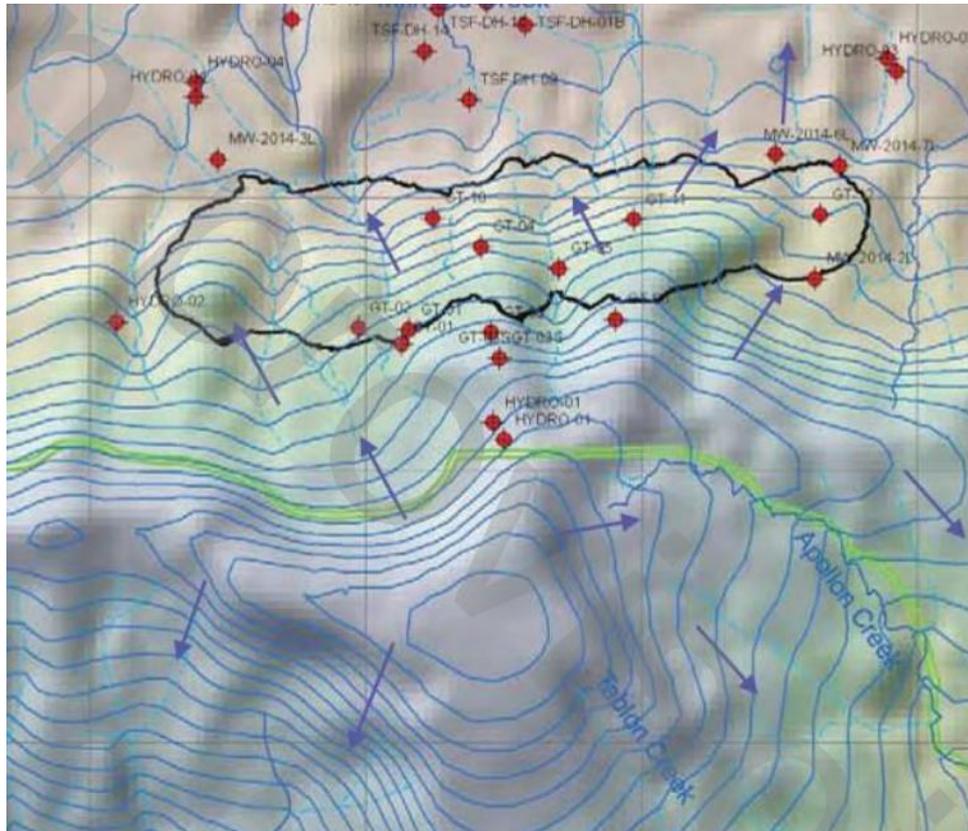
## **CMO estime les besoins:**

- En eau brute industrielle à 460 m<sup>3</sup>/h
- En eau potable à 240 m<sup>3</sup>/j (800 pers \* 300 l/j/pers), soit 10 m<sup>3</sup>/h

## **(Réponse à la question 44 du débat public)**

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 m<sup>3</sup>/j). A cause de sa qualité (Fer et manganèse en excès), il n'est pas utilisé pour l'eau potable

# Etat initial des eaux souterraines



Carte piézométrique  
(source fiche 1.1.5) p.93

La carte piézométrique représente l'altitude de la surface de la nappe (manque les valeurs)  
C'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.

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

# Aspects qualitatifs : Contexte géochimique

Le type de gisement auquel se rattache « Montagne d'or » est un type de gisement **potentiellement très problématique**.



Exemple de carrière riche en sulfures

- Plus de la moitié des roches sont des sulfures (pyrite, pyrrhotite et chalcopyrite)
- Pas de roche carbonatée à proximité (permettant de tamponner le pH)
- **Potentiel de lixiviation des métaux et métalloïdes en provenance des stériles, notamment en cuivre , zinc, plomb.**

# Le drainage minier acide (DMA) : principe

Au contact de l'eau et de l'air, un processus chimique s'enclenche, générant des acides et des métaux

Minéral sulfuré (pyrite) + O<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O = sulfate + acidité + métaux



Le contexte climatique de la Guyane favorise et démultiplie les risques de génération de solutions acides. 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.

