



UNIVERSITE
JEAN LOROUGNON GUEDE

UFR ENVIRONNEMENT

REPUBLIQUE DE COTE D'IVOIRE

Union-Discipline-Travail

Ministère de l'Enseignement Supérieur et
de la Recherche Scientifique

ANNEE ACADEMIQUE :
2020-2021

N° D'ORDRE :0430/2021

N° CARTE D'ETUDIANT :
CI0416008527

MASTER

Génie de l'Eau et de l'Environnement

THEME :

**Evaluation de la qualité chimique des eaux
du fleuve San-Pédro au barrage de Fayé
(Sud-ouest de la Côte d'Ivoire)**

LABORATOIRE DES
SCIENCES ET
TECHNOLOGIES DE
L'ENVIRONNEMENT

Présenté par :

Dosso Namory Morrisson

JURY

Président : M. DIBI Brou, Maître de Conférences,
Université Jean LOROUGNON GUEDE

Directeur : M. KONAN Kouakou Séraphin, Maître de Conférences,
Université Jean LOROUGNON GUEDE

Encadreur : M. EBLIN Sampah Georges, Maître-Assistant,
Université Jean LOROUGNON GUEDE

Examineur : M. MANGOUA Oi Mangoua Jules, Maître de Conférences,
Université Jean LOROUGNON GUEDE

Soutenu publiquement
le : 07/10/2021



UNIVERSITE
JEAN LOROUGNON GUEDE

UFR ENVIRONNEMENT

REPUBLIQUE DE COTE D'IVOIRE

Union-Discipline-Travail

Ministère de l'Enseignement Supérieur et
de la Recherche Scientifique

ANNEE ACADEMIQUE :

2020-2021

N° D'ORDRE : 0430/2021

N° CARTE D'ETUDIANT :

CI0416008527

MASTER

Génie de l'Eau et de l'Environnement

THEME :

**Evaluation de la qualité chimique des eaux
du fleuve San-Pédro au barrage de Fayé
(Sud-ouest de la Côte d'Ivoire)**

LABORATOIRE DES
SCIENCES ET
TECHNOLOGIES DE
L'ENVIRONNEMENT

Présenté par :

DOSSO Namory Morrisson

JURY

Président : M. DIBI Brou, Maître de Conférences,
Université Jean LOROUGNON GUEDE

Directeur : M. KONAN Kouakou Séraphin, Maître de Conférences,
Université Jean LOROUGNON GUEDE

Encadreur : M. EBLIN Sampah Georges, Maître-Assistant,
Université Jean LOROUGNON GUEDE

Examineur : M. MANGOUA Oi Mangoua Jules, Maître de Conférences,
Université Jean LOROUGNON GUEDE

Soutenu publiquement

le : 07/10/2021

DEDICACE

Je dédie ce travail à :

mon père DOSSO Mamadou

ma mère SOUMAHORO Nokoféléma

ma grande sœur DOSSO Nogotaly

mon grand frère DOSSO Moussa Moïse

Et

mon petit frère DOSSO Yacouba Vilasco.

Que DIEU, dans sa grâce, vous bénisse et vous accorde dans la longévité, la santé.

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, j'ai le plaisir de remercier vivement ces personnes et institutions qui ont contribué d'une manière ou d'une autre à son aboutissement. Qu'elles reçoivent ici, mes salutations les plus sincères et ma profonde reconnaissance.

Tout d'abord, je tiens à remercier le personnel de l'Université Jean Lorougnon Guédé (UJLoG) de Daloa avec à sa tête le Professeur **TIDOU Abiba Sanogo épouse KONE**, Présidente de cette institution pour l'effort consenti tout au long de l'année et pour la réussite de cette année académique.

Je remercie également les vices présidents :

- Professeur. **KONE** Tidiani, Professeur Titulaire en Hydrobiologie, Vice-Président de l'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa, chargé de la Pédagogie, de la Vie Universitaire, de la Recherche et de l'Innovation, pour sa sollicitude et sa disponibilité
- Professeur **AKAFFOU** Doffou Sélastique, Professeur Titulaire en Génétiques, et Vice-Président de l'Université Jean Lorougnon Guédé, Chargé de la Programmation, de la Planification et de Relations Extérieures, pour la gouvernance

Je remercie Monsieur **KOUASSI Kouakou Lazare**, Professeur Titulaire, Directeur de l'Unité de Formation et de Recherche (UFR) Environnement qui a accepté de remplir la tâche ardue qui consistait à conduire l'UFR. Je vous réitère mes sincères reconnaissances pour m'avoir inculqué l'amour du travail et surtout du travail bien fait.

Je tiens à remercier Docteur **DIBI Brou**, Maître de Conférences, Directeur du Laboratoire des Sciences et Technologies de l'Environnement (LSTE) de l'UJLoG, pour m'avoir donné l'opportunité d'être compté au nombre de ses étudiants et de bénéficier des privilèges qui en découlent et surtout pour avoir accepté d'être le président de ce travail.

Je remercie Docteur **KONAN Kouakou Séraphin**, Maître de Conférences, pour avoir accepté de diriger ce mémoire. Je vous réitère mes sincères reconnaissances pour m'avoir inculqué l'amour du travail et surtout du travail bien fait. Vos conseils avisés et vos suggestions très constructives m'ont permis d'améliorer ce travail. Merci cher Maître.

Ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu voir le jour sans l'aide et l'encadrement de Docteur **EBLIN Sampah Georges**, Maître-Assistant. Merci Docteur pour votre encadrement fructueux, pour votre inestimable soutien scientifique et moral, pour vos précieux conseils et pour votre sympathie. Vous m'avez beaucoup appris. Vous avez toujours assuré votre rôle malgré les nombreuses difficultés rencontrées sur le chemin de la recherche durant ces années passées ensemble. Merci pour tout ! Que vous prospériez à tous égards !

Je suis reconnaissant envers Docteur **KOUADIO Zilé Alex**, Maître de Conférences, chef de département des Sciences de la Terre, pour tous les efforts déployés pour assurer ma formation dans de bonnes conditions. Merci Docteur pour vos conseils, soutiens, aides et critiques qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire. Que Dieu vous bénisse au-delà de vos attentes.

Je suis conscient de l'honneur que m'a fait Docteur **MANGOUA Oi Mangoua Jules**, Maître de Conférences, en étant notre responsable de filière. Je le remercie également pour avoir été l'examineur de ce travail. Que Dieu vous bénisse au-delà de vos attentes.

Mes remerciements s'adressent également à tous les enseignants pour leurs générosités et la grande patience dont ils ont su faire preuve.

Je tiens également à remercier Docteur **SORO Dognimeton**, Maître de Conférences à l'UFR Agroforesterie pour m'avoir guidé et conseillé tout au long de mon cursus universitaire.

Je voudrais particulièrement remercier la doctorante **KADJO M'min Marie Florence** pour sa sympathie, sa contribution et surtout son aide à la réalisation de ce travail. Que Dieu lui accorde sa grâce et sa bénédiction.

Je tiens à remercier **AKAFFOU Franck Hervé** et **KRE Yon Edwige** pour leur contribution dans l'élaboration de ce travail.

Merci à toi papa **DOSSO Mamadou** pour ce grand soutien depuis mon cursus scolaire jusqu'à ce jour. Que DIEU te bénisse et continue d'entretenir ce grand cœur pour que tu sois toujours au service de chacun de nous. Je n'oublie pas ma mère chérie **SOUMAHORO Nokoféléma**, mes frères à qui, je tiens à dire merci. C'est grâce à vos conseils, soutiens, aides que j'ai pu achever mon travail. A cet effet, je prie que DIEU de par sa miséricorde vous comble de grâce et bénédictions rattachées à cette œuvre.

Mes remerciements vont également à l'endroit de l'équipe de doctorants du Laboratoire des Sciences et Technologies de l'Environnement (LSTE) pour leurs soutiens, critiques et conseils prodigués tout au long de la réalisation de ce travail.

A vous qui n'avez pas été cités, ne pensez pas que je vous ai oubliés. Je voudrais du fond du cœur vous dire merci.

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES	iv
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS.....	vi
LISTE DES TABLEAUX	vii
LISTE DES FIGURES.....	viii
INTRODUCTION.....	1
PREMIERE PARTIE : GENERALITES	3
1.1. Présentation de la zone d'étude	3
1.1.1. Situation géographique.....	3
1.1.2. Climat.....	3
1.1.3. Relief	4
1.1.4. Végétation	5
1.1.5. Pédologie	6
1.1.6. Réseau hydrographique	7
1.1.7. Situation socio-économique.....	8
1.1.7.1. Population	8
1.1.7.2. Activités économiques	8
1.1.8. Contexte géologique et hydrogéologique	9
1.1.8.1. Contexte géologique	9
1.1.8.2. Contexte hydrogéologique	9
1.2. Etat des connaissances sur le thème abordé.....	11
1.2.1. Ecosystème fleuve.....	11
1.2.1.1. Caractéristiques de l'écosystème fleuve	11
1.2.1.2. Usage et perturbation des eaux d'un fleuve.....	11
1.2.2. Descripteurs de qualité de l'eau	11
1.2.2.1. Paramètres physico-chimiques.....	11
DEUXIEME PARTIE : MATERIEL ET METHODES	15
2.1. Données et matériel.....	15
2.1.1. Données	15
2.1.2. Matériel.....	15
2.1.2.1. Matériel de collecte de données	15
2.1.2.2. Matériel de laboratoire	16
2.1.2.3. Outils de traitement de données.....	16
2.2. Méthodes.....	17
2.2.1. Echantillonnage.....	17
2.2.1.1. Choix des sites de prélèvement.....	17
2.2.1.2. Prélèvement d'échantillons d'eau	17
2.2.2. Détermination des paramètres physico-chimiques et chimiques	18
2.2.2.1. Mesures in situ	18
2.2.2.2. Mesures au laboratoire	18
2.2.2.3. Méthodes d'analyse au laboratoire.....	18
2.2.2.4. Traitement statistique des données.....	19
2.2.3. Caractérisation chimique du fleuve San-Pédro au barrage de Fayé	20
2.2.4. Evaluation des indices de pollution du fleuve San-Pédro à Fayé	20
2.2.4.1. Evaluation de la pollution organique du fleuve San-Pédro à Fayé.....	20
2.2.4.2. Evaluation de la pollution métallique du fleuve San-Pédro à Fayé.....	21
2.2.5. Détermination de l'indice de qualité des eaux du fleuve San-Pédro à Fayé....	23
TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSION.....	25

3.1. Résultats	25
3.1.1. Caractéristiques chimiques des eaux du fleuve San-Pédro à Fayé	25
3.1.1.1. Paramètres physico-chimiques	25
3.1.1.2. Indicateurs de pollution organique	27
3.1.1.3. Substances nutritives	28
3.1.1.4. Cations majeurs	30
3.1.1.5. Eléments traces métalliques	31
3.1.2. Indices de pollution des eaux du fleuve San-Pédro au barrage Fayé	32
3.1.2.1. Etat de pollution organique du fleuve San-Pédro au barrage Fayé	32
3.1.2.2. Etat de pollution métallique du fleuve San-Pédro au barrage Fayé	33
3.1.3. Indice de qualité des eaux du fleuve San-Pédro au barrage Fayé	34
3.2. Discussion	34
CONCLUSION	38
REFERENCES	39
RESUME	46

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

CPEPESC	: Commission de Protection des Eaux, du Patrimoine, de l'Environnement, du Sous-sol et des Chiroptères
DBO₅	: Demande Biochimique en Oxygène pour 5 jours
DCO	: Demande Chimique en Oxygène
IPO	: Indice de Pollution Organique
IQE	: Indice de Qualité de l'Eau
HPI	: Heavy Pollution Index
IRD	: l'Institut de Recherche pour le Développement
LSTE	: Laboratoire des Sciences et Technologies de l'Environnement
OMS	: Organisation Mondiale de la Santé
ONU	: Organisation des Nations Unies
ONEP	: Office Nationale de l'Eau Potable
RGPH	: Recensement Général de la Population et de l'Habitat
SODECI	: Société de Distribution d'Eau de Côte d'Ivoire
UFR	: Unité de Formation et de Recherche
UJLOG	: Université Jean Lorougnon Guédé
GPS	: Global Position System
PDU	: Programme de Décentralisation des Universités
PNUD	: Programme des Nations Unies pour le Développement
PEMED-CI	: Programme d'Etude Monographique et Economique des Districts de Côte d'Ivoire

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Classes de turbidité usuelles.....	12
Tableau II : Relation entre la conductivité et la minéralisation.....	12
Tableau III : Classement qualitatif des eaux par la matière biodégradable.....	14
Tableau IV : Méthode d'analyse des métaux lourds	18
Tableau V : Méthodes d'analyse des paramètres au laboratoire.....	19
Tableau VI : Limites des classes de l'Indice de Pollution Organique.....	21
Tableau VII : Classes de l'Indice de Pollution Organique	21
Tableau VIII : Niveaux de contamination de l'eau	22
Tableau IX : Risque de pollution par les ETM.....	23
Tableau X : Classification et usage possible de l'eau selon l'IQE	24
Tableau XI : Récapitulatif des caractéristiques physico-chimiques du fleuve San-Pédro	25
Tableau XII : Valeurs de l'IPO dans les eaux du fleuve San-Pédro au barrage Fayé.....	33
Tableau XIII : Degré de contamination (DC) par les métaux lourds des eaux au barrage	33
Tableau XIV : Indice de pollution par les métaux lourds (HPI) des eaux au barrage	34
Tableau XV : Valeurs de l'indice de qualité des stations et leur classe	34

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation de la zone d'étude.	3
Figure 2 : Diagramme ombrothermique 1979 à 2019 de San-Pédro.	4
Figure 3 : Carte de relief du sous-bassin versant du San-Pédro.....	5
Figure 4 : Carte de végétation du sous-bassin versant du San-Pédro.	6
Figure 5 : Carte pédologique du sous-bassin versant du San-Pédro.	7
Figure 6 : Carte du réseau hydrographique du sous-bassin versant du San-Pédro.	8
Figure 7 : Carte de géologie du sous-bassin versant du San-Pédro.	9
Figure 8 : Modèle conceptuel stratiforme de la structure des aquifères de socle.....	10
Figure 9 : Matériels de collecte de données	16
Figure 10 : Quelques matériels de laboratoire.	16
Figure 11 : Carte de répartition des points d'échantillonnage.	17
Figure 12 : Variation spatiale de la Température dans les eaux du San-Pédro.....	26
Figure 13 : Variation spatiale du pH dans les eaux du San-Pédro	26
Figure 14 : Variation spatiale de la Turbidité dans les eaux du San-Pédro	27
Figure 15 : Variation spatiale de la Conductivité électrique dans les eaux du San-Pédro.....	27
Figure 16 : Variation spatiale des composées de pollution dans les eaux du San-Pédro.....	28
Figure 17 : Variation spatiale des nutriments dans les eaux du San-Pédro.....	30
Figure 18 : Variation des cations majeurs dans les eaux du San-Pédro.....	31
Figure 19 : Variation spatiale du fer et du manganèse dans les eaux du San-Pédro.....	31
Figure 20 : Variation spatiale du cuivre, du nickel et du plomb dans les eaux du San-Pédro	32

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Longtemps considérée comme une ressource naturelle inépuisable, l'eau de consommation n'est pas moins limitée. En effet, face au gaspillage et à l'illusion de l'abondance, la pénurie hydrique commence à se faire de plus en plus sentir dans tous les pays. L'accès des populations à l'eau potable, constitue l'un des problèmes auxquels sont confrontés les gouvernements de tous les états (Soro, 2002). Ainsi, selon le Programme des Nations Unies pour le Développement, (PNUD) le droit à l'eau potable doit être reconnu comme un droit de l'homme (PNUD, 2006). C'est pour cela que l'accès à l'eau potable a toujours été au centre des projets de développement, car l'homme ne peut vivre sans cette ressource. En réalité, 884 millions de personnes dans le monde n'ont pas accès à une eau potable (ONU, 2015). Environ deux millions de personnes pour la plupart des jeunes enfants, meurent chaque année des suites de maladies causées par une eau impropre à la consommation (ONU, 2015).

Depuis plus d'une décennie d'année, les eaux de surface (fleuve, lac, étang, mer, rivière, lagune) sont d'une part exploitée et traitée pour desservir la population en eau potable (Lamizana-Diallo *et al.*, 2008 ; Agbani, 2013) et d'autre part pour les industries, l'agriculture et les loisirs. Malheureusement, ils sont parmi les écosystèmes les plus sérieusement menacés par l'impact des activités anthropiques (Sala *et al.*, 2000 ; Dudgeon *et al.*, 2006). En effet, la croissance démographique accompagnée d'une urbanisation rapide cause de nombreuses perturbations pour les milieux naturels (Mc Kinney, 2002). Ainsi, ces eaux ont une qualité plus ou moins régulière selon les rejets qui s'y déversent ou encore selon le ruissellement des pluies. Les plus importantes sources potentielles de pollution sont celles liées à l'agriculture, l'industrie, la pêche artisanale et le tourisme (Zerrouqi, 2013).

En Côte d'Ivoire, l'approvisionnement en eau potable est assuré à la fois à partir des eaux de surfaces et souterraines. Cependant, du fait des débits plus ou moins faible des forages en zone de socle (Dibi, 2008), les eaux de surface sont exploitées pour alimentation en eau potable dans de grands centres urbains tel que Daloa, Issia, etc. Or, la composition chimique de ces eaux de surface est influencée par la nature des terrains traversés par l'eau durant leur parcours dans l'ensemble des bassins versants. En effet, compte tenu de leur présence à la surface du sol, les eaux de surface, sont confrontées à une dégradation permanente de leur qualité face aux activités anthropiques. Eblin *et al.* (2014) dans leur étude réalisée sur le bassin versant de la Comoé ont montré une dégradation de la qualité du cours d'eau suite aux activités anthropiques. Par conséquent, la qualité de l'eau de surface dépend non seulement des processus naturels mais également d'activités anthropiques.

