

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Supérieure d'Agronomie de Mostaganem



N°: /PV/2025

DEPARTEMENT DEUXIEME CYCLE

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du **diplôme**

D'INGENIEUR AGRONOME

Spécialité : sciences du sol et l'environnement



Présenté par

SMAINE FERRAGUI Fatima Zohra

Thème

[Handwritten signature]
GORINE 26/2

Évaluation physico-chimique des ressources en eaux souterraines à usage potable.

Soutenu le :

devant la composition du jury :

Qualité	Nom et prénom	Grade	structure de rattachement
Président	ZAIDI Hachemi	MCA	ESA MOSTAGANEM
Encadrant	GORINE Mohamed	MCB	ESA MOSTAGANEM
Examineur	BOURMITA Younes	MCA	ESA MOSTAGANEM

Année Universitaire: 2024/2025

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Supérieure d'Agronomie de Mostaganem



N° : /PV/2025

DEPARTEMENT DEUXIEME CYCLE

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme

D'INGENIEUR AGRONOME

Spécialité : sciences du sol et l'environnement

Présenté par

SMAINE FERRAGUI Fatima Zohra

Thème

*Évaluation physico-chimique
des ressources en eaux
souterraines à usage potable.*

Soutenu le :

devant la composition du jury :

Qualité	Nom et prénom	Grade	structure de rattachement
Président	ZAIDI Hachemi	MCA	ESA MOSTAGANEM
Encadrant	GORINE Mohamed	MCB	ESA MOSTAGANEM
Examineur	BOURMITA Younes	MCA	ESA MOSTAGANEM

Année Universitaire: 2024/2025

Remerciement :

Avant tout, j'élève ma profonde gratitude vers le Très-Haut, mon Dieu, source inépuisable de sagesse, de force et d'inspiration. C'est par Sa bienveillance que j'ai pu franchir avec sérénité les étapes de ce travail. À Lui reviennent les louanges éternelles pour m'avoir guidé avec courage, clarté et endurance dans les épreuves.

J'adresse également mes sincères remerciements à Monsieur Gorine. Il m'est difficile d'exprimer toute la reconnaissance que je lui porte. Son accompagnement constant a profondément marqué mon parcours toute au long mes années d'études. Ses conseils avisés et sa confiance ont été des repères précieux, m'encourageant à viser l'excellence et à développer une pensée rigoureuse haute. Il a été bien plus qu'un encadrant : un véritable artisan de ma formation.

Je présente mes profonds remerciements pour Mr : ZAIDI Hachemi au tant que président et Mr : BOURMITA Younes au tant que examinateur pour avoir accepté examiner et évaluer mon modeste travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes celles et ceux qui, de près ou de loin, m'ont soutenu tout au long de ce mémoire.

Dédicace :

À toi, ma mère bien-aimée, source intarissable de tendresse et de lumière. Ton amour inconditionnel fut l'armure de mon âme, et tes prières, les ailes silencieuses de ma réussite. Nul mot ne saurait contenir la reconnaissance d'être ta fille, ni la profondeur de mon amour pour toi. Que Dieu t'accorde une longue vie, baignée de sérénité et de santé.

À la mémoire de mon père bien-aimé, paix à son âme, qui n'a jamais cessé de se sacrifier pour me voir atteindre les plus hauts sommets. J'aurais tant souhaité qu'il soit présent en ce jour si spécial.

À mon frère Abdelouaheb, mon soutien indéfectible, toujours présent, patient et constant, qui m'a accompagné pas à pas dans la réalisation de ce travail, comme dans toutes les étapes de ma vie. Que Dieu le protège et le garde pour moi.

À mon frère Mohamed, qui ne m'a jamais privé de ses précieux conseils et de ses orientations sages, m'aidant toujours à suivre le bon chemin. Que Dieu le protège également.

À mes sœurs bien-aimées, Amina, Maroua et Khalida, les fleurs de ma vie, qui ont embelli mes jours de leur amour et de leur présence rassurante. Que Dieu les bénisse et les garde toujours à mes côtés.

Je dédie aussi ce travail à ma fidèle amie et compagne de route, Zahira, avec qui j'ai partagé ce parcours académique. Zahira, cette amie loyale qui ne m'a jamais déçue. Je souhaite de tout cœur que notre amitié dure pour toujours. Que Dieu la protège et veille sur elle.

ملخص

في إطار هذه الدراسة، تم تقييم جودة المياه من خلال مؤشر جودة المياه (IQE)، والذي تم تحديده بناءً على تجميع عدد من المعايير الفيزيائية والكيميائية المستخلصة من تحاليل دقيقة. ويُعد هذا المؤشر أداة شاملة وفعّالة لتمثيل الجودة العامة للمياه المخصصة للاستهلاك البشري، كما يُقدم مؤشرات هامة حول مستوى التلوث المحتمل، مما يسهم في تحسين إدارة الموارد المائية ودعم القرارات التنظيمية.

تم تطبيق مؤشر جودة المياه على عشرين (20) عينة من المياه المعدنية الطبيعية ومياه الينابيع المعبأة، وذلك وفقاً لمتطلبات المرسوم التنفيذي الجزائري رقم 14-96 المؤرخ في 4 مارس 2014. تم جمع العينات من مختلف نقاط البيع والمتاجر الكبرى في مدينة مستغانم ومدن أخرى، خلال الفترة الممتدة من جانفي 2024 إلى ماي 2025.

أظهرت النتائج تبايناً ملحوظاً في قيم مؤشر جودة المياه، حيث تراوحت القيم العددية بين 0.98 كحد أدنى و59.53 كحد أقصى، مما يدل على تباين كبير في جودة المياه المدروسة، رغم أن غالبية العينات ظلت ضمن الحدود المسموح بها وفقاً للمعايير المعتمدة.

الكلمات المفتاحية: مؤشر جودة المياه، المعايير الفيزيائية والكيميائية، المياه المعبأة، معايير صلاحية الشرب، تحليل الجودة.

Abstract

In this study, water quality was assessed using the Water Quality Index (WQI), which was determined by aggregating several physicochemical parameters obtained through detailed analyses. The WQI serves as a comprehensive and effective tool for representing the overall quality of water intended for human consumption and provides critical insights into potential pollution levels, there by supporting water resource management and regulatory decision-making.

The WQI was applied to twenty (20) samples of natural mineral and spring bottled waters, in accordance with the Algerian Executive Decree No. 14-96 of March 4, 2014. The samples were collected from various points of sale and commercial outlets in the city of Mostaganem and other regions between January 2024 and May 2025.

The result revealed significant variability in WQI values, ranging umerically from a minimum of 0.98 to a maximum of 59.53. This wide range reflects notable heterogeneity in the quality of the studied water samples, although the majority of them remain within the permissible limits established by regulatory standards.

Keywords: Water Quality Index, physicochemical parameters, bottled water, drinking water standards, quality assessment.

Résumé

Résumé

Dans le cadre de cette étude, la qualité de l'eau a été évaluée à travers l'indice de qualité de l'eau (IQE), déterminé par la synthèse de plusieurs paramètres physico-chimiques issus d'analyses approfondies. Cet indice constitue un outil synthétique et pertinent, permettant d'appréhender la qualité globale des eaux destinées à la consommation humaine, tout en fournissant des indications précieuses sur le niveau potentiel de pollution, utiles pour la gestion environnementale et la prise de décision réglementaire.

L'application de l'IQE a été effectuée à partir de l'analyse de vingt (20) échantillons d'eaux minérales naturelles et d'eaux de source commercialisées, conformément aux exigences du décret exécutif algérien n° 14-96 du 4 mars 2014. Les échantillons ont été collectés auprès de différents points de vente et surfaces commerciales situés à Mostaganem et dans d'autres localités, durant la période allant de janvier 2024 à mai 2025.

Les résultats obtenus indiquent que l'indice de qualité de l'eau présente une variabilité significative, avec des valeurs numériques classées de manière hiérarchique allant de 0,98 à un maximum de 59,53. Cette amplitude traduit une hétérogénéité notable dans la qualité des eaux analysées, bien que la majorité des échantillons demeurent dans une fourchette conforme aux normes réglementaires en vigueur.

Mots clés : Indice de qualité de l'eau, paramètres physico-chimiques, eaux embouteillées, normes de potabilité, analyse de la qualité.

Liste des tableaux :

Tableau 1 : les normes des paramètres physicochimique d'une eau potable	22
Tableau 2: Norme des paramètres de pollution d'une eau potable.....	23
Tableau 3:Norme des Paramètres microbiologiques.....	24
Tableau 4 : Normes OMS (2006) et algériennes (JORA., 2014) des paramètres physico-chimiques et organoleptiques pour l'eau potable.....	24
Tableau 5: classification des valeurs IQE et leurs recommandations (Braun et al 1972).....	27
Tableau 6 : Localisation des ressources en eau étudié.....	32
Tableau 7 : Paramètres physiques et chimiques des eaux minérales et eaux de sources étudiées en Algérie :	32
Tableau 8: Classification des Cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+).....	38
Tableau 9 : Classification des Anions (Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^-)	38
Tableau 10 : Classification de la minéralisation (Conductivité électrique en $\mu\text{S}/\text{cm}$).....	38
Tableau 11: poids des paramètres physico-chimiques et normes algériennes de qualité des eaux étudiées.	47
Tableau 12 : les valeurs QI de l'eau Lallakhedidja.	48
Tableau 13 : résultats de calcul IQE de Lallakhedidja.....	48
Tableau 14 : résultats des valeurs de l'IQE des eaux étudiées et leurs classifications.	49

Liste des figures :

Figure 1 : Mécanisme simplifié de la circulation thermohaline et répartition de l'eau à la surface des continents (Agathe, et al,2015).	4
Figure 2 : Les différentes composantes de l'hydrosphère (Agathe, et al,2015).....	5
Figure 3 : le cycle de l'eau global (Hill, et al 2010).	8
Figure 4 : les molécules de l'eau dans l'état solide (Agathe, et al,2015).....	9
Figure 5 : Désordre des molécules d'eau: état liquide (Agathe, et al,2015).....	9
Figure 6 : Désordre maximal des molécules d'eau: état gazeux (Agathe, et al,2015).	10
Figure 7 : Quelques agrégats d'eau attendus en phase vapeur (Agathe, et al,2015).....	12
Figure 8 : : Configuration de deux molécules d'eau liées par une liaison hydrogène (Agathe, et al,2015).....	13
Figure 9 : Enchaînement de molécules dans l'eau liquide (Agathe, et al,2015).	13
Figure 10 : carte géographique de la répartition de points d'eaux étudiées en Algérie.	31
Figure 11: teneur de pH des eaux étudiées.	41
Figure 12 : teneur en résidus sec total des eaux étudiées.	42
Figure 13 : teneur en calcium des eaux étudiées.	42
Figure 14: teneur de magnésium des eaux étudiées.	43
Figure 15 : teneur en potassium des eaux étudiées.	44
:Figure 16 : teneur en sodium des eaux étudiées.....	44
Figure 17 : teneur en bicarbonats des eaux étudiées.	45
Figure 18 : teneur en sulfates des eaux étudiées.	45
Figure 19 : teneur en chlorures des eaux étudiées.....	46
Figure 20 : teneur des nitrates des eaux étudiées.	46
Figure 21 : teneur en nitrites des eaux étudiées.	47
Figure 22 : résultat des valeur IQE des eaux étudiées.....	50

Liste des abréviations :

IQE	indice de qualité l'eau
DBO5	Demande Biologique en Oxygène sur 5 jours
DCO5	Demande Chimique en Oxygènes sur 5 jours
T°	température
PH	potentiel d'hydrogène
TDS	Total Dissolved Solids ou Solides Dissous Totaux
NTU	Nephelometric Turbidity Unit(Unité de Turbidité Néphélométrique)
ANRH	agence nationale des ressources hydrauliques
OMS	organisation mondiale de santé
ANSS	agence nationale des sécurité Sanitaire
EEMM	entreprise des eaux minérales de Messerghine
IPA	Institut pasteur d'Algérie
CNT	centre national de toxicologie
OD	oxygène dissout
RS	Résidu sec
UCF	unité formatrice de colonies
TA	titre alcalimétrique
TAC	titre alcalimétrique complet
CE	conductivité électrique
CF	coliformes fécaux
CT	coliformes totaux
UV	ultraviolets

Sommaire :

Remerciement :	
Dédicace :	
ملخص.....	
Abstract.....	
Résumé.....	
Liste des tableaux :	
Liste des figures :	
Liste des abréviations :	
Sommaire :.....	
Introduction générale	1
Introduction.....	2
1.1 Définition de l'eau :	3
1.2. La répartition de l'eau dans le monde :	3
1.3. Situation de l'eau en Algérie :	5
1.4. Le cycle de l'eau :	7
1.5. Etat de l'eau :	8
1.6. Propriétés de l'eau:	10
1.7. Structure atomique simple de la molécule d'eau :	12
1.8. Classification des eaux :	13
1.9. la pollution de l'eau :	15
2.1. Définition de l'eau potable :	18
2.2. Critères de potabilité :	18
2.3. Les différents types d'eau potable	19
2.4. Les étapes de potabilisation de l'eau:	19
2.5. Les critères de la qualité de l'eau:	21

3.1. Objectif du travail	30
3.2.Méthodologie de travail :.....	31
3.3. Typologie des eaux étudiées :	33
3.4. Diagnostic et classification des priorités physico-chimiques des eaux étudiées :.....	37
III.5. Étude de l'indice de qualité de l'eau :.....	39
IV.1. Évaluation des paramètres physico-chimiques:	41
IV.2. Résultats de l'indice IQE :.....	47
IV.3. Interprétation des valeurs IQE des échantillons étudiés:	49
Valeurs extrêmes :.....	49
Conclusion :.....	51
Références bibliographiques :.....	53

Introduction générale

Introduction Générale

Introduction générale

L'eau constitue l'un des piliers fondamentaux de la vie sur Terre. Parmi ses diverses formes, l'eau souterraine représente une ressource stratégique, non seulement en raison de son abondance relative, mais aussi du rôle prépondérant qu'elle joue dans l'approvisionnement en eau potable, notamment dans les zones rurales et périurbaines où les réseaux d'adduction modernes sont déficients ou inexistantes. Cette ressource hydrique, qui transite lentement à travers les formations géologiques, bénéficie d'un processus naturel de filtration lui conférant une qualité physico-chimique souvent supérieure à celle des eaux de surface (Fetter, et al, 2001).

Cependant, cette qualité n'est pas inaltérable. L'eau souterraine est en effet sujette à de nombreuses pressions anthropiques et naturelles susceptibles de compromettre son intégrité chimique. L'infiltration de polluants issus de l'agriculture intensive (nitrates, phosphates), de rejets industriels, de systèmes d'assainissement défectueux ou encore de dépôts géologiques naturellement riches en éléments tels que l'arsenic ou le fluor, peut entraîner une dégradation insidieuse de sa qualité (Hem, 1985).

Face à cette complexité, l'analyse des paramètres physico-chimiques de l'eau souterraine s'impose comme un outil incontournable dans l'évaluation de sa potabilité. Ces paramètres, incluant entre autres le pH, la conductivité électrique, les teneurs en ions majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-) et en oligo-éléments, permettent de juger de la compatibilité de cette eau avec les normes sanitaires internationales telles que celles édictées par l'Organisation Mondiale de la Santé.

Une compréhension rigoureuse du comportement physico-chimique de l'eau souterraine est indispensable pour orienter efficacement les politiques de gestion durable de la ressource (Freeze et al., 1979).

C'est dans cette perspective que s'inscrit le présent travail, qui ambitionne d'analyser de manière rigoureuse les paramètres physico-chimiques des eaux souterraines principalement en Algérie, d'en évaluer la conformité aux standards de potabilité, et d'en tirer les implications sur les plans sanitaire et environnemental. Cette étude, à la croisée des sciences de l'eau, de la chimie analytique et de la gestion des ressources naturelles, se veut une contribution à la valorisation et à la sécurisation d'une ressource aussi précieuse que fragile.

Chapitre 1 :

Généralité sur les eaux

de consommation

Introduction

L'eau constitue un élément fondamental à la vie et au développement des sociétés humaines. Ressource naturelle vitale, elle est indispensable non seulement à la survie des êtres vivants, mais aussi au bon fonctionnement des systèmes biologiques et socio-économiques. Dans ce contexte, l'eau destinée à la consommation humaine revêt une importance particulière, car elle doit répondre à des exigences strictes de qualité afin de préserver la santé publique(OMS).

Selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS), l'eau de consommation doit être exempte d'agents pathogènes, de substances toxiques, et posséder des caractéristiques organoleptiques acceptables, telles qu'un goût, une odeur et une couleur agréables. Elle doit également contenir certains minéraux essentiels à l'organisme humain, tout en maintenant des concentrations inférieures aux seuils réglementaires pour les éléments indésirables (Bartram et Cairncross, 2010).

Les usages de l'eau potable s'étendent au-delà de l'ingestion directe. Ils englobent la préparation des aliments, l'hygiène corporelle, le nettoyage domestique et l'usage médical, ce qui accroît les exigences en termes de sécurité sanitaire. En raison de ces multiples usages, la qualité de l'eau est strictement encadrée par des normes nationales et internationales qui fixent les limites maximales admissibles pour divers paramètres physico-chimiques et microbiologiques (Droop,2004).

1.1 Définition de l'eau :

L'eau est une molécule simple, H₂O, mais elle possède des propriétés uniques qui la rendent essentielle à la vie. Elle agit comme un solvant universel, présente une forte capacité thermique, une tension superficielle élevée, et un comportement anormal de densité. Ces propriétés sont fondamentales pour le fonctionnement des systèmes biologiques et les processus environnementaux (Lehninger *et al.*, 2017).

