

# Université Assane SECK de Ziguinchor



## UFR Sciences et Technologies

### Département de Chimie



## Mémoire de Master

Spécialité : **Chimie du Solide et des Matériaux**

**SUIVI TECHNIQUE DES UNITES DE FILTRATION  
MEMBRANAIRE INSTALLEES DANS LE BASSIN  
ARACHIDIER AU SENEGAL**

Présenté par : **Amadou DIEYE**

Soutenu publiquement le 08 juillet 2020 devant le jury composé de :

**PRESIDENT :**

Pr Magatte CAMARA

Enseignant – Chercheur, UASZ

**RAPPORTEUR :**

Dr Papa Aly GAYE

Enseignant – Chercheur, UASZ

**EXAMINATEURS :**

Dr Abdou MBAYE

Enseignant – Chercheur, UASZ

Dr Insa BADIANE

Enseignant – Chercheur, UASZ

**ENCADRANT :**

Dr Saïdou Nourou DIOP

Enseignant – Chercheur, UASZ

## DEDICACES

*Je dédie ce travail*

*A mon père El Hadji Rawane DIEYE, en signe d'amour, de reconnaissance et de gratitude pour tous les soutiens et les sacrifices dont il a fait preuve à mon égard. Que Dieu puisse faire en sorte que ce travail porte son fruit ; merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venant de toi. A ma mère Aida DIEYE qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et les précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie ; reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.*

*A toute ma famille*

*A tous mes amis*

## **REMERCIEMENTS**

Je voudrais remercier en premier lieu mon directeur de mémoire Dr Saïdou Nourou DIOP d'avoir accepté de diriger ce mémoire et de guider mes premiers pas dans la recherche avec méthode et rigueur. Je le remercie pour l'aide qu'il a fournie et les connaissances qu'il a su me transmettre mais également pour sa grande disponibilité et la qualité de ses conseils.

Je remercie Pr Magatte CAMARA, coordonnateur du Master Chimie du Solide et des Matériaux pour l'honneur qu'il nous fait de présider ce Jury mais également pour avoir participé à notre formation et pour tous les efforts consentis pour la réussite des étudiants.

Je voudrais aussi remercier Dr Papa Aly GAYE pour avoir accepté de rapporter ce mémoire mais également pour avoir participé à notre formation.

Je remercie également Dr Abdou MBAYE et Dr Insa BADIANE pour avoir examiné ce travail.

Je remercie l'ensemble des enseignants chercheurs du département de chimie de l'Université Assane SECK de Ziguinchor à savoir Pr Chérif BALDE, Pr Abdoulaye GASSAMA, Pr Mbaye Diagne MBAYE, Dr Mamadou LO, Dr Anastasie MANGA ainsi que Mme Fatoumata M. S. CAMARA pour tous les efforts consentis, pour la qualité de notre formation et pour vos encouragements. Je tiens à vous exprimer ma reconnaissance.

Mes remerciements vont à l'endroit de tous les enseignants de l'UASZ qui ont participé à ma formation.

J'adresse mes sincères remerciements à mon directeur de stage Dr Mouhamadou Abdoulaye Diallo pour l'aide qu'il m'a apportée durant tout le stage, sa disponibilité et son sens de l'humour.

Je remercie chaleureusement mon grand frère El Hadji Balla DIEYE et sa femme Madjiguène DIEYE pour avoir été mes tuteurs durant toutes ces années à Ziguinchor. Merci également pour l'affection et l'assistance qu'ils m'ont apportées.

Mes sincères remerciements à mon grand frère Ibrahima Dieye pour tout l'aide qu'il m'a apporté.

J'exprime toute ma gratitude à mon ami et frère Cheikh Ahmed Tidiane DIENG pour avoir été mon tuteur à Kaolack durant tout mon stage.

Mes profondes reconnaissances vont à l'endroit de tous les doctorants et doctorantes du département de chimie pour leurs conseils et leurs remarques pertinentes. A ces remerciements j'associe mes condisciples du Master pour toutes les années de partages, de délires et surtout pour ce parcours très riche.

Je ne saurai terminer sans inclure tous les membres de ma famille plus particulièrement mes parents, qui accordent une importance particulière à mes études. Ils m'ont toujours rassuré et soutenu dans mes études, soyez sûrs de ma gratitude.

Je remercie enfin tous mes amis, l'Amicale des Etudiants Ressortissants de Saint-Louis à Ziguinchor ainsi que tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.

## ABREVIATIONS ET NOMENCLATURES

Aclaira-P : Aclaira Pure

ASUFOR : Association des Usagers de Forage

BaSO<sub>4</sub> : Sulfate de baryum

C<sub>0</sub> : Concentration de l'espèce dans la solution à traiter

C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub> : Acide citrique

CaCO<sub>3</sub> : Carbonate de calcium

CaSO<sub>4</sub> : Sulfate de calcium

Cl<sup>-</sup> : Ion chlorure

Cl<sub>2</sub> : Dichlore

C<sub>P</sub> : Concentration de l'espèce dans le perméat

ΔP : Différence de pression

DT : Disc Tube

E : Potentiel rédox

g : Gramme

h : Heure

J<sub>P</sub> : Flux de perméation

L : Litre

MF : Microfiltration

μS/cm : Microsiemens par centimètre

MOD : Matières Organiques Dissoutes

MON : Matières Organiques Naturelles

MES : Matières en Suspension

mV : Millivolt

NaClO : Hypochlorite de sodium

NaHSO<sub>3</sub> : Hydrogénosulfite de sodium

NF : Nanofiltration

OI : Osmose Inverse

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

P<sub>E</sub> : Pression d'entrée

PEPAM-AQUA : Programme d'Eau Potable et d'Assainissement du Millénaire- Amélioration de la Qualité de l'eau

P<sub>P</sub> : Pression du perméat

P<sub>S</sub> : pression de sortie

pH : Potentiel hydrogène

PTM : Pression Transmembranaire

Q<sub>0</sub> : Débit d'alimentation

Q<sub>P</sub> : Débit de perméat

Rédox : Oxydoréduction

S : Surface

SARL : Société A Responsabilité Limitée

SDE : Sénégalaise Des Eaux

S/cm : Siemens par centimètre

SiO<sub>2</sub> : Oxyde de Silicium

TR : Taux de rejet

UF : Ultrafiltration

Y : Taux de conversion

## **LISTE DES TABLEAUX**

<b>Tableau 1</b> : Types et mécanismes de colmatage dans le domaine membranaire [5].....	23
<b>Tableau 2</b> : Solutions de nettoyage utilisées selon le type de dépôt [5]. .....	24
<b>Tableau 3</b> : Valeurs moyennes des paramètres de fonctionnement des différentes unités durant la période 2017-2019 .....	59

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1</b> : cas de fluoroses dentaires.....	16
<b>Figure 2</b> : cas de fluoroses osseuses.....	16
<b>Figure 3</b> : schéma du principe de fonctionnement d'une membrane.....	18
<b>Figure 4</b> : classification des procédés de séparation baro-membranaires .....	19
<b>Figure 5</b> : principe de nanofiltration.....	20
<b>Figure 6</b> : schéma du principe de la filtration tangentielle.....	21
<b>Figure 7</b> : schéma illustratif du colmatage .....	22
<b>Figure 8</b> : cartographie des vingt et une unités DT implantées au Sénégal .....	27
<b>Figure 9</b> : kiosque de distribution d'eau de Mbacké.....	28
<b>Figure 10</b> : membrane et disques .....	29
<b>Figure 11</b> : appareil de filtration.....	30
<b>Figure 12</b> : module DT .....	31
<b>Figure 13</b> : dispositif de nettoyage .....	32
<b>Figure 14</b> : conductimètres.....	35
<b>Figure 15</b> : rédox-mètre.....	35
<b>Figure 16</b> : variation de la conductivité du perméat de l'unité de Kabatoki en fonction du temps .....	38
<b>Figure 17</b> : variation de la conductivité du perméat de l'unité de Koutal en fonction du temps .....	39
<b>Figure 18</b> : variation de la conductivité du perméat de l'unité de Ndong en fonction du temps .....	40
<b>Figure 19</b> : variation de la conductivité du perméat de l'unité de Diourbel en fonction du temps .....	41
<b>Figure 20</b> : variation de la conductivité du perméat de l'unité de Mbacké en fonction du temps .....	42
<b>Figure 21</b> : variation de la conductivité du perméat de l'unité de Kahone en fonction du temps .....	43
<b>Figure 22</b> : variation de la conductivité du perméat de l'unité de Diakhao en fonction du temps .....	44
<b>Figure 23</b> : variation du taux conversion de l'unité de Kabatoki en fonction du temps .....	45
<b>Figure 24</b> : variation du taux conversion de l'unité de Koutal en fonction du temps .....	46
<b>Figure 25</b> : variation du taux de conversion de l'unité de Ndong en fonction du temps .....	47
<b>Figure 26</b> : variation du taux de conversion de l'unité de Diourbel en fonction du temps .....	48
<b>Figure 27</b> : variation du taux de conversion de l'unité de Mbacké en fonction du temps .....	49
<b>Figure 28</b> : variation du taux de conversion de l'unité de Kahone en fonction du temps.....	50
<b>Figure 29</b> : variation du taux de conversion de l'unité de Diakhao en fonction du temps.....	51
<b>Figure 30</b> : évolution de la pression d'alimentation de l'unité de Kabatoki en fonction du temps .....	52
<b>Figure 31</b> : évolution de la pression d'alimentation de l'unité de Koutal en fonction du temps .....	53
<b>Figure 32</b> : évolution de la pression d'alimentation de l'unité de Ndong en fonction du temps .....	54
<b>Figure 33</b> : évolution de la pression d'alimentation de l'unité de Diourbel en fonction du temps .....	55

<b>Figure 34</b> : évolution de la pression d'alimentation de l'unité de Mbacké en fonction du temps .....	56
<b>Figure 35</b> : évolution de la pression d'alimentation de l'unité de Kahone en fonction du temps .....	57
<b>Figure 36</b> : évolution de la pression d'alimentation de l'unité de Diakhao en fonction du temps .....	58

## SOMMAIRE

DEDICACES .....	1
REMERCIEMENTS .....	3
ABREVIATIONS ET NOMENCLATURES .....	5
LISTE DES TABLEAUX.....	7
LISTE DES FIGURES.....	8
INTRODUCTION.....	13
CHAPITRE I : GENERALITES.....	15
1. Fluor, eau et santé .....	15
1.1 Problématique du fluor dans l'eau de consommation .....	15
1.2 Effet du fluor sur l'organisme .....	15
1.2.1 Fluorose dentaire .....	15
1.2.2 Fluorose osseuse.....	16
2. Généralités sur les procédés membranaires .....	17
2.1 Définition d'une membrane.....	17
2.2 Procédés de filtration .....	18
2.2.1 Procédés Baro-membranaires.....	18
2.2.2 Nanofiltration serrée ou osmose inverse à basse pression .....	19
2.2.2.1 Définition.....	19
2.2.2.2 Principe de fonctionnement.....	20
2.2.3 Types de Filtration .....	20
2.2.4 Colmatages et Nettoyage des membranes.....	21
2.2.4.1 Types de colmatage .....	22
2.2.4.2 Solutions de nettoyage.....	23
2.2.4.3 Evaluation de l'efficacité d'un nettoyage.....	24
2.2.4.4 Fréquences de nettoyage.....	24
CHAPITRE II : PRESENTATION DES SITES D'ETUDE ET DES KIOSQUES .....	26
1. Présentation des sites d'étude .....	26
2. Présentation des Kiosques de distribution d'eau .....	27
2.1 Dispositif et fonctionnement de l'unité .....	28
2.2 Techniciens des kiosques.....	32
3. Problèmes spécifiques des unités et solutions.....	32
4. Paramètres de fonctionnement.....	33
4.1 Pression transmembranaire.....	33

4.2	Flux de perméation ( $J_p$ ) .....	34
4.3	Taux de rejet (ou taux de rétention).....	34
4.4	Taux de conversion.....	34
5.	Appareillages et produits chimiques .....	35
5.1	Appareil de mesure de la conductivité .....	35
5.2	Appareil de mesure du potentiel Rédox .....	35
5.3	Produits Chimiques.....	36
5.3.1	Produits utilisés pour le nettoyage chimique.....	36
5.3.2	Produit utilisé pour la neutralisation du Chlore .....	36
5.3.3	Procédures de nettoyage des membranes .....	36
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION .....		38
1.	Evolution des paramètres de fonctionnement .....	38
1.1	Evolution de la conductivité en fonction du temps .....	38
1.1.1	Variation de la conductivité de l'unité de Kabatoki de 2017 à 2019 .....	38
1.1.2	Variation de la conductivité de l'unité de Koutal de 2017 à 2019.....	39
1.1.3	Variation de la conductivité de l'unité de Ndong de 2017 à 2019.....	40
1.1.4	Variation de la conductivité de l'unité de Diourbel de 2017 à 2019.....	41
1.1.5	Variation de la conductivité de l'unité de Mbacké de 2017 à 2019 .....	42
1.1.6	Variation de la conductivité de l'unité de Kahone de 2017 à 2019 .....	43
1.1.7	Variation de la conductivité de l'unité de Diakhao de 2017 à 2019 .....	44
1.2	Evolution du taux de conversion en fonction du temps.....	45
1.2.1	Variation du taux de conversion de l'unité de Kabatoki de 2017 à 2019 .....	45
1.2.2	Variation du taux de conversion de l'unité de Koutal de 2017 à 2019 .....	46
1.2.3	Variation du taux de conversion de l'unité de Ndong de 2017 à 2019.....	47
1.2.4	Variation du taux de conversion de l'unité de Diourbel de 2017 à 2019.....	48
1.2.5	Variation du taux de conversion de l'unité de Mbacké de 2017 à 2019 .....	49
1.2.6	Variation du taux de conversion de l'unité de Kahone de 2017 à 2019.....	50
1.2.7	Variation du taux de conversion de l'unité de Diakhao de 2017 à 2019 .....	51
1.3	Evolution de la pression d'alimentation en fonction du temps .....	52
1.3.1	Variation de la pression d'entrée de l'unité de Kabatoki de 2017 à 2019 .....	52
1.3.2	Variation de la pression d'entrée de l'unité de Koutal de 2017 à 2019 .....	53
1.3.3	Variation de la pression d'entrée de l'unité de Ndong de 2017 à 2019.....	54
1.3.4	Variation de la pression d'entrée de l'unité de Diourbel de 2017 à 2019 .....	55
1.3.5	Variation de la pression d'entrée de l'unité de Mbacké de 2017 à 2019 .....	56
1.3.6	Variation de la pression d'entrée de l'unité de Kahone de 2017 à 2019.....	57

1.3.7	Variation de la pression d'entrée de l'unité de Diakhao de 2017 à 2019.....	58
CONCLUSION	.....	60
BIBLIOGRAPHIE	.....	62
WEBOGRAPHIE	.....	64
RESUME	.....	65
ABSTRACT	.....	66

## INTRODUCTION

L'eau, une ressource naturelle, essentielle et indispensable pour la vie sur terre, occupe une place fondamentale dans tous les pays du monde. L'eau présente à la surface du globe terrestre à hauteur de 70% est inégalement répartie et reste très peu exploitée [1]. En effet, la plupart des ressources reste inaccessible car étant sous forme de calottes polaires et d'eaux salées [2]. Ainsi, la demande d'eau en quantité et en qualité est de plus en plus pressante, surtout dans les pays en développement à cause de l'augmentation de la population et du phénomène d'urbanisation massive [1]. Cette ressource est aussi bien utilisée dans le domaine de l'agriculture (irrigation), de l'industrie (eau de brasseries et boissons gazeuses, sucreries et raffineries de sucres...) que pour la consommation humaine. Dans cette dernière utilisation, il est indispensable que l'eau soit dépourvue de toutes substances nuisibles à la santé.

Dans les eaux, certaines substances qui n'affectent ni le goût, ni l'odeur, ni la couleur peuvent être extrêmement dangereuses pour la santé : c'est le cas du fluor. Le fluor est un oligo-élément nécessaire et bénéfique pour la santé à une bonne dose, cependant le fluor et le sel donnent à l'eau un caractère saumâtre, qui la rend désagréable à la consommation, et entraînent des problèmes de santé. Il faut noter que beaucoup de pays du monde présentent des eaux très riches en fluor [1].

Au Sénégal, dans certaines localités du bassin arachidier, les eaux souterraines sont riches en fluor plus un excès de salinité. La teneur en fluor dans l'eau souterraine servant de boisson est supérieure à 1,5 mg/L dans plusieurs forages et varie d'un forage à un autre et la salinité est supérieure à 1000 mg/L, alors que l'OMS recommande une teneur maximale de 1,5 mg/L pour le fluor et 500 mg/L pour le sel. Le fluor et le sel qui donnent à l'eau un caractère saumâtre, la rendent mauvaise à la consommation [i].

Dans ce travail, nous avons suivi l'évolution de certains paramètres physico-chimiques de l'eau à la fois avant et après traitement par la technologie membranaire de nanofiltration serrée ou d'osmose inverse à basse pression. La connaissance des paramètres de fonctionnement qui caractérisent ce procédé de filtration afin d'évaluer l'efficacité des unités implantées dans le bassin arachidier reste un de nos objectifs.

Le but de ce travail est de faire le suivi technique des unités de filtration d'Aclaira installées dans le bassin arachidier afin d'optimiser les performances du processus de traitement par membranes.

Par conséquent, l'évolution des paramètres comme la conductivité, le taux de conversion, la pression d'alimentation a été étudiée, de même que le suivi de la procédure de déchloration de l'eau brute a été effectué.

Le présent mémoire est composé de trois grands chapitres compris entre une introduction et une conclusion. Le premier chapitre de ce document porte sur la problématique du fluor dans l'eau et sur la santé, ensuite les généralités sur les procédés membranaires de la nanofiltration serrée ou l'osmose inverse à basse pression et enfin sur les types de colmatage et du nettoyage chimique des membranes. Le second chapitre est consacré à la méthodologie de travail dans laquelle nous avons présenté les sites d'étude, la problématique de notre étude, la description des composants de l'unité, des dispositifs et du fonctionnement de l'appareil, des problèmes liés à l'unité, aux paramètres de fonctionnement et en dernier lieu à l'appareillage et aux produits chimiques. Le troisième chapitre concerne les résultats où sont présentés l'évolution des courbes des paramètres de fonctionnement dans le temps des différentes unités. Enfin une conclusion sur les résultats globaux du travail sera tirée de même des perspectives pour l'amélioration des différents procédés utilisés dans la potabilisation de l'eau seront dégagées.

