

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

École nationale supérieure des sciences de la mer et de l'aménagement du littoral (ENSSMAL)



**MEMOIRE DE FINE D'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
D'INGENIEURE EN SCIENCE DE LA MER OPTION : BIOTHECHNOLGIE
MARINE**

**Thème : caractérisation des paramètres physico-chimique et
microbiologiques des eaux dessalées et des eaux souterraines
et leur intérêt en biotechnologie marine**

Cas : station d'aine Témouchent

Présente par :

BENOUDA CHAIMAA

Soutenu le 18/06/2026 devant le jury composé de :

Mme. L. AMROUCHE	Maître assistante classe A ENSSMAL	Présidente
Mr. M. ZERROUKI	Maître assistante classe A ENSSMAL	Examineur
Mr. M .DRICHE	Maître de conférences A ENSSMAL	Promoteur

Année universitaire : 2025-2026

Remerciements

Avant tout, je remercie Allah le Tout-Puissant de m'avoir accordé la santé, la force, la patience et la persévérance nécessaires pour mener à bien ce travail.

J'exprime ma profonde gratitude à mon encadreur M.DRICHE pour son accompagnement, sa disponibilité, ses précieux conseils et son soutien tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Je tiens également à remercier l'ensemble des enseignants de l'École Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral pour la qualité de leur enseignement et les connaissances qu'ils m'ont transmises durant mon parcours universitaire.

Mes sincères remerciements s'adressent également aux membres du jury pour le temps consacré à l'évaluation de ce travail.

À toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail, j'adresse mes plus sincères remerciements.

Merci infiniment.

Dédicace

À ma très chère mère, Halmouti sadiaa

À celle qui m'a portée pendant neuf mois, qui m'a élevée avec amour, qui a veillé sur moi et qui a consacré sa vie à mon bonheur et à ma réussite.

Les mots me manquent pour exprimer toute ma gratitude. Aucun remerciement ne sera jamais à la hauteur de tes sacrifices, de ton amour et de tes prières. Cette réussite est avant tout la tienne, car sans toi je ne serais pas devenue la personne que je suis aujourd'hui.

Merci pour tout. Que Dieu te protège et te récompense infiniment.

À mon mari : DAHAOUI Abd Allah Oussama

Merci pour ton soutien indéfectible, ta patience, ta compréhension et tes encouragements constants. Ta présence à mes côtés a été une source de force et de motivation tout au long de cette aventure. Je te suis profondément reconnaissante pour la confiance que tu m'accordes et pour tous les moments où tu as su me redonner courage.

À mon père, Halmouti Abdelkader,

Merci pour ton affection, ton soutien, tes conseils et ta présence tout au long de mon parcours.

À mon premier héros et à mon premier amour, j'adresse toute ma reconnaissance et mon respect.

À ma chère grand-mère, Aïcha :

Merci pour ton amour, tes prières et ton soutien. Que Dieu te protège, te garde en bonne santé et te comble de bonheur.

Je remercie également mes chères amies Boufenche Khaoula et Aïache Oum Saâd (Marwa), Benmamar lina pour leur amitié sincère et leur soutien précieux.

Enfin, une pensée particulière à mes fidèles compagnons mes chien **Joy et Micha.**

Table des matières

D'INGENIEURE EN SCIENCE DE LA MER OPTION : BIOTHECHNOLGIE MARINE	1
Remerciements	2
INTRODUCTION.....	14
I Généralité.....	16
I.1 Nature et propriétés fondamentales de l'eau.....	16
I.1. Rôle, importance et usages de l'eau :	16
I.2 Les paramètres physico-chimiques de l'eau	16
I.2.1. Conductivité électrique :	16
I.2.2. Turbidité :	17
I.2.3. Potentiel d'hydrogène pH :	17
I.2.4. TA / TAC (Titre Alcalimétrique / Titre Alcalimétrique Complet) :	17
I.2.6. Sulfates :	17
I.2.8. Calcium et magnésium (Dureté) – Méthode EDTA :	17
I.2.9. Ammonium – Spectrométrie au salicylate :	18
I.2.7. Chlorures – Titrage au nitrate d'argent (Méthode de Mohr)	18
I.2.8. Nitrates – Spectrométrie UV-Visible.....	18
I.2.9. Nitrites – Spectrométrie	18
I.2.10. Fer – Méthode à la phénanthroline	18
I.3. Indicateurs microbiologiques de qualité de l'eau	19
I.3.1. Les principaux indicateurs microbiologiques	19
I.3.2. Normes bactériologiques générales (OMS, 2017)	19
I.4. Caractéristiques et importance des eaux souterraines	20
I.5. Les paramètres physico-chimiques de l'eau souterraines	20
I.6. Normes bactériologiques des eaux souterraines	21
I.7. Définition de l'eau dessalée	21
I.8. Les paramètres physico-chimiques de l'eau dessalée.....	21
I.9. Normes bactériologiques de l'eau dessalée :	22
Chapitre II : Ressource en eau et procédé de traitement (dessalement et eau douce).....	24
II.1. Le dessalement de l'eau de mer.....	24
II.1.1 Introduction	24
II.1.2. Historique du dessalement	24
II.1.3. Définition du dessalement	24
II.1.4. Le dessalement de l'eau de mer en Algérie	24

II.1.5. Étapes du dessalement de l'eau de mer	25
II.1.6. Procédés de dessalement	26
II.2. L'eau douce	27
III.2. Qualité des eaux	32
III.3. Sources potentielles de dégradation de la qualité des eaux.....	33
III.4. Traitement des eaux	33
III.5. Potabilité de l'eau.....	33
IV.1 Prélèvement des échantillons	36
IV.1.2.1 Analyses bactériologiques.....	36
IV.1.3 Transport et conservation des échantillons	37
IV.2.1 Matériel de laboratoire	37
IV.4. Méthodes d'analyses microbiologiques	40
IV.4.1 Recherche et dénombrement des coliformes et Escherichia coli	40
IV.4.1.3 Expression des résultats	41
IV.4.2 Recherche des entérocoques intestinaux.....	42
IV.4.2.2 Mode opératoire	42
IV.4.2.3 Expression.....	43
IV.4.3 Recherche des spores de bactéries anaérobies sulfitoréductrices (ASR).....	43
IV.4.3.2 Mode opératoire	43
IV.4.3.3 Expression.....	44
IV.4.4 Recherche de Salmonella dans les eaux.....	44
IV.5. Matériel d'analyse physico-chimique :	46
IV.5.1. Matériel de mesure :	46
5.2. Verrerie et matériel courant :	48
IV.5.3. Réactifs principaux	48
IV.6. Méthodes d'analyses physico-chimiques.....	48
IV.6.1. Détermination de la conductivité	48
IV.6.1.1 Principe	48
IV.6.1.2 Préparation des réactifs	48
IV.6.1.4 Expression des résultats	49
IV.6.2. Détermination de la turbidité	49
IV.6.3. Détermination de l'alcalinité complet (TAC) ; titre alcalimétrique (TA).....	50
IV.6.4. Oxydabilité au permanganate de potassium :	52
IV.6.5. Dosage des sulfates	53

IV.6.6. Détermination du potentiel Hydrogéné (ph) :	55
IV.6.7. Dosage des phosphates	56
IV.6.8. DOSAGE DE LA SOMME DU CALCIUM ET MAGNESIUM PAR METHODE TITRIMETRIQUE A L'EDTA :	57
IV.6.9. Dosage de l'ammonium par spectrométrie	59
IV.6.9.1Principe	59
IV.6.10. Dosage des chlorures (méthode de Mohr) :	60
IV.6.11. Dosage des nitrates	62
IV.6.11.1Principe :	62
IV.6.11.2Mode opératoire	62
IV.6.12. Dosage des nitrites	63
IV.6.12.2Réactif	63
IV.6.13. Dosage du calcium	64
IV.6.13.1Principe	64
IV.6.13.2Réactif :	64
IV.6.13.3Mode opératoire	65
IV.6.13.4Expression des résultats	66
IV.6.14. Dosage du fer	66
Chapitre V : Résultats et Discussion	69
V.1. Introduction :	69
V.2. Résultats des analyses physico-chimiques	69
V.2.1 Température (T) [°C] et potentielle de hydrogéné (pH) :	70
V.2.2 Conductivité et minéralisation :	72
V.2.3 Turbidité :	72
V.2.4 Dureté totale et alcalinité	73
V.2.5 Cations majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) :	74
V.2.6 Anions majeurs (BICARBONAT, Cl^- , SO_4^{2-}) :	75
V.2.7 Nutriments (NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{2-}) :	75
V.2.8 Fer et matière organique :	76
V.2.9 Étude de la répartition ionique des eaux analysées×	76
V.3. Résultats des analyses microbiologiques :	77
V.3.1 Recherche et dénombrement des entérocoques intestinaux :	78
V.3.2 Recherche et dénombrement des coliformes totaux et thermotolérants :	78
V.3.3 Recherche et dénombrement des sulfitoréductices y compris les spores :	79
V.3.4 Recherche des salmonelles	79

V.4. Discussion :	81
V.5.Applications biotechnologiques	82
V.6. Conclusion :	85
V.6. Recommandations	86
V.6.3.3Développement de procédés de bio désalinisation.....	87
Bibliographie :	90
الملخص	97
Abstract	97

LISTE DES TABLEAUX :

Tableau 1 : CONSTANTES PHYSIQUES DE L'EAU LIQUIDE (BOEGLIN, 2001)	20
Tableau 2 : TABLEAU VOICI LES CRITERES APPLICABLES A TOUTE EAU DESTINEE A LA CONSOMMATION HUMAINE	22
Tableau 3 Paramètres physico-chimiques des eaux de la station de dessalement de Chatt El Hillal et du forage de Sidi Yakhlef (données du 30/10/2025)	35
Tableau 4 : Résultats des analyses bactériologiques des eaux de la station de dessalement de Chatt El Hillal et du forage de Sidi Yakhlef (30/10/2025)	36
Tableau 5 : MILIEUX DE CULTURE UTILISES	42
Tableau 6 : résultats des analyses physico-chimiques	72
Tableau 7 : RESULTATS DES ANALYSES MICROBIOLOGIQUES	81

LISTE DES FUGURES :

Figure 1: Schéma général d'une installation de dessalement (Maurel, 2006 in Abderrazak, 2014).....	27
Figure 2: GEOGRAPHIE de la zone d'étude	33
Figure 3: site de prélèvement	38
Figure 4: Étuvé/incubateur réglable (22°C, 36°C, 44°C)	39
Figure 5: Boîtes de Pétri stériles	40
Figure 6: Hotte à flux laminaire (ADSC Mini Aire).....	40
Figure 7: Rampe de filtration	40
Figure 8 : Autoclave.....	41
Figure 13: Turbidimètre HACH utilisé pour déterminer la turbidité de l'eau, exprimée en unités NTU, reflétant la présence de particules en suspension.	49
Figure 14: CONDUCTIMETRES HACH session 7 et WTW ino Lab. 720 utilisés pour mesurer la conductivité électrique des échantillons d'eau, indicateur de la minéralisation.	49
Figure 15 : PH-mètre avec électrode combinée : utilisé pour mesurer le pH des échantillons, indiquant leur caractère acide ou basique.	49
Figure 17: procédure de mesure de la turbidité	52
Figure 18: procédure du dosage de l'alcalinité complet (TAC)	53
Figure 19: procédure de dosage d oxydabilité au permanganate de potassium	55
Figure 20: procédure de dosage des sulfates.....	56
Figure 21: procédure dosage de la somme du calcium et magnésium par méthode titrimétrie a l edta	60
Figure 22: DOSAGE DE L'AMMONIUM PAR SPECTROMETRIE A L'AIDE DE SALICYLATE DE SODIUM	61
Figure 23: dosage des chlorure par le nitrate d'argent	63
Figure 24: Dosage des nitrates	64
Figure 25: procédure de dosage des nitrites	66
Figure 26: procédure de dosage du calcium	67
Figure 27: procédure de dosage de fer	69
Figure 28: comparaison de la température des deux eaux	73
Figure 29: comparaison de potentielle de hydrogène des deux eaux.....	73
Figure 30: comparaison de la conductivité des deux eaux	74
Figure 31: comparaison de la turbidité des deux eaux	75
Figure 32: comparaison de la dureté totale (TH) des deux eaux	76
Figure 33: comparaison des cations majeurs des deux eaux	77
Figure 34: comparaison des anions majeurs des deux eaux	77
Figure 35: comparaison des nutriments	78
Figure 36: comparaison du fer et de la matière organique des deux eaux	79
Figure 37: répartition des ions dans l'eau dessalée	79
Figure 38: répartition des ions dans Léau souterraine	80
Figure 39: Recherche et dénombrement des entérocoques intestinaux	81
Figure 40: recherche et dénombrement coliformes totaux et des COLIFORMES THERMO tolérants (E. Coli)	82
Figure 41: recherche et dénombrement Bactéries sulfitoréductices y compris les	

spores	82
Figure 42: recherche et dénombrement des salmonelle	83

Liste des abréviations :

- **OMS** : Organisation Mondiale de la Santé
- **UNESCO** : Organisation des Nations Unies pour l'Éducation, la Science et la Culture
- **EPA** : Environmental Protection Agency
- **TDS** : Total Dissolved Solids (Solides Dissous Totaux)
- **pH** : Potentiel Hydrogène □ **TA** : Titre Alcalimétrique
- **TAC** : Titre Alcalimétrique Complet
- **EDTA** : Acide Éthylène Diamine Tétracétique
- **UFC** : Unité Formant Colonie
- **BHA** : Bactéries Hétérotrophes Aérobie
- **Cl⁻** : Ion chlorure
- **HCO₃⁻** : Ion bicarbonate
- **NO₃⁻** : Ion nitrate
- **NO₂⁻** : Ion nitrite
- **Mg²⁺** : Ion magnésium
- **Ca²⁺** : Ion calcium
- **ADE** : Algérienne Des Eaux
- **AEP** : Alimentation en Eau Potable
- **BWC** : Beni Saf Water Company
- **ONS** : Office National des Statistiques
- **MRE** : Ministère des Ressources en Eau
- **JO** : Journal Officiel de la République Algérienne
- **RO** : Reverse Osmoses (Osmose Inverse)
- **ED** : Électrodialyse
- **MES** : Matières en Suspension
- **CE** : Conductivité Électrique
- **NTU** : Néphélométrie Turbidité Unit
- **DBO** : Demande Biologique en Oxygène
- **DCO** : Demande Chimique en Oxygène

- **Cl₂** : Chlore
- **Na Cl** : Chlorure de Sodium
- **m³/j** : mètre cube par jour
- **mg/L** : milligramme par litre
- **μS/cm** : micro siemens par centimètre

Introduction

INTRODUCTION :

L'eau, véritable « sang bleu » de la planète, est une ressource indispensable à toute forme de vie (**Sari, 2014**). Elle constitue la principale particularité de la Terre par rapport aux autres planètes du système solaire (**Sigg et al. 2014**). Cependant, cette ressource vitale devient de plus en plus rare et menacée (**OMS et UNICEF, 2007**). Dans de nombreuses régions du monde, la pénurie d'eau représente désormais une menace sérieuse pour la biodiversité et pour l'être humain, alors même qu'elle est considérée comme un droit fondamental (**OMS, 2006**).

La qualité et la disponibilité de l'eau influencent directement la santé et le bien-être des populations. Aujourd'hui, la croissance démographique et le changement climatique exercent une pression croissante sur les ressources hydriques, tandis que la quantité d'eau douce disponible diminue de manière alarmante (**Salomon, 2012**). Selon les Nations Unies, près d'un milliard de personnes vivent dans des zones où l'eau est rare (**Sari, 2014**).

Face à cette crise, la recherche de nouvelles sources d'eau potable est devenue une priorité mondiale (**Tata-Ducru, 2009**). Parmi les solutions adoptées figurent le dessalement de l'eau de mer, qui permet de produire de l'eau potable grâce à des technologies avancées (**OMS et UNICEF, 2007**), et l'exploitation des eaux souterraines, souvent utilisées pour l'approvisionnement en zones arides. En Algérie, pays caractérisé par un climat sec, ces deux approches jouent un rôle clé dans la satisfaction des besoins en eau de la population (**Habet, 2010**).

Cependant, la qualité physico-chimique et bactériologique de ces deux types d'eau peut varier considérablement, influençant leur potabilité et leur impact sur la santé humaine. L'eau contaminée reste une menace majeure pour la santé publique et l'environnement (**Guay et Roussel, 2013**). Ainsi, il devient essentiel de comparer l'eau issue du dessalement et les eaux souterraines afin d'évaluer leurs différences de qualité et leur aptitude à la consommation humaine.

Généralité

I Généralité

I.1 Nature et propriétés fondamentales de l'eau

L'eau est une substance incolore, inodore et sans saveur lorsqu'elle est pure. À température ambiante, elle se présente sous forme liquide. Sa composition chimique correspond à deux volumes d'hydrogène pour un volume d'oxygène (**Clément, 1979 cité par Hadjali, 2012**).

L'eau représente la ressource essentielle de notre planète et demeure indispensable aux activités humaines quotidiennes (**UNESCO, 2003**). Bien qu'elle couvre près de 72 % de la surface terrestre, ses réserves disponibles connaissent une diminution progressive (**PAER, 2010**). La maîtrise de son utilisation, tout en préservant les équilibres environnementaux, constitue aujourd'hui un enjeu majeur (**Beneteaud et Pujades, 2009**).

Une eau dite pure possède une qualité élevée, essentielle au maintien d'une bonne santé. Sa conformité aux normes de potabilité, tant sur le plan bactériologique que physico-chimique, est indispensable (**Moll, 1990 cité par Hadjali, 2012**).

Depuis toujours, l'eau accompagne la vie humaine. Elle occupe une place centrale dans les domaines sociaux, économiques et sanitaires, tout en constituant un élément fondamental du vivant et du développement des civilisations (**Olivaux, 2007 cité par Hachemaoui, 2014**).

I.1. Rôle, importance et usages de l'eau :

L'eau joue un rôle fondamental dans le fonctionnement de l'organisme humain. Elle participe à l'élimination des déchets par les urines, contribue à la régulation de la température corporelle grâce à la sudation et à la ventilation pulmonaire, et facilite le transport ainsi que l'absorption des vitamines hydrosolubles au niveau intestinal (**Michelle et Dominique, 1994 in Hadjali, 2012**). Bien qu'elle ne fournisse aucune énergie puisqu'elle ne contient ni protéines, ni glucides, ni lipides, elle demeure indispensable à la vie car elle permet à l'organisme d'utiliser l'énergie issue des nutriments (**Dumoulin et Mantha, 2009 in Abderrazak, 2014**). Une déshydratation sévère peut rapidement mettre en danger la vie humaine : une perte hydrique de 12 % compromet le pronostic vital, tandis qu'une absence totale d'apport en eau peut entraîner la mort entre le cinquième et le sixième jour. Au-delà de son importance physiologique, l'eau est également indispensable aux activités humaines. Dans le domaine domestique, elle est utilisée pour la consommation directe, l'hygiène, le lavage, l'évacuation des déchets et l'arrosage. Dans le secteur agricole, qui représente près des trois quarts de la consommation mondiale d'eau, elle intervient dans la croissance des végétaux, le transport des éléments nutritifs et les réactions de photosynthèse. Enfin, dans le domaine industriel, l'eau est utilisée comme agent de refroidissement, solvant, diluant ou support de transport de diverses substances.

I.2 Les paramètres physico-chimiques de l'eau

I.2.1. Conductivité électrique :

La conductivité exprime la capacité de l'eau à conduire un courant électrique. Elle reflète directement la quantité totale d'ions dissous (TDS). Une conductivité élevée indique une forte minéralisation ou une salinité importante, tandis qu'une conductivité

faible est souvent observée dans les eaux traitées ou faiblement minéralisées (ex. eau dessalée). (Rodier J., *L'analyse de l'eau*, Dunod, 2016).

I.2.2. Turbidité :

La turbidité représente la présence de particules en suspension (argiles, matières organiques, micro-organismes). Elle affecte la transparence de l'eau et constitue souvent un indicateur de pollution ou de perturbation mécanique du milieu.

(WHO, *Guidelines for Drinking-water Quality*, 4th ed., 2017).

I.2.3. Potentiel d'hydrogène pH :

Le pH traduit l'équilibre acido-basique de l'eau. Une valeur comprise entre 6,5 et 8,5 est généralement recommandée pour l'eau potable. Le pH influence la solubilité des métaux, la corrosion et l'efficacité de certains traitements. (OMS, *Recommandations internationales pour l'eau potable*, 2017).

I.2.4. TA / TAC (Titre Alcalimétrique / Titre Alcalimétrique Complet) :

Le TA et le TAC mesurent la capacité tampon de l'eau, liée à la présence de bicarbonates, carbonates et hydroxydes. Une alcalinité suffisante permet au pH de rester stable, ce qui est essentiel pour la distribution d'eau et la prévention de la corrosion. (AFNOR, *Qualité de l'eau – Méthodes d'analyse*, 2019).

I.2.5. Oxydabilité :

L'oxydabilité correspond à la quantité de matière organique oxydable présente dans l'eau. Elle est utilisée comme indicateur global de pollution organique susceptible de provenir de rejets domestiques, agricoles ou naturels. (Rodier J., *L'analyse de l'eau*, 2016).

I.2.6. Sulfates :

Les sulfates sont des ions naturels présents dans les roches évaporitiques. À forte concentration, ils peuvent provoquer un goût amer et des effets laxatifs. (WHO, 2017).

I.2.7. Phosphates :

Les phosphates proviennent souvent d'engrais, de détergents ou d'eaux usées. Leur présence excessive peut provoquer l'eutrophisation des milieux aquatiques et témoigne fréquemment d'une pollution anthropique. (Chapra S., *Surface WaterQuality Modeling*, McGraw-Hill, 2008).

I.2.8. Calcium et magnésium (Dureté) – Méthode EDTA :

La dureté de l'eau est déterminée par titrimétrie complexométrique à l'EDTA. Elle renseigne sur la teneur en minéraux responsables des dépôts calcaires et joue un rôle dans le goût et l'équilibre ionique de l'eau. (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, 2012).

I.2.9. Ammonium – Spectrométrie au salicylate :

L'ammonium est un indicateur de pollution récente d'origine organique. Des concentrations élevées peuvent témoigner d'un apport de déchets azotés ou d'eaux usées. (APHA, 2012).

I.2.7. Chlorures – Titrage au nitrate d'argent (Méthode de Mohr)

Les chlorures mesurés par titrage argent métrique permettent d'évaluer la salinité. Une concentration élevée peut indiquer une intrusion saline, notamment dans les nappes côtières. (AFNOR, 2019).

I.2.8. Nitrates – Spectrométrie UV-Visible

Les nitrates proviennent principalement des engrais agricoles et de la dégradation de matières organiques. Leur excès est dangereux pour la santé, notamment pour les nourrissons (méthémoglobinémie). (OMS, 2017).

I.2.9. Nitrites – Spectrométrie

Les nitrites résultent de la réduction des nitrates. Ils sont instables et constituent un indicateur de pollution organique active. (OMS, 2017).

I.2.10. Fer – Méthode à la phénanthroline

Le fer dissous peut venir de la dissolution naturelle de minéraux ferrugineux ou de la corrosion des conduites. Des concentrations élevées donnent à l'eau une coloration jaune-rouille et un goût métallique. (APHA, 2012).

L'eau possède des propriétés physiques particulières qui expliquent son comportement dans les milieux naturels et dans les procédés de traitement.

Le tableau ci-dessous regroupe les principales constantes physiques de l'eau liquide.

EAU LIQUIDE	
Température d'ébullitions sous 760mm	100%
Capacité thermique à 15 °c	4 ,1868 j .g
Enthalpie de la vaporisation à 100 °C	2252 ,5 j .g
Conductivité thermique à 20 °C	5 ,98Mw.cm .K
Résistivité à 20 °c	80
Permittivité relative à 20 °C	1 ,333
Indice réfraction pour la raie D à 10°C	/
Masse volumique à 4°C	1g .cm

TABLEAU 1: CONSTANTES PHYSIQUES DE L'EAU LIQUIDE (BOEGLIN, 2001)

Ces constantes montrent que l'eau se caractérise notamment par une forte capacité thermique, une densité relativement élevée et une conductivité thermique importante. Ces paramètres servent de base pour l'étude des propriétés physico-chimiques présentées dans la section

I.3. Indicateurs microbiologiques de qualité de l'eau

Les normes bactériologiques regroupent l'ensemble des critères microbiologiques permettant d'évaluer la présence de microorganismes indicateurs ou pathogènes dans l'eau destinée à la consommation humaine. Elles visent à garantir une eau exempte de contamination fécale, de bactéries pathogènes, de virus, de protozoaires ou de parasites pouvant provoquer des maladies hydriques. Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS, 2017), une eau potable doit être totalement dépourvue de germes indicateurs de contamination fécale, en particulier *Escherichia coli*

I.3.1. Les principaux indicateurs microbiologiques

I.3.1.1. Coliformes totaux

Ce sont des bactéries présentes dans le sol, l'eau et la végétation. Leur présence indique un défaut de traitement ou de désinfection, mais pas nécessairement une contamination fécale.

