

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET  
POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة 20 أوت 1955 - سكيكدة.

UNIVERSITE 20 AOUT 1955- SKIKDA



Faculté des Sciences

Département Ecologie et Environnement

Mémoire Présenté en Vue de l'Obtention du Diplôme de  
Master

Filière : Ecologie et Environnement

Spécialité : Protection des Ecosystèmes

Intitulé :

**Contrôle de la qualité physico-chimique et  
microbiologique de l'eau dessalée produite au  
niveau de La station de DESSALADORA - Skikda .**

**Présenté par :**

- Chettah Imen
- Semassel Romeissa
- Tadjer Chaima
- Zenina Hadjer

**Membre de Jury:**

Sakhraoui N	MCA	Présidente	Univ. Du 20 Août 1955 – Skikda
Boudries A	MCB	Encadrante	Univ. Du 20 Août 1955 – Skikda
Ferroum A	MAA	Examinatrice	Univ. Du 20 Août 1955 – Skikda

**Année universitaire 2024-2025**

## Remerciement

*Tout d'abord, nous remercions \*Allah\* Tout puissant qui nous a donné la force, nous remercions Dieu de nous avoir accordé la santé, le courage et la persévérance nécessaires pour mener à bien ce travail modeste, qui représente pour nous une étape importante sur le chemin de la connaissance et du développement personnel.*

Nous remercions sincères à notre encadrante académique Boudries Amel, pour ses encouragements constants, sa disponibilité, et ses compétences scientifiques remarquables, qui ont grandement enrichi ce travail.

Nous remercions Machia Leila pour son soutien et son aide précieuse dans les moments les plus difficiles .

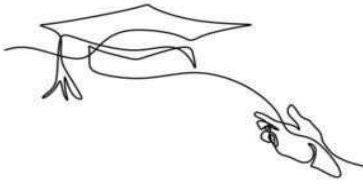
Nous tenons à remercier le corps enseignant administratif de la faculté des sciences des écologique et environnement.

Nous remercions également Sakhraoui Nora qui accepter présider ce jury et Ferroum Asma d'avoir accepté examiner ce travail.

À l'issue de ce travail, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à sa réalisation.

Nous remercions chaleureusement Ali Bouloudani chef de la station de traitement des eaux, Sofiane Saadi chef du service de traitement des eaux ,Boussila Sabar , Younes Abdrahmane ainsi que le responsable de la station de dessalement , pour leurs encouragements, leur disponibilité et la qualité de leur encadrement, qui ont fortement contribué à la réussite de notre travail.

Enfin, nous remercions toutes les personnes qui nous ont soutenus, aidés et encouragés tout au long de ce parcours. Vous êtes trop nombreux pour être tous cités, mais nous vous en sommes profondément reconnaissants.



## Dédicace

*Avant tout, je remercie Dieu de m'avoir donné le courage et la volonté nécessaires pour réaliser ce modeste travail.*

*Aucun mot ne saurait exprimer pleinement la gratitude, l'amour, le respect et la reconnaissance que je ressens. Je souhaite tout simplement dédier ce travail de fin d'études à :*

*À ma chère maman Yasmina, source infinie de tendresse et exemple de sincérité. Tu m'as toujours encouragée, et rien au monde ne saurait égaler les efforts que tu as fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien-être. Tu as fait bien plus que ce qu'une mère peut faire, afin que ses enfants suivent le bon chemin dans leur vie et leurs études.*

*À mon cher père Hamid, je ne trouve pas de mots pour exprimer tout l'amour, le respect et la dévotion que j'ai pour toi. Tu as toujours été l'arbre solide qui nous protège face aux épreuves de la vie.*

*À mes chères sœurs Amira et Nour, vous faites partie de mon cœur ; votre soutien et votre amour n'ont pas de prix.*

*À mes collègues et amies Chaïma, Romeïssa et Hadjer merci pour votre présence, votre aide et votre confiance.*

*À mon encadrante, Boudries Amel , je tiens à exprimer ma sincère gratitude pour votre encadrement précieux, votre disponibilité constante et vos conseils éclairés qui m'ont guidée tout au long de la réalisation de ce travail. Votre rigueur, votre bienveillance et votre soutien m'ont été d'un apport inestimable.*

*Enfin, à toutes les personnes que j'aime et qui m'aiment.*

**Imen .**



## الاهداء

بسم الله الرحمن الرحيم الحمد لله والصلاة والسلام على رسول الله

" وآخر دعواهم أن الحمد لله رب العالمين "

قال الله تعالى: (يرفع الله الذين آمنوا منكم والذين أوتوا العلم درجات).

لم تكن الرحلة قصيرة ولا الطريق محفورة بالتسهيلات لكنني فعلتها، فالحمد لله الذي يسر البدايات و أكمل النهايات وبلغنا الغايات بكل حب أهدي ثمرة نجاحي الى نفسي الطموحة ابتدأت الرحلة بطموح و انتهت بنجاح.

اهدي نجاحي الى النور الذي أضاء دربي الى العزيز الذي حملت اسمه فخرا الى معلمي الأول و من أكرمني الله به و جعله بين صفوف الرجال أبا لي و زادني به شرفا و علوا و اعتزازا...

" العظيم أبي "

إلى من كانت الداعم الأول لتحقيق طموحي الى من جعل الجنة تحت أقدامها الى القلب الحنون سر قوتي ونجاحي

" أمي الغالية "

إلى إخوتي آية وصهيب صاحبين القلب الكبير والدعم الثابت عن مشاركتي كل لحظة ضعف أو تعب. أهديكم شكرا صادقا نابعاً من قلبي ممتن لوجودكم دمتم لي.

إلى رفيقات العمر لي في كل خطوة اخطوها صديقاتي الغاليات شيما و ايمان وشروق، أنتم أختين كنتم دائما قريبين من القلب حنونين في الشدة، صادقين في كل لحظة.

" لكم شكر خاص يحمل كل معاني الود والاعتزاز."

إلى من تشرفت معهم في هذا العمل شيما و ايمان وهاجر.

إلى مشرفتي بودرياس أمال ، أود أن أعرب عن خالص امتناني لإرشاداتك القيمة وتواجدك الدائم ونصحتك المستنيرة التي وجهتني طوال إكمال هذا العمل. لقد كانت صرامتك ولطفك ودعمك ذات قيمة لا تقدر بثمن بالنسبة لي.

إلى أحن و أنقى قلب في الدنيا، اليكما أهدي ثمرة جهدي و تعب سنين مضت يا من كنتما الحضان الدافئ و الدعاء الصادق و الدعم الذي لا يتوقف لولا محبتكما ووجودكما في حياتي لما وصلت الى ما انا عليه اليوم جدتي حليلة و مسعودة و جدي و خالي عمار و خالتي منيرة، نبيلة، جميلة، راضية و ريم، رحمة، نور، عبير، ريتاج، ماريما، وصال.

وأخيرا، إلى كل من دعمني بكلمة، أو دعوة، أو ابتسامة هذا العمل ليس لي وحدي، بل هو مرآة حكيمة وثمار وفائكم

فلولاكم ما كنت حيث أنا اليوم.

رميساء.



## الإهداء

قوله تعالى " يرفع الله الذين آمنوا منكم والذين أوتوا العلم درجات "

فالحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات

اهدي تخرجي

إلى نفسي التي قالت انا لها سأنالها وأخيرا ها أنا اليوم أقف على عتبة تخرجي أقطف ثمار تعبي

وأرفع قبعتي بكل فخر.

إلى أمي يا من جعلك الله سببا في وجودي، وسندا في حياتي دعائك كان حصني ورضاك كان طريقي،

وحبك كان نوري إلى من ارشدتني ورافقتني في كل مشاوير حياتي ولا تزال تفعل إلى الان اللهم أحفظها وارزقها العفو

والعافية أمي الحبيبة والى من احمل اسمه بكل فخر ابي الغالي كنت عوننا وسندا صامدا لا يميل وقفت معي في اصعب

ايام اعلم اني ل استطيع ان اوفيك حقك حفظكم الله ادامكم تاج فوق راسي

والى حبيباتي غاليات اخوتي مصدر قوتي نسرين اميرة جمانة لميس دتم لي وملاكين الصغيرين نهال و مؤيد رعاكم الله

و حفظكم في طاعته.

إلى روح غالية جدتي رحمك الله واسكنكي فسيح جناته.

والى رفقاء الدرب رميساء ايمان مايا اريج رنيم ايناس شروق .

والى من تشرفت معهم في هذا العمل رميساء و ايمان و هاجر .

إلى مشرفتي بودرياس أمال ، أود أن أعرب عن خالص امتناني لإرشاداتك القيمة وتواجدك الدائم ونصيحتك

المستنيرة التي وجهتني طوال إكمال هذا العمل. لقد كانت صرامتك ولطفك ودعمك ذات قيمة لا تقدر بثمن بالنسبة لي.

إلى كل من يحبني بصدق وإخلاص إلى كل من تلقيت منه النصح والدعم.

شيماء .



## Dédicace

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ : « وقل رب زدني علما »

*Avec une sensation de détermination ambitieuse et courageuse j'ai conduit mon rêve vers la réalité. Avec une immense fierté et l'expression de ma reconnaissance du profond de mon cœur je dédie ce travail :*

*A ma chère mère **Guessabi Souad***

*A mon cher père **Salah***

*Qui n'ont jamais cessé de formuler des prières à mon égard, de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs et diriger vers la gloire.*

*Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices qu'ils ont consenti pour mon instruction et bien être.*

*A mes chères sœurs **Fatima Selsabile Loudjeyn** et mes chers frères **Adem Youcef** et **Assir** que dieu les protège et leurs offre la chance et le bonheur.*

*A mon oncle **Lakhdar** que dieu lui donne une longue et joyeuse vie.*

*A mes chères amis **Hadil Aya Amira Fatima Raouf Choucou et Fayçal** pour leurs soutiens moraux, encouragement et amour inconditionnel.*

*A la plus formidable laborantine de Dessalement **Louchi Amira***

*Les mots ne suffisent pas pour exprimer toute ma gratitude pour ton soutien et ton aide tout au long de mon parcours.*

*Tu as été d'un grand secours, et ta présence a rendu chaque étape plus facile et plus lumineuse. Un immense merci pour tout ce que tu as fait.*

*Et au cher Directeur de Maintenance **Josi Carlos***

*Je tiens à vous adresser mes plus sincères remerciements et ma profonde gratitude pour votre grand soutien et pour avoir facilité les choses, ainsi que pour toute l'aide que vous m'avez apportée pendant cette période. Votre appui a eu un impact considérable sur la bonne exécution des tâches. Merci du fond du cœur.*

*Sans oublier mon Trinôme **Imen Romeissa et Chaima** le meilleur groupe que j'avais l'honneur de travailler avec eux. Je les remercie pour leurs patiences et leurs compréhensions tout au long de ce projet.*

**Hadjer.**

# Sommaire

<b>Remerciment</b>	2
<b>Dedicace</b>	3
الإهداء	4
الإهداء	5
<b>Dedicace</b>	6
<b>Tables des figures et des tableaux</b>	10
<b>Liste des abreviations</b>	13
<b>Resumé</b>	15
<b>Abstarct</b>	16
الملخص	17
<b>CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE</b>	3
<b>I. Généralité sur l'eau</b>	4
<b>I.1 DEFINITION DE L'EAU</b>	4
<b>I.2 RESSOURCES HYDRIQUES NATURELLES</b>	4
I.2.1 LES EAUX SUPERFICIELLES OU DE SURFACE	4
I.2.2 LES EAUX SOUTERRAINES	4
<b>II. le procede de dessalement</b>	5
<b>II.1 DEFINITION DE DESSALEMENT</b>	5
<b>II.2 DESSALEMENT DE L'EAU DE MER EN MEDITERRANEE</b>	5
<b>II.3 LE DESSALEMENT EN ALGERIE</b>	6
<b>II.4 LES DIFFERENTS PROCEDES DE DESSALEMENT</b>	9
II.1.1 PROCEDES THERMIQUES (CHANGEMENT DE PHASE)	9
II.4.1.1 Distillation Simple	9
II.4.1.3 Distillation Multi-Flash (Msf)	10
II.4.1 PROCEDES MEMBRANAIRES	11
II.4.3.1 Osmose Inverse	11
II.4.3.2 Electrodialyse	12
II.4.2 . PROCEDES CHIMIQUES	13

II.4.3	CHLORATION	13
III.	Utilisation des eaux de dessalement	14
<b>CHAPITRE II : PARTIE EXPERIMENTALE</b>		<b>15</b>
I.	Presentation du site d'etude	16
II.	Presentation de sbc spa – usine coca-cola de skikda	17
III.	Processus de dessalement applique dans la station de dessalement de skikda	18
III.1	CAPTATION D'EAU DE MER	18
III.2	PRETRAITEMENT DE L'EAU DE MER	19
III.2.1	PRETRAITEMENT PHYSIQUE	19
III.2.1.1	.L'ébauchage	19
III.2.1.2	La filtration	20
III.2.2	PRETRAITEMENT CHIMIQUE	21
III.3	PROCEDE MEMBRANAIRE (L'OSMOSE INVERSE)	23
III.4	POST TRAITEMENT	25
III.4.1	LA REMINERALISATION PAR LES TOURS DE DOLOMITE	26
III.4.1.1	La chloration	26
III.5	LE POMPAGE D'EAU PRODUITE	26
III.6	LE REJET DE SAUMURE	26
IV.	Echantillonnage	27
IV.1	PRELEVEMENT	27
IV.1.1	PROCEDURE DE PRELEVEMENT	28
IV.2	CONSERVATION ET TRANSPORT	28
V.	Analyses physico-chimiques de l'eau produite	29
V.1	MESURE DE LA TEMPERATURE (T)	29
V.2	MESURE DU PH	30
V.3	MESURE DE LA TURBIDITE	30
V.4	MESURE DE LA CONDUCTIVITE	31
V.5	MESURE DE LA MATIERE EN SUSPENSION (MES)	31
V.6	DETERMINATION DURETE TOTALE ET CALCIQUE	33
V.6.1	LA DETERMINATION DE LA DURETE TOTALE THT	33
V.7	DETERMINATION ALCALINITE TOTALE ET DIRECTE	35
V.8	L'INDICE DE LANGELIER (LSI)	38
V.9	DETERMINATION CHLORE RESIDUEL	39
V.10	DETERMINATION DE TOTAL DISSOUTE SOLIDES TDS	41
VI.	Les Analyses Microbiologiques De L'eau Produite	42

<b>VI.1</b>	<b>MATERIELS UTILISES</b>	<b>42</b>
VI.1.1	ECHANTILLONNAGE	42
VI.1.2	MILIEUX DE CULTURE SELON GERMES RECHERCHES	43
VI.1.3	EQUIPEMENTS DE LABORATOIRE	43
<b>VI.2</b>	<b>METHODE DE PRELEVEMENT</b>	<b>44</b>
<b>VI.3</b>	<b>METHODES D'ANALYSE MICROBIOLOGIQUE</b>	<b>44</b>
VI.3.1	E. COLI	44
VI.3.2	COLIFORMES TOTAUX	44
VI.3.3	COLIFORMES FECAUX	44
VI.3.4	GERMES AEROBIES MESOPHILES TOTAUX (GAMT)	45
VI.3.5	LEVURES ET MOISSURES	45
<b>I.</b>	<b>Resultats Et Interpretations Des Analyses Physicochimiques De L'eau Produite</b>	<b>46</b>
<b>I.1</b>	<b>VARIATION DES PARAMETRES ORGANOLEPTIQUES</b>	<b>46</b>
I.1.1	LA COULEUR	46
I.1.2	L'ODEUR	46
I.1.3	LE GOUT	46
<b>I.2</b>	<b>RESULTATS DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES</b>	<b>46</b>
I.2.1	POTENTIEL D'HYDROGENE PH	46
I.2.2	TEMPERATURE (C°)	47
I.2.3	CONDUCTIVITE ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	48
I.2.4	LA TURBIDITE (NTU)	48
I.2.5	TOTAL DISSOLVED SOLIDS (TDS)	49
I.2.6	ALCALINITE OU TITRE ALCALIMETRIQUE COMPLET (TAC) (MG/L $\text{CaCO}_3$ )	50
I.2.7	DURETE TOTAL (MG/L $\text{CaCO}_3$ )	51
I.2.8	CHLORE LIBRE (MG/L)	52
I.2.9	DURETE CALCIQUE (MG/L $\text{Ca}^{2+}$ )	53
I.2.10	INDICE LANGELIER	54
<b>II.</b>	<b>Resultats Des Analyses Microbiologiques :</b>	<b>55</b>
II.1.1	ESCHERICHIA COLI (E. COLI)	55
II.1.2	COLIFORMES TOTAUX	55
II.1.3	COLIFORMES FECAUX	56
II.1.4	GERMES AEROBIES MESOPHILES TOTAUX (A 37 °C ET 22 °C)	56
II.1.5	MOISSURES ET LEVURES	56
<b>Conclusion</b>		<b>59</b>
<b>References bibliographique</b>		<b>61</b>

## Tables des figures et des tableaux

### Figures :

N° de la figure	Titre de la figure	Page
<b>Figure 1</b>	Répartition de la capacité de dessalement installée en Méditerranée (Plan Bleu Environnement et Développement en Méditerranée, 2010).	<b>06</b>
<b>Figure 2</b>	Le dessalement en Méditerranée.	<b>06</b>
<b>Figure 3</b>	Emplacement géographique des stations de dessalement en Algérie.	<b>07</b>
<b>Figure 4</b>	Procédés de dessalement conventionnels industrialisés.	<b>08</b>
<b>Figure 5</b>	Schéma d'une distillation simple.	<b>09</b>
<b>Figure 6</b>	Schéma d'une distillation à effet multiple (MED).	<b>10</b>
<b>Figure 7</b>	Schéma d'une distillation multi flash (MSF).	<b>10</b>
<b>Figure 8</b>	Phénomène d'osmose : l'eau pure va naturellement vers l'eau salée.	<b>11</b>
<b>Figure 9</b>	Phénomène d'osmose inverse.	<b>11</b>
<b>Figure 10</b>	Schéma représente le phénomène de l'électrolyse .	<b>12</b>
<b>Figure 11</b>	Schéma général d'une installation de dessalement.	<b>13</b>
<b>Figure 12</b>	La station de dessalement Dessaladora de Skikda.	<b>16</b>
<b>Figure 13</b>	Vue satellitaire du site de station	<b>16</b>
<b>Figure 14</b>	Usine Coca-Cola de Skikda.	<b>17</b>
<b>Figure 15</b>	Tour de captation.	<b>17</b>
<b>Figure 16</b>	Bassin de Captation.	<b>17</b>
<b>Figure 17</b>	Filtre rotatif	<b>19</b>
<b>Figure 18</b>	Les bacs de filtration .	<b>19</b>
<b>Figure 19</b>	Les filtres à cartouche .	<b>20</b>
<b>Figure 20</b>	Citernes des produits chimiques.	<b>22</b>
<b>Figure 21</b>	Unité d'osmose inverse.	<b>23</b>
<b>Figure 22</b>	Représentation le flux d'eau dans un système d'OI.	<b>24</b>
<b>Figure 23</b>	Système de récupération d'énergie.	<b>24</b>
<b>Figure 24</b>	Processus de fonctionnement de la station.	<b>26</b>
<b>Figure 25</b>	Les points de prélèvements.	<b>26</b>
<b>Figure 26</b>	Les étapes d'échantillonnages.	<b>28</b>
<b>Figure 27</b>	Multi paramètre HANNA .	<b>28</b>

<b>Figure 28</b>	PH mètre.	<b>29</b>
<b>Figure 29</b>	Turbidimètre HANA.	<b>30</b>
<b>Figure 30</b>	Conductimètre HANNA COND 011.	<b>30</b>
<b>Figure 31</b>	Les étapes de l'analyse de la matière en suspension.	<b>32</b>
<b>Figure 32</b>	Changement de couleur lors de la réalisation de l'analyse de THT.	<b>33</b>
<b>Figure 33</b>	Les étapes de l'analyse de la dureté totale.	<b>33</b>
<b>Figure 34</b>	Changement de couleur lors de la réalisation de l'analyse de La dureté calcique.	<b>34</b>
<b>Figure 35</b>	Les étapes de l'analyse de la dureté calcique.	<b>34</b>
<b>Figure 36</b>	Changement de la couleur du bleu au vert clair pour la détermination de L'Alcalinité Totale.	<b>35</b>
<b>Figure 37</b>	Les étapes de l'analyse de L'Alcalinité Totale.	<b>36</b>
<b>Figure 38</b>	Les étapes de L'analyse de titre alcalimétrique simple.	<b>36</b>
<b>Figure 39</b>	la solution est incolore TA =0.	<b>37</b>
<b>Figure 40</b>	Chlorométrie.	<b>39</b>
<b>Figure 41</b>	Réalisation de chlore résiduel.	<b>40</b>
<b>Figure 42</b>	TDS mètre.	<b>40</b>
<b>Figure 43</b>	Protocole de l'analyse de TDS.	<b>41</b>
<b>Figure 44</b>	Protocole de l'analyse microbiologique .	<b>42</b>
<b>Figure 45</b>	L'évolution de pH en fonction du Temps.	<b>46</b>
<b>Figure 46</b>	L'évolution de Température en fonction du Temps.	<b>46</b>
<b>Figure 47</b>	L'évolution de Conductivité en fonction du Temps.	<b>47</b>
<b>Figure 48</b>	L'évolution de Turbidité en fonction du Temps.	<b>48</b>
<b>Figure 49</b>	L'évolution de TDS en fonction du Temps.	<b>49</b>
<b>Figure 50</b>	L'évolution de TAC en fonction du Temps.	<b>50</b>
<b>Figure 51</b>	L'évolution de Dureté totale en fonction du Temps.	<b>51</b>
<b>Figure 52</b>	L'évolution de Chlore libre en fonction du Temps.	<b>52</b>
<b>Figure 53</b>	L'évolution de Dureté Calcique en fonction du Temps.	<b>53</b>
<b>Figure 54</b>	L'évolution de Indice langelier en fonction du Temps.	<b>54</b>
<b>Figure 55</b>	Les résultats d'analyses bactériologique.	<b>55</b>

