

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Abderrahmane MIRA – BEJAIA

Faculté de Technologie

Département des mines et géologie

MÉMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Filière : Génie Minier

Option : Valorisation des ressources minérales

Présenté par

ALEM AZEDDINE

BOUKOU FARAH

Thème

**Evaluation de la qualité de l'eau lors du procédé de la
production de l'eau osmosée a l'entreprise agro-alimentaire
ce vital**

Soutenu le 28/06/2025 à (10h :00) devant le jury composé de :

Présidente	Mme Z. SOUCI	MCA	U.A.M. Bejaia
Promotrice	Mme S. BOUNAB	MCA	U.A.M. Bejaia
Examineur	Mr S. BOUABDELLAH	MCA	U.A.M. Bejaia

Promotion 2025

Populaire et Démocratique Algérienne République
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Déclaration sur l'honneur
Engagement pour respecter les règles d'authenticité scientifique dans
l'élaboration d'un travail de recherche

Arrêté ministériel n° 1082 du 27 décembre 2020 (*)
fixant les règles relatives à la prévention et la lutte contre le plagiat

Je soussigné,

Nom : Bou Kou
Prénom : Fana
Matricule : 202033015556
Spécialité et/ou Option : URM
Département : Mines et géologie
Faculté : Faculté de Technologie
Année universitaire : 2020-2021


et chargé de préparer un mémoire de (Licence, Master, Autres à préciser) :

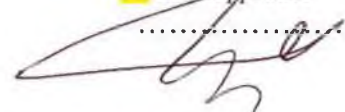
Intitulé : Évaluation de la qualité de l'eau lors
du procédé de la production de l'eau formée
à l'entreprise d'hydro-alimentaire de l'Etat Béjaïa

déclare sur l'honneur, m'engager à respecter les règles scientifiques, méthodologiques,
et les normes de déontologie professionnelle et de l'authenticité académique requises dans
l'élaboration du projet de fin de cycle cité ci-dessus.

Fait à Béjaïa le
20/07/2021

Signature de l'intéressé

 Lu et approuvé

.....


(*) Arrêté ministériel disponible sur le site www.univ-bejaia.dz/formation (rubrique textes réglementaires)

Populaire et Démocratique Algérienne République
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Déclaration sur l'honneur
Engagement pour respecter les règles d'authenticité scientifique dans
l'élaboration d'un travail de recherche

Arrêté ministériel n° 1082 du 27 décembre 2020 (*)
fixant les règles relatives à la prévention et la lutte contre le plagiat

Je soussigné,

Nom : A. Lem

Prénom : A. Zedouin

Matricule : 191933022828

Spécialité et/ou Option : URM

Département : Mines et géologie

Faculté : Faculté de Technologie

Année universitaire : 2020-2021


et chargé de préparer un mémoire de (Licence, Master, Autres à préciser) :

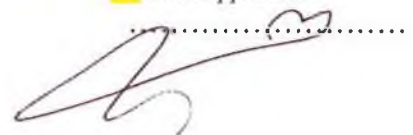
Intitulé : Évaluation de la qualité de l'eau lors
du procédé de la production de l'eau osmose
à l'usine agro-alimentaire Evital Béjaïa.

déclare sur l'honneur, m'engager à respecter les règles scientifiques, méthodologiques,
et les normes de déontologie professionnelle et de l'authenticité académique requises dans
l'élaboration du projet de fin de cycle cité ci-dessus.

Fait à Béjaïa le
10/07/2021

Signature de l'intéressé

 Lu et approuvé



(*) Arrêté ministériel disponible sur le site www.univ-bejaia.dz/formation (rubrique textes réglementaires)

Remerciements

Nous remercions DIEU LE TOUT PUISSANT pour nous avoir donné la force, la sante et la patience pour arriver là au nous sommes.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements et notre gratitude à notre promotrice Mme. BOUNAB SAMIA pour nous avoir estimé capable de traiter ce sujet.

Un grand remerciement à Mme. SCEUICI pour l'honneur qu'elle nous a fait en acceptant de présider le jury de notre soutenance et aussi Mr. BOUABDELLAH pour l'honneur qu'il nous a fait en acceptant d'examiner notre travail et sans oublier Mme NACRI KARIMA chef de service contrôle de qualité des eaux CEVITAL Bejaia.

Nous avons un grand plaisir de remercier les enseignants et les étudiants du département Mines et Géologie, université de bejaia.il est judicieux de présenter notre plus humble remerciement a l'entreprise CEVITAL.

Enfin, nous présentons toute notre gratitude à tous ceux/celles qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire

DEDICACE

Tout d'abord, je tiens à remercier DIEU De m'avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Je tiens à dédier cet humble travail à : A ma tendre mère et mon très cher père SAID

A mon encadrante madame Bounab pour son expertise et son dévouement

A tous mes oncles

A mes précieuses sœurs

A mes meilleurs amis, pour les moments de joie et d'encouragement

A toi Farah et toute ta famille

A Tous mes amis d'enfance et du long parcours scolaire et universitaire.

A Toute la famille ALEM ET MERZOUK, qui ont toujours cru en moi et m'ont soutenu tout au long de ce parcours

A tous ceux qui ont cru en moi

Et a Tout ceux qui m'aiment et que j'aime

DEDICACES

A la mémoire de mon cher père :

En lequel j'ai toujours vu un père dévoué à sa famille. Sa simple présence dans ma mémoire en toute circonstances m'a mainte fois rappelée le sens de la responsabilité, que dieu l'accueille dans son vaste paradis.

A ma chère mère :

En toi, je vois la maman parfaite, toujours prête à se sacrifier pour le bonheur de ses enfants. Que dieu te donne une longue vie. Merci pour tout.

A mon cher unique frère MOUHEND :

Ton amour tes sacrifices font de toi un frère, un père, veillant, soucieux, responsable, accueillant... parfait,

A ANISSA et AHMED :

Merci pour votre appui permanent et votre soutien moral indispensable au cours de ces longues années je vous souhaite tout le bonheur de monde.

A mes chères sœurs :

Tout comme mon frère, vos bien vaillances font de vous des sœurs parfaites,

A toi Azzedine :

Et toute ta famille sans t'oublier mon binôme avec toi j'ai partagé les joies et les difficultés relatives au suivi de ce travail. Merci pour tes motivations et tes judicieuses propositions.

A tous ceux qui me sont chères :

Qui ont été d'un soutien moral.

« FARAH »

Résumé

Le complexe agro-alimentaire Cevital exploite de l'eau brute qui provient d'un forage localisé à IBORASSEN (Bejaia) et du picage sur les réseaux de l'ADE, Cette eau présente une agressivité liée à sa composition physico-chimique qui peut causer des phénomènes de corrosions et d'entartrages qui se traduit par une baisse de performance des installations, une augmentation des couts de maintenance ou encore une mauvaise qualité du produit final.

Pour répondre à ces problématiques le traitement de l'eau brute par osmose inverse c'est imposer comme solution efficace et fiable, ce procédé de séparation membranaire permet de diminuer le maximum possible l'agressivité de l'eau, ce procédé nécessite une préparation rigoureuse de l'eau pour la protection des membranes de l'osmose inverse.

Le laboratoire d'analyse de l'eau au niveau de l'industrie joue un rôle fondamental dans le suivi du traitement et la vérification de la conformité de l'eau traitée.

Le travail a porté est sur l'analyse de l'agressivité de l'eau brute, et une attention particulière sera porté sur le prétraitement et le fonctionnement du système de l'osmose inverse pour garantir une eau stable, conforme et non agressive en sortie de traitement.

Mots clés : Cevital, eaux brutes, prétraitement, osmose inverse, agressivité de l'eau.

Abstract

The Cevital agri-food complex extracts raw water from a well located in IBORASSEN (Bejaia) and from tapping into the ADE networks. This water exhibits aggressiveness related to its physico-chemical composition, which can cause corrosion and scaling phenomena, leading to decreased equipment performance, increased maintenance costs, or poor quality of the final product.

To address these issues, treating raw water by reverse osmosis has become an effective and reliable solution. This membrane separation process significantly reduces the water's aggressiveness. It requires rigorous water preparation to protect the reverse osmosis membranes.

The water analysis laboratory within the industry plays a fundamental role in monitoring the treatment process and verifying the compliance of the treated water.

The study focuses on the analysis of raw water aggressiveness, with particular attention given to pretreatment and the operation of the reverse osmosis system to ensure stable, compliant, and non-aggressive water at the output of the treatment.

Keywords: Cevital, raw water, pretreatment, reverse osmosis, water aggressiveness.

ملخص

يستغل المجمع الزراعي الصناعي سي فيتال المياه الخام التي تأتي من بئر يقع في إبوراسين (بجاية) ومن السحب من شبكات الوكالة الوطنية للتوزيع، وتتميز هذه المياه بوجود عدوانية مرتبطة بتكوينها الفيزيائي-الكيميائي الذي يمكن أن يسبب ظواهر التآكل والترسبات، مما يؤدي إلى انخفاض أداء المنشآت، وزيادة تكاليف الصيانة، أو حتى انخفاض جودة المنتج النهائي.

للرد على هذه المشكلات، أصبح معالجة المياه الخام عن طريق التناضح العكسي حلاً فعالاً وموثوقاً، حيث يسمح هذا الإجراء لفصل الأغشية بتقليل عدوانية المياه إلى أقصى حد ممكن. يتطلب هذا الإجراء تحضيراً دقيقاً للمياه لحماية أغشية التناضح العكسي.

يلعب مختبر تحليل المياه على مستوى الصناعة دوراً أساسياً في متابعة المعالجة والتحقق من مطابقة المياه المعالجة العمل كان يركز على تحليل عدوانية المياه الخام، وسيتم إيلاء اهتمام خاص للمعالجة المسبقة وتشغيل نظام التناضح العكسي لضمان الحصول على مياه مستقرة ومتوافقة وغير عدوانية بعد المعالجة.

الكلمات المفتاحية: سي فيتال، المياه الخام، المعالجة المسبقة، التناضح العكسي، عدوانية المياه.

SOMMAIRE

Table des matières

Introduction générale

Chapitre I : synthèse bibliographique sur l'eau et l'entreprise Cevital

I. Introduction.....	1
I.1.Situation géographique	1
I.2.Organigramme de l'entreprise	1
I.3.Les principaux pôles de l'entreprise	2
I.4.Laboratoire d'analyses	3
I.5.Sources d'alimentation en eau de l'entreprise	3
I.6.Généralités sur l'eau	3
I.7.Les paramètres d'évaluation de la qualité d'eau	4
I.7.1. Les paramètres organoleptiques :	4
I.7.2. L'odeur :	4
I.7.3. Le gout et la saveur :	4
I.8. Cycle de traitement de l'eau par l'osmose Inverse au niveau du complexe Cevital	8
I.9. Généralités sur l'eau osmose	9
I.9.1. Définition de l'eau osmosé :	9
I.9.2. Principe de l'osmose inverse :	9
I.9.3. Les avantages et les inconvénients de l'osmose inverse :	9
Conclusion	10

Chapitre II : les procédés de traitement de l'eau brute, méthodes et matériels d'analyses

II. Introduction	13
II.1. La filtration et la purification de l'eau de forage	13
II.1.1. Filtration de l'eau brute par filtre à sable et filtre à cartouches un traitement préliminaire	14
II.1.2. L'eau brute de forages Ibourassen :	14
II.1.3. Les réactifs injectés et leur rôle avant la filtration à sable	15
II.1.4. Le passage de l'eau brute par les filtres à sable :	15
II.1.5. Le principe de fonctionnement :	16
II.1.6. Les réactifs injectés avant la filtration à cartouche	17
II.1.7. Le passage de l'eau par les filtres à cartouches	18
II.2. La purification de l'eau filtré par osmose inverse	20
II.2.1. Le phénomène de l'osmose inverse :	20
II.2.2. Le déroulement du procédé de purification par osmose inverse :	21

II.2.3. Les constituants du système osmose :	22
II.2.4. La pression osmotique :	23
II.2.5. Les membranes :	23
II.2.6. L'opération de nettoyage et la mise en état de propreté du system :	25
II.2.7. Effet des produits de nettoyage sur les matériaux :	26
II.2.8. Les pompes et les vans les plus fréquent dans les systèmes de traitement :	26
II.2.9. Les dysfonctionnements du système de traitement :	27
II.2.10. L'agressivité de l'eau :	28
II.2.11. Les indices permettant de caractériser l'agressivité d'une eau naturelle	29
II.3. Les méthodes d'analyses :	30
II.3.1. Le potentiel d'hydrogène (pH):	30
II.3.2. La conductivité :	31
II.3.3. Méthodes tétramétriques	32
II.3.3.4 Méthodes spectrophotométriques :	33
Conclusion :	34
Chapitre III : Résultats et discussions	
III. Introduction :	37
III.1. Les paramètres d'analyses physico chimique.....	37
III.1.1. Potentiel d'hydrogène (PH) :	37
III.1.2. La Conductivité	38
III.1.3. Le titre alcalimétrique complet (TAC) :	40
III.1.4. Le titre hydrométrique total :	41
III.1.5. La teneur en chlore libre :	42
III.2. Evaluation de l'agressivité et de l'entartrage des eaux :	44
III.2.1. Indice de Saturation (LANGELIER) et Indice de Stabilité des eaux (RYZNAR) :	44
III.2.2. Analyse des indices :	45
III.2.3. Evolution de l'Indice de saturation Langelier IS :	45
III.2.4. Evolution de l'Indice de stabilité de l'eau IR :	45
Conclusion :	46
Conclusion générale	

Bibliographie

Table des Tableaux

Table des Tableaux

Tableau 1 : Détermination de la minéralisation à partir de la conductivité	5
Tableau 2: Les avantages et les inconvénients de l'osmose inverse	10
Tableau 3: Les facteurs qui influencent la corrosion	28
Tableau 4: Le ph réel et le ph de saturation	29
Tableau 5: Tendance de l'eau selon l'indice de rayznar.....	30
Tableau 6: Le pHs selon LANGELIER	30
Tableau 7: Résultats d'analyses du paramètre pH	37
Tableau 8: Résultats d'analyses du paramètre de la conductivité.....	39
Tableau 9 : Résultats d'analyses du paramètre de titre alcalimétrique complet (TAC)	41
Tableau 10: Résultats d'analyses du paramètre de titre hydrométrique total	42
Tableau 11 : Résultats d'analyses du paramètre de chlore libre.....	44
Tableau 12: Evaluation des indices (pHs, IR et IS)	46

LISTE DES FIGURES

Liste des figures

Figure 1: Situation géographique de complexe Cevital	1
Figure 2: Organigramme de Cevital complexe agroalimentaire Bejaia	2
Figure 3: Différentes Marques et produits de Cevital agro industries	2
Figure 4: Situation géographique De région d'IBOURASEN	3
Figure 5: Illustration schématique de la molécule d'eau	4
Figure 6: Cycle de traitement de l'eau au niveau de complexe de Bejaia	8
Figure 7: Principe de l'osmose inverse	9
Figure 8: Bâche de stockage de l'eau brute CEVITAL	14
Figure 9: Différents constituants d'un filtre à sable	16
Figure 10: Principe d'un filtre à sable	17
Figure 11: Photographie du filtre à cartouche Cevital	18
Figure 12. Les cartouches filtrantes bobinées (prise par nous durant la période de stade du 18/02 2025 Au 05/03/2025)	19
Figure 13: Principe de l'osmose inverse	21
Figure 14: Système d'osmose inverse	22
Figure 15: Photographie d'une membrane de module spirale	23
Figure 16: La structure interne d'un module spirale	24
Figure 17: Représentation schématique de la séparation par membrane	24
Figure 18 : Le phénomène de l'entartrage	27
Figure 19: Caractéristiques de l'eau en fonction de pH	28
Figure 20: Photo de conductivimètre et pH mètre prise par nous au niveau de laboratoire d'analyse Cevital	31
Figure 21: Photo des différents réactifs utilisés dans la méthode d'analyse titrimétrique prise par nous durant la période de stage	33
Figure 22 : Teneurs moyennes des analyses du paramètre pH	38
Figure 23: Teneurs moyennes des analyses du paramètre de la conductivité.....	39
Figure 24 : Teneurs moyennes des analyses du paramètre de titre alcalimétrique complet (TAC)	41
Figure 25: Teneurs moyennes des d'analyses du paramètre de titre hydrométrique total	43
Figure 26 : Teneurs moyennes des résultats d'analyses du paramètre du chlore libre	45

Introduction générale

L'industrie agroalimentaire est une grosse consommatrice d'eau, cette eau ayant plusieurs utilisations possibles : production ; transport de matières ; matière première (boissons) ; lavage et refroidissement des réacteurs, équipements et tuyauteries ; etc.... La qualité de l'eau est un élément clé de la sécurité alimentaire et de la qualité des produits dans l'industrie agroalimentaire, il est crucial d'assurer une qualité d'eau contrôlée tout au long de la chaîne de production. Elle doit par ailleurs respecter toutes les réglementations sanitaires. La problématique de la corrosion et de l'entartrage peut causer des problèmes majeurs dans les canalisations, les réservoirs de stockage, et les équipements de production, entraînant des fuites, des explosions, et des pertes financières importantes. Contrôler ces phénomènes et mettre en place des mesures préventives sont des éléments cruciaux pour garantir le bon fonctionnement et la longévité des installations. [1]

En Algérie, Cevital est l'un des piliers de l'industrie agro-alimentaire implantée dans la wilaya de Bejaia. Dans le cadre des procédés industriels, la qualité de l'eau brute utilisée dans cette entreprise, revêt une importance capitale. L'eau de forage et l'eau distribuée par l'ADE peuvent se révéler agressive vis-à-vis des matériaux et cela dépend de plusieurs paramètres physico chimiques alors il est essentiel de caractériser la qualité de l'eau brute et mettre en place des solutions.[1]

Plusieurs types de procédés se sont révélés extrêmement efficaces, tels que l'osmose inverse, ses procédés membranaires jouent un rôle crucial sur le plan de traitement de l'eau brute, permettant d'obtenir de l'eau pure, dépourvue de toute substance chimique ou bactérienne destinée à la consommation humaine, aux besoins industriels et d'autres utilisations telles que le nettoyage des installations. L'objectif principal du traitement de l'eau réside dans la prévention des problèmes techniques tels que l'entartrage, la corrosion ou le colmatage des équipements, qui peuvent entraîner des interruptions de production ou des coûts de maintenance élevés. Parallèlement, il est essentiel de protéger les consommateurs contre les microorganismes pathogènes ainsi que les impuretés nuisibles ou dangereuses pour la santé, ce qui nous a amené à poser la problématique suivante : **comment maîtriser et traiter l'agressivité de l'eau brute utilisée dans le complexe Cevital afin d'assurer la durabilité des équipements et la qualité de production.** Pour cela, nous avons structuré notre travail en trois chapitres.

Le premier chapitre est préliminaire dont on fait une présentation de l'organisme d'accueil et une recherche bibliographique sur l'eau en générale ;

Le deuxième chapitre, est consacré pour le processus de traitement par osmose inverse ainsi que les méthodes d'analyses effectuées ;

Le dernier chapitre se base sur l'interprétation des résultats obtenus avant et pendant la réalisation du traitement qui sera suivi par une conclusion générale.

Chapitre I : Synthèse bibliographique sur l'eau et descriptions de l'entreprise

I.1. Introduction

Fondée en 1998 et implantée dans le port de Bejaia, Cevital Agro-industrie constitue l'un des piliers de l'industrie agro-alimentaire en Algérie, reconnu par la diversité et la qualité de son produit, cette entreprise s'est imposée comme un acteur stratégique à proximité du port facilite les opérations logistiques d'importation et d'exportation ce qui confère un avantage concurrentiel notable.

L'entreprise a entrepris plusieurs démarches pour optimiser ses procédés industriels, parmi ces efforts ; une attention particulière est accordée à la gestion de l'eau, un élément essentiel dans les processus de fabrication agroalimentaire, l'eau utilisée doit répondre à des standards rigoureux en termes de pureté et de composition physico-chimique. C'est pour cette raison que l'osmose inverse a été intégré comme solution [1].

L'osmose inverse est un procédé de séparation membranaire permettant d'éliminer efficacement les sels dissous et le maximum d'impureté ce dernier est important pour prolonger la durée de vie des équipements et assurer la conformité à l'exigence sanitaire.