I.3.1.2. Coliformes fécaux (dont *E. coli*)

Ils proviennent exclusivement des excréments des humains et des animaux à sang chaud.

Leur présence indique une contamination fécale récente, et donc un risque sanitaire élevé.

(OMS, 2017)

I.3.1.3. Streptocoques fécaux / Entérocoques

Indicateurs complémentaires utilisés pour confirmer l'origine fécale.

I.3.1.4. Bactéries hétérotrophes (BHA)

Elles ne sont pas pathogènes, mais un nombre trop élevé indique un défaut de traitement ou une recontamination.

(OMS, 2017).

I.3.2. Normes bactériologiques générales (OMS, 2017)

Ce tableau présente les critères de qualité applicables à toute eau destinée à la consommation humaine, conformément aux normes en vigueur. Il regroupe les principales limites admissibles des paramètres physico-chimiques et microbiologiques afin de garantir une eau potable sûre et conforme aux exigences sanitaires.

Microorganismes	Norme OMS	Interprétation
E. coli	0 UFC/100 ml	Aucune trace acceptable
Coliformes fécaux	0/100 ml	Interdits
Coliformes totaux	0/100 ml	Interdits en eau traitée
Streptocoques fécaux	Absence	Indique contamination animale ou humaine
Bactéries hétérotrophes (BHA)	< 500 UFC/ml	Au-delà → recontamination possible

TABLEAU 2 : TABLEAU VOICI LES CRITERES APPLICABLES A TOUTE EAU DESTINEE A LA CONSOMMATION HUMAINE

I.4.Caractéristiques et importance des eaux souterraines

Les eaux souterraines constituent une ressource généralement protégée, car elles sont enfouies sous la surface du sol et donc à l'abri des principales sources de pollution. Leur composition évolue lentement dans le temps, ce qui permet d'obtenir une eau brute relativement stable et facilite ainsi le traitement dans les unités de potabilisation. (Maurel, 2006)

Les eaux souterraines représentent la principale réserve d'eau douce accessible sur Terre. Elles proviennent de l'infiltration des précipitations et se stockent dans les formations géologiques perméables appelées aquifères. Bien que l'ensemble de l'eau douce mondiale soit limité — et que la plus grande partie soit immobilisée sous forme de glace ou difficilement exploitable — les eaux souterraines constituent la fraction la plus abondante et la plus stable de l'eau douce réellement disponible pour l'usage humain. (Desargues, A. (2018). **Hydrogéologie appliquée : Science et ingénierie des eaux souterraines. Dunod**)

Elles jouent un rôle essentiel dans l'alimentation en eau, notamment dans les régions arides où les cours d'eau sont rares ou intermittents. Leur renouvellement dépend fortement des conditions climatiques et du taux de recharge, qui peut être très faible dans certaines zones, donnant naissance à des « eaux fossiles », accumulées il y a plusieurs milliers d'années. La compréhension de leur dynamique, de leur disponibilité et de leur durabilité nécessite une analyse hydrogéologique approfondie, incluant des mesures de longue durée et une interprétation rigoureuse du cycle hydrologique. (Desargues, A. (2018). **Hydrogéologie appliquée : Science et ingénierie des eaux souterraines. D'undo**)

I.5.Les paramètres physico-chimiques de l'eau souterraines

Les eaux souterraines présentent généralement une faible turbidité grâce à la filtration naturelle exercée par les couches du sol traversées. Elles se caractérisent également par une faible contamination bactérienne en raison du temps de séjour prolongé dans

le sous-sol et de l'absence de matières organiques biodégradables. Leur température demeure relativement stable tout au long de l'année puisqu'elles ne sont pas directement exposées aux variations climatiques ni au rayonnement solaire. Ces eaux présentent généralement une faible coloration naturelle ainsi qu'un débit relativement régulier comparativement aux eaux de surface. En revanche, elles possèdent souvent une dureté élevée liée à la dissolution des roches riches en calcium et magnésium. Elles peuvent également contenir des concentrations notables en fer et en manganèse, particulièrement dans les milieux pauvres en oxygène où ces éléments deviennent plus solubles (**Maurel, 2006**).

I.6. Normes bactériologiques des eaux souterraines

Les eaux souterraines sont généralement mieux protégées, mais peuvent être contaminées par :

- Fosses septiques
- Infiltration des eaux usées
- Pollution agricole
- Contamination animale

Normes exigées (**OMS, 2017 ; Rodier, 2009**)

- E. coli : 0/100 ml
- Coliformes fécaux : 0/100 ml
- Coliformes totaux : 0/100 ml
- Streptocoques fécaux : absence
- Bactéries anaérobies sulfite-réductrices : <1/20 ml (**EPA, 2018 ;**

UNESCO, 2006).

I.7. Définition de l'eau dessalée

L'eau dessalée est une eau produite par l'élimination des sels dissous et des minéraux présents dans l'eau de mer ou l'eau saumâtre. Cette opération se fait généralement par des procédés membranaires comme l'osmose inverse, ou par des procédés thermiques tels que la distillation multi-effets.

Ce type d'eau est utilisé pour l'alimentation en eau potable, l'industrie, ou l'agriculture, surtout dans les régions où les ressources en eau douce sont limitées (**OMS, 2017**)

I.8. Les paramètres physico-chimiques de l'eau dessalée

L'eau dessalée se caractérise par une faible minéralisation résultant de l'élimination de la majorité des sels dissous lors du processus de dessalement. Elle présente généralement une faible conductivité électrique, une dureté réduite ainsi que de très faibles concentrations en bicarbonates, chlorures, nitrates, nitrites et métaux lourds. Le pH de cette eau doit être régulièrement contrôlé afin de garantir sa stabilité chimique et sa compatibilité avec les réseaux de distribution. La température influence également plusieurs paramètres tels que la viscosité, la densité et la solubilité des gaz. Bien que le dessalement élimine efficacement la plupart des

contaminants, une surveillance continue reste nécessaire afin d'éviter toute contamination secondaire durant les phases de stockage et de distribution et d'assurer le respect des normes de qualité destinées à la consommation humaine (**OMS, 2011 ; HIMMI et al. 2003 ; KEMMER, 1984**).

I.9. Normes bactériologiques de l'eau dessalée :

L'eau distillée ou dessalée est théoriquement stérile après production, mais peut facilement être recontaminée durant le transport ou le stockage.

Normes obligatoires après traitement (recommandations OMS et normes algériennes NA 041)

- E. coli : 0/100 ml
- Coliformes totaux : 0/100 ml
- Coliformes fécaux : 0/100 ml
- *Staphylococcus aureus* : absence
- *Pseudomonas aeruginosa* : absence
- Bactéries totales à 22°C : < 100 UFC/ml
- Bactéries totales à 37°C : < 20 UFC/ml (**OMS, 2022 ; EU Directive**

2020/2184).

CHAPITRE II :

Ressources en eau et procédés de traitement (dessalement et eau douce)

Chapitre II : Ressource en eau et procédé de traitement (dessalement et eau douce)

II.1. Le dessalement de l'eau de mer

II.1.1 Introduction

Le dessalement de l'eau de mer s'impose aujourd'hui comme une alternative stratégique pour assurer l'approvisionnement en eau potable des agglomérations côtières fortement peuplées. Au cours des dernières années, la demande en ressources hydriques n'a cessé d'augmenter, sous l'effet conjugué de la croissance démographique et des épisodes de sécheresse récurrents observés à l'échelle mondiale, et plus particulièrement en Algérie durant la dernière décennie. Face à cette pression croissante exercée sur les ressources conventionnelles, la réalisation de stations de dessalement destinées à l'alimentation des villes littorales apparaît comme une solution pertinente, durable et techniquement maîtrisée.

II.1.2. Historique du dessalement

Les premières observations liées au principe du dessalement remontent à l'Antiquité. Dès l'IV^e siècle avant J.-C., Aristote met en évidence le phénomène de distillation. Au XII^e siècle, des expériences décrivent la transformation de l'eau de mer sous l'effet de l'évaporation solaire ou du chauffage, laissant apparaître le sel après vaporisation de l'eau.

Depuis les périodes anciennes, les marins utilisaient déjà des dispositifs rudimentaires pour produire de l'eau douce à bord de leurs navires. Toutefois, l'exploitation industrielle du dessalement reste relativement récente. À partir des années 1960, les procédés thermiques modernes ont été développés, parallèlement à l'essor des recherches scientifiques visant à améliorer les performances techniques et énergétiques des différentes filières de dessalement (**Halloufi, 2010 in Hachemaoui, 2014**).

II.1.3. Définition du dessalement

Le dessalement — également appelé désalinisation — désigne l'ensemble des procédés permettant de produire de l'eau douce à partir d'eaux salines ou saumâtres. Cette transformation repose généralement sur l'extraction de l'eau douce contenue dans une solution saline, plus rarement sur la récupération du sel. (**Bougis, 2013**).

Il s'agit d'un processus de séparation entre l'eau et les sels dissous présents dans une eau brute, qu'il s'agisse d'eau de mer ou d'eaux saumâtres d'origine continentale (**Dunglas, 2014 in Abderrazak, 2014**).

II.1.4. Le dessalement de l'eau de mer en Algérie

En Algérie, les premières expériences de dessalement sont étroitement liées au développement des industries pétrolière et métallurgique. Initialement, ces installations étaient destinées à des usages industriels, tandis que leur contribution à l'alimentation en eau potable demeurait limitée. Avec l'insuffisance des ressources conventionnelles et la capacité restreinte des barrages à satisfaire l'ensemble des besoins nationaux, le recours au dessalement de l'eau de mer s'est progressivement

imposé comme une solution stratégique (PAER, 2010). Les premières unités ont été implantées notamment à Ouled Djellal, puis au complexe industriel d'Arzew durant les années 1960. Par la suite, le programme national s'est considérablement développé. Aujourd'hui, plusieurs dizaines de stations sont réparties le long du littoral algérien, parmi lesquelles figurent celles d'El-Hamma, Arzew, Jijel, El-Kala, Aïn Témouchent et Annaba. Ces infrastructures contribuent de manière significative à la sécurisation de l'alimentation en eau potable (Habet, 2010).

II.1.5. Étapes du dessalement de l'eau de mer

Le processus de dessalement s'organise autour de quatre étapes principales (Absar, 2012) :

- La prise d'eau de mer
- Le prétraitement
- Le procédé de dessalement
- Le post-traitement

La figure 1 ci-dessous illustre le schéma général d'une installation de dessalement de l'eau de mer, mettant en évidence les différentes étapes du processus :

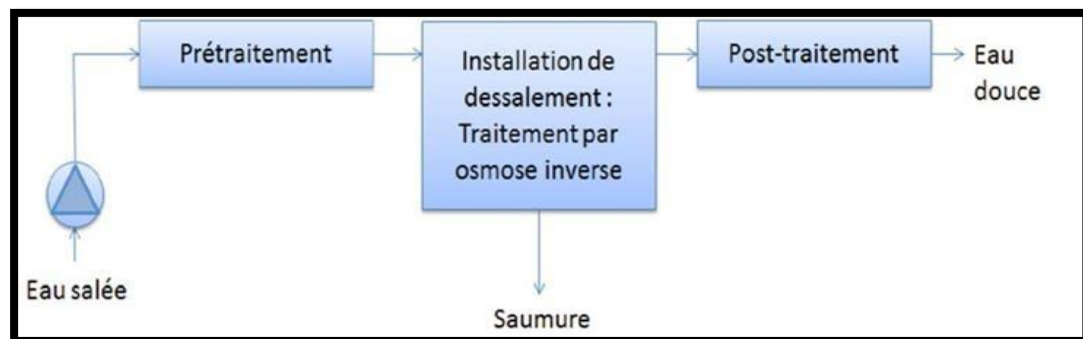


FIGURE 1: SCHEMA GENERAL D'UNE INSTALLATION DE DESSALEMENT (MAUREL, 2006 IN ABDERRAZAK, 2014).

II.1.5.1. Prise d'eau de mer

La prise d'eau constitue la première étape du procédé de dessalement. Elle consiste à capter l'eau de mer et à l'acheminer vers l'usine de traitement. Cette opération peut être réalisée soit par des prises d'eau de surface installées en mer, soit par des forages côtiers permettant d'obtenir une eau naturellement filtrée à travers les formations géologiques. Le choix du mode de captage dépend des caractéristiques du site, de la qualité de l'eau brute et des contraintes environnementales. Une eau de bonne qualité facilite le traitement ultérieur et améliore les performances globales de l'installation (Maurel, 2006).

II.1.5.2. Prétraitement

Le prétraitement vise à éliminer les matières en suspension, les particules fines, les algues, les microorganismes et les substances susceptibles d'endommager les équipements de dessalement. Cette étape est indispensable pour protéger les

membranes d'osmose inverse contre le colmatage et l'encrassement. Elle comprend généralement une filtration sur sable, une filtration sur cartouches ainsi que l'ajout de réactifs chimiques tels que les désinfectants et les inhibiteurs d'entartrage afin d'assurer le bon fonctionnement du système (Absar, 2012 ; Abderrazak, 2014).

II.1.5.3. Dessalement par osmose inverse

L'osmose inverse représente actuellement la technologie la plus utilisée dans le dessalement de l'eau de mer. Le procédé consiste à appliquer une pression élevée sur l'eau salée afin de la faire traverser une membrane semi-perméable. Cette membrane retient la majorité des sels dissous, des bactéries, des virus et des contaminants chimiques, tandis que l'eau douce produite est récupérée sous forme d'eau potable. Cette technique permet d'obtenir une eau de haute qualité avec un rendement élevé tout en réduisant la consommation énergétique par rapport à certains procédés thermiques (Greenlee et al., 2009).

II.1.5.4. Post-traitement

Après le dessalement, l'eau produite présente généralement une faible minéralisation et peut être chimiquement agressive. Un post-traitement est donc nécessaire afin de corriger le pH, d'améliorer le goût de l'eau et d'assurer sa stabilité chimique. Cette étape comprend principalement la reminéralisation par ajout de sels minéraux ainsi que la désinfection finale par chloration. La chloration permet de maintenir un résiduel désinfectant dans le réseau de distribution et de prévenir toute contamination microbiologique après traitement (Chenaoui, 2010 in Abderrazak, 2014).

II.1.6. Procédés de dessalement

II.1.6.1. Procédés thermiques (distillation)

Le dessalement thermique repose sur l'évaporation de l'eau de mer suivie de la condensation de la vapeur obtenue. Les sels et impuretés demeurent dans la phase liquide (Amitouche, 2016). D'après (Maurel, 2006) Principales variantes :

- Distillation multi-effet
- Distillation par détente successive (flash)
- Compression de vapeur

II.1.6.2. Procédés membranaires

Ces technologies reposent sur la séparation de l'eau et des sels dissous à l'aide de membranes semi-perméables (Maurel, 2006).

Principaux procédés :

Électrodialyse

Osmose inverse

À l'échelle mondiale, l'osmose inverse et la distillation thermique représentent les technologies les plus utilisées dans la production d'eau dessalée.

- **Post-traitement de l'eau dessalée**

L'eau produite nécessite un traitement final avant distribution afin de la rendre potable.

- **Ajustement du Potentiel hydrogène (pH)**

L'eau dessalée est chimiquement agressive. Son pH est corrigé par ajout de solutions alcalines afin de rétablir l'équilibre minéral et éviter la corrosion des réseaux **(Chenaoui, 2010 in Abderrazak, 2014)**.

- **Chloration**

Une désinfection est indispensable pour éliminer les micro-organismes pathogènes. La chloration, réalisée par injection d'hypochlorite de sodium, reste la méthode la plus répandue. Elle assure également une protection résiduelle lors du stockage et du transport **(Tahraoui et al. 2010 in Abderrazak, 2014)**

II.2. L'eau douce

II.2.1. Les ressources en eau douce

2.1.1 L'eau douce dans le monde

L'eau douce représente une fraction très limitée des ressources hydriques de la planète, soit environ 3 % du volume total d'eau terrestre. Cette proportion englobe les eaux de surface — cours d'eau, lacs et réservoirs — ainsi que les nappes souterraines exploitables. **(Groupe Cartatout, 2008)**.

La répartition mondiale de cette ressource demeure extrêmement inégale. Près de 80 % de l'eau douce est stockée sous forme de glaces polaires et de glaciers. Une part importante du volume restant est constituée de nappes profondes difficilement accessibles. En réalité, seule une proportion infime — moins de 1 % de l'eau douce mondiale — est directement disponible pour les usages humains via les rivières, lacs et barrages. **(Nations Unis, 2001)**.

Certaines régions, notamment le Moyen-Orient et l'Afrique du Nord, figurent parmi les zones les plus touchées par le stress hydrique. La disponibilité moyenne mondiale est estimée à environ 7 000 m³ par habitant et par an, alors qu'elle chute fortement dans ces régions. **(Touidjeni et Benarab, 2013)**.

II.2.1.2. L'eau douce en Afrique

Le continent africain ne dispose que d'une part limitée des ressources mondiales en eau douce malgré une population importante. De fortes disparités existent entre les sous-régions. **(UNEP, 2010)**

L'Afrique centrale concentre la plus grande part des disponibilités hydriques, suivie de l'Afrique de l'Ouest, tandis que l'Afrique du Nord présente les niveaux les plus faibles. Cette inégale répartition, combinée aux contraintes climatiques et à l'expansion démographique, accentue la vulnérabilité hydrique de plusieurs pays **(UNEP, 2010)**.

II.2.2. Impacts sanitaires de la contamination de l'eau

L'eau est une ressource vitale pour l'homme, les animaux et les plantes, et son accès est reconnu comme un droit économique et social, nécessitant encore d'importants efforts juridiques et financiers pour sa mise en œuvre (**Smets, 2012**). Sa mauvaise qualité constitue un enjeu sanitaire majeur, pouvant transmettre de nombreuses maladies dans les pays riches comme dans les pays pauvres (**Degbey et al. 2010**).

Les changements climatiques accentuent cette problématique en influençant la quantité et la qualité de l'eau, et en aggravant la pression exercée par l'agriculture, l'industrie et la démographie (**Nichane et Khelil, 2014**). En 2006, seulement 54 % de la population mondiale disposait d'un raccordement à l'eau domestique, tandis que 33 % utilisaient d'autres sources d'eau potable (**Nations Unies, 2010**). L'eau insalubre reste responsable de nombreuses maladies, causant la mort prématurée de trois millions de personnes par an, dont 90 % sont des enfants de moins de cinq ans (**Hugonin, 2011**).

II.2.3. Type de Pollution de l'eau :

Les contaminants présents dans l'eau perturbent les écosystèmes aquatiques et représentent un risque pour la santé humaine (**Hénaut, 2011**). La pollution peut être directe, provenant des ménages, de l'industrie ou de l'agriculture, ou indirecte, liée à l'atmosphère ou aux sols.

II.2.3.1 Pollution par des agents infectieux

L'eau contaminée par bactéries, virus, parasites ou substances toxiques peut provoquer des maladies individuelles et collectives graves (**Doumont et Libion, 2006**). Les principaux agents pathogènes incluent *Campylobacter*, Giardia, les virus des hépatites A et E, le virus de la poliomyélite, ainsi que *Legionella* et *Mycobacterium avium* (**Health Link BC, 2013 ; Guay et Roussel, 2013**).

II.2.3.2 Pollution chimique de l'eau

Les micropolluants, tels que les pesticides, perturbent le système hormonal des mammifères, des mollusques et des poissons, et ont des effets écologiques et sanitaires graves (**Hénaut, 2011**). Les pesticides peuvent être cancérogènes pour plusieurs organes et tissus, tandis que la contamination par les nitrites affecte le transport de l'oxygène dans le sang (**Gareau et al, 1999**).

Les médicaments comme les antibiotiques, hypocholestérolémiants et psychotropes contribuent également à la pollution de l'eau. Beaucoup de ces contaminants sont persistants et bioaccumulables, affectant toute la chaîne alimentaire (**Hénaut, 2011 ; Gouvernement du Québec, 2002**).

II.2.3.3 Pollution radioactive

La radioactivité provient de la désintégration des noyaux atomiques, émettant rayonnements gamma et X ainsi que particules alpha et bêta (**Boucheseiche et al. 2002**). La radioactivité naturelle de l'eau dépend de la géologie, de la durée de contact, de la température et de la solubilité des radioéléments. Parmi les isotopes

surveillés : plomb-210, uranium, radium-226, radium-228 et thorium-228. Leur consommation est déconseillée chez les nourrissons, enfants et femmes enceintes en raison de risques génétiques et sanitaires **(Caamaño et al. 2011 ; Guido, 2000)**. Les sources de radioéléments peuvent être naturelles (tellurique, rayons cosmiques) ou artificielles (explosions nucléaires, accident de Tchernobyl, effluents industriels et hospitaliers) **(Boucheseiche et al. 2002)**.