**Tableaux :**

<b>N° du Tableau</b>	<b>Titre du tableau</b>	<b>Page</b>
<b>Tableau 01</b>	Les grandes stations de dessalement en Algérie.	<b>08</b>
<b>Tableau 02</b>	Interprétation de la valeur de l'indice de saturation de Langelier.	<b>37</b>
<b>Tableau 03</b>	Indice de Langelier (évaluation du risque de corrosion et détartrage).	<b>38</b>

## Liste des abréviations

**ADE** : Algérienne Des Eaux.

**Ca<sup>+2</sup>** : Calcium.

**CaCO<sub>3</sub>** : Carbonate de Calcium.

**CE** : Conductivité Electrique.

**Cl<sup>-</sup>** : Chlorure.

**CMA** : Concentration Maximale Admissible.

**CO<sub>2</sub>** : Dioxyde de carbone.

**CO<sub>3</sub><sup>-2</sup>** : Carbonate.

**DPD** : c'est un réactif chimique (N,N-diéthyl-p-phénylènediamine) .

**E. coli** : bactérie indicatrice de contamination fécale.

**EDTA** : Acide Éthylène Diamine Tétra Acétique.

**ERI / PX** : dispositifs de récupération d'énergie dans les systèmes d'osmose inverse.

**Fe** : Fer.

**Fe Cl<sub>3</sub>** : Chlorure ferrique, utilisé comme coagulant.

**GAMT** : germes aérobies mésophiles totaux.

**GEIDA** : Un consortium composé de quatre sociétés : Cobra, Sadyte, Befesa et Codesa.

**H<sub>2</sub>O** : C'est la formule chimique de l'eau.

**H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>** : Acide Sulfurique.

**HANNA** : Nom commercial des appareils de mesure (conductimètre, pH-mètre, etc.).

**LSI** : Indice de Langelier (Indice de Saturation).

**m<sup>3</sup>/h** : mètres cubes par heure, débit volumique.

**m<sup>3</sup>/j** : mètres cubes par jour, capacité ou production.

**MEA** : Membranes Echangeuses d'anions.

**MEC** : Membranes Echangeuses de Cations.

**MED** : Distillation a Multiples Effets.

**MES** : Matières en suspension.

**Mg CO<sub>3</sub>** : Carbonate de magnésium.

**°C** : degré Celsius, pour la température.

**µS/cm** : microsiemens par centimètre.

**Mg/L** : milligramme par litre.

**Mg<sup>+2</sup>** : Magnésium.

**MSF** : Multi Stages Flash.

**NA** : Norme Algérien.

**Na Cl** : chlorure de sodium (sel).

**NaO Cl** : Hypochlorite de sodium, utilisé pour la désinfection.

**NE** : Norme Espagnol.

**NTU** : Unité Néphélométrique de Turbidité.

**OH<sup>-</sup>** : Hydroxyde.

**OI** : Osmose Inverse.

**OMS** : Organisation Mondiale de la Sante.

**PE** : polyéthylène, matériau utilisé pour les flacons d'échantillonnage.

**PH** : Potentiel d'Hydrogène.

**Ppm** : Parti par million.

**PVC** : Chlorure de Polyvinyle.

**TA** : Titre Alcalimétrique.

**TAC** : Titre Alcalimétrique Complet.

**TDS** : Total Dissolved Solides ou Taux des Sels Dissous.

**TDS** : Total Dissolved Solids.

**TH** : Titre Hydrométrique (dureté totale).

**THT** : Titre hydrotimétrique total, mesure de la dureté.

**UFC** : unités formant colonie, mesure du nombre de bactéries.

## Résumé

Le dessalement de l'eau de mer par osmose inverse s'impose aujourd'hui comme une alternative fiable face à la raréfaction des ressources en eau douce, notamment dans les régions arides et à forte croissance démographique. Cette technologie permet de produire une eau potable de qualité, répondant aux besoins des populations, du secteur industriel et des zones urbaines.

Le présent travail a été réalisé au sein de la station de dessalement « **Dessaladora Skikda** », située dans la wilaya de Skikda. L'objectif principal est d'évaluer l'efficacité du procédé d'osmose inverse, à travers des analyses physico-chimiques et microbiologique de l'eau produite.

Les résultats obtenus confirment que l'eau produite est conforme aux normes algériennes et internationales de potabilité, attestant de la maîtrise du processus de traitement, de la performance des membranes et du contrôle des étapes de pré- et post-traitement. Ce travail met en évidence la pertinence de cette technologie pour assurer un approvisionnement durable en eau potable dans les régions confrontées au stress hydrique.

**Mots clés** : Osmose inverse, Analyses physico-chimiques, Analyses Microbiologiques, Dessaladora , Skikda , Dessalement , potabilité .

## Abstarct

Seawater desalination using reverse osmosis is now emerging as a reliable alternative to the scarcity of freshwater resources, particularly in arid regions with high population growth. This technology produces high-quality drinking water, meeting the needs of populations, the industrial sector, and urban areas.

This study was conducted at the "Dessaladora Skikda" desalination plant, located in the province of Skikda. The main objective was to evaluate the effectiveness of the reverse osmosis process through physicochemical and microbiological analyses of the produced water.

The results obtained confirm that the produced water complies with Algerian and international potability standards, demonstrating the mastery of the treatment process, the performance of the membranes, and the control of the pre- and post-treatment stages. This work highlights the relevance of this technology to ensure a sustainable supply of drinking water in regions facing water stress.

**Keywords:** Reverse osmosis, Physicochemical analyses, Microbiological analyses, Skikda Dessaladora , potability . desalination .

## الملخص

أصبح تحلية مياه البحر عن طريق التناضح العكسي الآن بديلاً موثوقاً به لندرة موارد المياه العذبة ، لا سيما في مناطق النمو السكاني القاحلة والعالية. تتيح هذه التكنولوجيا إنتاج مياه شرب عالية الجودة ، وتلبية احتياجات السكان والقطاع الصناعي والمناطق الحضرية. تم تنفيذ العمل الحالي في محطة تحلية المياه "Dessaladora Skikda" الواقعة في ولاية سكيكدة .

الهدف الرئيسي هو تقييم فعالية عملية التناضح العكسي ، من خلال التحليلات الفيزيائية و الكيميائية والميكروبيولوجية للمياه المنتجة. تؤكد النتائج التي تم الحصول عليها أن المياه المنتجة تتوافق مع المعايير الجزائرية والدولية للشرب ، مما يدل على التحكم في عملية المعالجة ، وأداء الأغشية والتحكم في خطوات ما قبل المعالجة وبعدها. يسلط هذا العمل الضوء على أهمية هذه التكنولوجيا لضمان إمداد مستدام بمياه الشرب في المناطق التي تواجه الإجهاد المائي.

**الكلمات المفتاحية :** التناضح العكسي ، التحليلات الفيزيائية والكيميائية ، التحليلات

الميكروبيولوجية، ديسالادورا سكيكدة ، صالحة للشرب ، تحلية المياه .

# **Introduction**

## Introduction

---

L'eau, souvent appelée « or bleu », est omniprésente sur notre planète et constitue un élément vital pour tous les êtres vivants : des plantes aux animaux, en passant par l'être humain. Elle joue un rôle fondamental dans nos activités quotidiennes et dans le maintien des équilibres écologiques.

La Terre, surnommée à juste titre « la planète bleue », donne l'illusion d'une ressource abondante et inépuisable, puisque environ 72 % de sa surface est recouverte d'eau. Toutefois, 97,2 % de cette eau est salée, et seulement 2,8 % est douce. Or, cette eau douce est en grande partie emprisonnée dans les glaciers, les calottes polaires ou confinée dans des nappes profondes difficilement accessibles, ne laissant qu'un faible pourcentage réellement disponible pour les besoins de l'homme [1].

De plus, cette eau douce accessible est inégalement répartie à travers le globe, ce qui entraîne des tensions croissantes entre les pays partageant des ressources hydriques communes. Cette pression est accentuée par la croissance démographique, les activités humaines intensives, et les changements climatiques, qui affectent la répartition et la disponibilité de cette ressource vitale [2].

En Algérie, la situation est particulièrement préoccupante. Le pays est confronté à une demande croissante en eau, alors même que les ressources disponibles diminuent. Depuis plus de deux décennies, le territoire subit un contexte de sécheresse chronique, rendant les ressources hydriques conventionnelles de plus en plus insuffisantes pour répondre aux besoins des populations [3].

Aujourd'hui, l'Algérie figure parmi les pays situés sous le seuil de pénurie d'eau (soit moins de 1000 m<sup>3</sup>/an/habitant), avec des ressources évaluées à seulement 19,4 milliards de m<sup>3</sup>/an. Face à cette situation critique, il est devenu impératif d'explorer des alternatives durables à l'exploitation directe de l'eau douce issue des milieux naturels. Dans ce contexte, les autorités algériennes ont fait le choix stratégique de recourir au dessalement de l'eau de mer, une solution adaptée aux potentiels côtiers du pays, qui dispose d'un littoral de plus de 1200 kilomètres [4].

Ce mémoire vise à évaluer la qualité physico-chimique et microbiologique de l'eau dessalée produite par la station de dessalement « Dessaladora » située dans la wilaya de Skikda, qui utilise le procédé de l'osmose inverse.

Le présent travail est structuré en trois chapitres :

- Chapitre 1 : consacré à une étude bibliographique sur le dessalement

## **Introduction**

---

- Chapitre 2 : Présentation détaillée de la station de dessalement de Skikda, du procédé d'osmose inverse, ainsi que des matériels et méthodes utilisés.
- Chapitre 3 : Présentation des résultats expérimentaux, interprétation et discussion.

Enfin, nous clôturons ce mémoire par une conclusion générale résumant les résultats obtenus et formulant des recommandations.

# **Chapitre I : Etude Bibliographique**

## I. Généralité sur l'eau

### I.1 Définition de l'eau

L'eau est une molécule constituée de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène, dont la formule chimique est  $H_2O$ . Elle est incolore, inodore et insipide dans ses formes les plus pures. À température et pression ambiantes, elle se présente à l'état liquide, mais elle peut aussi exister sous forme solide (glace) ou gazeuse (vapeur) selon les conditions de température et de pression [5]. Sur le plan physico-chimique, l'eau est un solvant polaire universel, capable de dissoudre une grande variété de substances, ce qui lui confère un rôle fondamental dans les réactions chimiques et biologiques [6, 7]. Sur le plan biologique, l'eau est essentielle à la vie : elle est le principal constituant des cellules (70 % à 90 % de la masse cellulaire), intervient dans les processus métaboliques (hydrolyse, transport des nutriments, thermorégulation), et constitue le milieu de base de toutes les réactions biochimiques [8].

### I.2 Ressources hydriques naturelles

Trois types de sources d'eau sont utilisés par l'homme pour d'une part, satisfaire ses propres besoins en eau de consommation, d'autre part, répondre aux besoins industriels et agricoles. Les sources d'eaux concernent [9].

#### I.2.1 Les eaux superficielles ou de surface

Les eaux de surface regroupent l'ensemble des eaux qui s'écoulent ou stagnent à la surface des continents : rivières, fleuves, lacs, étangs, barrages, etc. Elles proviennent principalement du ruissellement des précipitations et de l'émergence de nappes phréatiques. Ces eaux sont soumises à des variations saisonnières et climatiques importantes, qui influencent leur température, turbidité, coloration et charge en matières solides ou colloïdales [10].

#### I.2.2 Les eaux souterraines

Les eaux souterraines sont issues de l'infiltration des eaux de pluie dans le sol et le sous-sol. Elles s'accumulent dans des formations géologiques perméables appelées nappes phréatiques ou aquifères. Leur qualité dépend fortement de la nature géologique du sol traversé. Par exemple, les sols granitiques donnent des eaux acides et peu minéralisées, tandis que les sols calcaires produisent des eaux bicarbonatées riches en calcium [11].

Ces eaux sont généralement protégées de la pollution de surface grâce à leur isolement, mais lorsqu'elles sont contaminées (par des infiltrations d'eaux usées, produits chimiques, etc.), leur

dépollution est complexe. En effet, les polluants s'adsorbent sur les minéraux du sous-sol, rendant difficile le retour à l'état initial [7,11].

## II. Le procédé de dessalement

### II.1 Définition de dessalement

Le dessalement est une technique de traitement de l'eau salée qui permet d'en extraire les sels dissous afin de la rendre potable [12]. Il s'agit aujourd'hui d'une solution stratégique dans les régions arides confrontées à la rareté des ressources en eau douce [13].

### II.2 Dessalement de l'eau de mer en Méditerranée

Les pays méditerranéens sont confrontés à une pression croissante sur leurs ressources en eau en raison de la diminution des précipitations, du changement climatique, de la croissance démographique et du développement industriel. Dans des pays comme l'Égypte, la Libye, Malte, la Syrie et Gaza, les prélèvements d'eau dépassent déjà les capacités de renouvellement. La région méditerranéenne représente aujourd'hui environ 25 % de la capacité mondiale de dessalement, et pourrait atteindre 30 à 40 millions de m<sup>3</sup>/jour d'ici 2030, selon les experts [14].

- Plusieurs pays de la région ont déjà mis en place des installations :
- **Maroc** : 20 000 m<sup>3</sup>/j installés, projets à Agadir et Tan-Tan ;
- **Tunisie** : 95 000 m<sup>3</sup>/j ;
- **Libye** : 900 000 m<sup>3</sup>/j, incluant un projet de dessalement nucléaire ;
- **Égypte** : usines situées principalement sur la mer Rouge ;
- **Malte** : le dessalement couvre 60 % des besoins en eau potable ;
- **Chypre** : deux usines opérationnelles. (Fig. 01)

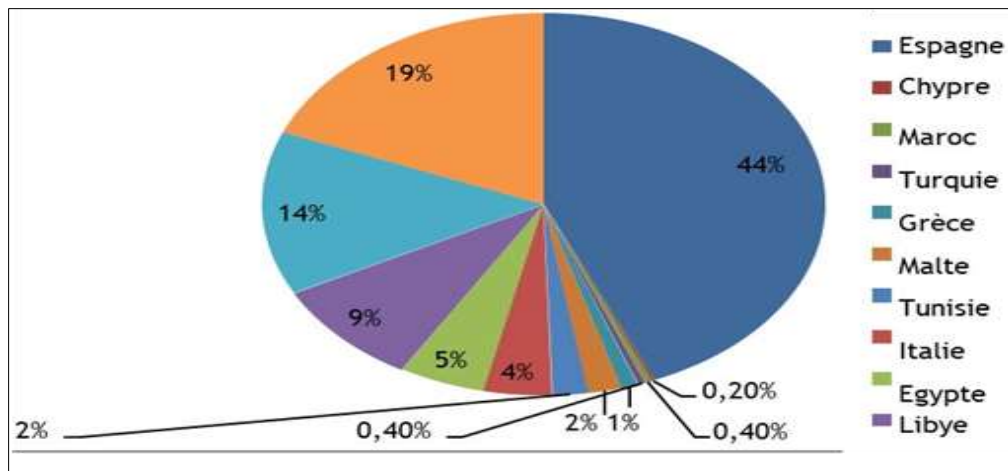


Figure. 01- Répartition de la capacité de dessalement installée en Méditerranée [15].

La technologie privilégiée est l’osmose inverse, mais les techniques de distillation et d’électrodialyse sont également utilisées. Chaque procédé présente des avantages techniques mais aussi des contraintes économiques et environnementales. (Fig. 02)

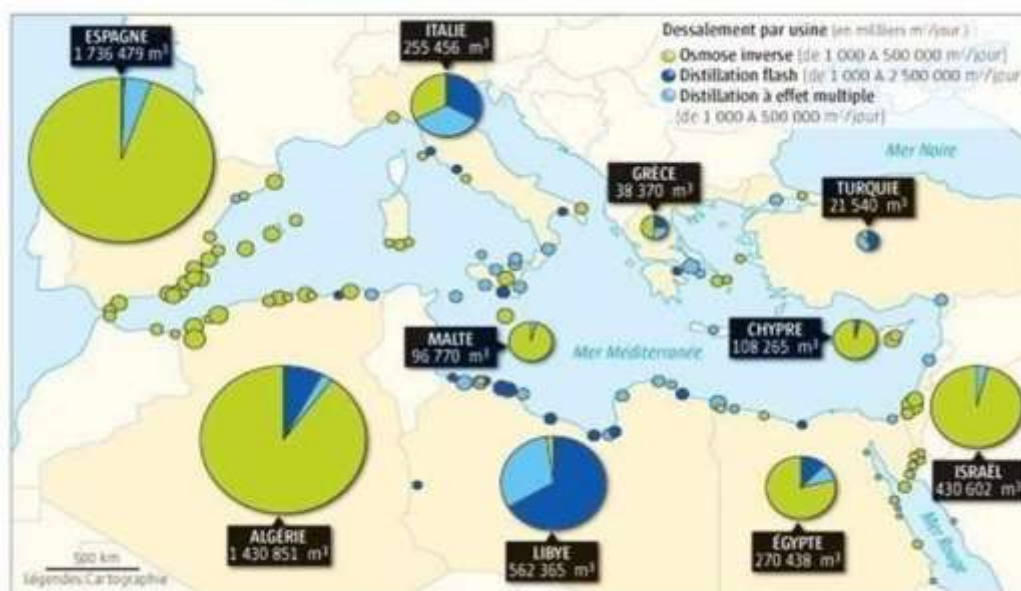


Figure.02 - Le dessalement en Méditerranée [16].

### II.3 Le dessalement en Algérie

Confrontée à des sécheresses prolongées et à une insuffisance des ressources conventionnelles, l’Algérie a adopté le dessalement de l’eau de mer comme solution stratégique pour garantir l’approvisionnement en eau potable, notamment dans les villes du nord du pays [17].

Les premières expériences datent de 1964, avec l'installation de trois petites unités de 8 m<sup>3</sup>/j à Arzew, puis une unité de 4560 m<sup>3</sup>/j en 1969) [16]. Le développement de la filière a toutefois été ralenti durant les années 1980-1990 en raison de la crise économique.

En 2001 , un programme d'urgence conduit par l'Algérienne des Eaux a permis la construction de 23 stations monoblocs (Fig.03) totalisant 57 500 m<sup>3</sup>/j , couvrant plusieurs wilayas (Tlemcen, Oran, Tipaza, Alger, Boumerdès, Skikda, Tizi Ouzou). Entre 2003 et 2005, 14 grandes stations supplémentaires ont été mises en service, avec une capacité totale de 1 940 000 m<sup>3</sup>/j [16 ,17].

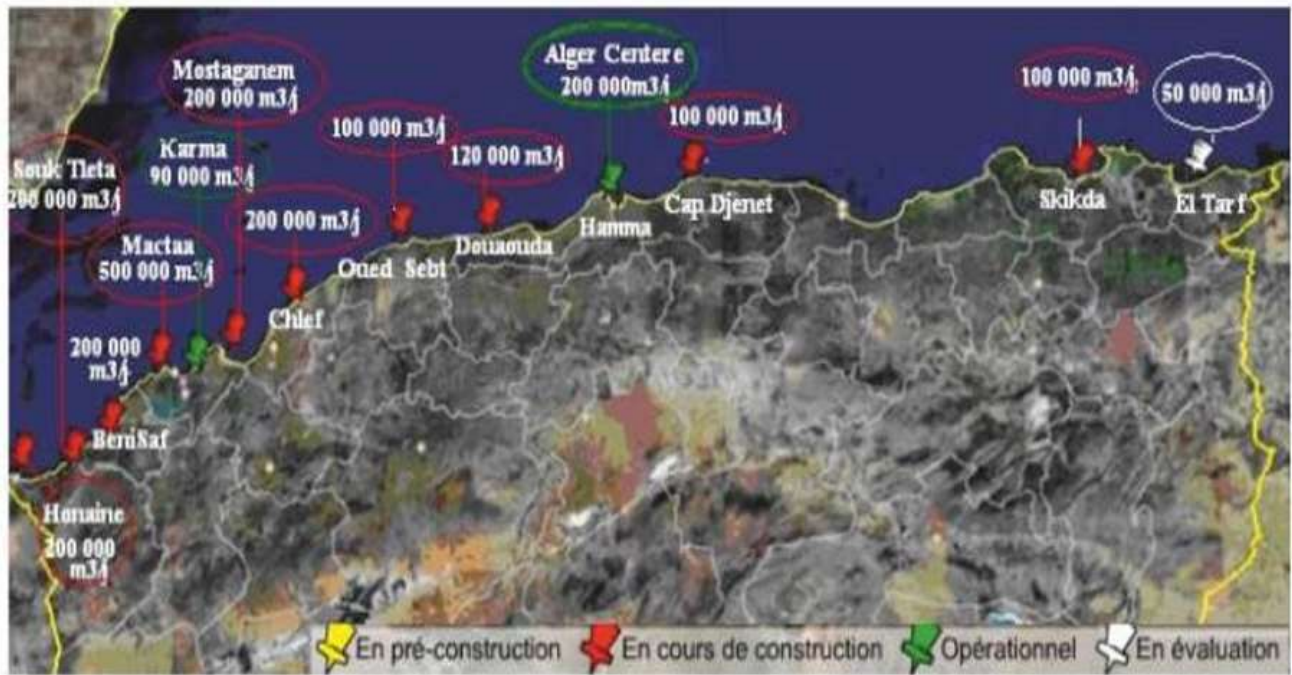


Figure.03- Emplacement géographique des stations de dessalement en Algérie [18].