# CHAPITRE I : GENERALITES

## 1. Fluor, eau et santé

### 1.1 Problématique du fluor dans l'eau de consommation

Des foyers de fluorose ont été décrits un peu partout dans le monde. Au Sénégal en particulier, c'est en 1957 qu'a été décrit pour la première fois un foyer de fluorose dentaire à Mont Rolland dans la région de Thiès [3].

Ainsi, un grand nombre de forages de la partie centrale du pays sont salés. Les points d'eaux non salés sont souvent pollués (puits) et près d'un tiers d'entre eux présentent des concentrations en fluor très élevées (jusqu'à 10 mg/L) [ii].

L'eau fluorée paraît « bonne » (lorsqu'elle n'est pas salée) pour ceux qui la consomment car elle n'a aucun goût ; c'est au bout d'une dizaine d'années de consommation que les effets du fluor sur l'organisme se font sentir, et l'impact de la consommation de ces eaux est très variable d'un village à l'autre (sans doute du fait d'une biologie complexe du fluor dans l'organisme) [ii]. Au-delà du phénomène d'ordre esthétique des dents colorées, la fluorose dentaire (figure 1) et la fluorose osseuse (figure 2) ont toujours constitué un problème de santé publique majeur pour les populations qui consomment l'eau fluorée. La potabilisation de cette eau renforce la santé des os et des dents, d'une part, et permet, d'autre part, d'éradiquer le phénomène des dents colorées à travers l'équilibre de la teneur en fluor contenu dans l'eau de boisson [2]. Des études effectuées dans les pays développés, et même au Sénégal, ont confirmé que la défluoration de l'eau et le dessalement se traduisent, au bout de plusieurs années, par une réduction de la fluorose dentaire [i].

### 1.2 Effet du fluor sur l'organisme

Comme tout oligo-élément, le fluor est nécessaire et bénéfique pour l'organisme humain à de faibles concentrations, mais toxiques à plus fortes doses. Ainsi, entre 0,5 et 1,5 mg/L, la bonne santé est favorisée ; entre 1,5 et 4 mg/L, il y'a risque de fluorose dentaire ; entre 4 et 10 mg/L, la fluorose concerne les dents et les os (ou fluorose osseuse).

#### 1.2.1 Fluorose dentaire

Elle désigne une lésion dischromique et structurale des tissus durs de la dent (émail, dentine et cément) à la suite d'une consommation quotidienne d'une eau contenant plus de 2 mg/L pendant

les années de formation des dents temporaires et permanentes (de 0 à 8 ans). Elle se traduit par des taches sur la dent.

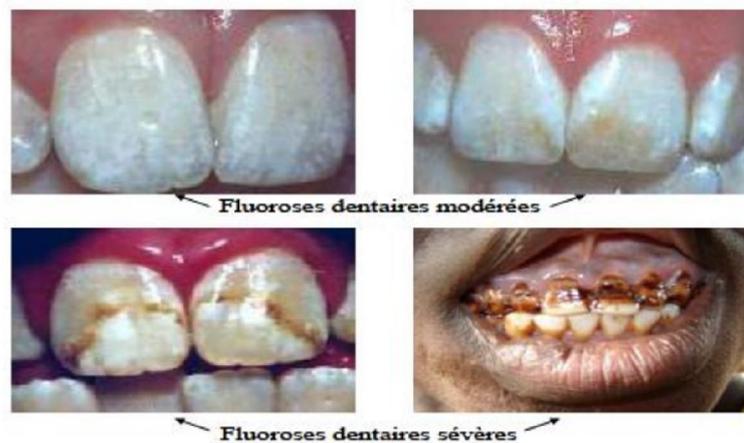


Figure 1 : cas de fluoroses dentaires

### 1.2.2 Fluorose osseuse

Elle résulte d'une intoxication massive (supérieure à 4 mg/L) et surtout prolongée (10 à 20 ans) en fluor. Elle se traduit par des changements au niveau de l'os : augmentation de la densité osseuse, calcification aux points d'insertion des muscles et exostoses osseuses. Cette fluorose se manifeste par des douleurs articulaires. Toutefois ce n'est qu'après 2 ans d'exposition au moins pour des concentrations hydriques supérieures à 3 mg/L que les symptômes apparaissent. A un stade plus avancé, l'augmentation de la masse et des déformations osseuses peuvent entraîner des dysfonctionnements articulaires et spinaux, une atrophie musculaire, des anomalies neurologiques de type compressif [3].

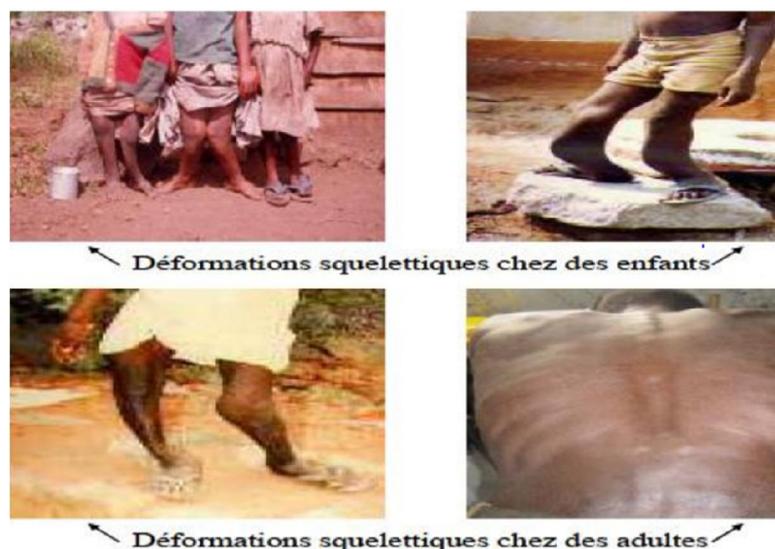


Figure 2 : cas de fluoroses osseuses

Il est à noter que la consommation d'une eau de boisson contenant un excès de fluor pose beaucoup de problèmes de santé aux populations. De ce fait, il est évident qu'il faut chercher à renforcer les outils et les procédures visant à améliorer et à protéger la qualité de l'eau de boisson au niveau des villes et des communautés concernées.

## 2. Généralités sur les procédés membranaires

La technologie membranaire est devenue une véritable technologie de séparation durant ces dernières décennies. La force principale de la technologie membranaire est le fait qu'elle est continue, fonctionne sans ajout de produits chimiques et avec une consommation d'énergie relativement faible. Les membranes sont de plus en plus utilisées pour des procédés de traitements d'eaux souterraines, de surface ou usées. Les technologies membranaires sont maintenant très compétitives par rapport aux techniques conventionnelles. Le procédé de séparation membranaire est basé sur la présence de membranes semi-perméables. Le principe est assez simple : la membrane agit comme une interface physique qui laisse passer l'eau, tandis qu'elle retient les solides en suspension, des ions et d'autres substances. Il y a plusieurs méthodes pour permettre aux substances de pénétrer la membrane. Il y a par exemple l'application de basses ou hautes pressions, le maintien d'un gradient de concentration des deux côtés de la membrane et l'introduction d'un potentiel électrique [iii].

### 2.1 Définition d'une membrane

La membrane est définie comme une barrière sélective séparant deux compartiments et permettant le passage préférentiel d'au moins une espèce parmi les autres sous l'action d'une force motrice, de transfert chimique (concentration) ou physique (pression) [4]. En général, les constituants qui sont plus petits que les pores de la membrane sont capables de passer à travers sous l'effet d'une pression appliquée tandis que les substances et les molécules de taille plus importante sont retenues. Deux fractions sont obtenues : le retentât, en amont de la membrane, qui contient les éléments retenus par la membrane, et le perméat, en aval, qui contient les éléments qui ont traversé la membrane. Les performances d'une membrane sont définies par sa sélectivité et sa perméabilité. Les membranes utilisées dans les procédés de séparation membranaire sont caractérisées par le diamètre des particules ou la masse molaire d'une molécule qui est retenue par la membrane [iii, 4]. Le procédé de séparation membranaire est illustré schématiquement (figure 3).

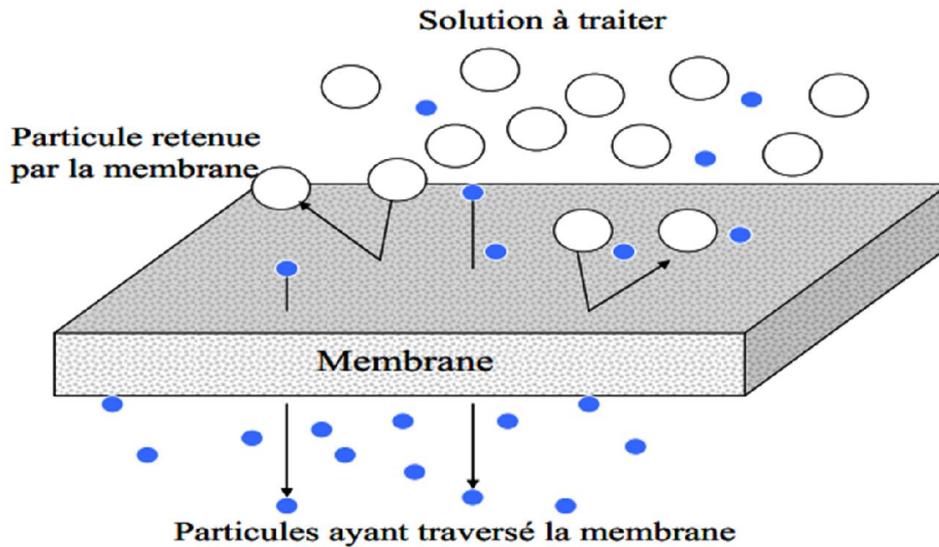


Figure 3 : schéma du principe de fonctionnement d'une membrane

## 2.2 Procédés de filtration

La filtration membranaire est un procédé de séparation qui est de plus en plus utilisée dans plusieurs domaines particulièrement dans la production d'eau potable. Elle est basée sur la différence de pression de part et d'autre de la membrane, qui est aussi appelée pression transmembranaire (PTM). Elle permet au fluide de traverser la membrane. La pression appliquée est croissante de la microfiltration à l'osmose inverse.

### 2.2.1 Procédés Baro-membranaires

Les systèmes membranaires sont largement utilisés pour traiter des eaux contaminées par des éléments chimiques en excès [2]. Les procédés membranaires les plus couramment utilisés dans la production d'eau sont : la microfiltration (MF), l'ultrafiltration (UF), la nanofiltration (NF) et l'osmose inverse (OI). Elles sont classées selon la taille des éléments qu'elles retiennent. La membrane est une structure poreuse avec des pores de l'ordre de 0,1 à 10 micromètres pour la microfiltration, 10 nanomètres à 1 micromètre pour l'ultrafiltration, quelques nanomètres pour la nanofiltration et une structure dense pour l'osmose inverse [iv]. La figure 4 montre les différents procédés utilisés pour le traitement d'eaux.

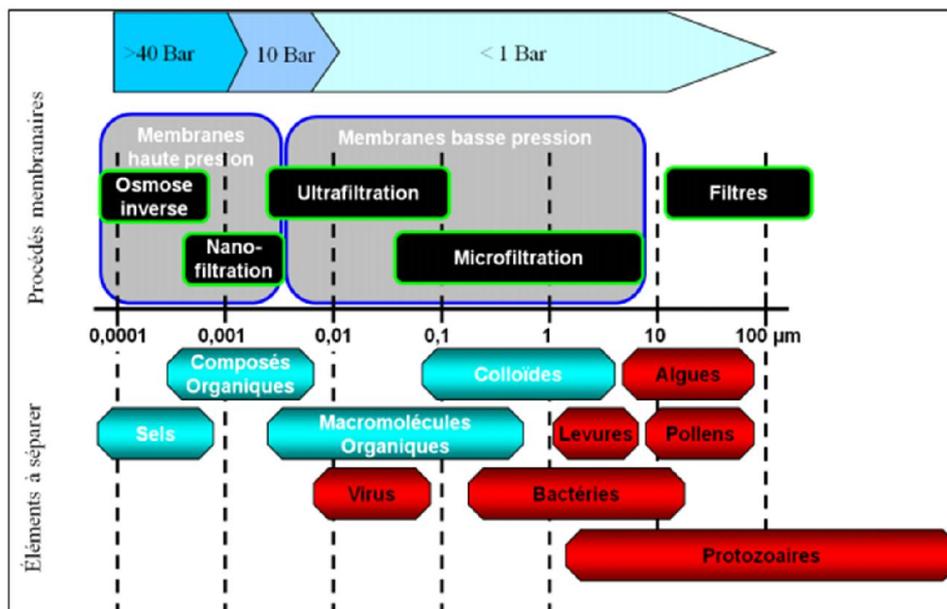


Figure 4 : classification des procédés de séparation baro-membranaires

Parmi ces techniques de séparation, l'osmose inverse à basse pression parfois appelée la nanofiltration serrée est entrain de s'affirmer de plus en plus comme étant l'une des procédés les plus efficaces, techniquement et économiquement, pour la production d'eau potable. Ainsi, les technologies membranaires à basse pression (nanofiltration ou osmose inverse) permettent de traiter aussi bien les eaux fluorées que les eaux saumâtres, avec des contraintes techniques et énergétiques réduites. C'est aujourd'hui une technologie mûre ; il a été prouvé qu'elle est sans conteste capable de résoudre efficacement le problème de qualité de l'eau auquel on est confronté. L'enjeu aujourd'hui est de l'adapter à la desserte d'eau potable en milieu rural. C'est dans cette démarche que TEREAU-SARL en partenariat avec Aclaira a réussi à mettre en place des unités de défluoration et de désalinisation. Pour vulgariser ces travaux de recherches, des unités de potabilisation ont été installées dans certaines localités du bassin arachidier.

## 2.2.2 Nanofiltration serrée ou osmose inverse à basse pression

### 2.2.2.1 Définition

L'osmose inverse (OI) à basse pression ou la nanofiltration serrée (NF) consiste à faire passer l'eau à travers des membranes adéquates retenant les sels minéraux, les solides dissous et les impuretés présentes dans cette eau en obtenant une eau filtrée de grande qualité avec une faible teneur en sels, en sulfates, en nitrates et en chlorures et une faible conductivité. Grâce à l'osmose inverse, nous obtenons une eau filtrée de grande qualité et un rejet de la concentration en sels. La nanofiltration, une séparation membranaire plus récente, occupe un domaine de séparation

intermédiaire entre l'UF et l'OI (figure 4) et fonctionnant sous l'action d'un gradient de pression.

### 2.2.2.2 Principe de fonctionnement

Les nanofiltres sont mis en œuvre selon le principe de la filtration tangentielle avec un transfert de matière à travers la membrane dû à un gradient de pression pouvant varier entre 10 et 40 bar. La nanofiltration permet d'avoir une sélectivité importante entre les différents solutés d'une solution à séparer. Comparées aux membranes de l'OI, les membranes de NF possèdent une structure moins dense ayant l'avantage de laisser passer une partie de sels minéraux. Cela permet d'obtenir des flux de perméation plus importants pour des pressions moins élevées évitant ainsi la déminéralisation totale de l'eau. Comparées aux membranes d'UF, les membranes de NF ont une structure de pores plus serrée et peuvent, de ce fait, rejeter les petites molécules organiques d'une masse molaire supérieure à 150 g/mol.

La NF qui est intermédiaire entre l'UF et l'OI a une sélectivité à la fois d'origine physique par le coefficient de transfert ou influent les paramètres physiques (pression, débits, taux de conversion...) et d'origine chimique par le coefficient de partage ou influent les paramètres chimiques (concentrations, potentiel chimiques,...) [5].

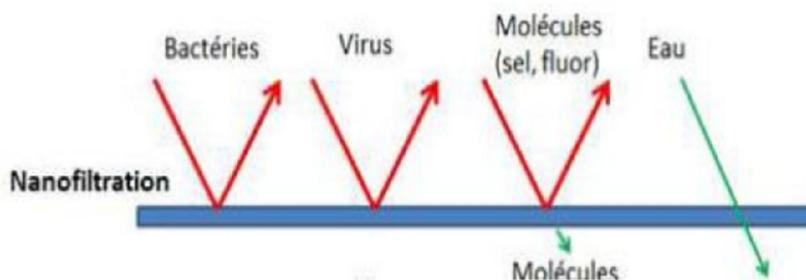


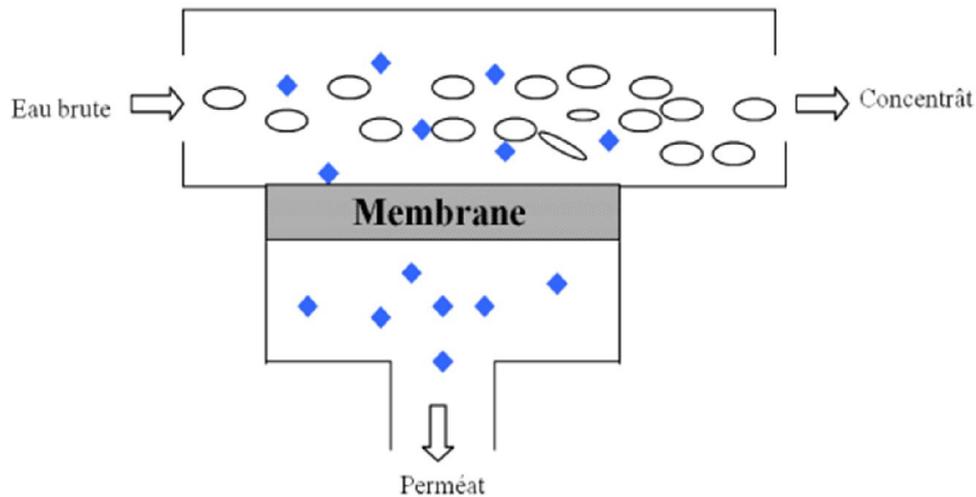
Figure 5 : principe de nanofiltration

### 2.2.3 Types de Filtration

Dans les procédés membranaires, il existe deux modes de filtration : une filtration frontale et une filtration tangentielle. Ainsi, la filtration en mode tangentiel est celle utilisée pour les unités, permettant de réduire au maximum l'accumulation des matières à la surface des membranes.

