



REPUBLIQUE DU SENEGAL

\*\*\*\*\*

Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation

\*\*\*\*\*

UNIVERSITE DE THIES

\*\*\*\*\*

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'AGRICULTURE (ENSA)-Thiès

\*\*\*\*\*

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

**Thème : Contribution à l'étude d'impact des activités aurifères (Traditionnelles)  
sur la qualité de l'eau de la Falémé**

Présenté et soutenu publiquement le 12 Juillet 2019 par :

**M. Daouda BA**

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome

Spécialisation : Génie Rural

Devant le Jury :

Pr. Ibrahima DHIEDHIOU Directeur de l'ENSA

Président

Mme Dior DIARRA DIALLO enseignant au département du GR

Encadreur

Dr. Lamine NDIAYE Directeur de la DEDD/HC-OMVS

Membre

## Dédicaces

Gloire à Dieux qui créa de l'eau toute choses vivantes.

Paix et salue sur le sceau des Prophètes.

Je dédie ce travail à :

Mon défunt père qui nous a quitté le 30 Avril dernier et qui de son vivant n'a ménagé aucun effort pour notre réussite, que son âme repose en paix.

Ma mère Maimouna SOW symbole de l'endurance et de la bonne humeur.

Mon frère Thierno et son épouse Aminatou FALL BA pour leur soutien et hospitalité

Mes frères et sœurs pour leur soutien constant

Mes amis du village : Abdou KA, Sidy SOW, Oumar Ka, Oumar Thiané KA, ABO Pathé KA, etc.

A tous ceux qui de près ou de loin m'ont toujours assisté

## Remerciements

Ce mémoire est le fruit d'un travail de dur labeur avec le concours de plusieurs personnes. Je me dois de leur témoigner ma gratitude. Mes remerciements vont particulièrement à l'endroit de :

- ◇ **Pr Ibrahima DIEDHIOU**, directeur de l'ENSA pour la qualité de la formation à travers lui nous remercions tout le personnel de l'ENSA ;
- ◇ **Dr. Lamine NDIAYE** directeur de la Direction de l'Environnement et du Développement Durable de l'OMVS, pour nous avoir donné l'opportunité d'effectuer ce stage. A travers lui nous remercions tout le personnel de l'OMVS ;
- ◇ **M. Magatte WADE**, chef du département Génie Rural pour ses orientations et sa disponibilité permanente, sa présence à nos coté nous à beaucoup dans notre formation ;
- ◇ **M. Mohamed AG ATTAHER**, pour son encadrement sur le terrain ;
- ◇ **Mme Dior DIARRA**, pour son encadrement, sa disponibilité, ses recommandations, et ses conseils merci de nous avoir fait bénéficier de ton expérience ;
- ◇ **M. Daouda SOW**, enseignant au département du Génie Rural pour sa grande contribution dans notre formation et ses recommandations pour la finalité de ce document ;
- ◇ **M. Papa Saer WADE**, enseignant au département du Génie Rural, ses orientations et conseils pertinents ont été d'une grande importance dans la réalisation de ce travail ;
- ◇ **Dr. Ing Abdoul Aziz GNIGUE** pour son soutien permanent et ses conseils. Il a été à l'amont et l'aval de ce travail ;
- ◇ **M. Pathé DIEYE**, directeur de la direction de l'environnement et de établissements classés de la région de Kédougou par sa disponibilité il nous a fourni des moyens matériel et financier pour la réussite de la phase de terrain (Véhicule de transport). A travers lui nous remercions tout le personnel de ladite direction,
- ◇ **M. Abou SOW** ingénieur Géologue adjoint au directeur du service des mines et de la géologie de Kédougou par son accompagnement sur la collecte des données de terrains.
- ◇ **Aux autorités communales**, pour leur collaboration pendant les missions de terrain ;
- ◇ **Aux orpailleurs** ayant collaboré, pour leur disponibilité pendant les enquêtes ;
- ◇ **A la famille ENSA**, merci infiniment à tous les étudiants, et à toutes les promotions confondues particulièrement à la 33ième. Vous m'avez servi de compagnie, de frères, de sœurs, de confidents. Vos qualités humaines intrinsèques m'ont permis de vous garder dans mon cœur pour toujours .....

## Résumé

Le Sénégal connaît ces dernières années un développement progressif du secteur minier occupant ainsi une place importante sur les produits exportés depuis 2015. Ce secteur est caractérisé par la coexistence de l'exploitation industrielle et de l'exploitation artisanale de l'or ou orpaillage. L'orpaillage se fait sur plus de 1200 sites répartis principalement dans la région de Kédougou. Il occupe plus de 80% des personnes vivant dans cette région. C'est la principale activité de ces populations locales surtout en saison sèche et il contribue fortement aux budgets communaux soit 86,6 milliards en 2018. Toutefois, cette activité implique l'utilisation de produits chimiques toxiques tels que le mercure et le cyanure. Cette étude menée sur les sites de Moussala, Kolia, et Saensoutou dans le département de Saraya consiste à caractériser l'impact de l'orpaillage sur la qualité de l'eau de la Falémé. Pour l'atteinte de cet objectif, des entretiens, des enquêtes et des observations ont été faites en vue de s'assurer de l'utilisation des produits chimiques et du devenir des rejets issus de cette utilisation. En outre, des échantillons d'eaux ont été prélevés pour évaluer leurs teneurs en paramètres physiques et chimiques.

Il ressort de cette étude que le mercure et le cyanure sont effectivement utilisés sur les sites d'orpaillage à des doses non réglementées. Le mercure est plus utilisé sur les sites de Kolia et Moussala où il est utilisé par tous les orpailleurs, quant au cyanure il est utilisé sur le site de Saensoutou occupé majoritairement par les burkinabés.

**Mots clefs :** Falémé, mercure, cyanure, qualité de l'eau, Orpaillage

## Abstract

Senegal has in recent years a progressive development of the mining sector thus holds an important place on the products exported from 2015. This sector is characterised by the coexistence of industrial exploitation and the artisanal gold mining or panning for gold. Gold panning is done on more than 1,200 sites mainly in the Kédougou region. It occupies more than 80% of people living in the region. It is the main activity of these local populations, especially in the dry season and it strongly contributes to municipal budgets or 86.6 billion in 2018. Whenever this activity involves the use of toxic chemicals such as mercury and cyanide. This study on the Moussala, Kolya, and Saensoutou sites in the Saraya Department is to characterize the impact of mining on the quality of the water of the Faleme. To achieve this goal, interviews, surveys and observations have been made to ensure the use of chemicals and the future of the releases from this use. In addition, water samples were taken to assess their levels of physical and chemical parameters

were taken to assess their levels of physical and chemical parameters is from this study that the mercury and cyanide are actually used on the sites of the studies in non-regulated doses. Mercury is more used on Kolya and Musala sites where it is used by all the miners, as cyanide used on busy Saensoutou site mainly by the Burkina Faso the comments on the sites showed that mining activity using large volumes averaging 600 l per day for each unit of ore washing and from sludge of activity are all drained to the Faleme River. Also studied water points reveal levels of cation and anion standards guidelines established by the who for drinking water. However, they show levels of dry materials largely higher than the who standards. The diagram of Wilcox and the HRH method show the Faleme river water is able to irrigate most of the crops.

**Key words:** Mercury, cyanide, gold washing, water quality.

## **Sigles et Abréviations**

<b>ANSD</b>	Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie
<b>CE</b>	Conductivité Electrique
<b>DGPRE</b>	Direction de la Gestion et de la Planification des Ressources en Eau
<b>DEEC</b>	Direction de Eaux et Etablissement Classés
<b>DRMG</b>	Direction Régionale des Mines et de La Géologie
<b>ENSA</b>	Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture
<b>INERIS</b>	Institut Nationale de l'Environnement Industriel et des Risques
<b>IRD</b>	Institut de Recherche pour le Développement
<b>IPEN</b>	International Pops Elimination Network
<b>KWh</b>	Kilo Watt heure
<b>NF</b>	Normes Françaises
<b>NSF</b>	National Sanitation Fondation
<b>OMVS</b>	Organisation pour la Mise en Valeur du Fleuve Sénégal
<b>OMS</b>	Organisation Mondiale de la Santé
<b>PNUE</b>	Programme des Nations Unies pour l'Environnement
<b>RGPHAE</b>	Recensement Général de la Population et de l'Habitat
<b>SAR</b>	Sodium Absorption Ratio
<b>SETAC</b>	Society of Environmental Toxicology and Chemistry
<b>SRMG</b>	Service Régionale des Mines et de la Géologie
<b>UCAD</b>	Université Cheikh Anta Diop Dakar

**WQI**

Water Quality Index

## Table des matières

<b>Dédicaces</b> .....	1
<b>Remerciements</b> .....	2
Résumé .....	3
Abstract .....	4
<b>Sigles et Abréviations</b> .....	5
<b>Liste des figures</b> .....	11
INTRODUCTION GENERALE.....	12
Chapitre 1 : Présentation, OMVS, région de Kédougou et la Falémé .....	15
1.1. Présentation de l'OMVS.....	15
1.1.1. Cadre institutionnel .....	15
1.1.2. Cadre juridique .....	15
1.1.3. Missions de l'OMVS.....	16
1.1.4. Réalisation de l'OMVS .....	16
1.2. Le bassin de la Falémé un écosystème vitale et vulnérable.....	16
1.2.1. Présentation de la région d'étude .....	16
1.2.2. Eaux de surface et les eaux souterraines .....	17
1.2.3. Ressources minières de la région .....	18
1.2.4. Economie de la région.....	19
1.2.5. Présentation de la Falémé.....	20
1.2.6. Caractérisation physiographique des bassins versant de la Falémé .....	21
1.2.7. Analyse du régime hydrologique de la Falémé.....	22
1.2.8. Caractéristiques des écoulements de Surface .....	22
1.2.9. Ressources mensuelles en eau disponible sur la Falémé aux stations hydrométriques de Kidira, Goubassi et Fadougou.....	24
1.2.10. Régime d'écoulement de la Falémé.....	25



1.2.11. Bilan hydrologique de la Falémé aux stations de Kidira, Gourbassi et Fadougou	25
1.2.12. Géologie de la Falémé .....	26
1.2.13. Végétation de la Falémé .....	26
1.2.14. Sols de la Falémé .....	26
Chapitre 2 : Généralités sur la qualité et la pollution des eaux des surfaces.....	29
2.1. Généralités sur la qualité de l'eau.....	29
2.1.1. Potabilité de l'eau.....	29
2.1.2. Paramètres physiques .....	30
2.1.3. Paramètres chimiques.....	32
2.2. Généralités sur la pollution des eaux de surface.....	32
2.2.1. Définition des concepts .....	32
2.3. Milieux récepteurs autorisés au Sénégal .....	33
2.4. Principales sources de pollution dans la Falémé .....	33
Chapitre 3 : méthodes d'exploitation artisanale, produits utilisés et leurs conséquences sur l'environnement dans le bassin de la Falémé.....	35
3.1. Définition de quelques concepts .....	35
3.1.1. Orpaillage .....	35
3.1.2. Exploitation artisanale.....	35
3.1.3. Orpaillage mécanisé .....	35
3.1.4. Mine artisanale .....	35
3.1.5. Couloir d'exploitation artisanale :.....	36
3.2. Modes d'exploitation de l'or dans le Bassin de la Falémé .....	36
3.2.1. Exploitation alluvionnaire à ciel ouvert .....	36
3.2.2. Exploitation éluviale en profondeur .....	37
3.2.3. Le dragage .....	37
3.3. Produits utilisés.....	38
3.4. Conséquence de l'orpaillage sur les écosystèmes .....	40

3.4.1. Dégradation des sols et risques pour l'agriculture .....	40
3.4.2. Dégradation de la qualité des eaux de surfaces par les matières en suspension	40
3.4.3. Dégradation de la Végétation .....	40
3.4.4. Dégradation des cours d'eaux .....	41
3.5. Risques pour le bétail .....	42
3.6. L'orpillage source de maladies .....	42
3.7. conséquences du mercure .....	43
3.8. Conséquences de l'exposition au cyanure .....	43
Conclusion.....	43
Chapitre 4 : Matériel et méthodes .....	45
4.1. Choix des sites d'études .....	45
4.2. Echantillonnage .....	46
4.2.1. Mode de prélèvement .....	47
4.2.2. Conditionnement et transport .....	47
4.2.3. Matériels et appareillages d'analyses .....	47
4.3. Méthodes d'analyse physicochimiques .....	47
4.3.1. Analyse des paramètres physiques .....	48
4.3.2. Analyse chimique .....	49
4.4. Critères d'appréciation de la qualité de l'eau .....	50
Chapitre 5 : interprétations des résultats d'analyses. ....	52
5.1. Interprétation des paramètres physique de l'eau de surface de la Falémé.....	52
5.1.1. Température .....	53
5.1.2. Le potentiel hydrogène (pH) .....	53
5.1.3. Conductivité électrique .....	54
5.1.4. Turbidité .....	55
5.1.5. Matières en Suspension (MES).....	56
5.2. Interprétation des paramètres chimiques .....	57

5.2.1. Les cations.....	57
5.2.2. Les anions.....	59
5.3. Faciès hydrogéochimiques de l'eau de surface de la Falémé.....	62
5.4. Aptitude de l'eau de la Falémé à l'irrigation.....	63
5.4.1. Méthode du SAR.....	64
5.4.2. Diagramme de Wilcox.....	66
Conclusion.....	67
Conclusion générale.....	68
Recommandations.....	68
Bibliographie.....	71
Annexes.....	73
Annexe1 : Méthodes d'analyses physico-chimiques des échantillons d'eau collectés.....	73
Annexe2 : les différentes formes de mercures présents dans l'environnement.....	75
Annexe3 : Toxicité des composés cyanurés.....	77
Annexe4 : Questionnaire aux orpailleurs.....	78

### Liste des tableaux

<b>Tableau i :</b> Paramètres physiographiques des bassins versants (D (m) dénivelée ; Ds (m) dénivelée spécifique).....	22
<b>Tableau ii :</b> Inventaire des données hydrologiques disponibles.....	22
<b>Tableau iii :</b> Caractéristiques statistiques des débits moyens mensuelles de la Falémé.....	24
<b>Tableau iv :</b> Débits mensuels moyens et extrêmes (m <sup>3</sup> /s) de la Falémé aux stations hydrométriques de Kidira, de Goubassi et de Fadougou.....	25
<b>Tableau v :</b> Volumes d'eaux écoulées aux stations hydrométriques de Kidira, de Goubassi et de Fadougou.....	26
<b>Tableau vi :</b> Paramètres physiques mesurés et types d'appareils utilisés.....	47
<b>Tableau vii :</b> Normes WQI pour l'eau potable.....	50
<b>Tableau viii :</b> Normes OMS pour l'eau potable.....	51
<b>Tableau ix :</b> Principales caractéristiques physico-chimiques du mercure.....	38
<b>Tableau x :</b> Propriétés physico-chimiques du Cyanure de Sodium.....	39
<b>Tableau xi :</b> Résultats d'analyses physico-chimiques des points d'eaux étudiés.....	52
<b>Tableau xii :</b> classification des eaux selon la conductivité.....	54

Tableau xiii : classes de turbidité.....	55
Tableau xiv : classification des eaux par niveau d'aptitude à l'irrigation par la méthode du S.A.R.....	64
Tableau xv : Classification globale de la salinité des eaux.....	64
Tableau xvi : classification des eaux par degrés d'aptitude d'irrigation .....	65

### Liste des figures

Figure I: Carte découpage administratif de la région de Kédougou (source ANSD).....	17
Figure II: Carte réseau hydrographique de la région de Kédougou (source : CR Kédougou)	18
Figure III: Carte des zones cultivées de la région de Kédougou (Source : DRDR Kédougou) .....	19
Figure IV: Carte Bassin versant de la Falémé.....	21
Figure V: carte de géolocalisation du site d'orpaillage de Moussala .....	45
Figure VI: Carte géolocalisation du site d'orpaillage de Kolia .....	46
Figure VII: courbe d'évolution des températures dans la Falémé.....	53
Figure VIII: Diagramme du pH des points d'eaux étudiés .....	54
Figure IX : diagramme du CE des échantillons d'eau prélevées .....	55
Figure X: Diagramme de la turbidité des points d'eau étudiés .....	56
Figure XI: Diagramme de teneurs en MES des points d'eau étudiés .....	56
Figure XII : Diagramme du Ca <sup>2+</sup> de l'eau de la Falémé .....	57
Figure XIII : Diagramme du Mg <sup>2+</sup> des échantillons .....	57
Figure XIV : diagramme des ions de Na <sup>+</sup> des échantillons.....	58
Figure XV : Diagramme des ions K <sup>+</sup> de l'eau des échantillons .....	59
Figure XVI : diagrammes de chlorure des points d'eau étudiés.....	59
Figure XVII : diagramme bicarbonate des points d'eau étudiés .....	60
Figure XVIII : Diagramme des nitrates des points d'eau étudiés .....	61
Figure XIX : Diagramme de sulfates des points d'eau étudiés.....	61
Figure XX : Diagramme de Piper de l'eau de la Falémé à Kolia et Moussala .....	63
Figure XXI : Diagramme du S.A.R des points d'eau étudiés .....	66
Figure XXII : Diagramme de Wilcox appliqué à l'eau du bassin de la Falémé.....	67
Figure XXIII : Hydrolab Quanta-D .....	73
Figure XXIV : Turbidimètre de Laboratoire.....	74
Figure XXV : Dispositif de mesure de MES.....	74
Figure XXVI : DIONEX appareil de mesure ionique des anions et cations.....	75

## INTRODUCTION GENERALE

La terre appelée planète bleue est essentiellement constituée de ressources en eau clairement visibles depuis l'espace. Elles occupent 70% de la surface du globe (Planète Viable, 2013) dans des proportions d'environ 97,5% d'eau salée et 2,5% d'eau douce. Une partie importante de cette eau douce se trouve sous forme de glace ou dans des aquifères qui sont soit inaccessibles soit non renouvelables. Dans le monde, la rareté grandissante de l'eau douce, à la fois limitée, vitale (adduction en eau potable, agriculture, élevage...), et vulnérable (changement globaux), compromet de plus en plus la possibilité d'un développement écologiquement rationnel et durable (Aquaduc, s.d.). La situation est-elle qu'il devient de plus en plus difficile de trouver, dans beaucoup de pays des ressources en eau répondants aux normes de consommation humaine et adéquates au développement de l'agriculture.

En Afrique, la vulnérabilité des ressources hydriques se fait sentir davantage que les autres contrées du monde en raison de nombreuses épisodes climatiques qui ont frappé le continent telle la sécheresse des années 1970 qui s'est poursuivie jusqu'au début des années 1990 et qui ont fortement influé sur les ressources en eau douces dans les pays du sahel. Pour répondre à la situation délétère qui a suivi les changements globaux du climat, les Etats du Sénégal, de la Mauritanie, du Mali et de la République de Guinée, se sont réunis pour créer l'Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Sénégal (OMVS) afin de protéger l'une des plus grandes sources d'eau douce en Afrique de l'ouest, le Fleuve Sénégal. Aussi, à la fin des années 1990, les institutions financières internationales promeuvent l'initiative privée comme moteur du développement socio-économique et le secteur minier est « désigné pour jouer un rôle central dans le programme de réduction de la pauvreté en Afrique de la Banque Mondiale ».

En effet dans l'espace OMVS, Le Fleuve Sénégal était considéré comme « porte de sortie de crise » avec un potentiel de terres irrigables d'une superficie maximale de 375000ha, une agriculture de déclin dont la moyenne des surfaces inondées est estimée à 312000ha dont 65000ha pour la rive sénégalaise (OMVS-IRD, 1999), une zone de pêche dont la production varie entre 26000 à 47000 tonnes (OMVS-LA ROCHE) et, assure 100% de l'adduction en eau de potable de la ville de Nouakchott et 50% pour la ville de Dakar. De plus, la découverte des ressources minières dans le sous-sol dudit bassin a occasionné la diversification des sources de revenus des populations autochtones et l'essor du secteur minier.

Au Sénégal, le secteur minier est caractérisé par la coexistence de l'exploitation industrielle pratiquées par les grandes compagnies et l'exploitation artisanale. Ces dernières années, les activités aurifères constituent une composante essentielle dans le développement économique

et social, elle joue un rôle important dans l'économie des régions aurifères. Entre 2009 et 2015, la production moyenne d'or se chiffre à 155 milliards avec une exportation moyenne de 9 tonnes (ANSD, 2015).

Ainsi, l'évolution de l'extraction industrielle est accompagnée d'une croissance de l'exploitation artisanale communément appelée orpaillage. Si la première semble réglementée, la seconde sans l'être concerne des opérations menées par des individus ou des petits groupes d'individus dans une démarche régi par des règles traditionnelles locales. L'orpaillage est considéré comme une activité de subsistance à dominance saisonnier, il est pratiqué par une grande partie de la population du sous bassin de la Falémé. Plus de 1216 orpailleurs dont seulement 40 bénéficieraient d'une autorisation administrative sont répartis sur toute la zone minière de la région de Kédougou (DRMG, 2014). Le sous-secteur de l'orpaillage a fourni en 2017, 4,3 tonnes d'or soit 86,6 milliards de FCFA (ANSD, 2018).