Dans ce chapitre, nous allons présenter l'entreprise, sa situation géographique comme première partie et une attention particulière sera portée à la description globale sur les procédés de l'osmose inverse un niveau complexe comme deuxième partie du chapitre

I.2. Partie 01 : complexe agroalimentaire Cevital

I.2.1. Situation géographique du complexe agroalimentaire Cevital

CEVITAL est situé au nouveau terminal du Port de Bejaia, à 3 km au sud-ouest de la ville, à proximité de la RN 26. Il borde la mer Méditerranée au nord et au nord-est, le port de Bejaia à l'ouest, la société Sonatrach au sud-est et enfin la société Naftal au sud-ouest. L'entreprise bénéficie grandement de sa situation stratégique avec des avantages de proximité (figure 1). [1]



Figure 1 : Situation géographique de complexe Cevital [2]

I.2.2 L'organigramme de l'entreprise

Le Groupe Cevital est organisé par plusieurs directions stratégiques où ses activités sont subdivisées en pôles et secteurs clés, il associe une organisation matricielle à des directions géographiques (Algérie, Europe, Brésil) et sectorielles permet de maintenir une croissance à la fois verticale (intégration industrielle) et horizontale (diversification sectorielle). (Figure 2)

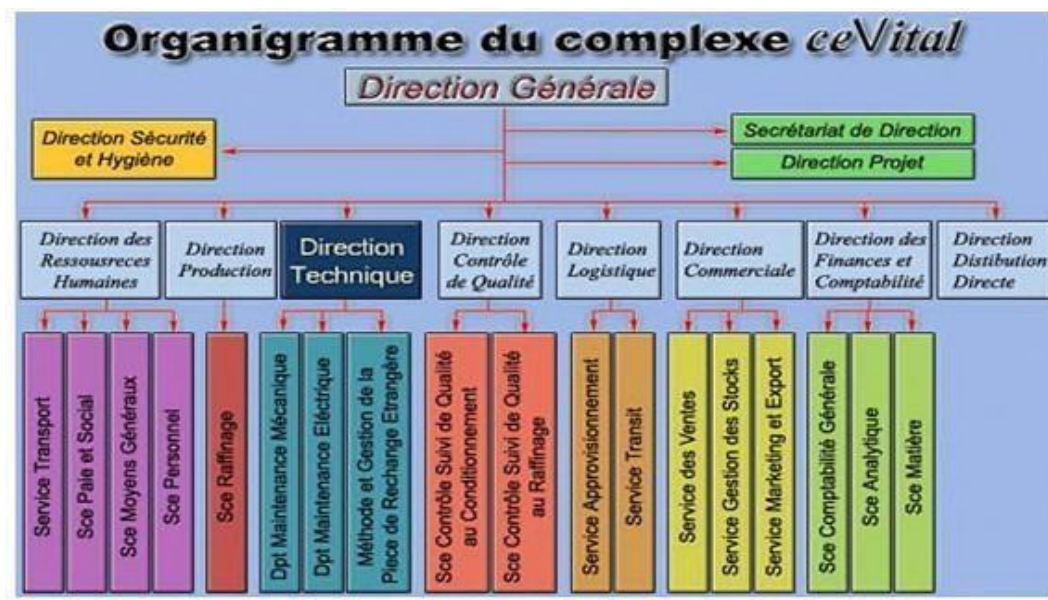


Figure 2 : Organigramme de Cevital complexe agroalimentaire Bejaia

I.2.3. Les principaux pôles de l'entreprise

Le site de CEVITAL à Bejaia est divisé en deux zones :

- Zone Sucre : Comprenant les divisions 'Sucre Solide' et 'Sucre Liquide', elle effectue la mise en œuvre et la supervision des étapes du processus technique impliquées dans le raffinage du sucre.
- Zone Graisses et Huiles : Comprenant trois sous-divisions (Division Raffinage d'Huile, Division Margarine, Division Emballage d'Huile).

Ces zones de stockage et de raffinage sont responsables de la mise en œuvre du processus de production. En fait, elles contrôlent les paramètres de production de la margarine, de l'emballage et de la mise en bouteille de l'huile raffinée (figure 3), Elles fonctionnent en continu (24/24) en trois équipes (3*8 h). [3]



Figure 3 : Différentes Marques et produits de Cevital agro industries [4]

I.2.4. Laboratoire d'analyses

L'eau brut subissent des différents processus de traitement tels et le laboratoire contrôle de qualité de l'eau chez Cevital est capital dans le suivi de proses, Il fait appel à des équipements technologiques afin de satisfaire les besoins multiples et réaliser des analyses physicochimiques des eaux. Cela inclut l'examen de la composition chimique, la détection de sels, de virus, de bactéries et d'autres impuretés qui pourraient compromettre la qualité de l'eau ou causer des dommages aux installations industrielles. [5]

I.2.5. Sources d'alimentation en eau de l'entreprise

L'eau utilisée provient principalement de deux sources distinctes.

- L'eau provenant d'un forage localisé à IBOURASSEN, à environ 12 km du complexe situé à OUED GHIR (Bejaia).
- Un picage sur le réseau de L'ADE Bejaia, qui reçoit également une partie de son approvisionnement en eau. (Figure 4)

Cependant, ces sources existantes ne suffisent plus à répondre à la demande croissante, car ces dernières années, la disponibilité en eau a diminué en raison de l'augmentation de la consommation et des conditions de sécheresse. Face à cette situation, il est envisagé d'explorer une troisième source potentielle, à savoir le dessalement de l'eau de mer [3].

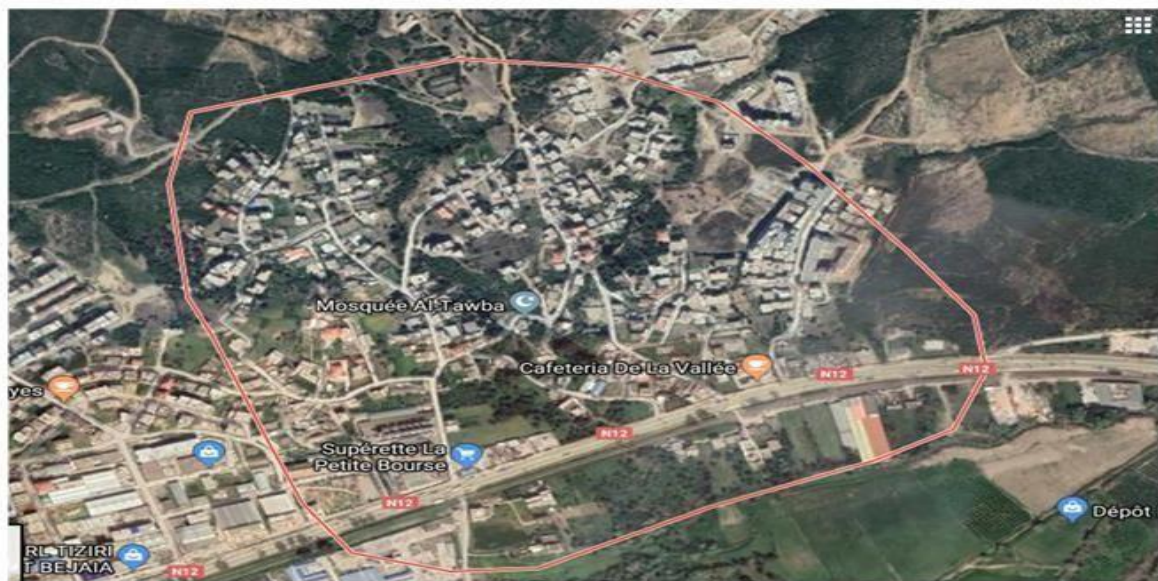


Figure 4 : Situation géographique de la région d'IBOURASEN [6]

I.3.Partie 02 : Généralités sur l'eau

L'eau se présente comme un corps sans odeur, incolore et insipide. Chimiquement, l'eau est une molécule extrêmement simple (figure 5), composée de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène, formant ainsi le composé binaire H_2O .

Une molécule d'eau peut être représentée en trois dimensions sous la forme d'un tétraèdre déformé. Les deux liaisons H-O-H forment un angle de 104.5° . En tant que dipôle, la molécule d'eau présente un pôle oxygène chargé négativement, avec des paires d'électrons libres, tandis que les deux atomes d'hydrogène représentent la charge positive du dipôle. Cette répartition

inégale des charges permet la formation d'associations entre les molécules d'eau grâce aux liaisons hydrogène. L'énergie des liaisons hydrogène est de 10 à 50 fois plus faible que celle des liaisons covalentes O-H. Ces liaisons confèrent à l'eau de nombreuses propriétés physiques, telles que son point de congélation élevé (0°C, 32°F) et son point d'ébullition élevé (100°C, 212°F) [7]

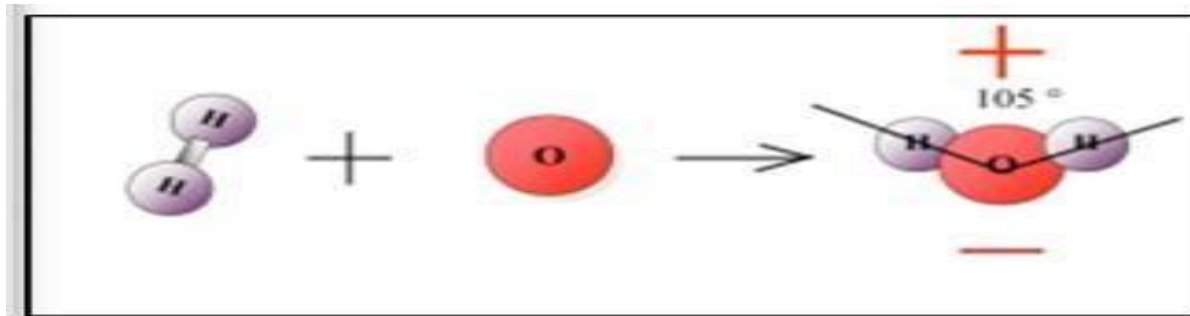


Figure 5 : Illustration schématique de la molécule d'eau [8]

I.3.1. Les paramètres d'évaluation de la qualité d'eau

A) Les paramètres organoleptiques : [9]

En règle générale, ces ajustements sont effectués directement au point de prélèvement, Ils sont facilement repérables car ils concernent l'odeur et la couleur de l'eau.

1. La couleur :

L'eau peut prendre une couleur en raison des substances dissoutes ou en suspension, qui proviennent généralement de sources naturelles telles que les végétaux et les minéraux. Dans les eaux naturelles, la coloration peut varier du jaune pâle au brun rougeâtre en fonction de la nature et de la concentration des matières colorantes présentes.

2. L'odeur :

L'odeur est définie comme l'ensemble des sensations captées par l'organe olfactif lorsqu'il détecte certaines substances volatiles. La présence de ces substances dans l'eau peut indiquer une pollution ou la présence de matières organiques en décomposition telles que les alcools, le dioxyde de soufre et le chlore.

3. Le gout et la saveur :

Il s'agit de toutes les perceptions gustatives, olfactives et de sensibilité chimique qui sont ressenties lorsque la nourriture ou la boisson est en bouche. On peut distinguer différentes saveurs telles que l'acide, l'amer, le sucré, le salé, et en ce qui concerne le goût, on peut rencontrer des goûts comme le métallique, le chloré, le terreux, etc.

B) Les paramètres physico-chimiques :

Les caractéristiques d'une eau souterraine sont déterminées par divers paramètres physiques et chimiques. ;

1. Le potentiel d'hydrogène (pH) :

Par définition, le pH est égal au cologarithme de l'activité des protons.

$$\text{pH} = -\log (\text{H}_3\text{O}^+)$$

Le niveau de pH de l'eau joue un rôle crucial dans les équilibres physico-chimiques, notamment dans l'équilibre calco-carbonique et par conséquent dans l'interaction de l'eau avec les carbonates (leur dissolution ou précipitation). L'eau est considérée acide lorsque son pH est inférieur à 8,3, comme c'est le cas pour les eaux des aquifères sableux ou granitiques, et alcaline pour des valeurs supérieures à 8,3, typiquement observées dans les eaux calcaires. Dans les milieux aquatiques naturels, le pH est principalement influencé par la concentration de dioxyde de carbone dissous (CO_2 , H_2O). [10]

2. La température :

Il est bien connu que la température a un impact direct sur les réactions chimiques. En particulier, elle influence la dissolution des gaz et des sels dans l'eau. Il est à noter que la solubilité de ces substances diminue à mesure que la température augmente. De plus, ce phénomène est étroitement lié au pH et à la conductivité électrique [11]

3. La conductivité :

La conductivité est une mesure qui permet d'estimer rapidement la concentration en ions d'une solution. En effet, toute substance chargée dissoute a la capacité de conduire un courant électrique dans une solution. Cette grandeur est habituellement exprimée en Micro siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$) à une température de 20°C . La conductivité d'une eau naturelle est comprise entre 50 et $1500 \text{ S}/\text{cm}$ (le tableau 1) montre comment déterminer la minéralisation à partir de la conductivité. (12)

Tableau 1 : Détermination de la minéralisation à partir de la conductivité [13]

Conductivité(μS)	Minéralisation
Conductivité <50	$1.365079 \times \text{conductivité à } 20^\circ\text{C}$
$50 < \text{conductivité} < 166$	$0.947658 \times \text{conductivité à } 20^\circ\text{C}$
$166 < \text{conductivité} < 333$	$0.769574 \times \text{conductivité à } 20^\circ\text{C}$
$333 < \text{conductivité} < 833$	$0.71592 \times \text{conductivité à } 20^\circ\text{C}$
$833 < \text{conductivité} < 1000$	$0.458544 \times \text{conductivité à } 20^\circ\text{C}$
Conductivité >1000	$0.850432 \times \text{conductivité à } 20^\circ\text{C}$

4. La salinité totale :

La salinité totale représente la combinaison de toutes les concentrations des substances minérales dissoutes dans l'eau. Les sources de minéralisation sont diverses, provenant notamment des sédiments de roches, des argiles, des sables, etc. La notion de salinité revêt une

importance particulière pour les eaux marines et certaines eaux industrielles, car elle guide vers le choix optimal des traitements d'ionisation à appliquer [13]

5. La dureté :

La dureté de l'eau est déterminée par la concentration totale des cations métalliques, à l'exception des métaux alcalins et du proton. Cette dureté est principalement attribuée aux ions calcium et magnésium, qui ont tendance à réduire la toxicité des autres métaux présents dans l'eau. On peut distinguer différents types de dureté :

- a) La dureté totale, également appelée titre hydrotimétrique (TH), qui correspond à la somme des concentrations de calcium et de magnésium.
- b) La dureté calcique, qui représente la quantité totale de sels de calcium présents.
- c) La dureté magnésienne, qui correspond à la quantité totale de sels de magnésium dans l'eau. [14]

6. L'alcalinité :

L'alcalinité d'une eau provient principalement de la présence de bases et de sels d'acides faibles. Dans les eaux naturelles, elle est généralement due à la présence d'hydrogénocarbonates, de carbonates et d'hydroxydes.

Le titre alcalimétrique (T.A.) d'une eau correspond à la somme des concentrations des ions carbonates (CO_3^{2-}) et des ions hydroxydes (OH^-), jusqu'au premier point équivalent :

$$\text{T.A.C} = [\text{OH}^-] + [\text{CO}_3^{2-}].$$

Le titre alcalimétrique complet (T.A.C) reflète la concentration en ions carbonate (CO_3^{2-}) et en ions hydrogénocarbonate (HCO_3^-) dans une eau : (deuxième point équivalent).

$$\text{T.A.C.} = [\text{OH}^-] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-]$$

Le T.A. et le T.A.C. s'expriment en milliéquivalent par litre ou mol/l. 6

7. La teneur en chlorure :

Les chlorures se trouvent toujours dans l'eau, mais leur quantité varie. Dans les eaux naturelles de surface, leur concentration est généralement de quelques milligrammes par litre, tandis que dans les eaux marines, elle peut atteindre environ 20 grammes par litre (Cl^-). Ainsi, les eaux des régions sédimentaires contiennent une quantité significativement plus élevée de chlorures par rapport à celles des régions granitiques. De plus, la teneur en chlorure augmente avec le degré de minéralisation. Il est recommandé que la concentration maximale de chlorures dans l'eau potable ne dépasse pas 250 mg/l [15]

8. La teneur en manganèse :

Le manganèse se retrouve couramment dans la plupart des sols et des sédiments, ainsi que dans les roches métamorphiques. La pyrolusite MnO_2 est le minéral de manganèse le plus répandu, largement utilisé dans les processus industriels de filtration par sable. En l'absence d'oxygène dans l'eau, le manganèse se transforme rapidement en sels manganoux (Mn^{+2}) et

peut être présent dans les eaux des puits profonds à des concentrations allant jusqu'à 2 à 3 mg/l. La concentration maximale recommandée de manganèse dans l'eau potable est de 0,005 mg/l [16]

9. La teneur en silice :

Dans les eaux, la silice peut se présenter sous deux formes distinctes : soluble et colloïdale. La silice soluble, principalement présente sous forme d'hydroxyde de silicium $\text{Si}(\text{OH})_4$, a tendance à se regrouper pour former des colloïdes. En revanche, les silicates sont peu solubles dans l'eau et se manifestent à des pH élevés, dépassant 10. Leur concentration dans l'eau peut varier de 1 à 50 mg/l. [17]

10. La teneur en Fer :

Le fer peut être présent dans l'eau sous différentes formes. Dans des eaux souterraines avec un pH compris entre 4,5 et 9, le fer soluble est principalement sous forme ferreuse. En revanche, le fer ferrique n'est significativement soluble que dans des conditions de pH inférieur à 3 en l'absence de complexe. Les eaux de surface, quant à elles, contiennent généralement très peu de fer, rarement plus de 1 mg/l. Lorsque le fer est exposé à l'air ou qu'un oxydant est ajouté, il s'oxyde en fer ferrique et peut s'hydrolyser pour former un hydroxyde de fer insoluble. Ainsi, il se retrouve sous forme colloïdale, souvent lié à la matière organique, que ce soit sous forme de complexe organique ou minéral, ou encore sous forme de particules en suspension [18]

11. La teneur en Chlore :

La méthode de désinfection la plus couramment utilisée pour le traitement de l'eau est la chloration au chlore. Ce procédé vise à éliminer les microorganismes et à décomposer les molécules organiques. Le chlore (Cl_2) et ses dérivés chlorés (comme l'hypochlorite de sodium ou l'eau de Javel, l'hypochlorite de calcium) se dissocient instantanément dans l'eau en acide hypochloreux (HOCl) et en ion hypochlorite (ClO^-).

L'acide hypochloreux est le composé le plus actif dans les processus de désinfection. Lorsque le chlore gazeux se dissout dans l'eau, il se transforme en acide hypochloreux (HOCl), ion chlorure (Cl^-) et proton (H^+).

