

#UNIVERSITÉSENGHOR

université internationale de langue française
au service du développement africain

EVALUATION DE LA PERFORMANCE DE LA STATION D'EPURATION DE SOTUBA ET LES IMPACTS DE SON DYSFONCTIONNEMENT SUR LE FLEUVE NIGER A BAMAKO (MALI)

Présenté par

Ousmane KASSAMBARA

Pour l'obtention du Master en Développement de l'Université Senghor

Département Environnement

Spécialité Gestion de l'Environnement

Le 03 Avril 2017

Devant le jury composé de :

Docteur Martin YELKOUNI Président

Directeur du Département Environnement à

l'Université Senghor d'Alexandrie, Egypte

Professeur Souleymane KONATE Examineur

Maître de conférences en Ecologie à

l'Université Nangui Abrogoua, Côte d'Ivoire

Professeur Rim ABDEL HAMID Examineur

Professeur à l'Institut Supérieure de Santé

Publique, Université d'Alexandrie, Egypte

Université Senghor – Opérateur direct de la Francophonie

1 Place Ahmed Orabi, BP 21111, 415 El Mancheya, Alexandrie, Egypte

www.usenghor-francophonie.org

REMERCIEMENTS

Mes vifs et sincères remerciements vont à l'endroit de tous ceux qui de près ou de loin m'ont soutenu et encouragé ou qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire de fin d'étude. Je remercie particulièrement :

- L'Université Senghor, spécifiquement le Département Environnement et son Directeur, le Docteur Martin YELKOUNI pour son encadrement ;
- Madame Catherine Edward GURGUENIAN, assistante du Directeur de Département Environnement, pour sa franche collaboration ;
- Docteur Paul OUEDRAOGO, Conseiller Principal Afrique de la Convention de Ramsar pour son encadrement pertinent ;
- Docteur Emmanuel NGNIKAM, Chargé de Cours à l'Ecole Nationale Supérieure Polytechnique de Yaoundé, pour ses orientations.
- La Direction Nationale des Eaux et Forêts du Mali et son personnel qui m'ont autorisé à faire cette étude de spécialisation ;
- Monsieur Idrissa MAIGA, Chef d'Antenne Régionale ANGESEM du district de Bamako, pour son appui technique et orientation ;
- Monsieur Abdoul TIMBO pour son amabilité, sa disponibilité et son assistance sur le terrain ainsi qu'au sein du laboratoire ;
- Tout le personnel de l'ANGESEM pour leur compréhension ainsi que leur soutien durant la période de stage ;
- Les membres du jury, qui malgré leur calendrier chargé, ont bien voulu évaluer ce travail ;
- Messieurs Bréhima KANTE et Mohamadou ADAMOU pour leur contribution à l'amélioration de ce travail ;
- Monsieur Oumar DIARRA, chef division à la SOMAGEP-S.A, de m'avoir donné l'opportunité de compléter mes analyses dans leur laboratoire ;
- Monsieur Oumarou Coulibaly, mon cousin, pour son soutien indéfectible de longue date ;
- Tous les collègues du département environnement pour leur soutien mutuel ;
- Tous les Maliens de l'Université Senghor d'Alexandrie pour leur franche collaboration ;

Enfin, mes remerciements vont également à l'endroit de mon intime ami Ousmane Simbo KEITA pour son soutien et ses sacrifices en m'accompagnant sur le terrain pour la collecte des données. Merci à toi « Homonyme », toi dont la pluie ne t'a pas empêché de m'accompagner. Merci.

DEDICACE

A ma mère,

A mon père.

RESUME

Le développement industriel qui a suivi l'indépendance du Mali a vu l'implantation de plus de 80% des industries sur le bief du Fleuve Niger allant de Bamako à Koulikoro. Ces industries très grandes consommatrices d'eau, s'approvisionnent au fleuve et l'utilisent comme exutoire normal. Le rejet d'effluents industriels dans la nature sans traitement préalable n'est pas sans conséquence sur les ressources du fleuve Niger et partant sur la santé des populations riveraines. Le Mali, ayant saisi l'ampleur de ces conséquences a initié en 2006 dans le cadre du projet d'aménagement de la zone industrielle de Sotuba (PAZIS) la mise en place d'une station d'épuration des eaux usées à Sotuba. La gestion de cette dernière a été confiée à l'Agence Nationale de Gestion des Stations d'Épuration au Mali (ANGESEM). Depuis sa mise en œuvre, la station semble connaître un dysfonctionnement qui d'ailleurs est à l'origine de l'échec de plusieurs tentatives de certification. Cette situation nous amène à poser la question de recherche : quels sont les impacts potentiels des eaux usées de la station d'épuration de Sotuba sur la qualité de l'eau du fleuve Niger à Bamako? La présente étude a pour objectif d'évaluer les impacts sociaux et environnementaux, notamment les caractéristiques physico-chimiques des rejets d'eaux de la station d'épuration de Sotuba sur le fleuve Niger. Pour ce faire, les rejets de la station ont été caractérisés en prélevant des échantillons à l'entrée et à la sortie de la station ainsi qu'en amont et aval de la station sur le fleuve. Aussi, une enquête a été menée auprès des riverains et usagers du fleuve. La caractérisation des rejets de la station montre qu'elle est performante dans l'abattement des matières en suspension avec une performance de 89,9% et qu'elle a une performance moyenne dans l'élimination de pollution organique (51,0% DBO et 58,75% DCO). Cependant, elle a une performance faible dans l'élimination des nutriments (phosphore et azote) alors qu'elle est totalement inefficace dans l'élimination des métaux lourds. De ce fait, les rejets de la station sont susceptibles d'avoir des impacts potentiels sur les ressources du fleuve et sur les riverains. Il ressort en premier lieu, après une pondération entre les résultats d'analyses et le sondage, que la station a un impact positif d'une importance majeure. Il s'agit du rôle de barrière protectrice qu'elle joue pour le fleuve en abattant considérablement la pollution industrielle. Neuf impacts potentiels à effet négatif ont été identifiés sur la biodiversité, l'écosystème aquatique, la faune piscicole, les eaux de surface, l'air/ atmosphère, le cadre de vie, la santé, le revenu des ménages et les pratiques culturelles. Ainsi, une analyse a été portée sur les causes du dysfonctionnement de la station et des pistes de solution axée sur le court, le moyen et le long terme ont été formulées pour une exploitation durable de la station de Sotuba.

Mots clés : Performance, Impacts, Station d'épuration, Fleuve Niger, Mali

ABSTRACT

The industrial development that followed the independence of Mali was accompanied with the establishment of more than 80% of industries on the reach of Niger River from Bamako to Koulikoro. These industries, which consume a lot of water, get their supplies from the river, and use it as a normal outlet. The discharge of industrial effluents into the natural environment without prior treatment is not without consequence on the resources of Niger River and consequently on the health of the neighboring populations. Mali, having grasped the magnitude of these consequences, initiated in 2006 within the framework of the project PAZIS the establishment of a wastewater treatment plant in Sotuba. Management of the latter has been entrusted to ANGESEM. Since its implementation the station seems to show a dysfunction, which is the cause of the failure of several attempts of certification. This situation leads us to ask the research question: what are the potential impacts of Sotuba station's wastewater on the water quality of Niger River in Bamako? This research aims to evaluate the social and environmental impacts, in particular the physicochemical characteristics of the wastewater discharged from Sotuba wastewater treatment plant on Niger River. To achieve this aim the effluents of the station were characterized and survey was carried out among waterside and users of the river. The characterization of the station's effluents showed that it was performing well as regards to the removal of suspended solid with a performance of 89.9% and that it had an average performance in the elimination of organic pollution (51.0% BOD and 58.75% COD). However, it had a low performance in the removal of nutrients (phosphorus and nitrogen) while it was totally ineffective in the elimination of heavy metals. Therefore, its discharges were likely to have potential impacts on the river's resources and on the residents. First, after a weighting between the results of the analyzes and the survey, the station was found to have a major positive impact. It is about the role of protective barrier for the river that it plays by cutting down considerably the industrial pollution. Nine (9) potential negative impacts were identified on biodiversity, the aquatic ecosystem, fish fauna, surface waters, Air / atmosphere, the living environment, health, household income and cultural practices. Thus, an analysis was carried out on the causes of the dysfunction of the station and short, medium and long term solutions were formulated for a sustainable use of Sotuba station.

Key words: Performance, Impacts, Wastewater Treatment Plant, Niger River, Mali

LISTE DES ACRONYMES ET ABREVIATIONS

ABFN : l'Agence du Bassin du Fleuve Niger
AEDD : Agence pour l'Environnement et le Développement Durable
AFNOR : Association Française de Normalisation
AME : Accords Multilatéraux sur l'Environnement
ANGESEM : Agence Nationale de Gestion des Stations d'Épuration au Mali
BATEX-CI : Bakary Textile -Commerce et Industrie
CPEPESC : Commission de Protection des Eaux, du Patrimoine, de l'Environnement du Sous-sol et des Chiroptères, Franche-Comté
DBO : Demande Biochimique en Oxygène
DCO : Demande Chimique en Oxygène
DGH : Direction Générale de l'Hydraulique
DNACPN : Direction Nationale de l'Assainissement, du Contrôle de la Pollution et des Nuisances
DNEF : Direction Nationale des Eaux et Forêts
DNH : Direction Nationale de l'Hydraulique, : Direction Nationale de l'Hydraulique
DNPC : Direction Nationale du Patrimoine Culturel
EIE : Etudes d'Impact sur l'Environnement
ISA : Institut des Sciences Appliquées de l'Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako
LNE : Laboratoire Nationale des Eaux
MEADD : Ministère de l'Environnement, de l'Assainissement et du Développement Durable
mg/L : milligramme par litre
NTM : Nouvelle Tannerie du Mali
NTU : Nephelometric Turbidity Unit
OD : Oxygène Dissous
OMS : Organisation Mondiale de la Santé
PAZIS : Projet d'Aménagement de la Zone Industrielle de Sotuba
PEP_Mali : Profil Environnemental Pays_ Mali
pH : potentiel d'Hydrogène
PNA : Politique Nationale d'Assainissement
PNPE : Politique Nationale de Protection de l'Environnement
POPs : Polluants Organiques Persistants
SOMAGEP : Société Malienne de Gestion de l'Eau Potable
STEP : Station d'épuration
STP/CIGQE : Secrétariat Technique Permanent du Cadre Institutionnel de Gestion des Questions Environnementales
TAMALI : Tannerie du Mali
TAO : Tannerie de l'Afrique de l'Ouest
USTTB : Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Mécanismes en jeu dans les bassins de lagunage naturel	8
Figure 2: Dispositif de la station d'épuration des eaux usées de Sotuba	16
Figure 3 : Carte des six communes du district de Bamako	19
Figure 4: Evolution de la température et du pH au niveau de la STEP de Sotuba et du Fleuve Niger ...	24
Figure 5: Evolution des MES et de la turbidité au niveau de la STEP de Sotuba.....	25
Figure 6: Evolution des MES et de la turbidité en aval et en amont de la STEP sur le Fleuve Niger à Sotuba.....	26
Figure 7: Evolution de la conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$) au niveau de la STEP de Sotuba	26
Figure 8: Evolution de la conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$) en aval et en amont de la STEP de Sotuba sur le Fleuve Niger	26
Figure 9: Evolution des phosphates et Nitrites au niveau de la STEP de Sotuba et du fleuve Niger	27
Figure 10: Evolution des Nitrates (mg/L) au niveau de la STEP de Sotuba	28
Figure 11: Evolution des Nitrates (mg/L) en amont et en aval de la STEP de Sotuba sur le Fleuve Niger	28
Figure 12: Evolution de la DBO_5 et de la DCO au niveau de la STEP de Sotuba	29
Figure 13: Evolution de la DBO_5 et de la DCO en amont et en aval du Fleuve Niger	29
Figure 14: Evolution des métaux lourds (chrome VI, Fer et Zinc) au niveau de la STEP de Sotuba.....	30
Figure 15: Evolution du chrome VI et du Zinc au niveau du fleuve (amont et aval de la STEP).....	30
Figure 16: Evolution du Fer (mg/L) au niveau du Fleuve Niger (amont et aval de la STEP de Sotuba) .	31
Figure 17 : Evolution des paramètres (T° , MES, Turbidité, pH et conductivité) le long du fleuve Niger à Bamako pendant les saisons sèche et pluvieuse.....	32
Figure 18 : Evolution des paramètres (Phosphates, Nitrates, Fer, et Zinc) le long du fleuve Niger à Bamako pendant les saisons sèches et pluvieuses	32
Figure 19 : développement d'une culture bactérienne (Gaïd, 1993)	41

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Répartition des enquêtés (auteur, 2016).....	21
Tableau 2: Normes Maliennes et internationales de rejet des eaux usées	22
Tableau 3: Critères d'appréciation de la qualité des eaux de surface (Source OMS)*	23
Tableau 4: Les teneurs admissibles des métaux dans la qualité des eaux pour l'irrigation, le bétail et la vie aquatique. (Source OMS)*	23
Tableau 5: Récapitulatif des solutions préconisées pour l'amélioration du traitement de la STEP de Sotuba.....	39

LISTE DES PHOTOS

Photo 1 : Clichés montrant des cas de mortalité chez les poissons au niveau de l'exutoire	36
Photo 2: Lésions cutanées observées chez un pêcheur professionnel du campement bozo	38
Photo 3: Focus sur l'exutoire de la STEP, la prolifération de la jacinthe d'eau et un pêcheur sportif	38
Photo 4 : Clichés montrant le point de rejet des effluents de l'abattoir de Sotuba dans le fleuve	46

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1: Liste des conventions internationales ratifiées par le Mali	b
Annexe 2: Résultats d'analyses des échantillons.....	c
Annexe 3 : Variation de la moyenne de quelques paramètres le long du fleuve Niger pendant les saisons pluvieuses et sèches en 2015 (synthèse faite à partir de la base de données du LNE)	d
<i>Annexe 4: Temps forts du stage en images (phase d'observation directe)</i>	<i>g</i>
Annexe 5 : Fiche de collecte des informations	h
Annexe 6 : Matrice de l'inventaire culturel des valeurs et pratiques liées au fleuve Niger le long de la Commune II de Bamako	j

TABLE DES MATIERES

Remerciements	i
Dédicace	ii
Résumé	iii
Abstract	iv
Liste des acronymes et abréviations	v
Liste des figures	vi
Liste des tableaux.....	vi
Liste des photos	vii
Liste des annexes.....	vii
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 1 : CLARIFICATION DE QUELQUES CONCEPTS CLES SUR LA GESTION DES EAUX USEES; POLITIQUE ENVIRONNEMENTALE, CADRE INSTITUTIONNEL ET LEGISLATIF DU MALI.....	4
1.1. Clarification de quelques concepts clés.....	4
1.1.1. Impacts environnementaux et sociaux.....	4
1.1.2. Ecosystème aquatique.....	4
1.1.3. Pollution de l'eau.....	4
1.1.4. Eaux usées.....	5
1.1.5. Effluents industriels.....	5
1.1.6. Autoépuration de l'eau.....	5
1.1.7. Epuration des eaux usées.....	6
1.1.8. Lagunage naturel.....	7
1.1.9. Quelques aspects des paramètres étudiés.....	8
1.2. Politique environnementale, Cadre législatif et institutionnel du Mali.....	12
1.2.1. De la Constitution à la Politique Nationale de Protection de l'Environnement.....	12
1.2.2. Conventions Internationales.....	12
1.2.3. Cadre Législatif et réglementaire.....	12
1.2.4. Cadre institutionnel en matière d'environnement.....	13
CHAPITRE 2 : PRESENTATION DE LA STATION D'EPURATION DE SOTUBA ET METHODOLOGIE D'EVALUATION DE LA PERFORMANCE DE LA STATION ET DE SON IMPACT SUR LE FLEUVE.....	15
2.1. Présentation de la station d'épuration de Sotuba.....	15
2.1.1. Dimensionnement de la station de Sotuba.....	15
2.1.1.1. Ouvrages de traitement des eaux usées.....	17
2.1.1.2. Ouvrages de traitement des boues.....	17
2.1.2. Fonctionnement de la station de Sotuba.....	17
2.2. Méthode de recherche.....	18
2.2.1. Délimitation de la zone d'étude.....	18
2.2.2. Prélèvement et Analyse des échantillons.....	19

2.2.2.1.	Points de prélèvement.....	20
2.2.2.2.	Paramètre analysés.....	20
2.2.3.	Collecte de données primaires.....	20
2.2.4.	Entretiens semi structurés.....	21
2.3.	Normes de rejet d'eaux usées dans le milieu naturel.....	22
CHAPITRE 3 : CARACTERISATION DES REJETS DE LA STATION DE SOTUBA, DESCRIPTION DES SERVICES FOURNIS PAR LE FLEUVE NIGER DANS LA ZONE D'ETUDE		24
3.1.	Caractéristiques des rejets de la station de Sotuba.....	24
3.2.	Comportement du fleuve Niger le long de la ville de Bamako.....	31
3.3.	Description des services écosystémiques fournis par le fleuve dans la zone d'étude	33
3.3.1.	Services d'approvisionnement	33
3.3.2.	Services culturels	34
3.3.3.	Autres services.....	34
CHAPITRE 4 : IMPACTS, DYSFONCTIONNEMENT ET PROPOSITIONS D'AMELIORATION DE LA STATION DE SOTUBA.....		35
4.1.	Impacts potentiels de la station Sotuba	35
4.2.	Propositions de solution.....	39
4.2.1.	Diagnostic des causes du dysfonctionnement	40
4.2.2.	Du suivi des bassins à la dilution des effluents	41
4.2.3.	Installation d'une unité de traitement physico-chimique.....	43
4.2.4.	Des lagunes à macrophytes en aval comme traitement final.....	44
4.3.	Recommandations	45
CONCLUSION.....		47
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....		49
ANNEXES		a

INTRODUCTION

Le développement industriel qui sous-tend la croissance économique a très souvent un corollaire de pollution se traduisant par une production et un rejet toujours plus grand de déchets ou d'effluents. Ce corollaire de pollution est rarement accompagné par une intensification des mesures de dépollution (Dejoux, 1988; Idrissi, 2015). Or les activités industrielles étant variées, les effluents de nature diverse sont susceptibles de se retrouver dans l'environnement. En absence de processus de traitement adapté ces effluents peuvent porter préjudice au milieu récepteur (Pesson, 1980 ; Dejoux, 1988). Par ailleurs, la plupart des grandes villes africaines se sont développées à proximité d'un milieu aquatique (grand fleuve, grande rivière, grands lacs, lagunes ou la mer). Très vite, ces milieux aquatiques ont été transformés en exutoire des déchets et effluents. C'est le cas notamment de Bamako qui est traversée par le fleuve Niger (Dejoux, 1988).

Au Mali, plus de 80% des industries sont implantées dans le bief du fleuve Niger s'étendant de Bamako à Koulikoro¹. La zone industrielle de Sotuba (Commune II du district de Bamako) est située sur ce bief (Orange et Palangié, 2006). Elle regroupe l'essentielle des unités industrielles de la capitale du Mali. Ces industries sont à la fois de très grandes consommatrices d'eau et émettrices de rejets liquides à l'image des tanneries, industries textiles ou autres industries agroalimentaires (Calamari, 1985 ; Palangié, 1998 cité par Orange et Palangié, 2006). L'incidence de la zone industrielle de Sotuba sur le fleuve Niger a longtemps été évoquée (Dejoux, 1988 ; Sidibé, 1992 ; Maïga *et al.*, 2006 cité par Marie *et al.*, 2007). Les conséquences sont souvent, passées inaperçues grâce au flux de renouvellement considérable du milieu récepteur (fleuve Niger) qui permettait l'autoépuration (Marie *et al.*, 2007). Cependant le contexte a beaucoup changé ces dernières années au Mali mais surtout dans les autres pays riverains du fleuve Niger² qui à tour de rôle l'affectent³ dans son parcours de la Guinée au Nigeria. Un changement de paradigme est en cours, eu égard aux différents services que rend le fleuve Niger dans son parcours aux riverains. Le Mali ayant constaté la tendance de l'état du fleuve marquée par des seuils de pollutions et son corollaire de prolifération de plante aquatique a initié le Projet d'Aménagement de la Zone Industrielle de Sotuba (PAZIS) en coopération avec les Pays Bas. Il a abouti en 2006 à la mise en place d'une station d'épuration dans la zone industrielle de Sotuba, utilisant

¹ Koulikoro est la deuxième région administrative du Mali, la ville de Koulikoro est à 70km de la capitale Bamako.

² Le fleuve Niger est le 3ème plus long fleuve d'Afrique après le Nil et le Congo. Il est long de 2400 Km dont plus de 1700 Km au Mali et 550 Km au Niger (Amadou *et al.*, 2011). La superficie totale du bassin versant du Fleuve Niger est de l'ordre de 2 200 000 km² dans l'ensemble des 9 pays (Guinée, Mali, Niger, Bénin, Nigeria, Burkina Faso, Côte d'Ivoire, Cameroun, Tchad). (Source : Profil Environnement Pays-Mali, 2014).

³C'est le cas par exemple de la ville de Niamey qui déverse à elle seule directement dans le fleuve une quantité d'eaux usées de l'ordre de 15 119 m³ par jour (Amadou *et al.*, 2011).

le procédé de « lagunage naturel »⁴. La prise d'une telle initiative est incontestablement une opportunité pour l'amélioration de l'état de santé du fleuve Niger. Il a été pollué pendant très longtemps par les rejets industriels comme le témoigne le profil environnemental du Mali (PEP⁵-Mali, 2014).

De récentes études dans plusieurs pays ont révélé que la présence d'une station d'épuration utilisant le procédé de « lagunage naturel » pour traiter les effluents industriels ne garantissait pas nécessairement le respect des normes de rejet dans le milieu naturel. En particulier si certaines conditions n'étaient pas respectées en amont (Racault, 1997 ; Ounoki et Achour, 2014). La station de Sotuba semble connaître un dysfonctionnement depuis le début de sa mise en œuvre. Ce dysfonctionnement a abouti d'une part à l'échec de différents processus de certification⁶ et d'autre part aux contentieux⁷ avec la centrale hydroélectrique de Sotuba ayant conduit à la déconnexion de certaines unités industrielles en 2013 (ANGESEM, 2014). En effet, à la station de Sotuba les premiers signes de dysfonctionnement sont le virage de la coloration (rosâtre) des bassins de traitement et la présence quasi permanente d'odeur nauséabonde. L'enjeu pour la station est d'arriver à traiter les effluents de nature et d'origine diverses. Les industries de tanneries à elles seules emploient plusieurs réactifs chimiques et produisent d'énormes quantités d'eaux résiduelles et de déchets solides (Sawadogo *et al.*, 2012). Ainsi, la dépollution de ces effluents est très délicate et coûteuse (Tisseem, 2007). Toutefois, la station d'épuration est marquée par une particularité. Elle n'utilise pas de produits chimiques dans le processus de traitement des effluents dans son enceinte. Pour compenser l'absence de traitement chimique, des unités de prétraitement ont été installées au niveau des industries émettrices. Cette situation constitue en soi un goulot d'étranglement pour l'efficacité de traitement des eaux usées. Toute défaillance du processus de prétraitement assuré par les unités industrielles serait irrémédiable au niveau de la station. De plus, une défaillance des systèmes de prétraitement pourrait perturber le traitement biologique (lagunage naturel) et engendrer des perturbations sur le milieu récepteur (Racault, 1997 ; Edeline, 1997). Il paraît donc logique et intéressant de s'interroger sur l'efficacité des prétraitements de

⁴ Le lagunage naturel est un processus de traitement biologique des eaux usées. Il est basé sur de longs temps de séjour dans des bassins étanches creusés dans le sol et disposés en série. Dans ces bassins, se déroulent tant une séparation physique de la matière organique et minérale par sédimentation qu'une dégradation biologique de la matière organique via la présence ou non d'oxygène (en fonction de la profondeur des bassins).

⁵ PEP (Profil Environnemental Pays)

⁶ Les essais de certifications ont montré que les rejets de la station étaient de très mauvaises qualités mais aussi la présence de gaz incommodant potentiellement dangereux pour la santé des travailleurs et la population environnante (ANGESEM, 2014).

⁷ La centrale thermique de Sotuba produit 50% de l'électricité de Bamako. Elle est contiguë à la station d'épuration. Un état de corrosion des files de la Centrale était à l'origine du contentieux. Des expertises à l'époque ont mis en avant un fort taux de dégagement de H₂S (hydrogène sulfuré) un gaz très corrosif. Les analyses ont incriminé les rejets de certaines industries (essentiellement les tanneries) comme origine de dysfonctionnement de la station. Il s'en est alors suivi leur déconnexion. Source : ANGESEM (2014) et Daou, M. (2013) « TANNERIES NON RESPECTUEUSES DES NORMES : La DNACPN frappe fort » *les Echos* [en ligne] consulté le 2/12/2016. URL : <http://maliactu.net/tanneries-non-respectueuses-des-normes-la-dnacpn-frappe-fort/>

ces effluents de nature et d'origine tant diverses mais surtout sur les impacts que peut avoir la station d'épuration de Sotuba sur l'équilibre écologique du fleuve Niger à Bamako. C'est dans cette optique que ce travail de recherche a été réalisé. La question essentielle soulevée dans cette étude est : quels sont les impacts potentiels des eaux usées de la station d'épuration de Sotuba sur la qualité de l'eau du fleuve Niger à Bamako? Cette étude vient dans un contexte où au Mali les systèmes d'épuration⁸, de contrôle de la pollution et des effluents sont globalement mieux établis et bien cadrés par les instruments juridiques et institutionnels. La présente étude a pour objectif d'évaluer les impacts sociaux et environnementaux notamment les caractéristiques physico-chimiques des rejets d'eaux usées de la station d'épuration de Sotuba sur le fleuve Niger. Elle s'est assignée comme objectifs spécifiques : de caractériser les rejets de la station d'épuration de Sotuba et d'évaluer les impacts potentiels du dysfonctionnement de la station sur le fleuve Niger.

Afin de mener à bien ce travail de recherche, un stage a été effectué dans les locaux de l'Agence Nationale de Gestion des Stations d'Épuration au Mali (ANGESEM) en charge de la gestion de la station de Sotuba. Le présent mémoire s'articule autour de quatre (4) chapitres. Le premier chapitre porte sur la clarification de quelques concepts clés sur la gestion des eaux usées et le cadre législatif et institutionnel du Mali en matière de l'environnement. Le deuxième présente la station de Sotuba puis décrit la méthode de recherche. Le troisième chapitre est relatif à la caractérisation des rejets d'eaux usées de la station de Sotuba et à la description des services rendus par le fleuve Niger. Enfin le dernier chapitre porte sur l'évaluation des impacts, l'identification des dysfonctionnements et la proposition d'amélioration de la station d'épuration de Sotuba.

