



## AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : [ddoc-memoires-contact@univ-lorraine.fr](mailto:ddoc-memoires-contact@univ-lorraine.fr)

## LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

[http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg\\_droi.php](http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php)

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

## RAPPORT DE STAGE

# Caractérisation physico-chimique des eaux industrielles de l'usine de la laverie : Relation exploitation minière et sources naturelles



Auteur : **Maryse Kanga Mouyendi**

Maître de stage : **Florent Pambo**

Tuteur : **Sylvie Dousset**

**2011-2012**

## Remerciements

Je tiens à remercier dans un premier temps, toute l'équipe pédagogique de l'Université de la lorraine et les intervenants professionnels responsables de la formation Master Sols, Eaux et Environnement pour avoir assuré la partie théorique de celle-ci.

Je remercie Madame **Sylvie DOUSSET** responsable de la formation et tuteur pédagogique pour m'avoir accepté dans cette formation.

Je tiens également à témoigner toute ma reconnaissance aux personnes suivantes :

- Monsieur **Florent PAMBO**, Directeur de la Mine, pour son accueil et la confiance qu'il m'a accordée dès mon arrivée dans l'entreprise. En tant que mon tuteur, je le remercie pour avoir su m'intégrer rapidement au sein de l'entreprise ; pour le temps qu'il m'a consacré tout au long de cette période, les réponses à toutes mes interrogations ; sans oublier sa participation au cheminement de ce rapport.
- Monsieur **Alphonse POUPI-NDUNGU**, Chef de Service Hygiène, Sécurité et Environnement pour ses conseils et sa disponibilité.
- Monsieur **Sabary Omer NDZANGOU**, Ingénieur Environnement pour avoir lu et corrigé mon rapport, pour avoir mis à ma disposition son expérience professionnelle dans le domaine de l'environnement.
- Monsieur **Claude APPASSINGUI**, Technicien Environnement pour la réalisation des mesures in-situ et les prélèvements

Je tiens à remercier tout particulièrement et à témoigner toute ma reconnaissance à l'ensemble du personnel du département exploitation minière pour leur accueil sympathique et leur coopération professionnelle tout au long de ces six mois.

Je tiens à remercier les personnes dont l'aide et l'amabilité ont contribué à rendre mon stage encore plus fructueux :

- Mlle **Flore MOUELE**, Chef de Groupe Laverie.
- Mlle **Olive REMANDA OYABI BIBEDO**, Ingénieur Environnement
- Mr **Jean-Célestin KOUPA**, Chef de département informatique

J'exprime également ma gratitude à l'égard de l'Administrateur Directeur Général de la COMILOG ainsi qu'en l'ensemble du personnel de la laverie pour leur accueil.

Je dédie ce rapport à mon père **Mr Victor Mouyendi** et à ma sœur **Maxine NYANGUI** pour leur soutien moral et financier.

# Caractérisation physico-chimique des eaux industrielles de l'usine de la laverie : Relation exploitation minière et sources naturelles

## Résumé

Pendant de nombreuses années, la Compagnie Minière de L'Ogooué (COMILOG) située à proximité de cours d'eau y a rejeté ces effluents. La réglementation européenne dans le domaine des activités minières, transcrit les intérêts à protéger dans les installations minières notamment la préservation des eaux. Le code de l'environnement du Gabon en fait aussi état.

Pour répondre à cette réglementation, COMILOG filiale du groupe minier français Eramet a fait de la protection environnementale un élément clé.

Aujourd'hui tous les effluents de la COMILOG sont gérés dans des bassins industriels dont le bassin 4 dotés d'un système de recyclage. Un bilan hydrique a été effectué entre les eaux qui entre en laverie et celles qui en sorte. Les résultats montrent que les eaux d'entrée sont chimiquement modifiées après traitement du minerai. Au cours des dysfonctionnements de la laverie, les eaux du bassin 2000 riches en :  $\text{NH}_4^+$ , MES, Mn et Hg et les eaux du bassin 4 riches en  $\text{NH}_4^+$  et en Mn sont envoyées de façon ponctuelle dans la rivière Makima qui se jette dans la Mbéressé via la rivière Miosso. Notons une relation de la qualité des eaux de sources naturelles avec l'exploitation minière.

Le suivi du bassin de perte pendant quatre semaines montre que les concentrations en éléments métalliques de ce bassin varient des semaines.

La réhabilitation des zones par la mise en place des merlons naturels permet de retenir les eaux qui ruissellent afin de favoriser leur infiltration dans nappe. Les résultats des analyses de ces eaux montrent qu'elles sont une potentielle source de pollution pour les eaux de la nappe de la carrière.

Mot clé : Rivière, nappe, exploitation minière, caractérisation, eaux industrielles, Pollution

Remerciements .....	
.....	
Résumé .....	
Introduction .....	1
I. Présentation générale de l'entreprise .....	2
1- L'entreprise et ses partenaires .....	2
2- Historique et activité de l'entreprise .....	2
a) Bref historique de la COMILOG .....	2
b) Activité de l'entreprise .....	2
3- Organisation, effectifs et présentation du service d'accueil .....	3
a) Organisation et effectif de l'entreprise .....	3
b) Présentation du service d'accueil .....	3
II. Présentation du site d'étude .....	3
1- Contexte géographique .....	3
a) Situation géographique générale .....	3
b) Situation géographique du site .....	4
c) Contexte géologique .....	4
2- Contexte hydrologique et hydrogéologique .....	5
a) Contexte hydrologique .....	5
b) Contexte hydrogéologique .....	5
III. Environnement minier .....	6
1- Cadre réglementaire .....	6
a) Le code de l'environnement .....	6
b) Le code minier .....	6
2- Méthode d'exploitation et procédé de production du minerai .....	6
a) Méthode d'exploitation du minerai .....	6
b) Procédé de production du minerai .....	6
3- L'eau dans l'activité minière .....	7
a) Circuit des eaux en laverie .....	7
b) Méthode de traitement des effluents de la laverie .....	9
c) Les eaux de ruissellement et d'infiltration .....	9
IV. Matériels et méthodes .....	10
1- Données .....	10
2- Matériel .....	10
3- Méthode de travail .....	11

a) Les points de prélèvement.....	11
b) Prélèvement des eaux et mesure de paramètres physico-chimiques.....	12
V. Résultats.....	12
1- Analyses géochimiques du minerai de manganèse.....	12
2- Bilan hydrique de la laverie et suivi du bassin de perte.....	13
a) Bilan hydrique.....	13
b) Suivi du bassin de perte.....	14
3- Caractérisation des effluents.....	15
a) Les eaux industrielles ou de procédé.....	15
b) Les eaux naturelles.....	16
c) Les eaux de ruissellement et d'infiltration.....	18
VI. Interprétation et discussion.....	19
VII. Relation entre l'exploitation minière et la qualité des sources naturelles évaluation des risques de contamination.....	22
1- Relation entre l'exploitation minière et la qualité des eaux de Makima et Mbéressé.....	22
2- Evaluation des risques de contamination de la nappe.....	23
Conclusion.....	24
Bibliographie.....	25
Annexes.....	26
Annexe 1 : Carte des quatre plateaux du gisement de manganèse de moanda.....	26
Annexe 2 : Organigramme général de la COMILOG.....	27
Annexe 3 : Carte hydrographique du Gabon.....	28
Annexe 4 : Colonne stratigraphique du Francevillien sédimentaire.....	29
Annexe 5 : Position du minerai de manganèse dans la colonne stratigraphique du Francevillien	
30	
Annexe 6 : Les différents niveaux du gisement de manganèse de Moanda.....	31
Annexe 7 : Technique d'exploitation en gradins.....	32
Annexe 9: Répartition de Hg en fonction de la granulométrie pour B7 Bangombé.....	34

## Listes des figures

Figure 1 : Les différents actionnaires de la COMILOG.....	2
---	---

Figure 2 : Répartition des sites COMILOG dans le monde.....	3
Figure 3 : Localisation de la zone d'étude.....	4
Figure 4 : Carte géologique de la région de Moanda.....	4
Figure 5 : Carte hydrographique du plateau Bangombé.....	5
Figure 6 : Le bassin 1200.....	7
Figure 7 : Le bassin 2000.....	8
Figure 8 : Schéma simplifié du Circuit des eaux en laverie.....	8
Figure 9 : Vue aérienne des bassins industriels.....	9
Figure 10 : Les eaux de ruissellement de la zone B8 sud.....	9
Figure 11 : Le bassin de rétention dans la zone B8 sud.....	10
Figure 12 : L'appareillage : A-turbidimètre, B-sonde à température, C-pH-mètre et D-flaconnage....	11
Figure 13 : Carte des points de prélèvement.....	11
Figure 14 : Analyse des éléments majeurs du minerai de manganèse de Moanda.....	13
Figure 15 : Analyse des éléments traces du minerai de manganèse du plateau Bangombé.....	13
Figure 16 A : Bilan hydrique en éléments métalliques entre les entrées et la sortie de laverie.....	14
Figure 16 B : Bilan hydrique en d'autres éléments chimiques.....	14
Figure 17 : Cycle de l'azote.....	20
Figure 18 : Principe de fonctionnement d'une nappe.....	23

### Liste des tableaux

Tableau 1 : Résultats des analyses de suivi des eaux du bassin de perte.....	15
Tableau 2 : Résultats des analyses des eaux de procédé.....	16
Tableau 3 : Résultats des analyses en éléments traces métalliques des eaux de procédé.....	16
Tableau 4 : Résultats des analyses des sources naturelles.....	17
Tableau 5 : Résultats des analyses en éléments traces métalliques des sources naturelles.....	17
Tableau 6 : Résultats des analyses des eaux de ruissellement et d'infiltration.....	18
Tableau 7 : Résultats des analyses des métaux des eaux de ruissellement et d'infiltration.....	19

## Introduction

L'exploitation minière affecte les bassins d'eau douce par les effluents rejetés suite au traitement du minerai. Autrement dit, la pollution par les eaux de mine pose un problème environnemental dans le monde. La prise en compte de la dimension environnementale par les compagnies minières est récente. Comme la majorité des compagnies minières, la Compagnie Minière de l'Ogooué (COMILOG) entrait également dans ce cadre. Pendant plus de 40 ans, elle a rejeté ces effluents ainsi que ces terrils dans la nature. Ceux-ci atteignaient les cours d'eau environnant par ruissellement et les polluaient, c'est le cas de la rivière Moulili. Les problèmes environnementaux sont pris en compte par COMILOG depuis 1998 avec la création de la cellule environnementale et en 2000 avec la construction du complexe industriel de Moanda (CIM) dont le rôle est de revaloriser les terrils.

En 2006, dans le souci de préserver la nature, la COMILOG a mis en place des bassins pour la gestion des effluents de l'usine de traitement. Pendant 4 ans, seules les eaux claires plus ou moins déchargées étaient évacuées dans le milieu naturel. En avril 2012, l'un des bassins a été doté d'un système de recyclage d'eau. Ainsi, 92% des eaux de la laverie sont recyclées et 8% sont liées aux boues qui s'enfoncent dans le bassin et celles qui percolent le long des flancs de certains bassins. Au cours des disfonctionnements, ces 92% sont plus ou moins réduits. Depuis septembre 2010, la COMILOG, réhabilite systématiquement les zones exploitées. Cette réhabilitation passe par la mise en place de merlons naturels pour éviter que les eaux de ruissellement chargées ne percolent dans les rivières en contre bas du plateau. L'existence des zones pilotes constituées de bassins de rétention afin de favoriser l'infiltration de ces eaux dans la nappe phréatique entre dans cet objectif. C'est le cas de la zone B8 sud.

Le but de cette étude a été de caractériser les eaux industrielles de la laverie afin de définir la relation entre l'exploitation minière et la qualité des sources naturelles de la région de Moanda.

Pour répondre à cette problématique, une cartographie des points de prélèvement a été réalisée, suivie d'une caractérisation des paramètres physico-chimiques des eaux. Une comparaison des résultats a ensuite été faite avec les normes françaises et gabonaises mais aussi avec les eaux naturelles d'une rivière du plateau Okouma prise comme milieu de référence en dehors de la zone d'étude. Deux campagnes de prélèvement ont été réalisées. Les données obtenues ont permis de :

- 1- Faire le bilan hydrique entre les eaux d'entrée et de sortie de la laverie. En d'autres termes, il s'agirait de comparer chimiquement les eaux d'entrée et de sortie de la laverie.
- 2- Montrer que les eaux de Makima et Mbéressé ne sont pas impactées par les rajouts ponctuels des eaux claires de la laverie lors des disfonctionnements.
- 3- Montrer l'effet de la réduction du taux de rejet des effluents de la laverie dans la nature. En d'autres termes, prouver l'efficacité des bassins industriels dans l'amélioration de la qualité des eaux naturelles.
- 4- Montrer que les eaux d'infiltrations du Bassin de la zone B8 ne présentent aucun risque de pollution pour la nappe phréatique.

Ce travail se divise en plusieurs parties notamment la présentation de l'entreprise COMILOG, la présentation du site d'étude, la présentation de l'environnement minier et les résultats.



## I. Présentation générale de l'entreprise

### 1- L'entreprise et ses partenaires

Le groupe international ERAMET est leader mondial du secteur du manganèse. Il est l'un des principaux producteurs mondiaux :

- De métaux d'alliages, nickel et manganèse nécessaires pour améliorer les propriétés des aciers,
- D'alliages et d'aciers spéciaux utilisés par des industries telles que l'aéronautique, la production d'énergie et les outillages.

ERAMET Manganèse est organisé aujourd'hui autour de six (6) sociétés. La compagnie minière de l'Ogooué (COMILOG) est l'une des filiales de la branche manganèse du groupe. Elle a été créée en 1953 et se positionne comme le deuxième producteur mondial de manganèse avec un chiffre d'affaires en 2010 de 668,4 milliards FCFA (1019 milliard €). Elle exploite la mine de manganèse de Moanda, qui représente environ 25% des réserves mondiales de minerai.

La COMILOG se positionne comme la deuxième entreprise gabonaise, tous secteurs confondus et premier employeur privé. Le transport du minerai est assuré par le train géré par la filiale SETRAG. La maintenance de la voie ferrée se fait grâce à la SOMIVAB filiale de la COMILOG dont l'activité principale est la valorisation du bois gabonais par la fabrication des traverses. Les principaux actionnaires de la COMILOG sont : le groupe ERAMET et l'Etat gabonais (figure 1).