La proportion des deux composés (HClO et ClO^-) varie en fonction du pH de l'eau. À un pH inférieur à 4, seul le chlore gazeux est présent. Entre un pH de 4 et 6, le chlore est principalement sous forme d'acide hypochloreux. Pour des pH compris entre 6 et 9, la quantité d'acide hypochloreux diminue rapidement au profit de l'ion hypochlorite, qui devient l'entité prédominante au-delà d'un pH de 9 [11]

12. La teneur en matières en suspension (MES) :

Il est important de noter que les matières en suspension englobent toutes les substances minérales ou organiques qui ne se dissolvent pas dans l'eau. Elles regroupent les argiles, les sables, ainsi que les matières organiques et minérales de petite taille, y compris les microorganismes présents dans l'eau. La quantité de matières en suspension peut varier en

fonction des saisons et du régime de circulation des eaux. Ces particules ont un impact sur la clarté de l'eau et réduisent la pénétration de la lumière

C) Les paramètres microbiologiques :

Les eaux industrielles, qu'elles soient utilisées pour la préparation ou l'entretien (lavage), doivent respecter des normes bactériologiques strictes. En effet, ces eaux peuvent être porteuses de germes potentiellement dangereux pour la santé, pouvant entraîner des maladies graves telles que la typhoïde et le choléra, qui sont des maladies transmises par voie hydrique. Les principaux microorganismes recherchés dans ces eaux sont la flore totale, les coliformes, les Clostridiussulfito-réducteurs et les Streptocoques. [18]

1.3.2. Cycle de traitement de l'eau par l'osmose Inverse au niveau du complexe Cevital

L'eau provenant des forages et de l'ADE est soumise à divers traitements au sein du complexe Cevital avant d'être utilisée. Le complexe agroalimentaire Cevital à Bejaïa est équipé d'une unité d'osmose inverse pour la production d'eau de process. Cette technologie permet de purifier l'eau en éliminant les impuretés et les minéraux indésirables, ce qui est crucial pour de nombreuses applications industrielles, notamment dans la fabrication de boissons et d'autres produits alimentaires. (Figure 6)

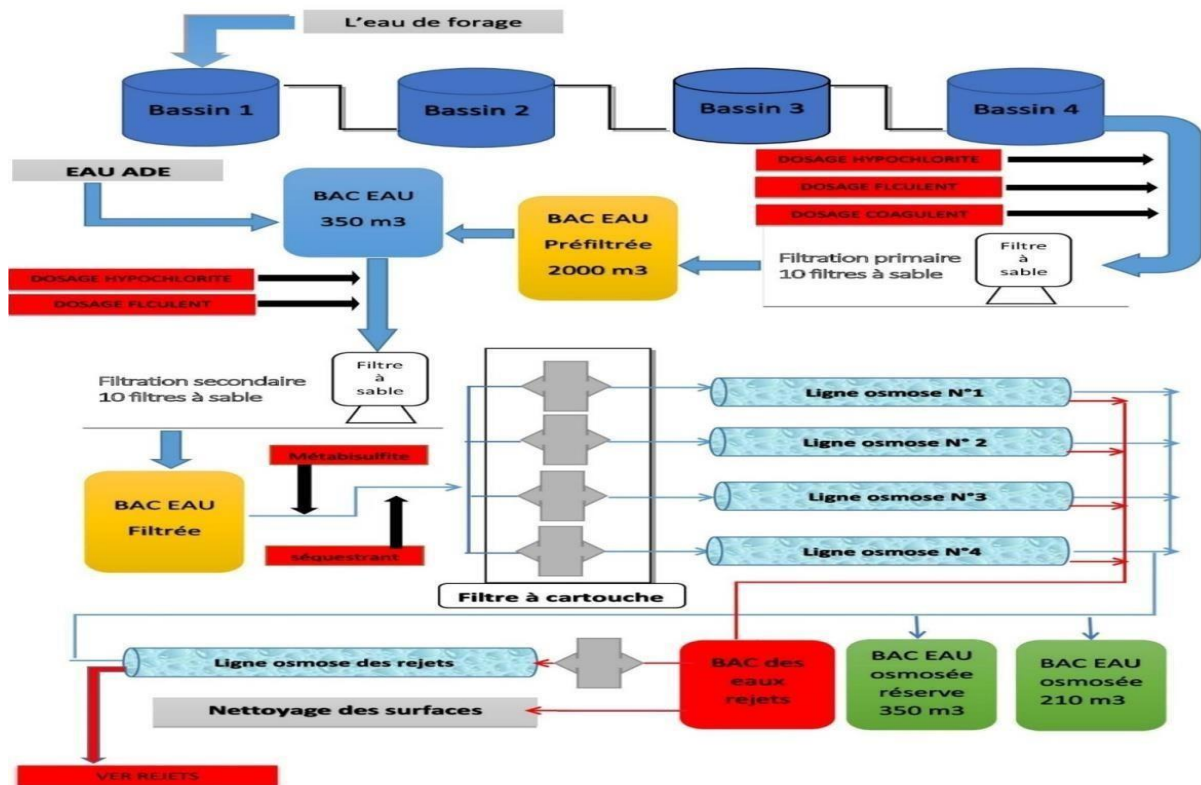


Figure 6 : Cycle de traitement de l'eau au niveau de complexe de Bejaia [19]

1.3.3. Définition de l'eau osmosé :

L'eau osmosée est une eau très pure, sans goût ni odeur, idéale pour la consommation directe, la cuisine, ou encore l'aquariophilie. Elle est obtenue grâce à un appareil appelé osmoseur, qui comprend plusieurs étapes de filtration : un filtre pour retenir les particules et sédiments, un filtre à cartouche pour éliminer le chlore et les odeurs, puis la membrane d'osmose inverse qui réalise la purification finale. [20]

I.3.4. Principe de l'osmose inverse :

Ce procédé vise à filtrer les solutions contenant des espèces de très faible masse molaire, en ne laissant passer que le solvant et en retenant tous les sels. Il repose sur l'utilisation de membranes denses qui permettent la séparation entre le solvant et le soluté grâce à un mécanisme de solubilisation-diffusion. Pour observer un flux de perméat à travers la membrane, il est nécessaire d'appliquer une pression supérieure à la pression osmotique exercée en amont de la membrane par la solution filtrée. Les pressions appliquées varient généralement entre 20 et 80 bars (figure 7). [20]

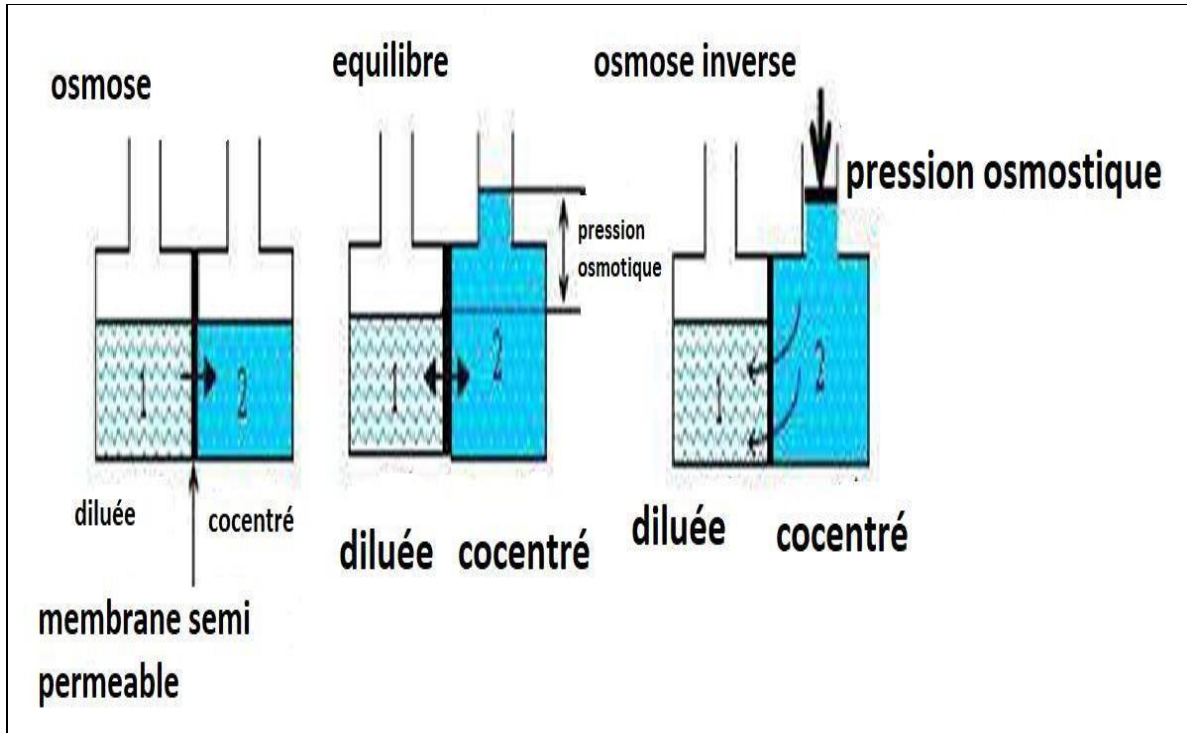


Figure 7: Principe de osmose inverse [21]

I.3.5. Les avantages et les inconvénients de l'osmose inverse :

L'osmose inverse est une technique largement utilisée dans les secteurs industriels bien que cette méthode offre de nombreux avantages en termes de qualité d'eau obtenue elle présente également certaines limites techniques et économiques (tableau 2) :

Tableau 2 : Les avantages et les inconvénients de l'osmose inverse

Avantages	Inconvénients
Opération à température ambiante ce qui évite la dégradation des molécules fragiles dans le domaine agro-alimentaire	Baisse de la perméabilité et modification de la sélectivité en cas de colmatage des membranes
Pas d'intervention de réactifs chimiques comme les agents d'extraction qui sont des sources de pollution	Sélectivité entre les espèces chimiques : 'soluté' toujours inférieure à 100%
Consommation énergétique faible vis-à-vis de la distillation pour le dessalement de l'eau	Durée de vie limitée des membranes : Soit par perte de résistance mécanique ; soit par suite d'une mauvaise tenue aux réactifs utilisés pour le nettoyage

I.4. Conclusion

Au cours de ce chapitre nous avons pu évoquer que l'industrie repose en grande partie sur une gestion rigoureuse de ses processus industriels. L'entreprise Cevital intègre dans sa stratégie de production agroalimentaire le processus de l'osmose inverse comme traitement pour les eaux utilisées. Ce procédé technologique est basé sur le passage de l'eau à travers des membranes semi perméables permet de garantir la pureté de l'eau utilisée, améliorer la durabilité des installations et maîtriser les coûts de traitement.

Chapitre II : Les procédés de traitement de l'eau brute, méthodes et matériels d'analyse

II.1. Introduction

L'eau exploitée par l'industrie est principalement issue d'un forage localisé à Ibourassen et l'eau distribué par l'eau de l'ADE. Après avoir été pompée, cette eau est acheminée vers un bassin de décantation dans le complexe Cevital avant d'être incorporée dans le processus industriel, avant d'être traitée par osmose inverse, l'eau brute pompé et soumis à une série de traitements préparatoire : -filtration a sable puis la filtration a cartouche.

L'eau filtré est soumise à un processus d'osmose inverse, ce qui permet d'obtenir une eau osmosée (perméat) d'une grande pureté.

Au cours de ce traitement on a pris les prélèvements d'eau suivant pour analyse et contrôle de qualité qui ont été effectués durant la période de :18/02/2025 au 05/03/2025

- Prélèvement 1 : eau brute
- Prélèvement 2 : eau distribuée par l'ADE
- Prélèvement 3 : eau filtrée
- Prélèvement 4 : eau osmosée (les lignes d'osmoses)
- Prélèvement 5 : eau ultra pure
- Prélèvement 6 : eau de condensat
- Prélèvement 7 : eau de bâches alimentaire
- Prélèvement 8 : eau de chaudières

Ces échantillons ont été soumises à des analyses physico chimiques au niveau de laboratoire de contrôle de qualité de l'eau de l'entreprise pour les paramètres suivant : le pH, conductivité, TAC, TH total, les chlorures

C'est dans cette perspective que se situe ce chapitre, où nous examinerons l'ensemble des procédés, des matériels et des méthodes permettant le traitement de l'eau de forage, la production d'eau osmosée, ainsi que le contrôle de la qualité.

II.2. La filtration et la purification de l'eau de forage

L'eau brute extraite du sous-sol et distribué nécessite un traitement rigoureux afin de répondre aux normes de qualité requises dans le secteur agroalimentaire. Ce traitement s'effectue en plusieurs étapes. Dans un premier temps, un traitement physique et chimique est réalisé à l'aide de filtres à sable et à cartouches, avec l'ajout de réactifs pour améliorer la séparation et éliminer les impuretés visibles, les métaux lourds, les particules grossières, les matières organiques ainsi que certains contaminants chimiques. Ensuite, l'eau filtrée est soumise à une pression supérieure à la pression osmotique pour passer à travers des membranes semiperméables. Ce processus, connu sous le nom d'osmose inverse, permet de retenir toutes les substances restantes, afin d'obtenir une eau purifiée au maximum, proche de la formule chimique H_2O . Enfin, un processus automatisé, désigné sous le terme de nettoyage en place (CIP, pour "clean in place" en anglais), est mis en œuvre pour nettoyer les équipements de production sans démontage, afin d'éliminer les résidus et les dépôts.

II.2.1. L'eau brute de forages Iboulassen :

L'eau provient d'un puits artésien (eau brute), situé à environ 12 kilomètres du complexe à Oued Ghir Iboulassen, ainsi que de picage des réseaux de l'ADE (Bejaïa). Le puits est doté d'une pompe de profondeur d'environ 40 mètres. L'eau extraite est ensuite dirigée vers un bassin de décantation mesurant 120 mètres de long et 30 mètres de large, servant de réservoir de stockage d'une capacité de 7000 m³. Avant d'atteindre l'unité d'osmose, l'eau est d'abord conservée dans un réservoir situé à proximité du complexe (figure 8) [22]



Figure 8: Bâche de stockage de l'eau brute CEVITAL

II.2.2. Les réactifs injectés et leur rôle avant la filtration a sable

a) Hypochlorite de sodium :

La désinfection de l'eau vise à éliminer ou neutraliser les microorganismes pathogènes. Ces derniers peuvent être soit détruits, soit inactivés. À l'entrée des filtres à sable, une solution d'hypochlorite de sodium (NaOCl) est injectée à un débit de 5 l/h, afin de prévenir toute prolifération bactérienne. De plus, le dosage continu de chlore favorise la régénération du dioxyde de manganèse grâce à une réaction catalytique impliquant le manganèse soluble, suite à l'oxydation superficielle du MnO₂ en MnO₄.

b) Le TD FLOC :

Afin de procéder à l'élimination du fer, le produit TD-FLOC est ajouté à une dose appropriée pour la déferrisation, ce qui permet la formation d'un floc de 40 micromètres de

diamètre. Ce floc peut être aisément retenu par le filtre à sable, tout en contribuant à l'agglomération des particules fines présentes dans l'eau.

Le floculant optimise l'efficacité du filtre, simplifie le processus de purification de l'eau et renforce l'efficacité de sa désinfection. Cette technique de traitement est recommandée lorsque la filtration ne parvient pas à prévenir l'apparition de particules en suspension, entraînant ainsi une turbidité de l'eau. La floculation constitue un procédé chimique qui regroupe les particules les plus fines afin qu'elles s'assemblent en particules plus volumineuses, facilitant ainsi leur filtration ultérieure

II.2.3. Le passage de l'eau brute par les filtres à sable :

Le complexe agroalimentaire Cevital dispose de 20 filtres à sable, chacun ayant une capacité de 50 m³/h. Dans ce contexte, la filtration se réalise au sein d'un milieu poreux, où le sable est composé de plusieurs couches de pyrolusite.

Il s'agit d'un système de filtration mécanique ainsi que de dispositifs de traitement des eaux ou des liquides, couramment employés dans les secteurs agroalimentaire et sucrier. [23]

1. Objectif principal:

- a) L'élimination des concentrations de fer et de manganèse dissous, ainsi que des matières en suspension les plus volumineuses, ainsi que la réduction de l'hydrogène sulfuré.
- b) L'élimination des graisses et des impuretés visibles, ainsi que des métaux lourds présents dans l'eau brute, doit être effectuée.
- c) Il est également nécessaire de retenir toutes les particules dont la taille est supérieure à 10 à 50 µm, en fonction du type de module d'osmose inverse utilisé.

2. La composition interne :

Pour optimiser la filtration, plusieurs couches de sable de granulométries différentes peuvent être utilisées, parfois associées à d'autres matériaux comme l'anthracite. Le filtre à sable se présente sous forme d'un récipient ou d'un bassin rempli de sable, Une couche de sable vert du gravier qui n'est pas un media filtrant, mais sert à former une couche poreuse au fond du filtre. Une couche anthracite. (Figure 9)

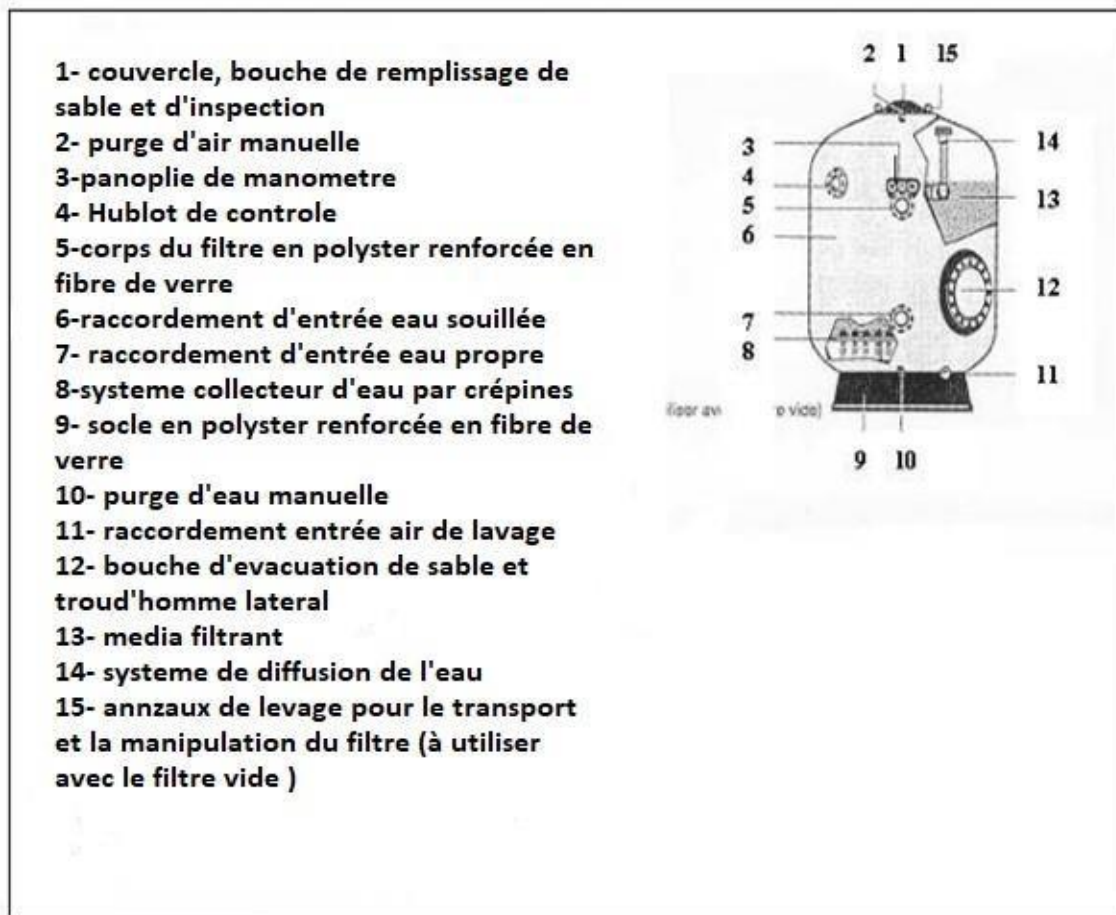


Figure 9 : Différents constituants d'un filtre à sable [24]

3. Le principe de fonctionnement :

Le fonctionnement d'un filtre à sable repose sur un processus de filtration mécanique de l'eau à travers un lit de sable, qui retient les particules en suspension ainsi que les impuretés.

