

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Ahmed Ben Yahia El-Wancharissi-Tissemsilt
Institut des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences Agronomiques, de Foresterie et de
l'Environnement



Filière : Écologie et environnement
Spécialité : Protection des écosystèmes



Mémoire
En vue de l'obtention de diplôme de Master

Titre :

**Évaluation de la qualité physico-chimique des eaux dans la
Commune de Tissemsilt. (Wilaya de Tissemsilt)**

Présenté Par : BANI Ikram

Soutenu le :24/06/2026

Jury

Mr :MAIRIF Mohamed	MAB, Université Tissemsilt	Président
Mr :ARDJANE Tedjeddine Adda	MAA, Université Tissemsilt	Encadrant
Mr :OUABEL Habib	MCA, Université Tissemsilt	Co.Encadrant
Mr :CHOUHIM Kada Mohamed Lamine	MAB, Université Tissemsilt	Examineur

Année universitaire 2025/2026

Dédicace :

Je dédie ce travail :

À ma mère, symbole de tendresse, et de sacrifice. Merci pour ton amour infini, ton soutien constant et tes prières qui m'ont accompagné à chaque étape de ma vie. Tu as toujours été ma source de courage et d'inspiration. Que Dieu te protège et te comble de bonheur.

Merci pour tous les sacrifices que tu as faits, pour ton amour silencieux mais immense, et pour toutes les valeurs que tu m'as transmises.

Grâce à toi, j'apprends chaque jour à être une meilleure personne.

À Mes sœurs, qui ont été mes complices, mes confidents et mes meilleurs supporters. Votre présence a été un réconfort constant.

À mes amis, pour leurs encouragements sincères, leur écoute.

À ceux qui ont été les soutiens discrets de ce long parcours.

Merci à tous



Remercîment

Avant tout, je remercie Dieu de m'avoir accordé le savoir, la force et la persévérance nécessaires pour bien ce mémoire.

J'adresse mes sincères remerciements à Monsieur Ardjane Tedjedine et Monsieur Ouebel Habib pour leur encadrement, leurs précieux conseils, leur disponibilité et leur soutien tout au long de la réalisation de ce travail.

Je tiens également à remercier les membres du jury qui ont accepté d'évaluer ce mémoire et de consacrer leur temps à l'examen de ce travail, ainsi que pour les remarques et suggestions qu'ils apporteront.

Enfin, j'exprime ma gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à l'aboutissement de ce mémoire.

À vous tous, merci du fond du cœur.

Résumé 1:

L'évaluation physicochimique de la qualité des eaux dans la commune de Tissemsilt vise à analyser les caractéristiques des eaux souterraines et de sources afin de déterminer leur capacité à la consommation et à l'irrigation. Cette étude repose sur différents paramètres physicochimiques tels que le pH, la conductivité électrique, la dureté, les teneurs en ions majeurs (calcium, magnésium, chlorures, sulfates, nitrates), ainsi que la minéralisation globale.

Les résultats obtenus montrent une variabilité de la qualité des eaux. Certaines sources présentent une eau de bonne qualité appropriée aux normes de potabilité, tandis que d'autres révèlent une minéralisation plus élevée, liée aux caractéristiques géologiques du milieu.

Cette étude a pour objectif d'évaluer la qualité des eaux sous-sol de la commune de Tissemsilt. Pour ce faire, elle s'appuie sur les analyses et les évaluations physico-chimiques réalisées par les agents de l'Algérienne des Eaux (ADE). Ces investigations ont permis de caractériser la composition chimique des eaux souterraines de la commune et d'apprécier leur aptitude à l'alimentation en eau potable ainsi qu'à l'irrigation, tout en prenant en considération leur origine et leur provenance.

Cette recherche a été conduite en examinant les résultats des analyses sont comparés aux normes établies par OMS et par la réglementation algérienne afin de la déterminer si l'eau est propre à la consommation lorsque certains paramètres dépassent les limites admissibles, cela indique un risque potentiel pour la santé humaine et l'environnement.

Mots-clés : eaux souterraines, Tissemsilt, évaluation physico-chimique, qualité, Organisation mondiale de la santé.

الملخص

تهدف الدراسة الفيزيائية والكيميائية لجودة المياه في ولاية تيسمسيلت إلى تحليل خصائص المياه الجوفية ومياه الينابيع، وذلك من أجل تحديد مدى صلاحيتها للاستهلاك البشري ولأغراض الري، وتعتمد هذه الدراسة على مجموعة من المؤشرات الفيزيائية والكيميائية، مثل درجة الحموضة (pH)، والناقلية الكهربائية، والعسرة، وتركيز الأيونات الرئيسية كالكالسيوم والمغنيسيوم والكلوريدات والكبريتات والنترات، بالإضافة إلى مستوى التمعدين الكلي للمياه.

أظهرت النتائج المتحصل عليها وجود تباين في جودة المياه بين مختلف المصادر المدروسة، حيث تبين أن بعض الينابيع تتميز بمياه ذات نوعية جيدة تتوافق مع المعايير المعتمدة لمياه الشرب، في حين أظهرت مصادر أخرى ارتفاعاً في نسبة التمعدين، ويرجع ذلك أساساً إلى الخصائص الجيولوجية والطبيعية للمنطقة.

يهدف هذا العمل إلى دراسة جودة المياه الجوفية في بلدية تيسمسيلت، وقد اعتمدت الدراسة على نتائج التحاليل والتقييمات الفيزيائية والكيميائية المنجزة من طرف أعوان الجزائرية للمياه (ADE) وقد مكنت هذه التحاليل من تحديد التركيب الكيميائي للمياه الجوفية وتقييم مدى ملاءمتها للاستعمال كمياه صالحة للشرب وللإستخدام في الري، مع الأخذ بعين الاعتبار مصدر هذه المياه وطبيعة المنطقة وقد تم إجراء هذه الدراسة من خلال مقارنة نتائج التحاليل بالمعايير والمواصفات التي وضعتها منظمة الصحة العالمية والتشريعات الجزائرية المعمول بها، بهدف تحديد مدى مطابقة المياه لشروط الاستهلاك الآمن، وعندما تتجاوز بعض المؤشرات الحدود المسموح بها، فإن ذلك يشير إلى وجود خطر محتمل على صحة الإنسان وعلى البيئة، مما يستدعي المتابعة المستمرة والمراقبة الدورية لجودة هذه المياه.

الكلمات المفتاحية: المياه الجوفية، تيسمسيلت، التقييم الفيزيائي والكيميائي، جودة المياه، منظمة الصحة العالمية.

Abstract

The physicochemical evaluation of water quality in Tissemsilt Province aims to analyze the characteristics of groundwater and spring water in order to determine their suitability for drinking and irrigation purposes. This study is based on several physicochemical parameters, including pH, electrical conductivity, hardness, concentrations of major ions (calcium, magnesium, chlorides, sulfates, and nitrates), as well as the overall mineralization of the water.

The obtained results revealed a variation in water quality among the different sources. Some springs provide water of good quality that complies with drinking water standards, whereas others exhibit higher levels of mineralization, mainly due to the geological characteristics of the area.

This work focuses on assessing the quality of groundwater in the municipality of Tissemsilt. To achieve this objective, the study relied on physicochemical analyses and evaluations carried out by the Algerian Water Company (ADE). These analyses made it possible to characterize the chemical composition of groundwater and to assess its suitability for both drinking water supply and irrigation, while taking into account the origin of the water sources.

The research was conducted by comparing the analytical results with the standards established by the World Health Organization (WHO) and Algerian regulations in order to determine whether the water is fit for consumption. Whenever certain parameters exceed the permissible limits, this indicates a potential risk to human health and the environment, emphasizing the importance of continuous monitoring and proper water quality management.

Keywords: Groundwater, Tissemsilt, physicochemical assessment, water quality, World Health Organization (WHO).

Table de Matiere

Page de garde

Dédicace

Résumé

Introduction générale 16

Chapitre I:

Présentation De La Zone D'étude

1.1 MONOGRAPHIE DE LA ZONE D'ETUDE..... 19

1.2 Caractéristiques de formes..... 22

1.2.1 Caractéristiques morpho-métriques et géomorphologiques du bassin versant et sous bassin versant..... 22

a- Altitude 23

b- Pente..... 25

1.3. Paramètres géométriques des sous bassins 27

1.3.1 Paramètres de forme..... 27

1.3.2 Paramètres hydrologiques..... 27

1.3.3 L'indice de compacité de Gravelius (Kc) 28

1.3.5. Rectangle équivalent 30

1.3.6. Le rapport d'élongation (Ri) 30

1.4. Couvert végétal 30

1.4. 1 la flore..... 31

1.4.2 Sur le plan faunique (la faune) 32

1.5 Étude du relief 33

1.5-1 Altitude..... 33

1.5-2 Indices de Penté..... 33

1.5.2.1 Etude du réseau hydrographique 33

1.5.2.1.1 Nature et organisation du réseau 33

1.5.2.1.2 Ce type d'organisation est typique d'un réseau dendritique, indiquant 33

1.5.2.1.3 Influence lithologique et structurale 33

1.6 HYDROCLIMATOLOGIE 35

1.6.1 Paramètres climatiques 35

1.6.1.1. Température moyenne de la commune Tissemsilt..... 35

1.6.1.2. Pluie 37

1.6.1.3. Le vent 38

1.6.1.4. Précipitation..... 39

1.6.1.5. Humidité..... 40

1.6.1.6. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen..... 41

1.6.1.7. Quotient pluviométrique d'EMBERGER.....	42
--	----

Chapitre II

Généralité sur l'eau

II.1. Définition l'eau	45
II.1.1. Ressources en eaux.....	45
II.1.1.1 - Les eaux de surface.....	45
II.1.1.2 -Les eaux souterraines	45
II.1.1.3 -Les eaux de pluie.....	46
II.1.1.4-Les eaux de mer	46
II.2. Composition chimique des eaux.....	46
II.3. Les paramètres organoleptiques.....	47
II.3.1 - La couleur.....	47
II.3.2 - L'odeur.....	47
II.3.3- le gout	47
II.4 Les paramètres physiques	48
II.4.1 - La Température	48
II.4.2- La Turbidité	48
II.4.3- Les matières en suspension (MES)	48
II.4.4- La conductivité électrique.....	48
II.5. Le potentiel d'Hydrogène (pH)	49
II.6. Les paramètres chimiques.....	49
II.6.1-Industrielle	49
II.6.2- Agricole	49
II.6.3 - Les chlorure (cl-).....	49
II.6.4- Moins d'ions nitrate et nitrites (NO ₃ -)/(NO ₂ -)	49
II.6.5- Taux de solides "TDS"	50
II.6.6-Le calcium (Ca ²⁺).....	50
II.6.7- Le magnésium (Mg ²⁺).....	50
II.6.8- Les matières organiques.....	50
II.6.9- Les ions Sulfates (SO ₄ -2)	50
II.6.10- Fer (fe ⁺²)	51
II.6.11- Ions sodium (Na ⁺).....	51
II.6.12- Potassium (K ⁺).....	51
II.6.13- Les Phosphates (PO ₄ -3)	52
II.7. Etats de l'eau.....	52
II.7.1 Les trois états physiques de l'eau.....	52
II.7.1.1- État gazeux	52

II.7.1.2-Etat liquide	52
II.7.1.3--Etat solide	53
II.8- Cycle de l'eau.....	53

CHAPITRE III

Géologie

III.1 Introduction.....	55
III.2 CADRE GEOGRAPHIQUE DE L'OUASENIS	55
III.3 -SITUATION DE L'OUARSENIS	55
III.4 CONTEXTE GEOLOGIQUE GENERAL DE L'OUARSENIS	57
III.4.1 Le Paléozoïque	57
III.4.2 Le Mésozoïque	57
III.4.2.1 Le Trias	57
III.4.3 Le Jurassique	57
III.4.4 Le Crétacé	58
III.4.5 Le Cénozoïque.....	59
III.4.5.1 Le Paléocène.....	59
III.4.5.2 L'Eocène	59
III.4.5.3 L'Oligocène	59
III.4.5.4 Le Miocène	59
III.4.5.5 Le Pliocène.....	60
III.5. Quaternaire	60
III.6 CONCLUSION	62

Chapitre IV

Étude hydrochimique

V.1 Introduction	64
V.2 Etude des sources de la commune de Tissemsilt	64
V.3 Echantillonnage	64
V.4.Le chimisme et la qualité des eaux dans la région de Tissemsilt	66
V.5_ Conditions et mode d'échantillonnage.....	67
V.6- Les analyses physico-chimiques.....	67
V.6.1. Le pH	67
V.6.1.1 Principe.....	67
V.6.1.2 Mode opératoire	68
V.6.1.2.1-Etalonnage de l'appareil.....	68
V.6.1.2.2-Dosage de l'échantillon	68
V.6.2. Mesure de la conductivité électrique	68
V.6.2.1-Définition.....	68

