



ANNALES DE L'UNIVERSITE MARIEN NGOUABI

Sciences et Techniques

VOL. 20 – N° 1 – ANNEE 2020

ISSN: 1815 – 4433

www.annalesumng.org

Indexation: Google Scholar

ANNALES DE L'UNIVERSITE MARIEN NGOUABI *SCIENCES ET TECHNIQUES*



VOLUME 20, NUMERO 1, ANNEE 2020.

www.annales umng.org

SOMMAIRE

Directeur de la publication :

J-R. IBARA

Rédacteur en chef :

J ; GOMA-TCHUMBAKALA

Rédacteur en chef adjoint

B. PASSI MABIALA

Comité de lecture

A.A. ABENA (Brazzaville)
J.M. BESSIERE (Montpellier)
G. COLLIN (Québec)
R. DELMAS (Toulouse)
C. DEMANGEAT (Strasbourg)
E.B. DONGALA (Brazzaville)
L. DORBATH (Strasbourg)
G. LAMATY (Montpellier)
P. LEPOIVRE (Gembloux)
J. MABANDZA (Brazzaville)
F. MIALOUNDAMA (Brazzaville)
B. MILLET (Besançon)
J.M. OUAMBA (Brazzaville)
B. PACKA-TCHISSAMBOU (Brazzaville)
T. SILOU (Brazzaville)
J.P. TATHY (Brazzaville)
L. TCHISSAMBOU (Brazzaville)
F. YALA (Brazzaville)

Comité de rédaction

C. BOUKA BIONA (Brazzaville)
D. LOUEMBE (Brazzaville)
B. MPASSI MABIALA (Brazzaville)

Webmaster

R. D. ANKY

Administration – Rédaction :

Université Marien NGOUABI
Direction de la Recherche
B.P. 69, Brazzaville – Congo
E-mail : annales@umng.cg

ISSN : 1815 – 4433

Indexation: Google Scholar

1 Composition floristique et production herbacée des savanes inondables de Mossaka (République du Congo)

YOKA J., BITISSI MPASSI L. O., BOKATOLA MOYIKOLA C., LOUMETO J.J., DJEGO J. G., AKOUANGO P.

11 Influences de l'extrait aqueux des feuilles de *Ageratum Conyzoides* Linnee (Asteraceae) sur la pression artérielle et la fréquence cardiaque chez le rat Wistar.

OKEMY AANDISSA N., MOUSSOUNGOU A.S.U., ETOU OSSIBI A.W., BOUKAKA B.E., ABENA A.A.

33 Monitoring des débits de rivières : cas de la rivière Djiri (République du Congo).

NGOUBOU R. C, DINGA J. B., NGANGA D.

55 Suivi de la pollution hydrique par le plomb dans le bassin versant de la rivière Djiri (République du Congo).

DINGA J. B., NGOUBOU R. C, NGANGA D.



SUIVI DE LA POLLUTION HYDRIQUE PAR LE PLOMB DANS LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE DJIRI (REPUBLIQUE DU CONGO).

DINGA J. B.^{1,2}, NGOUBOU R. C.^{1,2}, NGANGA D.²

1. *Laboratoire d'Analyses Physico-chimique de l'Institut de Recherche en Sciences Exactes et Naturelles, Recherche Scientifique ;*
2. *Faculté des Sciences et Techniques, Formation doctorale en Géosciences de l'Environnement Université Marien NGOUABI.*

République du Congo

Email : Corneillerochdesuz@gmail.com

RESUME

Cette étude porte sur l'évaluation de la qualité des eaux de la rivière Djiri située dans le bassin versant de Djiri. Situé entre 4° et 4°52' de latitude Sud et entre 15° et 15°55' longitude Est, le bassin versant de Djiri dispose d'une géologie formée essentiellement de sables Batékés et une altitude oscillant entre 600 et 700 m. Ce bassin versant est arrosé par la rivière Djiri et s'étend sur une longueur de 57 km avec une superficie de 980 km², une pluviométrie de 1770 mm. Deux sites ont été retenus et soumis à des analyses physicochimiques (Station Djiri en amont et Pont Manianga en aval). Cette étude répond à la problématique de couverture de risque de pollution des eaux des rivières et de vulnérabilité des populations riveraines face aux maladies hydriques causées par des polluants hydriques. Les principaux indices calculés à partir du programme d'application Excel 2016 montrent d'une part des valeurs de l'excédent mensuel de mesure in situ strictement positives et d'autre part des valeurs de l'indice de pollution strictement supérieures à l'unité sur le plomb, ce qui traduit pour le premier cas l'existence d'une source de pollution entre le site aval et le site amont et pour le second cas la contamination des eaux au plomb donc un dépassement des valeurs guides OMS sur le plomb.

Mots-clés : pollution, eaux de surface, métaux lourds, Bassin versant de Djiri

ABSTRACT

This study focuses on the assessment of the water quality of the Djiri River in the Djiri watershed. Located between 4° and 4° 52 'S latitude and between 15 ° and 15 ° 55' east longitude, the Djiri watershed has a geology consisting mainly of Batéké sands and an altitude ranging between 600 and 700 m. This watershed is watered by the river Djiri and extends over a length of 57 km with an area of 980km², a rainfall of 1770 mm. Two sites were selected and subjected to physicochemical analyzes (Djiri Station upstream and Pont Manianga downstream). This study addresses the problem of coverage of the risk of pollution of river waters and the vulnerability of riparian populations to waterborne diseases caused by water pollutants. The main indices calculated from the Excel 2016 application program show, on the one hand, strictly positive values of the monthly in-situ measurement surplus and, on the other hand, pollution index values strictly greater than unity. on the lead, which translates for the first case the existence of a source of pollution between the downstream site and the upstream site and for the second case the contamination of the leaded water thus exceeding the WHO guide values on lead.

Keywords : Stream flow, MERISE and information system, Hydrological scale, Hydrological station.

INTRODUCTION

La rivière Djiri est située dans le 8^{ème} arrondissement de Brazzaville en République du Congo, avec un débit moyen interannuel de 25 m³/s, elle se jette dans le fleuve Congo. La croissance démographique de la ville de Brazzaville durant la dernière décennie a poussé les populations à occuper les espaces habitables dans le bassin versant de Djiri, ainsi tout autour de la rivière Djiri sont développer les activités socio-économiques.

Les eaux de la Djiri font l'objet de multiples usages domestiques dont : la baignade, la lessive, la vaisselle et nutrition.

Cependant, il est érigé à 1km du pont Djiri (1^{ère} Sortie) une aciérie électrique susceptible de rejeter dans les eaux de la rivière Djiri des polluants pouvant causer des dommages environnementaux et des risques sanitaires pour l'homme en particulier.

Ce travail s'inscrit dans le cadre de la protection de l'écosystème aquatique et de la prévention des risques sanitaires sur les populations riveraines.

Le problème de pollution des eaux est étroitement lié à celui de la qualité des eaux et impose une attention particulière au Congo comme dans la plupart des pays en développement. Plus vite un diagnostic sur la mauvaise qualité de l'eau est fait, vite les moyens peuvent être mis pour apporter des solutions de couverture des risques sanitaires et environnementaux.

Au cours de cette étude, un accent particulier sera mis sur l'estimation de la qualité physico-chimique des eaux de surface de Djiri à partir de deux points de prélèvement (Point Amont : Station Djiri, Point Aval : Ancien Pont Djiri Manianga).

Douze mois de campagne d'échantillonnage et d'analyses physico-chimiques ont permis d'observer chaque mois que l'excédent de mesure dépassant la valeur guide OMS sur le plomb (Normes OMS, 2006) justifiant ainsi une source de pollution sur le plomb entre le point amont et le point aval.

La géologie du bassin de Djiri apporte une contribution naturelle en plomb mais n'entraîne pas une pollution des eaux. La principale source de pollution permanente dans le bassin versant de la rivière Djiri en plomb est probablement due à l'existence dans ce bassin d'un site industriel situé à 1km du pont de Djiri et qui rejette dans les eaux des polluants.

A titre contributif et dans l'optique de suivi du polluant hydrique, les données in situ ont permis de simuler deux modèles mathématiques : le modèle ADE théorique et expérimental (Dass JABBOUR ,2006) et le modèle ADM théorique (J. Bonazebi,2014).

La simulation du modèle ADE a mis en évidence la corrélation avec les données in situ alors que celle du modèle ADM a révélé quelques insuffisances (adimensionnel, donne des valeurs négatives, aucune corrélation avec les données in situ) ; le calibrage et dimensionnement du modèle ADM a permis de construire un modèle adapté au suivi du polluant hydrique (ADC) validé à base des tests d'indices statistiques.

2. Présentation de la zone d'étude

2.1. Bassin versant de Djiri

2.1.1. Situation géographique

Le bassin versant de la Djiri s'étend sur une superficie de 980 km² (Kinga Mouzéo, 1986), Brazzaville s'étale essentiellement sur trois ensembles géomorphologiques très distincts les uns des autres (Vennetier, 1977). On distingue : la plaine alluviale, le plateau et l'ancienne terrasse alluviale.

Notre zone d'étude est située entre deux grands ensembles géomorphologiques : une région de collines

dont les altitudes augmentent progressivement du Sud vers le Nord pour atteindre le plateau de Mbé où elles oscillent entre 600 et 760 m (Figure.2.1).

La partie la plus élevée du plateau de Mbé drainée par le bassin se trouve disséquée par un réseau assez dense de vallées sèches qui convergent pour former des vallées humides comme celles de la Mary, de la Mobana et de la Mati. On trouve aussi ce type de réseau dans les hautes collines (Le Maréchal, 1966 et Guillot et Peyrot, 1980 ; cité par Kinga Mouzéo, 1986).

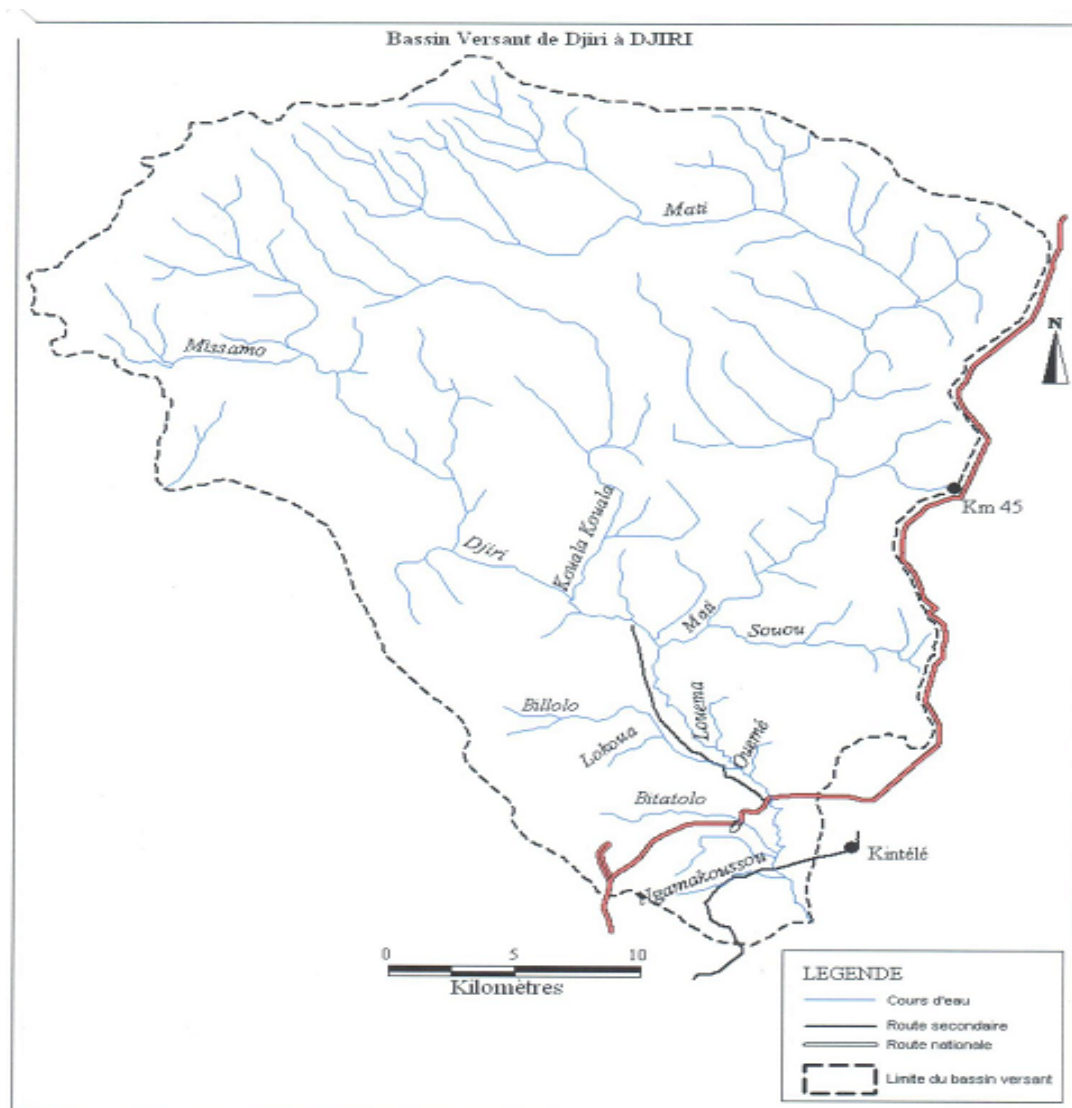


Figure 2.1 : Carte relative à la situation géographique du Bassin versant de Djiri

2.1.2. Situation géologique

Le sous-sol du bassin de la Djiri est constitué de deux importantes séries sédimentaires essentiellement gréseuses et sableuses : les grès du Stanley-Pool et les sables Batéké (Fig.2.2).