# Etat initial des eaux de surface

8 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)

Les eaux sont de pH neutre, légèrement minéralisées, Elles sont classées en « bon état » à « très bon état » sur le versant du Dekou Dekou 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 (il manque en particulier les métaux lourds, dont le mercure).
- La caractérisation du fond géochimique doit concerner les cours d'eau sur l'ensemble du bassin versant aval pour l'eau et les sédiments.

# Etat initial des eaux souterraines

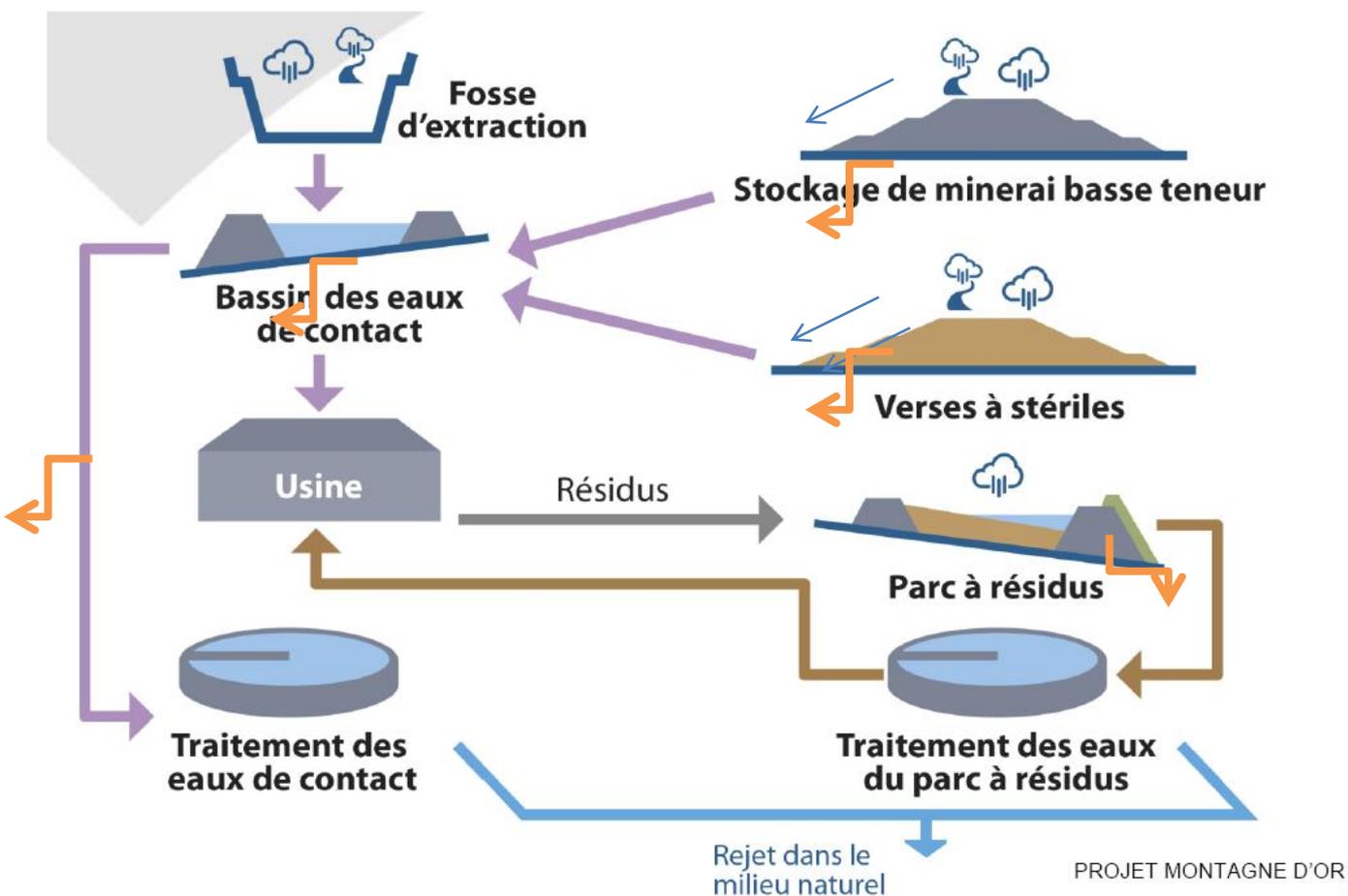
- 3 campagnes en 2014. 26 points de mesures de différentes profondeurs.
- Les eaux sont faiblement minéralisées (= court séjour dans le milieu souterrain)
- pH légèrement acide (5.5 à 6.2) dans les piézomètres.
- Riche en aluminium, fer, manganèse, nickel, plomb et zinc. Ces concentrations augmentent avec la profondeur. Elles traduisent la présence de l'amas sulfuré.