Chapitre III :

Évaluation de la qualité des eaux dans la région d'étude

III.1. Introduction :

Ce chapitre présente les principales caractéristiques du milieu physique de la wilaya d'Ain-Temouchent ainsi que celles de la ville d'Ain-Temouchent. Il aborde notamment la situation géographique, le relief, le cadre géologique, l'hydrogéologie et les conditions climatologiques, éléments indispensables à la compréhension du contexte naturel de la région. . (Ministère de l'intérieur, 2020)

Située dans le Nord-Ouest du territoire national, la wilaya d'Ain-Temouchent occupe une position géographique stratégique qui constitue un atout majeur pour son développement. Elle se trouve à la jonction de plusieurs grandes agglomérations de l'Ouest algérien, ce qui renforce son rôle régional. Elle est délimitée à l'Est par la wilaya d'Oran, au Sud-Est par Sidi-Bel-Abbès, au Sud-Ouest par Tlemcen, tandis que la mer Méditerranée borde sa façade Nord-Ouest sur près de 80 km. (Ministère de l'intérieur, 2020)

Avec une superficie d'environ 2 377 km², la wilaya comptait, selon le recensement de 2017, une population de 421 244 habitants, enregistrant un taux de croissance annuel moyen estimé à 1,9 % par rapport à 2010, soit une densité avoisinant 170 habitants/km². (ONS, 2017)

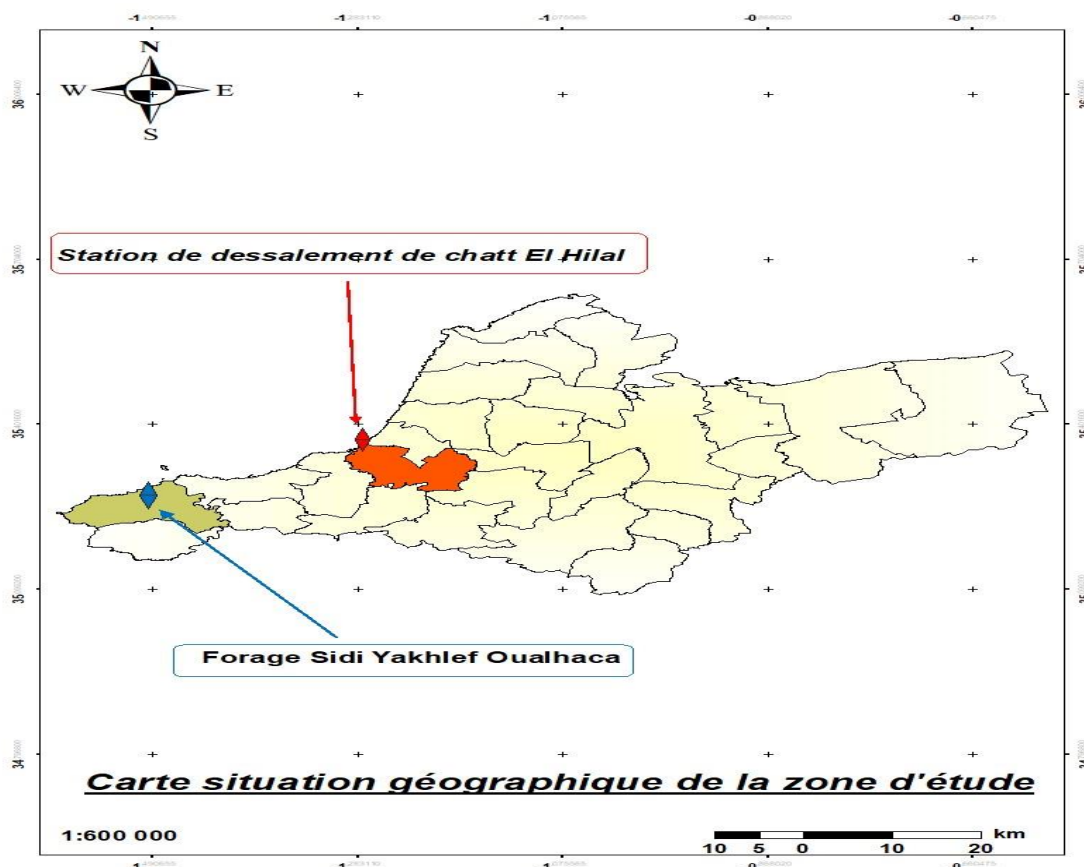


FIGURE 2 : SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA ZONE D'ETUDE Par ailleurs, l'approvisionnement en eau de la ville d'Ain-Temouchent s'est historiquement appuyé sur les ressources souterraines. Toutefois, face à l'accroissement démographique et à

l'extension urbaine, les besoins hydriques ont fortement augmenté, conduisant à la mobilisation de ressources complémentaires, notamment les eaux de barrages, puis, à partir de 2008, les eaux issues de la station de dessalement de Beni Saf (BWC). **(Journal officiel Algérien, 2008)**

III.2. Qualité des eaux

III.2.1. Qualité de l'eau d'alimentation

La qualité de l'eau destinée à la consommation humaine suscite une attention croissante ces dernières années. Considérée comme un symbole de pureté et un élément vital, l'eau est aujourd'hui l'un des produits alimentaires les plus strictement contrôlés, soumis à des normes sanitaires rigoureuses. **(Décret exécutif n° 11-219, journal officiel)**

Elle joue un rôle fondamental dans la vie, la santé, l'hygiène et le bien-être des populations. Toutefois, lorsqu'elle est contaminée, elle peut devenir un vecteur de maladies hydriques telles que le choléra, la fièvre typhoïde ou certaines diarrhées infectieuses, responsables chaque année de nombreux décès dans le monde. **(OMS, 2019)**

III.2.2 Qualité des eaux souterraines

Les eaux souterraines présentent généralement une bonne qualité bactériologique, ce qui en fait une ressource privilégiée en génie sanitaire par rapport aux eaux de surface. Néanmoins, leur qualité peut varier au cours de l'année, notamment en période de fortes précipitations où elles risquent de devenir troubles ou contaminées par infiltration. **(Castany, 1982)**

Elles peuvent également être affectées par des pollutions d'origine agricole (pesticides, engrais) ou par des rejets domestiques et industriels infiltrés dans le sol. Bien que ces contaminations soient souvent moins fréquentes que pour les eaux de surface, leurs effets sont plus durables en raison de la faible vitesse de renouvellement des nappes phréatiques. **(UNEP ,2016)**

III.2. 3 Qualité des eaux dessalées

Les eaux dessalées proviennent du traitement de l'eau de mer ou saumâtre pour éliminer sels et impuretés, principalement par osmose inverse. Elles présentent une faible minéralisation et conductivité, ce qui peut nécessiter une reminéralisations pour stabiliser le pH et améliorer le goût. **(IDA, 2015)**

Bactériologiquement, l'osmose inverse élimine la majorité des micro-organismes, mais une désinfection finale par chloration est nécessaire pour garantir la sécurité sanitaire. **(IDA, 2015)**

Le dessalement assure une qualité constante de l'eau, indépendante des conditions climatiques, mais reste coûteux et produit des rejets concentrés en sels. La surveillance régulière est donc essentielle pour respecter les normes de potabilité. **(IDA, 2015)**

III.3. Sources potentielles de dégradation de la qualité des eaux

La qualité des ressources en eau peut être affectée par différentes sources de pollution d'origine anthropique ou naturelle. Dans la région d'étude, les principales menaces sont liées aux activités agricoles, aux rejets domestiques, aux infiltrations des eaux usées ainsi qu'aux forages non contrôlés. Ces facteurs peuvent entraîner une dégradation progressive de la qualité des eaux souterraines et nécessitent une surveillance régulière afin de préserver cette ressource essentielle.

III.4. Traitement des eaux

Le traitement de l'eau a pour objectif principal d'éliminer les micro-organismes pathogènes et les substances indésirables afin de garantir la sécurité sanitaire des consommateurs.

Qu'elle soit d'origine souterraine ou superficielle, l'eau brute nécessite généralement un traitement adapté avant distribution. Lorsque la protection intégrale de la ressource n'est pas assurée, une désinfection s'impose, avec maintien d'un résiduel de chlore suffisant pour prévenir toute recontamination dans le réseau de distribution. **(Décret exécutif n° 11-219, journal officiel)**

III.5. Potabilité de l'eau

L'eau destinée à la consommation humaine doit répondre aux exigences réglementaires fixées par la législation algérienne. La conformité de l'eau est évaluée à travers des paramètres physico-chimiques et microbiologiques permettant de garantir l'absence de risque pour la santé du consommateur. Les valeurs limites utilisées dans cette étude sont celles définies par le Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire n°13 relatif à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine. **(Décret exécutif n° 11-219, journal officiel)**

III.6. Données historiques sur la qualité des eaux de la région d'étude

Le tableau 3 ci-dessous présente les principaux paramètres physico-chimiques des eaux analysées au niveau de la station de dessalement de Chatt El Hillal et du forage de Sidi Yakhlef.

DATE	Paramètre Physicochimique	Station dessalement (chat Hilal)	Forage sidi ykhlef (commune oulhaca-Beni saf)
30/10/2025	T°	23,1	24,1
	PH	8,12	7, 31
	Conductivité [μS/cm]	1,56	2,90
	TDS	873,6	1624
	MINIRALISATION (Conductivité × 0,85)	1326	2465
	Tub	1,2	0,61

	TH	11,48	74,25
	Ca ²⁺	23,84	111,27
	Mg ²⁺	13,25	111,43
	Na ⁺	139,11	175,89
	K ⁺	2,80	6,97
	Tac	4,8	22
	Bic	58,56	268,4

TABLEAU 3 PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX DE LA STATION DE DESSALEMENT DE CHATT EL HILLAL ET DU FORAGE DE SIDI YAKHLEF (DONNEES DU 30/10/2025)

Le tableau 4 présente les résultats des analyses bactériologiques des mêmes échantillons d'eau, permettant d'évaluer leur qualité microbiologique.

DATE	Paramètre (bactériologiques)	Station dessalement (chat Hilal)	Forage sidi ykhlef (commune oulhaca-Beni saf)
	Escherichia coli	0 UFC	0UFC/100ml
30/10/2025	Bactéries coliformes	0 UFC	0UFC/100ml
	Entérocoques	0 UFC	0UFC/100ml
	Bactéries sulfitoréductices y compris les spores	0 UFC	0UFC/100ml

TABLEAU 4: RESULTATS DES ANALYSES BACTERIOLOGIQUES DES EAUX DE LA STATION DE DESSALEMENT DE CHATT EL HILLAL ET DU FORAGE DE SIDI YAKHLEF (30/10/2025)

Chapitre IV :

Matériel et

Méthodes

IV.1 Prélèvement des échantillons

IV.1.1 Sites de prélèvement

Au cours du mois de Janvier, nous avons réalisé deux campagnes de prélèvement au niveau des sites suivants :

iv.1.1.1 Sortie de la station (expédition) : correspondant à l'eau après traitement (eau dessalée).



FIGURE 3: SITE DE PRELEVEMENT

iv.1.1.2 Forage Sidi Ykhlef (commune d'Oulhaca-Beni Saf) :
représentant une eau souterraine destinée à la consommation.

IV.1.2 Mode de prélèvement

IV.1.2.1 Analyses bactériologiques

Les analyses bactériologiques nécessitent l'utilisation de flacons stériles. Deux flacons en verre stériles de 1 litre ont été utilisés :

Un pour l'eau du forage.

Un autre pour l'eau à la sortie (eau dessalée).

Le prélèvement est réalisé selon les étapes suivantes :

- ✚ Désinfection de l'extrémité du robinet à l'aide d'un coton imbibé d'alcool,
- ✚ Laisser couler l'eau pendant 5 à 10 secondes,
- ✚ Ouvrir le flacon en évitant toute contamination,
- ✚ Maintenir le bouchon protégé (à l'aide d'un coton stérile),
- ✚ Remplir le flacon puis le refermer immédiatement.

IV.1.2.2 Analyses physico-chimiques

Pour les analyses physico-chimiques, le matériel utilisé doit être propre sans nécessité de stérilisation. Un flacon en verre d'une capacité de 1 litre a été utilisé pour le prélèvement de l'eau dessalée.

Avant le prélèvement, l'eau est laissée s'écouler pendant 5 à 10 secondes à débit maximal afin d'éliminer les impuretés présentes dans la conduite. Ensuite, le flacon est ouvert, rempli directement, puis refermé immédiatement afin d'éviter toute contamination

IV.1.3 Transport et conservation des échantillons

Les échantillons destinés aux analyses physico-chimiques et bactériologiques sont transportés dans une glacière isotherme maintenue à une température de 4°C. Les analyses sont réalisées le jour même afin de garantir la fiabilité des résultats

IV.2. Matériel d'analyses microbiologiques :

IV.2.1 Matériel de laboratoire

- ✚ Boîtes de Pétri stériles
- ✚ Pipettes stériles (1 ml)
- ✚ Bec Bunsen
- ✚ Étuvé/incubateur réglable (22°C, 36°C, 44°C)
- ✚ Rampe de filtration avec pompe à vide
- ✚ Membranes filtrantes (0,45 µm et 0,2 µm)
- ✚ Pincettes stériles



FIGURE 4: ÉTUVE/INCUBATEUR REGLABLE (22°C, 36°C, 44°C)



FIGURE 5: BOITES DE PETRI STÉRILES

Utilisées pour la culture microbiologique, permettant l'isolement et le développement des micro-organismes sur milieu de culture solide dans des conditions aseptiques.

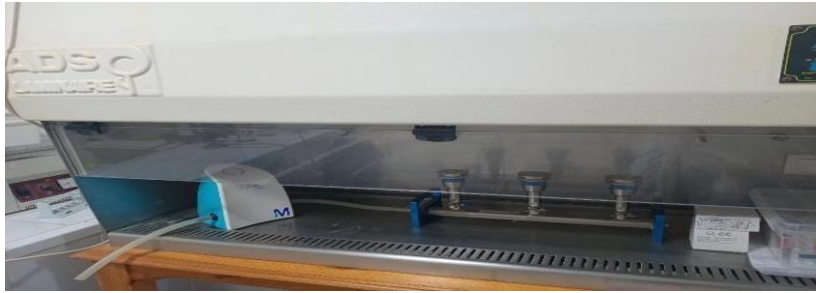


FIGURE 6: HOTTE A FLUX LAMINAIRE (ADSC MINI AIRE)

Utilisée pour les manipulations aseptiques en microbiologie. Elle garantit un environnement stérile grâce à un flux d'air unidirectionnel filtré (filtre HEPA), permettant d'éviter toute contamination de l'échantillon



FIGURE 7: RAMPE DE FILTRATION

Utilisée pour la filtration membranaire des échantillons d'eau.



FIGURE 8 : AUTOCLAVE

Utilisé pour la stérilisation du matériel et des milieux de culture par vapeur d'eau sous pression.

IV.3 .Milieux de culture :

Le tableau 5 ci-dessous présente les différents milieux de culture utilisés au cours de cette étude pour l'isolement et l'identification des micro-organismes recherchés.

Milieu de culture	Type de milieu	Microorganismes recherchés	ROLE	Photo
TTC Tergitol	Sélectif et différentiel	Coliformes, <i>E. coli</i>	Isolement et dénombrement des coliformes lactoses positifs	
Gélose Slanetz et Bartley	Sélectif	Entérocoques intestinaux	Isolement des streptocoques fécaux	
Gélose BEA	Différentiel	Entérocoques	Confirmation par hydrolyse de l'esculine	
Gélose VF	Sélectif	Spores ASR	Détection des bactéries anaérobies	
Bouillon SFB (D/C)	Enrichissement	<i>salmonella</i>	Premier enrichissement	

Bouillon SFB (S/C)	Enrichissement	<i>salmonella</i>	Deuxième enrichissement	
Gélose Hektoen	Sélectif et différentiel	<i>salmonella</i>	Isolement des colonies suspectes	

TABLEAU 5: MILIEUX DE CULTURE UTILISES

L'ensemble des analyses physico-chimiques et microbiologiques réalisées dans le cadre de cette étude a été effectué au laboratoire de l'Algérienne des Eaux (ADE) d'Aïn Témouchent. Les analyses ont été réalisées conformément aux méthodes normalisées décrites dans le Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire n°75 relatif aux méthodes d'analyse des eaux destinées à la consommation humaine.

Les mesures physico-chimiques ont été réalisées à l'aide d'appareils de laboratoire préalablement étalonnés et vérifiés par les ingénieurs du laboratoire de l'Algérienne des Eaux (ADE), afin de garantir la fiabilité et la précision des résultats obtenus.

IV.4. Méthodes d'analyses microbiologiques

Les analyses microbiologiques ont été réalisées conformément aux méthodes normalisées appliquées aux eaux destinées à la consommation humaine. Ces méthodes reposent principalement sur l'ensemencement en milieu solide et la filtration sur membrane.

IV.4.1 Recherche et dénombrement des coliformes et *Escherichia coli*

:

IV.4.1.1. Principe

La méthode repose sur la filtration d'un volume d'eau à travers une membrane qui retient les bactéries, suivie de leur culture sur milieu sélectif.

IV.4.1.2. Mode opératoire

La recherche des bactéries coliformes par filtration sur membrane nécessite une préparation au préalable, qui se déroule selon les étapes suivantes :

- Tout d'abord, il faudrait stériliser l'entonnoir gradué en acier inoxydable ainsi que la membrane poreuse à l'aide d'un bec bunsen.
- Les refroidir tout de suite après, avec l'eau à analyser

- Mettre en place de façon aseptique une membrane de porosité nominale de 0,45 µ entre la membrane poreuse et l'entonnoir à l'aide d'une pince stérile.
- Fixer ce dispositif avec la pince correspondante.
- Déposer ensuite aseptiquement 100 ml d'eau à analyser, devant un bec bunsen.
- Actionner ensuite la pompe à vide pour absorber l'eau à travers la membrane.
- Retirer l'entonnoir puis transférer immédiatement et aseptiquement la
- Membrane à l'aide d'une pince à bouts arrondis stérile, sur la surface d'une plaque de gélose TTC Tergitole préalablement préparée. Cette dernière sera incubée couverte en bas à $36 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant 21 ± 3 heures voire 44 ± 4 heures et servir La Recherche des bactéries coliformes.

La figure 9 ci-dessous illustre les différentes étapes de la recherche et du dénombrement des bactéries coliformes et d'*Escherichia coli* par la méthode de filtration sur membrane.

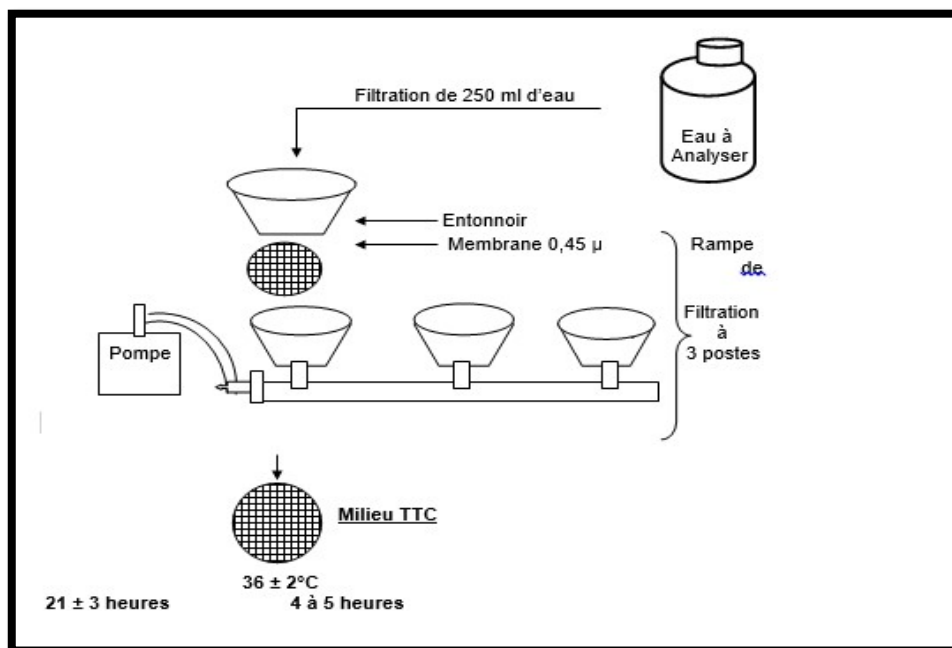


FIGURE 9 : RECHERCHE ET DENOMBREMENT DES *ESCHERICHIA COLI* ET DES BACTERIES COLIFORMES

IV.4.1.3 Expression des résultats

Les résultats sont exprimés en UFC/100 ml.

$$a = (b / A) C$$

- **b** : nombre de colonies caractéristiques présumées dans la boîte.
- **A** : nombre de colonies repiquées.
- **C** : nombre total de colonies trouvées dans la boîte.

(JORADP n°75)

IV.4.2 Recherche des entérocoques intestinaux

IV.4.2.1 Principe

Détection des streptocoques fécaux indicateurs de contamination d'origine fécale.

IV.4.2.2 Mode opératoire

La recherche des entérocoques intestinaux ou Streptocoques du groupe « D » par filtration sur membrane nécessite une préparation au préalable, qui se déroule selon les étapes suivantes :

- Tout d'abord, il faudrait stériliser l'entonnoir gradué en acier inoxydable ainsi que la membrane poreuse à l'aide d'un bec bunsen.
- Les refroidir tout de suite après, avec l'eau à analyser
- Mettre en place de façon aseptique une membrane de porosité nominale de $0,45\ \mu$ entre la membrane poreuse et l'entonnoir à l'aide d'une pince stérile. □ Fixer ce dispositif avec la pince correspondante.
- Déposer ensuite aseptiquement 100 ml d'eau à analyser, devant un bec bunsen. □ Actionner ensuite la pompe à vide pour absorber l'eau à travers la membrane.
- Retirer l'entonnoir puis transférer immédiatement et aseptiquement la membrane à l'aide d'une pince à bouts arrondis stérile, à la surface d'une plaque de gélose SLANETZ et BARTLEY préalablement préparée.
- Cette dernière sera incubée couvercle en bas à $36 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant 44 ± 4 heures

La figure 10 ci-dessous illustre les différentes étapes de la recherche et du dénombrement des entérocoques intestinaux par la méthode de filtration sur membrane.

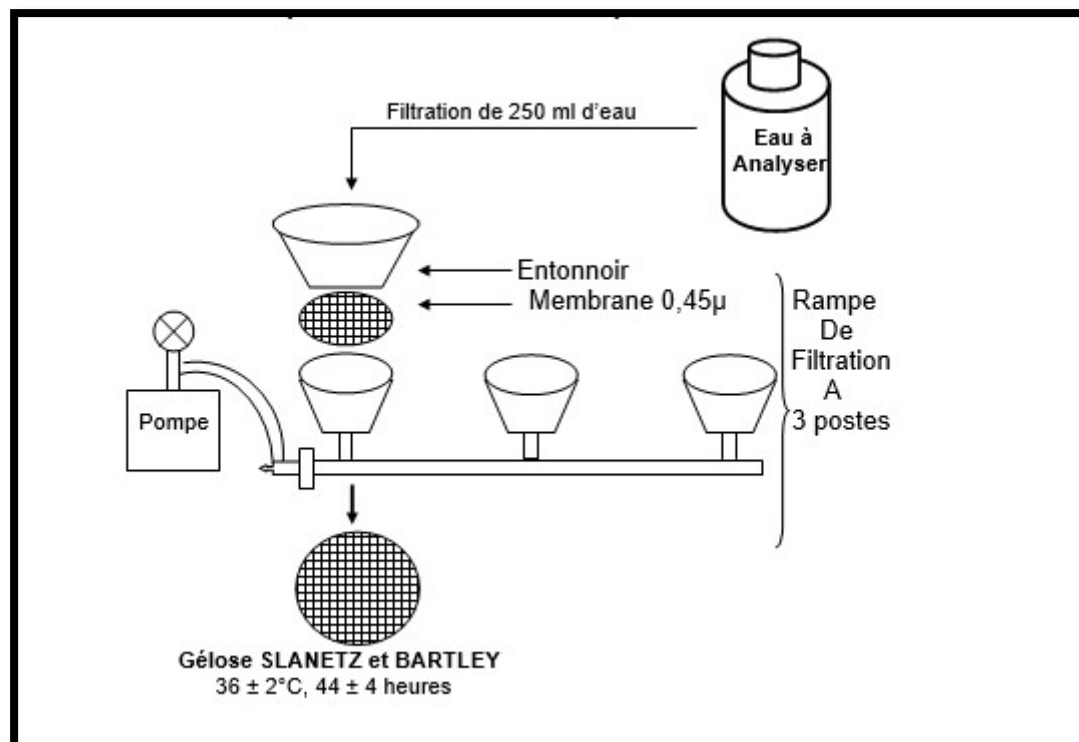


FIGURE10 : RECHERCHE ET DENOMBREMENT DES ENTEROCOQUES INTESTINAUX

IV.4.2.3 Expression

Résultats en UFC/100 ml.

(JORADP n°75)

IV.4.3 Recherche des spores de bactéries anaérobies sulfitoréductrices (ASR)

IV.4.3.1 Principe

Mise en évidence des spores bactériennes indicatrices de contamination ancienne.

IV.4.3.2 Mode opératoire

La recherche des spores des bactéries anaérobies sulfito-réductrices par filtration sur membrane nécessite une préparation au préalable, qui se déroule selon les étapes suivantes :

- Tout d'abord, il faudrait stériliser l'entonnoir gradué en acier inoxydable ainsi que la membrane poreuse à l'aide d'un bec bunsen.
- Les refroidir tout de suite après, avec l'eau à analyser si on en dispose en quantité
- Suffisante ou bien avec de l'eau distillée stérile.
- Mettre en place de façon aseptique une membrane de porosité nominale de **0,2 μ**
- Entre la membrane poreuse et l'entonnoir à l'aide d'une pince stérile.
- Fixer ce dispositif avec la pince correspondante.
- Déposer ensuite aseptiquement 100 ml, devant un bec bunsen.
- Actionner ensuite la pompe à vide pour absorber l'eau à travers la membrane.
- Retirer l'entonnoir, enlever la membrane à l'aide de pinces stériles puis la placer
- Dans une boîte de façon à ce que la face quadrillée adhère au fond de la boîte tout en évitant les bulles d'air sous le filtre.
- Verser par la suite environ 18 ml de gélose VF □ Fondue puis refroidie à $47 \pm 1^\circ\text{C}$.
- Après solidification sur paillasse, cette boîte sera incubée couvercle en bas à $36 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant 20 ± 4 heures puis 44 ± 4 heures.

La figure 11 ci-dessous illustre les différentes étapes de la recherche et du dénombrement des Spores de bactéries anaérobies Sulfito-Réductrices par la méthode de filtration sur membrane.