La première série montre ici son niveau moyen (SP2) composé de grès compacts blancs et son niveau supérieur (SP3) représenté par des grès kaoliniques tendres jaunâtres qui affleurent dans la basse et la moyenne vallée de la Djiri. Dans le reste du bassin, cette série est difficilement observable, car elle est ennoyée sous les sables Batéké. Ces derniers appartiennent généralement au Ba1 (en place ou colluvionné), mais dans les zones les plus élevées, c'est-à-dire sur la bordure des plateaux, les sables ocres limoneux du

Ba2 sont à l'affleurement. Le bilan approximatif des surfaces relatives de deux séries affleurant dans ce bassin sont ne pas bien répartis : la Série des grès du Stanley-Pool représente 13 % et celle des Plateaux Batéké occupe 87 % de la surface totale du bassin (KINGA MOUZEO, 1986).

Les sols revêtent une importance particulière du fait de leur rôle de réservoir susceptible de retenir de l'eau capable d'alimenter le régime d'un cours d'eau, le développement et la nature de la végétation. Les sols de recouvrement et d'altération dans le bassin versant de la Djiri sont de type ferralitique dominant comme pour les bassins voisins, on y rencontre les mêmes types de sols.

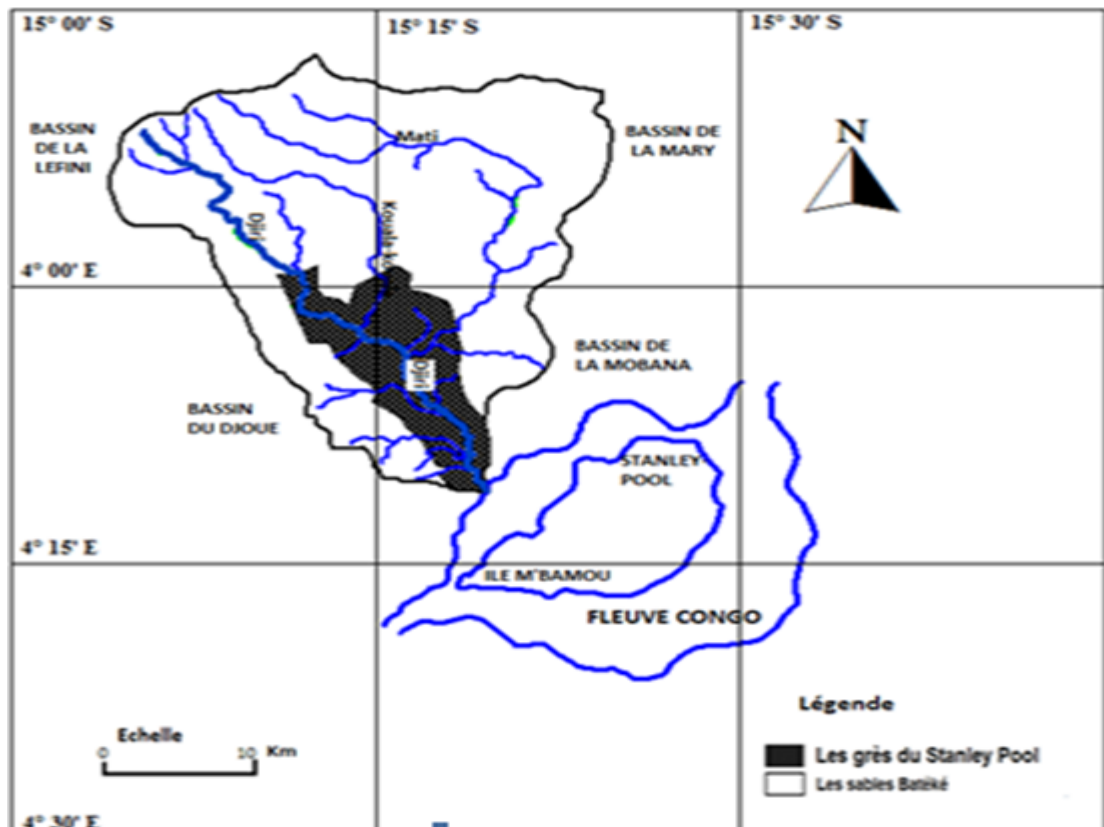


Figure 2.2 : Géologie du bassin versant de la Djiri
Source : KINGA MOUZEO, 1986

Dans ce bassin (Denis, 1974 cité par Kinga Mouzéo, 1986), seuls les sols ferralitiques et podzoliques sont représentés sur la carte pédologique au 1/200.000^e (Fig. 4). Les sols podzoliques et les podzols occupent 15,5% du bassin où ils sont distribués en bas de pente et dans la vallée de la Djiri et de ses affluents.

Les sols ferralitiques occupent l'essentiel du bassin (84,5%) ; On y distingue les psammitiques jaunes de pentes, des sommets de plateaux et de collines et les typiques modaux (figure 2.3).

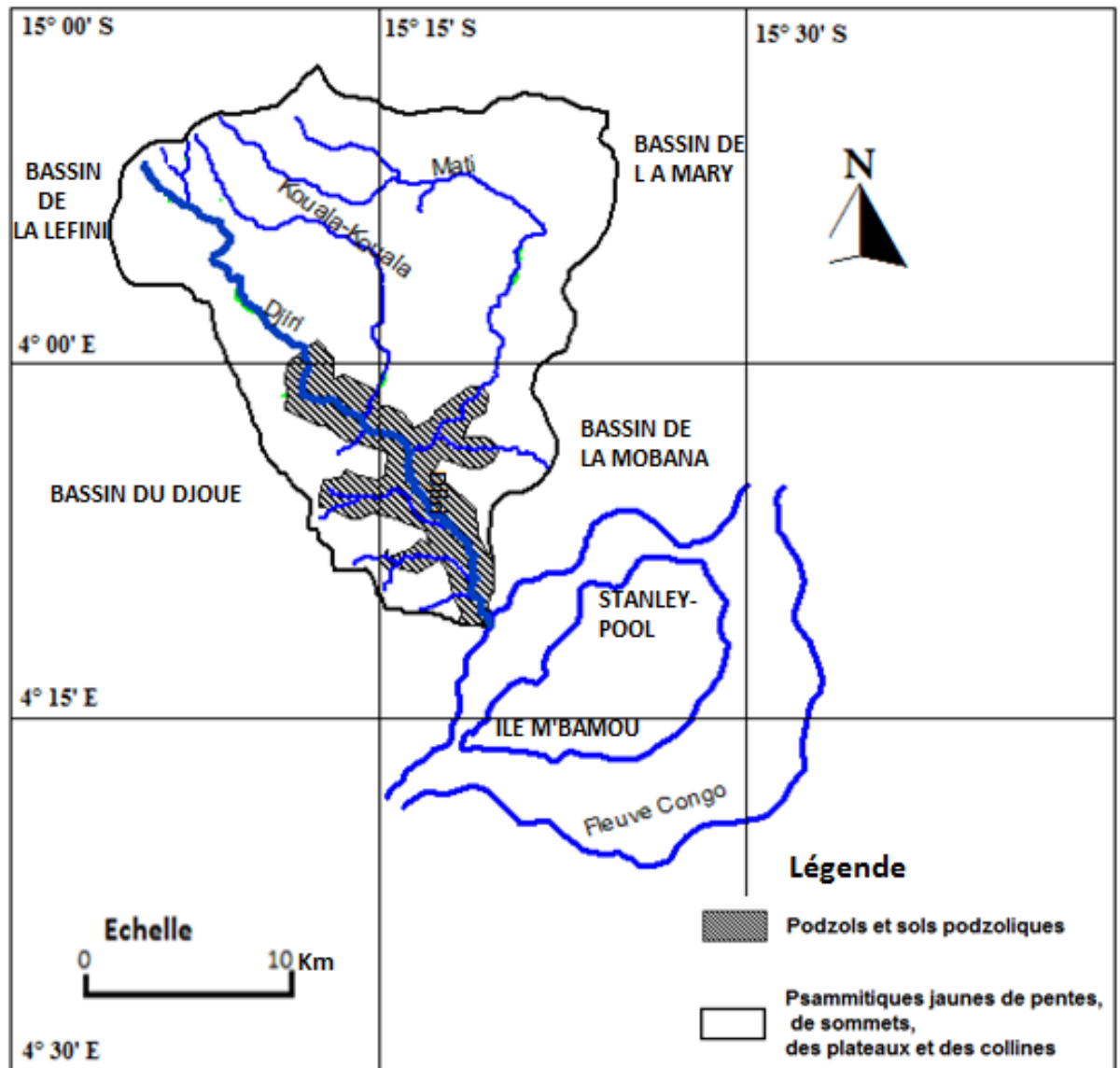


Figure 2.3 : Pédologie du bassin versant de la Djiri
Source : KINGA MOUZEO, 1986

2.1.3. Situation climatique

- **Pluviométrie**

Les précipitations représentent aux basses latitudes l'élément du climat qui conditionne le plus les différents systèmes

socio-écologiques car elles sont la cause première de la variabilité des écoulements.

L'absence, la rareté, l'excès ou la mauvaise répartition spatio-temporelle des

pluies peuvent être générateurs de crises climatiques et économiques et très souvent aussi, d'instabilité sociale et politique (BOKO, 1988 ; TAPSOBAT, 1997).

Bien que certaines sources des affluents de la rive droite de la Djiri se trouvent dans la zone de transition entre le climat subéquatorial et du Bas-Congo, le bassin de Djiri se situe essentiellement dans la zone du climat tropical humide (Samba Kimbata, 1978 ; Kinga Mouzéo, 1986).

Les changements qui interviennent dans les processus climatiques aux échelles journalières, mensuelles et annuelles dans un milieu donné, constituent la variabilité climatique de ce milieu.

2.1.4. Hydrologie du bassin versant

Le bassin hydrographique de la Djiri est à cheval sur deux formations géologiques que sont le grès et les sables (fig.2.3). Ces derniers, occupant la plus grande partie du bassin sont déterminants dans l'écoulement. Ces formations portent quatre types de sols (sols hydromorphes, sols ferralitiques, sols ferrugineux et sols podzolisés) dont deux sont les plus représentatifs (sols ferralitiques et sols podzolisés). Ces sols ont des propriétés physiques et hydrauliques différentes et jouent un rôle important dans la répartition des formations végétales, mais qui sont en croissante dégradation dans le bassin du fait de la croissance démographique et des activités maraîchères. La Djiri est un affluent de la rive droite du fleuve Congo, sa couverture sableuse favorise l'infiltration au détriment du ruissellement ; le coefficient de restitution élevé de cette couverture régularise le régime de la rivière, malgré une légère baisse du débit liquide pendant la saison sèche tel est le

comportement hydrologique d'un cours d'eau coulant sur le plateau Batéké.