En effet, l'évolution de la production aurifère du sous-secteur de l'orpaillage dans la région de Kédougou s'explique d'une part par la ruée des populations autochtones vers l'or et, la position géographique de la région arrosée par la rivière de la Falémé qui est un frontière naturel entre le Mali et le Sénégal et d'autre part à l'utilisation de produits chimiques. Les orpailleurs venus des pays membre de l'OMVS et d'autres pays de l'Afrique de l'ouest (Burkina) sont presque tous installés le long de la Falémé à cause des besoins en eau énormes pour le lavage du minerai. Ainsi, ces orpailleurs qui n'ont reçu aucune formation dans le sous-secteur et, ne respectant pas les normes environnementales établis, utilisent des produits chimiques hautement toxique (mercure, cyanure), et néfastes pour l'environnement.

Toutes fois, la croissance accélérée du sous-secteur de l'orpaillage a des conséquences sur plusieurs plans. Sur le plan de l'environnement, naturel, la dégradation physique est observable sur les sites du fait de l'installation et des activités des orpailleurs. L'utilisation de produits chimiques, notamment le mercure et le cyanure pour l'extraction, les rejets de ces produits et leurs résidus solides dans la nature et la rivière de la Falémé constituent des risques permanents pour l'environnement en général, et la dégradation de la qualité de l'eau de la Falémé en particulier.

C'est dans ce contexte que s'inscrit ce présent travail, initié de concert entre l'OMVS et l'ENSA qui vise à analyser « l'impact de l'orpaillage sur la qualité de l'eau de la Falémé ». L'objectif global de la présente étude est de contribuer à la caractérisation des impacts des activités aurifères sur la qualité de l'eau de la Falémé. Elle se résume en cinq axes :

- ✓ Cartographier les sites d'exploitation artisanale de l'or étudiés le long de la Falémé ;

- ✓ Caractériser les différents types d'orpaillages pratiqués dans la Falémé et leurs conséquences sur l'environnement ;
- ✓ Identifier et caractériser les différents produits chimiques utilisés par les orpailleurs ;
- ✓ Déterminer la composition physico-chimique des points d'eaux étudiés dans la Falémé ;

Le présent document est divisé en cinq chapitres. Le premier chapitre présente l'OMVS, la région de Kédougou et la Falémé. Le deuxième chapitre donne toutes les généralités sur la qualité et la pollution des eaux de surface. Le troisième chapitre évoque les différentes méthodes d'exploitations artisanale de l'or, les produits utilisés ainsi que leurs conséquences sur l'environnement de la Falémé. Le quatrième chapitre présente les matériels et méthodes utilisés pour aboutir aux résultats. En fin le cinquième chapitre donne les interprétations des résultats d'analyse.

## **Chapitre 1 : Présentation, OMVS, région de Kédougou et la Falémé**

L'objectif de ce chapitre est de présenter dans un premier temps, le cadre juridique et institutionnelle de l'organisation de gestion du bassin transfrontalier : OMVS et ses réalisations. Ce chapitre décrit également les facteurs physiques, hydrologiques et climatiques de la zone d'étude en particulier les facteurs potentiellement liés à la dégradation qualitative des eaux de la Falémé.

### **1.1. Présentation de l'OMVS**

#### **1.1.1. Cadre institutionnel**

L'OMVS a été créé le 11 Mars 1972 par les gouvernements du Sénégal, de la Mauritanie et du Mali. Cette organisation sous-régionale regroupe actuellement quatre gouvernements avec l'intégration de la République de Guinée (Conakry) en 2006. Ainsi au terme de la convention du 11 Mars 1972, l'OMVS est placée sous la haute tutelle de la conférence des chefs d'Etat et de gouvernement, instance suprême qui définit la politique de coopération et de développement de l'organisation. En plus de la conférence, l'organisation compte cinq (5) organes permanents

- ◆ Le conseil des ministres : organe de conception et de contrôle
- ◆ Le Haut-Commissariat : organe exécutif
- ◆ La Commission Permanente des Eaux (CPE) : organe consultatif qui définit les principes et les modalités de la répartition des eaux du fleuve Sénégal entre les Etats et entre les secteurs d'utilisation. Elle instruit les projets des Etats membres susceptibles d'avoir une incidence sur le fleuve.
- ◆ Le Comité Régional de Planification (CRP) : donne un avis consultatif au conseil des ministres sur le programme d'investissement relatif à la mise en valeur optimale des ressources du bassin.
- ◆ Le Comité Consultatif (CC) : assiste le Haut-Commissariat pour la recherche des voies et moyens de mobilisation des ressources financières et de promotion des échanges d'informations.

Au niveau de chaque Etat membre, l'OMVS est complété par une structure dénommée Cellule Nationale OMVS.

#### **1.1.2. Cadre juridique**

L'OMVS s'est définie un cadre juridiques composé de quatre conventions qui portent respectivement :

- ◆ Création de l'OMVS (11 Mars 1972), définissant les missions, compétences et les organes de l'organisation



- ◆ Statut du Fleuve Sénégal (11 Mars 1972), le FS et ses affluents reçoivent le statut de « cours d'eau international ». Cette convention garantit la liberté de navigation et l'égalité dans toutes les formes d'utilisation de l'eau du fleuve.
- ◆ Statut des ouvrages communs (21 Décembre 1978), fixe le statut juridique des ouvrages commun, définit les droits et obligations des Etats copropriétaires à travers un régime particulier, définit l'existence d'un patrimoine commun concret sous forme d'infrastructures régionales structurantes gérées de manière concertée et équitable.
- ◆ Modalités de financement des ouvrages communs (21 Mai 1982), elle prévoit les modalités de financement du programme de l'OMVS, annonce le principe d'une clé d'imputation des couts et charges qui peut être réajustée lorsque cela est nécessaire.

### **1.1.3. Missions de l'OMVS**

Les missions de l'OMVS sont les suivantes

- ✓ Réaliser l'autosuffisance alimentaire pour les populations du Bassin du Fleuve Sénégal
- ✓ Réduire la vulnérabilité des économies de ses Etats face aux aléas climatiques
- ✓ Accélérer le développement économique de ses Etats
- ✓ Préserver l'équilibre des écosystèmes dans la sous-région et particulièrement dans le BFS
- ✓ Sécuriser et améliorer les revenus des populations du Bassin

### **1.1.4. Réalisation de l'OMVS**

Dans le Bassin du Fleuve Sénégal l'OMVS a construit les trois barrages suivants :

-Le barrage de Manantali a été construit en 1988 sur le Bafing en territoire malien, à 1100 km de l'embouchure. Il permet de réguler le débit du fleuve à 300 m<sup>3</sup>/s. Ce débit offre la possibilité d'irriguer 375 000 ha de terres, la production de 800 millions de kWh et assure la pérennité de la navigation entre Saint Louis et Kayes (Mali).

-Le barrage de Diama a été construit en 1986 à 35 km en amont de Saint Louis. C'est un barrage anti-sel qui isole la vallée des eaux marines. Il est géré en combinaison avec le barrage de Manantali de sorte à maintenir un plan d'eau suffisant dans toute la vallée du fleuve.

-Le barrage de Félou construit en 2013

## **1.2. Le bassin de la Falémé un écosystème vitale et vulnérable**

### **1.2.1. Présentation de la région d'étude**

Le sous bassin de la Falémé est situé dans l'extrême Est de la région de Kédougou. La région est née du découpage administratif introduit par la loi n° 2008-14 du 18 mars 2008, constituée de 03 départements et 19 collectivités locales, s'étend sur une superficie de 16896 Km<sup>2</sup> et compte

152143 habitants (RGPHAE, 2013). La région est caractérisée par deux types de climat : un climat soudano-sahélien (Nord-Est de la région, Saraya) et, un climat Soudano-guinéen (tout le département de Salémata) et l'alternance de deux régimes thermiques : une période de hautes température (Mars, Juin) et une période de basses températures (Juillet à Février).

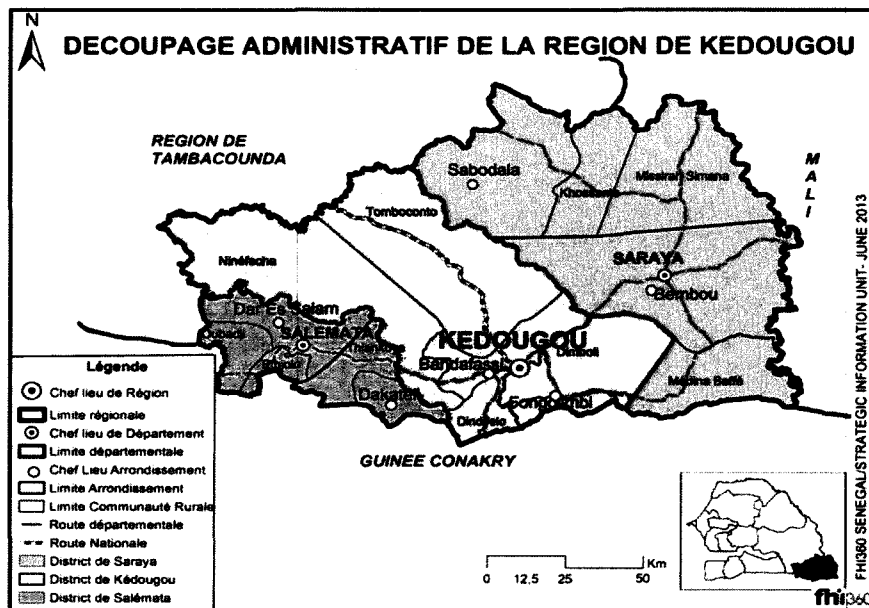


Figure 1: Carte découpage administratif de la région de Kédougou (source ANSD)

### 1.2.2. Eaux de surface et les eaux souterraines

Le réseau hydrographique est dense et dépend très fortement de la pluviométrie avec a moins 1300mm/an. La région est arrosée par le fleuve Gambie, encore proche de sa source dans le Fouta Djallon (Guinée) et ses affluents tels que le Niokolo - koba. La Gambie et la Falémé qui constituent les deux grands fleuves entrent en étiage pas endroits et jouent un rôle important dans le développement local (agriculture, alimentation en eau des hommes et du bétail). La région compte également une multitude de petits cours d'eau, mais intermittents dont le Diougol, le Daléma, le Dialé, le Diaguiri, leDiarra, le Thiocoye, le Sandoundou, etc. Ces cours d'eau s'assèchent dès la fin de l'hivernage.



Figure II: Carte réseau hydrographique de la région de Kédougou (source : CR Kédougou)

### 1.2.3. Ressources minières de la région

La région de Kédougou recèle un important potentiel minier constitué de gisements et d'indices d'or, de fer, d'uranium, de lithium, d'étain, de molybdène, de cuivre, de nickel, de marbre, ... ce qui en fait un pôle d'attraction pour les investisseurs.

Dans la région de Kédougou, les gisements de fer de la Falémé constituent les principales ressources minières avec d'importantes réserves de bonne qualité. Cependant, leur mise en valeur est conditionnée par la réalisation d'infrastructures de désenclavement (transport ferroviaire et évacuation portuaire) qui représentent 80% des investissements. Les indices de gisements d'uranium localisés dans et autour du granite syntectonique de Saraya et dans les formations de couverture du Précambrien supérieur (série de Ségou Madina Kouta) ont été mis en évidence durant les travaux de la CEA (Commissariat Energie Atomique) puis COGEMA (Compagnie Générale des Matières Nucléaires) dans la période 1975-1984.

En 2013, 96 titres miniers ont été octroyés dont :

- ⊕ 40 permis de recherche pour l'or ;
- ⊕ 01 permis de recherche de cuivre et molybdène ;
- ⊕ 05 autorisations d'exploitation en petite mine d'or ;
- ⊕ 02 autorisations d'exploitation en petite mine de marbre ;
- ⊕ 40 autorisations d'exploitation artisanale d'or ;
- ⊕ 03 permis d'exploitation d'or ;
- ⊕ 01 concession minière ;

- ⊕ 01 permis d'exploitation de fer ;
- ⊕ 03 permis d'exploitation de marbre.

## 1.2.4. Economie de la région

### 1.2.4.1. L'agriculture

L'agriculture est un maillon important pour le développement économique d'une région ou d'un pays. A Kédougou 69% des ménages pratiquent l'agriculture au sens large (RGPHAE, 2013) et près de 81% sont occupés par la culture pluviale. Par département elle est de 84,0% à Salémata, 72,8% à Saraya et 62,6% à Kédougou. L'agriculture constitue donc la principale activité économique des populations de Kédougou sur laquelle repose essentiellement leur subsistance.

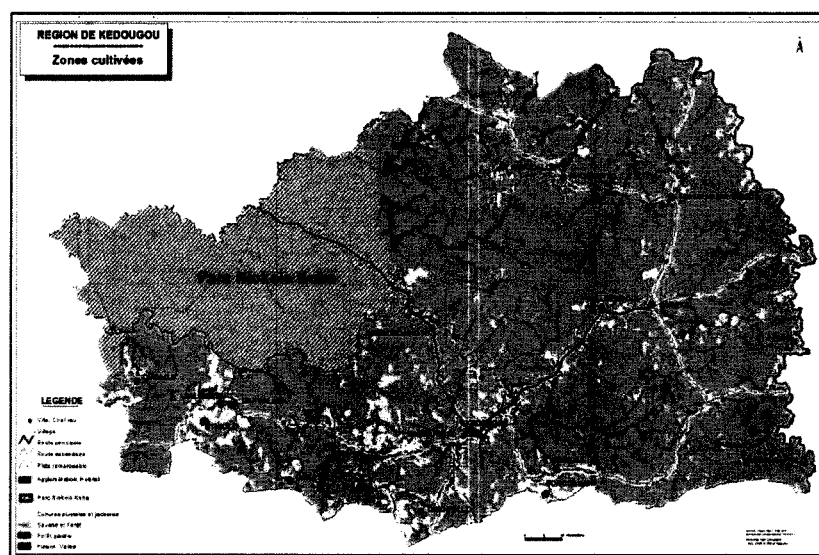


Figure III: Carte des zones cultivées de la région de Kédougou (Source : DRDR Kédougou)

### 1.2.4.2. L'élevage

Les conditions pluviométriques satisfaisantes confèrent à la région de Kédougou un paysage de savane arborée avec une bonne biomasse. Toutefois, les parcours de cette zone présentent, pendant une partie de l'année, une faible valeur nutritive, du fait d'une forte teneur en lignine. Dans cette zone, une forte présence de glossines limite l'élevage. Dans la région, l'élevage extensif demeure le type pratiqué par la quasi-totalité des éleveurs avec comme caractéristique principal un bétail laissé en divagation.

### 1.2.4.3. La pêche

La pêche artisanale : c'est l'activité qui doit entièrement sa raison d'être au fleuve Gambie et à la Falémé. La pêche est exclusivement masculine et engage les jeunes et les adultes qui utilisent

soit la ligne, soit le filet. Quand la période est propice, un pêcheur peut avoir jusqu'à 50 kg de poisson par jour ; les journées de pêche peuvent durer jusqu'à dix heures (entre 15 h à 00 h) ; il ya même des pêcheurs qui pratiquent au petit matin. Toutefois l'écoulement du poisson se heurte au handicap le plus partagé de la zone : l'état des routes d'accès ; si bien que les possibilités de gagner des revenus sûrs et permanents sont réduites au profit de l'autoconsommation ; car il n'est pas rare de voir un pêcheur consommer une partie de ses poissons et donner gratuitement l'autre partie à ses voisins ou parents faute d'acquéreurs sur le marché.

#### **1.2.4.4. L'orpaillage**

L'orpaillage traditionnel génère des revenus importants et emploie une forte main d'œuvre (10 000 orpailleurs recensés sur une population estimée à plus de 70 000 habitants). C'est un élément moteur de l'économie de la région. En effet 80% des personnes vivant dans la région sont directement ou indirectement tributaires des activités minières artisanales. L'orpaillage traditionnel fournit à la majorité des concessions un revenu monétaire qui est utilisé dans l'achat de provisions telles que la nourriture, les vêtements et les investissements personnels tels que les motocyclettes. Il est aussi souvent utilisé pour couvrir les dépenses non prévues telles que les médicaments, les mariages mais aussi aux investissements dans d'autres secteurs de revenus comme les petites entreprises, les jardins, le bétail etc.

#### **1.2.5. Présentation de la Falémé**

Le bassin de la Falémé couvre une superficie de de 29800Km<sup>2</sup> entre les latitudes 11° 67' et 10° 75' N et les longitudes 10° 72'W et 12°49'. Il est long de 650km et prend sa source dans la partie Nord du Fouta-Djalou dans une région de plateaux à une altitude de 800m. il se jette dans le Fleuve Sénégal à 50Km en amont de la ville de Bakel, en République du Sénégal. C'est l'un des principaux affluents significatifs du Fleuve Sénégal. Il forme la frontière entre le Mali et le Sénégal à Bakel.

Sur son cours d'eau supérieur la Falémé reçoit des affluents importants comme la Koulouko et le Daléma. Elle contourne des sills de dolérites important, et dessine de grands méandres dans une plaine parsemée d'inselbergs. La Falémé franchit des seuils de grés durs, de roches vertes et de microgranites (Faty, 2014). Elle a un tracé irrégulier Nord-Sud avant de stabilisée Sud-est à Nord-ouest entre Fadougou et Gourbassi. Puis la Falémé s'infléchit vers l'ouest et prend une direction Sud-nord jusqu'à Kidira. A la confluence avec le Sénégal, la Falémé a déjà parcouru 625Km (Faty, 2014)

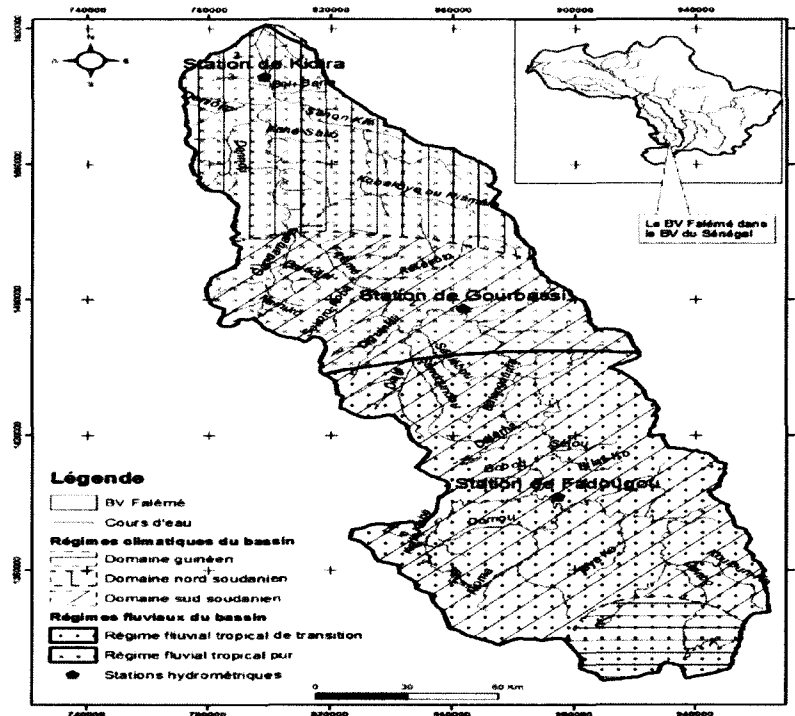


Figure IV: Carte Bassin versant de la Falémé

### 1.2.6. Caractérisation physiographique des bassins versant de la Falémé

Le relief est un facteur essentiel, il détermine en grande partie l'aptitude des terrains au ruissellement, à l'infiltration et à l'évaporation. C'est un élément capital dans le comportement hydrologique d'un bassin versant (BODIAN, 2015). Le modèle de relief d'un bassin versant, s'obtient par interpolation des données numériques (courbes de niveau, points cotés) numérisés sur les cartes topographiques à l'aide logiciels S.I.G. en effet, à partir de ces données altimétriques, réparties de manière non homogène, il est possible de représenter le relief en tant que surface continue à l'aide d'une interpolation. Ce pendant ces documents cartographiques ne sont toujours pas disponibles (BODIAN, 2011)

Ainsi à partir des coordonnées des exutoires (Kidira et Gourbassi pour la Falémé) la délimitation des bassin versants est faite sur ArcGIS. Ceci permet d'obtenir les périmètres et les surfaces des bassin versants. Puis ces deux paramètres vont permettre de connaître la forme et le relief des bassin versants à savoir : l'indice de compacité de Gravélius ( $K_c$ ), la longueur du rectangle équivalent  $L$  (Km), la largeur du rectangle équivalent  $l$  (Km) et l'indice de pente globale  $I_g$  (m/Km).