V.6.2.2-Principe	68
V.6.2.3 Mode opératoire	69
V.6.2 - Mesure de la température	70
V.7 TURBIDITE.....	71
V.7.1 Définition.....	71
V.7.2 Principe.....	71
V.7.3 Appareillage.....	71
V.7.4 Mode opératoire	71
V.7.5 Principe.....	71
V.7.6 Mode opératoire	71
V.8. Détermination des nitrites (NO ₂ -).....	72
V.8.1 Mode opératoire	72
V.9. Détermination des nitrates (NO ₃ -) Méthode au salicylate de sodium	72
V.9.1- Principe	72
V.9.2- Matériels	73
V.9.3- Appareillage.....	73
V.9.4- Mode opératoire	73
V.10- Détermination du calcium (Ca ²⁺) et du magnésium (Mg ²⁺)	74
V.10.1 Principe.....	74
V.10.2 Mode opératoire	75
V.11 Dosage de sodium et de potassium par photométrie de la flamme.....	75
V.11 1. Mode opératoire	76
V.12 Détermination des chlorures (CT)	77
V.12.1- Principe	77
V.12.2-Mode opératoire	77
V.13-Détermination des Sulfates (SO ₄ -2)	77
V.13.1-Principe	77
V.13.2-APPAREIL	78
V.14-Détermination de Bicarbonate (HCO ₃ -).....	78
V.14.1-Principe	79
V.14.2-Mode opératoire	79
V.15 Définition Le diagramme de Wilcox.....	79
V15.1 Le principe repose sur l'utilisation de deux paramètres essentiels	80
V16.Définition d'un diagramme de Piper	81
V16.1Principe du diagramme	81
V16.2 Interprétation	82
V.17 Définition du diagramme de Schoeller-Berkaloff	83

V17.1 Le principe consiste à	83
V17.2 Interprétation	83
V.18 Indice de la qualité des eaux (IQE)	83
V.18.1 Calcul de l'Indice de qualité de l'eau (IQE)	85
V.19 la matrice de corrélation	89
Conclusion générale	104
Références Bibliographiques	105

Liste de Tableau

Tableau 01 : Paramètres géométriques des sous bassins et des plaines de la région	23
Tableau N° 02: Classe de relief.....	25
Tableau N°03: Température moyenne de la commune de Tissemsilt 1980-2025	36
Tableau N°04: pluie moyennes mensuelles à commune de Tissemsilt (1980-2025)	38
Tableau N°05: le Vent dans la commune de Tissemsilt (1980-2025)	38
Tableau N°06: Pluviométrie mensuelle moyenne de la commune de Tissemsilt (1980_2025)	40
Tableau N°07 :Répartition des points de prélèvement de la commune de Tissemsilt.....	65
Tableau 08 : Normes algériennes de potabilité des eaux (ADE 2026)	67
Tableau N°09 : Normes d'eau potable selon l'Algérie et selon l'OMS	79
Tableau N°10 : les analyses des Paramètres physico - chimique des sources de eaux de la commune de Tissemsilt.....	84
Tableau N°11 Poids des paramètres physico-chimiques.....	86
Tableau N°12 Classification et usage possible de l'eau selon l'IQE.....	87
Tableau N°13 valeurs de l'indice l'IQE et classe de qualité des sources dans la commune de Tissemsilt	86
Tableau14: Valeurs propres et pourcentages des axes principaux	87

Liste de figures

Figure N °01 : localisation de La Commune de TISSEMSILT (Original 2026)	19
Figure N° 02 : Situation géographique de la zone d'étude	21
Figure N° 03 : carte des altitudes de la zone d'étude (Original 2026)	24
Figure N° 04 : carte de pentes de la zone d'étude (Original 2026)	26
Figure N° 05 : cartes du couvert végétal de la commune de Tissemsilt	32
Figure N°06 : Carte des réseau hydrographique (original 2026)	34
Figure N°07 : Variation mensuelle de la température minimale et maximale de la commune de Tissemsilt.	36
Figure N°08 : Température horaire moyenne de la commune de Tissemsilt(1980-2025)	37
Figure N°09 : Pluviométrie mensuelle moyenne de la comunnne de Tissemsilt (1980-2025)	38
Figure N°10 : le Vent dans la commune de Tissemsilt (1980_2025)	39
Figure N°11 : Humidité dans la commune de Tissemsilt (1980_2025)	40
Figure N°12 : Diagramme ombrothermique de la commune de Tissemsilt (1980_2025)	41
Figure N°13: Position de la commune de Tissemsilt dans le climagramme d'Emberger (Q3 = 44,22)	43
Figure 14: Composition chimique d'eau	47
Figure 15 : Cycle de l'eau	53
Figure N°16 : situation et limite géographique de massifes de l'ouarsenis (in benhamou, 1996)	56
Figure 17 : La série synthétique du bassin de l'Ouarsenis	61
Figure N°18 : Echantillonnage des sources de l'eau	64
Figure N°19 : Carte de localisation des sources dans la commune de tissemsilt(original 2026)	65
Figure N°20 :PH Mètre (original 2026)	68
Figure N°21 : Conductimètre	69
Figure N°22 : Multi paramètre type (original 2026)	70
Figure N°23 : Turbidimètre HACH TL2300. (original 2026)	71
Figure N°24 : dosage des nitrates (NO₃⁻) (original 2026)	73
Figure N°25 : dosage de calcium (original 2026)	74
Figure N°26: dosage du magnésium(original 2026)	75
Figure N°27 : sodium par photométrie de la flamme (original 2026)	76
Figure N°28 : Dosage Des Chlorures (original 2026)	77

Figure N°29: dosage des Sulfates (original 2026)	78
Figure N°30 : diagramme de Wilcox (original 2026)	80
Figure N°31 : Diagramme de Piper (original 2026)	81
Figure N°32 : Le diagramme de Schoeller-Berkaloff (original 2026)	82
Figure N°33: carte de l'indice de qualité des eaux IQE des sources de la commune de Tissemsilt (originale 2026)	88
Figure N°34 : corrélations entre les paramètres mesurés.....	90
Figure N°35 : Distribution spatiale du Mg des Source étudiées (original 2026)	90
Figure N°36 : Distribution spatiale du Na⁺ des Source étudiées (original 2026)	91
Figure N°37 : Distribution spatiale du Cl⁻ des Source étudiées (original 2026)	92
Figure N°38 : Distribution spatiale du SO₄²⁻ des Source étudiées (original 2026)	93
Figure N°39 : Distribution spatiale du NO₃⁻ des Source étudiées (original 2026)	94
Figure N°40 : Distribution spatiale du Ca des sources étudiées (original 2026)	95
Figure N°41 : Distribution spatiale du HCO₃⁻ des sources étudiée (original 2026)	96
Figure N°42 : Distribution spatiale du K des sources étudiée (original 2026)	97
Figure N°43 : Corrélation des variables (diagramme des composantes dan l'espace	99
Figure N°44 :l'analyse hiérarchique des données chimiques	100
Figure N°45 : Evolution des valeurs propres du facteur de L'ACP des paramètres physicochimique de la qualité des eaux des communes de Tissemsilt	101
Figure N°46 : Boites de box élément chimiques des la commune de tissemsilt	102

List des Abréviation

ADE : Algérienne des Eaux

ARC Mop :logiciels ARC

Bv :bassin versant

Ca²⁺:Le calcium

CE : Conductivité

Cl⁻:Chlorure

J : Jour

KC : Indice de capacité de graveilius

L : Litres

Lr :Rectangle équivalent

MES : les matières en suspension

Mg : milligramme

Mg/L : Milligramme par litre

NTU : Unité Néphélométrique de Turbidité

OMS :organisation mondiale de santé

PH : Le potentielle. Hydrogène

PH : Potentiel d'hydrogène

Qsp : quantité suffisante pour

RC : Circularité. Du bassin versant

Ri :rapport élongation

SIG : Systèmes d'informations géographiques

SRTM :shutt

T : Température

TA, titre alcalimétrique

TAC titre alcalimétrique complet

TDS :Taux des soïdes

V : Volume

% : Pourcentage

°C : Degré Celsius

µS/cm : Micro Siemens par centimètre

Introduction générale

Introduction Générale

L'eau est un composant indispensable à la vie, elle participe largement à la composition de tous les organismes vivants. L'eau est formée par la combinaison d'un atome d'oxygène et de deux atomes d'hydrogène, H_2O . Étant un liquide sans couleur, sans odeur et sans saveur (**Gerard, 1999**), elle est qualifiée de solvant universel qui gèle à $0^{\circ}C$ et se transforme en vapeur à $100^{\circ}C$ après ébullition.

Les eaux souterraines jouent un rôle crucial dans l'agriculture, car elles fournissent une source d'irrigation indispensable, en particulier dans les régions où les pluies sont sporadiques ou manquantes (**Masmoudi et al., 2024**). Leur présence assure la productivité agricole, soutient les plantations durant les sécheresses et garantit la sécurité alimentaire. Cependant, leur utilisation excessive de produits chimiques tels que les engrais, les pesticides ou les résidus organiques, associée à leur infiltration, provoque une détérioration de la qualité de l'eau, notamment par la pollution par les nitrates et d'autres substances nuisibles. Cette contamination peut nuire à la santé des personnes, à l'écosystème et mettre en péril l'utilisation future de cette réserve indispensable. Elle contribue aussi à la augmentation de la salinité, à l'amplification de la toxicité des cultures, à la détérioration des sols et à une pollution par les métaux lourds, ce qui complexifie davantage la production agricole (**Moussa et al, 2025**). Il est donc essentiel de mettre en œuvre des méthodes d'agriculture durables pour protéger cette réserve.

En Algérie, les réserves en eau sont limitées et présentent une répartition spatiale inégale. Dans ce contexte, le suivi et la gestion durable de la qualité des ressources hydriques constituent un enjeu essentiel afin d'assurer la sécurité de l'approvisionnement en eau et de préserver la santé publique. La wilaya de Tissemsilt, située dans la commune de l'Ouarsenis, dispose de diverses ressources hydriques, notamment les eaux souterraines, les barrages et les oueds, qui jouent un rôle primordial dans l'alimentation en eau de la population ainsi que dans le développement des activités agricoles locales.

Sur le plan cellulaire et physiologique, l'eau, en raison de sa composition ionique, exerce une influence déterminante sur les échanges à travers les membranes cellulaires, en particulier au niveau des cellules nerveuses, et intervient de manière essentielle dans le bon fonctionnement des reins.

Introduction Générale

Dans le but d'atteindre les objectifs de cette étude, des analyses physico-chimiques ont été effectuées au sein du laboratoire de l'Algérienne des Eaux (ADE).

Cette étude est répartie comme suit:

- Une section théorique dédiée aux principes généraux sur l'eau, aux diverses sortes d'eau de sources et à la qualité de l'eau.

- **Une partie expérimentale:**

L'un détaille le matériel et les diverses méthodes d'évaluation de la qualité physico-chimique de l'eau de source, tandis que l'autre se consacre à l'exposition des résultats obtenus et leur mise en parallèle avec les normes Algériennes et les normes de l'OMS.

- une partie présente les résultats obtenus et leur discussion.
- Enfin nous avons terminé par une conclusion.

Problématique:

Quelle est la qualité physico-chimique des eaux dans la commune de Tissemsilt et dans quelle mesure ces eaux répondent-elles aux normes de qualité requises pour les différents usages, notamment la consommation humaine et l'irrigation ?

Chapitre I: Présentation De La Zone D'étude

1.1 MONOGRAPHIE DE LA ZONE D'ETUDE:**1.1.1 Situation géographique :**

La commune de Tissemsilt est le chef-lieu de la wilaya de Tissemsilt, située dans le nord-ouest de l'Algérie, au sein de la région des Hauts Plateaux. Elle est localisée entre les monts de l'Ouarsenis au nord et la plaine du Sersou au sud, ce qui lui confère une position géographique stratégique. La commune se trouve à environ 220 km au sud-ouest d'Alger, à une altitude moyenne d'environ 900 m. Ses coordonnées géographiques sont approximativement 35°36' de latitude Nord et 1°49' de longitude Est.