Sur le plan biologique, l'eau est indispensable à la structure et au fonctionnement des cellules vivantes. Elle représente environ 60 % à 70 % de la masse corporelle humaine et intervient dans les réactions enzymatiques, le transport des nutriments et la régulation de la température corporelle (Chaplin, 2006).

L'eau, très présente sur notre Terre et indispensable à la survie de tout être vivant, animal ou végétal, n'est pas un liquide banal (www.cieau.com).

1.2. La répartition de l'eau dans le monde :**1.2.1. L'eau dans l'océan:**

71 % de la surface de la Terre est recouverte par les mers et les océans, ce qui lui vaut son surnom de « planète bleue ». Cette eau salée représente 97,4 % de l'eau présente sur notre planète et est en perpétuel mouvement. Les océans sont en effet constitués de masses d'eau dont la température et la salinité, donc la densité, varient en fonction du temps et de l'espace. Le déplacement de ces masses d'eau à l'échelle du globe constitue la circulation thermo haline globale. Le moteur principal de cette circulation est la formation d'eaux profondes, qui a lieu dans quelques régions de forte évaporation et/ou refroidissement : principalement en Mer du Groenland (Océan Arctique) et en Mer du Labrador (Atlantique Nord), mais aussi, dans une moindre mesure, en Mer de Weddell (Océan Austral) et au Nord-Ouest de la Méditerranée. Cette formation d'eau profonde est particulièrement étudiée en Méditerranée, car la facilité d'accès de cette région en fait un cas d'étude idéal de ce processus, qui joue, de plus, un rôle important dans le fonctionnement des écosystèmes marins méditerranéens. Les eaux présentes en surface dans ces régions y subissent une forte augmentation de leur densité. Près du pôle Nord, ces eaux denses peuvent ainsi atteindre, au moment de leur formation en surface, la température de congélation de l'eau de mer (environ -2°C du fait de sa teneur en sel).

Elles plongent alors en profondeur, entraînant des eaux avoisinantes moins froides avec lesquelles elles se mélangent, et s'écoulent le long du plancher océanique, constituant la branche profonde de la circulation thermo haline. Ces eaux profondes, dont la température varie entre 2°C et 4°C, sont réchauffées au niveau des tropiques et remontent en surface dans les différents océans de la planète (Pacifique, Indien et Atlantique), atteignant des températures de l'ordre de 30°C. Elles sont finalement ramenées vers le Nord de l'Atlantique par le Gulf Stream (Catherine et Rémy,2015).

1.2.2.L'eau sur les continents:

Sur les 2,6 % d'eau douce restante dans l'hydrosphère, 2,0 % sont gelés de façon quasi-permanente dans les calottes polaires et glaciers (la cryosphère*). Seule 0,6 % de l'eau présente sur Terre est de l'eau douce disponible, qui contient donc moins de 2 grammes par litre de sels minéraux dissous. Cette eau douce est répartie de façon extrêmement inégale à la surface des continents et sa disponibilité à chaque endroit du globe est liée au bilan entre les précipitations et l'évaporation, c'est-à-dire l'écoulement. Les régions du globe qui présentent un déficit permanent d'eau se situent le long des tropiques et représentent 31 % de la surface totale des continents (CatherineetRémy,2015).

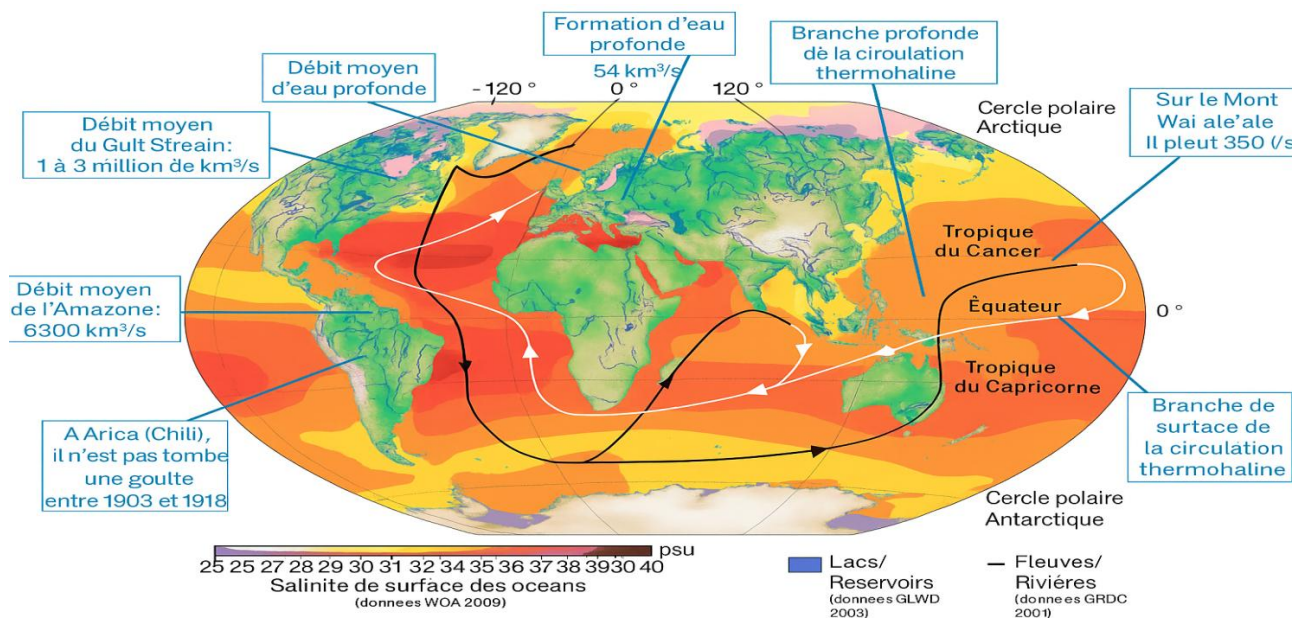


Figure 1 : Mécanisme simplifié de la circulation thermohaline et répartition de l'eau à la surface des continents (Agathe et al.,2015)

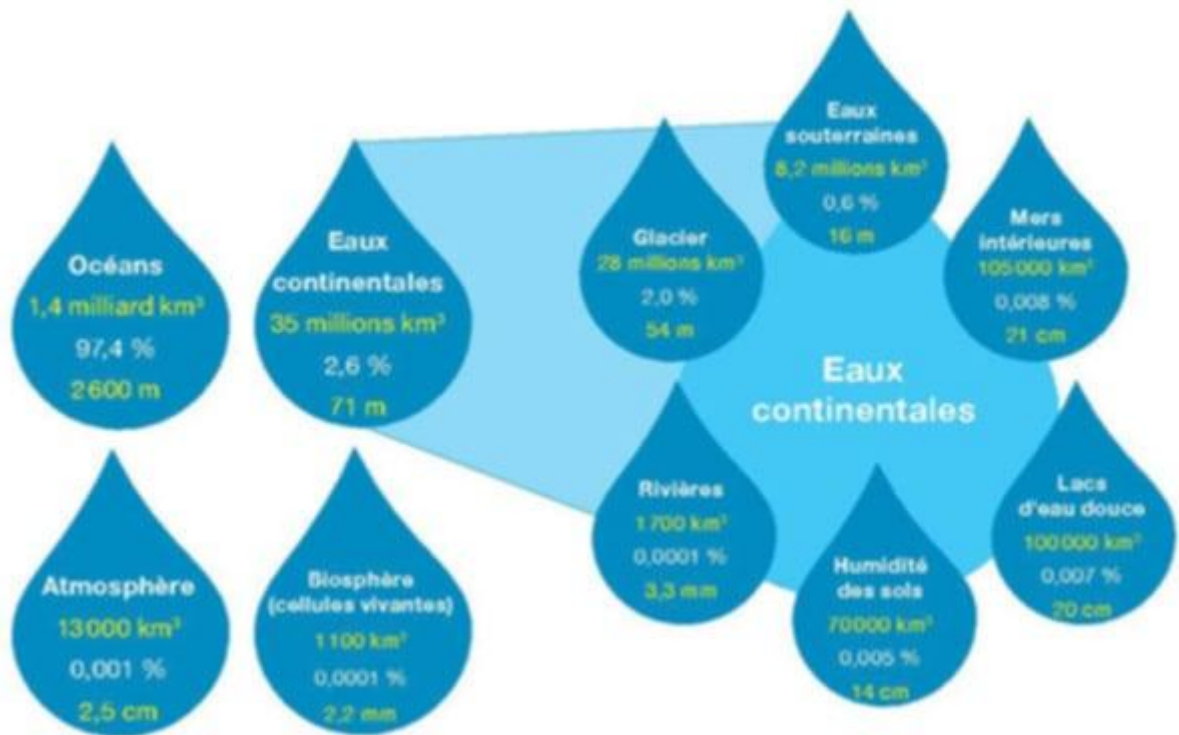


Figure 2 : Les différentes composantes de l'hydrosphère (Agathe et al.,2015)

1.3.Situation de l'eau en Algérie :

1.3.1.Ressources en eau de surface

La connaissance des ressources en eau superficielle est basée sur :

- Un réseau pluviométrique constitué de 1 122 postes
- Un réseau hydrométrique constitué de 147 stations
- Un réseau climatologique constitué de 200 stations
- De nombreuses études ont montré que les cours d'eau situés au Nord de l'Algérie se caractérisent par un régime hydrologique simple (alternance interannuelle de hautes et de basses eaux), traduisant ainsi la prépondérance d'un seul mode d'alimentation.
- Le régime d'alimentation des cours d'eau en Algérie du Nord à climat méditerranéen est de type pluvial. Le maximum des débits est enregistré pendant la période hivernale et le début du printemps, et le minimum (période d'étiage) s'étend sur quatre à cinq mois pendant la période estivale et le début de l'automne.

1.3.1.1. Les eaux de surface :

Qui constituent les deux tiers des potentialités du pays (11 milliards de m³) sont caractérisées par une irrégularité qui ne permet pas de mobiliser plus de 5 à 6 milliards de m³ de plus leur répartition spatiale impose des transferts importants pour satisfaire les besoins des régions les moins pourvues.

1.3.1.2. Les eaux vertes:

Le terme "Eau Verte" désigne la portion des prélèvements bénéfiques pour le couvert végétal, effectuées à partir des ressources renouvelables, provenant directement de l'eau atmosphérique, et qui alimente l'agriculture pluviale, le pâturage naturel et les forêts.

Le total des consommations d'eau Vertes se divisent en :

- Consommations des zones agricoles pluviales : montant total des précipitations directement consommées par l'agriculture pluviale (la Céréaliculture).
- Consommations des Pâturages : montant total des précipitations directement consommée par les zones de pâturage.
- Consommations Forestières : montant total des précipitations directement consommée par les forêts.

Les ressources en eaux souterraines renouvelables disponibles dans les aquifères du nord du pays sont estimés à près de 2,5 milliards de m³.

Elles sont réparties à travers 177 aquifères, et leur étude est basée sur un inventaire constitué de

- 9000 sources
- 23 000 forages
- 60 000 puits

Les différents aquifères recensés en Algérie se répartissent pour la plupart en 3 types principaux : aquifères karstiques, aquifères alluviaux, bassins sédimentaires (bureau d'étude progrès Algérie, 2016).

1.4. Le cycle de l'eau :**1.4.1. Évaporation et évapotranspiration:**

L'énergie solaire chauffe les surfaces terrestres et océaniques, provoquant l'évaporation de l'eau liquide en vapeur d'eau. Les plantes contribuent à cette perte d'eau par transpiration, formant ensemble l'évapotranspiration (Cosandey et Robinson,2000).

1.4.2. Condensation:

La vapeur d'eau en altitude se refroidit et se condense en fines gouttelettes d'eau formant des nuages (Cosandey et Robinson,2000).

1.4.3. Précipitations:

Lorsque les gouttelettes s'agglomèrent dans les nuages, elles deviennent trop lourdes et tombent sous forme de précipitations (Anctil et Rousselle,2021).

1.4.4. Interception:

Une partie de l'eau de pluie est interceptée par la végétation (feuilles, branches) avant d'atteindre le sol (Cosandey et Robinson,2000).

1.4.5. Infiltration et percolation:

L'eau atteint le sol et s'infiltré dans les couches superficielles. Une partie de cette eau descend vers les nappes phréatiques (Margat,1990).

1.4.6. Ruissellement:

L'eau qui ne s'infiltré pas s'écoule à la surface et rejoint les cours d'eau. Ce processus alimente les rivières, les fleuves, et les océans (Cosandey et Robinson,2000).

1.4.7. Stockage:

L'eau peut être temporairement stockée dans les glaciers, les lacs, les nappes souterraines, et les sols. Ces réservoirs participent à la régulation du cycle (Euzen et Marc,2013).

1.4.8. Retour à l'atmosphère:

Par évaporation ou transpiration, l'eau retourne dans l'atmosphère, bouclant le cycle (Anctil et Rousselle,2021).

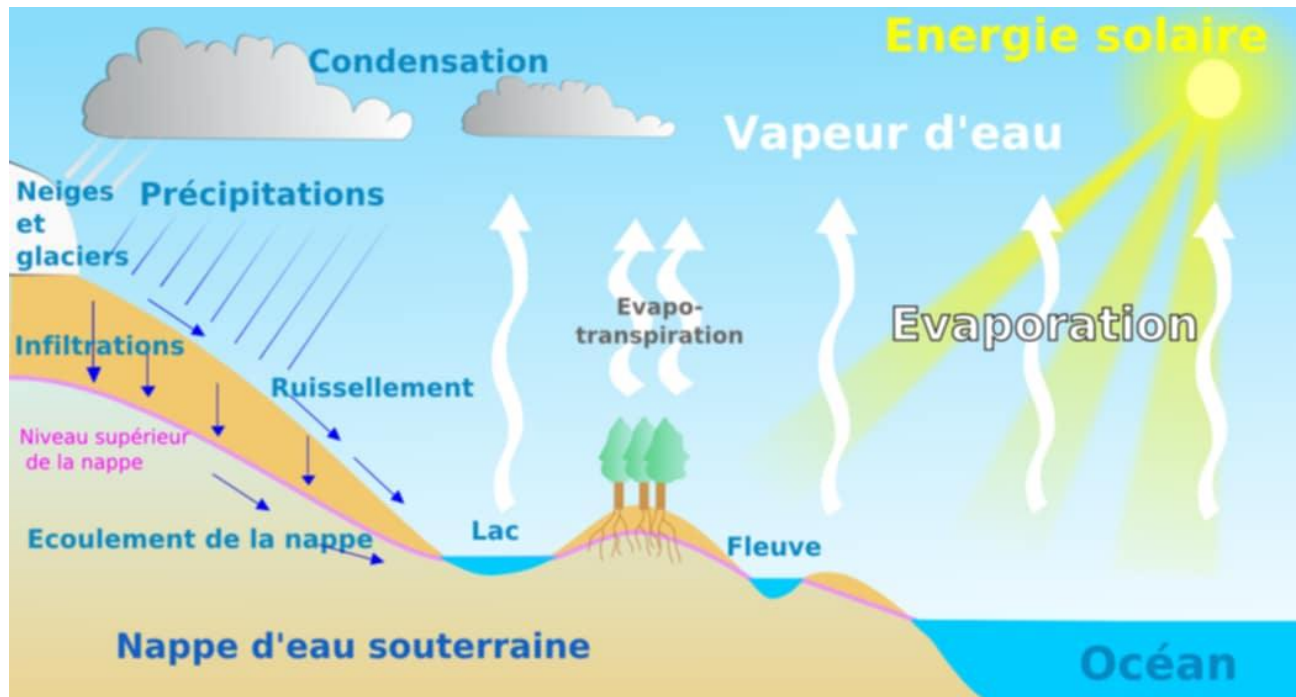


Figure 3 : Cycle de l'eau global (Hill et al., 2010).

1.5. Etat de l'eau :

L'eau est le seul composé naturel qui existe sous forme solide, liquide et gazeuse.

Avec l'action conjuguée de la chaleur (solaire) et de la pression (atmosphérique), elle change d'état:

1.5.1.État solide :

À l'état solide, les molécules d'eau sont fortement liées entre elles par des liaisons hydrogène, formant une structure cristalline hexagonale ordonnée. Cela limite leur liberté de mouvement, d'où une forme et un volume définis.

Caractérisé par:

- Structure ordonnée (réseau cristallin) ;
- Faible énergie cinétique ;
- Volume et forme constants (Atkins et Paula,2010).

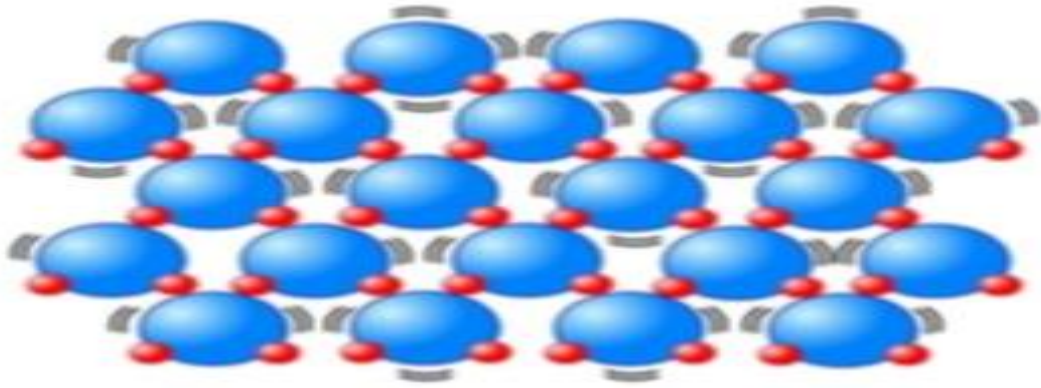


Figure 4 : Molécules de l'eau dans l'état solide (Agathe et *al.*,2015)

1.5.2.État liquide:

À l'état liquide, les molécules d'eau restent liées par des liaisons hydrogène transitoires, mais elles ont une liberté de mouvement partielle, permettant au liquide de s'écouler tout en gardant un volume défini mais pas de forme propre.