**Tableau 01.** Les grandes stations de dessalement en Algérie [19].

N°	Localisation	Capacité m3/j	Population à servir	Echéancier prévisionnel
01	Kahrama (Arzew)	90 000	540 000	En Exploitation
02	Hamma (Alger)	200 000	L'Algérois	En Exploitation
03	Skikda	100 000	666 660	En Exploitation
04	BeniSaf (A.Temouchent)	200 000	1 333 320	En Exploitation
05	Mostaganem	200 000	1 333 320	En Exploitation
06	Douaouda (Alger Ouest)	120 000	666 660	En Exploitation
07	Cap Djenet (Alger Est)	100 000	666 660	En Exploitation
08	Souk Tleta (Tlemcen)	200 000	1 333 320	En Exploitation
09	Honaine (Tlemcen)	200 000	1 333 320	En Exploitation
10	Mactaa (Oran)	500 000	1 333 320	1er Trimestre 2014
11	El Tarf	50 000	-	-
12	Ténès	200 000	999 990	-
13	Oued Sebt (Tipaza)	100 000	-	-

## II.4 Les différents procédés de dessalement

Il existe trois grandes catégories de procédés de dessalement pour transformer l'eau de mer ou saumâtre en eau douce [20] :

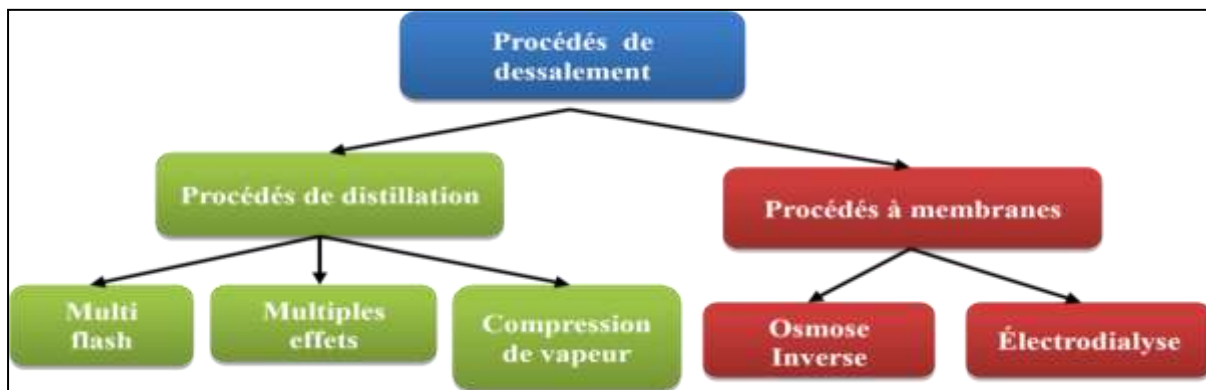


Figure 04. Procédés de dessalement conventionnels industrialisés [20]

### I.1.1 Procédés thermiques (changement de phase)

Ils utilisent la chaleur pour évaporer l'eau, puis la condenser en eau douce, en séparant ainsi les sels.

#### II.4.1.1 Distillation simple

La distillation consiste à évaporer l'eau de mer en utilisant soit la chaleur du soleil, soit un chauffage à l'aide d'une chaudière. Seules les molécules d'eau s'évaporent, laissant les sels et autres impuretés derrière. La vapeur obtenue est ensuite condensée pour produire de l'eau douce [21].

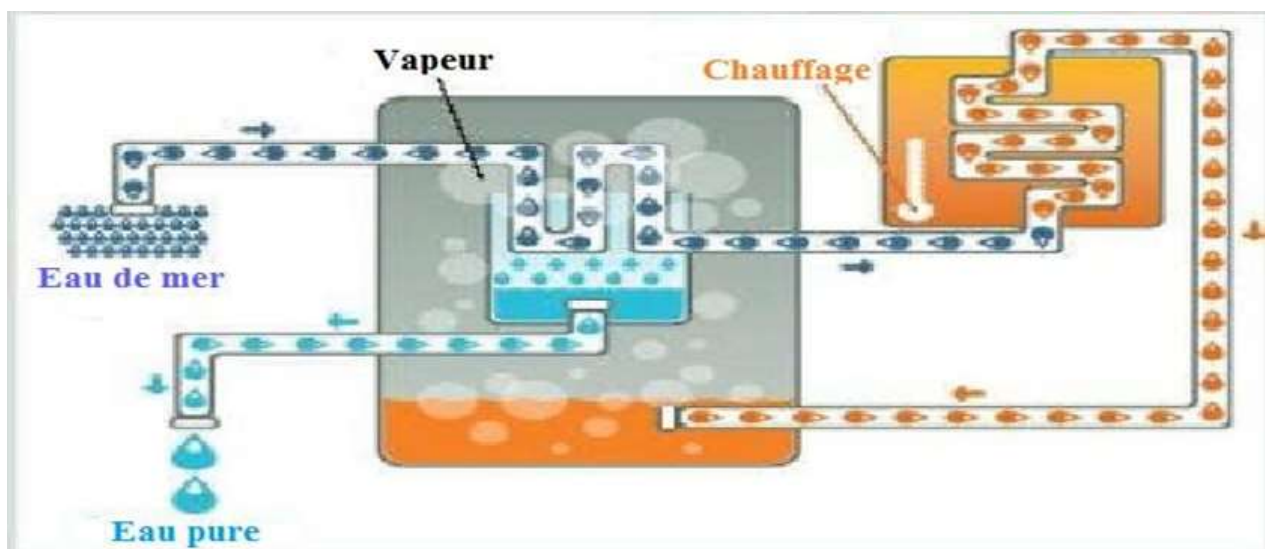
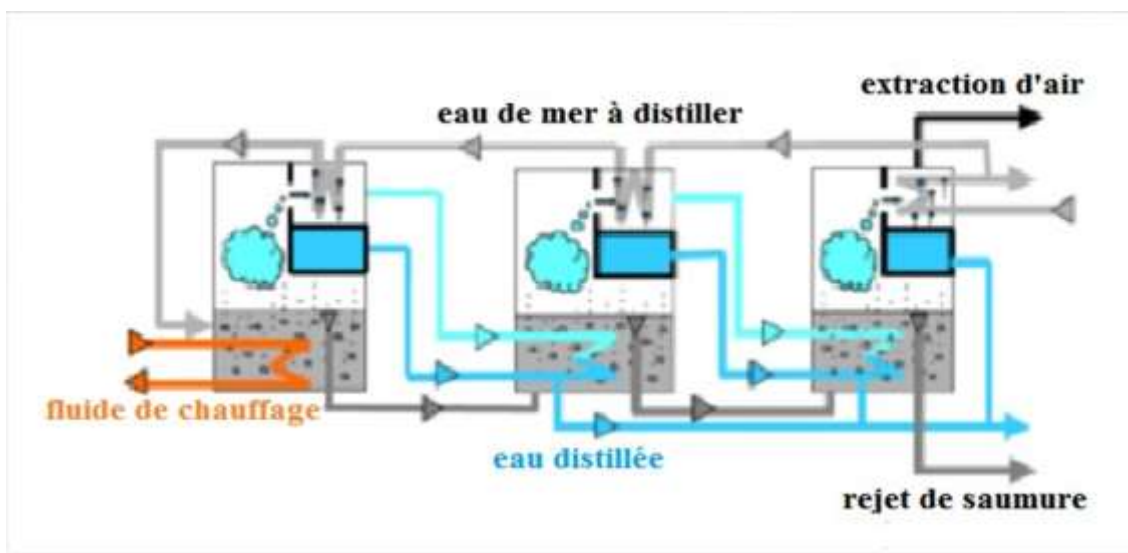


Figure 05. Schéma d'une distillation simple [21].

### II. 4.1.2. Distillation à effet multiple (MED)

La distillation à effet multiple (MED) fonctionne comme suit : dans la première cellule de distillation (effet 1), de l'eau de mer s'écoule sur des tubes chauffés par une chaudière. Une partie de l'eau de mer s'évapore à environ 70°C, car la pression dans l'effet 1 est inférieure à la pression atmosphérique. L'eau de mer restante, non évaporée, s'accumule au fond de la cellule. La vapeur d'eau générée est ensuite dirigée vers le serpentin de l'effet 2, où la température et la pression sont encore plus basses que celles de l'effet 1. La vapeur se condense en eau distillée, qui est ensuite extraite de la cellule à l'aide d'une pompe [21].



**Figure 06.** Schéma d'une distillation à effet multiple (MED) [17].

### II.4.1.3 Distillation multi-flash (MSF)

Dans le processus de distillation multi-flash (MSF), l'eau de mer est chauffée sous pression à 120°C tout en restant à l'état liquide. Ensuite, elle est dirigée vers une cellule où la pression est réduite. Une partie de l'eau sous pression s'évapore immédiatement lors de ce processus de détente, appelé "flash". La vapeur d'eau générée monte ensuite et entre en contact avec des conduits froids où circule de l'eau de mer, ce qui permet sa condensation en eau douce. Cette eau distillée est ensuite extraite de la cellule à l'aide d'une pompe. L'eau de mer non évaporée dans la première cellule passe ensuite dans une deuxième cellule où la pression est encore plus faible. Un deuxième flash se produit, d'où le nom de distillation multi-flash [22].

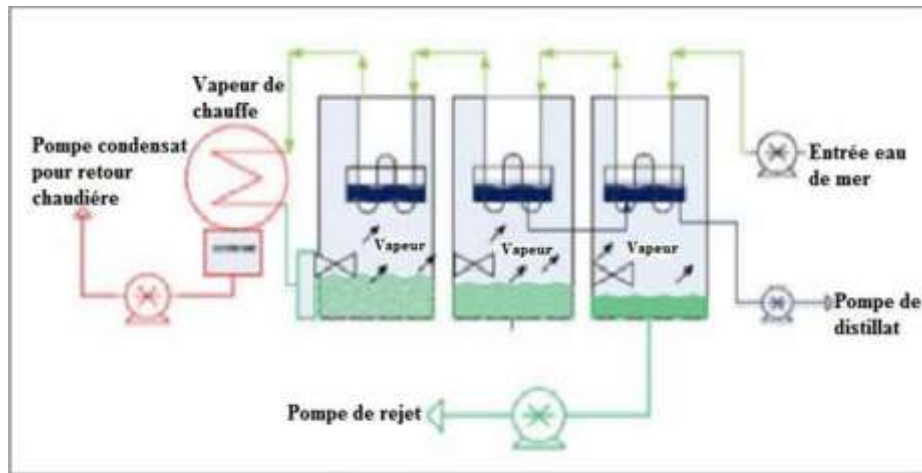


Figure 07. Schéma d'une distillation multi flash (MSF) [22].

### II.4.1 Procédés membranaires

Ils utilisent des membranes semi-perméables pour séparer l'eau des sels sans changement d'état. Deux technologies utilisant ces membranes sont actuellement commercialisées : l'électrodialyse et l'osmose inverse.

#### II.4.3.1 Osmose inverse

Une pression élevée est appliquée sur l'eau salée pour forcer l'eau à traverser une membrane semi-perméable, retenant les sels [17].

Les composants principaux d'une installation sont :

- Membranes sélectives
- Modules (plans, spiralés, tubulaires, à fibres creuses)
- Pompes haute pression
- Systèmes de récupération d'énergie

Les membranes éliminent aussi microalgues, bactéries, virus et micropolluants [23].

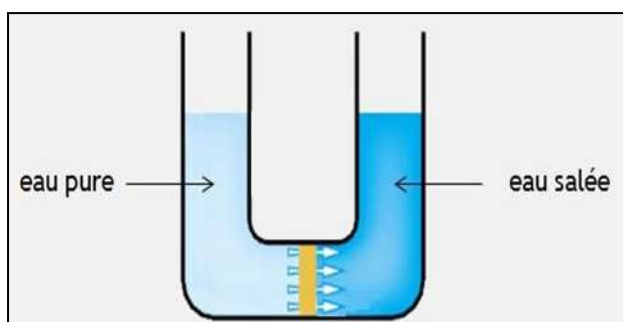


Figure 08. Phénomène d'osmose : l'eau pure va naturellement vers l'eau salée [17].

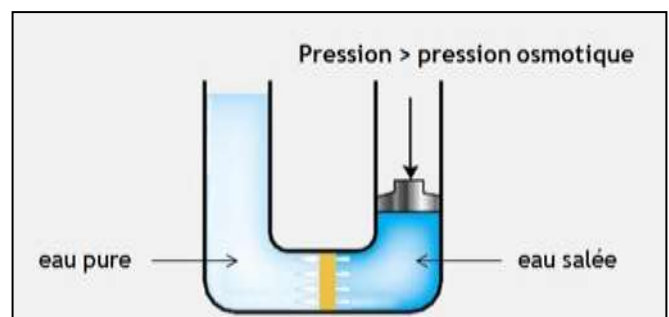


Figure 09. Phénomène d'osmose inverse [17].

### II.4.3.2 Électrodialyse

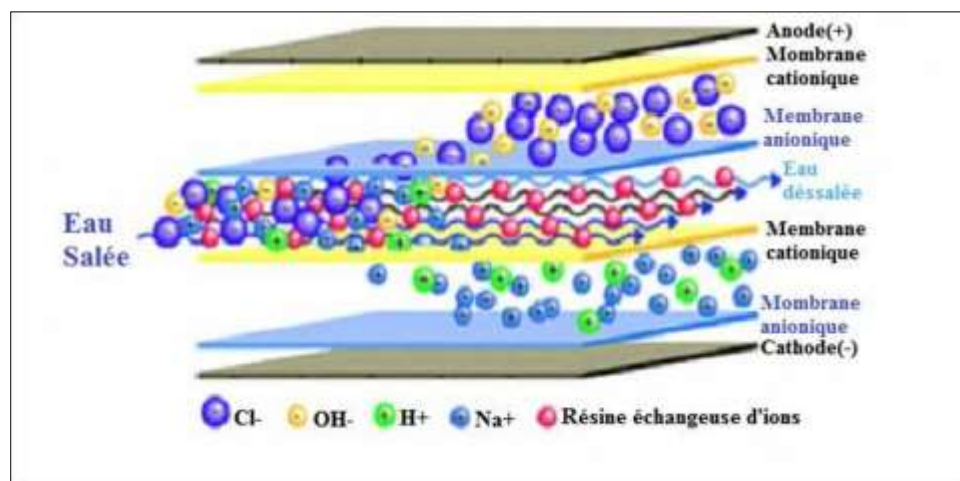
L'électrodialyse est un procédé de dessalement chimique qui sépare les ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  d'une solution salée à l'aide de membranes échangeuses d'ions et d'un champ électrique. Le système est composé de :

- **Membranes anioniques (MEA)** : perméables uniquement aux anions (ex.  $\text{Cl}^-$ ).
- **Membranes cationiques (MEC)** : perméables uniquement aux cations (ex.  $\text{Na}^+$ ).
- **Électrodes** : une cathode (-) et une anode (+) génèrent le champ électrique.

Sous l'effet du champ électrique, les  $\text{Na}^+$  migrent vers la cathode en traversant les MEC, tandis que les  $\text{Cl}^-$  se dirigent vers l'anode via les MEA. Les ions sont « piégés » dans des compartiments alternés, créant :

- Des compartiments de dilution (eau appauvrie en sel).
- Des compartiments de concentration (eau enrichie en sel).

Les membranes sont fabriquées en polymères (ex. PVC), similaires aux résines échangeuses d'ions. Un prétraitement est nécessaire pour éliminer les particules  $>10$  nm ou substances (ex. oxydes de fer, anions organiques) risquant de colmater les membranes ou neutraliser leur sélectivité [24].



**Figure 10.** Schéma représente le phénomène de l'électrodialyse [24].

II.4.2 . Procédés chimiques

L'eau dessalée par membrane présente un pH bas (5.5) et est pauvre en calcium, avec une alcalinité faible, en raison du rejet important de ces ions par les membranes. Cette eau n'est pas adaptée à la consommation humaine ni à l'agriculture. Son faible alcalinité et la présence de CO<sub>2</sub> la rendent corrosive, ce qui peut entraîner la dissolution de dépôts dans les tuyauteries et ne pas respecter certains critères des normes techno-sanitaires [26]. La Correction du pH et minéralisation se fait par l'ajout de solution alcaline (automatisé) pour neutraliser l'acidité. La dolomite, un minéral composé de carbonate de calcium et de magnésium (CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>), est utilisée dans ce processus [26].



II.4.3 Chloration

Une étape de désinfection est essentielle pour prévenir toute contamination et prolifération biologique. Plusieurs méthodes existent, mais la plus couramment utilisée est la chloration, réalisée avec une solution d'hypochlorite de sodium (eau de Javel). Ce procédé permet d'éliminer les organismes pathogènes présents dans l'eau et de la protéger contre d'éventuelles contaminations lors de son transport ou de son stockage. À l'issue des quatre étapes du traitement, l'eau de mer devient potable ou utilisable pour des applications industrielles, avec une concentration en sels ne dépassant pas 0,5 g par litre [27].

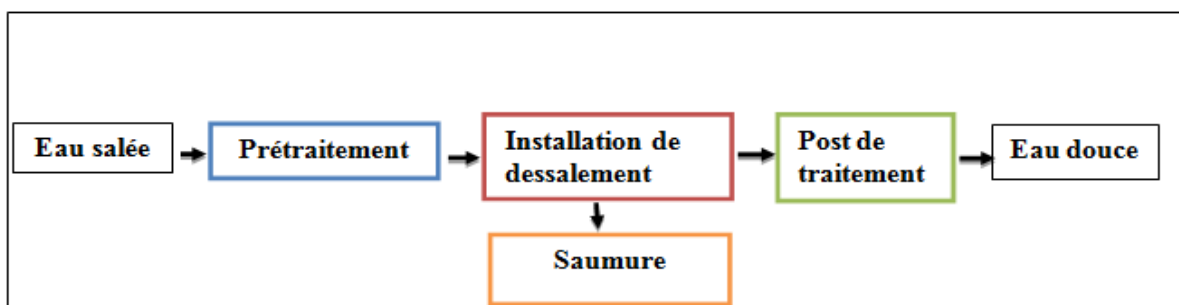


Figure 11. Schéma général d'une installation de dessalement [28].

**III. Utilisation des eaux de dessalement**

Le dessalement de l'eau de mer est souvent perçu comme une solution miracle face à la raréfaction de l'eau potable. Cependant, il sert parfois à masquer des problèmes de gaspillage ou de mauvaise gouvernance de l'eau, retardant ainsi les réformes nécessaires. Aujourd'hui, les ressources en eau oscillent entre deux extrêmes : d'un côté, des événements climatiques tels que cyclones et inondations entraînent une surabondance d'eau, tandis que de l'autre, sécheresses et désertification provoquent des pénuries sévères, rendant les conditions de vie extrêmement difficiles. Cette dualité touche aussi bien les pays développés que ceux en développement. Si le dessalement apparaît comme une solution prometteuse, il reste limité aux régions côtières et aux industries nécessitant une grande quantité d'eau. En revanche, son utilisation pour l'irrigation demeure inappropriée en raison de sa consommation énergétique élevée [25] .

# **Chapitre II : Partie expérimentale**

## I. Présentation du Site d'étude

L'étude expérimentale a été réalisée au sein de la station de dessalement d'eau de mer UTE Dessaladora O&M, sur une période d'un mois, allant du 9 février au 9 mars 2025. Cette installation, construite par une entreprise espagnole dans le cadre d'un investissement direct étranger, est spécialisée dans la production d'énergie électrique, le dessalement de l'eau de mer, ainsi que les énergies renouvelables.

