



**ETUDE TECHNICO-ECONOMIQUE DE L'INSTALLATION  
D'UNE UNITE DE TRAITEMENT DES EAUX USEES DE LA  
BRAKINA PAR COUPLAGE BIOREACTEUR A  
MEMBRANE/NANOFILTRATION**

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D' INGENIEUR 2iE AVEC  
GRADE DE MASTER  
SPECIALITE : Eau et Assainissement**

-----  
Présenté et soutenu publiquement le **15/01/2019** par

**Maman Nasser ISSA BOUKARY (2013 0594)**

**Directeur de mémoire : Dr. Boukary SAWADOGO, 2iE**

**Encadrant 2iE : Dr. Boukary SAWADOGO, 2iE**

Jury d'évaluation du stage :

**Président : Dr Franck LALANNE**

**Membres et correcteurs :**

Dr Héla KAROUI

Dr Boukary SAWADOGO

Promotion [2017-2018]

Etude technico-économique de l'installation d'une unité de traitement des eaux usées de la  
Brakina par couplage bioréacteur à membrane/nanofiltration

---

**CITATION**

"Au milieu de chaque difficulté se cache une opportunité " **Albert Einstein**

## **DEDICACE**

*Je dédie le fruit de ce travail à :*

*A mes parents pour leur soutien, leur amour, leur  
patience et surtout leurs efforts entrepris pour faire  
de nous ce que sommes aujourd'hui.*

## **REMERCIEMENTS**

Avant tout développement, je tiens à adresser mes sincères remerciements à tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce travail.

J'adresse mes sincères remerciements à l'Agence Nigérienne des Allocations des Bourses (ANAB) pour m'avoir accordé cette bourse de formation à l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE).

Je remercie également l'Association Africaine de l'Eau (AAE) pour m'avoir accordé la bourse de jeune professionnelle qui m'a permis de mener à bien ce stage.

Je remercie particulièrement :

Professeur Yacouba KONATE, Responsable du Laboratoire LEHSA (2iE, Ouagadougou Burkina-Faso) pour m'avoir permis d'effectuer mon stage de fin d'études au sein de son Laboratoire.

Monsieur Boukary SAWADOGO, Ingénieur de recherche à 2iE qui nous a tant appris sur le plan académique que social. Sa disponibilité et son écoute nous ont permis de bénéficier d'un bon encadrement.

Monsieur Jean OUEDRAOGO, Chef du service d'exploitation de l'assainissement collectif de l'ONEA, pour son entière collaboration et surtout sa disponibilité combien importante.

Monsieur Simplicie SOME, Directeur des usines de la Brakina et ses collègues, pour leur précieux accompagnement dans la collecte des données à travers notre séjour dans l'entreprise.

Messieurs Barro, chef du laboratoire eaux usées et Augustin ZIBA, agent au laboratoire eaux usées de la Brakina pour leur accompagnement et leur disponibilité lors de la collecte des données.

Je remercie également messieurs Noël TINDOURE, Moustapha OUEDRAOGO, Herman MOUNGOUE DJANNI et Abdoul Wahab NOUHOU MOUSSA pour l'appui, les conseils et l'accompagnement dont j'ai bénéficié pour les activités au laboratoire.

Je pense aussi à mes amis stagiaires de 2iE : Kader, Maiga, Ismael, Djo et Kévin pour leur aide et accompagnement très précieux.

Je n'oublie pas mes enseignants et le personnel administratif de 2iE qui n'ont ménagé aucun effort pour nous offrir une formation de qualité et un accompagnement à la hauteur de nos attentes.

## **RESUME**

Les brasseries rejettent d'énormes quantités d'eaux usées contenant une variété de polluants organiques et minérales. Les études antérieures sur le traitement des eaux usées par les bioréacteurs à membranes (BàM) ont mis en évidence la possibilité d'utiliser les technologies membranaires dans contexte climatique sahélien. Le présent travail évalue donc les faisabilités technique, économique, environnementale et sociale de l'implantation d'une unité de traitement des eaux usées l'usine de fabrication de boissons gazeuses et de bières à Ouagadougou au Burkina Faso, la BRAKINA. Elle a été menée sur le site de l'usine et a consisté d'une part à l'évaluation les performances de la station de traitement des eaux usées et à analyser les avantages et les contraintes de l'installation du nouveau système. Les charges à l'entrée de la station de traitement d'eaux usées varient de 744 mg DCO/L à 10610 mg DCO/L. Tenant compte des différentes activités, le cout d'exploitation de la station de prétraitement actuelle de la Brakina est évalué à 140 FCFA/m<sup>3</sup> d'eau traitée (0,213 euro) dont environ 70% consacré à la neutralisation des eaux usées par l'addition d'acide concentré. L'amélioration du traitement avec un couplage BàM-NF fait ressortir un investissement estimé à 3,8 milliards de FCFA (5,7 millions d'euros). Les charges d'exploitation sont pour leur part évaluées à 322 FCFA/m<sup>3</sup> d'eau traitée (0,49 euros/m<sup>3</sup> d'eau traitée) pour un BàM aéré contre 227 FCFA/m<sup>3</sup> d'eau traitée (0,34 euro/m<sup>3</sup> d'eau traitée) pour un BàM anaérobie soit une baisse de 30%. La construction d'un tel système pourrait occasionner la pérennisation de la maraîcheculture en aval de la station de traitement de Kossodo et générer des centaines d'emplois permanents avec des revenus nets supérieurs à 12 millions FCFA/mois (18 675 euros). Aussi, cela pourrait constituer une vitrine pour la politique sociale et environnementale de la Brakina. Toutefois, les investissements importants, la disponibilité spatiale et l'absence de compétence technique pour la maintenance curative du système pourraient être les principales contraintes à la mise en œuvre de ce projet.

### **Mots clés :**

- 1- Bioréacteur à membranes,**
- 2- Brakina**
- 3- Eaux usées de brasserie,**
- 4- Nanofiltration.**

## **ABSTRACT**

Breweries release huge amounts of wastewater containing a variety of organic and mineral pollutants. Previous studies on the treatment of wastewater by membrane bioreactors (BàM) have highlighted the possibility of using membrane technologies in the Sahel climate context. The present work therefore assesses the technical, economic, environmental and social feasibility of setting up a wastewater treatment plant at a soft-drink and beer manufacturing plant in Ouagadougou, Burkina Faso, BRAKINA. It was conducted at the plant site and consisted of evaluating the performance of the wastewater treatment plant and analyzing the advantages and constraints of installing the new system. The charges at the entrance to the wastewater treatment plant range from 0.744 gDCO/L to 10.61 gDCO/L. Taking into account the various activities, the operating cost of the current Brakina pretreatment station is estimated at 140 FCFA/m<sup>3</sup> of treated water (€ 0.213), of which about 70% is devoted to the neutralization of wastewater by addition of concentrated acid. Improving treatment with BàM-NF coupling shows an investment estimated at 3.8 billion FCFA (5.7 million euros). Operating expenses are estimated at 322 FCFA/m<sup>3</sup> of treated water (0.49 euros/m<sup>3</sup> of treated water) for an aerated biomass compared with 227 FCFA/m<sup>3</sup> of treated water (0.34 euro/m<sup>3</sup> of treated water) for anaerobic BAM is a decrease of 30%. The construction of such a system could lead to the sustainability of market gardening downstream of the Kossodo treatment plant and generate hundreds of permanent jobs with net revenues of more than 12 million FCFA/month (18,675 euros). Also, this could be a showcase for the social and environmental policy of Brakina. However, the large investments, the spatial availability and the lack of technical competence for the curative maintenance of the system could be the main constraints to the implementation of this project.

### **Key words:**

- 1- Brakina**
- 2- Brewery waste water**
- 3- Membrane bioreactor**
- 4- nanofiltration**

## SIGLES ET ABBREVIATIONS

BàM	: Bioréacteur à Membrane	
Brakina	: Brasserie du Burkina	
BRMe	: Bioréacteur à membrane à boucle externe	
BRMi	: Bioréacteur à membrane immergée	
CIP	: Clean in place	
Cm	: Charge massique	Kg DCO) /gMVS/j
Cv	: Charge volumique	Kg (N ou DCO) /L/j
DBO <sub>5</sub>	: Demande biologique en oxygène en 5 jours	mg/L
DCO	: Demande chimique en oxygène	mg/L
DGAEE	: Direction Générale de l'Assainissement, des Eaux Usées et Excrétas	
DGRE	: Direction Générale des Ressources en Eau	
HRT	: Temps de séjour hydraulique	h
J	: Flux de filtration	L/m <sup>2</sup> /h
LMH	: Litre par mètre carré et par heure	L/m <sup>2</sup> / h
MES	: Matière en suspension	g/L
MVS	: Matière volatile en suspension	g/L
NF	: Nanofiltration	
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	: Azote ammoniacal	mg/L
N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	: Azote nitrique	mg/L
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	: Azote nitrate mg/L	mg/L
OI	: Osmose inverse	
ONEA	: Office National de l'Eau et de l'Assainissement	
POA	: Procédés d'oxydation avancée	
PSAO	: Plan stratégique d'assainissement de la ville de Ouagadougou	
P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	: Ortho-phosphate.	
Pm	: Pression membranaire	bar
PNAEA	: Programme National d'Approvisionnement en Eau	

Etude technico-économique de l'installation d'une unité de traitement des eaux usées de la  
Brakina par couplage bioréacteur à membrane/nanofiltration

---

Potable et Assainissement.

PSNA	: Politique et Stratégie Nationale d'Assainissement	
PTM	: Préhension transmembranaire	Bar
SRT	: Solide Retention Time	J
TSH	: Temps de séjour hydraulique	J
$V_T$	: Vitesse d'écoulement du flux d'eau	m/s

## TABLE DES MATIERES

CITATION .....	
DEDICACE.....	i
RESUME.....	iii
ABSTRACT .....	iv
SIGLES ET ABREVIATIONS .....	v
LISTES DES TABLEAUX.....	ix
LISTES DES FIGURES.....	x
I. INTRODUCTION.....	1
II. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE .....	4
II.1. CADRE INSTITUTIONNEL ET RÉGLEMENTAIRE DE LA GESTION DES EAUX USEES AU BURKINA FASO .....	4
II.1.1. Cadre institutionnel.....	4
II.1.2. Cadre réglementaire.....	5
II.2. LES EAUX USEES.....	6
II.2.1. Les eaux usées industrielles.....	8
II.2.2. Eaux usées de brasseries.....	9
II.3. LES PROCÉDES DE TRAITEMENT DES EAUX USEES DE BRASSERIE .....	11
II.3.1. Les procédés biologiques.....	11
II.3.2. Les procédés d'oxydation avancées(POA).....	12
II.3.3. Les procédés physico-chimiques .....	12
II.4. LES TECHNOLOGIES MEMBRANAIRES .....	13
II.4.1. Généralités .....	13
II.4.2. La nanofiltration .....	13
II.4.3. Le Bàm .....	14
II.4.4. Charges de fonctionnement et consommation énergétique dans le Bàm et la NF .....	18
III. MATÉRIELS ET MÉTHODES .....	20
III.1. MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE DE L'ÉTUDE.....	20
III.1.1. Présentation et description du site de l'étude .....	21
III.1.2. Conditions de l'étude .....	21

Etude technico-économique de l'installation d'une unité de traitement des eaux usées de la  
Brakina par couplage bioréacteur à membrane/nanofiltration

---

III.1.3. Performances de la station de traitement actuelle de la brasserie .....	23
III.2. METHODES UTILISEES .....	24
III.2.1. Origines des rejets liquides .....	24
III.2.2. Quantification des eaux usées produite par la structure. ....	25
III.2.3. Caractérisation des eaux usées .....	25
III.2.4. Evaluation des coûts de traitement des eaux usées .....	26
III.2.5. Dimensionnement de la nouvelle station.....	27
III.2.5.1. Paramètres de dimensionnement.....	27
IV. RESULTATS ET DISCUSSIONS .....	32
IV.1. Etat des lieux de la gestion des eaux usées de l'unité industrielle.....	32
IV.1.1. Caractérisation des eaux usées .....	32
IV.1.2. Performances de la station de traitement de la brasserie .....	35
IV.1.3. Coûts de traitements et d'exploitations.....	36
IV.2. PROPOSITION D'UN NOUVEAU SYSTEME DE TRAITEMENT DES EAUX USEES DE L'UNITE INDUSTRIELLE .....	37
IV.2.1. Dimensionnement .....	37
IV.2.2. Evaluation des conditions d'installation d'un nouveau système de traitement.....	40
IV.2.3. Evaluation des avantages et contraintes de l'installation d'un nouveau système de traitement.....	44
V. CONCLUSION ET PERSPECTIVES .....	46
IV. BIBLIOGRAPHIE .....	48
V. ANNEXES .....	i

## LISTES DES TABLEAUX

<b>Tableau 1</b> : Normes de déversement des eaux usées dans le milieu naturel (source : code de l'environnement du Burkina Faso).....	6
<b>Tableau 2</b> : Impacts négatifs des eaux usées non traitées sur la santé humaine, l'environnement et les activités productive (UN WATER, 2017) .....	7
<b>Tableau 3</b> : Les opérations et processus de traitement des eaux usées de brasserie ( Simate et al. 2011).....	11
<b>Tableau 4</b> : Paramètres et méthodes utilisées pour l'analyse.....	26
<b>Tableau 5</b> : Paramètres de dimensionnement des Bàm .....	28
<b>Tableau 6</b> : Caractéristiques de la membrane Polymem MF 100L.....	30
<b>Tableau 7</b> : Caractéristiques de la membrane Polymem NE 2540-70 .....	30
<b>Tableau 8</b> : Rejets des eaux usées .....	32
<b>Tableau 9</b> : Caractéristiques des eaux usées de la Brakina pendant les différentes phases de l'étude.....	34
<b>Tableau 10</b> : Répartition des charges liées à la gestion de la station de prétraitement .....	36
<b>Tableau 11</b> : Caractéristiques du réacteur biologique et du compartiment membranaire.....	39
<b>Tableau 12</b> : Caractéristiques du système de NF .....	40

## LISTES DES FIGURES

<b>Figure 1</b> : Consommation mondiale et production d'eaux usées par secteur important de l'utilisation de l'eau (source : UN WATER, 2017).....	8
<b>Figure 2</b> : Réutilisation globale de l'eau après traitement avancé (tertiaire): Part de marché par applications (source : UN WATER, 2017). ....	9
<b>Figure 3</b> : Principe de la nanofiltration.....	14
<b>Figure 4</b> : Schéma des deux types de bioréacteurs à membrane : a) boucle externe et b) membranes immergées (Grasmik et al., 2007).....	16
<b>Figure 5</b> : Schéma des différents mécanismes de colmatage .....	18
<b>Figure 6</b> : Organigramme de la méthodologie.....	20
<b>Figure 7</b> : Représentation schématique de la station de prétraitement de la Brakina.....	23
<b>Figure 8</b> : Nature des effluents de la Brakina.....	24
<b>Figure 9</b> : Débits journaliers moyens des eaux usées produites par Brakina .....	33
<b>Figure 10</b> : Concentrations de DCO et DBO <sub>5</sub> dans les rejets de Brakina (Résultats ONEA 2017).....	35
<b>Figure 11</b> : Répartition des charges par activités à la station de prétraitement de la Brakina.....	37
<b>Figure 12</b> : Représentation schématique du nouveau système de traitement.....	41
<b>Figure 13</b> : Répartition des charges d'investissement de la station proposée .....	42
<b>Figure 14</b> : Répartition des charges d'exploitation de la station proposée .....	43

## **I. INTRODUCTION**

Pour la satisfaction de ses besoins de consommation, d'hygiène et d'assainissement, l'Homme utilise de l'eau et génère par conséquent des eaux usées. Selon (Corcoran, 2010) à l'échelle mondiale, deux millions de tonnes de déchets d'égouts, industriels et agricoles sont déversés dans les cours d'eau du monde et au moins 1,8 million d'enfants de moins de cinq ans meurent chaque année de maladies liées à l'eau. Les récentes investigations révèlent aussi une augmentation importante de la demande en eau. Cette demande croît d'année en année du fait de l'urbanisation galopante, du changement des habitudes de consommation et des conséquences des changements globaux. Pour le cas spécifique de l'Afrique, l'inégale répartition des eaux au sein des régions a pour conséquence une demande nettement supérieure à la disponibilité. Aussi les disponibilités en eau diminuent, en raison des besoins concurrents du secteur agricole, minier, industriel qui favorisent efficacement la détérioration de la qualité de l'eau.

Dans la majeure partie des pays, à l'exception de ceux vraiment développés, les eaux usées s'avèrent être rejetées dans la nature sans aucun traitement au préalable. Cela a des répercussions ou impacts graves sur la santé humaine, l'environnement dans son ensemble, la qualité des eaux de surfaces et enfin sur les écosystèmes (Unesco, 2017). Dans le même ordre d'idée il est important de notifier que les industries pour leur fonctionnement utilisent d'importantes quantités d'eau. Les effluents industriels ont des caractéristiques qui varient énormément d'un secteur industriel à l'autre. Certains peuvent contenir essentiellement des matières organiques, d'autres des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants, des hydrocarbures, etc. Le traitement des eaux usées industrielles constitue de ce fait un enjeu majeur aussi bien pour les pouvoirs publics, les chercheurs que les industriels. Le devenir et la gestion de ces eaux usées varient d'une unité industrielle à l'autre et sont souvent fonction de la réglementation de ces activités dans la zone où l'unité opère.