Dans ce cas de filtration, le fluide à traiter entre dans le module et circule parallèlement à la surface de la membrane. Il y a nécessairement dans ce mode une entrée pour l'alimentation et deux sorties que sont le perméat et le concentrât ou retentât.

Le perméat correspond à la partie du flux qui traverse la membrane et le concentrât représente la partie du flux rejetée comme le montre la figure 6.



**Figure 6 :** schéma du principe de la filtration tangentielle

Le fonctionnement du système de filtration s'effectue en continu : l'accumulation des matières à la surface de la membrane est moins importante qu'en filtration frontale. La plupart des procédés de filtration utilisés dans l'industrie mettent en œuvre le mode de filtration tangentielle. Toutefois, elle est plus coûteuse en énergie, mais présente l'avantage de limiter la formation de dépôts sur la membrane grâce au mouvement tangentiel du fluide et ralentit ainsi le phénomène de colmatage. C'est pourquoi la filtration tangentielle est très répandue dans les applications industrielles.

#### 2.2.4 Colmatages et Nettoyage des membranes

Le colmatage des membranes est un phénomène rencontré au cours de la filtration membranaire, il est dû à l'accumulation de matières à la surface de la membrane. Quand un système membranaire est opéré à pression transmembranaire constante, la conséquence la plus problématique du colmatage est une diminution, parfois extrêmement accentuée, du flux de perméat dans le temps [6]. D'autres conséquences liées au colmatage sont une diminution de la durée de vie des membranes, des lavages plus fréquents, et donc des consommations de produits chimiques plus importantes et des dépenses supplémentaires d'énergie pour compenser la baisse de perméabilité de membranes causée par le colmatage [v, 7-12].

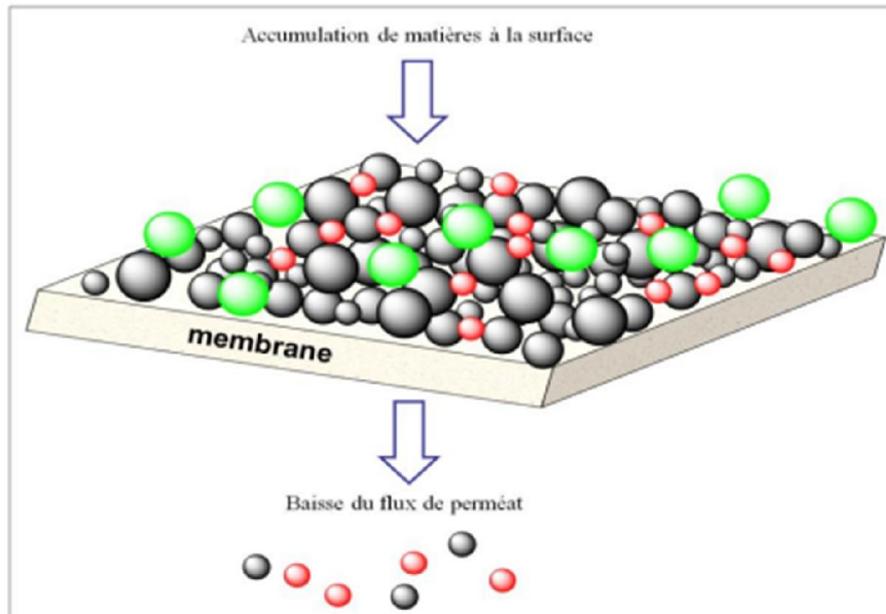


Figure 7 : schéma illustratif du colmatage

#### 2.2.4.1 Types de colmatage

Un certain nombre de facteurs contribuent au colmatage des membranes et ces facteurs sont fortement liés les uns aux autres. Ainsi, les types de colmatage que l'on peut rencontrer sont : le colmatage organique, le colmatage inorganique, la formation de dépôts de particules colloïdales et la formation de films biologiques [13].

- Le colmatage organique est dû à l'accumulation des matières organiques dissoutes (MOD) ou naturelles (MON) qui sont retenues à la surface de la membrane. La description des colmatages des membranes de NF par les matières organiques naturelles nécessite une relation entre les interactions physiques et chimiques. L'accumulation de matières peut se faire à la surface de la membrane, les particules peuvent bloquer les pores, et dans le cas d'une membrane ayant des pores suffisamment grands, il peut y avoir une adsorption ou dépôt de substances colmatantes dans la paroi interne des pores [6, 7, 8, 10, 11].
- Le colmatage inorganique, dû à la formation d'une légère couche de sels inorganiques solubles, a lieu quand la concentration ionique du sel dans la solution dépasse la limite de solubilité. Les éléments courants qui précipitent sur les membranes sont le  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{BaSO}_4$ ,  $\text{SiO}_2$ ...etc. [12] La formation des dépôts s'effectue par des mécanismes de cristallisation homogènes et hétérogènes [6].

- Selon la taille relative des particules colloïdales et les pores de la membrane, le colmatage des colloïdes peut se produire soit par l'accumulation des particules à la surface de la membrane et formation de "gâteau" ; soit par pénétration et blocage des pores de la membrane [12, 14, 15].
- La formation de films biologiques est un processus dynamique qui conduit au développement et à la formation d'un film qui s'attache à la surface de la membrane. La formation de film biologique peut réduire considérablement le flux d'eau et même empêcher totalement son passage à travers la membrane quand la surface et l'épaisseur concernées sont grandes [6, 12].

Le colmatage équivaut à une résistance supplémentaire à l'écoulement à travers la membrane en agissant, par exemple, comme une deuxième membrane dynamique qui se superpose à la membrane originale. Des phénomènes physiques, chimiques, biologiques peuvent se produire à l'interface membrane-soluté et conduire à l'obstruction des pores. Un très grand nombre d'espèces peuvent contribuer au colmatage, comme des macromolécules organiques, des particules en suspension et des microorganismes. La partie du colmatage qui peut être enlevée par lavage est appelée colmatage réversible. Le colmatage qui correspond à la perte d'une partie de la perméabilité est généralement appelé colmatage irréversible [v].

Les types de colmatage généralement rencontrés dans le domaine membranaire ainsi que les mécanismes conduisant au colmatage sont résumés dans le tableau 1 ci-après.

**Tableau 1** : types et mécanismes de colmatage dans le domaine membranaire [5].

<i>Types de colmatage</i>	<i>Mécanismes généralement rencontrées</i>
<i>Organiques</i>	<i>Adsorption</i>
<i>Inorganiques</i>	<i>Blocage des pores</i>
<i>Formation de particules colloïdales</i>	<i>Formation de gel</i>
<i>Formation de biofilms</i>	<i>Formation de "gâteau"</i>

#### 2.2.4.2 Solutions de nettoyage

Les nettoyages chimiques sont largement utilisés dans les procédés membranaires pour restaurer la perméabilité des membranes colmatées. Le nettoyage chimique, effectué pour éliminer les dépôts formés à la surface de la membrane, est presque toujours nécessaire pour retrouver les performances initiales de la membrane. Le choix des solutions de nettoyage dépend de la nature des dépôts à l'origine du colmatage d'une part et de la nature des

membranes d'autre part. Par exemple, le lavage acide est convenable pour éliminer les sels précipités tel que  $\text{CaSO}_4$  tandis que le nettoyage alcalin est préconisé pour enlever les composés adsorbés [16].

L'objectif est de dissoudre les dépôts sans détériorer les membranes, ce qui fait que chaque fournisseur de membranes préconise pour chaque cas une solution de nettoyage en fonction de la nature de sa membrane et la nature du dépôt [vi, 13, 17, 18]. Quelques solutions de nettoyage généralement utilisées selon le mode de dépôt sont données dans le tableau 2 ci-dessous.

**Tableau 2 :** solutions de nettoyage utilisées selon le type de dépôt [5].

<i>Solutions de nettoyage</i>	<i>Types de dépôts</i>
<i>Acides (acide citrique, acide chlorhydrique)</i>	<i>Carbonatés, Hydroxydes</i>
<i>Basiques (soude caustique)</i>	<i>Organiques</i>
<i>Détergents (avec ou sans enzymes)</i>	<i>Organiques, Protéines</i>
<i>Oxydantes (chlore)</i>	<i>Biologiques</i>

#### 2.2.4.3 Evaluation de l'efficacité d'un nettoyage

Il existe plusieurs moyens pour déterminer l'efficacité d'un processus de nettoyage donné. La mesure du flux est un moyen direct d'évaluation de l'efficacité d'un nettoyage [6, 16, 19]. Ainsi, pour évaluer l'efficacité d'un processus de nettoyage, il est important de comparer le flux mesuré après le nettoyage et celui mesuré sur la membrane vierge [18, 19, 20].

La détermination du taux de rejet de la membrane peut être utilisée pour évaluer l'efficacité d'un processus de nettoyage [1].

#### 2.2.4.4 Fréquences de nettoyage

Les intervalles ou fréquences de nettoyage dépendent de l'état de colmatage de la surface membranaire qui est indiqué par une baisse de perméabilité ou une augmentation de la pression d'entrée du module [16]. Généralement, le nettoyage chimique d'un module est opéré lorsque le débit du perméat baisse de 10 à 30% par rapport à sa valeur initiale [13, 17]. Uchymiak et coll. [21] préconisent que le nettoyage des membranes peut être effectué lorsque le colmatage ou la formation de précipités à la surface de la membrane entraîne une baisse de perméabilité de 5 à 10% par rapport à celle initiale [16, 22].

Nous aborderons dans la partie suivante les matériels et les méthodes qui nous ont permis de suivre la performance des unités de traitement d'eaux installées dans certaines localités du bassin arachidier.

## CHAPITRE II : PRESENTATION DES SITES D'ETUDE ET DES KIOSQUES

### 1. Présentation des sites d'étude

Claireau-SARL est une société qui propose des solutions techniques de potabilisation des eaux de consommation via des procédés d'osmose inverse à basse pression, d'ultrafiltration et de microfiltration.

Le projet de filtration mené dans le bassin arachidier (Kaolack, Fatick et Diourbel) est un projet de Claireau-SARL qui est né d'un partenariat entre l'entreprise TEREAU-SARL (Technologie Etudes Réalisation en Eau) basée au Sénégal et l'entreprise Aclaira basée en France. Après cinq années de développement de la solution membranaire adaptée aux conditions locales (expérience de nanofiltration au laboratoire, conception et construction d'un pilote, nombreux tests sur des sites), trois unités membranaires ont été installées : deux à Ndiafatte (Kaolack) et une à Dankhsene (Diourbel) en 2012 [vi]. Il a été suivi de l'installation de neuf unités en 2014 dans le cadre du projet PEPAM AQUA de la coopération technique belge. Sur la période Mai 2016 à Septembre 2017 neuf nouvelles unités ont été installées dans le bassin arachidier pour le compte de l'entreprise Claireau :

- Six (6) unités dans la région de Kaolack, réparties ainsi dans les localités de Kabatoki, Ndong, Koutal, Kahone, Latmingué et Thioffior
- Une unité à Mbacké
- Une unité à Diourbel
- Une unité à Diakhao

Ces unités approvisionnent en eau potable sûre, saine et défluorée environ 30000 personnes dans des villages reculés et dans les quartiers de ces villes [vi].

En tout, vingt et une unités (figure 8) distribuant une eau dessalée et défluorée ont été installées par Aclaira et TEREAU au Sénégal.

**21 unités distribuant une eau pure, saine, dessalée et défluorée au Sénégal**

- 1: Keur Mariama
- 2: Keur Diarra Matié
- 3: Ndiaffate
- 4: Patar
- 5: Taiba Moutoufa
- 6: Diaoulé
- 7: Sibassor
- 8: Ndiago
- 9: Somb, Gossas
- 10: Ndindy
- 11: Dialla, Diourbel
- 12: Dankh Sene, Diourbel
- 13: Thioffior
- 14: Koutal
- 15: Diourbel
- 16: Kabatoki
- 17: Ndong
- 18: Diakhao
- 19: Mbacké
- 20: Touba
- 21: Coki



Figure 8 : cartographie des vingt et une unités DT implantées au Sénégal

Durant notre stage, nous avons travaillé uniquement sur les unités implantées dans les villes de Kaolack (Kabatoki, Ndong, Koutal, Kahone), de Diourbel, de Diakhao et de Mbacké.

## 2. Présentation des Kiosques de distribution d'eau

Les kiosques sont au cœur du dispositif de business social de Claireau. Ce service fait appel principalement aux ressources locales pour assurer l'approvisionnement en eau potable des populations. Chaque kiosque abrite une ou des unités de potabilisation d'eau de forage adaptée au lieu pour toujours fournir la meilleure qualité d'eau possible et de deux réservoirs (celui de l'alimentation et celui du perméat). Les kiosques sont implantés sur des terrains sélectionnés en contactant les municipalités. Le choix du kiosque (figure 9) est stratégique, situé dans une région où l'eau de qualité manque, il doit être proche d'un lieu d'affluence comme un marché ou au cœur d'un quartier très habité. L'intérêt de projets comportant plusieurs kiosques est de minimiser les coûts en construisant en « multi-service », décentralisant davantage et donc multipliant les points d'accès à l'eau. Claireau met à profit l'expérience accumulée sur les kiosques existants pour améliorer le service proposé aux populations : consigne, nettoyage et remplissage semi-automatique des bidons, maintenance conditionnelle grâce au contrôle à distance. Au final le kiosque devient un lieu de vie et de développement économique puisqu'il est géré par des personnels locaux formés [vi].



*Figure 9 : kiosque de distribution d'eau de Mbacké*

## **2.1 Dispositif et fonctionnement de l'unité**

Les unités Aclaira-P (Pures) installées dans le bassin arachidier sont spécialement conçues pour répondre aux besoins en eau potable des petites communautés pour lesquelles la qualité de l'eau de boisson ne répond pas aux recommandations actuelles de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Elles purifient les eaux de forage en enlevant les contaminants tels que le fluor et l'arsenic et peuvent aussi servir à réduire la teneur en sels, la dureté et la coloration de l'eau. La machine de dessalement et de défluoration de l'eau est fiable, robuste et facile d'usage [i].

Le système à membrane est constitué d'une entrée et de deux sorties. L'entrée correspond à l'eau brute provenant de la source d'alimentation (eau de forage ou eau de la SDE). La première sortie assure le passage du perméat (eau filtrée) et la deuxième sortie assure le passage du concentrât (eau retenue).

Le dispositif est constitué d'un module comportant 219 coussins de membranes insérées dans 220 disques qui assurent la résistance dynamique du système (figure 10).



**Figure 10 :** *membrane et disques*

Le module d'Aclaira a l'avantage d'un fonctionnement manuel, simple et stable. Les membranes sont résistantes à l'encrassement permettant un entretien simple et aisé. Et aucun prétraitement n'est nécessaire pour les eaux de forage.

Le système fonctionne quotidiennement à l'aide de courant électrique ou d'énergie solaire pour une durée de 12 heures par jour. Il a une capacité de production de 500 litres par heure de perméat [2]. Le réglage est généralement fait durant le démarrage. On allume l'appareil puis grâce à la vanne du concentrât, qui agit comme vanne de réglage, on fixe la valeur de la pression d'alimentation qui peut aller jusqu'à 12 bars (figure 11) [2].



**Figure 11 : appareil de filtration**

L'appareil est constitué de plusieurs composants :

- Le module Disc Tube : les membranes sont incorporées dans un dispositif appelé module. L'eau d'alimentation sous pression circule à l'intérieur du tube à travers les coussins à membrane. Le perméat est dirigé par les disques hydrauliques situés entre les coussins à membrane et est collecté à l'intérieur, passant par la vanne du perméat et laissant les impuretés de l'eau qui ne peuvent pas traverser la membrane. Le concentrât est rejeté vers l'extérieur grâce à la circulation continue de l'eau [2].



**Figure 12 : module DT**

- Les manomètres : ils servent à mesurer la pression d'alimentation ou pression du module, la pression du concentrât, et les pressions avant et après le passage du flux à travers le filtre à sable.
- Les compteurs : l'unité comporte trois (3) compteurs (figure 11).
  - Un compteur d'alimentation permettant de mesurer le débit d'alimentation.
  - Un compteur perméat permettant de mesurer le débit de perméat.
  - Un compteur concentrât qui permet de mesurer le débit de concentrât.
- Le filtre à sable : il est considéré comme un préfiltre qui assure la préfiltration de l'eau brute afin d'enlever les matières en suspension (MES). Il sert de protection pour les membranes et pour la pompe. Il est changé lorsqu'il se colmate.
- La pompe à pression : elle permet d'alimenter la module DT à une pression pouvant atteindre jusqu'à 16 bars.
- Le système de nettoyage : il est conçu d'une manière simple et facile à transporter d'unité en unité. Il est constitué d'un pied métallique sur lequel on pose le réservoir de nettoyage. Le réservoir comporte deux orifices situés en bas, qui serviront de passage d'alimentation et d'évacuation de la solution de nettoyage. Le réservoir est lié à l'unité par trois tuyaux flexibles, celui du perméat, du concentrât et de l'alimentation.



Figure 13 : dispositif de nettoyage

## 2.2 Techniciens des kiosques

Des fontainiers, souvent des femmes, sont en charge de l'exploitation des kiosques tous les jours. Une équipe de techniciens visite les kiosques régulièrement pour effectuer la maintenance préventive des unités de traitement, principalement le nettoyage périodique des membranes. La finalité du kiosque est donc à la fois de traiter l'eau (par exemple l'élimination du fluor) et de la vendre au prix le plus bas possible aux populations avoisinantes [vi].

## 3. Problèmes spécifiques des unités et solutions

L'encrassement des membranes est en effet un problème pour le bon fonctionnement des unités. Le colmatage des membranes entraîne une baisse de production d'eau potable, une utilisation d'énergie plus élevée, une fréquence de nettoyage plus importante.