La station est située dans la zone urbaine de Skikda, à environ 510 kilomètres à l'est d'Alger, au cœur d'une région industrielle. Elle se trouve plus précisément dans le complexe pétrochimique d'Oued Safsaf, au lieu-dit DIARE CHITANE, à environ 2 kilomètres à l'est du centre-ville de Skikda. L'installation s'étend sur une superficie de 4 hectares, délimitée au nord par la mer Méditerranée, au sud par la raffinerie de Skikda, à l'ouest par le complexe Polymed, et à l'est par la plaine de Ben M'Hidi. Mise en service en 2008 par le groupe espagnol GEIDA, la station dispose d'une capacité de production de 100 000 m<sup>3</sup> d'eau dessalée par jour. Elle utilise le procédé d'osmose inverse, avec un taux de conversion de 47 %, réparti sur cinq modules d'une capacité de 20 000 m<sup>3</sup>/jour chacun. L'eau de mer est prélevée par une conduite sous-marine d'environ un kilomètre de long, tandis que la saumure rejetée est évacuée via un émissaire sous-marin. Le principal client de la station est la société nationale SONATRACH, à travers l'Algérienne des Eaux (ADE).

Actuellement à l'arrêt, cette station nécessite une réhabilitation. Une seconde unité de dessalement, mise en service en 2009 avec une capacité équivalente de 100 000 m<sup>3</sup>/jour, assure désormais l'approvisionnement. Sur cette capacité, 60 000 m<sup>3</sup> sont réservés aux besoins de la raffinerie, tandis que les 40 000 m<sup>3</sup> restants sont destinés à l'alimentation en eau potable de la ville de Skikda, de sa zone industrielle, ainsi que des localités environnantes : El-Hadaiek, Hammadi Krouma, Fil Foula, Beni Bechir, Ramdane Djamel, Salah Bouchaour, El Harrouch et Emdjez Edchiche. Cette distribution couvre une population estimée à 360 000 habitants.



Figure 12. la station de dessalement Dessaladora de Skikda.



Figure 13. Vue satellitaire de la station dessaladora.

## II. Présentation de SBC Spa – Usine Coca-Cola de Skikda

La Société des Boissons de Skikda (SBC Spa) est une unité industrielle spécialisée dans l'embouteillage de boissons gazeuses sous franchise de The Coca-Cola Company . Elle est implantée dans la zone industrielle de Hamrouche Hammoudi, dans la wilaya de Skikda. L'usine est intégrée au Groupe Castel, acteur majeur dans le secteur agroalimentaire.



Figure 14. Usine Coca-Cola de Skikda.

### III. Processus de dessalement appliqué dans la station de dessalement de Skikda

Les processus de dessalement passent par les quatre étapes suivantes :

- La captation de l'eau de mer.
- Le prétraitement.
- Le procédé membranaire.
- Le post-traitement.

#### III.1 Captation d'eau de mer

Le type de prise d'eau est ouvert. L'eau captée a une distance estimée par 2Km et 20m parcours de marée, est recueillie dans les tours de captation puis traversée vers le bassin qui est lié par 6 pompes l'une d'elle étant de réserve, elles pompent l'eau vers le collecteur (avant les filtres à sables) de pression égale à 6 bars, et un débit de  $1800 \text{ m}^3/\text{h}$  pour chaque pompe [29].



Figure 15. Tour de captation.



Figure 16. Bassin de Captation .

### III.2 Prétraitement de l'eau de mer

Le choix de la filière de prétraitement constitue une étape cruciale dans le processus de dessalement, en particulier lorsqu'il implique des membranes à haute pression telles que celles utilisées pour l'osmose inverse ou la nanofiltration. Ce choix dépend étroitement de l'origine et adsorption, absorption de la qualité de l'eau brute, et dans les cas complexes, il peut nécessiter des essais pilotes pour en valider l'efficacité [30].

Un prétraitement inadéquat peut entraîner un colmatage des membranes, qu'il soit d'origine minérale, organique ou biologique, compromettant ainsi leur fonctionnement optimal. C'est pourquoi cette étape est indispensable pour garantir la durabilité et la performance du système membranaire. Le prétraitement vise à :

- Réduire significativement la turbidité et les matières en suspension dans l'eau brute.
- Éliminer toute présence d'hydrocarbures (lourds ou légers).
- Supprimer les algues, notamment lors de leur prolifération saisonnière .
- Diminuer fortement le pouvoir colmatant de l'eau en agissant par ou précipitation sur les substances minérales et organiques en suspension.

#### III.2.1 Prétraitement physique

Le prétraitement physique comprend plusieurs étapes successives visant à éliminer les plus gros polluants présents dans l'eau brute.

##### III.2.1.1 L'ébauchage

L'ébauchage constitue la première barrière de protection du système. Il a pour objectifs :

- De protéger les installations contre l'intrusion accidentelle de corps étrangers de grande taille susceptibles de provoquer des obstructions ;
- De séparer les éléments grossiers pour faciliter les traitements ultérieurs et éviter toute détérioration ou inefficacité des étapes suivantes.

Cette opération est réalisée à l'aide de grilles, de barreaux métalliques ou de filtres rotatifs, avec différents niveaux de séparation :

- Pré-ébauchage : séparation des particules de **50 à 100 mm** .

- Ébauchage moyen : séparation de 25 à 50 mm ;
- Ébauchage fin : séparation des particules de 3 à 10 mm



Figure 17. Filtre rotatif.

### III.2.1.2 La filtration

La filtration s'effectue par des filtres sous pression. Il y a deux étapes de filtration:

- **Première étape de filtration (filtre à sable) :** L'eau passe par 25 filtres à sable, chacun d'une capacité de 100 m<sup>3</sup>, pour une première élimination des particules solides.
- **Deuxième étape de filtration (filtre anthracite) :** L'eau est ensuite traitée dans 15 filtres à anthracite (mélange de sable et charbon actif), également de 100 m<sup>3</sup> chacun, pour une purification plus poussée.



Figure 18. Les bacs de filtration .

**❖ Filtration fine (nanométrique ou filtration à cartouche) :**

La filtration par cartouche est largement recommandée pour garantir une finesse de filtration de 5  $\mu\text{m}$ , seuil exigé par les fabricants de membranes d'osmose inverse. Dans l'usine, 10 porte-cartouches sont installés, chacun contenant 277 cartouches filtrantes disposées verticalement. Ces cartouches mesurent 61 mm de diamètre, 1,28 m de longueur, et fonctionnent à une vitesse de filtration de 13,4 m/h.

Chaque cartouche est constituée d'une âme perforée centrale, autour de laquelle s'enroule un fil filtrant assurant la précision du diamètre des pores. L'eau circule de l'extérieur vers l'intérieur de la cartouche, sous une pression de 6 bars et à un débit de 900 m<sup>3</sup>/h. Elle entre généralement par la base du filtre et est collectée à la partie supérieure après filtration.

L'accumulation des particules sur les cartouches entraîne une augmentation des pertes de charge, ce qui impose leur remplacement ou nettoyage après environ 116 jours de service [31].

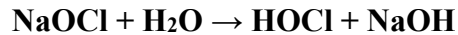


**Figure 19.** Les filtres à cartouche .

### III.2.2 Prétraitement chimique

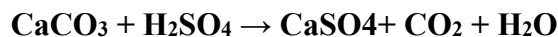
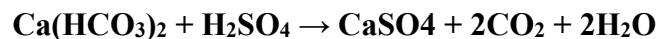
Le prétraitement chimique vise à limiter la contamination biologique (algues, polluants organiques) et à prévenir les réactions chimiques pouvant endommager les membranes d'osmose inverse, notamment par formation de précipités insolubles. Il se compose de quatre principales étapes :

- **Désinfection** : Pour limiter le biofouling, l'hypochlorite de sodium (NaOCl) est injecté en amont, généralement au niveau du bassin de captation ou avant la filtration sur sable. Il réagit avec l'eau pour former l'acide hypochloreux (HOCl), agent biocide actif :



L'injection s'effectue à l'aide de 6 pompes de dosage, l'une d'elle étant de réserve, de débit 75 l/h chacune et leur concentration 5ppm. Deux citernes d'hypochlorite de capacité 120m<sup>3</sup> chacune sont disponibles.

- **Ajustement du pH** : L'eau de mer a un pH élevé (environ 8), ce qui nuit à la performance membranaire et favorise les dépôts de carbonate de calcium. L'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) est injectée amont du filtre à sable, avec une concentration de 35 ppm. pour:
  - abaisser le pH à un niveau optimal ;
  - prévenir la précipitation du carbonate calcique ;
  - renforcer l'efficacité de la désinfection.



L'injection s'effectue à l'aide de 6 pompes de dosage l'une d'elle étant de réserve, par 38 l/h de débit chacune. L'équipement d'acide sulfurique pour le prétraitement, sera formé de deux citernes de stockage de capacité 50 m<sup>3</sup> chacune.

- **Inhibition de l'incrustation**

Des antitartres (dispersants à base de phosphonates ou polyélectrolytes) sont injectés pour éviter la formation de dépôts de sels de calcium, strontium ou fluor. L'injection de produit s'effectuera avant les filtres à cartouche. L'équipement comprend deux citernes de 1500 litres de capacité chacune. On dispose 6 pompes de dosage, l'une d'elle étant de réserve, par un 23 l/h de débit chacune et de concentration 1,20 ppm.

- **Coagulation** : Enfin, le chlorure ferrique (FeCl<sub>3</sub>) est utilisé comme agent coagulant pour regrouper les particules fines et faciliter leur élimination.



Figure20. Citernes des produits chimiques.

### III.3 Procédé membranaire (l'osmose inverse)

La station dispose de cinq unités d'osmose inverse, chacune ayant une capacité de 20 000 m<sup>3</sup>/jour. Chaque unité est composée de deux sections (droite et gauche), contenant respectivement 123 et 122 tubes de pression. Chaque tube abrite 7 modules spiralés en polyamide, connectés entre eux.

Le procédé d'osmose inverse utilise une circulation tangentielle de l'eau sur les membranes, ce qui permet de produire environ 10 % du flux sous forme de perméat. Le reste de l'eau, enrichi en sels, est évacué sous forme de concentrat (ou saumure).

La mise en pression de l'eau de mer s'effectue en deux étapes :

- 47 % de l'eau est pompée directement vers les unités d'osmose inverse via une pompe haute pression ;
- 53 % récupèrent l'énergie de la saumure sortante (à environ 67 bar) via des chambres de récupération d'énergie (ERI).

L'eau prétraitée est dirigée vers cinq châssis d'osmose inverse, où a lieu la séparation entre l'eau douce et les sels dissous.



Figure 21. Unité d'osmose inverse .

- **Le récupérateur d'énergie**

Le récupérateur d'énergie de type **PX (Pressure Exchanger)** permet de transférer directement la pression de la saumure sortante (à haute pression) vers l'eau de mer entrante (à basse pression), avec une efficacité d'environ 97 %. Ce transfert s'effectue via un contact momentané des flux dans les conduits rotatifs du dispositif.

L'eau de mer ainsi pressurisée, en volume et pression équivalents à la saumure, passe ensuite par une pompe de recirculation. Cette pompe compense les pertes de charge dues aux frottements dans le PX, les membranes et les tuyauteries.

Enfin, l'eau de mer à haute pression est envoyée vers les membranes d'osmose inverse, en combinant le flux de recirculation avec celui provenant de la pompe haute pression centrifuge.

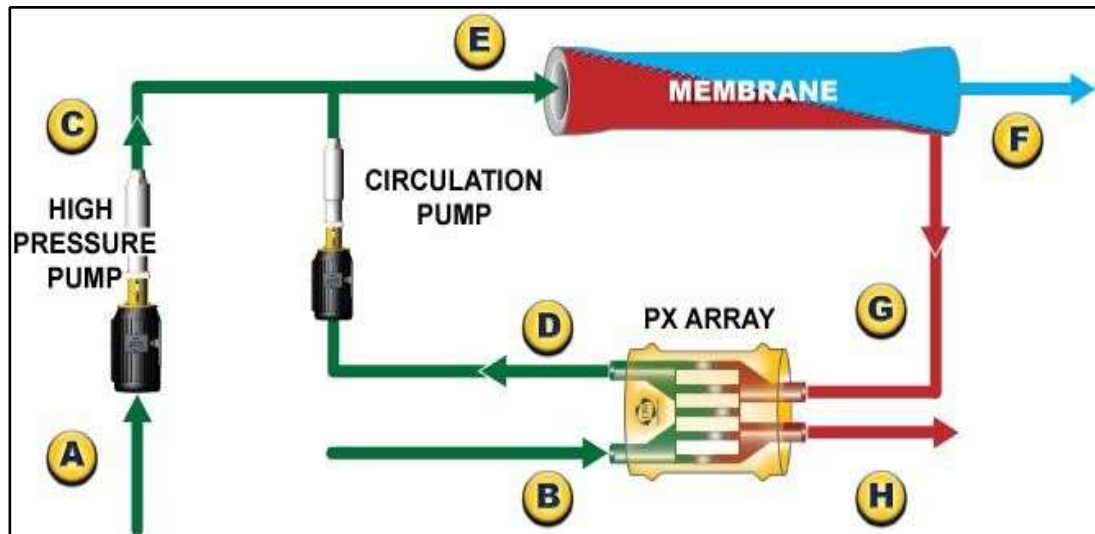


Figure 22. Représentation le flux d'eau dans un système d'OI.



Figure 23. Système de récupération d'énergie.

### III.4 Post traitement

L'eau issue de l'osmose inverse présente un pH acide ( $\sim 5,5$ ), une faible teneur en calcium et en alcalinité, ainsi qu'une salinité résiduelle de 150 à 250 ppm, principalement sous forme de chlorure de sodium. Cette composition résulte du fort rejet des ions par les membranes. Par ailleurs, du  $\text{CO}_2$  est généré par la réaction de l'acide sulfurique avec les bicarbonates et traverse aisément les membranes, s'accumulant dans le perméat. Ce type d'eau, non conforme à la consommation humaine ou agricole, peut devenir corrosive et enfreindre certaines normes technico-sanitaires. Pour la rendre potable, l'eau subit un post-traitement en deux étapes, visant à corriger sa qualité physico-chimique.

### III.4.1 La reminéralisation par les tours de dolomite

La reminéralisation de l'eau dessalée se fait dans des tours contenant de la dolomite ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), un minéral riche en calcium et magnésium. Le perméat entre par le bas des chambres (10 chambres), et réagit avec le  $\text{CO}_2$  présent, facilitant la dissolution de la dolomite. Cela permet d'augmenter la dureté, l'alcalinité et le pH de l'eau. Le processus dure environ une heure avant de passer à la seconde étape du post-traitement.

#### III.4.1.1 La chloration

La présence de chlore est indispensable pour éviter une nouvelle contamination pendant le stockage et le transport de l'eau. La chloration s'effectue par l'injection de l'hypochlorite de sodium de 5 ppm.

### III.5 Le pompage d'eau produite

Quatre pompes de refoulement sont installées pour assurer le transfert de l'eau produite par l'usine vers le réservoir de l'ADE (Algérienne des Eaux), en charge de la distribution vers les zones de consommation, notamment la zone pétrochimique de Sonatrach. Parmi ces pompes, trois sont de grande capacité, avec une intensité de 90 A et un débit de 1 680 m<sup>3</sup>/h chacune, tandis que la quatrième est de plus petite taille, avec une intensité de 50 A et un débit de 840 m<sup>3</sup>/h.

### III.6 Le rejet de saumure

L'élimination de la saumure constitue un enjeu environnemental majeur, qui doit être soigneusement pris en compte lors de la mise en place d'une unité de dessalement. Dans le cas de la station de Skikda, la saumure est rejetée en mer à travers un émissaire sous-marin d'une longueur de 1 km, équipé à son extrémité d'un diffuseur permettant une dispersion contrôlée dans le milieu marin.

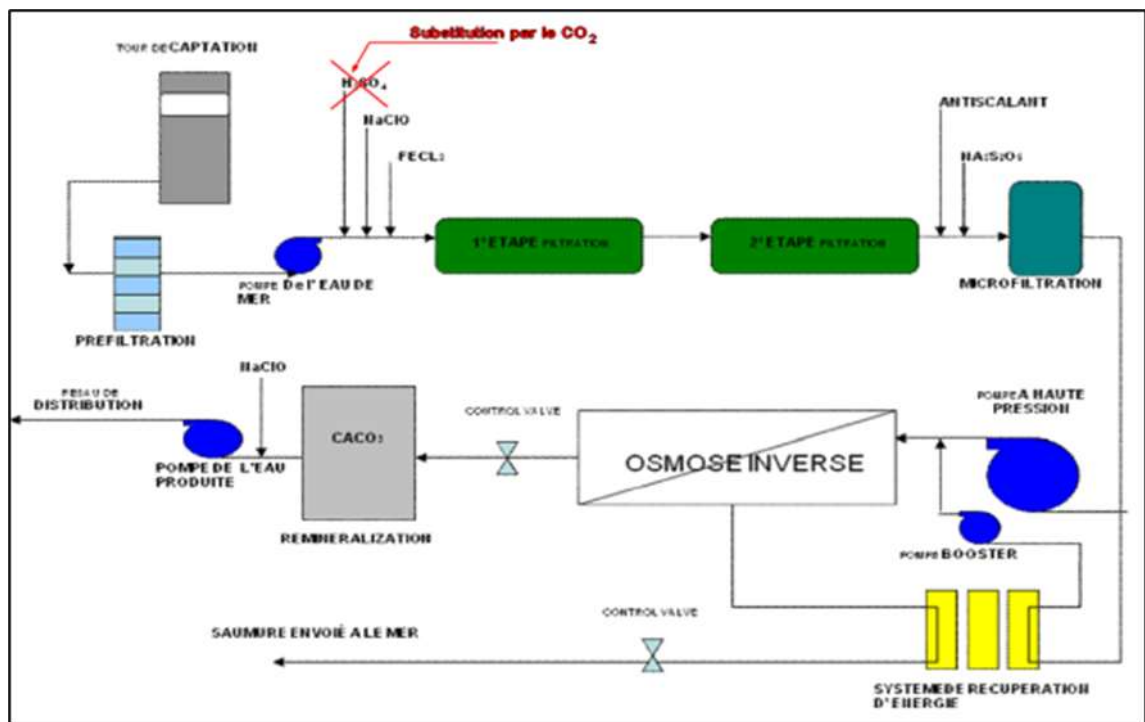


Figure 24. Processus de fonctionnement de la station.

#### IV. Echantillonnage

L'étude a porté sur l'analyse physicochimique et microbiologique de l'eau produite après dessalement.

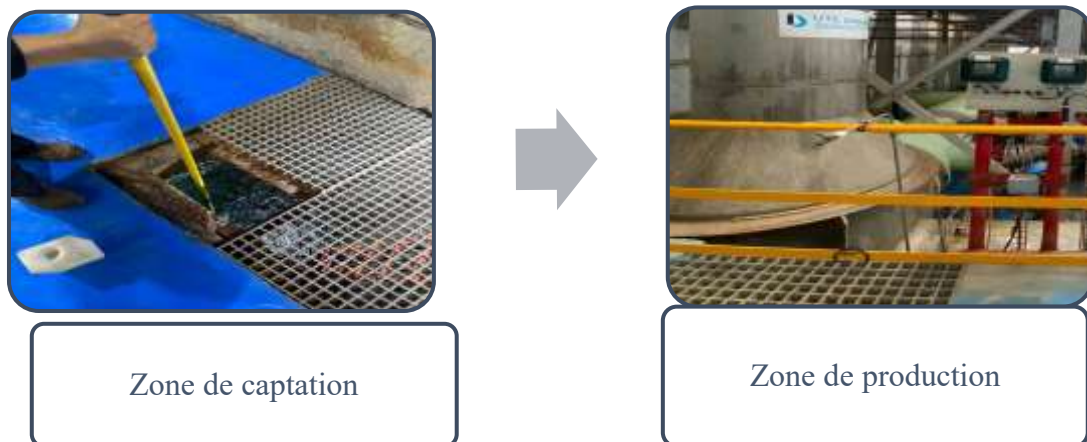


Figure 25. les points de prélèvements.

#### IV.1 Prélèvement

Le prélèvement des échantillons d'eau est une étape cruciale qui doit être réalisée avec soin. Le matériel utilisé doit être propre, idéalement des flacons en verre neufs, préalablement rincés à l'eau distillée pendant une heure, puis séchés.

La quantité prélevée et la méthode employée dépendent de la nature de l'eau et des analyses prévues.

Matériel utilisé pour le prélèvement est :

- **Flacons** : Pour les analyses complètes, il est recommandé d'utiliser les flacons fournis par le laboratoire d'analyse. À défaut, des flacons en verre ou en plastique, parfaitement propres et d'une capacité minimale d'un litre, peuvent être utilisés. Des flacons stériles de 500 ml sont préférables pour des analyses spécifiques (ex. : métaux, hydrocarbures).
- **Glacière portable** : Nécessaire pour la conservation des échantillons, notamment pour les échantillons d'eau chlorée.

**Remarque** : Les échantillons destinés à l'analyse microbiologique ont été prélevés directement à la sortie du robinet domestique.