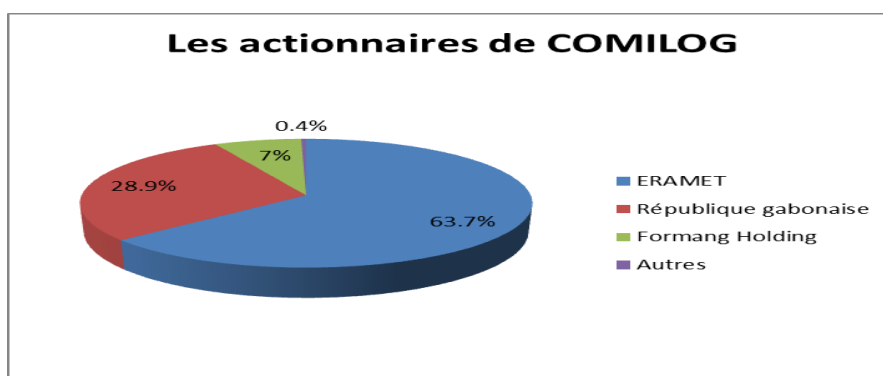


Figure 1: Les différents actionnaires de la COMILOG.

### 2- Historique et activité de l'entreprise

#### a) Bref historique de la COMILOG

**1953** : Découverte du gisement de Moanda et constitution de la COMILOG SA.

**1962** : Début de l'exploitation du gisement de Moanda et utilisation de la voie téléphérique pour l'acheminement du minerai.

**1988** : Transport du manganèse par le Transgabonais et inauguration du port d'Owendo.

**1991** : Arrêt du transport de manganèse par voie téléphérique

**1997** : ERAMET devient le principal actionnaire de COMILOG

**1998** : Certification ISO 9002

**2000** : Inauguration du complexe industriel de Moanda (CIM)

**2011** : Lancement des travaux du Complexe Métallurgique.

#### b) Activité de l'entreprise

La COMILOG au travers de ses filiales et partenaires, dispose de plusieurs sites industriels et de commercialisation. Elle est implantée en Afrique, en Europe, en Amérique du nord et en Asie (Figure 2).



Figure 2 : Répartition des sites COMILOG dans le monde

La COMILOG a pour activité principale l'exploitation du gisement de manganèse à ciel ouvert à Moanda qui s'étend sur les quatre plateaux représentés en annexe 1. Le minerai de manganèse produit par COMILOG est transformé majoritairement en ferromanganèse et silico-manganèse vendus aux clients. La COMILOG intervient également sur le marché des bioxydes naturels, chimiques et électrolytiques ainsi que dans les applications du manganèse destinées à l'électronique et à l'agriculture.

### 3- Organisation, effectifs et présentation du service d'accueil

#### a) Organisation et effectif de l'entreprise

Le groupe COMILOG emploie aujourd'hui près 3570 salariés dans le monde dont 1480 au Gabon repartis dans les différentes directions. L'entreprise est dirigée par un Administrateur Directeur Général et d'un adjoint. Elle est subdivisée en onze directions (opérationnelles et supports). Chacune de ces directions est subdivisées en service ou en départements (annexe 2).

#### b) Présentation du service d'accueil.

La Direction Mine compte 494 employés. Elle est constituée actuellement de quatre départements à savoir : Production, Maintenance des usines, Maintenance engins mobiles, Géologie et exploitation minière et un service QHSE (Qualité, Hygiène, Sécurité et Environnement) qui dépend directement du directeur de la mine. Le département exploitation géologique et minier est formé de quatre groupes (géologie et sondage, exploitation de la Moulili, gestion gisement et planification). Ce département a pour objectif d'exploiter et de produire un minerai de qualité tout en tenant compte de l'aspect environnemental et de la sécurité.

## II. Présentation du site d'étude

### 1- Contexte géographique

#### a) Situation géographique générale

A cheval sur l'équateur, entre les latitudes 2°30'N et 3°55'S, le Gabon couvre une superficie de 267 667 km. Il est limité au Nord-Ouest par la Guinée Equatoriale, au Nord par le Cameroun, au Sud et à l'Est par le Congo, et à l'Ouest par le littoral atlantique de 800 km (figure 3). Ce pays est régi sous un climat équatorial chaud et humide. Le système hydrographique du Gabon est caractérisé par un réseau très dense qui alimente principalement l'Ogooué et ses affluents (annexe 3).

## b) Situation géographique du site

Le gisement de manganèse de Moanda se situe au sud-est du Gabon dans une région de hauts plateaux à une altitude moyenne de 600 m (figure 3). Il s'étend au niveau du plateau Bangombé sur 40 km<sup>2</sup> entre les parallèles 0° et 2°S, et les méridiens 12 et 14°E. La pluviométrie et la température annuelle sont respectivement d'environ 665 mm et 25°C en moyenne.



Figure 3 : Localisation de la zone d'étude.

## c) Contexte géologique

Le gisement de manganèse de Moanda appartient à la série du Francevillien daté d'environ 2 Ga (Bonhomme *et al*, 1982 ; Bonhomme et weber, 1975). Le Francevillien est bordé au Nord et au Sud par les massifs granito-gneissiques du Nord du Gabon et du Chaillu, à l'Est par les séries de les séries du plateau Batéké. Vers l'Ouest, il est en continuité avec les formations du bassin de Booué (Figure 4).

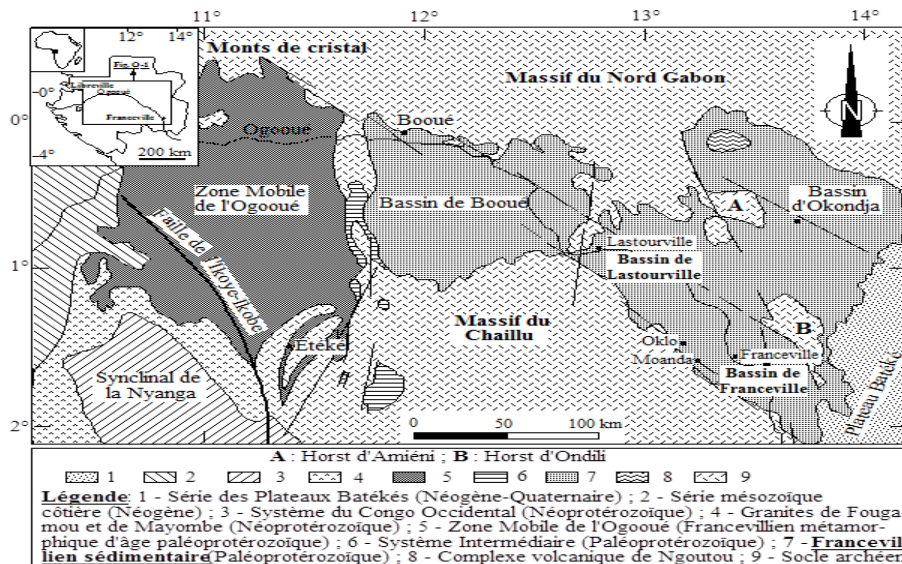


Figure 4 : Carte géologique de la région de Moanda

Le Francevillien sédimentaire repose en discordance sur le socle archéen granitogneissique datés entre 3186 et 2500 Ma (Caen-Vachette & *al*, 1988 ; Kessi, 1992). La colonne stratigraphique de référence du Francevillien (annexe 4) a été décrite par weber (1968). Cette colonne est subdivisée en cinq formations indexées de la base vers le sommet: **Francevillien A (FA)**

composé de grès et conglomérats fluviaux et littoraux ; **Francevillien B** (FB) constitué de dépôts marins (black shales, argilites, siltites, dolomies) particulièrement riche en carbonates manganésifères qui, par l'altération supergène (altération de la nappe) donne naissance au gisement d'oxydes de manganèse de Moanda (Azzibrouck, 1968) situé dans le FB1 (annexe 5).; **Francevillien C** (FC) composé de cherts (jaspes) et de dolomies ; **Francevillien D** (FD) composé de tufs et cinérites, black shales et argilites à éléments pyroclastiques ; **Francevillien E** (FE) composé d'argilites, grès épicycliques et de siltites. D'après les travaux de Weber, la coupe synthétique du gisement de Moanda est subdivisée en cinq niveaux (annexe 6).

## 2- Contexte hydrologique et hydrogéologique

### a) Contexte hydrologique

Le plateau Bangombé est constitué d'un réseau hydrographique dense (figure 5). La plupart des cours d'eau de Moanda prennent leur source sur le plateau Bangombé. Ces cours d'eaux ont un exutoire principal, la rivière Miosso dont le sens d'écoulement est du Sud-Est vers le Nord-Ouest. Cette rivière est un affluent de la rivière Mbéressé située en contrebas du plateau s'écoulant du Sud-Ouest vers le Nord-Est. La Mbéressé sert à la production d'eau potable distribuée dans la ville d'une part et d'autre part aux besoins de la COMILOG. Elle rejoint l'Ogooué via ses affluents. Cependant, ces cours d'eaux sont influencés par les eaux météorites et de ruissellement pendant la saison pluvieuse. Pour ses activités, COMILOG a fait de la rétention d'eau sur la rivière Makima ayant un sens de l'écoulement de l'Est vers l'Ouest.

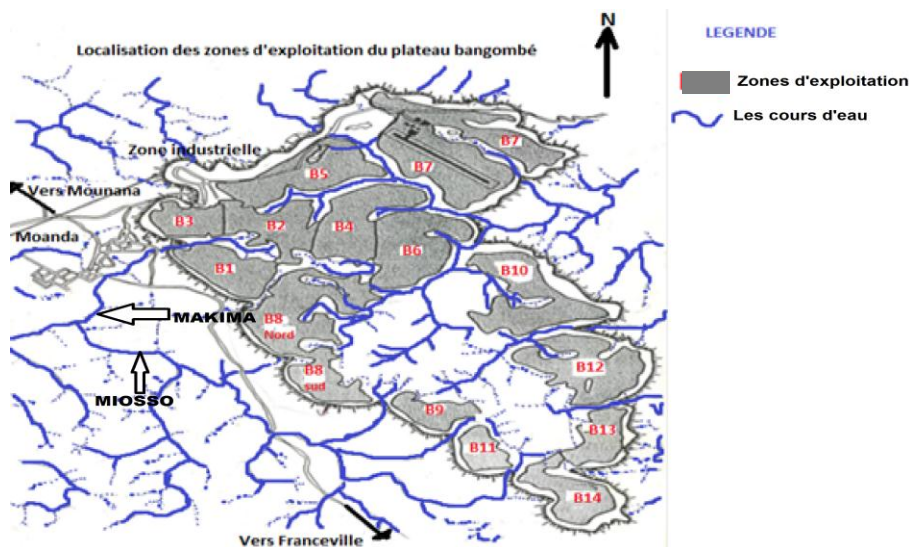


Figure 5: Carte hydrographique du plateau Bangombé.

### b) Contexte hydrogéologique

Le plateau Bangombé renferme de nombreuses nappes dont le toit est d'environ 12 m de profondeur. Ces nappes sont : soit dans la zone de transition (pisolite-minerai), soit dans la couche minéralisée ou dans la couche minerai-ampélite ou dans les ampélites. Certaines de ces nappes sont drainées afin de contrôler le flux d'eau dans la mine.

### III. Environnement minier

#### 1- Cadre réglementaire

La COMILOG fonctionne selon la réglementation européenne, gabonaise et internationales. La réglementation associée aux activités minières dépend principalement des codes de l'environnement et minier.

##### a) Le code de l'environnement

Selon le titre II du code de l'environnement du Gabon intitulé « les ressources naturelles », le chapitre deuxième sur les eaux continentales stipule en son article 10 que les eaux telles qu'elles sont définies à l'article 9 doivent être gérées de façon rationnelle et équilibrée en vue de permettre et de concilier notamment : la préservation de leur qualité et le maintien de la vie biologique du milieu aquatique. L'article 11 stipule que pour prévenir et lutter contre la pollution des eaux, certaines mesures sont immédiatement prises en vue d'établir leurs degré de pollution, alors que l'article 12 interdit d'évacuer ou injecter dans les eaux de surface, eaux de mer ou cours d'eau, les eaux dégradées ou résidus susceptibles de porter atteinte aux eaux naturelles.

##### b) Le code minier

La réglementation européenne dans le domaine des activités minières, transcrit les intérêts à protéger dans les installations minières notamment la préservation des eaux. L'article 84 du code minier mentionne ces intérêts: la conservation des eaux minérales, l'usage des sources, des nappes d'eau qui alimentent les villes, les villages et établissements publics du décret du 16 Août 1956. Par la suite, la loi n°70-1 du 2 Janvier 1970 a modifié l'article 84, ainsi les intérêts à protéger en matière d'eau devenant ceux concernant l'usage, le débit ou la qualité des eaux de toute nature. Le code minier du Gabon, demande à tout titulaire d'un titre minier de prendre en compte l'aspect environnemental pendant et après l'exploitation. Pour répondre aux exigences de la réglementation, COMILOG fait de la protection de l'environnement son pôle clé.

#### 2- Méthode d'exploitation et procédé de production du minerai

##### a) Méthode d'exploitation du minerai

Le plateau Bangombé est délimité en plusieurs zones (B) dont les frontières sont les différents cours d'eau (figure 5). Avec l'avancé de la mécanisation, COMILOG utilise une diversité d'engins (bulldozers, pelles hydrauliques, dragline et camions) pour l'exploitation de son minerai. Aujourd'hui, elle a décidé d'exploiter les bordures du plateau d'où la mise en place d'une carrière pilote au niveau de la zone B8 sud.

##### b) Procédé de production du minerai

La production du minerai se fait en plusieurs étapes: l'extraction, le traitement et le transport.

##### ❖ Extraction du manganèse

Cette extraction passe par plusieurs étapes :

- Décapage de mort terrain (terre végétale et couche de stériles pisolitique).
- Extraction proprement dit du minerai par blocs via une pelleteuse;
- Acheminement du minerai vers l'unité de pré-homogénéisation par les camions;
- Déversement du minerai dans une trémie et séparation grossière des blocs du minerai.
- Seconde séparation sur une table vibrante.

- Concassage et acheminement du minerai vers la zone de stockage pour homogénéisation donnant lieu à deux qualités de minerai (grossier et fins) en fonction de la teneur et la granulométrie.
- Acheminement du minerai via le convoyeur vers la laverie pour le traitement.

❖ **Traitement du minerai**

Le traitement du minerai se fait au niveau de la laverie. Le minerai est envoyé via le convoyeur vers les débourbeurs qui consiste à séparer les blocs de minerai de leur gangue argileuse en injectant de l'eau. Les résidus de la séparation appelés « boues » sont envoyés dans des bassins industriels via les décanteurs qui séparent l'eau des boues après injection de flocculant. Le minerai à sortie des débourbeurs subit plusieurs opérations de criblage avec rinçage pour la séparation du minerai en différentes granulométries.

❖ **Transport du minerai**

Le transport du minerai se fait par un convoyeur vers la gare ferroviaire, puis son expédition vers le port est assurée par le train minéralier.