L'eau à traiter pénètre dans le filtre par le sommet ou par une entrée dédiée, et elle est répartie de manière homogène sur la surface du lit de sable à une vitesse de passage variant de 20 à 40 m.h⁻¹ en mode, en fonction de la concentration de matières en suspension dans l'eau, de la direction d'écoulement et du niveau de finesse de filtration souhaité. L'eau s'écoule à travers ce lit de sable, généralement composé d'un mélange de sable fin et de gravier, qui sert de média filtrant naturel. Les particules solides, débris, salissures et matières organiques en suspension sont retenus dans les interstices entre les grains de sable, tandis que l'eau clarifiée poursuit son chemin vers la sortie du filtre. L'eau purifiée est collectée au fond du filtre, souvent par le biais d'un système de crépines qui empêche le passage des particules (figure 10). [25]

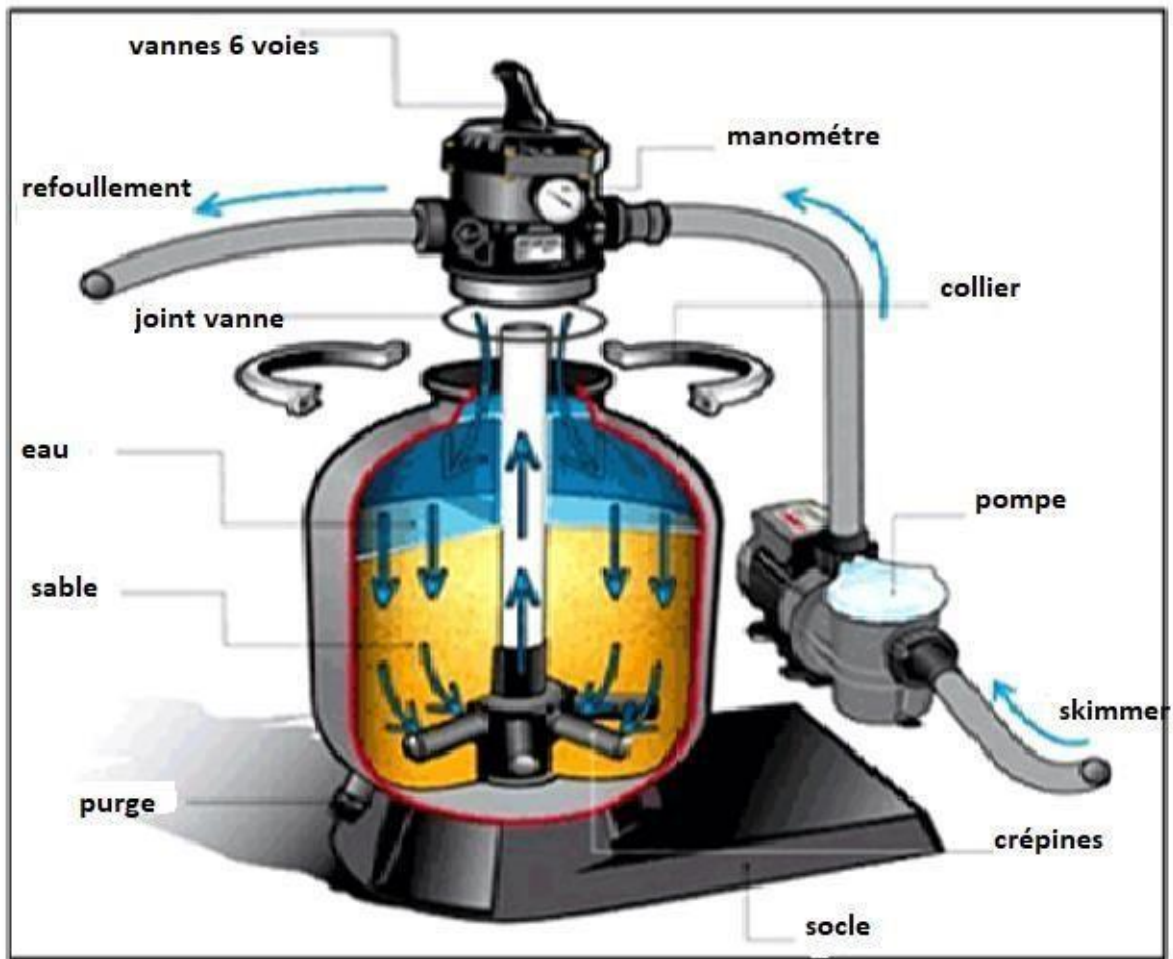


Figure 10 : Principe d'un filtre à sable

II.1.1.7. Les réactifs injectés avant la

II.2.4. Filtration à cartouche

a) Le métabisulfite de sodium :

Avant l'utilisation des filtres à cartouche, du métabisulfite de sodium est introduit afin de neutraliser le chlore libre, qui a la capacité d'oxyder les surfaces des membranes en polyamide, entraînant ainsi leur dégradation.

L'un des atouts du métabisulfite, en comparaison avec d'autres méthodes telles que les filtres à charbon actif, réside dans sa capacité à agir en tant que réducteur d'oxygène. Cela contribue à ralentir de manière significative la prolifération des germes sur l'osmoseur, tout en présentant un coût relativement faible.

b) Le Séquestrant :

Une quantité déterminée de produit séquestrant est ajoutée à l'eau d'alimentation afin de favoriser la dispersion des carbonates de calcium, des sulfates de calcium, etc. Cela permet de retarder leur précipitation, ce qui réduit l'accumulation sur les membranes et diminue ainsi la fréquence des opérations de lavage sur place (CIP).

c) Produit biocide :

Groupe de dosage de produit biocide Afin de prévenir toute prolifération bactérienne et l'apparition de biofilm, il est prévu d'effectuer un dosage hebdomadaire d'une durée de trente minutes, en ajoutant une quantité appropriée d'un produit biocide. Parmi les biocides couramment employés pour la désinfection de l'eau, on trouve le chlore (Cl_2) ainsi que ses dérivés chlorés tels que l'acide hypochloreux (HOCl), le dioxyde de chlore (ClO_2) et l'hypochlorite de sodium (NaOCl).

II.2.5. Le passage de l'eau par les filtres à cartouches

Le système de filtration à cartouche employé au sein du complexe Cevital repose sur des filtres à cartouches bobinés. Ce dernier est équipé de deux filtres à cartouche, chacun d'eux renfermant 18 cartouches. Chaque filtre est doté d'un orifice pour l'entrée de l'eau à traiter ainsi que d'un orifice pour la sortie de l'eau filtrée. Ces éléments cylindriques modulaires se révèlent généralement plus efficaces et économiques (figure 11). [25]



Figure 11 : Photographie du filtre à cartouche Cevital

1. Objectif principal :

- a) Filtrer l'eau au maximum possible en éliminant les particules, micro-organismes et contaminants spécifiques aux process alimentaires et toutes les particules qui ont un diamètre de $d \geq 3\mu\text{m}$.
- b) Préparer l'eau pour l'étape de l'osmose inverse.

2. Structure interne :

Le dispositif constitué d'une enveloppe de pression contenant une ou plusieurs cartouches (Figure 12) avec un orifice d'arrivée d'eau à filtrer et un orifice de sortie d'eau filtrée, une cartouche constituée d'une membrane repliée en accordéon et généralement enroulée en cylindre logée, un grand vase cylindrique où l'eau est amenée à circuler de l'extérieur vers

l'intérieur en y déposant ses impuretés. Constituée de fils en polypropylène de haute qualité, qui a une grande capacité de rétention, elle filtre les particules fines jusqu'à 3 μm (sable, boue, sédiments, rouille, algues...).



Figure 12: Les cartouches filtrantes bobinées (prise par nous durant la période de stade du 18/02 2025 Au 05/03/2025)

3. Mode de fonctionnement :

- a) Depuis le bac d'eau filtrée, l'eau est dirigée par des pompes à basse pression vers des filtres à cartouche, afin d'éliminer toutes les particules ayant un diamètre supérieur ou égal à 3 μm .
- b) La filtration à travers des cartouches dotées d'une taille de maille variant de 5 à 10 μm vise à protéger les membranes d'osmose inverse.

- c) Entrée de l'eau ou les produits alimentaires traversent des filtres bobinés
- d) Les particules fines (micro-organismes, résidus) sont piégées dans la matrice poreuse du média, formant une couche de gâteau qui améliore la rétention
- e) Le liquide filtré sort par le noyau central de la cartouche et est dirigé vers les étapes suivantes. [5]

4. Les caractéristiques spécifiques :

Les fils sont conçus de manière à ce que les couches externes soient moins compactes que les couches internes, ce qui permet une véritable filtration en profondeur tout en maintenant une faible perte de charge. Ce procédé favorise une excellente rétention des particules et une migration minimale du média, qui présente une résistance structurelle élevée, une bonne résistance aux produits chimiques et une insensibilité aux attaques bactériennes. De plus, ce système supporte des pertes de charge importantes et des conditions de fonctionnement rigoureuses, tout en permettant l'élimination efficace de divers contaminants tels que le sable, le calcaire, la chaux, la rouille et les particules fines. Lorsque la perte de charge atteint 1 bar, cela indique un colmatage des filtres à cartouches, ce qui nécessite leur remplacement.

II.2.6. Le réservoir d'eau filtrée :

Au sein du complexe le stockage de l'eau filtrée est une étape essentielle pour garantir la continuité du processus pour cela l'eau est ainsi filtrée est stockée dans un réservoir intermédiaire en acier d'une capacité de 2000 m³ ce qui rend indépendant la section osmose. Filtrée pour alimenter les lignes d'osmose En fonctionnement normal de la station, le réservoir est rempli à raison de 475 m³/h. [5]

II.2.7. Le phénomène de l'osmose inverse :

L'osmose inverse, qui est la technique de séparation par membrane la plus ancienne, est couramment employée pour la déminéralisation des eaux saumâtres. Ce procédé repose sur l'utilisation de membranes denses, capables de retenir la majorité des solutés tout en permettant uniquement le passage du solvant, afin d'équilibrer les concentrations. La disparité de concentration engendre une pression, désignée sous le terme de « pression osmotique ». Pour inverser le flux du solvant et accroître cette différence de concentration, il est nécessaire d'appliquer une pression supérieure à celle de la pression osmotique. Les pressions appliquées dans ce contexte varient généralement entre 30 et 80 (figure 13). [26]

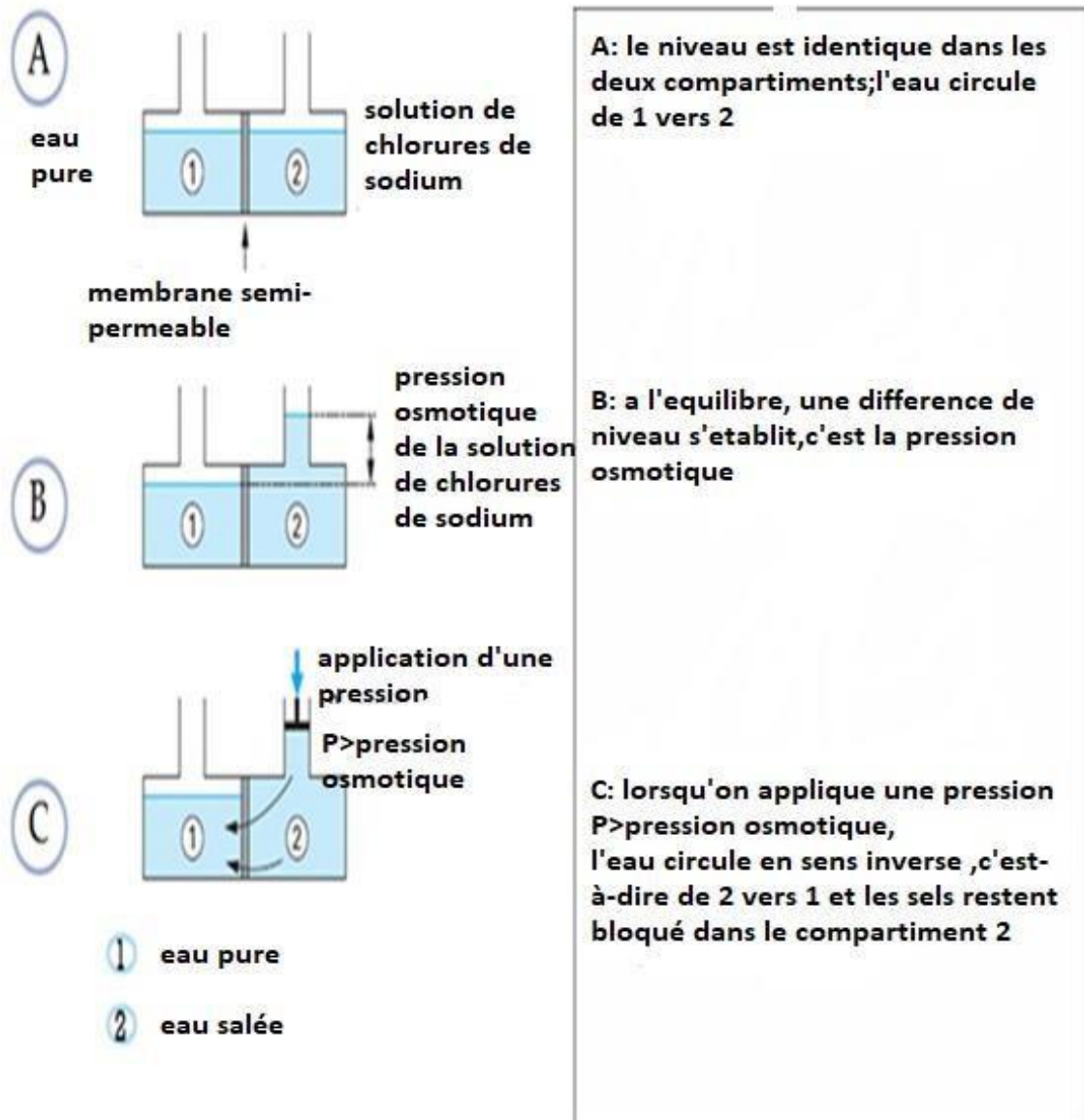


Figure 13: Principe de l'osmose inverse [27]

II.2.8. Le déroulement du procédé de purification par osmose inverse :

À la sortie des filtres à cartouches, l'eau est introduite dans les lignes d'osmose par les pompes à haute pression ($11 \text{ bars} \leq P \leq 18 \text{ bars}$) qui assure la production de $125 \text{ m}^3/\text{h}$ d'eau osmosée. Le taux de récupération d'eau déminéralisée est de 72%, et 28% d'eau concentrée (décharge), lorsque on applique une pression sur la solution concentrée, la quantité d'eau transférée par osmose va diminuer. On observe un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique : c'est le phénomène d'osmose inverse. Cette réversion possible du phénomène d'osmose va donc permettre de purifier de l'eau puis passer à travers de membranes sous une pression d'environ 15 bar et le diamètre de pores d'environ 0,2 nm et fonctionne à pression ($\geq 10 \text{ bar}$), cette méthode est la moins onéreuse pour éliminer de 90 à 99% des contaminants d'un fluide.

Dans chaque ligne d'osmose inverse, il existe six modules spiraux. Ces derniers sont composés d'un enroulement compact de plusieurs membranes planes de même composition, autour d'un tube percé qui permet également de collecter le perméat.

Une partie de l'eau produite est stockée et acheminée vers les chaudières par deux pompes centrifuges (utilisation des vapeurs des eaux osmosées dans la raffinerie du sucre) et l'autre partie du perméat des eaux osmosées est dirigée vers l'étape suivante, l'électrodéionisation pour la production de l'eau ultra pure, la partie eau pure est stockée dans l'état et atteint une conductivité moyenne de $10\mu\text{S}$.

II.2.9. Les constituants du système osmose :

1. Le système d'osmose inverse Cevital est composé de quatre lignes.
2. Une pompe de haute pression.
3. Un module d'osmose inverse est un cylindre séparé en deux compartiments par la membrane.
4. Des membrane semi perméable sélective,
5. Un échangeur de chaleur pour maintenir les liquides aux températures souhaitées. 6. Des pores de diamètre d'environ 0,2 nm et fonctionne à pression ($\geq 10\text{bar}$),
7. Chaque installation d'osmose inverse comprend six modules en spirale.
8. Ces modules se composent d'un enroulement serré de plusieurs membranes planes, toutes de composition identique, autour d'un tube perforé qui sert également à recueillir le perméat. (Figure 14)



Figure 14: Système d'osmose inverse

II.2.10. La pression osmotique :

La pression minimale requise pour empêcher le passage spontané du solvant pur à travers une solution est connue sous le nom de pression osmotique. Cette pression peut être déterminée à l'aide de la loi de Van't Hoff, qui énonce que la pression osmotique d'un soluté équivaut à la pression qu'un gaz idéal exercerait dans un volume (V) donné et à une température (T) identiques. Dans le cas où le soluté se dissocie en n ions, la pression osmotique sera multipliée par n. [28]

Dans le système d'osmose l'élément clé utilisé sont bien les membranes qui assure l'élimination efficace des impuretés dissous dans l'eau.

II.2.11. Les membranes :

La membrane se définit comme une paroi mince, qu'elle soit liquide ou solide, capable d'opposer une résistance sélective au transfert des divers constituants d'un fluide. Elle possède ainsi la capacité de séparer de manière sélective des espèces chimiques, qu'elles soient moléculaires ou ioniques [29]

En d'autres termes, une membrane constitue une barrière dont l'épaisseur varie de quelques centaines de nanomètres à quelques millimètres, et qui, sous l'influence d'une force de transfert, autorise ou bloque le passage de certains composants entre deux milieux qu'elle délimite. La sélectivité, ou la perm sélectivité, se réfère à l'ensemble des taux de perméabilité des différentes substances présentes dans une solution. La force de transfert englobe des gradients de pression, de concentration, d'activité ou de potentiel électrique. Par conséquent, les membranes englobent une vaste gamme de matériaux et de structures, offrant ainsi de multiples possibilités de configuration et de classification. (Figure 15)

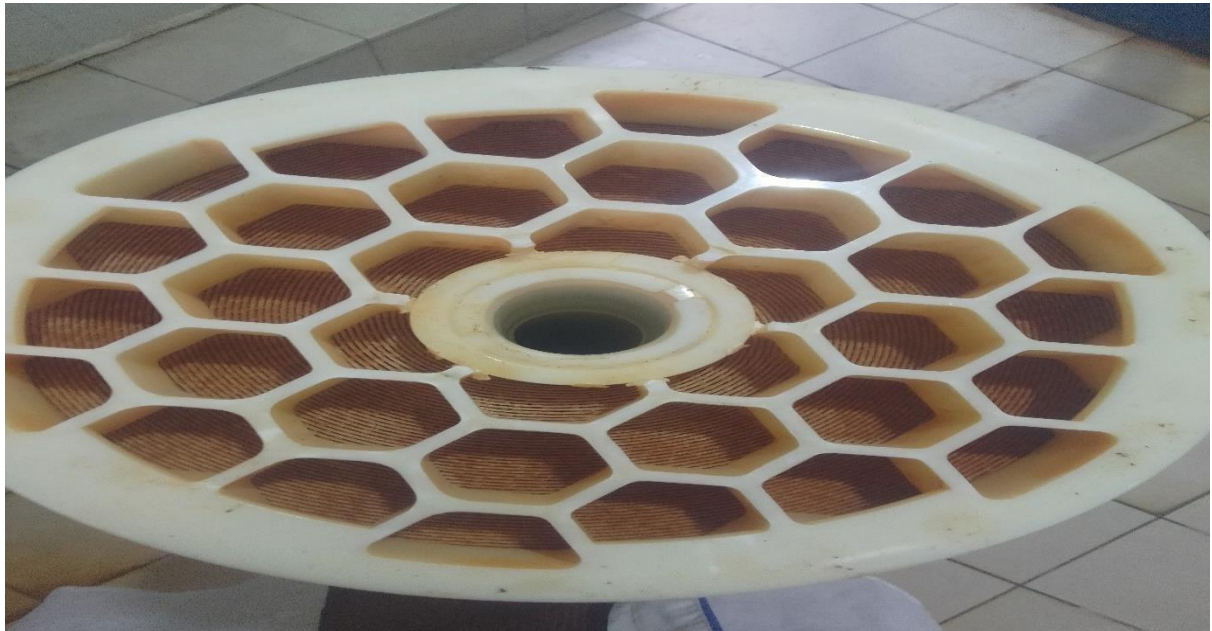


Figure 15 : Photographie d'une membrane de module spirale

II.2.12. Modules spirales :

Initialement, ces modules étaient conçus uniquement pour le dessalement. Cependant, leur format compact et leur coût réduit constituent deux arguments solides en faveur de leur adoption généralisée dans divers secteurs industriels, y compris dans des applications immergées telles que les laiteries, les jus et les pulpes. (Figure 16)

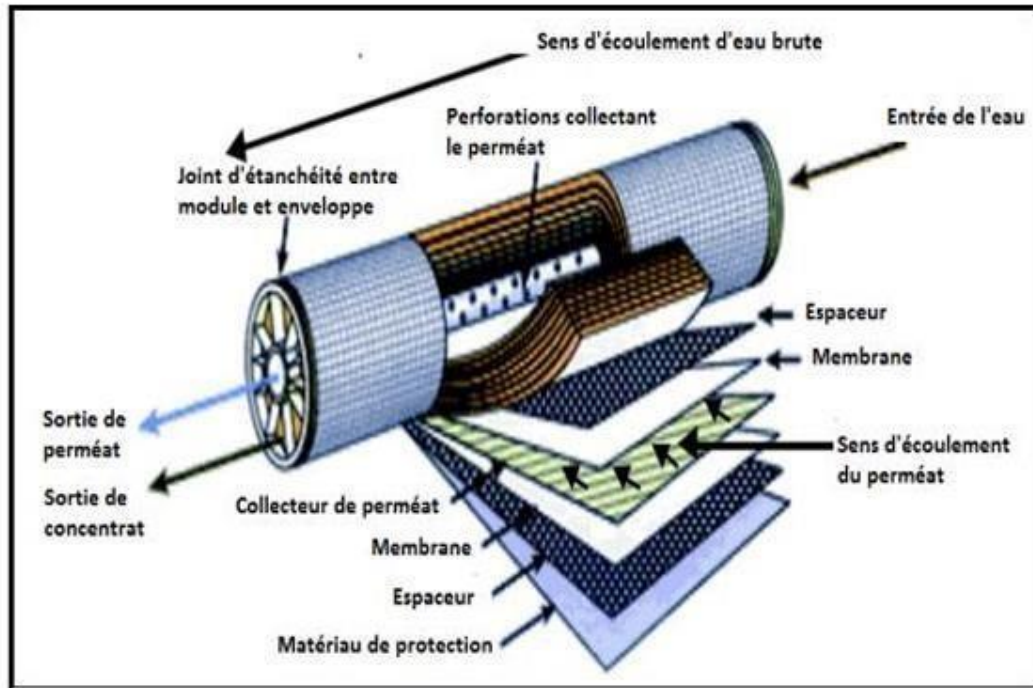


Figure 16: La structure interne d'un module spirale

II.2.13. Le principe de fonctionnement d'une membrane :

Une membrane d'osmose inverse est un filtre semi perméable qui laisse passer que le solvant et les molécules ayant une masse molaire très faible. (Figure 17)

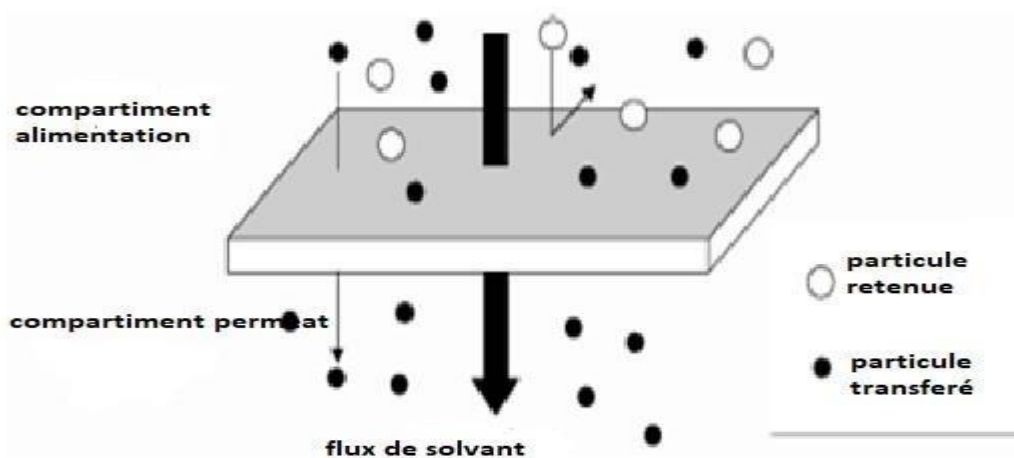


Figure 17 : Représentation schématique de la séparation par membrane (30)

Le résultat d'une opération membranaire est la séparation du fluide à traiter en deux parties de concentrations

1. Le Retentât qui contient les molécules ou particules retenues par la membrane.
2. Le Perméat qui contient les molécules qui traversent la membrane.