Les caractéristiques physiographiques des bassins versants sont consignés dans le Tableau suivant

**Tableau i :** Paramètres physiographiques des bassins versants (D (m) dénivelée ; Ds (m) dénivelée spécifique)

Bassin Versant	Surface (Km2)	Périmètre (Km)	Kc	L (Km)	I (Km)	Ig (m/Km)	Altitude max (m)	Altitude min (m)	D (m)	Ds (m)
Bassin Kidira	29800	1700	2.8	813.4	36.6	1.1	914	20	894	189.7
Bassin Gourbassi	16200	1050	2.3	492.1	32.9	1.71	914	73	841	217.5
Bassin Fadougou	8209	682	2.1	314.9	26.07	2.41	885	125	760	218.6

*(Source : Etude d'impact environnemental et social Projet de Mines d'Or de Boto, 2018)*

### 1.2.7. Analyse du régime hydrologique de la Falémé

L'analyse hydrologique consiste à l'évaluation des écoulements sur la base des données disponible au tableau II. L'analyse des données de ce dernier permet de constater que les lacunes sont importantes dans les séries chronologiques de la Station de Kidira et que la station de Gourbassi semble être la mieux suivie. Il faut signaler que les données de Fadougou village présentées au niveau du tableau sont des données reconstituées par Jean Claude Bader dans le cadre de l'actualisation de la Monographie du Fleuve Sénégal (OMVS, 2013). En effet dans le cadre de l'actualisation de la Monographie du Fleuve Sénégal, un important travail de critique de données hydrologiques a été effectué. Cette critique des données hydrologiques a permis de mettre en place une base de données hydrologiques plus complète en reconstituant les données lacunaires de certaines stations (Bodian, 2015)

**Tableau ii :** Inventaire des données hydrologiques disponibles

Nom	Longitude	Latitude	Début	Fin	%lacune	Durée (ans)
Gourbassi	-11.63	13.4	02/11/1954	07/01/2014	0.178	60
Kidira	-12.22	14.45	01/06/1930	07/01/2104	30.848	58
Fadougou	-11.38	12.52	01/01/1954	31/12/2011	0	57

*(Source : Etude d'impact environnemental et social Projet de Mines d'Or de Boto, 2018)*

### 1.2.8. Caractéristiques des écoulements de Surface

Une évaluation précise des ressources en eau et de leur variabilité passe donc par la prise en compte des

- Débits moyens annuels et bilan hydrologique ;
- Régimes fluviaux et variations saisonnières des débits ;
- Débits moyens journaliers
- ◆ Analyse des débits annuels et mensuels

Selon les données disponibles, on note une légère augmentation des débits ces dernières années. Cette augmentation des débits est consécutive à l'amélioration de la pluviométrie qui reste cependant très fluctuante d'une année à une autre de telle sorte que la tendance à une reconstitution des ressources demeure très aléatoire et rend plus difficile la prévision des disponibilités. En effet ces dernières années, le débit moyen est de 118m<sup>3</sup>/s, 101 m<sup>3</sup>/s et 73m<sup>3</sup>/s à Kidira, Gourbassi et Fadougou respectivement (Bodian., 2015)

Le tableau III donne les statistiques des débits moyens mensuels. Le coefficient de variation montre que pour l'ensemble des stations, la variation des débits est importante. Au cœur de la saison humide, les variations des débits vont de 60 à 89% à Kidira, de 57 à 60% à Gourbassi et de 60 à 80 à Fadougou

Les caractéristiques statiques sont complétées par le coefficient mensuel de débit permettant de déterminer les périodes de hautes eaux et de basses eaux. Pour les trois stations hydrométriques, les hautes eaux durent trois mois d'aout à octobre (période où le CMD est supérieur à 1) avec un maximum hydrologique en septembre compte tenue du temps de transfert des bassins versants. Les basses eaux s'étendent de novembre à juillet avec des débit presque nuls.



Tableau iii : Caractéristiques statistiques des débits moyens mensuelles de la Falémé

Kidira (1930-2013)	janv.	fév.	Mars	avr.	Mai	Juin	juil.	Aout	Sep	oct.	nov.	déc.
Moyenne	13.8	5.1	2.3	0.8	1.6	13.3	103.6	499.1	695.1	313.8	82	25.2
Ecart-type	10.7	4.2	2.2	1.1	6.3	19.3	72.8	306.3	416.2	278.2	73.1	18.87
Max	44.3	15.1	7.6	4.3	33.2	112.6	405.3	1424	1811	1609	376.8	91.8
75%	20.7	8	3.8	1.6	0.4	18.8	133.7	667.1	947.8	398.3	108.1	35.3
Médiane (50%)	10.1	3.9	1.4	0.3	0	5.9	84	417.5	573.6	230.9	61.6	20.4
25%	4.4	1.6	0.6	0	0	1	50.6	300	383.4	135.9	31.9	11.1
Min	0.6	0	0	0	0	0	5.2	57.5	83.6	37.1	6.8	1.9
Coef, Variation	0.78	0.82	0.97	1.31	3.98	1.46	0.7	0.61	0.6	0.89	0.89	0.74
CMD	0.1	0.04	0.02	0.01	0.01	0.09	0.72	3.47	4.83	2.18	0.57	0.18
Gourbassi (1954-2013)												
Moyenne	8.5	3.5	1.2	0.3	0.2	7.6	80.4	375.7	489.9	198.9	54.1	19.6
Ecart-type	8.5	4.3	1.8	0.7	0.5	11.6	57.1	220	262.4	146.8	37.2	15.4
Max	31.1	17.7	7.3	1.7	2.7	50.1	276.1	965.2	1194	904.1	139.5	64.6
75%	12.6	4.3	1.2	0.3	0.1	11.5	116	484.5	660.9	262	77.3	28.3
Médiane (50%)	5	1.4	0.4	0	0	2.3	62.1	345.8	441.8	160.7	39.1	14.2
25%	2.1	0.7	1.1	0	0	0.2	37	221.1	305.8	102.2	26.6	7.9
Min	0.2	0	0	0	0	0	6	57.8	69.1	39.8	5.9	0.7
Coef, Variation	0.99	1.25	1.5	2	2.47	1.52	0.71	0.59	0.54	0.74	0.62	0.78
CMD	0.08	0.03	0.01	0	0	0.07	0.77	3.61	4.71	1.91	0.52	0.19
Fadougou (1954-2001)												
Moyenne	9.6	4.8	2.2	1	0.8	7.9	68.4	271.4	310.4	131	41.9	18.8
Ecart-type	8.1	4.5	2.4	1.2	1.2	11.3	50.2	166	174.5	105.2	30.6	15
Max	32.8	18.9	8.7	4.3	5.3	63	266.2	765.4	873.8	627.2	117.9	62.6
75%	13.1	5.8	2.5	1.4	0.9	11.1	88.7	360.5	391.7	179.9	63.1	25.9
Médiane (50%)	6.4	3.1	1.3	0.5	0.1	2.9	49.3	230.9	265.9	94	27.9	12.4
25%	4	1	0.6	0	0	1.8	33.9	158.9	200.4	64.7	20.8	8.9
Min	1.2	0.4	0	0	0	0	10	38	34	25.4	4.2	1.9
Coef, Variation	0.8	0.9	1.1	1.2	1.5	1.4	0.7	0.6	0.6	0.8	0.7	0.8
CMD	0.1	0.1	0	0	0	0.1	0.9	3.7	4.3	1.8	0.6	0.3

(Source : Etude d'impact environnemental et social Projet de Mines d'Or de Boto, 2018)

### 1.2.9. Ressources mensuelles en eau disponible sur la Falémé aux stations hydrométriques de Kidira, Gourbassi et Fadougou

Le tableau suivant présente les débits moyens mensuels et extrêmes sur la rivière de la Falémé pour les stations de Kidira, Gourbassi et de Fadougou. L'analyse de ces résultats montre, à la station de Fadougou, la disponibilité des ressources en eaux est particulièrement élevée de Juillet à novembre. De mars à juin, la disponibilité est très faible.

**Tableau iv : Débits mensuels moyens et extrêmes (m<sup>3</sup>/s) de la Falémé aux stations hydrométriques de Kidira, de Gourbassi et de Fadougou**

	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct.	Nov.	Déc.
Station de Kidira												
Moyenne	13.8	5.1	2.3	0.8	1.6	13.3	103.6	499.1	695.1	313.8	82	25.2
Minimum	0.6	0	0	0	0	0	5.2	57.5	83.6	37.1	6.8	1.9
Maximum	44.3	15.1	7.6	4.3	33.2	112.6	405.3	1424	1811	1609	376.8	91.8
Station de Gourbassi												
Moyenne	8.5	3.5	1.2	0.3	0.2	7.6	80.4	375.7	489.9	198.9	54.1	19.6
Minimum	0.2	0	0	0	0	0	6	57.8	69.1	39.8	5.9	0.7
Maximum	31.1	17.7	7.3	3.7	2.7	50.1	276.1	965.2	1194	904.1	139.5	64.6
Station de Fadougou												
Moyenne	9.6	4.8	2.2	1	0.8	7.9	68.4	271.4	310.4	131	41.9	18.8
Minimum	1.2	0.4	0	0	0	0	10	28	34	25.4	4.2	1.9
Maximum	32.8	18.9	8.7	4.3	5.3	63	266.2	765.4	873.8	627.2	117.9	62.6

(Source : Etude d'impact environnemental et social Projet de Mines d'Or de Boto, 2018)

### 1.2.10. Régime d'écoulement de la Falémé

Le régime d'écoulement du cours d'eau de la Falémé se caractérise par une grande variabilité spatio-temporelle. Il reste parfois sans écoulement à cause, de l'étendue de son bassin. Les précipitations diminuent fortement du sud du bassin vers le nord (de 1200mm à Labé à 600mm à Bakel). Ainsi les débit écoulés et l'indice d'écoulement, des années connaissent les mêmes variations. Les données de la Direction de la Gestion et de la Planification des ressources en Eau (DGPRE), sur une période de 1954 à 2014, montrent que.

- ◆ A la station de Fadougou, la lame d'eau moyenne écoulée est de 257mm pour une lame d'eau moyenne reçue de 1235mm et un volume total de l'eau écoulé de  $2,4 \times 10^6 \text{m}^3 \text{an}^{-1}$  ;
- ◆ A la station de Gourbassi, la lame d'eau moyenne écoulée est de 189mm pour une lame d'eau moyenne de reçue de 1090mm et un volume d'eau total écoulée de  $3,2 \cdot 10^6 \text{m}^3 \text{an}^{-1}$
- ◆ A la station de Kidira, la lame d'eau moyenne écoulée est de 136mm pour une lame d'eau reçu de 948mm et un volume d'eau total écoulé de  $3,3 \cdot 10^6 \text{m}^3 \text{an}^{-1}$

### 1.2.11. Bilan hydrologique de la Falémé aux stations de Kidira, Gourbassi et Fadougou

Pour un bassin versant donné, le bilan hydrologique peut être décrite par la formule suivante :

$$P = Q + DE + DR$$

Avec :

- P (mm) lame d'eau moyenne reçue par le bassin
- Q (mm) lame d'eau écoulée à l'exutoire du bassin
- DE (mm) perte à l'atmosphère
- DR (mm) lames d'eau mises en réserve dans les nappes souterraines et celles restituées par ses aquifères

Le tableau suivant présente les volumes d'eaux écoulées aux stations hydrométriques de Kidira, Gourbassi et de Fadougou

**Tableau v** : Volumes d'eaux écoulées aux stations hydrométriques de Kidira, de Gourbassi et de Fadougou

Station	Pluie moyenne (mm)	Débit moyen (m <sup>3</sup> /s)	Volume total moyenne (m <sup>3</sup> )	Coefficient de ruissellement moyen
Kidira (1961-2012)	1041.8	114.2	3603899278	0.11
Gourbassi (1955-2012)	1233	101	3191200490	0.14
Fadougou (1954-2010)	1337.5	72.8	2297404148	0.17

(Source : Etude d'impact environnemental et social Projet de Mines d'Or de Boto, 2018)

### 1.2.12. Géologie de la Falémé

La Falémé dessine dès sa Sortie des reliefs Doléritiques une Série impressionnante de grands méandres dans une plaine d'érosion parsemé de petits inselbergs ou de buttes latéritiques. Dans le second tiers de son cours, entre Fadougou et Gourbassi, elle traverse une suite de petites rides dus à des seuils rocheux constitués tantôt de grés durs tantôt de roches vertes ou de microgranites. L'altération a intensément attaqué les roches qui n'apparaissent à l'état frais que dans le lit de la rivière. La vallée présente des dépôts sédimentaires très accessibles grâce à des ravinements d'érosion bien développés

### 1.2.13. Végétation de la Falémé

Dans le bassin de la Falémé la végétation est dictée par trois domaines climatiques (domaine climatique Guinéen, Sud Soudanien et Nord Soudanien)

Du domaine guinéen la végétation est principalement constituée de forêt claire, formée par une strate herbacée dominée par des graminées. La flore de la Falémé est semblable à celle du parc national du Niokolo koba.

### 1.2.14. Sols de la Falémé

Le bassin de la Falémé est essentiellement constitué de sept types de sols.

◆ Les sols minéraux bruts

Ces sols sont constitués d'affleurements de cuirasse nue ou plus ou moins colonisé par une végétation herbacée et/ou arbustive lorsqu'elle est plus ou moins colonisées en démantèlement. Ils sont également de types d'affleurements de roches divers : grés, granites, schiste, roches vertes etc.

◆ Les sols peu évolués

Selon les formations rocheuses de ces sols on rencontre :

- Des sols plus ou moins squelettiques sur matériaux dérivés de granites ou de schistes fortement parcourus par des filons de quartz.
- Des régosols constitués d'accumulations sableuses, dérivées de formations gréseuses au pied des massifs ou transportées plus ou moins loin par le ruissellement ou par le vent.

Ces sols peu évolués comme dans la classification française se distingue en sols peu évolués d'érosion et sols peu évolués d'apports.

Les sols peu évolués d'érosion sont largement développés sur des matériaux riches en élément ferrugineux plus ou moins arrondis de la taille des graviers. Ils résultent de la libération progressive sur place des éléments nodulaires ferrugineux contenus dans la cuirasse originelle. Ces sols sont très largement répandus dans le bassin de la Falémé et se distinguent d'une part d'après le matériau de recouvrement, la nature et proportion relative de terre fine matricielle d'après leur épaisseur ; d'autres part, d'après le matériau sous-jacent sur lequel ils reposent directement

Les sols peu évolués sont très localisés et peu répandus, ils sont caractérisés par un excellent drainage interne. Ils sont représentés dans la Falémé par les sols très profonds développés sur certaines alluvions argileuses

◆ Vertisols et para vertisols

Dans le bassin de la Falémé, cette catégorie de sols se limite à tous sols liés aux provinces de roches basiques. Ils sont caractérisés par la richesse de leur matériau en argile gonflante du type montmorillonite. Du point de vue morphologique ces sols sont caractérisés par une couleur foncée et une structure large, et du point de vue hydrologique les vertisols sont des sols totalement imperméables.

◆ Sols bruns eutrophes tropicaux

Ils sont très proches des vertisols leur matériau dérive de roches basaltiques mais peut également être constitué par de alluvions argileuses. Ils en possèdent les principales

caractéristiques chimiques mais s'en distinguent essentiellement par une amélioration du drainage interne. Ces sols sont mieux structurés ils sont généralement plus riches en oxyhydrates de fer. Ils sont cependant des sols relativement imperméables.

◆ Sols halomorphes

Les sols halomorphes du bassin de la Falémé sont déterminés par la richesse en sodium échangeable du complexe absorbant d'un horizon au moins, le sodium provenant directement du matériau parental. Ils sont très largement représentés sur le versant ouest entre les affleurements de grés cambrien et la Falémé ou ils se développent sur les schistes dit de la Falémé

◆ Sols riches à sesquioxydes et hydrates métalliques

Ces sols sont essentiellement représentés par les sols ferrugineux tropicaux, définis par leur richesse en sesquioxydes de fer bien individualisés et répartis sur l'ensemble du profil. Les sols ferrugineux de la Falémé appartiennent au groupe lessivé caractérisé par un ou plusieurs horizons enrichis à la fois en argile et sesquioxydes lessivés des horizons supérieurs. Le lessivage présumé n'est pas toujours le phénomène responsable de l'existence de l'horizon B dit d'accumulation. Ce dernier dans le contexte du bassin de la Falémé résulte parfois d'un polyphasage ou d'un processus d'accumulation relative par remaniement des horizons de surface

◆ Sols hydromorphes.

Dans le bassin de la Falémé, ces sols sont tous les sols des bas fond soumis à une submersion totale ou partielle, temporaire ou permanente par les eaux alluviales ou par remonté de la nappe. Ils sont développés essentiellement sur alluvions argileuses des cours d'eau et sur matériau colluvio-alluvial du continentale terminal dans les axes de drainage

## **Chapitre 2 : Généralités sur la qualité et la pollution des eaux des surfaces**

La qualité d'une eau dépend de plusieurs paramètres. Les paramètres physiques les plus déterminantes sont le potentiel Hydrogène, la Conductivité électrique, la Température, la Turbidité les matières en suspension et, l'oxygéné dissous et les paramètres chimiques les plus importantes sont ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{N}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ). Toutefois plusieurs activités anthropiques et industrielles peuvent contribuer à une altération de ces paramètres par les polluants qu'elles engendrent.

### **2.1. Généralités sur la qualité de l'eau**

La qualité d'une eau est caractérisée par les diverses substances qu'elle contient, leur quantité et l'effet qu'elles ont sur l'écosystème et sur l'être humain. C'est la concentration de ces différents éléments qui détermine la qualité d'une eau et permet de savoir si celle-ci convient à un usage particulier. Même l'eau des rivières et des lacs les moins influencés par les activités humaines n'est pas pure. Elle contient de nombreuses substances, dissoutes ou en suspension, que l'on retrouve partout dans la nature (bicarbonates, sulfates, sodium, calcium, magnésium, potassium, azote, phosphore, aluminium, fer, etc.). Ces éléments proviennent du sol et du sous-sol, de la végétation et de la faune, des précipitations et des eaux de ruissellement drainant le bassin versant, ainsi que des processus biologiques, physiques et chimiques ayant lieu dans le cours d'eau lui-même. À ces substances d'origine naturelle peuvent s'ajouter des produits découlant de la simple présence humaine (phosphore, azote et micro-organismes contenus dans les eaux usées domestiques) ou des activités industrielles et agricoles (substances toxiques, métaux, pesticides).

#### **2.1.1. Potabilité de l'eau**

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), une eau potable est une eau que l'on peut boire sans risque pour la santé. L'OMS la définit comme une eau ayant les caractéristiques microbiennes, chimiques et physiques qui répondent aux directives de l'OMS ou aux normes nationales relatives à la qualité de l'eau de boisson. En clair, une eau potable est une eau qui ne contient pas d'agents pathogènes ou d'agents chimiques à des concentrations pouvant nuire à la santé. Les standards de référence diffèrent selon le pays et l'époque, dans chaque pays, ces normes sont définies selon l'autorité en charge de la potabilité de l'eau.

Cette potabilité est indiquée par une valeurs guide qui correspond à la concentration de l'élément contenu dans l'eau de consommation, qu'on ne doit pas dépasser. Il faut noter que le

dépassement de cette valeur guide n'a forcément pas de risque pour la santé. Elle protégé aussi la population en général, sur la durée d'une vie humaine (OMS, 2004). Les normes relatives à certaines éléments chimiques sont définies pour protéger les populations les plus vulnérables. Mais il est toujours important de veiller au respect des normes établies et d'étudier les causes de ces concentrations

Selon l'OMS Lorsqu'une valeur guide est dépassée, il est recommandé de consulter l'autorité responsable de la santé publique quant aux mesures à prendre, en tenant compte de l'absorption de la substance à partir d'autres sources que l'eau de boisson, de la toxicité de cette substance, de la probabilité et de la nature de tout effet nocif éventuel et des possibilités de mise en œuvre des mesures correctives (OMS, 2004).

## **2.1.2. Paramètres physiques**

### **2.1.2.1. Température**

La mesure de la température, lors d'un suivi de la qualité d'une eau, a plusieurs objectifs , entre autres, contrôler la validité des mesures d'oxygène dissous, sachant que la saturation de l'eau en oxygène dissous est fonction de la température et de la pression atmosphérique

### **2.1.2.2. Oxygène dissous**

L'oxygène dissous est un des paramètres essentiels à suivre dans le cadre de l'étude de la chimie des eaux. En milieu aquatique l'oxygène est un élément important pour les organismes vivants. En effet, Le taux d'oxygène dissous dans l'eau conditionne la vie de la faune aquatique. La teneur d'une eau en oxygène dissous dépend de sa température. Les concentrations d'oxygène ne demeurent pas fixes, elles atteignent pendant le jour des valeurs maximales bien au-dessus des taux de saturation dictées par la température. Elles diminuent en fonction de la respiration de la faune et la flore aquatique.

### **2.1.2.3. Conductivité**

La mesure de la conductivité permet d'avoir une image de la charge de l'eau en sels ionisés. C'est également un moyen détecter certaines pollutions très importantes par des éléments non analysés par ailleurs. La conductivité correspond à l'inverse de la résistivité électrique. La résistivité électrique étant définie comme le quotient du champ électrique par la densité de courant quand il n'y a pas de force électromotrice dans le conducteur. La détermination de la conductivité électrique consiste en une mesure de la conductance électrique<sup>2</sup> d'une colonne d'eau délimitée par deux électrodes de platine (ou recouvertes de noir de platine) maintenues parallèles (norme NF EN 27888 janvier 1994). La conductivité de l'eau est généralement

exprimée en siemens par centimètre (S/cm) ou en microsiemens par centimètre ( $\mu\text{S/cm}$ ). La conductivité (ou la résistivité) varie avec la température. La température de référence pour l'expression de la conductivité est de 25 °C. La conductivité d'une eau pouvant varier en fonction des assimilations ou des relargages d'éléments dans l'échantillon, elle doit être mesurée sur place.