Caractérisé par:

- Liens hydrogène dynamiques ;
- Volume constant, forme variable.

Plus grande mobilité que dans l'état solide (Eisenberg et Kauzmann,1969).

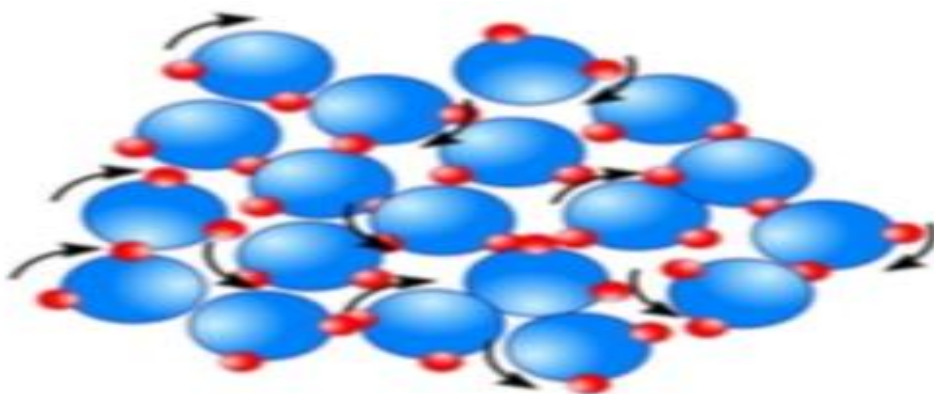


Figure 5 : Désordre des molécules d'eau: état liquide (Agathe et *al.*,2015)

1.5.3.État gazeuse :

À l'état gazeux, les molécules d'eau sont séparées et en mouvement rapide. Les liaisons intermoléculaires sont négligeables, ce qui permet au gaz d'occuper tout l'espace disponible, sans forme ni volume définis.

Caractérisé par:

- Molécules libres et éloignées ;
- Ni forme, ni volume définis ;
- Énergie cinétique maximale (Zemansky et Dittman,1997).

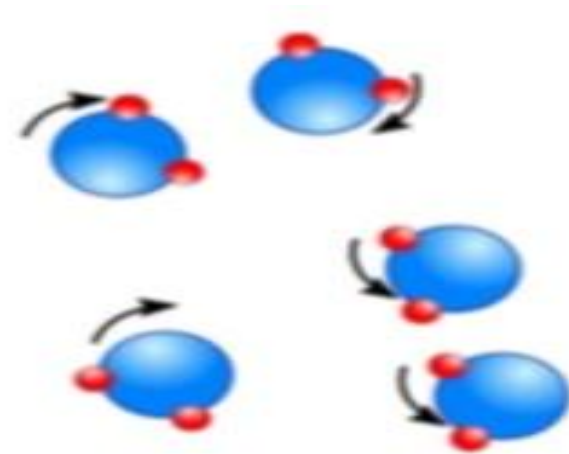


Figure 6 : Désordre maximal des molécules d'eau: état gazeux (Agathe et *al.*,2015)

1.6. Propriétés de l'eau:

1.6.1. propriétés physiques:

L'eau dans son état liquide, possède des paramètres physiques spécifiques qui lui confèrent une structure exclusive ,voici ces paramètres :

Formule chimique : H_2O

Masse molaire : 18,01528 g/mol

État physique à température ambiante (25 °C) : liquide

Point de fusion : 0 °C (273,15 K)

Point d'ébullition : 100 °C (373,15 K) à 1 atm

Densité : 0,997 g/cm³ à 25 °C

Chaleur spécifique : 4,18 J/g·K

Conductivité thermique : 0,606 W·m⁻¹·K⁻¹ à 25 °C

Indice de réfraction : 1,333 à 20 °C

Constante diélectrique : 78,5 à 25 °C

Tension superficielle : 71,99 mN/m à 25 °C

(Atkins, et Paula,2014 ; Lide, 2004)

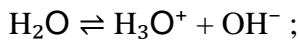
1.6.2. Propriétés chimiques :

Polarité : Très polaire (moment dipolaire $\approx 1,85$ D)

Angle de liaison H–O–H : $\approx 104,5^\circ$

Solvant amphotère: Peut agir comme acide ou base

Auto-ionisation :



Produit ionique de l'eau : $K_w = 1,0 \times 10^{-14}$ (à 25 °C)

Réactivité :

Réagit avec les oxydes non métalliques pour donner des acides (ex. $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$)

Réagit avec des métaux actifs (ex. $\text{Na} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NaOH} + \text{H}_2\uparrow$) (Cotton et *al*,1999; Housecroft et Sharpe,2012).

1.6.3. Propriétés biologiques:

Solvant biologique universel : dissout les sels, les sucres, les acides aminés, les gaz.

Milieu de réactions biochimiques : catalyseur ou support de nombreuses réactions enzymatiques.

Rôle dans la régulation thermique : grâce à sa chaleur spécifique élevée.

Transport : transporte les nutriments, les déchets et les gaz dans les organismes vivants.

Hydratation moléculaire : stabilise les structures des protéines et des membranes (Alberts et *al.*,2014; Nelson et Cox,2017).

1.6.4. Propriétés moléculaires:

Structure moléculaire : Molécule coudée (bent)

Hybridation de l'oxygène : sp^3

Longueur des liaisons O–H : environ 0,096 nm

Liaisons hydrogène : Forte capacité à former des liaisons H intermoléculaires

Organisation dans l'état solide (glace) : Structure hexagonale (glace Ih), plus ouverte que le liquide, expliquant sa flottabilité (Petrucci et *al.*,2017;Levine,2009).

1.7. Structure atomique simple de la molécule d'eau :

La molécule d'eau (H_2O) est composée de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène, liés par deux liaisons covalentes polaires. L'oxygène a pour configuration électronique $1s^2 2s^2 2p^4$, avec six électrons de valence, dont deux participent aux liaisons, tandis que les quatre autres forment deux doublets non liants (Petrucci et *al.*, 2017).

La géométrie de la molécule est angulaire (forme en "V") avec un angle de liaison H–O–H d'environ $104,5^\circ$, dû aux répulsions électroniques entre les doublets liants et non liants. Ce comportement est expliqué par la théorie VSEPR (AX_2E_2), et l'hybridation sp^3 de l'atome d'oxygène (Housecroft et Sharpe,2012).

La molécule d'eau possède un moment dipolaire élevé ($\sim 1,85$ D), la rendant fortement polaire. Cette polarité permet la formation de liaisons hydrogène intermoléculaires, à l'origine des propriétés physiques particulières de l'eau comme sa tension superficielle ou son point d'ébullition élevé (Atkins et Paula,2010).

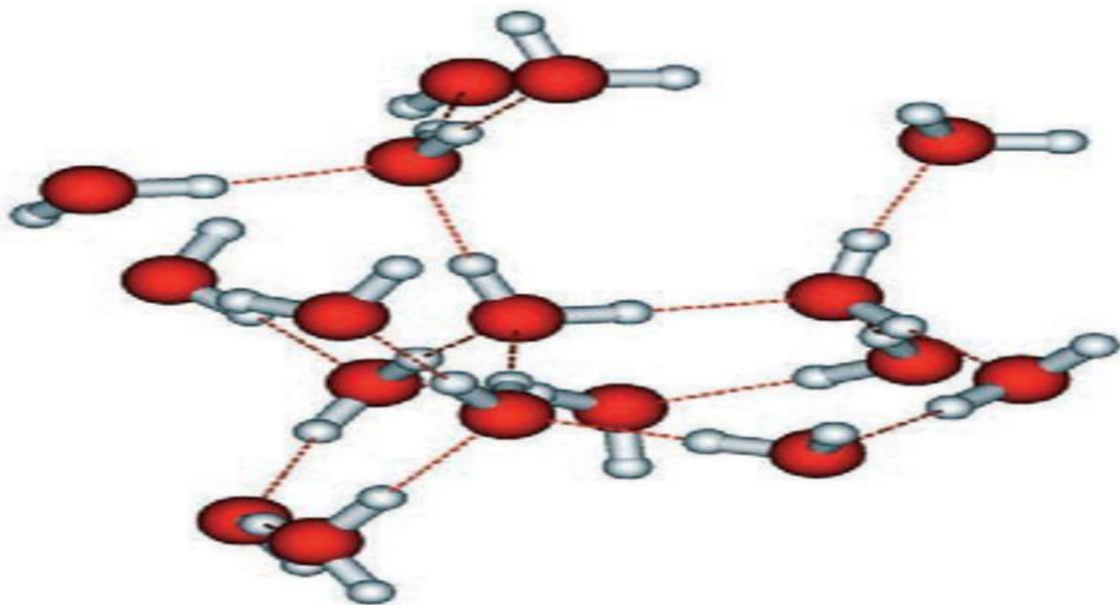


Figure 7 : Quelques agrégats d'eau attendus en phase vapeur (Agathe et *al.*,2015)

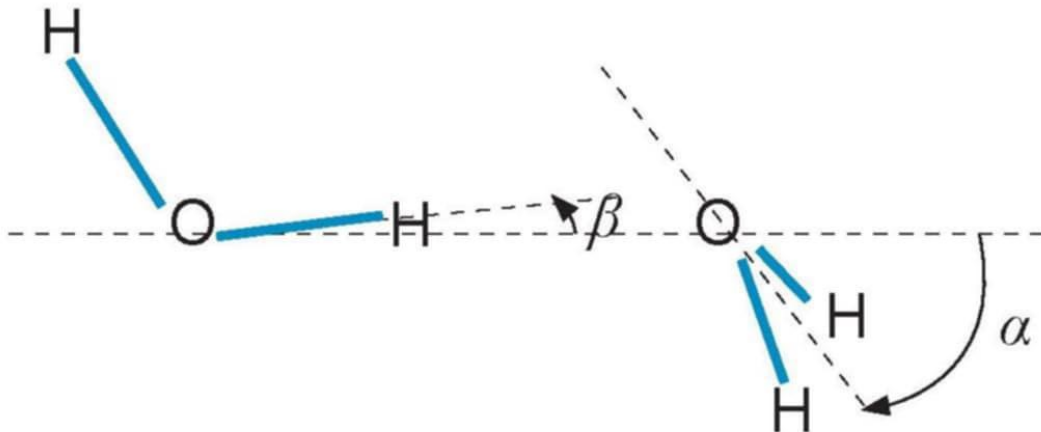


Figure 8 : Configuration de deux molécules d'eau liées par une liaison hydrogène (Agathe et al.,2015)

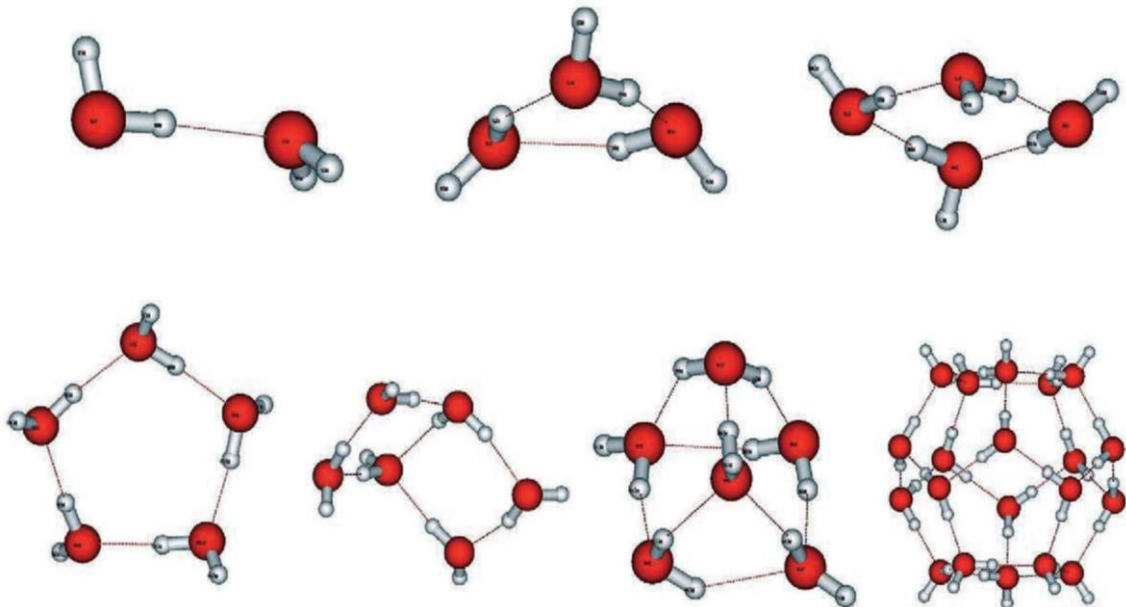


Figure 9 : Enchaînement de molécules dans l'eau liquide (Agathe et al.,2015)

1.8.Classification des eaux :

1.8.1. Les eaux naturelles :

Les réserves disponibles d'eaux naturelles sont constituées des eaux souterraines (infiltration, nappe), des eaux de surface retenues ou en écoulement (barrages, lacs, rivières) et des eaux de mer.

1.8.1.1. Les eaux souterraines :

Du point de vue hydrogéologique les couches aquifères se divisent en:

Nappes phréatiques ou alluviales: peu profondes et alimentées directement par les précipitations pluvieuses ou les écoulements d'eau en dessus.

Nappes captives: plus profondes que le premier et séparées de la surface par une couche imperméable. L'alimentation de ces nappes est assurée par l'infiltration sur leurs bordures (Cardot,1999).

Les eaux souterraines, enfouies dans le sol, sont habituellement à l'abri des sources de pollution. Puisque les caractéristiques de ces eaux varient très peu dans le temps, les usines de purification n'ont pas à résoudre les problèmes dus aux variations brusques et importantes de la qualité de l'eau brute. Les principales caractéristiques des eaux souterraines sont présentées ci-dessous (Desjardins,1997) :

1. Turbidité faible: Les eaux bénéficient d'une filtration naturelle dans le sol.
2. Contamination bactérienne faible. Le très long séjour dans le sol, la filtration naturelle et l'absence de matières organiques ne favorisent pas la croissance des bactéries.
3. Température constante: Les eaux souterraines sont à l'abri du rayonnement solaire et de l'atmosphère.
4. Indice de couleur faible: Les eaux souterraines ne sont pas en contact avec les substances végétales, sources de couleur.
5. Débit constant : Contrairement à celles des eaux de rivière, la qualité et la quantité des eaux souterraines demeurent constantes durant toute l'année.
6. Dureté souvent élevée. Les chaux peuvent être en contact avec des formations rocheuses contenant des métaux bivalents (Mg^{2+} , Ca^{2+} , etc.) responsables de la dureté.
7. Concentration élevée de fer et de manganèse. Ces métaux, souvent présents dans le sol, sont facilement dissous lorsque l'eau ne contient pas d'oxygène dissous.

1.8.1.2. Eaux de surface :

Les eaux de surface désignent les eaux présentes à la surface du sol, telles que les rivières, les lacs, les étangs et les réservoirs. Elles résultent du ruissellement des précipitations et sont souvent utilisées pour l'approvisionnement en eau et la production d'énergie hydraulique(Chapra,2008).

1.8.1.3. Eaux de mers et océans :

Les eaux de mers et océans constituent les grandes masses d'eau salée couvrant environ 71 % de la surface terrestre. Leur salinité moyenne est d'environ 35 g/L, et elles jouent un rôle crucial dans la régulation climatique et le cycle hydrologique global (Knauss et Garfield,2017).

1.8.2. Les eaux usées :

Les eaux usées sont les eaux provenant des activités domestiques, industrielles ou agricoles, contenant des substances organiques et inorganiques, souvent polluées, nécessitant un traitement avant rejet dans l'environnement (Metcalf et Eddy,2014).

1.8.3. Les eaux de consommation :

Les eaux de consommation sont des eaux traitées et conformes aux normes sanitaires, destinées à l'usage humain pour boire, cuisiner, et l'hygiène(Hurst et *al.*,2010).

1.9.la pollution de l'eau :**1.9.1. Définition de la pollution de l'eau :**

La pollution de l'eau se définit comme l'introduction de substances ou d'énergies, directement ou indirectement, dans les milieux aquatiques, provoquant des effets nuisibles sur la qualité de l'eau, la santé humaine, les écosystèmes aquatiques ou les usages de l'eau (Chapman,1996).

Elle résulte de l'apport excessif de substances polluantes, d'origine anthropique ou naturelle, dépassant la capacité d'auto-épuration du milieu (Rodier,2009).

1.9.2.Origines de pollution de l'eau:

1.9.2.1.Activités agricoles : usage intensif de pesticides et engrais azotés qui ruissellent vers les cours d'eau (Chapra,2008).

1.9.2.2.Rejets industriels : déversement d'effluents chimiques et métaux lourds non traités (Sawyer,2003).