II.2.14. L'opération de nettoyage et la mise en état de propreté du system :

Il est inévitable qu'avec le temps, l'efficacité d'un osmoseur tende à diminuer. Les méthodes de nettoyage à mettre en œuvre varient en fonction de la nature des dépôts présents sur la membrane.

Le nettoyage a pour objectif d'éliminer toutes les impuretés, qu'elles soient visibles ou non, d'une surface spécifique. Ce processus s'effectue par le biais de la détergence, qui consiste à détacher les agents de colmatage de la surface à laquelle ils sont fixés, pour ensuite les mettre en solution ou en suspension. Ce phénomène découle en réalité de divers mécanismes physicochimiques qui se manifestent aux interfaces du système support/souillure/détergent. Il est effectué sur les filtres et les membranes comme suit :

1. Les filtres :**a) Le contre lavage :**

Pour éviter le colmatage des médias filtrants, une technique dénommée contre-lavage est mise en œuvre. Cette méthode consiste à prélever de l'eau et à l'appliquer sous une pression inverse à celle utilisée lors de la filtration, permettant ainsi de nettoyer les filtres. Ce processus est activé par un basculement des vannes, détecté par des capteurs lorsque le débit dépasse celui de la filtration, qui est d'environ 110 m³/h, à condition que la différence de pression du filtre (DPT) soit égale ou supérieure à la pression de consigne. Pendant que le filtre effectue son contre-lavage pendant une durée de 15 minutes, les autres filtres continuent leur tâche de filtration.

Le processus de contre-lavage s'effectue de manière séquentielle, filtre par filtre. À la fin de la période dédiée au contre-lavage et au rinçage du premier filtre, ses vannes se ferment pour permettre la reprise de la filtration, tandis que le second filtre commence à son tour le contre-lavage, et ainsi de suite jusqu'au quatrième filtre, dont l'évacuation des eaux résiduelles s'effectue directement. La station entre en phase de contre-lavage si l'un des deux critères suivants est rempli. Pour élaborer le programme de pilotage de la station 41 de lavage, il est primordial que la pompe P103 fonctionne en mode automatique et que le niveau du réservoir TK200 soit d'au moins 20 %.

Les filtres commenceront leur contre-lavage lorsque la différence de pression (DPT) mesurée entre les entrées et les sorties des filtres atteindra 1,5 bar, grâce à un transmetteur de pression différentielle.

Par ailleurs, les filtres seront également soumis à un contre-lavage après un temps d'écoulement prédéfini pour le processus de filtration, généralement établi à 45 heures par un opérateur, même si un contre-lavage a déjà été réalisé en raison du premier critère durant cette période.

b) Le rinçage :

À la suite de la procédure de contre-lavage effectuée avec un débit important en contrecourant, le lit de filtration se retrouve perturbé. Il est donc impératif de le réorganiser avant de reprendre le processus de filtration. Le rinçage s'effectue avec de l'eau brute, empruntant le même chemin que celui de la filtration, et l'eau évacuée est rejetée par les vannes

de rinçage. Cette opération de rinçage dure dix minutes, période durant laquelle la pompe de contre-lavage est à l'arrêt.

2. Les membranes :

a) Système de Lavage sur place CIP (Clearing In Place) :

Lorsque la pression appliquée ou la différence de pression sur la membrane, ainsi que la conductivité, augmentent dans des conditions d'exploitation identiques (salinité, température de l'eau), il devient crucial d'effectuer le nettoyage de la membrane à l'aide d'une solution acide ou basique, selon sa nature. Si l'une des conditions susmentionnées est observée, les vannes du système CIP s'ouvrent, entraînant le démarrage automatique de la pompe P205 ainsi que de la pompe doseuse PD203.

Le processus de nettoyage CIP est suspendu après une période de deux heures. L'eau produite par osmose est ensuite dirigée vers la membrane, suite à l'ouverture des vannes du CIP. Il est important de souligner que pour le contrôle des vannes pneumatiques, il est indispensable de fournir de l'air comprimé, dont la pression doit être vérifiée par PVR, avec un seuil minimal de fonctionnement établi à 6 bars. Avant de mettre la station en service, il est impératif de s'assurer que tout.

II.2.15. Effet des produits de nettoyage sur les matériaux :

L'utilisation fréquente de produits chimiques pour le nettoyage des membranes semble être responsable des changements observés dans leurs caractéristiques, en particulier une réduction de leur durabilité et une détérioration du matériau. Ces effets sont particulièrement marquants sur les membranes organiques. [31]

II.2.16. Les pompes les plus fréquent dans les systèmes de traitement :

1. Les pompes :

a) Pompes alimentation :

Ce modèle de pompe a pour objectif de fournir de l'eau brute à la station, en particulier aux filtres. Il s'agit de pompes centrifuges à un étage, équipées d'un orifice d'aspiration axial, capables de délivrer un débit de 537,4 m³/h. Ces pompes fonctionnent en auto-régulation et génèrent un débit plutôt qu'une pression.

b) Pompes de dosages :

Ces dispositifs sont utilisés pour quantifier des produits chimiques tels que l'hypochlorite de sodium, les flocculants et coagulants, le méta bisulfite de sodium ainsi que le séquestrant, avec une pression maximale de 10 bars et un débit maximal de $7,5 \times 10^{-3}$ m³/h. En ce qui concerne les pompes de refoulement, celles-ci sont conçues pour transporter l'eau sous pression depuis le réservoir d'eau filtrée vers les filtres, avec un débit de 114,1 m³/h et une hauteur de 26,5 m.

c) Pompes à haute pression (HP) :

Les pompes à haute pression, destinées à alimenter les modules d'osmose inverse, ont pour rôle de transférer l'eau filtrée du réservoir vers la membrane sous une pression élevée. En règle générale, les valeurs de pression d'alimentation se situent entre 60 et 80 bars, ce qui représente environ 2,5 fois la pression osmotique, tout en maintenant un débit de 45 m³/h.

II.2.17. Les dysfonctionnements du système de traitement :**1. L'entartrage :**

Le phénomène d'entartrage se manifeste par l'accumulation progressive de dépôts de composés insolubles au sein des récipients et des conduites. Ces dépôts peuvent être constitués d'une variété de substances insolubles, parmi lesquelles on retrouve fréquemment le carbonate de calcium, le sulfate de calcium, l'hydroxyde de calcium, ainsi que les silicates de calcium et de magnésium, les oxydes de fer, et le phosphate de calcium et de magnésium.

L'entartrage peut se produire à l'intérieur des chaudières, en fonction de l'utilisation spécifique de l'eau, et sur les réseaux de distribution dans les circuits de chauffage et de refroidissement, en particulier dans les échangeurs de chaleur. Illustre clairement la dégradation des conduites d'eau due à l'entartrage (figure 18)[32]



Figure 18 : Le phénomène de l'entartrage

2. La Corrosion :

La corrosion se définit comme une réaction d'oxydoréduction qui se produit entre un métal et son environnement, en particulier lorsque celui-ci contient des agents oxydants. Dans le cadre de cette réaction, le métal M subit une oxydation, se transformant en une espèce dissoute. On évoque la corrosion sèche lorsque les agents oxydants se présentent sous forme gazeuse, comme c'est le cas pour la corrosion induite par le dioxygène de l'air. À l'inverse, la corrosion est qualifiée d'humide lorsque les agents oxydants se trouvent en solution aqueuse, illustrant ainsi la dégradation d'un métal par des ions corrosifs. [33]

3. Les facteurs influençant la corrosion: (Tableau 3)

Tableau 3: Les facteurs qui influencent la corrosion [34]

Facteurs du milieu corrosif	Facteurs métallurgiques	Facteurs définissant les conditions d'emploi	Facteurs dépendant du temps
<ul style="list-style-type: none"> Teneur en oxygène Concentration du Ph du milieu Température Pression 	<ul style="list-style-type: none"> Composition de l'alliage Procédés d'élaboration Impuretés Traitement thermique Traitement mécanique 	<ul style="list-style-type: none"> Etat de surface Forme des pièces Emploi d'inhibiteur Procédés d'assemblage 	<ul style="list-style-type: none"> Vieillessement Tensions mécaniques Modification des revêtements protecteurs

II.3. L'agressivité de l'eau :

II.3.1. Effet de l'acidité :

La sensibilité d'un matériau à la corrosion dépend du pH de l'électrolyte. Une concentration élevée de protons dans la solution intensifie l'agressivité de l'environnement, entraînant des modifications dans les équilibres des réactions chimiques et électrochimiques. Ainsi, la corrosion s'accroît lorsque le pH de l'environnement diminue. (**figure 19**)

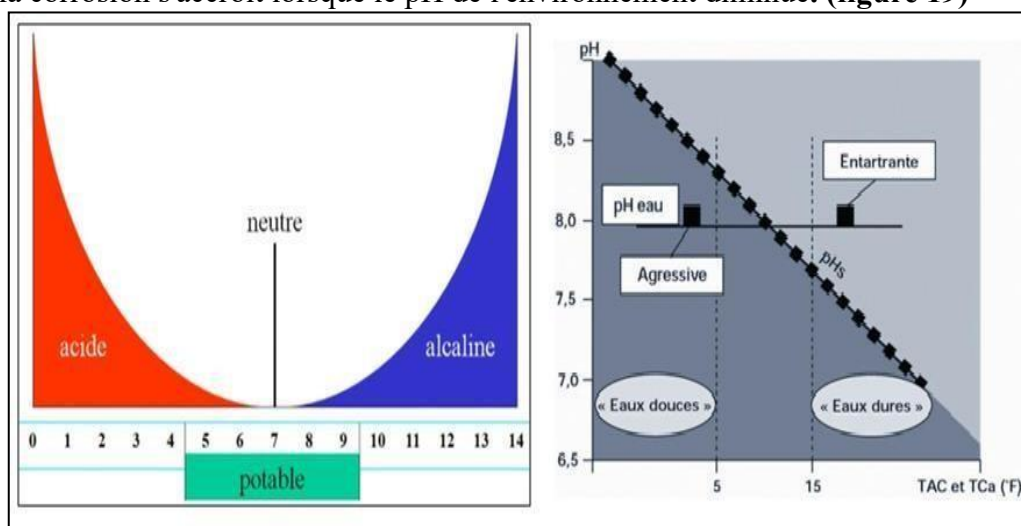


Figure 19: Caractéristiques de l'eau en fonction de pH

Le pH des eaux d'un milieu a une influence sur les phénomènes de corrosion (corrosion plus rapide à un $\text{pH} < 6,5$). [35]

II.3.2. Les indices permettant de caractériser l'agressivité d'une eau naturelle :

La manière la plus efficace de caractériser l'agressivité d'une eau naturelle consiste à établir son pH de saturation en utilisant la méthode de LANGEЛИER, suivie du calcul de l'INDEX de stabilité de RYZNAR.

a) L'INDICE DE LANGEЛИER (Indice de Saturation [IS]) :

Il s'agit d'une évaluation complète de la qualité de l'eau, visant à établir si celle-ci présente des caractéristiques corrosives ou si elle est susceptible de favoriser la formation de tartre. Cet indice permet d'évaluer le niveau de saturation de l'eau en carbonate de calcium. L'indice de Langelier se définit comme la différence entre le pH réel de l'eau et le pH d'équilibre, également désigné sous le terme de pH de saturation, noté pH_s. Ce dernier représente la valeur de pH correspondant à un équilibre physico-chimique optimal des bicarbonates de calcium en solution.

Tableau 4: Le pH réel et le pH de saturation

IS = pH réel - pH_s		
pH < pH_s	pH > pH_s	pH = pH_s
Eau agressive. (Is est négatif, une tendance à la dissolution de CaCO ₃ et l'eau attaque le béton, le ciment, les canalisations).	Eau entartrant. (Is est positif, une tendance à la formation de dépôts de CaCO ₃ et l'eau est incrustante (entartrage))	Eau à l'équilibre

L'évaluation de la position d'une eau par rapport à l'équilibre calco-carbonique implique le calcul du pH d'équilibre ou de saturation (pH_s). Ce dernier représente le pH théorique que l'eau doit posséder pour être en équilibre avec le carbonate de calcium.

b) L'INDICE DE RYZNAR (Indice de Stabilité des eaux [IR]) :

Cet indice permet non seulement de distinguer une eau propice au tartre d'une eau corrosive ou d'une eau équilibrée, mais également d'apprécier le degré de tartre ou d'agressivité des eaux.

Tableau 5: Tendance de l'eau selon l'indice de Ryznar

IR = 2 pHs – pH réel	
Indice de Ryznar (stabilité IR)	Tendance de l'eau
4 – 5	Entartrage important
5-6	Entartrage faible
6-7	Equilibre (eaux stables)
7-7,5	Légère corrosivité
7,5- 9,0	Corrosivité importante
> 9,0	Corrosivité intolérable

- **pHs** (pH de saturation) : valeur de pH correspondant à un équilibre physico-chimique parfait des bicarbonates de calcium en solution, et donc à la disparition de toute tendance incrustante ou agressive
- Le pHs est généralement déterminé à l'aide de la formule établie par LANGEIER

Tableau 6: Le pHs selon LANGEIER

pHs = (pK'2 – pK'S) + pCa = pAlc			
K'2	K'S	pCa	pAlc
Constante dérivée de K2, deuxième constante de dissociation du gaz carbonique	Constante dérivée de ks, produit d'activité du carbonate de calcium	Cologarithme de la concentration molaire en ion calcium ;	Cologarithme de l'alcalinité total (TAC) exprimée en équivalent gramme /litre

Ainsi, le calcul du pHs d'une eau est influencé par sa concentration en bicarbonates (pAlc), en sels de calcium (pCa), ainsi que par les paramètres (pK'2, pK'S) qui fluctuent en fonction de la salinité totale, de la force ionique et de la température.

II.4. Les méthodes d'analyses :

II.4.1. Le potentiel d'hydrogène (pH) :

Le potentiel d'hydrogène est une mesure de l'acidité, de l'alcalinité ou de la neutralité d'une solution aqueuse, exprimée par le logarithme (base 10) de l'inverse de la concentration de la solution en ions hydrogène (H^+) exprimée en mol/l. Le pH varie entre 0 et 14 ; 7 étant le pH correspondant à la neutralité. Une eau est d'autant plus acide que son pH (inférieur à 7) est plus près de 0 et d'autant plus alcaline que son pH (supérieur à 7) est plus près de 14.

- **Le principe :**

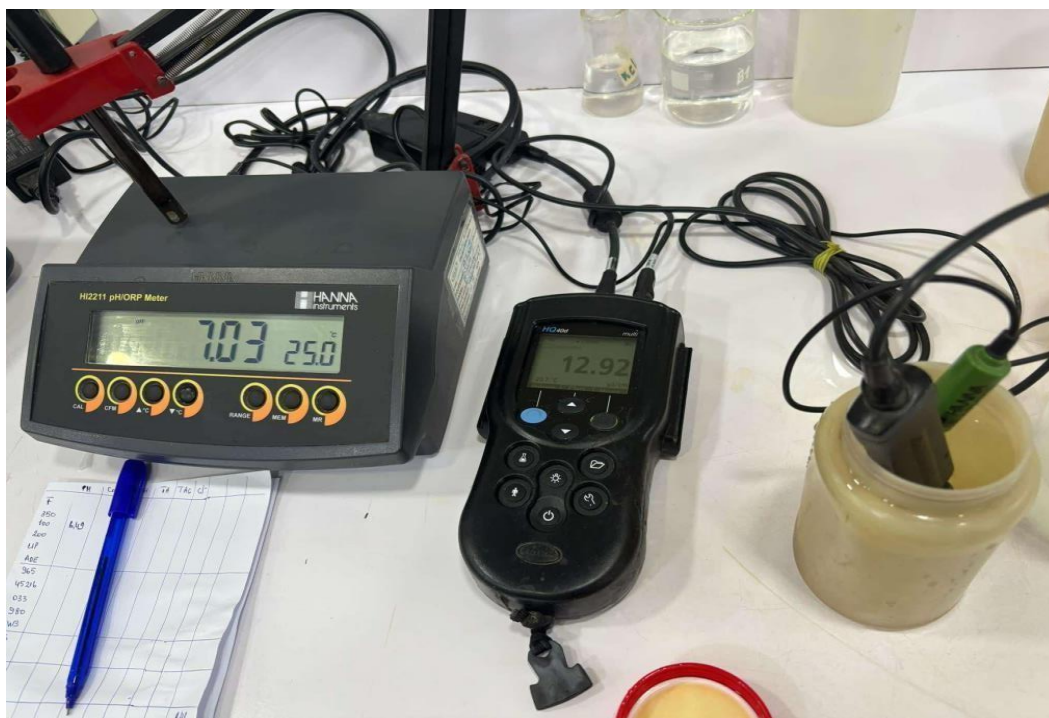
C'est la mesure de la différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence plongeant dans une même solution. Le potentiel de l'électrode est lié à l'activité des ions H^+

II.4.2. La conductivité :

La conductivité (exprimée en micro siemens par centimètre) est liée à la présence d'ions en solution. Elle augmente avec la température et la concentration des sels dissous.

- **Le Principe :**

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1cm² de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique. (Figure 20)



**Figure 20: Photo de conductivimètre et pH mètre prise par nous au niveau de
Laboratoire d'analyse Cevital**

II.4.3. Méthodes tétramétriques : (Figure 21)**a) Le titre hydrotimétrique total (dureté total) :**

Le titre Hydrotimétrique total (dureté totale) ou le TH total est une mesure globale de la concentration en sels dissous de calcium et de magnésium dans l'eau.

- **Principe :**

Le TH total est déterminé par dosage complexométrique en présence de sel di sodique (EDTA) et du Noir Eriochrome comme indicateur coloré. Le sel disodique de l'EDTA (complexons) se combine aux ions calcium puis magnésium en donnant des complexes solubles peu dissociés. La fin de la réaction est mise en évidence par le noir Eriochrome T, qui vire lorsque les dernières traces d'ions magnésium sont complexées

b) Le titre alcalimétrique (TA) :

C'est une mesure de la teneur d'une eau en alcalis (hydroxydes) et de la moitié de sa teneur en carbonates alcalins et alcalino-terreux, déterminée par addition de la quantité d'acide sulfurique nécessaire au virage de la phénophtaléine du rouge à l'incolore à pH 8,3.