En plus de l'encrassement des membranes qui est une entrave pour la bonne production de l'unité, le passage du chlore dans les membranes est un problème plus inquiétant. L'unité de Koutal est la seule qui utilise l'eau du forage de l'ASUFOR comme eau brute (eau sans chlore actif). Ce qui permet aux membranes d'avoir une longue durée de vie. L'importance de l'absence de chlore dans l'eau brute est confirmée par le fait que les membranes n'ont jamais été changées à Koutal. Et la conductivité varie de 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  à 140  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Cependant, les

unités installées à Ndong, Kabatoki, Diourbel, Diakhao, Mbacké, et Kahone utilisent l'eau des branchements de la SDE comme eau brute. L'hypochlorite de sodium (eau de javel) de formule  $\text{NaClO}$  utilisé par la SDE est une solution liquide oxydante fréquemment utilisée comme désinfectant et comme décolorant. Une fois dans l'eau, le dichlore ( $\text{Cl}_2$ ) et l'ion chlorure ( $\text{Cl}^-$ ) forment un couple oxydo-réducteur qui possède un potentiel Rédox élevé ( $E = 1,39 \text{ V}$ ). Le chlore actif ( $\text{Cl}_2$ ) est un oxydant qui endommage les membranes du système d'osmose inverse. C'est pour cela que dans le cas où nous optons pour traiter l'eau provenant de la SDE, il est nécessaire de neutraliser le chlore actif par le bisulfite de sodium ( $\text{NaHSO}_3$ ). Dans ce cas, un système de mesure du Rédox est installé pour indiquer la valeur de consigne. Cette valeur doit être strictement inférieure à 200 mV pour qu'enfin l'eau puisse passer dans les membranes. Tant que la valeur du Rédox est supérieure à 200 mV, l'unité reste éteinte. Dans des cas exceptionnels, une grande quantité de chlore actif peut traverser les membranes, due à une mauvaise gestion du suivi de la neutralisation du chlore, endommageant ainsi les membranes. Ceci a pour conséquence le vieillissement rapide des membranes, changement fréquent de membranes et une augmentation importante de la conductivité.

En guise d'exemple on peut citer l'unité de Diakhao dont la conductivité maximale est de 830  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (04/09/2018), celle de Kabatoki est 520  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (14/11/2018) et celle de Ndong est de 470  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (16/08/2018).

La présence du chlore dans l'eau d'approvisionnement des unités reste un grand problème pour la durée de vie des membranes.

## 4. Paramètres de fonctionnement

Différents paramètres permettent de caractériser le bon fonctionnement d'un procédé membranaire.

### 4.1 Pression transmembranaire

La pression transmembranaire (PTM ou  $\Delta P$ ) est la force agissante de l'opération définie par la moyenne des pressions d'entrée ( $P_E$ ) et de sortie ( $P_S$ ) à laquelle on soustrait la pression du compartiment perméat ( $P_p$ ).

$$\Delta P = \frac{P_{\text{entrée}} - P_{\text{sortie}}}{2} - P_{\text{perméat}}$$

#### 4.2 Flux de perméation ( $J_p$ )

C'est la productivité du procédé défini par le rapport entre le débit de perméation ( $Q_p$ ) et la surface membranaire. Il représente aussi la vitesse du fluide perpendiculaire à la surface de la membrane [iv].

$$J_p = \frac{Q_p}{S}$$

$J_p$  : flux de perméation ou flux à travers la membrane ( $m^3/h.m^2$ )

$Q_p$  : débit de perméat

$S$  : surface membranaire

#### 4.3 Taux de rejet (ou taux de rétention)

La sélectivité d'une membrane est en général définie par le taux de rejet ou taux de rétention ( $T_R$  ou  $R$ ) d'une espèce. Un taux de rejet de 1 signifie que le soluté est parfaitement retenu par la membrane (la concentration dans le perméat  $C_p=0$ ) alors qu'un taux de rejet de 0 correspond à un soluté non retenu, concentration identique dans le perméat  $C_p$  et dans la solution à traiter  $C_0$  ( $C_p=C_0$ ) [iv]. Le taux de rejet est donné par la relation suivante :

$$T_R(\%) = \left(1 - \frac{C_p}{C_0}\right) * 100$$

$C_0$  : Concentration de l'espèce dans la solution à traiter (mg/L)

$C_p$  : Concentration de l'espèce dans le perméat (mg/L)

#### 4.4 Taux de conversion

Le taux de conversion ( $Y$ ) est défini par la fraction du débit de liquide qui traverse la membrane et donné par la relation suivante [iv] :

$$Y(\%) = \frac{Q_p}{Q_0} * 100$$

$Q_p$  : Débit de perméat ( $m^3/h$ )

$Q_0$  : Débit d'alimentation ( $m^3/h$ )

## 5. Appareillages et produits chimiques

### 5.1 Appareil de mesure de la conductivité

La mesure de la conductivité permet d'apprécier rapidement mais très approximativement la minéralisation de l'eau et de suivre son évolution. Les appareils qui nous ont permis de mesurer la conductivité de nos échantillons sont ceux du type HI98312 et GMH 3430. La conductivité est mesurée en plongeant l'électrode dans un récipient contenant l'eau du perméat.



Figure 14 : conductimètres

### 5.2 Appareil de mesure du potentiel Rédox

Le Rédox-mètre est utilisé pour mesurer le potentiel Rédox du chlore pour les unités utilisant l'eau de la SDE comme eau brute. Le potentiel Rédox est mesuré en plongeant l'électrode dans un récipient de 500 mL contenant l'eau brute. Dans le cas de certaines unités, la valeur du Rédox est lue automatiquement grâce au système de mesure installé au niveau de la source d'alimentation. L'appareil de mesure est du type HI 98120.



Figure 15 : rédox-mètre

### 5.3 Produits Chimiques

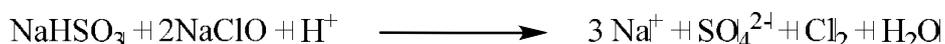
#### 5.3.1 Produits utilisés pour le nettoyage chimique

Pour le nettoyage chimique des membranes, on utilise de l'acide citrique ou de la soude. Mais l'acide citrique ( $C_6H_8O_7$ ) a été le produit utilisé lors des nettoyages auxquels j'ai assisté. Pour obtenir la solution d'acide citrique (15%), on dissout 300 g de produit solide dans 2 L d'eau du perméat. Puis on remue pour le dissoudre. Le mélange est ensuite versé dans le réservoir de nettoyage. Au bout d'une minute de recirculation, nous avons remarqué que le mélange prend une couleur verdâtre.

#### 5.3.2 Produit utilisé pour la neutralisation du Chlore

Pour la neutralisation du chlore dans l'eau d'approvisionnement du module, on utilise le bisulfite de sodium ( $NaHSO_3$ ). Une solution de bisulfite de sodium (30%) est préparée en dissolvant 1500 g dans 5 L d'eau filtrée. On attend que la solution soit complètement homogène pour la mettre dans le bassin d'alimentation. Ainsi, on utilise une seringue pour prélever 60 mL de la solution et les verser dans un bassin de 1000 litres contenant de l'eau brute.

Equation de la réaction :



#### 5.3.3 Procédures de nettoyage des membranes

Avant d'arrêter le système en marche, on remplit le réservoir de nettoyage avec de l'eau du perméat. Pendant ce temps nous préparons la solution d'acide citrique avec l'eau du perméat. Ensuite, le système est arrêté ; les vannes qui servent de nettoyage chimique des membranes sont ouvertes et les autres sont fermées. Le nettoyage se fait en cycle fermé. Le réservoir de nettoyage est la source d'alimentation et de même le concentré et le perméat sont retournés au réservoir de nettoyage.

Le processus de nettoyage est arrêté au bout de 1 h et ensuite la solution est envoyée dans la fosse septique. Ensuite, le module est rincé en ouvrant le robinet d'alimentation pendant une durée de 5 à 10 min puis on fait le relevé des paramètres tels que les pressions, les débits, pour ensuite vérifier l'efficacité du nettoyage. On vérifie aussi la qualité de l'eau du perméat en mesurant la conductivité. Cependant, il peut être nécessaire de répéter le même type de nettoyage si le premier est insuffisant.

Les résultats de la conductivité et les relevés des paramètres comme les pressions, les débits d'alimentation, de perméat et de concentrât nous ont permis de faire la représentation graphique des courbes d'évolution du taux de conversion, de la conductivité et de la pression d'alimentation. La partie suivante du manuscrit aborde les résultats obtenus ainsi que les discussions correspondantes.

## CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

La surveillance et la gestion du colmatage des membranes sont essentielles afin de réduire les risques de dysfonctionnement et les conséquences financières induites. C'est pourquoi un suivi régulier des paramètres tels que la conductivité, le débit de perméat, le taux de conversion et la pression d'alimentation est effectué de façon systématique.

### 1. Evolution des paramètres de fonctionnement

#### 1.1 Evolution de la conductivité en fonction du temps

##### 1.1.1 Variation de la conductivité de l'unité de Kabatoki de 2017 à 2019

L'évolution de la conductivité du perméat de l'unité de Kabatoki en fonction du temps de 2017 à 2019 est représentée sur la figure 16. On peut remarquer que la conductivité reste pratiquement constante de mars 2017 à mars 2018 autour de 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Elle augmente ainsi progressivement jusqu'au 21/11/2018 atteignant une valeur de 510  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Une diminution brutale est observée au 22/01/2019 correspondant à une valeur de 150  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Cette valeur demeure stable jusqu'au 26/03/2019.

L'augmentation de la conductivité à une valeur de 510  $\mu\text{S}/\text{cm}$  est due au fait que le chlore actif n'était pas totalement neutralisé dans l'eau brute ; or la consommation du chlore par les membranes entraîne une détérioration de la couche active de la membrane. La diminution brutale de la conductivité à 150  $\mu\text{S}/\text{cm}$  est due au changement des membranes.

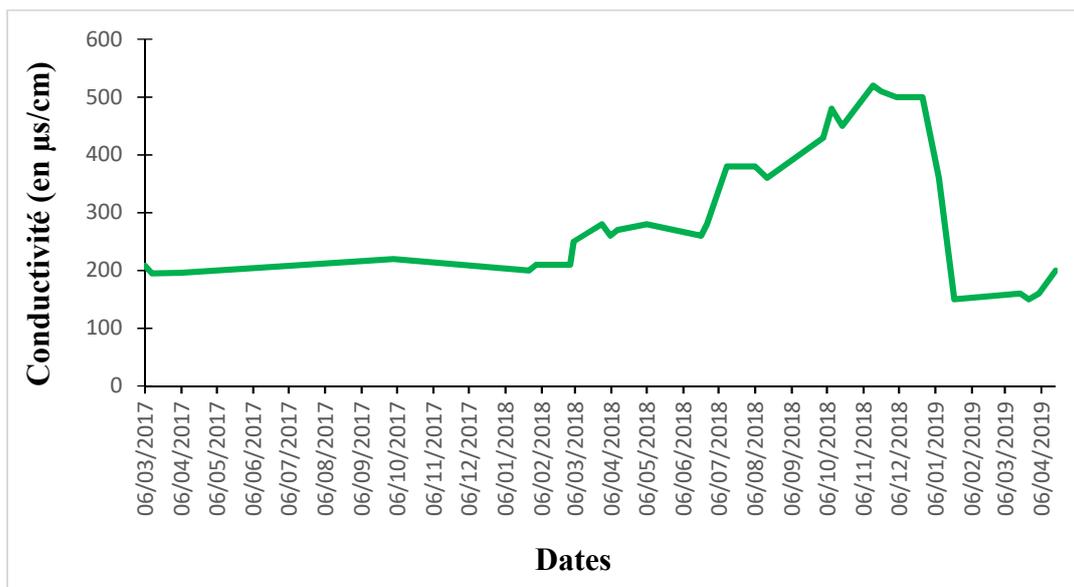


Figure 16 : variation de la conductivité du perméat de l'unité de Kabatoki en fonction du temps

### 1.1.2 Variation de la conductivité de l'unité de Koutal de 2017 à 2019

La figure 17 représente la variation de la conductivité du perméat de l'unité de Koutal en fonction du temps durant la période 2017-2019. La valeur de la conductivité est généralement stable et varie légèrement entre 100 et 140  $\mu\text{S}/\text{cm}$  car l'eau brute utilisée pour la filtration est l'eau du forage de l'ASUFOR. Cette eau est exempte de tout chlore actif capable de détruire les membranes. Néanmoins, il y'a le phénomène de colmatage qui est responsable de cette légère variation de la conductivité. Lorsque les membranes se colmatent, on remarque en premier lieu une baisse du débit de perméat et une diminution du taux de conversion. Ceci entraîne une augmentation de la conductivité puis une augmentation de la pression d'alimentation. Ce qui explique les valeurs de 120  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et 140  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Par ailleurs, la baisse de la valeur de la conductivité à 90  $\mu\text{S}/\text{cm}$  est obtenue suite à un nettoyage chimique.

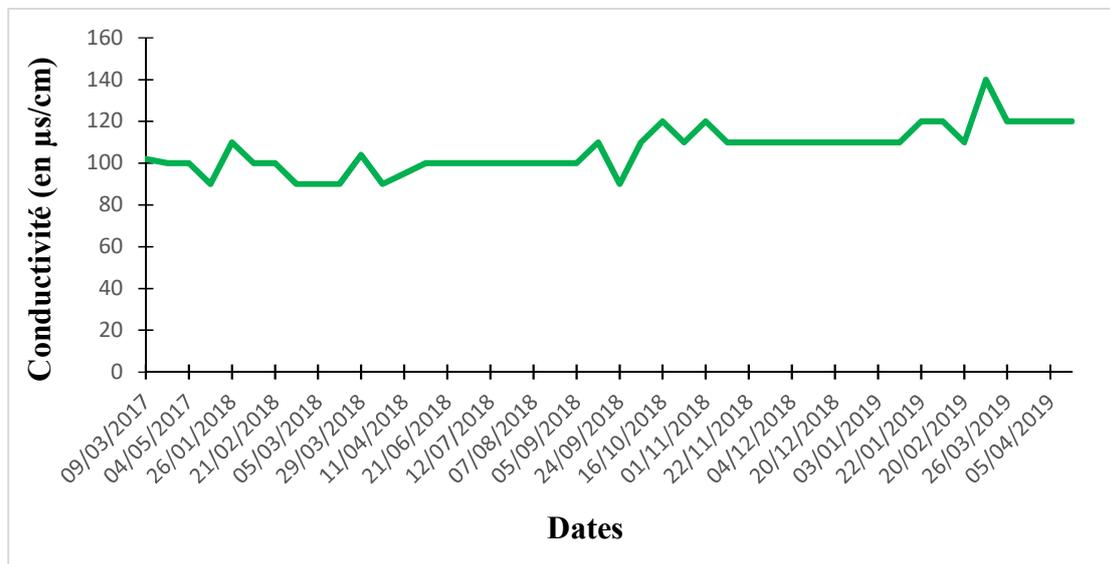


Figure 17 : variation de la conductivité du perméat de l'unité de Koutal en fonction du tem

### 1.1.3 Variation de la conductivité de l'unité de Ndorong de 2017 à 2019

L'évolution de la conductivité du perméat de l'unité de Ndorong est montrée sur la figure 18. Elle varie généralement entre 80 et 470  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . On remarque une augmentation progressive de la conductivité après un an de fonctionnement, passant de 80 à 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$  du 27/02/2018 au 06/06/2018. Une baisse moyenne de la conductivité est notée le 07/06/2018 correspondant à une valeur de 320  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . La conductivité augmente par la suite atteignant ainsi la valeur de 470  $\mu\text{S}/\text{cm}$  avant de diminuer considérablement jusqu'à 230  $\mu\text{S}/\text{cm}$  le 25/09/2018.

L'augmentation de la conductivité à 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$  est due au passage temporel du chlore actif dans les membranes. La baisse de la conductivité à 320  $\mu\text{S}/\text{cm}$  résulte d'un nettoyage chimique. L'augmentation significative de la conductivité à la valeur de 470  $\mu\text{S}/\text{cm}$  est due en grande partie au passage du chlore actif dans les membranes. Lorsque le chlore actif passe à travers les membranes, celui-ci conduit à la destruction de la couche active de la membrane occasionnant ainsi une augmentation du débit de perméat et le passage de plus d'ions à travers la membrane, par conséquent celle de la conductivité. La baisse importante de la valeur de la conductivité à 230  $\mu\text{S}/\text{cm}$  résulte d'un changement de membranes endommagées par le chlore actif.

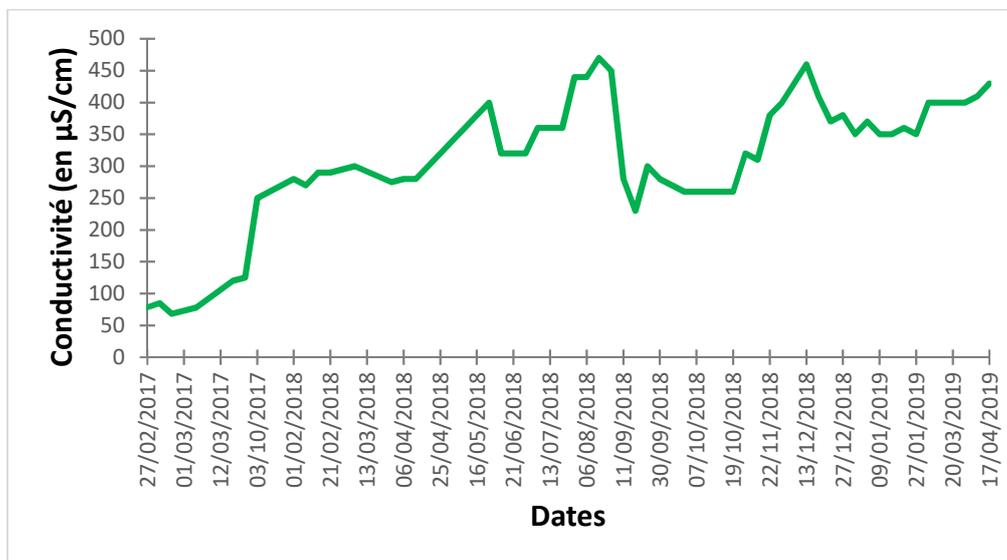


Figure 18 : variation de la conductivité du perméat de l'unité de Ndorong en fonction du temps

#### 1.1.4 Variation de la conductivité de l'unité de Diourbel de 2017 à 2019

L'évolution de la conductivité du perméat de l'unité de Diourbel en fonction du temps durant la période 2017-2019 est indiquée sur la figure 19. La conductivité diminue et reste relativement stable durant la période du 06/04/2017 au 26/01/2018 autour de 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Elle diminue progressivement jusqu'à atteindre une valeur de 110  $\mu\text{S}/\text{cm}$  le 07/03/2018. Une augmentation significative est observée le 12/04/2018 correspondant à une valeur de 210  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Ainsi, elle diminue brutalement le 05/05/2018 et reste pratiquement stable aux alentours de 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

La diminution et la stabilité de la conductivité durant la période du 06/04/2017 au 26/01/2018 à 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$  sont dues au changement de membranes effectué le 06/03/2017 et une bonne neutralisation du chlore actif présent dans l'eau d'alimentation. La baisse progressive de la conductivité jusqu'à 110  $\mu\text{S}/\text{cm}$  est obtenue suite à un nettoyage chimique avec de l'acide citrique. La valeur de 210  $\mu\text{S}/\text{cm}$  se justifie par le fait que le chlore actif n'est pas totalement neutralisé dans l'eau d'alimentation et qu'il traverse momentanément les membranes, favorisant ainsi la destruction de la couche active. La baisse brutale et la stabilité de la conductivité à une valeur de 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  environ est observée suite au changement des membranes.