La caractérisation du fond géochimique des eaux souterraines est indispensable pour caractériser la nappe avant les travaux.

Elle ne doit pas se limiter à l'emprise de la fosse.

- Pas d'arsenic ni de mercure observé.
- Des hydrocarbures dans l'un des sondages

# Gestion des eaux dans la mine : points de vigilance



Risques de fuites acides au niveau des stockages, des bassins, des conduites. Nécessité de réaliser un bilan hydrique.

# Le bilan hydrique comme outil de gestion

Il consiste à évaluer tous les flux et volumes d'eau sur le site

- 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.
- Associé à un suivi des niveaux d'eau dans le parc à résidus miniers, le bilan hydrique fournit des signes de fuites incontrôlées.



# LES IMPACTS SUR LES EAUX SOUTERRAINES ET LES EAUX DE SURFACE

# La fosse minière



- = 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
- = Zone qui recueille également les eaux de ruissellements et les précipitations directes: flux variables dans le temps

# Risques durant l'exploitation

- Créations de petits lacs avec génération de DMA
- Ruissellement important. Erosion des versants, transport solide
- Glissements de terrains sur les flancs des versants à forte pente. Mises en pression hydraulique possible des saprolites.
- Impact sur les criques et nappes superficielles en aval et en amont du site (assèchement possible)
- Influence sur des sources éloignées ?

# Précautions

- Limiter les apports en eau de surface dans la fosse par des tranchées drainantes,
- Entretien régulier de ces tranchées (orages -> flux solides qui les obstruent)
- Rabattement de nappe par des forages en complément du pompage en fosse (permet également d'avoir de l'eau moins turbide pour l'usine)
- Inventaire et caractérisation géochimique des sources
- Etude hydrogéologique avec modélisation des flux souterrains et de surface
- Etude géotechnique (stabilité des flancs)