Certaines sont rejetées directement dans les cours d'eau ou dans le réseau de collecte des eaux usées, tandis que d'autres sont prétraitées avant d'être déversées dans les réseaux d'assainissement et acheminées vers les stations d'épuration (Matošić et al., 2009). Il existe donc des installations de traitement des eaux usées utilisant des techniques physiques, chimiques, biologiques ou une combinaison de ces méthodes (Simate et al., 2011). Mais, en raison d'un certain nombre de facteurs tels que l'augmentation des prix de l'eau douce, la préservation des ressources en eau et la durabilité environnementale, il semble y avoir de

nouvelles approches pour le traitement des eaux usées. Nous assistons à un désir de développement d'une utilisation durable de l'eau avec la pratique de réutilisation et de recyclage des eaux usées dans les industries, en particulier dans les brasseries (Götz et al., 2014; Rosa and Beloborodko, 2015). Cependant, l'irrigation continue avec des eaux usées traitées peut avoir des impacts négatifs sur la production agricole, le sol et l'environnement, y compris l'augmentation de la salinité du sol et des nutriments dans les zones arides et semi-arides où l'eau et les précipitations sont rares (Abegunrin et al., 2016; Ayoub et al., 2016; Elgallal et al., 2016; Sangare et al., 2018; Sou/Dakouré et al., 2013).

L'utilisation de procédés membranaires pour le traitement des eaux usées industrielles a montré des résultats intéressants (Andrade et al., 2015; Bolzonella et al., 2010; Hoinkis et al., 2012; Norton-Brandão et al., 2013; Yap et al., 2012; Zanetti et al., 2010). Le Bàm offre plusieurs avantages par rapport aux systèmes conventionnels de boues activées, à savoir la stabilité de la qualité des effluents traités, la facilité d'exploitation, la faible empreinte ou l'élimination absolue des bactéries et de certains virus (Gagnaire et al., 2008). De plus, les Bàm permettent de clarifier et de désinfecter simultanément l'eau sans risque de formation de composés organiques halogénés, permettant ainsi la réutilisation des effluents traités.

Au Burkina Faso, pays sahélien l'eau est une importante ressource car l'économie est basée en majeure partie sur l'agriculture et l'élevage à des fins de consommations pour les populations. La prise de conscience de la nécessité de protéger l'environnement a conduit à la construction d'une station d'épuration des eaux usées de la ville de Ouagadougou. Cette station reçoit les eaux domestiques du centre-ville mais aussi les eaux usées industrielles. Les eaux usées de la Brakina représentent plus de la moitié des eaux usées arrivant à la station.

Pour un meilleur fonctionnement de la station de Kossodo et une réutilisation dans l'espace dédié en aval pour une agriculture urbaine, un prétraitement adéquat des eaux usées de Brakina s'avère nécessaire. C'est pourquoi, la mise en place d'un système performant est d'un grand intérêt. Le Bàm a conduit à des résultats probants, toutefois, l'installation d'un tel dispositif (Bàm) dans un contexte réel d'une unité de production de boissons requiert une maîtrise des conditions techniques et une évaluation de la faisabilité économique. Cette étude se propose donc de faire une évaluation technique, économique, environnementale et sociale de l'implantation d'une unité de traitement des eaux usées d'industrie de production de

Etude technico-économique de l'installation d'une unité de traitement des eaux usées de la  
Brakina par couplage bioréacteur à membrane/nanofiltration

---

boissons par un bioréacteur à membrane couplé à la nanofiltration. Plus spécifiquement, il s'agira de :

- Evaluer les performances du système actuel de traitement des eaux usées de la BRAKINA et le comparer à celle du pilote expérimental de Bioréacteur à membrane testé ;
- Dimensionner une station de traitement par couplage Bàm/nanofiltration des eaux usées de Brakina en tenant compte du système existant ;
- Faire une évaluation du nouveau système de traitement tenant compte des facteurs techniques, économiques et environnementaux.

Ce présent document donne une synthèse de notre démarche et des principaux résultats obtenus. Il est construit autour de trois principales parties. La première partie est consacrée à une étude bibliographique qui met en exergue la situation des eaux usées industrielles et les solutions techniques pouvant être utilisées pour les traiter et les valoriser. La deuxième partie qui donne les différents matériels et méthodes mis en œuvre au cours de ce travail. La troisième partie est consacrée à la présentation des résultats obtenus avec discussions en termes de performances des membranes au regard de leur sélectivité, mais aussi d'un examen des avantages et contraintes de l'implantation d'un tel système. Pour clore ce rapport, des perspectives seront proposées à la suite d'une conclusion.

## **II. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE**

### **II.1. CADRE INSTITUTIONNEL ET RÉGLEMENTAIRE DE LA GESTION DES EAUX USEES AU BURKINA FASO**

#### **II.1.1. Cadre institutionnel**

Le cadre institutionnel définit les services ressources et les institutions impliquées dans la gestion des déchets en général.

Pour le cas spécifique du Burkina Faso, le document de stratégie nationale d'assainissement PSNA (2007) scinde du point de vue institutionnel le secteur de l'assainissement en sous-secteurs qui déterminent les domaines d'intervention des acteurs :

- Le sous-secteur déchets liquide
- Le Sous-secteur eaux pluviales,
- Le sous-secteur déchets solides,
- Le sous-secteur déchets gazeux

Le Sous-secteur déchets liquides englobe les eaux usées issues des usages domestiques et les eaux résiduelles des industries et établissements assimilés, des administrations et des commerces, les huiles usagées et les produits phytosanitaires périmés.

Les principaux acteurs institutionnels qui interviennent dans l'assainissement sont :

- Le Ministère de l'Agriculture et de l'Hydraulique en charge de la définition de la politique nationale d'eau et d'assainissement à travers deux directions centrales : la DGRE et la DGAEUE, responsables du pilotage du PN AEPA au niveau national.
- Les directions régionales qui ont en charge l'assistance et la maîtrise d'ouvrage aux communes et coordination régionale.
- Les communes rurales et urbaines sont les maîtres d'ouvrage des services d'eau et d'assainissement en zone rurale.
- L'Office National de l'Eau et de l'Assainissement (ONEA) responsable du service en milieu urbain.
- Les ONG ou les entreprises privées sont chargées de l'exécution des tâches d'assainissement.

Il faut noter que le contrôle, l'évaluation des programmes et les résultats sont assurés par les bénéficiaires ou les institutions publiques (la ville, la commune ou l'Etat).

### **II.1.2. Cadre réglementaire**

L'environnement est un bien commun et précieux à tous. Ainsi sa dégradation peut compromettre le développement et menacer le cadre de vie normal des générations futures. Le cadre réglementaire établit et définit les lois et normes qui régissent les rejets dans le milieu naturel. Même si elles diffèrent légèrement d'un pays à un autre ces dernières s'appliquent à l'ensemble des eaux usées dont le déversement dans les milieux récepteurs est susceptible d'avoir une incidence grave sur la santé publique et l'environnement par la pollution des eaux de surface et souterraines, du sol ou de l'air et la modification de leurs composantes physico-chimiques ou biologiques. C'est ainsi que chaque pays soucieux de la préservation de son environnement élabore des normes de rejets.

C'est dans ce cadre que le Burkina Faso a établi des normes de rejets des eaux usées à travers le décret n°2015-1205/pres/trans/pm/merh/marhasa/ms/mra/mica/mme/midt/matd du 28 octobre 2015. Ce dernier fixe des normes et conditions de déversement des eaux usées dans les différents milieux récepteurs conformément aux dispositions du Code de l'environnement. Il faut noter qu'en aval de ces normes, il est prévu des sanctions en cas de violations de ces normes. Le présent décret s'applique à l'ensemble des eaux usées dont le déversement dans les milieux récepteurs est de nature à avoir des répercussions graves sur la santé publique et l'environnement par la pollution des eaux de surface et souterraines, du sol ou de l'air ou la modification de leurs composantes physico-chimiques ou biologiques, qu'elles soient souterraines ou de surface. Il vise enfin à limiter et éviter surtout les pollutions liées aux déversements des eaux usées polluées ou contaminées, dans les milieux récepteurs, et a protégé les infrastructures publiques de prétraitement et de gestion des eaux usées ainsi que l'environnement et la santé publique. Ainsi, les eaux usées traitées ou non avant d'être rejetées dans la nature ou dans les eaux de surface doivent également répondre à certaines normes en vue de tenir compte de la recevabilité du milieu, de la capacité d'autoépuration des eaux de surface, sans compromettre le bon fonctionnement et l'équilibre normal des écosystèmes naturels.

Le tableau 1 ci-dessous résume les normes de rejet dans le milieu naturel suivant certains paramètres.

**Tableau 1 :** Normes de déversement des eaux usées dans le milieu naturel (source : code de l'environnement du Burkina Faso)

	Pollutions physiques				Pollutions chimiques					Pollutions biologiques
<b>Paramètres</b>	pH	T	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Pt	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Na <sup>+</sup>	MES	DBO	DCO	Coli F
<b>Unités</b>	-	°C	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	Par 100 mL
<b>Normes</b>	<b>6.4-9</b>	<b>18-40</b>	<b>50</b>	<b>0.8</b>	<b>5</b>	<b>300</b>	<b>150</b>	<b>150</b>	<b>150</b>	<b>2000</b>

## II.2. LES EAUX USEES

L'homme pratique diverses activités et celles-ci qu'elles soient artisanales, agricoles, ou domestiques génèrent toutes des eaux usées. On distingue trois grands types d'eaux usées : les eaux usées domestiques, les eaux usées pluviales et les eaux usées de ruissellement et enfin les eaux usées industrielles. Il faut noter que les eaux usées sont composées en grande partie d'eau (environ 99%) et de matières solides en suspension, colloïdales et dissoutes (1%). Selon UNESCO (2017) les conséquences de l'émission de telles eaux dans la nature sont plus ressenties dans les domaines comme :

- La santé humaine (effets nocifs)
- L'environnement (impact négatifs)
- Les activités économiques (répercussions néfastes).

Le tableau 2 donne quelques exemples d'impacts négatifs des eaux usées sur l'homme et son environnement.

Etude technico-économique de l'installation d'une unité de traitement des eaux usées de la  
Brakina par couplage bioréacteur à membrane/nanofiltration

---

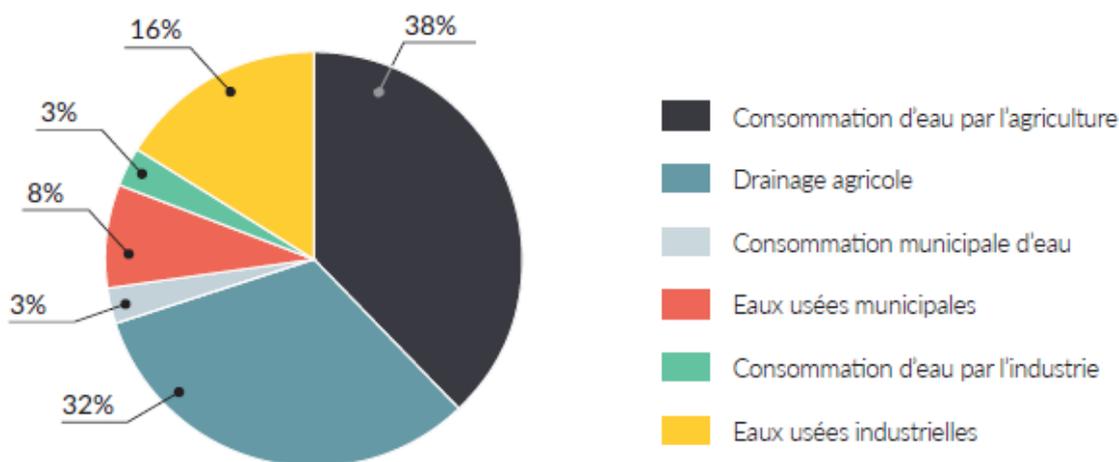
**Tableau 2 :** Impacts négatifs des eaux usées non traitées sur la santé humaine, l'environnement et les activités productive (UN WATER, 2017)

Domaines des répercussions	Exemples de répercussions
<b>Economie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baisse de la productivité industrielle</li> <li>• Baisse de la productivité agricole</li> <li>• Baisse de la valeur marchande des récoltes, si des eaux usées insalubres sont utilisées pour l'irrigation</li> <li>• Réduction des possibilités de loisirs aquatiques (baisse du nombre de touristes, ou touristes moins disposés à payer pour des services de loisirs)</li> <li>• Diminution des prises de poissons et de crustacés, ou baisse de la valeur marchande du poisson et des mollusques et crustacés</li> <li>• Augmentation du fardeau financier sur les soins de santé</li> <li>• Accroissement des entraves au commerce international (exportations)</li> <li>• Augmentation des coûts de traitement de l'eau (pour l'approvisionnement humain et d'autres usages)</li> <li>• Baisse des prix des propriétés situées à proximité des masses d'eau contaminées</li> </ul>
<b>Environnement</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réduction de la biodiversité</li> <li>• Dégradation des écosystèmes aquatiques (par exemple eutrophisation et zones mortes)</li> <li>• Odeurs nauséabondes</li> <li>• Diminution des possibilités de loisir</li> <li>• Augmentation des émissions de gaz à effet de serre (GES)</li> <li>• Hausse de la température des eaux</li> <li>• Bioaccumulation de toxines</li> </ul>
<b>Santé</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Augmentation du fardeau des maladies en raison de la baisse de la qualité de l'eau potable</li> <li>• Augmentation du fardeau des maladies en raison de la baisse de la qualité des eaux de baignade</li> <li>• Augmentation du fardeau des maladies en raison de l'insalubrité des aliments (contamination du poisson, des légumes et d'autres produits irrigués)</li> <li>• Augmentation du risque de maladie si on travaille ou on joue dans une zone irriguée par des eaux usées.</li> </ul>

Selon le dernier rapport de l'agence des nations unies chargée questions de l'eau (UN WATER, 2017) l'agriculture est l'activité humaine la plus génératrice d'eaux usées, cependant la cote part des industries n'est pas négligeable comme l'illustre la figure 1. En effet les eaux usées sont malheureusement souvent perçues non pas comme une ressource

valorisable mais plutôt comme une nuisance dont il faut juste s'en débarrasser. Pourtant elles constituent une importante source de substances valorisables telles que : eau, énergie, matière organique et autre sous-produits.

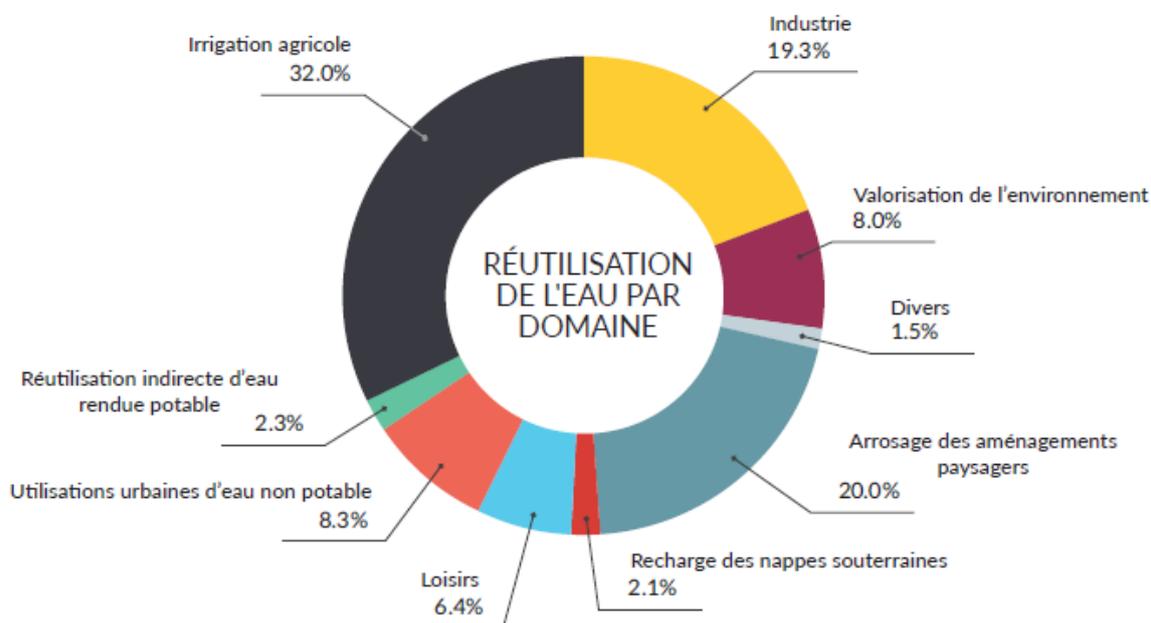
La figure 1 met en évidence la consommation d'eau selon les secteurs.



**Figure 1** : Consommation mondiale et production d'eaux usées par secteur important de l'utilisation de l'eau (source : UN WATER, 2017).

### II.2.1. Les eaux usées industrielles

Les eaux usées industrielles regroupent toutes les eaux qui sont rejetées par l'usine dans le milieu extérieur, après une large gamme d'applications : fabrication, nettoyage, transport et refroidissement. Selon Woodard (2001) les eaux industrielles sont des rejets aqueux qui résultent de l'utilisation de l'eau dans un processus de fabrication industrielle ou des activités de nettoyage qui ont lieu avec ce processus. Suivant le type d'industrie la composition et la concentration des effluents diffèrent d'une industrie à une autre (Shi, 2000). Malgré l'importance de la quantité d'eaux utilisées dans la plupart des industries de transformation, on constate que néanmoins une infime partie de ces eaux est traitée. Par exemple au Pakistan, seulement 1% des eaux usées sont traitées par les industries avant d'être déchargées directement dans les rivières et les drains (Haroon et al, 2013). Il en découle de cela une multitude de maladies sur le plan humain, une dégradation certaine de l'environnement. Malheureusement le secteur industriel réutilise très peu de ces eaux même après un traitement avancé (tertiaire) comme l'illustre la figure 2.