1.9.2.3.Eaux usées domestiques : rejet direct ou partiel des eaux ménagères sans traitement adéquat (Metcalf et Eddy,2014).

1.9.2.4. Pollution diffuse urbaine : ruissellement des routes, hydrocarbures, déchets solides (Schnoor, 1996).

1.9.3. Types de pollution de l'eau :

1.9.3.1. Pollution organique : matières organiques biodégradables (eaux usées, déjections animales (Metcalf et Eddy, 2014).

1.9.3.2. Pollution chimique : pesticides, hydrocarbures, métaux lourds, solvants (Sawyer et al., 2003).

1.9.3.3. Pollution microbiologique : bactéries, virus, protozoaires pathogènes (Tchobanoglous et al., 2003).

1.9.3.4. Pollution thermique : rejets d'eau chaude perturbant l'écosystème aquatique (Chapra, 2008).

1.9.3.5. Pollution radioactive : éléments radioactifs issus d'activités nucléaires (Manahan, 2010).

1.9.3.6. Pollution agricole : causée par le lessivage et le ruissellement des engrais chimiques (azote, phosphore), pesticides, herbicides et déjections animales vers les eaux de surface et les nappes phréatiques ce qui provoque des phénomènes tels que l'eutrophisation, la contamination des eaux potables, et la destruction des écosystèmes aquatiques (Chapra, 2008).

Chapitre 2: Généralité de la qualité de l'eau potable

2.1. Définition de l'eau potable :

Une eau est dite potable lorsqu'elle satisfait à un certain nombre de critères de qualité définis par la réglementation, notamment en ce qui concerne les paramètres microbiologiques, chimiques et organoleptiques (Rodier,2009).

L'eau potable est une eau qui satisfait aux exigences sanitaires définies par la réglementation et qui est propre à la consommation humaine (Montiel,1999).

2.2. Critères de potabilité :

Les critères de définition de la potabilité d'une eau pour qu'elle considérée potable,sont assez vagues et comportent environ une soixantaine de critères,mais ils peuvent être résumés comme suit (Rodier et *al.*,2009 ; Degremont, 2005) :

2.2.1. Les paramètres physico-chimiques (Normes OMS):

pH: 6,5-8,5

Température: 12-25 °C

Conductivité: $\leq 2500 \mu\text{S}/\text{cm}$ à 25 °C

Dureté (TH) : 15-50 °f (ou 150-500 mg/LCaCO₃)

Chlorures (Cl⁻) : $\leq 250 \text{ mg/L}$

Sulfates (SO₄²⁻) : $\leq 250 \text{ mg/L}$

Potassium (K⁺) : $\leq 12 \text{ mg/L}$

Calcium (Ca²⁺) : 10-100 mg/L

Magnésium (Mg²⁺) : 10-50 mg/L

Fer total (Fe) : $\leq 0,3 \text{ mg/L}$

Manganèse (Mn²⁺) : $\leq 0,1 \text{ mg/L}$

Aluminium (Al) : $\leq 0,2 \text{ mg/L}$

Ammonium (NH₄⁺) : $\leq 0,5 \text{ mg/L}$

Résidu sec : 1500

2.2.2. Les paramètres organoleptiques :

Couleur : ≤ 15 (éventuellement jusqu'à 20)UCV (unités colorimétriques de platine-cobalt)

Turbidité : ≤ 1 NTU (ou JTU)

Goût : Non perceptible

Odeur : Non perceptible

2.3. Les différents types d'eau potable**2.3.1. L'eau de source:**

Eau potable d'origine souterraine, microbiologiquement saine, protégée contre les risques de pollution, et qui ne subit aucun traitement chimique (Rodier et *al.*,2009).

2.3.2. L'eau minérale naturelle :

Eau souterraine d'origine profonde caractérisée par une composition minérale stable. Elle est embouteillée à la source et reconnue pour ses propriétés favorables à la santé (Reichardt et Bonnet,2007).

2.3.3. L'eau du robinet (eau distribuée):

Eau provenant de sources superficielles (rivières, lacs) ou souterraines, traitée en station pour répondre aux normes de potabilité (Boudou et *al.*,2006).

2.3.4. L'eau pluviale ou de pluie :

Rarement utilisée directement comme eau potable sans traitement intensif, eau atmosphérique collectée, nécessitant des traitements avant tout usage potable (Rodier et *al.*,2009).

2.3.5. L'eau de puits :

Eau souterraine captée à faible profondeur, souvent sujette à contamination si le puits est mal protégé (Drouet,2003).

2.4. Les étapes de potabilisation de l'eau:**2.4.1. Prétraitement :**

Cette étape vise à éliminer les grosses particules et à préparer l'eau pour les traitements suivants:

2.4.1.1. Dégrillage et tamisage : Retrait des débris solides.

2.4.1.2. Pré-ozonation : Oxydation des matières organiques et amélioration de la coagulation (Bernard, 2021)

2.4.2. Clarification :

Elle comprend plusieurs sous-étapes pour éliminer les matières en suspension.

2.4.2.1. Coagulation : Ajout de coagulants (ex. : sulfate d'aluminium) pour neutraliser les charges des particules colloïdales (Cebedoc, 1996).

2.4.2.2. Floculation : Formation de flocs plus gros par agitation lente.

2.4.2.3. Décantation : Sédimentation des flocs au fond du bassin (Bernard,2021).

2.4.3. Filtration :

L'eau clarifiée passe à travers des filtres pour éliminer les particules restantes :

Filtres à sable : Retiennent les particules fines.

Filtres à charbon actif : Éliminent les composés organiques et améliorent le goût et l'odeur(Bernard,2021)

2.4.4. Désinfection :

Élimination des micro-organismes pathogènes pour garantir la sécurité sanitaire de l'eau :

2.4.4.1. Chloration : Ajout de chlore ou de ses dérivés.

2.4.4.2. Ozonation : Utilisation d'ozone comme agent oxydant.

2.4.4.3. Rayons ultraviolets (UV) : Inactivation des micro-organismes par irradiation (Bernard,2021)

2.4.5. Traitements spécifiques:

Selon la qualité de l'eau brute, des traitements supplémentaires peuvent être nécessaires :

2.4.5.1. Adoucissement : Réduction de la dureté de l'eau.

2.4.5.2. Reminéralisations: Ajout de minéraux pour équilibrer la composition de l'eau.

2.4.5.3. Élimination des nitrates, pesticides, etc. : Utilisation de procédés spécifiques comme l'osmose inverse (Bernard,2021)

2.4.6. Contrôle qualité:

Des analyses régulières sont effectuées pour s'assurer que l'eau traitée respecte les normes de qualité :

Paramètres physico-chimiques : pH, turbidité, conductivité, etc.

Paramètres microbiologiques : Présence de bactéries, virus, etc (Bernard,2021).

2.5. Les critères de la qualité de l'eau:

2.5.1. Paramètres Physiques :

2.5.1.1. Température:

Influence la solubilité de l'oxygène et l'activité biologique (Rodier,2009).

2.5.1.2. Turbidité:

Mesure la concentration en particules en suspension. Exprimée en NTU. (Rodier,2009).

2.5.1.3. Oxygène dissous (O₂):

Essentiel pour la vie aquatique. Diminue en cas de pollution organique (Sawyer et *al.*,2003).

2.5.2. Paramètres Chimiques :

2.5.2.1. pH (potentiel d'hydrogène) :

Mesure l'acidité ou l'alcalinité de l'eau (norme potable : (6,5–8,5)(Degremont,2005).

2.5.2.2. Dureté:

Liée à la concentration en ions calcium (Ca²⁺) et magnésium (Mg²⁺), la dureté de l'eau peut influencer la formation de dépôts calcaires et l'efficacité des savons et détergents (Degremont,2005).

2.5.2.3. Conductivité:

Indicateur de la concentration totale en sels dissous, une conductivité élevée peut signaler une minéralisation excessive de l'eau (Bertrand,2008).

2.5.2.4. Alcalinité : Capacité tampon de l'eau, liée aux ions bicarbonates et carbonates (Rodier,2009).

2.5.2.5.Minéralisation globale:

2.5.2.5.1.Cations:

Calcium (Ca^{2+}) et Magnésium (Mg^{2+}): Principaux contributeurs à la dureté de l'eau (Rodier,2009).

Sodium (Na^+): des concentrations élevées indiquent une contamination (Degremont, 2005).

Potassium (K^+): présent en faibles concentrations dans l'eau potable(Rodier,2009).

2.5.2.5.2.Anions:

Chlorures (Cl^-): Des concentrations élevées peuvent conférer un goût salé à l'eau et indiquer une contamination(Rodier,2009).

Sulfates (SO_4^{2-}): À des concentrations élevées, ils peuvent avoir un effet laxatif et altérer le goût de l'eau (Rodier,2009)..

Nitrates (NO_3^-):Indicateurs de pollution agricole ou domestique,des concentrations supérieures à 50 mg/L peuvent être nocives, notamment pour les nourrissons, en causant la méthémoglobinémie(Degremont,2005),

Bicarbonates (HCO_3^-): Contribuent

au pouvoir tampon de l'eau, aidant à maintenir un pH stable (Rodier,2009)

Tableau 1 : les normes des paramètres physicochimique d'une eau potable

paramètres physicochimique	Unité	norme (OMS, 2006)	norme (ADE, 2005)	norme (Algérienne, 2000)
Température	°C	≤ 25	≤ 25	-
pH	-	6.5 à 8.5	6.5 à 9	6.5 à 8.5
conductivité	u s/cm	2800	1000	Max 2000
Résidu sec	mg/l après séchage	Max 2000	Max 1500	1.5 à 2
Alcalinité totale	°F (degré français)	≥ 2.5	≥ 2.5	-
Dureté totale	°F (degré français)	≤ 15	≤ 15	10 à 50
Chlorure	mg/l de Cl^-	200	200	200 à 500
Sulfates	mg/l de SO_4^-	200	200	200 à 400
Sodium	mg/l de Na_+	200	150	200

2.5.3. Paramètres organoleptiques:

2. 5. 3.1. Odeur : Peut indiquer la présence de substances organiques, hydrocarbures ou agents chlorés (Rodier,2009)

2.5.3.2. Goût : Influencé par les sels, métaux ou composés chimiques. Signale une altération de la potabilité (Degremont,2005)

2.5.3.3. Couleur perçue : Altère l'aspect visuel. Souvent due à des matières organiques dissoutes (Rodier,2009)

2.5.4. Paramètre concernant les substances toxiques et matières indésirables :

2.5.4.1. Métaux lourds (Pb, Cd, Hg) : Très toxiques, même à faible concentration(Rodier (2009).

2.5.4.2. Pesticides (herbicides, insecticides, fongicides) : Provoquent des effets neurologiques, hormonaux, cancérigènes.

(Chapman ,1996).

2.5.4.3. Hydrocarbures : Toxiques, altèrent la qualité de l'eau et affectent la faune (Rodier,2009).

2.5.6 Paramètres de pollution:

2.5.6.1.Matières organiques:

Présence de composés organiques biodégradables (ex. : matières fécales, débris végétaux) qui consomment de l'oxygène dissous lors de leur décomposition (Rodier,2009).

Substances radioactives:

Éléments radioactifs naturels ou anthropiques pouvant contaminer les eaux souterraines ou de surface (IAEA, 2010).

Tableau 2: Norme des paramètres de pollution d'une eau potable.

paramètres de pollution	unité	normes (OMS 2006)	normes (UE 1998)	normes (algérienne, 2000)
Nitrates	mg/l	(Voir azote)	50	Au maximum 50
Nirites	mg/l	(Voir azote)	0.5	Au maximum 0,1
Ammonium	mg/l	0.5	Max 0.5	Au maximum 0,5
Phosphate	mg/l	0.5	Max 0.5	-

2.5.7. Paramètres biologiques:

2.5.7.1. DBO₅ (Demande Biologique en Oxygène) : Oxygène requis pour dégrader la matière organique biodégradable sur 5 jours (Rodier,2009).

2.5.7.2. DCO (Demande Chimique en Oxygène) : Oxygène nécessaire pour l'oxydation chimique de la matière organique (Rodier,2009).

2.5.7.3. Coliformes fécaux / E. coli : Indicateurs de contamination fécale. Présence interdite en eau potable (Rodier,2009;Chapman,1996).

2.5.7.4. Micro-organismes : Algues, cyanobactéries ou protozoaires signalent des déséquilibres écologiques (Chapman,1996) .

Tableau 3:Norme des Paramètres microbiologiques.

paramètres microbiologique	unités	Normes	norme franco-anglaise	normes française
coliformes totaux	N/100ml	0 dans 100 ml	-	0 dans 100 ml
Colifoemes fécaux	N/100 ml	0 dans 100 ml	0 dans 100 ml	0 dans 100 ml
Streptocoques	N/200 ml	0 dans 100 ml	0 dans 51	0 dans 100 ml
Fécaux	N/200 ml	-	0 dans 100 ml	0 dans 200 ml
clostridium	N/51 ml	0 dans 51	0 dans 201	0 dans 51
salmonelle	N/100ml	0 dans 100 ml	-	0 dans 100 ml
Staphylocoque	N/101	0 dans 101	-	0 dans 101
Pathogène	-	-	-	-
Entérovirus	-	-	-	-

Tableau 4 : Normes OMS (2006) et algériennes (JORA., 2014) des paramètres physico-chimiques et organoleptiques pour l'eau potable.

substance	unité	Normes OMS (2006)	normes algériennes (JORA 2014)
cuivre	mg/l	2	2
trihalométhanes (THM)	mg/l	100	100
tompérature	°C	25	25
alcalinité	mg/l en CaCO ²	500	500
calcium	mg/l	100	200
potassium	mg/l	12	12
chlorure	mg/l	250	500
concentration en ions hydrogènes	unité de PH	6.5 - 9.5	≤ 6.5 et ≤ 9
Durité	mg/l en CaCO ²	200	200
conductivité à 20°C	uS/cm		2800
a maximum	mg/l	0.5	0,5
couleur	mg/l platine	--	15
odeur 12°C	Taux dilution		4
Saveur 25°C	Taux dilution		4
Turbidité	NTU	5	5
Aluminium	mg/l	0.2	0,2
Fluorure	mg/l	1.5	1.5
Fer Totale	mg/l		0,3
manganèse	ug/l	40	50
Nitrate	mg/l	50	50
Nitrite	mg/l	0.2	0,2
oxydabioité	mg/l	--	5
Sulfates	mg/l	400	500
zinc	mg/l	3	5
cadmium	mg/l	3	3
cyanure	mg/l	0,07	0,07
Résidu sec	mg/l	1500	1500

2.6.Indice de qualité de l'eau :

L'indice de qualité de l'eau (IQE) est un outil synthétique permettant d'évaluer l'état global d'un échantillon d'eau en combinant plusieurs paramètres physico-chimiques, biologiques et microbiologiques en une seule valeur numérique facilement interprétable.

Il vise à simplifier la communication des résultats de suivi environnemental tout en conservant une rigueur scientifique qui constitue une base essentielle pour l'étude de la qualité de l'eau en contexte francophone (Baubet et *al.*,1993) .

Le développement du calcul de l'IQE a débuté dans les années 1970 avec le Water Quality Index (WQI), mis au point par la National Sanitation Foundation aux États-Unis. Cette méthode intègre neuf paramètres physico-chimiques transformés en notes normalisées (0 à 100) à l'aide de courbes spécifiques, puis pondérés selon leur importance

Environnementale(Chapman,1996).

2.7.Détermination de l'indice de qualité de l'eau :

Différents chercheurs utilisent fréquemment des paramètres tels que l'oxygène dissous,

Les phosphates totaux, la température, le pH, la turbidité, la demande chimique en oxygène

les coliformes fécaux, les solides totaux, la demande biochimique en oxygène et les nitrates.

Le calcul de l'IQE a été effectué à l'aide de l'indice arithmétique pondéré de la qualité de l'eau, initialement proposé par Horton (1965) et développé par Brown et al (1972). La valeur numérique de la cote de qualité (q_i) est obtenue à partir de la qualité de l'eau donnée Ensuite multipliées

Par un facteur de pondération qui est relatif à l'importance de la tester la qualité de l'eau et donc la formule de base est comme suit:

$$IQE = \sum_{i=1}^n W_i \times Q_i$$

Où :

W_i = Poids du paramètre i .

Q_i = Qualité partielle du paramètre i .

Avec : $W_i = k/SI$:

K = constante de normalisation (souvent soit égale à 1).

SI = norme ou standard admissible pour le paramètre i .

Et: $Q_i = C_i/SI \times 100$

c_i = concentration mesurée du paramètre i .

Tableau 5: classification des valeurs IQE et leurs recommandations (Braun et al 1972)

Valeur WQI	Catégorie	Qualité de l'eau	Utilisations recommandées
0,1- 25	Excellente	Eau très propre, sans pollution notable	Potable (après traitement léger), irrigation, aquaculture, baignade, usage domestique, industrie sensible
25-50	Moyenne	Eau modérément polluée	Irrigation, industrie, navigation, baignade occasionnelle, besoin de traitement pour la consommation humaine
> 50	Mauvaise	Eau polluée. usage limité	Usage restreint à des fins industrielles spécifiques (ex: refroidissement).nécessite traitement lourd pour tout usage

Chapitre 3 : Matériels et méthodes

Chapitre 3 : Matériels et Méthodes

3.1. Objectif du travail

L'Algérie recèle un patrimoine hydrominéral d'une richesse remarquable, dont les gisements les plus significatifs se concentrent principalement dans les régions septentrionales du territoire. Cette abondance s'explique par la diversité des étages bioclimatiques et la complexité des régimes hydrogéologiques qui conjugués à une hétérogénéité géologique prononcée, confèrent à ces eaux une signature physico-chimique d'une grande variété (Fur, 2004).