⁸ Le Mali est en train de faire son petit bonhomme de route en matière d'épuration des effluents des ménages, des industries et des hôpitaux on y trouve essentiellement le traitement par boues activées et le lagunage naturel.

CHAPITRE 1 : CLARIFICATION DE QUELQUES CONCEPTS CLES SUR LA GESTION DES EAUX USEES; POLITIQUE ENVIRONNEMENTALE, CADRE INSTITUTIONNEL ET LEGISLATIF DU MALI

Ce chapitre aborde en premier lieu la clarification des concepts et notions utilisées dans ce mémoire. A l'issue de la clarification des concepts, une hypothèse de recherche est formulée. Dans sa deuxième partie, le chapitre décrit la politique environnementale du Mali ainsi que son cadre législatif et institutionnel en matière d'environnement. L'objectif du chapitre est donc de fournir les connaissances nécessaires sur les terminologies utilisées et les textes cadrant le sujet traité. Ainsi, compte tenu de la transversalité du domaine de l'environnement et du sujet traité, quelques aspects du cadre institutionnel et législatif du secteur de l'eau au Mali fera aussi l'objet d'une brève description.

1.1. Clarification de quelques concepts clés

1.1.1. Impacts environnementaux et sociaux

L'impact dont l'étude fait référence est celui vu au sens de André *et al.*, (2003). Il s'agit d'une évaluation d'impact qui tiendra à la fois compte des impacts biophysiques (sur les composantes ou paramètres du milieu) et des impacts humains. Cette prise en compte inclut donc les impacts sociaux (notamment ceux sur la santé et les risques associés) et économiques (André *et al.*, 2003). In fine, ce sont les conséquences du fonctionnement de la station d'épuration (STEP⁹) de Sotuba sur les services écosystémiques du fleuve Niger dont il sera question. Ces conséquences s'exprimeront en termes d'effets qui peuvent être positifs (bénéfiques) ou négatifs (néfastes).

1.1.2. Ecosystème aquatique

Il s'agit d'une entité formée d'un ensemble intégré du milieu (dissocié en composantes ou paramètres) et des peuplements associés (espèces vivantes). Il prend en considération *l'unité fonctionnelle* résultant de l'ensemble des relations et interactions existant entre espèces, entre paramètres (composantes) puis entre espèces et milieu (Verneaux (1980) cité par Pesson (1980)).

Pour un écosystème tel que le cours d'eau : l'eau, le substrat (bassin versant, lit, berges, paramètres physico-chimiques...) et l'édifice trophique (espèces vivantes) sont fonctionnellement indissociable et toute modification de l'un d'eux se répercute sur l'ensemble du système (Pesson, 1980).

1.1.3. Pollution de l'eau

La pollution des eaux, peut être considérée comme l'augmentation de la concentration en substances ou en énergie liée aux activités humaines. Elle a pour conséquence la dégradation des communautés aquatiques ou de leur milieu. On distingue trois types de pollutions : physique (variations de température, radioactivité), chimique (substances toxiques, matières organiques fermentescibles) et biologique (micro-organismes) (Ramade, 2007 et 2016). Il est aujourd'hui indéniable que l'origine de la

⁹ STEP est utilisée dans ce mémoire pour désigner la Station d'épuration.

pollution de l'eau, qu'elle concerne les eaux superficielles (rivières, plans d'eau) et/ou les eaux souterraines, est principalement tributaire à l'activité humaine (industries, agriculture, décharges...). Dans les eaux de surface, la pollution se manifeste principalement par une diminution de la teneur en oxygène dissous, l'augmentation de la charge organique totale associée à la présence de produits toxiques (tels que les pesticides) et une modification d'aspect (Chaillou et Combrisson, 2016).

Cependant, la distinction entre eau polluée et eau non polluée est souvent relative et dépend des exigences d'utilisation (Pesson, 1980 ; Laurent, 1994). Par ailleurs les sources de pollution de l'eau peuvent être classées selon leur caractère en pollution accidentelle (occasionnelle) ou chronique (caractère permanent). Elles se catégorisent selon leur mécanisme en pollution localisée (ponctuelle), linéaire ou diffuse (Guillemin et Roux, 1992). Bien évidemment, que ce n'est qu'une catégorisation parmi tant d'autre. On peut par exemple les regrouper par secteur d'activité qui les engendre (urbaine, industrielle, agricole).

1.1.4. Eaux usées

De l'utilisation de l'eau est née un nouveau produit appelé effluent ou eau usée. Utilisée comme vecteur, l'eau entraîne la quasi-totalité des déchets et souillures qu'engendrent les activités humaines tant domestiques qu'industrielles (Pesson, 1980 ; Cardot, 1999). L'acuité des nuisances liées aux eaux usées qui s'accroît avec la croissance démographique et le développement des activités industrielles, fait qu'elles peuvent être subdivisées en deux grandes catégories : les eaux résiduaires industrielles (ERI) et les eaux résiduaires urbaines (ERU) regroupant les eaux ménagères, les eaux vannes et les eaux de ruissellement (Cardot, 1999). Cette dernière catégorie a une composition et des caractéristiques peu variables comparée aux effluents industriels (Pesson, 1980).

1.1.5. Effluents industriels

Ce sont des rejets liquides issus des procédés d'extraction ou de transformation des matières premières en vue de fabriquer des produits industriels ou des biens de consommation. Ils sont extrêmement hétérogènes de par, leur quantité et leur qualité qui varient en fonction du procédé mis en œuvre ou du domaine industriel. Généralement, ces eaux présentent un large spectre de polluants chimiques à divers niveaux de toxicité : composés à l'état solide ou dissous, matières organiques et minérales, métaux, hydrocarbures, solvants, polymères, huiles, graisses, sels, ... (Veolia Environnement, 2007).

1.1.6. Autoépuration de l'eau

L'autoépuration appelée l'auto-purification ou encore la biodépollution est le processus biologique normal par lequel les milieux aquatiques (l'eau des rivières ou des lacs,...) se nettoient eux-mêmes. Elle se fait par le biais des microorganismes qui utilisent et minéralisent les substances organiques

apportées au cours de la pollution (Rivière (1980) cité par Pesson (1980)). Ce processus a une certaine limite, le plus souvent, les charges polluantes atteignent une valeur telle que les microorganismes présents dans le milieu naturel ne peuvent plus réaliser une autoépuration suffisante. C'est donc une question de dose¹⁰ (Brebion *et al.*, 2016). Enfin, le plus vieux type de traitement biologique des eaux usées, le lagunage, est fondé sur les processus naturels de dégradation et de recyclage des polluants en biomasses bactériennes, algales et animales (Chaillou et Combrisson, 2016).

1.1.7. Epuration des eaux usées

Correspond au processus de traitement des eaux usées qui consiste à séparer les parties solides et stabiliser les polluants. Il s'agit de la dégradation de la matière organique jusqu'à ce qu'il ne s'y produise plus de réaction chimique ou biologique. (Rivière (1980) cité par Pesson (1980) ; Edeline, 1997 ; Sasse, 1998). Le processus de traitement peut aussi vouloir dire retirer les substances toxiques ou dangereuses (par exemple les métaux lourds ou le phosphore) qui pourraient être préjudiciables au déroulement des cycles biologiques, même dans une eau stabilisée. Les systèmes d'épuration sont d'autant plus stables que chaque étape du traitement ne retire que la partie "*facile à éliminer*" de la charge polluante, et envoie ce qui reste à l'étape suivante (Sasse, 1998). En définitive, une bonne connaissance de la quantité, la qualité, et les variations temporelles de la composition de l'effluent est un impératif au traitement efficace d'un rejet liquide. Ce préalable réside dans la prise en compte de certains paramètres abordés dans la suite du document. Plusieurs auteurs et spécialistes s'accordent à dire que l'épuration des eaux usées est composée de plusieurs phases successives qui sont :

a. Le prétraitement : il correspond à la 1^{ère} étape du processus de traitement. Il permet de débarrasser les effluents des éléments grossiers susceptibles de gêner le fonctionnement des ouvrages ou d'influer négativement sur les performances des étapes suivantes (Laurent, 1994 ; Grosclaude, 1999 cité par Mimeche, 2014). Les opérations de prétraitements sont généralement physiques ou mécaniques :

- **Dégrillage et tamisage :** lors de son passage l'effluent est confronté à différentes mailles des grilles ou des tamis qui retiennent les matières grossières (Laurent, 1994).

- **Dessablage :** débarrasse les eaux usées des sables et des graviers par sédimentation. L'écoulement de l'eau à une vitesse réduite dans un bassin appelé "dessableur" entraîne leur dépôt au fond de l'ouvrage (Mimeche, 2014).

¹⁰ Le degré d'épuration des eaux est donc défini en fonction de la capacité du milieu récepteur, généralement liquide (fleuve, rivière, lac, mer), à « digérer » le rejet (quantité totale, valeurs de pointe). Il doit aussi tenir compte de l'aspect spatio-temporel, c'est-à-dire pendant combien de temps et jusqu'où le rejet fera ressentir son effet. C'est le problème de l'amont-aval et de l'évaluation de l'impact des nuisances. Il est donc nécessaire de bien connaître la quantité et la composition du rejet, ses fluctuations dans le temps, les caractéristiques et leurs variations au cours du cycle hydrologique du milieu récepteur et son potentiel d'acceptation.

- **dégraissage et déshuilage** : Operations souvent combinées avec le dessablage. Elles permettent d'éliminer les matières grasses (pouvant perturber l'étape ultérieure de traitement biologique) en injectant au fond de l'ouvrage de l'air. Les graisses sont alors récupérées en surface à l'aide d'une raclette (Laurent, 1994).

b. Le traitement primaire : selon la directive européenne (91/271/CEE) du 21 mai 1991 relative au traitement des eaux résiduaires on entend par traitement primaire « *le traitement des eaux urbaines résiduaires par un procédé physique et/ou chimique comprenant la décantation des matières solides en suspension ou par d'autres procédés par lesquels la DB05 des eaux résiduaires entrantes est réduite d'au moins 20 % avant le rejet et le total des matières solides en suspension des eaux résiduaires entrantes, d'au moins 50 %* ». Généralement à cette étape c'est la décantation qui est utilisée. Elle est efficace pour l'élimination des matières en suspension. En effet, elle assure une réduction de 40 à 60 % des matières en suspension, et 25 à 40 % de la DBO, et DCO (Laurent, 1994). La combinaison de la décantation avec un traitement physicochimique de type coagulation-floculation permet d'avoir de meilleurs résultats (Gaïd, 1993 ; Mimeche, 2014).

c. Le traitement secondaire : Il s'agit d'une reproduction, artificiellement ou non, du phénomène d'autoépuration existant dans la nature. Le classique des traitements secondaires, le lagunage naturel est l'exemple parfait. Selon Gaïd (1993), on entend par épuration biologique « *l'élimination de la matière polluante biodégradable contenue dans l'eau usée (décantée ou non) en la transformant en matières en suspension : microorganisme et leurs déchets, plus facilement récupérables* ». La dégradation peut se réaliser par voie aérobie (en présence de l'oxygène) ou anaérobie (absence d'oxygène). Cette étape regroupe plusieurs technologies appartenant à deux grandes catégories (filiales) (Berland *et al.*, 2001) :

- Filière intensive classique (lits bactériens, disques biologiques, boues activées) ;
- Filière extensive pouvant être regroupée en deux lots : les cultures fixées sur support fin (l'infiltration-percolation sur sable, les filtres plantés à écoulement vertical, les filtres plantés de roseaux à écoulement horizontal) et le lot des cultures libres (lagunage naturel, lagunage à macrophytes et le lagunage aéré).

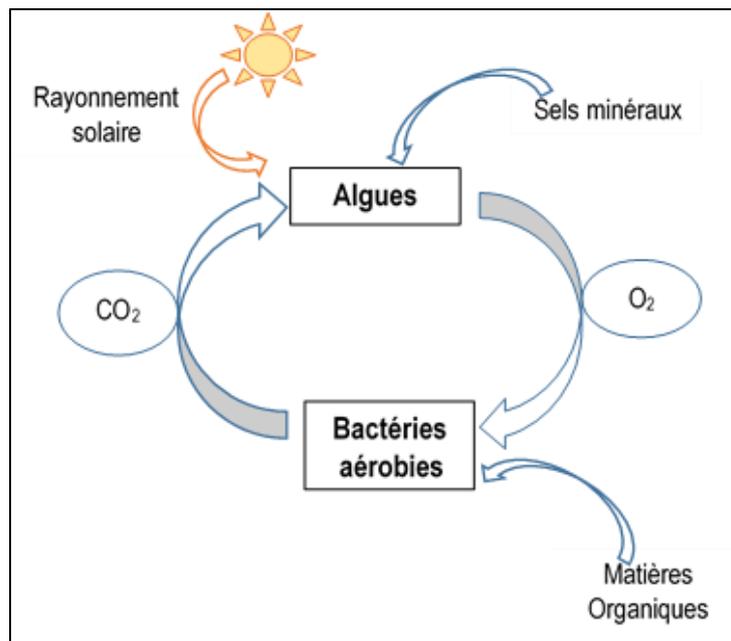
d. Le traitement tertiaire : il n'est pas toujours réalisé, sa réalisation dépend de l'exigence du milieu récepteur, des risques encourus ou des cas d'éventuelle réutilisation de l'eau épurée. L'étape peut être destinée à l'élimination des pollutions résiduaires telles que les phosphates (dephosphatation) ou encore à l'élimination des micro-organismes pathogènes (désinfection par chloration, ozonation ou par l'usage des rayonnements ultra-violet) (Gaïd, 1993 ; Mimeche, 2014).

1.1.8. Lagunage naturel

Le lagunage naturel est assuré grâce à un long temps de séjour, dans plusieurs bassins étanches disposés en série. Généralement 3 types de bassins sont utilisés dont un anaérobie, un facultatif et un

de maturation (Racault, 1997 ; Mimeche, 2014). Cependant, l'utilisation d'une configuration de 4 à 6 bassins permet d'avoir une désinfection plus poussée. Le lagunage repose essentiellement sur le mécanisme de la photosynthèse (Figure 1) (Berland *et al.*, 2001).

Sous l'action du soleil, les algues se développant dans la tranche d'eau supérieure des bassins photosynthétisent leur matière première en fournissant de l'oxygène à la population bactérienne (Gaïd, 1993). Ces bactéries assurent la dégradation de la matière organique en dégageant le gaz carbonique. Ce dernier ainsi que les sels minéraux contenus dans les eaux usées, permettent en retour aux algues de se multiplier (Berland *et al.*, 2001).



Source : construction de l'auteur

Figure 1: Mécanismes en jeu dans les bassins de lagunage naturel

Ainsi, il y a la prolifération de deux catégories de populations interdépendantes, les bactéries et les algues planctoniques (microphytes) engagées dans un cycle qu'elles auto-entretiennent. Ce cycle fonctionne tant que le système reçoit de l'énergie solaire et de la matière organique. En fond de bassin, dans la zone anaérobie, où la lumière ne pénètre pas, ce sont des bactéries anaérobies qui dégradent les sédiments issus de la décantation de la matière organique. A ce niveau, un dégagement de gaz carbonique et de méthane se produit (Berland *et al.*, 2001).

1.1.9. Quelques aspects des paramètres étudiés

a. **Oxygène dissous (OD)** : indique quelle quantité d'oxygène libre est disponible dans l'eau. Il est intéressant à la fois pour le système d'épuration¹¹ mais surtout pour juger la qualité des eaux de surface. C'est un facteur important pour la vie aquatique. En pisciculture, un minimum de 3 mg/l d'OD

¹¹ Parfois l'OD est utilisé dans les systèmes de traitement sophistiqués pour indiquer le potentiel du traitement aérobie (Sasse, 1998).

est requis, et encore ceci n'est valable que pour les "poissons de vase". Pour la plupart des autres espèces, il est nécessaire d'avoir un minimum de 4 à 5 mg/l d'OD pour assurer leur survie (Sasse, 1998).

b. Température : elle influe sur beaucoup de paramètres. C'est en premier lieu le cas de l'oxygène dissous indispensable à la vie aquatique (plus la température de l'eau s'élève, plus la quantité de l'oxygène dissous diminue)¹² (CPEPESC, 2014)¹³. Au-delà de son influence sur d'autres paramètres, elle est très importante dans le processus de dégradation aérobie. Le rythme de développement des bactéries en occurrence anaérobies augmente avec la température (Sasse, 1998 ; Moussa, 2005). Cependant les températures élevées sont aussi favorables au développement des bactéries aérobies mais elles sont pénalisantes au niveau du transfert d'oxygène d'où le passage des lagunes en conditions anaérobies quand il fait trop chaud (Sasse, 1998).

c. pH : Le pH (potentiel d'hydrogène) mesure la concentration en ion H⁺ dans une solution. Cette grandeur chimique détermine le caractère acide ou basique d'une solution aqueuse. Le pH varie légèrement selon la température. Selon Sasse (1998) si l'eau pure a un pH de 7 (synonyme de la neutralité) ; pour un effluent le pH neutre signifie que les performances du traitement sont optimales. Ainsi, les eaux usées ayant un pH inférieur à 4 ou 5 (acide) ou supérieur à 9 (basique) seront difficiles à traiter (Sasse, 1998).

d. Matières en suspension : c'est la quantité (mg/L) de pollution sous forme particulaire organique et minérale non dissoute dans l'eau. Les MES sont responsables de la pollution mécanique (exemple : l'ensablement) et l'augmentation de la turbidité (Pesson, 1980 ; Sasse, 1998). De facto, elles s'opposent à la pénétration de la lumière dans l'eau indispensable à la vie aquatique (CPEPESC, 2014). Elles peuvent donc entraîner une diminution de l'activité photosynthétique (une chute de la productivité du phytoplancton) et de l'efficacité d'un procédé de type lagunage naturel (Pesson, 1980 ; Sasse, 1998).

e. Turbidité : caractérise la présence dans l'eau des matières et colorants qui la troublent (en diminuant sa transparence). En plus d'influer qualitativement et quantitativement sur les peuplements végétaux, l'augmentation de la turbidité entraîne aussi des modifications du comportement et de la composition des peuplements animaux (Pesson, 1980). Il est mesuré en NTU (étant le degré standard de turbidité) (Sasse, 1998).

¹² Une température trop élevée des eaux d'une rivière peut donc aboutir à des situations dramatiques de manque d'oxygène dissoute. Situation pouvant entraîner : la disparition de certaines espèces, la réduction de l'autoépuration, l'accumulation de dépôts nauséabonds (odeurs), la croissance accélérée des végétaux (dont les algues). A noter que les poissons ne peuvent survivre à des températures trop élevées (pour les truites de rivière 27°C, pour les carpes 38°C...).

¹³ CPEPESC (commission de protection des eaux, du patrimoine, de l'environnement du sous-sol et des chiroptères, Franche-Comté). « Les différents paramètres physiques et chimiques des eaux et commentaires » ; [en ligne], mise à jour 10/2014 ; consulté le 28/12/2016. URL : <http://www.cpepesc.org/Les-principaux-parametres.html> .

f. Conductivité électrique : elle mesure la capacité de l'eau à conduire le courant électrique. sa mesure permet d'apprécier rapidement mais très approximativement la minéralisation de l'eau et de suivre son évolution. Plus simple, elle permet d'apprécier globalement l'ensemble des produits en solution dans l'eau tels que les sels (chlorures, sulfates, calcium, sodium, magnésium...) (Moussa, 2005).

g. Demande biochimique en oxygène (DBO) : « indique la quantité d'oxygène (mg O₂/L) qui sera consommée par les microorganismes pour la dégradation de la fraction biodégradable présente dans l'eau. L'échantillon dilué et ensemencé est placé en incubation à 20 °C pendant 5 jours, l'oxygène est mesuré le 1^{er} et le 5^{ème} jour, la différence fournit la DBO₅ » (Agence de l'eau Loire-Bretagne, 2014).

h. Demande chimique en oxygène (DCO) : « Elle donne la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder toute la matière organique et inorganique contenue dans l'eau » (Sasse, 1998). C'est une oxydation à chaud par un oxydant puissant ; elle est particulièrement indiquée pour mesurer la pollution d'un effluent industriel (Agence de l'eau Loire-Bretagne, 2014). Le rapport DCO/DBO₅ est un excellent indicateur sur le caractère biodégradable des effluents ; S'il est inférieur à 3, l'effluent est facilement biodégradable ; au-delà de 3, il est difficilement biodégradable et est typique des effluents industriels (Sasse, 1998 ; CPEPESC, 2014).

i. Phosphates : deux formes de phosphores sont impliquées dans la pollution de l'eau, le phosphore organique (résidu de matière vivante) et le phosphore minéral, constituées essentiellement de phosphates (PO₄³⁻). Les phosphates représentent 50 à 90% de la totalité du phosphore dans les eaux usées urbaines (CPEPESC, 2014). L'eutrophisation est la principale nuisance qu'ils causent et est perceptible à partir de 0,2 mg/L. Il y a une probabilité de 17 % qu'un lac devienne eutrophe à partir d'une concentration de 0.15 mg/L. Ce qui se traduira par la coloration et mauvaises odeurs (production d'eau potable compromise) mais aussi par le dérèglement des concentrations en oxygène dissous avec asphyxie de nuit et la mortalité spectaculaire de poissons (Laurent, 1994).

j. Nitrites (NO₂⁻) et Nitrates (NO₃⁻) : sont des intermédiaires du processus d'élimination de l'azote (nitrification¹⁴ puis dénitrification). En effet l'azote existe sous 4 formes¹⁵ dans les eaux usées à savoir l'azote organique, l'azote ammoniacal (pouvant exister sous forme gazeux appelée ammoniaque (NH₃) ou ionisée appelée ammonium (NH₄⁺) en fonction du pH), l'azote nitreux (NO₂⁻) et l'azote nitrique (NO₃⁻). Les nitrites sont issus de l'oxydation des ions ammonium (NH₄⁺) et sont très toxiques pour les

¹⁴ La nitrification est composée de 2 étapes : la nitritation (formation des nitrites à partir des ions NH₄⁺) et la nitratisation (formation des nitrates à partir des nitrites) assurées par des bactéries aérobies (Nitrosomonas et Nitrobacter) (Choubert, 2002).

¹⁵ Dans les eaux rejetées la somme 4 formes constitue l'azote global (NGL) ; L'azote NTK, ou azote Kjeldahl, prend en compte l'azote organique et l'azote ammoniacal.

poissons. Les nitrates quant à eux, sont issus de l'oxydation des nitrites¹⁶ et sont des facteurs d'eutrophisation du milieu (Laurent, 1994 ; Edeline, 1998 et 2001 ; Choubert, 2002). Par ailleurs, à un pH>9 l'ammoniaque (NH₃) prend le dessus sur l'ammonium dans le couple NH₄⁺/ NH₃ et est très toxique pour les poissons et la flore nitrifiante (nitrosomonas et nitrobacter) alors qu'à un pH<6 l'acide nitreux (HNO₂) est prédominante dans le couple HNO₂/NO₂⁻ et est toxique pour les bactéries de type Nitrobacter (Choubert, 2002).

k. Métaux lourds : ils sont sujets de préoccupation pour les chercheurs et leur présence dans l'environnement est responsable de la toxicité dans les différentes forme vie. Pour la plupart des métaux lourds la dégradation est partielle. D'où la nécessité de réduire et de contrôler leur concentration en continu (Benabadji *et al.*, 2010). Ils sont nombreux¹⁷ et proviennent des secteurs de l'industrie, ici les aspects de trois métaux seront abordés à savoir le Fer (Fe), le Chrome (Cr) et Zinc (Zn).

- **Chrome (Cr)** : il peut exister sous différentes formes en fonction de son état d'oxydation (de valence +2 à +6). Les formes trivalente (Cr³⁺) et hexavalente (Cr⁶⁺) sont les plus couramment retrouvées dans l'environnement mais le chrome hexavalent est le plus toxique (Moussa, 2005 ; Benabadji *et al.*, 2010). La forme hexavalente (origine industrielle) peut être à l'origine des irritations cutanées, des cancers de poumon et les intoxications gastriques lorsqu'elle est inhalée ou ingérée (Benabadji *et al.*, 2010). La forme hexavalente peut également endommager les ouïes des poissons nageant dans des eaux proches du point de rejet ainsi qu'inhiber les microorganismes en charge du traitement biologique des eaux particulièrement les bactéries nitrifiantes responsables de l'élimination de l'azote (Ross *et al.* (1981) cité par El Alaoui et Taoussi (2013)).

- **Zinc (Zn)** : il est utilisé pour recouvrir les métaux. Il est peu toxique au niveau de traces mais sa présence dans les eaux indique souvent celle d'autres métaux ou polluants toxiques industriels. Dans les sols agricoles, il peut s'accumuler et perturber la croissance des plantes (CPEPESC, 2014). Aussi, Matthiessen (1974) cité par Dejoux (1988) signale que des fortes teneurs en zinc des eaux entraînent une asphyxie des poissons par destruction de l'épithélium branchial, bloquant ainsi les échanges respiratoires.

- **Fer (Fe)** : provient du sous-sol ou de l'industrie mais n'est pas nocif. Le sulfate de fer peut provenir des stations de traitement des eaux où il est utilisé comme floculant. (CPEPESC, 2014).

Au regard de la recherche documentaire, il apparaît que dans toute tentative d'évaluation d'impacts potentiels d'une source de pollution quelconque, le respect des normes doit être le fondement du

¹⁶ Sont aussi dangereux pour la santé des nourrissons et des femmes enceintes (Guillemin et Roux, 1992 ; Choubert, 2002).

¹⁷ Les métaux lourds Cr, Ni, Zn et Cu peuvent inhiber la fermentation, donc compromettre l'épuration. Cet effet dépendra de leur état ionique, de leur solubilité et des possibilités de précipitation avec les sulfures. Tissem A. (2007).

raisonnement. Ainsi, pour cette étude nous formulons comme hypothèse de recherche : « *Les rejets liquides issus de la station d'épuration de Sotuba respectent les normes Maliennes en matière de rejets dans le milieu naturel* ».