Le territoire de la commune est caractérisé par un relief varié composé de collines, de plaines et de vallées. Le climat est de type méditerranéen à influence semi-aride, avec des hivers frais et humides et des étés chauds et secs. Cette situation favorise principalement les activités agricoles, notamment la céréaliculture et l'élevage, tout en influençant la disponibilité et la qualité des ressources en eau souterraine (*office national de météorologie, 2023*)

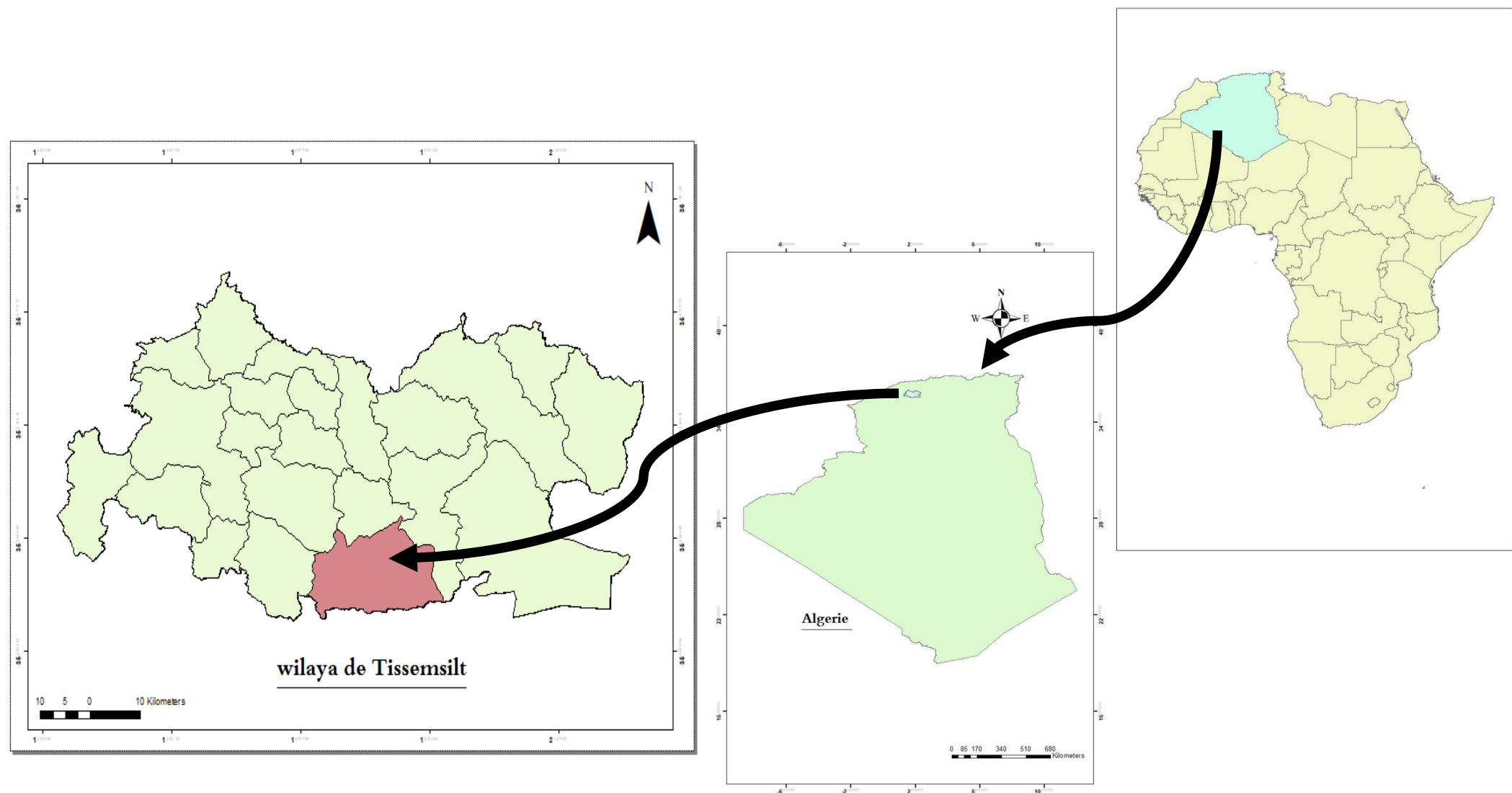


Figure N° 02 : Situation géographique de la zone d'étude

1.2 Caractéristiques de formes:

1.2.1 Caractéristiques morpho-métriques et géomorphologiques du bassin versant et sous bassin versant:

L'identification des diverses variables physiographiques spécifiques à chaque bassin versant analysé est effectuée en utilisant des méthodes numériques et des modèles numériques de terrain (**MNT**), facilitant ainsi la digitalisation des différentes variables physiques. Un MNT est une Une représentation numérique simplifiée de la surface d'une région, décrite en termes de coordonnées altimétriques et planimétriques, et référencée dans un système géographique. (**Bekkoussa 2018**).

Pour cette recherche, nous avons appliqué un modèle numérique de terrain ASTER avec une résolution spatiale, nous donnant la possibilité d'élaborer des cartes thématiques en utilisant les SIG (systèmes d'information géographique). L'examen du comportement hydrologique et hydrogéologique, y compris le régime d'écoulement, l'infiltration, entre autres, d'un bassin versant requiert une compréhension de ses attributs topographiques et morphologiques, tels que la configuration du terrain, la morphologie du relief ainsi que les caractéristiques du sol et de la végétation.

Ces caractéristiques morphométriques sont présentées dans le **tableau 01**. Elles ont été estimées à partir des données de l'image Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), traitées à l'aide du logiciel Global Mapper. Le traitement a ensuite été effectué sur ArcMap™ (logiciels ArcGISTM).

L'analyse des bassins versants est basée sur l'utilisation de modèles numériques de terrain (MNT) pour déterminer les variables physiographiques. Un MNT traduit numériquement la topographie du terrain en termes de coordonnées altimétriques et planimétriques. Pour l'élaboration de cartes thématiques via des SIG, un modèle ASTER d'une résolution de 30 m a été employé, il est primordial de comprendre les traits morphologiques tels que la configuration du terrain, le système hydrographique, le type de sol et la végétation, ces éléments étant analysés à l'aide des données SRTM traitées via Global Mapper et ArcMap™.

La superficie et le périmètre représentent deux des paramètres géométriques les plus significatifs d'un bassin versant. Ils sont déterminés à

l'aide de la technique de digitalisation. Les principales caractéristiques géométriques des sous-bassins sont présentées dans le **tableau 01**.

Le bassin versant constitue la zone de collecte des précipitations et d'alimentation du réseau hydrographique. Ses caractéristiques géométriques influencent directement les écoulements observés. La superficie du bassin versant, estimée à 223,36 km², ainsi que son périmètre de 79,956 km, ont été déterminés à l'aide du logiciel ArcGIS 10.2.2.

Tableau 01 : Paramètres géométriques des sous bassins et des plaines de la région.

Superficie (km ²)	223.36 788 km ²	
Périmètre (km)	79.956 km	
Indice de compacité Kc	1.51	Le bassin est de forme allongée favorisant un écoulement lent des eaux de ruissellement.
La circularité du bassin versant (Rc)	0.44	Le bassin de forme allongée
Altitude maximale (m)	1985	Point plus haut du bassin
Altitude moyenne (m)	755	Déterminée après génération des courbes de niveaux sur global Mapper et extraction des différentes surfaces correspondantes
Altitude minimale (m)	389	Exutoire du bassin versant
Longueur du rectangle équivalent (km)	33.7	
Le rapport d'élongation (Ri)	0.50	Bassin a une forme allongée

a- Altitude :

Les zones de basse altitude (390-500 m) sont principalement situées au Nord-Ouest, comme l'illustre la **Figure(3)**. Les zones de moyenne à basse altitude (500-780 m), prédominantes dans les secteurs Ouest et Nord-Ouest, occupent une vaste superficie de notre zone d'étude. Des zones d'altitude intermédiaire (700-900 m) se trouvent au centre et dans le Sud-Ouest, jouant un rôle de transition entre les régions basses et hautes. Les régions d'altitude moyenne à haute (900-1000 m) représentent des zones de transition restreintes. Pour finir, les régions en haute altitude (1000-1280 m) se trouvent

majoritairement à l'Est et au Sud-Est du bassin, avec quelques portions au Nord et un sommet qui atteint 1272 m à l'Est.

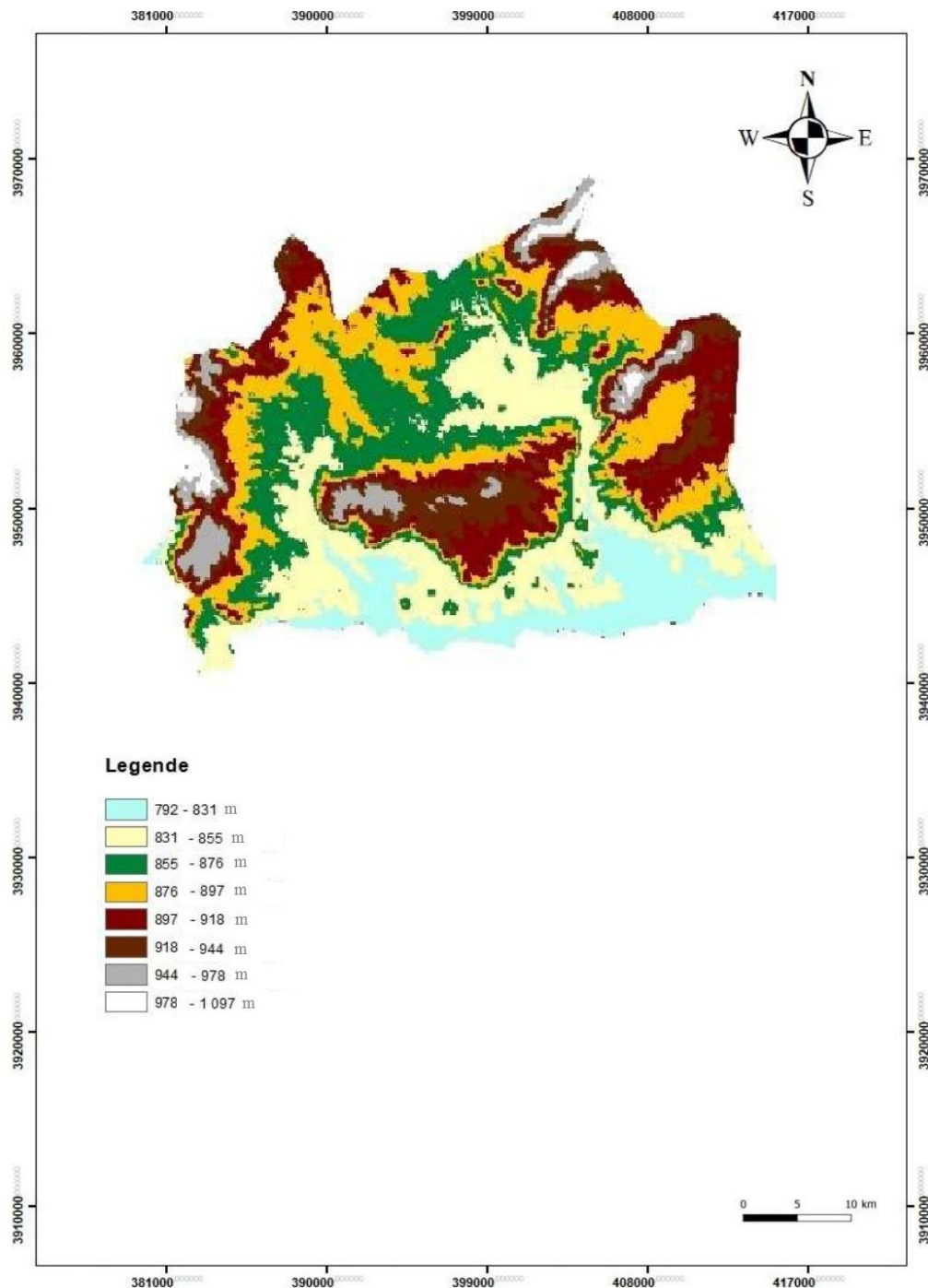


Figure N° 03 : carte des altitudes de la zone d'étude (Original 2026)

b- . Pente:

L'objectif des indices de pente est de définir les pentes d'un bassin versant afin de simplifier leur classement et leur comparaison. Présentation globale de la zone d'examen. Ils ont également un rôle crucial dans l'évaluation des vitesses d'écoulement en surface. L'étude réalisée a servi à identifier quatre catégories de pentes, qui sont exposées dans le tableau.(Bekkoussa samira)

Tableau 02: Classe de relief

Classe des pentes	Classe des pentes (%)
< 4,2 %	Faible
4.2 % à 7.3 %	Moyenne
7.3 % à 14.2 %	Forte
> 14.2 %	Très forte

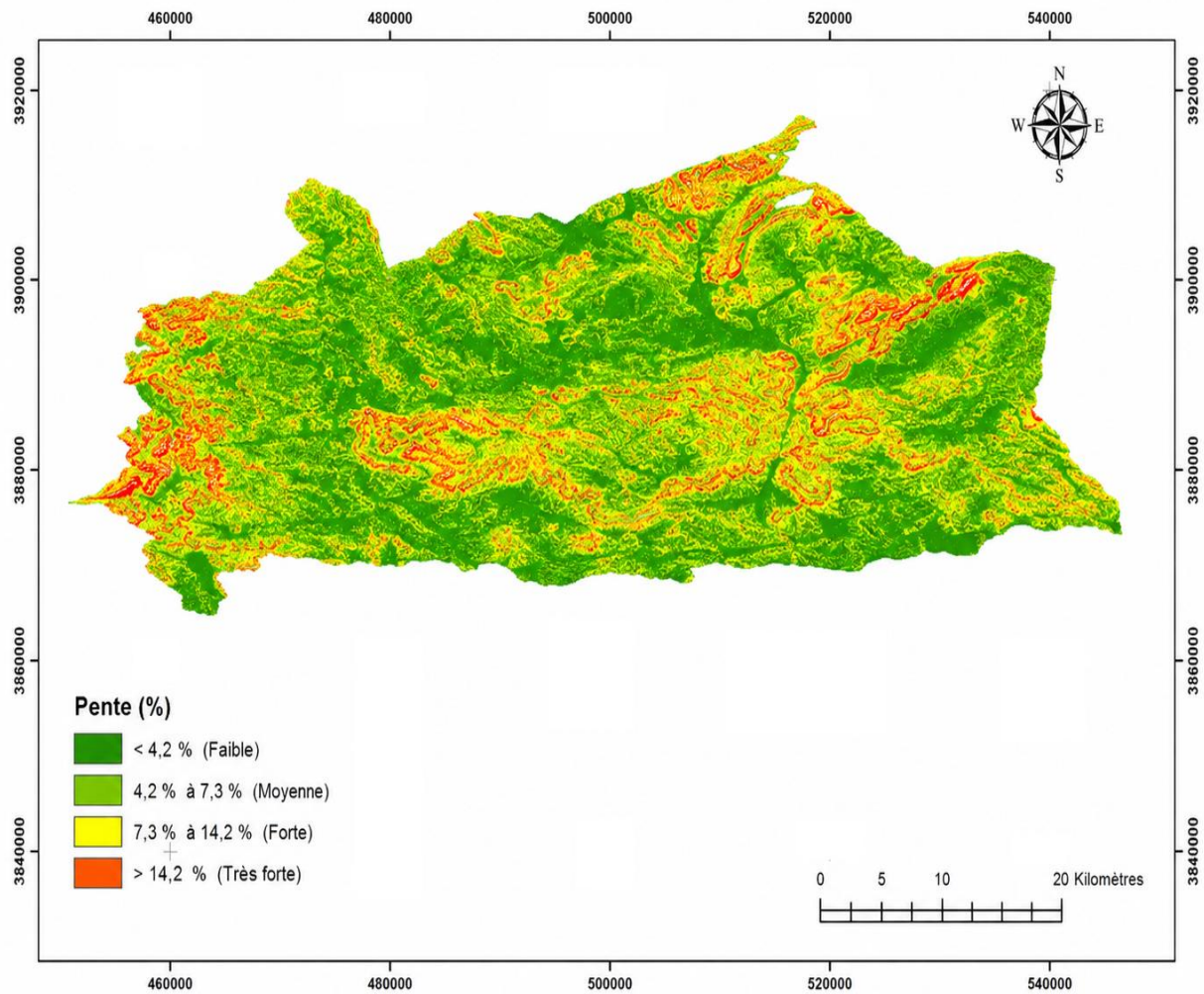


Figure N° 04 : carte de pentes de la zone d'étude (Original 2026)