### 3- L'eau dans l'activité minière

a) **Circuit des eaux en laverie**

❖ **Les eaux d'entrée laverie**

Pour le traitement du minerai, COMILOG fait recours à deux sources naturelles : les rivières Makima et Mbéressé. Ces eaux sont appelées les eaux neuves. Elles sont stockées dans le bassin 1200 à leur arrivée (figure 6). A ces eaux s'ajoute les eaux recyclées provenant du bassin 4.



Figure 6 : Le bassin 1200.

Par déversement, les eaux du bassin 1200 sont envoyées dans le bassin 2000 (figure 7) contenant les eaux recyclées du décanteur. Ces eaux sont envoyées en laverie pour le traitement du minerai de manganèse.



Figure 7 : Le bassin 2000

#### ❖ Eaux de sortie laverie

Au niveau de la laverie, les eaux du bassin 1200 sont aussi bien utilisées pour le milieu dense que pour le traitement du minerai tout venant. À la sortie du milieu dense, les eaux chargées sont stockées dans un bassin. Par débordement, une partie de ces eaux est envoyée dans le bassin de perte et l'autre partie est renvoyée dans l'atelier de grenue pour le dessablage. Les eaux du bassin 2000 sont utilisées pour le traitement du minerai tout venant en laverie. Aux boues provenant du traitement du minerai, s'ajoutent les eaux du bassin de perte dont le rôle est de recueillir toutes les eaux perdues de la laverie. Avant d'envoyer les boues au niveau du décanteur, celles-ci passent par l'atelier de grenue pour une séparation boues/sables afin d'extraire les fines de la pulpe. Arrivée au décanteur (figure 8), cette pulpe subit un traitement avec l'ajout du flocculant pour favoriser la décantation des particules fines.

#### ❖ Les eaux de sortie décanteur

Ce sont les eaux claires issues de la décantation des boues de sortie laverie. Les boues issues de la décantation sont envoyées dans les bassins industriels. Tout au long de ce circuit plusieurs fuites sont enregistrées. Cependant, ces fuites sont canalisées et orientées vers le bassin de perte qui par moment déborde suite à des disfonctionnements.

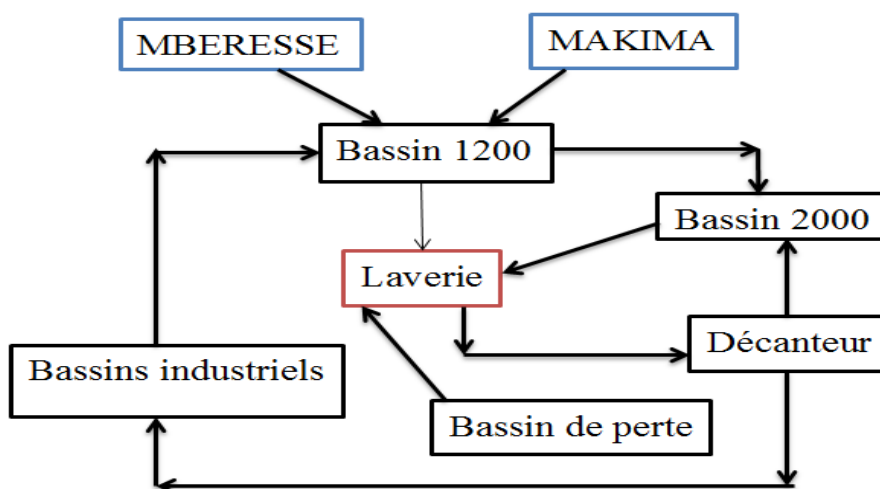


Figure 8: Schéma simplifié du Circuit des eaux en laverie

### b) Méthode de traitement des effluents de la laverie

Le traitement des effluents de la laverie se fait au niveau des bassins industriels par la technique naturel de sédimentation. Cette technique permet de faire une séparation physique des eaux de la matière solide. Auparavant, les boues issues du traitement de manganèse étaient rejetées directement dans la nature. Mais depuis 2005, COMILOG a décidé de gérer ces effluents en mettant en place 4 bassins industriels de stockage construits avec des matériaux naturels. Ces ouvrages sont principalement des bassins successifs (figure 9), qui réceptionnent les eaux de la laverie riches en matières en suspension (MES). Après sédimentation, Les eaux claires débordaient vers le bassin le plus proche. Mais une partie de ces eaux était évacuée dans la nature par les exutoires. Afin de limiter la quantité d'eau évacuée dans la nature, le bassin 4 a été doté d'un système de recyclage. Ce bassin fonctionne depuis avril 2012. Aujourd'hui seul ce bassin est utilisé pour le stockage des boues. La laverie fonctionne désormais en circuit fermé.

Cependant au cours des disfonctionnements ou lorsque la laverie est en arrêt, une certaine quantité des eaux claires du bassin 4 est envoyée dans la Makima pour éviter sa saturation.



Figure 9 : Vue aérienne des bassins industriels

### c) Les eaux de ruissellement et d'infiltration

Dans le cadre du projet d'exploitation des bordures, une carrière pilote a été mise en place dans la zone B8 sud afin de faire une étude d'impact. L'exploitation des bordures fera intervenir la technique d'exploitation en gradins (annexe7). Dans cette zone, il y'a un ruissellement intense des eaux (figure 10). Ces eaux circulent sur un faciès ampélitique et manganésifère. Elles sont un mélange des eaux qui s'échappent à l'interface entre la zone minéralisée et la roche mère ampélitique avec les eaux qui ruissellent en surface.



Figure 10: Les eaux de ruissellement de la zone B8 sud.



Ainsi, pour gérer ces eaux, il a été mis en place des caniveaux et des merlons naturels formant des bassins de rétention afin d'éviter, d'une part des éboulements et d'autre part, que les eaux chargées se retrouvent dans les rivières situées en contre bas du plateau. Autrement dit, ces bassins naturels (figure 11) permettent la décantation des particules solides, tout en favorisant l'infiltration des eaux clarifiées dans la nappe.



Figure 11 : Le bassin de rétention dans la zone B8 sud.

Etant donné que ces eaux circulent sur des matériaux très perméables, une partie s'infiltré avant d'atteindre les bassins de décantation.

## IV. Matériels et méthodes

### 1- Données

Les données utilisées sont d'une part celles recueillies au cours du projet et, d'autre part, celles de la bibliographie et des rapports internes. Les données géochimiques du minerai sont celles déterminées en 2010 dans le cadre du projet SYSMIN sur près de 2107 échantillons de roches.

### 2- Matériel

Les équipements et appareils (figure 12) utilisés pour les prélèvements et analyses physico-chimiques sont :

- ✚ Un turbidimètre de type turbidirect pour la mesure de la turbidité
- ✚ Un pH-mètre
- ✚ Un multi-paramètre de type consort constitué de trois électrodes
- ✚ Une sonde de type HANNA a été utilisée pour mesurer la température.
- ✚ Deux glacières pour la conservation des échantillons
- ✚ Des flacons d'échantillonnage de 500 ml en polyéthylène et en verre.
- ✚ Un préleveur constitué d'un béccher et d'une manche.



Figure 12 : L'appareillage : A-turbidimètre, B-sonde à température, C-pH-mètre et D-flaconnage

### 3- Méthode de travail

#### a) Les points de prélèvement

Tenant compte de la topographie et de la proximité de certains cours d'eau par rapport à l'activité menée par COMILOG, 19 points ont été retenus selon trois catégories d'eau (les eaux de industrielles (procédé); les eaux naturelles ; les eaux de ruissellement et d'infiltration) de la figure 13.

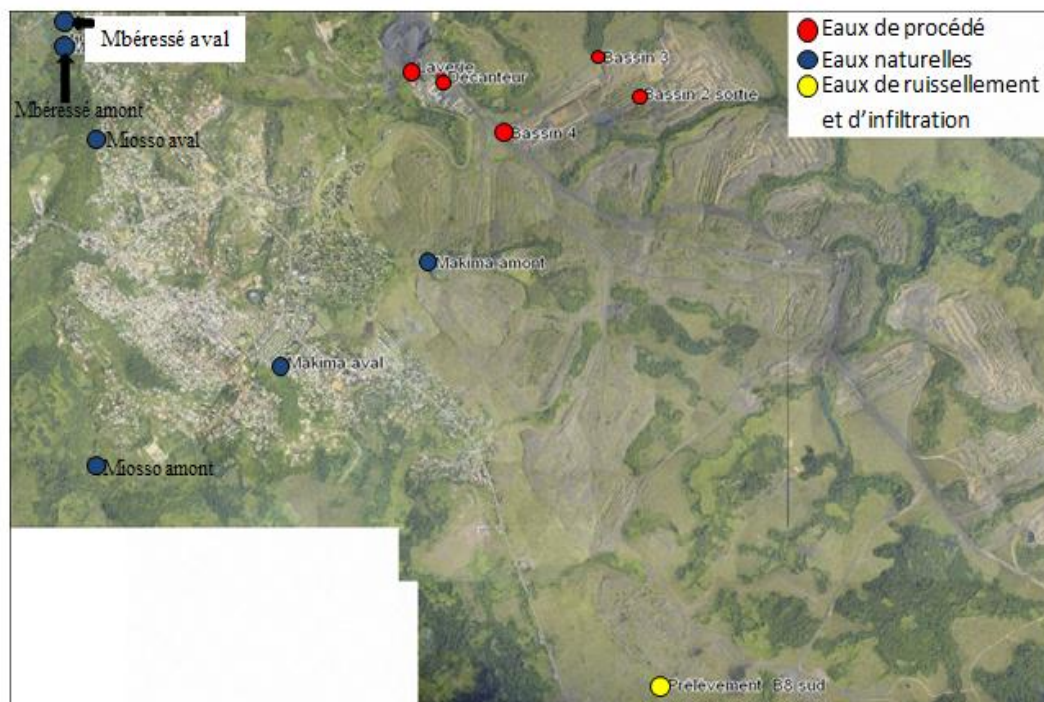


Figure 13 : Carte des points de prélèvement

L'échantillonnage des eaux naturelles a été effectué dans les rivières Makima, Miosso et Mbéressé (points bleu figure 13). Les eaux de ruissellement et d'infiltration ont été prélevées dans les bassins de rétention de la zone B8 (point jaune). Les eaux de procédé (points rouge) ont été prélevées sur les flancs du bassin B3, dans les bassins 4 et 2, et dans les installations de la laverie. Deux

campagnes de prélèvement ont été effectués sur les 19 points soit 36 échantillons qui se répartissent de la manière suivant :

❖ **Les eaux naturelles**

- ✚ 4 échantillons des eaux de la rivière Makima (2 en amont (MA-A) et 2 en aval (MA-AV));
- ✚ 3 échantillons de la rivière Mbéressé (2 en amont (MB-A) et 1 échantillon en aval (MB-AV) ;
- ✚ 2 échantillons de la rivière Miosso (MIOP);

❖ **Les eaux de ruissellement et d'infiltration**

- ✚ 3 échantillons des eaux de ruissellement (ER) ;
- ✚ 2 échantillons des eaux d'infiltration (EI) ;

❖ **Les eaux de procédé (industrielles)**

- ✚ 4 échantillons de l'atelier de grenue (deux en entrée (EAG) et deux en sortie (SAG)) ;
- ✚ 4 échantillons du décanteur (deux en entrée (ED) et deux en sortie (SD));
- ✚ 1 échantillon du bassin de débordement des eaux chargées du milieu dense (MI);
- ✚ 2 échantillons du bassin de perte (BP);
- ✚ 2 échantillons du bassin 1200 (B1200);
- ✚ 2 échantillons du bassin 2000 (B2000);
- ✚ 3 échantillons du bassin industriel 4 (un en entrée (EB4) deux en sortie (SB4) ;
- ✚ 2 échantillons du bassin industriel 2 (B2S);
- ✚ 2 échantillons des eaux de percolation du bassin industriel 3 (B3I);

**b) Prélèvement des eaux et mesure de paramètres physico-chimiques.**

Les échantillons ont été prélevés en période humide marquée par une pluie intense de 9 mm et en période sèche. A chaque prélèvement, la température de l'eau, la conductivité électrique, le pH, la turbidité, l'oxygène dissous et le potentiel redox (Eh) ont été mesuré in-situ. Les échantillons ont été prélevés pour certains directement dans des flacons en verre ou en polyéthylène de 500 ml, préalablement rincés avec les eaux du milieu prélevé et pour d'autres, à l'aide d'un préleveur. Ils ont été conditionnés dans des glacières pendant le transport au laboratoire, puis ont été analysés dans les 24 heures suivant par deux laboratoires différents selon la spécificité de chacun : GEO-GUIDE et DGEL (Direction Générale des Etudes et Laboratoires du Ministère des mines). Les paramètres analysés au laboratoire sont ceux caractérisant l'eau : La demande chimique en oxygène (DCO), la demande biochimique en oxygène (DBO5), les Matières en suspension (MES), les composés azotés ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  et  $\text{NH}_4^+$ ), les phosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), les sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), les cations (Ca, Na, Mg, K) , les chlorures ( $\text{Cl}^-$ ) et certains métaux (Mn, Fe, Al, Cu Pb, Cr, Ni, Ba, Hg, Cd, Zn B et As). Le bassin de perte a été suivi en éléments métalliques pendant un mois, soit un échantillon par semaine. Pour des raisons d'absence de réactifs, seule la fraction totale a été analysée.

## **v. Résultats**

### **1- Analyses géochimiques du minerai de manganèse.**

Les résultats des analyses géochimiques du minerai de manganèse du plateau Bangombé (figure 14) montrent qu'il est constitué majoritairement d'oxydes de silice, d'aluminium, de fer et de manganèse.

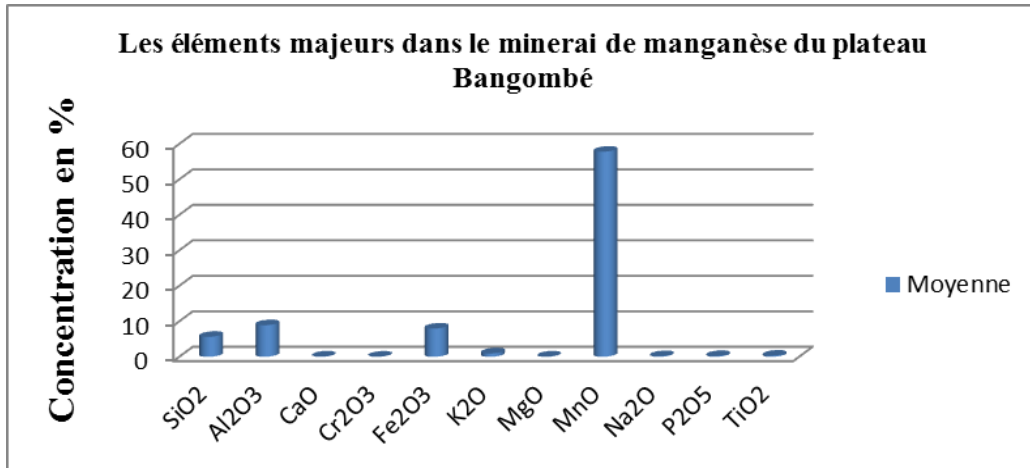


Figure14 : Analyse des éléments majeurs du minerai de manganèse de Moanda.