1.2. Politique environnementale, Cadre législatif et institutionnel du Mali

1.2.1. De la Constitution à la Politique Nationale de Protection de l'Environnement

Le Mali a commencé à s'intéresser aux questions de la pollution des fleuves¹⁸ dans les années 70, pour preuve le décret N° 35 du 14 mars 1975 qui dans son article 10 stipule qu' : « *Il est interdit de déverser dans les cours d'eau des matières susceptibles de nuire au poisson* ». Cependant c'est avec l'avènement de la Constitution du 25 Février 1992 que la protection de l'environnement notamment l'assainissement des eaux usées est devenue un enjeu de politique majeur au Mali. En effet l'article 15 de la Constitution dispose que « *Toute personne a droit à un environnement sain. La protection, la défense de l'environnement et la promotion de la qualité de la vie sont un devoir pour tous et pour l'Etat* ».

En cohérence avec cette constitution, la Politique Nationale de Protection de l'Environnement (PNPE) été élaborée en 1998, elle met en avant la nécessité d' « *améliorer le cadre de vie des populations rurales et urbaines, en dotant les centres urbains et ruraux d'infrastructures d'assainissement et en luttant contre les diverses pollutions, en particulier celles qui affectent les ressources en eau* » ainsi que l'élaboration d'une *Politique Nationale d'Assainissement (PNA)*. Quant à la PNA, elle a finalement vu le jour en 2009. A côté de la PNPE et la PNA le Mali a aussi adopté d'autres politiques (la Politique Nationale d'hygiène publique ; la politique Nationale de l'Eau et la Politique Nationale des Zones Humides) qu'il convient de souligner.

1.2.2. Conventions Internationales

Le Mali a ratifié plusieurs conventions internationales ou Accords Multilatéraux sur l'Environnement (AME) ayant trait à la protection du cadre de vie mais aussi les ressources en eau (Annexe 1). Les conventions les plus importantes sont : la Convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontières des déchets dangereux et de leur élimination ; la Convention de Bamako sur le contrôle des mouvements transfrontières des déchets dangereux en Afrique ; la Convention de Stockholm sur les Polluants Organiques Persistants (POPs) ; la Convention de RAMSAR sur les zones humides et les espèces d'oiseaux.

1.2.3. Cadre Législatif et réglementaire

Il porte essentiellement sur les lois, les décrets, arrêtés et décisions importants qui sont :

¹⁸ Les ressources en eau de surface proviennent du **fleuve Niger** et de ses affluents (écoulement moyen annuel de 46 milliards de m³), du **fleuve Sénégal** et de ses affluents (10,5 milliards de m³), du **Sourou** affluent de la **Volta Noire** et de sites naturels ou aménagés (15 milliards de m³). (Profil Environnemental du Mali, 2014)

- La loi N° 92-013/AN-RM du 17 septembre 1991, instituant un système national de normalisation et du contrôle de qualité.
- La loi N°01 - 020 du 30 mai 2001 relative aux pollutions et aux nuisances.
- La loi N°02 - 006 du 31 janvier 2002 portant code de l'eau ;
- Le décret N° 01-395/P-RM du 06 septembre 2001 fixe les modalités de gestion des eaux usées et des gadoues. Son article 10 stipule que « *Toute unité industrielle doit être pourvue d'un équipement de traitement des eaux usées* ».
- Le décret N° 01-397 /P-RM du 06 septembre 2001 fixant les modalités de la gestion des polluants de l'atmosphère.
- Le décret N°08-346/P-RM du 26 juin 2008 relatif à l'étude d'impact environnemental et social. Il a abrogé les dispositions antérieures contraires du décret N°03-594/P-RM du 31 décembre 2003 relatif à l'Etudes d'Impact sur l'Environnement (EIE) ;
- Le décret N°20014-0474/P-RM du 23 juin 2014 fixant la redevance du service public d'assainissement ;
- L'Arrêté N°06-2667/MIC-SG du 7 novembre 2006 portant homologation de projets de normes en normes maliennes : normes eaux usées-spécifications ;
- Arrêté interministériel N°09-0767/MEA-MEIC-MEME-SG du 06 avril 2009 rendant obligatoire l'application des normes Maliennes de rejet des eaux usées. Dans son article 1^{er} *il rend obligatoire le respect de la norme MN-03-02/002 :2006 eaux usées spécifications.*
- Décision N°2015-0012/MEADD-ANGESEM du 25 mars 2015 fixant les niveaux acceptables des différents polluants dans les effluents des unités industrielles raccordées au réseau d'égouts de Sotuba.

1.2.4. Cadre institutionnel en matière d'environnement

Le Ministère de l'Environnement, de l'Assainissement et du développement durable (MEADD) est le département en charge des questions environnementales et des ressources naturelles. Pour mener à bien sa mission, le ministère s'appuie sur 2 services centraux et 3 agences :

- la Direction nationale de l'Assainissement, du Contrôle des Pollutions et des Nuisances (DNACPN) : a pour mission l'élaboration des éléments de la politique nationale en matière d'assainissement et du contrôle des pollutions et des nuisances et d'en assurer l'exécution.
- la Direction nationale des Eaux et des Forêts (DNEF) : se consacre entre autres à la protection du domaine forestier à travers la surveillance des principales formations forestières, parcs nationaux et aires protégées pour la conservation de la biodiversité.

- l'Agence du bassin du fleuve Niger (ABFN) : créée en 2002 elle a pour mission la sauvegarde du fleuve Niger, de ses affluents et de leurs bassins versants, sur le territoire de la République du Mali et la gestion intégrée de ses ressources.

- l'Agence pour l'Environnement et le Développement Durable (AEDD) s'occupe du cadre de concertation sur les questions de politiques environnementales. Elle a été créée en 2010, pour remplacer le Secrétariat Technique Permanent du Cadre Institutionnel de Gestion des Questions Environnementales (STP/CIGQE) créé en 1998.

- l'Agence Nationale de Gestion des Stations d'Épuration au Mali (ANGESEM) : créée en 2007, a un statut d'EPA (Etablissement Public à caractère Administratif) dotée d'une personnalité morale et d'une autonomie financière. Elle a pour mission d'assurer, entre autres, la gestion durable des stations d'épuration des eaux usées et des ouvrages annexes.

Le Ministère de l'Energie, des Mines et de l'Eau :

- La Direction Nationale de l'Hydraulique (DNH) : est chargée entre autres d'élaborer et mettre en œuvre les éléments de la Politique Nationale de l'Eau au Mali (études, gestion, mobilisation, mise en valeur, législation sur l'utilisation). Le terme assainissement n'est pas mentionné dans son ordonnance de création N°99-014/P-RM du 01 avril 1999, mais il se trouve dans le décret N°99-185/P-RM du 05 juillet 1999 fixant l'organisation et les modalités de fonctionnement de la DNH en ses articles 8, 9 et 10.

- Laboratoire National des eaux (LNE) : a en charge le suivi et le contrôle de la qualité des eaux au Mali. Les missions qui lui sont assignées visent à :

- ✓ Faire l'échantillonnage et caractériser les eaux du fleuve à l'aide de l'analyse physicochimique, bactériologique, toxicologique et sédimentologique,
- ✓ Créer une banque de données chimique en matière de l'eau au Mali.

A l'issue de ce chapitre, des connaissances de bases ont été fournies sur la gestion des eaux usées et la politique environnementale du Mali. Un accent particulier a été mis sur la technologie du lagunage naturel. Il ressort de la littérature que le lagunage naturel est un procédé très délicat dont le principe de fonctionnement repose sur une parfaite symbiose entre différentes catégories d'organismes (algues planctoniques, bactéries aérobies, bactéries anaérobies, protozoaires...). De plus, plusieurs paramètres physiques (pH, température) ou chimiques (métaux lourds) peuvent perturber le procédé de traitement du « lagunage naturel ». Une bonne connaissance de ces aspects, a beaucoup facilité la méthode de recherche adoptée dans le cadre de cette étude. Cette démarche méthodologique fera l'objet du prochain chapitre (chapitre 2).

CHAPITRE 2 : PRESENTATION DE LA STATION D'EPURATION DE SOTUBA ET METHODOLOGIE D'EVALUATION DE LA PERFORMANCE DE LA STATION ET DE SON IMPACT SUR LE FLEUVE

Dans la première partie de ce chapitre est présentée la station d'épuration (STEP) de Sotuba. La deuxième partie du chapitre décrit la démarche méthodologique adoptée. Enfin la dernière partie porte sur les différentes normes utilisées comme base d'évaluation. En effet l'articulation du chapitre en ces points permet d'avoir les informations sur les ouvrages de la STEP ainsi que sur son fonctionnement actuel. Ensuite la démarche méthodologique met l'accent sur les différentes étapes de la recherche et la délimitation de la zone d'étude.

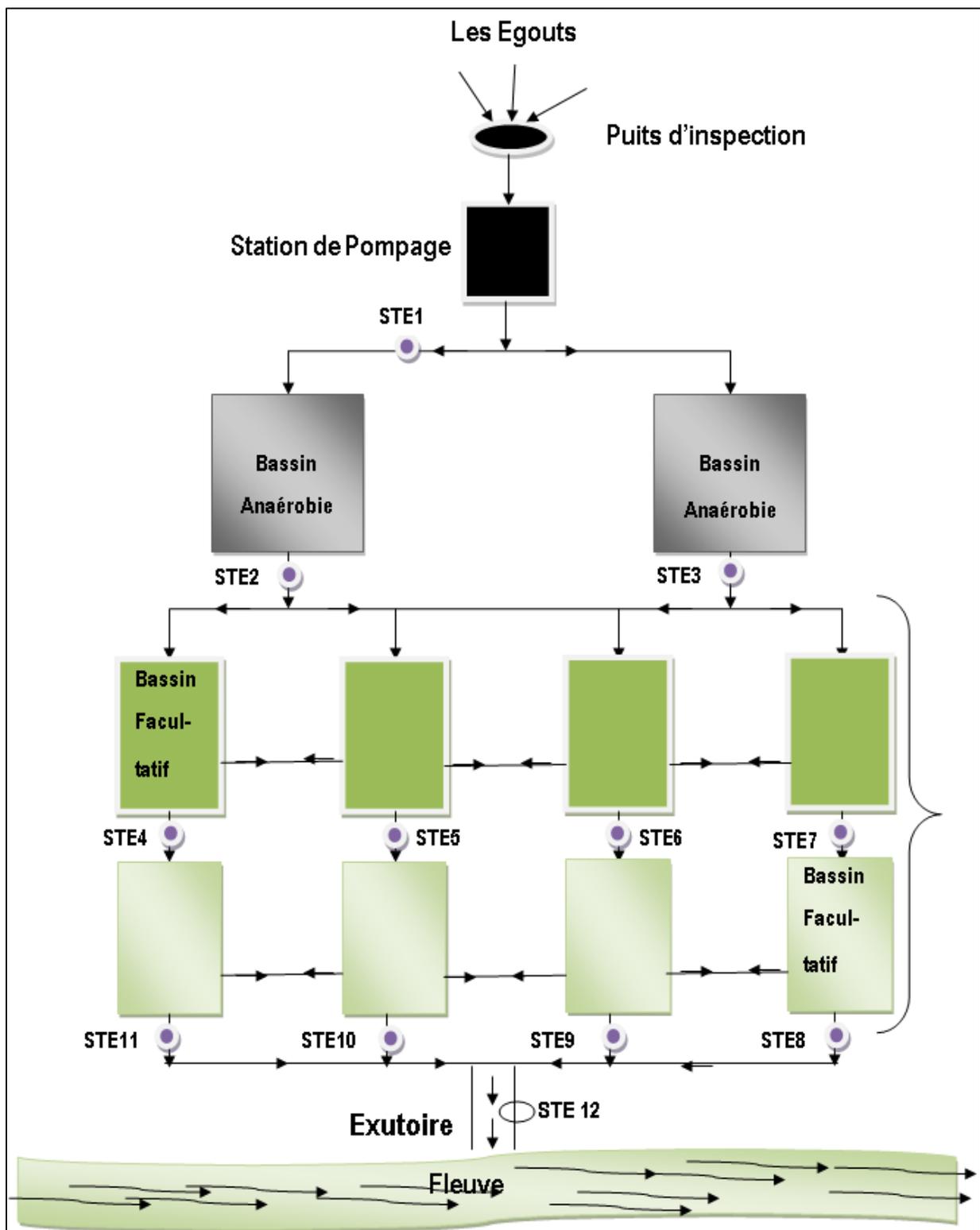
2.1. Présentation de la station d'épuration de Sotuba

Elle est conçue pour traiter les déchets liquides (effluents) d'une soixantaine d'unités de la zone industrielle de Sotuba avant leur rejet dans le fleuve Niger. Son procédé épuratoire est le lagunage naturel dont le principe de traitement est basé sur de longs temps de séjour dans des bassins creusés dans le sol. Le temps de séjour des eaux usées à la station d'épuration (STEP) de Sotuba est donc de 22 jours¹⁹. Les bassins anaérobies ont été dimensionnés pour retenir les eaux usées pendant au moins 3 jours cependant dans chacun des bassins facultatifs en série les eaux usées séjourneront pendant 9 jours. La disposition des bassins est telle qu'une série comprend un bassin anaérobie et 4 bassins facultatifs (disposés deux à deux en parallèle) (figure 1).

2.1.1. Dimensionnement de la station de Sotuba

La station d'épuration des eaux usées de Sotuba, avec une capacité de 5000 m³/jour d'eaux (soit 1825000 m³/an) a été conçue pour gérer les eaux usées de la zone industrielle du District de Bamako. Elle est dimensionnée pour recevoir 34400 m³/an d'eaux usées domestiques provenant de 288 concessions et 1,1 millions de m³/an d'effluents prétraités de 57 unités industrielles auxquels devraient s'ajouter 6263 m³/an d'eaux usées issues de 94 garages. L'adduction à la station d'épuration se fait par un réseau d'égouttage d'une longueur de 7,5 Km sur lequel sont connectés les rejets industriels. La station comporte les ouvrages suivants :

¹⁹ PAZIS : rapport du projet de réseau des égouts en date du 09 juin 2005. Réalisé par Witteveen+Bos Ingénieurs-Conseils (Bureau d'étude Néerlandais).



STE = Site de prélèvement

Source : ANGESEM, 2007.

Figure 2: Dispositif de la station d'épuration des eaux usées de Sotuba

2.1.1.1. Ouvrages de traitement des eaux usées

- Deux (2) vis d'Archimède d'une capacité de 300m³/heure chacune pour le relevage des eaux afin que celles-ci puissent s'écouler gravitairement dans l'ensemble des ouvrages de traitement jusqu'au rejet dans le fleuve ;
- Deux (2) lagunes anaérobies (longueur : 48m, largeur : 28m, hauteur : 4m) permettant une première décantation des matières en suspension ainsi qu'une digestion des boues formées ;
- Huit (8) lagunes facultatives (longueur : 114m, largeur : 25m, hauteur : 1,70m) permettant suite au traitement effectué dans les lagunes précédentes, la minéralisation des boues. Ces lagunes sont le siège d'un développement d'algues microscopiques qui, par la production, favorisent l'installation d'une population de bactéries. C'est l'ensemble de cet écosystème (algues et bactéries) qui permet l'épuration des eaux avant leur rejet dans le fleuve Niger.

2.1.1.2. Ouvrages de traitement des boues

Les boues accumulées au fond des différents bassins doivent être vidangées de temps en temps afin de limiter la réduction du volume utile et la production d'odeur. Cette accumulation de boues se présente sous 2 formes :

- En cône de sédimentation à l'arrivée des eaux brutes dans le premier bassin
- En sédimentation uniforme dans tous les bassins.

Théoriquement, l'enlèvement de ces boues se pratique comme suit :

- Tous les 1 à 5 ans par pompage pour les cônes de sédimentation ;
- Après 10 ans pour la sédimentation uniforme (pompage ou pelle mécanique).

Une fois soutirée, les boues sont déposées sur 8 lits de séchage d'une superficie totale de près de 5500 m² pour y être déshydratées.

2.1.2. Fonctionnement de la station de Sotuba

Actuellement, 26 unités industrielles sont connectées à la station d'épuration dont le fonctionnement en continu a débuté en 2011. Parmi ces unités industrielles, treize sont équipées d'unités de prétraitement pour réduire les charges polluantes des eaux résiduaires avant le déversement dans le réseau d'égouts et treize autres ne sont équipées d'aucun dispositif de prétraitement. La quantité totale d'eaux usées produites par ces unités industrielles est estimée à 3 500 m³/jour. Compte-tenu de la déconnexion de certaines unités du réseau d'égouts suite au non-respect des valeurs admissibles fixées et la fermeture d'autres, la quantité est évaluée à 1700m³/jour, qui est quasiment égale à la moitié de sa capacité actuelle de traitement. Présentement, la station fonctionne sur une seule ligne (1 bassin anaérobie et 4 bassins facultatifs).

2.2. Méthode de recherche

Dans le but d'atteindre les objectifs de notre étude nous avons adopté une démarche méthodologique axée sur deux volets complémentaires. Un premier volet analytique, basé sur les prélèvements d'échantillons pour l'analyse au laboratoire. Et un second volet descriptif qui a consisté à collecter des données qualitatives par une enquête de terrain. Ces deux volets ont été soutenus par les entretiens semi-structurés et la revue bibliographique qui ont consisté à collecter des données supplémentaires sur le domaine d'étude. Ainsi, l'ensemble des données obtenues nous a permis d'évaluer les impacts potentiels de la STEP de Sotuba sur le fleuve Niger.

2.2.1. Délimitation de la zone d'étude

La commune II du district de Bamako²⁰ a une superficie de 16,81Km². Elle est constituée de 11 quartiers (Figure 3) dont la zone industrielle, la cité du Niger, TSF, Niaréla, Bozola, Bagadadji, Quinzambougou, Bakaribougou, Medina-Coura, Missira et hippodrome. Le fleuve Niger et les vieux quartiers de la commune II sont étroitement liés. En effet la ville de Bamako a été créée au 16ème Siècle par les NIARE (famille fondatrice du village de Bamako et du quartier Niaréla). La ville s'est développée en premier lieu sur la rive gauche du fleuve Niger entre le marigot de Woyowayanko et le marigot Banconi. La zone d'étude en occurrence la zone industrielle est localisée sur cette même rive gauche du fleuve Niger.

Pour l'étude descriptive une zone de collecte allant du pont des martyrs (latitude N12,63345 et longitude W007,99390) à la chaussée submersible de Sotuba (latitude N12,64688 et longitude W007,93017) a été délimitée. Elle s'étend sur une distance approximative de 10 km à vol d'oiseau. La délimitation a pris en compte le fait que la station d'épuration de Sotuba est une source ponctuelle de rejet mais aussi le souci d'avoir un échantillon représentatif.

²⁰ Les informations ayant permis la description de la zone d'étude proviennent essentiellement du Rapport d'étude sur la monographie de la Commune II du District de Bamako. (Mairie C/II, 2012).

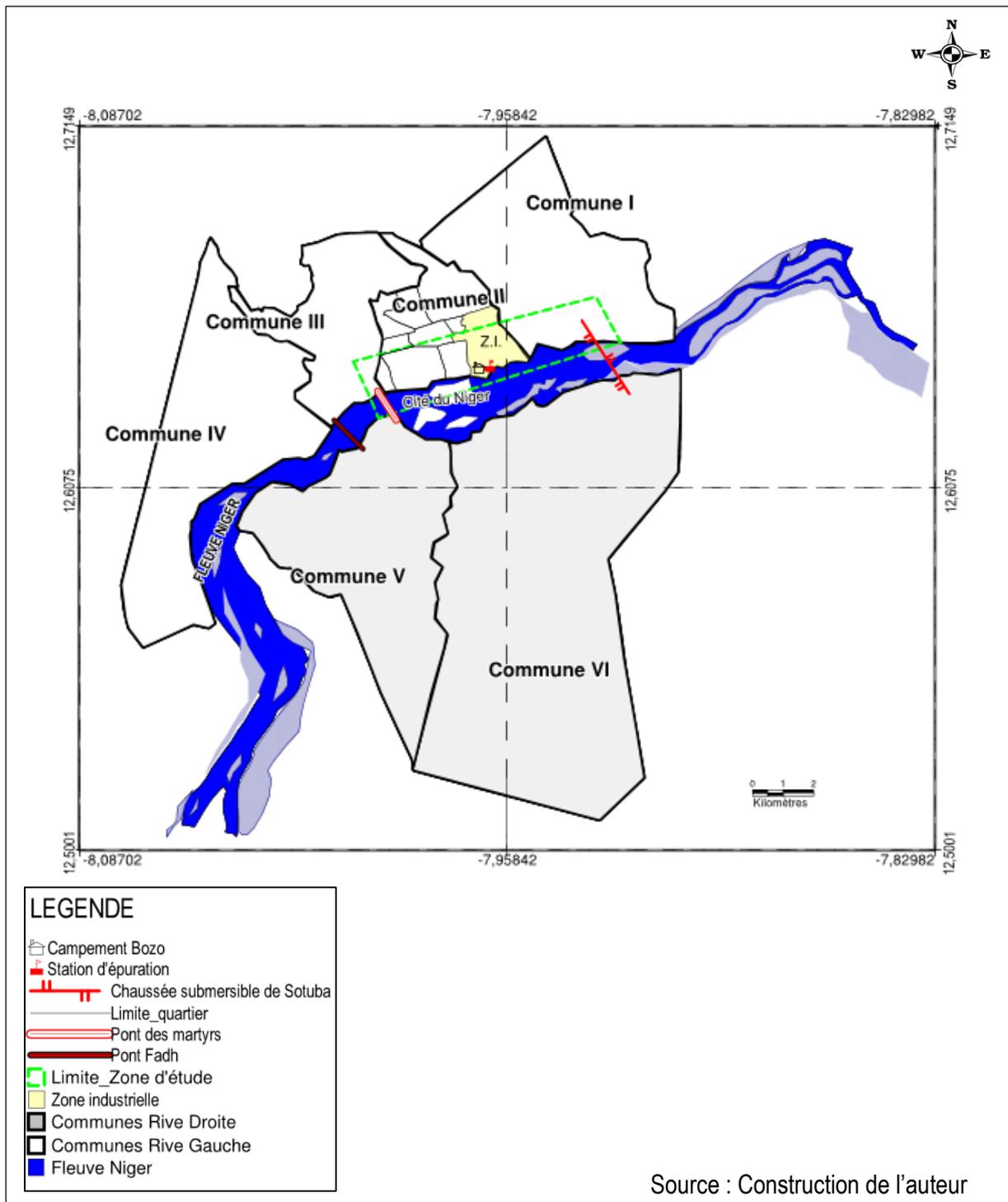


Figure 3 : Carte des six communes du district de Bamako

2.2.2. Prélèvement et Analyse des échantillons

Cette méthode nous permet de caractériser la composition des effluents industriels entrant dans la station et des rejets épurés de la station afin d'avoir une idée à la fois sur la performance de la station dans l'abattement des polluants et sur la qualité des eaux rejetées par la STEP. Les résultats obtenus sont comparés à la norme Malienne de rejet en matière des eaux usées.

2.2.2.1. Points de prélèvement

Trois séries de prélèvement ont été effectuées de Juin à Août 2016 en quatre (4) points dont deux (2) au niveau de la station (à savoir à l'entrée et à la sortie de la station au niveau de l'exutoire) et deux (2) au niveau du fleuve (en amont et en aval de l'exutoire).

Les échantillons ont été prélevés dans des contenants en plastique (flacons de 1,5L) préalablement lavés et rincés par l'eau des points de prélèvement. Les échantillons non analysés sont stockés à froid (4°C) et réchauffés à la température ambiante pour besoin d'analyse. En effet le mode de prélèvement adopté est la prise instantanée (ponctuelle). Au total 24 échantillons ont été prélevés en raison de deux échantillons (2 flacons de 1,5L) par point de prélèvement.

Pour cette étude l'ensemble des analyses a été effectué au laboratoire de l'antenne régionale de l'ANGESEM du district de Bamako, par le personnel technique.

2.2.2.2. Paramètre analysés

Les paramètres pris en compte dans la caractérisation des rejets de la STEP de Sotuba appartiennent aux catégories suivantes :

- **Paramètres physiques** : la température, les matières en suspension (MES) et la turbidité
- **Paramètres chimiques** : le pH, la conductivité électrique (CE), la demande chimique en oxygène (DCO), la demande biochimique en oxygène (DBO5), Phosphates, Nitrates et les Nitrites.
- **Paramètres de toxicité** : il s'agit de certains métaux lourds qui sont des micropolluants. Pour la présente étude le chrome VI, le Fer et le Zinc ont été pris en compte.

Ces catégories de paramètres pris en compte ne constituent pas une liste exhaustive. Mais ils sont suffisants pour fournir des données qui pourront permettre l'évaluation des impacts environnementaux et sociaux de la STEP de Sotuba sur le fleuve Niger à Bamako vue les types d'industries qui sont raccordées (connectées) à la station.

La quasi-totalité des analyses ont été effectués par les méthodes normalisées AFNOR²¹.

2.2.3. Collecte de données primaires

Dans le cadre de ce travail de recherche, ont été collectées les informations et données relatives aux services écosystémiques (sociaux et culturels) fournis par le fleuve Niger dans la zone d'étude ainsi que la manière dont ceux-ci peuvent être impactés par les rejets issus de la station. Pour ce faire un outil de collecte a été élaboré (annexe 5) et le public visé était les riverains, usagers du fleuve ou autres acteurs intervenant sur le champ d'étude. La procédure appliquée pour la collecte des données était d'administrer les questionnaires aux riverains rencontrés le jour du passage de l'enquêteur.

²¹ Association Française de Normalisation

Ainsi, les enquêtés appartenait entre autres à la catégorie des pêcheurs (professionnels et amateurs), maraîchers, les ménages du campement Bozo²² se trouvant à 50 m de la station, les ménages de la cité²³ du Niger et les lavandières (femmes qui vont au fleuve pour la lessive). Au total 58 individus ont été concernés par l'enquête.

Tableau 1 : Répartition des enquêtés (auteur, 2016)

Catégorie d'enquêtés	Nombre d'enquêtés
Pêcheurs	22
Maraîchers	12
Lavandières	09
Ménages du campement Bozo	10
Ménages de la cité du Niger	5
Total	58

Les questionnaires portaient sur les services rendus par le fleuve dans la zone d'étude notamment ceux sociaux et culturels (d'où la pertinence de la réalisation d'un inventaire culturel selon les orientations²⁴ de la convention de Ramsar). Aussi, ils portaient sur la perception des enquêtés sur les impacts positifs et négatifs de la STEP de Sotuba sur le fleuve Niger ainsi que les solutions à mettre en place dans le cas où le fonctionnement de la station est source de problèmes environnementaux ou sociaux.