Carte de pentes

Les différentes couleurs indiquent plusieurs classes de pente exprimées en pourcentage. Les zones de couleur jaune et verte correspondent aux faibles pentes, largement dominantes dans la région, traduisant un relief relativement plat à faiblement ondulé. Les secteurs en bleu représentent des pentes moyennes, localisées principalement sur les versants et les zones de transition entre les plateaux et les vallées. Les zones en rouge et brun correspondent aux pentes les plus fortes, concentrées sur les reliefs élevés, les crêtes et les versants abrupts. Cette configuration montre une topographie contrastée où les terrains plats favorisent l'infiltration des eaux et les activités agricoles, tandis que les secteurs à forte pente sont plus exposés au ruissellement, à l'érosion des sols et au

transport des sédiments. Ainsi, la carte met en évidence l'influence du relief sur la dynamique hydrologique et les processus géomorphologiques de la région étudiée.

1.3. Paramètres géométriques des sous bassins :

1.3.1 Paramètres de forme :

Les paramètres de forme du bassin versant regroupent plusieurs caractéristiques morphométriques, notamment l'indice de circularité, le facteur de forme, le rapport d'élongation et le coefficient de compacité. Ces paramètres permettent de décrire la géométrie du bassin versant et d'évaluer son influence sur le comportement hydrologique et la dynamique des écoulements, Le comportement hydrologique d'un bassin versant est directement influencé par sa forme (**Strahler 1964**). Selon Roche (**1963**), un bassin versant étendu n'aura pas la même réaction qu'un bassin versant compact.

1.3.2 Paramètres hydrologiques:

Les propriétés hydrologiques du bassin versant, comme le temps de concentration, le coefficient de ruissellement, la densité de drainage et la capacité d'infiltration, Selon Park et al. (**2018**), les caractéristiques hydrologiques des bassins versants influencent de manière significative le régime d'écoulement. Un bassin versant avec une densité de drainage élevée ne réagira pas de la même façon qu'un bassin versant avec une faible densité de drainage (**Padala et al, 2024**), ces facteurs conditionnent la conversion des précipitations en ruissellement, affectant par conséquent la sensibilité du bassin aux crues ou aux sécheresses (**Mallya et al, 2018**)

Des éléments morphométriques du bassin versant comme la circularité, le facteur de forme, le rapport d'étirement et le coefficient de densité ont un impact direct sur son comportement hydrologique (**Suharyanto, et al., 2020**). Un bassin versant allongé affiche une réaction hydrologique nettement distincte de celle d'un bassin versant compact ou concentré, particulièrement en ce qui concerne le délai de concentration des eaux et l'ampleur des débits maximum (**Bolduc et al., 2024**). Des recherches récentes indiquent que la configuration du bassin a un impact notable sur les mécanismes de ruissellement, l'émergence des inondations et les aptitudes de rétention d'eau (**Nageswara et al., 2020**). Ces paramètres prennent une importance accrue dans un contexte de changement

climatique où l'intensification des précipitations extrêmes modifie les régimes hydrologiques (Hassan et al., 2024).

1.3.3 L'indice de compacité de Gravelius (Kc)

Est un paramètre morphométrique qui correspond au rapport entre le périmètre du bassin versant et la circonférence d'un cercle possédant la même superficie que ce bassin. Cet indice permet de caractériser la forme du bassin versant, laquelle exerce une influence directe sur le comportement du ruissellement et des écoulements superficiels (Gravelius, 1914 ; Maurya et al., 2016 ; Khan et al., 2023).

$$KC = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$$

Kc = indice de compacité de Gravelius (**adimensionnel**)

P = périmètre du bassin versant (**en mètres ou km**)

A = superficie du bassin versant (**en m² ou km²**)

$\pi \approx 3,1416$

ou:

Kc = 1

bassin (circulaire), le modèle choisi étant un cercle.

1 < Kc < 1,3

bassin compact.

Kc > 1,3

bassin allongé.

Plus l'indice de compacité de Gravelius (Kc) se rapproche de 1, plus le bassin versant est compact, ce qui favorise une concentration rapide des eaux de surface vers l'exutoire.

D'après les résultats présentés dans le tableau 1, les sous-bassins étudiés présentent une forme allongée, étant donné que les valeurs de l'indice de compacité de Gravelius (Kc) s'éloignent de l'unité.

est supérieure à **1,51** dans la région d'étude, le bassin de la région d'étude est le plus allongé dans tous les deux sous- bassins versants .

1.3.4. Rectangle équivalent:

Le rectangle équivalent est une représentation géométrique utilisée pour faciliter la comparaison entre différents bassins versants en ce qui concerne l'influence de leurs caractéristiques morphométriques sur les écoulements. Cette approche est particulièrement pertinente lorsque les valeurs du coefficient de compacité de Gravelius (K_c) des sous-bassins de la région d'étude sont supérieures à 1,12. Les dimensions du rectangle équivalent sont déterminées à l'aide des formules (2) et (3).

$$l_r = \left(\frac{K_c \sqrt{A}}{1.12} 1.12 \right) \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right] \dots\dots\dots (1)$$

$$L_r = \left(\frac{K_c \sqrt{A}}{1.12} 1.12 \right) \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right] \dots\dots\dots (2)$$

1.3.5. Le rapport d'élongation (R_i) :

D'après **Schumm (1956)**, ce rapport d'élongation est un paramètre morphométrique défini comme le rapport du diamètre d'un cercle ayant la même surface que le bassin versant et la longueur maximale de ce dernier. Cet indice permet d'apprécier le degré d'allongement du bassin versant et d'évaluer son influence sur les caractéristiques de l'écoulement.

$$R_c = \frac{2 \sqrt{\frac{A}{\pi}}}{L}$$

où :

R_c = rapport d'élongation (adimensionnel)

A = superficie du bassin (en km^2 ou m^2)

L = longueur du bassin (en km ou m)

$\pi \approx 3.1416$

1.4. Couvert végétal :

De la bordure méridionale de l'Atlas tellien, située sur la bordure nord du plateau du Sersou à une élévation moyenne d'environ 850 à 900 mètres. La structure du couvert végétal est directement modelée par ce relief accentué et les fluctuations d'altitude, qui varient localement de 750 à presque 1 240 mètres. Dans les zones les plus basses, la flore originale a été remplacée par un maquis semi-aride composé de lentisques et d'oliviers sauvages, ainsi que par d'immenses étendues de terres cultivées pour les céréales. À l'approche des montagnes environnantes, on observe une densification notable des formations forestières à mesure que l'altitude augmente. Le pin d'Alep colonise initialement les pentes calcaires inférieures, tandis que le chêne vert s'implante sur les terrains plus argileux à partir de 900 mètres d'altitude. Enfin, transcendant 1 300 mètres dans les montagnes voisines de la région, telles que l'Ouarsenis, s'étendent d'imposantes forêts de cèdres de l'Atlas. L'arrangement de la végétation est donc directement lié à l'altitude, fournissant à la commune une barrière naturelle cruciale contre la détérioration et l'érosion des terres

1.4. 1 la flore:

La commune de Tissemsilt présente un couvert végétal méditerranéen relativement diversifié, influencé par le climat semi-aride à subhumide et les conditions du relief. La flore est composée principalement d'espèces forestières, arbustives et herbacées.

Les principales formations végétales sont:

- Chêne vert (*Quercus ilex*) : espèce dominante des forêts naturelles.
- Pin d'Alep (*Pinus halepensis*) : largement présent dans les zones reboisées et les versants.
- Genévrier (*Juniperus oxycedrus*) : fréquent sur les terrains rocailleux et secs.
- Lentisque (*Pistacia lentiscus*) : arbuste caractéristique du maquis méditerranéen.
- Romarin (*Salvia rosmarinus*) : très répandu dans les zones ouvertes.
- Thym (*Thymus vulgaris*) : présent sur les sols secs et calcaires.
- Alfa (*Stipa tenacissima*) : localisé dans les secteurs les plus secs.
- Armoise blanche (*Artemisia herba-alba*) : fréquente dans les parcours steppiques.

- Olivier sauvage (*Olea europaea* var. *sylvestris*) : présent de façon dispersée.
- Diverses espèces herbacées annuelles qui se développent après les précipitations

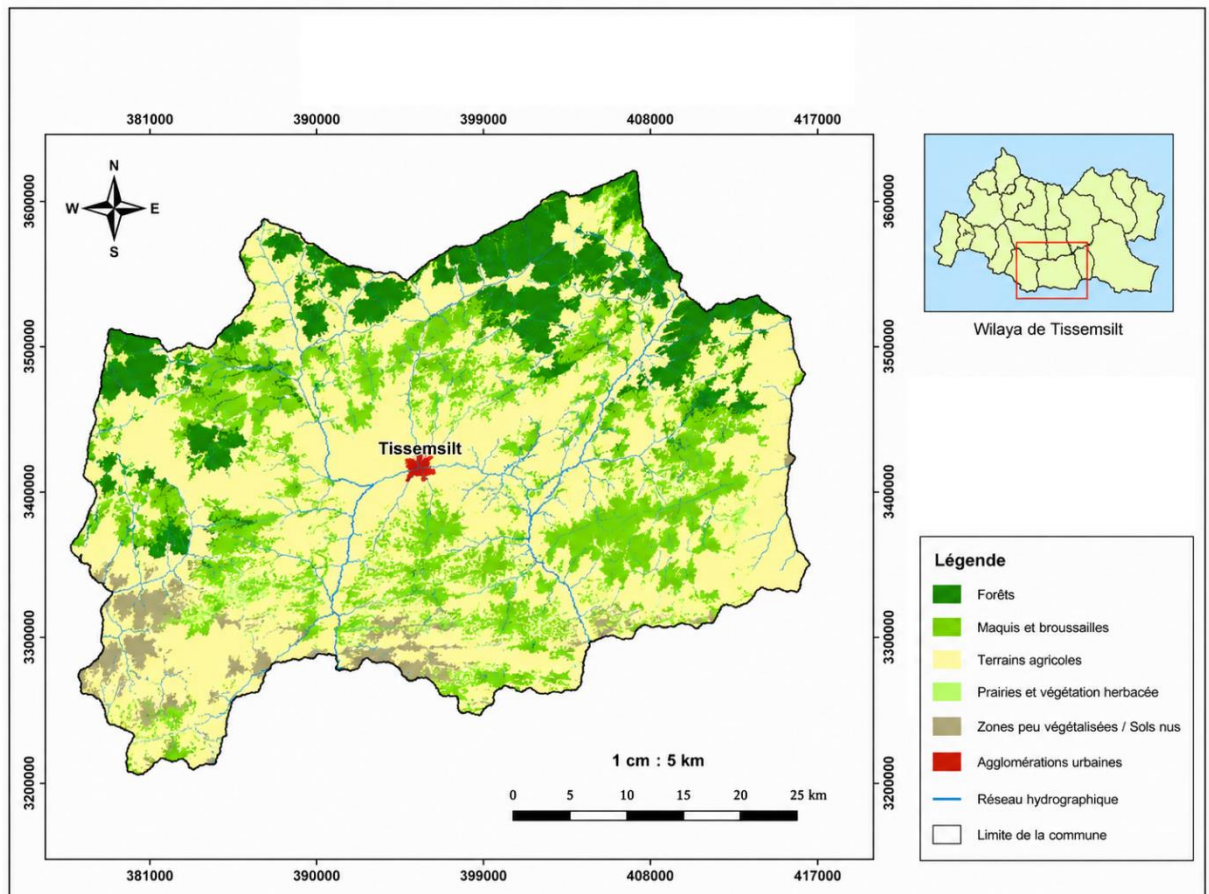


Figure N° 05 : cartes du couvert végétal de la commune de Tissemsilt

1.4.2 Sur le plan faunique (la faune):

Les mammifères : La région héberge une faune mammalogique diversifiée, incluant le Sanglier d'Afrique (***Sus scrofa***), le Chacal doré (***Canis aureus***), le Renard roux (***Vulpes vulpes***), le Lièvre du Cap (***Lepus capensis***), ainsi que des espèces protégées telles que le Porc-épic crêté (***Hystrix cristata***) et la Belette (***Mustela nivalis***).