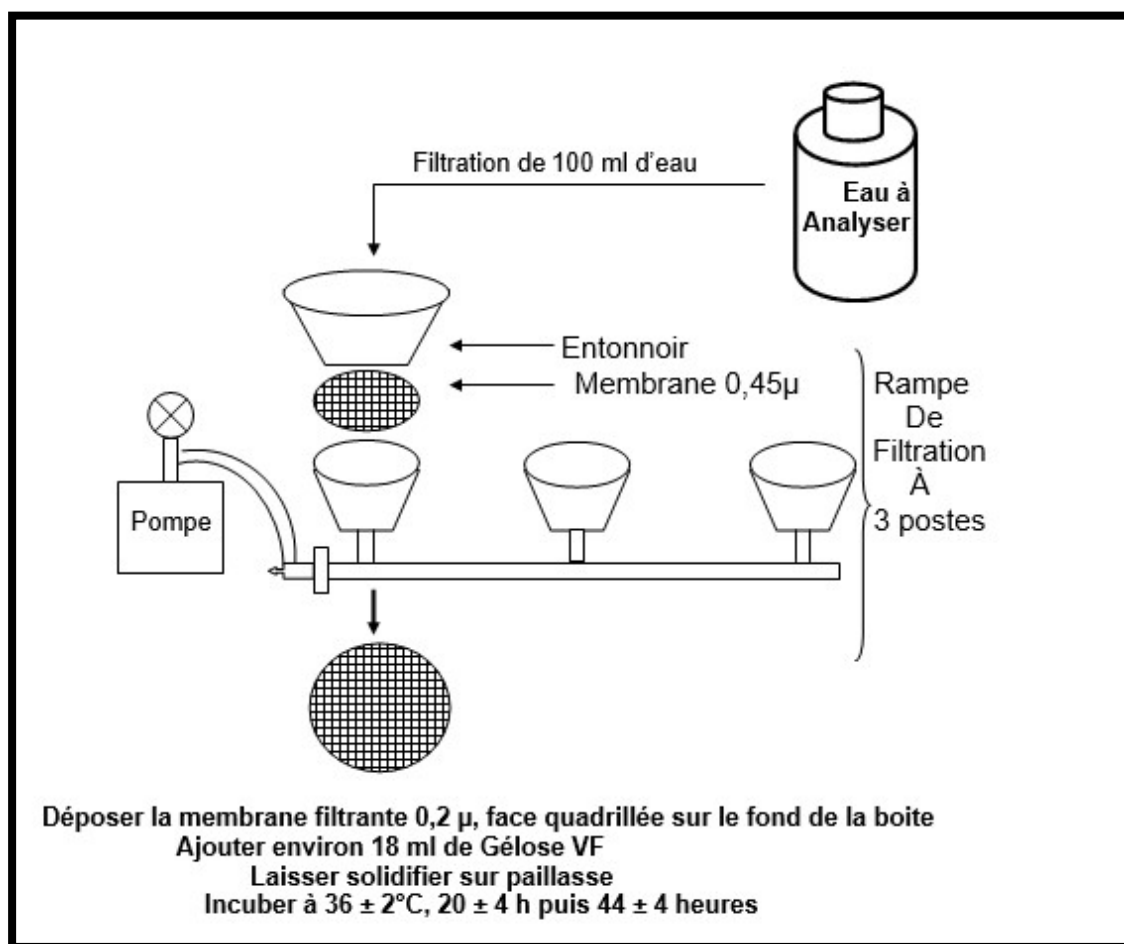


FIGURE 11 : RECHERCHE ET DENOMBREMENT DES SPORES DE BACTERIES ANAEROBIES SULFITO-REDUCTRICES.

IV.4.3.3 Expression

Résultats en UFC/100 ml.

(JORADP n°75)

IV.4.4 Recherche de Salmonella dans les eaux

IV.4.4.1 Principe

La recherche de Salmonella repose sur une méthode qualitative basée sur un double enrichissement sélectif, suivi d'un isolement sur milieu solide.

IV.4.4.2 Mode opératoire

Premier enrichissement (bouillon double concentration) :

Un volume de 100 ml d'eau à analyser est introduit dans un flacon contenant un bouillon d'enrichissement à double concentration (SFB D/C).

Le flacon est incubé à 36 ± 2°C pendant 24 heures.

Ensemencement et deuxième enrichissement :

Après 24 heures d'incubation :

Un volume de 1 ml est prélevé du flacon et transféré dans un tube contenant un bouillon à simple concentration (SFB S/C).

En parallèle, un ensemencement par stries est réalisé sur une boîte de Pétri contenant la gélose Hektoen.

Le tube et la boîte sont incubés à $36 \pm 2^{\circ}\text{C}$ pendant 24 heures.

Lecture après 24 heures

Après incubation, la boîte de Pétri est observée :

 Aucune colonie caractéristique de Salmonella n'a été observée.

L'analyse se poursuit donc avec le tube d'enrichissement.

Isolement secondaire

Le tube (SFB simple concentration) déjà incubé est utilisé pour réaliser un nouvel ensemencement par stries sur une gélose Hektoen.

Incubation à $36 \pm 2^{\circ}\text{C}$ pendant 24 heures.

La figure 12 ci-dessous illustre les différentes étapes de la recherche et du dénombrement de Salmonelles par la méthode de filtration sur membrane

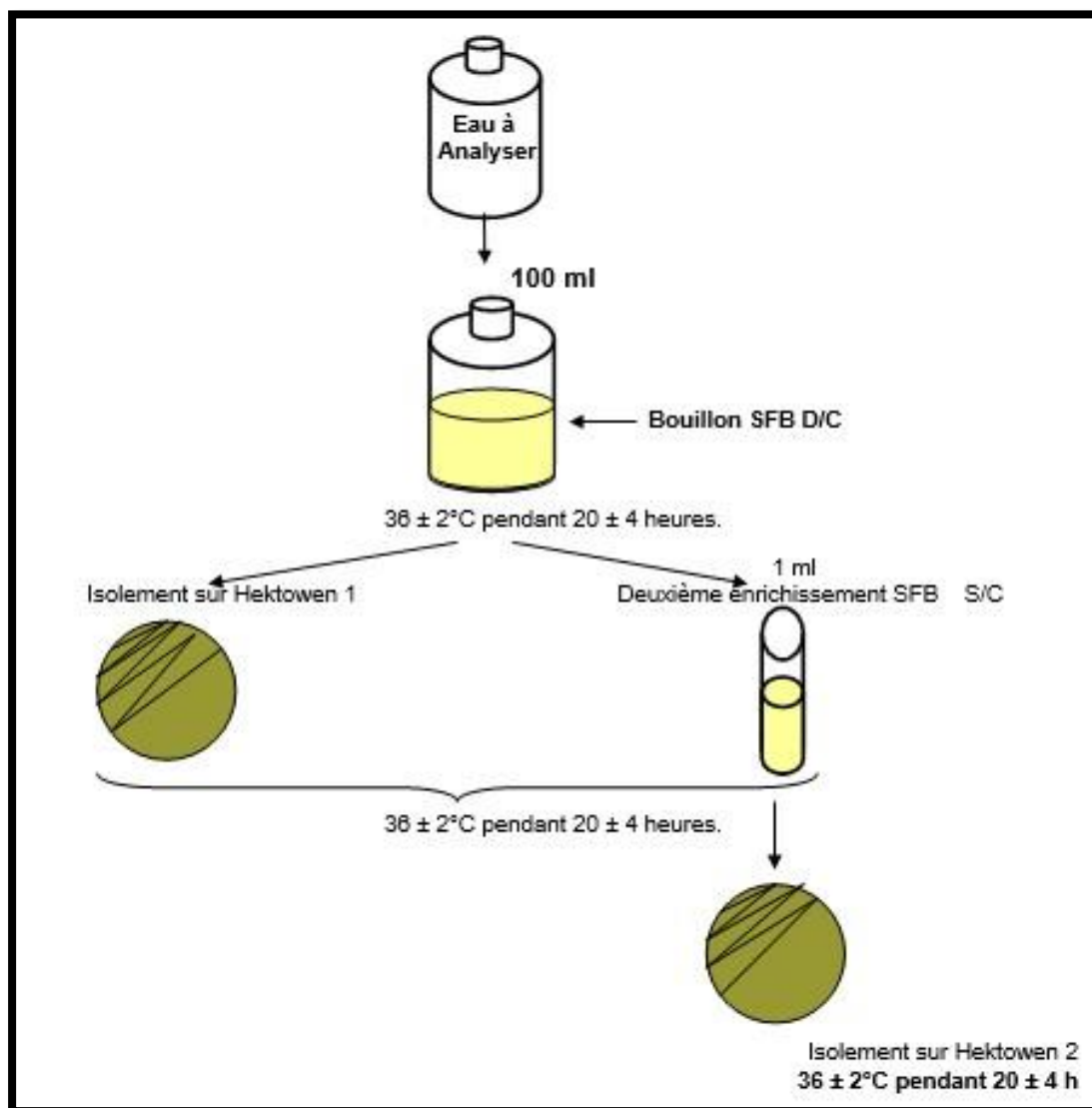


FIGURE12 : RECHERCHE DE SALMONELLES DANS LES EAU

(JORADP n°75)

IV.5. Matériel d'analyse physico-chimique :

L'ensemble des analyses physico-chimiques a été réalisé au laboratoire en utilisant des équipements et matériels adaptés aux différentes méthodes analytiques.

IV.5.1. Matériel de mesure :

- 🔧 Conductimètres : HACH session 7 et WTW ino Lab. 720
- 🔧 Turbidimètre : HACH
- 🔧 PH-mètre avec électrode combinée
- 🔧 Spectrophotomètre UV-Visible
- 🔧 Agitateurs magnétiques avec barreaux
- 🔧 Plaque chauffante



FIGURE 93 : TURBIDIMETRE HACH UTILISE POUR DETERMINER LA TURBIDITE DE L'EAU, EXPRIMEE EN UNITES NTU, REFLETANT LA PRESENCE DE PARTICULES EN SUSPENSION.



FIGURE 104 : CONDUCTIMETRES HACH SESSION 7 ET WTW ION LAB. 720 UTILISES POUR MESURER LA CONDUCTIVITE ELECTRIQUE DES ECHANTILLONS D'EAU, INDICATEUR DE LA MINERALISATION.



FIGURE 115 : PH-METRE AVEC ELECTRODE COMBINEE : UTILISE POUR MESURER LE PH DES ECHANTILLONS, INDIQUANT LEUR CARACTERE ACIDE OU BASIQUE.



FIGURE 16 : SPECTROPHOTOMETRE UV-VISIBLE : UTILISE POUR LE DOSAGE DES PARAMETRES CHIMIQUES PAR MESURE D'ABSORBANCE A DIFFERENTES LONGUEURS D'ONDE.

5.2. Verrerie et matériel courant :

-  Béchers (50 ml, 100 ml)
-  Fioles jaugées (100 ml, 500 ml, 1000 ml)
-  Pipettes graduées et jaugées
-  Burettes (25 et 50 ml)
-  Capsules en porcelaine
-  Cuves spectrophotométriques

IV.5.3. Réactifs principaux

Solutions etalons: (KCl , NaCl , NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-})

Acids: HCl , H_2SO_4 , HNO_3

Bases: NaOH , NH_4OH

Réactifs spécifiques : EDTA, permanganate de potassium, molybdate d'ammonium, phénantroline, salicylate de sodium

Indicateurs : noir ériochrome T, murexide, chromate de potassium

IV.6. Méthodes d'analyses physico-chimiques

IV.6.1. Détermination de la conductivité

IV.6.1.1 Principe

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant électrique en fonction de la concentration en ions dissous.

IV.6.1.2 Préparation des réactifs

Solution étalon $1413 \mu\text{S/cm}$ (KCl $0,01 \text{ M}$)

Dissoudre $0,7456 \text{ g}$ de KCl dans 1000 ml d'eau distillée.

IV.6.1.3 Mode opératoire

- ✚ Rincer l'électrode avec de l'eau distillée.
- ✚ Étalonner le conductimètre avec les solutions standards.
- ✚ Introduire l'échantillon dans un bécher.
- ✚ Plonger l'électrode dans l'échantillon. Attendre
- ✚ la stabilisation de la valeur.
- ✚ Noter la conductivité affichée.



Mesure de la conductivité

IV.6.1.4 Expression des résultats

Les résultats sont exprimés en $\mu\text{S}/\text{cm}$.

IV.6.2. Détermination de la turbidité

IV.6.2.1 Principe :

La turbidité correspond à la diffusion de la lumière par les particules en suspension dans l'eau.

Préparation des réactifs :

Solutions de formazine : 0.1, 20, 200, 4000 NTU (solutions commerciales).

IV.6.2.2 Mode opératoire :

- ✚ Mélanger doucement l'échantillon d'eau afin d'obtenir une répartition homogène des particules en suspension, sans provoquer l'apparition de bulles d'air pouvant perturber la mesure.
- ✚ Nettoyer la cuve puis la rincer avec une petite quantité de l'échantillon avant de la remplir jusqu'au niveau requis, en évitant toute présence de mousse ou de bulles.
- ✚ Sécher soigneusement la partie extérieure de la cuve à l'aide d'un papier doux et propre pour éliminer les traces d'eau, les poussières ou les empreintes susceptibles d'influencer les résultats.
- ✚ Placer la cuve dans le turbidimètre préalablement calibré, en respectant le positionnement recommandé pour assurer une mesure correcte.
- ✚ Après stabilisation de l'affichage de l'appareil, relever la valeur obtenue de la turbidité, généralement exprimée en NTU, puis enregistrer le résultat.

La figure 17 : illustre les différentes étapes de la procédure de mesure de la turbidité de l'eau à l'aide d'un turbidimètre, depuis la préparation de l'échantillon jusqu'à l'obtention des résultats.

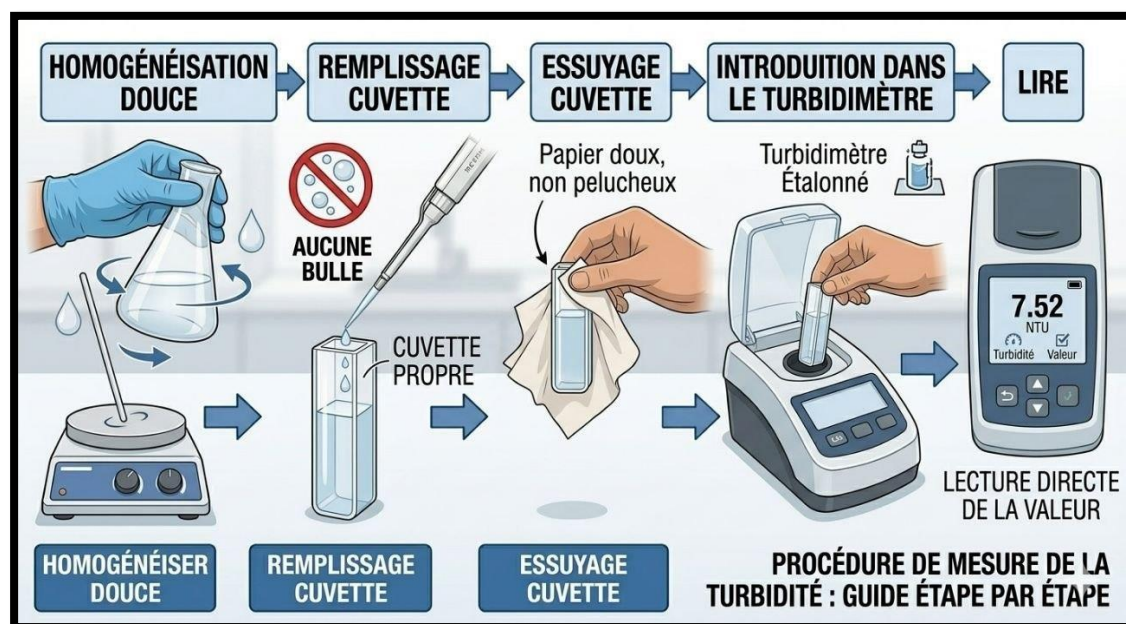


FIGURE 12: PROCEDURE DE MESURE DE LA TURBIDITE

IV.6.2.3 Expression des résultats :

Les résultats sont exprimés en NTU. (JORADP n°75)

IV.6.3. Détermination de l'alcalinité complet (TAC) ; titre alcalimétrique (TA).

IV.6.3.1 Principe

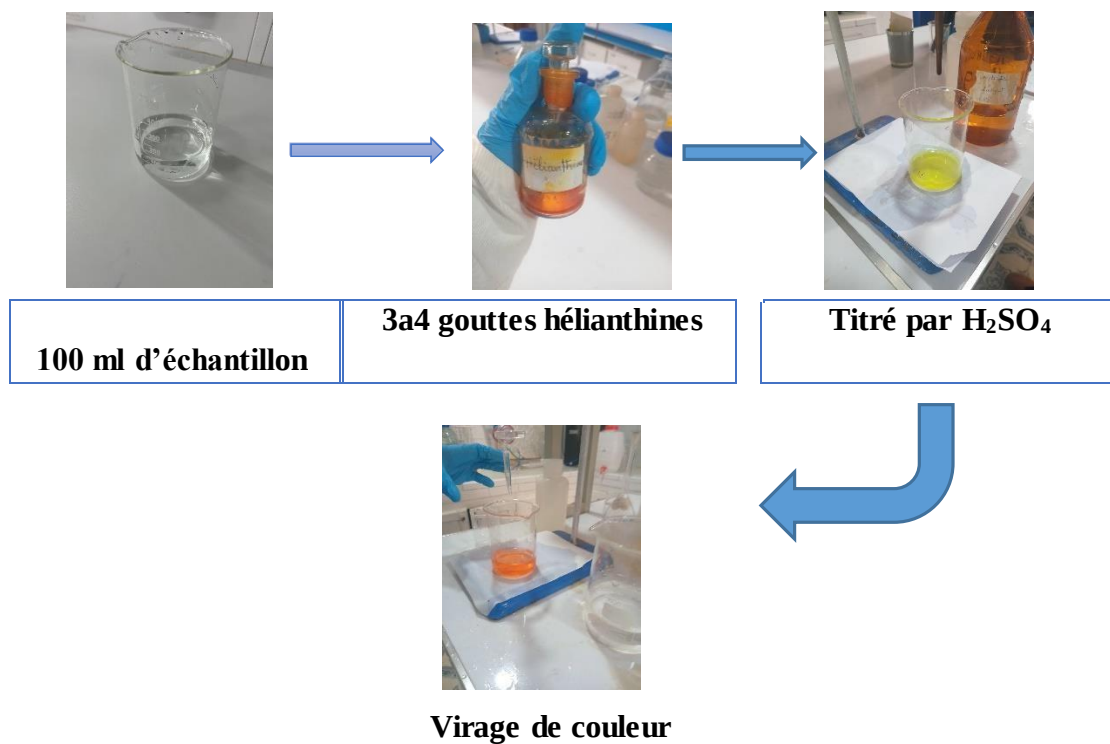
IV.6.3.2 Préparation des réactifs :

HCl 0,01 N

Prélever 0,82 ml HCl concentré (37%) + compléter à 1000 ml avec eau distillée.

IV.6.3.3 Mode opératoire :

- ✚ Prélever 100 mL de l'échantillon d'eau à analyser dans un bécher propre et sec.
- ✚ Ajouter ensuite 3 à 4 gouttes d'hélianthine comme indicateur coloré afin de mettre en évidence le point d'équivalence du titrage.
- ✚ Réaliser le titrage à l'aide d'une solution d'acide sulfurique H_2SO_4 de normalité N/25, en ajoutant progressivement l'acide tout en agitant continuellement l'échantillon jusqu'au changement de couleur de la solution, passant du jaune à l'orange.
- ✚ Relever avec précision le volume d'acide sulfurique utilisé au point de virage afin de permettre le calcul de l'alcalinité complète (TAC) de l'eau.



La figure 18 : présente les principales étapes de la procédure de dosage de l'alcalinité complète (TAC), permettant de déterminer la capacité de l'eau à neutraliser les acides.

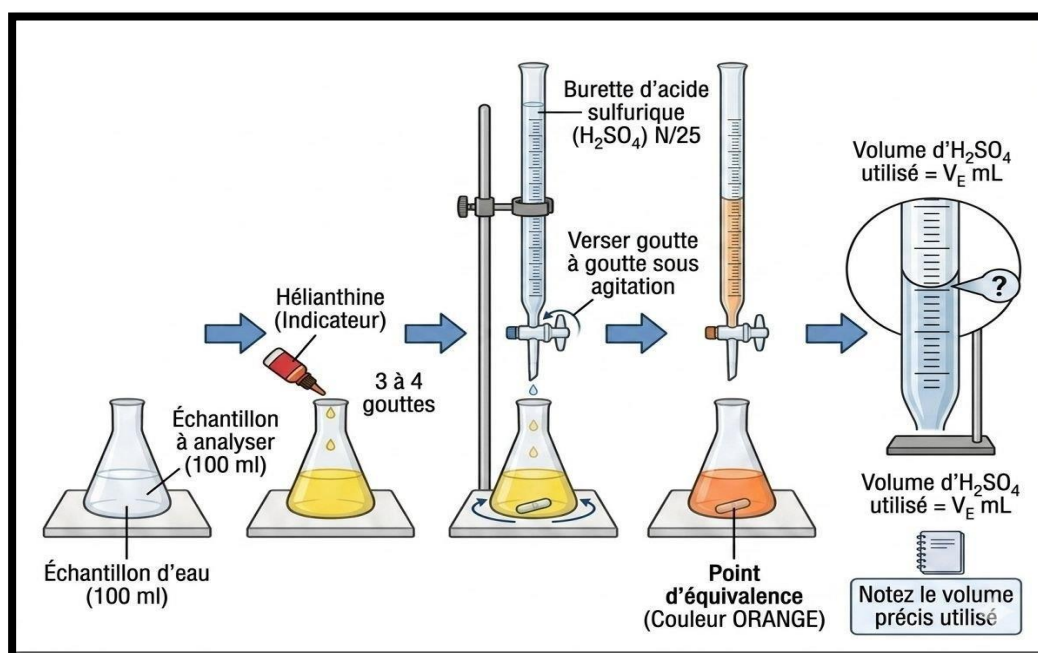


FIGURE 13: PROCEDURE DU DOSAGE DE L'ALCALINITE COMPLET (TAC)

IV.6.3.4 Expression des résultats

$$\text{TAC} = (V_2 \cdot N \cdot 1000) \cdot \text{masse molaire des bicarbonates} / V$$

✚ Masse molaire des bicarbonates = 61mg
Exprimés en mg/L
(JORADP n°75)

IV.6.4. Oxydabilité au permanganate de potassium :

IV.6.4.1 Principe

Oxydation des matières organiques par KMnO_4 en milieu acide suivie d'un titrage en retour.

IV.6.4.2 Préparation des réactifs :

KMnO_4 0,02 mol/L : dissoudre 3,2 g / 1 L

Oxalate de sodium 0,05 mol/L : dissoudre 6,7 g / 1 L

H_2SO_4 2 mol/L : dilution contrôlée

IV.6.4.3 Mode opératoire :

- ✚ Introduire 100 ml de l'échantillon d'eau à analyser dans un bécher propre de capacité adaptée.
- ✚ Ajouter ensuite 20 ml d'acide sulfurique (H_2SO_4) de concentration 2 mol/L afin d'acidifier le milieu réactionnel.
- ✚ Chauffer le mélange jusqu'à ébullition pour favoriser l'oxydation des matières organiques présentes dans l'eau.
- ✚ Ajouter 20 ml de solution de permanganate de potassium (KMnO_4) à 0,02 mol/L, puis maintenir l'ébullition pendant environ 10 minutes afin de permettre la réaction d'oxydation.
- ✚ Introduire par la suite 20 ml d'oxalate de sodium à 0,05 mol/L jusqu'à disparition de la coloration violette, indiquant la réduction de l'excès de permanganate.
- ✚ Effectuer enfin un titrage avec la solution de permanganate de potassium jusqu'à l'apparition d'une légère coloration rose pâle persistante pendant



100ml
d'échantillon

Après titrage par KMnO_4



Coloration rose pâle

quelques secondes, puis noter le volume utilisé (V_1).

La figure 19 : montre les différentes étapes de la procédure de dosage de l'oxydabilité au permanganate de potassium, utilisée pour évaluer la quantité de matières oxydables présentes dans l'eau.