#### **2.1.2.4. Potentiel Hydrogène (pH)**

Le pH est en relation étroite avec la concentration des ions hydrogène  $\text{H}^+$  présents dans l'eau ou les solutions. Sa mesure permet d'évaluer le caractère acide ou basique d'une eau. Le pH :

- ◆ Conditionne de nombreux équilibres chimiques et notamment la dissociation de l'azote ammoniacal dans l'eau,
- ◆ Est un indicateur de l'activité biologique et plus particulièrement photosynthétique du milieu. Parmi tous les paramètres physico-chimiques analysés sur le terrain, c'est un des plus délicats à mesurer correctement. Il est recommandé de déterminer le pH des eaux in situ de façon à ne pas modifier les équilibres ioniques par suite d'un transport ou d'un séjour plus ou moins prolongé des échantillons d'eau dans des flacons.

#### **2.1.2.5. Turbidité**

La turbidité est un paramètre physique très important pour le contrôle de la qualité des eaux. La mesure de la turbidité permet de préciser les informations visuelles sur l'eau. La turbidité de l'eau a pour origine la présence de matières en suspension (argile, limons, particules fibreuses ou organique, micro-organismes...), étant souvent lié à des phénomènes pluviométriques dans les eaux superficielles et dans certaines eaux souterraines (nappes peu profondes). La turbidité se mesure sur le terrain à l'aide d'un turbidimètre. Et sont exprimées en unités et correspondent à une mesure optique de passage de lumière. D'autres unités comparables sont employées, l'unité néphélogométrique de turbidité (NTU).

#### **2.1.2.6. Matières en suspension**

Les matières en suspension contenues dans l'eau sont soit d'origine naturelle, en liaison avec la précipitation, soit d'origine anthropique et industrielle. Elles sont l'une des principales sources de pollution des eaux de surface. Leur effet néfaste est mécanique par la formation de boue empêchant une bonne pénétration de la lumière, réduit la photosynthèse et favorise le colmatage des branchies de certains poissons. La présence des matières en suspension, diminue la concentration en oxygène dissous, ce qui rend les activités des micro-organismes faibles et par conséquent diminution du phénomène d'autoépuration.



### 2.1.3. Paramètres chimiques

#### 2.1.3.1. Magnésium ( $Mg^{2+}$ )

Le magnésium est un élément chimique très important sur la qualité d'une eau, les besoins journaliers en magnésium sont de l'ordre de 200 à 300mg chez l'adulte et 300 à 400mg chez l'enfant. Son effet bénéfique sur la prévention des maladies cardiovasculaires a été prouvé par plusieurs études qui soulignent un risque accru de souffrir de troubles cardiaques en cas de carence chronique en magnésium.

#### 2.1.3.2. Calcium ( $Ca^{2+}$ )

Le calcium est l'un des éléments les plus abondants dans la nature, il s'introduit dans le système d'eau douce sous l'action de la météorisation des roches, particulièrement celle des roches calcaires, et par entraînement à partir du sol dans les eaux d'infiltration, par lixiviation et par ruissellement. Il joue un rôle important sur la rigidité des os et des dents, il est connu comme un sel minéral dont la principale fonction est la minéralisation de l'os sous forme de sels de phosphates de calcium.

#### 2.1.3.3. Sodium ( $Na^+$ )

Le sodium est un élément essentiel sur le choix d'une eau minérale, une eau est dite riche en Sodium si elle contient 360mg de Na par litre. Le sodium favorise la bonne transmission de l'influx nerveux, aide à maintenir une bonne hydratation du corps en retenant l'eau dans les tissus et les liquides corporels, limite l'apparition des crampes musculaires et réduit le risque de dysfonctionnements rénaux ou d'hypotension.

#### 2.1.3.4. Chlorure ( $Cl^-$ )

Le chlorure est indispensable à l'équilibre hydrique de l'organisme et il est présent naturellement à faible dose dans les eaux minérales. Ils sont souvent utilisés comme un indice de pollution. Ils ont une influence sur la faune et la flore aquatique ainsi que sur la croissance des végétaux.

## 2.2. Généralités sur la pollution des eaux de surface

### 2.2.1. Définition des concepts

#### 2.2.1.1. Pollution :

Elle désigne l'introduction, directe ou indirecte, par l'activité humaine, de substances ou de chaleur dans l'eau, susceptibles de contribuer ou de causer un danger pour la santé de l'homme, des détériorations aux ressources biologiques ou à l'écosystème ou aux biens matériels, elle est donc considérée comme une entrave à un usage de l'eau (GOE, 2003). Elle est également définie comme une altération dans un sens défavorable d'une ou plusieurs caractéristiques

physiques, chimiques ou biologiques de cette eau provoquée par le rejet de produits liquides, solides ou gazeux. (Chartier, 1973)

#### **2.2.1.2. Charge polluante**

On appelle charge polluante tout déversement ou écoulement contenant des matières en suspension et des matières oxydables

#### **2.2.1.3. Matières en suspension (MES)**

C'est la masse de matières insolubles ou colloïdales retenues par filtration quantitative ou séparées par centrifugation, elles s'expriment en mg/l.

#### **2.2.1.4. Charge de pollution faible :**

On parle de charge de pollution faible, lorsque le débit du milieu récepteur est très largement supérieur au débit de l'effluent, soit 300fois celui de l'effluent s'il est rejeté en 24h et 720fois s'il est rejeté en 10h (source ; DEEC 2001)

#### **2.2.1.5. Charge de pollution importante :**

Une charge de pollution importante est atteinte lorsque, le débit du milieu récepteur est compris entre 150 et 300 fois de celui de l'effluent, s'il est rejeté en 24h ou compris entre 360 et 720 fois de celui de l'effluent s'il est rejeté en 10h (source ; DEEC 2001)

#### **2.2.1.6. Charge de pollution prépondérante :**

Une charge de pollution est dite prépondérante si, le débit du milieu récepteur est inférieur à 150fois ou 300fois celui de l'effluent soit, qu'il soit rejeté en 24h ou 10h (source ; DEEC 2001)

### **2.3. Milieux récepteurs autorisés au Sénégal**

Au Sénégal les milieux récepteurs autorisés sont les suivantes

- ◆ Les cours d'eau, lacs, étangs et mer dans lesquels l'effluent est rejeté, soit directement soit par l'intermédiaire d'un ouvrage d'évacuation pourvu ou non à son extrémité d'une station d'épuration ;
- ◆ Les puits absorbants artificiels (utilisés dans des cas exceptionnels). Leur utilisation reste subordonnée à une épuration préalable de l'effluent à enfouir afin d'éviter l'encrassement, le colmatage etc. ;
- ◆ Le sol, par voie d'épandage en vue de l'épuration naturelle ; la structure et la texture du sol sont ici les facteurs déterminants.

### **2.4. Principales sources de pollution dans la Falémé**

Dans le Bassin de la Falémé, l'exploitation minière reste la principale source de pollution de l'eau de la rivière. Les rejets issus des activités de l'orpaillage n'ayant pas subis aucun traitement sont tous drainés vers la Falémé. La présence des industries minières à côté du fleuve contribue également à la pollution de ce dernier. A cela s'ajoute la pollution due aux populations autochtones qui se baignent et, font le linge dans l'eau de la Falémé et les huiles utilisés dans la lubrification des machines utilisées par les orpailleurs

### **Chapitre 3 : méthodes d'exploitation artisanale, produits utilisés et leurs conséquences sur l'environnement dans le bassin de la Falémé**

Le bassin de la Falémé est essentiellement riche en ressources minières (Fer, Marbre, Or, etc.). Ainsi, depuis des décennies, on assiste à une exploitation artisanale de ses mines d'Or. L'orpaillage qui pendant longtemps était une économie de subsistance est devenue aujourd'hui la principale source de revenu de la plupart des populations riveraines. Cette ruée vers l'or a entraîné une diversification des activités avec l'utilisation de nouvelles technologies et des produits hautement toxiques. Aussi, les pratiques liées à l'orpaillage impactent sur, la production agricole, la productivité du cheptel, la qualité des produits halieutiques, les ressources en eau, la santé des populations riveraines et l'environnement en général.

#### **3.1. Définition de quelques concepts**

##### **3.1.1. Orpaillage**

Le code minier de la république du Mali dans son article 1<sup>er</sup> définit l'orpaillage comme une activité consistant à récupérer l'or contenu dans les gîtes primaires, alluvionnaires et éluvionnaires et pouvant être pratiquée sous la forme artisanale ou mécanisée. Il distingue ainsi l'orpaillage artisanal qui est la récupération de l'or par les procédés simples (sans usage de produits chimiques) en utilisant des équipements rudimentaires de l'orpaillage mécanisé qui consiste en la récupération de l'or par des procédés améliorés avec l'utilisation des machines et équipements.

##### **3.1.2. Exploitation artisanale**

Une exploitation artisanale est définie comme, toute opération qui consiste à extraire et concentrer des substances minérales provenant des gîtes primaires et secondaires affleurant ou sub-affleurant et en récupérer les produits marchands en utilisant des méthodes et procédés manuels et traditionnels ou mécanisés. (*Article 1<sup>er</sup>, code minier Mali*)

##### **3.1.3. Orpaillage mécanisé**

Toute activité d'orpaillage mieux structurée que l'orpaillage traditionnel et qui fait appel à l'usage de certaines machines telles que les outils à main, les treuils manuels, les motos pompes, les pompes à membranes électriques, les compresseurs, les treuils mécaniques, les marteaux piqueurs, les broyeurs, etc.

##### **3.1.4. Mine artisanale**

Elle concerne des opérations menées par des individus ou des petits groupes souvent familiaux sans notion d'échelle. Elle n'est pas réellement liée à des aspects quantitatifs ou temporels, mais

s'inscrit plutôt dans une démarche spécifique qui s'apparente à une cueillette opportuniste. Largement informelle, elle exploite sans planification, avec des méthodes et des outils d'extraction et de traitement souvent ancestraux et rudimentaires, une ressource mal connue.

### **3.1.5. Couloir d'exploitation artisanale :**

C'est une bande de terrain dévolue aux Collectivités Locales et réservée exclusivement à l'exploitation artisanale des substances minérales par l'Administration chargée des Mines conjointement avec les Administrations chargées de l'Administration territoriale et de l'environnement, sur une durée limitée. On parle aussi de couloir d'orpillage quand il s'agit de l'exploitation artisanale de l'or. (*Article 1<sup>er</sup>, code minier Mali*)

## **3.2. Modes d'exploitation de l'or dans le Bassin de la Falémé**

Dans le cadre de cette étude nous avons catégorisé principalement trois modes d'exploitation de l'or

### **3.2.1. Exploitation alluvionnaire à ciel ouvert**

La première catégorie est celle des exploitations alluvionnaires à ciel ouvert qui se fait par fouille dans le lit et le long de la rivière de la Falémé. L'extraction de l'or peptique/palette se fait par les systèmes de gravimétrie. La densité de l'or pur étant de 19,3 g/cm<sup>3</sup>, largement supérieure à celle du gravier et du sable, cela lui permet de ne pas être entraîné facilement par l'eau et de se poser au fond. L'appareil qui sert à la captation de l'or s'appelle une table d'alluvion ou encore une boîte à écluse de longueur variable constituée d'une série de tréteaux en bois de 0,40 mètre de largeur. Dans le fond est disposé transversalement au sens du courant d'eau, des *riffles* qui sont des lattes ou morceau de bois garnis d'un morceau de couverture ou de tapis. Ce système est parfois également appelé rampe de lavage avec tapis. Le courant d'eau qui entraîne les graviers au travers de la table perdant de la vitesse, tous les éléments de haute densité s'accumulent entre les riffles. Cette table à or qui est établi à une hauteur convenable ne nécessite, pour son fonctionnement, qu'une adduction d'eau à la main, une couverture ou un tapis ainsi que des bassinets. Ce type d'exploitation est relativement sûr, elle demande moins d'effort et peu d'investissement sauf en cas d'inondation pendant la période pluvieuse ou en cas de proximité avec des cours d'eau importants.



*Photo1 : Lessivage de minerai sur une table à écluse photo prise à Saeinsoutou*

### **3.2.2. Exploitation éluviale en profondeur**

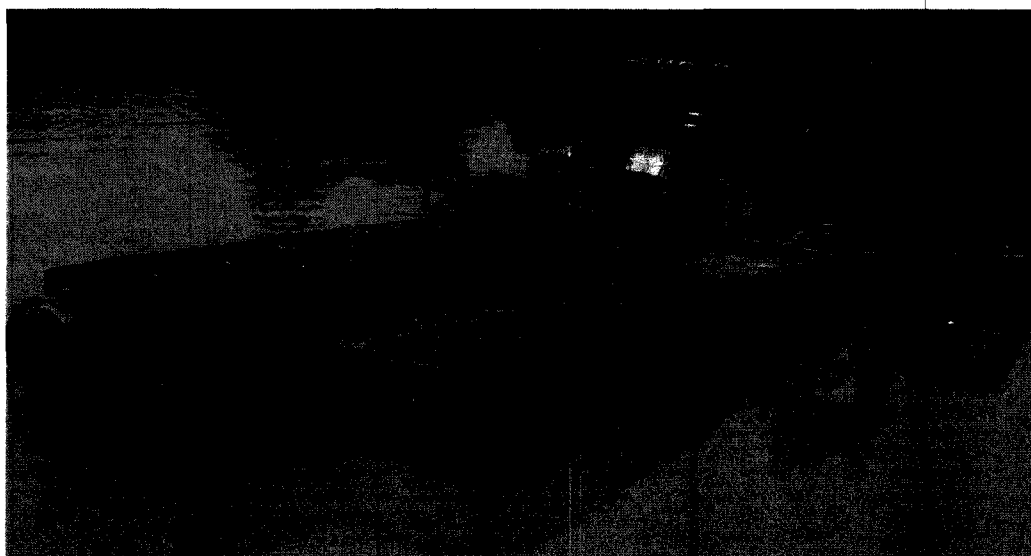
Certains gîtes éluvionnaires sont enfouis dans le sol à une profondeur pouvant aller jusqu'à 25 mètres Cette exploitation pose souvent des problèmes d'éboulement de terre avec mort d'hommes si le sol est fragile et le transfert de graviers aurifères est onéreux. Les gravier aurifères issue de cette extraction sont acheminés ensuite vers les lieux de lavage du minerai (bord de la rivière de la Falémé dans le cadre de notre étude), où ils sont réduits par le Crasseur puis le produit donné par le Crasseur est réduit en poudre par le moulin. L'or est récupéré ensuite par la méthode de la table à écluse. (Voir images)



*Photo2 : image d'un Crasseur prise à Kolia*

### **3.2.3. Le dragage**

Le dragage est l'un des modes d'exploitation les plus utilisés dans le cours d'eau de la Falémé. La drague est un dispositif entraîné par un moteur diesel posé sur des barils en caoutchouc équipée d'une pompe à eau, et d'une suceuse aspiratrice et d'un sluice. La drague va récupérer dans le fond de l'eau les matériaux par la suceuse. Les matériaux vont alors passer à travers un canal de lavage, où ils vont être scindés via le principe de leur densité, l'or restant coincé et les déchets (sable, cailloux) déversés dans le cours d'eau. Dans le cadre de cette étude trois dragues ont été répertoriées deux à Kolia et une à Saensoutou (voir image).



*Photo3 : image d'une Drague dans la Falémé Photo prise à Kolia*

### 3.3. Produits utilisés

Dans le sous bassin de la Falémé, les orpailleurs utilisent le mercure et le cyanure pour extraire le lingot d'or du minerai. Le mercure est très utilisé pour l'extraction de l'or du minerai par la formation d'un amalgame or-mercure. Selon l'OMS une grande partie du mercure mondial est utilisé à cette fin. Dans le cadre de cette étude, les enquêtes menées dans les sites d'exploitation de **Kolia** et de **Moussala** ont révélé que **100%** des orpailleurs utilisent le mercure pour le traitement du minerai. De plus les résultats d'analyse des échantillons de sédiments prélevés dans le cadre du Rapport de l'étude d'impact environnemental de Boto dans la rivière de la Falémé ont révélé toutes des teneurs de mercure supérieur à la limite fixée 0.02mg/Kg.

**Tableau vi:** Principales caractéristiques physico-chimiques du mercure.

Symbole chimique	Hg
Numéro atomique	80
Masse atomique	200.69
Nombre d'isotopes	38

T° d'ébullition 366.65°C

Différentes formes  $Hg^0$ ,  $Hg^{2+}$ ,  $CH_3Hg$

**Tableau vii** : Propriétés physico-chimiques du Cyanure de Sodium

Etat physique	Solide, granulés ou briquettes
Couleur	Blanc
Odeur	Inodore ou ammoniacale si humide
Densité relative	1.6 (eau = 1)
Point d'éclair	Ne brûle pas
Point de fusion	653°C
T° d'ébullition	1496°C
pH (solution 1% eau)	11.3-17.6
Solubilité	48g/100cc à 10°C

### 3.3.1.1. *Le mercure dans l'eau*

Dans les eaux, le mercure est présent sous forme organique  $Hg^+$  et inorganique  $Hg^0$  et  $Hg^{2+}$  avec une forte teneur en  $Hg^{2+}$ . Il se lie rapidement à la matière en suspension. La réduction et la méthylation sont en compétition dans ce milieu. Les réactions de réduction favorisent son recyclage atmosphérique et les réactions de méthylation sont à la base de sa bioaccumulation. Dans les systèmes aquatiques, l'une de ces réactions de  $Hg^{2+}$  va donc influencer son comportement et modifier sa mobilité, sa biodisponibilité et sa toxicité pour les espèces présentes.

### 3.3.1.2. *Cyanure dans l'eau*

Dans les eaux, on retrouve les cyanures essentiellement sous la forme HCN. Ils sont aussi présents sous la forme ionique, KCN, NaCN, CaCN ou encore sous la forme de complexes métallo-cyanures mais en faible quantité par rapport à HCN. Dans ces milieux, les cyanures libres sont en équilibre en fonction du pH et la température. A  $pH < 8$  la forme cyanure libre est retrouvée à 93% (INERIS, 2011). Dans l'eau potable, l'interaction entre les substances humiques et la chloramine conduit à la formation du chlorure de cyanogène (CNCl), un gaz toxique, pendant la chloration des eaux. Par contre dans la majorité des eaux naturelles, la faible température et la neutralité du pH ne permettent pas d'observer une transformation significative des cyanures et leurs dérivés. Dans les eaux souterraines, les cyanures sont en faible quantité par rapport aux eaux de surface du fait d'une probable dégradation de composés par les microorganismes lors de la diffusion dans les sols. Dans ces eaux, la volatilisation des cyanures n'est pas importante et, en conséquence, ils pourraient persister dans ce milieu (INERIS, 2011).



### **3.4. Conséquence de l'orpaillage sur les écosystèmes**

#### **3.4.1. Dégradation des sols et risques pour l'agriculture**

L'exploitation artisanale de l'or fait souvent recours au fonçage manuel de mines artisanale souterraines ce qui aboutit à des puits miniers à ciel ouvert. Les déblais issus de ces puits sont déposés sur le sol, ce qui modifie la biodiversité du sol. La non réhabilitation du site, de remblayage des mines en particulier, contribue à la dégradation des sols et à la défiguration du paysage naturel. Les rejets issus de l'activités aurifères contiennent souvent des charges polluantes, qui déversés sur le sol modifient la microbiologie de ce dernier, et par conséquent empêchent le développement du tapis herbasse. En effet, L'intensification de l'orpaillage réduit les zones de culture pour la population autochtone, mais aussi les zones de pâturage. Cette extension des sites d'orpaillage contribue à repousser une partie des activité agricoles dans des zone plus lointaines, en détruisant les terres arables, contribuant ainsi à une réduction de la productivité agricole et impact négativement sur la sécurité alimentaire des ménages. En fin le fonçage des mines bouleverse complètement l'écosystème du site d'orpaillage dans toute son étendu, entraînant ainsi la diminution ou la raréfaction de certaines espèces animales et végétales aux alentours des sites

#### **3.4.2. Dégradation de la qualité des eaux de surfaces par les matières en suspension**

Les activités de lavage du minerai au bord des cours d'eau occasionnent l'érosion et favorise le transport sédimentaire vers le réseau le réseau hydrique. Ce transport résulte du rejet des boue de lavage vers le cours d'eau sans assainissement. La non réhabilitation des sites expose les sols aux intempéries et seront plus susceptibles à l'érosion par les eaux de ruissellement. Ces matières en suspension peuvent causer des dommages aux œufs et aux branchies des larves d'amphibiens (Semlithsch, 2000). En plus d'interférer avec la respiration, les matières en suspension peuvent dégrader sévèrement les habitats aquatiques.

#### **3.4.3. Dégradation de la Végétation**

Dans l'exploitation artisanale de l'or, les ressources végétales sont très exploitées. Les pressions qu'elles subissent s'observent notamment à travers la dégradation d'une partie des ressources existantes pour le campement des orpailleurs et l'installation du matériel d'exploitation. Certaines espèces comme le vène (*Pterocarpus erinaceus*), le rônier (*Borassus aethiopum*) et le Bambou sont aussi utilisées par les orpailleurs. Le vène est utiliser pour la fabrication des piques de sécurisation des mines artisanales du fait de sa solidité et de sa haute capacité de

résistance tandis que le rônier est utilisé pour la fabrication de vin et en fin le Bambou pour la fabrication du crintin qui sert de clôture.