**Figure 2 :** Réutilisation globale de l'eau après traitement avancé (tertiaire): Part de marché par applications (source : UN WATER, 2017).

### II.2.2. Eaux usées de brasseries

Dans l'industrie agro-alimentaire, le secteur brassicole occupe une place importante avec une production annuelle de bière mondiale supérieure à 1,82 milliards d'hectolitres en 2010. La bière est la cinquième boisson la plus consommée au monde derrière le thé, les boissons gazeuses, le lait et le café et elle continue d'être une boisson populaire avec une consommation moyenne de 23 litres / personne par an (Fillaudeau et al, 2006). L'industrie brassicole est donc un secteur non négligeable de l'économie de bon nombre de pays. Cependant il est de connaissance que l'industrie des boissons nécessite une grande quantité d'eau douce. Cela génère une quantité considérable d'eaux usées polluées au cours de différents processus, notamment :

- La production de boissons,
- Le lavage des bouteilles,
- Le lavage des machines et des sols
- Le nettoyage des zones de travail.

La plupart des industries ne réutilisent pas les eaux usées et par conséquent consomment donc beaucoup plus d'eau douce (Haroon et al, 2013). Selon Braeken et al (2004), pour la production d'un litre de bière, il faut 4 à 10 litres en moyenne d'eau comme eau de brassage. Aussi le plus grand volume d'eau est utilisé comme eau de rinçage dans le processus de la production et dans l'usine d'embouteillage. Les eaux usées de brasserie contiennent généralement une forte concentration de composés organiques et inorganiques et également des additifs de nettoyage (Braeken et al,2004). Les composants organiques des effluents de brasserie sont généralement facilement biodégradables car ils sont principalement constitués de sucres, d'amidon soluble, d'éthanol, d'acides gras volatils, etc. (Driessen et Vereijken, 2003), d'où un rapport DBO/DCO compris entre 0,6 à 0,7. Les niveaux de pH sont déterminés par la quantité et le type de produits chimiques utilisés dans les unités de nettoyage sur place, CIP (par exemple la soude caustique, l'acide phosphorique, l'acide nitrique). Les niveaux d'azote et de phosphore dépendent principalement de la manipulation de la matière première et de la quantité de levure épuisée présente dans l'effluent (Brito et al. 2007). Différents produits chimiques sont utilisés pour le lavage des bouteilles. Ces produits renferment de l'hydroxyde de sodium, des détergents, du chlore. Néanmoins le gaspillage d'une telle quantité d'eau douce dans l'industrie des boissons demeure un débat depuis plusieurs décennies (Haroon et al, 2013). D'où donc l'intérêt de mettre un système adéquat de traitements de ces eaux usées. Pour les pays en développement, le plus grand défi à relever consiste à savoir comment améliorer les processus industriels, qui sont parfois basées sur des technologies obsolètes, dans le cadre de contraintes financières, institutionnelles et juridiques. Les processus dans des circuits fermés peuvent réduire considérablement la consommation d'eau et minimiser l'apport de ressources et les déchets subséquents, réduisant ainsi la pollution des ressources d'eau douce limitées (Haroon et al, 2013). Le traitement des eaux usées de brasseries peut avoir lieu dans une station de traitement dédiée à cet effet ou être acheminée dans vers un système d'égout des eaux usées municipales (Boari et al 1997). Une grande partie des eaux usées est due uniquement au lavage des bouteilles. Le lavage des bouteilles se fait généralement en différentes étapes qui sont : pré-rinçage, prélavages, lavage caustique, rinçage final.

### II.3. LES PROCÉDES DE TRAITEMENT DES EAUX USEES DE BRASSERIE

Notons qu'il existe plusieurs techniques d'épuration des eaux usées de brasseries. Ces procédés peuvent être classés en trois catégories à savoir les procédés physiques, chimiques et les techniques biologiques. Le tableau 3 résume ces différentes techniques.

**Tableau 3 :** Les opérations et processus de traitement des eaux usées de brasserie ( Simate et al. 2011)

Procédés de traitement	Opérations unitaires
<b>Physique</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Screening</li><li>- Broyage</li><li>- Egalisation de flux</li><li>- Sédimentation</li><li>- Flottation</li><li>- Adsorption</li><li>- Filtration médiane granulaire</li></ul>
<b>Chimique</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Précipitation chimique</li><li>- Désinfection</li><li>- Chloration</li></ul>
<b>Biologique</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Boues activées</li><li>- Lagunes aérées</li><li>- Lit bactériens</li><li>- Disques biologiques</li><li>- Les bassins de stabilisation</li><li>- Digestion anaérobie</li></ul>

#### II.3.1. Les procédés biologiques

Les eaux usées de brasseries contiennent une forte concentration de polluants organiques biodégradables (Shao et al., 2008; Jaiyeola et Bwapwa, 2016). La dégradation de ces polluants se fait de façon spontanée soit en milieu aérobie ou en milieu anaérobie par l'action de microorganismes qui s'y développent (des bactéries autotrophes ou hétérotrophes).

Les travaux des chercheurs tels que Jaiyeola et Bwapwa (2016) et Simate et al, (2011) concourent tous à la finalité que les procédés biologiques sont plus fiables que les techniques physico-chimiques pour de nombreuses raisons comme entre autres :

- La maturité du traitement
- Le cout d'investissement abordable
- Une élimination efficace de la DCO (jusqu'à 90% d'élimination).

Néanmoins, il faut noter que les procédés biologiques présentent quelques inconvénients à savoir l'inadaptation aux variations brutales et importantes des charges de pollution, dans le cas surtout du lagunage naturel et de boues activées, les baisses de température des effluents qui ralentissent les processus biologiques, les investissements souvent onéreux car la station devra être dimensionnée pour recevoir la pollution maximale alors que cette dernière n'est atteinte que quelques rares fois dans l'année.

### **II.3.2. Les procédés d'oxydation avancées(POA)**

Ce sont des techniques de traitement physicochimiques utilisant des réactions spécifiques en vue de générer des radicaux libres pour la dégradation de polluants organiques. Les radicaux libres ( $\text{OH}^\circ$ ) sont des espèces hautement actives susceptibles de réagir avec un grand nombre de composés organiques réfractaires. Les POA sont largement utilisés dans le traitement des eaux usées, en particulier dans les distilleries d'alcool, qui génèrent presque le même type d'effluent que l'industrie brassicole, avec des niveaux élevés de composés organiques (Jaiyeola et Bwapwa, 2016). Les POA peuvent être classés en deux catégories. La première utilise les rayons ultraviolets (UV) conjointement avec d'autres additifs chimiques, il s'agit de UV/ $\text{H}_2\text{O}_2$ , UV/ $\text{O}_3$ , UV/ $\text{TiO}_2$  et UV/Fenton et la seconde catégorie n'utilise pas les UV mais plutôt l'ozonation ( $\text{O}_3$ ), le réactif de Fenton, l'ultrason, l'électro-Fenton, la sonolyse, pour ne citer que ceux-là organiques (Jaiyeola et Bwapwa, 2016).

### **II.3.3. Les procédés physico-chimiques**

Les traitements physico-chimiques sont de plus en plus utilisés dans le traitement des rejets industriels. Ce sont entre autres l'adsorption sur charbon actif, la coagulation/ floculation et les procédés membranaires. En effet ces techniques ont une faible emprise sur le sol et une adaptabilité à des probables extensions successives notamment lorsqu'on vise une épuration ultérieure par voie biologique. La coagulation-floculation permet de débarrasser les eaux usées des MES et des colloïdes en les rassemblant en floccs dont la séparation est ensuite faite par des procédés de décantation, flottation et/ou filtration (Simate et al., 2011). Cheng et al.,

(2005) ont utilisé le chitosane, un bio polymère naturel pour remplacer les sels d'aluminium et les polymères chimiques en tant que coagulant afin d'éviter les problèmes de santé humaine causés par les résidus d'aluminium et de polymères chimiques dans l'eau comme coagulant pour l'élimination de la matière organique des eaux usées de brasserie. Il en ressort qu'il n'est pas nécessaire de changer le pH de la solution pour obtenir une élimination de 95% de turbidité, plus de 50% de la DCO avec 120 mg de chitosane/L dans les effluents de brasserie. Dans la même lancée, Choi (2015) a étudié l'aptitude épuratoire de la matière organique et inorganique que renferme les eaux usées de brasseries par le floculant Mg-séricite. Il en découle que le floculant Mg-séricite parvient effectivement à éliminé avec succès plus de 98% de substances organiques et inorganiques des effluents de brasseries.

## **II.4. LES TECHNOLOGIES MEMBRANAIRES**

### **II.4.1. Généralités**

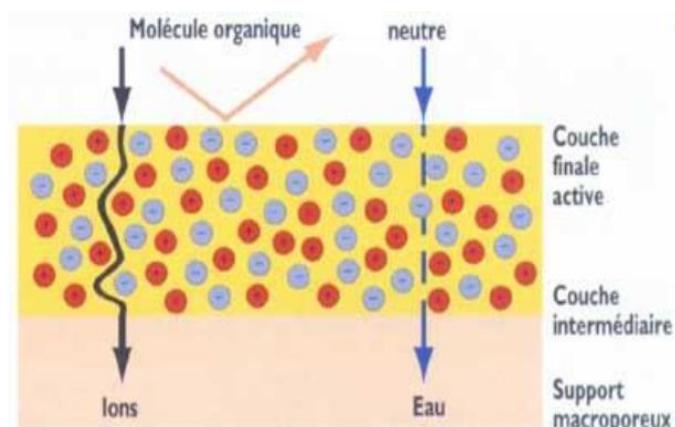
Les techniques de séparation membranaire constituent un ensemble de procédés de séparation en pleine expansion en raison de l'étendue des secteurs d'application. En effet ils sont de plus en plus utilisés car favorisent à la fois le traitement des gaz et des liquides. Ils sont appliqués entre autre dans le traitement de l'eau, les industries agro-alimentaires et pharmaceutiques, les industries chimiques et plus récemment dans le secteur médical comme utilisé pour la dialyse rénale (Calderon-Cervantes, 2008). Le principal avantage de la technologie membranaire est qu'elle génère de l'eau sans ajout de produits chimiques (Zheng et al, 2015). A ce jour, seule une partie des techniques membranaires a atteint un succès commercial : Microfiltration (MF), Ultrafiltration (UF), Osmose Inverse (OI), Electrodialyse (ED), tandis que d'autres très prometteuses sont encore en développement comme la nanofiltration (NF), les bioréacteurs à membranes(BàM), la Distillation et l'Evaporation Membranaire (DM et EM) (Zheng et al, 2015).

### **II.4.2. La nanofiltration**

La nanofiltration est une des dernière-née des procédés membranaires. Elle concerne la séparation de molécules dont la taille est comprise entre 200 et 1000 Daltons(Ortiz, 2008). La nanofiltration est un procédé baro membranaire qui couvre un domaine de séparation intermédiaire entre l'ultrafiltration et l'osmose inverse. La membrane de nanofiltration a

généralement des rejets élevés pour la plupart des solutés organiques dissouts avec des poids moléculaires supérieurs à 100-200 daltons et un bon rejet de sel à des concentrations en sel inférieures à 1000-2000 ppm de sel. Les membranes sont également deux à cinq fois plus perméables que les membranes d'osmose inverse d'eau saumâtre et d'eau de mer, donc ils peuvent être exploités à des pressions aussi basses que 5-15 bars et encore produire des flux utiles. Pour ces raisons, leur principale application a été l'élimination de faibles niveaux de contaminants d'une eau déjà relativement propre. Dans la même optique, à titre d'exemple dans le sud de la Californie et le sud-ouest des États-Unis, les membranes de nanofiltration sont largement utilisées pour le traitement des eaux de boissons au point d'utilisation des unités de traitement de d'eau. L'eau dans cette région contient de l'ordre de 700 ppm de sel dissous et des traces de contaminants d'écoulements agricoles. De nombreux ménages utilisent de petits modules (0,5 m<sup>2</sup>) de nanofiltration enroulés en spirale (modules sous évier) pour filtrer cette eau en utilisant la pression d'eau du robinet pour fournir la force motrice. Sur un site à plus grande échelle, des membranes similaires sont utilisées pour adoucir des eaux municipales en supprimant les ions sulfate et les cations divalents ou comme unité de prétraitement initial pour une station d'épuration (Baker, 2000).

La figure 3, met en exergue le principe de la nanofiltration.



**Figure 3 : Principe de la nanofiltration**

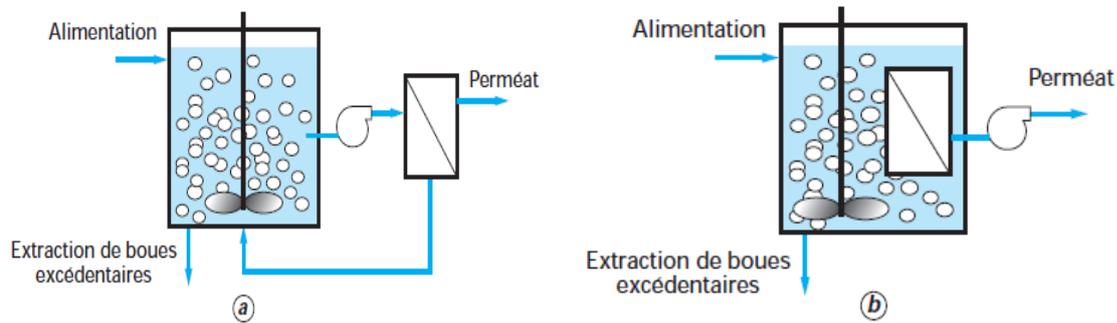
### II.4.3. Le Bàm

Les systèmes Bàm consistent essentiellement en une combinaison d'unités membranaires responsables de la séparation physique, et les systèmes de réacteurs biologiques responsables de la biodégradation des composés résiduaux (Lin et al, 2012). Le Bàm a été développé à la

fin des années 1960 et d'abord été commercialisé autour des années 1970 et 1980 en intégrant les modules membranaires tubulaires à courants croisés avec le traitement des eaux usées par boues activées. Le Bàm est une technologie hybride qui couple un système biologique à une étape de séparation sur membrane poreuse. Elle consiste en une amélioration du système biologique à boues activées, qui se caractérise par le remplacement du traditionnel décanteur secondaire par une unité de filtration membranaire dont la sélectivité remarquable représente une barrière infranchissable par les matière en suspension, quel que soit leur état de floculation (Seyhi et al, 2011). Le processus de métabolisation avec ses deux aspects (anabolisme et catabolisme) observés dans un système de boues activées est similaire à celui mis en jeu dans un Bàm. Les applications au début du Bàm secondaires, en raison de la consommation d'énergie élevée et la faible capacité d'emballage de membrane, ont été principalement limitées à petite échelle aux procédés de traitement des eaux usées, tels que le traitement des des eaux usées des navires et des lixiviats des décharges (Chang, 2011).

La technologie de Bàm aérobie elle a été largement introduite pour une application industrielle au début des années 1990. Elle se caractérise par de nombreux avantages par rapport aux procédés classiques de boues activées : un démarrage rapide des réacteurs, un encombrement relativement faible, un taux d'abattement élevé en DCO et une élimination totale des solides en suspension (Skouteris et al, 2012). Les avantages des Bàm peuvent être améliorés en travaillant dans des conditions anaérobies. Par conséquent, cette technologie suscite un intérêt remarquable de la part des chercheurs et des industriels. D'après Skouteris et al (2012), le principal inconvénient des deux types de Bàm, aérobie et anaérobie, est l'encrassement de la membrane, qui entraîne une réduction des flux de perméat membranaire et, par conséquent, augmenter les coûts et empêcher les Bàm d'une commercialisation encore plus rapide. En outre, même si le coût de la membrane a considérablement diminué au cours des dernières années, il représente toujours un coût important en ce qui concerne l'application à grande échelle de la membrane anaérobie.