Captée à l'état naturel dans des contextes géologiques protégés, exempte de tout traitement chimique ou désinfection préalable, l'eau minérale se distingue par sa pureté originelle et la stabilité de sa composition minérale, garante de son intégrité sanitaire et de ses vertus organoleptiques (Lachassagne, 2019).

C'est dans cette perspective que s'inscrit le présent travail, lequel ambitionne de contribuer à une évaluation qualitative approfondie, accompagnée d'une analyse comparative des principales marques d'eaux embouteillées disponibles sur le marché local de la wilaya de Mostaganem.

Ce travail vise à évaluer les caractéristiques physico-chimiques des eaux souterraines destinées à la consommation humaine dans une perspective de contrôle de qualité et de conformité aux normes sanitaires en vigueur (OMS, 2017; Rodier, 2009).

Il s'agit notamment:

D'identifier la composition physico-chimique (pH, conductivité, minéralisation, ions majeurs, etc.) des eaux étudiées ;

De comparer les résultats obtenus aux normes internationales de potabilité (OMS, 2017) et aux normes algériennes (NA 4700-2005);

D'étudier l'indice de la qualité des eaux étudiées.

D'apporter des éléments de compréhension utiles à la gestion durable des ressources en eau souterraine, en particulier dans les zones où ces eaux constituent la principale source d'approvisionnement potable.

Chapitre 3 : Matériels et Méthodes

3.2.Méthodologie de travail :

3.2.1.Collecte des données :

Dans le cadre de la réalisation de notre étude, nous avons procédé à la collecte d'une vingtaine de marques d'eaux naturelles et d'eaux de source embouteillées. Ces échantillons ont été acquis dans diverses régions en Algérie vis à vis la diversité de patrimoine hydrique.

Le choix des marques s'est basé sur plusieurs critères, notamment leur disponibilité sur le marché et leur répartition représentative sur les quatre grandes régions du territoire national.

Les étiquettes de chaque bouteille ont été soigneusement récupérées en vue d'analyser les informations qu'elles présentent.

Cette analyse a permis de décrire la nature et l'origine des eaux, ainsi que leur composition physique et chimique et bien sûr d'orienter le consommateur vers le meilleur choix.

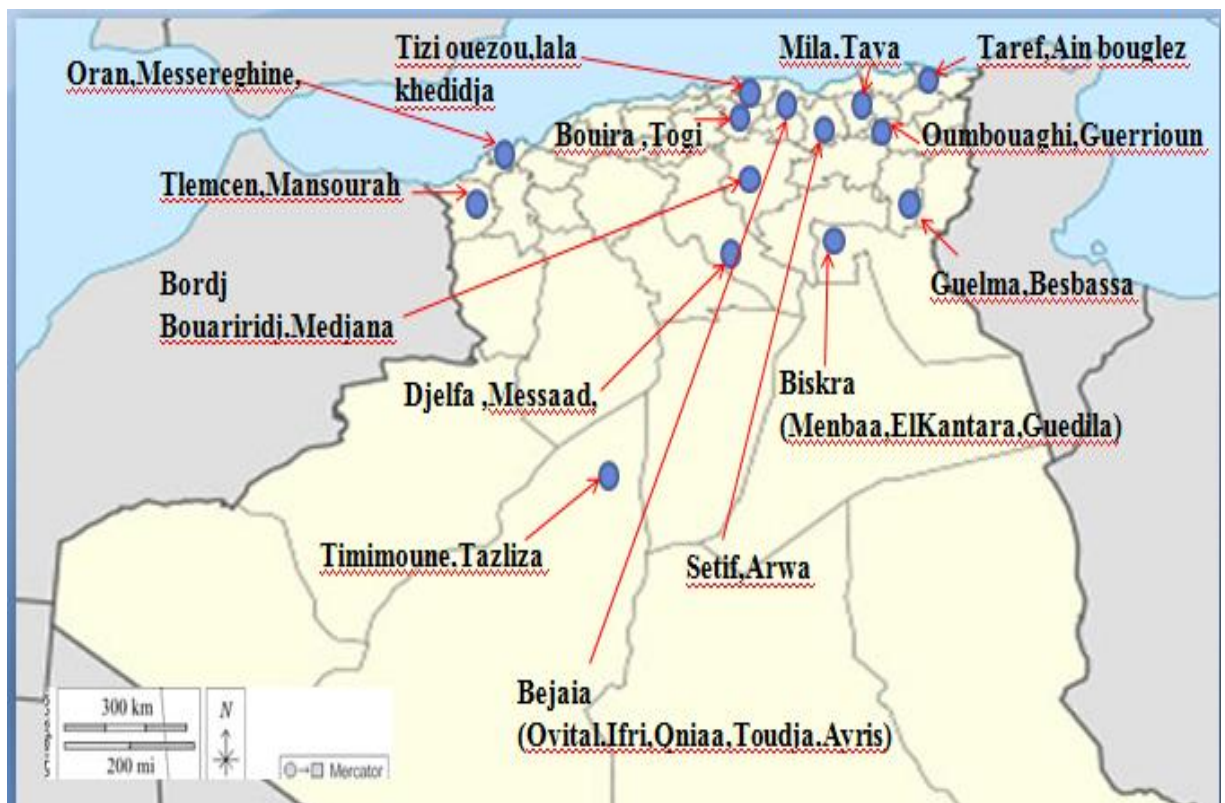


Figure 10 : Carte géographique de la répartition de points d'eaux étudiées en Algérie

Chapitre 3 : Matériels et Méthodes

Tableau 6 : Localisation des ressources en eau étudié

Catégories	nom de l'eau	Localisation
eaux minérales	Mansourah	Tlemcen
	Messerghine	Oran
	Lalla-Khedidja	Tizi Ouzou
	Menbaa	Biskra
	ovital	Béjaïa
	Ifri	Béjaïa
	Arwa	setif
	El-Kantara	Biskra
	Toudja	Béjaïa
	Togi	Bouira
	Guerrioun	Oum El Bouaghi
	Medjana	Bordj Bou Arreridj
Eaux de sources	Guedilla	Biskra
	messaad	Djelfa
	Qniaa	Béjaïa
	Ayris	Béjaïa
	Besbassa	Guelma
	Ain-Bouglez	El Tarf
	Tazliza	Timimoune

3.2.2. Caractérisation physico-chimique des eaux minérales et des eaux de source en Algérie

L'analyse physico-chimique des eaux minérales et des eaux de source commercialisées en Algérie repose sur des données officielles provenant des étiquettes réglementaires, conformément aux dispositions légales en vigueur. Ces informations sont validées par des laboratoires agréés, à savoir l'Institut Pasteur d'Algérie (IPA), l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH), ainsi que le Centre National de Toxicologie (CNT), lesquels constituent les seules entités habilitées à cet effet (Hazazab, 2011). La caractérisation analytique comprend l'évaluation de divers paramètres, notamment le pH, la teneur en résidus secs à 180 °C, ainsi que les concentrations des principaux anions (NO_3^- , NO_2^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Cl^-) et cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+). Ces paramètres permettent non seulement de juger de la potabilité de l'eau, mais également de classifier les types d'eaux selon leur origine et leur composition minérale (OMS, 2017 ; Rodier et *al.*, 2009).

Tableau 7 : Paramètres physiques et chimiques des eaux minérales et eaux de sources étudiées en Algérie :

Chapitre 3 : Matériels et Méthodes

Ressources en eau	Localisation	pH	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	Résidu sec %
Mesaad	Tamadmt Djelfa	7,13	79	27	2	50	275	156	40	2,3	0,01	611
Ovital	Akbou Béjaia	6,92	80	14	1	30	214	75	50	5,1	0	300
Ayris	Akbou Béjaia	7,7	65,6	6,8	1,9	28,5	234,24	75	37	2,7	0,01	276
Ifri	Ouzellaguen Béjaia	7,2	99	29	2,1	35	265	68	98	5	0,02	550
Togi	Chorfa Bouira	7,46	73,41	19,25	1,8	36	0	28,9	43,76	5,93	0,01	366
Taya	Tadjnent Mila	7,3	47,25	12,48	1	55	0	82	17,37	11	0,01	400
Menbaa	Biskra	7,1	93	31	4	68	326	153	84	8,9	0,02	725
medjana	Bordj Bou Arreridj	7,12	136	42	2	62	458	211	47	1,8	0,01	953
Qniaa	Akbou Béjaia	7,4	11,66	26,97	2,48	48,22	259,02	66,66	92,12	12,39	0,01	602
Arwa	Setif	7,33	120	23	1	56	256	104	100	46,5	0,01	450
Guerrioun	Oum Elboughi	7,3	72	17	2	11	336	11	21	4,6	0	475
Besbassa	Gelma	7,29	54,16	2,64	2	54,16	164,7	4	10	9	0,01	206
El kantara	Beskra	7,32	90	37	3	36	247	162	59	9,6	0,01	636
Toudja	Béjaia	7,19	59	15,2	1	36	0	21	69	0,29	0,01	383
Ain bouglez	El taref	6,87	4,6	3,75	1	29	0	10	30	9	0,06	140
Tazliza	Timimoune	7,32	48	20	8	48	104	96	76	20	0,01	407
Guedila	Beskra	7,35	78	78	2	29	0	0	40	4,5	0,01	564
Mansourah	Tlemcen	7	85	24	1	30	362	53	48	12	0	407
Messerghin	Oran	7,6	49	34,5	11,5	7	341,6	10	105	1,5	0	400
Lalla khedidja	Tizi ouazou	7,42	49	5	0,4	3,1	168	3	7	5,94	0	178

3.3. Typologie des eaux étudiées :

3.3.1. Eaux minérales:

Eau minérale Mansourah:

Mansourah est une eau minérale naturelle algérienne, classée parmi les eaux oligo-minérales grâce à un résidu sec inférieur à 500 mg/L. Elle offre une composition équilibrée en minéraux essentiels, sans contre-indication pour la santé. L'entreprise s'engage à garantir une qualité constante par des contrôles réguliers, assurant pureté, sécurité et traçabilité du produit (eau-mansourah,2025).

Eau minérale Messerghine:

L'eau minérale de Messerghine, originaire de la région d'Oran en Algérie, est réputée pour sa pureté naturelle et sa composition équilibrée en minéraux. Captée à la source Messerghine, cette eau

Chapitre 3 : Matériels et Méthodes

bénéficie d'un environnement géologique favorable, riche en roches calcaires, ce qui lui confère une légère minéralisation adaptée à une consommation quotidienne. Elle est particulièrement appréciée pour sa fraîcheur et sa contribution à l'hydratation saine (EEMM,2025).

Eau minérale Lallakhedidja :

L'eau minérale naturelle LallaKhedidja, produite par Cevital Agro-Industrie, est une eau de montagne puisée directement à la source Thinzert, située au flanc du mont Kouriet dans le massif du Djurdjura, en Kabylie. Cette eau oligominérale non gazeuse se distingue par sa pureté et sa légèreté, résultant d'un lent parcours à travers les roches qui l'enrichit naturellement en minéraux essentiels à la vie (Hamecha et Haddad, 2015)

Eau minérale Menbaa:

L'eau minérale Menbaa est une eau naturelle algérienne captée à partir de sources souterraines situées dans une région montagneuse, réputée pour la pureté de son environnement faiblement minéralisée. Embouteillée selon des normes sanitaires strictes, l'eau Menbaa préserve ses qualités organoleptiques et sa composition minérale stable, offrant un goût frais et neutre (MRESH, 2025).

Eau minérale Ovital :

L'eau minérale algérienne Ovital est une marque d'eau de source produite par la SARL Boissons Ithri, située à Akbou, dans la wilaya de Béjaïa.Elle est classé Ovital parmi les eaux de source, et non comme eau minérale naturelle. Cela signifie qu'elle est soumise à des réglementations spécifiques concernant son exploitation et sa commercialisation (www.ovitale.dz, 2025).

Eau minérale Ifri :

L'eau minérale naturelle Ifri est captée à Ighzer Amokrane, dans la commune d'Ifri-Ouzellaguen, wilaya de Béjaïa, au pied du massif du Djurdjura. Ce site, situé à l'entrée de la vallée de la Soummam, offre un environnement préservé et riche en ressources hydriques. L'eau Ifri, issue d'un long parcours souterrain à travers les montagnes, est directement pompée de la nappe phréatique sans subir de traitement chimique ni d'ébullition, ce qui lui confère une pureté naturelle et une légèreté appréciée (www.Ifri.dz, 2025).

Eau minérale Arwa:

L'eau minérale Arwa est une eau embouteillée en Algérie et distribuée par plusieurs entreprises locales, dont Trans Ziouche. Elle fait partie des marques couramment consommées dans le pays et est disponible en différents formats pour répondre aux besoins domestiques et

Chapitre 3 : Matériels et Méthodes

professionnels. Elle est produite selon les normes locales de conditionnement et largement distribuée à travers le territoire national (Open Food Fact,2025).

Eau minérale El Kantara:

L'eau El Kantar est une eau minérale naturelle puisée à la source El Kantar, située dans une région reconnue pour la pureté de ses eaux souterraines. Elle est réputée pour sa teneur équilibrée en minéraux essentiels, notamment en calcium et magnésium, ce qui en fait une eau idéale pour une hydratation quotidienne saine (ANSS,2020)

Eau minérale Toudja:

L'eau minérale naturelle Toudja tire son origine de la source ancestrale d'AïnCeur, nichée dans la région montagneuse de Béjaïa en Algérie. Utilisée depuis l'époque romaine, cette source alimenté jadis la ville antique de Saldae grâce à un remarquable aqueduc dont les vestiges subsistent encore aujourd'hui (vitamedz.com, 2025).

Eau minérale Togi :

L'eau minérale Togi est une eau naturelle embouteillée en Algérie, issue de sources souterraines situées dans des zones montagneuses, notamment dans la région de Tichy, en Kabylie (wilaya de Béjaïa). Elle est reconnue pour sa pureté, sa légèreté, et sa composition équilibrée en minéraux, ce qui la rend adaptée à une consommation quotidienne (ANRH, Entreprise Togi Eau Minérale).

Eau minérale Taya:

L'eau minérale naturelle Taya, issue de la source thermale de Hammam Taya dans la wilaya de Guelma (Algérie), est reconnue pour sa pureté et sa composition équilibrée. Légèrement minéralisée, elle contient du calcium, du magnésium, du sodium et des bicarbonates, avec un pH neutre, ce qui la rend idéale pour une consommation quotidienne. Embouteillée par la SARL Sidi El Kheir, cette eau bénéficie de contrôles rigoureux garantissant sa qualité. Réputée dans l'est algérien, l'eau Taya s'inscrit parmi les eaux minérales les plus appréciées du pays (MRESH, 2023).

Eau minérale Guerrioun :

L'eau minérale Guérioune, embouteillée par la SARL Exploitation de source eau minéral guerrioun est distribuée principalement dans la région d'Oum El Bouaghi ainsi que dans plusieurs wilayas avoisinantes. Ces points de distribution incluent les marchés locaux, les supermarchés et les revendeurs spécialisés, permettant une large accessibilité aux consommateurs (ANRH, 2025).

Chapitre 3 : Matériels et Méthodes

Eau minérale Medjana :

L'eau minérale Medjana, issue de la région de Bordj Bou Arirredj en Algérie, est une ressource naturelle précieuse encore peu exploitée industriellement. Les sources locales, notamment celles de Medjana et de Ras El Oued sont réputé pour leur vertus thérapeutiques, attestées par des analyses effectuées par des laboratoires de renom à Alger et Constantine (SARL Medjana Water.bottling, 2011).

III.3.2. Eaux de sources

Eau de source Guedilla:

Guedila est une eau de source algérienne faiblement minéralisée, captée dans la région de Tizi Ouzou. Elle offre une composition équilibrée en minéraux essentiels et garantit une eau pure et saine grâce à des contrôles stricts tout au long du processus d'embouteillage. L'entreprise s'engage à assurer la qualité, la sécurité et la traçabilité pour une consommation fiable et quotidienne (www.guedilla.com, 2025).

Eau de source Messaad:

Eau de source MESSAD jaillit au cœur d'Atlas subsaharien au pied d'une grande réserve d'eau qui s'appelle EL Hiouhi, commune de Tadmit, Djelfa en Algérie dans un parc seins et naturelle loin des zones urbaines (messaad.water, 2025).

Eau de source Qniaa:

L'eau de source Qniaa est une eau naturelle algérienne captée dans la vallée de la Soummam, dans la région d'Akbou, wilaya de Béjaïa. Prélevée en profondeur et embouteillée directement sur le site de la source, elle conserve ses qualités naturelles et sa composition minérale stable. Faiblement à modérément minéralisée, elle est adaptée à une consommation quotidienne pour toute la famille (Open Food Fact, 2022).

Eau de source Ayris :

L'eau de source Ayris est une eau pure et légère, provenant des sources situées au sud des montagnes du Djurdjura. Elle est connue pour être fraîche, légère et riche en minéraux. En général, l'eau de source est une eau naturelle, issue des nappes phréatiques souterraines, non polluée et sans traitement chimique.

Elle est captée dans les montagnes du Djurdjura et considérée comme pure et légère, avec une composition minérale favorable à la santé (Open Food Facts, 2016).