Il renferme aussi des éléments traces tels que le Cu, le Zn, le Ba, le Co, le Ni et le V en quantité importante mais aussi d'autres éléments en quantité faible (figure 15).

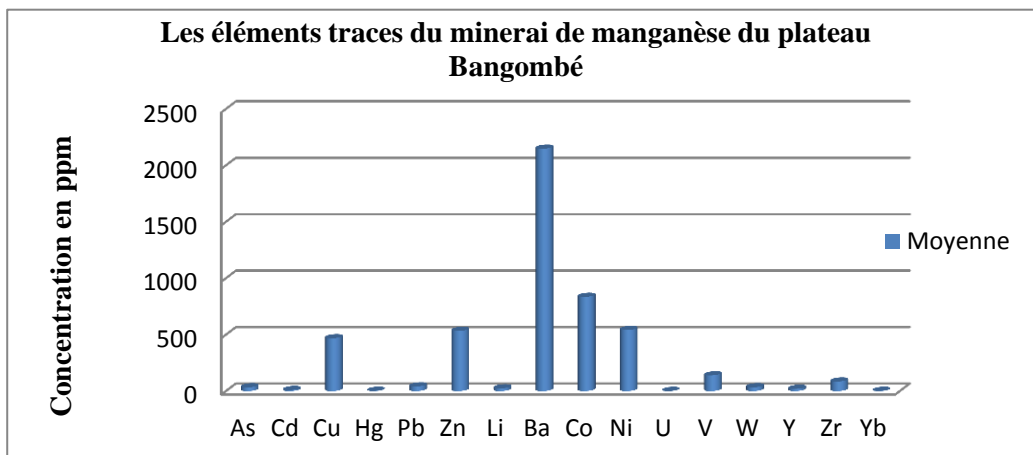


Figure 15 : Analyse des éléments traces du minerai de manganèse du plateau Bangombé

## 2- Bilan hydrique de la laverie et suivi du bassin de perte

### a) Bilan hydrique

Le bilan hydrique consiste à comparer les paramètres physico-chimiques (métaux et autres) des eaux qui entrent en laverie et celles qui sortent. Les eaux d'entrée de laverie sont les amonts des rivières (M-A et MB-A) et les eaux claires du bassin 4 (SB4). Les eaux de sortie de la laverie sont celles de l'entrée décanteur (ED). Les résultats comparatifs sont représentés dans les graphes ci-dessous.

#### Bilan en éléments métalliques

Pour les métaux, les résultats (figure 16 A) montrent que les eaux d'entrée sont constituées principalement de :

- Al, Fe et d'une grande concentration de Mn pour Makima ;
- Al, Fe et Ba pour Mbéressé ;
- Mn, Cr et Fe avec des traces de Cr pour les eaux claires du bassin 4.

En revanche, les eaux de sortie de laverie renferment l'Al, le Fe et le Mn avec de nombreuses traces de : As, Zn et de Hg etc. Notons une diminution de la quantité de Mn, de Al en sortie laverie, un équilibre en As et un gain insignifiant en Zn, Hg, Ni, Pb et U mais aussi une élimination du Ba et Cr.

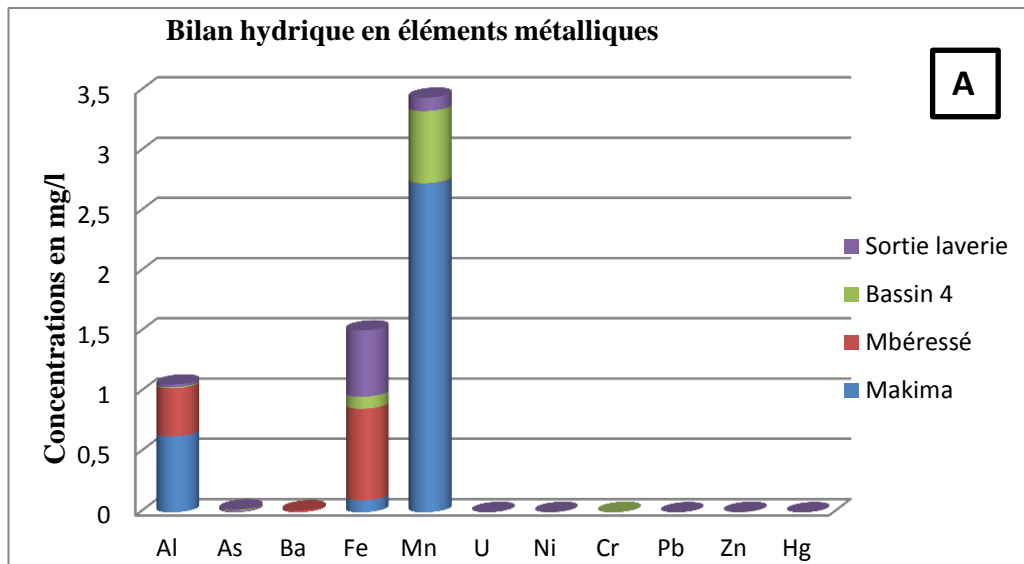


Figure 16 A : Bilan hydrique en éléments métalliques entre les entrées et la sortie de laverie

#### ✚ Bilan hydrique en d'autres éléments chimiques

Les eaux d'entrée et de sortie de laverie ont des portions en K, Mg, Na, Cl et NH<sub>4</sub> plus ou moins équilibrées. Notons une quantité importante de MES et de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> dans les eaux de sortie (figure 16 B) et une présence de NO<sub>2</sub><sup>-</sup> dans les eaux du bassin 4 uniquement.

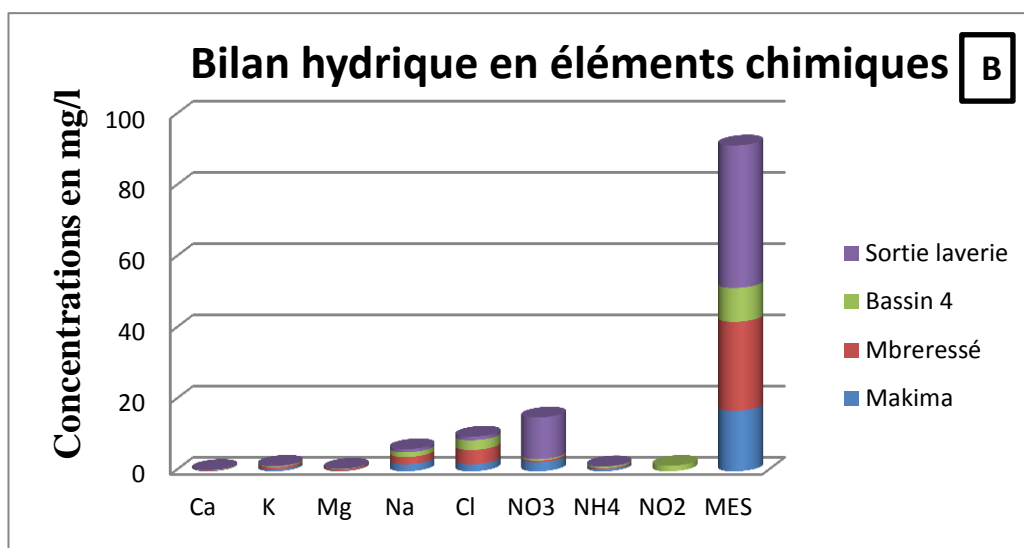


Figure 16 B : Bilan hydrique en d'autres éléments chimiques.

#### b) Suivi du bassin de perte

Le bassin de perte a fait l'objet d'un suivi en éléments traces métalliques pendant quatre semaines successives. Pour la première semaine, les éléments métalliques analysés sont de très faibles concentrations. En deuxième semaine, les concentrations en Fe, Mn, Al et en Hg augmentent et celles en Cr baissent presque de moitié (Tableau 1). En troisième semaine, toutes les concentrations des éléments analysés du tableau 1 augmentent considérablement. Par contre en quatrième semaine, certaines teneurs chutent (Fe, Zn, Al, Cd, Cr, Pb et As) tandis que d'autres augmentent (Mn et Cu) par rapport à la troisième semaine.

Tableau 1 : Résultats des analyses de suivi des eaux du bassin de perte.

Suivi du bassin de perte											
Eléments	Fe	Cu	Zn	Mn	Al	Ni	Cr	Pb	Cd	As	Hg
Unités	mg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Semaine du 14 au 20 mai											
Bp	0,01	<0,11	1,85	0,04	0,014	0,22	1,13	0,99	<0,01	<0,02	0,002
Semaine du 21 au 27 mai											
BP 2	0,1	<0,11	<0,3	0,043	0,1	<0,01	0,5	<0,12	<0,01	<0,02	6,23
Semaine du 28 mai au 03 juin											
Bp 3	11,62	13,23	19,93	5,24	23,168	7,355	17,881	17,89	16,17	20,96	*
Semaine du 04 au 10 juin											
Bp 4	10,09	18,82	19,85	506,9	11,008	15,45	1,72	<LD	13,47	8,3	*

### 3- Caractérisation des effluents

Les résultats des paramètres analysés et ceux de mesure in situ ont été comparés aux valeurs reconnues comme sécuritaires du code de l'environnement gabonais (NG) de 1993 et celles de l'arrêté du 11 janvier 2007 français (NF). La norme de l'oxygène dissous est celle du BRGM doit 8.8 mg/l.

#### a) Les eaux industrielles ou de procédé

Les résultats du tableau 2 montrent que les concentrations en MES et en NH<sub>4</sub><sup>+</sup> sont supérieures aux normes françaises et gabonaises pour :

- L'entrée (EAG) et la sortie (SAG) atelier de grenue;
- Le milieu dense (MI) ;
- Le bassin de perte (BP) et l'entrée décanteur (ED) ;

Les autres échantillons du tableau 2 montrent :

- Des valeurs anormales en pH et turbidité selon les normes françaises ainsi qu'une concentration en NH<sub>4</sub><sup>+</sup> supérieure aux normes françaises et gabonaises pour SD ;
- Des valeurs non conforme en pH et turbidité selon les normes françaises mais aussi en MES et NH<sub>4</sub><sup>+</sup> selon les deux normes du tableau 2 pour les échantillons B1200 et B2000 ;
- Une valeur de turbidité de EB4 largement supérieure à la norme française et des concentrations en MES et NH<sub>4</sub><sup>+</sup> élevées par rapport aux seuils fixés par le Gabon et la France ;
- Des valeurs de pH, de turbidité et de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ne respectant pas les normes du tableau ;
- Des valeurs inhabituelles en turbidité et en NH<sub>4</sub><sup>+</sup> selon les normes pour B2S ;
- Des valeurs de BI3 anormales de pH, de turbidité et de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

Tableau 2 : Résultats des analyses des eaux de procédé

Résultats des analyses d'eaux de procédé															
Codes d'échantillons		EAG	SAG	MI	Bp	ED	SD	B1200	B2000	SB4	EB4	B2S	BI3	Normes	
Eléments	Unités	*	*	*	*	*	25	25	25	25	*	25	25	NF 2007	NG 1993
Température	°C	*	*	*	*	*	25	25	25	25	*	25	25	25	
pH		*	*	*	*	*	5,08	6,11	5,85	4,76	*	6,57	4,64	6,5-8	
Conductivité	µs/cm	*	*	*	*	*	14,55	17,45	18,52	18,69	*	35,31	10,53	180-1000 à 20°C ou 200-1100 à 25°C	
Turbidité	NTU	*	*	*	*	*	10	47	33	6	4744	6	2	1	
Eh	mV	*	*	*	*	*	367	259	438,7	260	*	226	368		
O <sub>2</sub> dissous	mg/l	*	*	*	*	*	*	6,23	6,44	7,37	*	6,21	8,16		
DCO	mg/l	*	*	*	*	*	*	*	16	16	*	22	*	30	30
DBO5	mg/l	*	*	*	*	*	*	*	3	3	*	4	*	7	20
MO	mg/l	*	*	*	*	*	*	*	6	6	*	8	*		
MES	mg/l	1030	1089	1067	1437	911	7	23	22	9,5	1745	1,5	1,5	25	20
Ca	mg/l	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	6,31	0,1		
K	mg/l	0,21	0,21	0,35	0,37	0,2	0,29	0,22	0,28	0,21	0,23	1,735	0,09		
Mg	mg/l	0,06	0,06	0,01	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,1	0,1	0,06	0,1		
Na	mg/l	0,71	0,77	2,64	2,05	0,85	1,42	1,30	1,32	1,32	0,53	1,86	0,81	200	
SO4	mg/l	16	23	<8	<8	<8	<8	<8	<8	<8	<8	1,8	<8	250	250
NH4	mg/l	0,3	0,35	0,3	0,2	0,1	0,35	0,25	0,35	0,4	17,5	0,2	0,3	0,1	0,05
NO3	mg/l	0,38	2,35	0,51	0,85	11,7	0,89	1,99	2,00	0,35	0,01	0,5	0,3	50	50
NO2	mg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	1,54	<0,1	<0,1	<0,1	0,5	1
PO4	mg/l	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8		0,5
Cl	mg/l	2	2,5	3	4,5	1	4	4,1	2,25	2,75	1,2	6,5	1,5	250	200

Le tableau 3 indique les concentrations importantes en :

- Mn pour EAG, MI, ED, B1200, SB4 et EB4 selon les seuils français et gabonais;
- Mn et Hg pour SAG, et B2000 par rapport aux deux normes du tableau 3 ;
- Hg pour BP d'après les limites de références du Gabon et de la France ;
- Mn, Hg selon les normes françaises et gabonaises ainsi qu'en As d'après celle de la France pour BI3.