#### **IV.1.1 Procédure de prélèvement**

1. Retirer tout tuyau ou accessoire du robinet (éviter les embouts en plastique).
2. Nettoyer soigneusement le bec du robinet si nécessaire.
3. Ouvrir le robinet et laisser couler l'eau à débit maximal pendant 5 à 10 secondes, puis à débit moyen pendant 2 à 5 minutes pour éliminer l'eau stagnante.
4. En cas d'eau chlorée, mesurer le chlore résiduel selon la procédure en vigueur.
5. Prendre la température de l'eau si nécessaire.
6. Remplir les flacons immédiatement après ouverture, puis les refermer.
7. Étiqueter soigneusement chaque échantillon avec les informations suivantes :
  - Lieu du prélèvement
  - Date et heure
  - Teneur en chlore (le cas échéant)
  - Type d'analyse prévue (optionnel)
  - Nom du préleveur
  - Observations éventuelles
8. Placer les flacons dans une glacière pour le transport [32].

#### **IV.2 Conservation et transport**

Si plus de 4 heures s'écoulent entre le prélèvement et l'analyse, les échantillons doivent être conservés au frais. Le transport s'effectue dans une glacière contenant des éléments réfrigérants. En

tout état de cause, le délai entre prélèvement et livraison au laboratoire ne doit pas dépasser 24 heures [32].



Figure 26. Les étapes d'échantillonnages.

## V. Analyses physico-chimiques de l'eau produite

### V.1 Mesure de la température (T)

Pour mesurer la température de l'eau, la station de dessalement est équipée par un thermomètre numérique introduit directement au niveau de la canalisation. Cette mesure de  $T^{\circ}$  est effectuée aussi sur les échantillons à l'aide d'un appareil multi-paramètres HANNA [33].



Figure 27. Multi paramètre HANNA.

## V.2 Mesure du pH

Le pH de l'eau a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre électronique, préalablement étalonné à l'aide de solutions tampons, notamment une solution de pH 4, conformément aux recommandations standard. L'électrode combinée du pH-mètre a été immergée dans l'échantillon, dans un bécher propre contenant une portion de l'échantillon au laboratoire. Après quelques instants, une fois la valeur stabilisée, la lecture du pH a été enregistrée avec précision [34].



Figure 28. pH mètre .

## V.3 Mesure de la Turbidité

A l'aide d'un turbidimètre (HANNA HI88703) la mesure de la turbidité est effectuée selon les étapes suivantes :

- ✓ Calibrer le turbidimètre avec les solutions d'étalons (800NTU. 100NTU. 20NTU. 0,02NTU).
- ✓ Vérifier la fiabilité d'étalonnage avec la mesure de la turbidité de l'un des solutions d'étalons.
- ✓ Agiter gentiment le flacon contient l'eau à analyser.
- ✓ Rincer la cuvette avec l'eau ultra pure et la remplir avec 10 ml de l'eau à analyser [35].



Figure 29. Turbidimètre HANA.

#### V.4 Mesure de la Conductivité

La conductivité est mesurée à l'aide d'un conductimètre multi-paramètres à électrode constitué de deux lames carrées de platine de 1cm<sup>2</sup> de côté. Après avoir étalonné le conductimètre, mettre ensuite environ 100 ml d'eau à analyser dans un bécher, dans lequel on plonge l'électrode du conductimètre pour mesurer la conductivité exprimée en  $\mu\text{S}/\text{cm}$  [36].



Figure 30. Conductimètre HANNA COND 011.

#### V.5 Mesure de la matière en suspension (MES)

La MES (Matière en Suspension) représente l'ensemble des particules solides non dissoutes présentes dans l'eau, d'origine organique ou minérale. Elle est généralement mesurée en mg/L. La détermination de la MES se fait par filtration d'un volume d'eau à travers un filtre de porosité définie,

suivi du séchage et de la pesée du résidu retenu. Cette mesure est essentielle pour évaluer la qualité physico-chimique de l'eau, notamment dans les procédés de traitement et de rejet.

**■ Principe**

L'eau est filtrée et le poids de matières retenues par le filtre est déterminé par pesée différentielle.

**■ Matériel spécial**

- ✓ Dispositif de filtration sous vide ou sous pression (100 000 à 200 000 Pa).
- ✓ Disques filtrants en fibres de verre (plusieurs types de disques commerciaux sont disponibles, la porosité la plus communément utilisée est 1,2 µm).
- ✓ Etuve

**■ Mode opératoire**

- Peser le poids 1 de la membrane de filtre
- Mettre en place sur l'équipement de filtration.
- Mettre en service le dispositif d'aspiration ou de pression.
- Verser l'échantillon sur le filtre.
- Faire passer sur le filtre 1L de l'eau
- Laisser essorer le filtre, sécher à 105 °C dans l'étuve.
- Laisser refroidir au dessiccateur et peser le 2eme poids jusqu'à masse constante.

**■ Expression des résultats**

La teneur de l'eau en matières en suspension (mg/L) est donnée par l'expression

$$\text{MES} = [(M1-M0)/V]*1000$$

**M0** = masse du disque filtrant avant utilisation (mg).

**M1** = masse du disque filtrant après utilisation (mg).

**V** = volume d'eau utilisé (ml) [37].

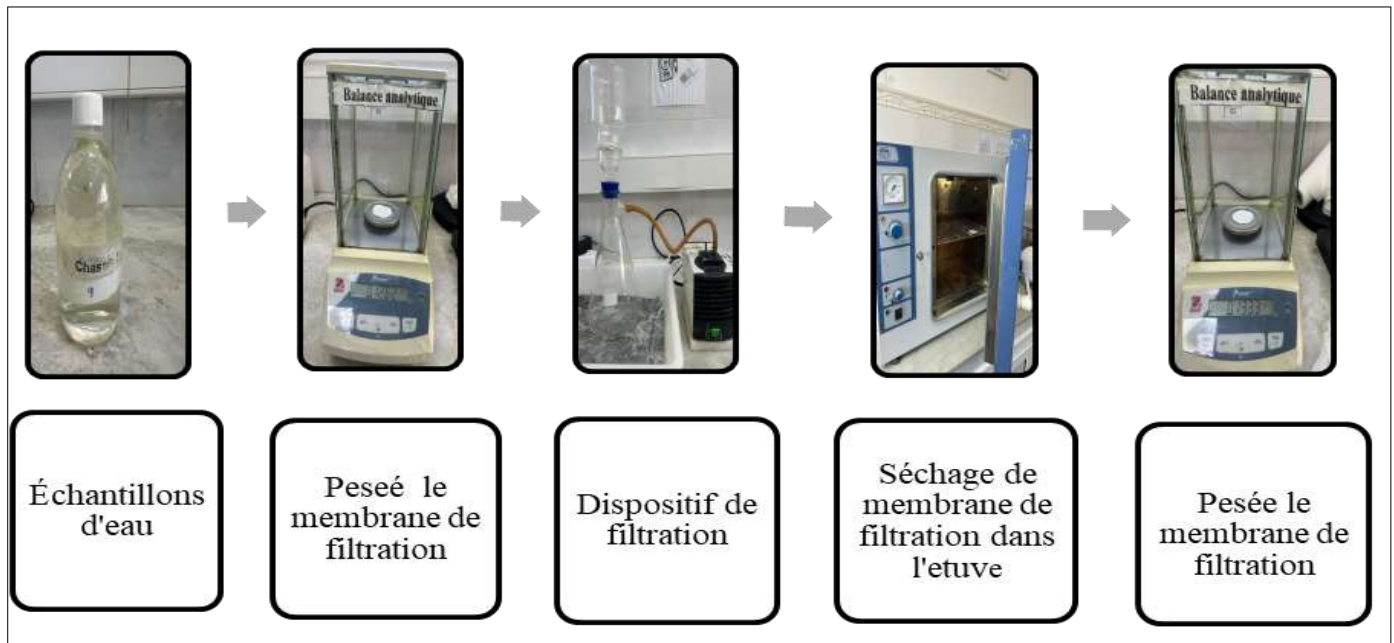


Figure 31. Les étapes de l'analyse de la matière en suspension.

## V.6 Détermination dureté Totale et calcique

### V.6.1 la détermination de la dureté totale THT

La dureté totale (THT) de l'eau correspond à la concentration en ions calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) et magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), exprimée généralement en mg/L de  $\text{CaCO}_3$  ou en degrés français ( $^\circ\text{f}$  ou  $^\circ\text{TH}$ ), où  $1^\circ\text{f} = 10 \text{ mg/L de CaCO}_3$ .

#### ▪ Principe

La dureté est déterminée par titrage complexométrique à l'aide d'une solution d'EDTA (acide éthylène diamine tétraacétique), qui forme des complexes stables avec les ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$ . L'indicateur utilisé est généralement le noir ériochrome T (NET) qui change de couleur à l'équivalence.

#### ▪ Réactifs

- Indicateur noir d'eriochrome T
- Solution d'EDTA
- Solution to
- Tampon pH =10

▪ **Mode opératoire**

- Prélever 50 ml de l'échantillon d'eau dans un bécher.
- Ajouter 5 mL de tampon pH 10.
- Ajouter quelques gouttes de NET : l'eau vire au rouge-violet.

Titrer avec la solution d'EDTA jusqu'à virage au bleu (fin de complexation du  $\text{Ca}^{2+}$  et Le résultat est indiqué par le volume d'EDTA utilisé

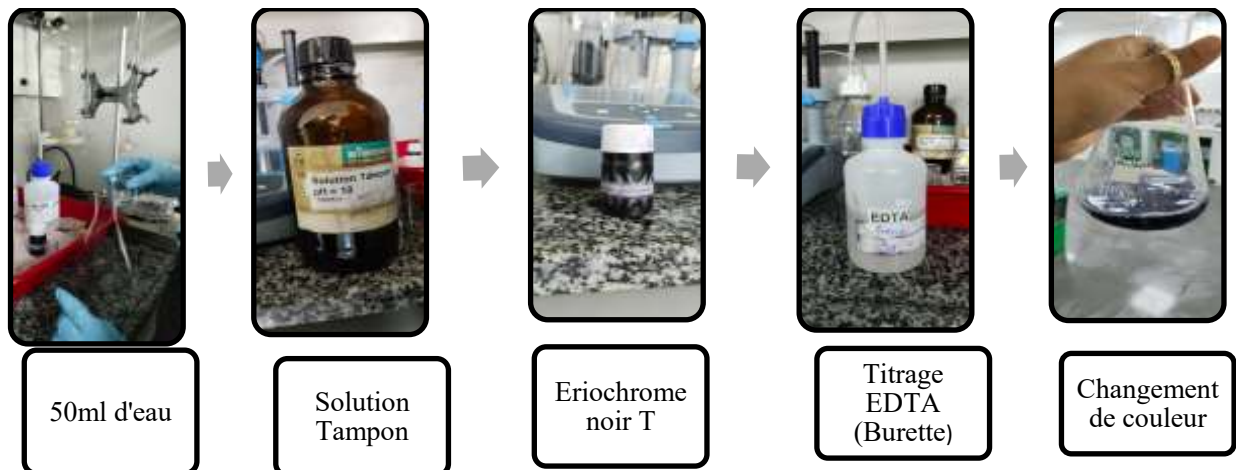
Résultat :  $V \text{ EDTA} \times 20$ .

$$\text{THT (mg/L de CaCO}_3) = (\text{VEDTA} \times \text{CEDTA} \times 100,000) / V \text{ échantillon}$$

- VEDTA : Volume d'EDTA utilisé (en ml)
- CEDTA : Concentration de l'EDTA (mol/L)
- V échantillon : volume d'eau titré (en ml) [38].



**Figure 32.** changement de couleur lors de la réalisation de l'analyse de THT.



**Figure 33.** Les étapes de l'analyse de la dureté totale.

### V.6. 2. Détermination de dureté calcique

#### ▪ Principe

La dureté calcique correspond à la concentration des ions calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) dissous dans l'eau. Elle est généralement exprimée en mg/L de  $\text{CaCO}_3$  ou en degrés français ( $^{\circ}\text{f}$  ou  $^{\circ}\text{TH}$ ), où  $1^{\circ}\text{f} = 10 \text{ mg/L}$  de  $\text{CaCO}_3$ . Le principe est identique à celui de la méthode titrimétrique décrite pour la dureté totale. Contrairement au titrage de la dureté totale (où

$\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  sont dosés ensemble), ici seule la concentration en  $\text{Ca}^{2+}$  est mesurée, à pH légèrement basique ( $\approx 12$ ) pour éviter l'interférence du magnésium [39].

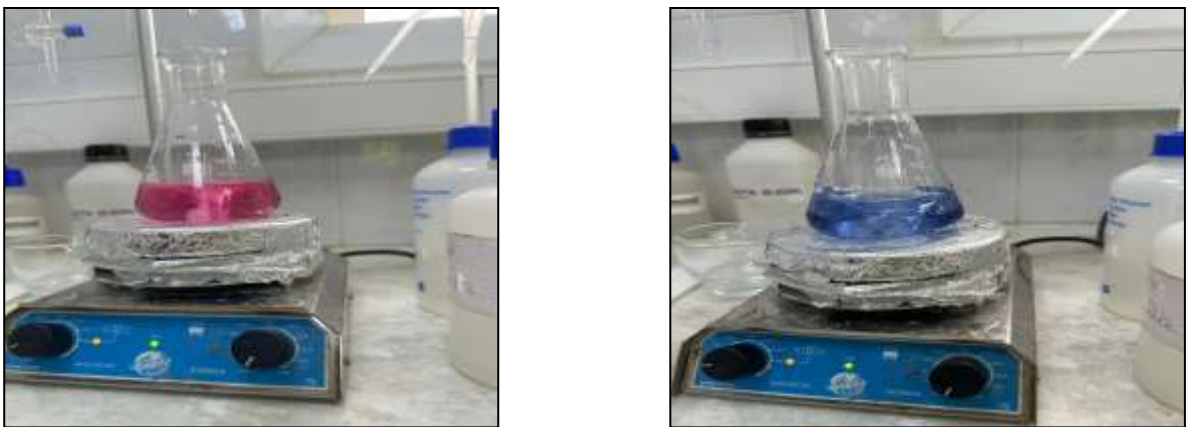


Figure 34. Changement de couleur lors de la réalisation de l'analyse de La dureté calcique.

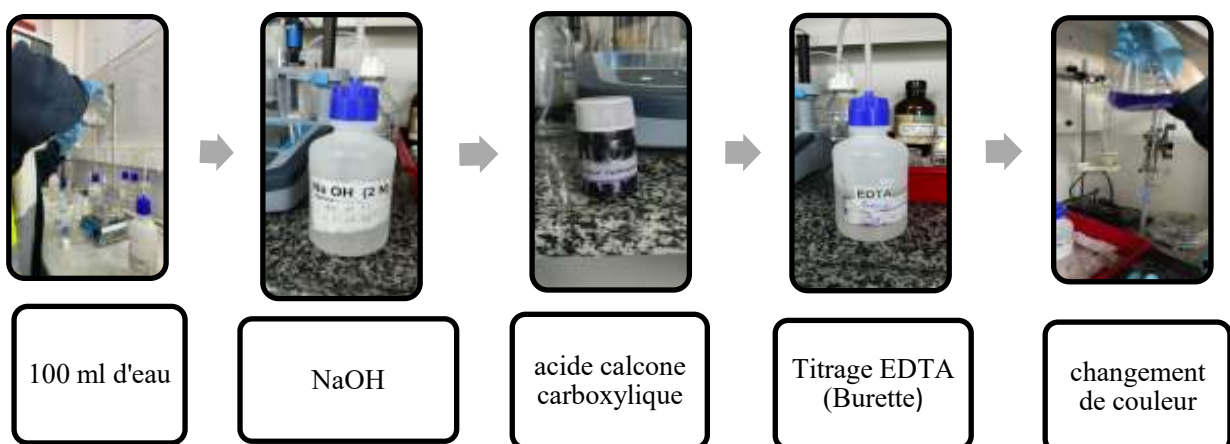


Figure 35. Les étapes de l'analyse de la dureté calcique.

### V.7 Détermination Alcalinité Totale et directe

L'Alcalinité totale (AT) est la capacité de l'eau à neutraliser les acides, liée principalement à la présence de bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ), carbonates ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) et, dans certains cas, hydroxydes ( $\text{OH}^-$ ).

Alors que l'alcalinité directe (AD) représente uniquement la concentration en carbonates et hydroxydes (mesurée par titrage jusqu'à  $\text{pH} \approx 8,3$ ).

### ▪ Principe

Le titrage de l'alcalinité est basé sur l'addition d'un acide fort ( $\text{HCl}$  ou  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dilué) à un échantillon d'eau jusqu'à deux points d'inflexion du  $\text{pH}$  :

- $\text{pH} \approx 8,3$  : fin de la neutralisation des **hydroxydes et carbonates** → **Alcalinité directe**
- $\text{pH} \approx 4,5$  : fin de la neutralisation des **bicarbonates** → **Alcalinité totale**

### ▪ Procédure expérimentale

#### ▪ Titre alcalimétrique complet TAC

- ✓ 50 ml d'échantillon dans un Bécher + barreau magnétique
- ✓ Ajout de 3 gouttes de l'indicateur mixte : vert bromocrésol + méthyle rouge
- ✓ Apparition de la couleur bleue
- ✓ Lancer la goutte à L'Acide Sulfurique  $\text{H}_2\text{SO}_4$  à (0.002 N)
- ✓ Agitation
- ✓ Virage de la couleur Bleu au vert clair
- ✓ Noté le volume de  $\text{H}_2\text{SO}_4$
- ✓ **Calcul :**

$$\text{TAC} = V_{\text{H}_2\text{SO}_4} \times 10 \text{mg CaCO}_3/\text{l} [40].$$



**Figure 36 .** Changement de la couleur du bleu au vert clair pour la détermination de L'Alcalinité Totale.

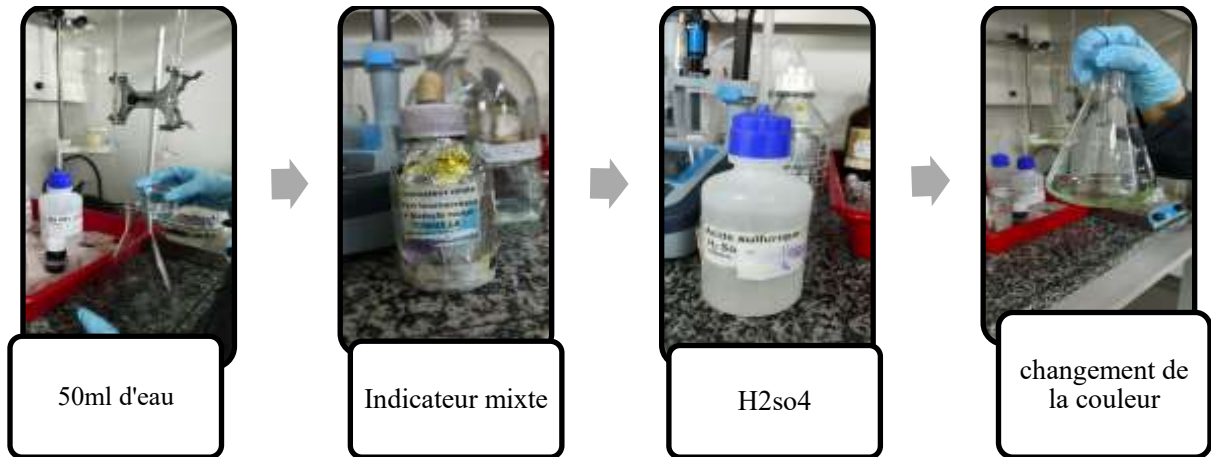


Figure 37. les étapes de l'analyse de L'Alcalinité Totale .

▪ **Titre alcalimétrique simple (TA)**

- ✓ 50 ml d'échantillon dans un Bécher + barreau magnétique
- ✓ Ajout de 2 à 3 gouttes de Phénolphtaléine:
- ✓ Lancer la titration goutte à goutte avec L'Acide Sulfurique H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> à (0.002 N)
- ✓ Agitation
- ✓ Si la solution est rose, titrer avec l'acide jusqu'à disparition de la couleur (pH ≈ 8,3).
- ✓ Si la solution est **incolore dès le début**, TA = 0.
- ✓ Noté le volume de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, versé V H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

$$TA = V_{H_2SO_4} \times 10mg \text{ CaCO}_3 / [40].$$



Figure 38. la solution est incolore .



Figure 39. Les étapes de l’analyse du Titre alcalimétrique simple.

### V.8 L’indice de Langelier (LSI)

L’indice de Langelier (LSI) est un paramètre utilisé pour évaluer le potentiel d’une eau à être corrosive ou entartrant (LSI) est un indicateur de la stabilité chimique de l’eau vis-à-vis du carbonate de calcium . Il permet d’évaluer si l’eau est :

- Corrosive (tendance à dissoudre les matériaux)
- Entartrante (tendance à précipiter du CaCO<sub>3</sub>)
- Équilibrée (à l’état de saturation en CaCO<sub>3</sub>)

Tableau 02 : Interprétation de la valeur de l’indice de saturation de Langelier.