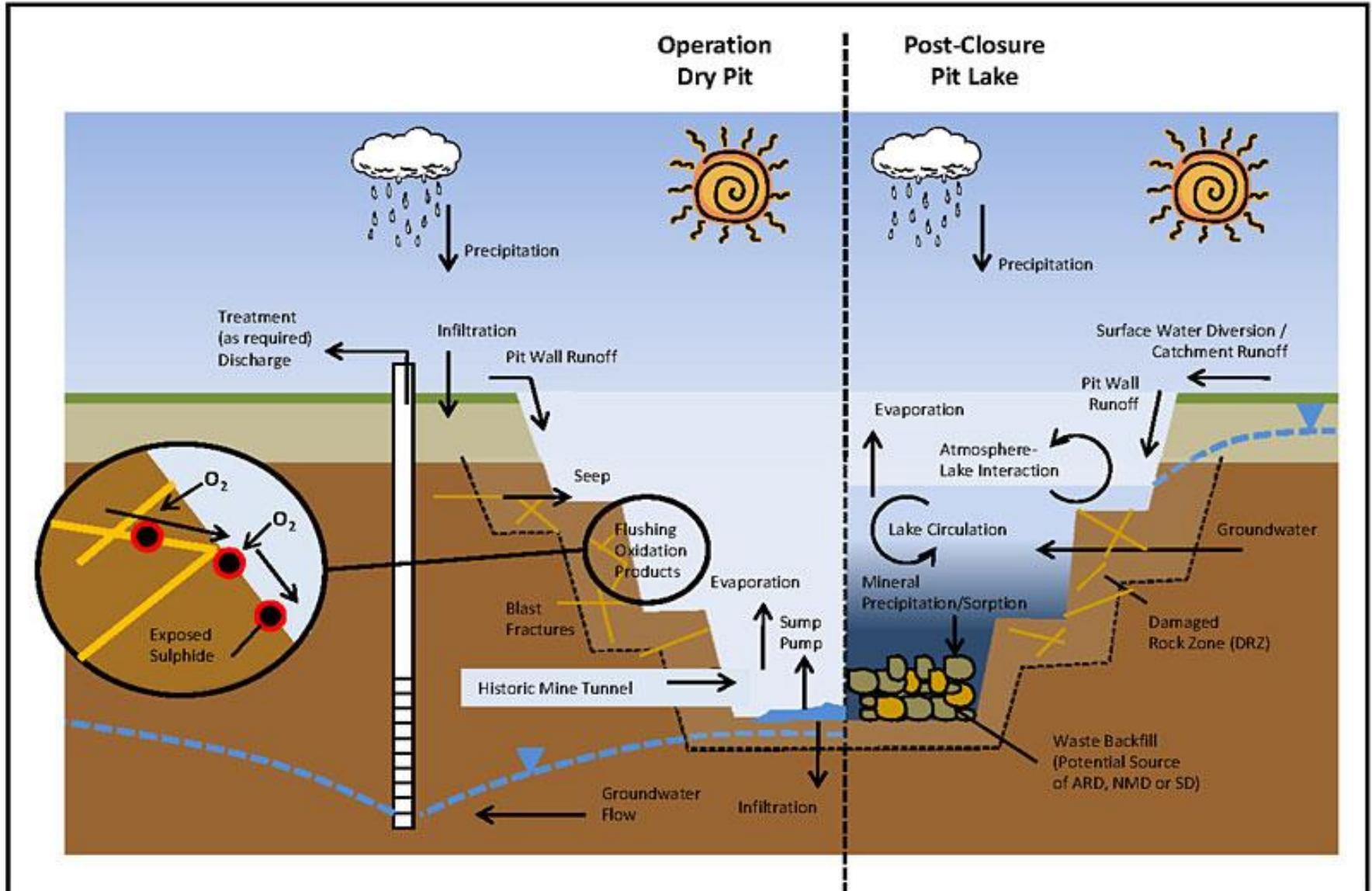
# Risques après l'exploitation

- Remplissage de la fosse = contact des roches sulfurées avec l'eau et l'oxygène, remplissage lent, ruissellement sur les flancs de la fosse -> risque de création d'un lac acide
- Le lac sera en contact avec les eaux souterraines (qui alimentent les criques en étiage) et les eaux de surface (par surverse).

# Précautions

- Pompages et rabattement de nappe (?) pour ne pas laisser s'installer des flaques acides
- Modélisations, scénarios de remplissage
- Traitement avant rejet dans le milieu naturel
- Suivi de la qualité des eaux de la fosse
- Solution alternative ?.

# Synthèse du fonctionnement d'une fosse minière



Source: [www.gardguide.com](http://www.gardguide.com)