Les affluents les plus importants sont ceux de la rive gauche, la Kouala-Kouala et la Mati (fig.2.1).

2.1.5. Fondements humains de l'exploitation des ressources en eau.

L'homme, pris individuellement ou collectivement, constitue un acteur déterminant de l'exploitation des ressources en eau. Il serait donc important d'analyser l'évolution démographique de la population des différents quartiers et villages qui se situent aux environs du bassin versant de la Djiri surtout avec le phénomène de l'urbanisation incontrôlée que connaît Brazzaville. De nos jours la Djiri en tant qu'arrondissement héberge une forte population estimée à près de 60.000 habitants. Cette occupation grandissante ou anarchique de l'espace du bassin versant par la population et par des unités industrielles ne serait pas sans conséquence sur les ressources naturelles en général et sur les ressources en eau en particulier de ce bassin, qui sont fortement impactées par les pratiques des cultures maraîchères et l'activité industrielle.

Les figures 2.4 ; 2.5 et 2.6 ; 2.7 ; 2.8 ci-après montrent les pratiques culturelles pratiquées caractérisant une agriculture d'autoconsommation et l'activité industrielle de fabrication de l'acier à partir des ferrailles recyclées dans ce bassin. Dès que le sol est mis à nu, l'érosion de la couche superficielle du sol draine le sable, et il se développe un phénomène d'ensablement du lit du cours d'eau et favorise plus l'infiltration et moins de ruissellement.



Figure (2.4) : activité agricole 1



Figure (2.5) : activité agricole 2



Figure (2.6) : Débris de fer recyclés.



Figure (2.7) : Débris de fer recyclés dans le bassin versant de Djiri.



Figure (2.8) : Installation industrielle implantée dans le bassin versant de Djiri.

3. Matériels et Méthodes

3.1. Matériels

Les besoins en réactifs, matériels et logiciels nécessaires à la mise en œuvre du processus d'échantillonnage, d'analyses

physicochimiques et analyse des données in situ sont résumés dans le tableau ci-après :

N°	Matériel ou Produit/Logiciel	Type de Matériel	Objectif
1	Balance de précision	Appareil de Mesure	Mesure de la masse autrement dit la concentration du sable, MES, du RS et du béccher vide
2	pH-mètre		Mesure automatique du Ph in situ des eaux
3	Conductimètre		Détermination de la conductivité électrique in situ des eaux
4	Spectromètre		Détermination des concentrations des éléments dissous dans un échantillon donné
5	Tamis		Filtrage des échantillons dans leur état brute et recueil du sable avant toute autre manipulation
6	GPS		Acquisition des coordonnées géographiques des points d'échantillonnages
7	Bouteilles Platiques	Matériel d'Echantillonnage	Prélèvement des eaux de la rivière
8	MapInfo	Logiciel	Réalisation SIG
9	MS EXCEL 2016		Réalisation des agrégats de données statistiques
10	XLSTAT		Analyse statistique des données
11	SPAD		Analyse statistique des données
12	MSACCESS 2016		Base des données
13	Produits Chimiques	Réactifs Chimiques	Permettre d'évaluer les teneurs des espèces chimiques dans les eaux (Cuivre, Plomb, Chrome, Fer, etc.,...)

Tableau 1 : Matériel, Produit et Logiciel

3.2. Méthodes

3.2.1. Points d'échantillonnage

L'étude a lieu sur la rivière Djiri et deux points de prélèvement

ont été choisis en fonction de leur accessibilité pour l'échantillonnage sur la rivière Djiri (Tableau 5.1). Les points amont (S1) et aval (S2) ont pour coordonnées géographiques :

Tableau 2 : Coordonnées Géographiques des Points de prélèvement

SITES	POSITION	LONGITUDE EN DEGRE DECIMAL	LATITUDE EN DEGRE DECIMAL
S1	AMONT	15,3123	-4,1475
S2	AVAL	15,4445	-4,1615

S1 : Ancien Pont Djiri 1ère Sortie (Station) ;
S2 : Ancien Pont Djiri 2ème Sortie

Le point amont (S1) est situé à 1km et de l'aciérie électrique. Tous les prélèvements ont été effectués sur 12 mois entre Mai 2016 Décembre 2017 en deux points (Amont et Aval) choisis en raison de leur accessibilité et leur proximité du site industriel cible.

3.2.2. Conception du modèle mathématique ADC (Adomian Dimensionné Calibré)

Nous considérons que le transport du polluant dans l'eau de la rivière est régi par l'équation de Convection, Diffusion et Dissipation à coefficient constant et terme source dont le modèle est le suivant :

$$\frac{\partial C(x,t)}{\partial t} + \frac{\partial C(x,t)}{\partial x} - \frac{\partial^2 C(x,t)}{\partial x^2} + C(x,t) = F(x,t) \quad (1)$$

Avec $F(x, t) = -A \sin(x + t) + B$ et A, B sont des nombres réels fonction de la concentration du polluant et de la position. Aussi, nous considérons que le transport du polluant dans l'eau se fait selon l'axe longitudinal.

La forme générale de notre solution est :

$$C(x, t) = A \cos(x) * \cos(t) + B \quad (2).$$

Où A, B sont des coefficients de calibrage et de dimensionnement.

x: Cordonnée Longitudinale en degré decimal au point de prelevement;

t : l'ordre de prélèvement ;

Le l'ordre est défini par la fonction suivante :

$$\varphi : MXN^* \rightarrow N^* \\ (m, n) \rightarrow n$$

$$\varphi(m, n) = n$$

= temps de prelevement ou le n^{ieme}

$$\Delta_{Général} = \cos(t) * (\cos(X_{S1}) - \cos(X_{S2}))$$

$$\Delta_A = C_1 - C_2$$

$$\Delta_B = \cos(t) * (C_2 * \cos(X_{S1}) - C_1 * \cos(X_{S2}))$$

Les solutions de ce système linéaire sont données par :

$$A = \frac{\Delta_A}{\Delta_{Général}} = \frac{C_1 - C_2}{\cos(\alpha t) * (\cos(X_{S1}) - \cos(X_{S2}))} \quad (3).$$

$$B = \frac{\Delta_B}{\Delta_{Général}} = \frac{C_2 * \cos(X_{S1}) - C_1 * \cos(X_{S2})}{\cos(X_{S1}) - \cos(X_{S2})} \quad (4).$$

3.2.3. Simulation des modèles ADC, ADE et ADM

Ces simulations ont pour consistance :

L'estimation des mesures à partir des modèles ADC, ADE et ADM, la validation du modèle ADC, la corrélation MEXP vs ADE et ADE vs ADC, la comparaison des modèles.

mois d'échantillonnage

$$M = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12\} ;$$

N^* : ensemble des entiers naturels non nuls ;

La détermination de A et B découle de la résolution du

Suivant :

E. $P=C$ où E est une matrice carré d'ordre 2 ;

E le vecteur de composants A et B ;

C le vecteur de composants C_1 et C_2 .

C_1 : Mesure moyenne in situ en amont ;

C_2 : Mesure moyenne in situ en aval ;

Ce système linéaire est traduit par :

$$\begin{bmatrix} \cos(X_{S1}) * \cos(t) & 1 \\ \cos(X_{S2}) * \cos(t) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \end{bmatrix}$$

Les déterminants associés à ce système linéaire est :

• Modèle ADC

Le modèle ADC a pour expression analytique :

$$C(x, t) = A * \cos(x) * \cos(t) + B \quad (5).$$

Les coefficients A et B sont à déterminer à partir des données in situ.

• Modèle ADE

Le modèle ADE (Dass JABBOUR, 2006) a pour expression analytique :

$$C(x, t) = \frac{M_1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{1}{2} * (\frac{x}{\sigma_x})^2} \quad (6).$$

Ce modèle traduit la variation de la concentration massique du polluant en fonction de la coordonnée longitudinale, du temps de prélèvement et de la masse du polluant par unité de surface ; ce modèle pris comme une expression mathématique paramétrée avec pour paramètre la masse par unité de surface M1 permettra à partir des valeurs données de M1 d'estimer les concentrations du plomb qui prédisent les données in situ.

- **Modèle ADM**

Le modèle ADM (J. Bonazebi, 2014) a pour expression analytique :

$$C(x, t) = \cos(x) * \cos(t) \quad (7).$$

Ce modèle fera l'objet d'une expérimentation à base des données in situ pour une éventuelle amélioration au cas où il présentera des insuffisances significatives.

3.2.4. Evaluation de la Pollution Hydrique

- Détermination de l'excédent de mesure in situ Δ_C entre le point aval et le point amont pour chaque paramètre physico-chimique, chimique ou métallique en chaque point et à chaque instant :

$$\Delta_C = \text{Mesure}_{\text{Aval}} - \text{Mesure}_{\text{Amont}} \quad (8)$$

- Indice de Pollution pour chaque paramètre en chaque point et à chaque instant :

$$IP = \frac{\Delta_C}{\text{Valeur}_{\text{Guide}}} \quad (9)$$

Si $IP > 1$ Alors il y a dépassement de valeur guide OMS pour le paramètre

analysé sinon aucun dépassement n'est observé.

- Degré de Pollution pour chaque paramètre en chaque point et à chaque instant :

$$D^{\circ}P = \text{Mesure}_{\text{Aval}} - \text{Valeur}_{\text{Guide}} \quad (10)$$

Si $D^{\circ}P > \text{Mesure}_{\text{Amont}}$ Alors il y a pollution sinon aucune pollution observée.

- **Evaluation du flux métallique :**

Le flux se définit comme la masse du polluant écoulé sur une surface en une année, il s'exprime en tonne par année.

$$\text{Flux}_{\text{métallique}} = 31.536 * \text{Debit}_{\text{moyen}_{\text{journalier}}} * \text{Excédent}_{\text{mesure}} \quad (11)$$

- **Flux métallique minimal :**

Si $IP > 1$ alors $\Delta_C > \text{Valeur}_{\text{guide}_{\text{OMS}}}$, ceci entraîne que

$$\text{Debit}_{\text{moyen}_{\text{journalier}}} * \Delta_C > \text{Debit}_{\text{moyen}_{\text{journalier}}} * \text{Valeur}_{\text{guide}_{\text{OMS}}}, \text{ ceci conduit à :}$$

$$\text{Flux}_{\text{métallique}_{\text{minimal}}} = \text{Debit}_{\text{moyen}_{\text{journalier}}} * \text{Valeur}_{\text{guide}_{\text{OMS}}} \quad (12)$$

Le flux minimal est le flux correspondant à une concentration du polluant équivalente à la valeur guide OMS.

Au cours de notre étude et à l'aide de bouteilles en plastique de 1,5l litre de capacité, lavées et rincées préalablement à l'eau déminéralisée, le prélèvement est réalisé en plongeant la bouteille à 25 cm de la surface libre. Les échantillons d'eau, prélevés, sont transportés au laboratoire

immédiatement pour analyse et 20 paramètres physicochimiques ont été mesurés pour caractériser le milieu étudié entre Mai 2016 et Décembre 2017.

Tableau 3 : Codes employés pour les paramètres physicochimiques et métalliques évalués.