INTRODUCTION

Dans la commune de San-Pédro plus particulièrement, l'alimentation en eau potable est assurée à partir de la rivière San-Pédro. Vu l'insuffisance de cette ressource en période d'étiage, l'Office Nationale De l'Eau Portable (ONEP) et la Société de Distribution d'Eau en Côte d'Ivoire (SODECI) envisagent d'utiliser l'eau du San-Pédro au barrage Fayé pour l'alimentation en eau potable de la ville. Malheureusement, cette région est une zone d'intenses activités anthropiques caractérisées par un développement des activités agricoles et agro-industrielles. Ainsi, les pressions anthropiques exercées sur les ressources naturelles, particulièrement sur les ressources en eau de la région, nous font douter de la qualité de cette eau. Il convient donc de connaître et suivre la qualité de cette ressource dans la région. Face à cela une évaluation de la qualité de l'eau de la rivière San-Pédro au barrage de Fayé s'avère nécessaire. C'est dans ce contexte que cette étude dont le thème est : « **Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux du fleuve San-Pédro au barrage de Fayé (Sud-ouest de la Côte d'Ivoire)** » a été initiée. Elle a pour objectif général d'évaluer la qualité chimique de l'eau de la rivière San-Pedro au barrage de Fayé. Plus spécifiquement, il s'agit de :

- caractériser la variation des paramètres physico-chimiques et chimiques des eaux du fleuve San-Pédro au barrage de Fayé ;
- évaluer les indices de pollution des eaux du fleuve San-Pédro au barrage de Fayé ;
- déterminer l'indice de qualité (IQE) des eaux du fleuve San-Pédro au barrage de Fayé.

Ce travail est structuré en trois (3) parties :

- la première partie traite des généralités sur la zone d'étude et des connaissances sur le thème ;
- la deuxième partie présente le matériel et les méthodes utilisés pour la réalisation de l'étude ;
- la troisième partie analyse et interprète les principaux résultats obtenus, suivi de leur discussion.

Une conclusion qui fait la synthèse des principaux résultats obtenus suivie des perspectives et des références met fin à ce travail.

PREMIERE PARTIE : GENERALITES

GENERALITES

1.1. Présentation de la zone d'étude

1.1.1. Situation géographique

La zone d'étude est située au Sud-ouest de la Côte d'Ivoire, dans le sous bassin versant du fleuve San-Pédro, entre les longitudes 3°0' et 8°7' Ouest et les latitudes 5°5' et 10°0' Nord. Elle a une superficie estimée à 6,25 Km² à l'exutoire du barrage hydroélectrique de Fayé (Figure1). Sur le plan administratif, ce sous bassin versant couvre trois (3) départements que sont : Soubré ; Sassandra et San-Pédro, le chef-lieu de département. Le barrage hydroélectrique de Fayé est installé à 35 Km au nord de la ville de San-Pédro, à 25 mètres d'altitude au sein d'une forêt équatoriale. Conçu initialement pour créer un lac dont l'eau servirait à alimenter une usine de papier, il a finalement été utilisé pour la production d'électricité (Koffi, 2012).

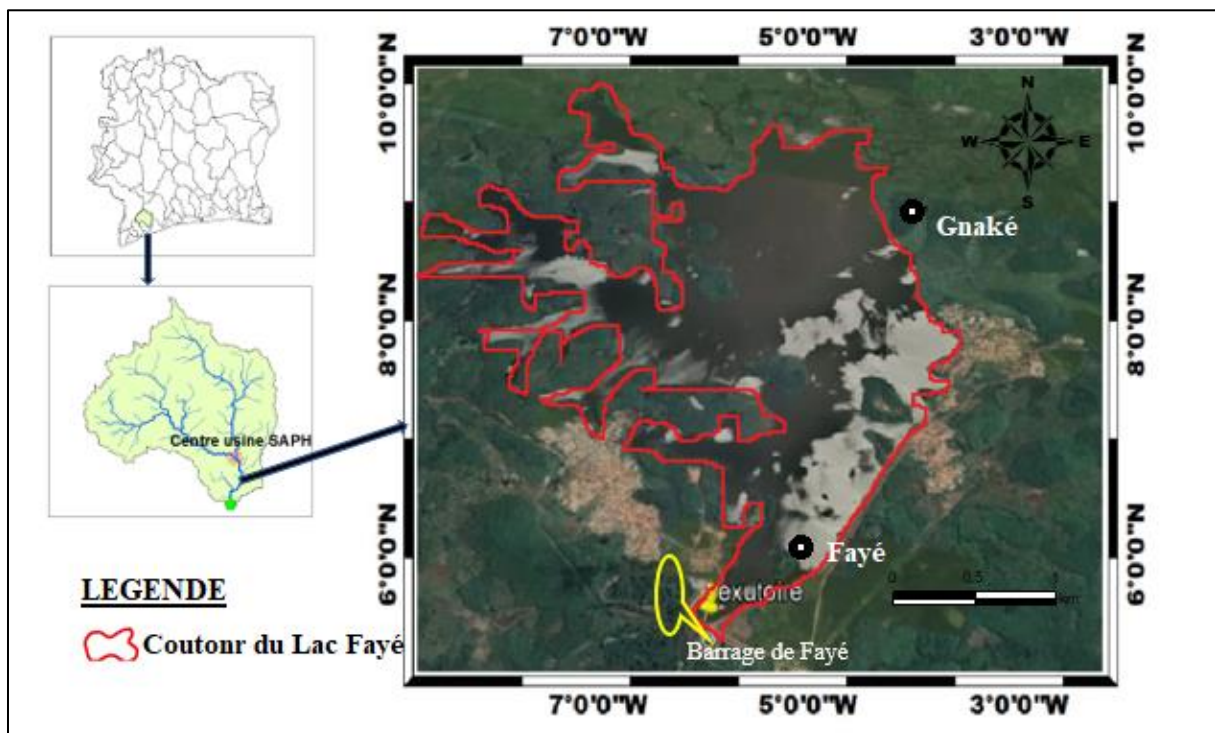


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

1.1.2. Climat

Le climat de la région de San-Pédro est de type équatorial de transition, avec un régime bimodal, alternant saisons des pluies et saisons sèches (Yaya *et al.*, 2021). San Pédro connaît quatre saisons au cours de l'année, dont deux saisons des pluies et deux saisons sèches (Yaya *et al.*, 2021) :

GENERALITES

- une grande saison sèche de décembre à mars : c'est la saison de l'harmatan, vent provenant du Sahara ; très chaud le jour, plus froid la nuit, très sec et souvent chargé de poussière ;
- une grande saison des pluies d'avril à juillet, avec un maximum en juin (hauteur de pluie pouvant atteindre 550 mm) ;
- une petite saison sèche bien marquée en août ;
- une petite saison des pluies de Septembre à novembre.

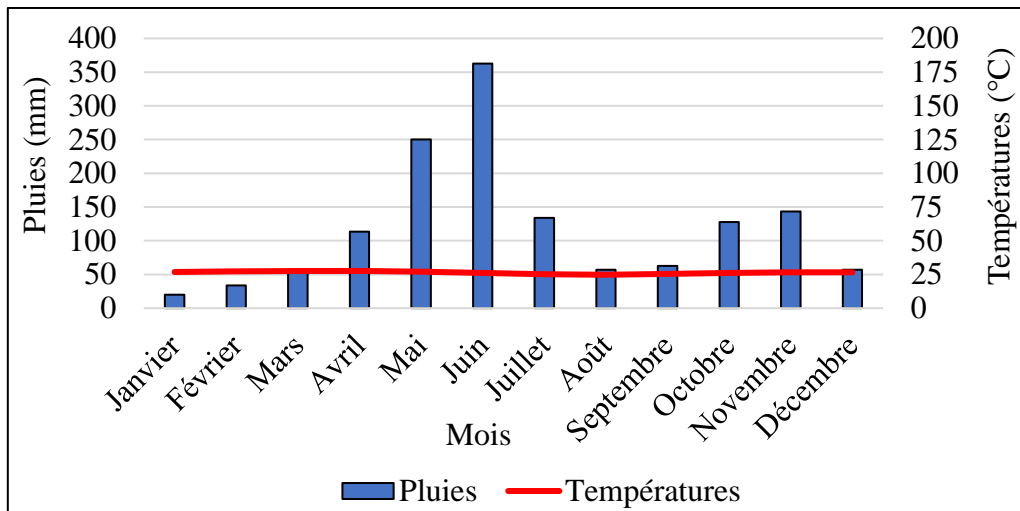


Figure 2 : Diagramme ombrothermique 1979 à 2019 de San-Pédro

1.1.3. Relief

La région de San-Pédro présente un relief relativement homogène (Figure 3) avec des altitudes maximales de l'ordre de 300 m dans sa partie la plus septentrionale, en se rapprochant de la région des Montagnes. Au sud s'étendent des plaines et des bas plateaux où les altitudes peuvent atteindre 200 m, de l'océan vers l'intérieur du pays. La plaine littorale, basse, et souvent marécageuse, est étroite à l'Ouest. Le département de San Pedro présente un relief accidenté fait d'une succession de bas-fonds, de plaines et de collines de faible altitude (30 à 50 m) (Yaya *et al.*, 2021).

GENERALITES

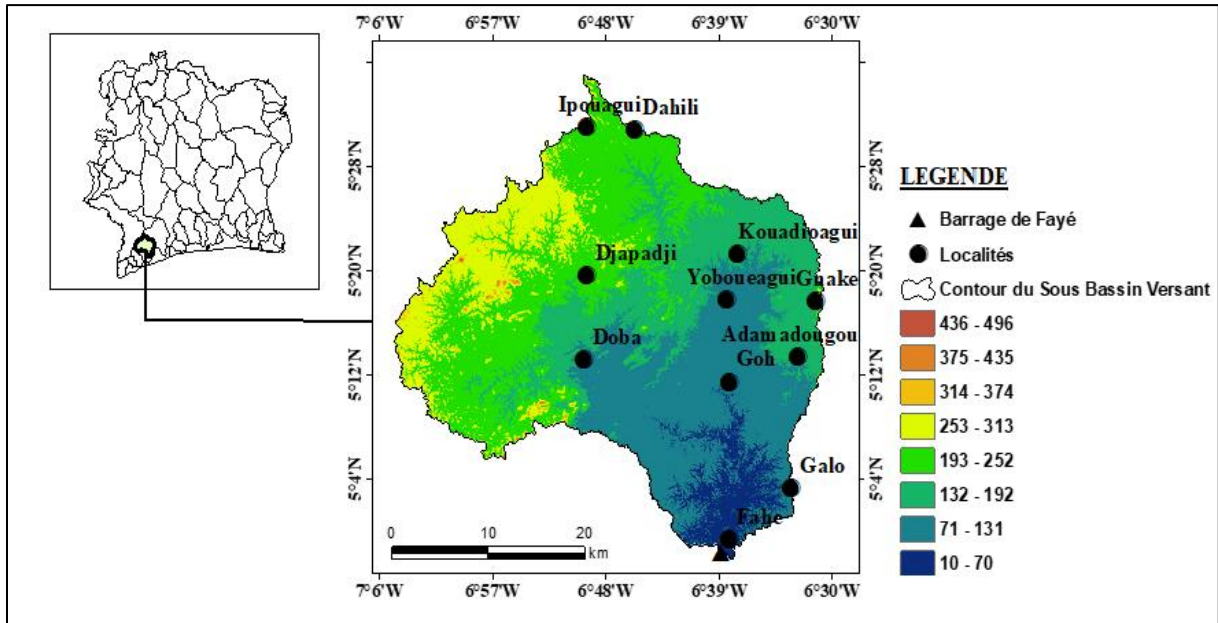


Figure 3 : Carte de relief du sous-bassin versant du San-Pédro

1.1.4. Végétation

La région est située dans le secteur de la forêt dense humide du domaine Guinéen. Ce secteur se caractérise en majorité par une forêt dense humide sempervirente constitué des espèces *Mapania spp* et *Diospyros spp* (De Lasmé, 2013). Il y a également des zones de forêt pauvre en grands arbres, riches en lianes et arbustes que l'on rencontre sur la pénélaine qui est représenté par la forêt déchiffrée ombrophile (Figure 4). Les zones de forêt pauvre en arbre sont dues soit à des sols trop pauvres, soit à la dégradation de l'homme par la mise en place des plantations. Le parc national de Taï est situé au nord-ouest de la zone d'étude (De Lasmé, 2013).

GENERALITES

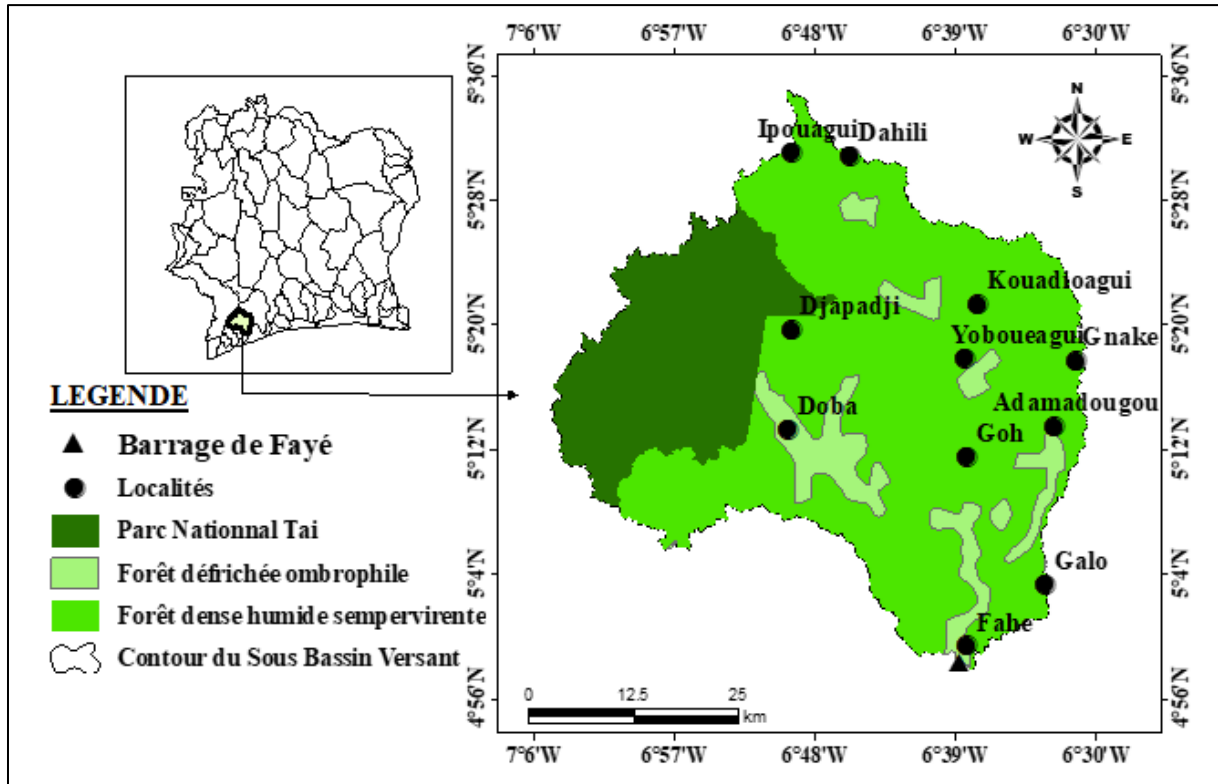


Figure 4 : Carte de végétation du sous-bassin versant du San-Pédro

1.1.5. Pédologie

Selon le Programme de Décentralisation des Universités (PDU) de San Pedro, les sols du département peuvent être divisés en trois catégories (Yaya *et al.*, 2021) :

- les sols ferrallitiques des collines et plateaux médiocres en matières organiques ;
- les sols hydromorphes des bas-fonds (riches en colluvions). Ces sols riches sont propices à l'agriculture ;
- les sols alluviaux des plaines du fleuve San Pedro et ses affluents (argileux et riches en alluvions et servant à la culture de riz et au maraîchage). Ces sols conviennent aussi bien aux cultures de rente qu'aux cultures vivrières.

La quasi-totalité de la région de San-Pédro est constituée de sols ferrallitiques fortement désaturés à l'exception d'une partie qui comporte des sols ferrallitiques moyennement et/ou faiblement désaturés (Figure 5).

GENERALITES

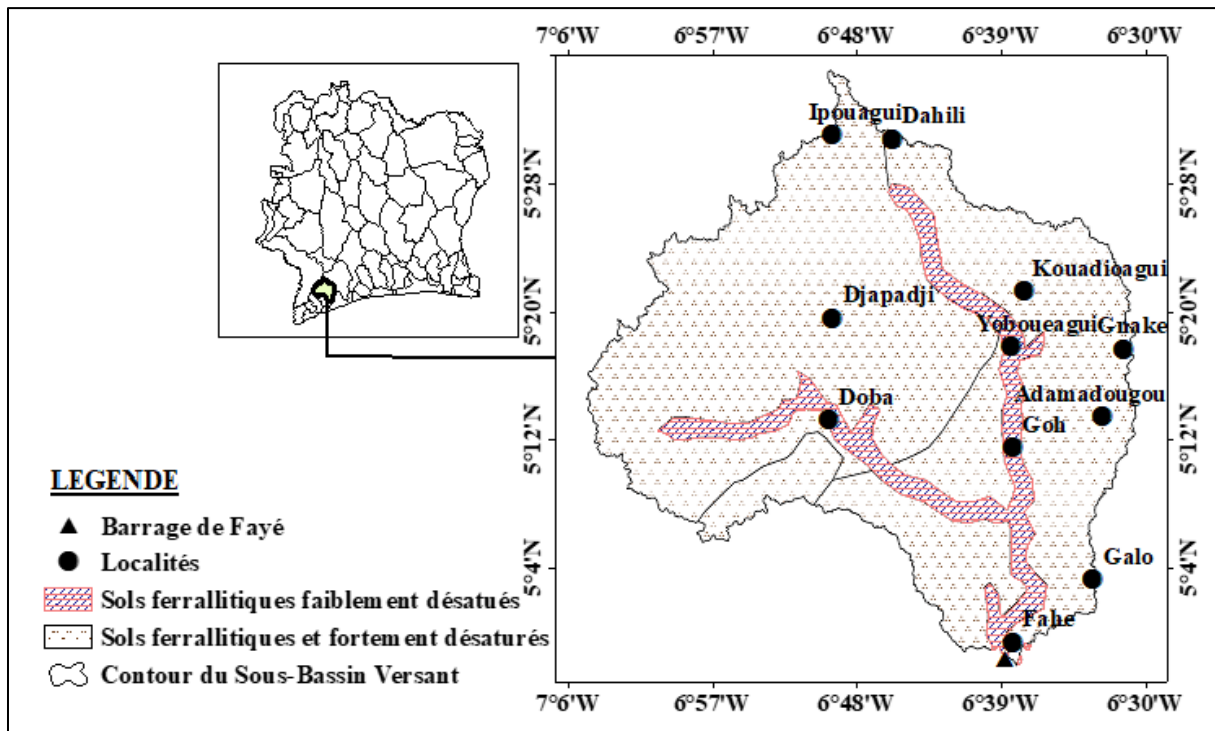


Figure 5 : Carte pédologique du sous-bassin versant du San-Pédro

1.1.6. Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique du bassin versant du San-Pédro est dense avec pour cours d'eau principale le fleuve San-Pédro. Ce cours d'eau a pour affluent Pallapod (Figure 6) qui augmente son débit d'écoulement (De Lasme, 2013). En effet, le fleuve San-Pédro d'une longueur de 112 km et d'un bassin versant de 3310 km², prend sa source aux bords du parc national de Tai et se jette dans la mer au niveau de la ville de San-Pédro puis s'écoule dans la forêt classée des Rapides Grah (situé dans le sud du département de San-Pédro) en direction du Sud (PEMED-CI, 2015). En 2001, les chercheurs de l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) ont évalué le ruissellement annuel du fleuve San Pédro à 336 mm, soit environ 24 % de la pluviométrie annuelle (MINEF, 2003). Un barrage hydroélectrique, nommé « Fayé » est construit sur le fleuve San-Pédro. Ce barrage profite d'un débit du fleuve San-Pédro estimé à 63 m³/s avec une capacité de productibilité annuelle de 22 GWhs.