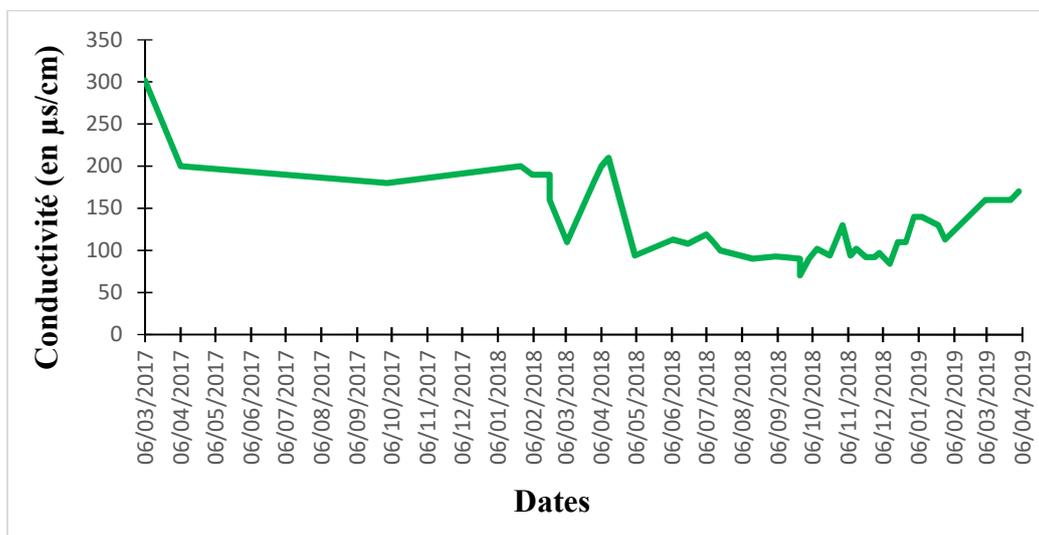
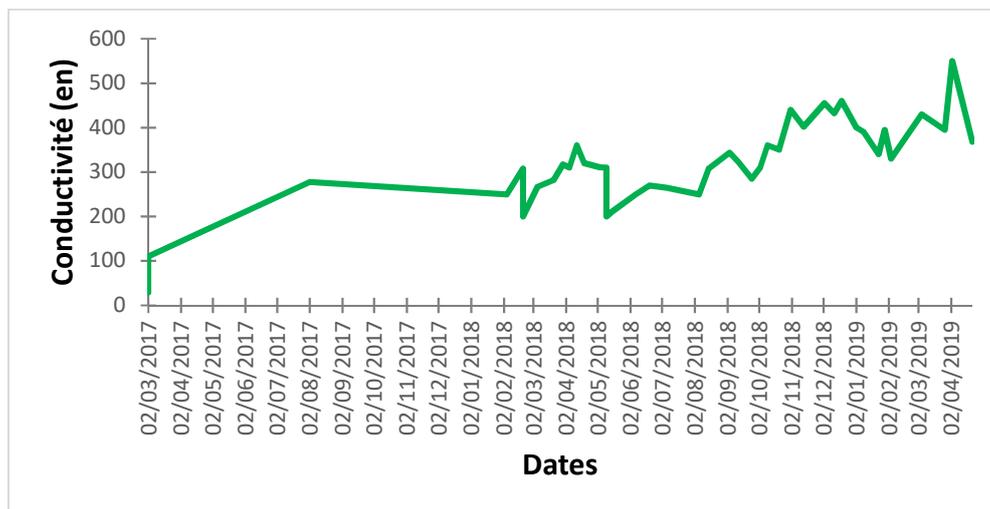


Figure 19 : variation de la conductivité du perméat de l'unité de Diourbel en fonction du temps

### 1.1.5 Variation de la conductivité de l'unité de Mbacké de 2017 à 2019

La figure 20 nous montre l'évolution de la conductivité du perméat de l'unité de Mbacké en fonction du temps pendant la période 2017-2019. On observe une augmentation progressive de la conductivité du 02/03/2017 au 02/08/2017 jusqu'à une valeur de 278  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Puis elle diminue et reste relativement stable autour de 250  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Par la suite, la conductivité croît progressivement et atteint la valeur de 550  $\mu\text{S}/\text{cm}$  le 02/04/2019. Néanmoins on note une diminution de la conductivité le 20/02/2018 et le 10/05/2018 correspondant à une valeur de 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Cette augmentation progressive de la conductivité à une valeur de 278  $\mu\text{S}/\text{cm}$  montre le début de pertes de performances des membranes dû au passage du chlore actif en petite quantité dans celles-ci. La baisse et la stabilité de la conductivité notées à une valeur de 250  $\mu\text{S}/\text{cm}$  sont dues au changement de quelques membranes effectué le 06/10/2017 suivi d'un changement de filtre. La diminution de la conductivité notée à une valeur de 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$  est obtenue suite à un nettoyage chimique avec de l'acide citrique. La montée de la conductivité à une valeur de 550  $\mu\text{S}/\text{cm}$  est notée suite au colmatage des membranes et à une mauvaise gestion de la neutralisation du chlore actif dans l'eau d'alimentation. Ainsi, deux nettoyages chimiques ont été effectués conduisant à la baisse de la valeur conductivité jusqu'à 368  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .



**Figure 20** : variation de la conductivité du perméat de l'unité de Mbacké en fonction du temps

### 1.1.6 Variation de la conductivité de l'unité de Kahone de 2017 à 2019

L'évolution de la conductivité du perméat en fonction du temps de l'unité de Kahone durant la période 2017-2019 est présentée sur la figure 21. On remarque que la conductivité se stabilise à une valeur égale à 70  $\mu\text{S}/\text{cm}$  du 02/03/2017 au 31/02/2018. Elle augmente ainsi, d'une manière importante atteignant une valeur de 440  $\mu\text{S}/\text{cm}$  successivement le 22/06/2018, le 06/09/2018 et le 04/10/2018. On note une diminution de la conductivité le 22/06/2018, le 13/09/2018 et le 14/11/2018 correspondant respectivement aux valeurs de 310  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , 260  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et 160  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

La stabilité de la conductivité durant la période du 02/03/2017 au 26/01/2018 est due à la bonne marche de l'unité et l'absence de chlore dans l'eau de puits. Toutefois, dans cette eau, il y'a des matières organiques qui conduisent à un colmatage de biofilms (ou la formation de films biologiques) des membranes. En outre, cette eau présente un faible pH ( $\text{pH}=7,1$ ) et après filtration l'eau donne un goût acide ( $\text{pH}$  inférieur à 7). C'est ainsi que l'eau de puits est remplacée par l'eau de la SDE, utilisée comme eau brute. Etant donné que l'eau de la SDE contient du chlore actif, son passage à travers les membranes a tendance à hausser la valeur de la conductivité s'il n'est pas bien neutralisé avant utilisation. Ce qui justifie l'augmentation de la valeur de la conductivité à 440  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Le nettoyage acide effectué le 22/06/2018 et le 13/09/2018 a permis de baisser la valeur de la conductivité respectivement à 310  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et 260  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . La diminution importante de la valeur de la conductivité à 160  $\mu\text{S}/\text{cm}$  se justifie par le fait que les membranes ont été changées.

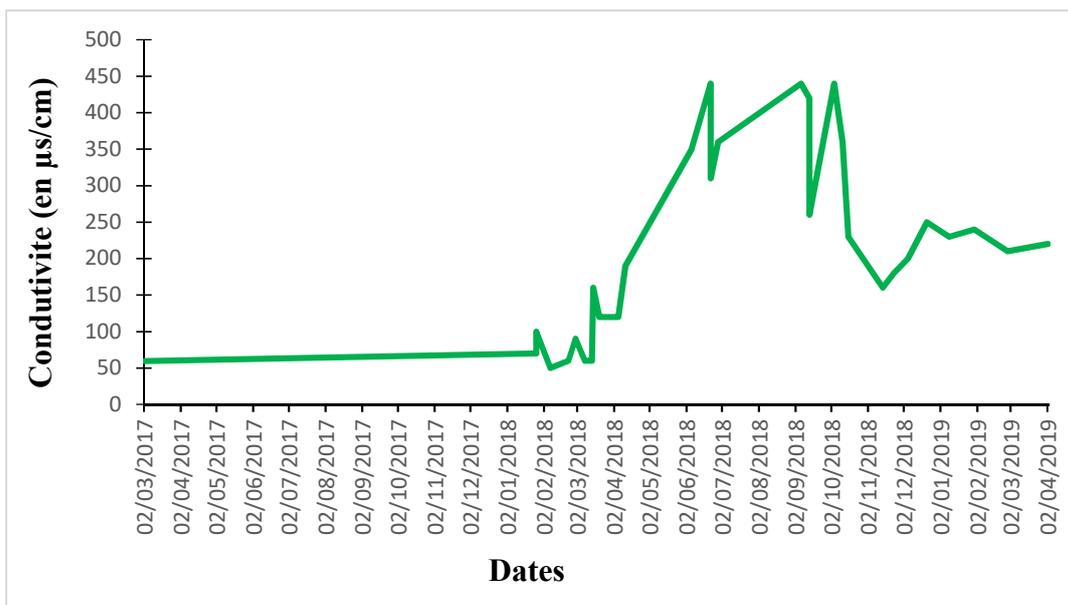


Figure 21 : variation de la conductivité du perméat de l'unité de Kahone en fonction du temps

### 1.1.7 Variation de la conductivité de l'unité de Diakhao de 2017 à 2019

L'évolution de la conductivité du perméat en fonction du temps de l'unité de Diakhao est indiquée sur la figure 22. On observe une stabilité de la conductivité pendant la période du 06/03/2017 au 02/10/2017 à une valeur de 150  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , puis elle augmente progressivement atteignant une valeur correspondant à 830  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Par la suite, on remarque une baisse à une valeur de 320  $\mu\text{S}/\text{cm}$  pendant la période du 12/08/2018 au 12/09/2018. On note à nouveau une augmentation de la conductivité du 10/10/2018 au 03/04/2019 atteignant la valeur de 660  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ensuite elle diminue jusqu'à 510  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

La stabilité de la conductivité à 150  $\mu\text{S}/\text{cm}$  montre le bon contrôle du système de déchloration du flux d'alimentation (valeur rédox comprise entre 46 mV et 102 mV). La petite diminution de la conduction à une valeur de 380  $\mu\text{S}/\text{cm}$  est due au nettoyage chimique effectué le 12/04/2018 suivi par un changement de filtre. L'augmentation de la conductivité à 830  $\mu\text{S}/\text{cm}$  est due au passage du chlore actif en grande quantité à travers les membranes causant ainsi une baisse de leurs performances en détruisant la couche active de la membrane (valeur rédox comprises entre 300 mV et 500 mV). La baisse progressive notée durant la période du 12/09/2018 au 21/11/2018 s'explique par un changement de quelques membranes détériorées par le chlore actif se trouvant dans l'eau brute.

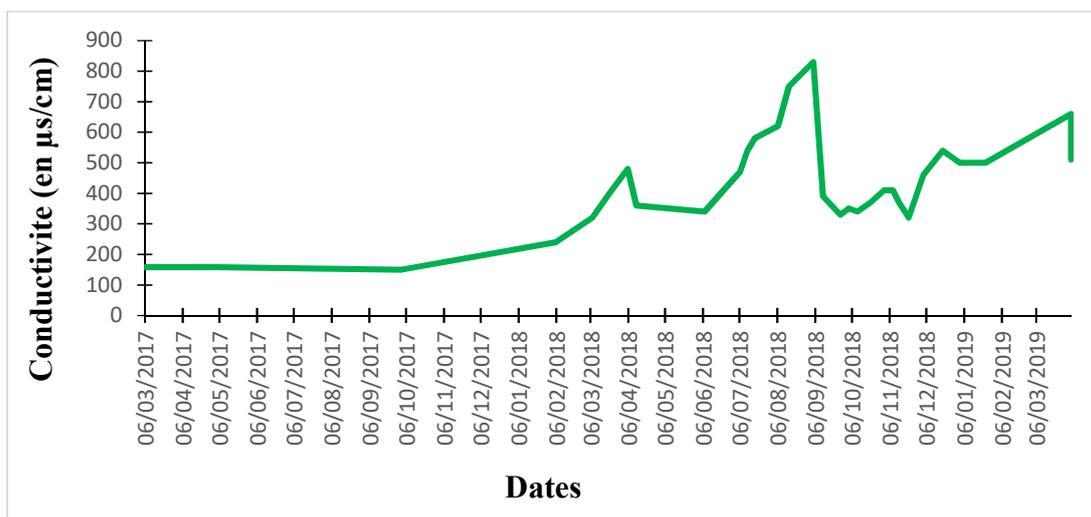


Figure 22 : variation de la conductivité du perméat de l'unité de Diakhao en fonction du temps

## 1.2 Evolution du taux de conversion en fonction du temps

### 1.2.1 Variation du taux de conversion de l'unité de Kabatoki de 2017 à 2019

L'évolution du taux de conversion de l'unité de Kabatoki en fonction du temps est montrée sur la figure 23. Le taux de conversion reste pratiquement constant du 06/04/2017 au 26/01/2018 à une valeur de 60%. Puis il diminue jusqu'à 55% le 01/02/2018. Le taux de conversion augmente à une valeur de 70% le 05/03/2018. Il diminue à nouveau jusqu'à 60%.

La stabilité du taux de conversion autour de 60% se justifie par une stabilité de la pression d'alimentation et l'absence de colmatage des membranes. Ainsi, lorsque les membranes sont colmatées par les éléments retenus à leurs surfaces, le débit du perméat baisse (522 à 480 L/h). Ce qui explique la diminution du taux de conversion à 55%. Une augmentation du taux de conversion notée le 05/03/2018 à une valeur de 70% est observée suite à une augmentation du débit de perméat causée par le passage du chlore à travers les membranes. Par la suite on diminue la pression d'alimentation (8,5 à 8 bars) pour baisser le flux du perméat afin de ramener le taux de conversion à 60%.

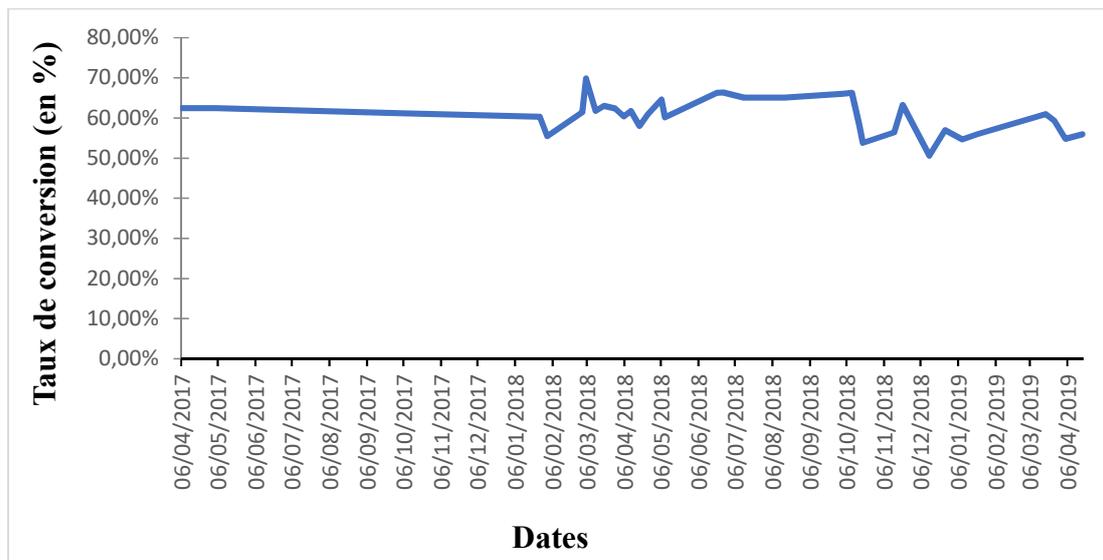


Figure 23 : variation du taux conversion de l'unité de Kabatoki en fonction du temps

### 1.2.2 Variation du taux de conversion de l'unité de Koutal de 2017 à 2019

La figure 24 indique l'évolution du taux de conversion de l'unité de Koutal en fonction du temps. Durant cette période le taux conversion varie de 55 à 70%. On note une diminution du taux de conversion durant la période du 09/03/2017 au 21/02/2018 à une valeur correspondant à 47%. Puis il augmente progressivement du 21/02/2018 au 05/03/2018 atteignant une valeur de 62%. Le taux de conversion est pratiquement stable à 60% du 04/05/2018 au 04/12/2018. Ensuite, il diminue à nouveau à une valeur de 54% le 13/12/2018. Le taux de conversion augmente par la suite atteignant une valeur de 70% le 03/01/2019.