_Les oiseaux (avifaune) : Grâce à ses reliefs et ses zones humides, tels que le barrage de Bougara, Tissemsilt représente une voie migratoire et un important

site de nidification. Ce lieu abrite des rapaces symboliques comme l'Aigle royal (***Aquila chrysaetos***), le Percnoptère d'Égypte (***Neophron percnopterus***) et le Gypaète barbu (***Gypaetus barbatus***), mais aussi des oiseaux forestiers tels que la Chouette hulotte (***Strix aluco***) et le Lorient d'Europe (***Oriolus oriolus***).

_La faune des amphibiens et des reptiles ainsi que la faune des insectes : Cet équilibre écosystémique est complété par une riche communauté d'insectes pollinisateurs, ainsi que par des reptiles tels que les tortues terrestres et les couleuvres.

1.5 Étude du relief:

L'hétérogénéité des grandes unités naturelles caractérise la zone d'étude. La topographie joue un rôle crucial dans l'évaluation de la capacité des sols à favoriser le ruissellement, l'infiltration et l'évaporation.

1.5-1 Altitude:

Les variables hydrométéorologiques, tels que les précipitations et les températures, sont en partie influencés par l'altitude. De même, la morphologie du bassin versant exerce une influence sur la vitesse des écoulements. Dans les deux sous-bassins des plaines alluviales, l'altitude maximale atteint 1 985 m dans la partie nord de la région d'étude

1.5-2 Indices de Penté:

Ces indices visent à décrire les pentes d'un bassin et à faciliter les comparaisons et les classements. Ils sont aussi employés pour estimer les vitesses de flux de surface.

1.5.2.1 Etude du réseau hydrographique :

1.5.2.1.1 Nature et organisation du réseau :

La carte montre un réseau hydrographique bien ramifié, caractérisé par :

- Des cours d'eau de différents ordres (1 à 5) selon la classification de Strahler.

- Une hiérarchisation claire les cours d'eau de 1er ordre confluent pour former ceux de 2e, et ainsi de suite, jusqu'au principal collecteur.

1.5.2.1.2 Ce type d'organisation est typique d'un réseau dendritique, indiquant :

-Une lithologie relativement homogène ou faiblement différenciée,

1.5.2.1.3 Influence lithologique et structurale:

La carte indique que la structure géologique influe fortement sur le réseau.

Il se pourrait que les zones présentant une grande densité de drainage (principalement à l'ouest et au nord-est de la carte) soient constituées de terrains fissurés, perméables (roches sédimentaires douces, zones failles).

En revanche, les régions où le réseau est plus clairsemé (Centre-Sud) pourraient se situer sur des roches plus résistantes ou imperméables.

Les axes principaux des rivières semblent respecter certaines directions structurelles (lignes de rupture, failles, ou zones géologiques vulnérables).

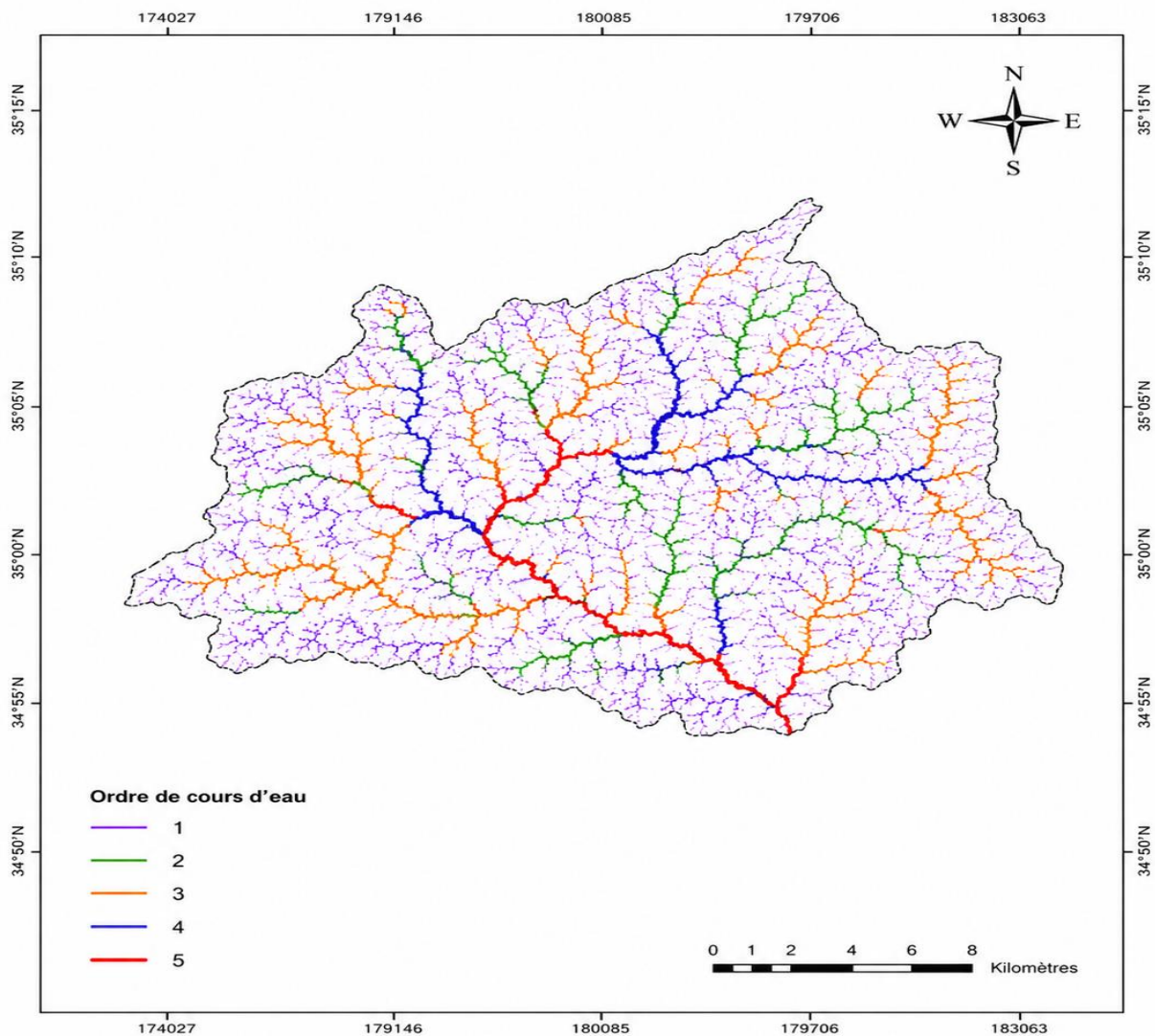


Figure N°06 : Carte du réseau hydrographique (original 2026)

La carte du réseau hydrographique met en évidence une organisation hiérarchisée des cours d'eau selon cinq ordres. Les cours d'eau de premier ordre, très nombreux et représentés en bleu clair, occupent la majeure partie du bassin versant et correspondent aux petits écoulements de tête. En convergeant, ils donnent naissance aux cours d'eau de deuxième et troisième ordre (vert et orange), puis aux cours d'eau de quatrième ordre (bleu foncé). L'axe principal du drainage est constitué par le cours d'eau de cinquième ordre, représenté en rouge, qui traverse la zone d'étude et collecte l'ensemble des écoulements provenant des affluents secondaires. Cette configuration traduit un réseau hydrographique dense et bien développé, caractéristique d'un bassin versant fortement ramifié, favorisant la concentration et l'évacuation des eaux vers le cours principal. La présence importante des cours d'eau de faible ordre témoigne également d'une bonne capacité de collecte des eaux de ruissellement et d'une forte influence du relief sur l'organisation du drainage. Un réseau hydrographique abondant et bien structuré, typique d'un bassin versant très ramifié, facilite la concentration et le transfert des eaux vers le cours principal. La présence notable de rivières de bas étage indique aussi une bonne aptitude à capter les eaux de ruissellement et une grande influence du relief sur l'agencement du drainage.

1.6 HYDROCLIMATOLOGIE :

1.6.1 Paramètres climatiques :

1.6.1.1. Température moyenne de la commune Tissemsilt:

À Tissemsilt, la période estivale s'étend de mi-juin à mi-septembre et se caractérise par des températures élevées, dont les maximales moyennes quotidiennes dépassent 38 °C. Le mois de juillet constitue le mois le plus chaud, avec des températures moyennes variant entre 19 °C et 35 °C. En revanche, la saison froide s'étend de mi-novembre à mi-mars, avec des températures maximales moyennes inférieures à 16 °C. Janvier représente le mois le plus froid, marqué par des températures moyennes comprises entre 2 °C et 11 °C.

**Tableau N°03: Température moyenne de la commune de Tissemsilt
1980-2025**

Moyenne	janv.	févr.	mars	avr.	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	déc.
T° MAX	11 °C	13 °C	16 °C	19 °C	24 °C	30 °C	35 °C	34 °C	29 °C	23 °C	16 °C	12 °C
T MOYENNE	6 °C	7 °C	10 °C	12 °C	17 °C	23 °C	27 °C	26 °C	22 °C	17 °C	11 °C	7 °C
T° MIN	2 °C	2 °C	4 °C	6 °C	10 °C	15 °C	19 °C	18 °C	15 °C	11 °C	6 °C	3 °C

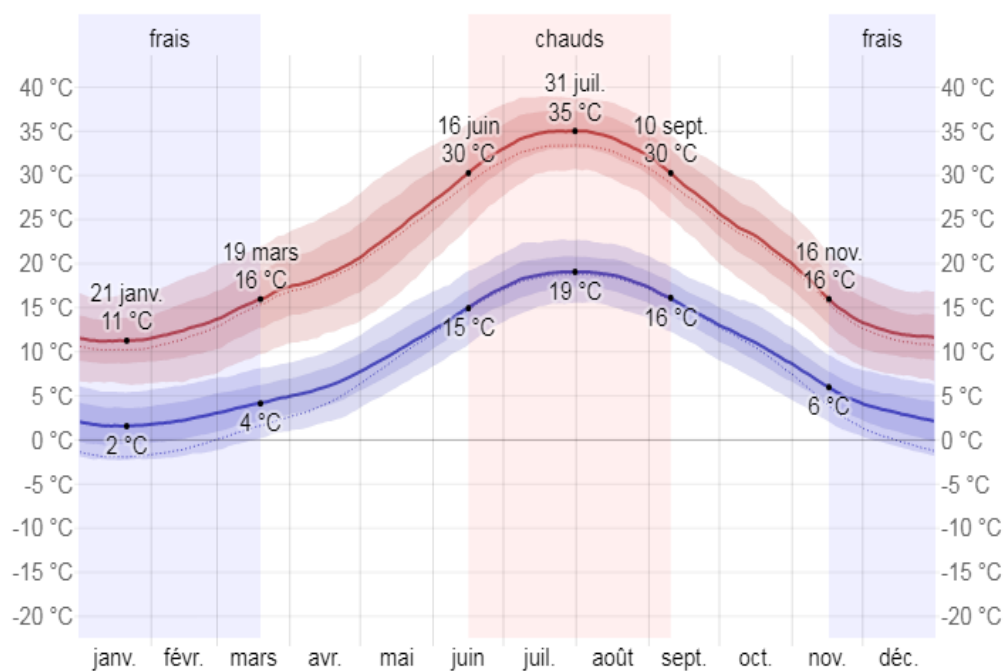


Figure N°07 : Variation mensuelle de la température minimale et maximale de la commune de Tissemsilt.

La ligne rouge représente la température maximale moyenne quotidienne, alors que la ligne bleue correspond à la température minimale moyenne quotidienne. Les bandes ombrées traduisent respectivement les plages comprises entre les 25^e et 75^e percentiles et entre les 10^e et 90^e percentiles. Les fines lignes pointillées indiquent les températures moyennes ressenties associées.