Le TA s'exprime en degrés français.

- **Principe :**

Détermination du volume d'acide fort en solution diluée nécessaire pour neutraliser au niveau de pH 8.3, le volume d'eau à analyser

c) Le titre alcalimétrique complet (TAC) :

C'est une teneur d'une eau en alcalis (hydroxydes), en carbonates et en bicarbonates (ou hydrogénocarbonates) alcalins et alcalino-terreux, déterminée par addition de la quantité d'acide sulfurique nécessaire au virage du méthylorange (ou hélianthine) du jaune à l'orangé à pH 4,3. Le TAC s'exprime en degrés français.

- **Principe :**

Détermination du volume d'acide fort en solution diluée nécessaire pour neutraliser au niveau de pH 8.3, le volume d'eau à analyser



Figure 21: Photo des différents réactifs utilisés dans la méthode d'analyse titrimétrique prise par nous durant la période de stage

d) Les chlorures :

Réaction des ions chlorure avec des ions argent pour former des chlorures d'argent insoluble qui est précipité quantitativement. Addition de petit excès d'ions d'argent et formation de chromate d'argent brun rouge avec des ions chromates qui ont été ajoutés comme indicateur. Cette réaction utilisée pour l'indication du virage.

II.4.4. Méthodes spectrophotométriques :

a) Le chlore libre :

Le chlore libre est un gaz halogène de couleur jaune vert ; contenue dans l'hypochlorite de sodium ajouté à l'eau de forage. Il agit comme un désinfectant et un régénérant du MnO_2 .

- **Principe :**

Le chlore libre, réagit avec la DPD (N,N-diéthyl-1,4-phénylènediamine) pour donner une coloration rouge-violette par addition d'une quantité définie d'ions iodures.

Les turbidités provoquées par des particules en suspension peuvent être éliminées par centrifugation de l'échantillon. Les oxydants comme le bromure, les bromamines, l'iode et les composés de manganèse de haute valence simulent le chlore

b) Le manganèse :

Métal de transition ; gris argent avec une teinte rosé. Le minerai le plus abondant est la pyrolusite MnO_2 , utilisé dans les process industriels des filtres à sables.

- **Principe :**

Les ions manganèse réagissent en milieu alcalin avec la formaldoxime pour donner un complexe orange-rouge.

c) Aluminium :

L'aluminium est l'un des métaux les plus utilisés, et aussi l'un des composés les plus abondants dans l'écorce terrestre. La forme soluble dans l'eau de l'aluminium, c'est-à-dire les ions, est la plus nocive. En général, on trouve ces ions aluminiums en combinaison avec d'autres ions, par exemple sous forme de chlorure d'aluminium. L'aluminium est quasiment insoluble dans l'eau à des pH supérieurs à 6. En revanche, sa solubilité croît rapidement en milieu acide.

- **Principe :**

L'ériochromocyanine R développe avec l'aluminium en solution faiblement acide une coloration rouge-violette. Les échantillons fortement acides et tamponnés doivent être ajustés à pH 6.

II.5. Les analyses sont effectuées pour 8 échantillons**Tableau 7: Les différents prélèvements**

Echantillons	Prélèvements
E1	Eau de forage
E2	Eau de l'ADE
E3	Eau osmosé
E4	Eau ultra-pure
E5	Eau avant filtration
E6	Eau après filtration

II.6. Conclusion:

Au terme de cette étude nous avons pu démontrer l'importance stratégique du traitement de l'eau dans le fonctionnement global du complexe agroalimentaire Cevital à Bejaia, le procédé de traitement mis en place par l'entreprise repose sur une succession d'étapes soigneusement contrôlées, la filtration à sable et la filtration à cartouche qui éliminent les matières les plus grossières, les matières en suspensions, et prépare l'eau pour le passage au processus de l'osmose inverse qui constitue la phase clé du traitement et qui permet d'obtenir une eau d'une grande pureté en éliminant les sels dissous et autres éléments indésirables.

Les méthodes d'analyses et les paramètres surveillés comme le pH, la conductivité, la dureté de l'eau, la concentration des chlorures permettent de valider l'efficacité de chaque étape de traitement, ajuster les dosages ou opérations de maintenance préventive et surtout de garantir une eau osmosée conforme aux exigences de l'industrie agro-alimentaire.

Le traitement de l'eau et son contrôle rigoureux par ces analyses illustrent la capacité de Cevital à maîtriser cette technologie avancée, la gestion optimisée des ressources et le respect des normes de qualité.

Chapitre III : Les procédés de traitement de l'eau brute, méthodes et matériels d'analyses

III.1. Introduction:

Après avoir rigoureusement collecté ,organisé les données issues de notre étude, ce chapitre est consacré à la présentation des résultats d'analyses et des paramètres physicochimiques (pH, conductivité ,TAC ,TH totale ,Ca ²⁺ ,les chlorures) des 6 échantillons (eau de forage ,eau de picage sur les réseaux de l'ADE , eau osmosée, eau ultra pure et l'eau filtré) issu des mesures journalière réaliser au niveau du laboratoire d'analyses ,ensuite calculer l'Indice de Saturation [IS] (Langelier) et Indice de Stabilité [IR] Ryznar pour évaluer le degré d'agressivité de l'eau brute.

III.2. Les paramètres de l'analyse physicochimique :

III.2.1. Potentiel d'hydrogène (pH) :

Le tableau 7 présente les résultats de l'analyses du paramètre pH mesuré quotidiennement les 4 échantillons durant les deux semaines de stage du 18/02/2025 au 05/03/2025.

Tableau 7 : Résultats de l'analyses du paramètre pH

	Les échantillons					
	E1	E2	E3			E4
	Les moyennes journalires					
Les normes journaliere	6,5<ph<9	6,5-8,5	5,5-7,5			5,5-7,5
			ligne 1	ligne2	ligne3	
1j	7.27	7.78	6.52	6.64	6.58	6.65
2j	7.18	7.22	6.44	6.41	6.42	6.13
3j	7.20		6.44	6.82	6.32	6.40
4j	7.19		6.42	6.42	6.65	6.27
5j	7.45	7.40	6.63	6.56	6.69	7.09
6j			6.62	6.45	6.57	7.47
7j		7.35	6.59	6.52	6.55	6.30
8j		7.36	6.56	6.61	6.70	6.34
9j			6.80	6.15	6.23	5.75
10j	7.16		6.39	6.30	6.30	6.24
11j			6.42	6.30	6.28	6.16
12j		7.21	6.37	6.22	6.33	6.08
13j		7.19	6.40	8.23	6.17	6.22
14j			6.42	6.38	6.30	6.14
15j			6.51	6.32	6.52	6.32
min	7.16	7.19	6.37	6.15	6.17	5.75
MAX	7.45	7.78	6.80	8.23	6.70	7.47
MOY	7.24	7.36	6.50	6.56	6.44	6.37

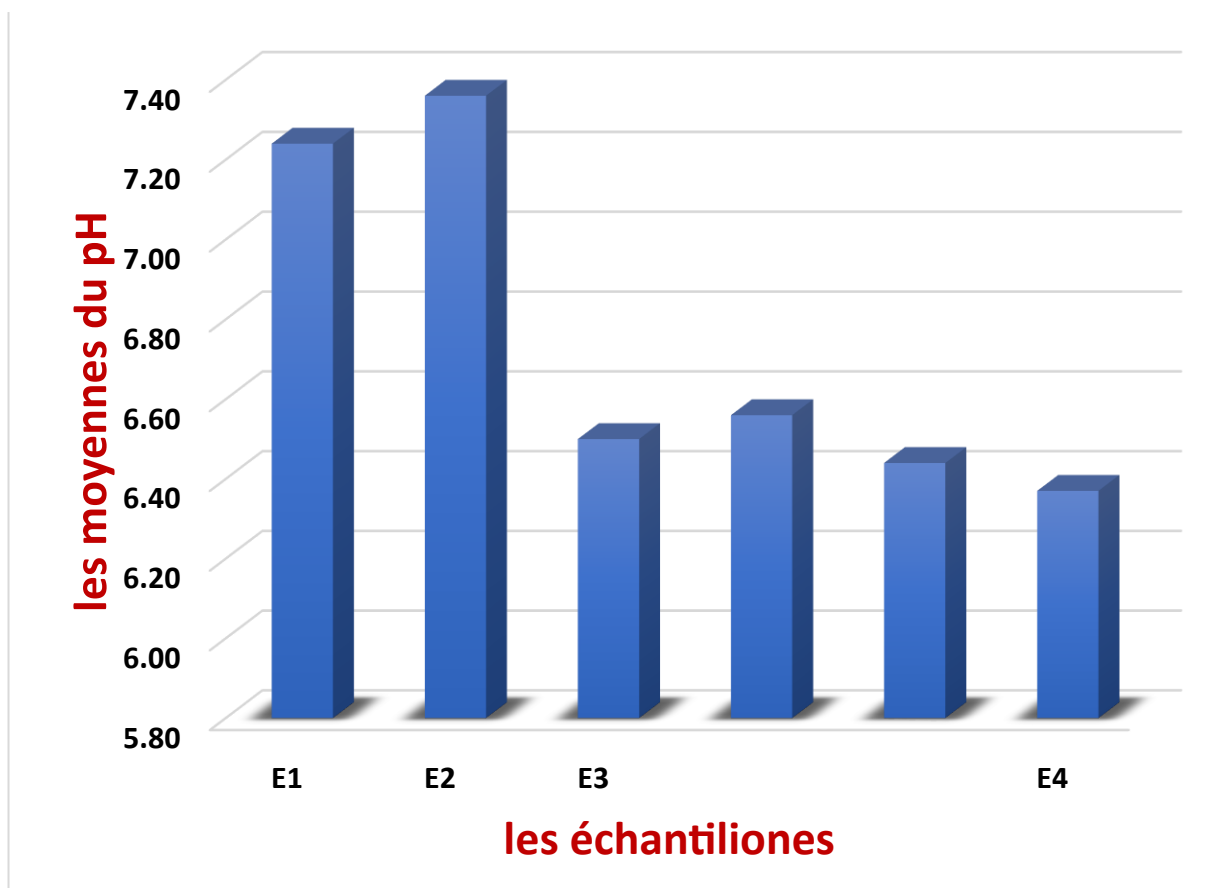


Figure 22 : Teneures moyennes de l'analyse du paramètre pH

D'après le tableau (7) et la figure 22 :

1. Le pH dans l'eau de forage (E1) est neutre et conforme, également pour l'eau distribuer par l'ADE (E2) est d'un pH de 7,36 et 7.06 respectivement,
2. L'Eaux Osmoses (E3), l'eau Ultra Pure (E4) est légèrement acide à neutre avec un pH qui ne dépasse pas 6,95

L'analyse des différents échantillons d'eau montre que le pH est adapté aux normes interne, les analyses sont globalement bonnes et les valeurs sont logique et cohérent selon les normes internes de l'industrie connu de chaque type de l'eau

III.2.2. La Conductivité :

Le tableau 8 présente les résultats de l'analyses du paramètre de la conductivité mesuré quotidiennement des 4 échantillons durant les deux semaines de stage du 18/02/2025 au 05/03/2025

Tableau 8 : Résultats de l'analyse du paramètre de la conductivité

	Les échantillons					
	E1	E2	E3			E4
	La moyenne journaliere					
la norme interne	<4000µs/c m	<2800µs/c m	<120µs/cm			<3µs/c m
			Ligne1	ligne2	ligne3	
1j	3570.00	1425.00	616.7	355.67	311.00	5.59
2j	3580.00	1420.00	163.25	195.87	198.00	37.05
3j	3560.00		165.6	170.33	180.00	18.88
4j	3550.00		166.4	167.67	245.00	36.10
5j	3520.00	1020.00	163.95	156.93	185.00	34.55
6j			165.7	215.23	245.00	52.55
7j		1010.00	205.6	109.57	103.00	20.45
8j		1030.00	164.7	111.33	169.00	13.80
9j			166	78.27	68.10	12.23
10j	3540.00		166.05	102.80	112.00	17.60
11j			165.95	86.43	115.00	8.49
12j			165.55	81.77	80.00	7.35
13j		1123.00	168.6	55.87	53.10	5.68
14j		1113.00	164.3	95.37	75.20	12.73
15j			166.1	83.10	79.10	6.14
MIN	3520.00	1010.00	163.25	55.87	53.10	5.59
MAX	3580.00	1425.00	616.70	355.67	311.00	52.55
MOY	3553.33	1163.00	198.30	137.75	147.90	19.28

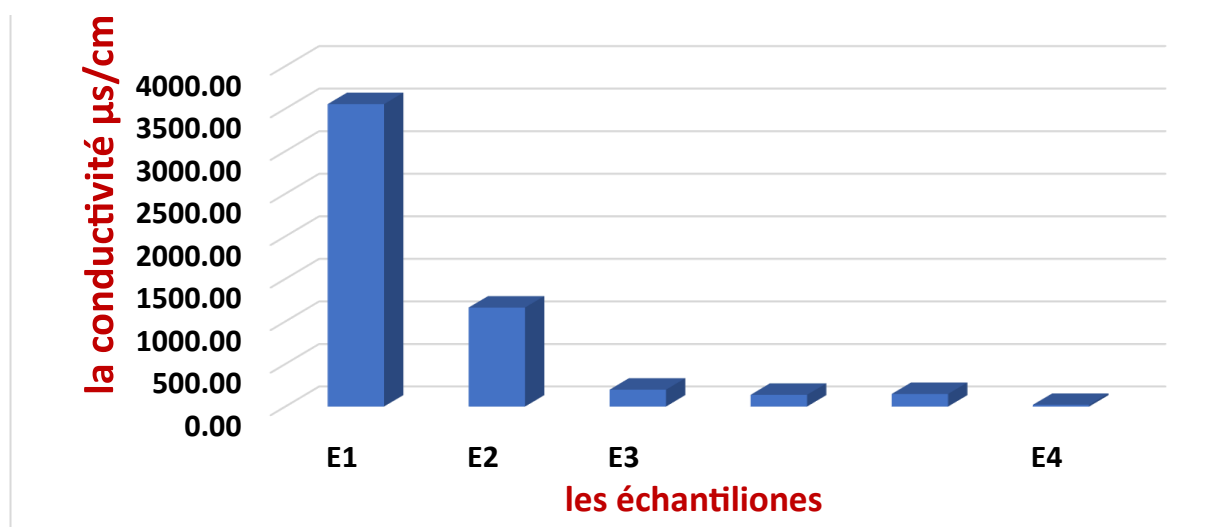


Figure 23 : Teneures moyennes de l'analyse du paramètre de la conductivité

L'évolution de la conductivité comme indiquée sur le tableau (8) et la figure 23 montre :

1. L' Eau de Forage (E1) et l'eau distribuer par l'ADE (E2)est d'une Conductivité très élevée de 3553 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 1163 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivement ce qui indique une forte présence des sels minéraux dissous cela suggère une eau non adapté directement sans traitement préalable ,on marque aussi une Conductivité extrêmement élevée qui arrive j'jusqu'à 13524 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au niveau des eaux qui se trouvent dans les chaudières cela est probablement dû à la concentration des selles par évaporation dans les circuit fermé ou l'inefficacité de la purge ce qui pose une problématique parce qu'elle favorise l'entartrage et la corrosion et peut endommager les équipements.
2. La conductivité dans L'Eaux Osmosées (E3), l'eau Ultra Pure (E4), est très faible, elle est entre 6,6 a198 $\mu\text{S}/\text{cm}$, c'est une eau adaptée aux usage alimentaire ou industrielle de haute qualité cette eau a subi un traitement pausé d'osmose inverse qui élimine jusqu'à 98 % desselles ce qui indique une bonne performance des systèmes d'osmose et de déminéralisation, [36]
3. Une conductivité élevée veut dire l'eau contient des selles dissous qui provoque la corrosion, l'entartrage et baisse d'efficacité thermique, Une faible conductivité veut dire meilleure qualité pour process industriels et agroalimentaire [37]

Ces résultats confirment le rôle important que jouent les membranes d'unité osmose inverse dans la déminéralisation de l'eau.

III.2.3. Le titre alcalimétrique complet (TAC) :

Le tableau 9 présente les résultats de l'analyses du paramètre de titre alcalimétrique complet (TAC) mesurer quotidiennement des 4 échantillons durant les deux semaines de stage18/02/2025 au 05/03/2025

Tableau 9 : Résultats de l'analyse du paramètre de titre alcalimétrique complet (TAC)

	Les échantillons					
	E1	E2	E3			E4
	La moyenne journaliere					
les normes internes	<60°F	<5,5° F	<1,5°F			0°F
			ligne1	ligne2	ligne3	
1j	39.60	26.00	1.70	2.77	2.80	0.40
2j	39.60	26.60	1.70	1.83	2.00	0.80
3j	39.00		1.70	1.77	1.80	0.55
4j	38.80		1.70	1.67	1.80	0.90
5j	39.40	26.20	1.70	2.70	2.90	0.95
6j			1.70	3.67	4.20	1.30
7j		26.20	2.00	2.00	1.90	0.40
8j		26.20	1.70	1.40	1.70	0.35
9j			1.70	1.13	1.20	0.30
10j	37.20		1.70	1.20	1.20	0.40
11j			1.70	1.00	1.20	0.40
12j			1.70	0.97	1.00	0.35
13j		26.60	1.70	1.40	1.40	0.30
14j		25.20	1.70	2.33	1.90	0.50
15j						
MIN	37.20	25.20	1.70	0.97	1.00	0.30
MAX	39.60	26.60	2.00	3.67	4.20	1.30
MOY	38.93	26.14	1.72	1.85	1.93	0.56

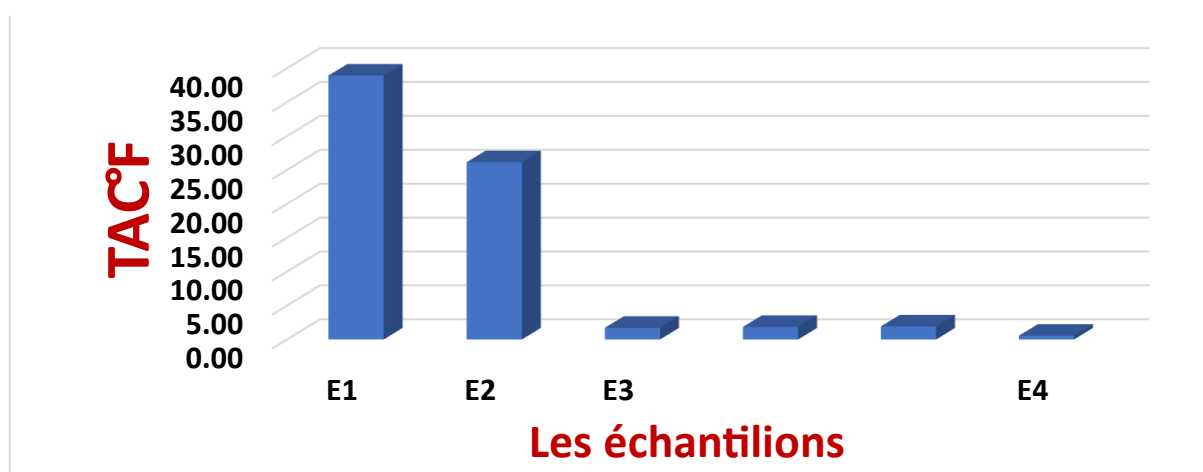


Figure 24 : Teneurs moyennes de l'analyse du paramètre de titre alcalimétrique complet (TAC)

L'analyse des valeurs d'alcalinité issues du tableau (9) et de la figure (24) et du graphique permet de destiner clairement deux catégories :

1. Bonne alcalinité pour l'Eau de Forage (E1), l'eau distribuer par L'ADE (E2) qui varie entre 24,58 et 38,93 mg/L ce qui indique une présence des bicarbonates et les carbonates, cette alcalinité joue un rôle important dans la stabilité de PH de l'eau et la protection contre la corrosion c'est une eau partiellement traitée pour l'ADE. [38]
2. Une alcalinité très faible pour l'Eaux Osmosées (E3), Ultra Pure (E4) qui varies entre 0,31 – 1,93 mg/L, cette eau est quasiment dépourvue de Seles alcalins purifier par l'osmose inverse et donc très pauvre en minéraux ce qui peut poser des problèmes dans certain systèmes car elle réduit le pouvoir tampon de l'eau et la rendant plus sensibles aux variations du pH et pour y remédier il est nécessaire d'effectuer une recarbonations pour améliorer la stabilité du pH. [36]

III.2.4. Le titre hydrométrique total :