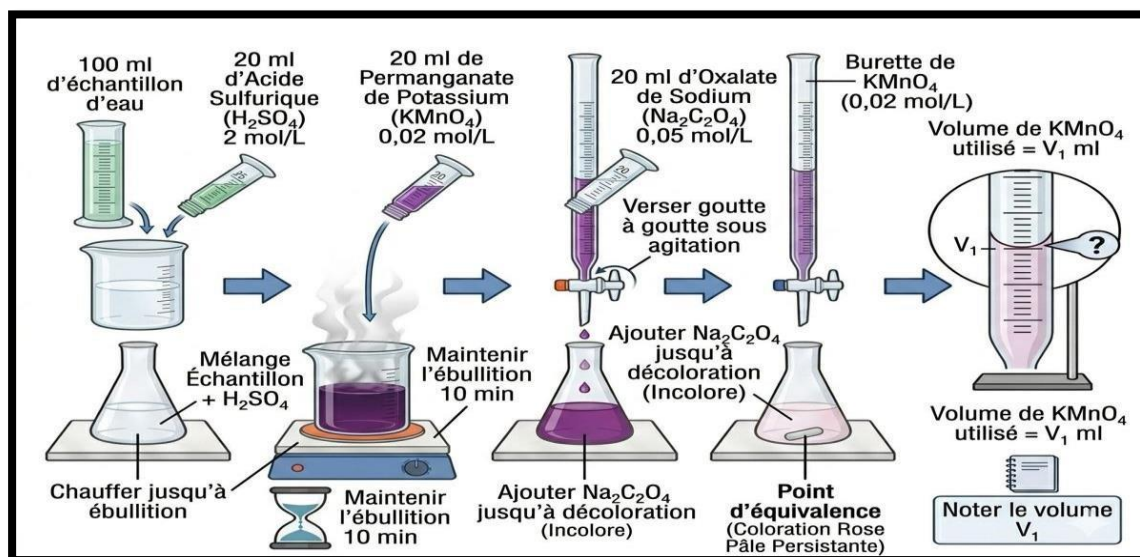


FIGURE 14: PROCEDURE DE DOSAGE D OXYDABILITE AU PERMANGANATE DE POTASSIUM

IV.6.4.4 Expression des résultats

$$\text{Oxydabilité} = (V_1 - V_b) * F$$

V_1 = volume de permanganate de potassium (KMnO_4) utilisé lors du tirage final, en ml. C'est la valeur lue sur la burette à l'équivalence (quand apparaît une légère couleur rose persistante).

V_b = volume du blanc (essai témoin).

On réalise le même protocole mais avec eau distillée à la place de l'échantillon. Cela sert à corriger les erreurs dues aux réactifs.

Facteur = coefficient de conversion utilisé pour exprimer le résultat en mg/L d' O_2 .

Ce facteur dépend du protocole (concentration de KMnO_4 , volume de l'échantillon, méthode JORADP utilisée).

Résultats exprimés en mg/L d' O_2 .

(JORADP n°75)

IV.6.5. Dosage des sulfates

IV.6.5.1 Principe

Précipitation des sulfates sous forme de sulfate de baryum (BaSO_4).

IV.6.5.2 Préparation des réactifs

Solution BaCl_2 : dissoudre 150 g dans 1 L

Solution stabilisante : HCl + NaCl + glycérol + éthanol

IV.6.5.3 Mode opératoire :

- ✚ Prélever 50 ml de l'échantillon d'eau à analyser dans un récipient propre.
- ✚ Ajouter ensuite 2,5 ml de solution stabilisante afin de maintenir les conditions nécessaires à la réaction et d'assurer une bonne homogénéité du milieu.
- ✚ Introduire 1 ml de chlorure de baryum (BaCl_2), réactif permettant la formation d'un précipité en présence des ions sulfates.
- ✚ Agiter vigoureusement le mélange pendant environ une minute afin de favoriser la formation uniforme du précipité et d'obtenir une réaction complète.
- ✚ Mesurer enfin l'absorbance de la solution à l'aide d'un spectrophotomètre réglé à une longueur d'onde de 420 nm, puis noter la valeur obtenue pour la détermination de la concentration des sulfates.

La figure 20 : illustre les différentes étapes de la procédure de dosage des sulfates, permettant de déterminer la concentration des ions sulfates présents dans l'eau.

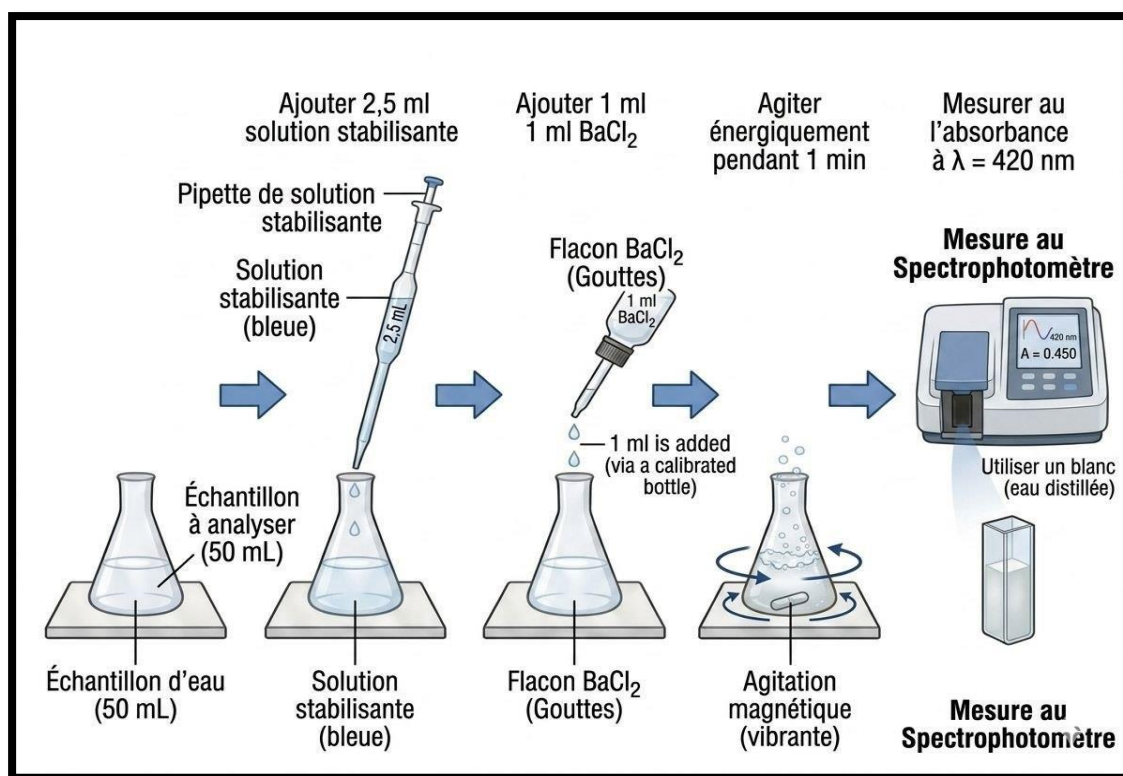
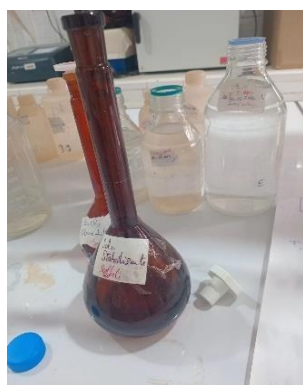


FIGURE 15: PROCEDURE DE DOSAGE DES SULFATES



SOLUTION BaCl_2

SOLUTION STABILISANT

**Spectrophotomètre à
logeur d'onde 420 nm**

IV.6.5.4 Expression des résultats

Résultats en mg/L (JORADP n°75)

IV.6.6. Détermination du potentiel Hydrogéné (ph) :

IV.6.6.1 Principe

Mesure électro métrique du potentiel entre deux électrodes selon la loi de Nernst.

IV.6.6.2 Préparation des réactifs

Solutions tampons : pH 4 – 7 – 10

Solutions de KCl à 3 mol/L

IV.6.6.3 Mode opératoire

- ✚ Étalonner le pH-mètre.
- ✚ Rincer l'électrode.
- ✚ Plonger dans l'échantillon.
- ✚ Lire directement la valeur.



Mesure le potentielle de hydrogène

IV.6.6.4 Expression des résultats

Résultats en unités de pH. (JORADP n°75)

IV.6.7. Dosage des phosphates

IV.6.7.1. Principe

Formation d'un complexe phosphomolybdique mesuré à 880 nm.

IV.6.7.1 Préparation des réactifs

A : On dissout 13g d'heptamolybdate d'ammonium dans une quantité d'eau distillé puis complété jusqu'à un volume final 100ml

B : on dissout 0,35 g de tartrate d'antimoine concentré dans une quantité d'eau distillé puis complété jusqu'à un volume final 100ml C : 150 ml d'acide sulfurique concentré

Mélangé (A+C) +B=500ml

Acide ascorbique (10 g / 100 ml)

IV.6.7.3 Mode opératoire :

- ✚ Prélever 40 ml de l'échantillon d'eau à analyser dans un récipient propre.
- ✚ Ajouter successivement 1 ml d'acide ascorbique puis 2 ml de réactif au molybdate afin de développer la coloration nécessaire à la mesure.
- ✚ Compléter le volume final à 50 ml avec de l'eau distillée et homogénéiser le mélange.
- ✚ Laisser la réaction se développer pendant une période comprise entre 10 et 30 minutes afin d'assurer une coloration stable.
- ✚ Effectuer ensuite la lecture de l'absorbance à l'aide d'un spectrophotomètre réglé à une longueur d'onde de 880 nm et noter la valeur obtenue.



IV.6.7.4 Expression de Résultats :

Résultats en mg/L (JORADP n°75)

IV.6.8. DOSAGE DE LA SOMME DU CALCIUM ET MAGNESIUM PAR METHODE TITRIMETRIQUE A L'EDTA :

IV.6.8.1 Principe

Le dosage des ions calcium et magnésium est réalisé par titrage complexométrique à l'aide d'une solution d'EDTA à pH 10.

L'indicateur utilisé, le noir ériochrome T, forme un complexe de couleur rose avec ces ions.

Au cours du titrage, l'EDTA complexant les ions calcium et magnésium provoque un changement de couleur de la solution du rose au bleu, marquant le point d'équivalence

IV.6.8.2 Préparation des réactifs

Les réactifs utilisés pour le dosage sont les suivants :

Solution étalon de calcium (0,01 mol/L) :

Préparée à partir de carbonate de calcium pur séché, dissous dans l'acide chlorhydrique, puis neutralisé et dilué à 1000 ml avec de l'eau distillée. Cette solution contient 0,4008 mg de calcium par ml.

Solution d'EDTA (0,01 mol/L) :

Obtenue par dissolution de sel disodique d'EDTA séché dans l'eau distillée et dilution à 1000 ml.

Solution tampon pH 10 :

Préparée à partir de chlorure d'ammonium, solution ammoniacale et sel de magnésium de l'EDTA, puis ajustée à 1000 ml. Le pH doit être maintenu à $10 \pm 0,5$.

Indicateur (Noir ériochrome T) :

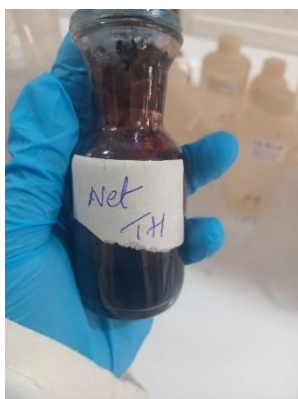
Préparé en dissolvant le mordant noir 11 dans éthanol.

IV.6.8.3 Mode opératoire

-  Prélever 50 ml de l'échantillon d'eau à analyser dans un bécher propre.
-  Ajouter 4 ml de solution tampon contenant l'indicateur afin de maintenir le pH du milieu et de permettre la mise en évidence du point d'équivalence.
-  Procéder au titrage à l'aide d'une solution d'EDTA, en ajoutant progressivement le réactif sous agitation continue jusqu'à l'apparition d'un virage de couleur vers le bleu, indiquant la fin de la réaction.



Solution tampon



**Noir ériochrome
T**



**Virage de couleur
aux Bleu**

La figure 21 : présente les différentes étapes du dosage de la somme du calcium et du magnésium par la méthode de titrimétrie à l'EDTA, utilisée pour déterminer la dureté totale de l'eau.

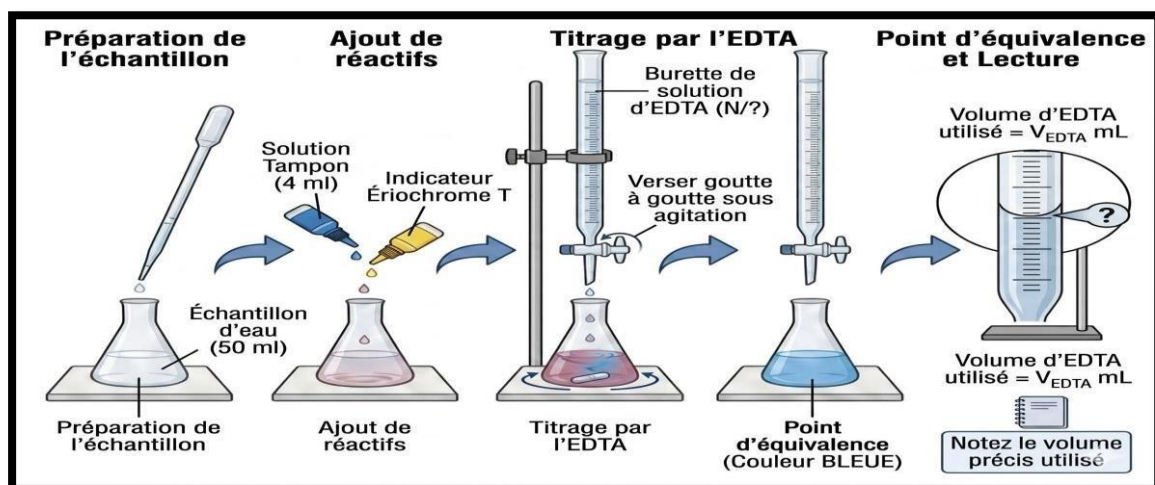


FIGURE 16: PROCEDURE DOSAGE DE LA SOMME DU CALCIUM ET MAGNESIUM PAR METHODE TITRIMETRIE A L EDTA

IV.6.8.4 Expression de Résultats :

$$TH = V_{2.2.F.FC}$$

TH : dureté exprimée en °F (degrés français).

V₂ : volume d'EDTA consommé pendant le titrage, en ml (lecture de la burette au point d'équivalence, quand la couleur passe au bleu).

2 : coefficient fixe de conversion utilisé dans cette méthode.

C : facteur de correction

F : facteur de dilution

(JORADP n°75)

IV.6.9. Dosage de l'ammonium par spectrométrie

IV.6.9.1 Principe

Formation d'un complexe coloré mesuré à 655 nm.

IV.6.9.2 Réactifs :

Réactif coloré : solution à base de salicylate de sodium, citrate tri sodique et nitroprussiate de sodium, conservée en flacon brun (stable 2 semaines).

Solution de dichloroisocyanurate de sodium : préparée avec hydroxyde de sodium et dichloroisocyanurate, conservée en flacon brun (stable 2 semaines).

Solution mère d'ammonium (100 mg/L) : obtenue par dissolution de chlorure d'ammonium, stable un mois.

IV.6.9.3 Mode opératoire

- ✚ Prélever 40 ml de l'échantillon d'eau à analyser dans un récipient propre et sec.
- ✚ Ajouter 4 ml de réactif coloré préalablement homogénéisé afin de préparer le milieu réactionnel.
- ✚ Introduire ensuite 4 ml de dichloroisocyanurate de sodium et homogénéiser soigneusement la solution pour assurer une réaction uniforme.
- ✚ Laisser reposer le mélange pendant au moins 60 minutes afin de permettre le développement complet de la coloration.
- ✚ Réaliser enfin la mesure spectrophotométrique à une longueur d'onde de 655 nm et enregistrer la valeur obtenue.

La figure 22 : illustre les différentes étapes du dosage de l'ammonium par spectrométrie à l'aide du salicylate de sodium, permettant de déterminer la concentration des ions ammonium dans l'eau.

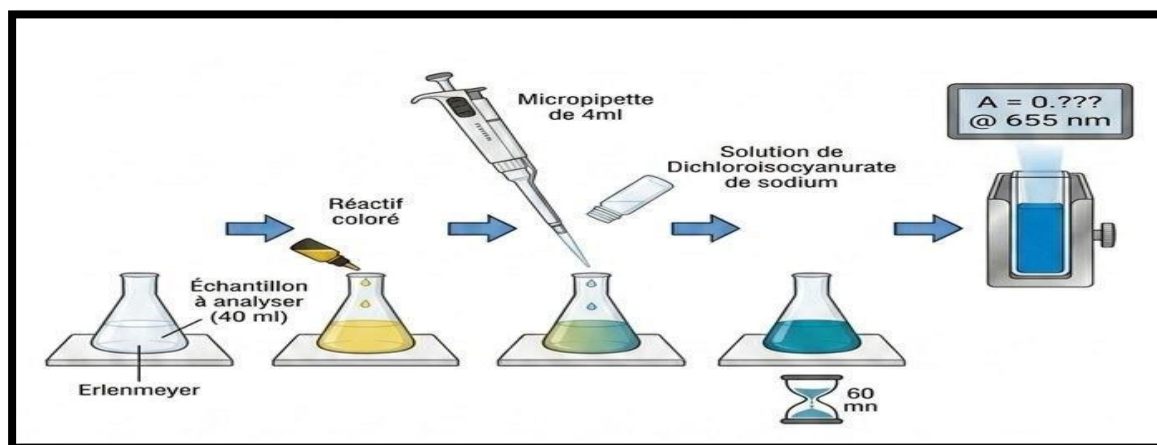


FIGURE 17: DOSAGE DE L'AMMONIUM PAR SPECTROMETRIE A L'AIDE DE SALICYLATE DE SODIUM

IV.6.9.4 Expression des résultats

Résultats en mg/L NH_4^+ . (JORADP n°75)

IV.6.10. Dosage des chlorures (méthode de Mohr) :

IV.6.10.1 Principe

Précipitation des chlorures par AgNO_3 avec indicateur

chromate. **IV.6.10.2 Réactif Solution de nitrate d'argent**

(0,02 mol/L) :

Préparée par dissolution de nitrate d'argent séché dans l'eau distillée et dilution à 1000 ml.

Indicateur de chromate de potassium (100 g/L) :

Obtenu par dissolution du chromate de potassium dans l'eau et dilution à 100 ml.

Solution étalon de chlorure de sodium (0,02 mol/L) :

Préparée par dissolution de NaCl séché, puis dilution à 1000 ml d'eau distillée.

Solution d'acide nitrique (0,1 mol/L) :

Utilisée pour ajuster un pH supérieur à 9,5.

Solution d'hydroxyde de sodium (0,1 mol/L) :

Préparée par dissolution de NaOH et utilisée pour ajuster un pH inférieur à 5.

Carbonate de calcium (CaCO_3) :

Utilisés sous forme solide selon les besoins de l'analyse.

IV.6.10.3 Mode opératoire

- ✚ Un volume de 100 ml d'échantillon est placé dans un récipient adapté sur fond blanc.
- ✚ Après ajout de l'indicateur de chromate de potassium.
- ✚ La solution est titrée par le nitrate d'argent jusqu'à l'apparition d'une coloration rougeâtre persistante.
- ✚ Indiquant le volume final.



Indicateur de chromate de potassium (100	100 ml d'échantillon après ajout de 3 à 4 goutte de chromate de potassium	Après titrage par le nitrate d'argent apparition de la coloration
--	---	---

La figure 23 : présente les différentes étapes du dosage des chlorures par le nitrate d'argent, méthode utilisée pour déterminer la concentration des ions chlorure dans l'eau.

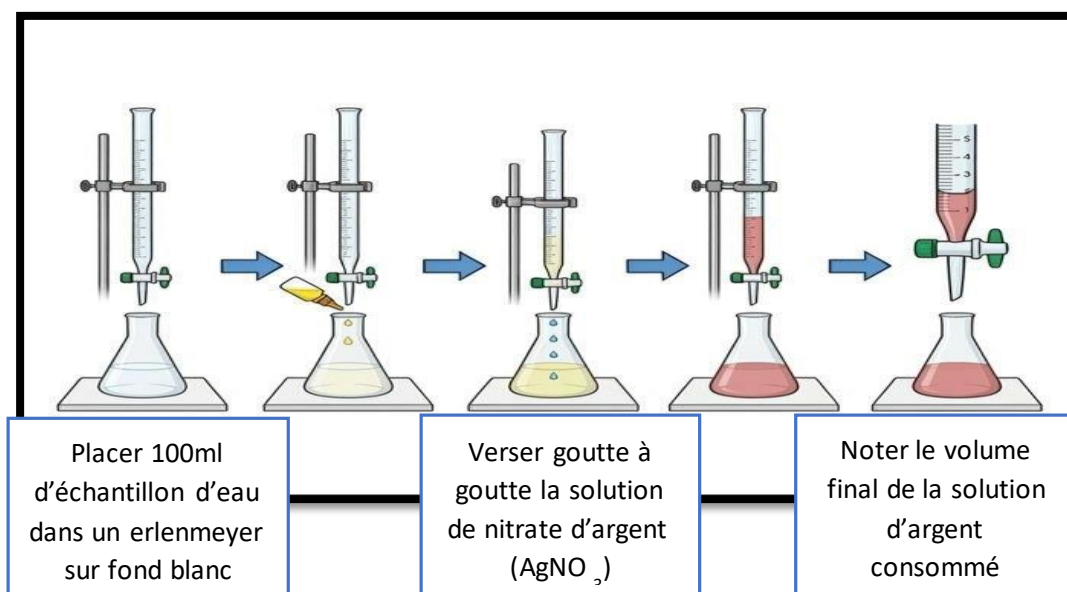


FIGURE 18: DOSAGE DES CHLORURE PAR LE NITRATE D'ARGENT

IV.6.10.4 Expression des résultats :

La concentration en chlorure exprimée en milligrammes par litre, est donnée par Formule :

$$P_a = ((V_s - V_b) / V_a) \text{ Cf.}$$

- P_a : est la concentration en milligramme par litre de chlorure.

- V_a : est le volume, en millilitres de l'échantillon pour essai (maximum 100 ml ; les dilutions doivent être prises en compte).
- V_b : est le volume, en millilitres de solution de Nitrates d'Argent utilisée pour le titrage de du blanc. Essai fait avec eau distillé +réactifs pour corriger les erreurs
- V_s : est le volume, en millilitres de solution de Nitrates d'Argent utilisée pour le titrage de dû l'échantillon.
- C : est la concentration réelle exprimée en moles d'AgNO₃ par litre, de la solution de Nitrate d'Argent.
- F : est le facteur de conversion $f=35453$ mg/mol

(JORADP n°75)

IV.6.11. Dosage des nitrates

IV.6.11.1Principe :

Formation d'un composé coloré avec le salicylate de sodium.

IV.6.11.2Mode opératoire

-  Introduire 10ml d'eau à analyser
-  Ajouter 3 gouttes de la solution d'hydroxyde de Sodium à 30% **(b)**
-  Ajouter 1 ml de solution de Salicylate de sodium à 0.5 % **(a)**
-  Evaporer à sec au bain marie ou à l'étuve 75 - 88°C
-  Prendre le résidu avec 2 ml d'acide sulfurique concentré **(d)**
-  Laisser reposer 10 minutes
-  Ajouter 15 ml d'eau distillée
-  Ajouter 15 ml de tartrate double de sodium et de potassium**(c)**
-  Faire la lecture au spectromètre UV-Visible à la longueur d'onde de 415 nm.

La figure 24 : illustre les différentes étapes de la procédure de dosage des nitrates, permettant de déterminer la concentration des ions nitrates présents dans l'eau.