GENERALITES

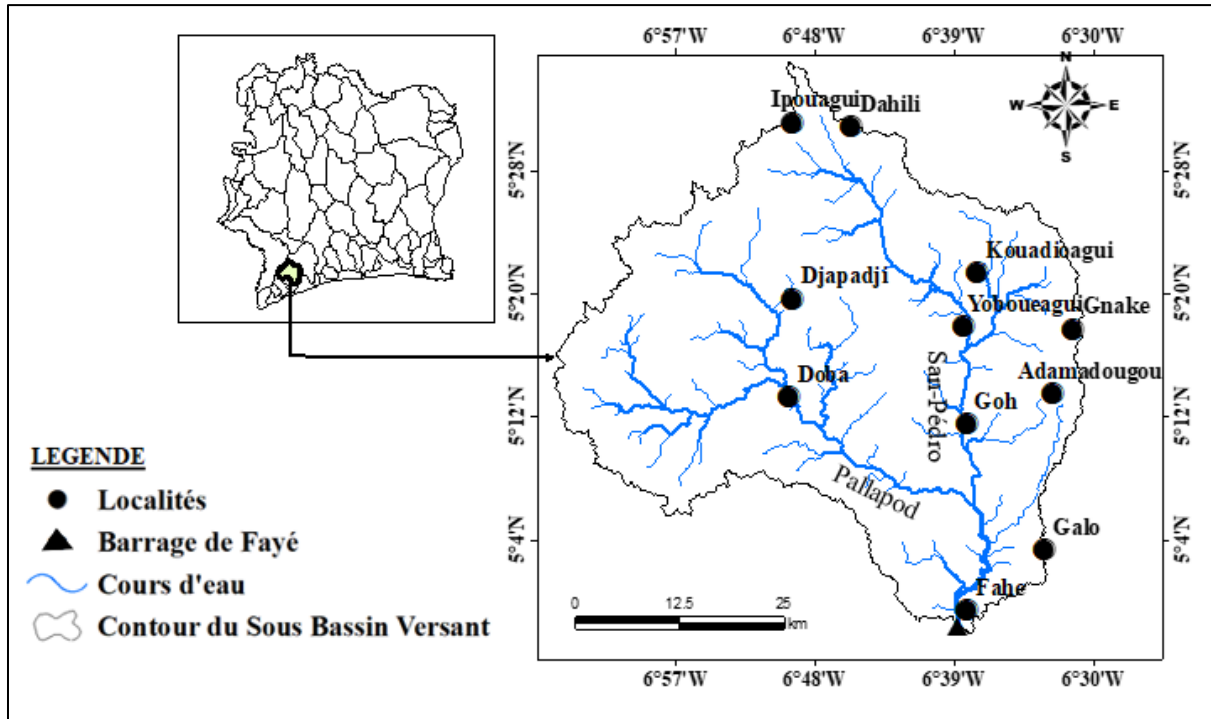


Figure 6 : Carte du réseau hydrographique du sous-bassin versant du San-Pédro

1.1.7. Situation socio-économique

1.1.7.1. Population

Le recensement général de la population de la région de San-Pédro effectué en 2014 a dénombré 257 172 habitants (RGPH, 2014). Cette population est inégalement répartie sur la région car elle s'installe majoritairement à proximité des points d'eaux naturels et le long des axes routiers. Les populations autochtones sont composées du groupe Krou et Bakwé. Toutefois, suite à l'opération San Pedro, la majorité de la population se compose désormais de ressortissants Akan, de Voltaïques et originaires des pays de la sous-région.

1.1.7.2. Activités économiques

La région dispose d'un aéroport et d'un port situés dans la ville de San-Pédro. Le port, les scieries et les usines assurent l'essor économique de la région faisant d'elle le deuxième pôle économique de la Côte d'Ivoire après Abidjan, devant Bouaké (De Lasmé, 2013). Les plages favorisent les activités de tourisme et loisirs. Les activités principales sont le commerce, l'industrie, la pêche et l'agriculture. Les plantes cultivées sont l'hévéa, le palmier à huile, le cacao et la banane plantain. Les essences forestières exploitées sont l'acajou et l'iroko. (De Lasmé, 2013).

GENERALITES

1.1.8. Contexte géologique et hydrogéologique

1.1.8.1. Contexte géologique

On distingue dans cette région plusieurs formations géologiques bien distinctes. Elle appartient principalement au socle précambrien avec un sous-sol qui appartient au domaine protérozoïque de la Côte d'Ivoire (De Lasmé *et al.*, 2012). La géologie de cette zone est constituée au plan pétrographique de roches cristallines et cristallophylliennes : granites, granodiorites, migmatites et gneiss (Figure 7). Deux déformations majeures ont affecté cette partie du pays selon les travaux de Papon & Lemarchand (1973) et Yacé (2002) : i) une tectonique tangentielle caractérisée par le style plicatif et la mise en évidence des plis isoclinaux à plans axiaux sub-verticaux, ii) une tectonique cassante caractérisée par de nombreuses fractures d'extension locale à régionale. Les différents événements tectoniques qui se sont succédés dans cette région, ont abouti à une fracturation bien développée.

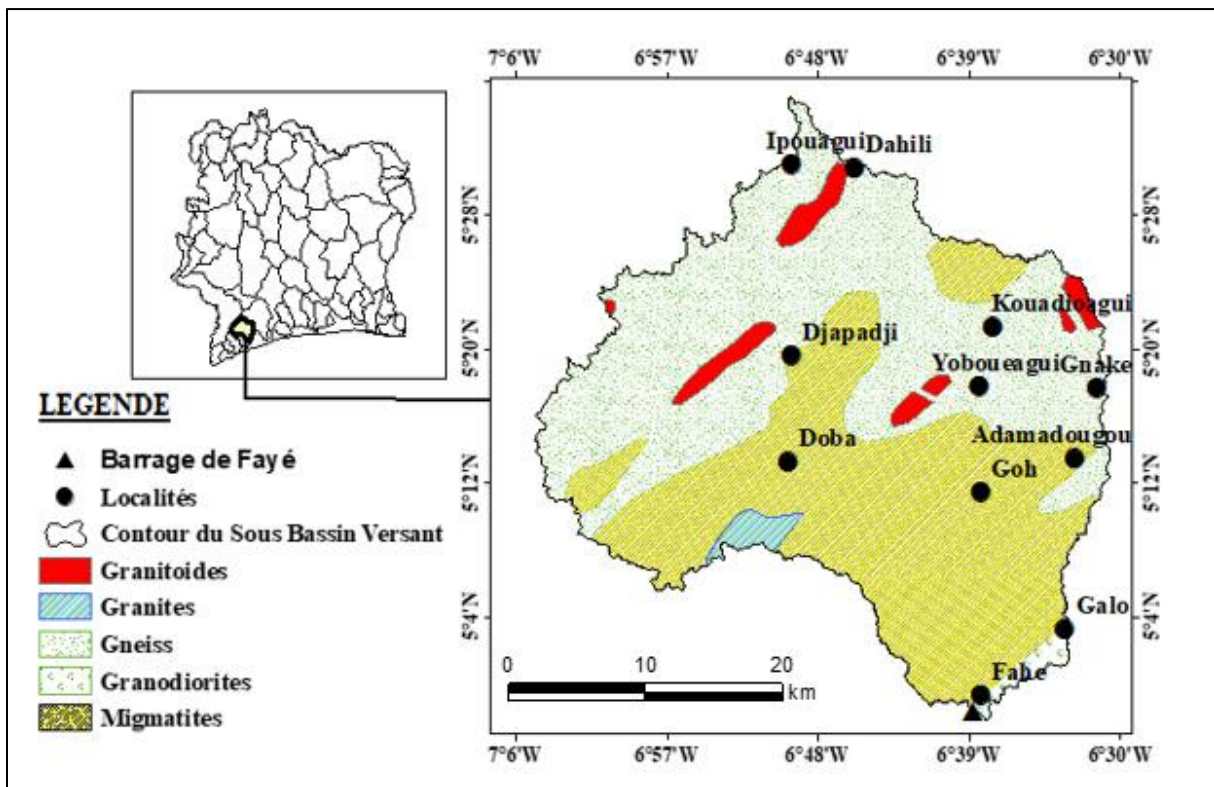


Figure 7 : Carte de géologie du sous-bassin versant du San-Pédro

1.1.8.2. Contexte hydrogéologique

Il existe un aquifère composite, dont un (1) aquifère fracturé surmonté d'un (1) aquifère d'altérite. Les altérites constituent le premier niveau de réservoir d'eau souterraine en milieu de socle cristallin et cristallophyllien (Maréchal *et al.*, 2004). D'un point de vue

GENERALITES

hydrogéologique, les zones d'altérites constituent des réservoirs fortement capacitifs des hydrosystèmes en zone de socle (Goné, 2001). C'est l'aquifère qui reçoit le premier, les eaux d'infiltration en provenance des précipitations et dont les réserves sont captées par les puits traditionnels et les puits modernes (Lasm *et al.*, 2004). Quant aux aquifères de fissures ou de socle, ils constituent de véritables réservoirs d'eau souterrains et présentent souvent l'avantage d'être à l'abri des fluctuations saisonnières et des éventuelles pollutions accidentelles (Gnamba *et al.*, 2014). Dans ces aquifères, l'écoulement des eaux souterraines s'effectue de manière préférentielle et prépondérante le long des fractures, des diaclases et des failles. Ces aquifères sont constitués de roches cristallines d'origine plutonique (granites) ou métamorphique (gneiss, schistes, micaschistes...). Ils sont "discontinus", en raison de l'importante variabilité spatiale de leurs propriétés hydrodynamiques. La plupart des régions où affleurent les roches métamorphiques et cristallines sont dites "stables". Les roches affleurantes comportent en général une pellicule superficielle altérée de plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur qui correspond à un profil d'altération de type latéritique. Ces profils d'altération confèrent aux roches de socle leurs propriétés d'aquifères (Figure 8).

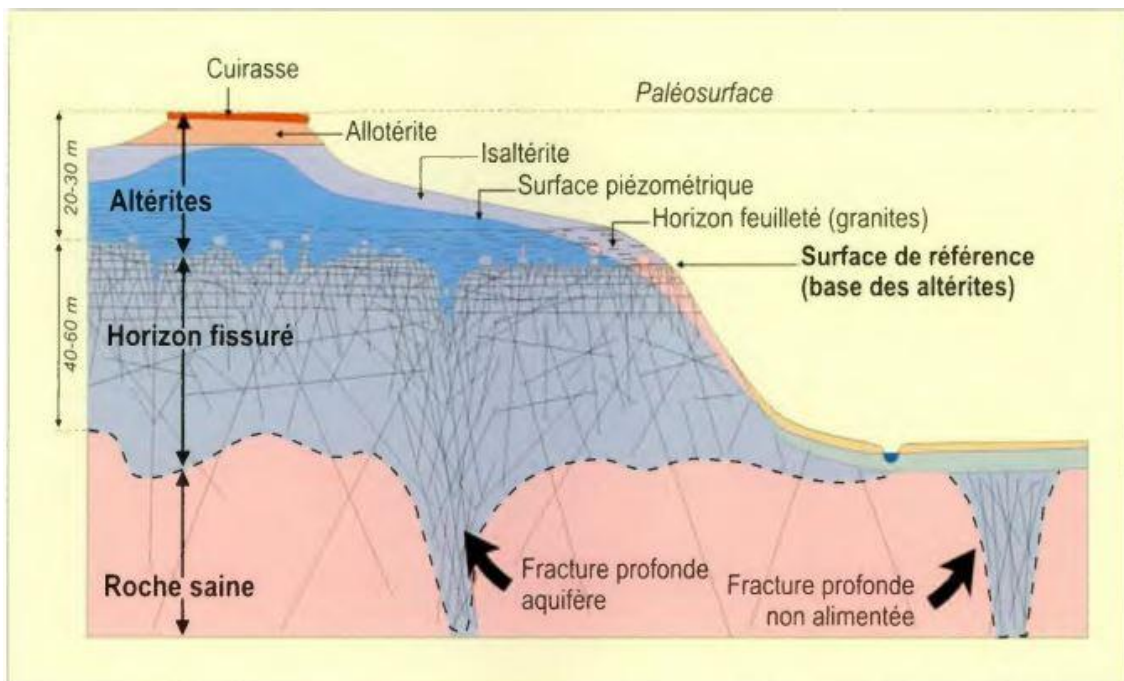


Figure 8 : Modèle conceptuel stratiforme de la structure des aquifères de socle (Lassachagne *et al.*, 2011)

GENERALITES

1.2. Etat des connaissances sur le thème abordé

1.2.1. Ecosystème fleuve

1.2.1.1. Caractéristiques de l'écosystème fleuve

Par définition un fleuve est un cours d'eau important, généralement caractérisé par une très grande longueur et largeur, un débit abondant, des affluents nombreux, et qui se jette le plus souvent dans la Mer. Dans des conditions normales, les fleuves hébergent une faune et une flore variées dépendant non seulement du climat, de la pente du terrain, des couches géologiques traversées, de la largeur du cours d'eau, mais aussi de la qualité de l'eau. Cependant, l'écosystème fleuve ne reste pas moins fragile. Les activités humaines qui se développent à proximité du cours d'eau, ou plus loin, ont souvent un effet néfaste sur la vie de cette ressource (Akilinson, 2014).

1.2.1.2. Usage et perturbation des eaux d'un fleuve

L'eau est l'une des plus importantes ressources naturelles. Ses utilisations sont nombreuses et variées : eau potable, hydroélectricité, irrigation, évacuation d'eaux usées, etc. Afin d'assurer une gestion durable de l'eau, il est indispensable d'assurer le suivi de sa qualité et de quantifier les impacts liés à ses très nombreuses utilisations (Bernard *et al.*, 2007). Divers processus physiques, chimiques et biologiques modifient la qualité de cette ressource.

1.2.2. Descripteurs de qualité de l'eau

1.2.2.1. Paramètres physico-chimiques

- **Température**

La température de l'eau, est un facteur écologique qui entraîne d'importantes répercussions écologiques (Leynaud, 1968). Elle agit sur la densité, la viscosité, la solubilité des gaz dans l'eau, la dissociation des sels dissous, de même que sur les réactions chimiques et biochimiques, le développement et la croissance des organismes vivant dans l'eau et particulièrement les microorganismes (WHO, 1987).

- **pH**

Le pH indique l'équilibre entre les acides et les bases d'un plan d'eau et est une mesure de la concentration des ions hydrogène en solution. Il influence la toxicité de plusieurs éléments en régissant un grand nombre de réactions chimiques. Dans les eaux naturelles peu soumises aux

GENERALITES

activités humaines, le pH dépend de l'origine de ces eaux et de la nature géologique du sous-sol. Les écarts importants du pH sont nuisibles pour la vie aquatique (Rodier, 2009).

- **Turbidité**

La turbidité est la mesure du caractère trouble de l'eau. Elle est causée par les matières en suspension, telles que l'argile, le limon, les particules organiques, le plancton et les autres organismes microscopiques (Rodier, 1996). Une importante turbidité de l'eau entraîne une réduction de sa transparence qui réduit la pénétration du rayonnement solaire utile à la vie aquatique (photosynthèse). Le tableau I présente une répartition en classes de turbidité usuelles des eaux.

Tableau I : Classes de turbidité usuelles

Classes de Turbidité	Qualité des eaux
NTU < 5	Eau claire
5 < NTU > 30	Eau légèrement trouble
NTU > 50	Eau trouble

- **Conductivités**

La conductivité est la capacité d'une eau à conduire l'électricité traduit le degré de minéralisation globale (Abdoulaye *et al.*, 2013). Les indications ci-après (Tableau II) traduisent la relation existante entre la minéralisation et la conductivité (Rodier, 2009) :

Tableau II : Relation entre la conductivité et la minéralisation

Classes de conductivités	Degrés de minéralisation
Conductivité < 100 $\mu\text{S/cm}$	Minéralisation très faible
100 $\mu\text{S/cm}$ < Conductivité < 200 $\mu\text{S/cm}$	Minéralisation faible
200 $\mu\text{S/cm}$ < Conductivité < 333 $\mu\text{S/cm}$	Minéralisation moyenne
333 $\mu\text{S/cm}$ < Conductivité < 666 $\mu\text{S/cm}$	Minéralisation élevée
Conductivité > 1000 $\mu\text{S/cm}$	Minéralisation très élevée.

1.2.2.2. Indicateurs chimiques

- **Nitrates**

L'ion nitrate (NO_3^-) est la principale forme d'azote inorganique trouvée dans les eaux naturelles.