Chapitre 3 : Matériels et Méthodes

Eau de source Besbassa:

C'est une eau de source naturelle embouteillée par la société El Dahouara, basée à Souk Ahras en Algérie. Elle est disponible en bouteilles de 0,5 L et 1,5 L, distribuée dans divers points de vente tels que supermarchés, épiceries et plateformes en ligne. Cette eau est appréciée pour sa disponibilité et son conditionnement adapté aux besoins des ménages (Mhamed, 2004).

Eau de source Ain bouglez :

AïnBouglez est une eau de source algérienne faiblement minéralisée (RS \approx 140 mg/L), embouteillée à El Tarf. Elle présente une composition riche en potassium (\approx 40 mg/L), ce qui nécessite une consommation modérée chez les personnes souffrant d'insuffisance rénale. Sa faible teneur en nitrates (\approx 9 mg/L) et l'absence de germes pathogènes garantissent une bonne qualité microbiologique (Open Food Fact, 2018).

Eau de source Tazliza:

Tazliza est une eau de source algérienne faiblement minéralisée, captée à Adrar, avec un résidu sec $<$ 500 mg/L, 48 mg/L de calcium et 20 mg/L de magnésium. Elle convient à une consommation quotidienne. Classée Nutri-Score A, elle respecte les normes sanitaires algériennes. L'entreprise s'engage à garantir une qualité constante par des contrôles réguliers, assurant pureté, sécurité et traçabilité du produit (Open Food Fact, 2021).

3.4. Diagnostic et classification des priorités physico-chimiques des eaux étudiées :

Classification des 03 grandes propriétés chimiques :

Cette classification des trois principales propriétés chimiques, des normes directrices de l'OMS et les normes algériennes, sert à référencier la qualité chimique des ressources en eau ainsi qu'elle permet de garantir leur potabilité suivant les plans sanitaire (Jora,2011 ;OMS,2006) :

3.4.1. Les cations :

Chapitre 3 : Matériels et Méthodes

Tableau 8 : Classification des Cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+)

Cation	Faible	Moyenne	Élevée
Calcium (Ca^{2+})	< 60 mg/L (Taya, Bessbassa; Toudja, Ain bouglez, Tazliza, Messerghin, Qniaa, Lalla Khedidja)	60 - 120 mg/L (Messaad, Ovital, Ayriss, Ifri, Togi, Menbaa, Arwa, Guerrioun, Guedilla, Menssourah)	> 120 mg/L Medjana
Magnésium (Mg^{2+})	< 30 mg/LT (Messaad, Ovital, Ayriss, Ifri, Togi, Taya, Qniaa, Arwa, Gerrioun, Bessbassa, Toudja, Ain bouglez, Tazliza, menssourah, Lalla Khedidja)	30 — 70 mg/L Menbaa, Medjana, El Kantara, Messerghin)	> 70 mg/L (Guedilla)
Sodium (Na^+)	< 20 mg/L (Guerrioun, Messerghin, Lalla Khedidja)	20 •- 200 mg/L (Messaad, ovital, Ayriss, Ifri, Togi, Taya, Menbaa, Medjana, Qniaa, Arwa, Besbassa, El Kantara, Toudja, Ain Bouglez, Tazliza, Mensourah)	> 200 mg/L
Potassium (K^+)	< 10 mg/L (Messaad, Ovital, Ayriss, Ifri, Togi, Taya, Menbaa, Medjana, Qniaa, Arwa, Guerrioun, Besbassa, El Kantara, Toudja, Ain Bouglez, Tazliza, Guedilla, Manssourah, Lalla Khedidja)	10 - 50 mg/L Messerghin	> 50 mg/L

3.4.2. Les anions

Tableau 9 : Classification des Anions (Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^-)

Anion	Faible	Moyenne	Élevée
Chlorures (Cl^-)	< 250 mg/L toutes les eaux	250 - 600 mg/L	> 600 mg/L
Sulfates (SO_4^{2-})	< 250 mg/L toutes les eaux	250 - 500 mg/L	> 500 mg/L
Nitrates (NO_3^-)	< 10 mg/L toutes les eaux sauf 3	10 — 50 mg/L (Qniaa, Arwa, Tazliza)	> 50 mg/L

3.4.3. La minéralisation

Tableau 10 : Classification de la minéralisation (Conductivité électrique en $\mu\text{S}/\text{cm}$)

Intervalle	Faible	Moyenne	Élevée
Minéralisation $\mu\text{S}/\text{cm}$	< 250 (Besbassa, Ain Bouglez, Lalla Khedidja)	250 - 750 (Messaad, Ovital, Ayriss, Ifri, Togi, Taya, Menbaa, Qniaa, Arwa, Guerrioun, El Kantara, Toudja, Tazliza, Guedilla, Menssourah, Messerghin)	>750 Medjana

Chapitre 3 : Matériels et Méthodes

3.5. Étude de l'indice de qualité de l'eau :

Cette étude évalue l'indice de qualité de l'eau (IQE) de 20 échantillons provenant de différentes régions d'Algérie, à partir de dix paramètres physico-chimiques : température, pH, turbidité, oxygène dissous, DBO5, nitrates, phosphates, matières en suspension, conductivité et résidus secs. L'IQE, basé sur la méthode de Horton (1965) et amélioré par Brown et al. (1970), permet de classer la qualité de l'eau sur une échelle allant de "excellente" à "très mauvaise". Les résultats révèlent une variation significative de l'IQE selon les sites, reflétant des niveaux contrastés de pollution dus à des influences anthropiques ou naturelles. Cette démarche s'inscrit dans le cadre des recommandations de l'OMS (2017) et des normes algériennes de suivi de la qualité des ressources en eau (ABH, 2015).

L'indice de qualité de l'eau est calculé par la formule suivante :

L'indice de qualité de l'eau (IQE) est une valeur synthétique qui permet d'évaluer l'état global d'une eau douce en fonction des paramètres physico-chimiques.

La formule générale de l'IQE :

$$IQE = \sum_{i=1}^n w_i \times Q_i$$

Avec :

Q_i : la qualité partielle pour un paramètre donné (pH, nitrates, phosphates, etc.), exprimée sur une échelle normalisée.

W_i : le poids attribué à ce paramètre.

Par la suite, une échelle d'évaluation de la qualité (Q_i) est calculée pour chaque paramètre i en divisant la concentration par la norme dudit paramètre et en multipliant l'ensemble par 100. Comme suite:

$$Q_i = (C_i / S_i) * 100$$

S_i : valeur maximale de Norme standard Algérienne des eaux

C_i : la concentration de chaque Paramètre en mg/l.

Chapitre 4 : résultats et discussion

Chapitre 4 : Résultat et Discussion

4.1. Évaluation des paramètres physico-chimiques:

4.1.1. Interprétation et discussion des paramètres :

L'interprétation des paramètres physico-chimiques analysés pour les différentes sources d'eau, est assurée avec des comparaisons aux normes référentielles de l'OMS (Organisation mondiale de la santé), de l'EPA (Environmental Protection Agency, USA) et de la directive européenne sur l'eau potable (Directive 2020/2184/UE).

4.1.1.1. Le potentiel d'hydrogène (pH):

Toutes les sources ont un pH dans la plage recommandée. Des valeurs proches de 7 indiquent une neutralité chimique, tandis que des valeurs vers 7,9 (Toudja) indiquent une alcalinité légère, probablement liée à la présence de bicarbonates (HCO_3^-) ou une minéralisation accrue. Ce pH légèrement basique est typique d'eaux traversant des sols calcaires.

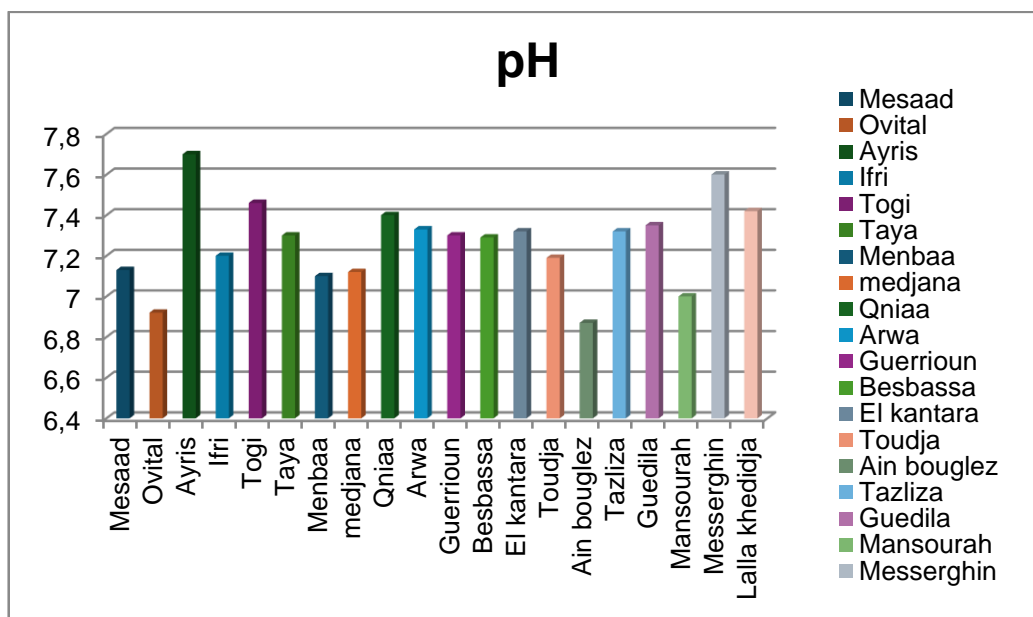


Figure 11: Teneur de pH des eaux étudiées.

4.1.1.2. Résidu sec total (TDS en %):

Besbassa, Medjana et Arwa ont les eaux les plus minéralisées. La valeur de 0.09 % équivaut à environ 900 mg/L, ce qui reste acceptable pour la consommation mais peut être désagréable au goût pour certains usagers sensibles.

Chapitre 4 : Résultat et Discussion

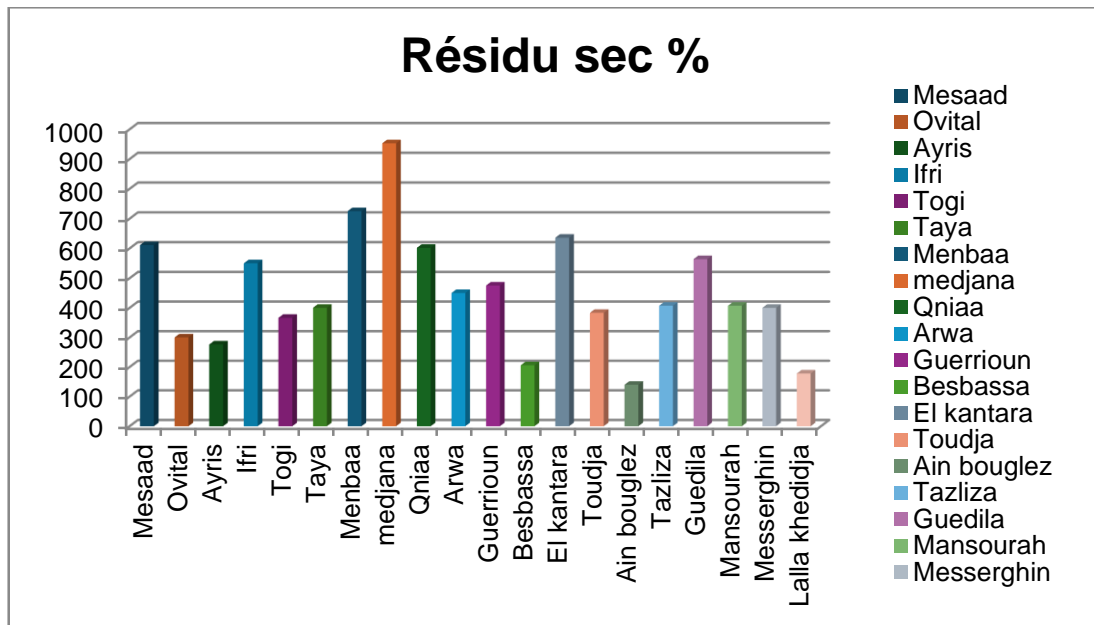


Figure 12 : Teneur en résidu sec total des eaux étudiées.

4.1.1.3. Les cations :

Calcium (Ca^{2+}):

Le calcium est le principal contributeur à la dureté de l'eau. Des teneurs élevées comme à Medjana, El Kantar et Besbassa (>100 mg/L) désignent des eaux dures, qui peuvent influencer le goût, la formation de tartre et l'efficacité des savons. Ain Bouglez, Guedilla et Toudja ont des eaux plus douces, généralement plus agréables à boire.

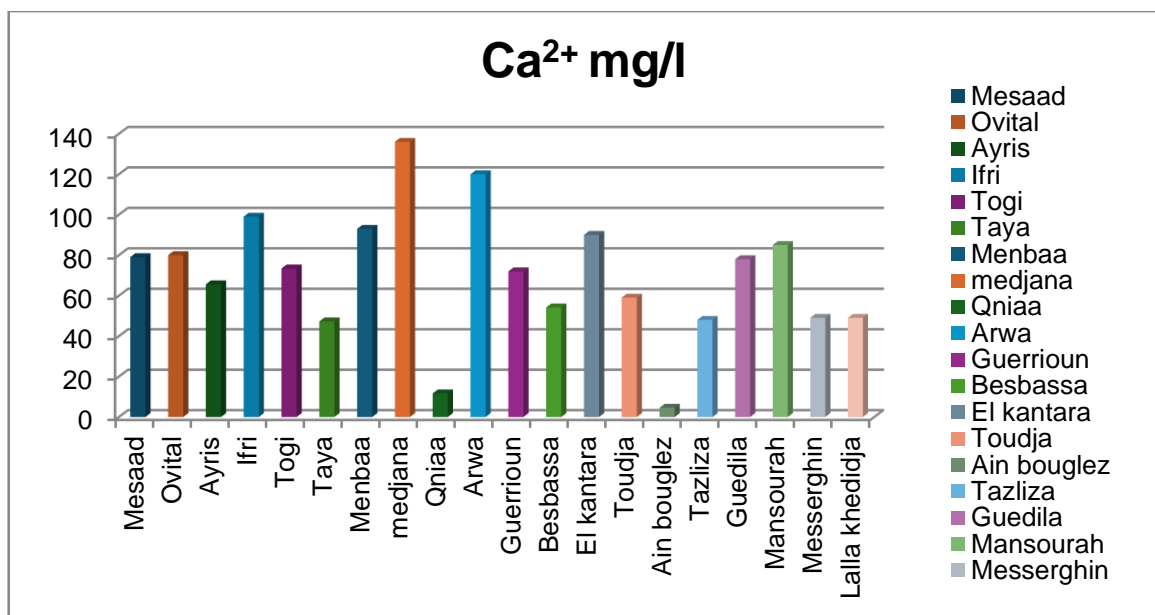


Figure 13 : Teneur en calcium des eaux étudiées.

Chapitre 4 : Résultat et Discussion

Magnésium (Mg^{2+}):

L'eau de Medjana montre une minéralisation élevée en magnésium, souvent associée à une origine géologique (présence de dolomie ou de péridotite). Toudja, avec seulement 1.2 mg/L, a une eau très pauvre en Mg^{2+} , ce qui peut influencer négativement les apports en minéraux essentiels.

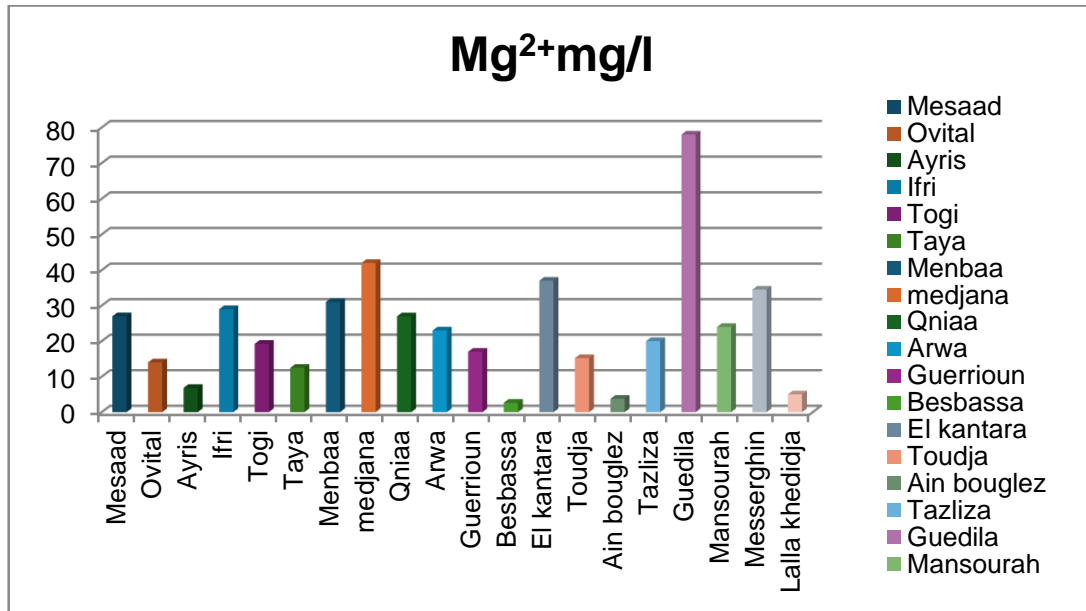


Figure 14: Teneur de magnésium des eaux étudiées.

Potassium (K^+):

Faibles concentrations dans l'ensemble. Guerrioun et Mensserghine ont des taux modérément élevés (jusqu'à 6 mg/L), ce qui pourrait être lié à des intrusions géologiques ou une activité anthropique locale. En quantités normales, le potassium n'a pas d'effet négatif majeur sur la santé.