#### **3.4.4. Dégradation des cours d'eaux**

Les orpailleurs qui exercent leurs activités aux bords des cours d'eau exploitent de façon anarchique ces ressources en eau. En effet dans le bassin de la Falémé, les enquêtes menées dans le cadre de cette étude révèlent que chaque activité d'orpaillage utilise en moyenne 500l d'eau par jour. Partout dans la rivière de la Falémé où l'activité est menée on voit, des batteries de motopompes installées sur les rives de la Falémé (voir photo). Ces motopompes en plus des énormes quantités d'eau qu'elle aspirent de la Falémé déversent des hydrocarbures sur le lit de la rivière. Ce qui contribue forcément à l'altération de la qualité de l'eau. Dans les zones de l'étude, nous avons constaté que les rejets issus du lavage du minerai sont tous évacués dans le bassin de la Falémé. Ces rejets sont essentiellement de la boue riche en mercure, ce qui contribue à une augmentation de la turbidité de l'eau avec un transport de matières en suspension, une altération de la qualité de l'eau, une diminution des débits de la rivière, la contamination de la faune aquatique par le mercure et l'ensablement. A cela s'ajoute les effets conjugués du dragage qui comme évoqué dans le chapitre précédent modifie la topographie du cours d'eau. Cette modification à la longue peut modifier le sens des écoulements avec une inversion des courants d'eau en certains points. Dans les zones de la rivière où les dragues sont présentes il est visible à l'œil des traces de gasoil sur la surface de l'eau. A cela s'ajoute l'obstruction des cours d'eau par les déblais issus du dragage, ce phénomène est très présent dans la Falémé. Ainsi selon le régional du service de la pêche de Kédougou, le dragage détruit les habitats des poissons et entraîne une migration de ces derniers vers des zones plus calmes pour se reproduire. Il faut noter également un possible ensablement du fleuve à cause des boues rejeter dans le Bassin de la Falémé



*Photo4 : Motopompes installées sur la Falémé photo prise à Saensoutou*

### **3.5. Risques pour le bétail**

Les orpailleurs venus d'autre pays font souvent la chasse pour satisfaire leurs besoins en viandes. Dans la région de Kédougou les populations de biches et de phacochères sont les plus victimes. Il faut noter que l'absence de réhabilitation des sites d'orpaillage cause beaucoup d'accidents chez les animaux, domestiques et sauvages, en pâturage ou en errance, qui se trouve piégés dans les puits abandonnés ou en activité. En plus la pollution sonore causée par les machines utilisées telles-que les dragues, les crasseurs, entraîne la migration de plusieurs espèces animales. Aujourd'hui il est noté que l'eau de la rivière de la Falémé est devenue une source de maladie pour le bétail qui s'y abreuve. Selon le chef de village de Saensoutou, la régénération de leurs bovins est presque devenue impossible. Il souligne que pendant la saison chaude qui correspond au tarissement des marres, le taux de mortalité des bovins qui s'abreuvent dans la Falémé est élevé.

### **3.6. L'orpaillage source de maladies**

Dans les zones d'orpaillage, cohabitent les communautés autochtones et diverses communautés d'immigrants à la recherche de travail. Ces mouvements migratoires, les divers brassages sociaux ont des répercussions négatives sur la santé des populations en facilitant la dispersion des maladies endémiques et l'introduction de nouvelles maladies. Les sites d'orpaillage sont souvent lieu de la prostitution ce qui favorise des maladies graves telles-que les Infections sexuellement transmissible (IST) et le SIDA.

Les activités d'orpaillage modifient l'environnement en créant notamment de vastes bacs à décantation qui deviennent des milieux à eaux stagnantes rapidement colonisés par des moustiques porteurs de maladies tropicales (paludisme, fièvre jaune, dengue). A ces vecteurs s'ajoutent d'autres pathologies liées aux mauvaises conditions sanitaires.

### **3.7. conséquences du mercure**

Les rejets de mercure contaminent à la fois les systèmes aquatiques, l'atmosphère et les sols des bassins versants. Le mercure est stocké pour un temps variable dans l'eau et les sédiments. Le mercure subit alors des transformations chimiques qui affectent les biocénoses aquatiques. Les poissons, et dans une moindre mesure le gibier, sont alors contaminés. Le transfert à l'homme s'effectue par la chaîne alimentaire, à travers la chasse et la pêche (Blancodini, 2004). Au milieu des années 1990, une enquête épidémiologique réalisée chez les populations amérindiennes du Haut-Maroni a révélé une concentration élevée de mercure dans les cheveux des populations : 11,7 µg/g pour les adultes et 14 µg/g pour les enfants, alors que le seuil d'alerte de l'OMS est de 10 µg/g.

### **3.8. Conséquences de l'exposition au cyanure**

L'acide cyanidrique provoque une asphyxie, en empêchant la respiration au niveau des cellules. Les symptômes dépendent surtout du temps de d'exposition et peuvent être :

Forme légère : vertige, sensation d'ébriété, hébétude, état confusionnel, troubles respiratoire légers.

Forme aiguë : phase d'excitation avec hyperventilation, puis dépression. Mouvement respiratoires rapides accompagné d'une sensation d'oppression avec parfois maux de tête.

Forme foudroyante : mort en quelques minutes par coma convulsif avec apnée et collapsus cardio-vasculaire terminal.

Le cyanure ne s'accumule pas dans la chaîne alimentaire comme le mercure, mais par son mode d'action consistant à une inhibition de la respiration cellulaire, il affecte de manière uniforme tout l'environnement, aussi bien les bactéries que les algues ou les organismes cellulaires complexes.

## **Conclusion**

L'exploitation artisanale de l'Or dans la Falémé se fait en utilisant des outils rudimentaires tels que pelle, pioche, bêche et de machines fonctionnant à base du Diesel (moulin, crasseur, pompe hydraulique...). L'extraction de l'or du minerai est effectuée par l'usage du mercure et du

cyanure. L'orpaillage alluvionnaire et le dragage sont les plus pratiqués dans le Bassin de la Falémé.

Les activités de l'orpaillage causent d'énormes dégâts aux écosystèmes qui leurs sont associés. Les produits utilisés (mercure, cyanure...), par les orpailleurs s'avèrent dangereux à la santé de l'homme, ils contaminent la peau, le système nerveux, etc. les dangers de l'orpaillage touchent l'ensemble des composantes de l'environnement, ils entraînent la migration de la plupart des espèces faunistiques, l'exploitation anarchique des espèces végétales, la contamination de la faune aquatique, pollution des ressources en eau, la modification de la topographie des rivières etc.

## Chapitre 4 : Matériel et méthodes

Ce présent chapitre présente la démarche méthodologique globale adoptée et les méthodes d'analyses physicochimiques de l'eau du bassin de la Falémé. Les analyses ont été effectuées au laboratoire d'hydrochimie du Département de Géologie de la Faculté des Sciences et Techniques de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD).

### 4.1. Choix des sites d'études

Les sites de l'études ont été choisi après examen des information obtenues à la SRMG et la DEEC de la région de Kédougou. La SRMG qui s'occupe de la recherche géologique et minière de la région, nous a fourni la liste des différents sites d'orpaillage situés le long de la Falémé et les plus influents. Au niveau du département de Saraya, les sites devant faire l'objet de travail d'investigation ont fait l'objet d'une sélection rigoureuse basée essentiellement sur quatre critères principaux que sont : l'attractivité du site, l'accessibilité et la disponibilité de personnes ressources. La combinaison de ces critères a permis par la suite de sélectionner les sites : Moussala, Kolia et Saensoutou comme zone à étudier.

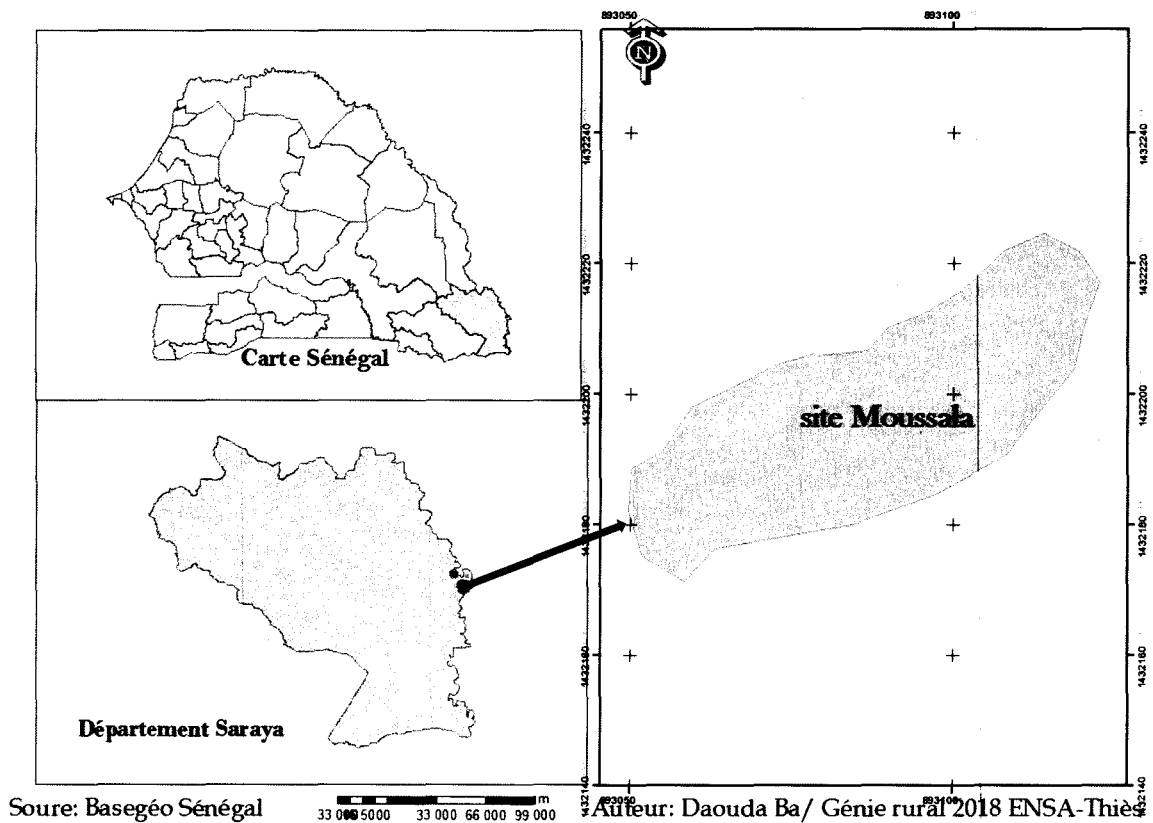


Figure V: carte de géolocalisation du site d'orpaillage de Moussala

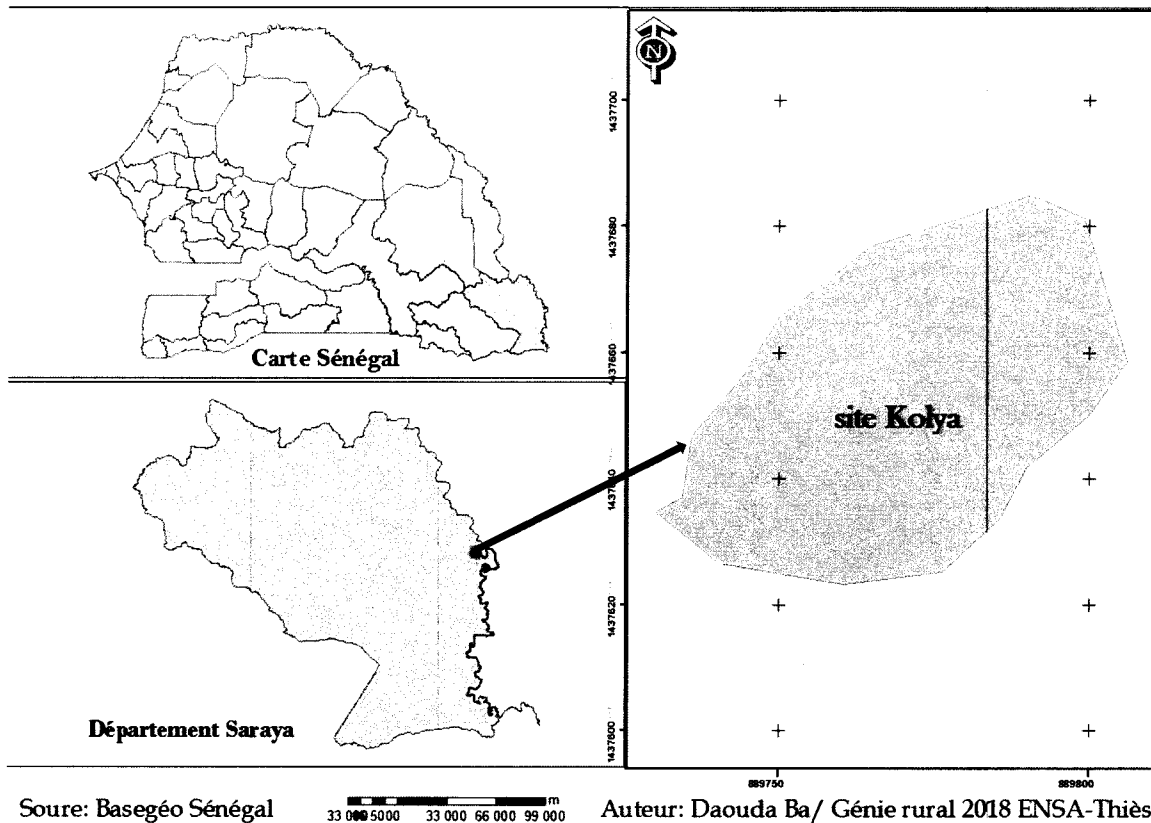


Figure VI: Carte géolocalisation du site d'orpaillage de Kolia

## 4.2. Echantillonnage

L'étude de la dynamique de la qualité des eaux de surface de la Falémé a été faite sur la base de l'analyse de la variation des concentrations des paramètres physico-chimiques. elle a suivi les trois étapes suivantes :

- ⊕ Prélèvement des échantillons ;
- ⊕ Analyse des échantillons ;
- ⊕ Interprétation des résultats des échantillons analysés.

Les prélèvements sont effectués dans la rivière de la Falémé au niveau de Trois sites Moussala, Kolia et Saensoutou. Le premier site mesure l'état initial des eaux en Amont des sites d'exploitations, le deuxième constitue le site intermédiaire et le troisième mesure l'état des eaux un peu en Aval des sites d'orpaillage. La période de prélèvement était en Janvier 2019. Au total vingt échantillons ont été prélevés mais seuls Six échantillons ont été analysés par défaut de moyens financier.

Les six échantillons analysés ont été prélevés comme suit :

- ☆ Deux à Moussala (DB MI et ML 31-19) ;
- ☆ Trois à Kolia (PTDKI, MCNKII, ABSKIII) ;

☆ Une dans un bassin de rejets issus du lavage du minerai (Hg 20-19 R1).

#### 4.2.1. Mode de prélèvement

Les échantillons d'eau sont recueillis dans des flacons en plastique bien lavés. Les prélèvements se font à une profondeur de 20 à 30 cm de la surface de l'eau, en évitant la pénétration de l'air. Le transport des échantillons depuis les points de prélèvement jusqu'au laboratoire a été effectué dans une glacière à 4 °C. Avant de procéder aux opérations analytiques, il est essentiel que toutes les dispositions soient prises, telles que l'homogénéisation au moment du dosage.

#### 4.2.2. Conditionnement et transport

Etant des paramètres pouvant varier très rapidement à l'échelle du temps, la température, le potentiel hydrogène (pH), la conductivité électrique, les solides totaux dissous (TDS) et l'oxygène dissous devraient être mesurés directement sur le terrain afin d'éviter une altération de leur valeur initiale. N'ayant pas à notre disposition l'outillage nécessaire pour ce genre de mesure in situ, et dans un souci de respecter les normes de conditionnement et la durée de transport, les échantillons d'eau prélevés ont été conditionnés dans une glacière et acheminés en moins de 24h, au laboratoire d'hydrochimie de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar.

#### 4.2.3. Matériels et appareillages d'analyses

Les appareillages d'analyse utilisés sont consignés dans le tableau suivant

Tableau viii: Paramètres physiques mesurés et types d'appareils utilisés

Paramètres mesuré	Types d'appareils
Température (°C)	Multi-paramètre
pH	
Conductivité (µs/cm)	
Salinité (%)	
Oxygène dissous (% , mg/l)	WTW
Matières en suspension (mg/l)	Etuve à 105°C
Turbidité	Turbidimètre de laboratoire modèle 2100N HACH à 4000NTU

#### 4.3. Méthodes d'analyse physicochimiques

Les échantillons d'eau prélevés ont été mis dans des bouteilles de Kirène bien lavées avec l'eau d'échantillonnage puis acheminées au laboratoire pour les analyses. Les analyses physicochimiques ont porté sur plusieurs paramètres (Turbidité, nitrates, Sulfates, chlorures... etc.).



### 4.3.1. Analyse des paramètres physiques

Le mode opératoire est développé aux annexes

#### 4.3.1.1. *Température*

La température est mesurée à l'aide d'un Multi-paramètre

#### 4.3.1.2. *Turbidité*

La turbidité est mesurée au laboratoire à l'aide d'un turbidimètre « Hach » à cellule photo-électrique, par la méthode néphélométrique. Les résultats sont exprimés en unité de turbidité néphélométrique (NTU).

#### 4.3.1.3. *Potentiel Hydrogéné (pH)*

La mesure de pH est effectuée couramment par la méthode potentiométrique avec électrode de verre plus.

Principe

La différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence (calomel-KCl saturé) plongeant dans une même solution, est une fonction linéaire du pH de celle-ci. Selon l'expression de NERNST, le potentiel de l'électrode est lié à l'activité des ions H<sup>+</sup>.

#### 4.3.1.4. *Conductivité électrique (CE)*

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm<sup>2</sup> de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm.

Elle est l'inverse de la résistivité électrique ( $\rho$ ).

$$Y = (1/\rho) = (1/R). (L/S) \text{ (E1)}$$

- Y : Conductivité (en  $\Omega^{-1}.m^{-1}$  ou S. m<sup>-1</sup>).
- P: Résistivité (en  $\Omega. m$ )
- R : résistance (en $\Omega$ )
- L : distance entre les deux électrodes (en m).

S : surface de chaque électrode (en m<sup>2</sup>).

#### 4.3.1.5. *Matières en Suspension*

Principe

L'eau est filtrée et le poids de matières retenues par le filtre est déterminé par pesée différentielle. L'estimation du titre hydrométrique a été faite par l'expression suivante :

$$MES = [(M_1 - M_0) / V] * 1000 \quad \text{(E6)}$$

- MES = Matière en suspension mg/l

- $M_0$  = masse de disque filtrant avant utilisation en mg
- $M_1$  = masse de disque filtrant après utilisation en mg
- $V$  = Volume d'eau utilisé en ml

### 4.3.2. Analyse chimique

#### 4.3.2.1. Chlorure ( $Cl^-$ )

##### Principe

Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractéristique du chromate d'argent.

L'estimation du titre hydrométrique a été faite par l'expression suivante :

$$[Cl^-] = (N_{AgNO_3} * V_{AgNO_3} * M_{Cl} * 1000) / 100 \quad (E3)$$

- $[Cl^-]$  = Chlorure en mg/l
- $V_{AgNO_3}$  : Volume en ml d'AgNO<sub>3</sub> utilisé pour le titrage
- $N_{AgNO_3}$  : Concentration d'AgNO<sub>3</sub> en meq/l
- $M_{Cl}$  : Masse molaire de chlorure
- **100** : Eau à analyser en ml

#### 4.3.2.2. Calcium ( $Ca^{2+}$ )

##### Principe

Le principe est identique à celui de la méthode titrimétrique décrite pour la dureté totale. Toutefois, comme le dosage se fait à un pH élevé, le magnésium est précipité sous forme d'hydroxyde et n'intervient pas. Par ailleurs, l'indicateur choisi, l'acide calcéone carboxylique, ne se combine qu'avec le calcium pour former un complexe rouge. Pour évaluer la concentration des ions de calcium, l'expression utilisée est la suivante :

$$[Ca^{2+}] = (V * f * 0.4008 * 1000) / 50 \quad (E4)$$

- $[Ca^{2+}]$  = Calcium en mg/l
- $V$  = Volume en ml d'EDTA utilisé pour le titrage
- $F$  = Facteur de protection du titrage d'EDTA
- $F = 1 / V_{EDTA}$

#### 4.3.2.3. Magnésium ( $Mg^{2+}$ )

Connaissant la dureté totale d'une part et la dureté calcique d'autre part, il est facile par différence de calculer la dureté magnésienne

$$TH = T_{Ca^{2+}} + T_{Mg^{2+}} \iff T_{Mg^{2+}} = TH - T_{Ca^{2+}} \text{ (en mg/L)} \quad (E5)$$

- $T_H$  : Dureté totale
- $T_{Ca^{2+}}$  : Dureté calcique
- $T_{Mg^{2+}}$  : Dureté magnésienne

#### 4.4. Critères d'appréciation de la qualité de l'eau

Les critères de qualité qui ont été utilisés sont ceux des normes de l'OMS et celui de l'Indice de la qualité de l'eau établi par National Sanitation Foundation (NSF-IQE). Ce critère est déterminé sur la base de 9 paramètres tels que : DBO<sub>5</sub>, DO, nitrate, phosphate total, changement de température (de 1 mile en amont), la turbidité, Résidu sec, le pH et les coliformes fécaux (Tableau 8). Cette technique a été développée par Brown et al, (1970) en sélectionnant les paramètres rigoureux, l'élaboration d'une échelle commune et l'attribution de poids aux paramètres. Ce travail a été mentionné dans de nombreux travaux, tel que celui de Landwehr et Deininger, (1976).