La diminution du taux de conversion à 47% est due à l'encrassement des membranes entraîné par les éléments responsables du colmatage. Pour corriger cette diminution on effectue un nettoyage chimique avec de l'acide citrique qui a permis d'augmenter le taux de conversion à 62%. La stabilité du taux de conversion aux alentours de 60% jusqu'au 04/12/2018 se justifie par le bon fonctionnement des membranes (pas de colmatage). L'augmentation progressive du taux de conversion à 70% montre que le flux du perméat a augmenté (449 à 454 L/h). Cette augmentation du taux de conversion est due à la diminution du débit du perméat suite à un nettoyage chimique. La diminution du taux de conversion jusqu'à 60% est obtenue suite à une baisse de la pression d'alimentation.

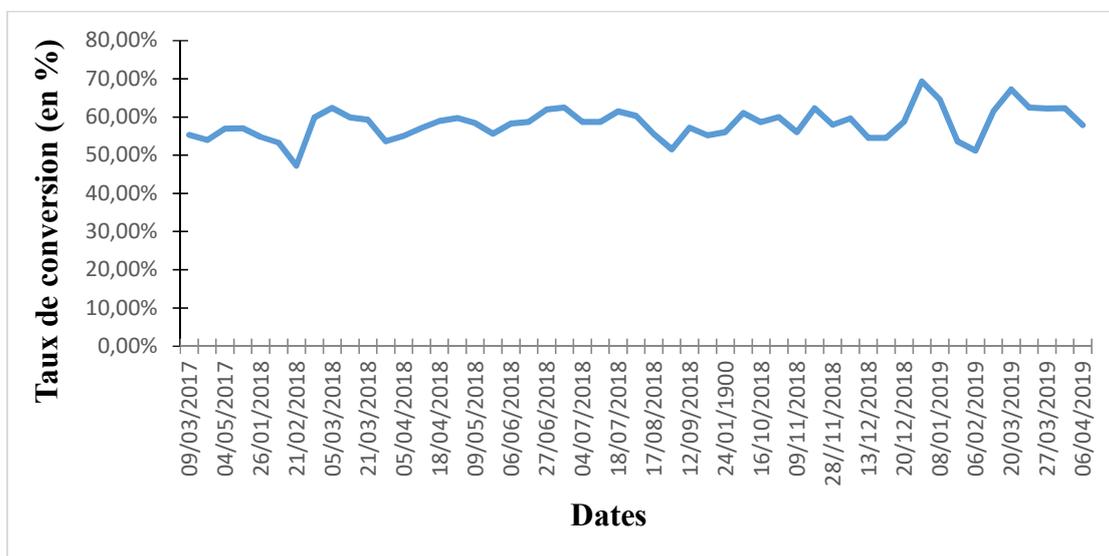


Figure 24 : variation du taux conversion de l'unité de Koutal en fonction du temps

### 1.2.3 Variation du taux de conversion de l'unité de Ndong de 2017 à 2019

L'évolution du taux de conversion de l'unité de Ndong en fonction du temps de 2017 à 2019 est représentée sur la figure 25. Le taux de conversion de l'unité varie globalement de 46 à 70% du 27/02/2017 au 01/02/2018. Il augmente progressivement du 27/02/2017 au 01/02/2018 à une valeur correspondant à 68%. Ensuite, le taux de conversion diminue et demeure constant à une valeur avoisinant 55% jusqu'au 07/06/2018. Il augmente à nouveau à une valeur de 70% le 21/06/2018, puis il varie régulièrement suivant une valeur de 55%. Il augmente et reste stable du 14/11/2018 au 13/12/2018 à 64%. Ce taux diminue progressivement jusqu'à une valeur de 46% le 19/12/2018, puis il augmente atteignant ainsi une valeur de 71%.

Lorsque le chlore passe temporairement à travers les membranes, il a tendance à détruire progressivement la couche active de la membrane. Cela entraîne petit à petit une augmentation du débit du perméat. Ce qui explique l'augmentation du taux de conversion de 52 à 68% notée du mois de Février 2017 au mois de Février 2018. La diminution du taux de conversion de 68 à 51% est causée par la diminution de la pression d'alimentation (de 9 à 7,8 bars) permettant aussi de le stabiliser aux alentours de 55%. L'augmentation brutale du taux de conversion à 70% au 21/06/2018 montre une augmentation instantanée du débit du perméat (383 à 469 L/h) engendrée par le passage du chlore actif à travers les membranes.

Ainsi, nous avons procédé au changement de quelques membranes (162 membranes changées) conduisant à la baisse du taux de conversion et sa stabilité à 55% environ. De même, la diminution du taux de conversion à 46% est obtenue suite à un nettoyage chimique des membranes et une baisse de la pression. Cela a permis de diminuer non seulement le taux de la conversion mais aussi la valeur de la conductivité (460 à 410  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

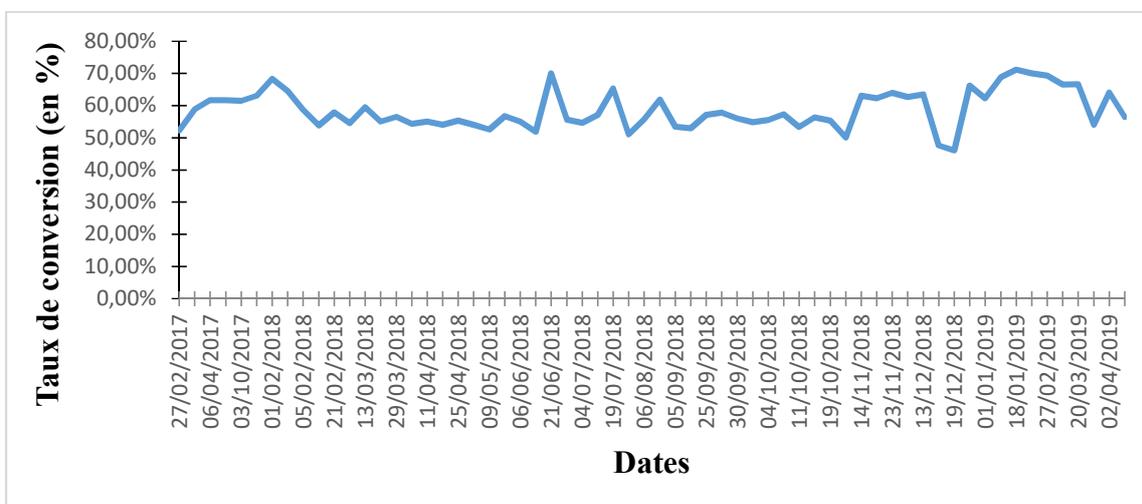


Figure 25 : variation du taux de conversion de l'unité de Ndong en fonction du temps

#### 1.2.4 Variation du taux de conversion de l'unité de Diourbel de 2017 à 2019

La figure 26 nous renseigne sur l'évolution du taux de conversion de l'unité de Diourbel en fonction du temps de 2017 à 2019. Nous constatons que le taux de conversion est relativement constant durant l'année 2017 à une valeur de 56%. Il augmente progressivement jusqu'à une valeur de 67% le 26/01/2018. Le taux de conversion diminue le 12/04/2018 atteignant une valeur de 53%. Par la suite, il augmente à une valeur de 66% le 20/06/2018. Le taux de conversion diminue à nouveau le 11/09/2018 jusqu'à 57%.

La stabilité du taux de conversion noté en 2017 se traduit par une stabilité de la pression d'alimentation et une absence de colmatage des membranes. L'augmentation du taux de conversion à 67% s'explique par le passage du chlore actif à travers les membranes, favorisant ainsi une augmentation du débit du perméat. Ainsi, la diminution du débit de perméat causé par le colmatage des membranes a entraîné une baisse du taux de conversion à 57% au 11/09/2018. Un nettoyage chimique des membranes a été effectué suite à cette baisse pour amener le taux de conversion à 60%.

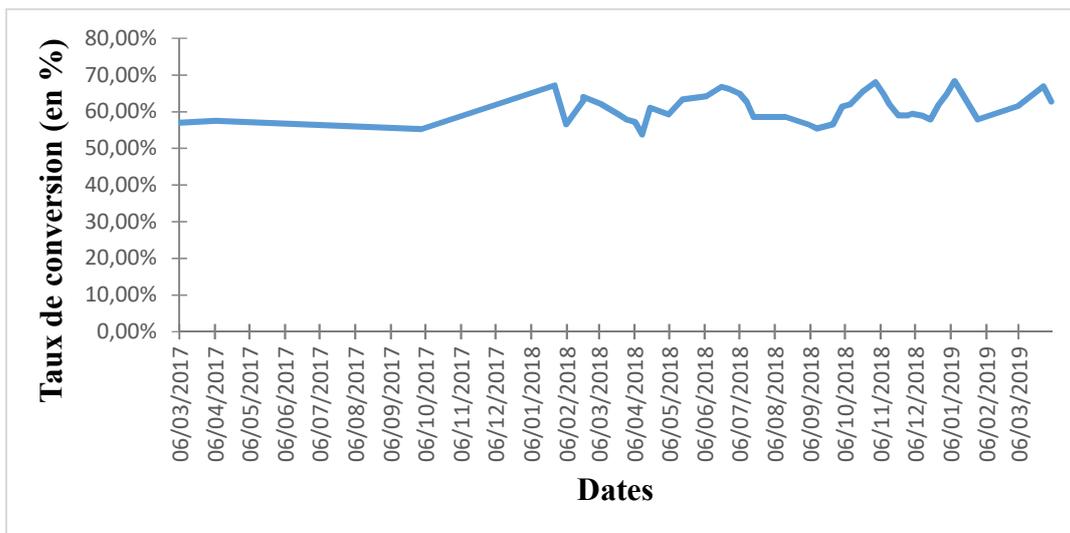


Figure 26 : variation du taux de conversion de l'unité de Diourbel en fonction du temps

### 1.2.5 Variation du taux de conversion de l'unité de Mbacké de 2017 à 2019

L'évolution du taux de conversion de l'unité de Mbacké en fonction du temps de 2017 à 2019 est montrée sur la figure 27. On observe une diminution légère du taux de conversion qui passe de 56 à 50% durant la période du 02/03/2017 au 20/02/2018. Ensuite, le taux de conversion augmente progressivement à une valeur de 62% en février 2018. Il reste relativement constant ainsi autour de 60% jusqu'au 04/09/2018. Il diminue à nouveau à 51% le 12/09/2018.

La diminution légère du taux de conversion à 50% observée le 20/02/2018 montre le début de colmatage des membranes. En conséquence, on effectue un nettoyage chimique le 20/02/2018 et le 10/05/2018 pour augmenter et maintenir le taux de conversion aux environs de 60%. La diminution du taux de conversion à 51% montre que les membranes sont colmatées. Un lavage chimique a été effectué suivi par un changement de filtre ; ce qui explique l'augmentation du taux de conversion à 61%.

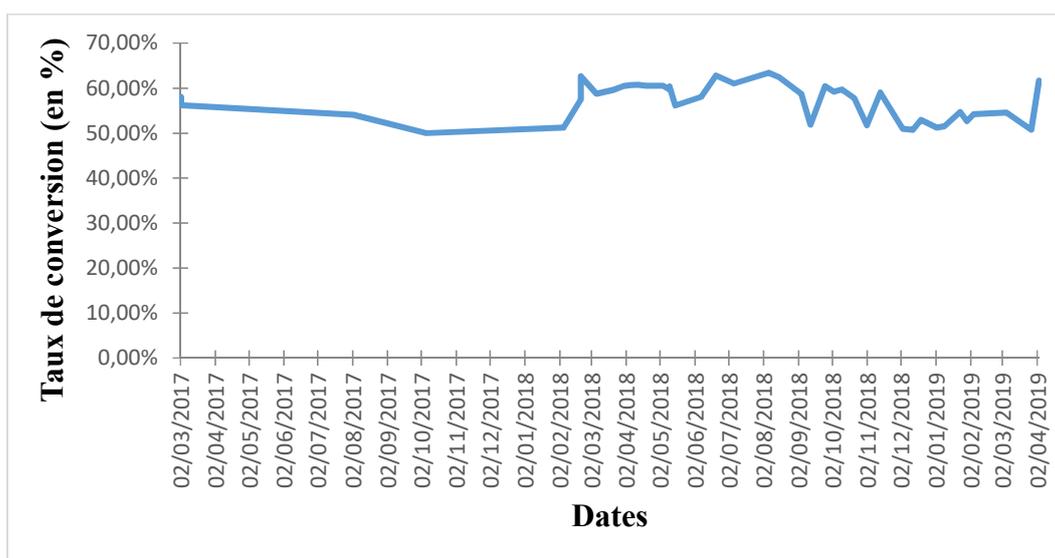


Figure 27 : variation du taux de conversion de l'unité de Mbacké en fonction du temps

### 1.2.6 Variation du taux de conversion de l'unité de Kahone de 2017 à 2019

L'évolution du taux de conversion de l'unité de Kahone en fonction du temps de 2017 à 2019 est montrée sur la figure 28. On remarque une diminution progressive du taux conversion de 58% à une valeur de 42% durant l'année 2017. Le taux de conversion augmente ensuite de manière significative à une valeur de 70% le 20/03/2018. Le taux de conversion reste supérieur à 60% durant toute l'année 2018.

La diminution importante du taux de conversion jusqu'à 42% est due au colmatage par formation de biofilm (formation de film biologique) qui conduit au développement et à la formation d'un film qui s'attache à la surface de la membrane. Ce colmatage est causé par des éléments contenus dans l'eau brute (eau de puits utilisée comme eau brute du 02/03/2017 au 22/02/2018). L'augmentation notée du taux de conversion s'explique d'une part par le changement d'eau brute (eau de la SDE) pour éviter la formation de films à la surface des membranes. Cette eau contient du chlore actif dont son passage à travers les membranes favorise la destruction de la couche active de la membrane et l'augmentation du débit de perméat. Et d'autre part par le nettoyage chimique successif qui est effectué le 22/02/2018 et le 14/03/2018. Pour maintenir le taux de conversion aux environs de 60%, la pression d'alimentation a été réduite de 13 à 8 bars.

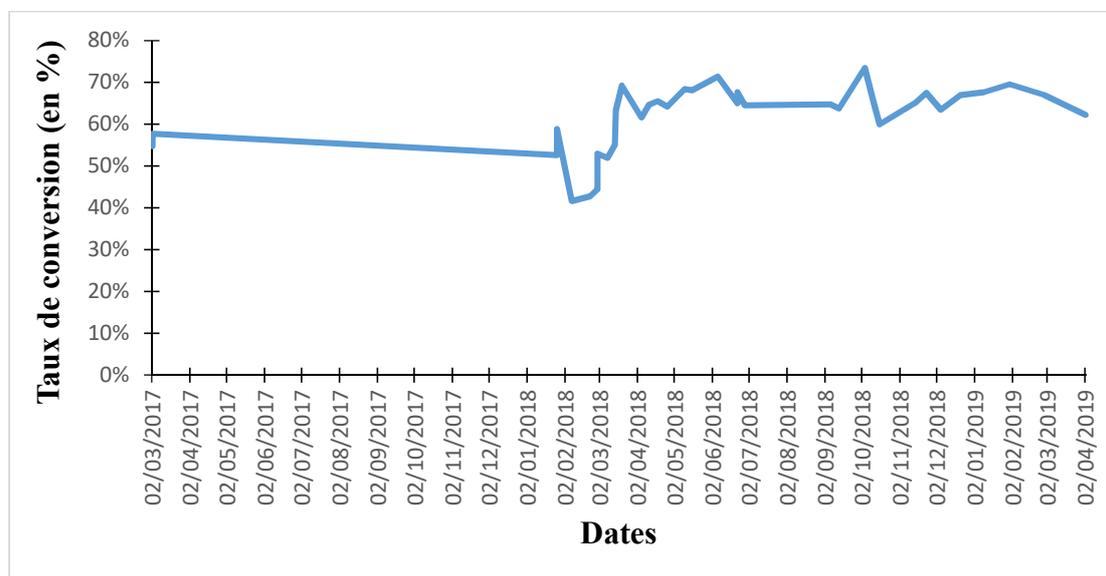


Figure 28 : variation du taux de conversion de l'unité de Kahone en fonction du temps

### 1.2.7 Variation du taux de conversion de l'unité de Diakhao de 2017 à 2019

La figure 29 nous renseigne sur la variation du taux de conversion de l'unité de Diakhao en fonction du temps de 2017 à 2019. Le taux de conversion est resté quasiment constant du 06/03/2017 au 21/03/2018 à une valeur de 60% environ. Il augmente légèrement jusqu'à 66% le 05/04/2018 ensuite il diminue le 12/04/2018 à une valeur de 58%. Le taux de conversion varie régulièrement en diminuant jusqu'à 52% le 23/01/2019. Il augmente à nouveau du 23/01/2019 au 03/04/2019 avec une valeur de 60%.

La stabilité du taux conversion à 60% pendant la période Mars 2017 - Mars 2018 est due à la stabilité de la conductivité (240  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) et celle du débit de perméat (480 L/h), de surcroît l'absence de colmatage des membranes. Ainsi, l'augmentation du taux de conversion à 66% est due au passage du chlore actif à travers les membranes. Tout d'abord le passage du chlore dans les membranes provoque une augmentation du débit du perméat (530 L/h) et celle de la valeur de la conductivité (480  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Ces mêmes observations ont été faites le 04/09/2018 avec une valeur de 830  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en conductivité et un débit de perméat de 551 L/h. Ainsi, le 12/09/2018 on effectue un changement de membranes pour faire baisser la valeur de la conductivité (390  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), le débit du perméat (478 L/h) et le taux de conversion (54%). La diminution du taux conversion à 52% notée le 23/01/2019 est due à la baisse du débit du perméat, causée par l'encrassement des membranes. Un nettoyage chimique a permis de retrouver les performances initiales permettant d'atteindre un taux de conversion de 60%.