Tableau 3 : Résultats des analyses en éléments traces métalliques des eaux de procédé

Analyse des métaux des eaux de procédé															
Code d'échantillon		EAG	SAG	MI	BP	ED	SD	B1200	B2000	SB4	EB4	B2S	BI3	Normes	
Eléments	Unités													NF 2007	NG 1993
Fe	mg/l	0,06	0,06	0,01	0,06	0,06	0,06	0,06	0,08	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,5
Mn	µg/l	130	337	110	41	106	39	485	225	599	84	15	97	50	50
Al	µg/l	26,23	34,69	10,48	57,19	22,56	55,64	180,61	143,02	8,79	2,19	51,32	0,06	200	200
As	µg/l	3,8	3,69	5,78	<0,02	4,23	5,56	6,15	3,47	5,15	1,4	1	10,7	10	50
Ba	µg/l	3,23	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	1,58	<0,01	<0,01	5,4	<0,01	<0,01	700	100
Cr	µg/l	4,23	1,37	3,89	0,82	<0,02	2,7	2,37	2,15	0,84	0,3	1,39	0,43	50	50
Cu	µg/l	<0,11	<0,11	<0,11	<0,11	<0,11	<0,11	<0,11	<0,11	<0,11	<0,11	<0,11	<0,11	2000	50
Cd	µg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	5	5
Ni	µg/l	1,36	2,1	0,85	0,22	1,39	<0,01	1,20	0,72	1,57	<0,01	<0,01	<0,01	20	
Pb	µg/l	<0,12	0,51	0,28	0,99	0,06	1,23	0,65	0,51	0,46	0,66	<0,12	0,33	10	50
U	µg/l	<0,03	<0,03	0,49	0,51	1,47	2,3	<0,03	0,93	0,74	<0,03	<0,03	1,09		
Zn	µg/l	2,13	4,32	<0,3	1,85	0,9	0,29	5,28	6,98	2,05	<0,3	<0,3	<0,3	5000	500
Hg	µg/l	0,28	1,45	0,003	3,12	0,56	0,28	0,13	1,57	0,0004	0,08	0,69	5,46	1	1
B	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	1000	1000

## b) Les eaux naturelles

Les résultats des analyses du tableau 4 présentent :

- Les grandeurs de pH, turbidité, d'oxygène dissous et de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> non conformes d'après les normes pour M-A et M-AV, MIOP-AV et MB-A ;
- Les valeurs de pH, turbidité, oxygène dissous et DCO anormales pour MIOP-A ;
- Les grandeurs de pH et de turbidité ne respectant pas les normes pour MB-AV.

Djouli est une rivière du plateau Okouma non exploité et très éloigné du plateau Bangombé qui a été pris comme milieu de référence. Les résultats des analyses de ces eaux montrent des valeurs anormales en pH, turbidité, DCO et NH<sub>4</sub><sup>+</sup> par rapport aux normes du tableau 4.

Tableau 4 : Résultats des analyses des sources naturelles

Résultats des analyses des sources naturelles										
Code d'échantillon		MAKIMA		MIOSSO		MBERESSE		Référence	Normes	
Paramètres	Unités	M-A	M-AV	MIOP-A	MIOP-AV	MB-A	MB-AV2	Djouli	NF 2007	NG 1993
Température	°C	25	24	22	23	22	23	22	25	
pH		5,93	6,01	5,85	5,81	6,03	5,93	5,21	6,5-8	
Conductivité	µs/cm	24	28	15	24	24	23	6	>180 et <100 à 20°C ou >200 et <1100 à 25°C	
Turbidité	NTU	9	11	10	8	26	13	4	1	
Eh	mV	367	239	226	213	201	144	365		
O <sub>2</sub> dissous	mg/l	7,5	8	5,13	6,01	9	5	7,29		
DCO	mg/l	25	22	55	16	22	16	32	30	30
DBO5	mg/l	5	4	6	3	4	3	< 4	7	20
MO	mg/l	9	8	*	6	8	6	*		
MES	mg/l	17	5	7,2	10	25	13	2	25	20
Ca	mg/l	0,1	0,16	*	0,1	0,1	0,1	*		
K	mg/l	0,52	0,38	*	0,56	0,64	0,49	*		
Mg	mg/l	0,11	0,09	*	0,23	0,46	0,25	*		
Na	mg/l	2,01	2,07	*	1,91	2,04	0,89	*	200	
SO <sub>4</sub>	mg/l	<8	8,1	<8	<8	<8	<8	<8	250	250
NH <sub>4</sub>	mg/l	0,6	0,15	<0,5	0,15	0,3	<0,5	1,6	0,1	0,05
NO <sub>3</sub>	mg/l	2,56	1,67	<0,1	1,4	0,5	0,25	<0,1	50	50
NO <sub>2</sub>	mg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<2,5	0,5	1
PO <sub>4</sub>	mg/l	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8		0,5
Cl	mg/l	2	3,5	*	5,25	4	2	1	250	200

Les analyses du tableau 5 définissent des fortes concentrations en :

- Mn et Al pour M-A ;
- Mn et Hg pour M-AV et MIOP-AV ;
- Fe et Mn pour MIOP-A
- Fe et al pour MB-A ;
- Fe, Mn, Al et Hg pour MB-AV.

Tableau 5 : Résultats des analyses en éléments traces métalliques des sources naturelles

Analyse des métaux des sources naturelles										
Code d'échantillon		MAKIMA		MIOSSO		MBERESSE		Référence	Normes	
Eléments	unités	M-A	M-AV	MIOP-A	MIOP-AV	MB-A	MB-AV	Djouli	NF 2007	NG 1993
Fe	mg/l	0,1	0,1	1,58	0,2	0,76	0,3	<0,03	0,2	0,5
Mn	µg/l	2725	745	109	182	3	68	<0,03	50	50
Al	µg/l	630	103	80	98	400	265	20	200	200
As	µg/l	8,18	6,12	5,66	5,78	6,12	5	8	10	50
Ba	µg/l	<0,01	<0,01	8,9	<0,01	16,51	<0,01	<0,01	700	100
Cr	µg/l	1,78	0,86	1	0,62	0,75	<0,02	1	50	50
Cu	µg/l	<0,11	<0,11	3,7	<0,11	<0,11	<0,11	1	2000	50
Cd	µg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	5	5
Ni	µg/l	<0,01	<0,01	2,65	<0,01	<0,01	<0,01	1	20	
Pb	µg/l	<0,12	0,31	0,64	0,24	<0,12	0,59	2,3	10	50
U	µg/l	<0,03	<0,03	1	1,99	0,56	0,37	1		
Zn	µg/l	<0,03	<0,03	0,11	0,56	0,53	0,05	30	5000	500
Hg	µg/l	0,002	2,51	<0,01	1,95	0,002	1,56	<0,01	1	1
B	µg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	1000	1000

Selon les résultats de la banque de données COMILOG (annexe 8):



- ✚ En 2002, la rivière Mbéressé a des quantités importantes en MES, en Fe, en Mn, en Cu (selon les normes gabonaises) ainsi qu'en DBO5 et en DCO selon les limites de référence gabonaise et française (annexe 8).
- ✚ En 2005, les résultats montrent des concentrations importantes en Mn, en DCO et en DBO5.
- ✚ En 2010, elle a des teneurs au-dessus des seuils pour le Mn, le pH et la turbidité.
- ✚ En 2011, ces eaux présentent une valeur élevée en Fe selon les deux normes utilisées ainsi qu'en DCO. Les valeurs de pH et de turbidité sont anormales par rapport aux limites de références de la France.

Les analyses effectuées sur Makima montrent :

- ✚ En 2002 des concentrations anormales en Mn, en Cu, DBO5 et DCO par rapport aux limites de référence.
- ✚ En 2005, des eaux plus acides et des valeurs en : Al, DBO5 et Mn au-dessus des normes.
- ✚ En 2010, un pH ne respectant pas les normes.
- ✚ En 2011, que cette rivière a des valeurs anormales en pH, DCO et en turbidité.

### c) Les eaux de ruissellement et d'infiltration

D'après les analyses du tableau 6, l'échantillon ER a :

- Des valeurs anormales pour le pH, la turbidité et la teneur en DBO5 par rapport aux normes françaises ;
- Une concentration en DCO et NH4+ supérieures aux limites françaises et gabonaises.
- Une teneur en oxygène dissous anormale selon le BRGM

L'échantillon EI a quant à lui :

- Un pH, une turbidité, une conductivité et une quantité en DBO5 anormaux selon la France ;
- Une concentration en DCO et en NH4+ supérieure aux limites françaises et gabonaises.
- Une teneur en oxygène dissous anormale selon le BRGM

Tableau 6 : Résultats des analyses des eaux de ruissellement et d'infiltration

Résultats des analyses d'eaux de ruissellement et d'infiltration					
Code d'échantillon		Eaux de ruissellement	Eaux d'infiltration	Normes	
Paramètres	Unités	ER	EI	NF 2007	NG 1993
Température	°C	25	24	25	
pH		5,95	3,65	6,5-8	
Conductivité	µs/cm	113	464	180-1000 à 20°C ou 200-1100 à 25°C	
Turbidité	NTU	3	24	1	
Eh	mV	253	531		
O <sub>2</sub> dissous	mg/l	7,76	7,33		
DCO	mg/l	112	130	30	30
DBO5	mg/l	13	18	7	20
MO	mg/l	38	44		
MES	mg/l	4,33	12	25	20
Ca	mg/l	4,17	2,73		
K	mg/l	0,117	0,24		
Mg	mg/l	2,62	2,14		
Na	mg/l	0,58	0,75	200	
SO <sub>4</sub>	mg/l	43	104	250	250
NH <sub>4</sub>	mg/l	0,3	0,6	0,1	0,05
NO <sub>3</sub>	mg/l	0,4	7,05	50	50
NO <sub>2</sub>	mg/l	<0,1	<0,1	0,5	1
PO <sub>4</sub>	mg/l	<0,8	<0,8		0,5
Cl	mg/l	4,5	7,5	250	200

Les analyses des métaux indiquent des concentrations élevées en :

- Mn, Al et Ni selon les normes définies dans le tableau 7 pour l'échantillon ER ;

- Fe, Mn, Al, Cu, Ni et Hg selon les deux normes pour l'échantillon EI.

Tableau 7 : Résultats des analyses des métaux des eaux de ruissellement et d'infiltration.

Analyse des métaux des eaux de ruissellement et d'infiltration					
Code d'échantillon		Eaux de ruissellement	Eaux d'infiltration	Normes	
Eléments	Unités	ER	EI	NF 2007	NG 1993
Fe	mg/l	0,1	2,66	0,2	0,5
Mn	mg/l	13118	4013234	50	50
Al	µg/l	287	87622	200	200
As	µg/l	1,73	7,61	10	50
Ba	µg/l	6	16	700	100
Cr	µg/l	<0,02	8,55	50	50
Cu	µg/l	8	154	2000	50
Cd	µg/l	<0,01	<0,01	5	5
Ni	µg/l	22,86	212,44	20	
Pb	µg/l	0,5	<0,12	10	50
U	µg/l	7	104		
Zn	µg/l	15,74	69	5000	500
Hg	µg/l	<0,01	3,01	1	1
B	µg/l	<0,5	<0,5	1000	1000

## VI. Interprétation et discussion

### • Bilan hydrique et suivi du bassin de perte

Le bilan hydrique montre que les différentes sources d'eaux d'entrée laverie sont très modifiées chimiquement à leur sortie. En effet, aucune source d'entrée laverie n'est chimiquement semblable aux eaux de sortie de laverie au regard des résultats. Les eaux de sortie de laverie renferment majoritairement les éléments tels que les  $\text{NO}_3^-$ , les MES, l'Al, Fe et Mn mais aussi des trace de plusieurs éléments (Hg, Zn, As, Pb...). Les eaux de Mbéressé renferment quant à elles les MES, le Ba, Al et le Fe, celles de Makima renferment le Mn, le Fe et l'Al, et celles bassin 4 sont constituées des éléments tels que les MES, les  $\text{NO}_2^-$ , Mn, Fe, Cr et de traces de As et Al. Certains éléments chimiques (Hg, Zn, Ni Pb...) présents dans les eaux de sortie sont absents dans les trois sources d'alimentation de la laverie. D'autres éléments comme le Ba présents dans la Mbéressé ainsi que le Cr et le  $\text{NO}_2^-$  présents dans les eaux du bassin 4 sont plus ou moins absents dans les eaux de sortie de laverie.

Signalons que les eaux de sortie laverie sont un mélange des trois sources d'entrée laverie citées précédemment avec des additifs nécessaire au processus de traitement du minerai. La présence de certains éléments chimiques dans les eaux de sortie laverie est sûrement due au contact des eaux d'entrée avec le minerai au cours du lavage car elle a la capacité de mettre en solution certains éléments chimiques qui rentrent dans la minéralogie du minerai (figures 14 et 15). En effet, les minéraux de manganèse (oxydes et hydroxydes comme les cryptomélanes ou lithiophorites) sont les piègeurs de métaux en surface. Ces métaux piégés sont alors libérés au cours du concassage du minerai puis lavage. Le Hg présent en sortie de laverie, proviendrait de la fraction fine du minerai. D'après le rapport SYSMIN et du BRGM de 2010, plus la fraction granulométrique du minerai est fine plus la teneur en Hg est forte (annexe 9). Ainsi en présence de ces fractions fines, elles se chargent en Hg. Au cours de sa trajectoire, l'eau circule sur différents types de formation géologique. A noter que les eaux de la région de Moanda sont relativement acides (pH=5 ou 6), ce qui pourrait favoriser les réactions de dissolution des cations de phase minérale et la mise en solution des éléments chimiques. Ce fait expliquerait la présence du Ba dans les eaux de Mbéressé et les quantités importantes en Mn de Makima en dehors de l'activité menée par COMILOG.

Suivant le temps de séjour de boue dans un bassin, certains éléments chimiques peuvent être mis solution. Les eaux de sortie de laverie sont très riches en  $\text{NO}_3^-$  par rapport aux eaux d'entrée mais, il est également important de signaler la présence de  $\text{NO}_2^-$  dans le bassin 4. Leur présence dans les

eaux peut être due à une origine naturelle ou anthropique. En effet, le minerai en provenance de la carrière est formé d'une gangue argileuse qui est éliminée au cours du traitement. Ainsi cette matrice argileuse peut-être à l'origine de la présence des nitrates et des nitrites dans l'eau. Les nitrates ont la capacité de s'adsorber et de se fixer sur les argiles. Autrement dit, les nitrates sont apportés dans le sol au travers de l'azote atmosphérique puis se transforme en nitrites selon le cycle de l'azote ci-dessous.