Tableau ix: Normes WQI pour l'eau potable

Paramètres	Poids du paramètre	WQI	Qualité de l'eau
Oxygène dissout	0.17	90-100	Excellente
Coliformes fécaux	0.16	70-90	Bonne
pH	0.11	50-70	Moyenne
DBO <sub>5</sub>	0.11	25-50	Mauvaise
Variation T	0.10	00-25	Très mauvaise
Phosphate total		0.10	
Nitrates		0.10	
Turbidité		0.08	
Résidu sec		0.07	

Les valeurs de WQI ont été obtenues par le Calculateur NSF-IQE en ligne ([Http://www.water-research.net/watqualindex/index.htm](http://www.water-research.net/watqualindex/index.htm)). Divers diagrammes ont été également utilisés comme celui de Wilcox ou du SAR pour évaluer l'aptitude de l'eau de la Falémé à l'irrigation.

Normes OMS

Tableau x: Normes OMS pour l'eau potable

Paramètres	Unité	Normes OMS
T eau	°C	25
pH	-	6.5 à 8.5
CE	µs/Cm	1500
MES	mg/l	/
Ca <sup>++</sup>	mg/l	200
Mg <sup>++</sup>	mg/l	150
Na <sup>++</sup>	mg/l	200
K <sup>+</sup>	mg/l	12
CL <sup>-</sup>	mg/l	≤ 250
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/l	≤ 250
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	/
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	≤ 50

## Chapitre 5 : interprétations des résultats d'analyses.

### Introduction

La qualité d'une eau peut être appréciée par la connaissance de sa composition physico-chimique. Les paramètres physico-chimiques constituent entre autres un moyen de mesure du niveau de pollution d'une eau. Chaque ressource en eau possède une géochimie naturelle qui dépend de la nature du terrain traversé. Toutefois cette géochimie peut être modifiée au cours du temps par la pollution industrielle, humaine ou urbaine. Ainsi le degré de pollution diffère d'une activité à une autre, il est apprécié par la mesure de l'écart ou de la différence entre le chimisme naturel de l'eau qu'il soit à l'échelle locale ou régionale et un chimisme nouvellement acquis suite à l'intervention négative de l'homme sur l'environnement hydrologique [Belkhiri 2011].

Dans ce chapitre, on procède à une interprétation des résultats obtenus des échantillons analysés au laboratoire d'hydrochimie du département de géologie de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar.

**Tableau xi :** Résultats des analyses physico-chimiques des points d'eaux étudiés

Nom échantillon		ABS KIII	DB MI	R1 20-19 Hg	ML 31-19	PTD KI	MCN KII
Date échantillonnage		20/01/2019	20/01/2019	20/01/2019	20/01/2019	20/01/2019	20/01/2019
Paramètre	Unité						
Calcium	Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	7.94	9.6	12.45	9.42	9.38	8.15
Magnésium	Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	5.63	4.37	3.13	3.51	4.02	5.19
Sodium	Na <sup>+</sup> (mg/l)	1.97	2.04	10.56	3.06	2.52	1.62
Potassium	K <sup>+</sup> (mg/l)	0.37	0.42	1.35	0.56	0.57	0.42
Conductivité	25° (us/cm)	87	87	147	82	87	85
Sulfates	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	5.51	5.5	9.76	5.81	5.55	5.61
Chlorure	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	3.05	2.72	8.54	2.79	2.62	2.61
Nitrates	N (mg/l)	4.55	4.39	5.14	4.19	4.51	4.57
Ph	-----	7.54	7.46	7.07	6.95	7.46	7.07
Bicarbonate	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	42.7	42.7	54.9	36.6	42.7	42.7
MES	(mg/l)	510	390	1240	420	430	360
Turbidité	NTU	600	570	4400	613	595	582

### 5.1. Interprétation des paramètres physique de l'eau de surface de la Falémé

### 5.1.1. Température

Les températures de la Falémé oscillent entre 22 et 29°C. ces valeurs sont en parfaite concordance avec le climat de la zone d'étude. Les mesures coïncident avec la saison froide et atteignent des piques pendant la saison chaude. Ces observations montrent un effet saisonnier très marqué du climat sur l'état thermique de l'eau. L'analyse de la tendance générale de la température montre que celle-ci est stable durant toute la période d'observation (voir figure)

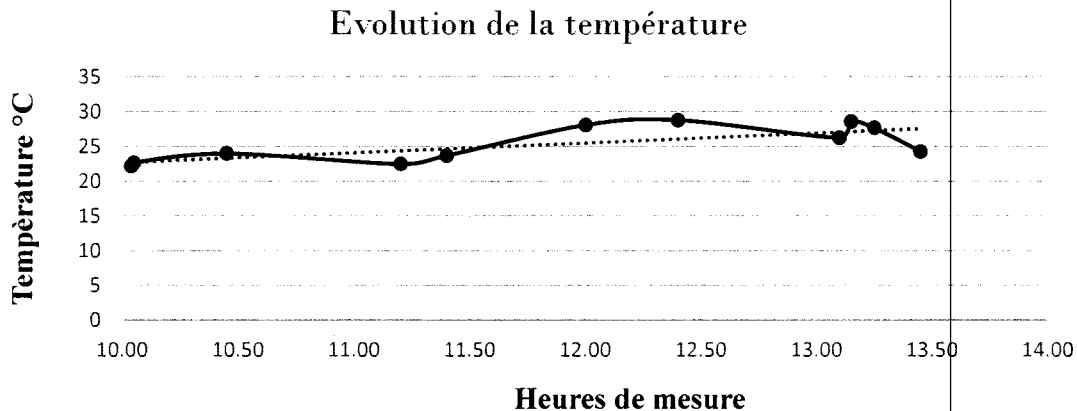
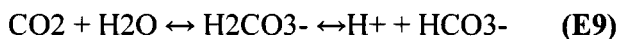
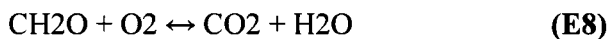


Figure VII: courbe d'évolution des températures dans la Falémé

### 5.1.2. Le potentiel hydrogène (pH)

Les valeurs du pH de l'eau de la rivière du bassin de la Falémé de Moussala à Saensoutou sont inférieures aux limites fixées par l'OMS. Elles sont comprises entre 6.95 et 7.54 (Figure II) durant la période de l'étude, ce sont donc des eaux légèrement alcalines. On assiste à une décroissance de l'alcalinité en relation avec l'oxydation de la matière organique selon la formule (1) ou à l'augmentation de la pression du CO<sub>2</sub> qui conduit à une diminution du pH selon la formule (2) [Kempe, 1982]



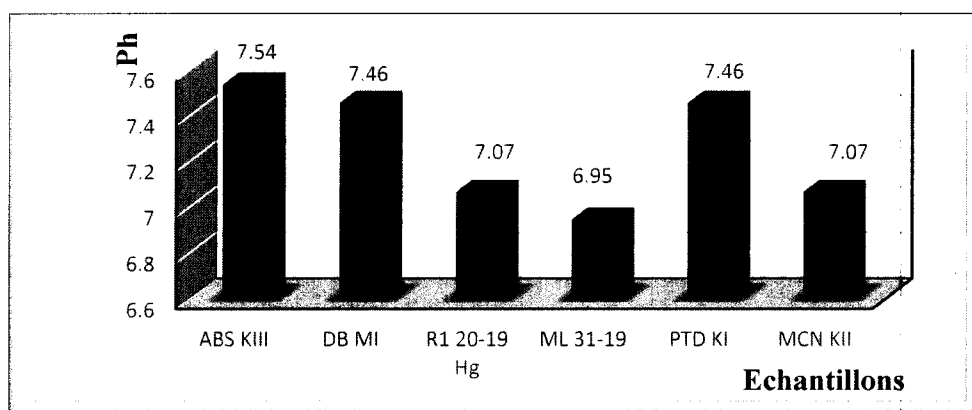


Figure VIII: Diagramme du pH des points d'eaux étudiés

L'échantillon R1 20-19 Hg montre que les rejets issus du lavage du minerai n'ont pas un incident majeur sur le pH des eaux de surfaces.

### 5.1.3. Conductivité électrique

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau. L'unité de mesure de la conductivité est siemens/cm (s/cm) :  $1\text{ S/m} = 104\mu\text{S/cm} = 103\text{ S/m}$ . La minéralisation de l'eau (teneur globale en espèces minérales) peut entraîner selon les cas, un gout salé (variable selon la nature des sels présents), une concentration de la corrosion, et les dépôts dans les tuyauteries (entartrage).

Tableau xii : classification des eaux selon la conductivité

Type d'eau	Conductivité ( $\mu\text{s/cm}$ )
Eau pure	<23
Eau douce peu minéralisée	100 à 200
Eau de minéralisation moyenne	250 à 500
Eau très minéralisée	1000 à 2500

Durant la période d'étude, les valeurs du CE de l'eau de la Falémé sont conformées aux normes directrices de l'OMS. Elles sont tous comprise entre 82 et 87  $\mu\text{s/cm}$  (Figure III) indiquant une faible minéralisation.

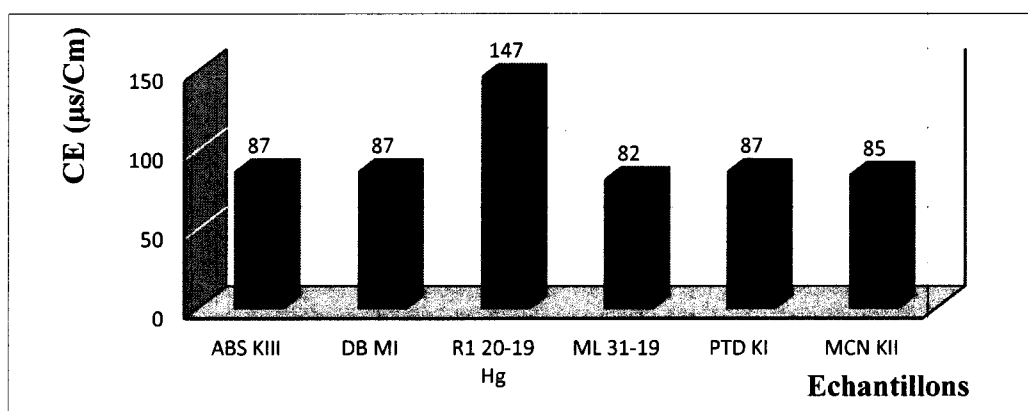


Figure IX : diagramme du CE des échantillons d'eau prélevés

Ce pendant l'échantillon R1 20-19 Hg prélevée dans un bassin contenant des rejet issus du lavage du minerai révèle une valeur (147µs/Cm), supérieure à celle des échantillons prélevés dans cours d'eau. Ces rejets peuvent alors contribuer à une augmentation de la conductivité électrique des eaux de surface de la Falémé.

#### 5.1.4. Turbidité

La concentration de la turbidité de l'eau de la Falémé montre que cette dernière se situe dans la classe des eaux troubles (tableau XIV). Les valeurs trouvées dépassent de loin toutes les normes directrices mondiales. Les valeurs limites fixées par L'OMS et le Canada pour l'eau potable sont 5.0 NTU alors que la valeur moyenne des points d'eau étudiés dans la Falémé est de 592 NTU. Cette concentration excédentaire de la turbidité de l'eau de la Falémé s'explique par les effets conjugués du dragage et des rejets chargés en matières en suspension issus des activités de l'orpaillage. De plus la concentration de la turbidité mesurée dans l'échantillon R1-20 19 (4400 NTU) est sept (7) fois supérieure à la moyenne des teneurs trouvés dans les autres échantillons (figure X)

Tableau xiii : classes de turbidité

Désignation des classes	Néphélométric Turbidity Unit (NTU)	Couleur de l'eau
C1	NTU < 5	Eau claire
C2	5 < NTU < 30	Eau légèrement trouble
C3	NTU > 50	Eau trouble



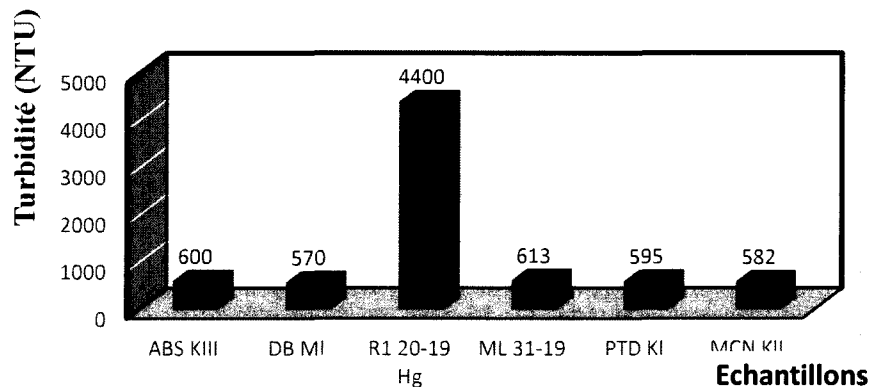


Figure X: Diagramme de la turbidité des points d'eau étudiés

### 5.1.5. Matières en Suspension (MES)

L'analyse des échantillons révèle des concentrations en MES de l'eau de la Falémé très élevées avec une valeur maximale égale à 510mg/l. ces teneurs élevées peuvent être considérées comme une forme de pollution. Elles peuvent avoir plusieurs conséquences sur la ressource en eau (modification de la géométrie hydraulique, engorgement du cours d'eau, favoriser l'inondation etc.), sur la faune aquatique (pollution des habitats) et sur la qualité de l'eau. Une telle hausse peut également entraîner un réchauffement de l'eau, lequel aura pour effet de réduire la qualité de l'habitat pour les organismes d'eau froide (Hébert et Légre, 2000). Les sources de remplissage de l'eau de la Falémé en MES, reste sans doute les rejets des activités de l'orpaillage, et du dragage. L'échantillon R1 20-19 Hg montre une concentration (1240mg/l) supérieur à la limite fixée par la norme Sénégalaise NS 05-061 concernant les eaux usées (50mg/l).

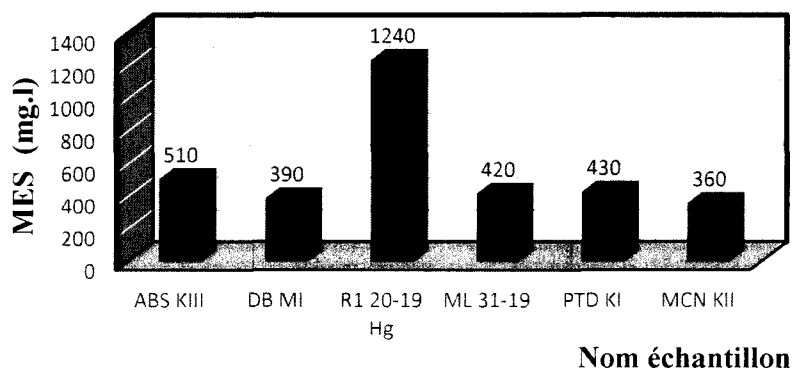


Figure XI: Diagramme de teneurs en MES des points d'eau étudiés

## 5.2. Interprétation des paramètres chimiques

### 5.2.1. Les cations

Dans le cadre de cette étude, les Cations mises en jeux sont :  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$

#### 5.2.1.1. Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ )

La figure suivante représente les valeurs de  $\text{Ca}^{2+}$  des échantillons étudiés.

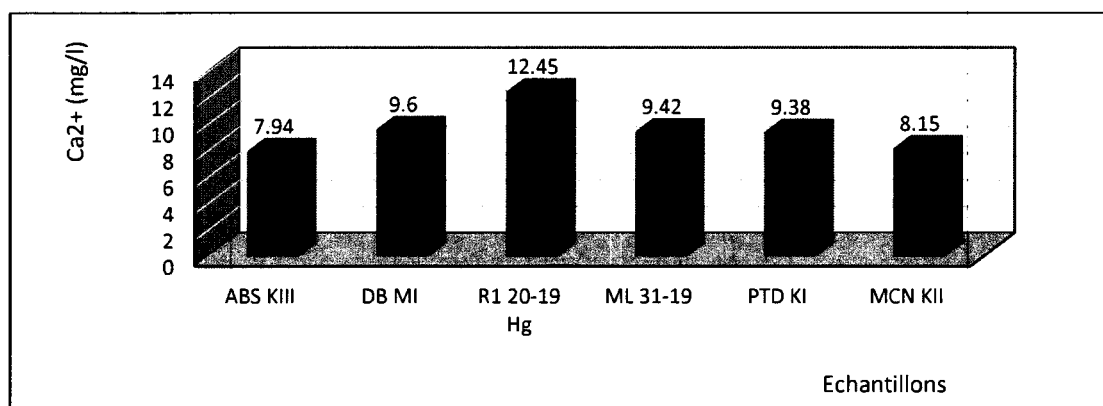


Figure XII : Diagramme du  $\text{Ca}^{2+}$  de l'eau de la Falémé

Les ions  $\text{Ca}^{2+}$  sont présentés dans les eaux de surface selon deux phénomènes naturels : la dissolution des formations carbonatées ( $\text{CaCO}_3$ ) et la dissolution des formations gypseuses ( $\text{CaSO}_4$ ). D'après la figure, les analyses des échantillons montrent que les valeurs sont conformes aux normes de l'OMS et les valeurs des échantillons prélevées dans le cours d'eau sont comprises entre 7.94 et 9.6 mg/l (Figure XII). L'échantillon R1-20-19 Hg montre une valeur supérieure à la moyenne des valeurs des autres échantillons on peut conclure que le lavage du minerai augmenterait la concentration de l'eau en  $\text{Ca}^{2+}$

#### 5.2.1.2. Magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ )

Les valeurs spatiales de  $\text{Mg}^{2+}$  des échantillons d'eau prélevées dans la rivière de la Falémé sont représentées à la figure suivante

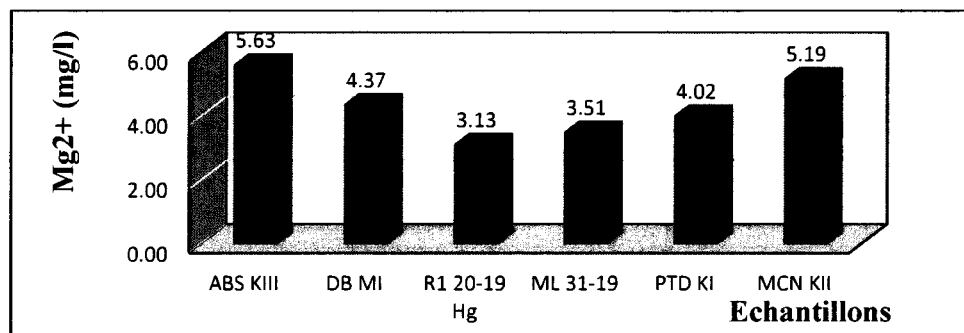


Figure XIII : Diagramme du  $\text{Mg}^{2+}$  des échantillons

Le magnésium est un composant significatif de la dureté de l'eau, sa teneur dans les eaux de surface est souvent due aux formations rocheuses traversées par le cours d'eau (calcaires dolomitiques, dolomies du jurassique ou du trias moyen). D'après la figure XIII les valeurs de  $Mg^{2+}$  varient entre 3.51 et 5.6 g/ml et sont très inférieures aux concentrations acceptables de l'OMS 50g/ml.

La teneur de  $Mg^{2+}$  mise en évidence par l'échantillon R1 20-19 Hg est inférieure à celles trouver dans les autres échantillons. Le lavage du minerai entraine une diminution des teneurs en  $Mg^{2+}$  de l'eau.

#### 5.2.1.3. Sodium ( $Na^+$ )

La figure représente les concentrations de l'ion  $Na^+$  des différents échantillons.

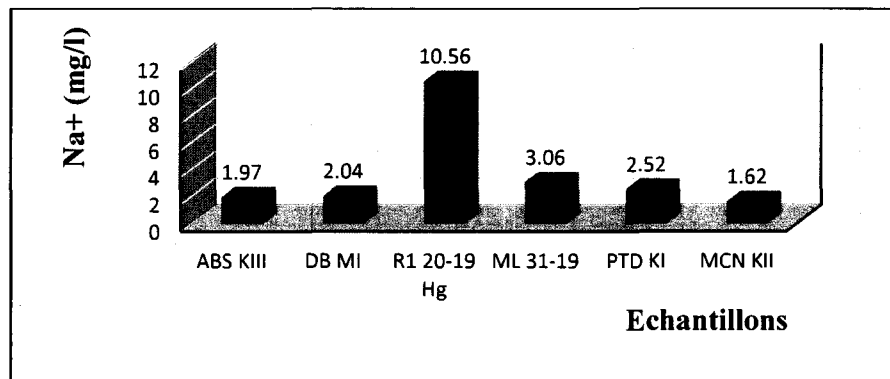


Figure XIV : diagramme des ions de  $Na^+$  des échantillons

Le sodium est un élément essentiel dans la composition du sel. Selon l'OMS le seuil de concentration du sodium dans l'eau qui est détectable par le gout dépend de l'anion qui est associée et de la température de la solution. A température ambiante le seuil de détection est d'environ 200mg/l. dans le cadre de cette étude, les concentrations en sodium des échantillons collectés oscillent entre 1.62 et 3.06mg/l et sont inférieurs à la norme de l'OMS

Cependant la valeur trouvée dans l'échantillon R1 20-19 Hg fait 5fois la moyenne des valeurs des autres échantillons. Le lavage du minerai augmenterait la teneur de l'eau en  $Na^+$ .