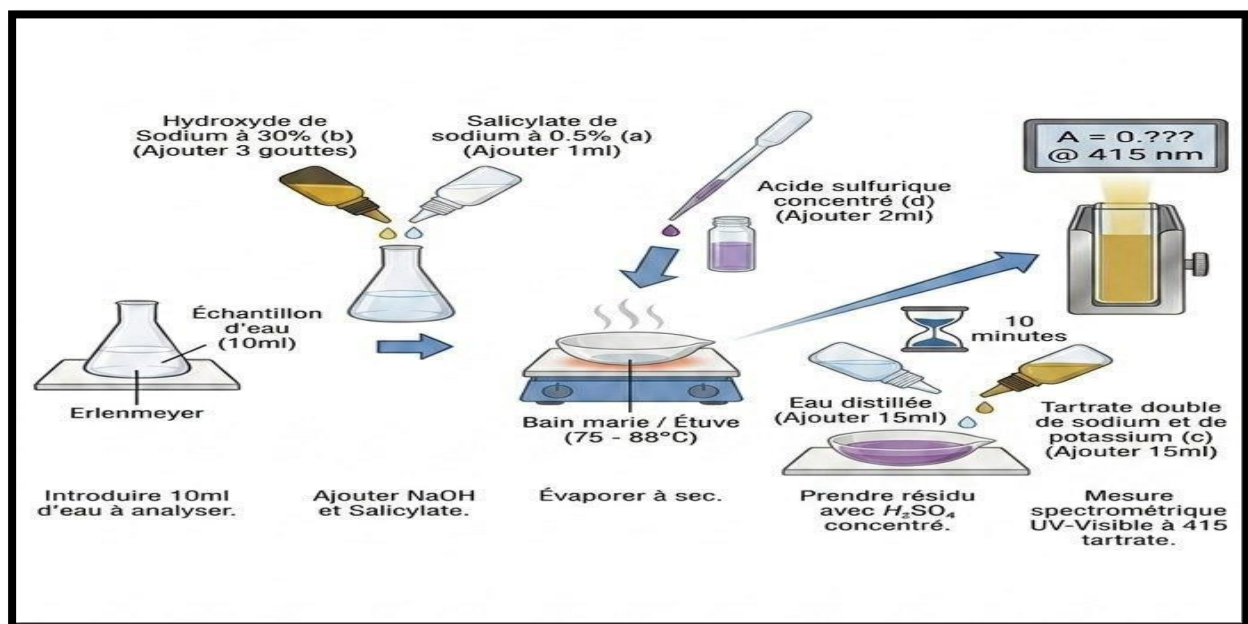


FIGURE 19: DOSAGE DES NITRATES

IV.6.11.3 Expression des résultats

Résultats en mg/L de NO_3^- .

(JORADP n°75)

IV.6.12. Dosage des nitrites

IV.6.12.1 Principe

Formation d'un complexe coloré rose mesuré à 540 nm.

IV.6.12.2 Réactif

Réactif mixte :

Préparé à partir d'amino-benzène sulfonamide, d'acide ortho phosphorique et de di chlorhydrate de N-(naphtyl-1) diamino-éthane, puis complété à 1000 ml avec de l'eau distillée.

IV.6.12.3 Mode opératoire

- Un volume de 50 ml d'échantillon
- 1 ml du réactif mixte est ajouté.
- Après un temps de réaction d'au moins 20 minutes, l'apparition d'une coloration rose indique la présence des nitrites. L'absorbance est ensuite mesurée à une longueur d'onde d'environ 540 nm. Un essai à blanc est réalisé dans les mêmes conditions en remplaçant l'échantillon par de l'eau distillée, afin de vérifier la validité des résultats.

La figure 25 : présente les différentes étapes de la procédure de dosage des nitrites, utilisée pour déterminer la concentration des ions nitrites dans l'eau.

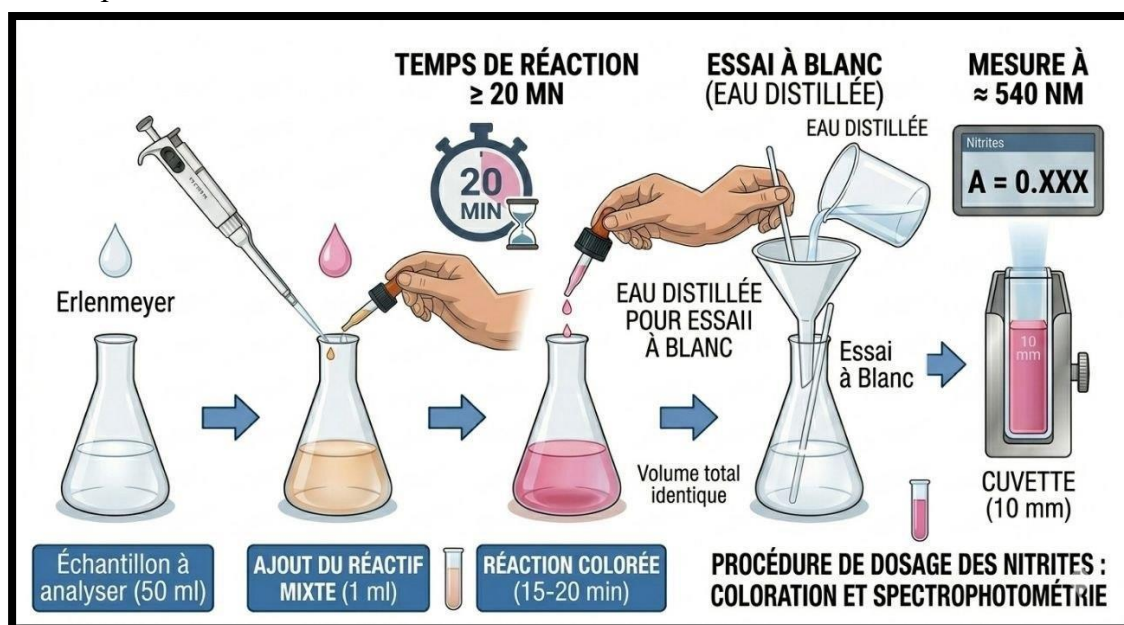


FIGURE 220: PROCEDURE DE DOSAGE DES NITRITES

IV.6.12.4 Expression des résultats

Résultats en mg/L de NO_2^- .

IV.6.13. Dosage du calcium

IV.6.13.1 Principe

Titrage par EDTA avec indicateur murexide.

IV.6.13.2 Réactif :

Solution d'hydroxyde de sodium (2 N) :

Préparée par dissolution de NaOH dans l'eau distillée et conservée dans une bouteille en polyéthylène.

Solution de référence de calcium (100 mg/L) :

Obtenue par dilution d'une solution mère de calcium à 1 g/L, afin d'obtenir une solution fille à 100 mg/L.

Solution d'EDTA (0,01 mol/L) :

Préparée par dissolution d'EDTA séché dans l'eau distillée et dilution à 1000 ml. La solution doit être conservée en bouteille en verre et son titre vérifié régulièrement.

Indicateur murexide :

Utilisé pour la détection du point final lors du dosage du calcium.

IV.6.13.3 Mode opératoire

- ✚ Prendre un volume de 50 ml de l'échantillon
- ✚ Ajouter 2 ml de solution d'hydroxyde de sodium (2 N) et une pincée d'indicateur murexide sont ajoutés.
- ✚ Après homogénéisation, le titrage est réalisé par la solution d'EDTA ajoutée progressivement.
- ✚ Le point d'équivalence est atteint lorsque la solution prend une coloration violette stable



Le point d'équivalence Coloration violette	Indicateur murexide
---	----------------------------

La figure 26 : illustre les différentes étapes de la procédure de dosage du calcium, permettant de déterminer la concentration des ions calcium présents dans l'eau.

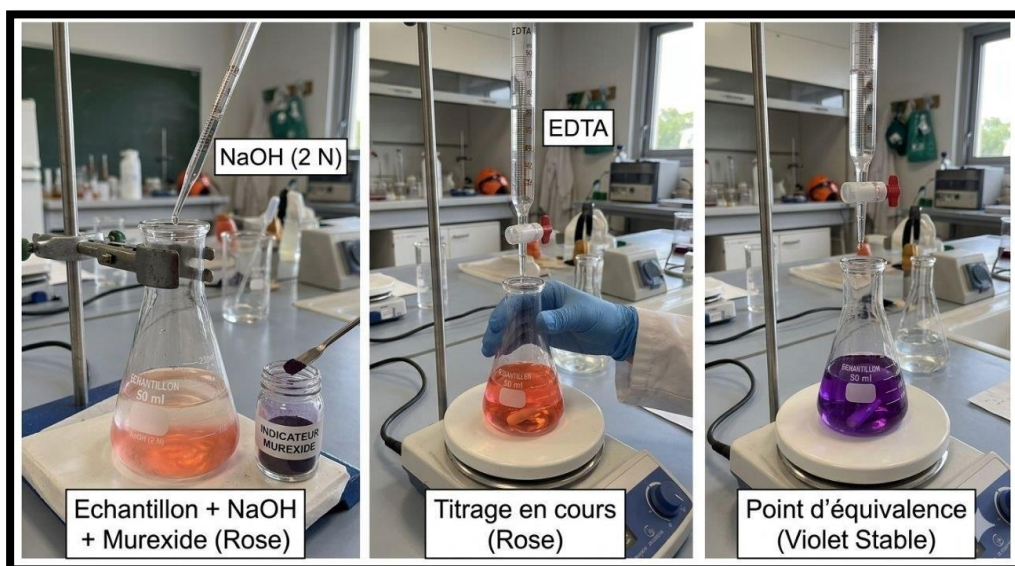


FIGURE 21: PROCEDURE DE DOSAGE DU CALCIUM

IV.6.13.4 Expression des résultats

Résultats en mg/L de Ca^{2+} .

$$\text{Ca} = (C_1 \cdot V_1 \cdot A / V_0) \cdot \text{FC} \cdot 1000 \cdot F$$

C_1 : concentration de la solution d'EDTA (0,01 mol/L). V_0 : volume de la prise d'essai (50 ml).

V_1 : volume de la solution d'EDTA utilisé lors du titrage (ml). A : masse atomique du calcium (40,08 g/mol).

FC : facteur de correction du titre de la solution d'EDTA.

F : facteur de dilution de l'échantillon ($F = V_f / V_i$)

(V_f : volume final après dilution ; V_i Volume initial prélevé)

(JORADP n°75)

IV.6.14. Dosage du fer

IV.6.14.1 Principe

Formation d'un complexe coloré avec la phénantroline mesuré à 510 nm.

Réactif :

Solution d'acide chlorhydrique (10 %) :

Obtenue par dilution de HCl concentré dans l'eau distillée. **Solution**

de peroxodisulfate de potassium (40 g/L) :

Préparée par dissolution dans l'eau distillée.

Solution de chlorhydrate d'hydroxylamine (100 g/L) :

Préparée par dissolution dans l'eau distillée. **Solution**

de phénantroline-1,10 :

Obtenue par dissolution du sel correspondant. **Solution**

tampon acétate : Préparée à partir d'acétate d'ammonium et d'acide acétique.

IV.6.14.2 Mode opératoire

- ✚ Prendre 50 ml d'eau à analyser, Transvaser la solution dans une fiole de 100 ml
 - ✚ Ajouter 1 ml de la solution chlorhydrate hydroxylamine et mélanger
 - ✚ Ajouter 2.0 ml de tampon acétate pour obtenir un pH 4.5.
 - ✚ Ajouter 2.0 ml de la solution phénantroline et conserver pendant 15 min à l'obscurité.
- ✚ Mesurer l'absorbance à l'aide d'un spectrophotomètre UV VIS à 510 nm en Utilisant une cuve de 10 mm².

La figure 27 : présente les différentes étapes de la procédure de dosage du fer, utilisée pour déterminer la concentration du fer présent dans l'eau.

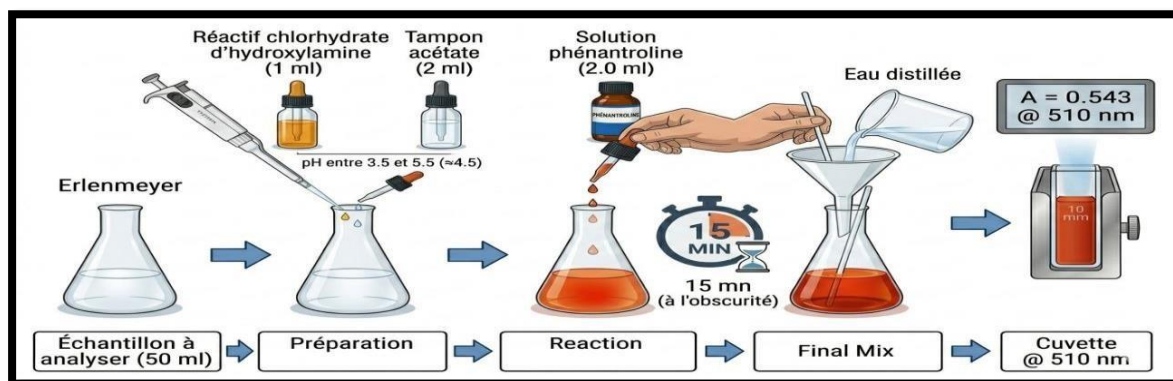


FIGURE 22: PROCEDURE DE DOSAGE DE FER

IV.6.14.3 Expression des résultats

Résultats en mg/L de Fe.

(JORADP n°75)

Chapitre v : Résultats Et Discussion

Chapitre V : Résultats et Discussion

V.1. Introduction :

Ce chapitre est consacré à la présentation et à l'interprétation des résultats obtenus lors de l'étude comparative de la qualité physico-chimique et microbiologique de deux types d'eau : l'eau dessalée issue de la station de Chatt El Hilal et l'eau souterraine provenant du forage de Sidi Yekhlef (commune d'Oulhaca – Beni Saf).

L'objectif principal de cette analyse est d'évaluer la qualité de ces ressources hydriques, d'identifier leurs caractéristiques spécifiques et de mettre en évidence les différences liées à leur origine et aux procédés de traitement appliqués. L'étude des paramètres physico-chimiques permet de caractériser la composition ionique, le degré de minéralisation ainsi que les interactions eau-roche, tandis que l'analyse microbiologique vise à apprécier la qualité sanitaire de ces eaux.

Les résultats obtenus seront présentés de manière détaillée, suivis d'une discussion approfondie permettant d'interpréter les phénomènes observés, notamment en termes de faciès hydro chimique, de processus géochimiques et d'éventuelles influences anthropiques. Une attention particulière sera accordée à la comparaison des deux types d'eau afin d'évaluer leur conformité aux normes de potabilité et leur aptitude à différents usages.

Ce chapitre constitue ainsi une étape essentielle pour la compréhension du comportement des eaux étudiées et servira de base à l'élaboration de recommandations techniques en vue d'une gestion optimale et durable des ressources en eau.

V.2. Résultats des analyses physico-chimiques

L'étude physico-chimique a été réalisée sur deux types d'eau : l'eau dessalée issue de la station de Chatt El Hilal et l'eau souterraine provenant du forage de Sidi Yekhlef (commune d'Oulhaca – Beni Saf). Les résultats obtenus mettent en évidence des différences significatives liées à l'origine de ces eaux et aux processus de traitement appliqués.

Le tableau 6 présente les résultats des analyses physico-chimiques réalisées sur les deux types d'eaux étudiées, à savoir l'eau dessalée et l'eau souterraine, afin d'évaluer leur qualité et de les comparer aux normes de potabilité

Paramètre	Eaux dessalé station chate el hillal	Eaux souterraine forage sidi ykhlef oualhaca	Valeur limites (JORADP n°13, 2011)
T [°C]	15,0	14,6	25
pH	8,64	7,8	≥ 6,5 et ≤ 9
Conductivité [μS/cm]	1830	2890	2800
TDS [mg/l]	1024,8	1618,4	-
MINERALISATION (Conductivité × 0,85)	1555,5	2456,5	-
Turbidité [NTU]	2,6	0,49	5
TH [F°]	18,02	73,26	500
Ca ²⁺ [mg/l]	21,85	158,96	200
Mg ²⁺ [mg/l]	12,55	80,44	50
Na ⁺ [mg/l]	124,49	183,8	200
K ⁺ [mg/l]	3,04	5,01	12
TAC [F°]	1,6	24	-
BICARBONAT [mg/l]	19,52	292,8	-
Cl ⁻ [mg/l]	560,15	620,42	500
SO ₄ ²⁻ [mg/l]	44,89	81,46	044
NO ₃ ⁻ [mg/l]	0,38	39,94	04
Fe ²⁺ [mg/l]	0	0	0,3
MO [mg/l]	0,9	0,9	-
NH ₄ ⁺ [mg/l]	0,02	0	0,4
NO ₂ ⁻ [mg/l]	0,019	0	4,2
PO ₄ ²⁻ [mg/l]	0,932	2,43	0

TABLEAU 6: RESULTATS DES ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

V.2.1 Température (T) [°C] et potentielle de hydrogéné (pH) :

La figure 28 présente une comparaison des valeurs de température mesurées dans les deux échantillons d'eau analysés afin d'évaluer leur état thermique.

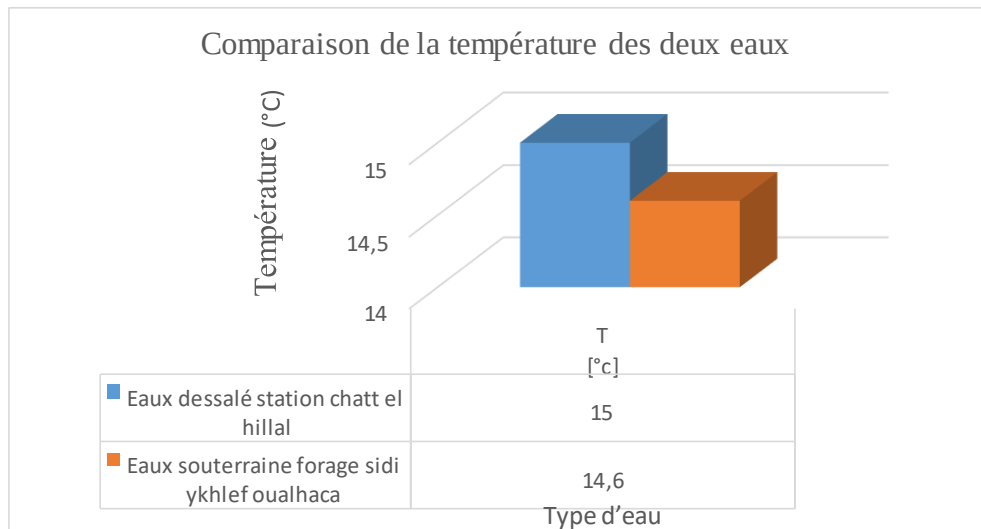


FIGURE 23: COMPARAISON DE LA TEMPERATURE DES DEUX EAUX

La température mesurée est de 15 °C pour l'eau dessalée et de 14,6 °C pour l'eau souterraine, ce qui traduit une stabilité thermique des deux échantillons.

LA figure 29 illustre les variations du potentiel hydrogène (pH) des deux eaux étudiées, permettant d'apprécier leur caractère acide, neutre ou basique.

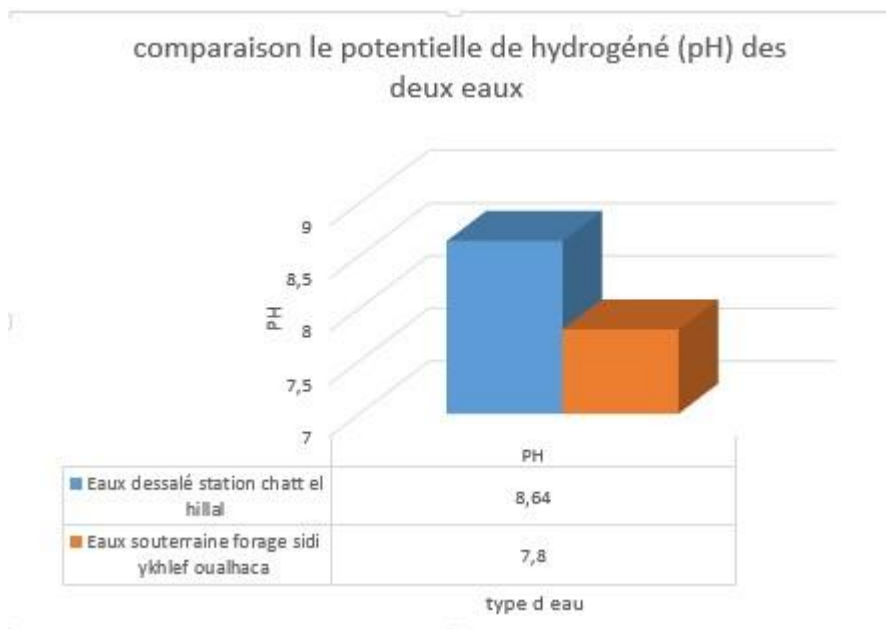


FIGURE 24: COMPARAISON DE POTENTIELLE DE HYDROGENE DES DEUX EAUX

Le pH de l'eau dessalée est de 8,64, indiquant un caractère légèrement alcalin, tandis que celui de l'eau souterraine est de 7,8, proche de la neutralité. Cette alcalinité de l'eau dessalée peut être expliquée par les procédés de reminéralisations appliqués après le dessalement afin de stabiliser l'eau et de limiter la corrosion des conduites.

V.2.2 Conductivité et minéralisation :

La figure 30 met en évidence la différence de conductivité électrique entre les deux eaux, reflet de leur teneur en sels minéraux dissous.

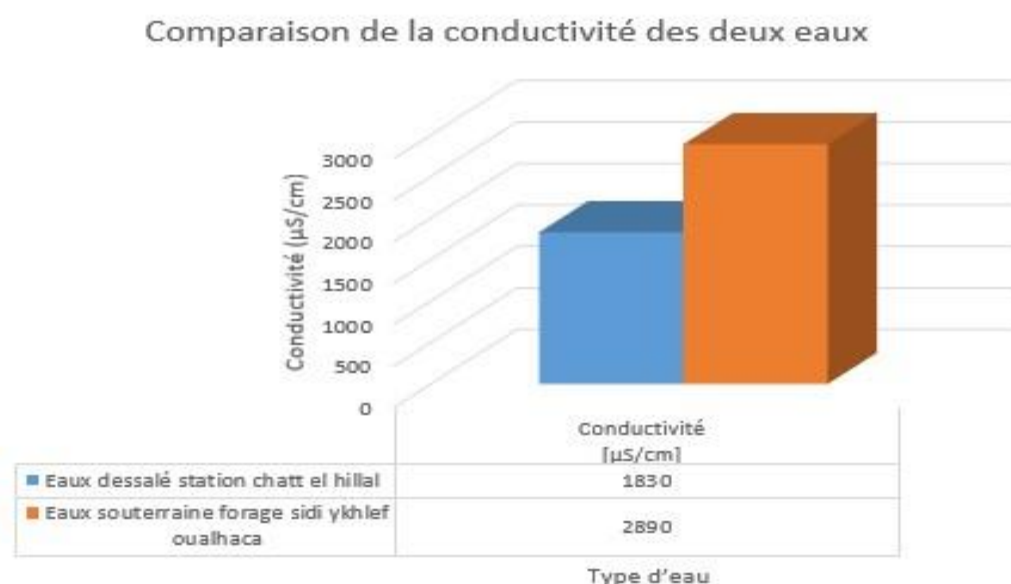


FIGURE 25: COMPARAISON DE LA CONDUCTIVITE DES DEUX EAUX

La conductivité électrique mesurée dans l'eau souterraine est de 2890 $\mu\text{S}/\text{cm}$, alors qu'elle est de 1830 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dans l'eau dessalée. Cette différence traduit une teneur plus élevée en éléments minéraux dissous dans l'eau souterraine.

Les résultats du TDS et de la minéralisation totale appuient également cette observation :

- Eau dessalée : TDS = 1024,8 mg/L ; minéralisation = 1555,5 mg/L
- Eau souterraine : TDS = 1618,4 mg/L ; minéralisation = 2456,5 mg/L

La conductivité est étroitement liée à la présence des ions dissous dans l'eau. De ce fait, une valeur élevée de ce paramètre reflète généralement une augmentation de la charge minérale.

La forte minéralisation observée dans l'eau souterraine peut être expliquée par le séjour prolongé de l'eau dans les couches géologiques, ce qui favorise la dissolution des sels minéraux. À l'inverse, l'eau dessalée présente des valeurs plus faibles en raison du procédé de dessalement qui réduit considérablement la quantité des substances dissoutes.