Variables	Paramètres
Aluminium	Al ³⁺
Calcium	Ca ²⁺
Conductivité Electrique	CE
Chlorure	Cl ⁻
Chrome	Cr
Cuivre	Cu ²⁺
Fer Total	Fe ^{tot}
Potassium	K ⁺
Matieres en suspension	MES
Magnésium	Mg ²⁺
Manganèse	Mn ²⁺
Ammonium	NH ₄ ⁺
Nitrates	NO ₃ ⁻
Plomb	Pb ²⁺
Potenciel Hydrogène	PH
Orthophosphates	po ₄ ³⁻
Residu Sec	RS
Sable	sable
Sulfates	SO ₄ ²⁻
Température	T°C
Titre Alcalimétrique Complet	TAC

3.2.5. Test de validation des données issue d'une méthode mathématique

La validation d'une méthode mathématique est un processus par lequel on détermine comment la méthode réplique ou prédit le comportement du système réel qu'il implémente, selon un critère lié à la précision attendue. Ainsi, la validation d'une méthode est intrinsèquement liée à l'objectif qui lui est assigné.

Cette procédure de validation est souvent expérimentale (Dass JABBOU, 2006), ce qui revient à confronter les résultats de la méthode mathématique à ceux de l'expérience. Il n'y a pas de critère universel permettant d'affirmer de façon univoque que la méthode est valide ou non. Cela dépend de la méthode elle-même et

surtout de l'objectif pour lequel elle a été conçue et des hypothèses sur lesquelles il repose.

De nombreux indices statistiques permettent d'évaluer les performances de prédictions des modèles ou celles des méthodes par rapport à la réalité (Hanna et al. 1991 ; Mosca et al. 1998 ; Baléo et al. 2003). Parmi ces indices, nous appliquerons le coefficient de divergence R entre les valeurs observées et prédites, le pourcentage d'erreur ponctuel E_i et moyen E, le Fa_2 (Factor-of-two), le facteur de dispersion MRSE et le pourcentage de surestimation FOEX.

• Coefficient de divergence R

Le coefficient de divergence R est le rapport entre les valeurs prédites et les valeurs observées.

C'est l'indice de performance le plus simple (Duijm et al. 1996) :

$$R = \frac{\text{Valeur_Prédite}}{\text{Valeur_Observée}} \quad (13)$$

Cet indice est toujours positif et ne prend pas en compte des valeurs prédites nulles. Plus il se rapproche de l'unité plus la divergence entre les valeurs prédites et observées est faible.

Il paraît donc évident qu'il y a surestimation des valeurs observées si $R > 1$ et sous-estimation si $R < 1$.

3.1.6. Contribution de l'analyse informatique à la valorisation des données des rivières

A ce jour aucun outil de contrôle et de suivi de polluants n'est mis en œuvre pour permettre aux pouvoirs publics de faire le suivi des éléments valorisants de l'environnement (EVE) et la réalisation de ce projet est une contribution très significative.

Pour réaliser de ce système d'information, nous avons choisi aborder

une approche de modélisation systémique de type MERISE (Hubert Tardieu, 1997).

La description de l'ensemble des informations traduisant le processus d'échantillonnage des eaux des rivières, de l'analyse physico-chimiques des eaux des

rivières, de la prise en compte des normes de qualité ou potabilité des eaux et de la gestion des stations bathymétriques est représentée le modèle suivant :

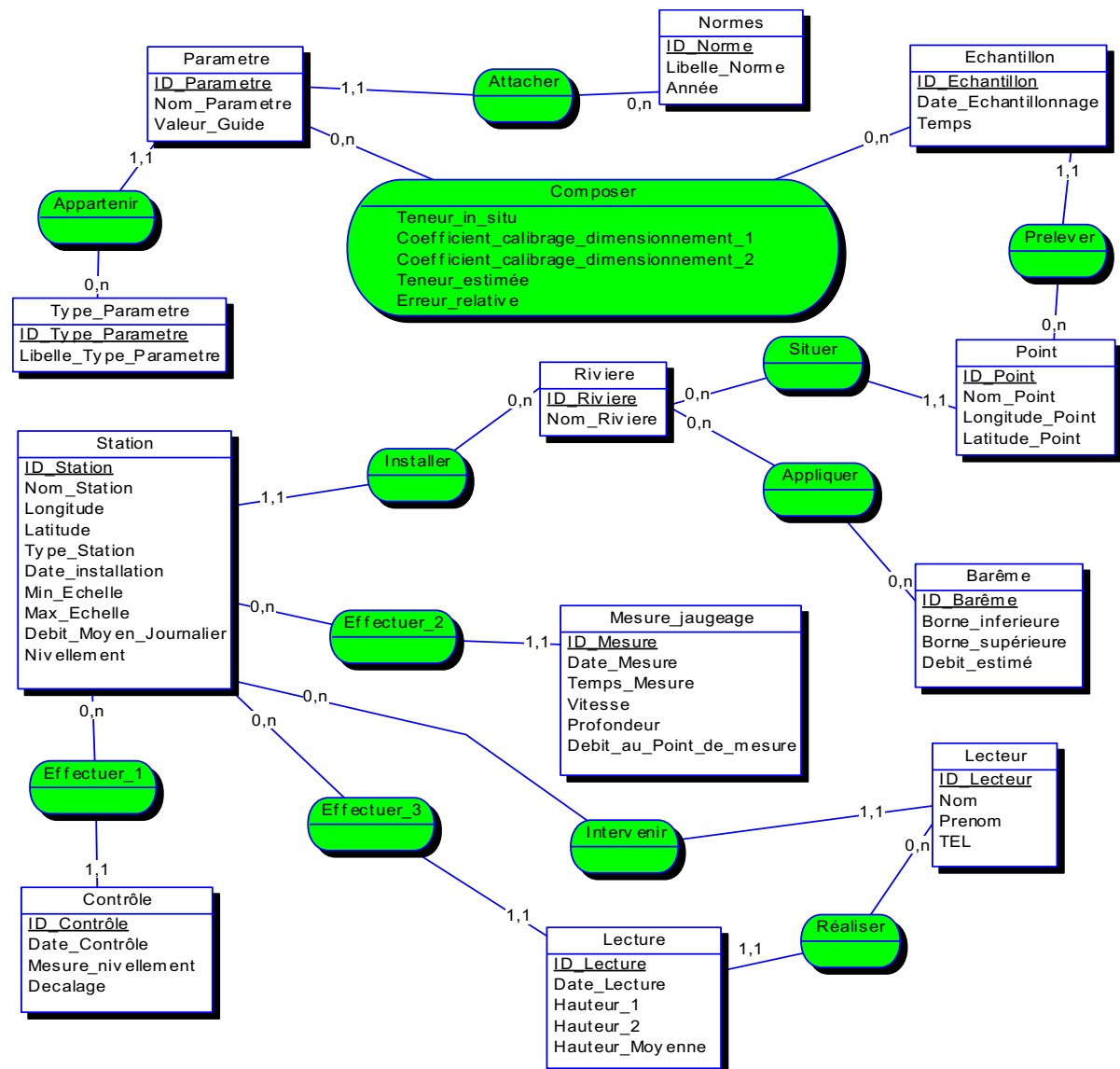


Figure 3 : Modèle Conceptuel des données relatif aux données hydrologiques.

Cette modélisation conceptuelle traduit la sémantique du système d'information permettant de réalisation de l'outil de suivi des polluants hydriques, des débits des rivières et la gestion des stations hydrologiques ; de celle-ci sera déduite la base de données sur la valorisation des

données hydrologiques, base de données conçue et implémentée sur le système de gestion de base de données MySQL et interfacée par une application web permettant aux utilisateurs selon leur habilitation d'accéder aux données.

4. Résultats et Discussion

4.1. Résultats

4.1.1. Analyse Physico-chimiques des eaux de surface de la rivière Djiri

Les résultats des analyses physico-chimiques sont mentionnés dans le tableau 4. Le tableau 4 illustre une synthèse des mesures in situ issues des échantillonnages effectués sur la rivière Djiri au point aval

Tableau 4 : Observations en aval

POINT AVAL												
Paramètres	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Al ³⁺	0,001	0,03	0,12	1,75	0,08	0,8	0,9	0,9	0,7	0,9	0,9	0,13
Ca ²⁺	9	15	18	21	16	12	13	10	12	13	12	16
CE	7,58	7,17	8,14	9,1	8	8	10,2	8,22	9,33	10,1	6,4	5,99
Cl ⁻	8,4	2,02	3	2,11	2,97	1,7	2,32	2	2,25	3,08	3,67	4,18
Cr	2,05	0,08	0,09	0,15	0,09	0,08	0,09	0,09	0,06	0,08	0,06	0,07
Cu ²⁺	0,3	0,9	0,17	0,21	0,15	0,9	0,1	0,11	0,8	0,9	0,8	0,11
Fe ^{tot}	4,1	0,016	0,022	0,022	0,026	0,014	0,018	0,01	0,09	0,01	0,08	0,09
K ⁺	3,7	4,2	4,1	4,7	4	2,9	2,8	2,7	3,4	2	1,8	2
MES	8,4	13,25	18,08	24,7	22,08	9,13	7,22	13	14,4	13,3	10,22	12,2
Mg ²⁺	11	11	13	11	12	10	10	10	14	12	11	11
Mn ²⁺	1,77	1,7	1,76	2,01	1,81	1,15	2,18	1,12	0,99	1,66	0,98	0,98
NH ₄ ⁺	0,002	0,09	0,18	0,19	0,08	0,1	0,12	0,9	0,09	0,08	0,06	0,09
NO ³⁻	0,06	2,86	3,04	3,75	3,07	3,02	2,99	4,44	6,07	6,22	8,55	9,76
Pb ²⁺	2,8	0,77	1,07	1,13	0,62	0,9	0,27	0,5	0,8	0,73	0,9	0,83
PH	5,16	6,73	6,15	6,22	6,08	6,17	6,22	6,19	6,08	6,18	6,32	6,24
po ₄ ³⁻	0,01	0,3	0,28	0,28	0,22	0,16	0,2	0,19	0,13	0,14	0,13	0,15
RS	0,62	31	37,5	40,2	37,5	20,4	18,9	25,6	28,4	35	39,2	42,9
sables	5,78	2,12	9,7	10,6	9,7	2,13	3,01	7,55	11,5	15,7	13,7	16,4
SO ₄ ²⁻	0,14	21	25	27	9,3	18	29	13	10	13	12	17
T°C	28,2	28,2	27,7	27	27	27,8	27,9	27	27	26,8	26,8	26,4
TAC	179	199	201	187	187	150	158	110	99	99	94	101

Le tableau 5 illustre une synthèse des résultats des analyses physico-chimiques des échantillonnages prélevés sur la rivière Djiri en amont.

Tableau 5 : Observations en amont.

POINT AMONT												
Paramètres	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Al ³⁺	0,001	0,01	0,9	1,2	0,06	0,6	0,7	0,5	0,5	0,8	0,7	0,1
Ca ²⁺	4	40	14	16	6	10	11	9	11	10	11	14
CE	7,12	9,14	9,4	11,2	9,75	7,7	8,4	7,18	8,88	9,05	4,18	4,7
Cl ⁻	4,5	2,26	1,8	1,87	1,3	1	2,1	17	2,1	1,75	2,11	3,44
Cr	1,6	0,06	0,08	0,09	0,09	0,06	0,08	0,05	0,04	0,06	0,05	0,06
Cu ²⁺	0,3	0,6	0,15	0,17	0,9	0,8	0,9	0,6	0,5	0,6	0,6	0,8
Fe ^{tot}	2,5	0,1	0,016	0,021	0,08	0,012	0,01	0,09	0,08	0,07	0,06	0,09
K ⁺	6	2,1	3,9	3,5	44	2,2	2,7	2,1	3	1,9	1,2	1,8
MES	4,5	14,9	13	15,2	2,76	9	11,1	10,9	11,14	10,5	8,44	11
Mg ²⁺	7	9	10	9	10	8	9	8	10	12	8	9
Mn ²⁺	1,64	0,75	1,55	1,17	1,17	1,1	2,14	1,07	0,97	0,98	0,95	0,82
NH ₄ ⁺	0,42	0,04	0,09	0,12	0,48	0,07	0,06	0,08	0,07	0,06	0,05	0,07
NO ₃ ⁻	0,04	3,18	2,77	3,14	3,7	2,05	4,17	3,18	4,6	4,51	5,01	8,96
Pb ²⁺	1,42	0,36	0,8	0,83	0,44	0,5	0,17	0,3	0,7	0,6	0,5	0,7
PH	5,14	5,75	6,05	6,7	5,4	6,04	6,13	6,17	5,97	6	6,25	6,17
po ₄ ³⁻	0,01	0,17	0,16	0,28	0,18	0,14	0,18	0,16	0,1	0,8	0,5	0,17
RS	0,45	33,1	23,3	37,7	28,7	20	27	22,9	25,7	30,1	33,7	41
sables	9,91	5,5	8,2	9,12	4,79	7,4	8,04	7,12	9,18	8,5	10	15
SO ₄ ²⁻	0,13	3,12	20	23	8,4	13	8,75	11	9	11	10	14
T°C	28,4	28	27,9	27,2	26,4	27	27,4	26,2	26,7	26,9	26,4	26,1
TAC	95	187	175	122	95	100	105	99	97	88	84	92

Le tableau 6 présente des valeurs extrêmes et moyennes des observations en amont : le pH oscille entre 5,14 et 6,7, ce qui signifie que le milieu étudié est acide (PH<7) ;

- La conductivité électrique CE oscille entre 4.18 µS/cm et 11.2 µS/cm donc CE<100 µS/cm ce qui implique une

faible minéralisation des eaux et ne favorise pas le déplacement des charges électriques dans l'eau en particulier des ions Pb²⁺ ;

- La température oscille entre 26.1 ° C et 28.4°C ;
- La teneur en plomb oscille entre 0.17 mg/l et 1.42 mg/l.