Il constitue le stade final de l'oxydation de l'azote. L'ion nitrite (NO_2^-) s'oxyde facilement en ion nitrate et, pour cette raison, se retrouve rarement en concentration importante dans les eaux naturelles. Dans les eaux naturelles non polluées, le taux en nitrates est très variable suivant la

GENERALITES

saison et l'origine des eaux. Leur origine est principalement anthropique (utilisation d'intrants en agriculture, etc.) (CPEPESC, 2004).

- **Nitrites**

Les nitrites (NO_2^-) représentent une forme moins oxydée et moins stable de l'azote. Ce sont des produits intermédiaires de la nitrification de l'ammonium par des bactéries nitrifiantes telles que *Pseudomonas*. Leur toxicité est significative dans le milieu aquatique à partir de 0,2 mg/L. Les nitrites sont des éléments chimiques instables et toxiques pour le milieu aquatique. Il est important de vérifier régulièrement la concentration des nitrites, car même en faible concentration, celle-ci affecte les globules rouges du sang des poissons, réduisant leur capacité de transporter l'oxygène et causant ainsi la suffocation et la mort du poisson (CPEPESC, 2004).

- **Orthophosphates**

Les orthophosphates (PO_4^{3-}) sont la forme de phosphore assimilable par les plantes. Ce sont des éléments nutritifs essentiels au métabolisme des organismes. Cependant, à des teneurs trop élevées, ils peuvent générer des phénomènes d'eutrophisation qui, à terme, asphyxient le milieu. Ce sont des indicateurs de la productivité des eaux et sont responsables de l'accélération des phénomènes d'eutrophisation dans les lacs et les rivières car ils favorisent la croissance algale.

1.2.2.3. Indicateurs de pollution organique.

- **Demande chimique en oxygène (DCO)**

La DCO correspond à la quantité d'oxygène nécessaire pour la dégradation par voie chimique, effectuée à l'aide d'un oxydant puissant, des composés organiques présents dans l'eau. Elle permet de mesurer les teneurs en matières organiques totales (excepté quelques composés qui ne sont pas dégradés), y compris celles qui ne sont pas dégradables par les bactéries.

- **Demande biochimique en oxygène (DBO₅)**

La DBO₅ est la quantité d'oxygène dissous consommée par les micro-organismes, à l'obscurité à 20 °C pendant 5 jours. Il permet l'évaluation des matières organiques biodégradables. La demande biochimique en oxygène n'est pas elle-même un polluant, c'est une mesure de la pollution par la matière organique. Plus la DBO₅ est élevée, plus la quantité de matières organiques présentes dans l'eau est élevée (Rodier, 2009). Le paramètre DBO₅ est utilisé pour établir un classement qualitatif des eaux et définir l'altération du milieu par les matières organiques biodégradables (Tableau III).

GENERALITES

Tableau III : Classement qualitatif des eaux par la matière biodégradable

Classe de DBO₅	Degré de qualité d'eau
DBO ₅ < 3	Très bonne qualité
3 < DBO ₅ < 5	Bonne qualité
5 < DBO ₅ < 8	Qualité Moyenne
DBO ₅ > 8	Mauvaise qualité, voire très mauvaise

1.2.2.4. Les éléments traces métalliques

Les éléments métalliques et leurs dérivés organiques sont pour certains très dangereux parce que potentiellement toxiques, non-biodégradables et bioaccumulables dans les chaînes alimentaires. Si, à doses infimes, certains métaux constituent des oligo-éléments indispensables à un bon état de la santé humaine, à partir des limites de toxicité ils deviennent directement toxiques (CPEPESC, 2004). Libérés par les activités humaines au niveau des bassins versants (circulation automobile, artisans, bâtiments, etc.), les métaux lourds sont ensuite lessivés par les eaux de ruissellement et entraînés dans les rivières par l'intermédiaire des réseaux d'eaux pluviales. Les métaux sont généralement rencontrés à l'état de trace.

DEUXIEME PARTIE : MATERIEL ET METHODES

MATERIEL ET METHODES

2.1. Données et matériel

2.1.1. Données

Les données utilisées dans cette étude sont constituées uniquement de données hydrochimiques. Elles proviennent des résultats d'analyses physico-chimiques et chimiques d'échantillons d'eau effectuées après une campagne de prélèvement réalisée sur le fleuve San-Pédro au barrage de Fayé. Ces échantillons d'eau ont été recueillis dans des flacons en polyéthylène de capacité 1 litre, conservés dans une glacière contenant des carboglaces et analysés moins de 24 heures après la campagne de prélèvement. La position géographique des points d'eau échantillonnés a été relevée à l'aide d'un GPS. Les analyses ont été réalisées au Laboratoire du Centres de Recherches Océanologiques (Treichville, Abidjan). Les paramètres physiques de l'eau tels que la température (T°C), le potentiel d'hydrogène (pH), la conductivité électrique (CE), ont été mesurés *in situ* à l'aide de multi-paramètres portatifs ; La turbidité (Turb.) à l'aide d'un turbidimètre.

2.1.2. Matériel

Quatre types de matériel ont été utilisés : il s'agit de matériel de prélèvements, de matériel de terrain, de laboratoire et informatique.

2.1.2.1. Matériel de collecte de données

Le matériel utilisé pour collecter les données se composent comme suit (Figure 9) :

- un multi-paramètre portatif de marque HQ 40d avec quatre (4) sondes pour la mesure *in situ* des paramètres physico-chimiques ;
- un turbidimètre HACH 2100Q pour la mesure de la turbidité ;
- un GPS pour prendre la géolocalisation des différents points d'échantillonnage ;
- un bloc note pour la prise des coordonnées et valeurs des paramètres mesurés *in situ*.
- un Hors-Bord pour le déplacement sur la cour d'eau ;
- des flacons en polyéthylènes pour le prélèvement des échantillons d'eau ;
- un ruban adhésif pour l'étiquetage des flacons d'eau ;
- une glacière à carboglaces pour la conservation des échantillons d'eau pour des analyses au laboratoire.

MATERIEL ET METHODES



Figure 9 : Matériel de collecte de données

2.1.2.2. Matériel de laboratoire

Le matériel de laboratoire utilisé est constitué (Figure 10) :

- d'un spectrophotomètre HACH DR 1900 pour les mesures des paramètres au laboratoire ;
- de verrerie (éprouvettes, burettes, pipettes, erlenmeyers) pour les essais au laboratoire ;
- des réactifs en sachets et en solution pour les dosages des paramètres.

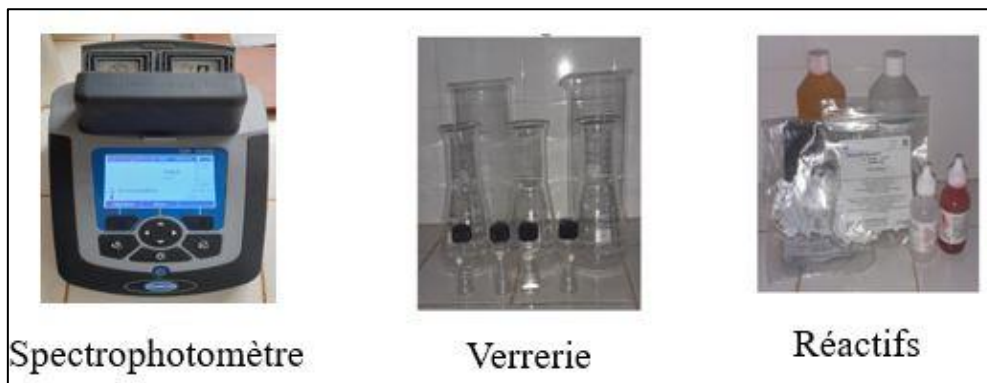


Figure 10 : Quelques matériels de laboratoire

2.1.2.3. Outils de traitement de données

Les outils de traitement de données sont composés de logiciels :

- ArcGIS 10.4, pour la réalisation des cartes ;
- Excel 2016, pour l'organisation et le traitement des données en vue de faire des graphes pour l'analyse des paramètres identifiés ;
- Word 2016, pour la rédaction de ce mémoire.

MATERIEL ET METHODES

2.2. Méthodes

2.2.1. Echantillonnage

2.2.1.1. Choix des sites de prélèvement

Sept (7) stations de prélèvement ont été choisies sur le cours d'eau du barrage Fayé, de sorte à avoir une bonne couverture spatiale. Ces sites ont été choisis en tenant compte de leur accessibilité en toute période et des activités anthropiques à proximité du cours d'eau, ou plus loin susceptibles d'impacter négativement sa qualité chimique (Figure 11).

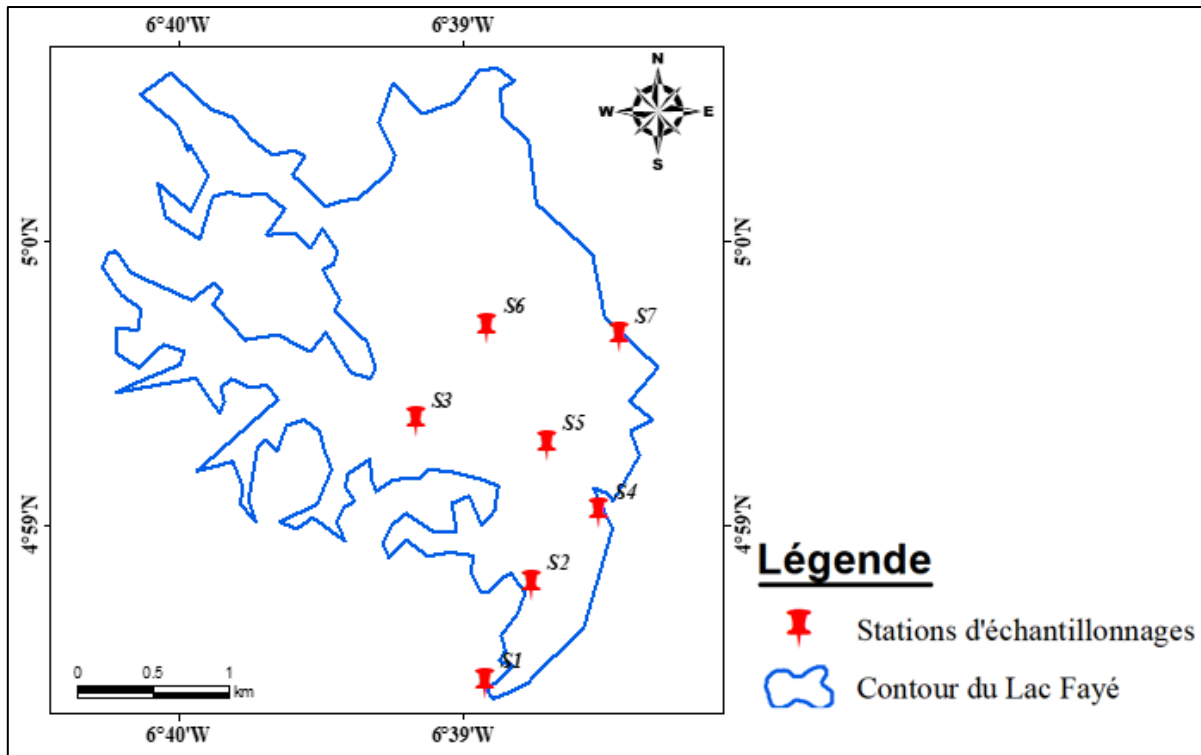


Figure 11 : Carte de répartition des points d'échantillonnage

2.2.1.2. Prélèvement d'échantillons d'eau

Au cours d'une campagne de prélèvement sur le cours d'eau du barrage Fayé, des échantillons d'eau sont prélevés au moyen d'un hors-bord, puis conditionnés dans des flacons en polyéthylène de capacité 1 litre. Aux points d'échantillonnage, les flacons sont lavés trois fois avec l'eau à prélever avant d'être introduire dans l'eau. Après le remplissage, ces derniers sont fermés hermétiquement afin d'éviter tout échange gazeux avec l'atmosphère. Les échantillons d'eau ainsi récupérés sont ensuite étiquetés puis mis à l'abri de la lumière dans une glacière contenant des glaçons à 4°C afin de limiter voire éviter toutes réactions chimiques ou biologiques. Une fois bien conservés, ceux-ci sont transportés au laboratoire pour être analysés.

MATERIEL ET METHODES

2.2.2. Détermination des paramètres physico-chimiques et chimiques

2.2.2.1. Mesures *in situ*

Lors des prélèvements, les paramètres physico-chimiques des eaux tels que la température (T°C), le potentiel hydrogène (pH), conductivité électrique (CE), et les turbidités (NTU) sont mesurés *in situ* sur le fleuve San-Pédro du barrage Fayé. L'appareillage utilisé sur le terrain est constitué d'un multi-paramètre de marque HQ 40d pour la mesure du pH, de la conductivité électrique (CE), de la température (T°C) et un turbidimètre de marque HACH 2100Q pour la mesure de la turbidité. Pour la prise de mesure, l'extrémité de la sonde du multi-paramètre est introduite dans l'échantillon d'eau. La lecture des différents paramètres est effectuée une fois les valeurs stabilisées. Pour la turbidité, l'eau est prélevée et mise dans le compartiment de la cuve de l'appareil. La valeur de la turbidité est affichée après avoir appuyé sur la touche « mesurer ».

2.2.2.2. Mesures au laboratoire

Pour les analyses au laboratoire, les éléments dosés sont les paramètres chimiques suivants : les cations majeurs (Ca^{2+} , K^+ , Na^+ , Mg^{2+}), les Eléments Traces Métalliques (Cu, Zn, Fe, Mn, Pb, Cd et Ni), les sels nutritifs (NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-}) et les indicateurs de pollution organique (DCO, DBO₅, COT). Ces différents paramètres ont été déterminés à travers plusieurs méthodes.

2.2.2.3. Méthodes d'analyse au laboratoire

Les cations majeurs (K^+ , Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+}) et les métaux lourds (Fe, Ni, Cu, Mn, Pb, Cu^{2+} , Cd) ont été déterminés selon la méthode de spectrométrie d'absorption atomique (Tableau IV).

Tableau IV : Méthode d'analyse des métaux lourds

Paramètres	Référence de la méthode	Eléments du principe
K^+ , Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} , Ni, Fe, Cu^{2+} , Mn, Zn, Pb.	NF T90-112 (1986) (AFNOR, 1994)	Spectrométrie d'absorption atomique (SAAF)

Les paramètres tels que les nitrites, les nitrates, l'ammonium, les orthophosphates, la demande chimique en oxygène (DCO), la demande biochimique en oxygène en 5 jours (DBO₅) et le carbone organique total (COT) ont été analysés au laboratoire selon les différentes méthodes décrites dans le tableau V.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Tableau V : Méthodes d'analyse des paramètres au laboratoire

Paramètres	Références	Éléments du principe
Nitrite	NFT90-013 (1993)	Formation d'un sel diazoïque donnant un complexe de coloration rose avec le chlorhydrate de N-(naphtyl-1) diamino-1,2-éthane. Dosage spectrométrique à 543.
Nitrate	NFT90-045 (1989)	Formation d'un composé jaune issu de la réaction des nitrates avec l'acide sulfosalicylique, après traitement à l'alcali. Dosage spectrométrique à 415 nm.
Ammonium	NFT90-015 (1975)	Dosage colorimétrique au bleu d'indophénol, formation en milieu alcalin ($10,4 < \text{pH} < 11,5$) d'un composé de type indophénol par réaction des ions ammonium avec le phénol et une solution chlorée, en présence de nitroprussiate comme catalyseur.
Orthophosphate	NF T90-023 (1982)	Dosage colorimétrie, formation d'un complexe réductible à l'acide ascorbique, par réaction du molybdate d'ammonium sur les orthophosphates, en présence d'antimoine (III). La forme réduite, de coloration bleue, absorbe à la longueur d'onde de 885 nm
DCO	NF T90-101 de février 2001.	Minéralisation de l'échantillon au dichromate de potassium à chaud, puis dosage de l'excès de dichromate par une solution de sulfate de fer II et d'ammonium en présence de ferroïne utilisé comme indicateur.
DBO5	NF EN ISO 8467 (1995) (Rodier, 2009)	Méthode de l'indice permanganate
COT	NPOC (Non Purgeable Organics Carbon)	Détermination directement du COT après avoir éliminé le carbone inorganique par purgeage avec un gaz vecteur qui est de l'air ultra pur. La mesure est faite par oxydation de la matière organique présente dans l'eau en dioxyde de carbone (CO_2) et sa détection avec un détecteur infrarouge non dispersif.

2.2.2.4. Traitement statistique des données

Dans cette étude, deux (02) paramètres statistiques ont été utilisés : l'une de position, la moyenne (Moy) qui résume la tendance centrale de la distribution des variables et l'autre de dispersion, le coefficient de variation (CV) qui représente une sorte d'écart-type relatif pour comparer les dispersions indépendamment des valeurs de la variable. Le calcul de ces paramètres a été fait avec le logiciel EXCEL, version 2016.

MATERIEL ET METHODES

La moyenne (ou moyenne arithmétique) est obtenue en faisant le quotient de la somme des n valeurs observées par l'effectif n . Il s'agit de la moyenne de données ponctuelles. Elle est donnée par la relation :

$$Moy = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (\text{Eq. 1})$$

Le coefficient de variation (CV), lui est calculé à l'aide de la relation ci-dessous :

$$CV(\%) = \frac{\sigma}{Moy} * 100 \quad (\text{Eq. 2})$$

2.2.3. Caractérisation chimique du fleuve San-Pédro au barrage de Fayé

Les résultats d'analyses des paramètres physico-chimiques et chimiques sont soumis à une analyse statistique simple pour une meilleure exploitation des données. Elle consiste d'abord à étudier les valeurs extrêmes (minima et maxima), la valeur centrale (la moyenne) et le paramètre de dispersion de ces valeurs (écart-type). Ensuite, une comparaison des concentrations des paramètres physico-chimiques et chimiques aux directives de potabilité de l'Organisation Mondiale de la Santé OMS (2017) (annexe 2) est réalisée. En effet, l'eau de consommation doit respecter les limites de qualité chimique fixées par l'OMS. Ce sont des limites de sécurité sanitaire exprimées, pour chaque substance chimique jugée dangereuse pour la santé et uniquement celles-ci, en limite maximale par litre d'eau. Enfin, l'étude s'est ensuite basée sur l'analyse des paramètres physico-chimique mesurés *in situ* et des paramètres chimiques (éléments majeurs et mineurs naturels, éléments traces métalliques et les sels nutritifs) déterminés au Laboratoire.