#### 5.2.1.4. Potassium ( $K^+$ )

La figure XV représente les concentrations en  $K^+$  des échantillons prélevés

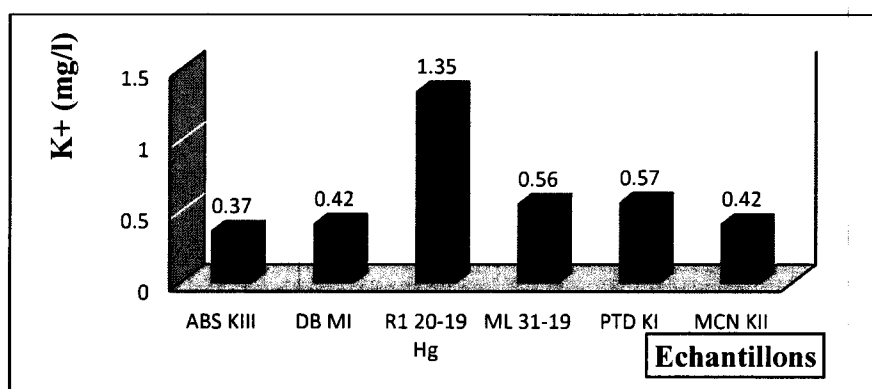


Figure XV : Diagramme des ions K<sup>+</sup> de l'eau des échantillons

Le potassium est un élément naturellement présent dans l'eau mais peut également provenir de l'activité de l'homme. Dans la rivière de la Falémé les résultats des analyses révèlent de faibles teneurs en potassium. Le diagramme montre que la teneur en K<sup>+</sup> de R1 20-19 Hg (1.35mg/ml) est supérieurs aux teneurs des autres échantillon ce qui montre que le lavage augmenterait la teneur de l'eau en potassium.

### 5.2.2. Les anions

Pour étudier la qualité de l'eau des échantillons collectés, les anions analysés sont : Cl<sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> et NO<sub>3</sub><sup>-</sup>

#### 5.2.2.1. Chlorure (Cl<sup>-</sup>)

La figure représente les valeurs des concentrations en chlorures des échantillons analysés

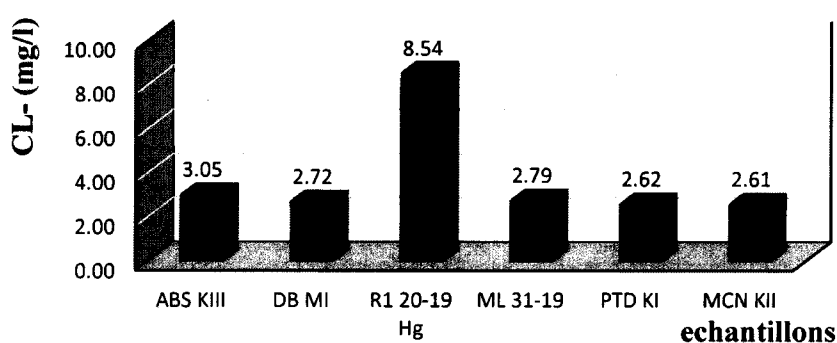


Figure XVI : diagrammes de chlorure des points d'eau étudiés

Les concentrations de chlorure dans les eaux douces peuvent être plus ou moins élevées en fonction de la géologie des terrains traversés et de leurs expositions aux polluants. La valeur guide fixée par l'OMS est de 250mg/l. les résultats des analyses indiquent des teneurs en

chlorures inférieures à cette limite (moyenne = 2.75mg/l). R1 20-19 Hg montre une valeur en Cl- supérieure à la moyenne des teneurs trouvées dans les autres échantillons. Le lavage du minerai influence la teneur de l'eau en chlorures.

#### 5.2.2.2. Bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ )

Les résultats des teneurs des échantillons en  $\text{HCO}_3^-$  sont présentés dans la figure

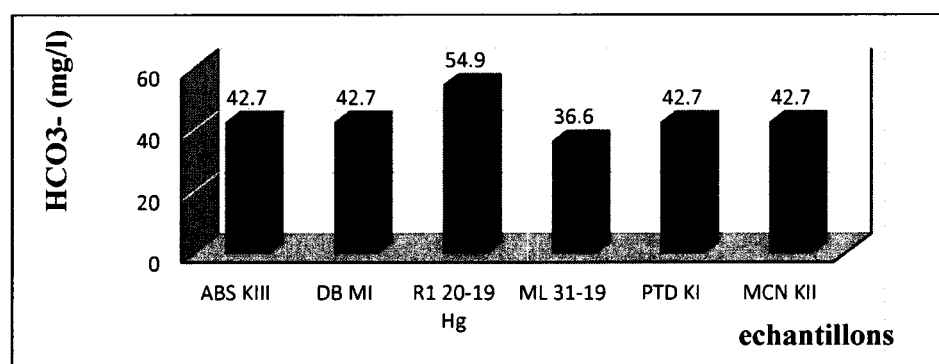


Figure XVII : diagramme bicarbonate des points d'eau étudiés

La présence du bicarbonate dans les eaux de surface peut être due à la dissolution des roches carbonatées ou bicarbonatées du terrain traversé par l'eau. Les analyses des échantillons révèlent des teneurs en bicarbonates variant de 36.6 à 42.7 mg/l. de cette figure nous constatons que la teneur de la Falémé en bicarbonate entre Moussala et Kolia n'évolue pas (42.7mg/l). Ainsi ces concentrations sont supérieures à celles révélées par les analyses des échantillons collectées dans le cadre des études de faisabilité d'Avant-Projet Sommaire de l'aménagement hydroélectrique de Gourbassi en période des hautes eaux (14mg/l). En effet tenant compte de ces résultats on peut noter que la Falémé est en train de s'enrichir en  $\text{HCO}_3^-$  de plus la teneur trouvée dans R1 20-19 Hg (54.9mg/l) est supérieure à la moyenne des autres échantillons (41.48mg/l). Les boues issues de l'orpaillage pourraient contribuer à l'augmentation de la teneur en  $\text{HCO}_3^-$  de la Falémé.

#### 5.2.2.3. Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ )

La présence de nitrate dans l'eau est d'une part due à la nitrification de l'ion ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) et d'autre part aux activités humaines. La concentration de l'eau potable en ion  $\text{NO}_3^-$  peut être classée en 4 catégories : inférieure à 0,2 mg-N/l (aucune influence humaine), entre 0,21 et 3,0 mg-N/l, (influence possible des activités humaines), entre 3,1 et 10 mg-N/l, (influence très nette des activités humaines mais sans impact apparent sur la santé), supérieure à 10 mg-N/l (impact majeur des activités humaines et effets possibles sur la santé) (Madison et Brunett, 1985). La figure présente les teneurs en  $\text{NO}_3^-$  des échantillons analysés.

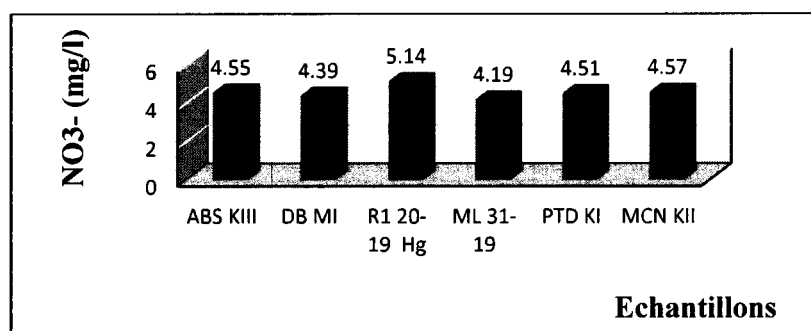


Figure XVIII : Diagramme des nitrates des points d'eau étudiés

Les résultats des analyses révèlent des concentrations en NO<sub>3</sub><sup>-</sup> comprise entre 4.19 et 4.57mg/l. elles sont inférieures à la limite maximale fixée par l'OMS. D'après Madison et Brunett, il y'a une influence très nette des activités humaine en plus, l'échantillon R1 20-19 Hg montre une valeur (5.14mg/l), supérieure aux autres valeurs les activités d'orpaillage auraient un incident sur la teneur en nitrate de l'eau de la Falémé.

#### 5.2.2.4. Sulfates (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)

Les sulfates peuvent être trouvés dans presque toutes les eaux naturelles. La plupart des composés sulfatés proviennent de l'oxydation des minerais de sulfates, la présence de schistes ou de déchets industriels. Ainsi, le niveau maximum de sulfate suggéré par l'OMS dans les lignes directrices de la qualité de l'eau potable en 1993 est de 500mg/l alors que les normes de l'UE fixent la limite maximale à 250mg/l. la figure présente les teneurs en SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> des échantillons prélevés dans la rivière de la Falémé.

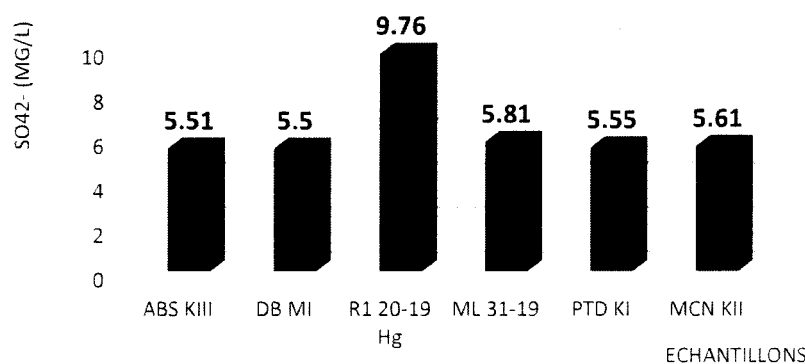


Figure XIX : Diagramme de sulfates des points d'eau étudiés

Les valeurs trouvées dans les échantillons varient de 5.5 à 5.81mg/l, elles sont toutes inférieures aux normes fixées par l'OMS et celles fixées par l'UE. La moyenne des concentrations (5.6mg/l) révélées par ces résultats sont supérieures à celle (1.8mg/l), révélés par les

échantillons collectés dans le cadre des études de faisabilité du barrage hydroélectrique de Gourbassi. R1 20-19 Hg contient une teneur supérieure à la moyenne des teneurs des autres échantillons prélevés dans la Falémé, les rejets issus des activités de l'orpaillage contribueraient à une augmentation de la teneur en sulfate de l'eau de la Falémé.

### **5.3. Faciès hydrogéochimiques de l'eau de surface de la Falémé**

Les Faciès hydrogéochimiques d'une eau sont obtenus à partir du diagramme de piper. Le diagramme de Piper permet d'étudier l'évolution spatio-temporelle du chimisme d'une eau ou d'un aquifère et présente l'avantage de regrouper un grand nombre d'analyses. Il est composé de deux triangles représentant la répartition des anions et celle des cations, respectivement, et d'un losange représentant la répartition synthétique des ions majeurs.

Sur les sites de Kolia et Moussala, les échantillons ont été prélevés le 20 janvier 2019. La représentation des résultats d'analyse sur le diagramme de Piper a permis d'identifier deux faciès au niveau de l'eau de surface de la Falémé : le faciès bicarbonaté et, le faciès bicarbonaté calcique et magnésienne. Les ions  $\text{HCO}_3^-$  constitue les ions les plus abondantes au niveau de ces sites. La figure XX montre le comportement hydrochimique de l'eau de surface de la Falémé aux sites de Kolia et Moussala.

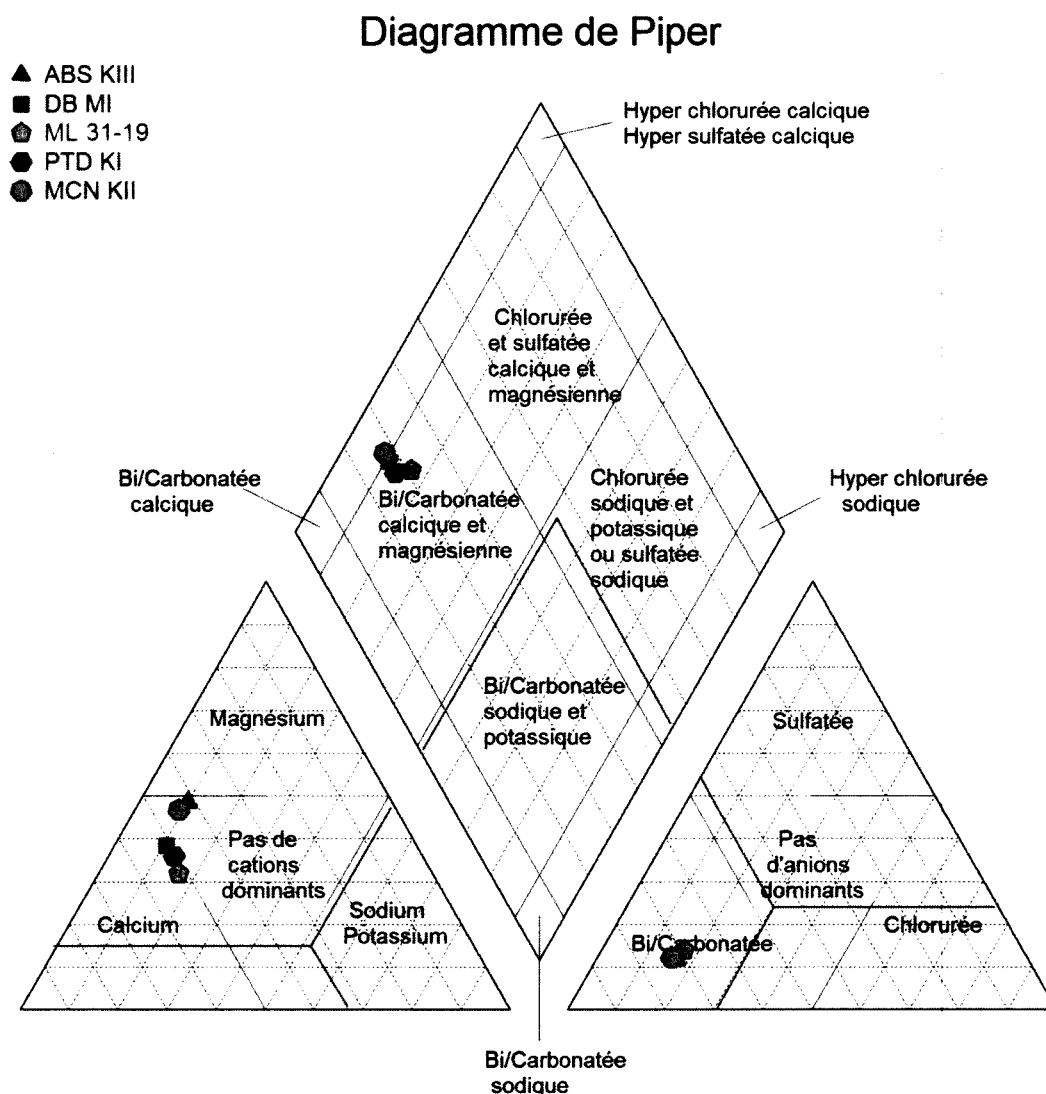


Figure XX : Diagramme de Piper de l'eau de la Falémé à Kolia et Moussala

#### 5.4. Aptitude de l'eau de la Falémé à l'irrigation

Comme l'eau de consommation, l'eau d'irrigation suit des normes. Une mauvaise qualité de l'eau d'irrigation peut entraver, le maintien de la productivité du sol, et la protection de l'environnement. Le sol est très sensible aux ions échangeables contenues dans les eaux d'irrigation. Également selon (Person, 1978), les sels causent des changements dans la structure du sol, sur sa perméabilité et sur son aération, affectant directement le développement de la plante. Par conséquent, la consommation de cette dernière peut être à l'origine de maladies chroniques.

Dans le cas de la Falémé la ressource en eau doit répondre à un certain critère de qualité pour permettre une irrigation sans risque de salinisation des terres cultivées dans le Bassin.



Pour étudier la qualité de l'eau d'irrigation d'une ressource en eau, deux méthodes permettent d'apprécier l'aptitude de l'eau d'irrigation en fonction du type de sol :

- **SAR** (Sodium Absorption, Ratio) ou la méthode du Riverside
- **Wilcox** (la conductivité électrique en fonction du pourcentage de Na)

**5.4.1. Méthode du SAR**

Le calcul du SAR permet, de tenir compte de l'influence des anions sur le pouvoir alcalisant des eaux. Cette méthode basée sur le diagramme de Riverside est établie, par United State Salinity Laboratory Staff en 1954, on la trouve également sous le nom de classification de "l'USSL" ou "USSL", qui est le sigle de son laboratoire d'origine. Cette méthode met en corrélation deux paramètres, le SAR et le CE et dans le diagramme, les classes sont définie selon ces deux paramètres.

Si l'eau est très riche en sodium, celui-ci peut se fixer sur le complexe du sol et exercer alors une action défloculante. Pour apprécier le risque alcalin, on compare la concentration en ions Na<sup>+</sup> et celle en ions Ca<sup>++</sup> et Mg<sup>++</sup> à l'aide de la formule suivante

$$SAR = Na^+ / \sqrt{\frac{(Ca^{++} + Mg^{++})}{2}}$$

Avec :

- Na<sup>+</sup> : Concentration de l'eau en ions sodium en méq/l.
- Ca<sup>2+</sup> : Concentration de l'eau en ions de calcium (méq/l).
- Mg<sup>2+</sup> : Concentration de l'eau en magnésium en méq/l.

Quatre classes alcalines ont été définies avec le risque salin

**Tableau xiv : classification des eaux par niveau d'aptitude à l'irrigation par la méthode du S.A.R**

Désignations classes	Risque alcalin	Sodium Absorption Ration (SAR)
S1	Risque faible	S.A.R ≤ 10
S2	Risque moyen	10 < S.A.R ≤ 18
S3	Risque élevé	18 < S.A.R ≤ 26
S4	Risque très élevé	S.A.R > 26

**Tableau xv : Classification globale de la salinité des eaux**

Désignations classes	Risque salin	Conductivité électrique CE
C1	Risque faible	$CE \leq 0.25$
C2	Risque moyen	$0.25 < CE \leq 0.75$
C3	Risque élevé	$0.75 < CE \leq 2.25$
C4	Risque très élevé	$CE > 2.25$

Pour tenir compte de salinité et du risque alcalin, ces deux tableaux sont combinés dans le tableau suivant :

**Tableau xvi : classification des eaux par degrés d'aptitude d'irrigation**

Degré	Qualité	Classes	L'état d'utilisation
1	Excellente	C1-S1	Eau utilisable sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures, sur la plupart des sols.
		C2-S1	En général, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation de plantes moyennement tolérantes au sel, sur sols ayant une bonne perméabilité.
2	Bonne	C2-S2	En général, eau convenant à l'irrigation de cultures tolérantes au sel, sur des sols bien drainés. L'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée.
		C3-S1	En général, eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés.
3	Admissible	C3-S2	Eau ne convenant généralement pas à l'irrigation mais pouvant être utilisée sous certaines conditions : sols très perméables, bon lessivage, plantes tolérant très bien le sel.
		C2-S3	
4	Médiocre	C4-S1	
		C4-S2	
5	Mauvaise	C3-S3	
		C3-S4	
		C4-S3	
		C4-S4	

La méthode du S.A.R figure) appliquée aux différents échantillons prélevés au niveau des sites de Kolia et Moussala permet de conclure que les eaux de surface du Bassin de la Falémé sont de bonne qualité pour l'irrigation. Ces eaux ont une faible minéralisation et ne présentent aucun risque pour la plupart des cultures et la plupart des sols.

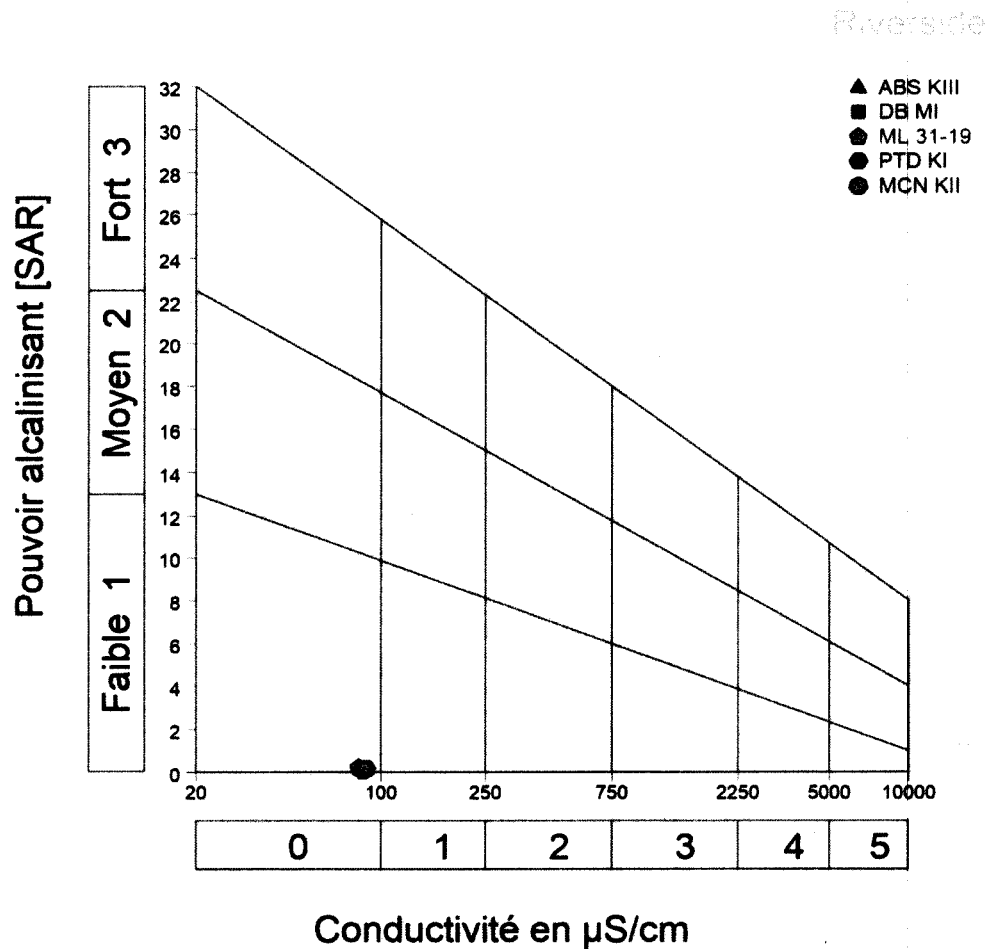


Figure XXI : Diagramme du S.A.R des points d'eau étudiés

#### 5.4.2. Diagramme de Wilcox

Ce diagramme est basé sur les valeurs du rapport d'absorption en sodium (SAR) et de la conductivité électrique des ions contenus dans l'eau. L'objectif était de représenter les échantillons sur le diagramme de Wilcox afin de faciliter la caractérisation des eaux de surface de la Falémé sur leur aptitude à l'irrigation.