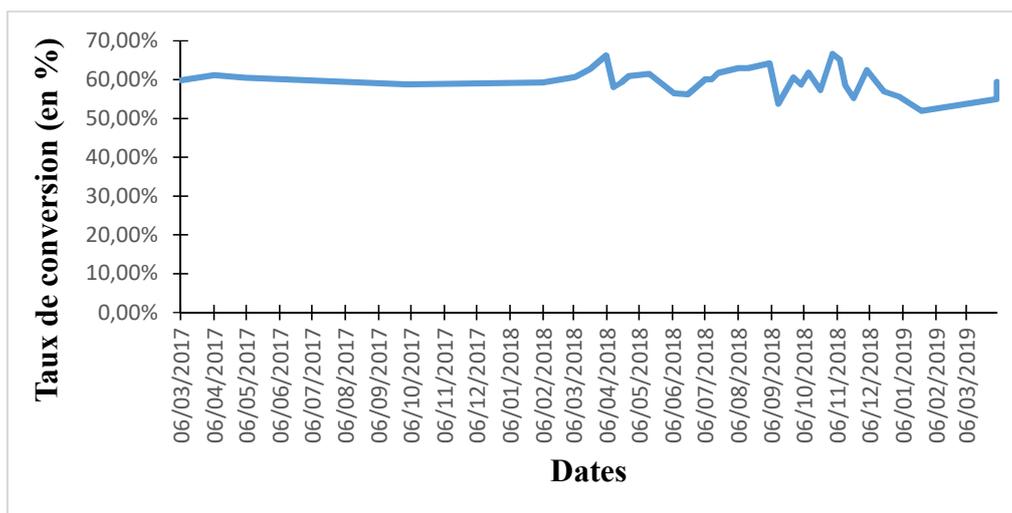


Figure 29 : variation du taux de conversion de l'unité de Diakhao en fonction du temps

### 1.3 Evolution de la pression d'alimentation en fonction du temps

#### 1.3.1 Variation de la pression d'entrée de l'unité de Kabatoki de 2017 à 2019

L'évolution de la pression d'alimentation de l'unité de Kabatoki en fonction du temps durant la période 2017-2019 est représentée sur la figure 30. On remarque que la pression est pratiquement constante du 06/03/2017 au 22/12/2018 à une valeur de 8 bars. Elle diminue ainsi du 22/12/2018 au 09/01/2019 à une valeur de 6,5 bars. Puis elle augmente progressivement atteignant une valeur de 10 bars.

La constance de la pression à 8 bars s'explique par le bon fonctionnement de l'unité. Cela est dû au bon contrôle du système de déchloration de l'eau brute (eau SDE). La diminution de la pression à 6,5 bars montre que les membranes sont affectées par le chlore actif. On procède alors à un changement de membranes qui a été effectué le 19/03/2019. Ce qui nous a permis d'augmenter la valeur de la pression jusqu'à 10 bars.

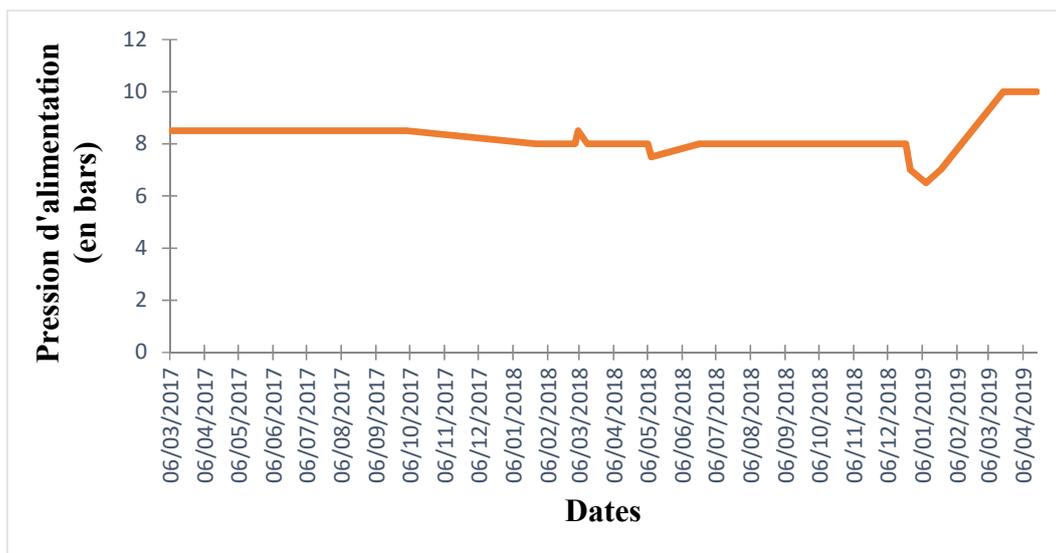


Figure 30 : évolution de la pression d'alimentation de l'unité de Kabatoki en fonction du temps

### 1.3.2 Variation de la pression d'entrée de l'unité de Koutal de 2017 à 2019

La figure 31 représente l'évolution de la pression d'alimentation de l'unité de Koutal en fonction du temps durant la période 2017-2019. On note une augmentation de la pression d'entrée dans le module du 09/03/2017 au 05/10/2017 jusqu'à une valeur de 12 bars. Cette pression reste constante pratiquement toute l'année 2018 à 12 bars. Puis elle diminue brusquement à une valeur de 6 bars du 22/03/2019 au 06/04/2019.

L'unité de Koutal utilise en fait l'eau de forage de l'ASUFOR comme eau d'alimentation du module. Cette eau est exempte de chlore actif capable de détruire la couche active des membranes. De ce fait, la durée de vie des membranes est plus importante. Avec cette eau, l'unité peut fonctionner avec 12 bars de pression sans qu'il y ait risque d'augmentation de la conductivité ou de baisse de performance des membranes. Ceci justifie la stabilité de la pression à 12 bars durant l'année 2018. Toutefois, la diminution de la pression à partir du 22/01/2019 est due à la perte de la puissance de la pompe d'alimentation. Cette perte de puissance entraîne une baisse du débit de perméat et aussi celle du taux de conversion. C'est ce qui nous a poussés à changer la pompe, pour retrouver la pression de 12 bars et les débits initiaux.

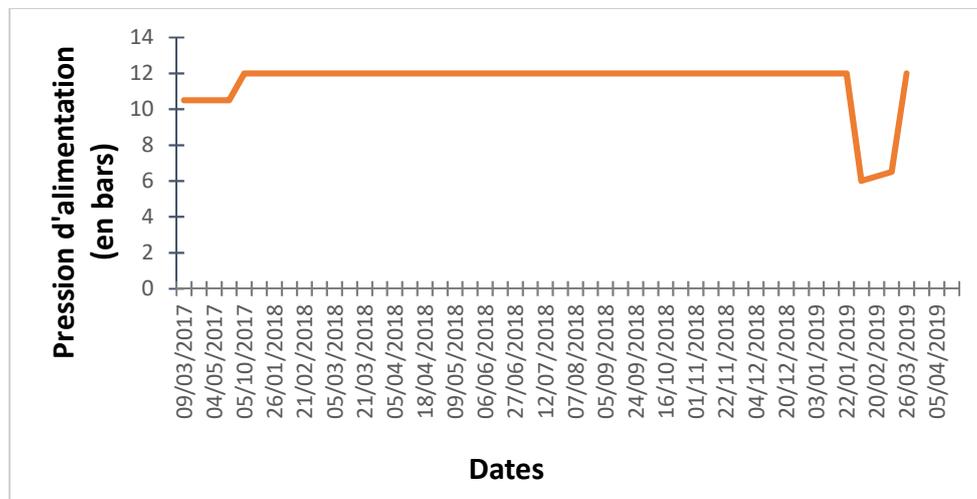


Figure 31 : évolution de la pression d'alimentation de l'unité de Koutal en fonction du temps

### 1.3.3 Variation de la pression d'entrée de l'unité de Ndorong de 2017 à 2019

L'évolution de la pression d'alimentation de l'unité de Ndorong est montrée sur la figure 32. La pression diminue progressivement de 10 à 6,5 bars du 21/02/2018 au 11/04/2018. Elle augmente ensuite et atteint une valeur de 11 bars du 11/04/2018 au 16/08/2018. A partir du 11/09/2018, la pression d'alimentation diminue progressivement puis devient relativement stable à 7 bars pendant les mois qui suivent.

La diminution de la pression d'alimentation à 6,5 bars est due à la perte de performance des membranes causée par le passage du chlore à travers les membranes. Cette perte de performance des membranes se traduit par une augmentation de la conductivité (78 à 300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). L'augmentation de la pression à 11 bars est obtenue suite au changement des membranes. Ainsi, la diminution de la pression d'entrée à 7 bars montre l'encrassement des membranes avec une baisse du taux de conversion. Un nettoyage chimique a été effectué le 19/12/2018 permettant sa stabilité pendant les mois qui suivent.

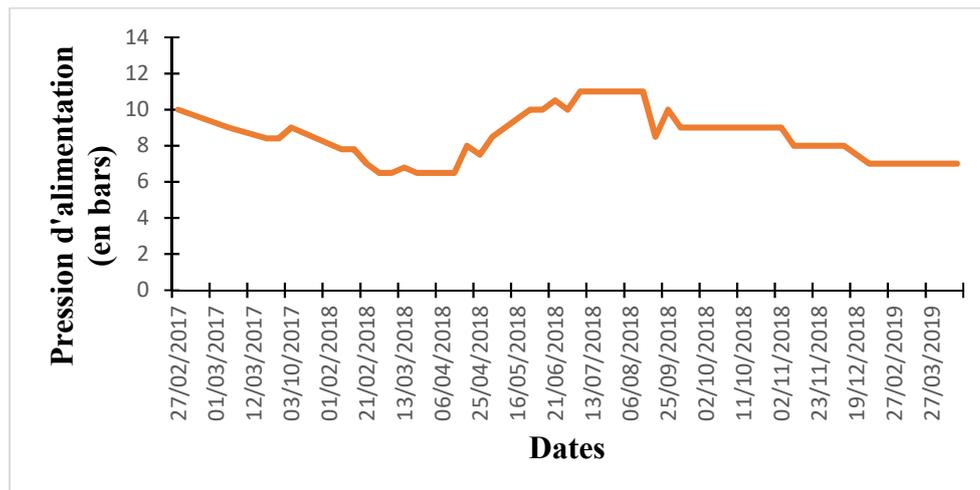


Figure 32 : évolution de la pression d'alimentation de l'unité de Ndorong en fonction du temps

### 1.3.4 Variation de la pression d'entrée de l'unité de Diourbel de 2017 à 2019

La figure 33 nous montre l'évolution de la pression d'alimentation de l'unité de Diourbel en fonction du temps. On observe une augmentation de la pression d'alimentation jusqu'à une valeur de 11 bars du 06/03/2017 au 02/10/2017. Elle diminue ensuite de manière progressive jusqu'au 17/05/2018 à une valeur de 8,5 bars. Elle augmente par la suite et se stabilise à une valeur correspondant à 10 bars du 07/06/2018 au 09/01/2018.

L'augmentation de la pression d'alimentation est en parfaite corrélation avec la diminution de la conductivité, due au changement de membranes effectué le 06/03/2017. La diminution de la pression de 12,5 à 8,5 bars a été effectuée suite à une augmentation du taux de conversion durant cette période, qui est passé de 59 à 63%. L'augmentation et la stabilisation de la pression à 10 bars s'expliquent par un changement des membranes de l'unité noté le 05/05/2018.

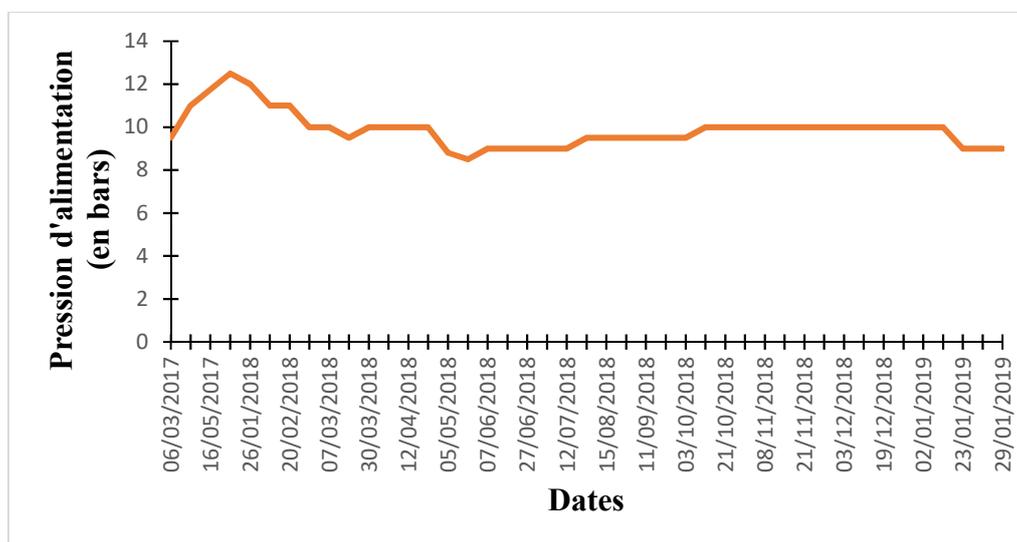


Figure 33 : évolution de la pression d'alimentation de l'unité de Diourbel en fonction du temps

### 1.3.5 Variation de la pression d'entrée de l'unité de Mbacké de 2017 à 2019

La figure 34 nous montre l'évolution de la pression d'entrée du module de l'unité de Mbacké en fonction du temps. On observe une légère baisse puis une constance de la pression durant la période du 02/03/2017 au 07/06/2018 à une valeur de 11 bars. Puis, elle augmente légèrement jusqu'au 25/09/2018 à 12,5 bars. Après un mois de fonctionnement, on remarque une baisse brutale de la pression (21/10/2018) à 9 bars. Elle augmente à nouveau au mois de Novembre 2018 et se stabilise par la suite à 12 bars jusqu'au 02/04/2019.

En effet, la diminution de la pression d'alimentation est due à la baisse de performance des membranes causée par le passage du chlore actif contenu dans l'eau brute. Ainsi, la constance de la pression durant la période du 02/04/2017 au 07/06/2018 prouve l'efficacité des membranes et la bonne gestion du système de déchloration (augmentation légère de la valeur de la conductivité). La légère augmentation de la pression notée le 25/09/2018 résulte d'un nettoyage chimique. La diminution considérable de la pression à 9 bars se justifie par une hausse de la valeur de la conductivité (390 à 860  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) due à la détérioration de la couche active des membranes. Un changement des membranes a été effectué suite à cette diminution de la pression d'alimentation. Ce qui traduit l'augmentation et la stabilité de la pression à la valeur de 12 bars.

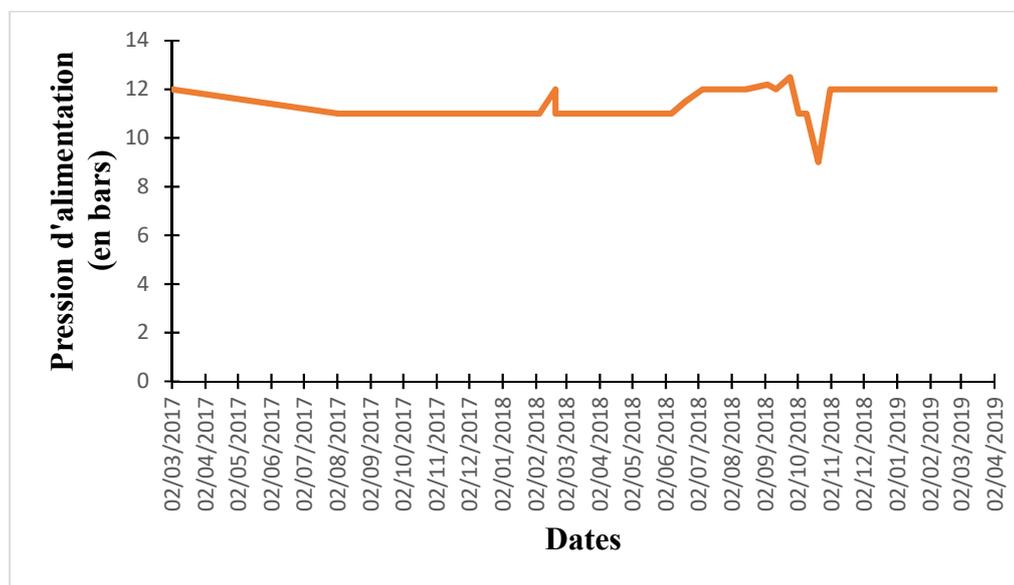


Figure 34 : évolution de la pression d'alimentation de l'unité de Mbacké en fonction du temps

### 1.3.6 Variation de la pression d'entrée de l'unité de Kahone de 2017 à 2019

L'évolution de la pression d'alimentation de l'unité de Kahone en fonction du temps durant la période 2017-2019 est représentée sur la figure 35. La pression d'entrée reste stable du 02/03/2017 au 26/01/2018 à une valeur de 12,3 bars. Elle augmente par la suite à 14,5 bars avant de diminuer par la suite et se stabilise à une valeur de 8 bars du 15/03/2018 au 02/04/2019.

La stabilité de la valeur de la pression d'entrée à 12 bars s'explique par le bon fonctionnement de l'appareil, qui se traduit par la stabilité de la conductivité et du taux de conversion. L'augmentation de la pression d'alimentation notée le 02/03/2018 est obtenue suite au colmatage des membranes (formation de biofilms à la surface des membranes). Ce colmatage réduit le débit de perméat et le taux conversion. Pour maintenir le taux de conversion constant on augmente la pression à 14 bars. En revanche, la diminution de la pression est due à l'augmentation progressive du taux de conversion (42 à 70%) et celle de la conductivité (70 à 440  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) due au passage du chlore actif se trouvant dans l'eau brute (eau de la SDE). La stabilité de la pression à 8 bars observée durant la période du mois d'Avril 2018 au mois d'Avril 2019 se justifie par le changement des membranes procédé le 20/03/2018.