Le tableau 10 montre résultats de l'analyses du paramètre de titre hydrométrique total mesurer quotidiennement des 4 échantillons durant les deux semaines de stage 18/02/2025 au 05/03/2025

Tableau 10 : Résultats de l'analyse du paramètre de titre hydrométrique total

	Les échantillons					
	E1	E2	E3			E4
	La moyenne journaliere					
	les norms internes	<120° F	<50°F	<1°F		
ligne1				ligne2	ligne3	
1j	104.90	52.20	2.30	3.53	3.20	0.00
2j	104.80	51.20	2.20	2.40	2.40	0.00
3j	104.00		2.20	2.27	2.30	0.00
4j	104.00		2.20	2.03	2.00	0.00
5j	105.00	40.60	2.20	3.00	4.00	1.00
6j			2.20	5.30	6.30	1.50
7j		40.20	1.95	2.20	2.00	0.40
8j		41.00	2.20	1.73	2.30	0.15
9j			2.20	0.77	0.70	0.00
10j	103.60		2.10	0.90	1.00	0.00
11j			2.10	0.73	1.00	0.00
12j			2.10	0.60	0.60	7.35
13j		47.20	2.20	0.50	0.50	0.00
14j		45.60	2.20	2.07	1.50	0.10
15j						
MIN	103.60	40.20	1.95	0.50	0.50	0.00
MAX	105.00	52.20	2.30	5.30	6.30	7.35
MOY	104.38	45.43	2.17	2.00	2.13	0.75

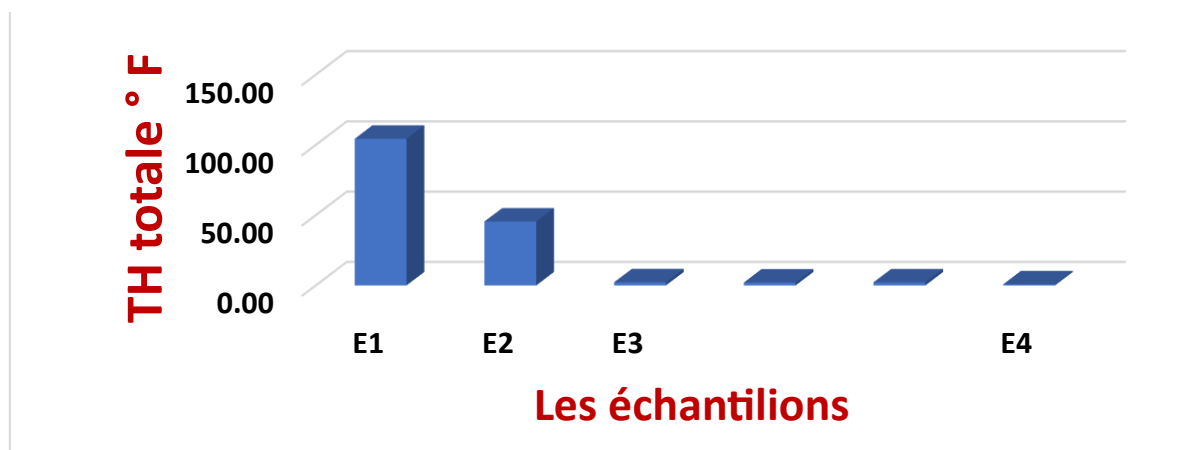


Figure 25 : Teneurs moyennes de l'analyse du paramètre de titre hydrométrique total

Le tableau (10) et la figure (25) montrent que :

1. La dureté totale (TH) des eaux de Forage(E1) et de l'eau distribué par l'ADE (E2) est extrêmement élevée, elle arrive jusqu'à 104,38 °F ce qui signifie que les eaux sont très riches en ions calcium et magnésium, cette dureté peut être expliquée par la nature géologique des sols. Donc elles sont fortement minéralisées ce qui peut poser plusieurs problèmes, pour cela il est nécessaire de faire un traitement correctif pour préserver les installations.
2. Eaux Osmosées (E3), l'eau Ultra Pure (E4), présente un TH faible qui ne dépasse pas le 3,88 °F ce qui signifie qu'elle contient peu d'ions de calcium et magnésium responsable de la dureté de l'eau ce TH faible est signe d'une eau très douce obtenue par l'osmose inverse.

Ces résultats sont globalement bons pour les installations question de prévention contre la corrosion selon les normes internes de l'industrie

III.2.5. La teneur en chlore libre :

Le tableau (11) présente les résultats de l'analyse du paramètre de chlore libre mesuré quotidiennement des 6 échantillons durant les deux semaines de stage 18/02/2025 au 05/03/2025

Tableau 11 : Résultats de l'analyse du paramètre de chlore libre

	Les échantillons										
	E1	E2	E3			E4	E5	E6			
	La moyenne journaliere										
Les normes internes	<100° F	<70°F	<5°F			0°F	avant filtration	après filtration			
			ligne1	ligne2	ligne3		<0.5(ppm)	0.00(ppm)			
								ligne1	ligne2	ligne3	ligne4
1j	96.20	14.80	4.60	12.37	11.40	0.65	0.09	0.01		0.01	0
2j	96.80	14.20	4.60	5.63	5.80	1.55	0.13	0.01	0.01	0.01	0.01
3j	96.40		4.60	5.13	5.30	1.05	0.09		0.01		0.02
4j	96.00		4.60	3.70	7.60	1.55	0.09	0.01	0.02		0.02
5j	95.60	8.80	4.60	3.20	3.70	1.05	0.11	0.02	0.01	0.02	0.02
6j			4.60	3.20	3.40	1.00	0.09		0.02	0.02	0.02
7j		8.80	6.00	2.37	2.20	0.80	0.09		0.02	0.02	0.02
8j		9.00	4.60	2.97	4.60	0.65	0.07			0.02	0.01
9j			4.60	2.77	2.60	0.65	0.08	0.01		0.01	0.01
10j	95.60		4.60	3.63	3.80	1.00	0.09	0.01		0.01	0.01
11j			4.60	3.20	3.80	0.80	0.09	0.01		0.01	0.02
12j			4.60	3.07	3.00	0.60	0.08	0.02			
13j		12.60	4.60	1.27	1.20	0.60	0.05	0.01			0.01
14j		10.80	4.60	1.67	1.40	0.60	0.03	0.01	0.01		0
15j							0.09	0.01	0.01		
MIN	95.60	8.80	4.60	1.27	1.20	0.60	0.03	0.01	0.01	0.01	0.00
MAX	96.80	14.80	6.00	12.37	11.40	1.55	0.13	0.02	0.02	0.02	0.02
MOY	96.10	11.29	4.70	3.87	4.27	0.90	0.08	0.01	0.01	0.01	0.01

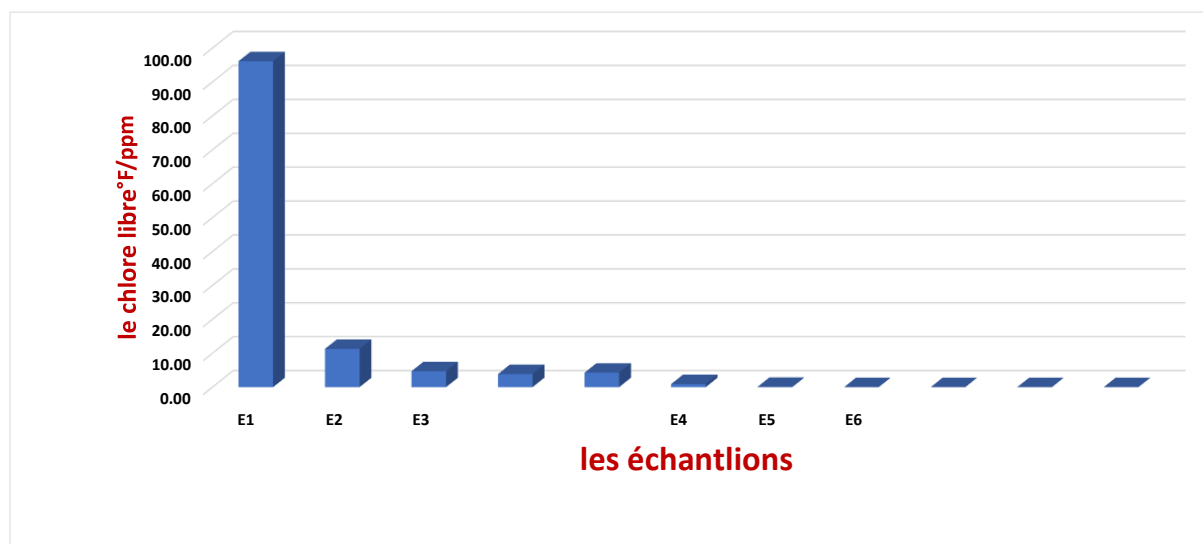


Figure 26 : Teneurs moyennes des résultats de l'analyse du paramètre du chlore libre

Les analyses selon le tableau (11) la figure (26) révèle que :

1. L'eau de forage (E1) contient une concentration modérée en chlorure (96,1 mg/L) car elle se situe dans une zone intermédiaire ni trop basse ni trop élevée, cette teneur n'affecte pas les équipements selon la norme interne de l'industrie.
2. L'eau distribuée par l'ADE (E2) contient une teneur de Chlorures faible (11,3 mg/L) parce qu'il a subi un traitement avant la distribution
3. L'Eaux Osmosées (E3), l'eau Ultra Pure (E4), présentent une teneur de Chlorures très faible qui ne dépasse pas 0,6 mg/L grâce au processus de l'osmose inverse et la condensation qui élimine tous les ions de chlorures
4. L'échantillon (E5) et (E6) pressant l'eau avant et après injection de l'hypochlorite de sodium le tableau montre une teneur de chlore relativement faible dans l'eau brute cela s'explique par le traitement partiel de l'eau distribuée par l'ADE l'équilibre naturel de la teneur du chlore dans l'eau de forage, en revanche on constate une valeur élevée de la teneur du chlore dans l'eau filtré cela s'explique par l'injection de l'hypochlorite de sodium avant le passage par le filtre à sable cette chloration a pour objectif de désinfecter l'eau, cette teneur de chlore élevée pose un risque de corrosion de l'équipement et la détérioration des membranes pour cela il est essentiel d'injecter le métabisulfite de sodium pour la déchloration.

III.3. Evaluation de l'agressivité et de l'entartrage des eaux :

III.3.1. Indice de Saturation (LANGELIER) et Indice de Stabilité des eaux (RYZNAR) :

L'analyse des indices de saturation de Langelier et de stabilité de Ryznar permet d'évaluer le caractère corrosif ou entartrant de l'eau, ces deux indices sont essentiels pour le diagnostic des risques liés aux installations industrielles, notamment en ce qui concerne la durabilité des équipements et la qualité de l'eau, l'analyse de ces indices est effectuée spécifiquement pour l'eau brute avant le traitement. (Tableau 12)

Tableau 12 : Evaluation des indices (pHs, IR et IS)

	Echantillones	
	forage	ADE
	moyennes journalires	
les norms internes	—	<50°F
Moyenne de [ca]	68,8	38,51
log 10 [Ca2+]	1,837588438	1,585573519
T °C	20	20
pH de saturation=21,1 +log 10 [ca2+]-0.1*T		
pHs	11,93758844	11,68557352
L'INDICE DE LANGELIER (Indice de Saturation [IS]): IS = pH réel - pHs		
ph réel	7,24	7,36
IS	-4,697588438	-4 ,325573519
observation IS	eau aggressive	
L'INDICE DE RYZNAR (Indice de Stabilité des eaux [IR]) : IR = 2 pHs – pH réel		
IR	16,63517688	16,01114704
Observation IR	corrosivité intolérable	

III.3.2. Analyses des indices:

A) Evolution de l'Indice de saturation Langelier IS :

Le tableau (13) indique que $IS < 0$ strictement inférieure a 0 qui veut dire que l'eau est sous saturer en carbonate de calcium dans les deux cas (l'eau de forage et de l'ADE) cela indique clairement que l'eau est très aggressive

B) Evolution de l'Indice de stabilité de l'eau IR :

Le tableau (13) montre que $IR > 7$ strictement supérieure à 7 donc c'est une valeur extrêmement élevée pour les deux cas (l'eau de forage et l'ADE) ce qui signifie que la corrosion de l'eau est intolérable,

Cette agressivité justifie donc la nécessité d'un traitement correctif par l'osmose inverse présidé par un prétraitement adapté.

III.4. Conclusion

D'après les analyses et les résultats journaliers obtenus des différents paramètres physico-chimiques on conclut que l'eau de Forage est une eau fortement minéralisée et peut induire la corrosion avec un risque très élevé d'entartrage à cause d'une dureté totale extrêmement élevée autrement dit une précipitation facile de calcium et magnésium dans les canalisations.

L'eau distribuée par l'ADE est une eau fortement minéralisée et peut induire la corrosion avec un risque très élevé d'entartrage à cause d'une dureté totale extrêmement élevée autrement dit une précipitation facile de calcium et magnésium dans les canalisations.

L'Eaux Osmosées, l'eau Ultra Pure est une Eau très pure elle dissout facilement les matériaux, un risque nul d'entartrage car la dureté est quasiment nulle, aucun dépôt calcaire à craindre, idéale pour l'industrie, laboratoires, chaudières, alimentation de batteries.

L'évolution de l'indice de RYZNAR et L'ANGELIER met en évidence le caractère corrosif de l'eau de forage ainsi que l'eau distribuée par l'ADE, les valeurs relevées traduisent une eau chimiquement déséquilibrée et présentant une forte tendance à dissoudre les dépôts de carbonate de calcium ce qui provoque le risque de corrosion au niveau des installations industrielles.

Conclusion générale

A partir de l'évaluation de l'indices de Langelier et de Ryznar de l'eau brute, nous avons pu déterminer le caractère corrosif et entartant de l'eau avant le traitement, cette eau agressive attaque les matériaux, détériore les installations, augmente le coût de maintenance, diminue la qualité du produit, cette situation justifie la mise en œuvre d'un traitement physicochimique rigoureux.

L'eau distribuée par l'ADE est une eau fortement minéralisée et peut induire la corrosion avec un risque très élevé d'entartrage à cause d'une dureté totale extrêmement élevée autrement dit une précipitation facile de calcium et magnésium dans les canalisations

L'Eaux Osmosées, l'eau Ultra Pure est une Eau très pure elle dissout facilement les matériaux, un risque nul d'entartrage car la dureté est quasiment nulle, aucun dépôt calcaire à craindre, idéale pour l'industrie, laboratoires, chaudières, alimentation de batteries

Le traitement d'eau par osmose inverse au sein du complexe Cevital de Béjaïa s'est imposé comme une solution performante et fiable pour répondre aux exigences de qualité de l'eau dans les différents processus industriels. Grâce à l'efficacité de ce procédé, la quasi-totalité des sels minéraux, des particules et des micro-organismes présents dans l'eau brute est éliminée, ce qui permet d'obtenir une eau de très grande pureté. Les analyses physicochimiques réalisées avant et après traitement confirment une nette amélioration de la qualité de l'eau, notamment par la diminution significative de l'agressivité de l'eau brute la conductivité, de la dureté, de l'alcalinité et des concentrations en éléments indésirables tels que les chlorures, le fer ou la silice.

Le traitement préalable par filtration à sable et à cartouche et l'injection de certain produit permet la protection des membranes de l'osmose inverse et maîtriser les risques techniques tout en répondant aux normes de qualité imposées par l'industrie.

Bibliographie

1. Kessai, S. tizerarine,L. Programation de fonctionnement de la ligne de traitement des eaux par osmose inverse via portail v15 au sein de l'entreprise cevital de bejaia ,memoire de fin de cycle pour l'obtention du diplome de master,université dfe bejaia. b.
2. Automatisation et supervision de l'unité de traitement des eaux par osmose inverse du complexe cevital via le logiciel TIA portable V13 de siemens.
3. Salima, mdm lahbas zoulikha et mdm harfouche. analyses physico-chimique des eaux issues de processus d'osmose inverse-dionisation de l'entreprise agroalimentaire cevital. 2021/2022.
4. Massinissa, mr ouabbas yuba et mr kadi. automatisation des cycles de transfert du sucre vers les tremies de conditionnement au sein de l'entreprise cevital SPA-bejaia memoire de fin de cycle pour obtention de diplome de master université de bejaia.
5. Manuelle de complexe cevital.
6. Meriem mazouz zina feredj memoire en vue de l'obtention du diplôme master en Génie des Procédés de l'Environnement " la coagulation-floculation des eaux du puits de forage d'ibourassen optimisé par plans d'expérience".
7. Sigg,l, behra,p, stumm,m (2000), chimie des milieux aquatiques, édition DONOD, paris.
8. Hasnia benmoussa, « Chimie des eaux », Cours Master I en Génie des procédés de l'environnement, Université Mohamed BOUDIAF, ORAN (2017).
9. Celia yahiaoui, « Étude cinétique du phénomène de la précipitation du CaCO_3 par dégazage de CO_2 de l'eau. Effet des inhibiteurs verts », Mémoire de master en Génie chimique, Université Abderrahmane Mira, BEJAIA (2019).
10. Arrigon J. (1991). Aménagement écologique et piscicole des eaux douces. Edition Lavoisier, France. 63 pages.
11. Rodier J. (1996). L'analyse de l'eau : eau naturelles, eau résiduaires, eau de mer. Edition Dunod, France.1384 pages.
12. Thomas O. (1995). Métrologie des eaux résiduaire. Edition Tec et Doc Lavoisier, France.191 pages.
13. Rodier J., Legube B., Merlet N. (2009). L'analyse de l'eau,9ème édition, Ed. Dunod, 1579p.
14. Cojan et Renard M. (2003). Sédimentologie. Edition Dunod, France. 136 pages.

15. Greenlee et al., 2009 Dow Water & Process Solutions, film tectm Reverse Osmosis Membr. Tech. Man, 2009.
16. Kettab A. (1982). Les eaux potables .In : traitement des eaux. Edition Office des publications Universitaires, Alger. 151 pages.
17. Kemmer (1984). Manuel de l'eau Tec et Doc Lavoisier, France 930 pages.
18. Tardart M, (1994). La chimie de l'eau. Edition Griffon d'argile, Québec. 130 pages.
19. Hadjrioua, I /messaoudene, memoire en vue de l'obtention du diplome de maste "production des eaux de process au niveau du complexe agroalimentaire cevital "genie des procédés de l'environnement 2022.
20. D takabait Fatah: Analyse Thème Traitement de l'Eau de Forage par Osmose Inverse au Niveau du Complexe Agroalimentaire Cevital En vue de l'obtention du diplôme de Master en Chimie Option.
21. Wijmans J.G., Baker R.W. (1995). The solution-diffusion model : a review J.Membr. Sci. 107 1-21.
22. kessai Sofia & .tizerarine Lila programmation de fonctionnement de la ligne des traitement des eaux par osmose invers evia portail V15 au sein de l'entreprise cevital bejaia En vue de l'obtention du diplôme de master en electrothecnique.
23. Issaadi.m,khebbat. A, (2015), « Etude et contrôle du procédés comnine osmose inverseelectrodéionisation par analyse physico-chimique de eaux de process de CEVITAL ».
24. Mémoire de MASTER en Génie des Procédés et d'Environnement, Université A-MIRA.
25. Planification et réalisation produits sûrs\7.2 PRP\ Manuels opératoires & enregistrement\Energie\MNENG-01 Manuel Opérateur Unité d'osmose inverse.docx.
26. Yasmina ait bouda et Fairouz mhenniI, « traitement des eaux par osmose inverse au niveau du complexe agroalimentaire CEVITAL », Mémoire en Génie de l'environnement, Université Abderrahmane Mira, BEJAIA (2015).
27. Bars Jean-Marc BERLAND et Catherine JUERY, « Les procédés membranaires pour le traitement de l'eau », document technique n°14 du fonds national pour le développement des adductions d'eau.
28. ROVEL,J.M, 2012 Rovel, J.M, «Dessalement de l'eau de mer », 2012, technique de l'ingénieure.(157pages).
29. Youssef bzizi, « Traitement des Eaux », article de la société oragium 'l'énergie sous toutes ses formes', Maroc (2018).
30. Feyrouz azzoune et Samira maza, « Contrôle de la Qualité des eaux de process Osmose

- Inverse du Complexe Cevital Agroalimentaire, Bejaia», Mémoire de master en Biodiversité et Sécurité Alimentaire, Université Abderrahmane Mira, BEJAIA (2018).
31. Maurel, A. (2006). Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce, 2eme édition.
 32. Enrico Riboni, « Purification de l'eau dans l'industrie », livre réalisé par la Fondation Suisse pour la Recherche en Microtechnique, (2003).
 33. S. Gadoum et F. Hamichi. Analyse des eaux de chaudières du complexe Cevital. Mémoire D.E.U.A. Bejaia. 2002.
 34. F. Miomandre. Electrochimique. Paris. 2005.
 35. R. Soumya, « Formulation et étude des propriétés d'une peinture anti corrosion : Phase eau », Mémoire de Master, Université M'hamedBougara de Boumerdes, 2019.
 36. Bounab samia , ressources en eau et developpement durable cas de la regione annabatarf(nord-est algeria,thèse doctorat en science, université annaba badji-mokhtar, 2017.
 37. water, water quality and treatment . a handbook in drinking. Titre : Water Quality and Treatment: A Handbook on Drinking Water. s.l. : 6 eme edition , 2011.
 38. Spellman, franck.R. industrial Water Treatment: Principles and Design. s.l. : 2 eme edition, 2013.
 39. Hach, Alcalinité – Aperçu des paramètres de qualité de l'eau (bicarbonates, carbonates, rôle dans la stabilité du pH et la corrosion.
 40. BensidThefase et Saidani Sabrina Mémoire de fin d'étude Pour l'obtention du diplôme de Master Génie des procédés Contrôle de la qualité des eaux d'alimentation des chaudières industrielles cas de CEVITAL 2018/2019.
 41. Benaissa, F. Z. (2013). Etude sur le procédé d'osmose inverse pour le dessalement des eaux faiblement saumâtres, mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Master Université Abou BekrBelkaid Tlemcen.
 42. Harez, A. Djelailia, H. (2019). Etude d'une station de traitement et de production d'eau potable à partir d'un forage Hôpital El-Hadjar, mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Master, Université Badji Mokhtar Annaba.
 43. Ouali, S, Cours de procédés unitaires biologiques et traitement des eaux, édition office des publications universitaires, Alger, (2001).1ere édition .156pages.