La figure 4, expose les deux types de configurations de bioréacteur à membranes



**Figure 4** : Schéma des deux types de bioréacteurs à membrane : a) boucle externe et b) membranes immergées (Grasmik et al., 2007)

#### ▪ Quelques avantages des Bàm

L'application des technologies membranaires a démontré son utilité dans le domaine du traitement des eaux usées (Ouarda, 2014). Des chercheurs comme Skouteris et al., (2012), Gil et al., (2010) et Sutton (2006) présentent quelques avantages par rapport aux systèmes conventionnels à savoir :

- Une efficacité élevée d'élimination des solides en suspension et de la DCO ;
- Une forte compacité : le Bàm ne nécessite pas de bassin de décantation (contrairement à une boue activée classique) ;
- Une forte modularité : il est aisé d'augmenter ou de réduire la surface membranaire mise en jeu (notamment dans le cas des bioréacteurs à membranes externes) ;
- Les Bàm sont facilement implantable dans des installations existantes, possédant déjà des réacteurs biologiques comme, par exemple, lors de la réhabilitation d'anciennes stations de traitement où les décanteurs peuvent alors être reconvertis en bassins tampon ;
- Une efficacité remarquable d'élimination de la pollution organique et particulaire : même avec une concentration élevée de polluants à l'entrée, il fournit des concentrations de sortie en dessous des normes ;
- Le Bàm favorise le développement des organismes à croissance lente tels que les bactéries nitrifiantes et ceux capables de dégrader les composés organiques ;
- Une grande qualité de l'eau filtrée en termes de particules : absence totale de MES (matières en suspension) et de matières colloïdales ;

- Une désinfection poussée dont l'intensité dépend du seuil de coupure et de la distribution des diamètres des pores des membranes ;
- Une possibilité d'opération à des temps de séjour hydraulique (TSH) réduit ;
- Le maintien dans le réacteur d'une teneur contrôlée et élevée en biomasse qui permet une intensification des processus biologiques ;
- Les composés non biodégradables ont tendances à être éliminer avec la boue plutôt qu'avec l'eau traitée ;
- Les Bàm peuvent fonctionner généralement de façon autonome excepté les contrôles de performances périodiques et la maintenance des composants mécaniques ;
- Le Bàm peut être la première étape idéale pour la production d'eau pour une réutilisation à travers une membrane d'osmose inverse.
  - **Les inconvénients ou limites des Bàm**

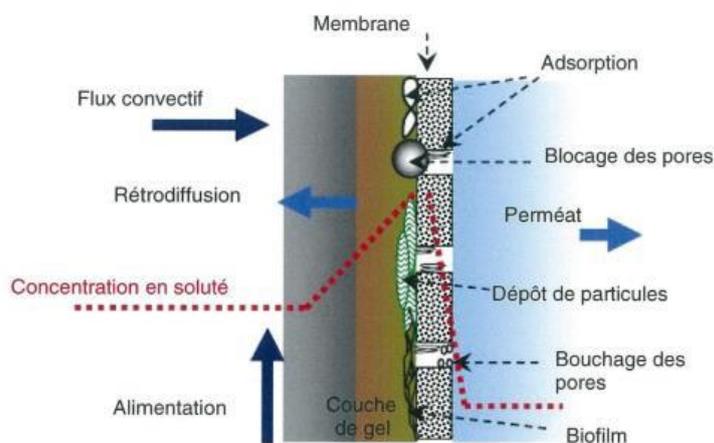
Les Bàm présente néanmoins quelques inconvénients tels que la consommation élevée en énergie, le colmatage de la membrane, le potentiel coût élevé du remplacement d'une membrane. En ce qui concerne la consommation d'énergie, l'appareil le plus exigeant est l'aérateur grosses bulles, suivi du mélangeur. L'aération comprend près de 50% des besoins énergétiques totaux. De plus de façon pratique, le colmatage, l'adsorption et la polarisation de concentration sont considérés comme des limites majeures qui tendent à diminuer les performances des membranes (Delgado, 2009) :

- Lorsque la taille des particules est supérieure à celle des pores, il peut se produire un colmatage en surface dit colmatage par gâteau (dépôt en surface de la membrane) ;
- Lorsque la taille des particules est similaire à celle des pores, un phénomène de blocage de pore peut se produire. Ce phénomène de blocage conduit à une diminution de la surface filtrante de la membrane ;
- Lorsque la taille des particules est largement inférieure à celle des pores, les particules vont rentrer à l'intérieur de la membrane réduisant progressivement la taille des pores jusqu'à les boucher totalement. C'est ce qu'on appelle le bouchage de pores. Il s'en suit une réduction de la surface poreuse de la membrane.

Le colmatage par adsorption nécessite un lavage chimique afin de régénérer les performances de filtration de la membrane. Le blocage des pores et le dépôt de particules peuvent, quant à

eux, être éliminés par le rétro lavage lorsque la technologie des membranes le permet (le cas de membranes à fibres creuses). Pour les autres technologies membranaires, le lavage chimique s'impose. Le lavage chimique consiste à utiliser successivement une solution acide (par exemple l'acide citrique) pour éliminer le colmatage dû à la matière inorganique et une solution alcaline (par exemple une solution de NaOH) pour oxyder la matière organique.

La figure 5, explique le phénomène de colmatage



**Figure 5 :** Schéma des différents mécanismes de colmatage

A l'issue du traitement par BÀM, on peut coupler le BÀM à la nanofiltration pour un traitement plus efficace des eaux usées. A ce titre des études ont été menées par des chercheurs comme Zaviska et al (2013) qui ont associé un bioréacteur à membrane et la nanofiltration (BÀM-NF) pour le traitement d'eaux usées dopées avec deux composés pharmaceutiques à savoir cyclophosphamide et ciprofloxacine. Les essais ont été effectués en mode continu sous conditions aérobies et ont conduit à des taux d'élimination supérieurs à 90% de DCO.

#### **II.4.4. Charges de fonctionnement et consommation énergétique dans le BÀM et la NF**

Pour son opération, un BÀM nécessite plusieurs conditions tels que le pH, la concentration de la matière organique, le SRT et le HRT. Par exemple le pH ou l'expression de l'acidité ou la alcalinité d'une solution, pour un traitement efficace avec un BÀM la valeur de pH doit être comprise entre 7 et 7,2. Peu importe les caractéristiques de l'eau brute, le système tend vers une stabilité état en termes de paramètres de sortie fournis. Les études menées par Gil et al

(2010) ont montrées que même avec une concentration élevée de polluants à l'entrée, le système a continué à fournir des concentrations de sortie en dessous des valeurs autorisées. En ce qui concerne l'énergie consommée, l'appareil le plus exigeant est l'aérateur, suivi du mélangeur. L'aération comprend près de 50% des besoins énergétiques totaux (Gil et al. 2010).

Quant à la nanofiltration, c'est un post traitement qui fonctionne avec le perméat du Bàm. Ces eaux sont moins chargées et la NF permettrait l'abattement de certains ions surtout ceux bivalents. A ce niveau la consommation énergétique découle en majeure partie du retro lavage des membranes (Haroon et al., 2013).

### III. MATERIELS ET METHODES

#### III.1. METHODOLOGIE GENERALE DE L'ETUDE

La méthodologie adoptée pour ces travaux s'est articulée autour des axes suivants :

- Une phase préparatoire
- Une phase de visite sur le terrain, collecte et traitement des données.
- Une phase d'analyse et d'interprétation des données, de conception et de rédaction du mémoire.

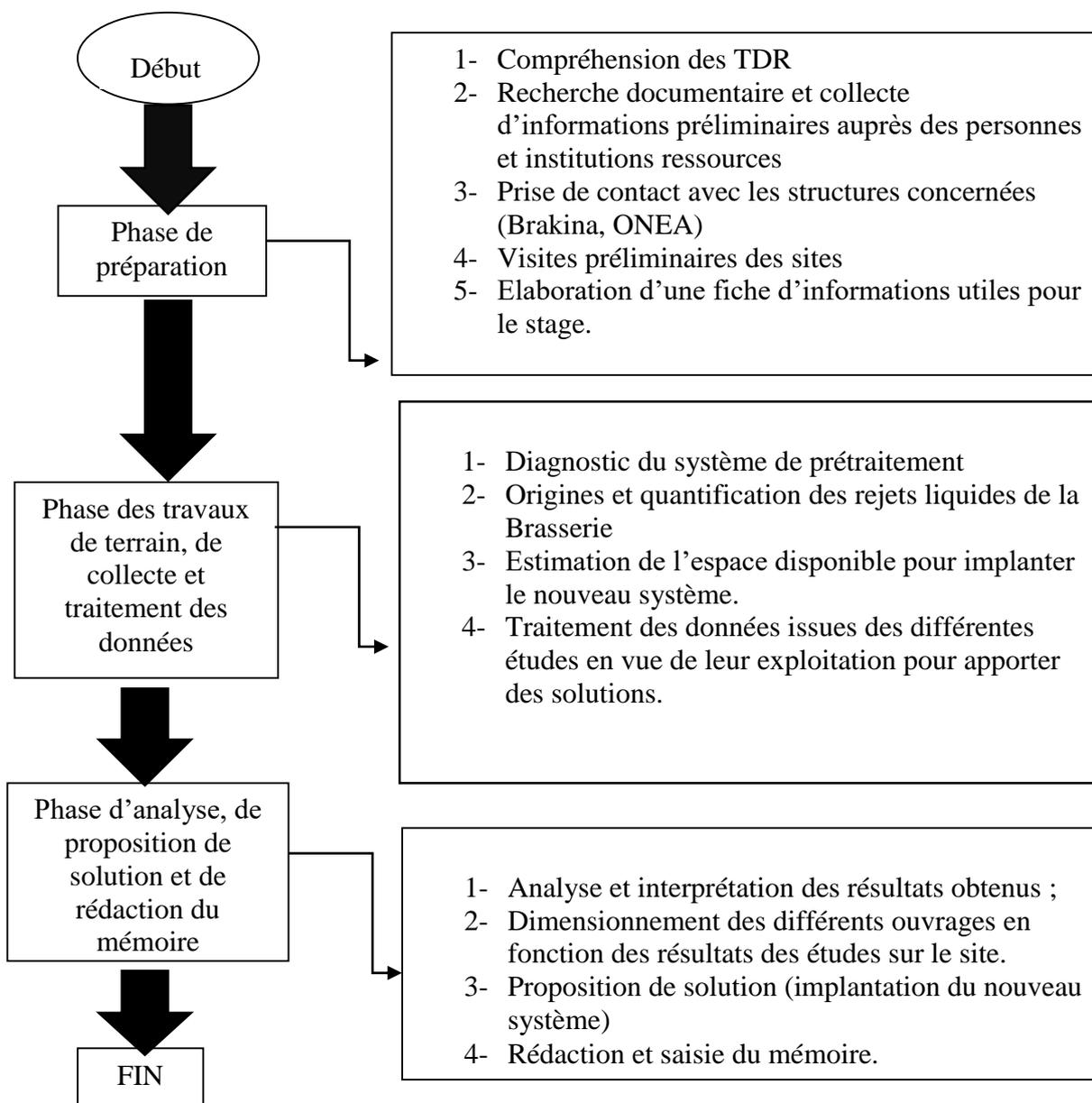


Figure 6 : Organigramme de la méthodologie

### **III.1.1. Présentation et description du site de l'étude**

L'étude a été menée au sein de la Brasserie du Burkina (Brakina). Cette unité agro industrielle, l'une des plus importantes industries agroalimentaires du pays produit de la bière, des boissons gazeuses et de l'eau minérale. Filiale du groupe Castel, la Brakina est l'une des plus importantes industries agroalimentaires du pays et se présente aujourd'hui comme le principal fournisseur de bières (Brakina, Castel, Beaufort, Flag, Guinness), de boissons gazeuses (Coca-Cola, Fanta, Sprite, Malta, Tonic, Youki, XXL, Laafi gazeuse, Bulvit) et d'eau minérale (Laafi). La commercialisation de ses produits est assurée par la Société de Distribution de Boissons (Sodibo) dont elle est l'actionnaire principal.

Situé à la zone Industrielle Kossodo de Ouagadougou sur une superficie d'à peu près de 7 ha, la Brakina constitue aujourd'hui le fournisseur principal en bière locale et en boissons gazeuses. Pour le fonctionnement de son site de Ouagadougou, le consortium Brakina/Sodibo emploie environ 350 travailleurs permanents et 400 temporaires. Sa production annuelle est estimée actuellement à 3 500 000 hectolitres de bières et 800 000 hectolitres de boissons gazeuses. Les activités de production se déroulent journalièrement et en continue à l'exception du dimanche et de certains jours fériés.

### **III.1.2. Conditions de l'étude**

La réalisation de cette étude a nécessité une collecte importante de données. Celles-ci ont été obtenues à travers i) des entretiens avec des acteurs intervenant dans l'émission, la collecte, le prétraitement, le traitement des eaux usées produites et la réutilisation des eaux usées traitées (Brakina, ONEA, maraîchers), ii) des prélèvements et analyses pour la caractérisation des eaux usées et iii) des observations de terrain.

De façon générale, les activités au sein de l'usine se déroulent selon un cycle hebdomadaire avec les opérations de lavage et de désinfection qui s'effectuent de façon préférentielle les samedis et dimanches. Avec le maïs, le malt et le houblon pour la bière, le sucre et des extraits pour les boissons gazeuses, l'eau constitue une des principales matières premières. L'eau utilisée pour la production des boissons est fournie par une unité de traitement d'eau autonome qui est approvisionnée à partir d'eaux brutes de surface prélevées dans le barrage de Loumbila (retenue d'eau située à une quinzaine de kilomètre du site de l'usine). Selon les

estimations, la production d'un litre de bière requiert l'utilisation d'un volume moyen de 6 litres d'eau contre 4 litres pour celle de boisson gazeuse. Les eaux usées produites transitent par une station de prétraitement avant de rejoindre la station d'épuration des eaux usées (STEP) de Kossodo par le réseau d'égout.

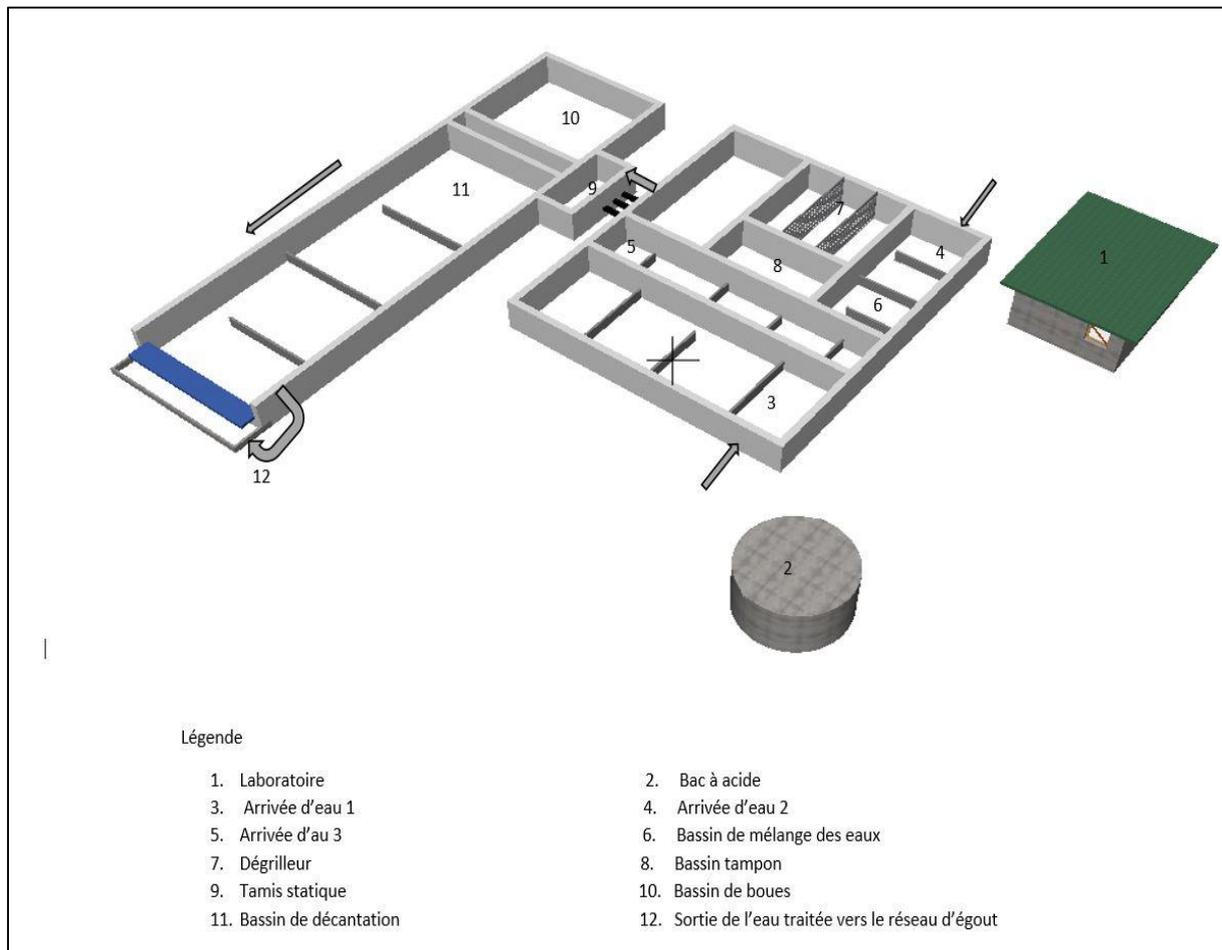
La STEP de Kossodo est située dans la zone industrielle du même nom à la périphérie nord-est de la ville. Cette station qui a été mise en route en 2004 reçoit les eaux municipales et industrielles. Elle fonctionne suivant le procédé de lagunage naturel à microphytes. Les effluents arrivent par un réseau alternant un écoulement gravitaire et un refoulement avec 3 postes de refoulement installé le long du réseau pour le relevage des eaux. Elle comprend 8 lagunes. Les trois premiers bassins sont en parallèles et permettent une dégradation de la pollution par voie anaérobie (bassins anaérobies). Ils sont suivis de 2 bassins facultatifs en parallèles dont le rôle est d'assurer un traitement à la fois aérobie et anaérobie. Enfin, les trois derniers bassins dits bassins de maturation sont en série et éliminent la pollution par voie aérobie. Le temps de séjour est d'environ un mois et les eaux ainsi traitées sont rejetées dans le Massili, un affluent de la Volta. La station comprend des lits de séchage de boues, un laboratoire, 2 bâtiments administratifs et des latrines. Il a été aussi prévu que les eaux traitées soient réutilisées pour l'irrigation de parcelles agricoles avec la mise en place d'un périmètre de réutilisation aménagé en aval de la station. Sur une superficie totale de 30 hectares prévus, seuls 13 hectares ont été aménagés en des parcelles pour accueillir 490 maraichers. Au fil des années, l'irrigation avec les eaux usées traitées a conduit à une dégradation des sols causant par la même occasion son abandon (Sou et al, 2013). Des images et schémas descriptifs des principaux ouvrages sont fournis en annexe.