Valeur de LSI	Signification
LSI > 0 (sursaturée en CaCO <sub>3</sub> )	Eau <b>entartrante</b> (dépôt de CaCO <sub>3</sub> ).
LSI = 0	Eau <b>équilibrée</b> (ni corrosive, ni entartrante) .
LSI < 0 (sous-saturée en CaCO <sub>3</sub> )	Eau <b>corrosive</b> (peut entraîner la dissolution du calcaire et la corrosion des canalisations).

Il indique si une eau est sous-saturée, équilibrée ou sursaturée en carbonate de calcium (CaCO<sub>3</sub>).

$$LSI = pH - pH_s$$

L’indice de Langelier se calcule selon la formule suivante :

- **pH mesuré** : pH réel de l'eau
- **pH<sub>s</sub>** : pH théorique de saturation en CaCO<sub>3</sub> (auquel l'eau serait en équilibre avec le carbonate de calcium)

Le pH de saturation dépend de la température, de l'alcalinité et de la dureté calcique.

$$pH_s = (9,3 + A + B) - (C + D)$$

Avec :

- **A** = influence de la température  

$$A = \log_{10} (T + 273) - 1$$
 (T en °C)
- **B** = influence des solides dissous totaux (TDS)

$$B = \log_{10} [(TDS) - 1] / 10$$

- **C** = influence de la dureté calcique (Ca<sup>2+</sup>)

$$C = \log_{10} [Ca^{2+} \text{ en mg/L}] - 0,4$$

- **D** = influence de l'alcalinité (en mg/L de CaCO<sub>3</sub>)

$$D = \log_{10} [\text{alcalinité}] [41-42-43] .$$

**Tableau 03** : indice de Langelier (évaluation du risque de corrosion et détartrage) .

-0,7	-0,6	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0	+0,1	+0,2	+0,3	+0,4	+0,5	+0,6	+0,7
Zone de corrosion				Eau balancée							Zone d'entartrage			
Danger		Ajuster		Bon		Idéal		Bon		Ajuster		Danger		

### V.9 Détermination chlore résiduel

Le chlore résiduel est la quantité de chlore restant dans l'eau après un certain temps de contact, après avoir réagi avec les matières organiques et inorganiques. Il garantit une désinfection continue dans le réseau de distribution.

**Principe**

La méthode repose sur une réaction chimique entre le chlore présent dans l'échantillon d'eau et un réactif colorimétrique spécifique. Le réactif DPD réagit avec le chlore libre pour former un complexe coloré rose-rouge,

L'intensité de la couleur est proportionnelle à la concentration en chlore et La couleur développée est ensuite mesurée pour déterminer la concentration en chlore par chlorométrie HACH.

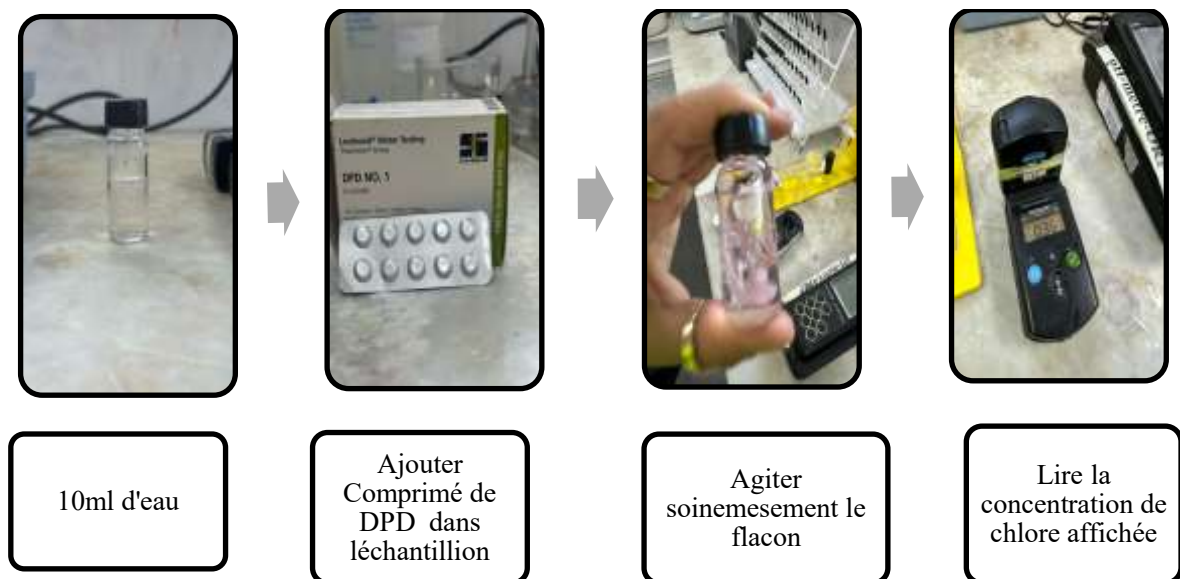
**Mode d'emploi****Méthode au DPD (N,N-diéthyl-p-phénylènediamine)**

- ✓ mettre 10 ml de l'eau dans la cuve.
- ✓ ajouter le comprimé de DPD.
- ✓ essuyer bien la cuve avec le papier essuie tout.
- ✓ mettre la cuve dans la chlorométrie.

**NB:** l'échantillon doit être à l'abri de la lumière [44].



**Figure 40.** chlorométrie.



**Figure 41.** Réalisation de chlore résiduel

### V.10 Détermination de Total dissoute solides TDS

Les solides dissous totaux (TDS) représentent la quantité totale de matières minérales et organiques dissoutes dans l'eau (sels, ions, matières organiques solubles). Ils s'expriment en mg/L ou ppm (parties par million).

Elle est mesurée à l'aide d'un TDS mètre.



**Figure 42.** TDS mètre

#### ▪ Mode d'emploi

1. Préparation de l'échantillon
  - Prélevez un échantillon d'eau à mesurer.
2. Allumage de l'appareil : Allumez le TDS-mètre.
3. Immersion de la sonde : Immergez la sonde du TDS-mètre dans l'échantillon d'eau.
4. Lecture de la mesure : Attendez que la lecture se stabilise, puis notez la valeur affichée sur l'écran du TDS-mètre.
5. Nettoyage de l'appareil : Rincez la sonde à l'eau claire et éteignez l'appareil [45].

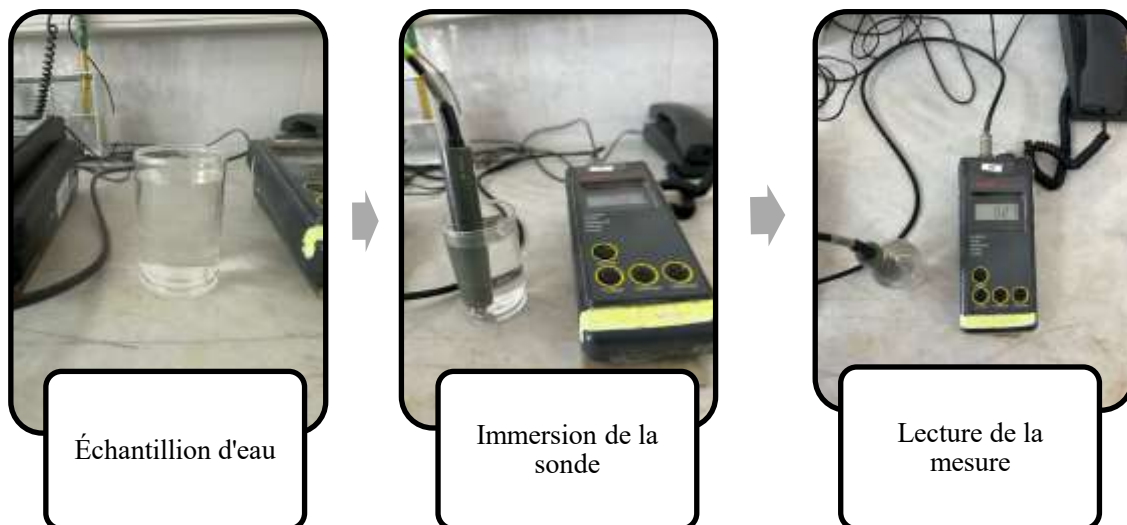


Figure 43. Protocole de l'analyse de TDS.

## VI. Les analyses microbiologiques de l'eau produite

### VI.1 Matériels utilisés

L'analyse bactériologique de l'eau dessalée constitue une étape essentielle pour garantir sa potabilité et sa conformité aux normes sanitaires. Bien que le dessalement permette d'éliminer les sels et la majorité des contaminants chimiques, il n'élimine pas systématiquement tous les micro-organismes pathogènes, surtout en cas de recontamination post-traitement ou de défaillance du système.

Afin d'assurer la sécurité microbiologique de l'eau produite, des analyses régulières sont nécessaires pour détecter la présence de coliformes fécaux, *Escherichia coli*, germes aérobies mésophiles, levures et moisissures. Ces contrôles exigent un matériel spécifique, des milieux de culture adaptés et des conditions d'incubation précises.

#### VI.1.1 Échantillonnage

- Flacons stériles (verre ou PE) avec bouchon à vis
- Gants stériles, glacière, étiquettes

**NB : les analyses microbiologiques ont été effectuées dans le laboratoire de l'entreprise SBC SPA (Coca cola).**

VI.1.2 Milieux de culture selon germes recherchés

- *Escherichia coli* : TBX agar
- Coliformes totaux : VRBL agar
- Coliformes fécaux: MFC Agar
- Germes aérobies mésophiles totaux (GAMT) : PCA
- Levures et moisissures : Sabouraud chloramphénicol

VI.1.3 Équipements de laboratoire

- Hotte microbiologique, étuve thermostaté.
- Autoclave, bain-marie, microscope
- Compteur de colonies.



Zone Analyse microbiologique.



Stérilisateur matériels et milieux.



Flacons stériles (verre avec bouchon à vis).



Autoclave SYSTEC VB-95.



Les Boites de pétri.



Les rampes de filtration.



Les incubateurs.

Figure 44. Le matériel utilisé pour l'analyse microbiologique.

## VI.2 Méthode de prélèvement

1. Laisser couler l'eau pendant 2 minutes.
2. Désinfecter l'orifice avec de l'alcool 70%.
3. Remplir le flacon sans débordement.
4. Identifier la bouteille (date, heure, site).
5. Placer l'échantillon dans une glacière à 2–8°C.
6. Transporter au laboratoire dans les 6 heures (maximum 24 h) [46].

## VI.3 Méthodes d'analyse microbiologique

### ▪ Principe

L'analyse repose sur des méthodes de filtration sur membrane, à porosité de 0,45 µm, ou d'ensemencement sur des milieux spécifiques, suivies d'une incubation.

Les résultats obtenus permettent de vérifier la salubrité de l'eau et de détecter d'éventuelles défaillances dans le traitement ou la distribution [47].

### VI.3.1 *Escherichia coli*

Bactérie fécale stricte, indicateur de contamination récente d'origine intestinale [48].

- **Méthode** : filtration sur membrane
- **Milieu** : TBX Agar
- **Incubation** : 44 °C pendant 24 h
- **Résultat** : UFC/100 ml [49].

### VI.3.2 Coliformes totaux

Groupe bactérien présent dans l'environnement, indicateur de contamination non fécale ou environnementale [50].

- **Méthode** : filtration sur membrane (100 ml)
- **Milieu** : VRBL Agar
  - Incubation : 37°C pendant 24 h
  - Résultat : UFC/100mL [49].

### VI.3.3 Coliformes fécaux

Sous-groupe des coliformes tolérant 44°C, indicateurs d'une contamination fécale probable[50].

- **Méthode** : filtration sur membrane
- **Milieu** : MFC Agar

- Incubation : 37°C pendant 24 h
- Résultat : UFC/100 ml [49].

### **VI.3.4 Germes aérobies mésophiles totaux (GAMT)**

Micro-organismes se développant à 30°C, utilisés pour évaluer la qualité microbiologique globale [51].

- **Méthode** : ensemencement en surface ou filtration
- **Milieu** : PCA
  - Incubation : 30°C pendant 48 h
  - Résultat : exprimé en UFC/ml [49].

### **VI.3.5 Levures et moisissures**

Champignons microscopiques présents dans l'environnement, indicateurs de contamination organique ou de mauvaise hygiène [51].

- **Méthode** : ensemencement ou filtration
- **Milieu** : Sabouraud chloramphénicol
  - Incubation : 25°C à 30 pendant 3 à 5 jours
  - Résultat : UFC/ml [49].

## I. Résultats et interprétations des analyses physicochimiques de l'eau produite

### I.1 Variation des paramètres organoleptiques

#### I.1.1 La Couleur

Les analyses effectuées sur l'eau traitée ont indiqué que cette eau est incolore et claire.

#### I.1.2 L'Odeur

Après traitement l'eau devient inodore et ne présente aucune odeur désagréable.

#### I.1.3 Le Gout

L'eau traitée ne présente qu'un léger gout de javel à cause de la désinfection ayant lieu durant les étapes du traitement.

### I.2 Résultats des paramètres physico-chimiques

L'eau produite par dessalement, qu'elle soit destinée à la consommation humaine, à l'usage industriel ou à l'irrigation, doit répondre à des normes de qualité strictes fixées par les autorités sanitaires nationales et internationales. Bien que le dessalement élimine la majorité des sels et contaminants, une surveillance rigoureuse de la qualité finale est essentielle pour garantir la sécurité sanitaire et la conformité réglementaire.

#### I.2.1 Potentiel d'hydrogène pH

L'analyse des données représentées dans l'histogramme révèle que les valeurs de pH des échantillons hebdomadaires, prélevés entre le 07/12/2024 et le 01/03/2025, varient entre 7,8 et 8,3 (fig.43). Ces valeurs indiquent une eau légèrement basique. Conformément aux normes de qualité de l'eau potable — notamment la norme espagnole (ES, 2003) et celle de l'OMS (2006), qui fixent une plage admissible entre 6,5 et 9,5 —, tous les échantillons analysés sont conformes aux exigences réglementaires.

Ces résultats suggèrent que le traitement appliqué garantit un pH stable et sans danger pour la consommation humaine. Aucune variation significative n'a été observée au fil des semaines, témoignant ainsi d'une stabilité chimique durable.

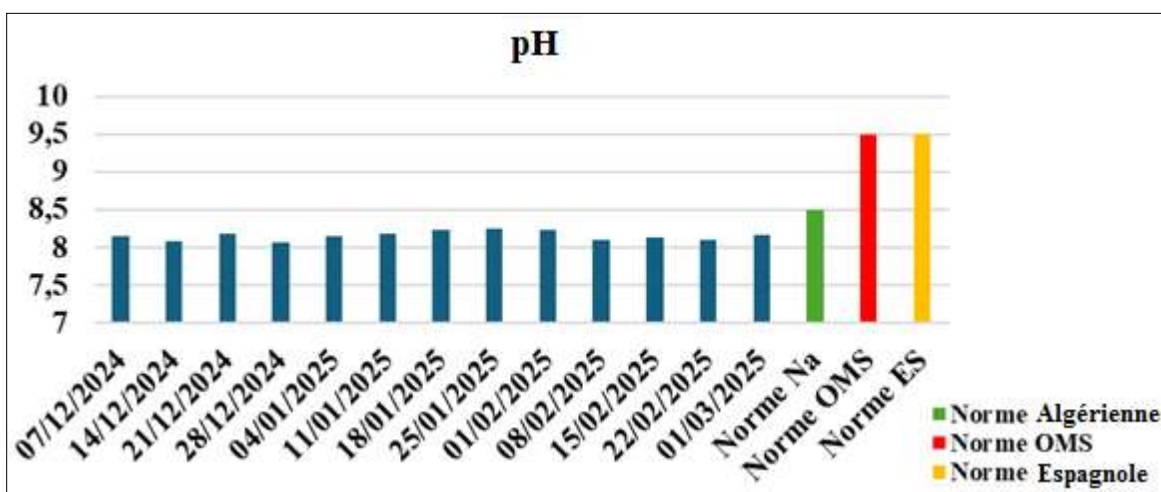


Figure 45. L'évolution de pH en fonction du Temps.

### 1.2.2 Température (C°)

Les températures enregistrées entre le 07/12/2024 et le 01/03/2025 varient modérément entre 16,1 °C et 18,2 °C (fig.44). Ces valeurs restent largement inférieures à la limite maximale 25 °C fixée par les normes algériennes (NA), de l'OMS (Organisation mondiale de la santé) et les normes espagnoles (ES) pour l'eau potable. Cela indique que la température de l'eau reste dans une plage favorable à la qualité sanitaire, ne favorisant ni le développement microbologique excessif, ni la détérioration des caractéristiques organoleptiques (goût, odeur).

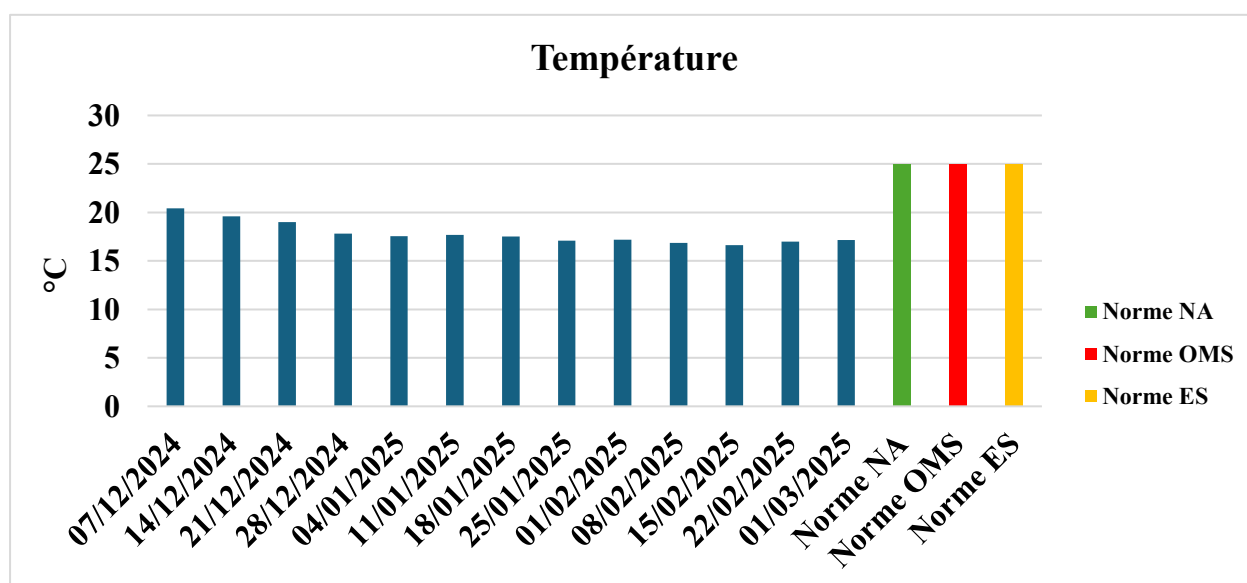


Figure 46. L'évolution de Température en fonction du Temps.

### 1.2.3 Conductivité (µS/cm)

La conductivité électrique (CE) est un indicateur indirect de la salinité de l'eau, c'est-à-dire de sa teneur en ions dissous (Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, etc.).

La conductivité électrique enregistrée entre décembre 2024 et mars 2025 varie de 600 à 800 µS/cm (fig.45). Ces valeurs sont nettement inférieures aux limites maximales fixées par les normes de potabilité : 2500 µS/cm selon la norme algérienne, 2000 µS/cm selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS), et 2700 µS/cm selon les normes espagnoles. Ces résultats indiquent une faible teneur en sels dissous, traduisant une efficacité satisfaisante du processus de dessalement, notamment de l'osmose inverse. Cette performance contribue à produire une eau adaptée à la consommation humaine, respectant les exigences en matière de salinité et de goût.