Tableau 6 : Valeurs extrêmes et moyennes des mesures in situ en amont

Paramètres	Min AMONT_IN_SITU	Max AMONT_IN_SITU	Moyenne AMONT_IN_SITU
Al ³⁺	0,001	1,2	0,505916667
Ca ²⁺	4	40	13
CE	4,18	11,2	8,058333333
Cl ⁻	1	17	3,435833333
Cr	0,04	1,6	0,193333333
Cu ²⁺	0,15	0,9	0,576666667
Fe ^{tot}	0,01	2,5	0,26075
K ⁺	1,2	44	6,2
MES	2,76	15,2	10,20333333
Mg ²⁺	7	12	9,083333333
Mn ²⁺	0,75	2,14	1,1925
NH ₄ ⁺	0,04	0,48	0,134166667
NO ³⁻	0,04	8,96	3,775833333
Pb ²⁺	0,17	1,42	0,61
PH	5,14	6,7	5,980833333
po ₄ ³⁻	0,01	0,8	0,2375
RS	0,45	41	26,97083333
sables	4,79	15	8,563333333
SO ₄ ²⁻	0,13	23	10,95
T°C	26,1	28,4	27,05
TAC	84	187	111,5833333

Tableau 7 : Valeurs extrêmes et moyennes des mesures in situ en aval

Paramètres	Min AVAL_IN_SITU	Max AVAL_IN_SITU	Moyenne AVAL_IN_SITU
Al ³⁺	0,001	1,75	0,600916667
Ca ²⁺	9	21	13,91666667
CE	5,99	10,2	8,185833333
Cl ⁻	1,7	8,4	3,141666667
Cr	0,06	2,05	0,249166667
Cu ²⁺	0,1	0,9	0,454166667
Fe ^{tot}	0,01	4,1	0,374833333
K ⁺	1,8	4,7	3,191666667
MES	7,22	24,7	13,83166667
Mg ²⁺	10	14	11,33333333
Mn ²⁺	0,98	2,18	1,509166667
NH ₄ ⁺	0,002	0,9	0,165166667
NO ³⁻	0,06	9,76	4,485833333
Pb ²⁺	0,27	2,8	0,943333333
PH	5,16	6,73	6,145
po ₄ ³⁻	0,01	0,3	0,1825
RS	0,62	42,9	29,76833333
sables	2,12	16,4	8,990833333
SO ₄ ²⁻	0,14	29	16,20333333
T°C	26,4	28,2	27,31666667
TAC	94	201	147

Le tableau 7 présente des valeurs extrêmes et moyennes des observations en aval :

- Le PH oscille entre 5.16 et 6.73, ce qui signifie que le milieu étudié est acide (PH<7) ;
- La conductivité électrique CE oscille entre 5.99 µS/cm et 10.7 µS/cm, donc CE<100 µS/cm ce qui implique une faible minéralisation des eaux et ne favorise pas le déplacement des charges

électriques dans l'eau en particulier des ions Pb^{2+} ;

- La température oscille entre 26.4 °C et 28.2 °C ;
- La teneur en plomb oscille entre 0.27 mg/l et 2.8 mg/l.

4.1.2. Conception de la solution ADC

La solution ADC est construite par application de la méthode décrite au 3.1.2 et il en découle les résultats ci-dessous :

Tableau 8 : Dimensionnement et Calibrage du modèle ADM.

	TEMPS	MESURE IN SITU		POINTS DE PRELEVEMENT		COEFFICIENT DIMENSIONNEMENT ET CALIBRAGE		MESURE ADC	
		AVAL	AMONT	AMONT	AVAL	A	B	AMONT	AVAL
PLOMB	1	2,8	1,42	15,3123	15,4445	-59,74183589	-28,36483955	1,42	2,8
	2	0,77	0,36	15,3123	15,4445	23,04483263	-8,489118996	0,36	0,77
	3	1,07	0,8	15,3123	15,4445	6,379228525	-5,027468607	0,8	1,07
	4	1,13	0,83	15,3123	15,4445	10,73535788	-5,644965119	0,83	1,13
	5	0,62	0,44	15,3123	15,4445	-14,84251032	-3,444979072	0,44	0,62
	6	0,9	0,5	15,3123	15,4445	-9,744241261	-8,133286826	0,5	0,9
	7	0,27	0,17	15,3123	15,4445	-3,102567631	-1,988321706	0,17	0,27
	8	0,5	0,3	15,3123	15,4445	32,15164519	-4,016643413	0,3	0,5
	9	0,8	0,7	15,3123	15,4445	2,567177086	-1,458321706	0,7	0,8
	10	0,73	0,6	15,3123	15,4445	3,623937227	-2,205818218	0,6	0,73
	11	0,9	0,5	15,3123	15,4445	-2114,046406	-8,133286826	0,5	0,9
	12	0,83	0,7	15,3123	15,4445	-3,603399047	-2,105818218	0,7	0,83

Le tableau 8 présente la détermination des coefficients A et B et la déduction des mesures estimées par le modèle dimensionné et calibré.

La validation de la solution ADC se fait par le biais des tests basés sur les indices statistiques décrits en 3.1.5 ;

Il résulte de l'application de ces indices les résultats inscrits dans les tableaux :

• Validation du modèle ADC

Tableau 9 : Détermination du Coefficient de divergence et Factor-of-two au point amont ADC vs MEXP.

	TEMPS	Mesure ADC	Mesure AMONT IN SITU	Coefficient de Divergence	Pourcentage d'Erreur Ponctuel	Pourcentage d'Erreur	Factor-of-two	Observation
PLOMB	1	1,42	1,42	1	1,25096E-13	3,3392E-13	100	Methode Fiable
	2	0,36	0,36	1	1,54198E-13			
	3	0,8	0,8	1	2,77556E-14			
	4	0,83	0,83	1	9,36333E-14			
	5	0,44	0,44	1	2,90172E-13			
	6	0,5	0,5	1	3,55271E-13			
	7	0,17	0,17	1	6,04092E-13			
	8	0,3	0,3	1	5,55112E-14			
	9	0,7	0,7	1	0			
	10	0,6	0,6	1	3,51571E-13			
	11	0,5	0,5	1	3,55271E-13			
	12	0,7	0,7	1	3,17207E-14			
			7,32		2,44429E-12			

Le tableau 9 présente un factor of two de 100%, un coefficient de divergence égale à 1 et traduit ainsi la fiabilité des

données estimées par l'approche ADC donc la fiabilité de cette approche estimative des données en amont.

Tableau 10 : Détermination du Coefficient de divergence et Factor-of-two au point amont ADC vs MEXP.

	TEMPS	Mesure ADC	Mesure_AVAL_IN_SITU	Coéfficient de Divergence	Pourcentage d'Erreur Ponctuel	Pourcentage d'Erreur	Factor -of-two	Observation
PLOMB	1	2,8	2,8	1	1,58603E-13	1,42052E-13	100	Methode Fiable
	2	0,77	0,77	1	1,73022E-13			
	3	1,07	1,07	1	6,22555E-14			
	4	1,13	1,13	1	1,572E-13			
	5	0,62	0,62	1	2,32789E-13			
	6	0,9	0,9	1	1,60366E-13			
	7	0,27	0,27	1	2,46716E-13			
	8	0,5	0,5	1	0			
	9	0,8	0,8	1	0			
	10	0,73	0,73	1	2,43337E-13			
	11	0,9	0,9	1	1,60366E-13			
	12	0,83	0,83	1	1,33762E-14			
			11,32		1,60803E-12			

Le tableau 10 présente un factor of two de 100%, un coefficient de divergence égale à 1 et traduit ainsi la fiabilité des données estimées par l'approche ADC donc

la fiabilité de cette approche estimative des données en aval.

Le facteur de dispersion en aval entre ADC et MEXP est représenté dans le tableau 13, ci-dessous

Tableau 11 : Facteur de dispersion en aval entre ADC et MEXP

TEMPS	Mesure ADC	Mesure_AVAL_IN_SITU	Facteur de Dispersion (MRSE)	Observation
1	2,8	2,8	6,44926E-31	MRSE Tend vers Zéro : Modèle Performant
2	0,77	0,77		
3	1,07	1,07		
4	1,13	1,13		
5	0,62	0,62		
6	0,9	0,9		
7	0,27	0,27		
8	0,5	0,5		
9	0,8	0,8		
10	0,73	0,73		
11	0,9	0,9		
12	0,83	0,83		

Le tableau 11 présente un MRSE qui tend vers zéro et traduit que l'approche estimative des données ADC est performante en aval.

En amont de la rivière Djiri le facteur de dispersion entre les modèles ADC et MEXP sont consignés dans le tableau 12 ci-dessous :

Tableau 12 : Facteur de dispersion en amont entre ADC et MEXP

TEMPS	Mesure ADC	Mesure_AMONT_IN_SITU	Facteur de Dispersion (MRSE)	Observation
1	1,42	1,42	0	MRSE Tend vers Zéro : Modèle Performant
2	0,36	0,36		
3	0,8	0,8		
4	0,83	0,83		
5	0,44	0,44		
6	0,5	0,5		
7	0,17	0,17		
8	0,3	0,3		
9	0,7	0,7		
10	0,6	0,6		
11	0,5	0,5		
12	0,7	0,7		

Le tableau 12 présente un MRSE qui tend vers zéro et traduit que l'approche estimative des données ADC est performante en amont.

4.1.3. Simulation des modèles ADC, ADE et ADM

- Estimations des mesures ADC, ADE et ADM

Les résultats à titre de comparaison entre les Mesures estimées ADM et analyse de la corrélation entre MEXP vs ADM sont consignés dans le tableau 15 ci-dessous :

Tableau 13 : Mesures estimées ADM et analyse de la corrélation entre MEXP vs ADM

	TEMPS	MESURE IN SITU		POINTS DE PRELEVEMENT		MESURE ADM		COEFFICIENT DE CORRELATION	
		AVAL	AMONT	AMONT	AVAL	AVAL	AMONT	AVAL	AMONT
PLOMB	1	2,8	1,42	15,3123	15,4445	-0,521658551	-0,49855916	-0,093394547	0,089031577
	2	0,77	0,36	15,3123	15,4445	0,40178721	0,3839958		
	3	1,07	0,8	15,3123	15,4445	0,955831663	0,9135068		
	4	1,13	0,83	15,3123	15,4445	0,631088893	0,60314385		
	5	0,62	0,44	15,3123	15,4445	-0,273874094	-0,26174677		
	6	0,9	0,5	15,3123	15,4445	-0,927038502	-0,88598862		
	7	0,27	0,17	15,3123	15,4445	-0,727887987	-0,69565662		
	8	0,5	0,3	15,3123	15,4445	0,140479387	0,13425887		
	9	0,8	0,7	15,3123	15,4445	0,87969066	0,84073737		
	10	0,73	0,6	15,3123	15,4445	0,810118397	0,77424581		
	11	0,9	0,5	15,3123	15,4445	-0,004272984	-0,00408377		
	12	0,83	0,7	15,3123	15,4445	-0,814735804	-0,77865876		

Le tableau 13 montre qu'il n'y aucune corrélation entre les données expérimentales (MEXP) et celles estimées par l'approche d'Adomian (ADM).