2.2.4. Evaluation des indices de pollution du fleuve San-Pédro à Fayé

2.2.4.1. Evaluation de la pollution organique des eaux du fleuve San-Pédro à Fayé

Le renseignement sur la dégradation de la qualité des eaux sous l'influence des activités anthropiques nous impose à déterminer le degré de la pollution organique en utilisant la méthode de l'indice de pollution organique (IPO). Cette méthode a été utilisée par plusieurs auteurs notamment (Saadali *et al.*, 2015 ; Abdellah *et al.*, 2020). Le principe consiste à répartir les valeurs de quatre (04) éléments polluants en cinq (05) classes (Tableau VI) et à déterminer à partir de ses propres mesures le numéro de classe correspondant pour chaque paramètre pour en faire la moyenne. En d'autres termes, l'IPO se détermine en faisant la moyenne des numéros de classe pour chaque paramètre selon l'équation suivante :

$$IPO = (\sum_{k \neq 0}^i (Ck, \dots Ci) / n) \quad (\text{Eq. 3})$$

MATERIEL ET METHODES






Avec C : le numéro de classe du paramètre et n : le nombre de paramètres analysés.

Tableau VI : Limites des classes de l'Indice de Pollution Organique (Leclercq, 2001)

Paramètres Classes	DBO ₅ mgO ₂ /L	NH ₄ ⁺ mgO ₂ /L	NO ₂ ⁻ µgN/L	PO ₄ ³⁻ µgP/L
1	> 15	> 6	> 150	> 900
2	10,1-15	2,5-6	51-150	251-900
3	5,1-10	1-2,4	11-50	76-250
4	2-5	0,1-0,9	6-10	16-75
5	< 2	< 0,1	< 5	< 15

Les valeurs obtenues sont classées en 5 niveaux (couleurs) de pollution correspondant à des degrés de pollution organique (Tableau VII).

Tableau VII : Classes de l'Indice de Pollution Organique (Leclercq, 2001)

Couleur	Classe	IPO	Degré de Pollution Organique
	1	4,6-5,0	Pollution Nulle
	2	4,0-4,5	Pollution Faible
	3	3,0-3,9	Pollution Modérée
	4	2,0-2,9	Pollution Forte
	5	1,0-1,9	Pollution Très Forte

L'IPO permet donc de rendre compte de manière synthétique le degré de pollution organique existante aux points de prélèvements.

2.2.4.2. Evaluation de la pollution métallique des eaux du fleuve San-Pédro a Fayé

Pour l'évaluation de la pollution métallique, deux indices de pollution liés à la qualité des eaux de consommation ont été calculés. Il s'agit du degré de contamination (DC) et de l'indice de pollution des métaux lourds (HPI : heavy metal pollution index:). Ainsi, 9 paramètres métalliques ont été utilisés pour effectuer ce calcul, notamment le Plomb, le Fer, le Cuivre, le Manganèse, le Calcium, le Cadmium, le Zinc, le Sodium et le Magnésium.

– Degré de Contamination (DC)

Le degré de contamination (DC) est utilisé comme référence pour évaluer le niveau de contamination des eaux par les métaux (Belkhiri *et al.*, 2018). Il ne prend pas en compte le niveau de pollution des eaux et a été calculé à partir des équations 4 et 5 :

$$DC = \sum_{i=1}^n FC_i \quad (\text{Eq. 4})$$

Avec :

MATERIEL ET METHODES

$$FCi = \frac{\text{Concentration de l'ETM mesuré dans l'eau}}{\text{Valeur guide de reference OMS(2017)}} \quad (\text{Eq.5})$$

Où FCi est le facteur de contamination d'un paramètre i ; et n, la valeur normative de l'ETM. Le DC est classé en trois catégories (Tableau VIII).

Tableau VIII : Niveaux de contamination de l'eau (El-Hamid & Hegazy, 2017)

Classe de contamination	Degré de Contamination
DC < 1	Contamination faible
1 < DC < 3	Contamination moyenne
DC >3	Contamination élevée

- Indice de pollution métallique

L'indice de pollution des ETM (HPI) est un indice proposé par Mohan *et al.* (1996). C'est un outil très utile pour évaluer la pollution globale des masses d'eau par les ETM. Cet indice a été utilisé par plusieurs auteurs pour évaluer la pollution métallique des eaux superficielles (Prasad & Bose, 2001 ; Edet & Offiong, 2003 ; El-Hamid & Hegazy, 2017 ; Giri & Singh, 2019) dans le cadre de leurs études. Cette méthode est basée sur la qualité arithmétique pondérée et développée en deux étapes :

- la première consiste à établir une échelle de notation pour chaque pondération donnant le paramètre sélectionné ;
- la seconde, permet d'établir le paramètre de pollution sur lequel l'indice doit être basé (Singh & Kamal, 2016).

Le calcul de HPI est donné par les équations 6 ; 7 et 8 :

$$HPI = \frac{\sum_{i=0}^n Qi * Wi}{\sum_{i=0}^n Wi} \quad (\text{Eq. 6})$$

$$Qi = \left(\frac{Vi}{Si} \right) * 100 \quad (\text{Eq. 7})$$

$$Wi = \frac{k}{Si} \quad (\text{Eq. 8})$$

Où Qi est l'indice d'un paramètre, Wi est la pondération d'un paramètre, Vi est la valeur contrôlée d'un paramètre dans l'eau en µg/L, K est la constante de proportionnalité qui est égale à 1, Si est la valeur standard d'un paramètre (la ligne directrice adoptée est la limite de l'OMS 2017), n est le nombre de paramètres.

La qualité de l'eau est évaluée à partir de la valeur critique de l'indice de pollution par les ETM qui est de 100 (Prasad *et al.*, 2014). Le risque de pollution basé sur la valeur de HPI peut être classé en trois catégories (Tableau IX).

MATERIEL ET METHODES

Tableau IX : Risque de pollution par les ETM

Classes de HPI	Risque de pollution
HPI < 100	Faible
HPI = 100	Seuil
HPI > 100	Elevé

2.2.5. Détermination de l'indice de qualité des eaux du fleuve San-Pédro au barrage Fayé

Dans cette étude, un nombre de 18 paramètres a été sélectionné (annexe 1) pour calculer l'Indice de Qualité de l'Eau (IQE). Cet indice est une technique de classification de la qualité de l'eau qui repose sur la comparaison des paramètres de qualité de l'eau avec les valeurs guides de l'OMS. En d'autres termes, l'IQE résume de grandes quantités de données sur la qualité de l'eau en termes simples (Excellente, Bonne, Mauvaise, Très mauvaise et Impropre ou non potable). Cette méthode a été initialement proposée par Horton (1965).

Dans cette étude l'indice IQE, a été appliqué pour estimer l'influence des facteurs naturels et anthropiques sur la base de plusieurs paramètres clés qui compose les eaux de la rivière San-Pédro. Cet indice a été calculé en suivant la méthode de l'indice arithmétique pondéré. Plusieurs auteurs, dans le cadre de leurs études ont également utilisé cet indice (Brown *et al.*, 1970 ; Yidana & Yidana, 2010). Dans cette approche, une valeur numérique appelée poids relatif (W_i), spécifique à chaque paramètre physico-chimique, est calculée selon la formule suivante :

$$W_i = \frac{k}{S_i} \quad (\text{Eq. 9})$$

Où k est la constante de proportionnalité et peut également être calculée à l'aide de l'équation suivante :

$$k = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n S_i} \right) \quad (\text{Eq. 10})$$

n est le nombre de paramètres et S_i est la valeur maximale de la norme standard internationale des eaux de surface (Valeurs directrice de l'OMS, 2017) de chaque paramètre en mg/L.

Ensuite, une échelle d'évaluation de la qualité (Q_i) est calculée pour chaque paramètre en divisant la concentration par la norme dudit paramètre et en multipliant l'ensemble par 100 comme dans la formule suivante :

$$Q_i = \left(\frac{C_i}{S_i} \right) * 100 \quad (\text{Eq. 11})$$

MATERIEL ET METHODES

Avec Q_i : l'échelle d'évaluation de la qualité de chaque paramètre et C_i : la concentration de chaque paramètre en mg/L.

Finalement l'indice global de la qualité de l'eau est calculé par l'équation suivante :

$$IQE = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i * W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (\text{Eq. 12})$$

Cinq classes de qualité peuvent être identifiées selon les valeurs de l'indice de qualité de l'eau (IQE) (Tableau X).

Tableau X : Classification et usage possible de l'eau selon l'IQE (Brown *et al.*, 1972 ; Chatterji & Raziuddin, 2002 ; Aher *et al.*, 2016)

Couleurs	Intervalles de IQE	Classes de qualités d'eau	Usages possibles
	[0 - 25[	Excellente qualité	Eau potable, Irrigation, et Industrie
	[25 - 50[	Bonne qualité	Eau potable, Irrigation, et Industrie
	[50 - 75[	Mauvaise qualité	Irrigation et industrie
	[75 - 100[	Très mauvaise qualité	Irrigation
	[100 ; → [	Eau impropre ou non potable	Traitement Approprié requis avant utilisation

TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSION

RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Résultats

3.1.1. Caractéristiques chimiques des eaux du fleuve San-Pédro au barrage de Fayé

Les résultats d'analyse statistique simple des données physico-chimiques et chimiques du fleuve San-Pédro au barrage de Fayé sont présentés sous formes de graphes et comparés aux valeurs guides de l'OMS (2017) pour les eaux de consommation (Tableau XI)

Tableau XI : Récapitulatif des caractéristiques physico-chimiques du fleuve San-Pédro

N°	Paramètres	MIN	MAX	MOY	Valeurs guides OMS 2017
1	T°C	28,50	34,00	29,83±1,89	25-30
2	pH	6,40	7,99	7,11±0,59	6,5-8,5
3	CE (µS/cm)	63,00	73,63	66,82±4,23	400-2000
4	Turb. (NTU)	20,97	25,51	21,95±1,66	5,00
5	NO ₂ ⁻ (mg/L)	0,01	0,04	0,02±0,01	3
6	NO ₃ ⁻ (mg/L)	1,30	4,00	2,39±1,09	50
7	NH ₄ ⁺ (mg/L)	0,13	0,18	0,15±0,01	1,5
8	PO ₄ ²⁻ (mg/L)	0,26	0,66	0,48±0,14	5
9	COT (mg/L)	1,91	4,84	3,04±1,11	2
10	DCO (mg/L)	4,06	10,28	6,45±2,36	10
11	DBO ₅ (mg/L)	1,63	4,12	2,59±0,95	40
12	Pb (mg/L)	0,02	0,09	0,05±0,02	0,01
13	Ni (mg/L)	0,10	0,49	0,27±0,13	0,002
14	Ca ²⁺ (mg/L)	23,31	117,49	63,85±30,12	60
15	Fe (mg/L)	0,03	0,13	0,07±0,03	0,3
16	Mn ²⁺ (mg/L)	0,01	0,03	0,02±0,01	50,00
17	Cu ²⁺ (mg/L)	0,001	0,010	0,005±0,003	0,003
18	K ⁺ (mg/L)	23,37	117,84	64,04±30,20	30,20

3.1.1.1. Paramètres physico-chimiques

❖ Température (T°C) des eaux du fleuve San-Pédro au barrage Fayé

La température des eaux du barrage varie de 28,5°C (S2) à 34°C (S6) avec une valeur moyenne de 29,83±1,89°C qui rentre dans l'intervalle fixé par l'OMS (25°C à 30°C). L'évolution de la température (Figure 12) indique une faible variation sur l'ensemble des stations (CV < 30%).

RESULTATS ET DISCUSSION

Les valeurs de température observées aux différentes stations sont toutes supérieures à 25°C et inférieures à 30°C, exceptée à la station S6 (34 °C).

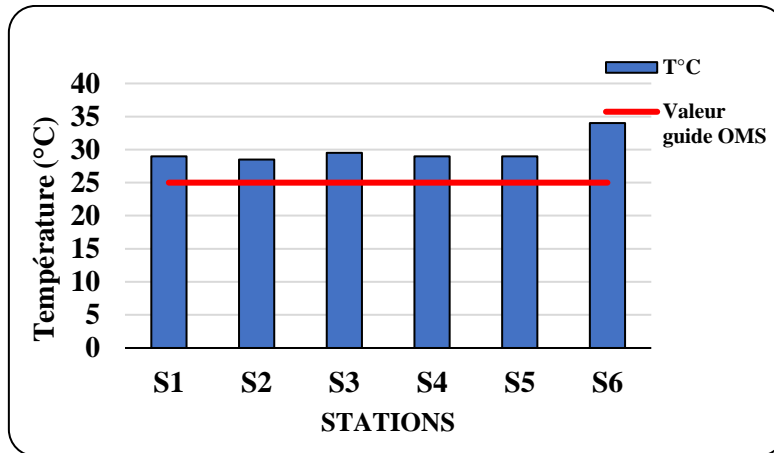


Figure 12 : Variation spatiale de la Température dans les eaux du fleuve San-Pédro

❖ pH des eaux du fleuve San-Pédro au barrage Fayé

Le pH varie faiblement au niveau des eaux du fleuve San-Pédro au barrage Fayé (CV < 30%). Les valeurs obtenues oscillent entre 6,06 (S4) et 7,85 (S1), avec une moyenne de $7,11 \pm 0,59$. Cette valeur rentre dans l'intervalle (6,5 et 8,5) fixé par l'OMS (2017) pour l'eau de consommation. La figure 13 présente la variation de pH aux différentes stations.

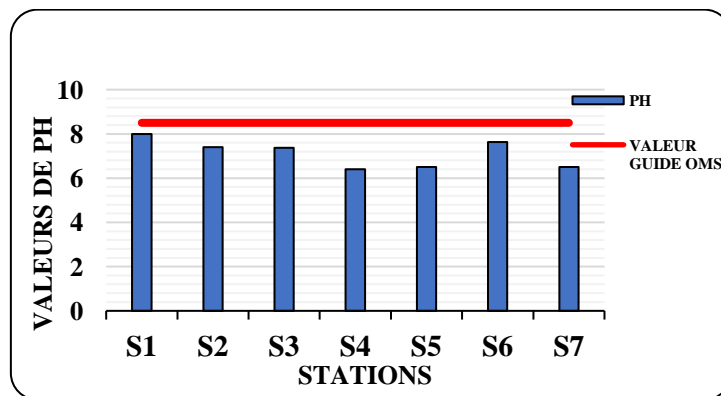


Figure 13 : Variation spatiale du pH dans les eaux du fleuve San-Pédro

❖ Turbidité (Turb.) des eaux du fleuve San-Pédro au barrage Fayé

La turbidité est la mesure du caractère trouble de l'eau. Les valeurs de turbidité relevées aux différentes stations oscillent entre 20,97 NTU (S1) et 25,51 NTU (S6) avec une moyenne de $21,95 \pm 1,66$ NTU (Figure 14). Les eaux du barrage présentent des turbidités élevées, supérieures à la valeur guide de l'OMS (5 NTU). Par ailleurs, ces valeurs sont comprises dans l'intervalle des eaux considérées légèrement troubles ($5 < \text{NTU} < 30$).

RESULTATS ET DISCUSSION

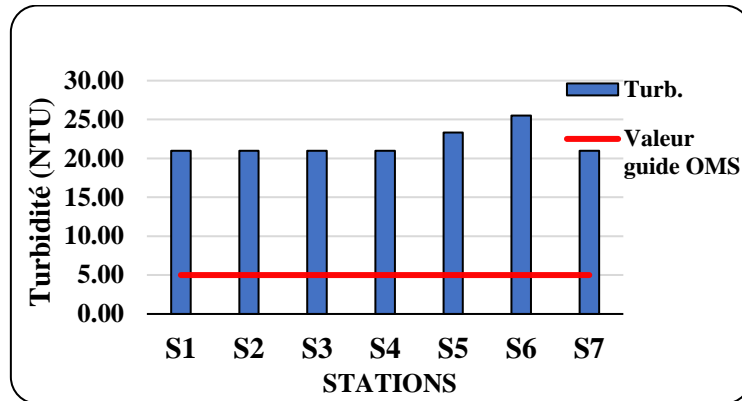


Figure 14 : Variation spatiale de la Turbidité dans les eaux du fleuve San-Pédro

❖ Conductivité électrique (CE) des eaux du fleuve San-Pédro au barrage Fayé

Les valeurs de la conductivité électrique (CE) aux différentes stations varient de 63 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (S1) à 73,63 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (S6) (Figure 15), avec une moyenne de $66,82 \pm 4,23 \mu\text{S}/\text{cm}$. Ces différentes valeurs de la CE sont très faibles (inférieures à 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$), traduisant ainsi une très faible minéralisation des eaux de la rivière San-Pédro au barrage de Fayé (Rodier, 2009).

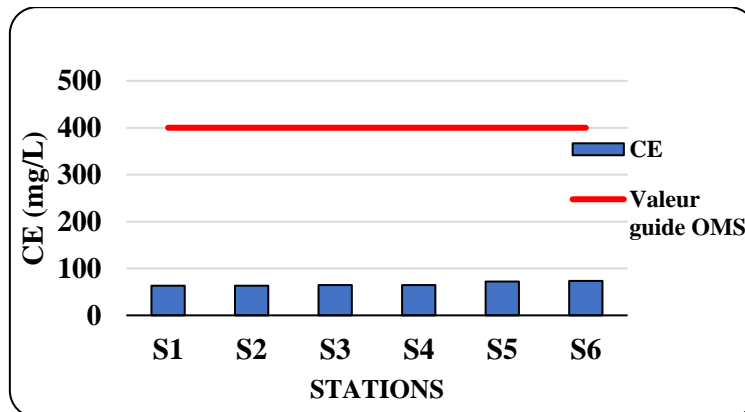


Figure 15 : Variation spatiale de la Conductivité électrique dans les eaux du fleuve San-Pédro

3.1.1.2. Indicateurs de pollution organique

❖ Demande biochimique en oxygène à cinq jours (DBO5)

Les valeurs de la DBO₅ oscillent entre 1,63 mgO_2/L (S1) et 4,12 mgO_2/L (S6) avec une valeur moyenne de $2,59 \pm 0,95 \text{mgO}_2/\text{L}$ (Figure 16a). La variation spatiale de la DBO₅ montre que les stations S1 à S7 ont des teneurs très faibles par rapport à la valeur guide de l'OMS (40 mgO_2/L).