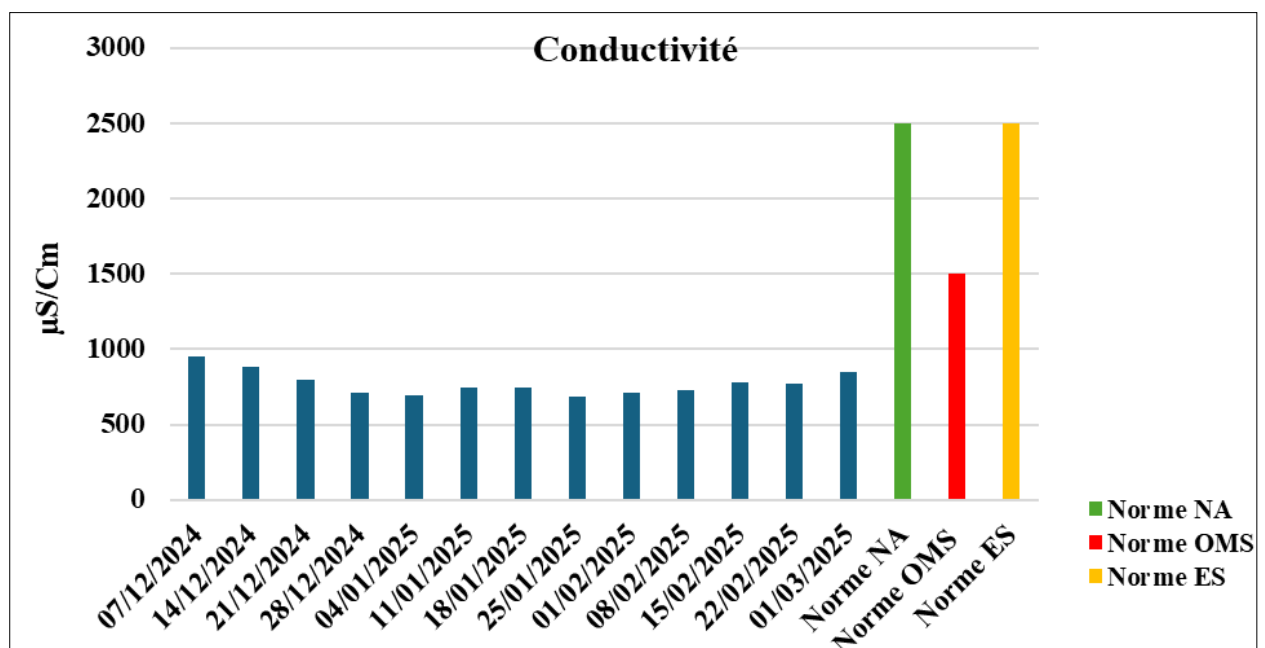


Figure 47. L'évolution de Conductivité en fonction du Temps.

### 1.2.4 La Turbidité (NTU)

La turbidité mesure la présence de particules en suspension dans l'eau (argiles, matières organiques, micro-organismes, etc.).

Les mesures de turbidité de l'eau dessalée sont extrêmement faibles, avoisinant 0 NTU (unités de turbidité néphélométrique) (fig.46). Cette stabilité quasi parfaite témoigne de l'efficacité

remarquable des étapes de prétraitement et de clarification, notamment la filtration sur sable, la coagulation/floculation et la microfiltration éventuelle.

Ces résultats sont bien inférieurs aux limites réglementaires fixées par les principales normes internationales, à savoir 5 NTU selon la norme algérienne, l’Organisation mondiale de la santé et les normes espagnole. Cette performance garantit une eau limpide, de haute qualité visuelle, répondant pleinement aux exigences sanitaires et esthétiques de l’eau potable.

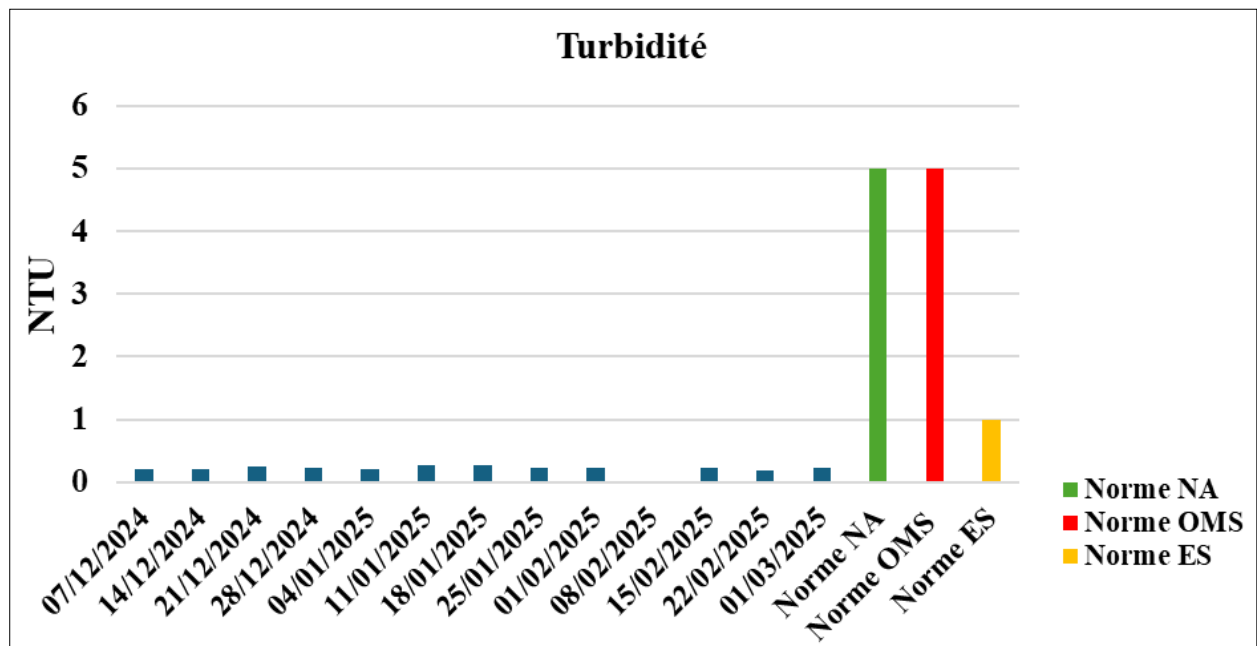


Figure 48. L'évolution de Turbidité en fonction du Temps.

### 1.2.5 Total Dissolved Solids (TDS)

Le TDS est un indicateur de la charge minérale totale (sels dissous) dans l’eau.

Les concentrations en solides dissous totaux (TDS) mesurées dans l’eau dessalée sont restées inférieures à 600 mg/L (fig.47). Ces valeurs sont largement en dessous des seuils réglementaires fixés par les principales normes de potabilité : 1500 mg/L selon la norme algérienne, 1000 mg/L selon l’Organisation mondiale de la santé (OMS) et 1500 mg/L selon les normes espagnole.

De telles teneurs traduisent une excellente performance du processus de dessalement, en particulier du système d’osmose inverse, qui permet de réduire efficacement la charge ionique de l’eau (chlorures, sodium, sulfates, etc.). Cette faible concentration en minéraux dissous contribue non

seulement à l'amélioration des propriétés organoleptiques (goût, conductivité), mais aussi à la préservation des installations (réduction du risque d'entartrage ou de corrosion).

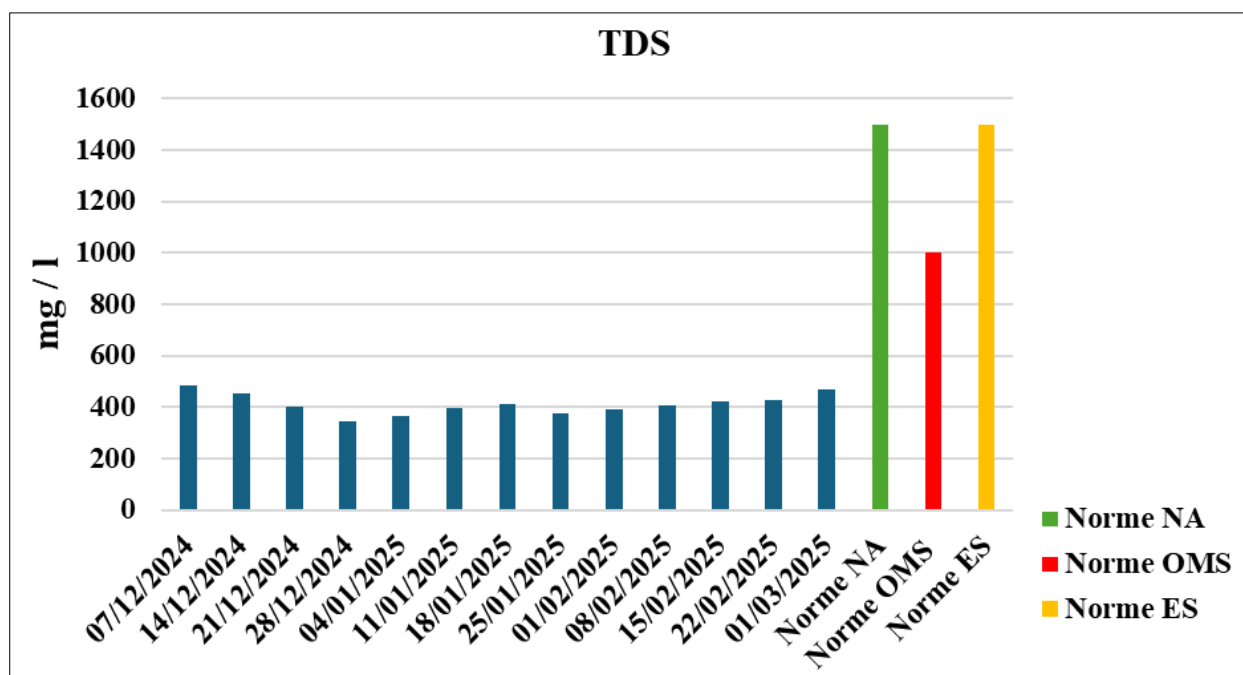


Figure 49. L'évolution de TDS en fonction du Temps.

### 1.2.6 Alcalinité ou Titre Alcalimétrique Complet (TAC) (mg/l CaCO<sub>3</sub>)

Le TAC mesure la quantité de bicarbonates (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), carbonates (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) et hydroxydes (OH<sup>-</sup>) dans l'eau. Il indique la capacité de l'eau à neutraliser les acides donc sa résistance aux variations de pH.

Le TAC est resté relativement stable autour de 50 mg/L durant toute la période d'analyse, allant du 07 décembre 2024 au 01 mars 2025 (fig.48). Ces niveaux sont considérablement inférieurs aux seuils maximaux fixés par les normes de qualité de l'eau : 120 mg/L selon la norme algérienne et l'OMS, et 100 mg/L selon les normes espagnoles.

Cette alcalinité modérée reflète une eau dotée d'une bonne capacité tampon, c'est-à-dire capable de résister aux variations brusques de pH. Cela est essentiel pour maintenir la stabilité

Chimique globale de l'eau, en évitant des déséquilibres acides ou basiques qui pourraient altérer la qualité, favoriser la corrosion ou réduire l'efficacité de la désinfection.

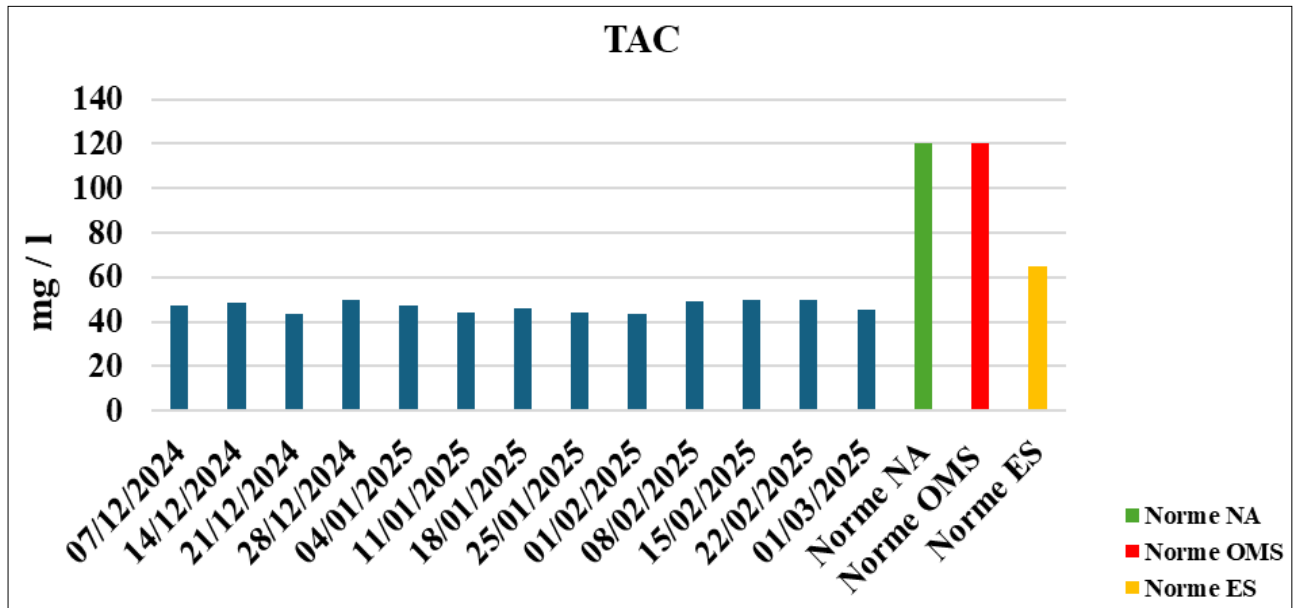


Figure 50. L'évolution de TAC en fonction du Temps.

### 1.2.7 Dureté totale (mg/l CaCO<sub>3</sub>)

La dureté totale est la somme des concentrations en ions calcium et magnésium, exprimée généralement en mg/L de CaCO<sub>3</sub>.

Les mesures de dureté totale effectuées entre le 7 décembre 2024 et le 1<sup>er</sup> mars 2025 ont montré des valeurs comprises entre 80 et 100 mg/L (exprimées en CaCO<sub>3</sub>) (fig.49). Ces niveaux sont nettement inférieurs aux seuils maximaux fixés par les normes en vigueur, à savoir 500 mg/L selon les normes Algériennes et de l'OMS, et 150 mg/L selon les normes espagnoles.

Ces résultats permettent de classer l'eau produite comme étant douce à modérément dure, ce qui présente plusieurs avantages :

- Elle est adaptée à la consommation domestique (confort gustatif, sécurité sanitaire)
- Elle limite les dépôts calcaires dans les canalisations et les équipements sanitaires
- Elle contribue à une meilleure longévité des installations domestiques et industrielles

Cette faible dureté témoigne de la performance du procédé de dessalement, notamment de l'osmose inverse, qui élimine efficacement les ions calcium (Ca<sup>2+</sup>) et magnésium (Mg<sup>2+</sup>), principaux responsables de la dureté.

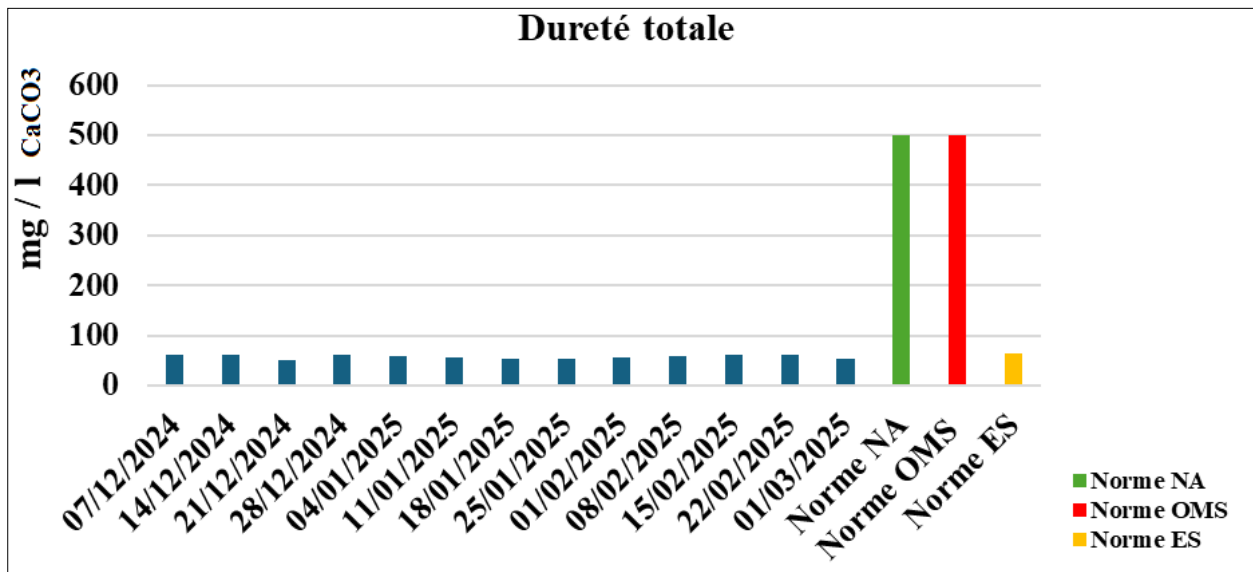


Figure 51. L'évolution de Dureté totale en fonction du Temps.

### 1.2.8 Chlore libre (mg/l)

Le chlore libre résiduel est la quantité de chlore encore présente dans l'eau après le traitement, destinée à empêcher toute recontamination dans le réseau.

Au cours de la période d'analyse, les concentrations en chlore libre résiduel mesurées dans l'eau dessalée sont restées stables, comprises entre 0,4 et 0,5 mg/L. Ces niveaux sont parfaitement conformes aux seuils fixés par les normes de qualité : 0,5 mg/L selon la norme algérienne, l'OMS et les normes espagnoles.

Cette concentration assure une désinfection efficace de l'eau tout en limitant les risques liés à une sur chloration, tels que :

- L'apparition de goûts ou d'odeurs désagréables
- La formation de sous-produits de désinfection potentiellement nocifs.

Le maintien de ces valeurs indique une maîtrise optimale du traitement de désinfection, garantissant une protection microbiologique continue sans compromettre la qualité organoleptique de l'eau distribuée.

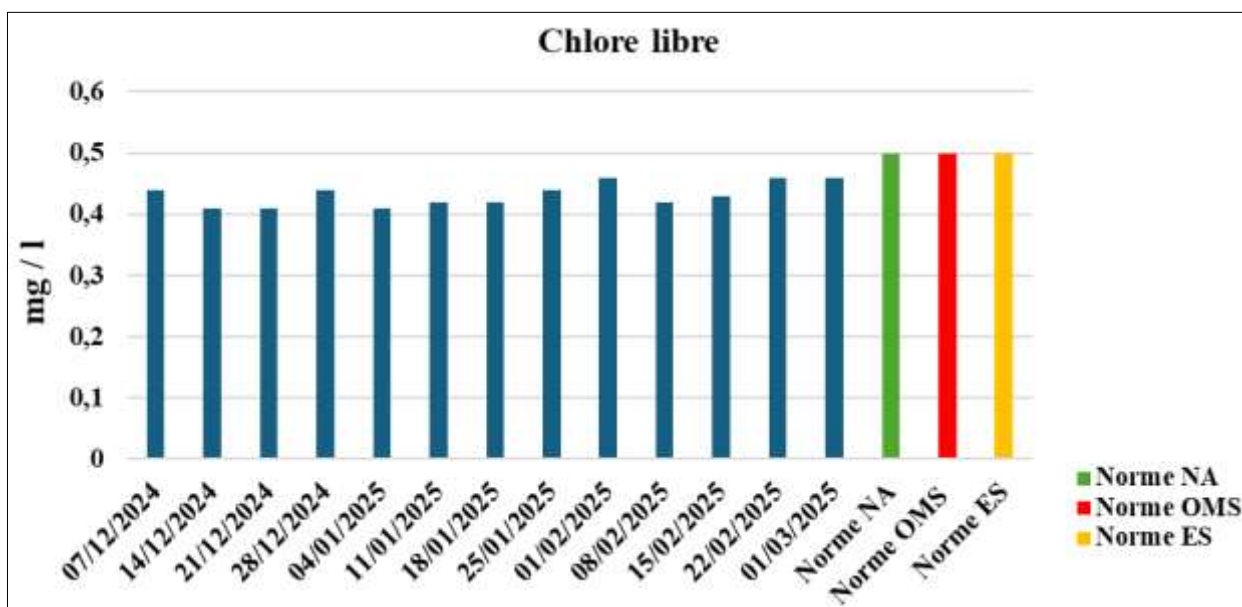


Figure 52. L'évolution de Chlore libre en fonction du Temps.

### 1.2.9 Dureté calcique (mg/l Ca<sup>2+</sup>)

La dureté calcique mesure la concentration en ions calcium (Ca<sup>2+</sup>) dans l'eau, exprimée en mg/L de CaCO<sub>3</sub>.

Les concentrations en dureté calcique relevées entre le 7 décembre 2024 et le 1<sup>er</sup> mars 2025 varient de 50 à 70 mg/L, exprimées en équivalent CaCO<sub>3</sub>. Ces niveaux sont largement inférieurs aux limites maximales admissibles, à savoir 200 mg/L selon les normes algériennes de l'OMS et des normes espagnoles.

Ces résultats confirment l'efficacité du traitement par dessalement, qui parvient à éliminer l'excès de calcium tout en maintenant une minéralisation suffisante pour répondre aux exigences de santé publique et de confort d'utilisation.