Le tableau 14 met en évidence les masses par unité de

surface correspondants aux teneurs en plomb observées dans la rivière au point amont et aval pour des valeurs de concentrations estimées selon le modèle ADE égales aux mesures in situ.

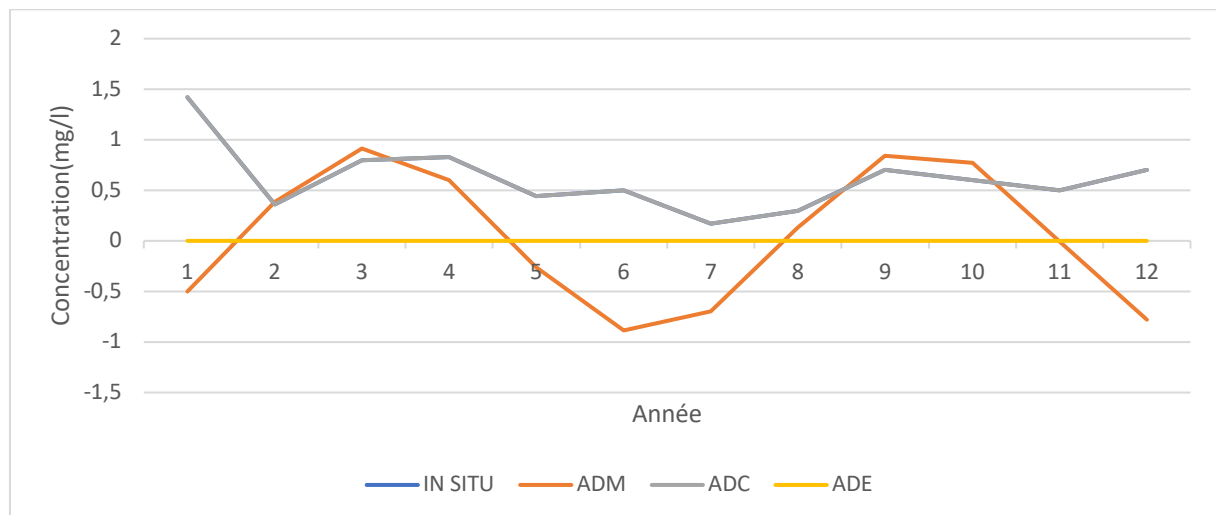
Tableau 14 : Masse surfacique du Plomb correspondant aux mesures observées

TEMPS	MESURE IN SITU AVAL	MESURE IN SITU AMONT	MASSE POLLUANT EN AMONT ([M]/[S])	MASSE POLLUANT EN AVAL ([M]/[S])	MESURE ADE EN AVAL	MESURE ADE EN AMONT
1	2,8	1,42	3282749992610,2900000000	5,5298758037	2,8	1,42
2	0,77	0,36	832246476999,7910000000	1,5207158460	0,77	0,36
3	1,07	0,8	1849436615555,0900000000	2,1132025393	1,07	0,8
4	1,13	0,83	1918790488638,4100000000	2,2316998779	1,13	0,83
5	0,62	0,44	1017190138555,3000000000	1,2244724994	0,62	0,44
6	0,9	0,5	1155897884721,9300000000	1,7774600798	0,9	0,5
7	0,27	0,17	393005280805,4570000000	0,5332380239	0,27	0,17
8	0,5	0,3	693538730833,1590000000	0,9874778221	0,5	0,3
9	0,8	0,7	1618257038610,7000000000	1,5799645153	0,8	0,7
10	0,73	0,6	1387077461666,3200000000	1,4417176203	0,73	0,6
11	0,9	0,5	1155897884721,9300000000	1,7774600798	0,9	0,5
12	0,83	0,7	1618257038610,7000000000	1,6392131847	0,83	0,7

Tableau 11 : Corrélation ADE vs MEXP pour des masses de plomb données

TEMPS	MESURE IN SITU AVAL	MESURE IN SITU AMONT	MASSE POLLUANT AMONT ([M]/[S])	MASSE POLLUANT AVAL ([M]/[S])	MESURE ADE AVAL	MESURE ADE AMONT	CORRELATION	
							ADE VS MEXP AVAL	ADE VS MEXP AMONT
1	2,8	1,42	3002749992610,2900000000	5,5098758037	2,78987319	1,29888203		
2	0,77	0,36	833246476999,7910000000	1,5200158460	0,769645562	0,36043256		
3	1,07	0,8	1836436615555,0900000000	2,0932025393	1,05987319	0,79437667		
4	1,13	0,83	1920790488638,4100000000	2,2226998779	1,125442936	0,83086513		
5	0,62	0,44	1007190138555,3000000000	1,1144724994	0,564302547	0,43567436		
6	0,9	0,5	1145897884721,9300000000	1,7224600798	0,872151273	0,49567436		
7	0,27	0,17	380005280805,4570000000	0,5202380239	0,263417574	0,16437667		
8	0,5	0,3	690538730833,1590000000	0,9274778221	0,469619571	0,29870231		
9	0,8	0,7	1598257038610,7000000000	1,4799645153	0,749365951	0,69134872		
10	0,73	0,6	1367077461666,3200000000	1,3317176203	0,674302547	0,59134872		
11	0,9	0,5	1167897884721,9300000000	1,6664600798	0,843796206	0,50519077		
12	0,83	0,7	1548257038610,7000000000	1,5392131847	0,779365951	0,66972051		

Source : Travaux de terrains.

**Figure 4 : Evolution des concentrations en amont de (IN SITU, ADM, ADC et ADE)**

La figure 4 révèle montre l'évolution des concentrations

mesurée in situ et estimées par les modèles ADM, ADC et ADE en

amont de la rivière Djiri. A l'exception du mois 1, les valeurs in situ évoluent en phase avec celles du modèle ADM.

Les résultats sur l'évaluation de la pollution hydrique sont issus de l'application de la méthode d'évaluation adoptée au 3.1.4. Il en résulte :

- **Evaluation de la Pollution Hydrique**

Tableau 12 : Détermination de l'indice de Pollution, Degré de Pollution et le Flux de matières toxiques transportées.

MESURE EXPERIMENTALE								
	TEMPS	MESURE AVAL	MESURE AMONT	EXCEDENT DE MESURE	VALEUR GUIDE OMS (2006)	INDICE DE POLLUTION	DEGRE DE POLLUTION	TEST DE POLLUTION
PLOMB	1	2,8	1,42	1,38	0,01	138	2,79	Pollution Observée
	2	0,77	0,36	0,41	0,01	41	0,76	Pollution Observée
	3	1,07	0,8	0,27	0,01	27	1,06	Pollution Observée
	4	1,13	0,83	0,3	0,01	30	1,12	Pollution Observée
	5	0,62	0,44	0,18	0,01	18	0,61	Pollution Observée
	6	0,9	0,5	0,4	0,01	40	0,89	Pollution Observée
	7	0,27	0,17	0,1	0,01	10	0,26	Pollution Observée
	8	0,5	0,3	0,2	0,01	20	0,49	Pollution Observée
	9	0,8	0,7	0,1	0,01	10	0,79	Pollution Observée
	10	0,73	0,6	0,13	0,01	13	0,72	Pollution Observée
	11	0,9	0,5	0,4	0,01	40	0,89	Pollution Observée
	12	0,83	0,7	0,13	0,01	13	0,82	Pollution Observée
DEGRE MOYEN DE POLLUTION							0,933333333	

Source : Travaux de terrains.

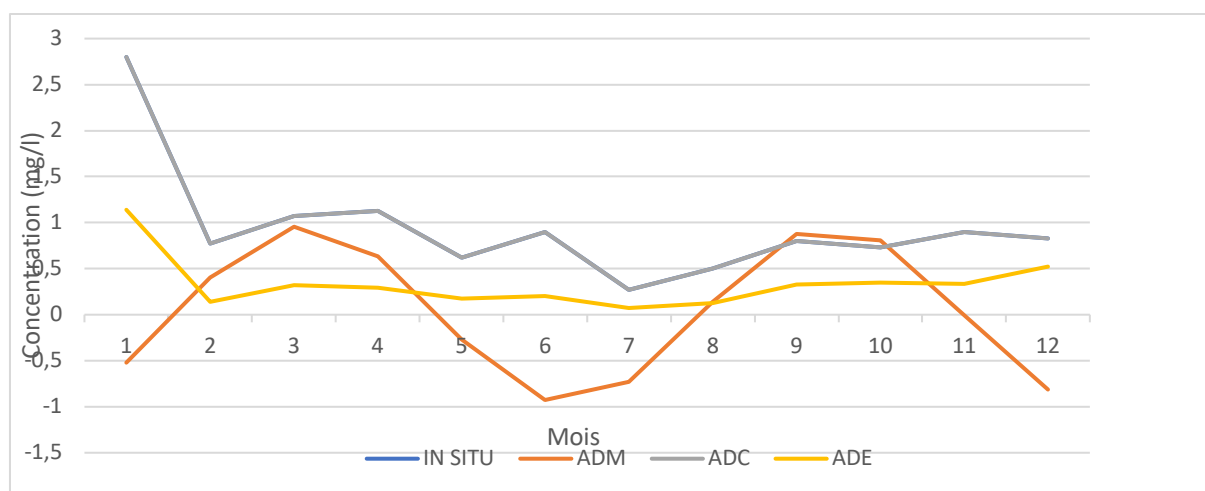


Figure 5 : Comparaison Degré de Pollution et Mesure an Amont de la rivière Djiri

Le tableau 12 présente d'une part des indices de pollution au-dessus de la valeur guide OMS du plomb et de l'autre des degrés de pollution au-dessus des mesures in situ en aval, ce qui indique une pollution des eaux au plomb.

Tableau 14 : Excédent de Mesure Saisonnière

	SAISON		Variation	Valeur Guide OMS	Observation
	SP	SS			
Moyenne de Mesure_AVAL_IN_SITU	1,2875	0,77125	0,51625	0,01	Depassement
	SAISON		Variation	Valeur Guide OMS	Observation
	SP	SS			
Moyenne de Mesure_AMONT_IN_SITU	0,765	0,5325	0,2325	0,01	Depassement

SS : Saison Pluvieuse

SP : Saison Sèche.

De façon saisonnière, l'on observe des variations de mesure moyenne entre la saison pluvieuse et la saison sèche en amont

comme en aval, ce qui indique la pollution est plus manifeste en saison de pluvieuse qu'en saison sèche.