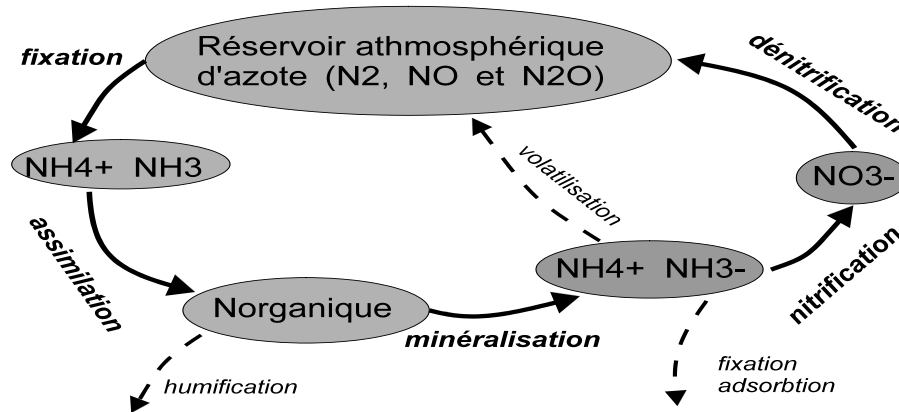


Figure 17 : Cycle de l'azote

Il sied de dire que les nitrates et les nitrites contenus dans ces deux milieux, peuvent-être d'origine anthropique par l'utilisation du floculant de type polyacrylamide (CH<sub>2</sub>=CH-CO-NH<sub>2</sub>). Ce floculant apporte l'ion ammonium qui suivant le cycle ci-dessus se transforme. Toutes les eaux d'entrée sont riches en matières en suspension. Celles-ci sont sûrement dues à la turbulence des cours d'eau qui au cours de leur passage arrachent des particules de nature minérale (argiles, sables) ou celles de nature organique (débris de végétaux, biomasse planctonique etc.). En revanche dans les eaux claires du bassin 4, la forte quantité de matière en suspension est due vraisemblablement à la mauvaise décantation des boues ou à une remobilisation des fines particules accumulées dans le bassin au cours de la période pluvieuse. La quantité de matières en suspension est réduite au niveau de l'atelier de grenue qui a pour rôle de séparer les boues des sables d'où la faible quantité de celle-ci en sortie de laverie. La quantité des autres paramètres chimiques (Ca, K, Cl...) dans les eaux d'entrée est plus ou moins identique de celle des eaux de sortie. Ces éléments ne jouent alors aucun rôle dans le traitement du minerai.

Les résultats du suivi du bassin de perte montrent que les concentrations en éléments métalliques analysés varient en fonction des semaines. Cela s'explique d'une part, du fait que ces eaux soient d'origines différentes, ce sont les eaux perdues au cours de différents processus de traitement auxquelles s'ajoutent les eaux de ruissellement et les eaux de pluies, d'autre part, par les conditions climatiques. Le mois de mai étant très pluvieux, ces concentrations sont diluées d'où ces faibles quantités. Mais lorsque la saison sèche approche, ces concentrations augmentent dans les eaux du bassin sûrement à cause du manque de diluant qui est l'eau de pluies.

- **Caractérisation des effluents**

Les eaux neuves du bassin 1200 et les eaux recyclées du bassin 2000 envoyées en laverie sont dans un état trouble, acide et influencés par les MES, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Mn et Hg (pour le bassin 2000).

A l'issue du traitement du minerai, les effluents de la laverie (EAG, SAG, MI, BP et ED) sont contaminées par les MES, le NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, le Mn et le Hg. Mais ces effluents sont traités en sortie laverie afin de réduire la quantité des matières en suspension et la concentration des éléments métalliques. Au bout de ce traitement, ce sont les eaux de sortie décanteur (SD) qui sont obtenues. Ces eaux n'ont aucune concentration anormale en métaux et en matières en suspension. Toutefois elles sont troubles,

acides et concentrées en  $\text{NH}_4^+$ . Elles sont normalement stockées dans le bassin 2000. Après traitement des eaux, les boues riches en eaux sont envoyées dans le bassin industriel 4.

Ces boues en entrée du bassin 4 (EB4) sont troubles et impures, elles contiennent des matières en suspension, du  $\text{NH}_4^+$  et du Mn anormalement élevés selon les normes. Ces boues sont traitées par le processus naturel de sédimentation. Les eaux obtenues (SB4) sont recueillies dans la partie aval du bassin 4. Elles sont acides, moins troubles et souillées en  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$  et Mn. Etant donné que le bassin 4 est doté d'un système de recyclage, ces eaux sont renvoyées dans le bassin 1200. De nos jours, COMILOG fonctionne normalement en circuit fermé en laverie. Certains anciens bassins normalement saturés, dont les exutoires qui devraient être clos sont utilisés de temps à autres. Les eaux de sortie du bassin 2 analysées montrent qu'elles sont troubles avec des impuretés de  $\text{NH}_4^+$ . Les parois des bassins industriels étant constituées de pisolites (matériels perméables), il y'a alors percolation, c'est le cas au bassin 3. L'analyse de ces eaux (BI3) indique qu'elles sont acides, moins troubles, et altérées par les concentrations de  $\text{NH}_4^+$ , de Mn, d'As et de Hg.

La présence du  $\text{NH}_4^+$  dans les eaux de procédé est soit d'origine anthropique (utilisation du floculat) ou naturelle (gangue argileuse du minerai) comme expliqué précédemment dans le bilan hydrique. La turbidité est due aux matières en suspension provenant du lavage du minerai ainsi que des concentrations en métaux (Mn, As et Hg).

Les eaux de Makima amont (M-A) et aval (M-AV) sont troubles, acides marquées par des concentrations anormales d'oxygène dissous, de  $\text{NH}_4^+$  et de Mn. Elles sont riches en amont en l'Al et en aval en le Hg. Makima amont est de type A1 avec une forte concentration de Mn alors que Makima aval est de type A1 avec une quantité importante de Mn et de Hg

Les eaux de la Miosso amont (MIOP-A) sont acides, troubles, elles sont influencées par des teneurs de DCO, d'oxygène dissous, de  $\text{NH}_4^+$ , de Fe et de Mn supérieures aux valeurs seuils. Les eaux de Miosso, aval sont également acides et troubles avec une insuffisance en oxygène dissous. Elles sont impures en  $\text{NH}_4^+$ , Mn et Hg. Miosso amont est de catégorie A1 avec une haute teneur de Fe et Mn. En revanche, Mosso aval est du genre A1 avec une forte concentration en Mn et en Hg.

Les eaux de la Mbéressé amont sont acides, perturbées et souillées par le  $\text{NH}_4^+$ , le Fe et l'Al. En aval, elles sont également perturbées et acides mais avec une insuffisance en oxygène dissous et des impuretés en Mn, Fe et Al. Mbéressé amont est de type A1 avec une forte concentration en Fe et Mbéressé aval est aussi de catégorie A1 mais avec de forte concentration en Fe, Mn et Hg.

La rivière Djouli prise comme milieu de référence présente une eau acide, trouble et altérée par la quantité de DCO, d'oxygène dissous et de  $\text{NH}_4^+$ . Etant donné que cette rivière est sur un plateau inexploité et non habité, la pollution constatée est très probablement d'origine naturelle. Ces eaux sont de type A1 avec une forte teneur de  $\text{NH}_4^+$  et de DCO. Bien que les eaux naturelles du plateau Bangombé, c'est-à-dire Makima et Mbéressé sont aussi de type A1 mais elles referment des fortes teneurs en éléments tel que le Mn et le Hg caractérisant l'activité de la COMILOG. Les résultats passés de Makima et Mbéressé montrent une persistance de l'altération de ces eaux par les paramètres caractérisant l'activité de la COMILOG.

Les eaux de ruissellement(ER) sont peu troubles et acides. Elles ont des quantités importantes de : DCO,  $\text{DBO}_5$ ,  $\text{NH}_4^+$ , Al, Ni et Mn. Ces eaux sont un mélange des eaux qui s'échappent de la nappe et celles qui ruissellent.

Les eaux d'infiltration (EI) sont acides, très conductrices et troubles. Elles referment de forte concentrations de : DCO,  $\text{DBO}_5$ ,  $\text{NH}_4^+$ , Fe, Mn, Hg, Ni, Cu et en Al. Ces eaux sont toutes deux de types A3.

## **VII. Relation entre l'exploitation minière et la qualité des sources naturelles évaluation des risques de contamination**

### **1- Relation entre l'exploitation minière et la qualité des eaux de Makima et Mbéressé**

Les eaux claires du bassin 4 issues de la décantation des boues de la laverie sont acides et possèdent des nuisances en Mn et en NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Les eaux du bassin 2000 ont quant à elles des impuretés en : MES, Hg, Mn et NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. La laverie fonctionne normalement en circuit fermé mais il subsiste des dysfonctionnements, au cours desquels, les eaux claires du bassin 4 (SB4) et celles du bassin 2000 sont rejetées de façon ponctuelle dans la rivière Makima en amont. Les analyses effectuées sur cette rivière en amont montrent des fortes teneurs en Mn, Al, et NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Ainsi ces eaux ont plus ou moins des impuretés semblables à ceux des eaux de la laverie. Il est néanmoins important de signaler que le lit de la rivière Makima est manganésifère et donc qu'une bonne partie de la quantité de ces éléments proviendrait de ces formations mais aussi des eaux de ruissellement. En aval de cette rivière, aux éléments anormaux trouvés s'ajoute le Hg, le Al est quant à lui absent.

Par gravité, les eaux de Makima se déversent dans la rivière Miosso. En amont du point de rencontre de Makima et Miosso, les eaux de cette rivière ont des quantités anormales de DCO, de Fe, de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> et de Mn. Miosso aval est constituée des teneurs importantes de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, de Hg, et de Mn qui sont caractéristique de Makima mais aussi de Miosso amont. Les eaux de Miosso se jettent dans la Mbéressé. Elle possède des concentrations anormales de Fe, Mn, Al et Hg. Ces éléments proviennent de Makima via la Miosso mais aussi de la Miosso amont et de Mbéressé amont renfermant du Fe, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> et Al à forte teneur. Les eaux de référence montrent que les eaux de la région sont naturellement acides et troubles avec une forte concentration en NH<sub>4</sub><sup>+</sup> et une activité biologique intense. Autrement dit, les eaux de la laverie ont sûrement un impact sur la qualité des eaux des deux rivières. Mais celles-ci peuvent être naturellement souillées par certains éléments comme le Mn et le NH<sub>4</sub><sup>+</sup> qui sont naturellement présent dans les cours d'eau.

Les activités menées par des populations en amont de Mbéressé et de Miosso peuvent aussi être de potentielles sources de dégradation de la qualité de l'eau de la Mbéressé. Les eaux de la Makima et la Mbéressé peuvent être utilisées comme eaux destinées à la production d'eau potable à condition qu'elles subissent un traitement physico-chimique intense, ce qui revient à une tâche difficile et coûteuse. La principale solution pour réduire le taux de Mn, Hg et NH<sub>4</sub><sup>+</sup> dans ces cours d'eau serait d'arrêter d'y rejeter les effluents de la laverie. L'autre solution serait de faire subir un traitement secondaire aux effluents de la laverie (eau du bassin 2000 et eau claires du bassin 4) avant de les renvoyer dans la Makima. En effet un filtre à sable ou planté de roseaux peuvent être placé en aval de ces bassins.

Il serait judicieux d'informer et de sensibiliser les populations environnantes car celles-ci l'utilisent comme eau de baignade, de lavage et par endroit comme eau de consommation. Les éléments nuisibles identifiés peuvent avoir un effet aussi bien sur la qualité des eaux mais aussi sur la faune et la flore aquatique. Les matières en suspension apportées par les eaux de ruissellement et de la laverie peuvent être d'une part à l'origine d'un dysfonctionnement écologique aquatique par un développement anormal du phytoplancton et par la réduction de la pénétration de la lumière dans les cours d'eaux. Ces éléments peuvent conduire d'une part à la modification, voir plus souvent, à une réduction importante de la biodiversité, d'autre part elle peut entraîner l'envasement du lit des cours d'eau.

Les eaux de percolation riche en NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, en Mn, en As, et en Hg peuvent avoir un impact sur le milieu récepteur. Autrement dit, il serait important de réduire la perméabilité des flancs de ce bassin.

Etant donné que cette solution ne peut plus être mise en place pour ce bassin, il serait nécessaire de l'appliquer pour les futurs bassins en mettant en place une géo-membrane sur les parois des bassins et à la base. Mais aussi de supprimer les exutoires non colmatés.

## 2- Evaluation des risques de contamination de la nappe

Les eaux de ruissellement sont un mélange des eaux météorites ruisselant sur le plateau et celles qui proviennent probablement d'une nappe dont les formations ont été taillées par la pelleuse pour la fabrication des gradins afin de faciliter l'extraction du minerai sur les bordures du plateau (figure 18). Ces eaux de la nappe s'échappent entre la couche minéralisée et la couche ampélique. A leur sortie, elles ruissellent sur un faciès ampélique puis rejoignent les canalisations dont le lit est constitué essentiellement de nodules de manganèse. L'analyse de ces eaux qui ruissellent indique ces eaux sont acides, peu troubles et caractérisées par des teneurs importantes de : DCO, DBO5, Al, Ni, Mn et NH4+. Mais ces eaux sont retenues dans des bassins de rétention afin de permettre qu'elles se déchargent avant leur infiltration. Dans ces bassins, les eaux sont plus ou moins modifiées. Elles se chargent encore plus. Les teneurs en DCO et DBO5 sont beaucoup plus élevées que dans les eaux de ruissellement. Elles sont très acides et très conductrices. Elles ont des concentrations très élevées en : Mn, NH4+, Al, Cu, Ni et Hg par rapport aux eaux de ruissellement. Ainsi, sur leur passage ces eaux se chargent beaucoup plus avant d'atteindre le bassin de rétention dont le lit est manganésifère.

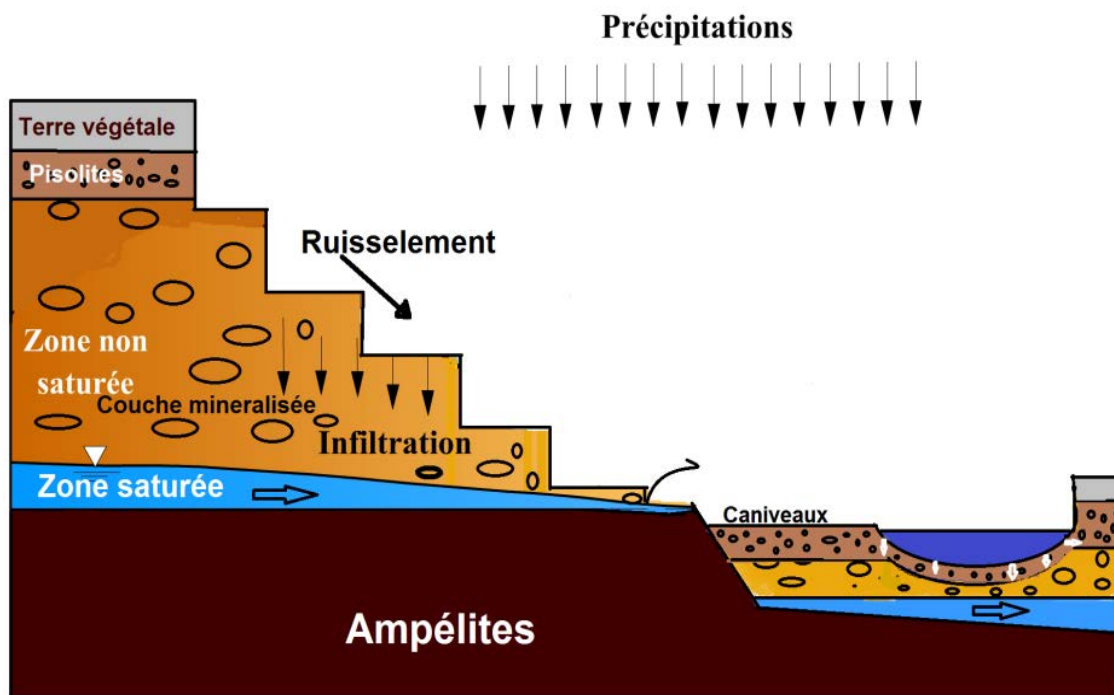


Figure 18 : Principe de fonctionnement d'une nappe.