L'évaluation des coûts d'investissement s'est faite sur la base des quantités estimées de rejets pour l'année 2018 en fonction des données collectées. Les résultats de la caractérisation des eaux usées durant les tests de traitement avec les eaux usées réelles ont servi de base pour les concentrations de DCO. Pour le volume d'eaux usées traitées un pourcentage de 90 % des eaux usées produites a été retenu de même que des consommations énergétiques de 1,1 kWh/m<sup>3</sup> d'eau traitée et 0,54kWh/m<sup>3</sup> d'eau traitée respectivement pour le Bàm et la NF. Ces données proviennent des travaux de Andrade et al. (2017) qui ont aussi travaillé sur des eaux usées agroalimentaires notamment des eaux usées de laiterie où les opérations de lavage et de désinfection sont très proches de celle des industries brassicoles.

### III.1.3. Performances de la station de traitement actuelle de la brasserie

D'après les paramètres de conception de la station, elle a été dimensionnée avec un débit nominal de 3300 m<sup>3</sup>/jour. Dotée de deux tamis de diamètre de 5 mm pour retenir les particules grossières, et ensuite d'un tamis statique de diamètre 1 mm pour retenir les particules qui ont pu échapper aux deux premiers tamis. Trois pompes de puissance 55 KW assurent l'acheminement de l'eau du bac d'égalisation au tamis statique. Le bassin de décantation est équipé de scrapeurs qui raclent le surnageant. De plus ce type de système est réputée pour produire de bon abattements pouvant aller de 82 % à 100% pour respectivement les paramètres DCO et MES.

La figure 7 nous donne une représentation schématique de la station actuelle.



**Figure 7 :** Représentation schématique de la station de prétraitement de la Brakina

## III.2. METHODES UTILISEES

### III.2.1. Origines des rejets liquides

Les rejets liquides de la Brakina se résument entre autres aux eaux usées, les boues de la station de production d'eau potables et les huiles usagées. La production journalière moyenne d'eaux usées était d'environ 1610 m<sup>3</sup>/jour avant l'installation de la nouvelle ligne de fabrication. A l'issue de la mise en place de cette dernière en février 2018, un deuxième débitmètre a été installé pour optimiser la capacité de rejet de la station. Il en découle donc logiquement une augmentation de la quantité d'eaux rejetées qui tourne actuellement au environ de 3143 m<sup>3</sup>/ jour en moyenne. Les effluents diffèrent considérablement par leurs qualités. Selon qu'ils proviennent de :

- Entrée 1 : traitements d'eaux et chaufferie
- Entrée 2 : embouteillage, siroperie et fabrication (brassage +cave)
- Entrée 3 : presse à casier, eaux de la laveuse G7 ; ils présentent soit des charges organiques, des hydrocarbures ou des pH fortement élevés.

La figure 8 résume les origines et les relations entre les eaux usées produites.

	Entrée 1		Entrée 2			Entrée 3	
	Traitement d'eau	Chaufferie	Embouteillage	Siroperie	Cave/Brassage	Presse à casiers	Laveuses G7
<b>Provenance des eaux des eaux usée</b>	-Eaux de filtre à sable -Eaux de filtre à charbon -Purge du décanteur 1 -Eaux de nettoyage	- Purges de la chaudière -Les retours condensat -Purges de la station de l'eau adoucit	-Eaux de CIP -Ligne de production	-Eaux de CIP -Eaux de rinçage	-Eaux de CIP -Eaux de rinçage	Eaux usées contenants des résidus de broyat, du plastique, du caoutchouc	-Eaux de CIP (nettoyage sur place) -Eaux de rinçage
<b>Produits physiques/chimiques dans les eaux</b>	Boues provenant de filtres à sable -B 115 -830 - AP -Hydrex 3511 et 3240 -Hydroxyde -Hypochlorure de calcium	- VN - Sel axial	-Soude ; additif ou mixant -Trace de ATRB -Technilube - Le chlore ; DIVO-AI ; DIVO-LE -Traces de colles ; de bières ; savons liquides -Hcl ; Détal-HP.	-Additifs : benzoate de sodium ; sucralose ; acésulfate ; clarsel ; - Technilube	-Septacide -Traces de bières et de levures -Acide phosphorique /ATRB -Soude (Naoh) -Trace de Kiselhgure	-RD 25 -polyéthylène	-Septacide) - traces de bières et de levures - Acides phosphorique/ ATRB -soude(Naoh) - Trace de Kiselhgure -

**Figure 8 : Nature des effluents de la Brakina**

L'embouteillage génère des eaux usées dont le pH varie entre 10 et 12. Ces eaux présentent très peu de charges organiques et sont régénérées jusqu'à épuisement pour aussi laver le sol et les vitres des différents bâtiments de l'unité. Elles sont appelées eaux sodées. La brasserie et la siroperie sont à l'origine de la présence des charges organiques dans les rejets. De plus les eaux de lavage des TODS (encore appelé cuves ou tanks) et des tuyauteries constituées d'eaux sodées, d'antiseptiques, de matières organiques, de sucres, d'alcools et divers additifs se mêlent aux mélanges levure, bière, kieselguhr pour constituer les polluants majeurs des rejets.

### **III.2.2. Quantification des eaux usées produite par la structure.**

Grace à la fiche d'informations soumise à l'entreprise et aux relevés de compteurs, les données de suivi des compteurs des eaux usées en vue de quantifier les volumes journaliers d'eaux usées rejetées par l'usine ont été obtenues. Aussi, le croisement avec les données de l'ONEA qui donnent les quantités d'eaux qui arrivent à la station d'épuration des eaux usées de Kossodo a permis de déterminer la part d'eaux usées de Brakina par rapport à l'ensemble. Les données récoltées auprès de l'ONEA ont permis d'estimer les volumes d'eaux usées rejetées pour l'année 2017. Le volume moyen d'eaux usées rejetées pour l'année 2018 à quant à lui été estimé en fonction des données de relevés de compteurs. Cependant notons que cette unité agroalimentaire ne rejette pas que les eaux potables qu'elles utilisent dans leur process. Pour le cas de la Brakina, il a été pris en compte la quantité de boues qui provient de la station d'eau potable ainsi que le volume des huiles usagées déversées dans la station de prétraitement.

### **III.2.3. Caractérisation des eaux usées**

Des prélèvements d'eaux usées ont eu lieu en vue de leur analyse au laboratoire. Ces prélèvements ont été réalisés sur le site de Brakina au niveau de la station de prétraitement. Ces travaux ont permis la caractérisation des eaux usées à l'entrée de la station de traitement des eaux usées de Brakina. L'ONEA quant à elle prélève les eaux usées à la sortie, donc en fin du prétraitement. Ainsi en caractérisant l'effluent à l'entrée et à la sortie de la station, les rendements épuratoires ont été évalués.

Le tableau 4 décrit les analyses faites ainsi que les méthodes utilisées.

**Tableau 4:** Paramètres et méthodes utilisées pour l'analyse

Paramètre	Unité	Méthode
pH	-	AFNOR 90-008.
Température	°C	AFNOR 90-008.
Conductivité	µs/cm	AFNOR T 90-031
Matière En Suspension (MES)	(mg/L)	AFNOR T90-105
Demande Chimique en Oxygène (DCO)	(mgO <sub>2</sub> /L)	Standard méthode
Demande Biologique Oxygène (DBO <sub>5</sub> )	(mgO <sub>2</sub> /L)	Méthode aux Oxitop
Phosphore Total PT	(mgP/L)	HACH 8190*
Ortho-phosphate P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	(mg/L)	AFNOR T 90-023.
Azote Nitrique N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	(mgN/L)	méthode de réduction au cadmium
Azote ammoniac	(mg/L)	Méthode au Nessler

### III.2.4. Evaluation des coûts de traitement des eaux usées

Le fonctionnement de la station occasionne des coûts. Les plus importants dont il sera tenu compte pour l'évaluation des coûts de traitement concernent notamment :

- charges de personnel ( $C_P$ )

Deux agents permanents ont été affectés à la station pour des opérations de prélèvements, d'analyses et de maintenance. Ils veillent donc de façon permanente au bon fonctionnement des ouvrages. Ils sont assistés d'un ouvrier temporaire qui s'occupe des tâches de nettoyage des équipements et de l'assainissement de la station. L'ensemble des activités de suivi est supervisé par le responsable des laboratoires.

- charges de fonctionnement ( $C_F$ )

Pour le fonctionnement de la station, l'un des postes les plus importants est la consommation énergétique des équipements. Parmi ceux-ci on dénombre 3 pompes pour l'acheminement des eaux usées du bassin tampon vers le bassin de décantation, un moteur pour le raclage des particules flottantes dans le bassin de décantation, un compresseur d'air pour l'aération du bassin de boues et une pompe pour le pompage de la boue du bassin de décantation vers le bassin des boues.

- charge de suivi et de maintenance ( $C_{SM}$ )

Des analyses sont réalisées quotidiennement pour le suivi des performances de la station. Ces opérations concernent surtout le pH, la DCO, la DBO<sub>5</sub> et les MES. Une vérification quotidienne a été retenue pour chacun des paramètres. D'autre part, des camions vidangeurs assurent l'évacuation des boues dans les bassins des boues et dans le bassin lamellé. Une fréquence journalière de 3 vidanges a été considérée. La neutralisation de l'alcalinité des eaux usées requiert l'utilisation d'acide. La quantité moyenne d'acide sulfurique concentrée utilisée a été évaluée à 890 L/j.

- charges d'amortissement des équipements ( $C_A$ )

Un taux arbitraire de 5% des charges de fonctionnement et de suivi est comptabilisé au titre de l'amortissement des équipements.

L'évaluation de la charge totale de la station est donc résumée par l'équation 1 :

$$C_T = C_P + C_F + C_{SM} + C_A \quad \text{Équation 1}$$

### **III.2.5. Dimensionnement de la nouvelle station**

#### **III.2.5.1. Paramètres de dimensionnement**

##### **III.2.5.1.1. Le Bàm**

Les données utilisées lors des tests ont été complétées par des valeurs de la littérature pour le dimensionnement des ouvrages. Le tableau 5 présente les variables de dimensionnement utilisées pour le Bàm. Le débit journalier de production d'eaux usées estimé pour l'année 2018 a été utilisé comme débit d'entrée du bioréacteur. La concentration de DCO en entrée du réacteur a été fixée en tenant compte des valeurs obtenues au cours des tests avec les eaux usées réelles industrielles. L'objectif du traitement est d'obtenir une eau traitée contenant moins de 150 mg DCO/L pour une utilisation directe en irrigation. Le Bàm étant suivi d'un traitement supplémentaire par NF, la concentration de DCO dans le perméat du Bàm devra être inférieure à 250 mg DCO/L pour optimiser l'espace industriel (le rendement d'élimination moyen correspondant est de 94%).

**Tableau 5** : Paramètres de dimensionnement des Bàm

Paramètre	unité	valeur
Débit à l'entrée du réacteur (Q)	m <sup>3</sup> /j	3140
Concentration de DCO à l'entrée (Se)	g DCO/L	5,0
Concentration de DCO dans le perméat (S)	g DCO/L	0,25
Concentration de biomasse dans le réacteur (X)	g MES/L	10
Temps de séjour des boues (Tb)	j	30
Taux de décès de la biomasse (Kd)	j <sup>-1</sup>	0,10
Taux de conversion apparent de la biomasse (Y <sub>H</sub> )	g <sub>MVS</sub> /g <sub>DCO</sub>	0,45
Rapport MVS/MES		0,80

Les caractéristiques de la biomasse sont déterminées à partir des équations 2, 3, 4 et 5 :

- Rendement de production de boues observé (Y<sub>obs</sub>)

$$Y_{obs} = \frac{Y_H}{1+k_d*T_b} \quad \text{Équation 2}$$

La charge massique dans le réacteur (C<sub>m</sub>)

$$C_m = \frac{k_d+T_b^{-1}}{Y_H} \quad \text{Équation 3}$$

- La masse de biomasse nécessaire dans le bioréacteur (M et M')

$$M = \frac{Q*(S_e-S)}{C_m} \quad \text{Équation 4}$$

$$M' = VX = \frac{M}{0,8} \quad \text{Equation 5}$$

Les caractéristiques du Bàm sont données par les équations suivantes :

- Le volume du réacteur (V)

$$V = \frac{M'}{X} \quad \text{Equation 6}$$

Etude technico-économique de l'installation d'une unité de traitement des eaux usées de la  
Brakina par couplage bioréacteur à membrane/nanofiltration

---

- Le temps de séjour hydraulique ( $T_H$ )

$$T_H = \frac{V}{Q} \quad \text{Equation 7}$$

- Le volume de purge journalière ( $Q_w$ )

$$Q_w = \frac{V}{T_b} \quad \text{Equation 8}$$

- La quantité d'oxygène nécessaire ( $Q(O_2)$ )

$$Q(O_2) = Q * (S_e - S) - Q_w * X * 0,8 * 1,44 \quad \text{Equation 9}$$

$$Q(\text{air}) = \frac{Q(O_2)}{0,21} * \frac{29}{32} \quad \text{Equation 10}$$

- Le Flux brut de filtration ( $J_{\text{brut}}$ )

$$J_{m,\text{brut}} = 30 \quad \text{Équation 11}$$

- Le Flux net de filtration ( $J_{m,\text{net}}$ )

$$J_{m,\text{net}} = \frac{J_{m,\text{brut}} * T_f - J * P_{rl} * T_{rl}}{T_f + T_{rl}} \quad \text{Équation 12}$$

- Le nombre de modules membranaires nécessaire ( $N_m$ )

$$N_m = \frac{Q}{Q_{\text{net}}} = \frac{Q}{J_{\text{net}} S_{\text{Module}}} \quad \text{Équation 13}$$

Pour la suite du dimensionnement, l'exemple de membrane de microfiltration Polymem MF 100L sera utilisé pour la détermination des caractéristiques du compartiment membranaire à installer. Les principales caractéristiques de cette membrane sont résumées dans le tableau 6.

**Tableau 6:** Caractéristiques de la membrane Polymem MF 100L

Paramètre	unité	valeur
Flux (Jw) maximal admissible(L/h/m <sup>2</sup> )	LMH	30
Perméabilité de la membrane (Lp)	L/h/m <sup>2</sup> /bar	800
Surface utile par module (S)	m <sup>2</sup>	4,5
Diamètre moyen des pores (dp)	µm	0,20
Diamètre du module (dm)	mm	75
Longueur du module (Lm)	mm	550

Le temps de filtration (Tf) a été fixé à 1 heure avec une pression (Pf) de 0,3 bar et le temps de retrolavage (Trl) à 30 secondes à une pression (Pr1) de 2 bars.

### III.2.5.1.2. La NF

Les données communément utilisée pour le procédé de NF ont été utilisées pour le dimensionnement. Les caractéristiques de la membrane Polymem NE 2540-70 ont été utilisées pour la suite de l'étude. Elles sont résumées dans le tableau 7.

**Tableau 7 :** Caractéristiques de la membrane Polymem NE 2540-70

Paramètre	unité	valeur
Flux moyen (J)	LMH	20
Perméabilité membranaire (Lp)	LMHB	3.85
Surface utile (S)	m <sup>2</sup>	2,5
Diamètre du module (dm)	mm	64
Longueur du module (Lm)	mm	1016

Pour les paramètres opératoires, il sera fixé une pression de filtration (Pf) de 10 bars pendant 2 heures (Tf). Un de retrolavage d'une durée de 60 secondes (Trl) à une pression (Pr1) de 2,5 bars complétera chaque cycle de filtration.

Le temps de filtration (Tf) a été fixé à 1 heure avec une pression (Pf) de 0,3 bar et le temps de retrolavage (Trl) à 30 secondes à une pression (Pr1) de 2 bars. Selon les spécifications techniques du fabricant, le flux moyen correspondrait à une pression de 5,2 bars.

- Le débit brut de filtration ( $Q_{m,brut}$ )

$$Q_{m,brut} = \frac{J * S * P_f}{5,2} \quad \text{Équation 14}$$

- Le débit net de filtration ( $Q_{m,net}$ )

$$Q_{m,net} = \frac{Q_{m,brut} * T_f - J * S * P_{rl} * T_{rl}}{T_f + T_{rl}} \quad \text{Équation 15}$$

- Le nombre de modules membranaires nécessaire ( $N_m$ )

$$N_m = \frac{Q}{Q_{m,net}} \quad \text{Équation 16}$$

## IV. RESULTATS ET DISCUSSIONS

Le présent chapitre explore les possibilités de l'adaptation du système existant à l'utilisation d'un BâM avec analyse des avantages et des contraintes.