V.2.3 Turbidité :

La figure 31 montre la variation de la turbidité des deux échantillons d'eau, indiquant leur degré de limpidité et la présence éventuelle de matières en suspension.

comparaison de la turbidité [NTU] des deux eaux

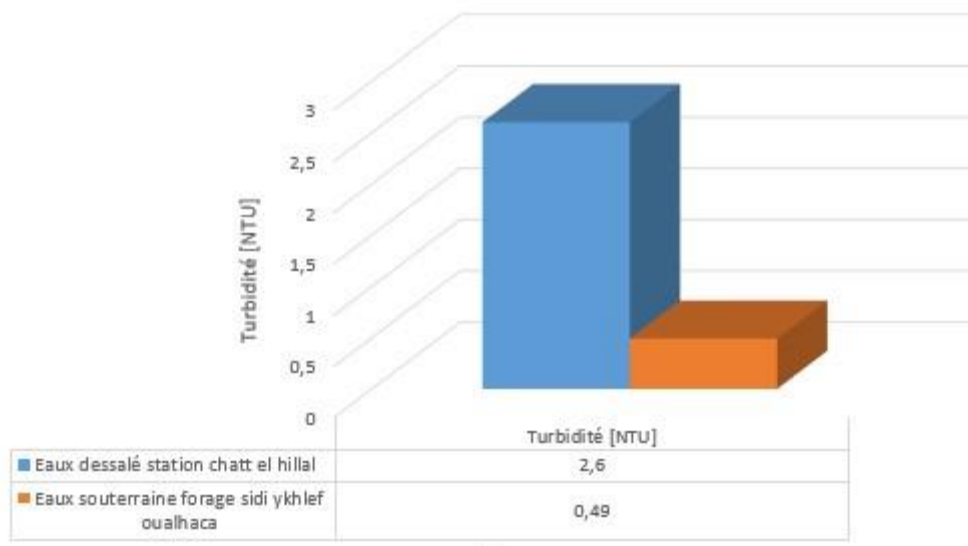


FIGURE 26: COMPARAISON DE LA TURBIDITE DES DEUX EAUX

La turbidité est de 2,6 NTU pour l'eau dessalée et de 0,49 NTU pour l'eau souterraine. La faible turbidité de l'eau souterraine reflète une filtration naturelle efficace à travers les couches géologiques. En revanche, la valeur plus élevée de l'eau dessalée peut être liée à une instabilité des particules après traitement ou à une contamination secondaire.

V.2.4 Dureté totale et alcalinité

La figure 32 présente une comparaison de la dureté totale des deux eaux analysées afin d'évaluer leur richesse en ions calcium et magnésium.

Comparaison de la dureté totale (TH)

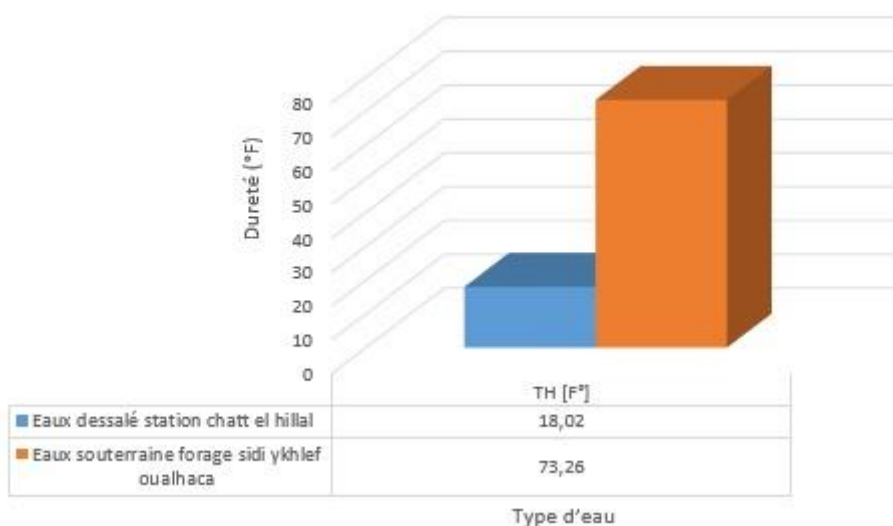


FIGURE 27: COMPARAISON DE LA DURETE TOTALE (TH) DES DEUX EAUX La

dureté totale (TH) montre une différence importante :

- Eau dessalée : 18,02 °F (eau douce)
- Eau souterraine : 73,26 °F (eau très dure)

Le titre alcalimétrique complet (TAC) est de 1,6 °F pour l'eau dessalée et de 24 °F pour l'eau souterraine.

Ces résultats indiquent que l'eau souterraine est riche en calcium et en magnésium, en raison de la dissolution des roches carbonatées telles que la calcite et la dolomite. L'eau dessalée présente, quant à elle, une faible dureté due à l'élimination des sels lors du dessalement.

V.2.5 Cations majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) :

La figure 33 illustre la répartition et la comparaison des principaux cations présents dans les deux eaux étudiées, permettant d'apprécier leur composition minérale.

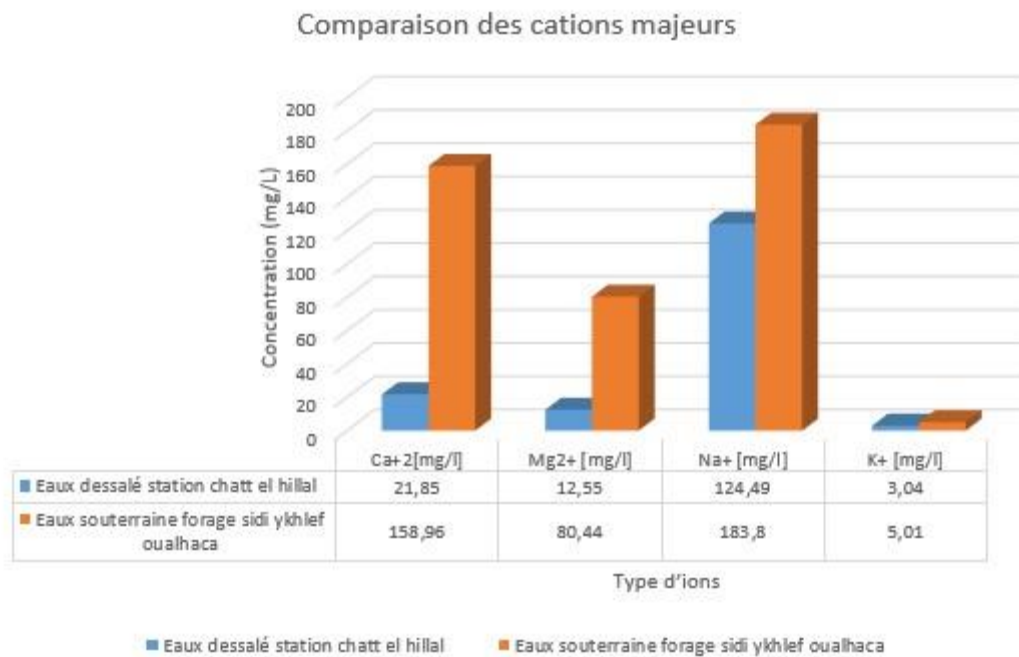


FIGURE 28: COMPARAISON DES CATIONS MAJEURS DES DEUX EAUX

Les concentrations en cations majeurs sont nettement plus élevées dans l'eau souterraine :

- Calcium : 158,96 mg/L (eau souterraine) contre 21,85 mg/L (eau dessalé)
- Magnésium : 80,44 mg/L (eau souterraine) contre 12,55 mg/L (eau dessalé)
- Sodium : 183,8 mg/L (eau souterraine) contre 124,49 mg/L (eau dessalé)
- Potassium : 5,01 mg/L (eau souterraine) contre 3,04 mg/L (eau dessalé)

Cette différence reflète l'influence de la lithologie et des processus de dissolution des minéraux.

V.2.6 Anions majeurs (BICARBONAT, Cl^- , SO_4^{2-}) :

La figure 34 présente une comparaison des principaux anions présents dans les deux eaux étudiées afin d'évaluer leur composition chimique.

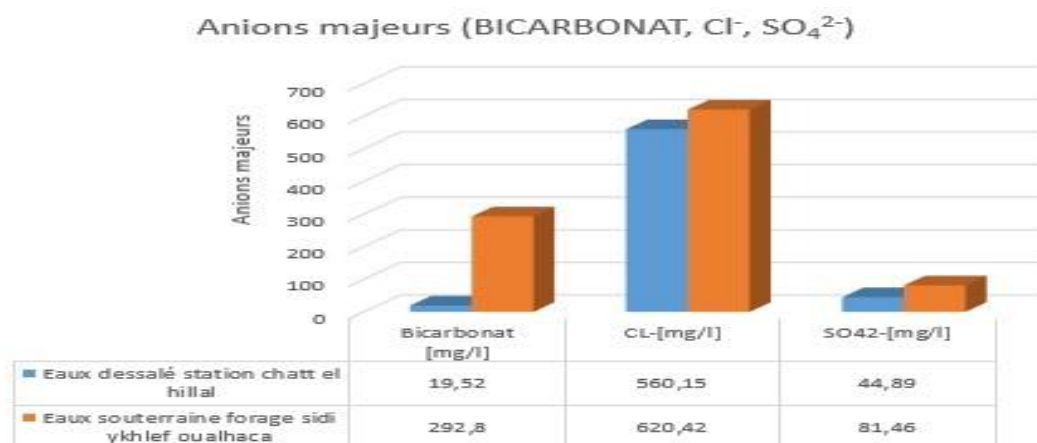


FIGURE 29: COMPARAISON DES ANIONS MAJEURS DES DEUX EAUX

Les anions majeurs présentent les valeurs suivantes :

- Chlorures : 620,42 mg/L (eau souterraine) et 560,15 mg/L (eau dessalée)
- Sulfates : 81,46 mg/L (eau souterraine) et 44,89 mg/L (eau dessalée)
- Bicarbonates : 292,8 mg/L (eau souterraine) et 19,52 mg/L (eau dessalée)

L'eau souterraine est caractérisée par une forte teneur en bicarbonates, indiquant un faciès hydro chimique bicarbonaté calcique, tandis que l'eau dessalée présente un faciès chloruré sodique dominé par les ions chlorures.

V.2.7 Nutriments (NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{2-}) :

La figure 35 illustre les concentrations des nutriments mesurés dans les deux échantillons d'eau, permettant d'apprécier leur qualité et leur état nutritif.

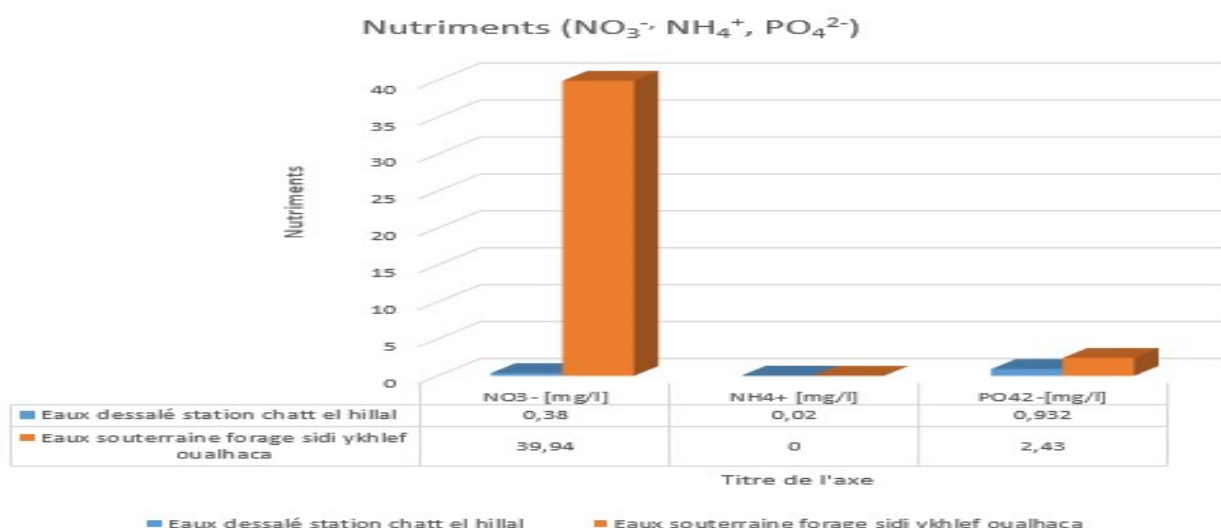


FIGURE 30: COMPARAISON DES NUTRIMENTS

Les nitrates sont très faibles dans l’eau dessalée (0,38 mg/L) mais relativement élevés dans l’eau souterraine (39,94 mg/L). Cette concentration peut être attribuée à une contamination d’origine agricole ou domestique.

Les phosphates présentent également des valeurs plus élevées dans l’eau souterraine, ce qui confirme une influence anthropique.

V.2.8 Fer et matière organique :

La figure 36 met en évidence les teneurs en fer et en matière organique des deux eaux analysées afin d’évaluer leur qualité physico-chimique.

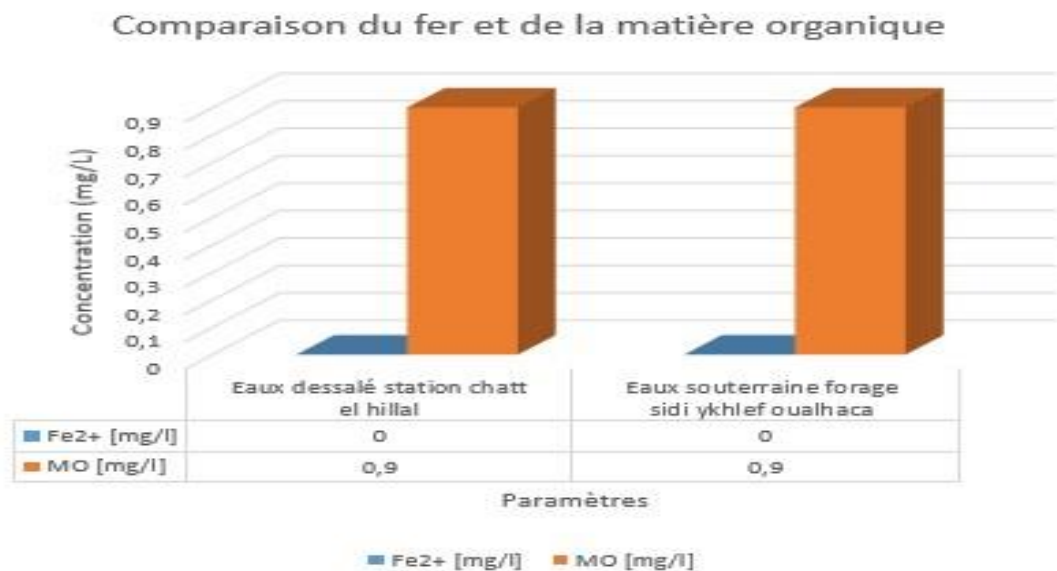


FIGURE 31: COMPARAISON DU FER ET DE LA MATIERE ORGANIQUE DES DEUX EAUX

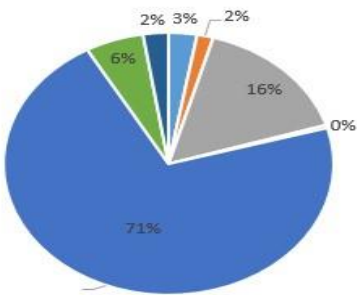
Le fer est absent dans les deux échantillons (0 mg/L), indiquant l’absence de contamination métallique. La matière organique est de 0,9 mg/L dans les deux cas, ce qui reflète une faible charge organique.

V.2.9 Étude de la répartition ionique des eaux analysées×

V.2.9.1 Répartition des ions dans l’eau dessalée

La figure 37 montre la répartition des principaux ions présents dans l’eau dessalée, reflétant sa composition minérale.

Pourcentage aux dessalé station chatt el hillal



Ca ⁺² [mg/l]	3%
Mg ²⁺ [mg/l]	2%
Na ⁺ [mg/l]	16%
K ⁺ [mg/l]	0%
CL ⁻ [mg/l]	71%
SO ₄ ²⁻ [mg/l]	6%
Bicarbonate [mg/l]	2%

FIGURE 32: REPARTITION DES IONS DANS L'EAU DESSALEE

la figure 32 met en évidence une **dominance marquée des ions chlorures (Cl^-)**, suivis par les ions **sodium (Na^+)**, tandis que les autres ions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} et HCO_3^-) restent faiblement représentés.

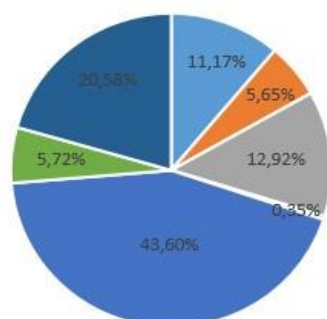
Cette distribution traduit un **faciès hydro chimique de type chloruré sodique**, caractéristique des eaux ayant subi un traitement de dessalement.

La faible proportion des ions divalents (Ca^{2+} et Mg^{2+}) confirme l'efficacité du procédé d'osmose inverse, alors que la faible teneur en bicarbonates reflète une **alcalinité réduite**, nécessitant une reminéralisations pour stabiliser l'eau.

V.2.9.2 Répartition des ions dans l'eau souterraine

La figure 38 présente la distribution des principaux ions dans l'eau souterraine étudiée, permettant d'apprécier sa minéralisation.

POURCENTAGE Eaux souterraine forage sidi ykhlef oualhaca



Ca^{+2} [mg/l]	11,17%
Mg^{2+} [mg/l]	5,65%
Na^+ [mg/l]	12,92%
K^+ [mg/l]	0,35%
Cl^- [mg/l]	43,60%
SO_4^{2-} [mg/l]	5,72%
Bicarbonate [mg/l]	20,58%

FIGURE 33: REPARTITION DES IONS DANS LEAU SOUTERRAINE

Cette figure : montre une **répartition ionique plus équilibrée**, dominée par les ions chlorures (Cl^-) et les bicarbonates (HCO_3^-), avec des contributions significatives des ions calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}).

Cette composition correspond à un **faciès bicarbonaté calcique à tendance chlorurée**, typique des eaux souterraines circulant dans des formations carbonatées. La présence importante de Ca^{2+} et Mg^{2+} explique la **dureté élevée** de cette eau, tandis que les chlorures peuvent indiquer une influence marine ou la dissolution de sels.

V.3. Résultats des analyses microbiologiques :

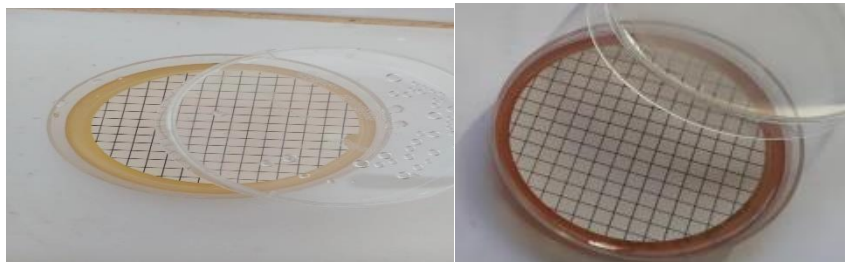
Ce tableau présente les résultats des analyses microbiologiques réalisées sur les échantillons d'eau étudiés afin d'évaluer leur qualité bactériologique et leur conformité aux normes en vigueur.

Paramètre (bactériologiques)	Station dessalement (chat Hilal)	Forage sidi ykhlef (commune oulhaca-Beni saf)	VALEURS LIMITES (JORADP n°13, 2011)
coliformes thermo tolérants (E. Coli)	0 UFC/100ml	0UFC/100ml	0
Bactéries coliformes totaux	0 UFC/100ml	0UFC/100ml	0
Entérocoques	0 UFC/100ml	0UFC/100ml	0
Bactéries sulfitoréductrices y compris les spores	0 UFC/20ml	0UFC/20ml	0
Salmonelles	0 UFC/100ml	0 UFC/100ml	0

TABLEAU 7: RESULTATS DES ANALYSES MICROBIOLOGIQUES

V.3.1 Recherche et dénombrement des entérocoques intestinaux :

La réglementation nationale interdit strictement la présence des streptocoques fécaux dans 100 ml d'eau et fixe une limite maximale de 0 UFC/100 ml. Les résultats figurant dans **le tableau 7** et **la figure 49** indiquent l'absence totale de ces germes dans les échantillons analysés (eau dessalée et eau de Forage sidi ykhlef), ce qui respecte les exigences réglementaires en vigueur en Algérie.



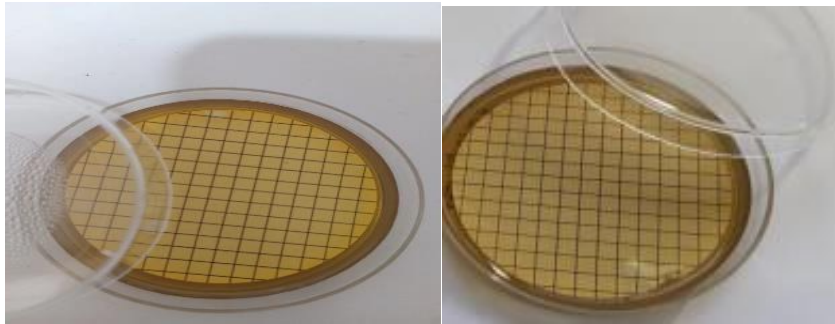
Eau de Dessalement

Eau souterraine

FIGURE 34: RECHERCHE ET DENOMBREMENT DES ENTEROCOQUES INTESTINAUX

V.3.2 Recherche et dénombrement des coliformes totaux et thermotolérants :

D'après les données présentées dans **le tableau 7** et **la figure 40**, aucun coliforme total n'a été détecté dans les deux échantillons d'eau étudiés. Cette absence est conforme aux normes algériennes de potabilité. Elle s'explique en grande partie par l'efficacité du procédé de désinfection au chlore appliqué à l'eau dessalée.



Eau de Dessalement

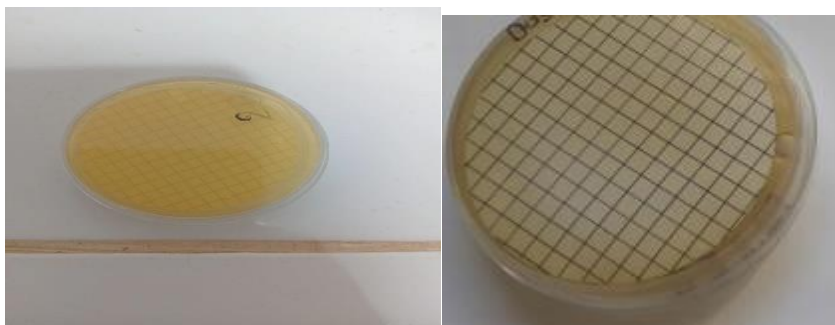
Eau souterraine

FIGURE 35: RECHERCHE ET DENOMBREMENT COLIFORMES TOTAUX ET DES COLIFORMES THERMO TOLERANTS (E. COLI)

V.3.3 Recherche et dénombrement des sulfitoréductrices y compris les spores :

Selon la réglementation algérienne, l'eau destinée à la consommation humaine ne doit contenir aucune spore de sulfito-réducteurs dans un volume de 100 ml. Les analyses réalisées sur l'eau de dessalement ainsi que sur l'eau de FORAGE SIDI YKHELEF mettent en évidence une absence totale de ces micro-organismes.

Les valeurs obtenues (0 UFC/100 ml) sont donc conformes aux normes algériennes de qualité de l'eau potable. Les résultats détaillés sont présentés dans le **tableau 7** et la **figure 41**.



Eau de Dessalement

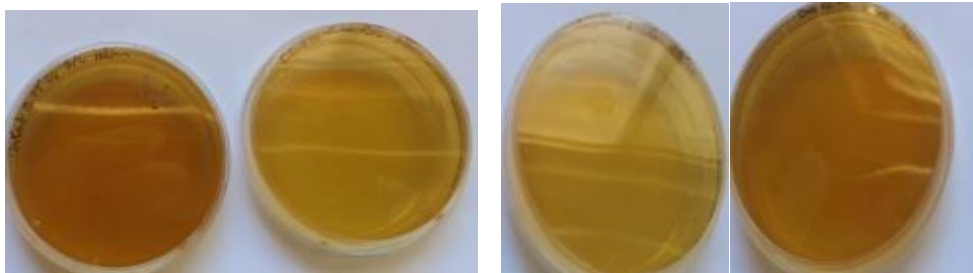
Eau souterraine

FIGURE 36: RECHERCHE ET DENOMBREMENT BACTERIES SULFITOREDUCTICES Y COMPRIS LES SPORES

V.3.4 Recherche des salmonelles

Les analyses réalisées sur l'eau de dessalement et celle de FORAGE SIDI YKHLEF, présentées dans le **tableau 7** et la **figure 42**, ne révèlent aucune présence de salmonelles. Ces résultats sont conformes à la réglementation algérienne, qui impose leur absence dans un volume de 5000 ml d'eau.