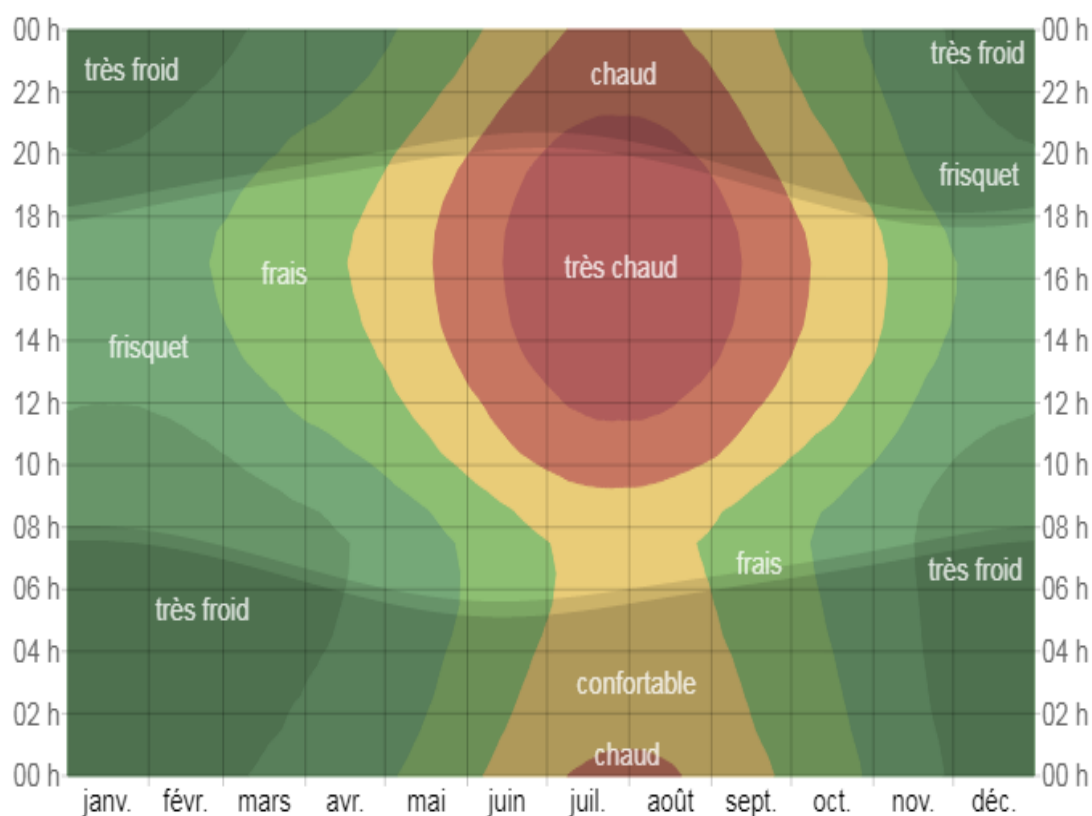


Figure N°08 : Température horaire moyenne de la commune de Tissemsilt(1980-2025)

1.6.1.2. Pluie:

Pour mieux illustrer la variabilité des précipitations au cours de l'année, l'analyse repose sur les cumuls de pluie calculés sur une période glissante de 31 jours centrée sur chaque jour. La région de Tissemsilt se distingue par une forte variabilité saisonnière des précipitations, entraînant des différences marquées entre les cumuls pluviométriques mensuels

Tableau N°04: pluie moyennes mensuelles à commune de Tissemsilt (1980-2025)

Mois	janv.	févr.	mars	avr.	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	déc.
Pluie	53,1 mm	60,2 mm	50,5 mm	48,6 mm	37,3 mm	13,5 mm	4,1 mm	7,9 mm	19,9 mm	29,4 mm	45,5 mm	51,3 mm

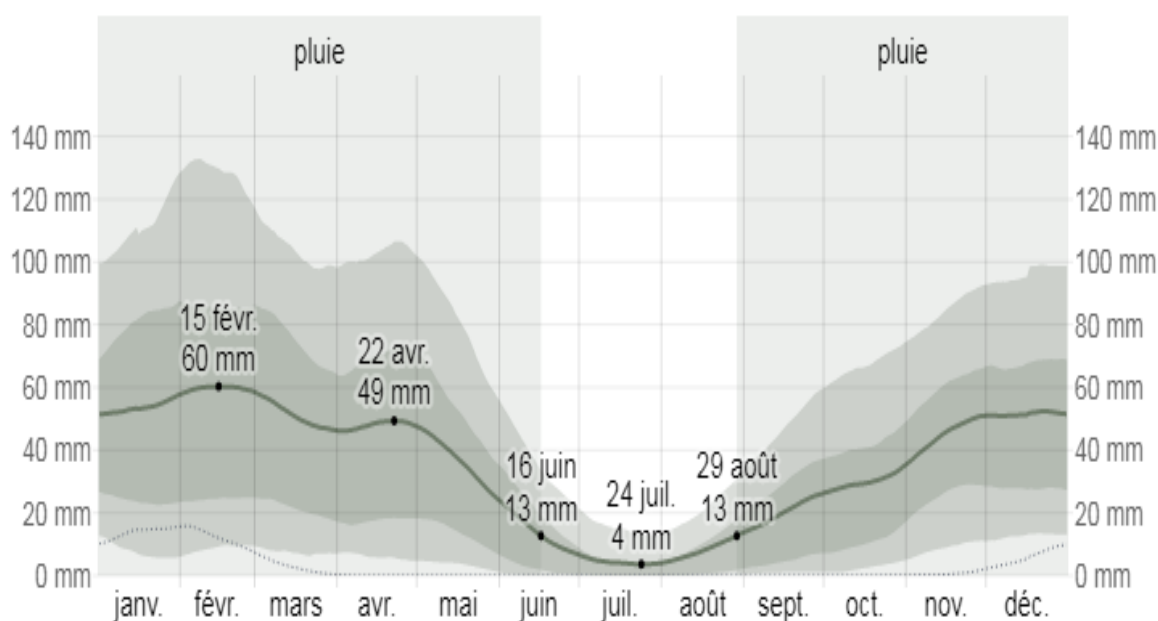


Figure N°09 : Pluviométrie mensuelle moyenne de la commune de Tissemsilt (1980-2025)

1.6.1.3. Le vent:

La direction moyenne dominante du vent dans la commune de Tissemsilt présente une variation saisonnière au cours de l'année. Les vents de secteur nord prédominent pendant environ 4,3 semaines, de début juillet à début août, avec une fréquence maximale de 34 % enregistrée le 23 juillet. En revanche, les vents de secteur ouest dominent durant près de onze mois, d'août à juillet, avec une fréquence maximale atteignant 50 % au début du mois de janvier.

Tableau N°05: le Vent dans la commune de Tissemsilt (1980-2025)

Mois	janv.	févr.	mar.	avr.	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	déc.
Vitesse du vent (km/h)	15.3	15.5	14.8	14.8	13.4	12.5	12.2	12.0	12.3	13.1	14.8	15.4

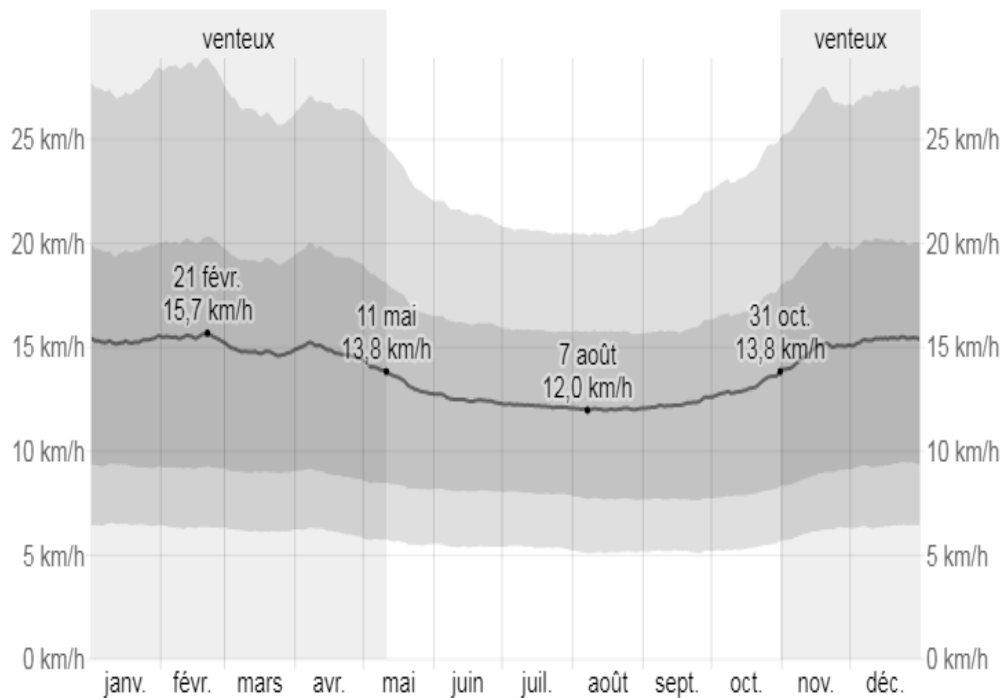


Figure N°10 : le Vent dans la commune de Tissemsilt (1980_2025)

1.6.1.4. Précipitation:

Un jour de précipitation correspond à une journée au cours de laquelle la quantité d'eau recueillie atteint au moins 1 mm. À Tissemsilt, la probabilité de précipitations varie au fil de l'année. La période la plus humide s'étend sur environ 6,2 mois, de la fin du mois de septembre à la fin du mois de mai, avec une probabilité quotidienne de précipitation supérieure à 14 %. Le mois de février est celui qui enregistre le plus grand nombre de jours pluvieux, avec une moyenne de 6,9 jours présentant au moins 1 mm de précipitations.

À l'inverse, la saison sèche dure environ 3,8 mois, de la fin du mois de mai à la fin du mois de septembre. Le mois de juillet est le plus sec, avec une moyenne de seulement 1,5 jour de précipitation d'au moins 1 mm.

Les jours de précipitation peuvent être classés en trois catégories : les jours de pluie, les jours de neige et les jours présentant un mélange de pluie et de neige. À Tissemsilt, le mois de février enregistre le plus grand nombre de jours de pluie, avec une moyenne de 6,5 jours. D'après cette classification, la pluie constitue la forme de précipitation prédominante dans la région.

Tableau N°06: Pluviométrie mensuelle moyenne de la commune de Tissemsilt (1980_2025)

Jours de	janv.	févr.	mars	avr.	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	déc.
Pluie	6,7j	6,5j	6,7j	6,5j	5,4j	2,0j	1,0j	1,5j	3,8j	5,0j	6,4j	6,8j
Mélange	0,5j	0,4j	0,1j	0,0j	0,0j	0,0j	0,0j	0,0j	0,0j	0,0j	0,1j	0,2j
Tous	7,3j	6,9j	6,8j	6,5j	5,4j	2,0j	1,0j	1,5j	3,8j	5,0j	6,5j	7,0j

1.6.1.5. Humidité:

Le degré d'humidité ressenti à Tissemsilt, exprimé par la proportion du temps pendant laquelle les conditions atmosphériques sont considérées comme lourdes, oppressantes ou étouffantes, varie peu au cours de l'année. Les valeurs observées restent relativement faibles, oscillant entre 1 % et 3 %.

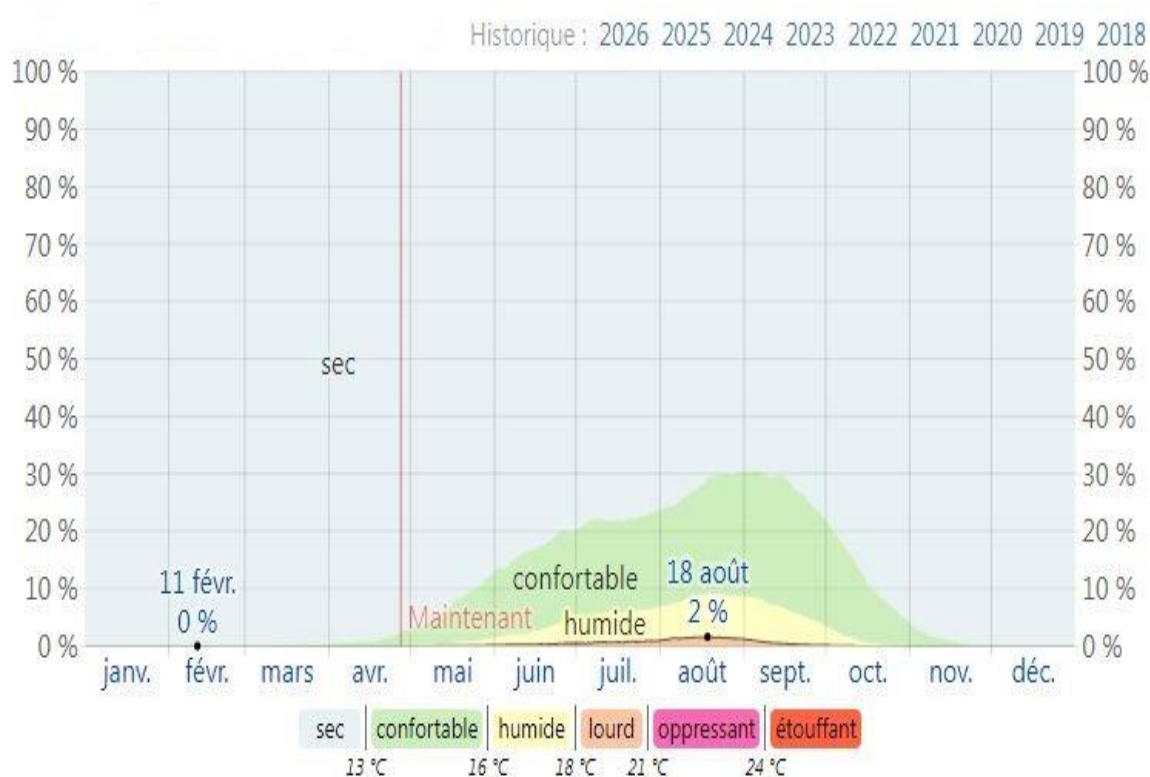


Figure N°11 : Humidité dans la comuncne de Tissemsilt (1980_2025)

1.6.1.6. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen:

La formule: $P \leq 2T$ permet de déterminer les mois secs et les mois humides, où

P: précipitations mensuelles (mm); T": températures moyennes mensuelles (°C). Un mois sec a des précipitations inférieures ou égales au double de la température,