44. Ouali M S. (2001). *Cours de procédés unitaires biologiques et traitement des eaux*. Edition. Office des publications universitaires. Alger. 156 pages.
45. Metaiche, M., (2014). *Technologie Membranaire. Mémoire d'ingénieur. Université de Bouira, Pages.44-78*.
46. Berland, M. Juery, C. (2002). *Les procédés membranaires pour le traitement de l'eau, édition office international de l'eau, mémoire fin étude, Université France, pages71*.
47. Crini., G et Batod., M, (2007). *Traitement et épuration des eaux industrielles polluée : procédés membranaires, bio adsorption et oxydation chimique. Page 82- 83*.
48. Gheret.S, (2017) « *Les grandes catégories d'usages de l'eau dans l'industrie* », *techniques de l'ingénieur*.
49. Thomas O. (1995). *Métrologie des eaux résiduaire. Edition Tec et Doc Lavoisier, France.191 pages*.
50. Bessiers. Y, (2005), « *Filtration frontale sur membrane : mise en évidence du volume filtre critique pour l'anticipation et le contrôle du colmatage* », *Thèse de Doctorat en Génie des Procédés et de l'Environnement, Université paul sabatier,france*.
51. Boukhiar. S, (2016), « *Caractérisation des membranes d'ultrafiltration. Application au dessalement et à la concentration de jus de fruit* », *Mémoire de MASTER en Génie des Procédés et d'Environnement. Université hassiba ben bouali,chlef*.
52. Bourgeoune, juin 2004, « *Technologie propres et eau dans l'industrie* ».
53. Brun, J. (1989). « *Procédés de séparation par membranes, transport, techniques membranaires, applications* ». *Thèse Doctorat.Paris. P156-166*.
54. Bastien Pellegrin « *Analyse multi-échelle de la dégradation de membranes d'ultrafiltration en polyethersulfone / poly (N-vinyl pyrrolidone) en conditions d'usage* », *thèse de doctorat en Génie des Procédés et de l'Environnement, Université de Paul Sabatier*.
55. L degrement, (2005), *Mémento technique de l'eau, Lavoisier de l'eau Tome 1, paris*.
56. Seghir Dekkouche et Bouzid Bechar, « *Etude du phénomène d'entartage et de son inhibition par un tartrifuge vert par la méthode de dégazage contrôlé du CO2* », *Mémoire de master en Génie chimique, Université Abderrahmane Mira, BEJAIA (2014)*.

Annexe I

Définitions :

TD WACH 1

C'est un nom commercial de la solution acide utilisée pour le lavage des membranes au niveau de CEVITAL.

TD WACH 2

C'est nom commercial de la solution basique utilisée pour le lavage des membranes utilisés dans l'unité de production des eaux pures au niveau du complexe CEVITAL.

Coagulant

Produit chimique ou organique destiné à favoriser la coagulation des matières colloïdales en suspension dans une eau. Les plus courants sont le sulfate d'aluminium $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$, et le chlorure ferrique $FeCl_3$. Peut toujours contenir des sels de calcium et de magnésium autres que les carbonates.

Degré français

Unité de concentration des substances chimiques en solution aqueuse. Un degré français (1°f) équivaut à 0,2 milliéquivalent par litre. Cette unité, employée essentiellement en traitement d'eau, est appliquée en particulier à l'expression :

- du titrehydrotimétrique (TH),
- du titre alcalimétrique simple (TA),
- du titre alcalimétrique complet (TAC).
- Chlorures

Annexe II

Modes opératoire et méthodes d'analyses :

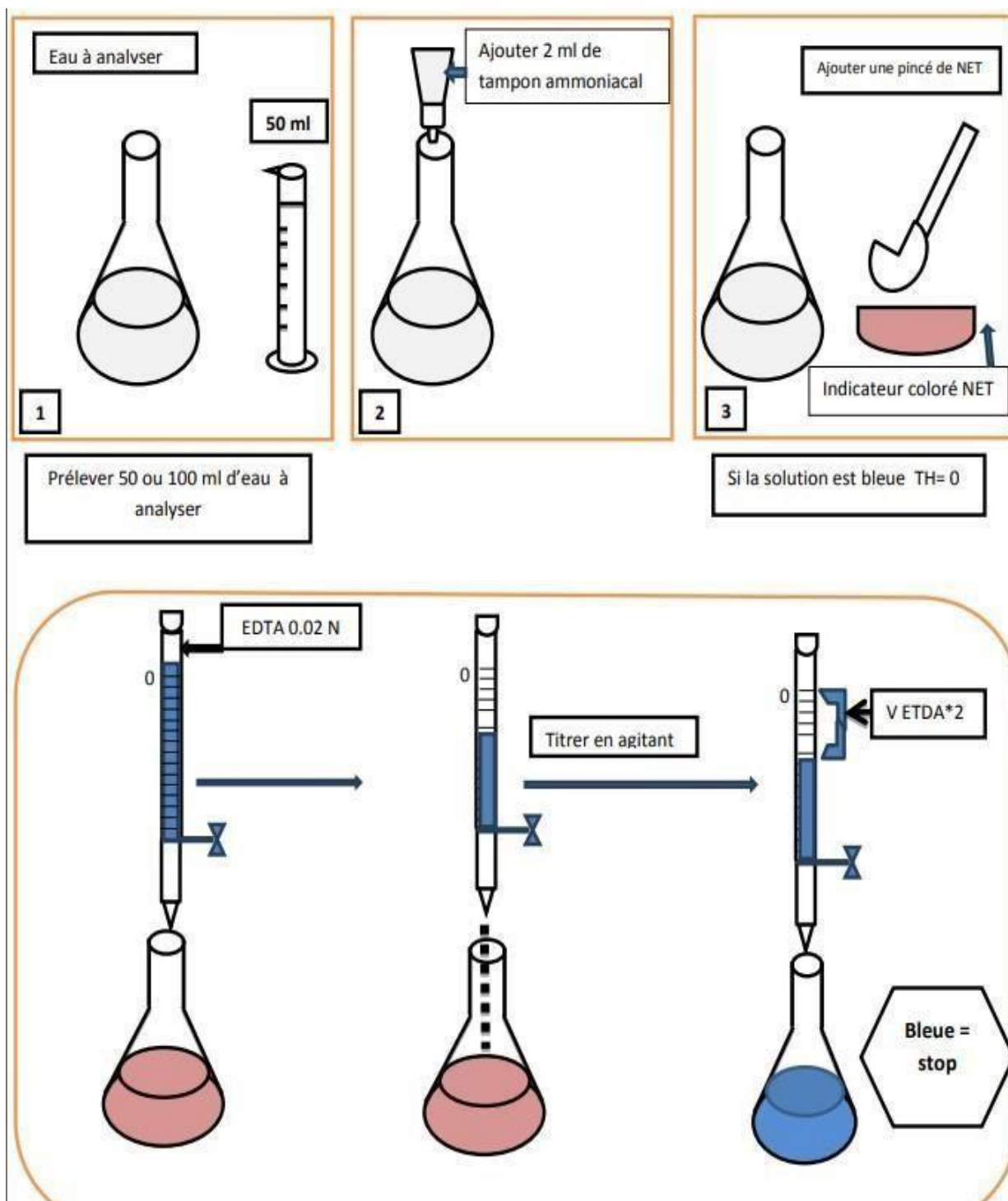
Le potentiel d'hydrogène (pH) :	
Matériels	<ul style="list-style-type: none"> • PH-METRE HACH HQ40D ; • BECHER • SOLUTION PH 4,7 ET 10
Mode opératoire du pHmètre	<ul style="list-style-type: none"> • Etalonner le pH-mètre avec deux solutions étalons de pH 7 et 10 ou 4 et 7 (selon la gamme de mesure à réaliser) ; • Prendre un bécher avec l'eau à analyser ; • Plonger la sonde du pH-mètre dans l'échantillon ; • Après stabilisation, lire le résultat.
La conductivité:	
Matériels	<ul style="list-style-type: none"> • Conductimètre HACH HQ40D ; • BECHER <p>solution conductivité 25 $\mu\text{s/cm}$, 1000 $\mu\text{s/cm}$, 1413 $\mu\text{s/cm}$</p>
Mode opératoire du pHmètre	<ul style="list-style-type: none"> • Après avoir étalonné le conductimètre : • Plonger la sonde de l'appareil préalablement rincée dans un bécher avec l'eau à analyser ; • Secouer la sonde légèrement afin d'éliminer les bulles d'air ; • Attendre quelques secondes et mesurer.
Le titre hydrotimétrique total (dureté total) :	
Matériels :	<ul style="list-style-type: none"> • ERLLENMEYER 250 ml. • Fiole de 100 ml. • Burette graduée de 10 ml.
Réactifs :	<ul style="list-style-type: none"> • EDTA (0.02 N). • Solution tampon ammoniacal pH=10. • Noir Eriochrome T (NET) indicateur coloré

Mode opératoire :	<ul style="list-style-type: none"> • Prendre 100 ml de l'eau à analyser dans un ERLLENMEYER ; • Ajouter 8 gouttes de la solution Tampon Ammoniacal (qui sert à stabiliser le pH durant le titrage) ; • Ajouter quelques gouttes de N.E.T. (Noir Eriochrome T) et mélanger ; • Si une coloration bleu apparaît, le TH est nul ($TH = 0^{\circ}f$) ; • Si une coloration violette apparaît (présence d'ions de Ca^{++} et Mg^{++}) ; titrer le mélange avec une liqueur hydrométrique d'EDTA (sel tétra sodique de l'acide Ethylène Diamine Tétra Acétique) à 0,02N jusqu'au virage de la coloration violette vers le bleu vert
Le calcul du TH Ca^{++}	
Réactifs :	<ul style="list-style-type: none"> • EDTA (0.02 N) ; • Solution de soude caustique à 5N ; • Murexide.

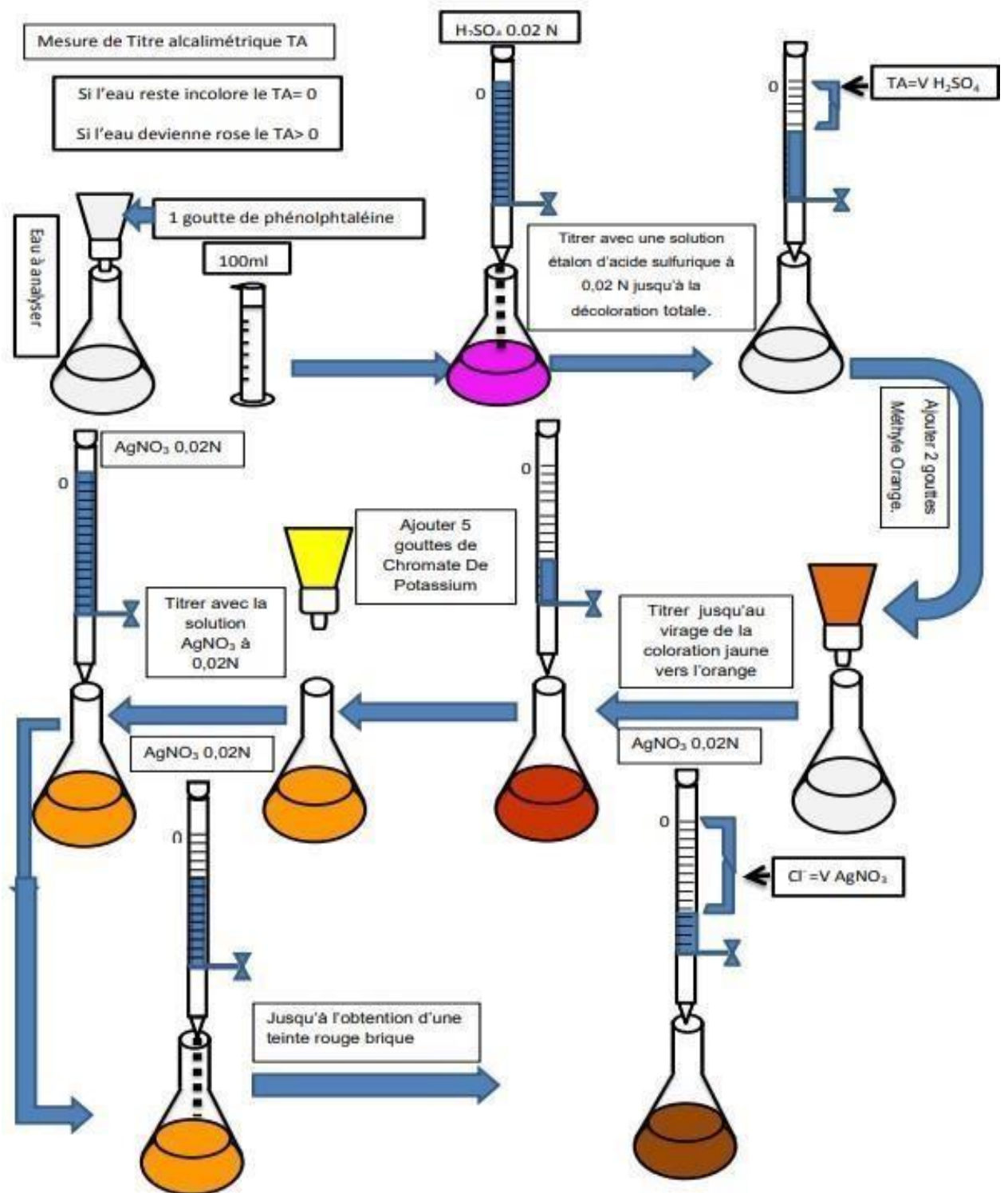
Mode opératoire :	<ul style="list-style-type: none"> • Prendre 100 ml de l'eau à analyser dans un ERLLENMEYER ; • Ajouter 25 gouttes de NaOH à 5N (soude), en remuant délicatement ; • Ajouter une pincée de Murexide (indicateur coloré) et mélanger ; • Une coloration rose doit alors se développer ; • titrer alors avec la solution d'EDTA (sel tétrasodique de l'acide Ethylène Diamine Tétra Acétique) à 0,02N jusqu'au virage du rose au violet.
Le titre alcalimétrique (TA) :	
Matériels :	<ul style="list-style-type: none"> • ERLLENMEYER 250 ml ; • Fiole de 100 ml ; • Burette graduée de 10 ml. 2. Réactifs : • Acidesulfurique (0.02 N) ; • Phénolphtaléine.
Mode opératoire :	<ul style="list-style-type: none"> • Prendre 100 ml d'une eau à analyser dans un ERLLENMEYER ; • Ajouter deux gouttes de Phénolphtaléine (un indicateur de pH) et agiter. Si la solution reste incolore, le TA est considéré comme nul ($TA = 0$), et cela indique que le pH est inférieur à 8,3. • Dans le cas où une coloration rose se forme, titrer avec une solution étalon d'acide sulfurique à 0,02 N jusqu'à la décoloration totale.
Le titre alcalimétrique complet (TAC) :	

Matériels :	<ul style="list-style-type: none"> • ERLENMEYER 250 ml. • Fiole de 100 ml. • Burette graduée de 10 ml. • 4. Réactifs : Acidesulfurique (0.02 N). • Méthyle orange
Réactifs :	<ul style="list-style-type: none"> • Acidesulfurique (0.02 N). Méthyle orange. •
Mode opératoire :	<ul style="list-style-type: none"> • Prendre le même échantillon pour l'analyse du TA et ajouter 2 gouttes d'Hélianthine ou du Méthyle Orange. • Une coloration jaune doit apparaître. • Titrer avec le même acide (H_2SO_4) jusqu'au virage de la coloration jaune vers l'orange
Les chlorures:	
Matériels :	<ul style="list-style-type: none"> • ERLENMEYER 250 ml. • Fiole de 100 ml. • Burette graduée de 10 ml.
Réactifs :	<ul style="list-style-type: none"> • Nitrate d'argent $AgNO_3$ (0.02N). • Chromate de potassium
Mode opératoire :	<ul style="list-style-type: none"> • Dans un ERLENMEYER, prendre un échantillon de 100 ml d'eau à analyser, Ajouter 5 gouttes de Chromate De Potassium (Indicateur coloré). Une coloration rose doit alors apparaître. • Titrer avec la solution $AgNO_3$ à 0,02N (Le nitrate d'argent précipite les chlorures alcalins et alcalino-terreux sous forme de chlorures d'argent) et agiter délicatement le soluté jusqu'à l'obtention d'une teinte rouge brique signalant la fin de la réaction.
Le fer:	
Matériels :	<ul style="list-style-type: none"> • Cuve ronde NANOCOLOR • pipette 5 ml • Spectrophotomètre NANOCOLOR UV/VIS
Réactifs :	<ul style="list-style-type: none"> • Réactifs 2 NANOCOLOR

Mode opératoire :	<ul style="list-style-type: none"> • Dans une cuve ronde, ajouter 04 ml de l'échantillon à analyser et un NANOFIX R2 (fermer le tube de NANOFIX immédiatement après l'addition de R2) et mesurer après 10 mn. • Le blanc est préparé avec 04 ml d'eau distillée et un NANOFIX R2. • La lecture se fait à une longueur d'onde de 540 nm.
Le chlore libre :	
Matériels :	<ul style="list-style-type: none"> • Cuverectangulaire 5cm NANOCOLOR ; • Pipette 1 ml, 20ml ; fiole 25 ml ; • Spectrophotomètre NANOCOLOR UV/V
Réactifs :	<ul style="list-style-type: none"> • Réactifs 1 et 2 NANOCOLOR
Mode opératoire :	<ul style="list-style-type: none"> • • Introduire respectivement dans une fiole de 25 ml : <ul style="list-style-type: none"> • 20 ml d'échantillon à analyser • 1 ml de R1, mélangé ; • Une pincée de R2, mélangé ; • Ajuster à 25 ml avec de l'eau distillée et mesurer après 30 secondes après avoir transvaser dans des cuves rectangulaires. • La lecture se fait à une longueur d'onde de 540 nm
Le manganèse :	
Matériels :	<ul style="list-style-type: none"> • • Cuve ronde NANOCOLOR; pipette 1 ml et 5ml ; • Spectrophotomètre NANOCOLOR UV/VIS
Réactifs :	<ul style="list-style-type: none"> • Réactifs 2,3 NANOCOLOR
Mode opératoire :	<ul style="list-style-type: none"> • Dans une cuve ronde, ajouter 04 ml de l'échantillon à analyser et 0.5 ml de R2. Fermer, mélanger et attendre une minute, puis ajouter une cuillère de mesure de R3 et mesurer après 5 mn. Le blanc est préparé avec 04 ml de l'échantillon à analyser, 0.5 ml de R2 et une cuillère de mesure de R3.



TH totale Dureté totale



TA et TAC et les chlorures

Annexe III

Schéma du processus de production d'eau osmosée au niveau de la ligne d'osmose.