Par ailleurs, la faible contamination bactérienne et virale observée dans les eaux souterraines s'explique généralement par le rôle filtrant du sol (Brière, 2012). Concernant l'eau dessalée, l'absence des micro-organismes recherchés est principalement liée à l'efficacité du traitement de chloration (tableau 07).



Eau de Dessalement

Eau souterraine

FIGURE 37: RECHERCHE ET DENOMBREMENT DES SALMONELLE V.4.

V.4. Discussion :

Les résultats obtenus mettent en évidence des différences nettes entre l'eau dessalée et l'eau souterraine, tant sur le plan physico-chimique que sur le plan de la composition ionique. Ces écarts s'expliquent essentiellement par l'origine des eaux, mais aussi par les processus qu'elles subissent : traitement industriel dans le cas de l'eau dessalée, et évolution géochimique naturelle dans le cas de l'eau souterraine.

L'eau dessalée se distingue d'abord par une minéralisation relativement faible. Les valeurs de la conductivité électrique, du TDS et de la dureté totale restent modérées, ce qui traduit une faible teneur en sels dissous. Cette caractéristique est directement liée au procédé de dessalement, généralement basé sur l'osmose inverse, qui permet d'éliminer une grande partie des ions présents dans l'eau brute. Les ions divalents, comme le calcium et le magnésium, sont particulièrement bien retenus par les membranes, ce qui explique la faible dureté observée.

Cependant, une eau totalement déminéralisée serait instable et potentiellement corrosive pour les canalisations. C'est pourquoi une étape de reminéralisations est généralement appliquée après le traitement. Cette étape vise à réintroduire certains éléments minéraux afin d'équilibrer l'eau, d'ajuster le pH et d'améliorer ses propriétés organoleptiques. Cela se traduit dans les résultats par la présence résiduelle de sodium et de chlorures, ainsi que par un pH légèrement alcalin.

À l'inverse, l'eau souterraine présente une minéralisation nettement plus élevée. Les valeurs élevées de la conductivité électrique et du TDS traduisent une forte concentration en ions dissous. Cette richesse en sels minéraux est le résultat d'un contact prolongé entre l'eau et les formations géologiques. En circulant lentement dans l'aquifère, l'eau dissout progressivement les minéraux présents dans les roches, ce qui enrichit sa composition chimique.

Les ions majeurs confirment cette tendance. L'eau souterraine est dominée par le calcium, le magnésium et les bicarbonates. Cette composition est typique des eaux circulant dans des milieux carbonatés, où la dissolution de la calcite et de la dolomite joue un rôle essentiel. La présence importante de ces ions explique la dureté élevée mesurée. Une telle dureté peut entraîner des désagréments, notamment la formation de dépôts calcaires dans les conduites et les équipements, ainsi qu'une consommation plus importante de détergents.

En revanche, l'eau dessalée présente une composition ionique plus simple, dominée principalement par les chlorures et le sodium. Ce type de faciès, appelé chloruré sodique, est caractéristique des eaux traitées. Il reflète une composition contrôlée, où la majorité des ions naturels a été éliminée, puis partiellement réintroduite.

La présence relativement élevée de chlorures dans les deux types d'eau peut s'expliquer par le contexte géographique. Dans les régions côtières, il est fréquent d'observer une influence marine, qui se traduit par une augmentation des concentrations en chlorures et en sodium. Cette influence peut être directe, par intrusion d'eau de mer dans les nappes, ou indirecte, via les dépôts atmosphériques. La dissolution de sels présents dans le sol peut également contribuer à cette situation.

Un autre point important concerne les nitrates. Leur concentration est nettement plus élevée dans l'eau souterraine que dans l'eau dessalée. Cette différence suggère une influence des activités humaines, notamment agricoles. Les nitrates proviennent souvent de l'utilisation d'engrais azotés et peuvent facilement s'infiltrer dans le sol pour atteindre les nappes phréatiques. Leur présence constitue donc un indicateur de pollution d'origine anthropique. À l'inverse, la très faible teneur en nitrates dans l'eau dessalée confirme l'efficacité du procédé de traitement.

La turbidité présente également une différence entre les deux eaux. L'eau souterraine montre une faible turbidité, ce qui traduit une bonne filtration naturelle par les couches géologiques. L'eau dessalée, quant à elle, présente une turbidité légèrement plus élevée, ce qui peut être dû à la présence de particules fines après traitement ou à une contamination secondaire au niveau du réseau de distribution.

Sur le plan microbiologique, les résultats sont rassurants pour les deux types d'eau. L'absence de germes indicateurs de contamination, tels que les coliformes ou *Escherichia coli*, indique une bonne qualité sanitaire. Pour l'eau dessalée, cela reflète l'efficacité des étapes de désinfection. Pour l'eau souterraine, cela suggère que la nappe bénéficie d'une protection naturelle contre les contaminations biologiques.

En résumé, l'eau dessalée présente une qualité chimique maîtrisée, une faible dureté et une composition relativement stable. Elle constitue une ressource fiable, notamment dans les régions où les ressources naturelles sont limitées. Toutefois, elle nécessite une reminéralisation adéquate pour garantir un bon équilibre chimique. L'eau souterraine, de son côté, est naturellement riche en minéraux, mais sa qualité peut être affectée par des facteurs naturels et anthropiques, notamment la dureté élevée et la présence de nitrates.

Ainsi, chaque type d'eau présente des avantages et des limites. L'eau dessalée offre une qualité contrôlée, tandis que l'eau souterraine représente une ressource naturelle précieuse, mais nécessitant un suivi régulier et une gestion rigoureuse afin d'assurer sa durabilité.

V.5.Applications biotechnologiques

Les résultats obtenus dans cette étude présentent un intérêt majeur dans le domaine des biotechnologies appliquées à l'eau, car les caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques des ressources hydriques conditionnent directement leur utilisation dans divers procédés biologiques et industriels. L'évaluation de la qualité des eaux dessalées et des eaux souterraines permet ainsi d'identifier les ressources les plus adaptées à différentes applications biotechnologiques.

L'une des applications importantes concerne la culture des microalgues. Les microalgues représentent une ressource biologique prometteuse pour la production de biomasse, de biocarburants, de molécules pharmaceutiques, de pigments naturels et de compléments alimentaires. La composition chimique de l'eau, notamment la teneur en nitrates, phosphates, calcium, magnésium et autres oligoéléments, influence directement leur croissance. Par exemple, des espèces telles que *Chlorella vulgaris* et *Spirulina platensis* sont largement cultivées pour la

production de protéines, de vitamines et d'antioxydants destinés aux industries agroalimentaires et pharmaceutiques.

Dans le domaine de l'aquaculture, la qualité de l'eau constitue un facteur déterminant pour la survie, la croissance et la reproduction des organismes aquatiques. Des paramètres tels que le pH, la salinité, la dureté, l'oxygène dissous ou la présence d'éléments toxiques influencent directement les performances biologiques des espèces élevées. Par exemple, une concentration excessive de nitrates ou d'ammonium peut provoquer un stress physiologique chez les poissons et entraîner une diminution de la productivité des systèmes aquacoles.

Les ressources en eau étudiées peuvent également être valorisées dans la production de biomasse microbienne ou végétale destinée à des applications industrielles. Certaines bactéries, levures et microalgues sont utilisées pour produire des enzymes, des biopolymères, des protéines unicellulaires ou des composés bioactifs utilisés dans plusieurs secteurs industriels.

Une autre application importante concerne les procédés de bioremédiation. Cette technologie repose sur l'utilisation d'organismes vivants capables de dégrader, transformer ou éliminer certains contaminants présents dans l'eau. Des bactéries telles que *Pseudomonas aeruginosa* et *Bacillus subtilis* possèdent la capacité de dégrader certains polluants organiques et composés toxiques. De même, certaines microalgues peuvent absorber les métaux lourds tels que le plomb, le cadmium ou le cuivre présents dans les eaux contaminées.

Par ailleurs, les analyses physico-chimiques et microbiologiques réalisées dans cette étude peuvent contribuer au développement de procédés biologiques innovants de traitement des eaux. Les technologies actuelles utilisent des biofiltres, des bioréacteurs à membranes ou des systèmes biologiques intégrés faisant intervenir des microorganismes spécialisés capables d'éliminer efficacement la matière organique, l'azote ou certains composés chimiques **.(Metcalf et Eddy,2014)**

La maîtrise de la qualité des eaux constitue également un élément essentiel dans les secteurs agroalimentaire, pharmaceutique et cosmétique, où la sécurité sanitaire représente une exigence majeure. Une eau conforme aux normes microbiologiques et chimiques est indispensable pour garantir la qualité des produits fabriqués.**(WHO,2017)**

Dans l'industrie cosmétique, l'eau intervient dans près de 60 à 90 % de la composition de nombreux produits. Les eaux présentant une composition minérale adaptée peuvent être intégrées dans la formulation de produits tels que :

- crèmes reminéralisantes
- lotions hydratantes
- masques de soin
- eaux thermales
- produits dermocosmétiques enrichis en sels minéraux
- gels nettoyants et produits dermatologiques.

Par exemple, des eaux riches en calcium, magnésium ou oligoéléments sont utilisées pour leurs propriétés apaisantes et protectrices sur la peau. La composition de l'eau influence directement la stabilité physicochimique, l'efficacité biologique et la sécurité des formulations finales.

CONCLUSION

V.6. Conclusion :

Les résultats obtenus au cours de cette étude mettent en évidence des différences nettes entre l'eau dessalée et l'eau souterraine, tant sur le plan physico-chimique que sur leurs caractéristiques globales de qualité.

En ce qui concerne l'eau dessalée, les analyses révèlent une qualité physico-chimique globalement bien maîtrisée. Les paramètres mesurés respectent les normes en vigueur, ce qui traduit l'efficacité du procédé de dessalement, notamment l'osmose inverse, suivie d'une désinfection adéquate. Toutefois, cette eau se distingue par une faible minéralisation, caractérisée par des teneurs réduites en sels minéraux essentiels (calcium, magnésium, etc.). Cette faible minéralisation peut influencer le goût de l'eau et, à long terme, avoir des impacts sur les installations de distribution (corrosion des conduites) ainsi que sur l'apport nutritionnel en minéraux pour les consommateurs. Cela souligne l'importance d'une éventuelle étape de reminéralisations afin d'améliorer ses propriétés organoleptiques et sa stabilité chimique.

À l'inverse, l'eau souterraine étudiée présente une richesse notable en sels minéraux, ce qui témoigne de son interaction prolongée avec les formations géologiques. Cette minéralisation élevée se traduit notamment par une dureté importante, due à des concentrations élevées en calcium et en magnésium. Une eau dure peut engendrer des désagréments tels que l'entartrage des canalisations et des équipements domestiques. Par ailleurs, la présence de nitrates à des concentrations significatives constitue une contrainte majeure, notamment en raison des risques potentiels pour la santé humaine, en particulier chez les nourrissons (méthémoglobinémie). Cette situation peut être liée à des apports d'origine agricole ou à une contamination diffuse des nappes. Sur le plan microbiologique, les deux types d'eau présentent une excellente qualité, caractérisée par l'absence totale des indicateurs de contamination fécale (coliformes, entérocoques, *Clostridium sulfito-réducteurs*) ainsi que des germes pathogènes tels que les salmonelles. Ces résultats confirment la conformité des eaux étudiées aux normes algériennes de potabilité et témoignent de l'efficacité des traitements appliqués, notamment la chloration pour l'eau dessalée, ainsi que du rôle protecteur du milieu naturel dans le cas des eaux souterraines.

Au regard de ces observations, il apparaît clairement que chaque type de ressource présente des avantages et des limites. L'eau dessalée offre une qualité contrôlée mais nécessite un ajustement de sa composition minérale, tandis que l'eau souterraine, bien que naturellement riche, requiert une attention particulière vis-à-vis de certains paramètres chimiques.

Ainsi, une gestion durable et efficace des ressources en eau repose sur la mise en œuvre de traitements appropriés, adaptés aux spécificités de chaque source (reminéralisations, dénitrification, adoucissement, etc.), ainsi que sur l'instauration d'un programme de surveillance continue. Ce suivi régulier de la qualité physicochimique et microbiologique est indispensable pour garantir la sécurité

sanitaire de l'eau distribuée et préserver la santé des consommateurs, tout en assurant la pérennité des ressources hydriques.

V.6. Recommandations

Au vu des résultats obtenus lors de l'analyse physico-chimique et microbiologique des eaux dessalées et souterraines, plusieurs recommandations peuvent être proposées afin d'améliorer la qualité de l'eau et d'assurer une gestion durable des ressources hydriques.

V.6.1. Recommandations pour l'eau dessalée

V.6.1.1 Optimisation de la reminéralisations :

Il est recommandé d'ajuster les teneurs en calcium et en magnésium afin d'améliorer l'équilibre chimique de l'eau. Une reminéralisations bien maîtrisée permet également de limiter le caractère agressif de l'eau vis-à-vis des canalisations.

V.6.1.2 Contrôle du pH :

Le pH doit être maintenu dans une plage comprise entre 7,5 et 8,5 afin de garantir la stabilité chimique de l'eau et d'éviter les phénomènes de corrosion ou de formation de dépôts.

V.6.1.3 Réduction de la turbidité :

Une amélioration des étapes de post-traitement, notamment par une filtration complémentaire, permettrait de réduire la turbidité et d'assurer une meilleure qualité visuelle de l'eau.

V.6.1.4 Surveillance continue :

La mise en place de systèmes de suivi en temps réel (capteurs de pH, de conductivité et de turbidité) est recommandée afin de détecter rapidement toute anomalie et d'intervenir efficacement.

V.6.2. Recommandations pour l'eau souterraine

V.6.2.1 Traitement de la dureté :

Compte tenu des fortes concentrations en calcium et magnésium, il est conseillé de mettre en place des procédés d'adoucissement, tels que l'échange d'ions ou la nano filtration, afin de limiter les problèmes d'entartrage.

V.6.2.2 Réduction des nitrates :

La présence de nitrates nécessite l'application de traitements adaptés, comme la dénitrification biologique ou les procédés membranaires, afin de respecter les normes de potabilité.

V.6.2.3 Protection des zones de captage :

Il est important de renforcer la protection des zones de recharge et des forages en mettant en place des périmètres de sécurité, afin de limiter les apports de pollution d'origine agricole ou domestique.

V.6.2.4 Suivi de la salinité :

Une surveillance régulière des concentrations en chlorures est nécessaire pour détecter toute évolution liée à une éventuelle intrusion marine ou à une contamination saline.

V.6.3 Recommandations liées à la biotechnologie marine

Dans une perspective d'innovation et de développement durable, l'intégration des approches issues de la biotechnologie marine peut contribuer à améliorer la qualité des eaux et à optimiser les procédés de traitement.

V.6.3.1 Valorisation des micros algues pour le traitement de l'eau

L'utilisation de micro algues marines représente une solution prometteuse pour l'épuration des eaux, notamment pour l'élimination des nutriments tels que les nitrates et les phosphates.

Ces micro-organismes peuvent assimiler ces composés pour leur croissance, permettant ainsi une réduction naturelle de la pollution.

V.6.3.2 Utilisation de biofilms marins dans les procédés de filtration

Les biofilms constitués de micro-organismes marins peuvent être exploités dans des systèmes de bio filtration afin d'améliorer l'élimination des matières organiques et des contaminants.

Ces systèmes biologiques offrent une alternative écologique aux traitements chimiques classiques

V.6.3.3 Développement de procédés de bio désalinisation

Certaines recherches en biotechnologie marine explorent l'utilisation de microorganismes halophiles capables de tolérer des environnements salins élevés. Ces micro-organismes pourraient être utilisés pour développer des procédés innovants de réduction de la salinité, en complément des techniques conventionnelles.

V.6.3.4 Production de biomatériaux pour la filtration

Les organismes marins, tels que certaines algues et bactéries, peuvent produire des bios polymères (exo polysaccharides) utilisables comme matériaux filtrants ou adsorbants pour éliminer les métaux lourds et les polluants.

V.6.3.5 Surveillance biologique de la qualité de l'eau

L'utilisation de bio indicateurs marins (micro algues, bactéries) permettrait de détecter rapidement les changements de qualité de l'eau, notamment en cas de pollution.

Ces outils biologiques peuvent compléter les analyses physico-chimiques classiques.

V.6.3.6 Valorisation des rejets de dessalement

Les rejets salins issus des stations de dessalement peuvent être valorisés dans des systèmes aquacoles intégrés (culture de micro algues ou d'organismes marins), réduisant ainsi leur impact environnemental

V.6.4 Perspectives techniques

À moyen et long terme, plusieurs pistes peuvent être envisagées pour améliorer davantage la gestion de l'eau :

- Le recours à des technologies avancées, notamment les membranes et les capteurs intelligents,
- Le développement de systèmes hybrides combinant dessalement et traitement des eaux souterraines,
- L'optimisation de la consommation énergétique des stations de dessalement, □
L'utilisation d'outils de modélisation pour anticiper l'évolution de la qualité de l'eau.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie :

Abderrazak, A. (2014). *Procédé de dessalement et qualité physico-chimique de l'eau dessalée par la station de Honaine. Mémoire de master en biologie. Alimentation et nutrition.* Tlemcen : Abou baker Belkaid .

Absar, B. (2012). *Modélisation et simulation de systèmes de dessalement d'eau de mer par osmose inverse et énergies renouvelables.* Doctorat en science. Génie des procédés. Mostaganem : Abdelhamid ben badis .

AFNOR. (2019). *Qualité de l'eau – Méthodes d'analyse.* saint-denis : AFNOR

Amitouche, M. (2016). *Impacts des rejets des stations de dessalement sur le milieu récepteur.* Doctorat en science en hydraulique. Hydraulique. Biskra : Mouhamed khider .

APHA. (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.*

Boukelal, I., & Hanane, A. (2015). *Étude du procédé de dessalement de l'eau de mer et de la qualité physico-chimique de l'eau dessalée.* Mémoire de master génie des procédés. Génie chimique. Mostaganam : Abdelhamid Ben badis .

Chapra, S. (2008). *Surface Water-Quality Modeling.* USA: McGraw-Hill.

Habet, M. (2010). *Le dessalement de l'eau en Algérie.*

HCEFLCD. (2006). *Qualité des ressources en eau.* rabat. Maroc

Maurel, A. (2006). *Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres.* 2ème édition TEC & DOC .

OMS (Organisation mondiale de la Santé). (1987). *Directives relatives à la qualité de l'eau potable.*

OMS (Organisation mondiale de la Santé). (2006). *Guidelines for Drinking-water Quality.*

OMS (Organisation mondiale de la Santé). (2017). *Recommandations pour la qualité de l'eau potable.*

OMS & UNICEF. (2007). *Rapport sur l'accès à l'eau potable.*

PAER. (2010). *Programme d'alimentation en eau potable.*

Rodier, J. (1996). *L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer.* 10^{ème} édition Paris : Dunod.

Rodier, J. (2016). *L'analyse de l'eau.* Paris :Dunod.

Sigg, L., et al. (2014). *Chimie de l'environnement*. 5^{ème} édition lausanne : presses polytechnique et universitaire romande

JOURNAUX :

Journal officiel de la République Algérienne N°35 171998.

Journal officiel de la République Algérienne N°75 23 mars 2011 **Journal officiel** de la République Algérienne N°18

ANNEX

ANNEX I : analyse microbiologique

Gélose lactose au TTC et à l'heptadécylsulfate de sodium : Milieu de base.

Lactose20 g

Peptone10 g

Extrait de Levure06 g

Extrait de viande05 g

Bleu de bromothymol0, 05 g

Agar agar15 à 25 g / l

Eau distillée1000 ml

Stérilisation 121°C pendant 15 minutes, répartition du milieu à raison de 225 ml par Falcon. PH final après stérilisation à 25°C : $7,2 \pm 0,1$

Solution TTC :

Chlorure de 2, 3,5-triphényltétrazolium (TTC).....0,05 g

Eau distillée stérile100 ml

Solution d'heptadécylsulfate de sodium.

Heptadécylsulfate de sodium (Tergitol 72)0,2 g

Eau distillée stérile100 ml

Milieu complet :

Milieu de base100 ml

Solution TTC.....05 ml

Solution d'heptadécylsulfate de sodium05 ml

Stérilisation 121°C pendant 15 minutes, répartition du milieu à raison de 225 ml par flacon. PH final après stérilisation à 25°C : $7,2 \pm 0,1$

Bouillon au tryptophane :

Digestat tryptique de caséine.....10 g L-
 Tryptophane.....01 g
 Chlorure de sodium.....05 g
 Eau distillée1000 ml

Gélose tryptonée au soja (TSA) :

Digestat tryptique de caséine.....15 g
 Peptone de soja.....05 g
 Chlorure de sodium05 g
 Agar – agar15 à 25 g / l

Stérilisation 121°C pendant 15 minutes, répartition du milieu à raison de 225 ml par flacon. PH final après stérilisation à 25°C : 7,2 ± 0,1

Gélose Viande Foie :

Base viande foie20 g
 Glucose0,75 g
 Amidon..... 0,75 g
 Sulfite de sodium.....1,2 g
 Carbonate de sodium.....0,67 g
 Agar-agar.... 11 g
 Eau distillée.....1000 ml

Gélose à la Bile, à l'Esculine et à l'Azoture (BEA) :

Tryptone.....17, 0 g
 Peptone03,0 g
 Extrait de levure05,0 g
 Bile de bœuf déshydratée.....10,0 g
 Chlorure de sodium (NaCl).....05,0 g

Esculine01,0 g

Citrate d'ammonium ferrique0,5 g

Azoture de sodium (NaN₃).....0,15 g

Agar – Agar08 à 10 g

Eau distillée1000 ml

Stérilisation 121°C pendant 15 minutes, répartition du milieu à raison de 225 ml par Falcon.

PH final après stérilisation à 25°C : 7,2 ± 0,1 **Bouillon**

SFB (Selenite-F Broth) :

Tryptone5,0 g

Lactose..... 4,0 g

Phosphate disodique10,0 g

Sélénite acide de sodium4,0 g

pH = 7,0

Eau distillée.... 1000 ml

Paramètre	unités	Valeur indicatives
Escherichia Coli	n/100ml	0
Entérocoques	n/100ml	0
Bactéries sulfitoréductices y compris les spores	n/20ml	0

TABLEAU 8: PARAMETRES MICROBIOLOGIQUE AVEC VALEURS INDICATIVES

ANNEX II : analyse physico-chimique

Paramètre	UNITES	VALEURS INDICATIVES
Alcalinité	mg/l CaCO ₃	65 pour les eaux dessalées ou déminéralisées (valeur minimale)
Calcium	mg/l	200
Chlorure	mg/l	500
Concentration en ions hydrogène	Unité PH	≥ 6,5 et ≤ 9
Conductivité à 20°C	μS/cm	2800
Dureté (TH)	mg/l CaCO ₃	500
Fer total	mg/l	0,3
Manganèse	μg/l	50
Phosphore	mg/l	5
Potassium	mg/l	12
Sodium	mg/l	200
Sulfates	mg/l	400
Température	°C	25

TABLEAU 9: PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUE AVEC VALEURS INDICATIVES

Résumé :

Ce mémoire vise à étudier et évaluer la qualité des eaux à travers l'analyse de certains paramètres physico-chimiques et biologiques. Des échantillons d'eau ont été prélevés et analysés au laboratoire, puis les résultats ont été comparés aux normes en vigueur. Les résultats montrent des variations de qualité selon les sites de prélèvement, ce qui nécessite un suivi régulier pour garantir la sécurité de l'eau

الملخص

تهدف هذه المذكرة إلى دراسة وتقييم جودة المياه من خلال تحليل بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية. تم جمع عينات مياه وإخضاعها للتحليل في المختبر، ثم مقارنة النتائج بالمعايير المعمول بها. أظهرت النتائج وجود اختلافات في جودة المياه حسب أماكن أخذ العينات، مما يستدعي المراقبة المستمرة لضمان سلامتها.

Abstract

This thesis aims to study and assess water quality through the analysis of physical, chemical, and biological parameters. Water samples were collected and analyzed in the laboratory, and the results were compared with standard guidelines. The findings show variations in water quality depending on sampling locations, highlighting the need for continuous monitoring to ensure safety.