### IV.1. Etat des lieux de la gestion des eaux usées de l'unité industrielle

#### IV.1.1. Caractérisation des eaux usées

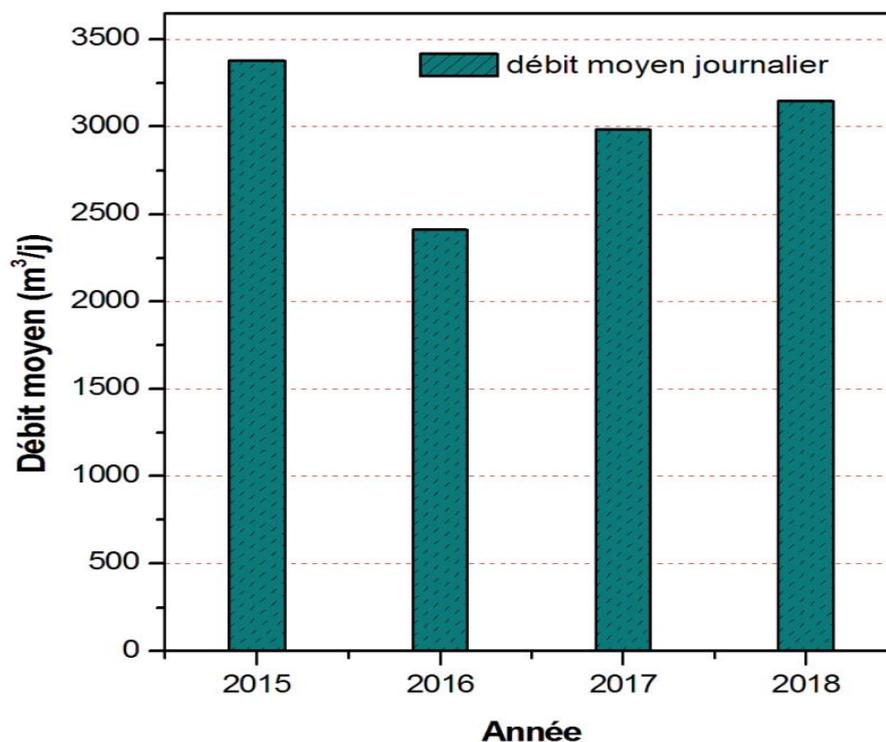
La production des boissons est une activité qui nécessite des volumes importants d'eau. L'eau est utilisée pour la production, l'assainissement et la consommation domestique au sein des entités du complexe industriel. Ces consommations induisent des rejets d'eaux usées notamment du fait des opérations de lavage, de rinçage et de désinfection. Même s'il existe des lignes dédiées exclusivement à la production de certains produits, la plupart des installations de production sont utilisées pour des produits différents occasionnant des nettoyages plus importants. Les principales activités génératrices d'eau usées sont i) le processus de fabrication de la bière, ii) le processus de fabrication des boissons gazeuses, iii) le processus d'embouteillage et iv) le traitement des eaux potables brutes. Les rejets sont donc constitués d'eaux et de résidus de production. Les eaux issues du lavage des cuves et des tuyauteries sont constituées d'eaux sodées, de divers additifs comme des antiseptiques, des matières organiques, du sucre et de l'alcool, des acides (acide phosphorique, phosphate trisodique) et de l'hypochlorite de calcium. Celles de l'embouteillage contiennent aussi des résidus de soude et sont peu chargées en matière organique. Des levures utilisées pour la fermentation, de la bière et un mélange de filtre minéral (poudre de diatomée dénommée Kieselguhr) sont également présents dans les rejets. Les quantités d'eaux usées produites varient d'une opération à une autre, et également d'un produit à un autre. Les données récoltées ont permis d'estimer les volumes d'eaux usées rejetées à 1 073 100 m<sup>3</sup> pour l'année 2017 soit un débit journalier de 2 980 m<sup>3</sup>. Le volume moyen d'eaux usées rejetées pour l'année 2018 est estimé à 3140 m<sup>3</sup>/j.

Le tableau 8 résume les quantités d'eaux usées rejetées par l'unité durant les trois dernières années et une estimation de la quantité produite en 2018.

**Tableau 8:** Rejets des eaux usées

Année	2015	2016	2017	Estimation 2018
Débit journalier moyen (m <sup>3</sup> /j)	3378	2413	2980	3144

La figure 9 présente les débits moyens journaliers d'eaux usées enregistrées pour les trois dernières années et une estimation de celles de l'année en cours. Aussi sur la base des données fournies par l'ONEA, la part des eaux usées de la brasserie est estimée à 70 % de l'ensemble des eaux usées municipales et industrielles traitées à la STEP de Kossodo.



**Figure 9 :** Débits journaliers moyens des eaux usées produites par Brakina

Les eaux usées produites sont chargées en matière organiques et en sodium. Le tableau 9 présente les principales caractéristiques des eaux usées au cours des opérations de la campagne de caractérisation et des tests de traitement avec les eaux usées réelles. La concentration moyenne de la DCO pour la campagne de caractérisation est de 6557 mg/l. La teneur moyenne en sodium obtenue est de 738 mg/l.

**Tableau 9 :** Caractéristiques des eaux usées de la Brakina pendant les différentes phases de l'étude

<b>Paramètres</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	<b>Moyenne</b>
<b>pH</b>	<b>11,7</b>	<b>12,6</b>	<b>12,15</b>
<b>DCO (mg/L)</b>	<b>5737</b>	<b>7377</b>	<b>6557</b>
Conductivité (mS/cm)	5,2	7,8	6,5
TDS (ppm)	2012	2118	2065
Turbidité (NTU)	462	650	556
Ca <sup>2+</sup> (mg/L)	6,9	8,1	7,5
Mg <sup>2+</sup> (mg/L)	2,7	4,1	3,4
NTK (mg/L)	9,3	12,9	11,1
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	6,2	7,6	6,9
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	17,0	22,8	19,9
P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	34,9	51,2	43,05
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	10,7	14,5	12,6
<b>Na<sup>+</sup> (mg/L)</b>	<b>684</b>	<b>792</b>	<b>738</b>
K <sup>+</sup> (mg/L)	12,2	17,6	14,9
Cl <sup>-</sup> (mg/L)	78	99	88,5

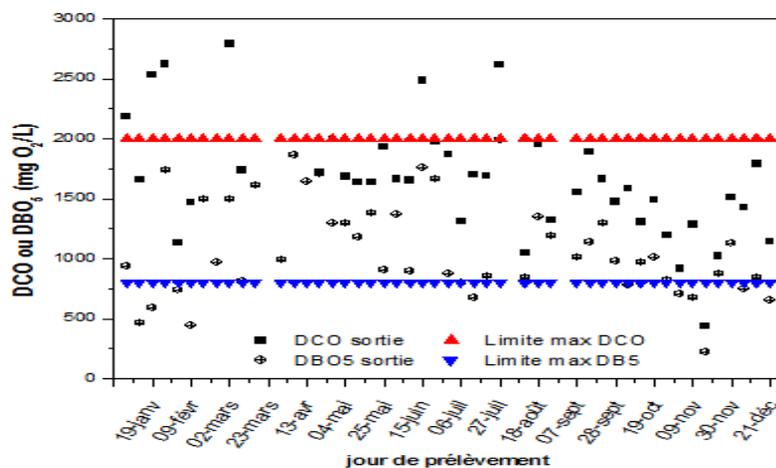
Pour la prise en charge de ses rejets liquides, la Brakina a construit et équipé une station de prétraitement des eaux usées. Cet ouvrage construit en 2005 a connu plusieurs réhabilitations (la dernière réhabilitation a été opérée en 2015) mettant ainsi en évidence la volonté de cette entreprise à améliorer continuellement ses performances en respect de sa politique qualité et environnementale. Le système de traitement est constitué de plusieurs ouvrages. Les eaux usées arrivent à la station par trois exutoires (arrivée 1 : traitement d'eaux et chaufferie, arrivée 2 : embouteillage, siroperie et fabrication (brassage + cave), arrivée 3 : presse à casier, eaux de la laveuse G7). Elles sont ensuite mélangées dans un bassin d'homogénéisation avant de rejoindre un bassin tampon après passage par un système de dégrillage.

Un système automatisé d'injection d'acide sulfurique concentré assure la neutralisation de l'alcalinité des eaux usées dans le bassin tampon. Après cette correction du pH, les eaux usées sont pompées vers un bassin de décantation après passage sur un tamis statique de 1 mm de porosité. Les particules flottantes sont raclées à la surface du bassin par un moteur muni de scrapers. Les eaux traitées sont déversées dans le réseau d'égout. Tous les 2 heures, la boue est pompée et acheminée vers un bassin de boue d'où elle est enlevée par des camions

vidangeurs et conduite vers le biodigesteur de la station de traitement des boues de vidange de Kossodo ou celui de Faso Biogaz.

#### IV.1.2. Performances de la station de traitement de la brasserie

Pour le suivi des performances et du monitoring des opérations de maintenance, un laboratoire a été construit et équipé. Du personnel y est affecté et procède au suivi des performances et de la maintenance des équipements et ouvrages. Des échantillons sont prélevés périodiquement et les résultats sont utilisés pour les réglages des conditions de fonctionnement des ouvrages. L'ONEA opère une fois par semaine, une vérification de la qualité des eaux rejetées dans le réseau d'égout. Les relevés obtenus pour le dernier trimestre de l'année 2017 et le premier trimestre de l'année 2018 révèlent que les concentrations de DCO à la sortie de la station de traitement sont comprises entre 108 et 2540 mg O<sub>2</sub>/L. Celles de la DBO<sub>5</sub> se situent entre 100 et 1400 mg O<sub>2</sub>/L alors que le pH varie de 6,0 à 11,8. Cela correspond à des taux moyens mensuels de conformité relativement aux normes de rejet dans le réseau d'égout de 92% pour la DCO et de 42% pour la DBO<sub>5</sub>. A la sortie du bassin de décantation, les MES varient entre 100 et 600 mg/l avec un rendement moyen d'élimination de 90%. Même si les concentrations moyennes obtenues restent la plupart du temps inférieures aux limites maximales autorisées pour le déversement dans le réseau d'égout, des dépassements de la norme sont constatés surtout en ce qui concerne la DBO<sub>5</sub> comme le montre la figure 10 qui représentent les variations de la DCO et de la DBO<sub>5</sub> collectées par l'ONEA pour l'année 2017.



**Figure 10 :** Concentrations de DCO et DBO<sub>5</sub> dans les rejets de Brakina (Résultats ONEA 2017)

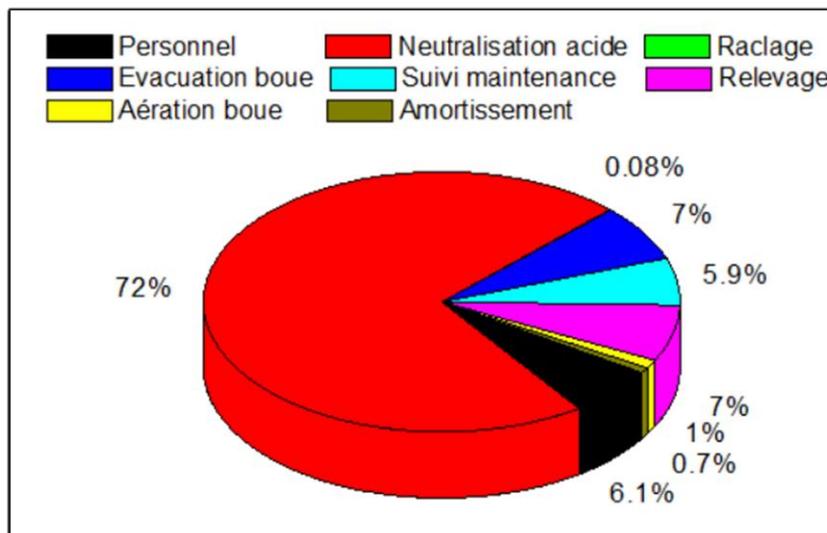
#### IV.1.3. Coûts de traitements et d'exploitations

Sur la base des postes de dépenses listées et des fréquences proposées, les frais de gestion journalière de la station sont évalués à 438510 FCFA/j (669 euros/j). En tenant compte d'un débit journalier de 3140 m<sup>3</sup>, le coût moyen de traitement des eaux usées est estimé à environ 140 FCFA/m<sup>3</sup> d'eau traitée (soit 0,213 euros/m<sup>3</sup> d'eau traitée). Le tableau 10 présente la répartition des charges de gestion de la station et la contribution de chaque secteur. Son examen montre que le suivi et la maintenance est l'activité qui engendre le plus de charges avec une contribution de plus de 86%.

**Tableau 10** : Répartition des charges liées à la gestion de la station de prétraitement

Postes de consommation		Charges (FCFA/m <sup>3</sup> eau traitée)	Taux (%)
Charges de personnel	Personnel	8,28	6,1
Charges de suivi et de maintenance	Suivi et maintenance	7,96	5,86
	Relevage	9,46	6,97
Charges de fonctionnement	Aération boue	1,43	1,05
	Raclage surnageant	0,103	0,08
	Neutralisation acide	98,08	72,22
	Evacuation des boues	9,55	7,03
	Total fonctionnement	118,62	87,34
Charges d'amortissement	Amortissement équipements	0,95	0,70
Charges totales		135,82	100

Avec plus de 70% des frais de gestion, la neutralisation des eaux usées par l'ajout de l'acide sulfurique concentré est le poste de consommation le plus important. La consommation énergétique quant à elle ne représente qu'environ 8% des frais de gestion de la station (Figure 11).



**Figure 11** : Répartition des charges par activités à la station de prétraitement de la Brakina

## IV.2. PROPOSITION D'UN NOUVEAU SYSTEME DE TRAITEMENT DES EAUX USEES DE L'UNITE INDUSTRIELLE

Des propositions de traitement des eaux usées d'industrie de production de boissons gazeuses seront présentées dans cette partie. Les tests ayant conduit à des résultats probants pour les configurations aéré et anaérobie, deux scenario y seront exposés à savoir : couplage Bàm aéré + Nanofiltration et couplage Bàm anaérobie + Nanofiltration. Les données utilisées lors des tests ont été complétées par des valeurs de la littérature pour le dimensionnement des ouvrages.

### IV.2.1. Dimensionnement

#### IV.2.1.1. Le Bàm

Les caractéristiques de la biomasse sont déterminées à partir des équations 2, 3, 4 et 5 :

- Rendement de production de boues observé ( $Y_{obs}$ )

$$Y_{obs} = 0,1125 \text{ gMVS/gDCO} \quad \text{Equation 2}$$

- La charge massique dans le réacteur ( $C_m$ )

$$C_m = 0,296 \text{ gMVS/gDCO.j} \quad \text{Equation 3}$$

- La masse de biomasse nécessaire dans le bioréacteur ( $M$  et  $M'$ )

Etude technico-économique de l'installation d'une unité de traitement des eaux usées de la Brakina par couplage bioréacteur à membrane/nanofiltration

$$M = 40\,535\,438 \text{ g}_{\text{MVS}} \quad \text{Equation 4}$$

$$M' = 47\,688\,750 \text{ g}_{\text{MES}} \quad \text{Equation 5}$$

Les caractéristiques du Bàm sont données par les équations suivantes :

- Le volume du réacteur (V)

$$V = 4\,768,87 \text{ m}^3 \quad \text{Equation 6}$$

- Le temps de séjour hydraulique ( $T_H$ )

$$T_H = 40,5 \text{ h} \quad \text{Equation 7}$$

- Le volume de purge journalière ( $Q_W$ )

$$Q_W = 159 \text{ m}^3/\text{j} \quad \text{Equation 8}$$

- La quantité d'oxygène nécessaire ( $Q(O_2)$ )

$$Q(O_2) = 10\,179 \text{ kg/j} \quad \text{Equation 9}$$

$$Q(\text{air}) = 42\,928 \text{ kg/j} \quad \text{Equation 10}$$

- Le Flux brut de filtration ( $J_{\text{brut}}$ )

$$J_{m,\text{brut}} = 30 \text{ L/h} \quad \text{Equation 11}$$

- Le Flux net de filtration ( $J_{m,\text{net}}$ )

$$J_{m,\text{net}} = 23,14 \text{ L/h/m}^2 \quad \text{Equation 12}$$

- Le nombre de modules membranaires nécessaire ( $N_m$ )

$$N_m = 1257 \text{ modules} \quad \text{Equation 13}$$

Le tableau 11 résume les résultats du dimensionnement du Bàm. Les résultats ainsi obtenus montrent que la charge massique correspondante est de 0,296 g MVS/g DCO/j. Pour une concentration en MES dans le bioréacteur fixé à 10 g MES/L, le volume de réacteur

Etude technico-économique de l'installation d'une unité de traitement des eaux usées de la Brakina par couplage bioréacteur à membrane/nanofiltration

biologique à installer est estimée à 4769 m<sup>3</sup> correspondant ainsi à un temps de séjour hydraulique de 40,5h. Pour maintenir l'âge des boues à 30 jours, une purge quotidienne de 159 m<sup>3</sup> de boue doit être effectuée. Dans le cas de la configuration aérée, la quantité d'air nécessaire est estimée à 48587kg/j. Le compartiment membranaire sera donc constitué de 1257 modules parallèles de membrane de microfiltration de type Polymem MF 100L.

**Tableau 11** : Caractéristiques du réacteur biologique et du compartiment membranaire

Paramètres	unité	valeur
La charge massique dans le réacteur (Cm)	g <sub>MVS</sub> /g <sub>DCO</sub> /j	0,296
La masse de MVS dans le bioréacteur (M)	g <sub>MVS</sub>	40 535 438
La masse de MES dans le bioréacteur (M')	g <sub>MES</sub>	47 688 750
Le volume du réacteur (V)	m <sup>3</sup>	4769
Le temps de séjour hydraulique (T <sub>H</sub> )	h	40,5
Le volume de purge journalière (Q <sub>w</sub> )	m <sup>3</sup> /j	159
La quantité d'oxygène nécessaire (Q(O <sub>2</sub> ))	kg/j	10 179
La quantité d'air nécessaire (Q(air))	kg/j	48597
Le Flux brut de filtration	LMH	30
Le Flux net de filtration	LMH	23
Le nombre de modules membranaires nécessaire (Nm)	-	1257
La surface membranaire	m <sup>2</sup>	5656.5

#### IV.2.1.2. La NF

Les caractéristiques de la membrane Polymem NE 2540-70 ont été utilisées pour la suite de l'étude.