2.2.4. Entretiens semi structurés

Les enquêtes ont été complétées par des entretiens semi-structurés réalisés avec les services techniques partenaires de l'eau et les autorités de la commune II du district de Bamako, à l'aide d'un guide d'entretien élaboré à cet effet. Il comporte des questions relatives aux activités pratiquées à la périphérie de la zone, au rôle que joue la station dans le maintien de l'équilibre écologique du fleuve, aux problèmes auxquels est confrontée la station dans son fonctionnement et les mesures pouvant être envisagées pour optimiser le fonctionnement de la station.

Ainsi nous avons pu consulter entre autres la Direction Nationale des Eaux et Forêts (DNEF), l'Agence du Bassin du Fleuve Niger (ABFN)²⁵, l'Institut des Sciences Appliquées (ISA) de l'Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako (USTTB), la Direction Générale de

²² Les Bozos sont une ethnie spécialisée dans la pêche au Mali, ils ont un campement contigu à la station d'épuration de Sotuba. En réalité le dit campement Bozo est majoritairement peuplé par les Bozos mais on peut rencontrer d'autres ethnies.

²³ Cité du Niger est un îlot aménagé en quartier résidentiel situé à 1km au Sud-Ouest de la STEP de Sotuba.

²⁴ Dave P et al., 2016 : *Document d'orientation (Inventaires culturels rapides des zones humides)*. RAMSAR. 30p

²⁵ ABFN à ne pas confondre avec l'ABN (Autorité du Bassin du Niger), est une agence qui a été mise en place en Mars 2002 par l'état Malien et est dotée d'une mission d'observatoire et d'impulsion du développement. Elle participe à la recherche de réponses adaptées aux besoins émanant de plusieurs niveaux, pour une utilisation durable du Fleuve et des ressources de son bassin au Mali.

l'Hydraulique (DGH), le Laboratoire Nationale des Eaux (LNE) et la Direction Nationale de l'Assainissement, du Contrôle de la Pollution et des Nuisances (DNACPN).

Aussi, il est important de signaler que nous avons rapproché la Direction Nationale du Patrimoine Culturel (DNPC) pour mieux cerner le volet culturel des services écosystémique du fleuve Niger à Bamako (le long de la commune II du district de Bamako).

2.3. Normes de rejet d'eaux usées dans le milieu naturel

Les normes peuvent avoir une visée environnementale « les normes destinées à la protection des ressources » ou sanitaire « les normes destinées à la protection de la santé humaine ». Loin d'être ambivalentes ou opposées ces deux (2) catégories sont complémentaires d'égale importance et doivent répondre aux mêmes degrés d'exigence (Hénaut, 2011)²⁶. La réglementation en matière de normes de rejets joue un rôle important. Elle crée un besoin de traitement et oriente à cet effet le choix des technologies appropriées (Sasse, 1998). Les résultats des analyses du laboratoire seront comparés aux normes maliennes et OMS en matière de rejet d'eaux usée dans le milieu naturel et qualité des eaux de surface. Une partie de ces normes est consignée dans les tableaux suivants.

Tableau 2: Normes Maliennes et internationales de rejet des eaux usées

Paramètres	Unité	Normes Maliennes (2009)	Directive Européenne ^{a*}	Normes internationales ^b
Température	°C	<40	-	<30
pH	-	6,5-9,5	-	6,5 - 8,5
Conductivité	µs/cm	≤ 2500	-	-
MES	mg/l	≤30	35	20 - 100
Turbidité	NTU	≤150	-	-
Nitrates	mg/l	≤ 30	-	-
Azote total	mg/l		10 - 15	-
phosphore	mg/l	≤ 10	1 – 2	-
Chrome VI	mg/l	≤ 0,2	-	0,2 - 2
Fer	mg/l	≤ 2	-	-
Zinc	mg/l	≤ 0,5	-	-
DCO	mg/l	≤150	125	75 - 120
DBO ₅	mg/l	≤ 50	25	10 - 50

^a La directive européenne du 21 mai 1991 relative au traitement des eaux urbaines résiduaires (91/271/CEE) ; ^b d'après Tissem A. (2007).

²⁶ L'encadrement réglementaire de l'eau basée sur les recommandations de l'OMS répond à un objectif de santé publique, mais l'amélioration de la qualité de l'eau nécessite une politique de protection efficace de l'environnement, capable de garantir une capacité d'autoépuration suffisante. (Hénaut, 2011).

Tableau 3: Critères d'appréciation de la qualité des eaux de surface (Source OMS)²⁷

Paramètres	Classe de qualité				
	excellente	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise
Oxygène Dissous (mg/l)	> 7	7 - 5	5 - 3	3-1	< 1
pH	6,9 – 8,6	6,5 - 6,8 /8,7-9	6,2-6,4/9,1-9,3	5,8 – 6,1 / 9,4-	< 5,8
Nitrates (mg/l)	< 0,5	0,50 - 1,00	1,00 - 2,00	2,01 - 5,00	> 5,00
Nitrites (mg/l)	< 0,01	0,01 - 0,1	0,1 - 1	1 - 5	> 5,0
Ion ammonium (mg/l)	≤ 0,1	0,1-0,5	0,5- 1,5	1,5-5	>5,0
Orthophosphates (mg/l)	≤ 0,1	0,1 - 0,3	0,3 - 0,5	0,5-5	> 5,0
Turbidité (NTU)	≤ 2,3	2,4 - 5,2	5,3 - 9,6	9,7 - 18,4	> 18,5
MES (mg/l)	≤ 6	7-13	14 - 24	25 - 41	> 41

Tableau 4: Les teneurs admissibles des métaux dans la qualité des eaux pour l'irrigation, le bétail et la vie aquatique. (Source OMS)*

Normes de qualité des eaux	Métaux						
	Fe	Zn	Cu	Mn	Ni	Cd	Pb
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Normes eau Boisson/OMS	0,3	ND	2	ND	0,2	0,003	0,01
Pour l'Irrigation	5	1 - 5	0,2 - 1	0,2	0,2	0,001	0,2
Pour le Bétail	10	20 - 50	0,5 - 5	10	0,005 - 1	0,08 - 0,1	0,1
Pour le milieu aquatique	1	0,12	0,009 - 0,013	ND	0,052 - 0,47	0,0043	0,025 - 0,065
ND = Non déterminé							

Ce chapitre vient compléter le premier chapitre en donnant les informations supplémentaires sur le sujet traité. Il s'agit tout d'abord de la présentation de la station de Sotuba et de la zone d'étude. Par la suite il a décrit l'approche méthodologique qui était axée sur deux volets complémentaires : à savoir analytique et descriptif. Il a terminé par donner les normes et valeurs limites qui ont été utilisées dans l'analyse des données.

Ainsi, le prochain chapitre qui porte sur l'analyse des données dispose de tous les éléments permettant d'évaluer la qualité des rejets de la station. En effet le chapitre 3 présente les résultats obtenus dans le cadre du premier objectif spécifique assigné à cette étude.

²⁷ Selon le Laboratoire National des Eaux du Mali : Bulletin n°01_2015 suivi de la qualité eau du Fleuve Niger Page 5. Cependant nous avons retrouvé ces valeurs dans les différentes directives de l'OMS.

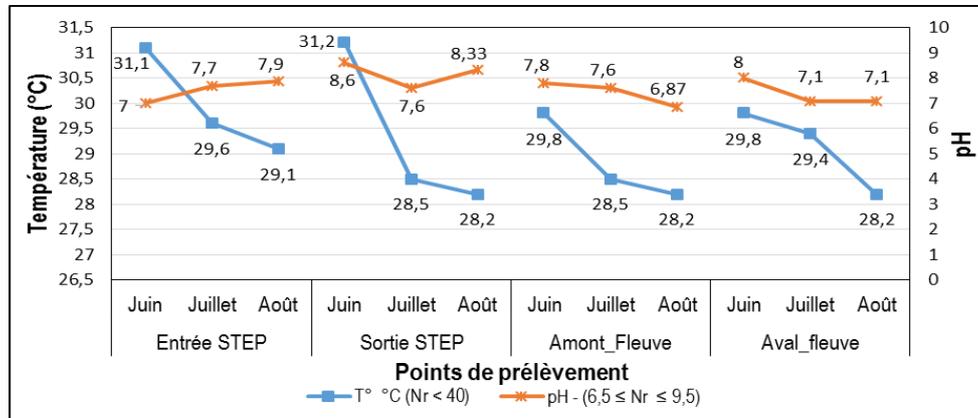
CHAPITRE 3 : CARACTERISATION DES REJETS DE LA STATION DE SOTUBA, DESCRIPTION DES SERVICES FOURNIS PAR LE FLEUVE NIGER DANS LA ZONE D'ETUDE

Ce chapitre s'articule autour de trois points, il commence par la caractérisation des rejets de la station et l'évaluation de la qualité de l'eau du fleuve en amont et en aval de l'exutoire de la station. Dans sa deuxième partie il analyse le comportement du fleuve Niger face à quelques paramètres physicochimiques le long de la ville de Bamako. Cette analyse est basée sur les données du Laboratoire Nationale des eaux du Mali (LNE) pour l'année 2015. Le LNE dispose de 15 stations de contrôle du fleuve Niger à Bamako (de l'amont en aval). La troisième partie de ce chapitre décrit les principaux services écosystémiques rendus par le fleuve Niger dans la zone d'étude.

3.1. Caractéristiques des rejets de la station de Sotuba

Les résultats d'analyses sont consignés dans l'annexe 2. Ils feront l'objet d'interprétation et discussions à l'aide d'une part des normes (Maliennes et OMS) et d'autre part des travaux relatifs au sujet traité au Mali et ailleurs.

- **Température et pH** : en général, l'ensemble des valeurs de la température (figure 4) respectent les normes maliennes de rejet des eaux usées ($Nr^{28} \leq 40^\circ C$). Elles varient entre $28,2^\circ C$ et $31,2^\circ C$. De même les valeurs du pH enregistrées à la sortie sont dans les normes ($6,5 \leq Nr \leq 9,5$). Elles fluctuent entre 7,6 (mois de juillet) et 8,6 (mois de juin).



Source : construction de l'auteur

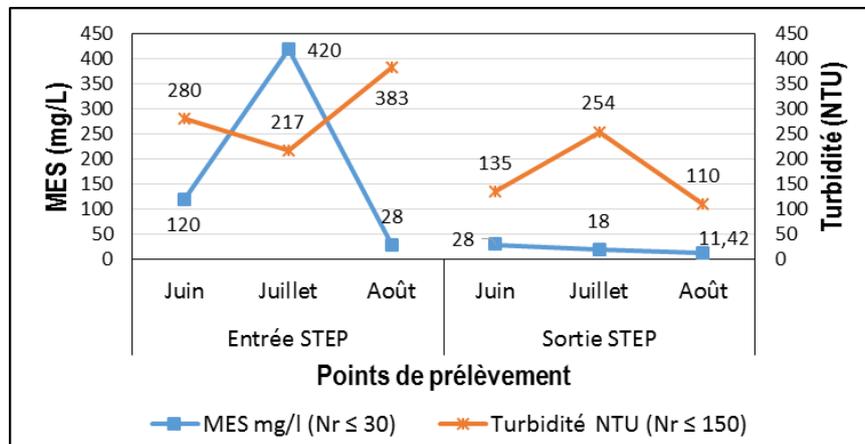
Figure 4: Evolution de la température et du pH au niveau de la STEP de Sotuba et du Fleuve Niger

Les valeurs de la température observées en amont varient entre $29,8$ et $28,2^\circ C$. La température semble diminuée entre les mois de juin où le maximum est observé et août où la plus petite amplitude est enregistrée. Cette tendance est également observée en aval de la STEP avec pratiquement les mêmes amplitudes ($29,8^\circ C$ en juin et $28,2^\circ C$ en août). Quant au pH il présente des valeurs légèrement supérieures en aval (variant 8 et 7,1) comparées aux valeurs observées en amont (variant entre 7,8 et

²⁸ Nr est utilisé dans ce document pour indiquer normes de rejet des eaux usées

6,87). Cela dénote une éventuelle influence du pH par les rejets de la STEP. Cependant selon les critères OMS ces valeurs sont d'une qualité excellente car comprises entre la plage de pH 6,9 - 8,6.

- **MES et Turbidité** : les matières en suspension à la sortie de station sont conformes aux normes maliennes ($Nr \leq 30$ mg/L) et européennes ($Nr \leq 35$ mg/L) de rejet des eaux usées. A l'entrée de la STEP le maximum de MES (420 mg/L) est enregistré au mois de Juillet ; la STEP réussie à l'abattre pour la ramener en une valeur de 18 mg/l qui est conforme. La performance²⁹ moyenne de la STEP dans l'abatement de MES est de 89,9% atteignant ainsi les 90% préconisés par les normes européennes. Quant à la turbidité elle excède les normes maliennes de rejet ($Nr \leq 150$ NTU) au mois du juillet où la valeur de 254 NTU a été enregistrée. Pour les deux autres mois les rejets sont conformes aux normes (figure 5). Ces valeurs sont assez différentes de celles obtenues (200 à 328 NTU) par Guindo (2015) excédant toutes les normes de rejet sur une période de 5 mois d'étude (juin à octobre).



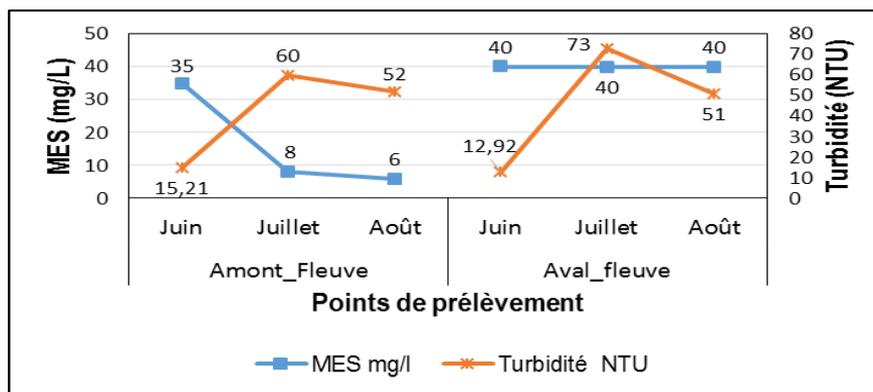
Source : construction de l'auteur.

Figure 5: Evolution des MES et de la turbidité au niveau de la STEP de Sotuba

Sur le fleuve Niger (figure 6), les valeurs enregistrées (MES et turbidité) en aval de la STEP sont quasiment plus élevées qu'en amont. Une particularité concerne les MES où l'on a une valeur quasi stationnaire (40 mg/L). Cette hausse des valeurs en aval peut être en partie attribuée aux rejets de la STEP. Cependant la saison des pluies pourrait avoir une influence la dessus, constat déjà fait par Orange et Palangié (2006)³⁰. Comparées aux normes OMS la qualité du fleuve pour les MES en amont est moyenne (14 - 24 mg/L) excepté le mois de juin où elle est mauvaise ; alors qu'elle est mauvaise (25 - 41 mg/L) en aval. Quant à la turbidité elle est de qualité mauvaise pour le mois de juin et très mauvaise pour les mois juillet et août en aval ainsi qu'en amont. Il y a d'éventuels apports autres que la STEP.

²⁹ La performance (%) se calcule par la formule $P = ((\text{Entrée} - \text{Sortie}) / \text{Entrée}) * 100$. La performance moyenne est obtenue en utilisant les valeurs moyennes des concentrations des paramètres à l'entrée et à la sortie de la station d'épuration.

³⁰ Ces auteurs en menant des études sur plusieurs stations (5) au niveau du Fleuve Niger sur l'axe Bamako-Koulikoro sont arrivés à une conclusion : la DBO5, la DCO et les MES sont presque toujours beaucoup plus élevées par temps de pluie (253 à 452 pour les MES) du fait des eaux de ruissellement qui entraînent de nombreuses matières organiques.

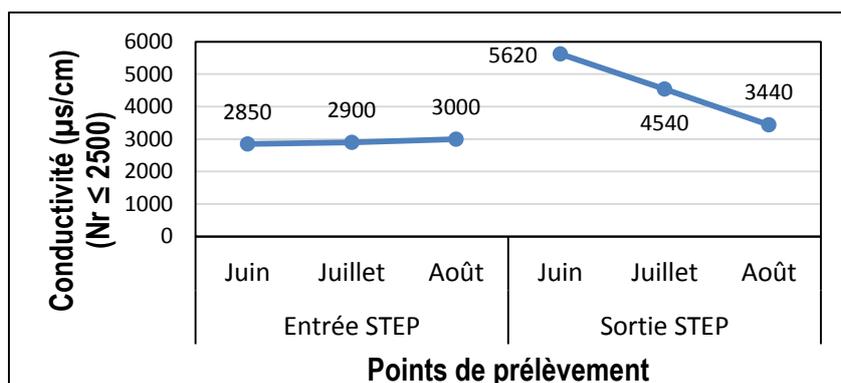


Source : construction de l'auteur.

Figure 6: Evolution des MES et de la turbidité en aval et en amont de la STEP sur le Fleuve Niger à Sotuba

- **Conductivité ($\mu\text{s/cm}$) :**

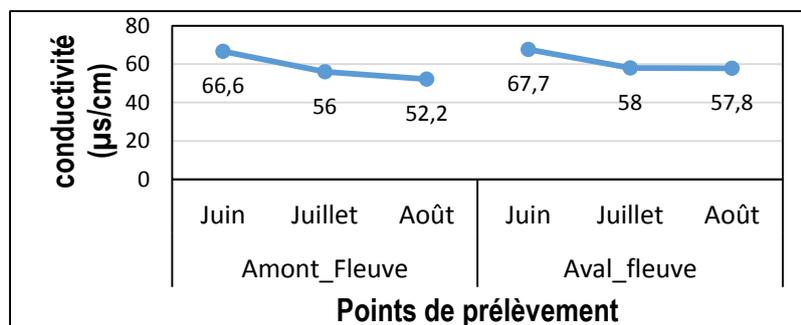
Elle est marquée par une hausse des valeurs entre l'entrée et la sortie (voir figure 7). Elle est synonyme d'une très forte minéralisation³¹ des rejets. Cette tendance vient confirmer les résultats des travaux de



Diawara (2015) et Guindo (2015). Ailleurs, Yonli *et al.* (2010) ont eu des résultats similaires avec le processus de lagunage naturel. A la sortie de la STEP de Sotuba les valeurs sont hors normes ($\text{Nr} \leq 2500$).

Figure 7: Evolution de la conductivité ($\mu\text{s/cm}$) au niveau de la STEP de Sotuba

Quant aux valeurs observées au niveau du fleuve (voir figure 8) elles semblent être légèrement



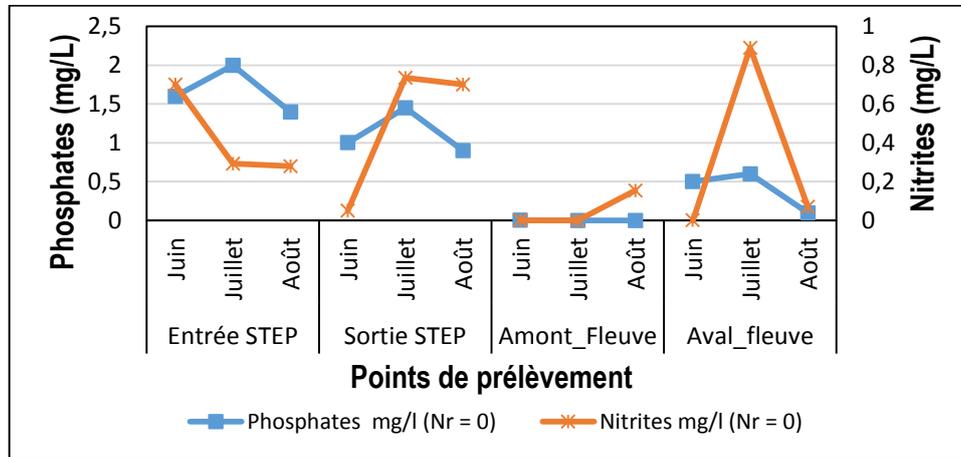
Source : Construction de l'auteur

élevées en aval qu'en amont. Cette situation Témoigne une légère influence de la STEP sur la minéralisation du fleuve. Ces résultats s'accordent avec ceux obtenus par Diawara (2015).

Figure 8: Evolution de la conductivité ($\mu\text{s/cm}$) en aval et en amont de la STEP de Sotuba sur le Fleuve Niger

³¹ Ces effluents sont trop riches en sels minéraux dissous. La conductivité reflète la concentration ionique du milieu.

- **Phosphates et Nitrites** : ces deux paramètres n'ont pas de valeurs limites (normes Maliennes) de rejet dans la nature. Techniquement leur rejet est à proscrire compte tenu de leurs impacts sur le milieu récepteur aquatique. En effet les nitrites sont toxiques pour les poissons et les phosphates causent l'eutrophisation du milieu qui est perceptible à partir de 0,2 mg/L (Laurent, 1994)³².



Source : construction de l'auteur.

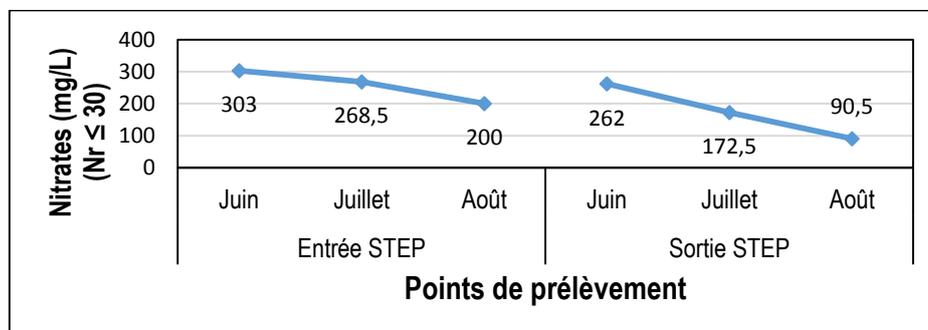
Figure 9: Evolution des phosphates et Nitrites au niveau de la STEP de Sotuba et du fleuve Niger

Le lagunage naturel est réputé pour avoir une certaine performance dans l'abattement du phosphore surtout en ses premières années de fonctionnement (Racault, 1997 ; Berland *et al.*, 2001). Ce qui n'est pas observé à la STEP de Sotuba. En effet, sa performance moyenne s'élève à 33% dans l'abattement des phosphates. A la sortie de la STEP (Figure 9) sa valeur fluctue entre 0,9 et 1,45 mg/L ; ce qui est beaucoup moins comparée à celles obtenues par Diawara (2015). Au niveau du fleuve la présence des phosphates a été décelée en aval de la STEP (0,1 à 0,6 mg/L). Quant aux nitrites, intermédiaires du processus de nitrification/dénitrification, leur présence dans les rejets peut être révélatrice de dysfonctionnement. De ce fait la présence des ions ammoniums est à suspecter. Leur accroissement entre l'entrée et la sortie peut être dû au fait que le processus d'élimination de l'azote s'est arrêté au stade nitrification (formation de nitrites) ou au fait que les masses d'eau prélevées à l'entrée ne correspondent pas forcément à celles mesurées à la sortie. En amont de la STEP sur le fleuve, au mois d'août la présence de nitrites a été observée (0,154 mg/L). En aval c'est au mois de juillet que les nitrites ont été signalés (0,89 mg/L). Selon les normes OMS la qualité des eaux du fleuve au point de prélèvement est moyenne avec une valeur guide comprise entre 0,1 et 1 mg/L de nitrites.

- **Nitrates** : contributeurs au phénomène d'eutrophisation du milieu aquatique, les normes maliennes prévoient une valeur limite ne dépassant pas 30 mg/L (Nr ≤ 30). A la STEP de Sotuba leur élimination est en moyenne de l'ordre 31,95%. Ce qui est relativement faible pour le lagunage naturel.

³² Il y a probabilité de 17 % qu'un lac connaisse l'eutrophisation à partir d'une concentration de 0.15 mg/L.

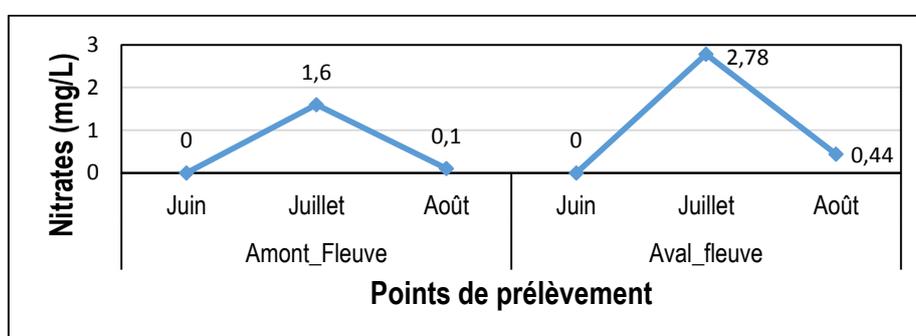
De juin à août les nitrates décroissent (Figure 10) à la fois à l'entrée (303 à 200 mg/L) et à la sortie (262 à 90,5 mg/L). Cependant à la sortie de la STEP les valeurs sont largement supérieures aux normes Maliennes de rejet. La plus petite valeur enregistrée (90,5 mg/L) en août est trois (3) fois supérieure aux normes Maliennes.



Source : Construction de l'auteur.

Figure 10: Evolution des Nitrates (mg/L) au niveau de la STEP de Sotuba

Les valeurs observées à la sortie de la STEP dans la présente étude sont largement supérieures à celles obtenues par Diawara (2015) mais sont dans les mêmes ordres de grandeurs que les valeurs obtenues par Guindo (2015). Au niveau du fleuve (Figure 11) tout comme Diawara (2015) la présence de nitrates a été observée en amont de la STEP. Elles varient entre 0,1 et 1,6 mg/L, ce qui correspond selon les critères OMS à une classe de qualité bonne (0,5 à 1 mg/L) pour août et moyenne (1 à 2 mg) pour juillet.