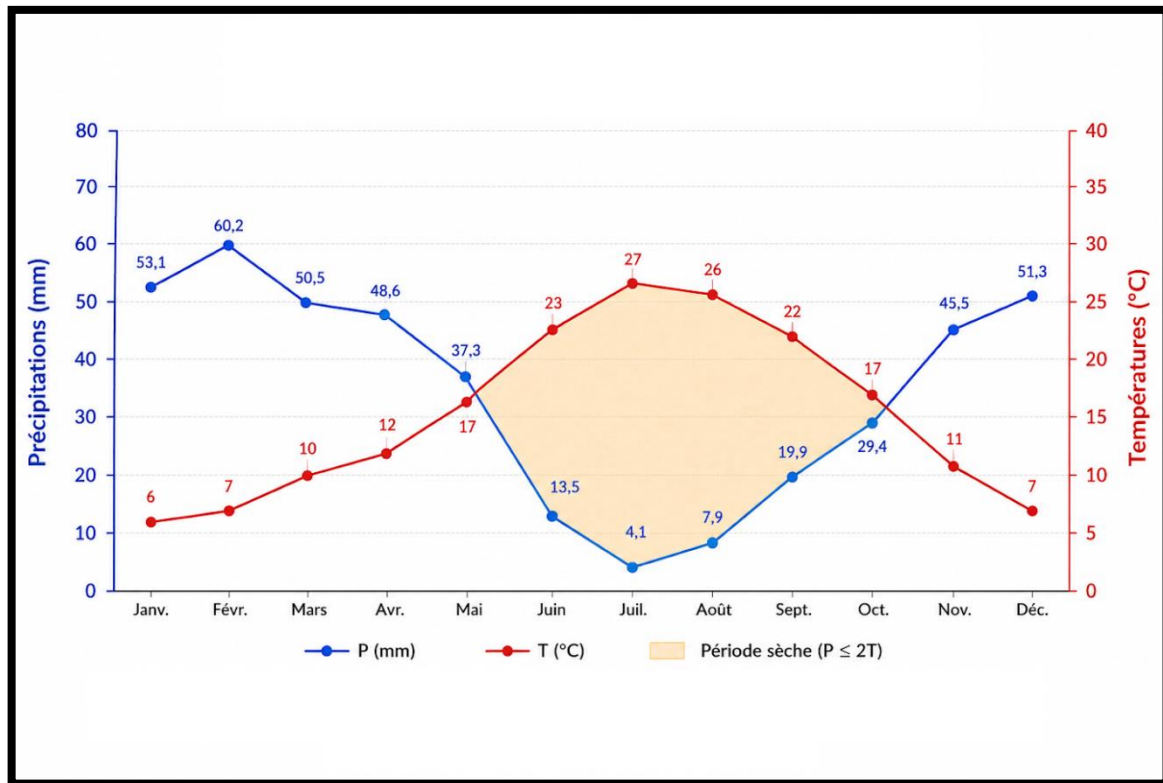


Figure N°12 : Diagramme ombrothermique de la commune de Tissemsilt(1980_2025)

Le diagramme ombrothermique de la commune de Tissemsilt pour la période 1980-2025 met en évidence un climat marqué par une période sèche estivale prolongée. Selon l'indice de Gaussen ($P < 2T$), cette phase d'aridité s'étend sur six mois, débutant en mai pour se terminer en octobre, avec un déficit hydrique maximal observé en juillet. Les précipitations sont plus abondantes durant la période hivernale, tandis que les températures atteignent leur pic durant l'été, créant un décalage thermique typique des zones semi-arides. Ce profil climatique, complété par le calcul du quotient pluviométrique d'Emberger, est essentiel pour définir l'étagement bioclimatique spécifique de cette région d'étude.

1.6.1.7. Quotient pluviométrique d'EMBERGER:

Le climagramme pluviométrique d'EMBERGER (1935) permet de définir l'étagement d'une station donnée

Par la formule suivante :

$$Q2\ 2000 \times P/M^2-m^2$$

Avec:

P = Précipitation moyenne annuelle en mm.

M= Température moyenne maximale du mois le plus chaud en "K.

m = Température moyenne minimale du mois le plus froid en "K.

Emberger (1955) a établi pour la région méditerranéenne un climat gramme portant le Q3 en ordonnée, "m"

$$Q3=3,43\ P/M-m$$

En abscisse, l'interaction de ces deux données permet de situer les stations météorologiques.

Par l'utilisation de cette formule, nous avons trouvé:

Selon tableau des températures: M35°C, m=2°C

Présentation générale de la zone d'étude

selon tableau des précipitations: P= mm

Donc $Q_3=44,22$

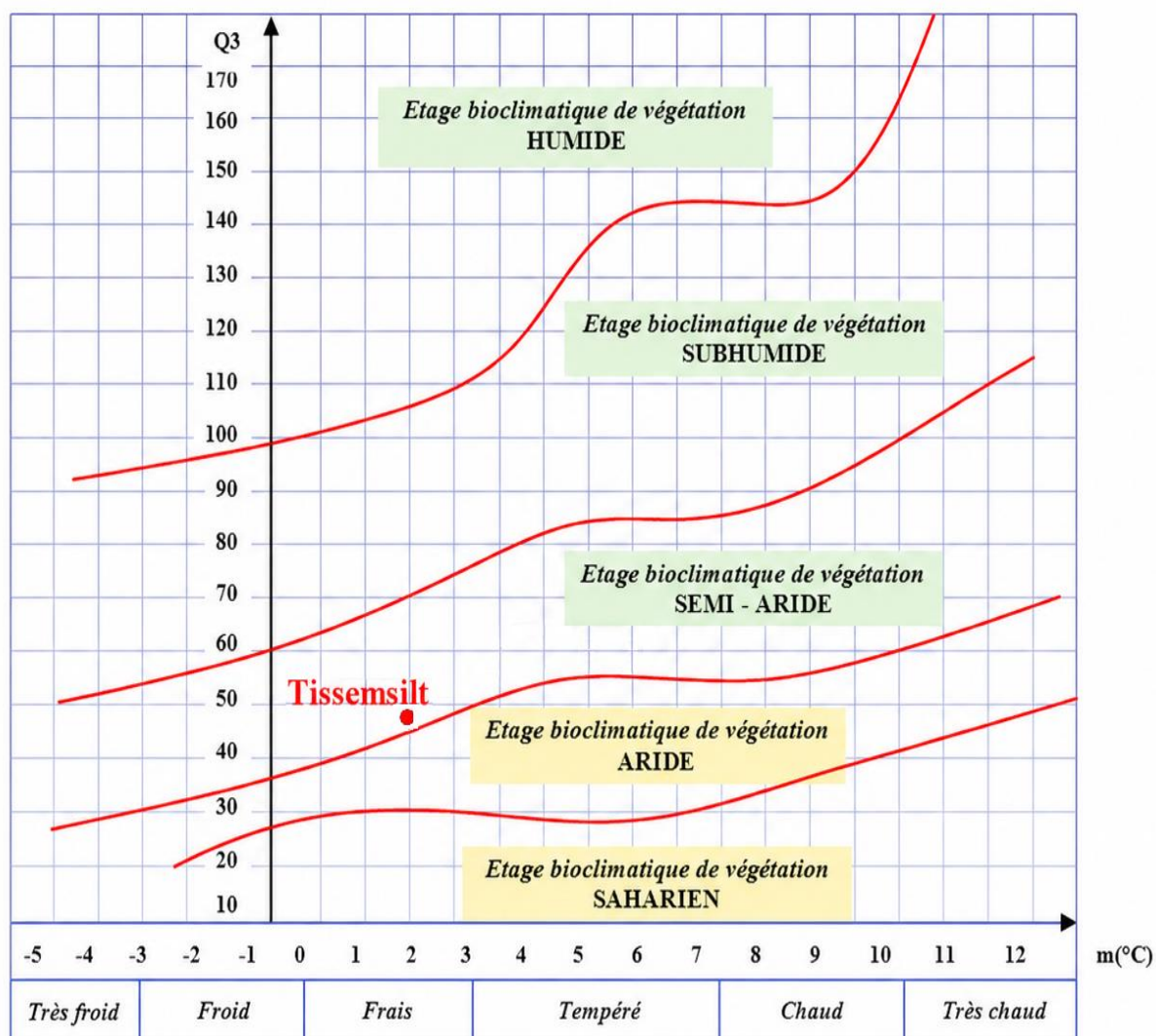


Figure N°13: Position de la commune de Tissemsilt dans le climagramme d'Emberger ($Q_3 = 44,22$)

Chapitre II : Généralité sur l'eau

II.1. Définition l'eau :

L'eau, qui se présente sous forme d'une solution aqueuse diluée, est chimiquement désignée par la formule H_2O . L'eau sous forme liquide est essentielle au maintien de la vie et de tous les organismes connus. On le retrouve en trois états : liquide, solide ou gazeux. Toutefois, la plupart des cas se présentent à l'état liquide, car c'est la forme d'eau la plus courante sur notre planète (**Chplin, M, 2023**)

Ainsi, l'eau occupe 71 % de la superficie de notre planète, avec 97% de celle-ci étant salée et 3% d'eau douce provenant de divers réservoirs. Il existe à l'état liquide dans les océans, les lacs, les rivières ou les ruisseaux. Des éléments tels que les mers, les lagunes, les étangs, les ruisseaux, les canaux, les fossés ou encore les zones interstitielles constituent également des sols d'eau liquide (**BERTRAND, 2008**).

II.1.1. Ressources en eaux:

Les formes de réserves naturelles de l'eau sont:

- **Les eaux souterraines (Infiltration, niveau des eaux souterraines),**
- **Les eaux de surface retenues ou en circulation (Barrages, lacs, rivières)**
- **L'eau de mer (JEAN-CLAUDE, 1983).**

II.1.1.1 - Les eaux de surface : L'eau de surface désigne l'eau qui s'est rassemblée et qui est collectée sur la terre ou dans les cours d'eau, tels que les lits de rivière, les lacs, les marais, ainsi que dans les mers et océans. Ainsi, son degré de pollution est évalué par la qualité de l'eau recueillie. En d'autres termes, toute l'eau de surface provient initialement des précipitations et elle est généralement perdue par évaporation et infiltration souterraine. (**Roux, 1995**).

II.1.1.2 -Les eaux souterraines : Selon sa définition, l'eau souterraine est celle qui s'infiltre à l'intérieur du sol en raison de la porosité de sa structure géologique. Toutefois, la collecte et l'accumulation d'eau sont conditionnées par les caractéristiques du sol qui contribuent à la formation d'un aquifère.

Effectivement, l'infiltration, le mouvement et la conservation de l'eau dans le sol dépendent de ses caractéristiques, de sa structure fondamentale et de

l'arrangement relatif des différentes strates géologiques. (**Freeze, R.A et Cherry, J,A 1979**)

II.1.1.3 -Les eaux de pluie:

Elles ne sont utilisées que lorsqu'il n'y a pas d'eau de surface ou souterraine disponible. Elles sont généralement de qualité acceptable pour la consommation humaine, mais lorsqu'elles entrent en contact avec la poussière de l'air et des gaz, elles se contaminent (**Germaine, 2013**).

II.1.1.4-Les eaux de mer

Dans certaines situations où l'on ne dispose pas d'eaux de surface ou d'eaux souterraines, il peut s'avérer indispensable d'utiliser des eaux saumâtres (**15000 mg/l de sels dissous**) ou même des eaux maritimes (**25000 mg/l ou plus**). Les deux méthodes principales pour le dessalement de ces eaux, basées sur la membrane, sont l'électrodialyse et l'osmose inverse. Cependant, elles impliquent des coûts élevés et une grande consommation d'énergie (**Joel, 2014**).

II.2. Composition chimique des eaux:

L'eau ne se limite pas à une simple association de molécules constituées de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène. Elle renferme également diverses substances dissoutes, qu'elles soient organiques ou minérales, ainsi que des gaz, des micro-organismes (bactéries, virus, plancton) et des particules en suspension.

La composition physico-chimique de l'eau dépend fortement du milieu dans lequel elle circule, qu'il s'agisse de l'atmosphère, des roches ou des cours d'eau. En raison de son pouvoir solvant élevé, l'eau acquiert des caractéristiques liées aux propriétés du bassin versant, à la nature des sols et des formations géologiques, à la présence des espèces végétales et animales ainsi qu'aux activités humaines (**Sardi, 2014**).

Les normes relatives à la qualité de l'eau potable sont établies par l'Organisation mondiale de la Santé (OMS). Ces valeurs de référence sont définies de manière à protéger les populations les plus sensibles. Elles tiennent

compte des incertitudes associées à chaque substance et sont déterminées en fonction de la dose journalière tolérable pour un individu de poids donné.