Chapitre 4 : Résultat et Discussion

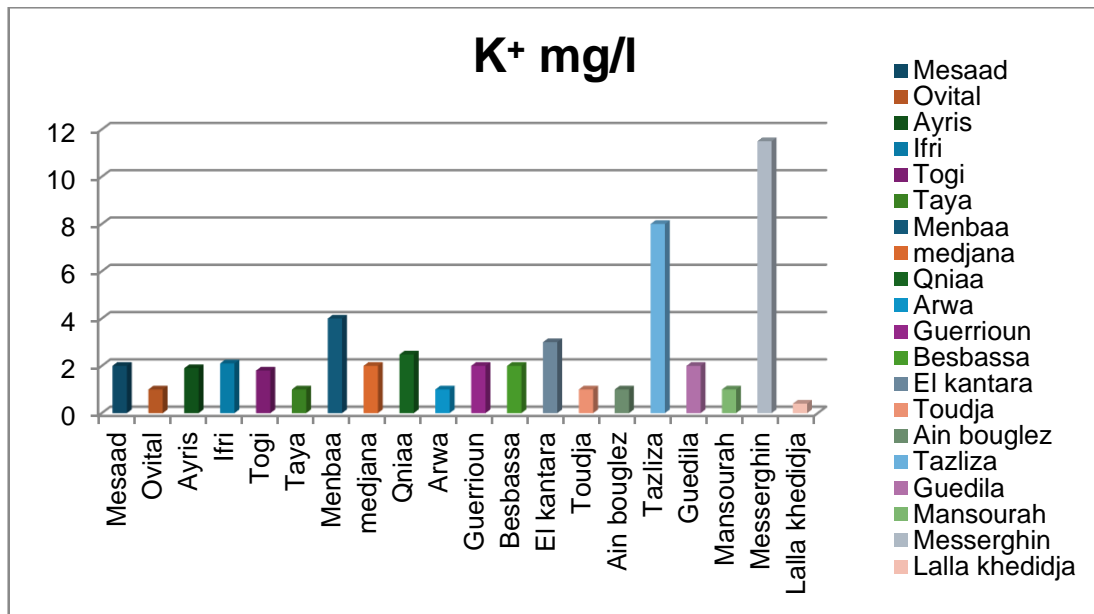


Figure 15 : Teneur en potassium des eaux étudiées.

Sodium (Na⁺)

Bien que les valeurs soient toutes inférieures à la limite OMS, Besbassa affiche une teneur élevée qui peut indiquer une contamination par des sources anthropiques (eaux usées, lessivage agricole) ou géologiques (évacuaires, halite). Une teneur >50 mg/L peut altérer le goût et est déconseillée pour les régimes pauvres en sel.

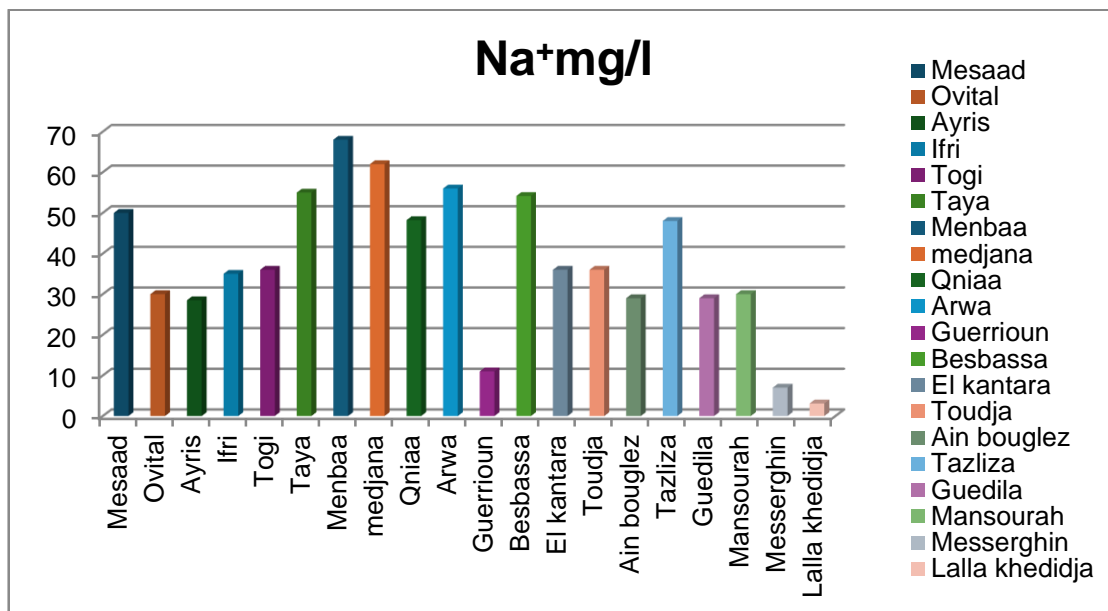


Figure 16 : Teneur en sodium des eaux étudiées

Chapitre 4 : Résultat et Discussion

4.1.1.4. Les anions:

Bicarbonates (HCO_3^-):

Les fortes concentrations à Medjana et Arwa indiquent une bonne capacité tampon de l'eau, ce qui explique une stabilité du pH. La présence de HCO_3^- est généralement corrélée à la présence de calcium et magnésium, et à un passage par des roches carbonatées (calcaire, dolomie).

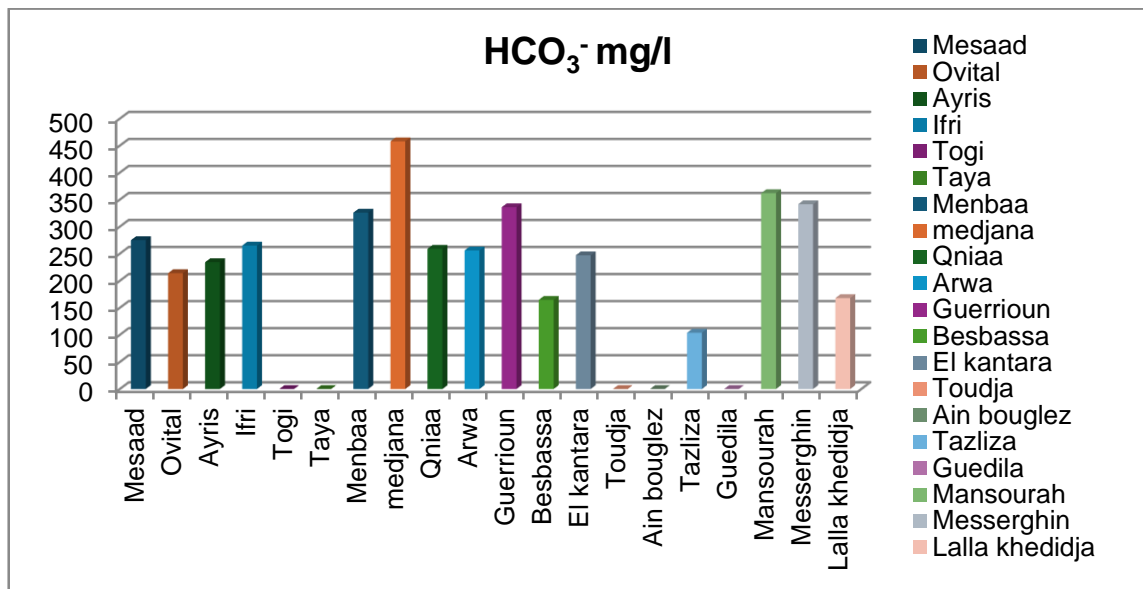


Figure 17 : Teneur en bicarbonates des eaux étudiées.

Sulfates (SO_4^{2-})

La valeur la plus élevée à Medjana reste dans les normes mais peut altérer le goût de l'eau (goût amer) et avoir un effet laxatif à long terme si >250 mg/L. Toudja, Guedila et Tazliza n'en contiennent pas, ce qui reflète un environnement peu soufré ou une filtration naturelle efficace.

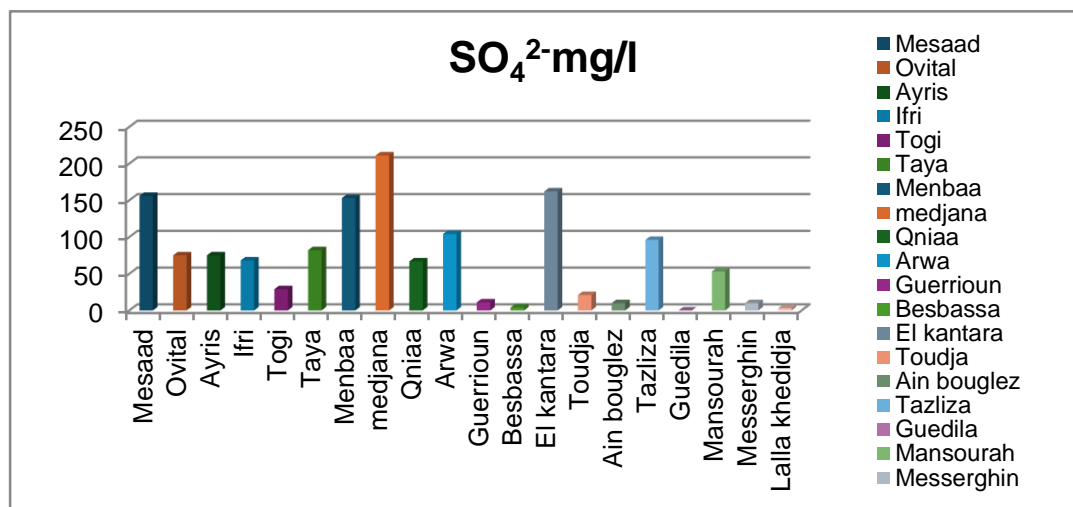


Figure 18 : Teneur en sulfates des eaux étudiées

Chapitre 4 : Résultat et Discussion

Chlorures (Cl⁻) :

Tous les échantillons sont en dessous de la norme, mais Besbassa, Mensserghine et Guerrioun montrent des valeurs élevées, ce qui suggère une intrusion saline, potentiellement d'origine anthropique (usage de sel de voirie, engrais, eaux usées) ou géologique (halite).

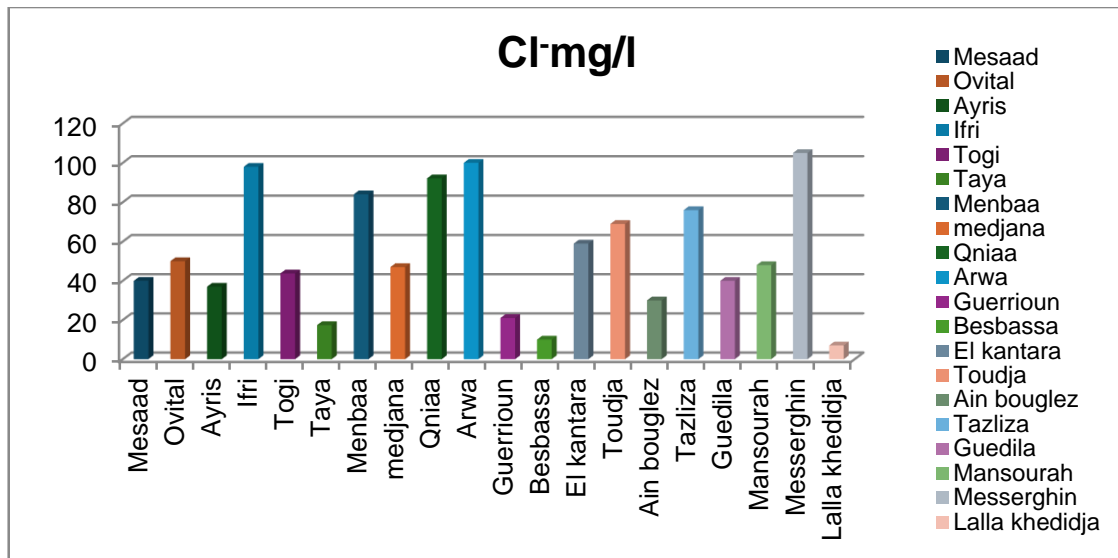


Figure 19 : Teneur en chlorures des eaux étudiées.

Nitrates (NO₃⁻):

Besbassa approche la limite OMS. Cela signale une pollution potentielle d'origine agricole (engrais azotés) ou domestique (fosses septiques, rejets non traités). Les autres sources montrent peu ou pas de contamination, ce qui est positif pour l'usage potable.

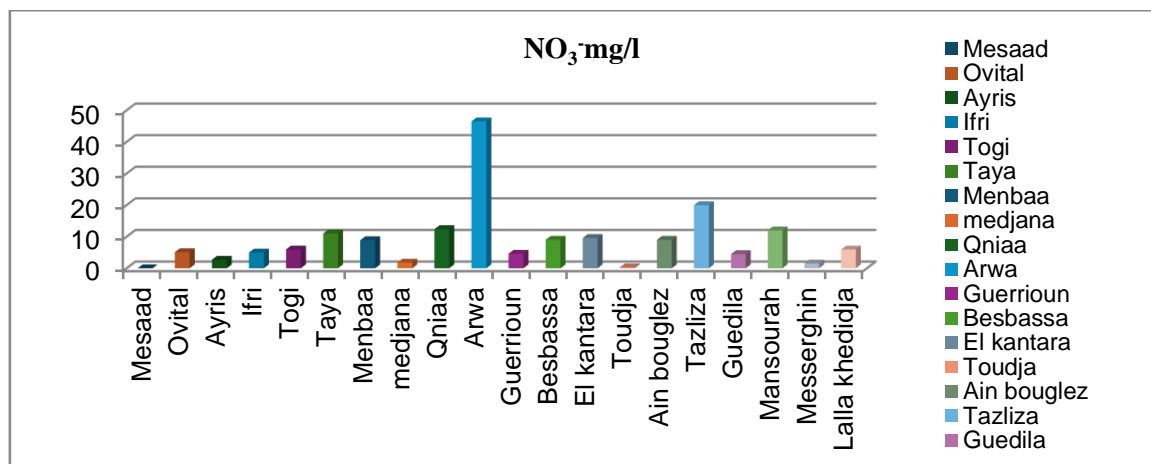


Figure 20 : Teneur des nitrates des eaux étudiées.

Chapitre 4 : Résultat et Discussion

Nitrites (NO_2^-):

Les nitrites sont des indicateurs de contamination récente par matière organique. Les valeurs observées sont en dessous du seuil de danger mais la présence de 0.09 mg/L à Besbassa est préoccupante car proche de la limite. Un suivi régulier y est conseillé.

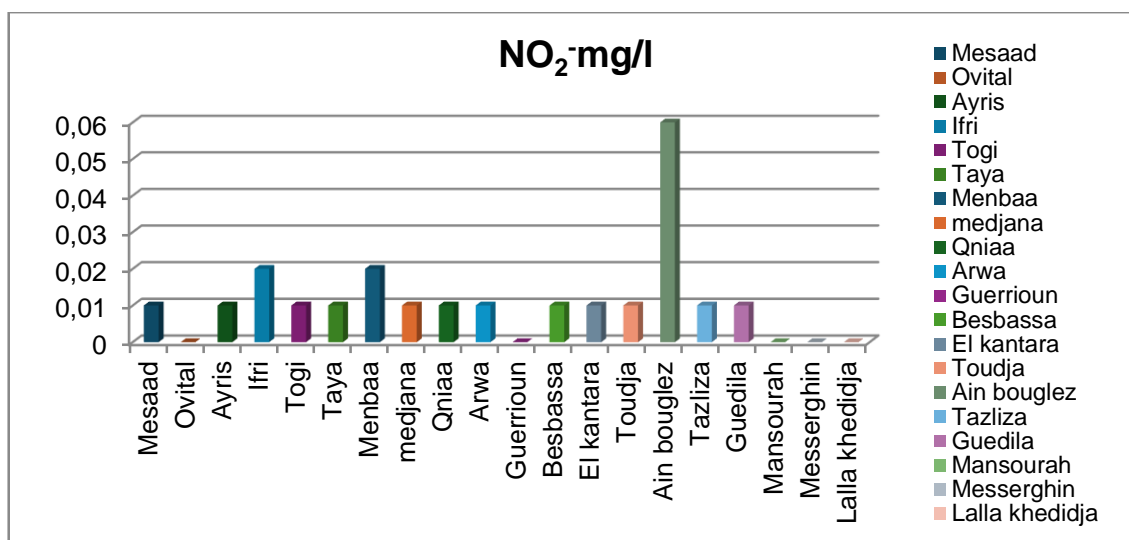


Figure 21 : Teneur en nitrites des eaux étudiées

4.2. Résultats de l'indice IQE :

Tableau 11: poids des paramètres physico-chimiques et normes algériennes de qualité des eaux étudiées.

Paramètres chimiques	normes OMS	Normes Algérienne	valeur max Si	1/Si	Wi= K/Si
pH	8.5	6,5 à 9	9	0,111	0,011
Ca²⁺ mg/l	100	200	200	0,005	0,000
Mg²⁺mg/l	pas de valeur guide	150	150	0,007	0,001
K⁺ mg/l	12	12	12	0,083	0,008
Na⁺mg/l	pas de valeur guide	200	200	0,005	0,000
HCO₃⁻mg/l	pas de valeur guide	250	250	0,004	0,000
SO₄²⁻mg/l	400	400	400	0,003	0,000
Cl⁻mg/l	5	500	500	0,002	0,000
NO₃⁻mg/l	50	50	50	0,020	0,002
NO₂⁻mg/l	0,02	0,1	0,1	10,000	0,977
Résidu sec %	1000	1200	1200	0,001	0,000
				10,240	
				$K= 1/\sum(1/Si)$	0,098

Chapitre 4 : Résultat et Discussion

Exemple de calcul de l'IQE de l'eau :

Tableau 12 : les valeurs QI de l'eau Lallakhedidja.