Ainsi selon le principe de l'infiltration, les éléments nuisibles sont plus ou moins retenus au niveau de la zone non saturée de la nappe. Une certaine quantité de ces éléments peut s'infiltrer dans la zone saturée. En effet, au cours des hautes eaux, le niveau piézométrique augmente, ainsi les éléments retenus dans la zone non saturée sont récupérés et entraînés vers la zone saturée lors des basses eaux. Cependant, lorsque ces eaux trouvent un passage, elles peuvent aussi contaminer les cours d'eau récepteur. Il serait alors judicieux de faire une étude hydrogéologique approfondie dans cette zone de la carrière afin d'estimer les interactions potentielles entre les eaux d'infiltration et l'environnement hydrogéologique et mieux appréhender leur impact. La mise en place des piézomètres dans cette zone est nécessaire.

## Conclusion

En définitif, le bilan hydrique de la laverie montre qu'au cours du traitement du minerai, les eaux d'entrée sont chimiquement modifiées. En effet les eaux de sortie de laverie sont un mélange des eaux de trois sources d'une part, d'autre part elles renferment les additifs indispensables au processus de la laverie (Ferro-silicium, floculant et les éléments chimiques mis en solution suite au lavage du minerai). Ainsi chimiquement, les eaux d'entrée laverie : la Makima amont, la Mbéressé amont et les eaux claires du bassin 4 sont différentes de celles de sortie de laverie. Ces eaux de sortie de laverie sont traitées et recyclées dans le décanteur.

Le suivi des eaux du bassin de perte montre quant à lui que la qualité de ces eaux varie en fonction des semaines. Au fur et à mesure que s'approche de la saison sèche les concentrations en éléments métalliques augmentent. Les eaux de pluies peuvent être considérées comme un facteur diluant pour ce bassin.

Les activités minières menées en amont de la rivière Makima et Mbéressé ont une relation avec la qualité des eaux de ces rivières. En effet la Makima renferme des teneurs anormales en Mn, Hg, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> et Al caractéristique de l'activité de la COMILOG d'une part, et d'autre part, ces éléments peuvent être d'origine naturelle car le lit de cette rivière est manganésifère. Par lessivage des sols, les eaux de ruissellement peuvent contribuer aussi à l'apport de ces éléments. Etant donné que la rivière Mbéressé reçoit les eaux de la Makima via la rivière Miosso, celle-ci hérite aussi de ces éléments en aval, auxquels s'ajoute ceux provenant de l'amont. La qualité des eaux de ces deux cours d'eau ont plus ou moins une relation avec l'exploitation minière du plateau Bangombé d'après les normes et la qualité des eaux de la rivière Djouli. Malgré la mise en place des bassins industriels les rivières Makima et Mbéressé enregistrent suivant les années une altération de leur eau par certains paramètres avec une amélioration au cours de certaines années. Pour limiter le taux de ces éléments nuisibles dans les cours d'eau, il serait judicieux de mettre un filtre à sable ou planté de roseaux ayant un bon rendement en abattement des métaux et un faible coût en entretien ou d'arrêter d'injecter les effluents de la laverie dans la Makima.

Les eaux de la nappe en carrière sont menacées par les eaux riches en Mn, Al, Ni, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, DBO<sub>5</sub> et DCO qui ruissellent; celles riches en Mn, Fe, As, Al, Cu, Ni, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, SO<sub>4</sub>, DBO<sub>5</sub> et DCO qui s'infiltrent du fait de la perméabilité du lit du bassin. Il serait important de faire une étude hydrogéologique poussée lorsque la mise place des piézomètres sera terminée afin d'estimer les interactions potentielles entre les eaux d'infiltration et l'environnement hydrogéologique et mieux appréhender leur impact.

## Bibliographie

### LIVRES

Anicet Beauvais, 1984. Concentrations manganésifères latéritiques. Etude pétrologique de deux gites sur roches sédimentaires précambriennes. Gisements de Moanda(GABON) et Azul), thèse du 3<sup>ème</sup> cycle, Poitiers 156 pages.

B.Coste et C.Castagnac ,2010. Evaluation des gisements de Bangombé et Okouma. Rapport final BRGM 91 pages

Code de l'Environnement 1<sup>er</sup> Edition, 1993, 124 pages.

Francis WEBER, 1968. Une série précambrienne du Gabon : Le Francevillien, sédimentologie, Géochimie, relations avec les gites minéraux associés. Mémoire docteur ès-sciences, Strasbourg, 328 pages

Georges AZZILEY AZZIBROUCK, 1986 Sédimentologie et géochimie du Francevillien B (protérozoïque inférieur).Métallogénie des sédiments de manganèse de Moanda (Gabon), thèse du 3<sup>ème</sup> cycle, Strasbourg, 188 pages.

Jacques Laversanne et al, 2004.Réhabilitation des sites. Mémento des mines et carrières. Nouvelle édition, Paris 327 pages.

Laurent L'HUILLIER, Tanguy Jaffré et Adrien WULFF, .2010.Mines et Environnement en Nouvelle-Calédonie : Les milieux sur substrats ultramafiques et leur restauration. Edition IAC, Nouméa, Nouvelle-Calédonie, 412 pages.

### SITES INTERNET CONSULTES

<http://www.redebel.be/fr/espaces-verts/hydroseeder/> consulté le 21/05/2012

[http://www.gesrim.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=63&lang=fr](http://www.gesrim.com/index.php?option=com_content&view=article&id=63&lang=fr) consulté le 1<sup>er</sup> juin

[http://www.eramet-comilog.com/index.php?l\\_entreprise](http://www.eramet-comilog.com/index.php?l_entreprise) consulté le 24/03/2012

[http://www.brgm.fr/brgm/Fichiers/rapports\\_SP/2010/cas/EAU\\_7\\_V2.pdf](http://www.brgm.fr/brgm/Fichiers/rapports_SP/2010/cas/EAU_7_V2.pdf) consulté le 10/07/2012

<http://mediterraneen.crdp-aix-marseille.fr/mediter1/quali2.htm>

Consulté le 15/07/2012

<http://www.u-picardie.fr/beauchamp/cours.qge/pol-sout/pol-sout.htm> consulté le 21/07/2012

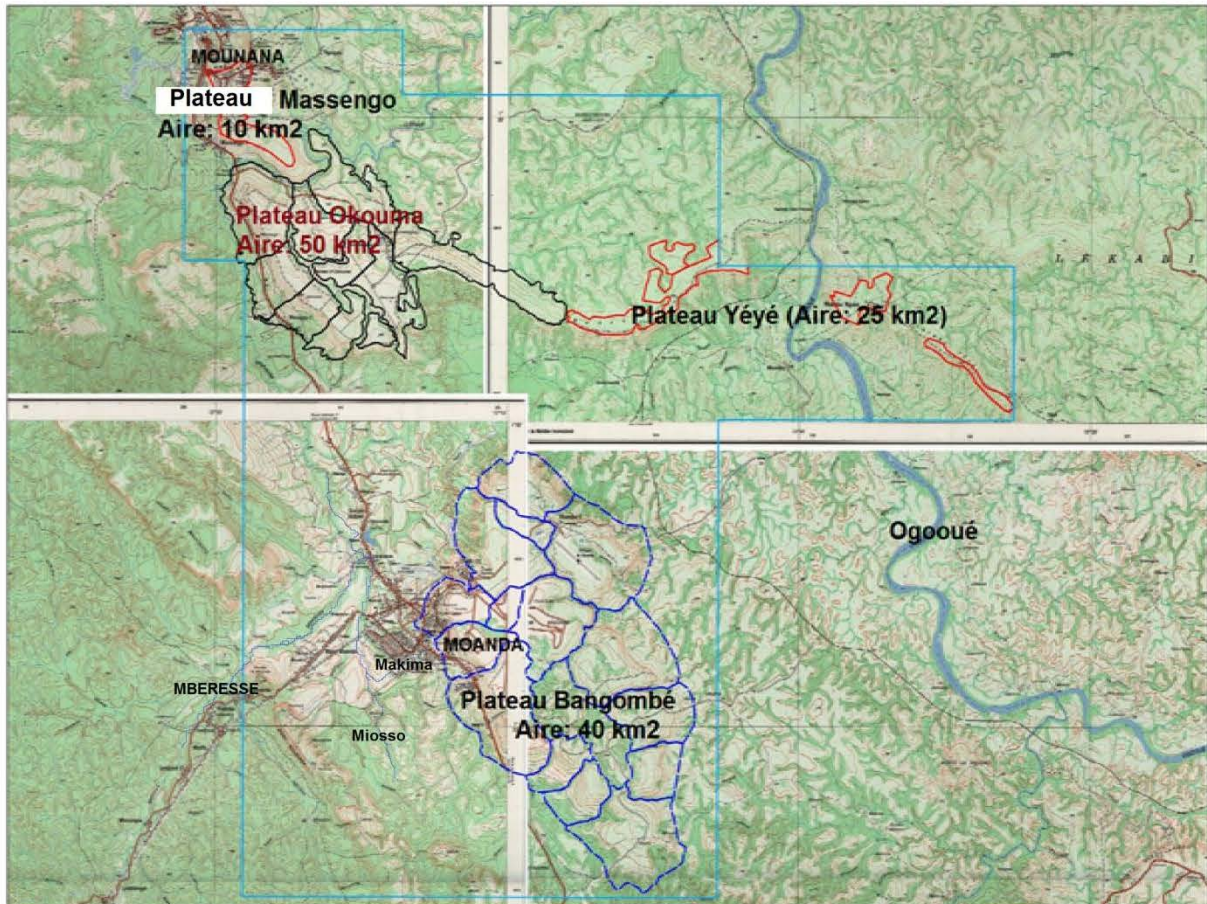
<http://www.senat.fr/rap/102-215-2/102-215-252.html> consulté le 10/07/2012

<http://www.lyonnaise-des-eaux.fr/developpement-durable/agir-developpement-durable/industriels-et-grandes-infrastructures> consulté le 9/07/2012