Les caractéristiques du système NF sont :

- Le débit brut de filtration (Q<sub>m,brut</sub>)

$$Q_{m,brut} = 50 \text{ L/h} = 1,200 \text{ m}^3/\text{j} \quad \text{Équation 14}$$

- Le débit net de filtration (Q<sub>m,net</sub>)

$$Q_{m,net} = 48,55 \text{ L/h} = 1,165 \text{ m}^3/\text{j} \quad \text{Équation 15}$$

- Le nombre de modules membranaires nécessaire ( $N_m$ )

$$N_m = 2425 \text{ modules}$$

Équation 16

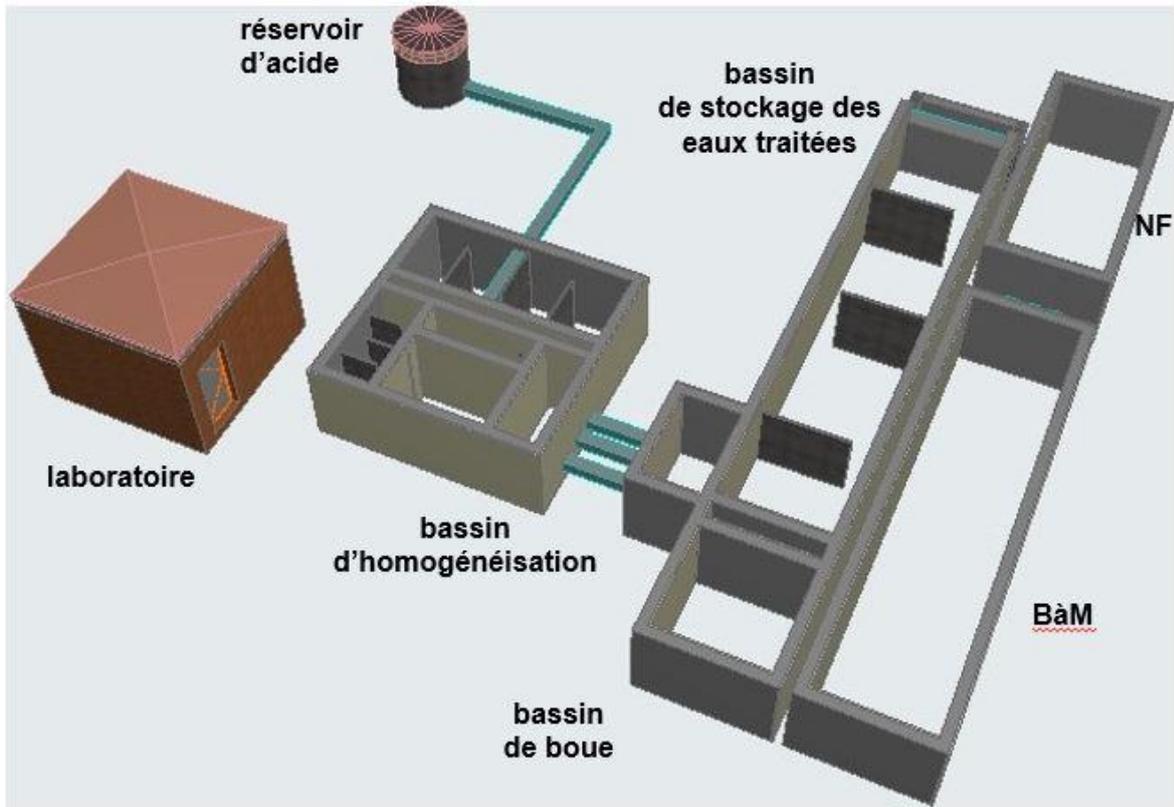
Le tableau 12 résume les résultats du dimensionnement du système de NF. Le dispositif de nanofiltration devra donc être équipé de 2425 modules de membrane Polymem NE 2540-70. Compte tenu des taux d'élimination de la DCO supérieur à 95% pour les modules de NF, la concentration à la sortie du système Bàm+NF sera inférieure à 12,5 mg DCO/L.

**Tableau 12** : Caractéristiques du système de NF

Paramètres	unité	valeur
Le débit brut de filtration ( $Q_m$ ,brut)	L/h	50
Flux brut de filtration	LMH	20
Le débit net de filtration ( $Q_m$ ,net)	L/h	48,55
Le nombre de modules membranaires nécessaire ( $N_m$ )		2425
Surface membranaire totale requise	m <sup>2</sup>	6062,5

#### **IV.2.2. Evaluation des conditions d'installation d'un nouveau système de traitement**

Le nouveau système de traitement proposé est une combinaison de l'unité existante auquel il sera accolé un Bàm couplé à un traitement d'affinage par NF. Ainsi, le bassin d'égalisation et le bassin tampon serviront à un prétraitement des eaux usées avant le Bàm. Les eaux usées seront donc collectées et mélangées puis passeront à travers un dégrilleur avant de rejoindre le bassin tampon où une neutralisation du pH sera opérée avant l'entrée dans le Bàm. Une partie du bassin de décantation servira au stockage de l'eau traitée du Bàm pour les opérations de retrolavage et l'alimentation de la NF. Cet ouvrage pourrait également servir à stocker l'eau traitée dont une partie pourrait être réutilisée par la BRAKINA et l'autre rejetée dans le réseau d'égout pour rejoindre la STEP de Kossodo. Le bassin de boues sera utilisé pour accueillir les boues purgées avant l'enlèvement par les vidangeurs (Figure 12).



**Figure 12 :** Représentation schématique du nouveau système de traitement

Les coûts d'investissement et d'exploitation du BàM sont déterminés à partir des équations 17 et 18 proposées par Iglesias et al. (2018) :

$$y = 82147x^{-0,495} \quad \text{Équation 17}$$

Où :

Y est le coût de l'installation en euro/m<sup>3</sup>/j

X est le débit journalier d'eaux usées en m<sup>3</sup>/j

$$y = 4,4499x^{-0,34} \quad \text{Équation 18}$$

Où :

Y est le coût d'exploitation du système en euro/m<sup>3</sup>/j

X est le débit journalier d'eaux usées traitées en m<sup>3</sup>/j

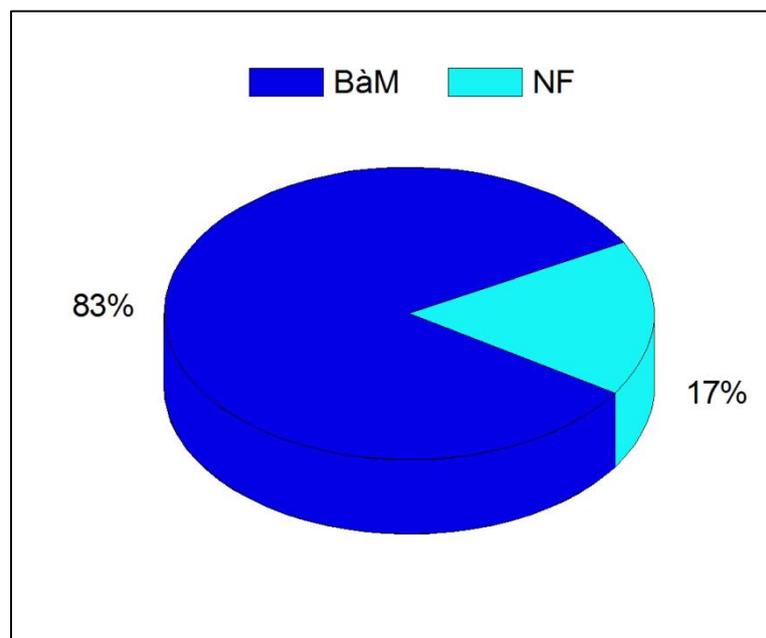
## Etude technico-économique de l'installation d'une unité de traitement des eaux usées de la Brakina par couplage bioréacteur à membrane/nanofiltration

En utilisant un débit de 3140 m<sup>3</sup>/j on obtient un investissement de 4 792 268,912 euros soit 3 143 522 339 FCFA. Ce coût d'investissement tient compte d'une prise en main de la station pour une période de 3 à 6 mois. S'agissant du coût d'exploitation, le résultat obtenu est 189 FCFA/m<sup>3</sup> d'eau traitée (0,288 euros). Ce coût englobe l'ensemble des charges y compris, les charges de personnel, du prétraitement, de gestion de la filière boue, des produits chimiques pour les lavages, de suivi et de maintenance et d'amortissement avec le remplacement de certains composants (membranes).

Pour le système de NF, des données de FNDAE (2002) évaluent les charges d'investissement à 4998392 FCFA/m<sup>3</sup>d'eau brute/h et un coût d'exploitation de 19,68 FCFA/m<sup>3</sup>d'eau traitée. Tenant compte du débit journalier d'eaux usées produites de 130 m<sup>3</sup>/h estimée, les charges d'investissement s'élèvent à 653 956 331 FCFA.

L'évaluation des charges totales pour le système ainsi constitué prendra en compte les charges pour la neutralisation acide et pour le relevage du bassin tampon vers le Bàm. Les charges totales d'investissement sont donc estimées à 3797478670 FCFA.

La figure 13, montre la répartition des charges d'investissement du nouveau système.

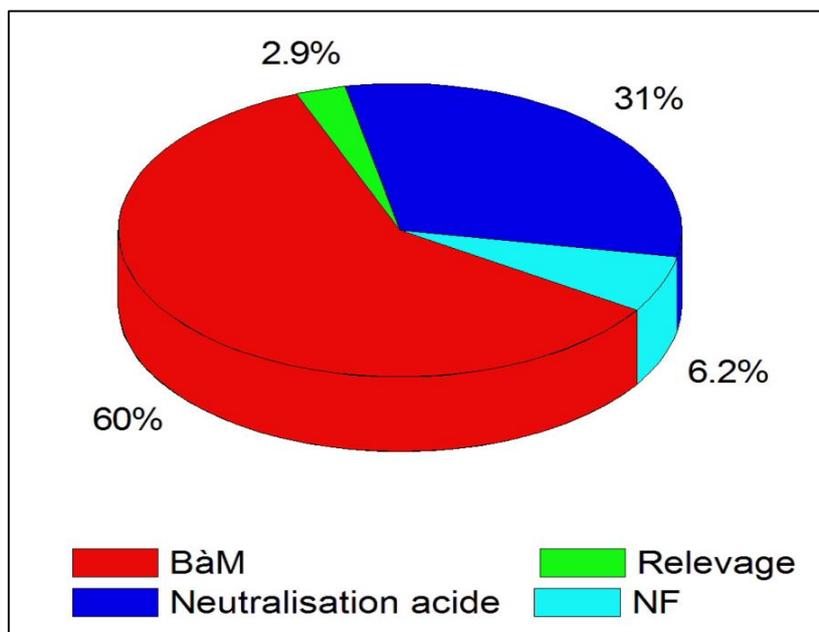


**Figure 13 :** Répartition des charges d'investissement de la station proposée

## Etude technico-économique de l'installation d'une unité de traitement des eaux usées de la Brakina par couplage bioréacteur à membrane/nanofiltration

En choisissant d'installer un Bàm aéré les charges d'exploitation prendront donc en compte les charges du Bàm, de la NF, de la neutralisation des eaux usées par l'acide et du relevage. L'ensemble de ces postes de dépenses conduisent à un coût d'exploitation estimatif de sont donc estimée à 315 FCFA/m<sup>3</sup> d'eau traitée.

La figure 14 décrit la répartition des charges d'exploitation du nouveau système.



**Figure 14 :** Répartition des charges d'exploitation de la station proposée

Par contre, pour un Bàm anaérobie la production de biogaz pourrait permettre de supporter une partie des besoins énergétiques. Les tests ont conduit à un rendement de production biogaz estimé à  $0,21 \pm 0,03$  Lbiogaz/g<sub>D<sub>CO</sub></sub> éliminé. En tenant compte d'une production moyenne de 4,25 g<sub>D<sub>CO</sub></sub>/L éliminé pour un débit moyen de 3140 m<sup>3</sup>/j on obtient une production journalière de 2802 m<sup>3</sup>/j de biogaz. La quantité correspondante de méthane est évaluée à 1653 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/j en considérant un pourcentage de méthane de 59% dans le biogaz (Chen et al., 2016). La quantité d'électricité correspondante est donc estimée à 16038 kWh/j. Andrade et al. (2017) ont rapporté que les besoins pour un Bàm traitant des eaux usées industrielles (laiterie) sont estimés à 1,1 kWh/m<sup>3</sup> d'eau traitée. Le fonctionnement du Bàm nécessiterait donc 3109 kWh/j. En ajoutant les besoins pour la NF (1526 kWh/j) et pour le relevage des eaux usées après le bassin tampon (396 kWh/j) et compte tenu de l'absence d'aération et de chauffage du réacteur biologique (les conditions climatiques soudano sahéliennes sont caractérisées par un fort ensoleillement et des températures favorables à une digestion

anaérobie), l'apport d'énergie par la production du biogaz s'avère suffisant pour les besoins de l'installation. Selon Iglesias et al. (2018), les besoins énergétiques du Bàm représentent 41% des couts d'exploitation ce qui conduit à un cout d'exploitation de 111,51 FCFA/m<sup>3</sup>. Les charges d'exploitation de la variante Bàm anaérobie sont estimées au total à 223 FCFA/m<sup>3</sup> d'eau traitée (0,34 euro/m<sup>3</sup> d'eau traitée) soit une baisse de 30% relativement au coût d'exploitation du Bàm aéré.

#### **IV.2.3. Evaluation des avantages et contraintes de l'installation d'un nouveau système de traitement**

La gestion de l'eau est un domaine transversal et une telle initiative mérite d'être analysée sous différents aspects : i) technique, ii) administratif, réglementaire et normatif, iii) économique, iv) social et v) environnemental. L'installation d'un nouveau dispositif de traitement dans ce complexe agroindustriel contribuerait à une meilleure gestion des eaux usées produites. Sur le plan technique cette station serait l'une des premières à être équipée de technologies membranaires (Bàm et NF) au Burkina et même dans la sous-région ouest africaine. Aussi bien la pollution organique que les fortes teneurs en sodium seront considérablement abattues par le couplage Bàm-NF. L'option proposée d'associer les nouveaux équipements à l'ouvrage existant garantirait une continuité des activités pendant les travaux et ne nécessiterait qu'un raccordement à la fin.

D'autre part, la possibilité d'automatisation de plusieurs opérations conduirait à une prise en main du nouveau système par le personnel dédié dans des délais réduits. Sur le plan réglementaire et normatif, la mise en service d'un tel ouvrage permettrait à la Brakina de se conformer aux dispositions du Décret N°2015\_1205\_PRESTRANS/ PM/ MERH/ MEF/ MARHASA/ MS/MRA/ MICA/ MME/ MIDTMATD du 28 octobre 2015 portant normes et conditions de déversements des eaux usées. Aussi les caractéristiques de l'eau traitée offriront la possibilité d'une réutilisation au sein de l'usine pour les opérations de lavage, de refroidissement, d'hygiène et d'entretien des espaces verts. Il ne sera donc plus question de payer des pénalités relatives aux déversements d'eaux prétraitées non conformes dans le réseau d'égout. Aussi, la possible production de biogaz offrirait de l'énergie supplémentaire à utiliser au sein de l'usine. Les sous-produits de traitement (boues brutes et boues séchées) pourraient être revendus à des opérateurs pour l'alimentation de biodigesteurs et à des fermiers pour l'amendement des périmètres agricoles. Ces eaux traitées moins chargées en sodium pourraient améliorer les performances de la STEP de Kossodo notamment en offrant

## Etude technico-économique de l'installation d'une unité de traitement des eaux usées de la Brakina par couplage bioréacteur à membrane/nanofiltration

la possibilité d'irrigation sur le long terme des périmètres maraichers aménagés en aval. Sur la base des enquêtes réalisées et en ne tenant compte que de la moitié des 290 maraichers installés au démarrage de la STEP de Kossodo, la reprise de l'activité maraichère pourrait générer environ 12 millions FCFA de revenus nets par mois (18 675 euros). Cela pourrait réduire par la même occasion les nuisances engendrées par les excès de sodium sur l'environnement. Les avantages sociaux et environnementaux contribueraient à rehausser l'image de la Brakina et renforcer sa politique qualité et sa responsabilité sociale et environnementale. La mise route d'un tel projet peut être freinée par des contraintes objectives auxquelles l'entreprise doit faire face. L'une des principales difficultés pourraient être le cout de l'investissement. En effet, l'étude économique a conduit à des charges investissement cumulés de 3,8 milliards de FCFA (5,7 millions d'euros) pour le nouveau système. En plus, les charges d'exploitation sont plus importantes et occasionnerait donc des dépenses supplémentaires. Dans une industrie déjà fonctionnelle, dont les rejets en dehors de quelques moments épars respectent la plupart du temps les normes de rejets et qui n'est pas disposer à réutiliser les eaux traitées dans le process, ces couts d'investissement semblent très importants. Aussi, quoique les technologies membranaires soient caractérisées par leur compacité, l'implantation d'un tel système requiert de l'espace. Pourtant, compte tenu de l'importance de l'espace dans le monde industriel, l'extension de la station existante en y incluant les nouvelles installations pourraient occasionner un manque à gagner.