❖ Demande chimique en oxygène (DCO)

Les valeurs de la DCO varient de 4,06 mgO_2/L (S1) à 10,28 mgO_2/L (S6) avec une moyenne $6,45 \pm 2,36 \text{mgO}_2/\text{L}$. Ces sont inférieures à la valeur guide de l'OMS (10 mgO_2/L) ; sauf celle

RESULTATS ET DISCUSSION

obtenue à la station S5 qui est de 10,28 mgO₂/L (Figure 16b). La plus faible teneur de ce paramètre a été observée à la station S1.

❖ Rapport DCO/DBO₅

Ce rapport donne une indication sur la biodégradabilité des effluents. Pour un rapport inférieur à 3, l'effluent est facilement biodégradable ; au-delà de 5, l'effluent est difficilement biodégradable. Le calcul du rapport moyen de ces deux composés donne une valeur qui est 2,5

❖ Carbone Organique Total (COT)

Le COT évolue avec des concentrations variantes entre 1,91 mg/L (S1) et 4,84 mg/L (S6), avec une moyenne de $3,04 \pm 1,11$ mg/L. Les valeurs en COT sont toutes supérieures à la valeur guide de l'OMS (2 mg/L), sauf celle observée à la station S1 (Figure 16c). Les différentes valeurs élevées de COT obtenues témoignent d'une présence de polluants organiques.

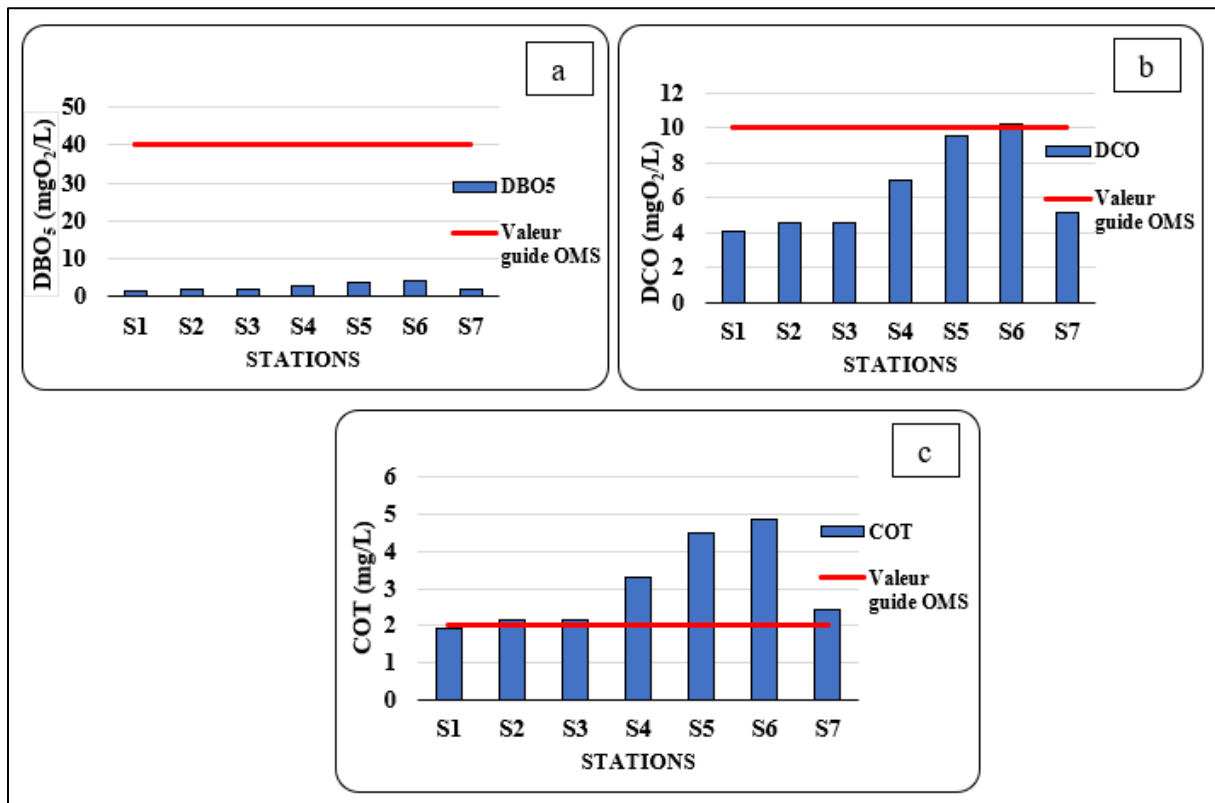


Figure 16 : Variation spatiale des composés de pollution dans les eaux du fleuve San-Pédro

3.1.1.3. Substances nutritives

Dans les eaux du fleuve San-Pédro au barrage Fayé, les substances nutritives (nitrites, nitrates, ammonium et orthophosphates) sont présentes à des concentrations faibles parfois très faibles.

RESULTATS ET DISCUSSION

❖ Nitrites (NO_2^-)

Les concentrations de nitrites (NO_2^-), variant de 0,014 mg/L (S3) à 0,041 mg/L (S4) (Figure 17a). Ces valeurs sont conformes à la valeur guide de OMS (2017) pour les eaux destinées à la consommation (3 mg/L). Leur valeur moyenne est de $0,024 \pm 0,009$ mg/L.

❖ Nitrates (NO_3^-)

Les concentrations de nitrates (NO_3^-), oscillent entre 1,3 mg/L (S1) et 4 mg/L (S6) avec une moyenne de $2,39 \pm 1,09$ mg/L (Figure 17b). Elles sont largement inférieures à la valeur guide de l'OMS (2017) qui est de 50 mg/L.

❖ Ammonium (NH_4^+)

Les concentrations l'ammonium (NH_4^+) sont comprises entre 0,129 mg/L (S5) et 0,179 mg/L (S6) avec une moyenne ($0,15 \pm 0,014$ mg/L) (Figure 17c), Ces valeurs sont largement au-dessous de la valeur guide de l'OMS (1,5 mg/L).

❖ Orthophosphates (PO_4^{3-})

Les concentrations d'orthophosphates (PO_4^{3-}) varient de 0,26 mg/L à 0,66 mg/L, avec une moyenne de $0,48 \pm 0,14$ mg/L (Figure 17d). Ces concentrations en orthophosphates sont inférieures à la valeur guide de OMS (2017) qui est de 5 mg/L, pour les eaux destinées à la consommation humaine.

Les eaux du fleuve San-Pédro au barrage de Fayé présentent une qualité acceptable vis-à-vis de ces nutriments.

RESULTATS ET DISCUSSION

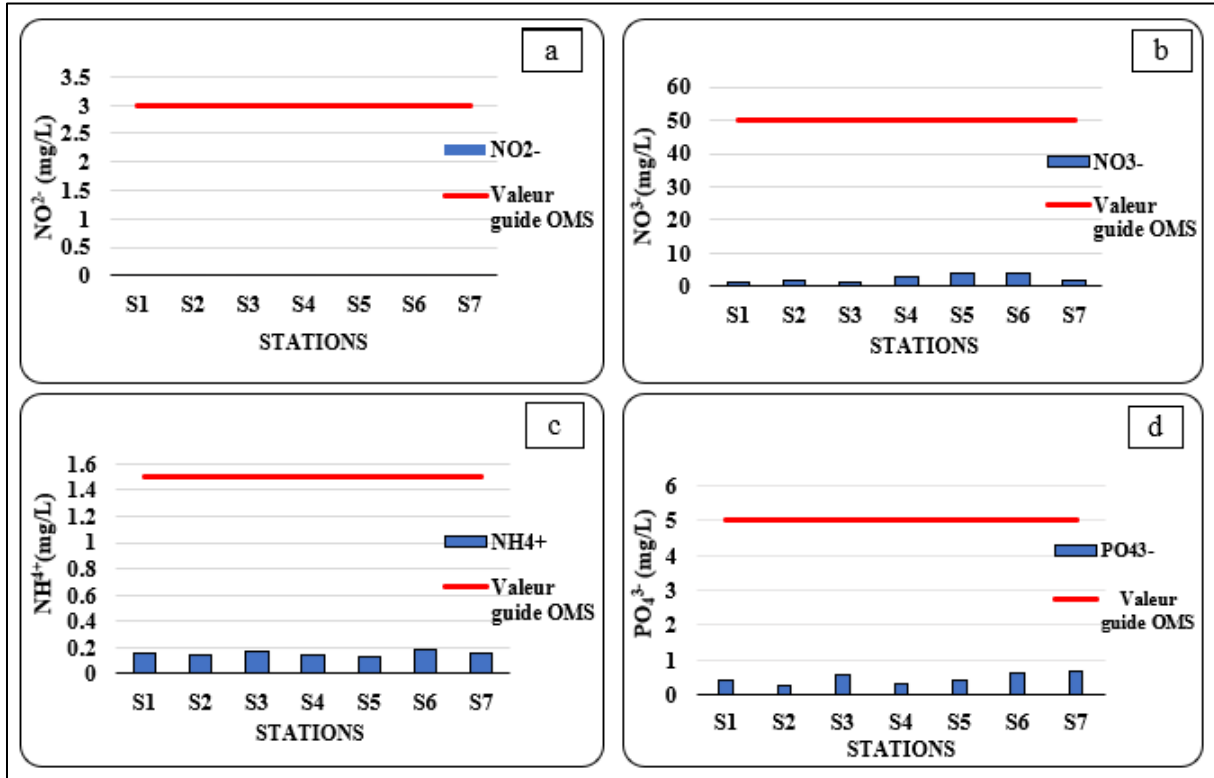


Figure 17 : Variation spatiale des nutriments dans les eaux du fleuve San-Pédro

3.1.1.4. Cations majeurs

❖ Calcium (Ca²⁺)

Les concentrations de calcium obtenues varient de 23,3 mg/L à 117,5 mg/L (Figure 18a), avec une moyenne de $63,85 \pm 30,12$ mg/L. Ce qui indique que ces eaux sont plus influencées par la dissolution des formations carbonatées et gypseuses.

❖ Potassium (K⁺)

Les teneurs en potassium oscillent entre 23,4 mg/L (S4) et 117,8 mg/L (S1) pour une moyenne de $64,04 \pm 30,21$ mg/L. Ces résultats montrent une forte variation spatiale ($CV > 30$) des concentrations en potassium qui sont toutes supérieures à la valeur guide de l'OMS (12 mg/L) (Figure 18b).

RESULTATS ET DISCUSSION

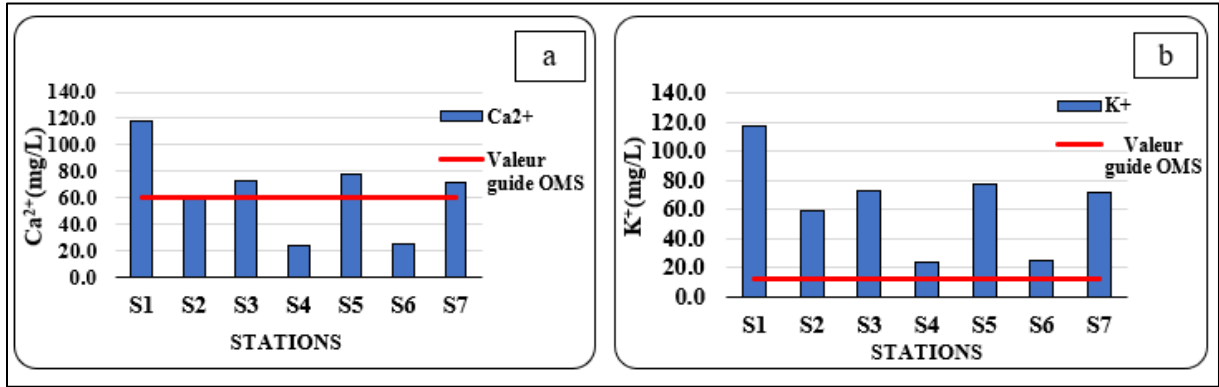


Figure 18 : Variation des cations majeurs dans les eaux du fleuve San-Pédro

3.1.1.5. Eléments traces métalliques

❖ Fer (Fe)

Les concentrations de Fer sont très faibles, variant de 0,025 mg/L à la station S4 à 0,127 mg/L à la station S1 (Figure 19a). Ces valeurs sont conformes aux directives de l’OMS (2017) pour les eaux destinées à la consommation (0,300 mg/L), avec une moyenne de $0,07 \pm 0,007$ mg/L.

❖ Manganèse (Mn^{2+})

Les concentrations en manganèse varient de 0,006 mg/L (S4 et S6) à 0,029 mg/L (S1) avec, une moyenne de $0,02 \pm 0,007$ mg/L. Ces concentrations sont toutes inférieures à la valeur guide de l’OMS (2017) qui est de 0,05 mg/L (Figure 19b).

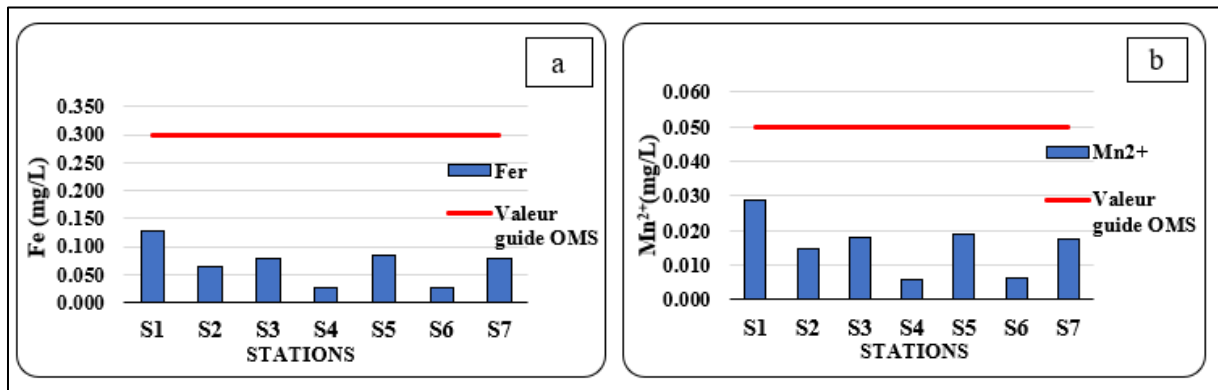


Figure 19 : Variation spatiale du fer et du manganèse dans les eaux du fleuve San-Pédro

❖ Cuivre (Cu^{2+})

Les concentrations de cuivre sont comprises entre 0,001 mg/L et 0,010 mg/L, respectivement aux stations S4 et S1 (Figure 20a). Ces teneurs obtenues sont inférieures à la valeur guide de OMS (2017) qui est de 0,03 mg/L. La valeur moyenne est très faible, de l’ordre de $0,005 \pm 0,003$ mg/L.

RESULTATS ET DISCUSSION

❖ Nickel (Ni)

La variation spatiale du Ni présente des valeurs de concentration comprises entre 0,094 mg/L (station S4) à 0,490 mg/L (station S1), largement supérieures à la valeur guide de l'OMS qui est 0,002 mg/L. On note une concentration moyenne en nickel de $0,27 \pm 0,126$ mg/L. Les différentes stations présentent de fortes concentrations en nickel comparativement aux autres paramètres identifiés (Figure 20b).

❖ Plomb (Pb)

Les concentrations de plombs sont comprises entre 0,02 mg/L (S4 et S6) et 0,09 mg/L (S1). Ces valeurs sont toutes au-dessus de la valeur guide de l'OMS qui est 0,01 mg/L (Figure 20c). La concentration moyenne dans les eaux du fleuve San-Pédro au barrage de Fayé en plomb est de $0,024 \pm 0,0086$ mg/L.

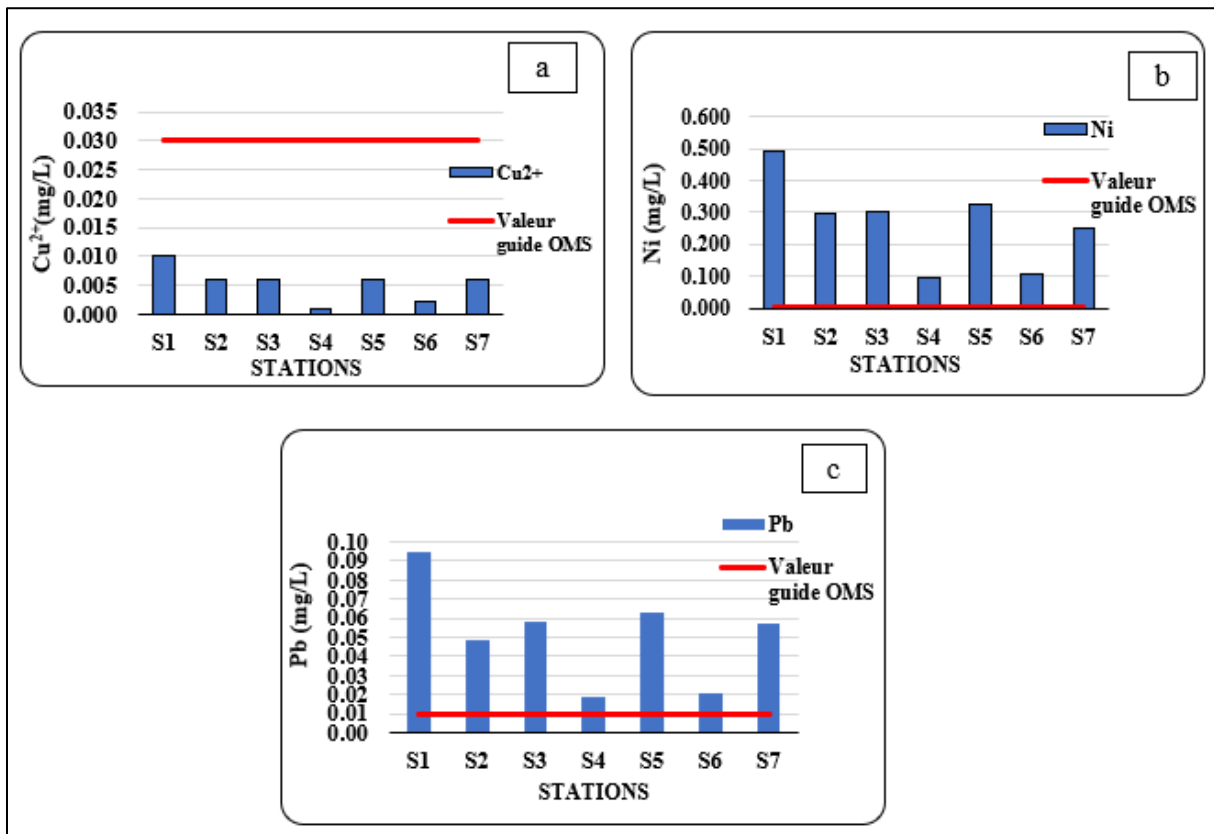


Figure 20 : Variation spatiale du cuivre, du nickel et du plomb du fleuve San-Pédro

3.1.2. Indices de pollution des eaux du fleuve San-Pédro au barrage Fayé

3.1.2.1. Etat de pollution organique du fleuve San-Pédro au barrage Fayé

L'indice de pollution organique (IPO) a été obtenu à partir de 4 paramètres indicateurs de pollution (NH_4^+ , DBO_5 et PO_4^{3-} , NO_2^-). La classe de qualité des eaux est déterminée pour

RESULTATS ET DISCUSSION

l'ensemble des stations de prélèvement. L'interprétation des valeurs de l'IPO (Tableau XII) montre le degré d'altération des eaux. De ce fait, les eaux du fleuve San-Pédro au barrage Fayé indiquent une pollution organique modérée pour des valeurs de IPO comprises entre 3,25 (S1 à S3) et 3,5 (S4 à S7) avec une moyenne de 3,36 traduisant une pollution modérée.