Le diagramme de Wilcox montre que les eaux de surface de la Falémé sont de qualité excellente pour l'irrigation, avec un pourcentage de Sodium compris entre 0 et 20%.

Les diagrammes du S.A.R et de Wilcox présentent des résultats similaires, nous pouvons dire que l'eau du Bassin de la Falémé est utilisable sans aucun danger pour la plupart des cultures et sur l'ensemble des sols du Bassin.

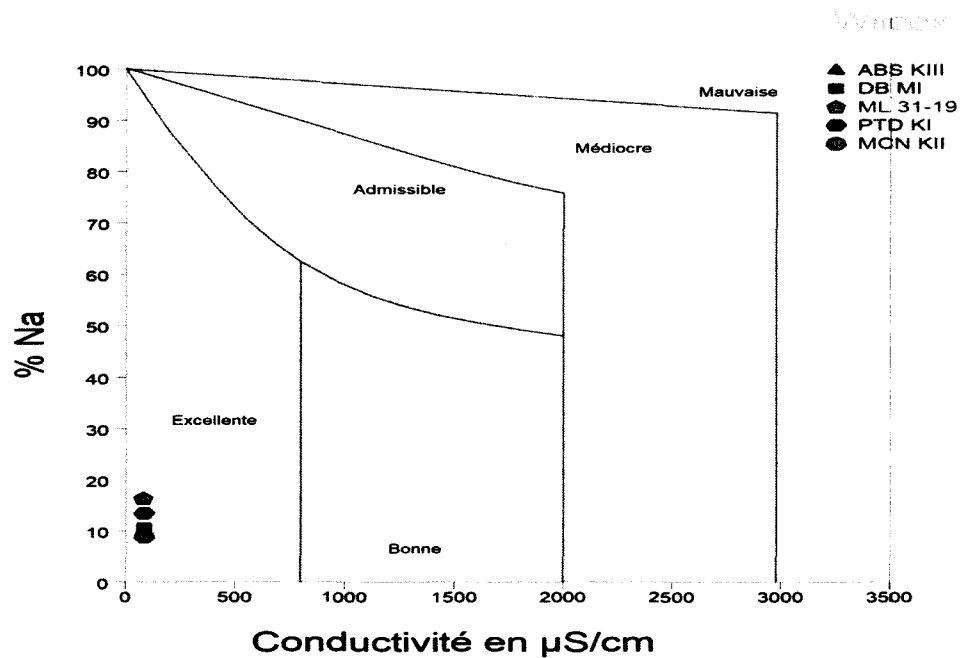


Figure XXII : Diagramme de Wilcox appliqué à l'eau du bassin de la Falémé

### Conclusion

l'étude hydrochimique de l'eau de la Falémé faite à l'aide des résultats d'analyse des échantillons a montré que les paramètres physicochimiques sont inférieurs aux seuils établies par les normes directrices de l'OMS. Les teneurs de l'eau en turbidité et en matières en suspension montrent que ces eaux sont subies à une forte pollution anthropique. Les diagrammes de wilcox et du S.A.R concluent que l'eau de surface de la Falémé est apte à la plupart des cultures mais ces teneurs en matières en suspension et de la turbidité pourraient favoriser la corrosion de certains types de canalisation. Cependant il faut une étude plus poussée pour conclure sur l'utilisation de l'eau à des fins domestiques et à la consommation.

## Conclusion générale

Le Bassin du Fleuve Sénégal en général et de la Falémé en particulier est devenu aujourd'hui, l'un des cours d'eau de l'Afrique de l'ouest les plus envahis par les exploitants artisanaux de l'Or du fait de sa richesse en ressources minières. Venus principalement des Etats riverains et des pays frontaliers a ces derniers, les orpailleurs sont présents partout sur les rives de la Falémé. Dans la Falémé, l'orpaillage se fait selon des règles d'exploitation locales, traditionnelles établies entre acteurs qui ne sont pas de nature à favoriser une exploitation rationnelle des ressources naturelles.

L'occupation du Bassin de la Falémé par ces orpailleurs ne cesse de détruire son environnement. Des terrains abandonnés et non réhabilités s'observent tout au long de la Falémé. Les pratiques liées à ces activités sont défavorables à un environnement sain et les produits utilisés causent beaucoup de dégâts sur la santé humaine et restent néfastes pour toutes les tranches d'âges.

Le lavage du minerai demande un apport d'eau important, après lavage la boue issue du lavage est directement déversée dans la Falémé augmentant la turbidité de l'eau et sa charge en MES. En plus la présence de dragues dans la Falémé contribue à l'agitation de l'eau et la migration de plusieurs espèces halieutiques.

Aussi, même si la composition physico-chimique de l'eau de la Falémé respecte les normes directrices fixées par l'OMS et apte à la plupart des cultures, il faut signaler que ses paramètres physicochimiques ont connues une évolution si on se réfère aux résultats des analyses des échantillons prélevés dans le cadre des études de faisabilité d'Avant-Projet Sommaire de l'aménagement hydroélectrique de Gourbassi. De plus, les teneurs en matières en suspension des points d'eau étudiés relativement très élevées montrent que ces eaux sont fortement exposées à des sources de pollution. Cependant, aujourd'hui, il est nécessaire de suivre l'évolution des métaux lourds dans la rivière de la Falémé vu l'utilisation excessive du mercure et du cyanure dans les activités de l'orpaillage.

## Recommandations

- ✦ A l'Organisation pour la Mise en Valeur du Fleuve Sénégal (OMVS)

Pour sauver la Falémé des sources de pollution qui pèsent sur la qualité de l'eau et l'hydrologie de la rivière, l'OMVS doit :

- ◆ Ordonner le retrait toutes les dragues du fleuve ;

- ◆ Impliquer les services techniques des régions de Kédougou et Kéniéba à la gestion de l'eau de la Falémé ;
- ◆ Appliquer strictement les règlements ayant trait aux rejets des effluents dans les cours d'eau naturels ;
- ◆ Faire une modélisation du remplissage du fleuve en mercure et du transfert de matière en suspension ;
- ◆ Initier une campagne de décontamination de l'eau de la rivière ;
- ◆ Faire un suivi de la qualité des eaux du Bassin du Fleuve Sénégal ;
- ◆ Aménager des périmètres maraichers au bord du fleuve afin de privilégier le secteur agricole à l'orpaillage ;
- ◆ Appliquer des tarifs sur l'eau utiliser pour le lavage du minerai permettrait de rationaliser cette utilisation ;
- ✚ Aux Etats membre de L'OMVS

Les Etats membres de l'OMVS en particulier le Sénégal et le Mali ont un grand rôle à jouer sur la régularisation des activités de l'orpaillage et dans la gestion de l'eau de la Falémé. Ils doivent prioritairement :

- ◆ Intégrer l'orpaillage sur un code minier collectif aux Etats membres ;
- ◆ Mettre en place une brigade mixte de surveillance du fleuve ;
- ◆ Renforcer les services techniques charger de gérer les différents aspects de l'orpaillage ;
- ◆ Elaborer et mettre en œuvre un plan éducatif et préventif sur l'exposition professionnelle au mercure et aux composés du mercuriels ;
- ◆ Régulariser la vente de l'Or qui se fait de façon anarchique favorisant le trafic des produits prohibés (mercure, Cyanure) ;
- ✚ Aux services techniques régionaux (DEEC, Service du pêche, SRMG, Service de l'hydraulique, région médicale)
- ◆ Multiplier les couloirs d'orpaillage et délimiter des périmètres de rejets ;

- ◆ Regrouper les orpailleurs en association pour une meilleure maîtrise des activités de l'orpaillage ;
- ◆ Exiger aux orpailleurs la réhabilitation des sites après exploitation ;
- ◆ Restaurer les sites d'orpaillage qui ne font plus l'objet d'une exploitation minière ;
- ◆ Sensibiliser les orpailleurs sur les conséquences de l'exposition au mercure par la projection de films ;
- ◆ Faire une étude sur la contamination des orpailleurs par le mercure

## Bibliographie

- Abai E, Ombolo A. *Suivi de La Qualité Physico-Chimique et Bactériologique Des Eaux*  
OMS. *Directives De Qualité Pour L ' Eau De Boisson.*; 2017..
- ANSD. *Situation Economique et Sociale Regionale 2014.*; 2014.
- Aliche Z. Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de l'Oued de  
Boutane région de Khemis-Miliana W.Ain Defla. 2016.
- Bader J-C, Cauchy S. *Actualisation de La Monographie Hydrologique Du Fleuve Sénégal.*;  
2013.
- BELHADJ MZ. Qualité des eaux de surface et leur impact sur l'environnement dans la  
wilaya. 2017.
- Boulvert E. *Coefficients de Transfert Des Éléments Traces Métalliques Vers Les Plantes*  
*Utilisés Pour l'évaluation de l'exposition.*; 2017.
- Carmouze J-P, Lucotte M, Boudou A. *Le Mercure En Amazonie: Rôle de l'homme et de*  
*l'environnement, Risques Sanitaires.*; 2001.
- Collon P. Evolution de la qualité de l ' eau dans les mines abandonnées du bassin ferrifère  
lorrain . De l ' expérimentation en laboratoire à la modélisation in situ To cite this  
version : HAL Id : tel-00004521. 2004.
- Dominique V. Etudes de données physico-chimiques des eaux du secteur Nord du Piton des  
Neiges Ile de La Réunion. 2009.
- DINEPA. *Echantillonnage et Analyse de l ' Eau Potable Pour Laboratoires Simplifiés.*; 2013.
- Dupon J-F. Les effets de l'exploitation minière sur l'environnement des îles hautes : le cas de  
l'extraction du minera de nickel en Nouvelle-Calédonie. *Comm du Pacifique Sud*  
*(Environnement Etudes Cas Pacifi; 1)*. 1986.
- Fiston BK. Etude sur l'utilisation du mercure et du cyanure dans l'exploitation artisanale de  
l'or au Nord et Sud-Kivu. 2017:18.
- Keita A. *Orpaillage et Accès Aux Ressources Naturelles et Foncières Au Mali.*; 2017.
- Moisan M, Blanchard F. *Utilisation de La Cyanuration Dans l'industrie Aurifère En Guyane.*  
*Impacts Potentiels Sur l'environnement et Recommandations.*; 2013.



Niasse M. *Analyse Diagnostique Environnementale Transfrontalière Du Bassin Du Fleuve Sénégal Rapport Final.*; 2017.

Orange D. Géochimie des eaux du Fouta-Djalou : flux dissous et particuliers en Haute Gambie (Kédougou et Gouloumbou) : contribution à la monographie de la Gambie. 2016;(July).

Rodier J, Legube B, Merlet N. *Analyse de l'eau Rodier. 9ème Edition.*; 2009.

Simler R. Manuel pour DIAGRAMMES. 2013:35.

*Des Cours d'eau de Ngaoundéré, Au Cameroun.* Vol 10.; 2015.

World Health Organization. L'exposition au mercure et ses conséquences sanitaires chez les membres de la communauté de l'extraction minière artisanale et à petite échelle de l'or (ASGM). 2013:5-8.

## Annexes

### Annexe1 : Méthodes d'analyses physico-chimiques des échantillons d'eau collectés

#### Paramètres physiques

Mesure de potentiel d'hydrogène (pH), Température (T°), conductivité électrique et salinité à l'aide d'un multi-paramètre de marque Hydrolab QuandaD (Figure XVIII)

#### Mode opératoire

##### ➤ Dosage de l'échantillon

- Prendre environ 100 ml d'eau à analyser
- Mettre un agitateur avec une bécher
- Laisser stabiliser un moment avec une faible vitesse d'agitateur
- Puis noter le pH, T°, l'oxygène dissous, conductivité électrique et salinité

Les résultats donnés directement en % et mg/l (oxygène dissous),  $\mu\text{s}/\text{cm}$  (conductivité) et en g/l (salinité)



Figure XXIII : Hydrolab Quanta-D

#### Turbidité

#### Mode opératoire

Pour mesurer la turbidité on utilise une éprouvette propre bien essuyé avec un papier hygiénique et on l'a rempli avec l'eau de l'échantillon à analyser puis un utilise un turbidimètre pour faire la mesure



Figure XXIV : Turbidimètre de Laboratoire

### Matières en suspension

#### Mode opératoire

- ☆ Laver le disque de filtration à l' eau distillée, le sécher ( $105^{\circ}\text{C}$ ) jusqu'à masse constante, puis le peser à 0.1 mg près passage au dessiccateur
- ☆ Le mettre en place sur l' équipement de filtration, mettre en service le dispositif D'aspiration ou de pression, verser l' échantillon (V) sur le filtre
- ☆ Rincer la fiole ayant contenu l' eau à analyser avec 10 ml d' eau distillée
- ☆ Laisser essore le filtre, sécher à  $105^{\circ}\text{C}$ , laisser refroidir du dessiccateur et peser à 0.1 mg près, jusqu'à masse constante

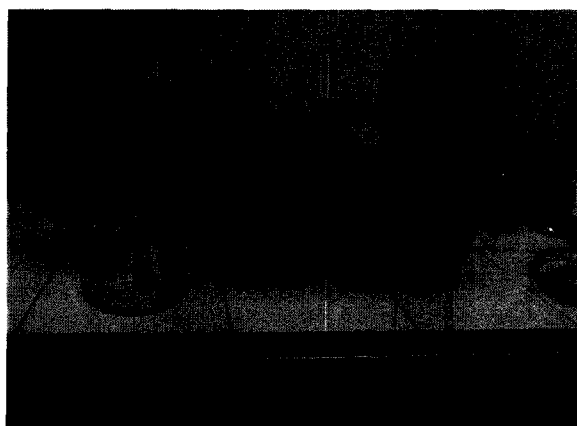


Figure XXV : Dispositif de mesure de MES

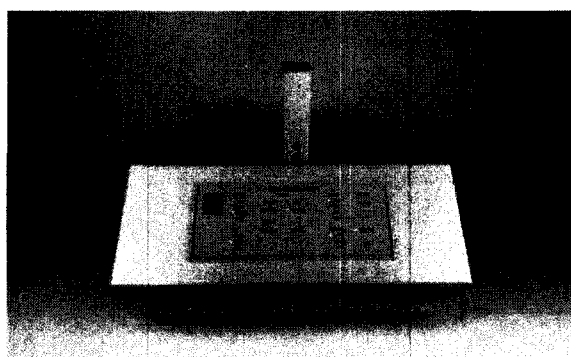
### Analyse des Anions et de Cations

### Mode opératoire

Au laboratoire les paramètres chimiques ont été analysés par chromatographie ionique à l'aide d'un appareil de marque Dionex-AQUION.

Pour la mesure de chaque ion on prélève 10ml de chaque échantillon qu'on place chacun dans un erlenmeyer.

- ☆ Placer 10ml de l'échantillon



*Figure XXVI : DIONEX appareil de mesure ionique des anions et cations*

### Annexe2 : les différentes formes de mercures présents dans l'environnement

Le mercure et les principaux composés mercuriels (Thomassin and Touze, 2003)

Termes utilisés	Autres termes rencontrés dans la bibliographie	Définition	Symbole/formule	Exemples
Mercure élémentaire	Etat fondamental du mercure	Mercure de valence 0	Hg <sup>0</sup> ou Hg(0)	
Mercure divalent	Ions mercuriques libres	Mercure de valence 2	Hg <sup>2+</sup> ou Hg(II)	
Composé mercureux	Sel, élément, produit mercureux	Composé mercuriel de valence 1	Hg(I)	HgCl ou Hg <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> Calomel
Composé mercurique	Sel, élément, produit mercurique	Composés mercuriels de valence 2	Hg(II)	Hg(OH) <sub>2</sub> , HgCl <sup>+</sup> , HgCl <sub>2</sub> (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Hg
Composé organique du mercure	Mercure organique ou organométallique ou organo-mercuriel	Le composé possède, au moins, du mercure et un élément organique	Hg(II)	CH <sub>3</sub> Hg <sup>+</sup> , (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Hg, CH <sub>3</sub> HgCl, comple <sup>2</sup> xes humiques
Dérivé mercuriel diméthylé	Mercure méthylé	Le composé possède, au moins, du mercure et un groupe méthyle (CH <sub>3</sub> )	Hg(II)	CH <sub>3</sub> Hg <sup>+</sup> , (MMHg), CH <sub>3</sub> HgCl, CH <sub>3</sub> HgOH
Dérivé mercuriel diméthylé	Mercure diméthylé Dérivés alkylés	Le composé possède, au moins, du mercure et un groupe diméthyle (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Hg(II)	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Hg, (MDHg)
Méthylmercure MeHg	Monométhyl mercure MMHg	CH <sub>3</sub> Hg	Hg(II)	CH <sub>3</sub> Hg
NB : le terme méthyl mercure peut être généralisé aux dérivés mercuriels méthylés				
Composé inorganique du mercure	Complexe, sel, mercure inorganique	Le composé possède, du mercure et un élément inorganique	Hg(II)	HgS, HgCl <sup>+</sup> , HgCl <sub>2</sub> , HgOH <sup>-</sup> , HgOH <sub>2</sub>

### Annexe3 : Toxicité des composés cyanurés

Caractéristiques physico-chimiques des différents types de cyanures rencontrés sur les sites miniers et classés en fonction de leur stabilité croissante et de leur toxicité décroissante (Yu

Zhang Hydrometallurgy 46, 1997)

Réf	Désignation	Désignation analytique réglementaire	Spéciations/ Composés	Constante d'équilibre	Solubilité g/100mL	Toxicité/poisson LC50 en mg/L
1	Cyanure libre		CN <sup>-</sup>	9,2	-	0,1
			HCN		9,2	0,05-0,18
A_solubles	Cyanure composés simples		KCN(s)		71,6	0,03-0,08
			NaCN·2H <sub>2</sub> O(s)		(25°C)	0,4-0,7
			Ca(CN) <sub>2</sub> (s)		34,2	
					(15°C)	
2	Cyanures composés simples B_solubles		CuCN(s)	19,5		-
			Zn(CN) <sub>2</sub> (s)	15,9		-
			Ni(CN) <sub>2</sub> (s)	-	9,1 10-4	-
					(15°C)	
3	Cyanures faiblement complexes/ faiblement liés		Cd(CN) <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	17,9		-
			Zn(CN) <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	19,6		0,18
4	Complexes cyanurés modérément ou faiblement liés		Ni(CN) <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	30,2	-	0,42
			Cu(CN) <sub>2</sub> <sup>-</sup>	16,3	-0,26	-
			Cu(CN) <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	21,6	-	0,71 (24h)
			Cu(CN) <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	23,1	-	-
			Ag(CN) <sub>2</sub> <sup>-</sup>	20,6	-	-
5	Complexes cyanurés fortement liés (SAD)	Intégrés dans les cyanures totaux	Fe(CN) <sub>6</sub> <sup>4-</sup>	35,4	-	35,0 (jour) et de 860 à 940 (nuit)
			Fe(CN) <sub>6</sub> <sup>3-</sup>	43,6	-	
			Co(CN) <sub>6</sub> <sup>4-</sup>		-	35,0 (jour) et de 860 à 940 (nuit)
			Au(CN) <sub>2</sub> <sup>-</sup>	38,3	-	
6	Produits de dégradation des cyanures		SCN <sup>-</sup>	-	-	50-200
			CNO <sup>-</sup>	-	-	34-54

#### **Annexe4 : Questionnaire aux orpailleurs**

1. Pays
2. Région
3. Département
4. Village
5. Prénom
6. Nom
7. Age
8. Nationalité
9. Nom du site d'exploitation
10. Durée d'occupation du site
11. Avez-vous une carte d'autorisation
12. Avez-vous Sibu une formation
13. Types d'orpaillage
14. Pourquoi un tel choix
15. Utilisez-vous l'eau de la Falémé
16. Quelle quantité utilisez-vous par jour
17. Quels sont les types de rejets issus de l'activité
18. Où sont évacués ces rejets
19. Utilisez-vous des produits chimiques pour l'extraction de l'or
20. Quels sont ces produits
21. D'où provient ces produits