Tableau 15 : Détermination des Flux

	TEMPS	Debit Moyen Journalier	Excédent_Mesure	VG_OMS	Flux_Metallique	Flux_Moyen
PLOMB	1	20,76	1,38	0,01	903,4685568	0,4351968
	2	20,7	0,41	0,01	267,646032	0,1292976
	3	20,73	0,27	0,01	176,5101456	0,0851472
	4	20,52	0,3	0,01	194,135616	0,094608
	5	20,73	0,18	0,01	117,6734304	0,0567648
	6	20,73	0,4	0,01	261,496512	0,126144
	7	20,71	0,1	0,01	65,311056	0,031536
	8	20,73	0,2	0,01	130,748256	0,063072
	9	20,73	0,1	0,01	65,374128	0,031536
	10	20,71	0,13	0,01	84,9043728	0,0409968
	11	20,7	0,4	0,01	261,11808	0,126144
	12	20,7	0,13	0,01	84,863376	0,0409968

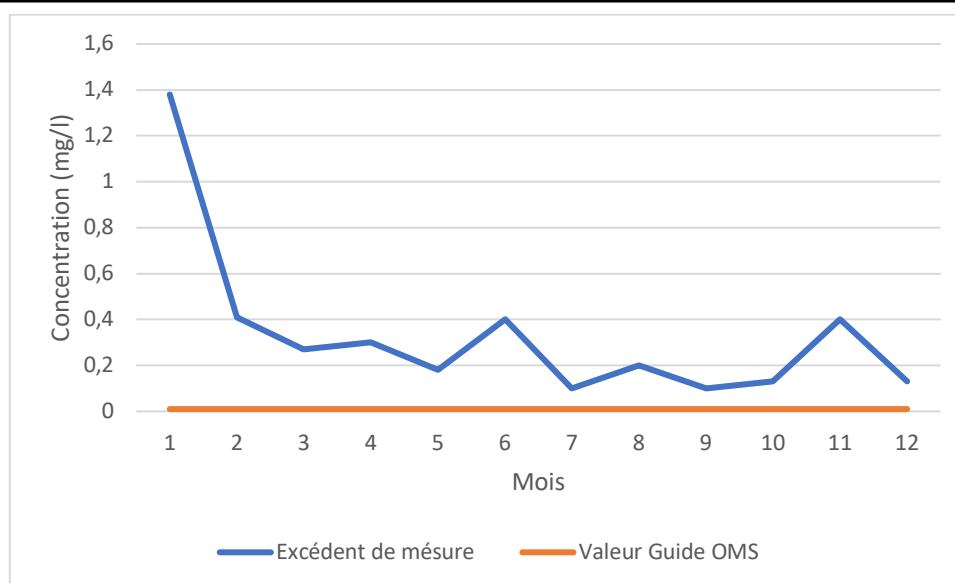


Figure 6 : Comparaison Excédent de mesure in situ vs Valeur guide OMS

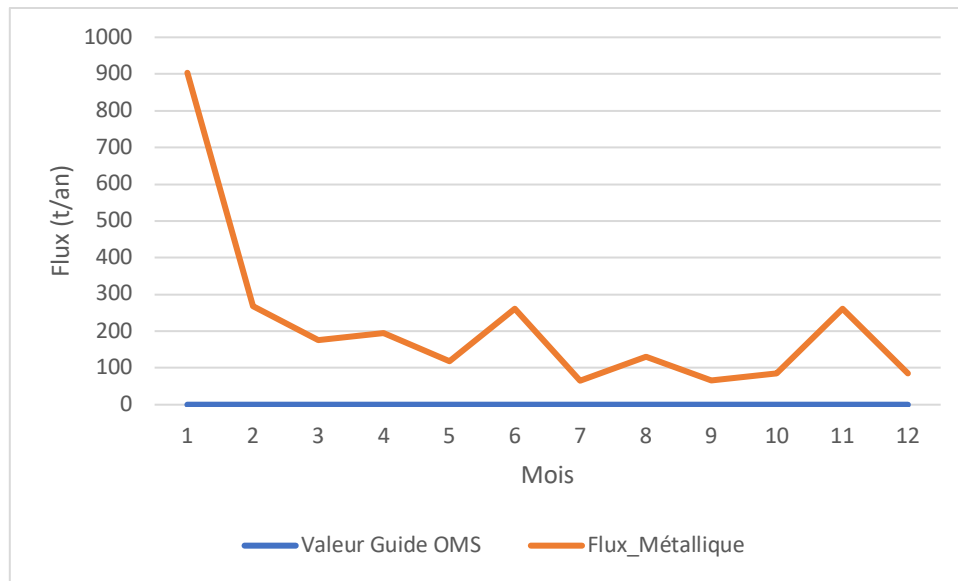


Figure 7 : Graphe de comparaison Valeur guide OMS vs Degré de Pollution.

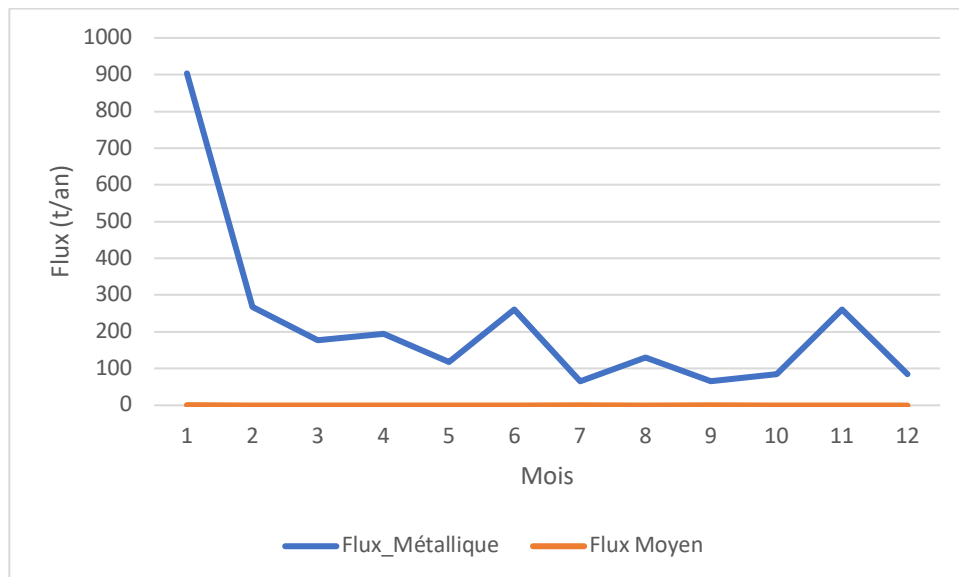


Figure 8 : Variation mensuelle du Flux de pollution

Le tableau 18 montre que les variations de mesures et de flux au plomb entre l'aval et l'amont de la rivière sont respectivement au-dessus des de la valeur guide OMS et du flux moyen comme l'illustre les figures 7,8 et 9.

- **Modèle Physique des données Pour le suivi des Polluants Hydriques**

Le modèle conceptuel des données pour la valorisation des données hydrologiques a permis de générer la structure de la base de données caractérisant le système d'information à mettre en œuvre pour la réalisation de l'outil applicatif :

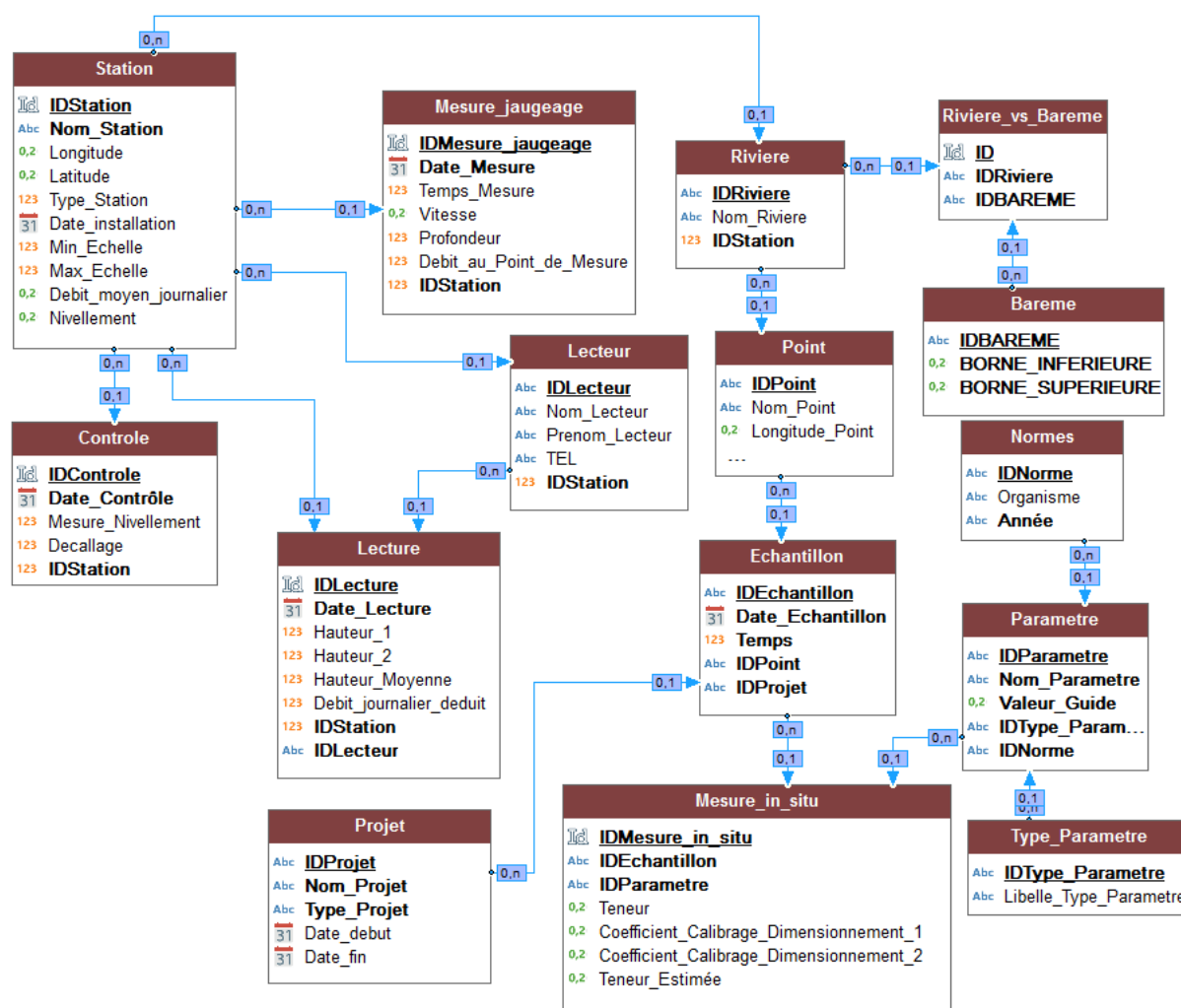


Figure 9 : Modèle Physique des données Hydrologiques à valoriser

4.2. Discussions

- **Sur la physicochimie des eaux de surface de la rivière Djiri**

L'analyse des données issues de la physicochimie des eaux de surface de la rivière Djiri a révélé pour ces eaux une température oscillant 26.1 et 28.4 °C, une conductivité électrique oscillant entre 4.18 et 11.2 µS/cm, un pH oscillant entre 5.14 et 6.7.

Les valeurs de pH observées impliquent un pH <7 donc un milieu acide et cela augmente le risque de présence de plomb sous une forme ionique plus toxique (IBGE, 2005).

Les valeurs de conductivité électrique observées indiquent une faible minéralisation des eaux comparativement à la conductivité d'une eau naturelle qui est comprise entre 50 et 1500 µS/cm, et cela ne favorise pas le déplacement des charges électriques en particulier les ions métalliques (Plomb) qui sont en principe des bons conducteurs d'électricité et cela induit leurs accumulations dans les eaux.

La faible minéralisation observée confirme les résultats des études sur les rivières des cours d'eau moyen du fleuve Congo de Orange, Probst et al (1992), Orange (1992), Orange et al (1995) et de Laraque et al (1998) qui avait d'identifié par leur biochimie, deux groupes de cours d'eau du bassin du Congo parmi lesquels les

rivières « blanches » des plateaux Batékés très peu minéralisées.

Pour l'estimation des indices de pollution métallique des eaux de surface de la rivière Djiri, la méthodologie utilisée dans notre étude telle décrite dans la partie (3.2.4) permet de vérifier à la fois que l'indice de pollution (IP) est strictement supérieur à l'unité, cela implique que l'excédent de mesure est strictement supérieur à la valeur guide OMS et par conséquent le degré de pollution est au dessus de la mesure in situ en amont de la rivière.

Il ressort donc de cette évaluation de la pollution que seul le plomb donne en tout temps et en chaque point d'échantillonnage des excédents mensuels de mesure in situ au-dessus de la norme OMS en matière de potabilité des eaux : Cela implique une source de pollution métallique au plomb entre l'aval et l'amont de la rivière.