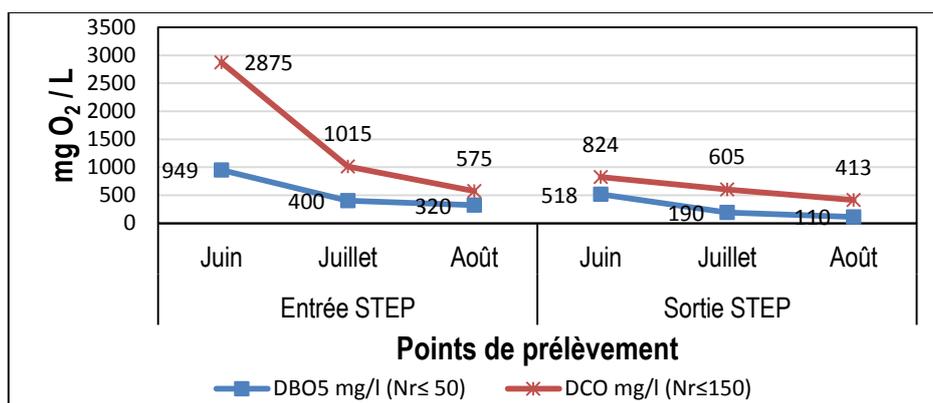


Source : Construction de l'auteur.

Figure 11: Evolution des Nitrates (mg/L) en amont et en aval de la STEP de Sotuba sur le Fleuve Niger
En aval la station semble influencée ponctuellement la teneur en nitrates au niveau du fleuve. Cette teneur varie entre 2,78 (juillet) et 0,44 mg (en août). Selon les critères OMS la qualité est mauvaise (2 à 5 mg/L) en juillet alors qu'en août elle peut être qualifiée d'excellente (< 0,5 mg/L).

- **DBO₅ et DCO** : les performances épuratoires de la STEP de Sotuba dans l'abattement de la DBO et DCO sont respectivement 51,0% et 58,75%. Les deux paramètres présentent les mêmes types de courbe d'évolution, ce qui est compréhensible vu que la DBO est une fraction de la DCO. Les

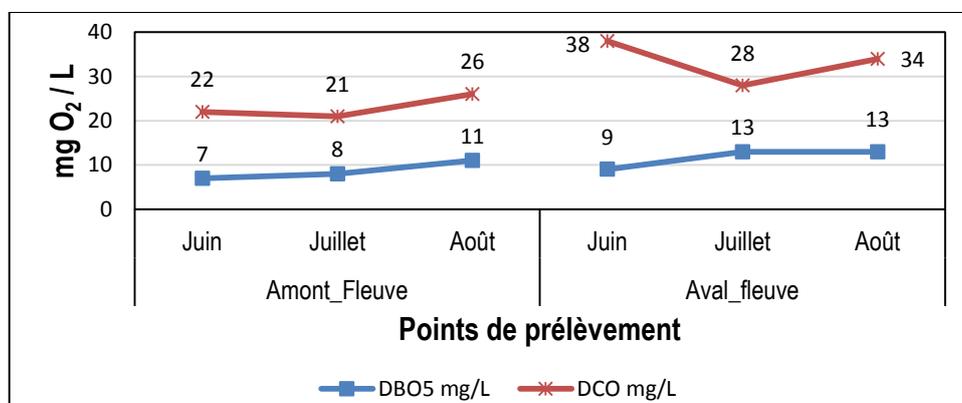
performances sont en deçà des valeurs escomptées du lagunage naturel (70 à 90% DBO et 75 à 85% DCO) selon différentes sources (directive européenne, 1991 ; Berland *et al.*, 2001 et Racault, 1997). A la sortie de la STEP (Figure 12) les valeurs de la DBO₅ oscillent entre 518 mg/L (juin) et 110 mg/L (août). Elles sont hors normes Maliennes (Nr ≤ 50) et européennes (25 mg/L). Quant à la DCO elle décroît entre juin (2875 mg/L) et août (575 mg/L) à l'entrée de la STEP. Elle garde cette même tendance à la sortie où les valeurs fluctuent entre 824 mg/L en juin et 413 mg/L en août. Pour ce paramètre également les valeurs enregistrées à la sortie ne sont pas conformes aux normes maliennes et européennes.



Source : Construction de l'auteur.

Figure 12: Evolution de la DBO₅ et de la DCO au niveau de la STEP de Sotuba

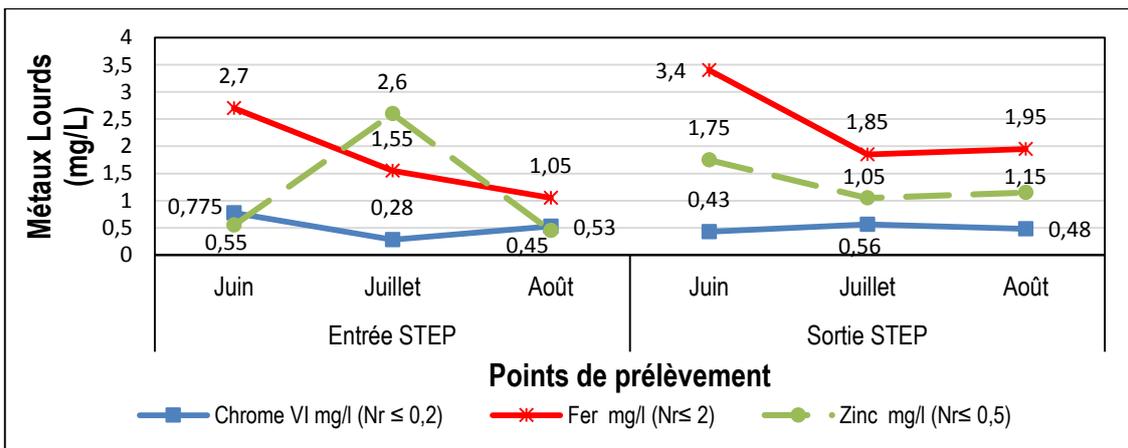
Ces résultats observés à la sortie de la STEP viennent confirmer ceux obtenus par Guindo (2015). Par ailleurs, le rapport DCO/DBO > 3 à la sortie de la STEP démontre le caractère dur (difficilement biodégradable) des rejets pour les mois de juillet et août (respectivement 3,18 et 3,75). La pollution est d'autant plus minérale qu'organique. Au niveau du fleuve Niger (Figure 13) la DBO et la DCO mesurées en amont de la station montrent l'apport d'autres sources diffuses de pollution. Cependant l'apport de la station est aussi perceptible vu les valeurs plus élevées observées en aval pour tous les mois.



Source : Construction de l'auteur.

Figure 13: Evolution de la DBO₅ et de la DCO en amont et en aval du Fleuve Niger

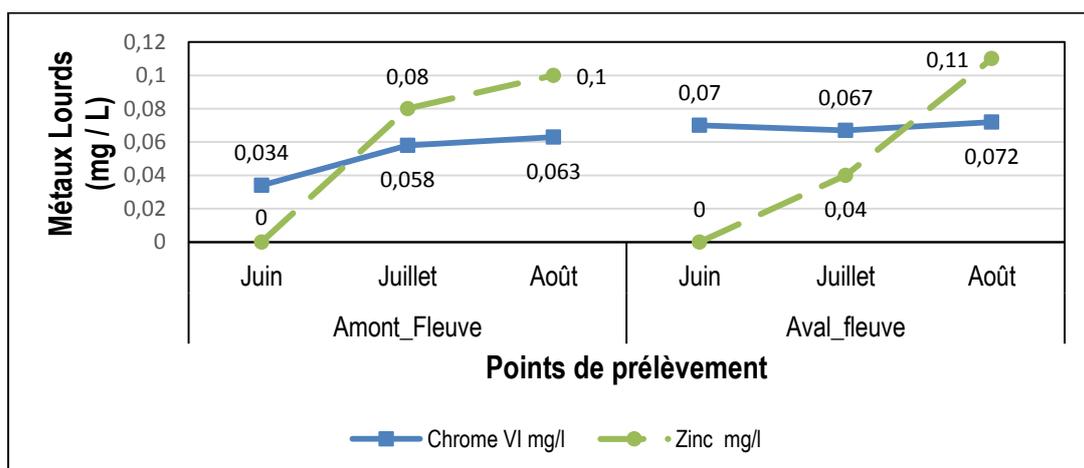
- Les métaux lourds** : dans toute évaluation de l'incidence des rejets industriels sur les milieux aquatiques il faut faire une distinction entre les catégories de polluants organiques biodégradable et ceux inorganiques difficilement biodégradables mais présentant généralement une forte toxicité (Dejoux, 1988 ; Sasse, 1998). Les résultats obtenus sont révélateurs plus d'une fois. Ils montrent des métaux dont la présence peut d'une part nuire le processus de traitement biologique et d'autre part être nocive pour le milieu récepteur. En effet, les résultats montrent l'inefficacité du lagunage naturel à éliminer les métaux (Figure 14). Ce qui confirme les résultats de Diawara (2015) au Mali et de Yonli et al. (2010) ailleurs au Burkina Faso.



Source : Construction de l'auteur.

Figure 14: Evolution des métaux lourds (chrome VI, Fer et Zinc) au niveau de la STEP de Sotuba

Pour le chrome et le zinc les valeurs à la sortie de la STEP de Sotuba sont supérieures aux normes Maliennes de rejet pour l'ensemble des trois (3) mois. Cependant, pour le Fer des valeurs légèrement inférieures aux normes de rejets sont observées pour les mois de juillet et août.

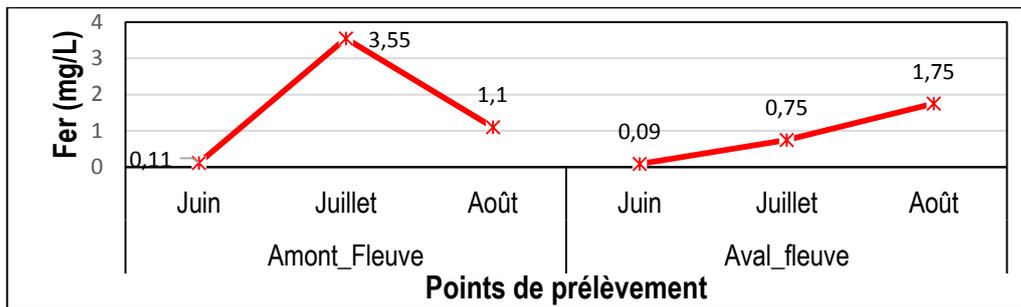


Source : Construction de l'auteur.

Figure 15: Evolution du chrome VI et du Zinc au niveau du fleuve (amont et aval de la STEP)

Sur le fleuve Niger, d'amont en aval ces métaux ont aussi été retrouvés (Figure 15 et 16). Pour le chrome hexavalent les teneurs observées en aval sont toutes supérieures à celles observées en amont.

Par contre pour le fer et le zinc des valeurs anormalement élevées ont été enregistrées pour le mois de juillet en amont de la STEP.



Source : Construction de l'auteur.

Figure 16: Evolution du Fer (mg/L) au niveau du Fleuve Niger (amont et aval de la STEP de Sotuba)
 La teneur en fer dépasse les normes OMS pour la qualité du milieu aquatique (1mg/L) et les normes OMS eau de boisson (0,3mg/L). Quant au zinc il dépasse les normes OMS pour la qualité du milieu aquatique (0,12 mg/L) pour le mois d'août.

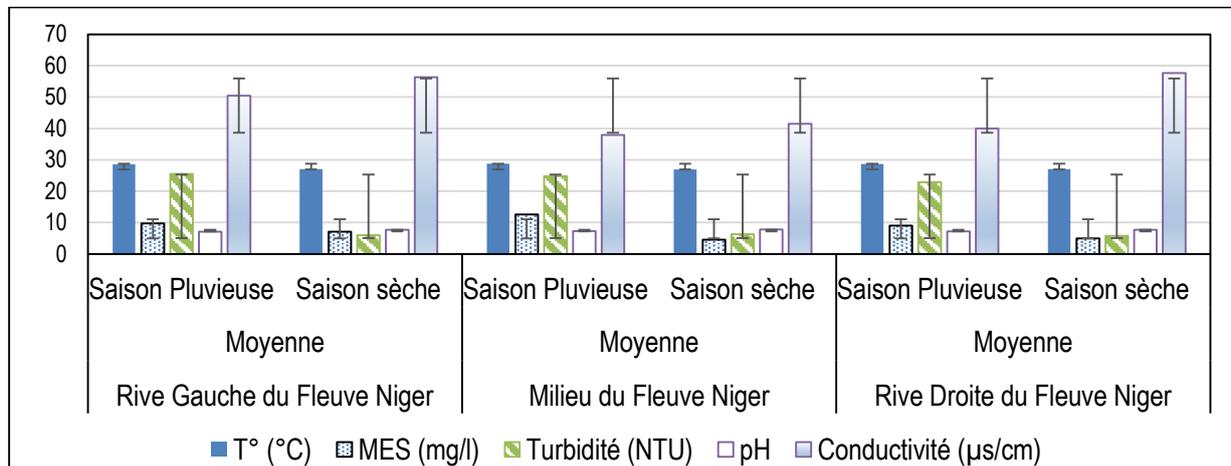
Au-delà de ces trois (3) métaux les travaux de Diawara (2015) ont révélé d'autres métaux lourds qui sont le cadmium (Cd), le Plomb et le Cuivre dans les rejets de la STEP et aussi en amont de la STEP.

En général, les valeurs observées au niveau du fleuve semblent fluctuées. La présence des concentrations souvent plus élevées en amont qu'en aval de la station pour certains paramètres (turbidité, Fer, Zinc) nous indique la présence d'autres sources (ponctuelles et diffuses) de pollution. Il convient donc de voir le comportement du fleuve dans son ensemble face aux différents polluants. Pour ce faire l'étude s'est appuyée sur les données obtenues par le laboratoire national des eaux (LNE) du Mali.

3.2. Comportement du fleuve Niger le long de la ville de Bamako

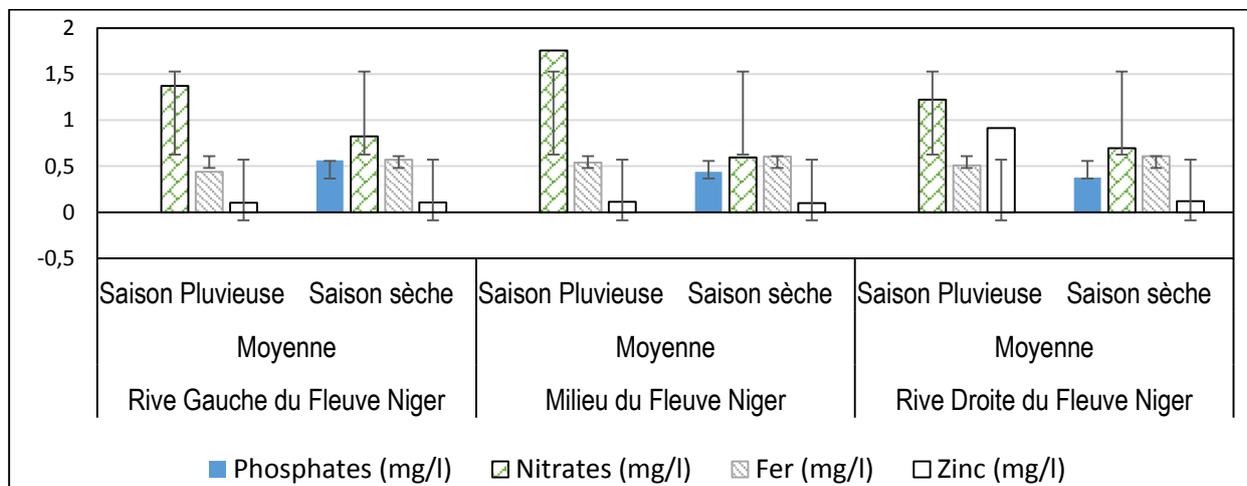
Le Laboratoire National des Eaux (LNE) du Mali dans sa mission régalienne a quinze (15) stations de suivi du fleuve Niger d'amont en aval de Bamako. Ces 15 points sont répartis équitablement entre les rives gauche et droite ainsi que le milieu du fleuve. Les données collectées sur la caractérisation physicochimique de ces stations au cours de l'année 2015 ont été utilisées pour compléter l'analyse (annexe 3). Les paramètres pris en compte sont : la température, le pH, les MES, la turbidité, la conductivité, les phosphates, les nitrates, le fer et le zinc. La synthèse des données entre les deux saisons à savoir sèche (Novembre à Mai) et pluvieuse (Juin à Octobre) montre une dispersion interne (entre les mois de la même saison) autour de la moyenne avec des écarts considérables. Cette dispersion concerne la plupart des paramètres (température, pH, conductivité, nitrates, fer et zinc). Les MES et turbidité sont marqués par une très grande variation lors de la saison pluvieuse (annexe 3). En prenant en considération les moyennes entre elles (figure 16 et 17) le pH, la température et le fer montrent une faible dispersion autour de la moyenne. Les paramètres conductivité, turbidité, nitrates et

zinc sont marqués par une très grande variation (dispersion). Cette dernière situation démontre la variation des paramètres entre le milieu et les deux rives du fleuve. Cependant, une tendance définitive ne peut être attribuée aux saisons. Pendant que les MES, la turbidité et les nitrates sont plus élevées en saison pluvieuse la conductivité est plus élevée en saison sèche. Indifféremment des saisons les autres paramètres ont les mêmes tendances.



Source : construction de l'auteur.

Figure 17 : Evolution des paramètres (T°, MES, Turbidité, pH et conductivité) le long du fleuve Niger à Bamako pendant les saisons sèche et pluvieuse



Source : construction de l'auteur.

Figure 18 : Evolution des paramètres (Phosphates, Nitrates, Fer, et Zinc) le long du fleuve Niger à Bamako pendant les saisons sèches et pluvieuses

La grande variabilité (dispersion) des paramètres montre que le fleuve fait face à plusieurs sources de pollution le long de la ville de Bamako. Cependant, excepté la turbidité, la quasi-totalité des moyennes des paramètres sont acceptables selon les normes OMS en matière de qualité des eaux de surface. Celles-ci constituent un bon indicateur pour la capacité auto épuratoire du fleuve Niger. Ainsi il revient de relativiser les impacts potentiels de la station d'épuration de Sotuba sur le fleuve.

3.3. Description des services écosystémiques fournis par le fleuve dans la zone d'étude

Afin de mieux cerner et appréhender les impacts potentiels de la STEP de Sotuba, il convient de décrire les différents paramètres, composantes et services que le fleuve rend dans la zone. De multiples services sont rendus par le fleuve Niger dans son ensemble (Marie *et al.*, 2007). Cette section fait une description non exhaustive mais spécifique à la zone d'étude. Elle intègre les services d'approvisionnement (fourniture), sociaux et culturels. Pour ce faire un inventaire culturel a été réalisé dont le résumé est joint en annexe (6).

Le fleuve Niger dans son parcours a su façonner un paysage et un développement socio-culturel dont les traces demeurent toujours présentes dans la commune II. Malgré la modernisation et l'urbanisation de la ville de Bamako on y trouve toujours des campements de pêcheurs par endroit sur les rives du Niger. Ces campements témoignent l'étroitesse des relations entre le fleuve et les riverains ainsi que les différents usages dont il est objet. De cette symbiose est née une histoire qui a valu au fleuve Niger plusieurs surnoms au Mali, à savoir Djoliba, Jeliba, le Songhoï, le Issa Ber, le Issa Berro (Maïga, 2008 cité par Maïga, 2012). Les principaux services rendus par le fleuve Niger dans la zone d'étude sont :

3.3.1. Services d'approvisionnement

En plus de l'approvisionnement en eau potable de la ville de Bamako, dans la zone d'étude l'agriculture plus précisément la culture maraîchère et la pêche sont pratiqués le long du fleuve Niger.

- **Le maraîchage :**

Le maraîchage constitue l'une des activités dominantes le long du fleuve. Il est pratiqué par les exploitants provenant de différents quartiers appartenant à presque l'ensemble des quatre communes de la rive gauche de Bamako. La vente de ces produits maraîchers procure aux exploitants des revenus considérables. En effet parmi les maraîchers constituant les 20,68% de notre échantillon d'étude plus de 90% ont affirmé pratiquer le maraîchage comme activité principale (voir photos dans annexe 4). L'actuel emplacement de la STEP de Sotuba est lui-même un ancien site maraîcher. La rive du fleuve constitue un endroit idéal pour cette activité. Cependant le non-respect des distances réglementaires peut aussi contribuer à la dégradation des berges et de la qualité de l'eau.

- **La pêche :** (voir photos dans annexe 4)

Dans la zone d'étude elle est pratiquée sous diverses formes : la pêche sportive et la pêche professionnelle. Les pêcheurs constituaient 41,50% de l'échantillon d'étude. Il existe un campement de pêcheurs « campement Bozo » contigu à la STEP de Sotuba. Il a été créé bien avant l'indépendance du Mali. Aujourd'hui il n'est plus abrité uniquement par l'ethnie des Bozo. Cependant sa vocation reste toujours la pêche. Son maintien est dû principalement aux services qu'offre le Fleuve Niger. Dans l'évaluation des impacts potentiels de la STEP de Sotuba sur le fleuve dix(10) ménages dudit

campement ont été ciblé compte tenu de l'étroitesse des relations existant entre lui et les ressources du fleuve.

3.3.2. Services culturels

Le fleuve Niger constitue un réservoir naturel et culturel exceptionnel. Berceau de la première civilisation agricole d'Afrique occidentale, sur ses 1700 km au Mali, il a façonné un paysage culturel unique, rassemblé les populations et favorisé l'émergence de pratiques culturelles spécifiques (Kassogué, 2010). En effet à l'issue de l'inventaire culturel (annexe 6), l'existence de la pratique de plusieurs cultes liés au fleuve a été identifiée dans la zone d'étude. Il s'agit entre autres du culte du génie de l'eau, les rites de pêche, les rites de naissance et les cultes du site de Souta-doundoun ou encore autre lieu de mémoire (site sacré « Bama-kô » littéralement site « rivière des caïmans »).

3.3.3. Autres services

En plus des pratiques décrites, il existe d'autres valeurs culturelles du fleuve telles que la beauté visuelle et le calme (quiétude) qu'il procure. En effet un des ilots du fleuve Niger a été spécialement aménagé en habitations « Cité du Niger » (annexe 6_photo 01) et plusieurs hôtels (hôtel Mandé et Malibia) se trouvent dans le lit du fleuve Niger afin de pouvoir bénéficier des bienfaits qu'il procure. Par ailleurs, il a été le moteur du développement des infrastructures industrielles. La zone industrielle de Sotuba est un exemple. Ces industries y prélèvent pour la plupart d'énormes quantités d'eau pour leur fonctionnement. Enfin, d'autres usagers y vont pour la baignade alors que d'autres vont pratiquer leur profession (les lavandières et teinturiers) (voir photos dans annexe 4).

Les résultats de la caractérisation montrent que les rejets de la station sont conformes à la norme malienne (MN-03-02/002 :2006 eaux usées spécifications) pour les paramètres température, pH, les matières en suspension (MES) et la turbidité. Cependant ses rejets sont hors normes pour les autres paramètres à savoir la conductivité, les nitrates, les nitrites, les phosphates, les métaux lourds et la pollution organique (DBO5 et DCO). Ainsi la station dans son fonctionnement est susceptible d'avoir des impacts potentiels sur le fleuve Niger dont les principaux services identifiés dans la zone sont ceux d'approvisionnement (pêche, maraîchage) et culturels. Toutefois l'analyse des données du LNE sur le comportement du fleuve face aux polluants le long de Bamako montre que les impacts potentiels de la STEP sont à relativiser. En effet sur une longue étendue, le fleuve peut éliminer les polluants excédant les normes.

Les données évoquées ci-dessus ont été prises en compte dans l'évaluation des impacts potentiels de la STEP dans le chapitre 4.

CHAPITRE 4 : IMPACTS, DYSFONCTIONNEMENT ET PROPOSITIONS D'AMELIORATION DE LA STATION DE SOTUBA

Ce chapitre comprend trois parties. La première partie porte sur l'évaluation des impacts potentiels de la STEP de Sotuba sur le fleuve Niger. Cette partie est axée essentiellement sur le deuxième objectif spécifique. La deuxième partie décrit les propositions de solution pour améliorer le processus de traitement de la STEP de Sotuba. Enfin, la troisième partie du chapitre porte sur quelques recommandations formulées à l'endroit de l'ANGESEM.

4.1. Impacts potentiels de la station Sotuba

En faisant une pondération entre les résultats des analyses et les impressions des riverains interviewés les impacts potentiels de la STEP de Sotuba sont identifiés et évalués. Il ne s'agit pas d'une évaluation exhaustive mais plutôt une tentative d'évaluation parmi tant d'autres. En effet, nous ne saurons parler des impacts de la station de Sotuba sans mettre d'abord en exergue cet impact d'une importance capitale qu'elle joue. Il s'agit du rôle de barrière qu'elle joue pour le fleuve Niger. Cet impact est décrit dans l'aspect Hygiène/salubrité.

- **Hygiène/salubrité** : actuellement, le principal impact de la STEP de Sotuba ayant un effet positif et d'une très grande intensité est le rôle de barrière qu'elle joue vis-à-vis des effluents industriels. Elle a une performance dans l'abattement de certains paramètres qu'il faut prendre en compte à savoir la DCO, DBO et MES. En effet, en prenant à titre d'exemple la tannerie IMAT elle émet un effluent ayant respectivement 4490, 1550 et 1860 mg de DCO, DBO et MES en 2016 (Maïga, 2016). Même en ayant la meilleure des performances du lagunage naturel³³ elle ne saura abattre la pollution en dessous des normes de rejet.

- **Biodiversité** : il est extrêmement difficile d'attribuer une éventuelle tendance de la biodiversité au fonctionnement de la station. Cependant lors de l'enquête 48,28% (des enquêtés) ont fait référence au déclin de la biodiversité en termes de rareté voire de disparition de certaines espèces de faune aquatiques que sont les poissons (variétés), des hippopotames, de crocodiles depuis l'installation des unités industrielles dans la zone. Ces espèces étaient certes abondantes dans le passé (Makanguile, 2009 ; Marie *et al.*, 2007) mais rien n'indique leur tendance à partir de l'installation de la station STEP de Sotuba. Par ailleurs, le caractère bioaccumulation des toxines et la disparition d'espèces semblent être liés selon l'agence de l'eau Artois-Picardie (2005). De plus selon Leynaud et Trocherie (1980) cité par Pesson (1980) « *lorsqu'une eau est contaminée, le poisson peut déceler la substance en cause et se réfugier dans un secteur épargné par le flux toxique* » au risque de périr. Matthiessen (1974) cité par

³³ En appliquant les meilleures performances du lagunage naturel qui sont 90% (MES et DBO) et 85% pour la DCO à la sortie de la station on observerait 673,5 mg/L DCO, 155 mg/L DBO et 186 mg/L de MES qui sont toutes supérieures aux normes de rejet.