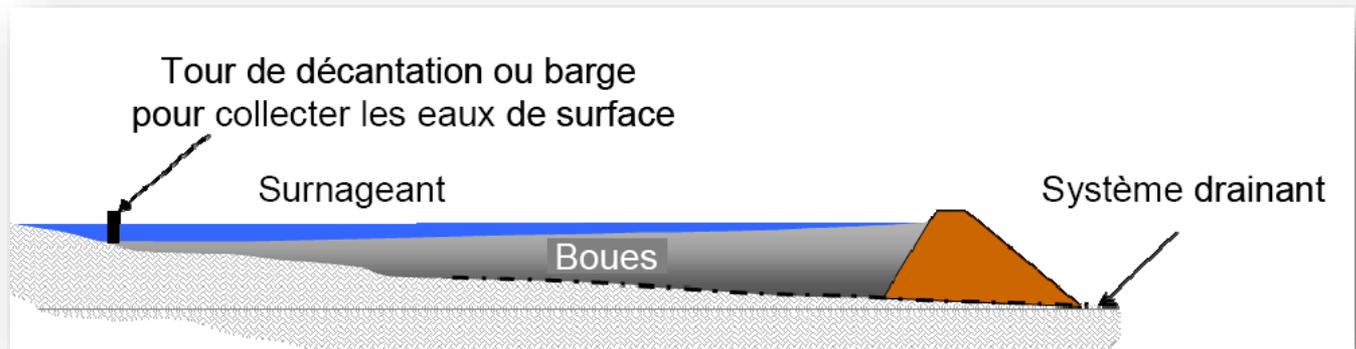
# Le parc à résidu



LE PARC À RÉSIDUS

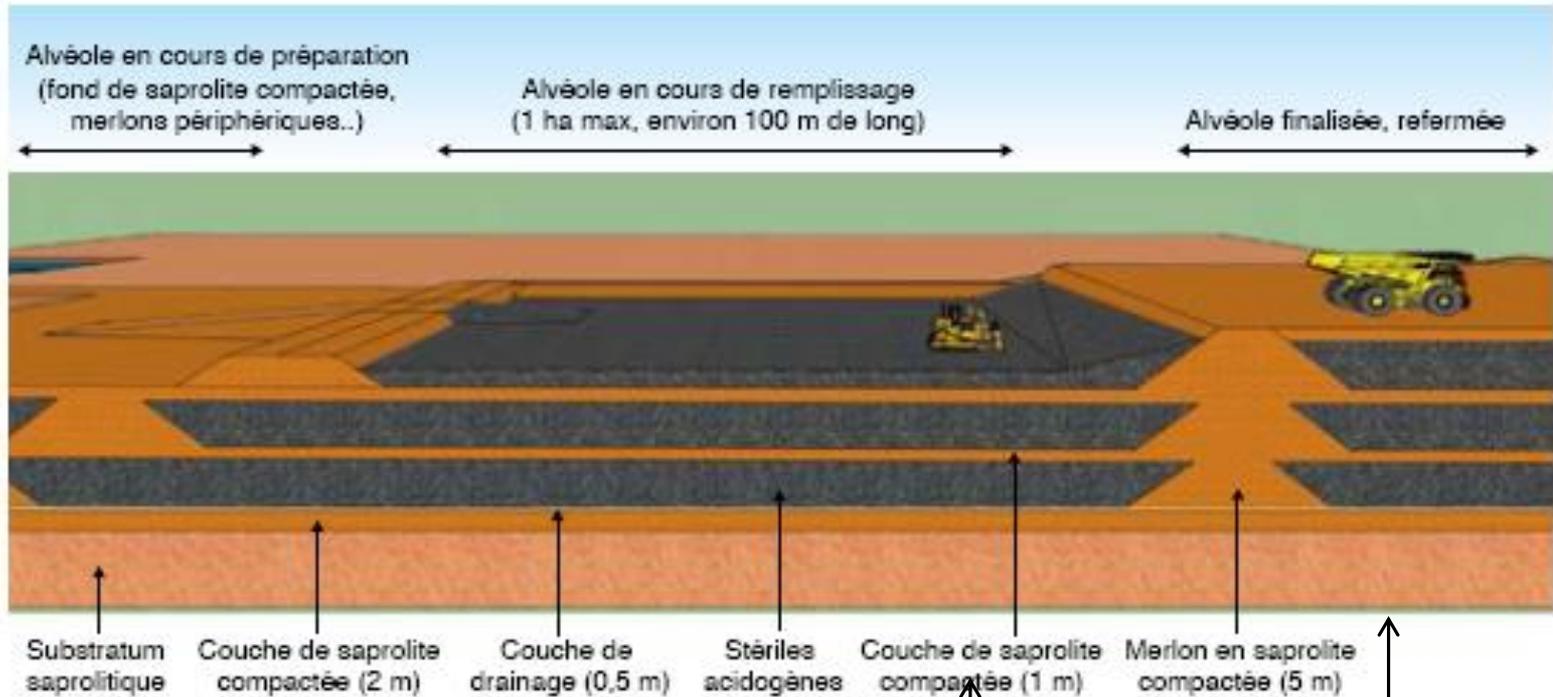
(sujets traités lors de précédents ateliers)

- Risques de rupture de digue
- Fuite à travers la géomembrane (défaut de positionnement, poinçonnement)
- un système drainant sous la géomembrane et la digue à résidu permettrait de surveiller les fuites.