La géologie du bassin étant essentiellement formée de sables exclue l'existence d'une source d'émission de plomb autre que l'aciérie électrique qui est installée à 1km du point de prélèvement amont de la rivière.

L'analyse saisonnière de la moyenne des excédents de mesure sur le plomb met en évidence des variations en amont comme en aval dépassant la valeur guide OMS appliquée et indiquant que pendant la saison pluvieuse les ruissellements des eaux favorisent plus la pollution des eaux de la rivière qu'en saison sèche (Tableau 17) :

1.28 mg/l en saison pluvieuse contre 0.77 mg/l en saison sèche en aval soit une variation de 0.51 mg/l et 0.76 mg/l en saison pluvieuse et 0.53 mg/l en saison sèche en amont soit une variation de 0.23 mg/l.

Les résultats de notre étude rejoignent en termes de diagnostic de pollution métallique ceux d'autres études de pollution métallique des eaux effectuées

dans d'autres cours d'eaux de par le monde, cas de :

-l'étude de la pollution par les métaux lourds et métalloïdes (Nadem et al, 2015) et qui a mis en évidence la pollution par le Plomb sur certaines stations (teneur en plomb dépassant les normes admissibles) des eaux de l'estuaire de Bou Regreg (Côte atlantique, Maroc), une pollution de nature anthropique, avec des indices de pollution élevés. En effet, le dépassement de la valeur guide OMS sur certaines stations implique dans le cas de notre étude des excédents de mesure in situ strictement positifs et des degrés de pollution au-dessus des mesures in situ en aval ;

-l'étude sur la contribution à l'étude analytique des polluants (en particulier de type métaux lourds) dans les eaux du fleuve Chari lors de sa traversée de la ville de N'Djamena (Nambatingar Ngaram, 2015) témoigne une pollution par le Plomb (teneur en plomb dépassant les normes admissibles) de nature anthropique des eaux du fleuve Chari ; les valeurs en chaque point de prélèvement dépassent la norme admissible de l'OMS (0.01mg/l), ce rejoint les résultats de notre étude en terme de concentration ponctuelle en plomb et ce qui traduit des excédents de mesures aval et amont strictement positifs et des degrés de pollution au-dessus des mesures in situ en aval ;

-l'étude de la qualité des eaux de surface et leur impact sur l'environnement dans la Wilaya de Skikda (Mohamed Zine BELHADJ, 2017) en Algérie avait révélé la présence importante d'éléments traces métalliques toxiques dans les eaux, en particulier les teneurs en Plomb retrouvées dans ces eaux de surface dépassent la norme admissible OMS, témoignant ainsi d'une contamination des eaux ; les résultats de notre étude révèle aussi les dépassements en chaque point de prélèvement de la norme admissible OMS et confirme à travers les indices et degré de pollution estimées des valeurs témoignant

une contamination des eaux de la rivière Djiri au plomb ;

-L'Évaluation des risques de pollution en métaux lourds (Hg, Cd, Pb, Co, Ni, Zn) des eaux et des sédiments de l'estuaire du fleuve Konkouré en République de Guinée (Gbago ONIVOGUI et al.,2013) a mis en évidence sur certaines stations des teneurs en éléments traces métalliques en particulier au plomb dépassant des normes OMS en termes de concentration au temps et au point de prélèvement et cela décrit le même cas de figure observé sur les résultats de notre étude car en tout point et au temps de prélèvement la mesure in situ au plomb dépasse la norme admissible de l'OMS;

-La Contribution à l'étude de l'analyse physico-chimique et de la contamination métallique de l'eau de mer du littoral d'Agadir au Sud du Maroc (Chaouay et al.,2016) a mis en évidence une contamination des eaux au plomb (concentration de plomb dépassant la norme de l'OMS) témoignant dans certaines zones des rejets de polluants dans le bassin versant justifiant l'existence de sites industriels ; les résultats de notre étude rejoignent ceux obtenus de cette étude citée en terme de dépassement de norme admissible OMS observé dans notre étude sur les concentration de plomb en chaque point au temps de prélèvement.

-L'étude intitulée « Contribution de l'analyse physico-chimique à l'évaluation de la contamination métallique de l'eau de mer du littoral d'Agadir,2016 (Sud du Maroc) » a montré que les teneurs métalliques dans l'eau de mer présentent des variations significatives selon les zones et les saisons de prélèvement i.e. des teneurs dépassant des teneurs métalliques admissibles de l'OMS.

-L'étude intitulée « Evaluation de la contamination métallique des eaux des nappes du Jurassique du haut bassin de Ziz (Haut Atlas central, Maroc) » a mis en

évidence une dégradation de la qualité des eaux des aquifères jurassiques du haut bassin de Ziz liée aux teneurs en plomb qui dépassent les normes de potabilité (Nouayti et al.,2016).

• Sur le modèle de suivi des polluants hydrique

Les données issues de la physicochimie des eaux de la rivière Djiri ont contribué au calibrage et dimensionnement du modèle ADM en vue de construire un modèle de prédiction des données expérimentales (le modèle ADC) ;

Les données estimées par la solution ADC sont définies positives, dimensionnées et sont en corrélation avec les données estimées à partir d'un autre modèle comme ADE et avec les données in situ : le coefficient de corrélation entre les deux séries de données étant de 0.92 en aval et 0.78 en amont de la rivière entre le modèle ADC et ADE ;

Cependant, les données estimées par la solution ADM présentent des insuffisances observées ci-après :

-ADM donne par application numérique des coordonnées spatio-temporelles des valeurs tantôt positives, tantôt négatives : **cela va à l'encontre de la définition d'une concentration massique qui par définition est positive ;**

-Aucune corrélation n'est observée entre les données estimées par le modèle ADM et les données expérimentales : **le coefficient de corrélation entre les deux séries de données étant de 0.09 en aval et 0.08 en amont de la rivière Djiri ;**

-les données estimées par le modèle ADM sont adimensionnelle et ne caractérisent nullement une grandeur physique : **ce modèle ne peut permettre le suivi des polluants hydriques, elle fait usage d'une fonction transcendence (Cosinus) sur laquelle l'application des**

coordonnées spatio-temporelles d'un point d'échantillonnage donne une valeur sans unité pour tous les paramètres physico-chimiques et métalliques : ce qui justifie son calibrage et dimensionnement.

L'évaluation du modèle ADC à partir des indices statistiques de fiabilité et de performance du modèle montre que ce modèle est fiable et performant (Tableaux 11, 12,13) ;

Le modèle ADC est favorable au suivi des polluants hydriques et contribue à l'implémentation de l'outil de valorisation des données hydrologiques.

6. Conclusion

Les analyses physico-chimiques réalisées sur l'ensemble des échantillons prélevés ont permis de mettre en évidence une source de contamination des eaux par le plomb.

Notre étude ne s'est pas limitée à l'évaluation de la pollution métallique des eaux de surface de la rivière Djiri mais aussi à la conception et réalisation d'un outil de valorisation des données hydrologiques doté de fonctionnalité de :

- Hébergement des données d'échantillonnage et d'analyses physico-chimiques des eaux ;
- Gestion des stations hydrométriques (Données de jaugeage, Contrôle des stations
- Prise en charge du barème pour le suivi des débits des cours d'eaux ;
- Avoir l'état physico-chimique d'un cours d'eau à une période donnée ;
- Suivre les polluants de l'eau de façon générale ;
- Intégration des normes environnementales des eaux.

Ce travail est une forte contribution à la mise en place du système d'information hydrologique de façon globale et en

perspective pourra s'étendre à long terme à l'intégration du système d'information national sur les statistiques pathologies des districts sanitaires du Congo Brazzaville dans l'optique d'apporter l'explication nécessaire face aux pathologies hydriques liées à des pollutions métalliques.

Bibliographie :

1-Gbago ONIVOGUI, Saidouba BALDE, Kande BANGOURA et Mamadou Kabirou BARRY,2013 ; Évaluation des risques de pollution en métaux lourds (Hg, Cd, Pb, Co, Ni, Zn) des eaux et des sédiments de l'estuaire du fleuve Konkouré (Rep. de Guinée).<http://www.afriquescience.info>.

2-S. Nadem, M. El Baghdadi, J. Rais, A. Barakat,2015 ; Evaluation de la contamination en métaux lourds des sédiments de l'estuaire de Bou Regreg (Côte atlantique, Maroc).<http://www.jmaterenvirosci.com>.

3-Tanouayi G., Gnandi K., Ahoudi H., Ouro-Sama K,2015 ; la contamination métallique des eaux de surface et des eaux souterraines de la zone minière d'exploitation des phosphates de HAHOTOE-KPOGAME (sud Togo) : Cas du Cadmium, Plomb, Cuivre et Nickel.<http://www.jmaterenvirosci.com>.

4-BELHADJ M. Z. et Boudoukha A,2017 ; Qualité des eaux de surface et leur impact sur l'environnement dans la Wilaya De Skikda (Nord-est de l'Algérie). Université Mohamed Khider Biskra- Faculté des Sciences et de la technologie Département de Génie Civil et d'Hydraulique.

5-B. Wenclawlak, Klaus Ehrmann, Renate, Helm, Gerhard Hufnagel, 2005 ; Evaluation environnementale de la pollution due aux hydrocarbures sur le

littoral du Kouilou (Congo-Brazzaville) - Université Siegen.

6-Daas Jabbour,2006 ; Étude expérimentale et modélisation de la dispersion en champ lointain suite à un rejet accidentel d'un polluant miscible dans un cours d'eau : Application à la gestion de crise. Ecologie, Environnement. Université de Provence-Aix-Marseille I.

7-Joseph Bonazebi Yindoula, Pare Youssouf, Gabriel Bissanga, Francis Bassano, Blaise Some,2014; Application of the Adomian decomposition method and Laplace transform method to solving the convection Diffusion-Dissipation Equation.

8-A. Chaouay, R. Okhrib, M. Hilali, L. Bazzi, A. Chahid, F. Khiri,2016 ; Contribution à l'étude de l'analyse physico-chimique et de la contamination métallique de l'eau de mer du littoral d'Agadir (Sud du Maroc), <http://www.jmaterenvironsci.com>.

9- Massabalo Ayah, Malgorzata Grybos, Lallébila Tampo, Limam Moctar Bawa, Hubert Bril, Gbandi Djaneye-Boundjou ; Qualité et pollution des eaux d'un hydrosystème littoral tropical : Cas du système lagunaire de Lomé ; European Scientific Journal May 2015 édition vol.11, No.15 ISSN : 1857 – 7881

10- N. Nouayti, D. Khattach, M. Hilali, A. Brahimi, S. Baki., Flavien C., Nicolas C., Luc B., Yannick B., Stanislas S., Aomar E., Lakhlifi B., Yan C., J. Mater. Environ. Sci. 7 (5) (2016) 1495-1503

11-Traore.A, Ake-assi Y., Ahoussi Kouassi E., Soro N,2014, Evaluation De La Concentration des éléments Traces (pb, Cu, Zn, Fe, Cd Et Hg) Dans Les Crevettes (macrobrachium Vollenhovenii) Des Lagunes Aghien Et Potou (sud-est De La

Côte D'ivoire), LARHYSS Journal ,pg.129-142.

12-EL MORHIT Mohammed., Hydrochimie, éléments traces métalliques et incidences ecotoxicologiques sur les composants d'un écosystème estuarien (Bas Loukkos),2009, Thèse Doctorat Fac. Sci. Rabat, 165 p.

13- Tardieu H., Rochfeld A., Coletti R. (1986), La méthode MERISE, Principes et outils, Edition d'organisation.

14- SAFARI Heri. (2010), contribution à l'étude de la qualité des eaux du bassin du Congo : diagnostic-solution du suivi de la qualité des eaux de surface du bassin du Congo (cas des Etats membres de la CICOS), p30.

14- Matías Miguel Salvarredy Aranguren., Contamination en métaux lourds des eaux de surface et des sédiments du Val de Milluni (Andes Boliviennes) par des déchets miniers,2008, THESE de DOCTORAT DE L'UNIVERSITE de TOULOUSE, p379