Sur le plan technique, l'inexistence de structure spécialisée maîtrisant le fonctionnement de tel système pourrait entraîner des blocages en cas de panne prolongée. Enfin, une valorisation plus importante des boues par l'industrie pourrait perturber le fonctionnement du biodigesteur de la station de Kossodo et de Fasobiogaz qui sont alimentées en grande partie par des boues de la station de prétraitement de la Brakina.

## V. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

La présente étude a permis d'évaluer les performances épuratoires du système de traitement d'eaux usées de Brakina. Du fait de la réutilisation de ces eaux par des maraichers à l'aval de la STEP de KOSSODO et en considérant que 70% des eaux de celle-ci provient de la Brakina, un traitement adéquat s'impose en amont. Il en découle que l'installation d'un système Bàm couplé à la nanofiltration est un choix pertinent car permettrait d'optimiser ce traitement. L'état des lieux du fonctionnement de la station de prétraitement de la Brakina a fait ressortir des variations importantes des principaux paramètres de pollution. L'analyse des performances a mis en évidence le respect des normes de rejets dans le réseau d'égout pour les principaux paramètres de pollution malgré quelques non-conformités. La prise en compte des différents postes de consommation a conduit à des charges d'exploitation estimées à 140 FCFA/m<sup>3</sup> d'eau traitée dont environ 70% sont consacrées à la neutralisation des eaux usées par l'addition d'acide. Une proposition d'un nouveau système de traitement associant l'ouvrage existant à un couplage Bàm-NF a conduit à un investissement estimé à 3,8 milliards de FCFA. Dans le cas d'un Bàm aéré, les charges d'exploitation seraient de à 315 FCFA/m<sup>3</sup> d'eau traitée contre une valeur de 30% plus faible pour un Bàm anaérobie, la quantité de biogaz produite dans ce cas couvrant les besoins énergétiques du système. L'analyse des avantages et des contraintes a montré que des eaux de meilleure qualité contribueraient à un meilleur fonctionnement de la STEP de Kossodo et une possible réutilisation prolongée des eaux usées traitées pour la production maraîchère. Cela pourrait générer des revenus nets supérieurs à 12 millions FCFA/mois et constituée une occupation saine pour des centaines de personnes. L'étude des couts a révélé un investissement estimé à 3,8 milliards de FCFA pour la construction du nouveau système de traitement avec un couplage Bàm-NF. Même si un tel projet boosterait la RSE de la Brakina, les charges d'investissement qui en découlent ont été identifiées comme l'une des principales contraintes.

La présente étude a mis en évidence l'efficacité du Bàm comme procédé de traitement d'effluents d'industries de production de boissons, mais celles-ci ne semblent pas totalement exploitées. Il est donc possible d'envisager des perspectives comme :

- ❖ Réaliser une caractérisation individuelle des différentes eaux usées produites au sein de l'industrie et étudier la possibilité d'isoler les eaux sodées.
- ❖ Etudier les possibilités d'association du système de traitement proposé avec les énergies renouvelables.

Etude technico-économique de l'installation d'une unité de traitement des eaux usées de la Brakina par couplage bioréacteur à membrane/nanofiltration

- ❖ Etudier la possibilité d'une rétention sélective des minéraux pour une valorisation des ions d'intérêt pour la croissance des plantes dans la réutilisation en agriculture.

#### IV. BIBLIOGRAPHIE

- Baker, R.W. (2000). *Membrane Technology and Applications*. (McGraw-Hill Professional Engineering, New York, NY: McGraw-Hill.)
- Boari, G., Mancini, I.M., and Trulli, E. (1997). Technologies for water and wastewater treatment. *ResearchGate* 31, 262–287.
- Braeken, L., Van der Bruggen, B., and Vandecasteele, C. (2004). Regeneration of Brewery Waste Water Using Nanofiltration. *Water Res* 38, 3075–3082.
- Brito, A.G., Peixoto, J., Oliveira, J.M., Oliveira, J.A., Costa, C., Nogueira, R., and Rodrigues, A. (2007). Brewery and Winery Wastewater Treatment: Some Focal Points of Design and Operation. In *Utilization of By-Products and Treatment of Waste in the Food Industry*, V. Oreopoulou, and W. Russ, eds. (Springer US), pp. 109–131.
- Calderón C., Rosa I., Ortiz B MF. (2008). *Caracterisation de l'aguamiel et fractionnement des fructanes de jus d'agave par technologie membranaire*. phd thesis, montpellier supagro.
- Chang, S. (2011). Application of submerged hollow fiber membrane in membrane bioreactors: Filtration principles, operation, and membrane fouling. *Desalination* 283, 31–39.
- Cheng, W.P., Fung H.C., Ruey F.Y., and Yu, C.L. (2005). Using Chitosan as a Coagulant in Recovery of Organic Matters from the Mash and Lauter Wastewater of Brewery. *Journal of Polymers and the Environment* 13 (4): 383–88.
- Choi, H.J. (2015). Effect of Mg-Sericite Flocculant for Treatment of Brewery Wastewater." *Applied Clay Science* 115 (October): 145–49.
- Corcoran, E, ed. (2010). *Sick Water? The Central Role of Wastewater Management in Sustainable Development ; a Rapid Response Assessment*. Arendal: UNEP/GRID-Arendal [u.a.].
- DECRET N°20151205/PRESTRANS/PM/MERH/MEF/MARHASA/MS/MRA/MIC A/MME/MIDT/MATD du 28 octobre 2015 portant normes et conditions de déversements des eaux usées. JO N°01 DU 07 JANVIER 2016
- Delgado, L.F. (2009). *Bioréacteur à membrane externe pour le traitement d'effluents contenant des médicaments anticancéreux : élimination et influence du cyclophosphamide et de ses principaux métabolites sur le procédé*. L'université de toulouse.

- Driessen, W., and Vereijken (2003). Recent developments in biological treatment of brewery effluent. *Inst. Guild Brew. Conv. Livingstone Zamb.* 10
- Erdogan, I.G. (2014). Treatment of Softdrink Industry Wastewater Using an Integrated Anaerobic/Aerobic Membrane Bioreactor. PhD Thesis.
- Fillaudeau, L., Blanpain-Avet, P., and Georges, D. (2006). Water, Wastewater and Waste Management in Brewing Industries. *Journal of Cleaner Production* 14 (5): 463–71.
- Gander, M., Jefferson, B., and Judd, S. (2000). Aerobic MBRs for domestic wastewater treatment: a review with cost considerations. *Sep. Purif. Technol.* 18, 119–130.
- Gil, J.A., Túa, L., Rueda, A., Montañó, B., Rodríguez, M., and Prats D. (2010). Monitoring and Analysis of the Energy Cost of an MBR. *Desalination* 250 (3): 997–1001.
- Grasmick, A., Cabassud, corinne, Sperandio, M., and Wisniewski, C. (2007). Bioréacteurs à membranes et traitement des eaux usées. *Tech. Ing.* 3–20
- Haroon, Hajira., Amir, Waseem., and Qaisar, Mahmood. (2013). Treatment and Reuse of Wastewater from Beverage Industry.” *J Chem Soc Pak* 35 (1): 5–10.
- Iglesias, R., Simón, P., Moragas, L., Arce, A., Rodriguez-Roda, I., 2018. Cost comparison of full-scale MBRs. MBR Site. URL <https://www.thembrsite.com/features/cost-comparison-of-full-scale-water-reclamation-technologies-with-an-emphasis-on-membrane-bioreactors/> (accessed 7.27.18).
- Jaiyeola, A.T., and Bwapwa, J.K. (2016). Treatment Technology for Brewery Wastewater in a Water-Scarce Country : A Review. *South African Journal of Science* 112 (3–4): 1–8.
- Lin, H., Weijue, G., Fangang, M., Bao-Qiang, L., Kam-Tin, L., Leihong, Z., Jianrong, C., and Huachang, H. (2012). Membrane Bioreactors for Industrial Wastewater Treatment: A Critical Review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 42 (7): 677–740.
- Matošić, M., Prstec, I., Jakopović, H. K. & Mijatović, I. (2009). Treatment of beverage production wastewater by membrane bioreactor. *Desalination*, 246(1):285-293.

Etude technico-économique de l'installation d'une unité de traitement des eaux usées de la Brakina par couplage bioréacteur à membrane/nanofiltration

- Ortiz, R.I. (2008). Caractérisation de l'Agua miel et fractionnement des fructanes de jus d'agave par technologie membranaire. Montpellier II
- Ouarda, Y. (2014). Le Bioréacteur À Membrane Pour Le Traitement Des Eaux Usées Contaminées Par Le Bisphénol A. PhD Thesis, Université du Québec, Institut national de la recherche scientifique.
- Roux-de Balmann, H. (2006). Electro dialyse. Ed. Techniques Ingénieur.
- Sawadogo, B., Yacouba, K., Lesage, G., Zaviska, F., and Monnot, M. (2017). Brewery Wastewater Treatment using MBR Coupled with Nanofiltration or Electrodialysis: Biomass Acclimatization and Treatment Efficiency. *Front. Int. Conf. Wastewater Treat.* 1–13.
- Seyhi, B., Droguil, P., Buelna, G., Blais, J.-F., and Heran, M. (2011). État actuel des connaissances des procédés de bioréacteur à membrane pour le traitement et la réutilisation des eaux usées industrielles et urbaines. *Rev. Sci. L'eau J. Water Sci.* 24, 283–310.
- Shao, X., Dangcong, P., Zhaohua, T., and Xinghua, J. (2008). Treatment of Brewery Wastewater Using Anaerobic Sequencing Batch Reactor (ASBR). *Bioresource Technology* 99 (8): 3182–86.
- Shi, H. (2000). Industrial wastewater-types, amounts and effects. in point sources of pollutions: local effects and it's control, (Paris, France: Encyclopedia of Life Support Systems), p. 4.
- Simate, G.S., Cluett, J., Iyuke, S.E., Musapatika, E.T., Ndlovu, S., Walubita, L.F., and Alvarez, A.E. (2011). The treatment of brewery wastewater for reuse: State of the art. *Desalination* 273, 235–247.
- Skouteris, G., Hermosilla, D., López, P., Negro, C., and Blanco, Á. (2012). Anaerobic membrane bioreactors for wastewater treatment: A review. *Chem. Eng. J.* 198–199, 138–148.
- Sou, Y. M. (2009). Recyclage Des Eaux Usées En Irrigation: Potentiel Fertilisant, Risques Sanitaires et Impacts Sur La Qualité Des Sols. PhD Thesis, Verlag nicht ermittelbar.
- Sutton, P.M. (2006). Membrane Bioreactors for Industrial Wastewater Treatment: Applicability and Selection of Optimal System Configuration. *Proceedings of the Water Environment Federation* 2006 (9): 3233–3248.
- Tchobanoglous, G., Franklin Burton, and Stensel, D. (2003). *Wastewater*

Etude technico-économique de l'installation d'une unité de traitement des eaux usées de la Brakina par couplage bioréacteur à membrane/nanofiltration

Engineering, Treatment and Reuse (New York: McGraw-Hill, Inc.).

UN WATER (2017). Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2017 (place de Fontenoy, 75352 Paris 07-SP).

Woodard, F. (2001). Industrial Waste Treatment Handbook. Boston: Butterworth-Heinemann.

Zaviska, F., Patrick, D., Alain, G., Antonin A., and Marc, H. (2013). Nanofiltration Membrane Bioreactor for Removing Pharmaceutical Compounds. Journal of Membrane Science 429 (February): 121–29.

Zheng, X., Zhenxing, Z., Dawei, Y., Xiaofen C., Rong, C., Shang, M., Jiangquan Wang, Qingcong Xiao, and Jihua Wang. (2015). Overview of Membrane Technology Applications for Industrial Wastewater Treatment in China to Increase Water Supply. Resources, Conservation and Recycling 105 (December): 1–10.

## V. ANNEXES

<b>Annexe 1 :</b> Image de la Step de Kossodo et de l'espace de reutilisation des eaux.....	ii
<b>Annexe 2:</b> Caractéristiques géométriques des ouvrages de traitements de la STEP de Kossodo, et Quelques images de la station de traitement de la brakina.....	iii
<b>Annexe 3 :</b> Evaluation des charges de gestion de la station de prétraitement de la Brakina....	iv

Etude technico-économique de l'installation d'une unité de traitement des eaux usées de la Brakina par couplage bioréacteur à membrane/nanofiltration

**Annexe 1** : Image de la Step de Kossodo et de l'espace de réutilisation des eaux



Etude technico-économique de l'installation d'une unité de traitement des eaux usées de la Brakina par couplage bioréacteur à membrane/nanofiltration

**Annexe 2:** Caractéristiques géométriques des ouvrages de traitements de la STEP de Kossodo, et Quelques images de la station de traitement de la Brakina

**a) Caractéristiques géométriques des ouvrages de traitements de la STEP de Kossodo**

Désignations	Surface en m <sup>2</sup>			Volume en m <sup>3</sup>		Profondeur en m	
	Fond	Crête	Eau	Total	Eau		
<b>Bassins anaérobies( BA3)</b>	1681	4082	10235	4.7	4		
<b>Bassins facultatifs (BF2)</b>	27025	31940	51500	2.5	1.8		
<b>Bassin de maturation 1 (BM1)</b>	12524	16166	27000	2.7	1.2		
<b>Bassin de maturation 2 (BM2)</b>	5964	8529	6850	2.7	1.2		
<b>Bassin de maturation 3 (BM3)</b>	5964	8529	6850	2.7	1.2		

**b) Quelques images de la station de traitement de la Brakina**



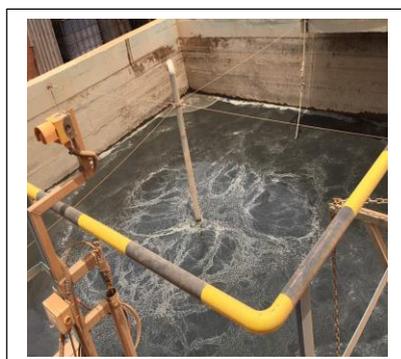
STEU



Compartiment des dégrilleurs



Bassin de décantation



Bassin de boues



Déversoir vers le réseau d'égout

**Annexe 3 : Evaluation des charges de gestion de la station de prétraitement de la Brakina**

▪ **Charges de Personnel**

Responsable labo 390 000 FCFA/mois (600 euros)

Agent de laboratoire 260 000 FCFA/mois (400 euros)

Ouvrier temporaire 130 000 FCFA /mois (200 euros)

Total mensuel 780 000 FCFA /mois (1200 euros)

Total journalier 26 000 FCFA /j (40 euros)

Total par volume d'eau traitée 26 000 FCFA /3140 soit 8,28 F/m<sup>3</sup> (0,0127 euros)

Charge de personnel : 26 000 FCFA/3140 soit 8,28 FCFA/m<sup>3</sup> (0,0127 euros)

▪ **Charges de suivi et de maintenance**

**Analyses physicochimiques**

Total analyses par jour 25 000 FCFA /j (38,17 euros)

Total analyses par volume d'eau traitée 7,96 FCFA/m<sup>3</sup> (0,012 euros)

▪ **Charges de fonctionnement**

**Refoulement des eaux usées du bassin tampon vers le bassin de décantation**

Puissance totale : 5,5kWx3 = 16 kW

Temps de fonctionnement 24h

Energie consommée 396 kWh/j

Charge totale journalière 29 700 FCFA/j

Charge par volume d'eau traitée : 9,46 FCFA/m<sup>3</sup> (0,014 euros)

Etude technico-économique de l'installation d'une unité de traitement des eaux usées de la  
Brakina par couplage bioréacteur à membrane/nanofiltration

**Aération des boues**

Puissance totale : 5 kW

Temps de fonctionnement : 12 h

Energie consommée 60 kWh/j

Charge totale journalière 4500 FCFA /j

Charge par volume d'eau traitée : 1,43 FCFA/m<sup>3</sup> (0,00219 euros)

**Raclage du surnageant**

Puissance totale : 0,18 kW

Temps de fonctionnement : 24 h

Energie consommée 4,32 kWh/j

Charge totale journalière 324 FCFA/j

Charge par volume d'eau traitée : 0,103 FCFA/m<sup>3</sup> (0,00016 euros)

**Neutralisation acide**

Volume d'acide 870 L/j

Prix de l'acide 354 F/L (0,54 euros)

Prix de l'acide par jour 307 980 FCFA/j (470 euros)

Total acide 98,08 FCFA/m<sup>3</sup> (0,1597 euros)

Charge de neutralisation : 98,08 FCFA/m<sup>3</sup> (0,1597 euros)

**Vidange des boues**

Vidange 2/j soit 30 000 FCFA/j (45,73 euros)

Etude technico-économique de l'installation d'une unité de traitement des eaux usées de la  
Brakina par couplage bioréacteur à membrane/nanofiltration

Total vidange par volume d'eau traitée 9,55 FCFA/m<sup>3</sup> (0,015 euros)

Charge vidange : 9,55 FCFA/m<sup>3</sup> (0,015 euros)

▪ **Charges d'amortissement des équipements**

Charge totale : 5% (charges de fonctionnement + charge se suivi)

Charge totale journalière : 5% x 59524 = 2976,2 F/j

Total amortissement 0,95 FCFA/m<sup>3</sup>

**Charges totales gestion de la station : 135,82 F/m<sup>3</sup>**

**Charges totales journalières de gestion de la station : 426480,2 FCFA/j**