La qualité de l'étanchéité et du drainage des eaux de la verse à résidus devra être contrôlée et suivie en cours d'exploitation et tout au long de la durée réglementaire des procédures de l'après mine.

# Les verses à stériles



Remanié par les pratiques d'orpaillage antérieures

Quelle perméabilité ?

Quel matériau et dispositif de collecte ?

Quel potentiel de neutralisation d'acidité

Quel sera l'altitude de la nappe après arrêt des travaux ? (concentration des eaux souterraines vers l'ancienne Crique)

# Autres stockages

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

Le stockage de minerai basse teneur permet de mettre de coté du minerai en attendant un cours meilleur. Un tel stockage est limité à 6 mois par la directive européenne.  
**C'est une source de DMA.**

Pas d'information sur la gestion des eaux de ruissellement ou d'infiltration de ces stockages ni l'étanchéité des bassins dans les documents consultés.



# La Base Vie

Alimentée en eau par 3 forages qui devront être suffisamment éloignés:

- - les uns des autres
- - des sources de contamination
- Respect de la norme forage (NFX10-999)

Assainissement autonome = Source potentielle de pollution des nappes et cours d'eau.

(pas d'information dans la documentation consultée)

# Autres sources de contamination potentielles

Transport et stockage des produits dangereux

Cyanure de sodium, explosifs, carburants

Stockages des déchets liquides ou solubles

Huile de vidange...-> Gestion des sols contaminés (excavation, traitement)

Pollutions et accidents

Gestion des accidents dans la fosse

-> (Etude de dangers, plan particulier d'intervention)

Remobilisation du mercure des sédiments des criques orpaillées

Lors des réaménagements des terrains (crique Infirmes)

Modification des régimes d'écoulements des ruisseau (remobilisation des sédiments)

# Impacts des aménagements sur les eaux de surface

- 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, usine de traitement, contournement de fosse: risque de modifier l'équilibre « nappe-rivière ».
- 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) et extrapolées notamment à partir de données satellitaires journalières.

Les reconstitutions de données manquantes devront être justifiées par des corrélations et des analyses de sensibilité, avec des données au pas horaires.

# CONCLUSION : PREVENIR ET LIMITER LES IMPACTS



- Les impacts quantitatifs sur les eaux souterraines sont liés à l'extraction de l'eau dans la fosse pendant son activité.
- Les impacts qualitatifs majeurs sont essentiellement liés au risque de drainage minier acide qui peut apparaître surtout au niveau:
  - Le stockage des stériles sur 2 m de saprolite compactée (risque d'hétérogénéité et de percolation) et des minerais basse teneur
  - la réhabilitation en lac

Afin de prévenir et surveiller les impacts potentiels il faut notamment mettre en œuvre:

- Calcul du bilan hydrique
- Campagne de mesure du fond géochimique naturel (eaux souterraines et de surface)
- Analyse de sensibilité des modèles de calcul des flux souterrains et de surface
- Densifier le réseau de monitoring (mesures sur les drainages, aval proche, moyen et éloigné)

## Une bonne planification de fermeture doit commencer au stade de la faisabilité et contenir au moins les 6 critères suivants:

- Clarté sur les délais et les couts
- Précisions sur la topographie finale attendue et les surfaces réhabilitées, en incluant démolition d'usines et stabilisation des terrils et des verses à résidus
- Evaluation des risques pour aider à prioriser les travaux préparatoires
- Analyse cout/bénéfice pour les différentes options proposées dans le plan de fermeture
- Un plan de gestion pour savoir comment la fermeture va être mise en œuvre
- Propositions pour la surveillance après fermeture (qui va surveiller, pendant combien de temps, qui va payer, qui va respecter les obligations environnementales?)

# Merci de votre attention



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

**BRGM GUYANE**

Route de Montabo

Domaine de Suzini

BP 10552

97333 CAYENNE Cedex

Tél.: 05 94 30 06 24

[DR-Guyane@brgm.fr](mailto:DR-Guyane@brgm.fr)



WWW.BRGM.FR