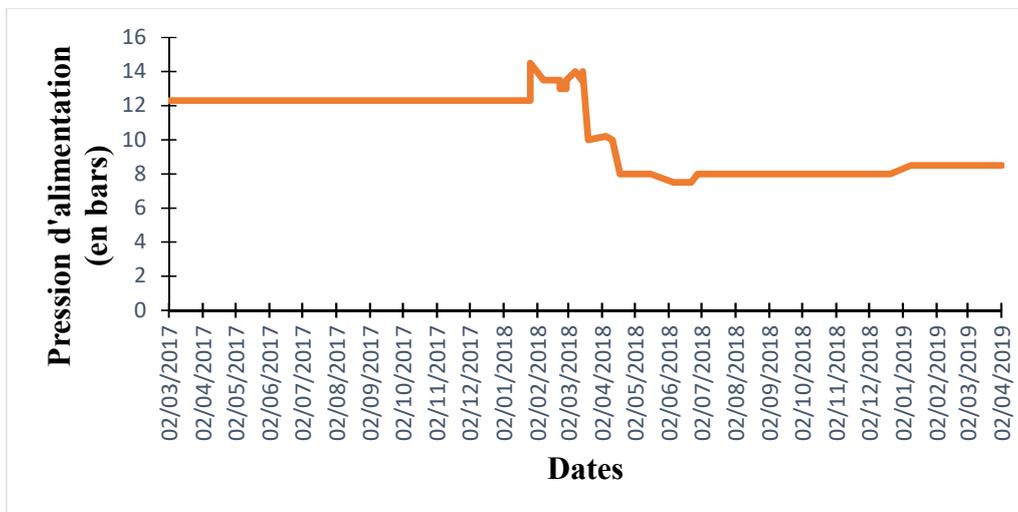
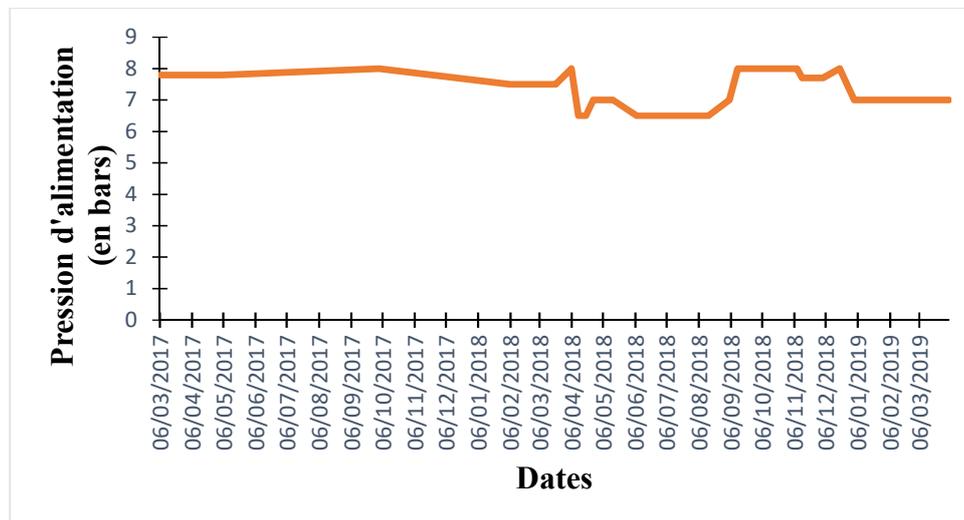


Figure 35 : évolution de la pression d'alimentation de l'unité de Kahone en fonction du temps

### 1.3.7 Variation de la pression d'entrée de l'unité de Diakhao de 2017 à 2019

La figure 36 montre l'évolution de la pression d'alimentation de l'unité de Diakhao en fonction du temps durant la période 2017-2019. La pression reste relativement stable du 06/03/2017 au 21/03/2018. Puis, elle diminue et se stabilise du 19/04/2018 au 15/08/2018 à une valeur de 6,5 bars. A partir du 04/09/2018, la pression augmente et se stabilise à 8 bars jusqu'au 03/04/2019.

La stabilité de la pression d'entrée du module s'explique par le bon fonctionnement de l'unité dû à la bonne gestion du système de déchloration. Cependant, la baisse de la pression, notée durant la période du 19/04/2018 au 15/08/2018, est due à une diminution des performances des membranes causée par le passage du chlore à travers les membranes (augmentation de la conductivité  $830 \mu\text{S}/\text{cm}$ ). A la suite d'un changement de membrane le 12/09/2018, on assiste à l'augmentation de la pression et qui devient stable par la suite à 8 bars.



**Figure 36** : évolution de la pression d'alimentation de l'unité de Diakhao en fonction du temps

Afin d'évaluer la performance des unités à travers les différents paramètres, nous avons calculé la valeur moyenne de chaque paramètre pour mieux suivre sa tendance d'une unité à l'autre. Les valeurs moyennes des paramètres sont consignées dans le tableau 3.

**Tableau 3 :** valeurs moyennes des paramètres de fonctionnement des différentes unités durant la période 2017-2019

Lieux	Conductivité (en $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Taux de Conversion (en %)	Pression d'alimentation (en bars)
Kabatoki	317	60,68	8,14
Koutal	106	58,24	11,56
Ndorong	320	58,98	8,46
Diourbel	132	61 ,07	9 ,79
Mbacké	312	56,93	11,56
Kahone	201	61	9,82
Diakhao	419	59,78	7,32

En examinant ces résultats, on remarque que l'eau du perméat de l'unité de Koutal a la valeur de conductivité la plus faible (106  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) et la valeur de la pression la plus élevée (11,56 bars). Ceci est expliqué par l'absence de chlore actif dans l'eau brute. On constate également une faible valeur de conductivité à Diourbel (132  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) et à Kahone (201  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) due à la bonne gestion du dispositif de déchloration de l'eau brute avec le bisulfite de sodium. Cette valeur de conductivité augmente dans certaines localités comme Diakhao où la valeur de la conductivité est de 419  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Cette valeur élevée de la conductivité se justifie par le passage constant du chlore actif se trouvant dans l'eau brute. Ce qui explique la diminution de la pression à Diakhao (7,32 bars), à Ndorong (8,46 bars) et à Kabatoki (8,14 bars). Une diminution du taux conversion est aussi notée due au phénomène de colmatage. Nous pouvons citer Mbacké à titre d'exemple où le taux de conversion est de 56,93%.

## CONCLUSION

La contamination des eaux souterraines par le fluor est un problème qui touche beaucoup de pays du monde. Au Sénégal, plus particulièrement dans le bassin arachidier, nous avons un excès de fluor et une très forte salinité dans l'eau souterraine servant de boisson. Une consommation de telles eaux engendre des conséquences graves de santé publique au niveau des populations exposées. Les conséquences notées la plupart du temps sont la fluorose dentaire et la fluorose osseuse. Pour respecter les recommandations de l'OMS et les normes en vigueur du pays, le traitement de l'eau constitue un moyen nécessaire pour réduire l'excès de la teneur en fluor et du sel dans l'eau de consommation. Différentes méthodes plus récentes ont été développées et appelées techniques membranaires telles que la microfiltration, l'ultrafiltration, la nanofiltration et l'osmose inverse.

L'étude menée sur les unités de filtration membranaire installées dans certaines localités du bassin arachidier du Sénégal nous a permis de mettre en évidence l'intérêt de la nanofiltration serrée ou l'osmose inverse à basse pression. Cette technique constitue l'une des meilleures pour offrir une eau de boisson de qualité tout en respectant les recommandations de l'OMS et les normes sénégalaises en matière d'eau potable. C'est une technique continue qui donne en une seule étape des résultats satisfaisants sans ajouts de produits chimiques. Elle permet d'avoir un abaissement satisfaisant en ions fluorures tout en réduisant simultanément la salinité.

Les résultats obtenus avec le suivi des paramètres de fonctionnement tels que la pression d'alimentation, le taux de conversion et la conductivité nous ont permis de mettre en évidence les performances du système de traitement membranaire. L'unité de Koutal reste l'unité la plus stable. La valeur de la conductivité du perméat est de 106  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en moyenne. On constate également une stabilité de la conductivité de l'unité de Diourbel avec une valeur moyenne de 132  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Ceci s'explique par la bonne gestion du système de neutralisation du chlore actif dans l'eau brute. Par ailleurs, la conductivité du perméat augmente considérablement dans les autres localités due à la défaillance du système de déchloration. C'est le cas à Diakhao et à Ndong où les valeurs de la conductivité du perméat sont respectivement 419  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et 320  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Pour la pression d'alimentation, elle reste stable avec une valeur de 11,56 bars à Koutal, qui est en corrélation avec la valeur de la conductivité. L'une des conséquences de cette augmentation de la conductivité est la diminution de la pression, tels que montrés par les résultats obtenus à Diakhao (7,32 bars), à Ndong (8,46 bars) et à Kabatoki (8,14 bars). En plus du phénomène de colmatage des membranes, la diminution de la pression d'alimentation

entraîne une diminution du taux de conversion. Nous pouvons citer le cas de Mbacké comme exemple où le taux de conversion est de 56,93%.

Le suivi quotidien de ces paramètres de fonctionnements cités précédemment de même que les nettoyages chimiques périodiques permettent de maintenir la durée de vie des membranes mais aussi de mettre en évidence les limites de leurs performances.

Dans le but d'apporter des solutions nouvelles afin d'améliorer les résultats de ces techniques nous envisageons de mettre en œuvre la déchloration de l'eau brute par charbon actif et d'étudier l'efficacité d'autres types de membranes qui résistent mieux au chlore actif.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] S. N. Diop. Fluor, Eau et Santé : quel procédé pour l'eau de boisson au Sénégal ; mémoire en vue de l'obtention du diplôme approfondies en chimie moléculaire ; Spécialité : Traitement des eaux, UCAD (2007) : pp 16-17.
- [2] M. C. Faye. Evaluation de la performance d'une unité de filtration membranaire alimentée par des panneaux solaires pour la production d'eau potable à Keur Mariama - Ndiaffate (Kaolack) ; mémoire de master ; UASZ (2016) : 50p
- [3] F. Samb. Problématique du fluor dans l'alimentation en eau potable du Sénégal, Projet de fin d'Etude pour le Diplôme d'Ingénieur de Conception, ESP Thiès, Département Génie Civil, GC n°0041, (2004) : pp 16-17.
- [4] W. J. Koros, Y. H. Ma, T. Shimidzu. Terminology for membranes and membrane processes. *Pure and Appl. Chem.* 68 (7); (1996): 1479-1489.
- [5] M. Pontié et coll. Les techniques séparatives à membranes. Théorie, applications et perspectives. (2001) : 212p.
- [6] A. Al-Amoudi, R. W. Lovitt. Fouling strategies and the cleaning system of NF membranes and factors affecting cleaning efficiency. *J. Memb. Sci.* 303 (2007): 4–28.
- [7] M. Pontié, A. Thekkedath, K. Kecili, H. Habarou, H. Suty, J.P. Croué. Membrane autopsy as a sustainable management of fouling phenomena occurring in MF, UF NF processes. *Desalination* 204 (2007): 155-169.
- [8] S. Lee, J.S. Choi, C. H. Lee. Behaviors of dissolved organic matter in membrane desalination. *Desalination* 238 (2009): 109–116.
- [9] A. E. Contreras, A. Kim, Q. Li. Combined fouling of nanofiltration membranes: Mechanisms and effect of organic matter. *J. Memb. Sci.* 327 (2009): 87-95.
- [10] G. Amy. Fundamental understanding of organic matter fouling of membranes. *Desalination* 231 (2008): 44–51.
- [11] K. Listiarini, D. D. Sun, J. O. Leckie. Organic fouling of nanofiltration membranes: Evaluating the effects of humic acid, calcium, alum coagulant and their combinations on the specific cake resistance. *J. Memb. Sci.* 332 (2009): 56–62.

- [12] B. Van der Bruggen, M. Mänttari, M. Nyström. Drawbacks of applying nanofiltration and how to avoid them: A review. *Sep. & Purif. Tech.* 63 (2008) 251–263.
- [13] A. I. Schäfer, A. G. Fane, T. D. Waite. *Nanofiltration - principles and applications*. 1<sup>ère</sup> édition (2005) : 560p.
- [14] S. Lee, J. Kim, C. H. Lee. Analysis of CaSO<sub>4</sub> scale formation mechanism in various nanofiltration modules. *J. Memb. Sci.* 163 (1999): 63–74.
- [15] C. Y. Tang, Y. N. Kwon, J. O. Leckie. The rôle of foulant-foulant electrostatic interaction on limiting flux for RO and NF membranes during humic acid fouling- Theoretical basis, experimental evidence, and AFM interaction force measurement. *J. Memb. Sci.* 326 (2009): 526-532.
- [16] A. Al-Amoudi, P. Williams, A. S. Al-Hobaib, R. W. Lovitt. Cleaning results of new and fouled nanofiltration membrane characterized by contact angle, updated DSPM, flux and salts rejection. *Applied Surface Science* 254 (2008): 3983-3992.
- [17] A. Maurel. Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et d'autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce. *Technique et Documentation*, 2<sup>ème</sup> édition (2006) : 286p
- [18] H. Mjengera, G. Mkongo. Appropriate de fluoridation technology for use in fluorotic areas in Tanzania. *Phys. and Chem. of the Earth* 28 (2003): pp 1097-1104.
- [19] X. L. Wang, W. J. Shang, D. X. Wang, L. Wu, C. H. Tu. Characterization and applications of nanofiltration membranes: State of the art. *Désalination* 236 (2009): pp 316-326.
- [20] H. Kumar, M. Boban, M. Tiwari. Skeletal fluorosis causing high cervical myelopathy. *Journal of Clinical Neuroscience* 16 (2009): pp 828–830.
- [21] S. N. Diop. Elimination partielle du fluor et de la salinité des eaux souterraines du bassin arachidier par nanofiltration et par adsorption sur argile ; thèse de doctorat ; UCAD (2010): pp 89-104.
- [22] A. S. AL-Amoudi, A. M. Farooque. Performance restoration and autopsy of NF membranes used in seawater pretreatment. *Desalination* 178 (2005): 261-271.
- [23] M. Uchymiak, E. Lyster, J. Glater, Y. Cohen. Kinetics of gypsum crystal growth on a reverse osmosis membrane. *J. Memb. Sci.* 314 (2008) 163–172.

## WEBOGRAPHIE

- [i] Technique de filtration du fluor et du sel. Disponible sur « [http://ipsinternational.org/fr/\\_note.asp?idnews=6417](http://ipsinternational.org/fr/_note.asp?idnews=6417) ». [Consulté le 15/07/2019].
- [ii] LENNTECH. Technologie membranaire [en ligne]. Disponible sur « <https://www.lenntech.fr/francais/membrane-technologie.htm> ». [Consulté le 14 mai 2019].
- [iii] P. Bacchin. Principes de bases de la filtration membranaire (2 janvier 2008). Disponible au format PDF sur « <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00201760/document> ». [Consulté le 9 Mai 2019].
- [iv] G. Ciobanu, G. Carja, L. Istrati, Harja, M. Etude du colmatage des membranes. Disponible au format PDF sur « <http://pubs.ub.ro/dwnl.php?id=CSCC6200607V02S01A0016> ». [Consulté le 13 Mai 2019].
- [v] E. Chantrel. Saint Sauveur «Techniques de clarification avec Moringa à différentes échelles». Disponible sur « <http://www.moringanews.org> ». [Consulté le 15/07/2019].
- [vi] Aclaira créateur d'eau potable. Disponible sur « <http://www.aclaira.com> ». [Consulté le 11/07/2019].
- [vii] Qualité de l'eau au Sénégal, un problème grave pour la santé. Disponible sur « <https://www.vivredurable.net/spip.php?article48> ». [Consulté le 16/07/2019].

## RESUME

L'eau est une substance fondamentale utilisée dans le domaine de l'industrie, de l'agriculture et de la consommation humaine. Même si l'eau est abondante au niveau du globe terrestre, elle reste peu exploitée. En réalité les eaux souterraines constituent les principales ressources pour les besoins de la consommation humaine dans beaucoup de pays, notamment dans les pays en développement. Au Sénégal, plus particulièrement dans certaines localités du bassin arachidier, les eaux souterraines sont très riches en fluor plus un excès de salinité. L'excès de fluor dans l'eau de boisson engendre des problèmes graves de santé publique telle que la fluorose dentaire et la fluorose osseuse.

Pour faire face aux problèmes liés à l'excès de fluor et de la salinité dans l'eau de boisson, le traitement par filtration membranaire a été préconisé comme procédé adéquat. Ainsi, la nanofiltration serrée ou l'osmose inverse à basse pression s'est révélée comme une méthode efficace pour le traitement de l'excès fluor dans l'eau destinée à la consommation humaine.

Les résultats obtenus à travers le suivi des paramètres de fonctionnement tels que la pression d'alimentation, le taux de conversion, la conductivité montrent que ce système de traitement membranaire reste performant. En examinant ces résultats, on remarque que l'eau du perméat de l'unité de Koutal a la valeur de conductivité la plus faible (106  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) et la valeur de la pression la plus élevée (11,56 bars). On constate également une faible valeur de conductivité à Diourbel (132  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) et à Kahone (201  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Cette valeur de conductivité augmente dans certaines localités comme Diakhao (419  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) qui a la valeur de conductivité la plus élevée. On note la diminution de la pression à Diakhao (7,32 bars), à Ndorong (8,46 bars) et à Kabatoki (8,14 bars). Une diminution du taux de conversion est aussi notée. Nous pouvons citer la localité de Mbacké à titre d'exemple où la valeur du taux de conversion est de 56,93%. Le colmatage des membranes a été observé durant le processus de fonctionnement des unités.

Mots clés : fluor, salinité, membranes.

## **ABSTRACT**

Water is a fundamental substance used in industry, agriculture and human consumption. Although water is abundant on a global scale, it is still under-exploited. In fact, groundwater is the main resource for human consumption in many countries, especially in developing countries. In Senegal, particularly in some localities of the groundnut basin, groundwater is very rich in fluorine and excessive salinity. Excess fluoride in drinking water leads to serious public health problems such as dental and bone fluorosis.

To address the problems associated with excess fluoride and salinity in drinking water, treatment by membrane filtration has been recommended as a suitable process. Thus, tight nanofiltration or low pressure reverse osmosis has proven to be an effective method for the treatment of excess fluoride in water intended for human consumption.

The results obtained by monitoring operating parameters such as feed pressure, conversion rate, conductivity show that this membrane treatment system remains efficient. Looking at these results, we notice that the permeate water of the Koutal unit has the lowest conductivity value (106  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) and the highest pressure value (11.56 bar). A low conductivity value is also observed at Diourbel (132  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) and Kahone (201  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). This conductivity value increases in some localities such as Diakhao (419  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) which has the highest conductivity value. There is a decrease in pressure in Diakhao (7.32 bar), Ndorong (8.46 bar) and Kabatoki (8.14 bar). A decrease in the conversion rate is also noted. We can cite the locality of Mbacké as an example where the value of the conversion rate is 56.93%. Membrane clogging was observed during the operation of the units.

Key words: fluorine, salinity, membranes.