Paramètres	Lalla khedidja	valeur max Si	Qi = (Ci/Si) x 100	Wi
pH	7,42	9	82,444	0,011
Ca2+ mg/l	49	200	24,500	0,000
Mg2+mg/l	5	150	3,333	0,001
K+ mg/l	0,4	12	3,333	0,008
Na+mg/l	3,1	200	1,550	0,000
HCO3-mg/l	168	250	67,200	0,000
SO42-mg/l	3	400	0,750	0,000
Cl-mg/l	7	500	1,400	0,000
NO3-mg/l	5,94	50	11,880	0,002
NO2-mg/l	0	0,1	0,000	0,977
Résidu sec %	178	1200	14,833	0,000

Et donc respectivement l'indice de qualité de l'eau est calculé comme suit :

$$IQE = \sum_{i=1}^n Qi \times wi$$

Tableau 13 : résultats de calcul IQE de Lallakhedidja.

Paramètres	Lalla khedidja	valeur max Si	Qi = (Ci/Si) x 100	Wi	Qi x Wi
pH	7,42	9	82,444	0,011	0,895
Ca2+ mg/l	49	200	24,500	0,000	0,012
Mg2+mg/l	5	150	3,333	0,001	0,002
K+ mg/l	0,4	12	3,333	0,008	0,027
Na+mg/l	3,1	200	1,550	0,000	0,001
HCO3-mg/l	168	250	67,200	0,000	0,026
SO42-mg/l	3	400	0,750	0,000	0,000
Cl-mg/l	7	500	1,400	0,000	0,000
NO3-mg/l	5,94	50	11,880	0,002	0,023
NO2-mg/l	0	0,1	0,000	0,977	0,000
Résidu sec %	178	1200	14,833	0,000	0,001
				IQE	0,988

La même méthode est appliquée pour calculer l'indice de qualité de l'eau pour les autres échantillons.

Chapitre 4 : Résultat et Discussion

Tableau 14 : résultats des valeurs de l'IQE des eaux étudiées et leurs classifications.

Echantillons	Valeurs IQE	Qualité	Echantillons	Valeurs IQE	Qualité
messaad	10,24	Excellente	Guerrioun	1,11	Excellente
Ovital	0,99	Excellente	Besbssa	10,87	Excellente
Ayris	10,9	Excellente	El kantara	10,99	Excellente
Ifri	20,65	Excellente	Toudja	10,73	Excellente
Togi	10,85	Excellente	Ain bouglez	59,53	Mauvaise
taya	10,79	Excellente	Tazliza	11,32	Excellente
Menbaa	20,81	Excellente	Guedila	10,86	Excellente
Medjana	10,92	Excellente	Mansourah	1,06	Excellente
Qniaa	10,95	Excellente	Messerghine	1,79	Excellente
Arwa	11	Excellente	Lalla khedidja	0,98	Excellente

4.3. Interprétation des valeurs IQE des échantillons étudiés:

4.3.1. Analyse quantitative des résultats :

Distribution des valeurs IQE :

Plage totale des valeurs IQE : de 0,98 à 59,53.

Médiane: autour de 10,9.

Moyenne (hors valeur aberrante) : $\approx 10,6$, ce qui correspond à une excellente qualité.

Valeurs extrêmes :

Plus haute valeur :

Ain bouglez : 59,53 avec Qualité : Mauvaise

Cette valeur est nettement au-dessus des autres et constitue un outlier ou cas exceptionnel, probablement dû à une pollution ponctuelle ou chronique.

Plus basse valeur :

LallaKhedidja : 0,98 avec Qualité : Excellente.

Cela représente une eau très pure.

Chapitre 4 : Résultat et Discussion

4.3.2. Analyse qualitative :

4.3.2.1. Eaux de qualité excellente (19/20 échantillons, 95%) :

Ces échantillons présentent une valeur IQE généralement comprise entre 0,98 et 20,81,

Cela témoigne d'une excellente gestion de la ressource en eau.

Quelques valeurs sont très faibles (inférieures à 2), ce qui est rare : Ovital(0,99), LallaKhedidja (0,98), Mansourah (1,06), Guerrioun (1,11),

Ces valeurs suggèrent une eau extrêmement propre, proche de standards de potabilité élevés.

Deux cas ont des IQE un peu plus élevés mais toujours dans la gamme excellente : Ifri (20,65), Menbaa (20,81) ces sites pourraient faire l'objet d'une surveillance régulière, car ils sont proches de la limite supérieure de la catégorie "excellente".

4.3.2.2. Eau de mauvaise qualité (1/20 échantillons, 5%) :

Ain bouglez est l'unique échantillon classé "Mauvaise qualité" avec IQE = 59,53, cette valeur s'écarte fortement de la moyenne, cela peut indiquer une contamination ponctuelle (déversement, ruissellement agricole, effluents) ou une origine géologique ou industrielle affectant la composition de l'eau.

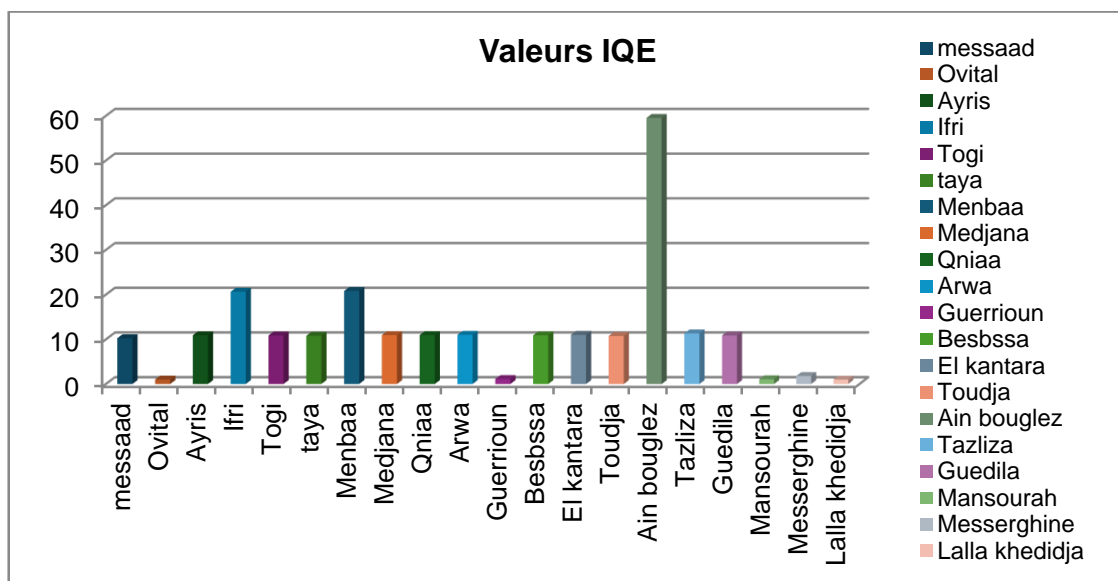


Figure 22 : Valeur IQE des eaux étudiées

Conclusion

Conclusion :

L'analyse approfondie des indices de qualité de l'eau des vingt échantillons révèle un panorama hydrologique globalement favorable, dominé par des eaux présentant une qualité excellente et une faible exposition aux sources classiques de pollution. Cette constance qualitative, corroborée par des taux de nitrates insignifiants et des pH adéquats, témoigne de la relative préservation environnementale des sources étudiées.

Les conclusions les plus remarquables de cette étude :

Qualité générale satisfaisante de l'eau : Sur les 20 échantillons analysés, 19 présentent une qualité "Excellente" selon les valeurs de l'IQE.

Cela reflète une faible présence de nitrates et un pH globalement neutre à légèrement basique, conforme aux normes de potabilité. La pollution agricole ou domestique est donc minime.

Minéralisation hétérogène des sources : Les valeurs de conductivité (CE) montrent une variabilité significative, traduisant une minéralisation allant de faible à forte.

Certaines eaux sont très douces (ex. : Ovital, LallaKhedidja, Mansourah) tandis que d'autres sont fortement minéralisées (Ifri, Menbaa), ce qui peut influencer leur usage.

Présence marquée d'eaux dures : Plusieurs échantillons révèlent des teneurs importantes en calcium et magnésium, indiquant une dureté moyenne à élevée. Cela n'a pas de danger sanitaire direct, mais peut altérer le goût ou limiter certains usages domestiques (dépôts dans les appareils ménagers).

Turbidité problématique isolée : L'échantillon "Ain Bouglez", avec un IQE de 59,53, présente une qualité "Mauvaise", suggérant une turbidité ou une contamination élevée, nécessitant une filtration ou un traitement préalable avant toute consommation.

Potabilité globale, mais vigilance requise : Bien que la grande majorité des sources soient adaptées à la consommation, certaines, notamment celles à IQE très bas (ex. LallaKhedidja, Ovital, Mansourah) ou très élevé (Ain Bouglez), exigent une surveillance régulière, en raison soit d'un manque de minéraux, soit d'une possible turbidité ou pollution ponctuelle.

Conclusion

Toutefois, la diversité des niveaux de minéralisation: de l'extrême douceur à une richesse salino-minérale plus prononcée: introduit une variabilité qui, sans compromettre la potabilité, requiert une approche différenciée dans l'usage domestique ou industriel de ces ressources. De même, la présence ponctuelle d'une turbidité excessive, telle qu'observée dans l'échantillon d'"Ain Bouglez", souligne la nécessité d'un suivi régulier et d'un traitement adapté pour garantir la salubrité dans tous les contextes.

En définitive, cette étude met en lumière la qualité globalement remarquable des ressources hydriques analysées, tout en appelant à une gestion proactive et durable, apte à prévenir toute dérive qualitative et à optimiser l'usage de cette richesse vitale dans une perspective à la fois sanitaire et environnementale.

Références Bibliographique

Références bibliographiques :

1. Ouvrages (Livres, manuels, traités)

1. Alberts, B., et *al.* (2014). *Molecular Biology of the Cell* (6^{eme} ed.). Garland Science.
2. Anctil, F. et Rousselle, J. (2021). *Hydrologie*. Presses de l'Université du Québec (PUM), Chapitre 3 : les précipitations et leurs mesures.
3. Atkins, P. et de Paula, J. (2014). *Atkins' Physical Chemistry* (10^{eme} ed.). Oxford University Press.
4. Atkins, P., et Paula, J. (2010). *Physical Chemistry* (9^{eme} éd.). Oxford University Press.
5. Bernard, L. (2021). *Production d'eau potable : Procédés de traitement, paramètres de qualité, impacts du changement climatique* (2^{eme} éd.). Dunod.
6. Bernard, G. (2008), *Récupérer et utiliser l'eau de pluie*, 3^{eme} éd, p 130.
7. Boudou, A., Ribeyre, F., et Amiard, J. C. (2006). *Écotoxicologie – Les risques pour la santé humaine*. Dunod, P 81.
8. Cardot, C. (1999). *Génie de l'environnement – Les traitements de l'eau*. Paris, p 9-11.
9. Chapman, D. (1996). *Water Quality Assessments – A Guide to the Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring* (2^{eme} ed.). WHO/UNEP.
10. Cosandey, C., et Robinson, M. (2000). *Hydrologie continentale*. Dunod, Chapitre 1 : mécanisme du cycle hydrologique, Chapitre 2 : atmosphère et précipitations, Chapitre 3 : les échanges eau- végétation, Chapitre 4 ; le ruissellement.
11. Cotton, F. A., et *al.* (1999). *Advanced Inorganic Chemistry* (6^{eme} ed.). Wiley-Interscience.
12. Degremont, G. (2005). *Traité de l'eau* (10^{eme} éd.). Lavoisier, Tome 1.
13. Desjardins, R. (1997). *Le traitement des eaux* (2^{eme} éd.). École polytechnique de Montréal.
14. Drouet, F. (2003). *Hydrologie appliquée – Hydraulique des eaux souterraines*. Lavoisier.
15. Eisenberg, D. et Kauzmann, W. (1969). *The Structure and Properties of Water*. Oxford University Press, P 193.
16. Fetter, C. W. (2001). *Applied Hydrogeology* (4^e éd.). Prentice Hall.
17. Freeze, R. A., et Cherry, J. A. (1979). *Groundwater*. Prentice-Hall.
18. Housecroft, C. E., et Sharpe, A. G. (2012). *Inorganic Chemistry* (4^e éd.). Pearson.
19. Hurst, C. J., et *al.* (2010). *Manual of Environmental Microbiology* (3^e éd.). ASM Press.
20. Knauss, J. A., et Garfield, N. (2017). *Introduction to Physical Oceanography* (3^e éd.). Waveland Press.
21. Lachassagne, P. (2019). *Les eaux minérales naturelles : origines et caractéristiques*. BRGM.
22. Lehninger, A. L., Nelson, D. L., & Cox, M. M. (2017). *Lehninger – Principes de biochimie* (7^e éd., traduction française). De Boeck Supérieur / W. H. Freeman, p 47.
23. Levine, I. N. (2009). *Physical Chemistry* (6^{eme} ed.). McGraw-Hill.
24. Lide, D. R. (2004). *CRC Handbook of Chemistry and Physics* (85^{eme} ed.). CRC Press.
25. Manahan, S. E. (2010). *Environmental Chemistry* (9^{eme} ed.). CRC Press.
26. Margat, J. (1990). *Les eaux souterraines dans le monde*. BRGM.
27. Metcalf et Eddy, Inc. (2014). *Wastewater Engineering : Treatment and Resource Recovery* (5^{eme} éd.). McGraw-Hill.
28. Petrucci, R. H., et *al.* (2017). *General Chemistry : Principles and Modern Applications* (11^{eme} ed.). Pearson.

Références Bibliographique

29. Reichardt, P., et Bonnet, M. F. (2007). Eaux minérales naturelles et eaux de source. Lavoisier, P 22.
30. Rodier, J., Legube, B., et Merlet, N. (2009). L'analyse de l'eau – eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer (9^{eme} éd.). Dunod.
31. Sawyer, C. N., McCarty, P. L., et Parkin, G. F. (2003). Chemistry for Environmental Engineering and Science. McGraw-Hill.
32. Schnoor, J. L. (1996). Environmental Modeling : Fate and Transport of Pollutants in Water, Air, and Soil. Wiley.
33. Tchobanoglous, G., Burton, F. L., et Stensel, H. D. (2003). Wastewater Engineering : Treatment and Reuse. McGraw-Hill.

Articles scientifiques et chapitres d'ouvrages collectifs

34. OMS (Organisation mondiale de la santé). (2017). Directives de qualité pour l'eau de boisson (4^{eme} éd.).
35. WHO. (2017). Guidelines for Drinking-water Quality (4^{eme} ed.).
36. Agence de Bassin Hydrographique Algérienne. (2015). Rapport annuel sur la qualité des eaux.

Articles scientifiques et chapitres d'ouvrages collectifs

37. Chaplin, M. (2006). Water : Its importance to life. Biochemistry and Molecular Biology Education, 34(2), p 94–98.
38. Euzen, A., Jeandel, C., & Mosseri, R. (2015). La répartition spatiale actuelle de l'eau sur Terre. In A. Euzen, C. Jeandel et R. Mosseri (Eds.), L'eau à découvert, p. 100–101. CNRS Éditions.
39. Euzen, A., et Marc, C. (Dirs.). (2013). Tout comprendre (ou presque) sur l'eau. Chapitre : Les réservoirs d'eau dans le monde. CNRS Éditions.
40. Horton, R. K. (1965). An index number system for rating water quality. Journal of Water Pollution Control Federation, 37(3), p 300–305.
41. Works, Brown, R. M., McClelland, N. I., Deininger, R. A., et Tozer, R. G. (1970). A Water Quality Index — Do We Dare ? Water and Sewage Works, 117(10), p 339–343.

Mémoires, présentations, études locales :

42. Ait Oubelli, M. (2018). Les eaux embouteillées en Algérie. Consulté le 10 mai 2025.
43. Alaiymia, M. (2021). Analyse de la qualité des eaux de Hamam Debagh. Consulté le 10 mai 2025.
44. Hamecha, D., et Haddad, S. (2015). Présentation de l'unité eau minérale Lalla Khedidja. Consulté le 10 mai 2025.
45. Bureau d'étude Progrès Algérie. (2016). Décembre. Consulté le 10 mai 2025.

Sites Internet :

46. Centre d'information sur l'eau. (consulté le 10 mai 2025). L'eau. <https://www.cieau.com>
47. www.ifri.com (consulté le 10 mai 2025).

Références Bibliographique

48. www.ovitale.dz (consulté le 10 mai 2025).
49. www.vitamedz.com (consulté le 10 mai 2025).
50. www.messadwater.dz (consulté le 10 mai 2025).

51. www.eaumansourah.dz (consulté le 10 mai 2025).
52. www.openfoodfacts.dz (consulté le 10 mai 2025).
53. Togi Eau Minérale (consulté le 10 mai 2025).
54. MEDJANA water.bottling. (2011). Consulté le 10 mai 2025.
55. Entreprise des eaux minérales de Messerghine (EEMM). Consulté le 10 mai 2025.
56. Ministère des Ressources en Eau et de la Sécurité Hydrique, Algérie. Consulté le 10 mai 2025.
57. Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH). Consulté le 10 mai 2025.