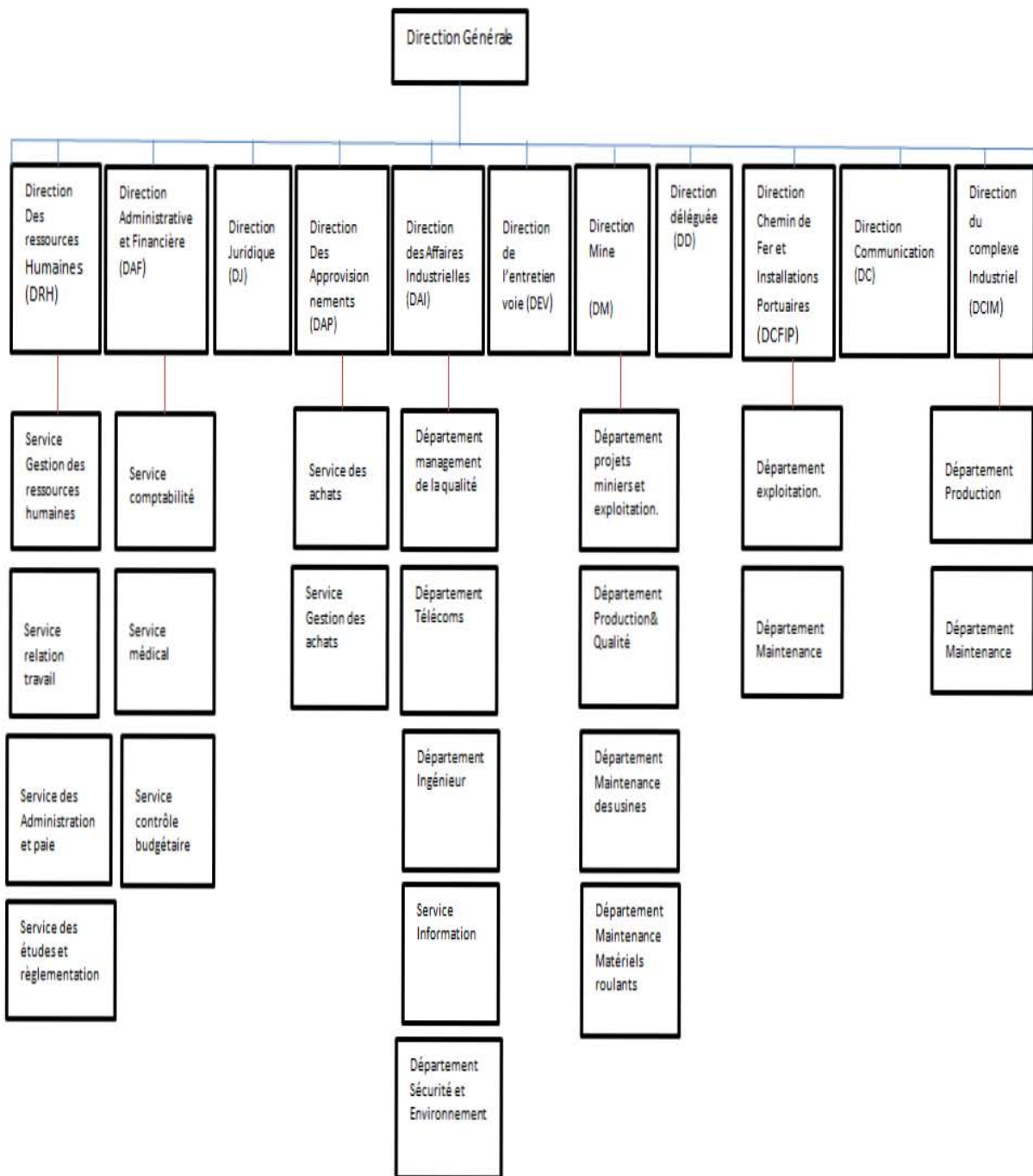


## Annexes

### Annexe 1 : Carte des quatre plateaux du gisement de manganèse de moanda



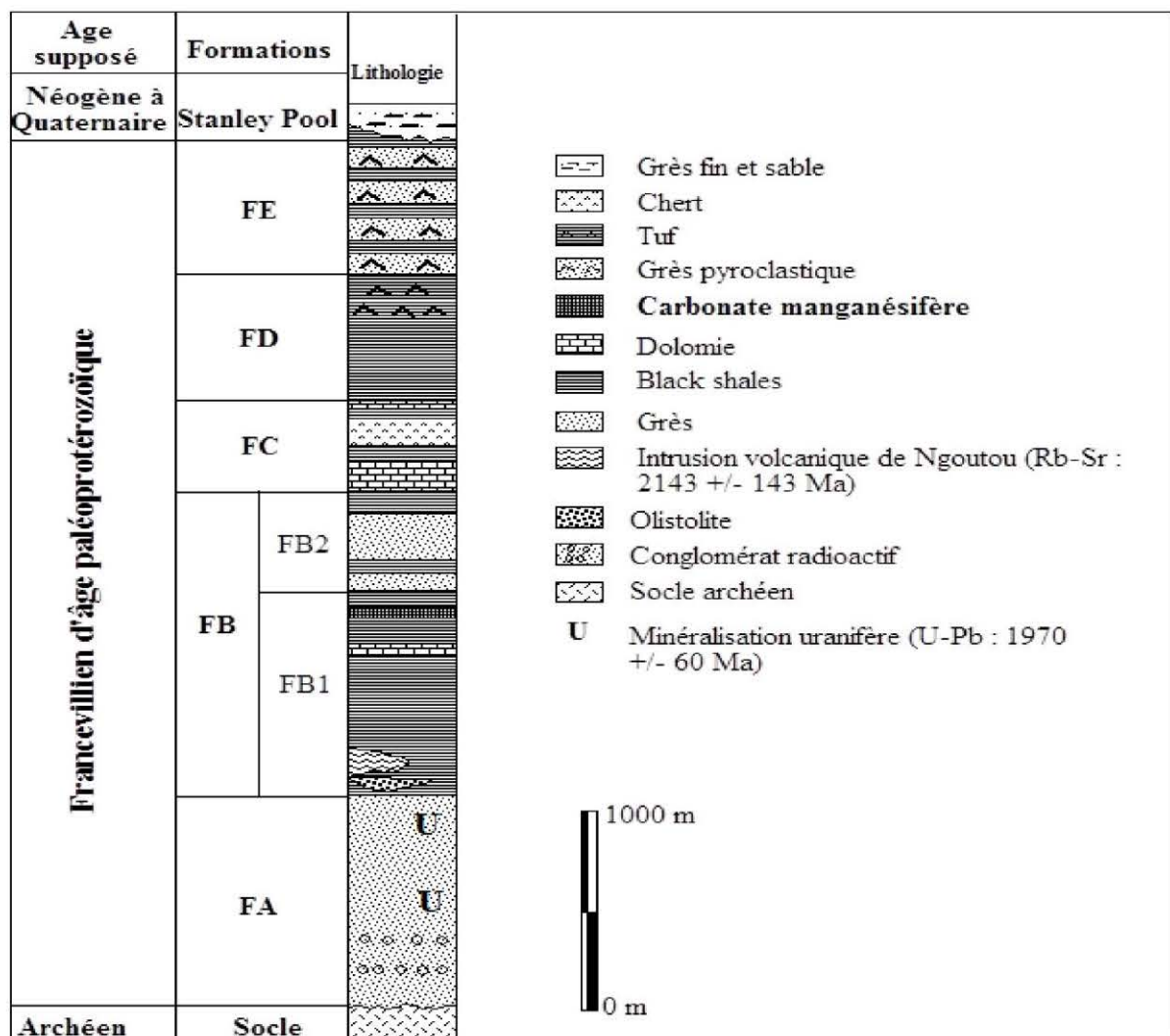
## Annexe 2 : Organigramme général de la COMILOG



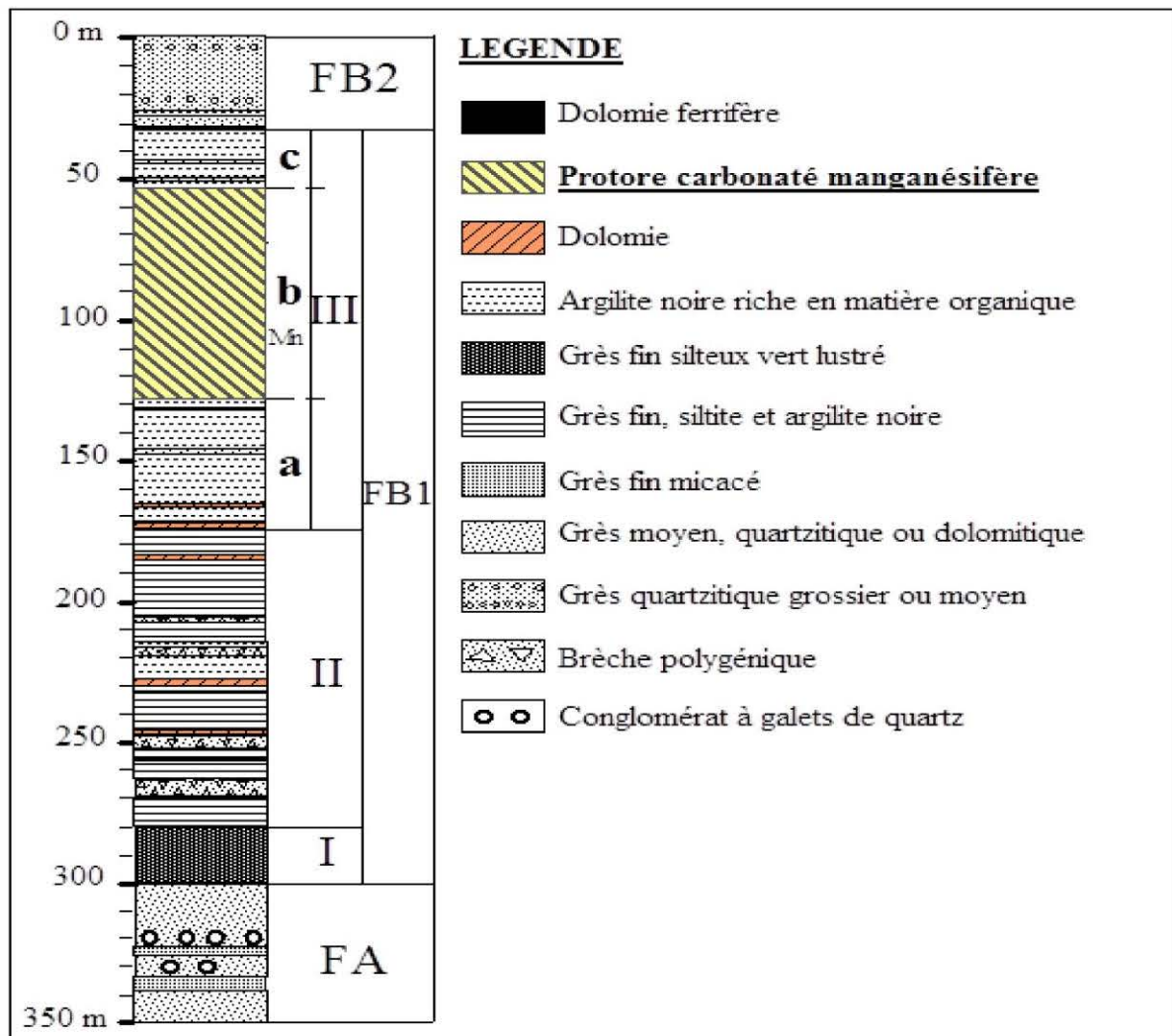
Annexe 3 : Carte hydrographique du Gabon



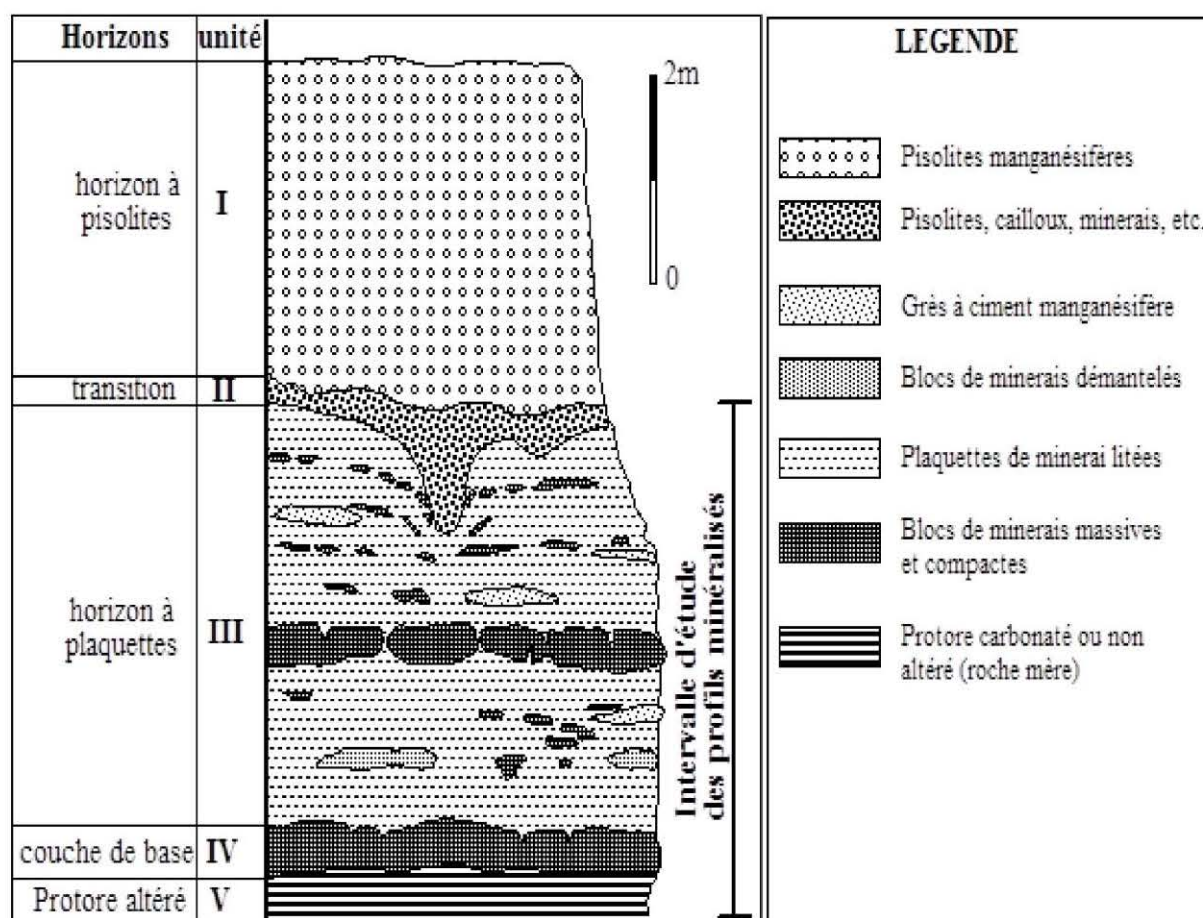
## Annexe 4 : Colonne stratigraphique du Francevillien sédimentaire



## Annexe 5: Position du minerai de manganèse dans la colonne stratigraphique du Francevillien



## Annexe 6 : Les différents niveaux du gisement de manganèse de Moanda



**Annexe 7 : Technique d'exploitation en gradins.**



## Annexe 8: Résultats de Makima et Mbéressé des années antérieures.

Lieu de prélèvement		Makima				Mbéressé			
Paramètres	Unités/ Années	2002	2005	2010	2011	2002	2005	2010	2011
<b>Paramètres in situ</b>									
Température	°c	25	*	24,4	24,8	25		22,3	21,8
pH		6,85	6,01	6,25	5,7	6,71	6,68	6,27	5,88
Conductivité	µs/cm	*	*	11	9,54	*	*	26,1	20,5
Turbidité	NTU	*	*	0,61	1,28	*	*	20,15	19,8
EH	mV	*	*	330	231	*	*	174,1	230,6
TDS	mg/L	*	*	5,8	5,08	*	*	14	10,09
Oxygène dissous	mg/l	*	*	8,97	7,49	*	*	10,52	5,05
<b>Paramètres physico-chimiques</b>									
MES	mg/L	<1	3	2	4,4	36,4	11	25	8,8
Al	mg/L	<1	0,23	0,055	0,0206	<1	0,01	0,156	0,107
As	mg/L	*	0,01	<0,00002	<0,00002	*	0,01	<0,00002	0,01
Ba	mg/L	*	*	<0,00002	<0,00001	*	*	0,0239	0,0131
Cr	mg/L	<10	0,01	0,019	0,00014	<10	0,01	0,0045	0,0017
Cu	mg/L	1	0,01	<0,0001	0,00126	1	0,01	<0,0001	0,00246
Cd	mg/L	<5	0,01	<0,00001	<0,00001	<5	0,01	<0,00001	<0,00001
Fe	mg/L	0,12	0,2	0,03	<0,03	2,6	0,01	0,0012	1,02
Mn	mg/L	1,13	0,84	0,03	0,0375	0,089	0,1	0,053	0,047
Ni	mg/L	<10	0,01	0,002	0,00024	60	0,01	0,0004	0,00203
Pb	mg/L	<10	0,01	<0,00012	0,00032	<10	0,01	<0,00012	0,00052
Zn	mg/L	95	0,02	0,0012	0,00146	7	0,04	0,0028	0,00856
U	mg/L	*	*	<0,00003	0,00054	*	*	0,0024	0,00087
Hg	µg/L	<1	*	<0,01	0,09	<1	*	<0,01	<0,01
Co	mg/L	*	*	0,00001	*	*	*	<0,00001	*
<b>Ions</b>									
NO3	mg/L	*	*	*	< 0,1	*	*	*	< 0,1
NO2	mg/L	*	*	*	< 2,5	*	*	*	< 2,5
NH4	mg/L	*	*	*	0,9	*	*	*	1,3
PO4	mg/L	*	*	*	< 0,8	*	*	*	< 0,8
<b>Matière organique</b>									
DBO5	mg/L	52	406	2	8	42	32	4	7
DCO	mg/L	120	24	5	196	80	32	12	162



## Annexe 9: Répartition de Hg en fonction de la granulométrie pour B7 Bangombé

Estimation des teneurs de Hg (ppm)				
Granulo	Minimum	maximum	moyenne	écart-type
Gr 2-5	0,7	4,78	2,63	0,59
Gr 5-10	0,64	4,13	2,42	1,06
Gr 10-20	0,87	3,75	1,96	0,04
Gr >20	0,37	2,66	1,34	0,19