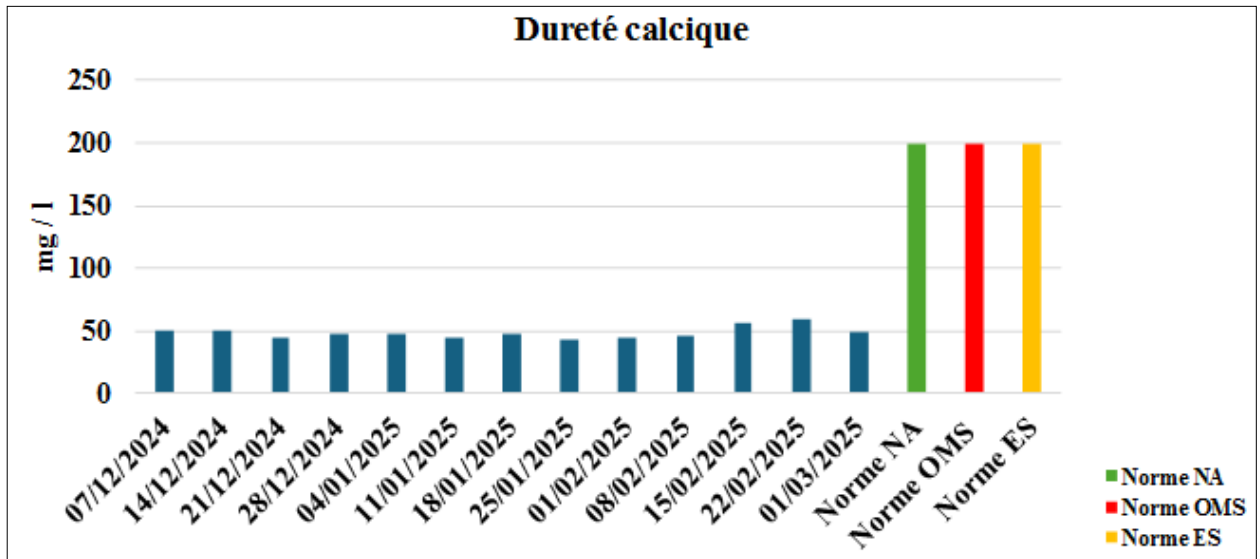


Figure 53. L'évolution de Dureté Calcique en fonction du Temps.

### 1.2.10 Indice Langelier

Les valeurs de l'indice de Langelier enregistrées durant la période du 07 décembre 2024 au 01 mars 2025 se situent entre 0,00 et 0,15. Ces résultats indiquent une eau légèrement sous-saturée en carbonate de calcium, donc légèrement corrosive.

Ils demeurent inférieurs aux seuils recommandés par les principaux standards internationaux, à savoir 0,5 selon la norme algérienne et l'OMS, et 0,4 selon les normes espagnoles.

Bien que cette légère corrosivité ne représente pas un danger direct pour la santé humaine, elle peut, à long terme, favoriser la dégradation des infrastructures métalliques (tuyauteries, réservoirs, pompes...) et réduire la durabilité du réseau de distribution.

Ces résultats soulignent l'importance de maintenir une alcalinité et une dureté équilibrées (notamment via la reminéralisation) pour atteindre un indice de Langelier proche de l'équilibre ( $\approx 0$ ), garantissant ainsi une eau ni corrosive ni entartrante, compatible avec les normes de potabilité et de durabilité des installations.

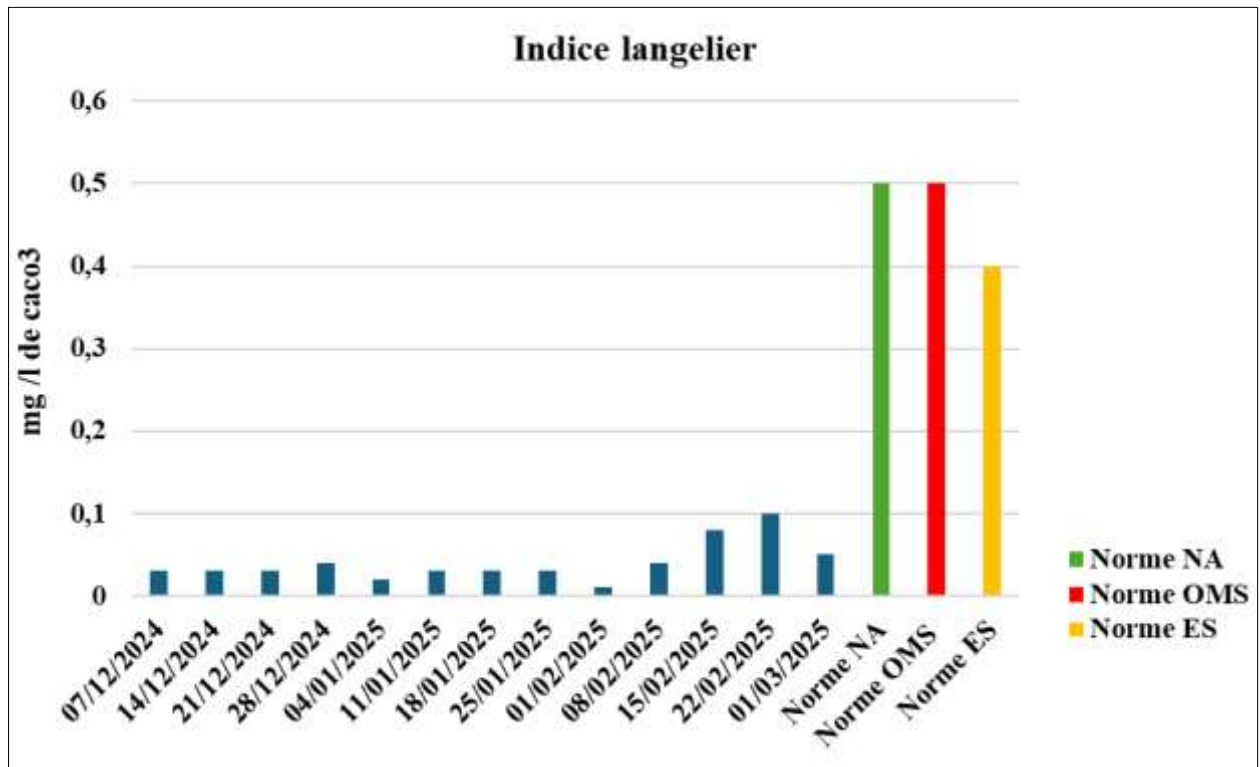


Figure 54. L'évolution de l'Indice langelier en fonction du Temps.

## II. Résultats des analyses microbiologiques :

### II.1.1 *Escherichia coli* (*E. coli*)

L'analyse réalisée par filtration sur membrane, suivie d'incubation sur milieux sélectifs, n'a révélé aucune colonie caractéristique d'*Escherichia coli* sur les boîtes de Pétri. Le résultat est donc négatif, ce qui est conforme aux exigences de l'Organisation mondiale de la santé (OMS), qui stipule l'absence totale d'*E. coli* dans 100 ml d'eau potable.

### II.1.2 Coliformes totaux

Aucune colonie n'a été observée après incubation sur les milieux spécifiques destinés à la recherche des coliformes totaux. Le résultat est négatif, en accord avec les normes internationales de qualité de l'eau, qui imposent une absence totale de coliformes totaux dans 100 mL d'échantillon.

### II.1.3 Coliformes fécaux

Les boîtes de Pétri utilisées pour détecter les coliformes fécaux sont restées stériles après incubation. Le test est négatif, respectant les recommandations de l'OMS relatives à l'absence de contamination fécale dans l'eau destinée à la consommation humaine.

### II.1.4 Germes aérobies mésophiles totaux (à 37 °C et 22 °C)

Les recherches effectuées à 37 °C et 22 °C pour les germes aérobies mésophiles n'ont montré aucune croissance microbienne sur les boîtes de Pétri. Les résultats sont donc négatifs, traduisant une très bonne qualité microbiologique générale.

### II.1.5 Moisissures et levures

L'analyse des moisissures et levures n'a révélé aucune croissance fongique sur les milieux incubés. Ce résultat est également négatif et compatible avec les normes de potabilité, garantissant l'absence de contamination fongique.



**Figure 55.** Les résultats d'analyses microbiologique

L'ensemble des résultats obtenus par la méthode de filtration sur membrane s'est révélé négatif, attestant de l'excellente qualité microbiologique de l'eau analysée. Cette absence de contamination bactérienne ou fongique, conforme aux recommandations de l'OMS, témoigne de l'efficacité du procédé de chloration mis en œuvre, qui assure une désinfection optimale de l'eau et la rend propre à la consommation humaine.

## Recommandations

### ➤ Performances techniques

- Améliorer le prétraitement avec des filtres adaptés et un suivi continu de la qualité de l'eau.
- Utiliser des membranes plus performantes et à faible consommation d'énergie.
- Mettre en place un programme de nettoyage régulier basé sur les données de fonctionnement.

### ➤ Réduction de la consommation d'énergie

- Installer des récupérateurs d'énergie.
- Optimiser le fonctionnement des pompes.
- Utiliser des sources d'énergie renouvelable.

### ➤ Qualité de l'eau

- Ajouter un post-traitement pour reminéraliser l'eau.
- Contrôler la désinfection avec du chlore ou des rayons UV.
- Surveiller en continu certains paramètres comme le pH et la turbidité.

### ➤ Réduction de l'impact environnemental

- Améliorer la gestion des rejets salins.
- Réduire l'utilisation de produits chimiques.
- Réutiliser les eaux de lavage quand c'est possible.

### ➤ Gestion économique

- Mettre en place une maintenance préventive basée sur des capteurs.
- Réduire les pertes d'eau en détectant les fuites.
- Former le personnel à une gestion plus efficace des installations.

### ➤ Alternatives environnementales pour le rejet des saumures

- Utiliser un émissaire sous-marin avec diffuseurs pour améliorer la dilution en mer.
- Diluer les saumures avec les eaux de refroidissement des centrales électriques.
- Acheminer les saumures vers des unités de production de sel pour les valoriser.
- Alimenter les usines avec des énergies renouvelables comme le solaire.
- Réaliser une cartographie écologique avant de choisir l'emplacement de l'usine.
- Adapter le type de rejet selon les caractéristiques du site (courants, profondeur, etc.).
- Combiner le rejet avec celui d'autres installations comme les centrales thermiques.
- Étudier la possibilité de rejet dans les embouchures de rivières pour profiter de la dilution naturelle.

### ➤ Valorisation de la saumure

- Extraire des éléments utiles avant rejet.
- Récupération de minéraux : magnésium, lithium, potassium, etc.
- Production de sel (Na Cl) via évaporation solaire.

- Employer l'eau saumâtre pour irriguer des plantes halophytes (plantes tolérantes au sel) : salicornes, quinoa, certaines variétés de tomate.
- Utilisation possible en aquaculture intégrée.
- Cristallisation et évaporation pour récupérer les sels solides.
- Bassins d'évaporation solaire (zones arides).
- Évaporation thermique ou sous vide (zones industrielles).

## **Conclusion**

---

## **Conclusion**

## Conclusion

---

Le dessalement de l'eau de mer représente aujourd'hui une solution stratégique pour faire face au stress hydrique croissant dans de nombreuses régions du monde, où les ressources en eau douce deviennent de plus en plus rares. Grâce aux avancées technologiques, le procédé de l'osmose inverse s'impose désormais comme la technique la plus répandue et la plus performante, surpassant les méthodes de distillation thermique.

Dans cette optique, l'Algérie a mis en place plusieurs stations de dessalement afin de garantir un approvisionnement régulier en eau potable, répondant aux normes de qualité sanitaire. C'est dans ce cadre que s'inscrit notre travail de fin d'études, réalisé à la station de dessalement « Dessaladora » de Skikda, conçue pour produire jusqu'à 100 000 m<sup>3</sup> d'eau douce par jour.

L'objectif de notre étude était d'évaluer la qualité de l'eau produite par cette station à travers des analyses physico-chimiques et bactériologiques. Ces analyses, menées durant les mois de décembre, janvier et février, ont permis d'apprécier le fonctionnement global du procédé adopté.

Les résultats obtenus ont confirmé que le système de dessalement par osmose inverse appliqué dans cette station est efficace, notamment dans la réduction de la salinité et de la turbidité de l'eau de mer. Sur le plan bactériologique, l'eau traitée s'est révélée exempte de contamination, conforme aux normes algériennes et aux standards de l'Organisation mondiale de la santé (OMS), attestant ainsi de sa bonne qualité hygiénique.

Les étapes de prétraitement mises en œuvre garantissent non seulement une protection optimale des équipements, mais aussi une longévité accrue des membranes et une production continue d'eau douce en qualité et en quantité satisfaisantes.

Par ailleurs, la station intègre des systèmes de récupération d'énergie, ce qui améliore le rendement énergétique global de l'installation.

En définitive, la station de dessalement de Skikda répond efficacement aux besoins en eau potable de la wilaya et de ses zones environnantes, tout en respectant les exigences sanitaires et techniques, ce qui en fait un modèle de solution alternative face à la rareté croissante de l'eau douce.

# Références bibliographiques

## Références Bibliographiques

---

- [1] **UNESCO. (2020).** Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2020 : L'eau et le changement climatique. UNESCO.
- [2] **Ould Baba, M. L., & Benrachedi, L. (2014).** Problématique de la gestion des ressources en eau en Algérie.
- [3] **FAO. (2016).** Le rôle des femmes dans la gestion des ressources en eau agricole – Phase 2. Préparé par AQUASTAT, système mondial d'information sur l'eau de la FAO. Rome, Italie
- [4] **Chebbani, R. (2017).** Gestion intégrée des ressources en eau en Algérie. [Thèse de Doctorat, Université de Tlemcen].
- [5] **Olivaux, Y. (2007).** La nature de l'eau. Éd. Marco Pietteur. 572 P.
- [6] **OMS (2003).** Background document for preparation of WHO Guidelines for drinking-water quality. World Health Organisation. 2 P.
- [7] **Rodier, J. et al. (2009).** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. Dunod. 1824 P.
- [8] **Savary, P. (2010).** Guide des analyses de la qualité de l'eau. Ed. Territorial Voiron.
- [9] **Battaz, S., & Boutata, N. (2006).** Élimination des hydrocarbures des eaux usées de la raffinerie de Skikda par le charbon actif granule [Mémoire d'ingénieur, Université de Skikda].
- [10] **OMS (2003).** Guidelines for drinking-water quality. World Health Organization. 564 P.
- [11] **Maurel, A. (2006).** Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres, 2<sup>e</sup> édition. Tec & Doc, Paris. 286 P.
- [12] **Degrémont. (2005).** L'eau – L'industrie, les procédés, les traitements. 10<sup>e</sup> édition. Paris: Lavoisier – Tec & Doc. 1718 P.
- [13] **UNESCO (2019).** The United Nations World Water Development Report 2019: Leaving No One Behind. UNESCO Publishing. 363 P.
- [14] **Dunglas. J. (2014).** Le dessalement de l'eau de mer, une nouvelle méthode pour accroître la ressource en eau. Groupe eau. Académie d'agriculture de France. 20 P.
- [15] **Abderrazak, A. (2014).** Procédé de dessalement et qualité physico-chimique de l'eau dessalée par la station de dessalement de l'eau de mer de Honaine [Mémoire de master, Université de Tlemcen].

## Références Bibliographiques

---

- [16] **Boyé, H. (2008).** Eau, énergie, dessalement et changement climatique en Méditerranée. Plan bleu, France. 80 P.
- [17] **Ecotoxicologie.fr. (2014).** Quels sont les impacts de dessalement de l'eau de mer ? Copié depuis le site <http://www.ecotoxicologie.fr/Dessalement.php>. 14 P.
- [18] **Boukellal, I., & Hanane, A. (2015).** Étude du procédé de dessalement de l'eau de mer et de la qualité physico-chimique de l'eau dessalée de la station de Cap Djinet [Mémoire de master, Université de Béjaïa].
- [19] **Zineb, B. (2010).** 245 000 habitants alimentés à Skikda alors que le dessalement d'eau de mer reste une option durable. Le Maghreb. Site Djazairiss. 2 P.
- [20] **Maurel, A. (2006).** Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et d'autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce, 2<sup>e</sup> édition. Paris, Tec & Doc. 286 P.
- [21] **Kaouane, I. (2013).** Procédé d'osmose inverse pour le dessalement de l'eau de mer au complexe de Skikda. Université de Skikda. 100 P.
- [22] **Zouag, B., & Belhadj, Y. (2017).** Analyse physico-chimique, bactériologique et parasitologique de l'eau de mer traitée par la station de dessalement de Souk Tleta (Tlemcen) [Thèse de doctorat, Université Abou Bekr Belkaid].
- [23] **Serge, A. (2017).** L'osmose directe ou quand l'osmose inverse change de sens. La revue de chimiste, 31(2). 16 P.
- [24] **Oboulo.com.** Le dessalement de l'eau de mer. <https://www.aquawal.be/servlet/Repository/le-dessalement-de-l-eau-de-mer.pdf?ID=2676&saveFile=true>. 16 P.
- [25] **Bouguerra, L. (2008).** Enjeux environnementaux et économiques du dessalement de l'eau. Licence Creative Commons Paternité – Partage des conditions initiales à l'identique 1991-2018. Partage des eaux. <https://www.partagedeseaux.info/Enjeuxenvironnementaux-et-economiques-du-dessalement-de-l-eau>. 40 P.
- [26] **Tahraoui Douma, N., Kettab, A., Abdelali, M., & Boughrara, F. (2010).** Qualité des eaux de mer après dessalement au niveau de la station de dessalement de la ville de Ténés, Chlef. Impact de dessalement sur l'environnement (milieu aquatique). WATMED 5, Lille – France. 18 P.
- [27] **Mostefaoui, B. (2016).** Introduction à la société de l'information. Alger : Office des Publications Universitaires (OPU). 250 P.
- [28] **Zouini, D. (2009).** Le dessalement de l'eau de mer par osmose inverse : une solution pour l'alimentation en eau des villes côtières d'Algérie. Revue HTE N°142. Mars – Juin 2009. 10 P.
- [29] **Mekassa, A. (2018).** Étude de l'impact du dessalement de l'eau de mer sur l'environnement [Mémoire de master, Université de Skikda].

## Références Bibliographiques

---

- [30] **Gaid, K., & Treal, Y. (2007).** Le dessalement des eaux par osmose inverse : l'expérience de Véolia Water. *Desalination*, 203. 14 P.
- [31] **Dias Santos, M. (1991).** Méthodes normalisées pour l'analyse des eaux potables et résiduelles. APHA-AWWA-WPCF (D.EXT.LAB.76).
- [32] **ISO 15839. (2003).** Qualité de l'eau – Matériel d'analyse/capteurs directs pour l'eau – Spécifications et essais de performance.
- [33] **APHA-AWWA-WPCF, Dias Santos, M. (1991).** Méthodes normalisées pour l'analyse des eaux potables et résiduelles (D.EXT.LAB.76).
- [34] **AFNOR. (1994).** Norme NF EN 27027 ISO 7027 : Détermination de la turbidité. Paris : AFNOR.
- [35] **AFNOR. (1997).** Qualité de l'eau, Environnement, Tome 1. (D.EXT.LAB.78).
- [36] **AFNOR. (1994).** Norme NF EN 27027 ISO 7027 : Détermination de la turbidité. Paris : AFNOR.
- [37] **ISO 6059. (1984).** Détermination de la dureté de l'eau.
- [38] **APHA-AWWA-WPCF, Dias Santos, M. (1991).** Méthodes normalisées pour l'analyse des eaux potables et résiduelles (D.EXT.LAB.76).
- [39] **Norme UNE-EN-ISO 9963-1 :1994. (1994).** Qualité de l'eau – Détermination de la demande chimique en oxygène (DCO) – Partie 1 : Méthode de détermination par oxydation à l'aide de dichromate.
- [40] **American Water Works Association (AWWA). (2011).** *Water Quality and Treatment: A Handbook on Drinking Water Supply* (6th ed.). McGraw-Hill.
- [41] **Degrémont, J. (2005).** *L'eau – L'industrie, les procédés, les traitements* (10<sup>e</sup> éd.). Éditions Lavoisier – Tec & Doc.
- [42] **Langelier, W. F. (1936).** The analytical control of anti-corrosion water treatment. *Journal of the American Water Works Association*, 28(10), 1500–1521.
- [43] **ISO 7393-2. (1990).** Détermination du chlore libre et total dans l'eau par la méthode au DPD.
- [44] **TDS. (n.d.).** Signification, Mesure et Impact sur la Qualité de l'Eau. [Document interne/Publication en ligne].
- [45] **Organisation mondiale de la Santé (OMS). (1996).** *Techniques de prélèvement et transport des échantillons d'eau*. Genève.
- [46] **AFNOR. (2005).** Qualité de l'eau — Recherche et dénombrement d'*Escherichia coli* et de coliformes — Partie 1 : Méthode par filtration sur membrane. Norme NF EN ISO 9308-1. Association Française de Normalisation.

## Références Bibliographiques

---

- [47] **Organisation internationale de normalisation (ISO). (2014).** ISO 9308-1 – Qualité de l'eau – Détection et dénombrement d'Escherichia coli et des bactéries coliformes – Partie 1.
- [48] **Consignes environnement Kore COCA-COLA : ENV-RQ-225** Qualité des eaux usées.
- [49] **Association Française de Normalisation (AFNOR). (2005).** NF T90-413 – Recherche et dénombrement des coliformes et coliformes thermotolérants.
- [50] **Organisation internationale de normalisation (ISO). (1999).** ISO 6222 – Eau – Dénombrement des microorganismes revivifiables – Méthode par ensemencement en boîte.
- [51] **Association Française de Normalisation (AFNOR). (1993).** NF T90-421 – Dénombrement des levures et moisissures – Technique par ensemencement en surface.