Tableau XII : Valeurs de l'IPO dans les eaux du fleuve San-Pédro au barrage Fayé

Stations	Valeurs de IPO	Degré de pollution Organique
S1	3,5	Modéré
S2	3,5	Modéré
S3	3,5	Modéré
S4	3,25	Modéré
S5	3,25	Modéré
S6	3,25	Modéré
S7	3,25	Modéré

3.1.2.2. Etat de pollution métallique des eaux du fleuve San-Pédro au barrage Fayé

Pour l'évaluation de la pollution métallique des eaux, le degré de contamination et l'indice de pollution métallique ont été calculés.

- Le degré de contamination (DC), utilisé comme référence pour estimer l'intensité de la contamination des eaux du fleuve, révèle un fort niveau de contamination de ces eaux pendant la période d'étude avec une valeur moyenne de 8,79. En effet, cette valeur est largement supérieure à la valeur seuil qui est 3. Pour l'ensemble des stations identifiées, les valeurs de DC partent de 3,17 à 16,28 respectivement aux stations S4 et S1 (Tableau XIII).

Tableau XIII : Degré de contamination (DC) par les métaux lourds des eaux au barrage

Stations	Valeurs de DC
S1	16,18
S2	8,57
S3	9,99
S4	3,17
S5	10,65
S6	3,46
S7	9,46
Valeur seuil	3

- L'indice de pollution métallique (HPI) déterminé pour chaque station d'échantillonnage oscille entre 69,10 (station S4) et 349,36 (station S1). Dans ce cours d'eau, la valeur moyenne de HPI obtenue (190) est supérieure à la valeur limite critique 100 pour une eau destinée à la consommation. On note que seules les stations S4 et S6 enregistrent de

RESULTATS ET DISCUSSION

faibles teneurs de HPI (inférieures à la valeur critique qui est 100) contrairement aux autres stations qui témoignent d'un risque élevé de pollution métallique (Tableau XIV).

Tableau XIV : Indice de pollution par les métaux lourds (HPI) des eaux au barrage

Stations	Valeurs de HPI	Risque de pollution
S1	349,36	Elevée
S2	192,38	Elevée
S3	215,92	Elevée
S4	69,10	Faible
S5	230,44	Elevée
S6	74,95	Faible
S7	196,82	Elevée
Valeur limite	100	

3.1.3. Indice de qualité des eaux du fleuve San-Pédro au barrage Fayé

La classe de qualité des eaux est déterminée sur la base de 18 paramètres au niveau des 7 stations d'échantillonnage (Tableau XV). L'indice de qualité des eaux calculé présente des valeurs qui oscillent entre 73,97 à S4 et 371 à S1. Ainsi, la classe de qualité impropre de l'eau a été identifiée lors de cette étude aux stations S1, S2, S3, S5 et S7. Les classes de qualité mauvaise et très mauvaise ont été enregistrées respectivement aux stations S4 et S6.

Tableau XV : Valeurs de l'indice de qualité des stations et leur classe

Stations	Valeurs de IQE	Classes de qualités	Couleurs
S1	371	Impropre	Red
S2	204,33	Impropre	Red
S3	229,47	Impropre	Red
S4	73,97	Mauvaise	Orange
S5	245,12	Impropre	Red
S6	80,11	Très Mauvaise	Yellow
S7	209,08	Impropre	Red

3.2. Discussion

Le pH mesure la concentration en ions H^+ de l'eau et traduit ainsi la balance entre acides et bases sur une échelle logarithmique de 0 à 14. Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques. Avec un pH moyen de 7,11, les eaux du fleuve San-Pédro au barrage de Fayé peuvent être qualifiées de neutres.

Les valeurs de la turbidité des eaux du fleuve San-Pédro au barrage Fayé sont comprises généralement dans la classe des eaux légèrement turbides (5 à 30 NTU) et traduisent une faible fluctuation ($CV = 7,58\%$) du point de vue spatiale. Cette caractéristique d'une eau légèrement trouble obtenue dans ce fleuve pourrait être due à une légère augmentation des matières en

RESULTATS ET DISCUSSION

suspension ce qui entraineraient une réduction de sa transparence et donc de la pénétration du rayonnement solaire utile à la vie aquatique (photosynthèse) (Akilinson, 2014).

Les eaux du fleuve San-Pédro au barrage de Fayé étudiées présentent une faible conductivité avec une moyenne de 66,82 $\mu\text{S}/\text{cm}$. De ce fait, ces eaux sont très faiblement minéralisées, donc moins chargées en sels dissous. En effet, cette très faible minéralisation pourrait être due à la composition géologique des terrains traversés (Akilinson, 2014) par les eaux du fleuve San-Pédro au barrage de Fayé. La valeur moyenne obtenue est très inférieure à celle obtenue par Ahoussi *et al.* (2013) dans les eaux de source de l'Ouest montagneux de la Côte d'Ivoire (152,90 $\mu\text{S}/\text{cm}$), mais plus élevée que celle obtenue par Ahonon (2011) dans les eaux de surface des zones montagneuses du Sud-ouest du Togo (23,84 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Par ailleurs, le caractère d'une eau très faiblement minéralisée constaté est semblable aux résultats de Eblin *et al.* (2014) sur les rivières de la région Adiaké.

Selon Chapman (1992), la DCO dans un milieu naturel non pollué devrait être inférieure à 20 mg/L. Cette valeur est largement au-dessus de celles obtenues dans cette étude. Cependant, l'analyse des valeurs de DCO révèle une forte pollution des eaux en matière organique à la station 6. Cette importante charge organique polluante au niveau de cette station pourrait résulter de la limitation des phénomènes d'autoépuration des eaux dues aux microorganismes. De plus, les valeurs de la DCO obtenues sur le fleuve San-Pédro sont dans l'ensemble plus fortes que celles de la DBO₅ qui demeurent faibles dans ces eaux. Raja *et al.* (2008) ont également observés de fortes valeurs de la DCO devant celles de la DBO₅ dans la rivière Kaveri en Inde, signe d'une présence de matière organique. Enfin, le rapport moyen de DCO/DBO₅ lors de cette étude montrent en général que la matière organique des eaux du fleuve San-Pédro est en majorité biodégradable ($\text{DCO}/\text{DBO}_5 = 2,5 < 3$). Quant au COT, sa présence serait due à des apports des déchets ménagers.

La présence des composés phosphorés (PO_4^{3-}) et azotés (NH_4^+ , NO_3^- et NO_2^-) dans les eaux du fleuve San-Pédro sont en faible concentration. Mais, une augmentation de leurs concentrations pourrait être due aux activités anthropiques. Ces faibles teneurs ont été également constatées par Akilinson (2014). Ainsi, les faibles valeurs des nitrates observées pourraient expliquer la presque-inexistence des nitrites dans ces eaux (Akilinson, 2014). Aussi, dans toutes les stations échantillonnées, les teneurs en ammonium sont plus élevées que celles des nitrites. Ceci résulte d'un processus de dégradation incomplète de la matière organique et cela en présence des faibles quantités de matières toxiques (Zinsou *et al.*, 2016) ; ce qui entrainerait une faible

RESULTATS ET DISCUSSION

nitrification des eaux (Sondergaard *et al.*, 2003). Selon Derwich *et al.* (2008), les faibles teneurs de NH_4^+ et NO_2^- obtenues montrent que ces éléments pourraient provenir principalement du métabolisme des microorganismes. La présence de NH_4^+ dans une eau est une indication d'une pollution organique par les micro-organismes. Quant aux nitrates (NO_3^-), leur origine pourrait principalement être naturelle (réactions oxydatives de l'azote ammoniacal et nitrites) mais aussi anthropique (utilisation d'intrants en agriculture, etc.) (CPEPESC, 2004). Enfin selon (Guasmi, 2009), la présence du PO_4^{3-} dans les eaux est liée à la fertilisation des terres (engrais chimiques) et à la décomposition de la matière organique des rejets urbains.

Aussi, le potassium (K^+) retrouvé en concentration excessive pourrait s'expliquer par l'impact des activités agricoles utilisatrices de grandes quantités d'engrais potassiques dans la zone (Derwich *et al.*, 2008).

Les éléments métalliques et leurs dérivés organiques sont pour certains très dangereux parce que potentiellement toxiques, non-biodégradables et bioaccumulables dans les chaînes alimentaires. Si, à doses infimes, certains métaux constituent des oligo-éléments indispensables à un bon état de la santé humaine, à partir des limites de toxicité, ils deviennent directement toxiques (CPEPESC, 2004). Selon Derwich *et al.* (2008) ces éléments métalliques sont présents dans les eaux de surface. Partant des résultats obtenus, on observe des variations importantes ($\text{CV} > 30$) pour l'ensemble des métaux ayant servi à la caractérisation. Les études réalisées par Akilinson. (2014) témoignent également d'une importante variation de Fer et Manganèse ; quant au Nickel le même constat a été faite par Derwich *et al.* (2008). Enfin, les ETM contenus dans ces eaux pourraient provenir principalement de l'érosion des roches, des sols et des sédiments où ils sont présents à l'état naturel. Ils pourraient de plus provenir des biocides (Pb et Mn) et les engrais (Cd, Pb, Cu, Mn, Ni) issus des activités humaines (Calamari & Naeve, 1994).

L'état de pollution organique des eaux du fleuve San-Pédro au barrage Fayé, évalué à partir du calcul de l'indice de pollution organique (IPO), montre que la totalité des stations présente un degré de pollution modéré, avec une moyenne de 3,36. Cet état de pollution serait principalement dû à la faible concentration obtenue de DBO_5 dans les eaux du fleuve San-Pédro au barrage de Fayé. De plus cet état de pollution signifierait que ces eaux sont moins chargées en matières organiques. La zone d'étude serait donc moins influencée par les produits agricoles notamment azotés et phosphorés. En somme les eaux du fleuve San-Pédro au barrage de Fayé sont de qualité acceptable du point de vue des substances organiques.

L'indice de pollution par les métaux lourds est un outil efficace pour caractériser la pollution des eaux de surface par les métaux. Il prend en compte plusieurs paramètres métalliques pour

RESULTATS ET DISCUSSION

aboutir à une valeur particulière ou unique qui est ensuite comparé à une valeur critique qui est 100 afin d'avoir une idée sur le niveau de pollution métallique (Abdullah, 2013). Dans cette étude, l'indice de pollution métallique (HPI) a été calculé séparément au niveau de chaque point d'échantillonnage pour avoir une idée sur la qualité des eaux du fleuve. La valeur de HPI élevée a été observée à la station 1 largement supérieur à la valeur critique 100 et le même constat a été fait par Abdullah (2013) sur la rivière Diyala en Iraq. Selon Prasad *et al.* (2017), pour des valeurs de HPI supérieures à la valeur critique, l'eau est considérée impropre à la consommation. En somme, avec une moyenne de 189,85, les eaux du fleuve San-Pédro au barrage de Fayé sont jugées impropres à la consommation. Cela s'expliquerait principalement par les concentrations élevées de Pb, Ca²⁺ et Cd obtenues dans les eaux du San-Pédro. En effet, ces paramètres pourraient provenir des activités anthropiques ; en particulier des activités industrielles et rejets domestiques (Manoj *et al.*, 2012). La qualité impropre obtenu vient confirmer le niveau élevé de contamination de l'eau par les métaux avec une moyenne de 8,79.

Le calcul des indices de qualité des eaux donne des résultats qui ont permis d'évaluer la qualité des eaux du fleuve San-Pédro au barrage de Fayé. Les valeurs de l'IQE obtenues dans cette étude varient de 73,97 S4 à 371 S1 pour les eaux du fleuve au barrage. Ces valeurs ont montré que 80% des stations présentent une eau non potable, voire impropre à la consommation. Cette qualité impropre serait due aux différentes concentrations élevées de plusieurs paramètres dans les eaux du fleuve San-Pédro, notamment la turbidité (21,95 NTU), le COT (3,04 mg/L), le Plomb (2,91 mg/L) et le Nickel (0,27 mg/L) qui sont tous au-dessus des valeurs guides de l'OMS d'une part et d'autre part à l'impact des apports anthropiques et phénomène naturels (Izougarhane *et al.*, 2016 ; Şener *et al.*, 2017). De façon globale ces eaux sont qualifiées d'impropre avec une valeur moyenne de 207,36. Cet état de fait pourrait être attribué aux lessivages des terres agricoles et aux rejets d'eaux usées n'ayant subi de traitement préalable (Serge & Ernest, 2020). La même qualité d'eau a été obtenue par Bora & Goswami (2016) sur la rivière Kolong en Inde. Les eaux de ce fleuve devront suivre un traitement adéquat pour réduire les teneurs de ces métaux avant consommation par les populations.

CONCLUSION

CONCLUSION

L'étude réalisée a conduit à une appréciation globale de la qualité des eaux de surface prélevées sur la rivière San-Pédro. L'analyse a porté sur sept (07) points d'échantillonnage d'eau. Les résultats obtenus ont été comparés aux valeurs guides de l'OMS conformément aux directives de qualité pour l'eau de boisson.

L'analyse des paramètres physico-chimiques et chimiques dans cette étude a permis de montrer que les eaux du fleuve San-Pédro sont turbides (21,95 NTU) et riches en Calcium (63,85 mg/L), Nickel (0,27 mg/L) et Potassium (64 mg/L), avec des concentrations au-dessous des valeurs guides de l'OMS (2017). Par contre, les paramètres tels que les nitrates, les nitrites, les orthophosphates ont de faibles concentrations.

Les eaux du fleuve San-Pédro au barrage de Fayé sont faiblement minéralisées, légèrement chargées en matières en suspensions et composées de matière organique est en majorité biodégradable ($DCO/DBO_5 = 2,5 < 3$) avec un pH neutre.

Le calcul des indices de qualité (IQE) et de pollution métallique (HPI) indique que les eaux de la rivière San-Pédro sont dans l'ensemble impropres à la consommation humaine et nécessitent un traitement de potabilisation avant d'être consommées. En effet, les valeurs moyennes obtenues sont respectivement 207,35 et 190 largement supérieures à 100. Cependant, elles présentent une pollution organique modérée et donc de qualité acceptable du point de vue des composés organiques.

Cette étude mérite d'être approfondie par l'analyse d'autres paramètres tels que l'oxygène dissous, les pesticides et, surtout les sédiments (véritables récepteurs de divers contaminants) dont la présence dans l'eau entraînent des dégradations et des modifications des écosystèmes aquatiques. D'autre part, des études complémentaires sur la recherche d'organismes et micro-organismes aquatiques, indicateurs d'une plus ou moins bonne qualité de l'eau sont nécessaires. Ce qui pourrait constituer des perspectives d'études intéressantes à réaliser sur cette rivière.

REFERENCES

REFERENCES

- Abdullah E.J. (2013). Evaluation of surface water quality for heavy metals of Diyala river (Iraq). *Journal of Natural Sciences Research*, 3(8) : 2224-3186.
- Addey C.I., Ayoola N.O., Omobolaji A.A. & Tolulope O.E. (2018). Heavy metals pollution index of surface water from commodore channel, lagos (Nigeria). *African Journal of Environmental Science and Technology*, 12(6) : 191-197.
- Afnor (1982). Essais des eaux-Dosage des orthophosphates, des polyphosphates et du phosphore total. Sandre, 57p.
- Afnor (1985). Contrôle de la qualité des produits laitiers-Analyse physiques et chimiques, 3ème édition, Paris, 125p.
- Afnor (1989). Essais des eaux-Dosage des nitrates. Paris, 5p.
- Afnor (2000). Qualité de l'eau-Dosage de l'ammonium- Partie 2. Sandre, 359p.
- Afnor (2001). Qualité de l'eau-Détermination de la demande chimique en oxygène (DCO). Paris, 7p.
- Agbani B. (2013). Evaluation de la qualité de l'eau du fleuve Ouémé à Bétérou dans la perspective de la réalisation d'une retenue d'eau dans la localité pour l'approvisionnement en eau potable. Mémoire de Master en Hydrologie Appliquée, Université d'Abomey-Calavi, Bénin, 53 p.
- Aher D.N., Kele V.D., Malwade K.D. & Shelke M.D. (2016). Lake Water Quality Indexing to identify suitable sites for household utility: A case study Jambhulwadi Lake; Pune (MS). *International Journal of Engineering Research and Applications*, 6(5) : 16-21.
- Ahonon A. (2011). Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de surface dans les zones montagneuses du sud-ouest du Togo : cas du canton de Lavié. Mémoire de Master international, Université de Lomé, Togo, 35 p.
- Ahoussi K.E., Koffi Y., Kouassi A.M., Soro G. & Biemi J. (2013). Etude hydrochimique et microbiologique des eaux de source de l'ouest montagneux de la Côte d'Ivoire : Cas du village de Mangouin-Yrongouin (sous-préfecture de Biankouman). *Journal of Applied Biosciences*, 63 : 4703-4719.
- Akatumbila L., Mabilia M., Lubini A., Pwema K. & Musibono E.A. (2016). Contribution à l'évaluation de la qualité physico-chimique de l'eau : cas de la rivière urbaine Gombe de Kinshasa, République Démocratique du Congo. *Larhyss Journal*, 26 : 7-29.
- Akilinon G.V. (2014). Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux de la rivière Méné (Bassin versant du Sassandra, Côte d'Ivoire). Mémoire de Master en Science et Gestion de l'Environnement, Université Nangui-Abrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire, 45 p.