Dejoux (1988) signale à titre d'exemple que des fortes teneurs en zinc³⁴ des eaux entraînent une asphyxie des poissons par la destruction de l'épithélium branchial, bloquant ainsi les échanges respiratoires. De ce fait les constats faits par les riverains sont à prendre en compte au moins pour la rareté des poissons. Ainsi étant donné la qualité des rejets de la STEP, la possibilité d'avoir un effet sur la biodiversité a été pris en compte.

- **Ecosystème** : au niveau de l'exutoire de la STEP, il y'a l'induction d'un écosystème et un paysage particulier marqué par la prolifération d'*Eichornia crassipes* (jacinthe d'eau) et la coloration des eaux (photo 3 et annexe 4). En effet la présence de composés phosphorés (phosphates) et azotés (nitrates) sans être toxiques directement sont des facteurs provoquant le développement anarchique des plantes aquatiques et son corolaire de diminution d'oxygène dissous. Les phytoplanctons et zooplanctons responsables de l'autoépuration sont probablement touchés.

- **Faune piscicole** : l'une des conséquences les plus tangibles de la pollution organique est son effet néfaste sur la production piscicole (Dejoux, 1988). A cette pollution organique s'ajoutent les impacts des polluants toxiques (accumulation des toxines et morts de poissons) (Pesson, 1980). En effet, les composantes (polluants) telles que les métaux lourds ont un impact sur les organismes vivants. Les travaux de Greichus *et al.* (1977) cité par Dejoux (1988) certifient de la présence de certains métaux dans les poissons de certains grands cours d'eau d'Afrique (lac de Hartsbeespoort et Voëlvlei en Afrique du Sud et le lac Nakuru au Kenya). Dans notre étude, ne pouvant pas confirmer la présence de toxique dans les poissons, à défaut d'une étude écotoxicologique l'évaluation a porté sur l'observation directe au niveau de l'exutoire de la STEP. Celle-ci a révélée des cas de morts de poissons (photo 1).



Source : Auteur, 2016.

Photo 1 : Clichés montrant des cas de mortalité chez les poissons au niveau de l'exutoire

³⁴ « La toxicité de ce métal étant par ailleurs fortement dépendante des facteurs de l'environnement, dont principalement le pH. Il existe également une action synergisante des effets toxiques du zinc, due à la présence de cuivre » Matthiessen, (1974) cité par Dejoux (1988).

Aussi 72,73% des pêcheurs interviewés ont mentionné avoir rencontré des cas de mort de poisson au niveau de l'exutoire et souvent un peu en son aval. En plus de la pollution organique (induisant une diminution de l'oxygène dissous), la présence des nitrites ou de chrome VI peuvent être les éventuelles causes des cas de mortalités constatées.

- **Eaux de surface** : la quasi-totalité des paramètres physicochimiques étudiés montre l'influence des rejets sur la teneur des paramètres du fleuve. Etant donné que les prélèvements n'ont pas excédé les limites du quartier zone industrielle, il est difficile de connaître jusqu'où l'impact se fera sentir sur la qualité globale des eaux du fleuve. Cependant, la synthèse des données du LNE précédemment évoquée montre que le fleuve a un état moyen globalement bon le long de Bamako. Dans ce contexte, le fleuve sur de longue distance pourrait résorber la pollution résiduelle de la station. Par contre tant que la station fonctionnera de cette façon elle produira les mêmes effets néfastes.

- **Air / Atmosphère** : la station dans son fonctionnement actuel pourrait avoir un effet néfaste sur la composante air/atmosphère. Il s'agit de la production accrue de méthane (CH₄) et d'hydrogène sulfuré (H₂S) due à un éventuel dysfonctionnement de la station par la prédominance des bactéries réductrices du soufre dans les conditions d'anaérobioses (Edeline, 1997 et 2001). Si le méthane est un gaz à effet de serre, le H₂S est toxique³⁵ mais surtout corrosif pour les métaux et le béton (Tissem, 2007). Leur production peut modifier localement l'atmosphère et continuera tant que la station fonctionnera ainsi.

- **Cadre de vie** : la principale nuisance évoquée par les riverains est olfactive. En effet, 86,67% des ménages (campement bozo et Cité du Niger) enquêtés ont souligné la présence quasi permanente d'odeur incommodante. Cependant pour l'ensemble des enquêtés, 58,62% ont mentionné cet effet inhérent à la STEP de Sotuba. Cette nuisance a un caractère permanent et est pratiquement perçue en dehors du quartier zone industrielle (jusqu'au quartier cité du Niger).

- **Santé** : la qualité des rejets révèle à suffisance les risques associés à son éventuelle utilisation. Les principaux problèmes de santé soulevés sont : risque de contamination de la chaîne alimentaire, démangeaison, œdèmes, lésions cutanées (photo2), les cas de maladies hydriques tels que la diarrhée, et d'autres formes de maladies chroniques touchant principalement les enfants. En effet, 75 % des maraichers enquêtés sont situés en aval de l'exutoire dont 55,56% prélèvent l'eau à moins de 100 mètres de l'exutoire. Il faut signaler que la STEP elle-même est implantée sur un ancien site maraicher. Les maraichers n'ayant pas été affectés par les travaux d'installations y demeurent toujours. De ce fait l'exutoire de la STEP traverse les parcelles de maraichage pour aboutir au fleuve.

³⁵Le H₂S est aussi toxique sous sa forme non dissociée pour les autres bactéries responsables de l'épuration (Edeline, 1997).



Source : Auteur, 2016.

Photo 2: Lésions cutanées observées chez un pêcheur professionnel du campement bozo

Photo 3: Focus sur l'exutoire de la STEP, la prolifération de la jacinthe d'eau et un pêcheur sportif

Cependant, le risque de contamination de la chaîne alimentaire ne se limite pas uniquement aux produits maraîchers. Il peut aussi concerner la consommation des poissons surtout pour les riverains du campement bozo. Par ailleurs certains pêcheurs surtout ceux pratiquant la pêche sportive y vont pêcher juste au niveau de l'exutoire³⁶ de la STEP (photo3). La station dans son fonctionnement est susceptible d'avoir un impact néfaste sur la santé des riverains et usagers du fleuve Niger dans la zone d'étude.

- **Revenu des ménages** : la station dans son fonctionnement actuel est susceptible d'avoir un effet négatif sur les revenus des riverains. 57,58% des enquêtés ont comme principale source de revenu la pêche, le maraîchage et la lessive. En effet, les rejets de la STEP peuvent entraîner une augmentation du pH et la conductivité des sols pour les zones en aval de l'exutoire. Ce phénomène a été observé dans une étude similaire par Yonli *et al.* (2010). Selon les mêmes auteurs les conséquences sont la perturbation de la croissance des plantes, la perte des semences et la mort des plantes juvéniles. Des cas de brûlures et de tâches sur les plantes ont été signalés par les enquêtés (25%). Par ailleurs, autres lavandières (vivant de la lessive à 100%) peuvent avoir des manques à gagner si elles contractent des maladies. Quant aux pêcheurs professionnels et aux habitants du campement bozo, ils sont affectés par la rareté des poissons (selon les résultats de l'enquête (2016)).

- **Pratiques culturelles** : de la réalisation de l'inventaire culturel (Annexe 6) il est ressorti que certaines pratiques sont à l'abandon à cause de la qualité dégradante de l'état du fleuve. En effet le rite d'initiation appelé « **Rite de Naissance** » **signe de l'authenticité bozo** qui se pratiquait au campement bozo en est l'exemple. Merceron et Yelkouni (2011) ont montré que pour une gestion efficace de l'environnement, les valeurs culturelles et traditionnelles doivent être intégrées aux dimensions (sociale,

³⁶ Dû essentiellement à la méconnaissance des risques associés aux rejets potentiellement dangereux de la station.

économique et environnementale) du développement durable. Tout compte fait, même si la STEP a un impact sur la pratique du *rite de naissance* au niveau du campement bozo, il est d'une intensité faible vu l'existence récente de la STEP et d'autres raisons d'abandon évoquées³⁷ (voir annexe 6) lors de l'enquête.

4.2. Propositions de solution

Selon Racault (1997) le lagunage n'est pas le model type de dépollution adapté à une zone industrielle. Cependant, des espoirs demeurent tout de même pour la zone industrielle Sotuba en se basant sur les résultats obtenus par Yonli *et al.* (2010) dans la zone industrielle de Kossodo au Nord-Est de Ouagadougou (Burkina Faso), qui est un pays ayant un tissu industriel semblable à celui du Mali. Tout de même ces résultats montrent aussi des insuffisances dans l'abattement de certains paramètres (ions calcium, potassium et magnésium ; conductivité).

La charge importante à l'entrée de la STEP de Sotuba semble être le socle de tous les maux dont elle souffre aujourd'hui. En se basant sur les expériences acquises et travaux effectués ailleurs, une proposition de solution en quatre (4) étapes semble primordiale pour améliorer les performances de la station d'épuration de Sotuba.

Tableau 5: Récapitulatif des solutions préconisées pour l'amélioration du traitement de la STEP de Sotuba

Phase	Prescription	Echéance	Niveau d'investissement	Opérations préconisées
1	Immédiat	Jusqu'à fin phase 2	**	Suivi régulier des paramètres à un rythme accru
2	Immédiat	Jusqu'au début phase 3	**	Dilution des bassins en amont
3	Moyen terme	avant l'effectivité du raccordement de l'ensemble des unités industrielles	****	Installation d'une unité de traitement physico-chimique en amont du lagunage naturel
4	long terme (durabilité)	Avant connexion de garages, ménages de la zone industrielle	***	Augmentation du nombre de lagunes et transition vers les macrophytes pour le traitement final
<p>** (coût supplémentaire par rapport à l'investissement actuel faible) *** (investissement supplémentaire en terme financier et matériel modéré ; coûts d'exploitation et d'entretien faible) **** (investissement supplémentaire en terme financier et matériel modéré ; coûts d'exploitation et d'entretien considérables)</p>				

³⁷ La conversion aux religions monothéistes, l'influence de la modernité et les risques associés à la proximité de la zone industrielle sont les principales raisons d'abandon de la pratique (annexe 6 : inventaire culturel).

4.2.1. Diagnostic des causes du dysfonctionnement

Le fondement du traitement biologique à la STEP de Sotuba est tel que la rupture d'un élément est susceptible de créer une réaction en cascade aboutissant inexorablement à la baisse des performances escomptées de la technologie (le lagunage naturel). En effet les bassins anaérobies ont pour office d'assurer la décantation des matières en suspension et leur digestion. Ainsi n'étant pas trop chargé, l'effluent, exposé dans les bassins peu profonds (facultatifs ou maturations) se trouve fortement pénétré par les rayons lumineux. Les microphytes autotrophes enclenchent la photosynthèse et la production de l'oxygène nécessaire à la croissance de la flore microbienne. Plusieurs facteurs peuvent causer la rupture de ce cycle et engendrer son dysfonctionnement, il suffirait à titre d'exemple que la charge hydraulique ou organique dépasse la valeur de pointe ou encore que des substances toxiques se retrouvent dans les bassins anaérobies pour inhiber la digestion anaérobie. A la STEP de Sotuba en termes de dysfonctionnement les premières observations portent sur la nuisance olfactive qu'elle engendre et la coloration rosâtre des eaux dans les bassins facultatifs (Annexe 3). Par ailleurs, Il est vrai que la digestion anaérobie est souvent accompagnée d'une production de gaz méthane (CH₄) comme le témoigne Yonli *et al.* (2010) mais une production accrue d'hydrogène sulfuré (H₂S) avec un virage de la coloration est synonyme de dysfonctionnement selon Racault (1997) qu'il qualifie de crise dystrophique³⁸. Sachant qu'il y'a la présence d'au moins quatre tanneries connectées à la STEP de Sotuba, les soupçons portent en premier lieu sur l'inefficacité du traitement en amont des sulfates et dérivés. Pour des raisons techniques ils n'ont pas été analysés dans cette étude mais plusieurs auteurs (Racault, 1997 ; Edeline, 1997 ; Tisseem, 2007) les associent à des nuisances majeures³⁹. En effet selon Edeline (1997) l'excès de sulfate nuit gravement à la dégradation anaérobie en rendant impossible la méthanisation, car les bactéries du genre *Desulfovibrio* détournent l'hydrogène pour former l'ion HS⁻ par la sulfato-réduction. De même, les sulfato-réducteurs emportent la compétition pour le substrat énergétique sur les méthanogènes. Ainsi la production d'hydrogène sulfuré (H₂S) s'impose (caractérisée par l'odeur d'œuf pourri) et est toxique sous sa forme non dissociée pour les autres bactéries. Selon Sasse (1998) sa production est favorisée par la baisse du pH.

La réflexion sur la formulation de solution qui suit est basée essentiellement sur les résultats d'analyses effectués lors du stage. A ce titre elle ne peut prétendre être exhaustive car seulement quelques paramètres ont été pris parmi tant d'autres. Cependant, chacune des propositions vise à pallier les insuffisances constatées.

³⁸ Selon Racault (1997) « Dans les milieux naturels, le terme de crise dystrophique traduit une prolifération massive de phytoplancton, dû à un enrichissement en éléments nutritifs, et provoquant un dysfonctionnement de l'écosystème lié en particulier à une disparition de l'oxygène dissous ».

³⁹ Mauvaises odeurs, toxicité, corrosion des métaux et du béton (Tisseem, 2007)

4.2.2. Du suivi des bassins à la dilution des effluents

Dans la relation symbiotique existant entre la flore microbienne et les phytoplanctons un suivi régulier est important pour le maintien du système et cela ne saurait se limiter uniquement au seul contrôle de quelques paramètres physicochimiques. Cet état de fait est confirmé par plusieurs auteurs à l'image de Racault (1997) et Berland *et al.* (2001). Il s'agit d'un suivi pris au sens large « suivi technique » adapté à la spécificité du système. En effet il prend en compte la croissance microbienne, la production chlorophyllienne⁴⁰, les paramètres de contrôle physicochimiques ainsi que les débits instantanés et l'écart par rapport à la valeur de pointe.

Le contrôle de la croissance microbienne est très important. Cette croissance est influencée par plusieurs facteurs. Elle est illustrée sur la figure 19 (cas des bactéries), et est fonction de la dégradation des matières organiques apportées par l'effluent et de l'oxygène selon la variété de microorganismes (aérobies ou anaérobies) chargés de la dégradation. Dans les premiers bassins du lagunage naturel la biomasse épuratoire a une prédominance anaérobie alors que dans les bassins facultatifs on a une prédominance des microorganismes aérobie. De ce fait l'oxygène dissous lui-même peut devenir un facteur limitant pour la croissance.

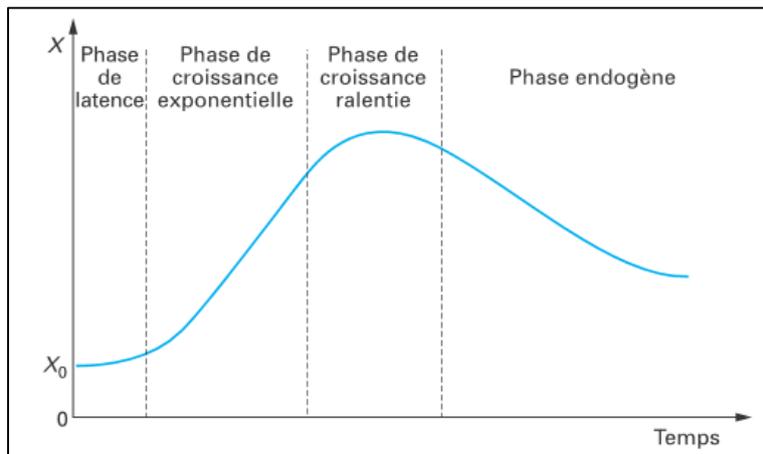


Figure 19 : développement d'une culture bactérienne (Gaïd, 1993)

La croissance d'une biomasse de concentration X_0 en présence d'un substrat (matière organique ou inorganique) se fait en plusieurs étapes. Après un temps d'adaptation au substrat (phase de latence) la biomasse croît rapidement (phase exponentielle) synonyme de la dégradation et l'élimination de la pollution ; continue ainsi tant que le substrat ne devient pas limitant. La phase de croissance ralentie est marquée par la diminution du substrat qui lorsqu'il est épuisé induit la biomasse dans un processus de respiration endogène avec une diminution de la masse. Que le système soit en anaérobie ou aérobie la croissance se fait de la même façon (Edeline, 1997 ; Gaïd, 1993).

⁴⁰ En effet « afin de confirmer un dysfonctionnement, le dosage des chlorophylles totales et actives peut être nécessaire. Celui-ci est à réaliser à partir d'un échantillon prélevé par carottage d'une colonne d'eau de 60 cm correspondant à la tranche supérieure » (Racault, 1997).

A la station d'épuration de Sotuba cette croissance pourrait être perturbée tenant compte de la présence de certains métaux lourds dans les rejets. En effet, les experts (Gaïd, 1993 ; Edeline, 1997 ; Sasse, 1998 ; Moussa, 2005 ; Benabadji *et al.*, 2010) sont tous unanimes que la présence de certaines substances telles que les métaux lourds même à faible dose nuit à la croissance des microorganismes. Pour Gaïd (1993) une concentration de 0,1 mg/L de Cu, Cr⁶⁺ ou de cadmium (Cd) suffit pour nuire à la croissance des bactéries.

Par ailleurs, il existe une forte relation entre la viabilité de la flore microbienne et le pH surtout dans le processus d'élimination de l'azote. Les effluents ayant un pH acide (inférieur à 4 ou 5) ou basique (supérieur à 9) sont très difficiles à traiter pour plusieurs raisons. Elles sont entre autres :

- premièrement, l'azote ammoniacal peut exister sous deux formes en fonction du pH du milieu. Il prend la forme d'ammoniaque (NH₃) gazeux en milieu basique alors qu'il s'hydrolyse en ion ammonium NH₄⁺ (très soluble) pour des pH légèrement acide. C'est cette dernière forme qui est utilisée pour débiter l'élimination de l'azote (la nitrification).

- Deuxièmement la réalisation de la nitrification (première étape de l'élimination de l'azote) est assurée principalement par deux groupes de bactéries⁴¹, *Nitrosomonas* (oxyde NH₄⁺ en nitrites (NO₂⁻)) et *Nitrobacter* (oxyde les nitrites (NO₂⁻) en nitrates (NO₃⁻)) qui sont également sensibles au pH du milieu. L'acidification du milieu les inhibe. La plage de pH qui leur est favorable varie d'un auteur à un autre. Pour Edeline (1997 ; 2001) elle varie entre 7,4 et 9,1 alors que pour Sasse (1998) elle varie entre 5 et 9. La suite de l'élimination de l'azote (étape de dénitrification) est la réduction des nitrates en N₂ (très peu soluble dans l'eau, s'évapore dans l'atmosphère) dans les conditions d'anaérobioses. L'étape de nitrification est aérobie.

Les résultats obtenus montrent la présence de nitrites à la sortie de la STEP de Sotuba, cela dénote que le processus d'élimination ne s'est pas achevé synonyme d'une probable perturbation. Le contrôle du pH des lagunes peut être un très bon indicateur pour trouver une solution au moment opportun mais n'est pas le seul facteur pouvant influencer le processus de dénitrification. En effet les auteurs Edeline (1993 ; 1997 ; 2001) et Sasse (1998) dans différents travaux ont souligné l'impact de la charge organique sur les bactéries nitrifiantes (autotrophes). Elles croissent beaucoup plus lentement (50 fois moins vite que le reste de la flore hétérotrophe selon Edeline (1997 ; 2001) et Choubert (2002)). De ce fait elles entrent en compétition pour l'oxygène avec la flore microbienne responsable de la dégradation

⁴¹ La flore nitrifiante ne peut utiliser que l'azote minéralisé (NH₄⁺). Les *Nitrosomonas* ont un taux de croissance inférieur à celui des *Nitrobacters*, d'où l'absence d'accumulation de nitrites (très toxiques pour les poissons) dans le processus normal. Cependant les *Nitrosomonas* sont moins exigeant en besoin d'oxygène que les *Nitrobacters*, d'où l'accumulation des nitrites au seuil de 3 mg/L d'oxygène. Aussi, lors de l'étape de dénitrification les nitrites peuvent être formés. D'après F. Edeline (1997 ; 2001)

du Carbone (matières organiques). De plus, une charge organique élevée peut créer les conditions d'anaérobiose dans les lagunes et perturber ainsi la photosynthèse des microphytes en bloquant les rayons lumineux. C'est pour ces différentes raisons que les experts Racault (1997) et Berland *et al.* (2001) ont remis en cause l'adéquation du lagunage naturel comme technique de traitement des effluents industriels trop chargés et toxiques pour la plupart du temps. Selon Racault (1997) « *la technique du lagunage est plutôt mieux adaptée au traitement d'effluents peu concentrés (DBO5 < 300 mg/L en moyenne annuelle) et les effluents industriels sont à proscrire* ».

Vu les résultats d'analyses, un suivi à caractère intensifié qui va bien au-delà du seul contrôle mensuel des paramètres physicochimiques comme cela se fait actuellement à la STEP de Sotuba s'impose. Il doit intégrer tous les éléments⁴² précédemment abordés. A chaque fois que se présentera un cas de figure semblable à celles obtenues dans cette étude où la charge polluante est trop importante, un palliatif à caractère temporaire peut-être envisagé « la dilution ». Ce problème vient à un moment où une proposition de solution rustique est possible, en ce sens que la station accueille actuellement un volume d'eaux usées qui avoisine à peine la moitié de sa capacité raison pour laquelle elle fonctionne sur une seule ligne. En effet elle a une capacité de 5000 m³/jour (soit 1 825 000 m³/an) et reçoit 1700m³/jour de 26 unités industrielles. Donc une recirculation des eaux en cours de traitement au niveau des bassins facultatifs, de charge moindre vers les bassins anaérobies permettra de diluer considérablement la charge entrant à la STEP. Cependant, étant donné le virage de la coloration des eaux des bassins facultatifs, la dilution peut se faire avec une injection massive de l'eau du fleuve (situé à 300m). Ainsi, les deux bassins anaérobies seront mis en service pour recueillir les eaux usées et complétés avec de l'eau peu chargée. Cette dilution peut rendre le traitement biologique plus performant.

Cette mesure a un caractère temporaire vu que la station est conçue pour fonctionner à plein régime et en accueillera probablement plus d'eau après la connexion de l'ensemble des unités industrielles, des 288 concessions et des 94 garages. Une proposition de solution ne saurait donc se limiter à une simple dilution au niveau des bassins anaérobies. Il faut commencer par traiter le problème à la racine à savoir un traitement en amont de la STEP.

4.2.3. Installation d'une unité de traitement physico-chimique

La prise en compte des contraintes liées : à la présence d'effluents industriels concentrés et toxiques⁴³, des facteurs de dysfonctionnement du lagunage naturel dus à la présence massive de sulfures et enfin

⁴² Il s'agit d'un suivi pris au sens large « suivi technique » adapté à la spécificité du système. En effet il prend en compte la croissance microbienne, la production chlorophyllienne, les paramètres de contrôle physicochimiques ainsi que les débits instantanés et l'écart par rapport à la valeur de pointe.

⁴³ Lorsqu'un effluent contient des toxiques, il ne doit pas être introduit dans un traitement biologique car il en détruirait les micro-organismes (Edeline, 1997 ; Sasse, 1998 ; Agence de l'eau Loire-Bretagne, 2014).

à la présence des phosphates dans le milieu récepteur (le fleuve Niger) nous amène à intégrer dans les propositions un volet de traitement physico-chimique en amont. De l'avis de Laurent (1994) la mise en œuvre de cette catégorie de procédé en prétraitement est possible et est susceptible de fournir d'excellents résultats en combinaison avec un procédé biologique. Dans la littérature diverses substances existent pour éliminer les sulfates et phosphates (Roques, 1990a et 1990b ; Gaïd, 1993; Laurent, 1994 ; Edeline, 1998 ; Tisseem, 2007). Elles peuvent être des polyélectrolytes ou les sels de Calcium, de fer ou d'aluminium. Le principe de fonctionnement est basé sur le phénomène de précipitation⁴⁴. Ces substances sont utilisées à faible dose qu'il faut strictement respecter (0,25 à 2g/m³) selon Laurent (1994) et le pH joue un rôle prépondérant dans le processus. Il se situe entre 6 et 7,5 pour les sels de fers alors que pour les sels d'aluminium il se situe entre 5 et 8,5 (Gaïd, 1993 ; Laurent, 1994). Les réactifs utilisés sont généralement adaptés à la nature de la substance toxique à neutraliser.

L'utilisation de « sels de fer » est onéreuse et d'usage délicat mais très efficaces pour précipiter les composés sulfurés et phosphatés. Cette solution aura l'avantage de ne pas impacter les lagunes de la STEP et sera moins coûteuse d'un point de vue global en tenant compte de la quantité d'eau à traiter, de la réduction des matières en suspensions et de l'atténuation des odeurs. De plus les ions Fe³⁺ semblent être d'excellents réducteurs du chrome hexavalent toxique (Cr⁶⁺) en une forme moins toxique le chrome trivalent (Cr³⁺)⁴⁵. On peut donc avoir un penchant favorable à l'usage des sels de fer en comptant sur la libération des ions à côté de la formation des hydroxydes de fer ou autres phosphates de fer impliqués dans la précipitation. La mise en œuvre de ce processus nécessite la mise en place d'un bassin en amont de la station de pompage. Après l'arrivée des eaux usées au niveau du puits d'inspection, elles séjourneront d'abord dans ce bassin pour subir un premier traitement physico-chimique. Ensuite seront refoulées vers les lagunes anaérobies pour subir le traitement biologique. En effet cela améliorera considérablement les performances des bassins anaérobies qui selon Berland *et al.* (2001) fonctionnent aussi comme bassins de décantations (ils l'assimilent à un stade de traitement primaire pour le lagunage naturel).

4.2.4. Des lagunes à macrophytes en aval comme traitement final

Les performances dans l'abattement du phosphore en lagunage naturel semblent aller décroissant avec l'âge de la station. Schetrite (1994) cité par Racault (1997) rapporte le cas des lagunes de

⁴⁴ Interviennent la floculation (agglomération des particules « déchargées » en microflocs puis en floccs plus volumineux et décantables) et la coagulation (agrégation par neutralisation des charges de surface). Quelques substances utilisées pour la coagulation : les sels de fer (chlorure ferrique (FeCl₃), chlorosulfate de fer (FeSO₄Cl), sulfate ferrique [Fe₂(SO₄)₃.9H₂O]) ; sels d'aluminium (sulfate d'alumine [Al₂(SO₄)₃.18H₂O] ; chlorure d'aluminium [AlCl₃.6H₂O]).

⁴⁵ Les Fer III ont la propriété de réduire le Chrome VI en Chrome III (Tisseem, 2007 ; El Alaoui et Taoussi, 2013). Cependant, la précipitation des sulfures (milieu basique) et la réduction des Cr⁶⁺ (milieu acide) se font à des pH opposés. Ainsi, les deux opérations ne peuvent pas se faire simultanément dans un même bassin. Un choix de traitement s'impose alors.

vauciennes (60) qui sont passées de 75% à 30% en 10 ans⁴⁶. Pour Berland *et al.* (2001) dans les premières années cette performance est supérieure à 60% puis diminue progressivement pour s'annuler au bout de 20 ans. Cette tendance est confirmée par Roques (1990b). Selon ce dernier aux sorties des processus biologiques de déphosphoration demeurent toujours des traces de phosphores essentiellement sous forme d'orthophosphates. Il est serait donc intéressant de prévoir ce cas de figure en proposant une solution pouvant permettre une exploitation durable de la STEP de Sotuba. Ainsi nous formulons en dernier lieu une proposition d'extension des lagunes de la station. Il s'agit là d'ajouter une lagune supplémentaire par ligne. Les lagunes à macrophytes⁴⁷ semblent être les mieux indiquées surtout quand il s'agit d'un traitement tertiaire de finition pour éviter que les phosphores ou nitrates ne se retrouvent par mégarde dans le fleuve.

Cette étape nécessite un investissement supplémentaire pour les deux lagunes. Cependant, il y'a suffisamment d'espaces après les bassins facultatifs pour permettre sa mise en place. Aussi, elle est facile d'entretien. La proposition a donc l'avantage d'être réalisable sans trop de contraintes mais surtout réaliste vu son impact sur l'amélioration d'un traitement secondaire en amont. En effet selon Berland *et al.* (2001), utilisé en traitement tertiaire les lagunes à macrophytes permettent d'améliorer considérablement le traitement de la DBO₅ ou de MES ainsi que l'affinement des nutriments et métaux dans les effluents ; constat fait aux Etats unis⁴⁸. Dans les systèmes plantés le choix des macrophytes tient compte généralement de l'adaptation de l'espèce aux conditions climatiques locales, de sa capacité à se développer sur des eaux usées, de sa vitesse de croissance de l'espèce, du développement de son système racinaire et sa résistance aux conditions de saturation du sol. Cependant dans plusieurs travaux et cas pratique (Sasse, 1998 ; Berland *et al.*, 2001 ; Mimeche, 2014) les macrophytes *Phragmites australis* et *Typha latifolia* sont utilisés. Ils peuvent donc faire l'objet de base de recherche.

4.3. Recommandations

Le retard de l'effectivité du raccordement de l'ensemble des industries ne saurait plus être tolérable vu la disponibilité de la STEP et les méfaits qu'engendrent ces industries à l'environnement en occurrence sur le fleuve Niger. A l'issue de l'enquête, 51,52% des riverains enquêtés ont mentionnés des émissions ponctuelles de certaines industries (NTM, BATEX-CI, abattoir). Le cas de l'abattoir frigorifique de Sotuba est visible sur la photo 4 (39,39% du sondage). L'ANGESEM doit prendre des

⁴⁶ Le vieillissement a été mis en avant mais cette baisse de la performance peut être aussi due à l'accumulation des boues selon l'auteur (Schetrife (1994) cité par Racault (1997)).

⁴⁷ « Les lagunes à macrophytes reproduisent des zones humides naturelles comportant une tranche d'eau libre, tout en essayant de mettre en valeur les intérêts des écosystèmes naturels » (Berland *et al.*, 2001).

⁴⁸ « Les lagunes à macrophytes sont souvent réalisées pour des traitements tertiaires à la suite de lagunage naturel, de lagunes facultatives ou de lagunage aéré aux Etats-Unis ». (Berland *et al.*, 2001).

mesures idoines pour mettre fin à ces pratiques. Elle doit surtout les accompagner dans le processus de raccordement à la STEP de Sotuba.



a. exutoire de l'abattoir au niveau du fleuve b. quelques dizaines de mètres en aval

Source : Auteur 2016

Photo 4 : Clichés montrant le point de rejet des effluents de l'abattoir de Sotuba dans le fleuve

Par ailleurs, pour assurer la mise en conformité aux normes de raccordement⁴⁹ l'ANGESEM doit veiller :

- à l'assistance technique des unités industrielles ayant des installations de prétraitements mais ne disposant pas de personnel qualifié pour assurer le bon fonctionnement ;
- et à l'application des taxes dépollutions conformément au **décret N°20014-0474/P-RM du 23 juin 2014** fixant la redevance du service public d'assainissement.

Du reste, dans un avenir très proche les 288 ménages et 94 garages de la zone industrielle doivent être connectés à la STEP de Sotuba. Il serait judicieux de la part de l'ANGESEM de rendre fonctionnel les 3 séparateurs des huiles (d'une capacité de 15 m³/h chacun) et les 3 séparateurs de graisses qui tiennent lieu dans le rapport du PAZIS (2005)⁵⁰ pour traiter les effluents qui seront acheminer par le réseau des eaux pluviales vers le réseau d'égouts de la STEP de Sotuba.

A l'issue de ce chapitre, dix impacts potentiels sur les composantes du fleuve ont été mis en évidence. Parmi ces impacts neuf sont potentiellement néfastes. Cependant, la station dans son fonctionnement joue un rôle primordial en diminuant la quantité de pollution. C'est ce rôle de barrière qu'elle joue contre les polluants industriels qui a été qualifié d'impact positif. Des pistes de solution ont été formulées pour l'amélioration du processus de traitement de la station.

⁴⁹ Ces normes fixent les valeurs limites admissibles à la STEP de Sotuba pour les effluents des industries.

⁵⁰ PAZIS : rapport de la conception des séparateurs d'huiles et de graisses en date du 13 juin 2005. Réalisé par Witteveen+Bos Ingénieurs-Conseils (Bureau d'étude Néerlandais). En amont de chaque séparateur est prévue la mise en place d'un bassin de sédimentation pour les boues ; les 3 séparateurs de graisses siègent dans les locaux des entreprises (abattoir frigorifique, TAMALI et TAO).

CONCLUSION

Au Mali, les industries ont longtemps contribué à la pollution du fleuve Niger en émettant directement leurs effluents sans aucun traitement préalable. Avec l'initiation du Projet d'Aménagement de la Zone Industrielle de Sotuba (PAZIS), la station d'épuration de Sotuba a vu le jour en 2006. La station connaît actuellement un dysfonctionnement. Ainsi, le présent travail a fait une évaluation des impacts environnementaux et sociaux de la station d'épuration de Sotuba sur le fleuve Niger. Sans prétendre à l'exhaustivité les objectifs assignés au début des travaux de recherche ont été atteints. La caractérisation des rejets de la station de Sotuba montre qu'elle est performante dans l'abattement des matières en suspension (avec une performance de 89,9%) et qu'elle a une performance moyenne dans l'élimination de pollution organique (51,0% DBO et 58,75% DCO). Cependant, elle a une performance faible dans l'élimination des nutriments (phosphore et azote) dont 33% pour les phosphates et 31,95% pour les nitrates alors qu'elle est totalement inefficace dans l'élimination des métaux lourds (Fer, Chrome VI et Zinc).

Compte tenu de la nature des rejets qui sont conformes aux normes maliennes de rejet uniquement pour les paramètres pH, température et MES, l'hypothèse de recherche selon laquelle « *Les rejets liquides issus de la station d'épuration de Sotuba respectent les normes Maliennes en matière de rejets dans le milieu naturel* » est infirmée. En effet, les rejets de la station sont hors normes pour les autres paramètres étudiés à savoir la conductivité, les nitrates, les nitrites, les phosphates, les métaux lourds et la pollution organique (DBO5 et DCO). Ainsi, la station dans son fonctionnement peut porter préjudice à son environnement. En l'occurrence, la station est susceptible d'avoir des impacts potentiels sur le fleuve Niger. Dans la prise en compte de tous les aspects et composantes, une enquête a été menée sur une étendue jugée raisonnable. Une pondération entre les résultats des analyses et les impressions des riverains interviewés a permis d'identifier et d'évaluer les impacts potentiels de la station de Sotuba.

En dépit de certaines imperfections, la station de Sotuba constitue une garantie primordiale contre la détérioration du fleuve. La nature des rejets provenant des unités industrielles (tanneries) l'atteste. En effet, compte tenu de la charge organique appliquée même si la station fonctionnait avec les meilleures performances du lagunage naturel, elle ne peut rendre conforme les effluents. Le premier impact identifié et évalué a donc été le rôle de barrière protectrice qu'elle joue. L'effet de l'impact a été qualifié de positif. Par ailleurs, neuf impacts avec un effet négatif ont été identifiés et évalués dont cinq sur la composante biophysique (biodiversité, écosystème, faune piscicole, eaux de surface et

l'air/atmosphère). Les quatre autres impacts restant à effet négatif concernent la composante humaine (sur la santé, le revenu des ménages, les pratiques culturelles et le cadre de vie).

Au regard des impacts potentiels ainsi décelés un état des lieux sur les principales causes du dysfonctionnement a été mené. La charge organique, trop importante et l'inefficacité des systèmes de prétraitement sortent en première analyse. Une proposition de solution axée sur quatre (4) phases a été faite. Ceci permettra de rendre efficace le traitement des eaux usées de la station de Sotuba. Les deux premières étapes visent à pallier aux insuffisances de fonctionnement dans l'immédiat. Il s'agit du suivi des bassins et la dilution des effluents. La troisième étape vise le moyen terme (l'installation d'une unité de traitement physicochimique en amont des lagunes). Quant à la dernière phase elle vise la durabilité de l'exploitation de la station de Sotuba. Elle suggère l'extension des lagunes d'un bassin supplémentaire à macrophyte par série. Ces bassins effectueront un traitement de finition.

Des recommandations ont aussi été formulées à l'endroit de l'ANGESEM à partir des informations recueillies et observations faites sur le terrain. Elles portent sur : la présence des émissions ponctuelles de certaines industries, les impératifs avant l'atteinte de la charge nominale de la station de Sotuba et l'accompagnement technique des unités industrielles pour rendre conforme leurs rejets aux normes de raccordement à la station de Sotuba.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Agence de l'eau Artois-Picardie (2005), *l'eau et industrie*. 32p

Agence de l'eau Loire-Bretagne (2014), *la pollution et l'épuration de l'eau*, Cahier pédagogique n°2. 36p

Amadou, H., Laouali, M.S. et Manzola, A.S. (2011), « Evaluation des rejets d'eaux usées de la ville de Niamey dans le fleuve Niger ». *Afrique SCIENCE*, 07(2) (2011), pp. 43-55.

André, P., Delisle, C.E., et Revéret, J-P. (2003), *L'évaluation des impacts sur l'environnement. Processus, acteurs et pratiques pour un développement durable*, 2^{ème} édition. Edition : Ecole polytechnique de Montréal. 519p.

ANGESEM (2014), *Rapport d'étude sur l'état des lieux des unités de prétraitement de la zone industrielle de Sotuba*.

Benabadji, K.I., Desbrieres, J., François, J. et Mansri, A. (2010), « Elimination des ions chrome (VI) en solution aqueuse par des supports argile/polymère ». *Colloque E3D (Eau, Déchets et Développement Durable)*, 28-31 Mars 2010, Alexandrie, Egypte. 53-59p.

Berland, J-M., Boutin, C., Molle, P. et Cooper, P. (2001), *Procédés extensifs d'épuration des eaux usées adaptés aux petites et moyennes collectivités*. Rapport pour Commission Européenne. Edition : Office des Publications des Communautés Européennes, L-2985 Luxembourg. 41p.

Brebion, G., Gomella, C. et Legube, B. (2016), « EAU - Approvisionnement et traitement », *Encyclopædia Universalis* [en ligne], consulté le 1 décembre 2016. URL: <http://www.universalis.fr/encyclopedie/eau-approvisionnement-et-traitement/> .

Calamari, D. (1985), *Situation de la pollution dans les eaux intérieures de l'Afrique de l'Ouest et du Centre*. Archives de documents de la FAO, Doc.Occas.CPCA, (12):28 p.

Cardot, C. (1999), *Les traitements de l'eau, Procédés physico-chimiques et biologiques, Cours et problèmes résolus*. Génie de l'environnement. Edition ellipses marketing. 256p.

Chaillou, S., Combrisson, J. (2016), « BIODÉPOLLUTION », *Encyclopædia Universalis* [en ligne], consulté le 1 décembre 2016. URL : <http://www.universalis.fr/encyclopedie/biodepollution/> .

Choubert, J-M. (2002), *Analyse et optimisation du traitement de l'azote par les boues activées à basse température*. Thèse de Doctorat. Université Louis Pasteur – Strasbourg I, Discipline : Sciences Pour l'Ingénieur (spécialité Génie des Procédés). 266p.

Dejoux, C. (1988), *la pollution des eaux continentales africaines ; expériences acquises, situation actuelle et perspectives*. Edition de l'ORSTOM, Collection TRAVAUX et DOCUMENTS n°213 Paris 1988. 513p.

Diawara, B. (2015), *L'impact des rejets de la station d'épuration de sotuba sur le fleuve*. Projet de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de : Licence Professionnelle en Chimie Appliquée (CA), Option (Chimie des Eaux et Environnements). Institut des Sciences Appliquées (ISA). 24p.

Edeline, F. (1997), *L'épuration biologique des eaux. Théorie & technologie des réacteurs*. 4e édition entièrement revue et complétée, 5e tirage. Edition CEBEDOC. 301p.

Edeline, F. (1998), *L'épuration physico-chimique des eaux. Théorie & technologie*. 4e édition. Edition CEBEDOC. 288p.

Edeline, F. (2001), *Le pouvoir autoépurateur des rivières. Une introduction critique*. 4e édition entièrement revue et complétée, 5e tirage. Edition CEBEDOC. 240p.

El Alaoui, R. et Taoussi, I. (2013), *l'impact du chrome VI sur le traitement des eaux usées dans la station d'épuration de Marrakech*. Mémoire de fin d'étude de licence en Sciences et Techniques « Eau et Environnement ». Université Cadi Ayyad de Marrakech. 23-24 p.

Gaïd, A. (1993), *Traitement des eaux usées urbaines*. Direction Technique et Ingénierie Omnium de Traitement et de Valorisation (OTV). Doc. C 5 220. 30p.

Guillemin, C. et Roux, J-C. (1992), *Pollution des eaux souterraine en France. Bilan des connaissances, impacts et moyens de prévention*. Edition BRGM. Collection Manuels et Méthodes (N°23). 262p.

Guindo, D. (2015), *Etude de la performance de la station d'épuration de Sotuba dans le traitement des effluents industriels*. Rapport de Stage. Ecole Supérieure d'Ingénierie de la Santé (ESIS). 19p.

Hénaut, A., (2011), *Pollution de l'air et de l'eau. Qualité de l'eau et lutte contre la pollution : faut-il distinguer protection de la santé et protection de l'environnement ?* Les dossiers de science et politiques publiques. 64p.

Idrissi, Y.A., Alemad, A., Saad, A., Hajar, D., Elkharrim, H. et Belghyti, D. (2015), "Caractérisation physico-chimique des eaux usées de la ville d'Azilal –Maroc". *International Journal of Innovation and Applied Studies*, Vol. 11 No. 3 Jun. 2015, pp. 556-566.

Kassogué, M. (2010), « Pratiques culturelles liées au fleuve Niger des sociétés riveraines du Mali » [En ligne], Consulté le 02/08/2016. URL : <http://www.netwa-bamako.org/> .

Laurent, J-L. (1994), *L'assainissement des agglomérations : techniques d'épuration actuelles et évolutions*. Document réalisé par les Agences de l'Eau et le Ministère de l'Environnement. Secrétariat de rédaction (Agence de l'Eau Artois-Picardie). 165p.

Maïga, A. (2016), *Evaluation de la qualité du rejet du prétraitement d'IMAT raccordée au réseau d'égouts de Sotuba*, Rapport de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de : Licence Professionnelle en Chimie Appliquée (CA), Option (Chimie des Eaux et Environnements). Institut des Sciences Appliquées (ISA), Université des Sciences Techniques et des Technologies de Bamako (USTTB). 27p.

Maïga, F. (2012), *Analyse des externalités négatives du développement urbain de Bamako et pollution du fleuve Niger*. Thèse de doctorat de géographie. Option Environnement. Institut Supérieur de Formation et de Recherche Appliquée (ISFRA). 229p.

Makanguile, M. (2009), *Sanitation Sector Status and Gap Analysis (Mali)*. Global Sanitation Fund; Water Supply & Sanitation Collaborative Council. 42p.

Marie, J., Morand, P. et N'djim H. (2007), *Avenir du fleuve Niger*. IRD Editions. Collection Expertise collégiale, Paris, 2007. 748p.

Merceron, T. et Yelkouni, M. (2012), « savoir traditionnels et gestion de l'environnement : pour une approche intégrée », *Déchets Sciences et techniques* [En ligne], N°62, Novembre 2012. mis à jour le : 13/03/2015, URL : <http://odel.irevues.inist.fr/dechets-sciences-techniques/index.php?id=2739>.

Mimeche, L. (2014), *Etude de faisabilité de l'installation de station d'épuration des rejets urbains par les filtres plantés en milieu aride, Application à la région de Biskra*, Thèse de Doctorat en Science Hydraulique de l'Université Mohamed Khider de Biskra (Algérie). 164p.

Moussa, M.D.H. (2005), *les eaux résiduaires des tanneries et des teintureries. Caractéristiques physico-chimiques, bactériologiques et impact sur les eaux de surface et les eaux souterraines*, Thèse de Doctorat Présentée et soutenue publiquement le 01/07/2005 devant le jury de la Faculté de Médecine, de Pharmacie et d'Odonto-stomatologie (FMPOS) du Mali. 135p.

Orange, D. et Palangjié, A. (2006), "Assessment of water pollution and risks to surface and groundwater resources in Bamako, Mali". In *Groundwater Pollution in Africa*. Edited by Yongxin Xu and Brent Usher. 139-145p.

Ounoki, S. et Achour, S. (2014), « Evaluation de la qualité physicochimique et bactériologique des eaux usées brutes et épurées de la ville d'Ouargla. Possibilité de leur valorisation en irrigation ». *Larhyss Journal*, n°20, Décembre 2014, pp. 247-258.

Pesson, P. (1980), *La pollution des eaux continentales. Incidence sur les biocénoses aquatiques*. Edition BORDAS, Paris. 2^{ème} édition (revue et augmentée). 345p.

Racault, Y. (1997), *Le lagunage naturel. Les leçons tirées de 15 ans de pratique en France*. Technique et Documentation LAVOISIER. Coédition (Cemagref Editions et Agence de l'Eau Loire-Bretagne). 64p.

Ramade, F., (2007), *Introduction à l'écotoxicologie. Fondements et applications*. Editions Tec & Doc Lavoisier. 648p

Ramade, F. (2007), « POLLUTION », *Encyclopædia Universalis* [en ligne], consulté le 1 décembre 2016. URL : <http://www.universalis.fr/encyclopedie/pollution/> .

Roques, H. (1990a), *Fondements théoriques du traitement chimique des eaux*. Volume I. Edition Lavoisier TEC& DOC. 522p.

Roques, H. (1990b), *Fondements théoriques du traitement chimique des eaux*. Volume II. Edition Lavoisier TEC& DOC. 425p (523-948).

Sasse, L. (1998), *DEWATS-Systèmes Décentralisés de Traitement des Eaux Usées dans les Pays en Voie de Développement*. Edition BORDA, 177p.

Sawadogo, R., Guiguemde, I., Diendere, F., Diarra, J. et Bary, A. (2012), « Caractérisation physico-chimique des eaux résiduaires de tannerie. Cas de l'usine TAN ALIZ à Ouagadougou / Burkina Faso », *International Journal of Biological and Chemical Science*, pp. 7087-7095. December 2012. Available online at <http://ajol.info/index.php/ijbcs>.

Sidibé, M. (1992), *Etude de quelques aspects physico-chimiques de la pollution du fleuve Niger à Bamako et à Koulikoro*, Thèse de doctorat de l'Ecole Nationale de Médecine et de Pharmacie du Mali.

Tisseem, A. (2007), *Impacts des rejets de la tannerie MEGISSRIE MEGA de Batna sur Oued el Gourzi*. Mémoire de Magister de l'Université 20 Août 55, Skikda, Algérie. Faculté des Sciences et Sciences de l'Ingénierat. Département des Sciences Fondamentales. Spécialité : chimie. Option : Pollution chimique et environnement. 130p.

Veolia Environnement (2007) : *Pourquoi les effluents industriels sont-ils difficiles à traiter ?* Le cahier des chroniques scientifiques No°10 / Effluents industriels /mai 2007. Recherche & Développement.

Yonli, H.A., Diarra, J., Koulidiati, J. (2010), « Performance de la station d'épuration des eaux de la zone industrielle de Kossodo dans la banlieue de Ouagadougou. Impact des eaux traitées sur la qualité des sols de la zone de maraîchage ». Colloque E3D (Eau, Déchets et Développement Durable), 28-31 Mars 2010, Alexandrie, Egypte. 265-269p.

ANNEXES

Annexe 1: Liste des conventions internationales ratifiées par le Mali

Libellé du texte	Adoption	Signature	Entrée en vigueur	Ratification	Lieu
Convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontaliers de déchets dangereux et leur élimination	22 mars 1989	15 septembre 2000	05 mai 1992	15 septembre 2000	Bâle (Allemagne)
Convention pour la protection du patrimoine mondial, culturel et naturel	Non connue	19 novembre 1972	17 décembre 1975	05 avril 1977	Paris (France)
Convention de Bamako sur l'interdiction d'importer des déchets dangereux et le contrôle de leurs mouvements transfrontaliers en Afrique	31 janvier 1991	31 janvier 1991	20 mars 1996	21 février 1996	Bamako (Mali)
Convention de Stockholm sur les polluants chimiques persistants	22 mai 2001	23 mai 2001	17 mai 2004	24 avril 2003	Stockholm (Suède)
Convention de Rotterdam sur la procédure de consentement préalable en connaissance de cause applicable à certains produits chimiques et pesticides dangereux qui font l'objet de commerce international	19 septembre 1998	Non connue	24 février 2002	13 novembre 2002	Rotterdam (Pays-Bas)
Convention de Vienne sur la protection de la couche d'ozone	22 mars 1985	28 octobre 1994	22 septembre 1988	28 octobre 1994	Vienne (Autriche)
Convention africaine sur la conservation de la nature et des ressources naturelles	15 septembre 1968	31 août 1987	16 juin 1969	20 juin 1974	Alger (Algérie)
Convention relative aux zones humides d'importance internationale particulièrement comme habitat des oiseaux d'eau	02 février 2000	25 mai 1987	21 décembre 1975	25 septembre 1987	Ramsar (Iran)
Convention sur la diversité biologique	13 juin 1992	22 septembre 1993	29 septembre 1994	29 septembre 1995	Rio de Janeiro (Brésil)