REFERENCES

- Aloueimine B.B., Kankou M.O. & Belghyti D. (2017). An indexing approach for the assessment of heavy metals in drinking water produced by Mauritanian water treatment plant. *Scientific Study & Research*, 1 : 319-328.
- Belkhiri L., Tiri A. & Mouni L. (2018). Assessment of heavy metals contamination in groundwater: A case study of the south of setif area, East Algeria. *IntechOpen*, 2 : 17-31.
- Ben Moussa A., Chahlaoui A. & Rour E.H. (2012). Evaluation de la pollution physico-chimique des eaux de l'Oued Khoumane (Moulay Idriss Zerhoun, Maroc). *Internationnal Journal of Biological and Chemical Sciences*, 6(6) : 7096-7111.
- Bernard M., Bernard R. & Theler D. (2007). Qualité des cours d'eau en Valais. Service de la protection de l'environnement. Département des transports, de l'équipement et de l'environnement, 67 p.
- Bora M. & Goswani D.C. (2016). Water quality assessment in terms of water quality index (WQI): case study of the Kolong River, Assam (India). *Journal of Applied Water Sciences*, 7 : 3125-3135.
- Bouroumi T.M. (2014). Le littoral Algérien entre dégradation et protection du patrimoine ; cas de la commune côtière d'Ain El Türck. Colloque francophone international cultures, territoires et développement durable, du lundi 14 au mardi 15 avril 2014, Clermont-Ferrand, (France), pp. 1-23.
- Brown R.M., McClelland N.I., Deininger R.A. & O'Connor M.F. (1972). A Water Quality Index-Crashing the Psychological Barrier. *In: Indicators of Environmental Quality*. Thomas A.W. (Eds.), Springer (Boston), pp. 173-182.
- Brown R.M., McClelland N.I., Deininger R.A. & Tozer R.G. (1970). A Water Quality Index. Do we dare? Water and sewage work, pp. 339-343.
- Calamari D. & Naeve H. (1994). Revue de la pollution dans l'environnement aquatique africain. Document Technique du CPCA, FAO, Rome (Italie), 129 p.
- Chapman D. (1992). Water quality assessment: A guide to the use of biota, sediment and water in environmental monitoring. WHO, Genova, 585 p.
- Chapman D. & Kimstach V. (1996). Selection of water quality variables. Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water. *In: environment monitoring*, Chapman D. (Eds.), London (Angleterre), pp. 59-126.
- CPEPESC (2004). Les principaux paramètres physiques et chimiques des eaux, 12 p.
- Davis J.C. (1984). Statistics and data analysis. *In: geology*. Wiley. (Eds.), New-York (Etats-Unis), 550 p.

REFERENCES

- De Lasme O.Z. (2013). Contribution à une meilleure connaissance des aquifères fissurés du socle précambrien : cas de la région de San-Pédro (Sud-ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët Boigny (Abidjan, Côte d'Ivoire), 176 p.
- De Lasme, O.Z., Lasm T., Oga M.S., Youanta M., Baka D., Ettein F.B., Kouakou S., Onetie O.Z. & Yao T.K. (2012). Analyse des propriétés hydrodynamiques des aquifères fissurés de la région de San-Pedro (Sud-ouest de la Côte d'Ivoire). *Estudios Geológicos*, 68(2) : 217-232.
- De Villers J., Squilbin M. & Yourassowsky C. (2005). Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface : cadre général. Fiche 2. Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement / Observatoire des Données de l'Environnement, 16 p.
- Derwich E., Beziane Z. & Belghyti D. (2008). Evaluation de la qualité des eaux de surface des oueds et sebou utilisées en agriculture maraichère. *Larhyss journal*, 7 : 59-77.
- Dibi B. (2008). Cartographie des sites potentiels d'implantation des points d'eau dans le département d'Aboisso (Sud-est de la Côte d'Ivoire) : Apport du SIG et de l'analyse multicritère. Thèse de Doctorat, UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Université de Cocody (Abidjan, Côte d'Ivoire), 156 p.
- Domenico P.A. & Schwartz F.W. (1990). Physical and chemical hydrogeology. Wiley International, New-York (Etats-Unis), 824 p.
- Dudgeon D., Angela H.A., Gessner M.O., Kawabata Z.I., Knowler D.J., Lévêque C., Naiman R.J., Prieur R.A.H., Soto D., Stiassny M.L.J. & Sullivan C.A. (2006). Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews*, 81 : 163-182.
- Dupont E., Dethioux M., Everaerts-Poll M. & Verniers G. (2005). A la rivière, un milieu vivant à respecter. Fiche Rivière, 14 p.
- Eblin S.G., Sombo A.P., Soro G., Aka N., Kambiré O. & Soro N. (2014). Hydrochimie des eaux de surface de la région d'Adiaké (Sud-est côtier de la Côte d'Ivoire). *Journal of Applied Biosciences*, 75 : 6259-6271.
- Eblin S.G., Soro G.M., Sombo A.P., Aka N., Kambiré O. & Soro N. (2014). Hydrochimie des eaux souterraines de la région d'Adiaké (Sud-est côtier de la Côte d'Ivoire). *Larhyss Journal*, 17 : 193-214.
- Edet A.E. & Offiong O.E. (2003). Evaluation of water quality pollution indices for heavy metal contamination monitoring. A study case from Akpabuyo–Odukpani area, Lower Cross River Basin (Southeastern Nigeria). *Geojournal*, 57 : 295-304.

REFERENCES

- El-Hamid H.T.A. & Hegazy T.A. (2017). Evaluation of Water Quality Pollution Indices for Groundwater Resources of New Damietta (Egypt). *Economic Environmental Science*, 2 : 1-5.
- Giri S. & Singh A.K. (2019). Assessment of metal pollution in groundwater using a novel multivariate metal pollution index in the mining areas of the Singhbhum copper belt. *Environmental Earth Sciences*, 78 : 1-11.
- Gnamba F.M., Gnanne T., Lasm T., Biémi J. & Kouakou Y.K.N. (2014). Analyse de la productivité des aquifères de fissures du socle Paléoproterozoïque de la région de Katiola (Centre-nord de la Côte d'Ivoire). *European Scientific Journal*, 10(5) : 79-98.
- Goné D.L. (2001). Contribution de l'étude des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines à la compréhension du fonctionnement des systèmes hydrauliques en milieu fissuré de la région semi-montagneuse de Man (Ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat 3e Cycle, Université d'Abobo-Adjamé (Abidjan, Côte d'Ivoire), 179 p.
- Guasmi I. (2009). Pollution des eaux et pouvoir auto-épurateur de l'Oued Medjerda (Nord-est Algérien). Thèse de doctorat de l'Université d'Annaba (Annaba, Algérie), 240 p.
- Horton R.K. (1965). An index number system for rating water quality. *Journal of Water Pollution Control Federation*, 37(3) : 300-306.
- Iltis A. & Lévêque C. (1982). Caractéristiques physico-chimiques des rivières de Côte d'Ivoire. *Revue d'Hydrobiologie Tropicale*, 15(2) : 115-130.
- Izougarhane M., Mansouri D., El Ibaoui H., Chakiri S. & Fadli M. (2016). Physico-chimie et teneurs métalliques des eaux de l'estuaire de l'Oued Sebou durant des années de dragage du sable. *European Scientific Journal*, 12(30) : 127-151.
- Koffi K. (2012). Situation de l'hydroélectricité en Côte d'Ivoire. Atelier régional de la CEDEAO sur la petite hydroélectricité, du 16 au 20 avril 2012, Monrovia (Libéria), 28 p.
- Koita M. (2010). Caractérisation et modélisation du fonctionnement hydrodynamique d'un aquifère fracturé en zone de socle région de Dimbokro-Bongouanou (Centre-est de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université Montpellier II (Montpellier, France), 235 p.
- Lamizana-Diallo M., Kenfach S. & Millogo-Rasolodimby J. (2008). Evaluation de la qualité physico-chimique de l'eau d'un cours d'eau temporaire du Burkina Faso-le cas de Massili dans le Kadiogo. *Sud-Science & Technologie*, 16 : 23-28.
- Lasm T., Kouamé F., Soro N., Jourda J.P.R. & Biémi J. (2004). Analyse géostatistique de la fracturation extraite de l'imagerie spatiale aéroportée et satellitaire. Application à la région de Man-Danané. *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie*, 5 : 135-154.

REFERENCES

- Leclercq L. (2001). Les eaux courantes : caractéristiques et moyens d'étude, dans les zones humides. Actes des colloques organisés en 1996 par le Ministère de la Région Wallonne dans le cadre de l'Année Mondiale des Zones Humides, Jambes, Région Wallonne, *International Journal of Aquatic Biology*, 6(5) : 259-260.
- Leynaud G. (1968). Les pollutions thermiques, influence de la température sur la vie aquatique. B.T.I., Ministère de l'agriculture, 224-881.
- Manoj K., Kumar P. & Chaudhury S. (2012). Study of Heavy Metal Contamination of the River Water through index Analysis Approach and Environmetrics Bull Environ. *Pharmacol Life Science*, 1(10) : 07-15.
- Maréchal J.C., Dewandel B. & Subrahmanyam K. (2004). Use of hydraulic tests at different scales to characterize fracture network properties in the weathered-fractured layer of a hard rock aquifer. *Water resources Research*, 40(11) : 1-19.
- McKinney M.L. (2002). Urbanization, Biodiversity and Conservation: The impacts of urbanization on native species are poorly studied, but educating a highly urbanized human population about these. *BioScience*, 52(10) : 883-890.
- OMS (2017). Directives de qualité pour l'eau de boisson. 4ème Edition intégrant le premier additif, (Genève, Suisse), 539 p.
- ONU (2015). Objectifs du millénaire pour le développement, rapport 2015, 78 p.
- Papon A. & Lemarchand R. (1973). Géologie et minéralisation du sud-ouest de la Côte d'Ivoire. Synthèse des travaux de l'opération SASCA (1962-1968). SODEMI, Abidjan (Côte d'Ivoire), 284 p.
- PEMED-CI (2015). Etudes monographiques et économiques des districts de Côte d'Ivoire : districts du Bas-Sassandra, note de synthèse, 69 p.
- PNUD (2006). Au-delà de la pénurie : Pouvoir, pauvreté et la crise mondiale de l'eau. Human development report, 422 p.
- Prasad B. & Bose J.M. (2001). Evaluation of the heavy metal pollution index for surface and spring water near a limestone mining area of the lower Himalayas. *Environmental Geology*, 41 : 183-188.
- Prasad B., Kumari P., Bano S. & Kumari S. (2014). Ground water quality evaluation near mining area and development of heavy metal pollution index. *Applied Water Science*, 4 : 11-17.
- Raja P., Muhindhar A., Elangovan R. & Palanivel M. (2008). Evaluation of physical and chemical parameters of river Kaveri; Tiruchirappalli, Tamil Nadu (India). *Journal of Environmental Biology*, 29(5) : 765-768.

REFERENCES

- RGPH (2014). Recensement Général de la Population et de l'Habitat. Résultats globaux. 22 p.
- Rodier J. (1996). L'analyse de l'eau naturelle, eaux résiduaires, eau de mer. 8ème Edition, Dunod, Paris (France), 1383 p.
- Rodier J., Legube B. & Merlet N. (2009). L'analyse de l'eau. 9ème édition, Entièrement mise à jour, Dunod, Paris (France), 1511 p.
- Saadaali B., Deradji E.F., Saboua T., Remita R. & Zahi F. (2015). Impact de l'activité anthropique sur la dégradation de l'environnement et sur la Qualité des eaux : cas du parc national d'EL Kala. *Revue des Sciences et de la Technologie*, 30 : 66-775.
- Sala E.O., Chapin F.S., Armesto J.J., Berlow E., Bloomfield J. & Dirzo R. (2000). Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science Journals*, 287(5459) : 1770-1774.
- Şener S., Şener E. & Davraz A. (2017). Evaluation of water quality using water quality index (WQI) method and GIS in Aksu River (Turkey). *Science of the Total Environment*, 584 : 131-144.
- Shetaia A.S., Khatita A.M., Abdelhafez A.N., Shaker M.I. & El-Kafrawy B.S. (2020). Evaluation of Potential Heavy Risk, Heavy Metal Pollution Indices and Water Quality of Edku lagoon (Egypt). *Egyptian Journal of Aquatic Biology & Fisheries*, 24(2) : 265-290.
- Singh G. & Kamal R.K. (2016). Heavy metal contamination and its indexing approach for groundwater of Goa mining region (India). *Applied Water Science*, 7 : 1479-1485.
- Sondergaard M., Jensen J.P. & Jeppesen E. (2003). Role of sediment and internal loading of phosphorus in shallow lakes. *Hydrobiologia Science*, 506(1-3) : 135-145.
- Soro G., Soro N., Ahoussi K.E., Lasm T., Kouamé F.K., Soro T.D. & Biémi J. (2010). Evaluation des propriétés hydrauliques des aquifères fracturés des formations cristalline et métamorphique dans la région des Lacs (Centre de la Côte d'Ivoire). *Estudios Geológicos*, 66(2) : 227-242.
- Soro N. (2002). Hydrochimie et géochimie isotopique des eaux souterraines du degré carré de Grand-Lahou et ses environs (Sud-ouest de la Côte d'Ivoire). Implication hydrologique et hydrogéologique. Thèse de Doctorat des Sciences Naturelle, Université de Cocody (Abidjan, Côte d'Ivoire), 272 p.
- Serge Y. K. & Ernest A. K. (2020). Caractérisation Physico-Chimique des eaux de Surface dans un Environnement minier du Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire : Cas Du Département de Divo. *European Scientific Journal*, 16(12) : 293-315.
- WHO (1987). Global pollution and health results of related environmental monitoring. Global Environment Monitoring system, WHO, UNEP, 22 p.

REFERENCES

- Yacé I. (2002). Initiation à la géologie. L'exemple de la Côte d'Ivoire et de l'Afrique de l'Ouest. Édition CEDA, 183 p.
- Yaya D., Tchakam M.G. & Jouaillec M.T. (2021). Atelier international de maîtrise d'œuvre urbaine de San Pedro, document contexte : Comment projeter la métropole côtière en devenir, tout en pensant son équilibre entre développement économique et social avec une gestion responsable des biens naturels, 26 février au 12 mars 2021, San-Pédro (Côte d'Ivoire), 101 p.
- Yidana S.M. & Yidana A. (2010). Assessing water quality using water quality index and multivariate analysis. *Environmental Earth Sciences*, 59(7) : 1461-1473.
- Zerrouqi Z., Sbaa M., Chafi A. & Aqil H. (2013). Contribution à l'étude de la qualité des eaux de la lagune de Nador : Impact de l'anthropisation. *Bulletin de l'Institut Scientifique.*, 35 : 51-59.
- Zinsou H.L., Gnohoussou P., Adandedjan D. & Laleye P. (2016). Profil de distribution des macroinvertébrés benthiques du delta de l'Ouémé à partir du Self Organizing Map (SOM). *Afrique SCIENCE*, 12(1) : 224-236

RESUME

En période d'étiage, l'eau du fleuve San-Pédro ne suffit pas à alimenter en eau potable les populations de la ville de San-Pédro. Ainsi, l'on a recours aux eaux du barrage de Fayé situé à 35 Km en amont. L'objectif de cette étude est d'évaluer la qualité des eaux de cette retenue. Ainsi, sept (07) points sont échantillonnés et 18 paramètres physico-chimiques et chimiques ont été mesurés. Les valeurs obtenues ont d'abord été comparées aux directives de l'OMS pour l'eau potable. Ensuite, l'Indice globale de Qualité a été calculé. Enfin, les indices de pollutions métallique et organique ont été déterminés. On note une faible variabilité des descripteurs physiques dans la retenue, notamment le pH, la turbidité et la conductivité électrique. Les résultats d'indice de qualité et de pollution métallique ont révélé que la majorité des points d'eau est impropre à la consommation humaine, soit 80% avec la plus grande valeur (respectivement 371 et 349,36) rencontrée à la station 1, zone de forte activité anthropique. Par contre, l'indice de pollution organique indique une pollution modérée sur l'ensemble des points d'eau.

Mots clés : barrage de Fayé, indice de pollution métallique, indice de pollution organique, indice de qualité des eaux, fleuve San-Pédro.

ABSTRACT

In periods of low water, the water of the San-Pedro River is not sufficient to supply the population of the town of San-Pedro with drinking water. Thus, water from the Fayé dam located 35 km upstream is used. The objective of this study is to evaluate the quality of the water in this reservoir. Thus, seven (07) points were sampled and 18 physicochemical and chemical parameters were measured. The values obtained were first compared to the WHO guidelines for drinking water. Then, the overall Quality Index was calculated. Finally, the metal and organic pollution indices were determined. There was little variability in the physical descriptors in the reservoir, notably pH, turbidity and electrical conductivity. The results of the quality and metallic pollution indices revealed that the majority of the water points are unfit for human consumption, i.e. 80%, with the highest value (371 and 349.36 respectively) found at station 1, an area of high anthropic activity. On the other hand, the organic pollution index indicates moderate pollution on all the water points.

Key words: Fayé dam, metallic pollution index, organic pollution index, water quality index, San-Pedro River.