Annexe 2: Résultats d'analyses des échantillons

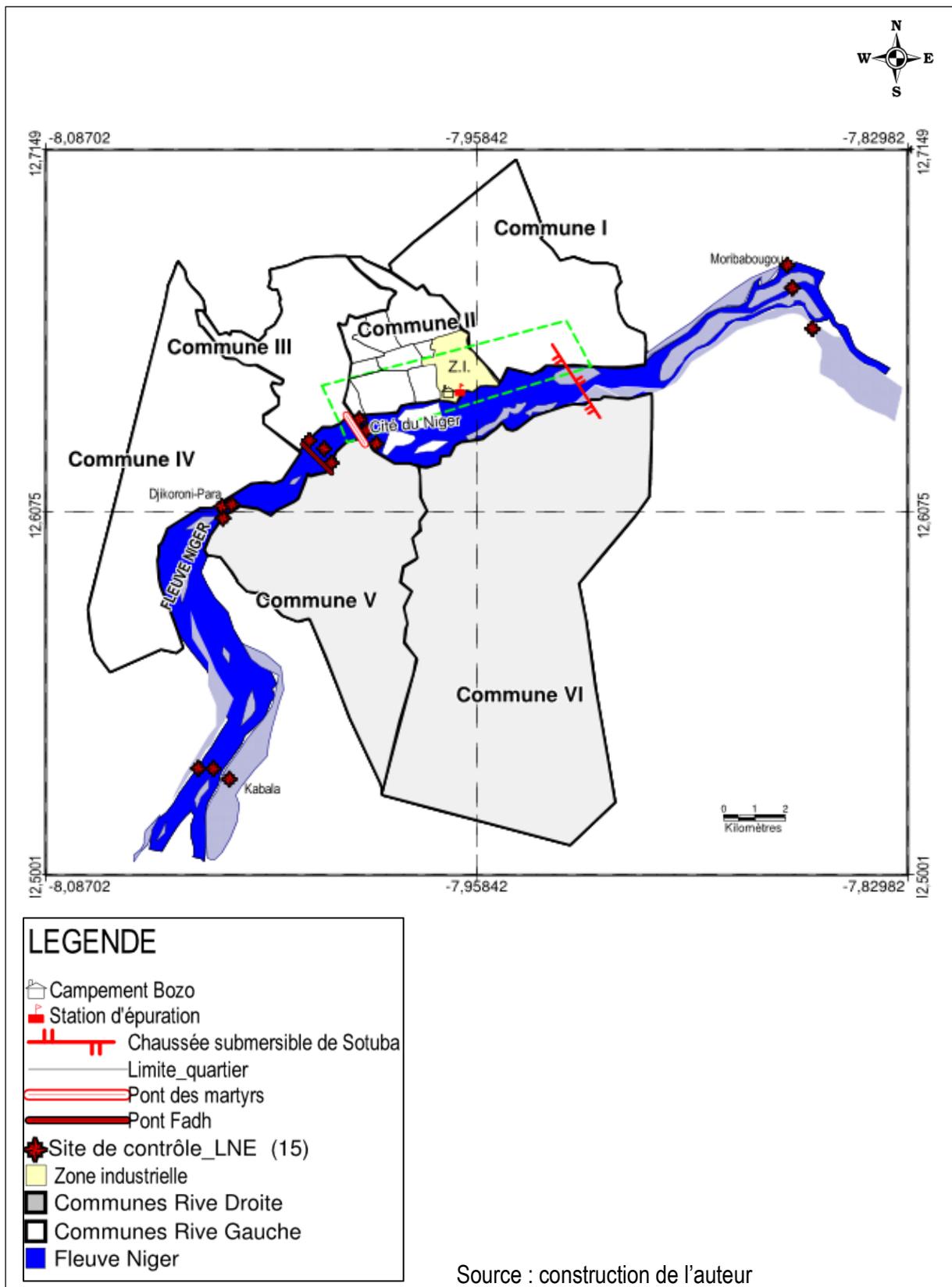
Sites		T°	MES	Turbidité	pH	Conductivité	Phosphates	Nitrates	Nitrites	DBO ₅	DCO	Chrome VI	Fer	Zinc
Unité		°C	mg/L	NTU	-	µs/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Normes de rejet		(Nr<40)	(Nr≤30)	(Nr≤150)	6.5-9.5	(Nr≤ 2500)	(Nr = 0)	(Nr≤ 30)	(Nr = 0)	(Nr≤ 50)	(Nr≤150)	(Nr ≤ 0,2)	(Nr≤ 2)	(Nr≤ 0,5)
Entrée STEP	Juin	31,1	120	280	7	2850	1,6	303	0,7	949	2875	0,775	2,7	0,55
	Juillet	29,6	420	217	7,7	2900	2	268,5	0,293	400	1015	0,28	1,55	2,6
	Août	29,1	28	383	7,9	3000	1,4	200	0,28	320	575	0,53	1,05	0,45
Sortie STEP	Juin	31,2	28	135	8,6	5620	1	262	0,05	518	824	0,43	3,4	1,75
	Juillet	28,5	18	254	7,6	4540	1,45	172,5	0,736	190	605	0,56	1,85	1,05
	Août	28,2	11,42	110	8,33	3440	0,9	90,5	0,7	110	413	0,48	1,95	1,15
Amont Fleuve	Juin	29,8	35	15,21	7,8	66,6	0	0	0	7	22	0,034	0,11	0
	Juillet	28,5	8	60	7,6	56	0	1,6	0	8	21	0,058	3,55	0,08
	Août	28,2	6	52	6,87	52,2	0	0,1	0,154	11	26	0,063	1,1	0,1
Aval fleuve	Juin	29,8	40	12,92	8	67,7	0,5	0	0	9	38	0,07	0,09	0
	Juillet	29,4	40	73	7,1	58	0,6	2,78	0,89	13	28	0,067	0,75	0,04
	Août	28,2	40	51	7,1	57,8	0,1	0,44	0,07	13	34	0,072	1,75	0,11

Annexe 3 : Variation de la moyenne de quelques paramètres le long du fleuve Niger pendant les saisons pluvieuses et sèches en 2015 (synthèse faite à partir de la base de données du LNE)

Sites			T° (°C)	MES (mg/L)	Turbidité (NTU)	pH	Conductivité (µs/cm)	Phosphates (mg/L)	Nitrates (mg/L)	Fer (mg/L)	Zinc (mg/L)
Rive Gauche Fleuve Niger	Saison Pluvieuse	Moyenne	28,571	9,750	25,500	7,116	50,400		1,371	0,439	0,103
		Ecart type	0,754	6,560	41,561	0,269	26,099		0,448	0,354	0,093
	Saison sèche	Moyenne	27,044	7,120	5,960	7,640	56,316	0,564	0,823	0,569	0,107
		Ecart type	3,637	10,826	6,617	0,384	22,921	0,506	0,630	0,248	0,091
Milieu du Fleuve Niger	Saison Pluvieuse	Moyenne	28,715	12,550	24,800	7,238	37,915		1,757	0,540	0,114
		Ecart type	0,636	21,212	41,246	0,184	8,998		2,627	0,472	0,110
	Saison sèche	Moyenne	26,948	4,520	6,240	7,744	41,496	0,438	0,595	0,605	0,098
		Ecart type	3,243	3,216	6,366	0,351	5,588	0,412	0,403	0,258	0,065
Rive Droite Fleuve Niger	Saison Pluvieuse	Moyenne	28,710	9,050	22,850	7,197	40,010		1,222	0,506	0,914
		Ecart type	0,641	5,196	29,350	0,250	9,199		0,351	0,459	3,553
	Saison sèche	Moyenne	27,073	4,960	5,800	7,695	57,636	0,378	0,697	0,608	0,118
		Ecart type	3,413	5,264	5,530	0,444	75,865	0,254	0,440	0,242	0,089
Saison pluvieuse (mois de juin à octobre);											
Saison sèche (mois de novembre à Juin)											

Les 15 stations de contrôle de la qualité du fleuve Niger sont représentées sur la carte suivante :

Annexe 3 (Suite) : Présentation des 15 points de contrôle du fleuve Niger à Bamako



Annexe 4: Temps forts du stage en images (phase d'observation directe)



Virage de la coloration des bassins facultatifs de la STEP de Sotuba (KASSAMBARA O., 2016)



Coloration ponctuelle du fleuve par les rejets de la STEP de Sotuba (KASSAMBARA O., 2016)



Quelques parcelles maraîchères le long du fleuve Niger dans la commune II (zone industrielle)
(KASSAMBARA O., 2016)



Quelques parcelles maraîchères contiguës à la STEP de Sotuba (KASSAMBARA O., 2016)



a) Un pêcheur professionnel



b) Un pêcheur sportif (amateur)

Quelques clichés montrant les catégories de pêcheurs interviewés (a et b) (KASSAMBARA O., 2016)



Campement Bozo (contigu à la STEP de Sotuba)



Les lavandières faisant la lessive (près de la cité du Niger)

Autres usages du fleuve Niger le long de la commune II de Bamako (KASSAMBARA O., 2016)

Annexe 4: Temps forts du stage en images (phase d'observation directe)

Annexe 5 : Fiche de collecte des informations

« Evaluation des impacts environnementaux et sociaux de la station d'épuration de Sotuba sur le fleuve Niger »

Objectif de l'enquête	collecter des informations auprès des riverains sur les impacts des rejets de la station d'épuration de Sotuba sur le fleuve Niger.
Public visé	Riverains ou usagers du fleuve présents le jour du passage de l'enquêteur
Procédure	Administrer le questionnaire aux riverains / Usagers rencontrés lors du passage de l'enquêteur
Résultats attendus	Les impacts des rejets de la station d'épuration sur le fleuve et sur les riverains sont identifiés

I. Informations générales

Date : / / 2016 Site :
Quartier de : Commune de : District de Bamako
Prénom & nom : Sexe : Age : ans
Ethnie : Profession :

II. Identification des services rendus par le fleuve

1. Quelle est votre activité dans la zone ?
.....
2. Cette activité vous permet-elle de Satisfaire vos Besoins ?
 1. Oui 2. Non
Commentez
.....
3. Depuis quand pratiquez-vous cette activité ?
.....
4. Qu'avez-vous remarqué comme changement dans votre activité ?
.....
5. Selon vous, quelles sont les activités menées dans le fleuve ?
.....
6. Quelles sont leurs importances pour les riverains ?
.....

III. Identification des impacts de la station

7. Savez-vous que des eaux usées sont déversée dans le fleuve ? Oui..... Non.....
commentez.....

.....
.....
8. Avez-vous connaissance de l'existence de la station d'épuration de Sotuba?

Oui Non

Commentez.....
.....

9. Savez-vous que les eaux usées traitées par la station sont déversées dans le fleuve ?

Oui Non

Commentez

10. Depuis que les eaux de la station sont déversées dans le fleuve, avez-vous remarqué un changement dans vos activités ?

Oui..... Non

Comment ?

11. Selon vous, les eaux usées déversées par la station ont-elles des effets sur

a. Le rendement ?.....

b. La santé ?

c. Le respect des traditions (coutumes et mœurs) ?.....

.

d. La dégradation des écosystèmes ?

...

e. La perte de la biodiversité (précisez) ?.....

Commentez :

12. Selon vous, la station peut-elle avoir d'autres impacts sur l'environnement ?

Si oui commentez :

13. Quelles sont les mesures que vous préconiserez pour faire face aux nuisances, si elles existaient?

- Améliorer le processus d'épuration.....

- Interdire aux industrielles d'émettre directement dans le fleuve.....

Autres :.....

14. Selon vous, existe-t-elle une relation entre les rejets des eaux usées dans le fleuve et les changements dans votre activité ?

Commentez :

Annexe 6 : Matrice de l'inventaire culturel des valeurs et pratiques liées au fleuve Niger le long de la Commune II de Bamako

<p>Nom, objectif & champ de l'Inventaire :</p>	<p>Rive gauche du Fleuve Niger à Bamako</p> <p>L'objectif premier de cet inventaire est de cerner le volet culturel des services écosystémique (services sociaux) du fleuve Niger dans la Commune II du district de Bamako afin de rendre accessible l'information sur les valeurs et les pratiques culturelles liées au fleuve pouvant être intégrer dans la gestion du fleuve le long de la zone.</p> <p>Le champ de l'Inventaire est la rive gauche du fleuve Niger allant de la chaussée submersible de Sotuba au pont des Martyrs en passant par les quartiers TSF et la Zone industrielle. Etaient concernés les riverains et les campements Bozo⁵¹ « traditionnels maîtres du fleuve ». Le choix du site a été motivé par les recherches sur la pollution du fleuve le long de la zone industrielle de Sotuba.</p> <p>En effet, le fleuve Niger constitue un réservoir naturel et culturel exceptionnel. Berceau de la première civilisation agricole d'Afrique occidentale, sur ses 1700 km au Mali, il a façonné un paysage culturel unique, rassemblé les populations et favorisé l'émergence de pratiques culturelles spécifiques (1)⁵² ; A l'image de la ville de Bamako qui s'est installée à l'origine sur la rive gauche du fleuve Niger, dans une plaine que domine le plateau mandingue au Nord(2). Aujourd'hui avec son extension le district de Bamako se trouve des deux côtés du fleuve qui le traverse.</p>
<p>Coordonnées du compilateur :</p>	<p>KASSAMBARA Ousmane étudiant en Master Gestion de l'Environnement, Université Senghor d'Alexandrie (Opérateur direct de la Francophonie)</p> <p>Tel : (00223) 76501479 / 69193827</p> <p>Mail : ousmikass2@yahoo.fr</p>
<p>Zone prise en compte dans la présente fiche :</p>	<p>Rive gauche du Fleuve Niger à Bamako (le long de la Commune II) allant de la chaussée submersible de Sotuba (latitude N12,64688 et longitude W007,93017) au pont des Martyrs (latitude N12,63345 et longitude W007,99390) en passant par les quartiers TSF et la Zone industrielle.</p>

⁵¹ **Campements Bozo**, est employé ici pour désigner les campements peuplés par les pêcheurs appartenant à l'ethnie Bozo (ils sont spécialisés dans la pêche).

⁵² (1) est la notation choisie dans ce document pour désigner les numéros de références des documents consultés.

Résumé des résultats de l'Inventaire :	<p>Les résultats de cet inventaire ont été beaucoup fructueux. On s'est rendu compte qu'il existe des documents écrits sur les pratiques culturelles liées au fleuve Niger dans plusieurs localités au Mali. Cependant il n'y a pas assez de documents écrits qui traitent le cas spécifique de Bamako, malgré la pratique de certains cultes liés au fleuve comme : le culte du génie de l'eau, les rites de pêche et les cultes du site de Souta-doundoun. A l'instar de ces pratiques nous avons décelé d'autres valeurs culturelles du fleuve telles que la beauté visuelle et le calme (quiétude) qu'il procure. Ces résultats constituent, sans doute, une base de données préliminaire pour l'inventaire général du patrimoine culturel lié au fleuve Niger à Bamako.</p>		
NOM ET DESCRIPTION DES VALEURS/PRATIQUES CULTURELLES	EFFETS SUR LA PRÉSERVATION	SITUATION DES VALEURS/PRATIQUES CULTURELLES	MESURES RECOMMANDÉES VISANT À INTÉGRER DAVANTAGE LES VALEURS/PRATIQUES CULTURELLES DANS LA GESTION, LE CAS ÉCHÉANT
<p>Spirituel et inspiration</p> <ul style="list-style-type: none"> • LE GÉNIE DES EAUX ou Ba Faro appelé dji déin « fils de l'eau », ou dji tigui « maître de l'eau » par les pêcheurs Bozo vivant sur le fleuve, de Gao⁵³ à Bamako. Dans cette dernière localité il porte en outre le titre honorifique de nyana (3); <p>En effet, que ça soit chez les Bambara, les Soninké, ou les Peuhls, Ba Faro, le Génie tutélaire des eaux, symbolise l'eau et ses</p>	<p>Le lamantin étant son protégé (3) et (4), ce mammifère aquatique, dont l'espèce est menacée d'extinction, a longtemps bénéficié de ce caractère sacré qui a assuré sa préservation le long du fleuve Niger au Mali , cela pendant plusieurs décennies.</p>	<p>Les informations recueillies auprès des riverains attestent la vitalité de ce culte. A Bamako de nombreuses personnes y vont encore pour prier Faro. Des béliers, des bœufs blancs, des tomates, du mil, du fonio... lui sont offerts pour demander sa protection</p>	<p>Ce sont des pratiques populaires pouvant être bénéfique car il y'a incontestablement une croyance à un être mystique, il serait donc intéressant de :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Créer un cadre de concertation entre les gestionnaires, les détenteurs de savoirs locaux et toutes autres catégories de riverains du fleuve afin de les mobiliser autour de la sauvegarde des ressources du fleuve qui sont aujourd'hui en périls.

⁵³ Gao est la septième région administrative du Mali, située au Nord du pays.

<p>pouvoirs protégeant la vie et la santé des hommes et des champs, mais aussi le cours du fleuve Niger. Représenté sous les traits d'une femme de peau claire, aux longs cheveux noirs. Faro est l'un des tout premiers êtres apparus sur terre. Il est vénéré sur pratiquement tout le long des rives (4).</p>			<ul style="list-style-type: none"> - Informer, Eduquer et Sensibiliser sur les bonnes pratiques que les usagers doivent adopter pour la préservation du milieu dont eux même et le « génie » dépendent
<p>Spirituel et inspiration</p> <ul style="list-style-type: none"> • Site Souta-doundoun de Sotuba (latitude N 12,64661 et longitude W 007,93059) <p>Située entre la chaussée submersible de Sotuba et le barrage des Aigrettes est un lieu des offrandes, d'incantations et/ ou de vénération des esprits ou des djinns⁵⁴ (5).</p>	<p>site possédant un passé culturel exceptionnel datant des civilisations passées qui ont eu une influence sur les caractéristiques écologiques du fleuve. Ce caractère sacré a longtemps joué en faveur de la préservation des ressources de la zone car il y'avait beaucoup d'interdits et certains demeurent toujours d'actualité (4).</p> <p>Par ailleurs, de nos jours, certaines pratiques peuvent être sources de pollutions telles que l'abandon des</p>	<p>En effet dans la zone depuis l'époque coloniale (1953) tout près de la chaussée submersible à 150 m côté Ouest une gravure rupestre préhistorique (gravure d'un poisson finement taillé sur une imposante roche en grès) fut trouvée et amenée au musée Soudanais de l'IFAN⁵⁵; tout autour de l'emplacement de la gravure des vestiges de polissoirs et de polissage immergé totalement par l'eau du fleuve lors des crues existent en maints endroits. Aussi de l'autre côté du fleuve à 100 m de la rive droite plusieurs gisements d'objets préhistoriques furent trouvés dont l'un d'entre eux datant de</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Vu l'immensité des valeurs et pratiques culturelles le long du fleuve Niger il serait primordial de procéder à un inventaire complet du patrimoine culturel lié au fleuve à Bamako afin d'intégrer les usages socioéconomiques et culturels dans la gestion du fleuve. - Elaborer et mettre à disposition un guide de bonne pratique sur la préservation du fleuve à Bamako intégrant à la fois les usages culturels mais aussi la nécessité de la sauvegarder pour tous y compris les

⁵⁴ Djinns est une forme d'appellation des génies des eaux selon les croyances des uns et des autres.

⁵⁵ Musée Soudanais de l'IFAN (Institut Français d'Afrique Noire) est l'actuel musée national du Mali.

	cadavres des animaux immolés ou encore des déchets plastiques ou tout autre objet polluant dans l'eau du fleuve.	l'époque néolithique n'était qu'à 250 m de la gravure. (6) En nous rendant sur le site nous avons été témoin de l'affluence des gens qui y vont pour faire des sacrifices.	générations futures.
Spirituel et inspiration <ul style="list-style-type: none"> Rite de Naissance (initiation) <p>Selon DJENEPO B., un vieillard bozo⁵⁶ de 70 ans quand un enfant naissait dans une famille bozo, il était de coutume de le présenter aux génies de l'eau soit en le mettant dans une calebasse neuve et le laisser au courant du fleuve, soit en l'abandonnant nu dans l'eau. Miraculeusement l'enfant ne sera ni emporté par le courant, ni noyé, au contraire il flottera et restera toujours à la même place. Signe de l'authenticité bozo</p>	Ce fait permet de sceller un pacte entre le nouveau-né (futur pêcheur) et le Faro qui veillera toujours sur lui. En retour le futur pêcheur doit respecter le pacte existant entre eux, surtout de ne pas toucher à certaines ressources du fleuve ou de veiller à leur utilisation rationnelle. Exemple les alevins ne seront jamais pêchés ou même s'ils sont capturés ils sont remis dans l'eau.	Monsieur DJENEPO me confia que cette pratique ne se fait plus à Bamako pour plusieurs raisons qui sont entre autres la conversion aux religions monothéistes, la proximité de la zone industrielle (risque d'infection) ⁵⁷ .	
Spirituel et inspiration <ul style="list-style-type: none"> Rites de pêche 	Même si c'est un sentiment ils ont affirmé que ce rituel a contribué à	Cette pratique existe depuis très longtemps et a été soulevé déjà en 1942	

⁵⁶ Au Mali, les bozos sont une ethnie spécialisée dans la pêche et on les retrouve majoritairement dans la région de Mopti.

⁵⁷ De l'entretien avec le vieux DJENEPO, il nous a fait savoir qu'eux vivent de l'eau, pour l'eau et par l'eau mais hélas très souvent leurs enfants tombent subitement malades ; ainsi, il a fait un rapprochement avec la qualité dégradante de l'eau du fleuve.

<p>(il s'agit des sacrifices qui sont fait en l'honneur des génies pour la pêche)</p> <p>Selon les informations recueillies auprès des personnes ressources le sacrifice avait pour but principal de mettre de l'ordre dans la pêche.</p> <p>Qui voulait ne pouvait pas pêcher, avant chaque pêche un sacrifice (coq, mouton, bœuf, cola...) est fait aux génies selon leur demande.</p>	<p>préserver l'ichtyo-faune pendant longtemps et que son abandon est en partie à l'origine du déclin de la pêche et de la productivité du fleuve.</p>	<p>par l'auteur Dieterlen Germaine, de même parmi les pêcheurs que nous avons questionné ils nous ont fait savoir que la pratique est à l'abandon (seulement une minorité a avoué faire ce rituel au moins une fois dans l'année).</p>	
<p>Spirituel et inspiration</p> <ul style="list-style-type: none"> • Site sacré « Bama-kô » littéralement site « rivière des caïmans » <p>(latitude N 12,63748 et longitude W 007,97494)</p> <p>C'est sur ce site que la famille fondatrice de Bamako (les Niaré) faisait les sacrifices annuels en l'honneur des caïmans considérés comme les dougou-dassiri (protecteurs de la ville).</p>	<p>Les caïmans sacrés qui se trouvaient sur le bras du fleuve Niger (qui entoure l'îlot de la cité du Niger) jouissaient des avantages du culte et étaient protégés par tous pour le bien de la communauté.</p>	<p>Selon le Chercheur KONE S.L.⁵⁸ interviewé le site n'est plus un lieu de culte actif mais plutôt un lieu de mémoire⁵⁹. En effet selon lui la raison principale de l'abandon du culte est la conversion aux religions monothéistes.</p>	
<p>Loisirs et tourisme</p> <ul style="list-style-type: none"> • Beauté visuelle <p>Au niveau du quartier TSF existe un îlot</p>	<p>- Si ces aménagements sont sources de loisirs ils n'en demeurent pas moins des sources de pollutions ; en effet les photos 03 et 04 illustrent</p>	<p>- Au niveau de l'hôtel Mandé, on a un jardin bien aménagé en bordure du fleuve où les clients y vont pour se détendre ; et les chambres de l'hôtel donnent une vue</p>	<p>Pour une gestion efficace du fleuve dans la zone d'inventaire il faut :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Une unité de prétraitement ou traitement des eaux usées au niveau de tous

⁵⁸ KONE S.L. attaché de recherche en histoire archéologie et chef de section restauration des sites et monuments à la DNPC (Direction Nationale du Patrimoine Culturel).

⁵⁹ Selon le chercheur c'est un lieu à travers lequel les gens tentent de se rappeler pour son passé culturel mais n'est plus objet des rituels.

<p>aménagé en habitations « Cité du Niger » (photo 01) et un hôtel « hôtel Mandé » (photo 02) qui se trouvent dans le lit du fleuve Niger. Dans ces deux endroits les personnes interviewées affirment jouir de la beauté et le calme que procure le fleuve.</p>	<p>la prolifération de la jacinthe d'eau observée dans les abords des deux aménagements.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Par ailleurs, à Bamako, « la course au foncier » qui se prolonge jusque dans le lit mineur du fleuve en violation du code domanial est en passe de se généraliser (7), ce qui nuit gravement à la préservation des ressources du fleuve. 	<p>panoramique sur le fleuve.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Au niveau de la cité du Niger des prolongements spéciaux sont érigés au-dessus du fleuve dans le but de leur permettre de contempler le fleuve et de s'adonner à la pêche sportive (photos 05). 	<p>les aménagements riverains (hôtels, résidences, cité...) avant leurs rejets dans le fleuve.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Freiner l'occupation illicite de la zone de servitude du fleuve en appliquant le code domanial. - Capitaliser les acquis du projet « Fleuve Niger (Mali) : renforcer la gouvernance de l'eau à travers la mise en réseau des collectivités locales riveraines et l'appropriation des ressources culturelles».
<p>Scientifique et pédagogique</p> <ul style="list-style-type: none"> • Contribuer à l'éducation 	<p>A Bamako le fleuve Niger a longtemps été un champ d'étude pour les étudiants et les chercheurs. Ceci a considérablement contribué à cerner ses ressources (faune, flore, ichtyo-faune, avifaune...) et aussi a permis une prise de conscience générale en sa faveur.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Des sorties pédagogiques sur le fleuve sont organisées pour les étudiants des différents instituts, facultés et grandes écoles de Bamako. - Plusieurs productions scientifiques existent sur les techniques de lutte contre la jacinthe d'eau grâce au champ d'étude qu'offre le fleuve 	<ul style="list-style-type: none"> - Orienter davantage les formations universitaires vers la problématique de la préservation des zones humides car l'une des raisons essentielles de leurs disparition au Mali est l'ignorance de leurs valeurs, de leurs fonctions et des produits associés - Faire des universités et instituts une interface d'échange de l'information environnementale pour la gestion des zones humides.

N°	Références
1	Mariam KASSOGUÉ (2010), Pratiques culturelles liées au fleuve Niger des sociétés riveraines du Mali ; accessible sur http://www.netwa-bamako.org/ . Consulté le 02/08/2016.
2	Mamadou SANAGO (1977), Le maraichage à Bamako, mémoire de maîtrise en Histoire-Géographie, ENSUP ⁶⁰ , Bamako. PP-3-29
3	Dieterlen Germaine. Note sur le génie des eaux chez les Bozo. In: Journal de la Société des Africanistes, 1942, tome 12. pp. 149-155; http://www.persee.fr/doc/jafr_0037-9166_1942_num_12_1_2533 ; Document généré le 30/05/2016 et consulté le 04/08/2016.
4	« EAU ET COSMOLOGIES, CROYANCES, RITUELS, PRATIQUES FESTIVES, LITTÉRATURE ORALE ». [En ligne]. http://www.netwa-bamako.org/siteenfrancais/module4/eauetcosmologie.html ; consulté le 03/08/2016.
5	Site officielle de l'Office Malien de tourisme et de l'hôtellerie (OMATHO) www.officetourismemali.com , « BAMAKO, la rivière aux caïmans ».[En ligne]. http://officetourismemali.com/index.php?option=com_content&view=article&id=803&Itemid=139&lang=en ; consulté le 02/08/2016.
6	Séance du 21 novembre 1955. In: Bulletin de la Société préhistorique de France, tome 52, n°11-12, 1955. pp. 645-660; http://www.persee.fr/doc/bspf_0249-7638_1955_num_52_11_3279 ; Document généré le 09/04/2016, consulté le 04/08/2016.
7	DIAKITE K. 18/05/2016. [En ligne]. «Fleuve Niger : LA POLLUTION MENACE L'EXISTENCE DU GRAND COURS D'EAU ». http://www.essor.ml/2016/05/fleuve-niger-la-pollution-menace-l'existence-du-grand-cours-deau/ . consulté le 03/08/2016.
8	Dramane Bakary SANOGO (2002), Le devenir du maraichage et la pression foncière à Bamako sur la rive gauche du fleuve Niger, mémoire de DEA en Géographie urbaine, ISFRA ⁶¹ , Bamako, 2002, PP-4-31.

⁶⁰ ENSUP (Ecole Normale Supérieure)

⁶¹ ISFRA (Institut Supérieur de Formation et de Recherche appliquée)



Photo 01 : quelques habitations de la « Cité du Niger »



Photo 02 : « hôtel Mandé »



photo 03 : la jacinthe d'eau observée sur le côté Nord de la cité du Niger



Photo 04 : la jacinthe d'eau observée au niveau de l'hôtel Mandé.

photos 03 et 04 : illustration de la prolifération de la jacinthe d'eau observée dans les abords des deux aménagements.



Photo 05 : prolongement spécial érigé au-dessus du fleuve à des fins récréatives



Photo 06 : exercice d'estimation de la densité au m² de la jacinthe d'eau (53 pieds/m²)