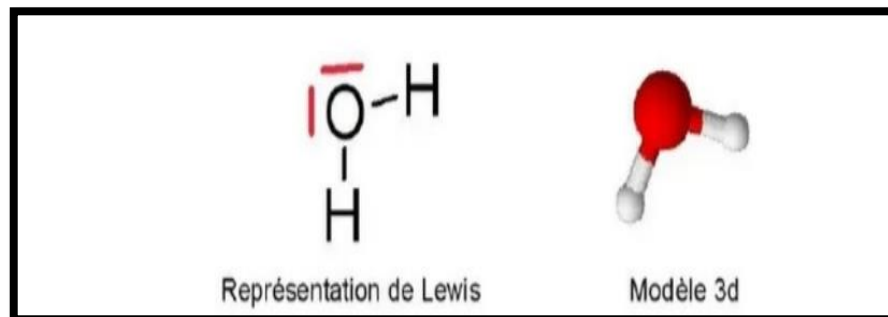


Figure 14: Composition chimique d'eau

II.3. Les paramètres organoleptiques:

II.3.1 - La couleur:

L'eau colorée n'est pas appréciable pour les usages domestiques, notamment pour la consommation, car elle suscite toujours des interrogations sur sa potabilité. Cette coloration est déterminée en comparant l'échantillon à analyser avec des échantillons de référence dont la teinte est obtenue grâce à une solution de chlorure cobaltique dissous dans de l'acide chlorhydrique. (**Rodier et Al, 2009, OMS, 2022**)

II.3.2 - L'odeur:

On définit l'odeur comme l'ensemble des impressions saisies par l'organe de l'odorat lorsqu'on sent certaines substances volatiles. Une nourriture destinée à la consommation doit être sans odeur. Effectivement, toute odeur indique une pollution ou la présence de matières organiques en décomposition. (**OMS, Rodier et Al, 2009**)

II.3.3- le gout :

Il s'agit de l'ensemble des perceptions gustatives et olfactives telles qu'elles sont expérimentées lorsque la nourriture ou la boisson est présente dans la bouche. Les principaux éléments susceptibles de rendre l'eau au goût désagréable comprennent le fer, le manganèse, le chlore actif, le phénol et le chlorophénol. (**Rodier et Al ; APHA, 2017**)

II.4 Les paramètres physiques:

II.4.1 - La température :

Il est essentiel de connaître avec exactitude la température de l'eau. Effectivement, elle influence la solubilité des sels et principalement des gaz, la dissociation des sels en solution et donc la conductivité électrique, l'établissement du pH, ainsi que l'identification de la provenance de l'eau et de possibles mélanges. **(Hem, 1985, Rodier et Al, 2009)**

II.4.2- La Turbidité:

La turbidité indique le degré d'opacité d'un milieu trouble. Il s'agit de la diminution de la clarté d'un liquide causée par la présence de substances non dissoutes. Elle est engendrée, dans les milieux aquatiques, par l'existence de particules en suspension (**MES**) fines telles que les argiles, les limons, les grains de silice et les microorganismes. Une portion minime de la turbidité peut aussi être attribuée à des matières colloïdales, qu'elles soient d'origine organique ou minérale. **(OMS, 2022, APHA,2007)**

II.4.3- Les matières en suspension (MES):

Les matières en suspension sont majoritairement biodégradables et constituent un support de transport pour de nombreux micro-organismes pathogènes présents dans l'eau. Leur présence peut dégrader les caractéristiques organoleptiques de l'eau en augmentant sa turbidité et en lui donnant un goût et une odeur indésirables. Néanmoins, elles peuvent contribuer à l'apport de certains éléments nutritifs utiles à l'irrigation des cultures. **(Rodier et al 2009, APHA,2017, Hem, 1985).**

II.4.4- La conductivité électrique:

La Conductivité Électrique L'évaluation globale des ions présents dans l'eau, principalement minéraux (**salinité de l'eau**), peut être effectuée par la mesure de la conductivité. La conductivité change selon le niveau de concentration de l'impureté. Il est indispensable de définir cette détermination, car au-delà d'un seuil de salinité, la biodégradation des matières organiques peut être entravée et les performances du traitement affectées. La mesure de la conductivité de l'eau nous permet d'apprécier la quantité des sels dissous dans l'eau (**chlorures, sulfates, calcium, sodium, magnésium...**). Elle est plus

importante lorsque la température de l'eau augmente. **(Rodier et al 2009, Hem, 1985, APHA,2017).**

II.5. Le potentiel d'Hydrogène (pH):

Le pH d'une eau est attribué à la concentration de cette dernière en ions. Une eau équilibrée possède un pH neutre de 7. Des fluctuations trop importantes du pH par rapport à cette moyenne de 7 signalent une pollution. Les eaux dont le pH diffère considérablement de la neutralité sont considérées comme polluées. On peut déterminer le pH soit par colorimétrie, soit par procédé électrométrique utilisant une électrode en verre. **(OMS 2022 , Rodier et al 2009, APHA,2017).**

II.6. Les paramètres chimiques:

II.6.1-Industrielle :

Rejet des industries minérales, en particulier de fabrication des engrais azotés. Cette source représente 1/9 des apports. **(Meybeck et al, 1996 ; UNESCO, 2024)**

II.6.2- Agricole:

Agriculture intensive caractérisée par un recours important aux fertilisants azotés et des rejets d'effluents provenant de l'élevage. Cette source constitue 6/9 de la contribution des nitrates dans l'environnement naturel. **(FAO, 2017)**

II.6.3 - Les chlorure (Cl^-):

Les chlorures présents dans l'eau potable peuvent être dus à des origines naturelles, aux rejets d'égouts et aux débordements industriels, à la pollution liée au déneigement des routes ou à des incursions salines. Un haut niveau de chlorures influence le goût de l'eau et, selon l'alcalinité de cette dernière, peut provoquer une accélération de la corrosion des métaux dans le réseau conduisant à une hausse de la concentration de certains métaux dans l'eau **(Maiga, 2005).**

II.6.4- Moins d'ions nitrate et nitrites (NO_3^-)/(NO_2^-):

Les ions nitrates et nitrites existent naturellement dans l'environnement, étant une composante du cycle de l'azote. Habituellement, la concentration en nitrates dans les eaux souterraines et de surface est faible. Cependant, elle peut atteindre des niveaux importants suite au ruissellement provenant des terres agricoles et des décharges, ou de contamination par les excréments humains et animaux. La chloramination peut entraîner la production de nitrites dans le système de distribution, où leur concentration pourrait croître à mesure que l'eau progresse vers les lieux d'utilisation. Le processus de nitrification au sein des

réseaux de distribution peut aussi provoquer une hausse de la teneur en nitrites. Le principal effet biologique des nitrites chez l'homme est leur participation à l'oxydation de l'hémoglobine normale en méthémoglobine, incapable d'assurer le transport de l'oxygène vers les tissus (OMS, 1998).

II.6.5- Taux de solides "TDS":

Le terme « solides dissous » fait référence à la concentration de particules solides qui sont dissoutes dans l'eau. Le **TDS** englobe des sels inorganiques comme le calcium, le magnésium, les chlorures, les sulfates, les bicarbonates, entre autres, ainsi qu'une multitude d'autres substances organiques qui se dissolvent aisément dans l'eau. D'après l'OMS, des niveaux de TDS au-delà de 1200 ppm sont jugés inadmissibles. L'eau qui présente un haut niveau de TDS influence grandement la couleur, l'arôme et le goût, et en plus elle peut provoquer un entartrage excessif dans les conduites d'eau, les radiateurs, les chaudières et les appareils ménagers (Pureit water, 2020).

II.6.6- Le calcium (Ca^{2+}):

Le calcium est un élément alcalin terreux largement présent dans l'environnement, notamment dans les roches calcaires où il se manifeste principalement sous forme de carbonates. Le calcium, qui est généralement l'élément prédominant dans les eaux potables, contribue de manière significative à leur dureté. Son altitude varie principalement en fonction des types de terrains traversés (Rodier, 2005).

II.6.7- Le magnésium (Mg^{2+}):

Le magnésium joue un rôle important dans la dureté de l'eau, sa concentration étant liée à la nature des roches sédimentaires présentes (calcaires dolomitiques, dolomies jurassiques ou terrains gypseux du Trias moyen) (Rodier, 2009).

II.6.8- Les matières organiques:

Les sources de matières organiques dans l'eau sont diverses, elles peuvent provenir de déchets animaux, d'urine ou d'excréments, notamment en cas de pollution liée à des carcasses d'animaux. Provenant de végétaux flétris situés à la surface du sol ou de l'humus, ou encore issus du secteur industriel tels que les phénols.

Généralement, ces substances organiques donnent à l'eau un goût et une odeur désagréables qui peuvent être intensifiés par la chloration. La présence de substances organiques dans l'eau potable ne signifie pas nécessairement qu'il y a un risque sérieux pour la santé publique, cependant une concentration élevée doit éveiller les soupçons d'une contamination microbiologique ou chimique (Cardot et Gilles, 2013).

II.6.9- Les ions Sulfates (SO_4^{2-}):

Les ions sulfates (SO_4^{2-}) se composent de soufre (S) et d'oxygène (O). Cet élément existe sous forme naturelle ou synthétique. Si leur concentration

dépasse la limite autorisée par les normes de l'OMS, les ions sulfates confèrent à l'eau un goût amer, presque médical. Cela rend la consommation d'eau peu agréable (INH, 2019).

II.6.10- Fer (Fe^{+2}):

Le fer est un élément naturellement présent dans l'eau, provenant principalement du lessivage des sols, des activités industrielles ou de la corrosion des conduites. Bien que les concentrations habituelles ne présentent généralement pas de risque sanitaire, sa présence peut altérer les caractéristiques organoleptiques de l'eau en provoquant une coloration rougeâtre, une turbidité, un goût métallique et des dépôts sur les équipements. Les normes réglementaires visent principalement à limiter ces désagréments, et l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) recommande une concentration maximale de 0,3 mg/L pour l'eau destinée à la consommation humaine (Rodier et Bernad, 2009).

II.6.11- Ions sodium (Na^+):

Le sodium est parmi les éléments les plus répandus sur notre planète, c'est une substance chimique largement soluble qui se retrouve fréquemment dans les nappes phréatiques. En effet, la majorité des roches et des sols sont composés de sels de sodium qui se dissolvent aisément. Les eaux de surface peuvent présenter des niveaux plus élevés de concentration en raison des rejets d'eaux usées et d'effluents industriels. L'OMS préconise une limite de 200 mg/l pour le sodium dans l'eau potable, et beaucoup d'eaux de surface affichent des concentrations bien inférieures à 50 mg/l. Néanmoins, il est courant que la concentration dans les eaux souterraines dépasse 50 mg/l (Rs hydro, 2021) (Champan et Kimstach, 1996).

II.6.12- Potassium (K^+):

On retrouve le potassium en abondance dans la nature, notamment dans toutes les eaux naturelles. Il peut également se retrouver dans l'eau potable à la suite de l'emploi du permanganate de potassium en tant qu'agent oxydant lors du traitement de l'eau. Même si le potassium peut provoquer certains effets sur la santé chez les personnes sensibles, l'absorption de potassium par l'eau potable est largement inférieure au seuil où des répercussions néfastes sur la santé peuvent survenir. La consommation d'eau potable traitée par un procédé utilisant du potassium pourrait être associée à des risques pour la santé. La présence excessive de certains ions peut représenter un risque principalement pour les personnes appartenant à des groupes vulnérables. Il s'agit notamment des individus souffrant d'insuffisance rénale ou d'autres pathologies telles que les maladies cardiaques, les affections des artères coronaires, l'hypertension artérielle, le diabète, l'insuffisance surrénalienne ou une hyperkaliémie préexistante. Les personnes prenant des médicaments susceptibles d'interférer avec le métabolisme normal du potassium, ainsi que les personnes âgées et les nourrissons, sont également plus exposés à ces effets (OMS, 2017).

II.6.13- Les Phosphates (PO_4^{3-}):

Dans les milieux aquatiques, le phosphore est majoritairement présent sous forme d'anions phosphates, notamment les orthophosphates, les phosphates solubles dans l'eau et les phosphates organiques en phase dissoute ou particulaire. Sa présence découle de l'emploi de produits nettoyants et de détergents riches en phosphore, une utilisation excessive d'engrais et un manque de régulation des rejets provenant des exploitations agricoles. Le phosphore n'est pas nuisible pour les plantes et les animaux, néanmoins il est à l'origine de la multiplication des algues (**Cardot et Gilles, 2013**).

II.7. Etats de l'eau:**II.7.1 Les trois états physiques de l'eau:****II.7.1.1- État gazeux :**

Il se distingue par une absence de forme et de délimitations physiques. Dans cet état, les molécules se déplacent en continu de manière chaotique. Elles se déplacent à des vitesses proches de celle du son, entrent en collision puis s'écartent dans une autre direction jusqu'à une nouvelle collision. Ce déplacement est dû à ce qu'on nomme l'agitation thermique, qui s'accroît naturellement avec la température. (**Atkins et de Paula, 2018**)

II.7.1.2-Etat liquide:

Cette condition se distingue par une forme non déterminée. Les molécules ont la capacité de se mouvoir les unes par rapport aux autres tout en demeurant à proximité. Elles sont connectées par des forces intermoléculaires telles que les liaisons de Van der Waals ou les liaisons hydrogène. L'augmentation de la température entraîne une hausse de l'agitation thermique à l'intérieur du liquide, qui accélère le passage de l'état liquide à l'état gazeux. Pour un corps pur donné et sous une pression donnée, l'évaporation de l'état liquide à l'état gazeux se fait à une température fixe appelée température d'ébullition ou de vaporisation. (**Petrucci et al 2018**)

II.7.1.3--Etat solide:

L'état solide de l'eau se caractérise par une forme propre et une structure stable. À basse température, l'eau peut se présenter sous différentes formes solides, notamment la glace, la neige et le givre. (**Brown , et al, 2018**)

II.8- Cycle de l'eau:

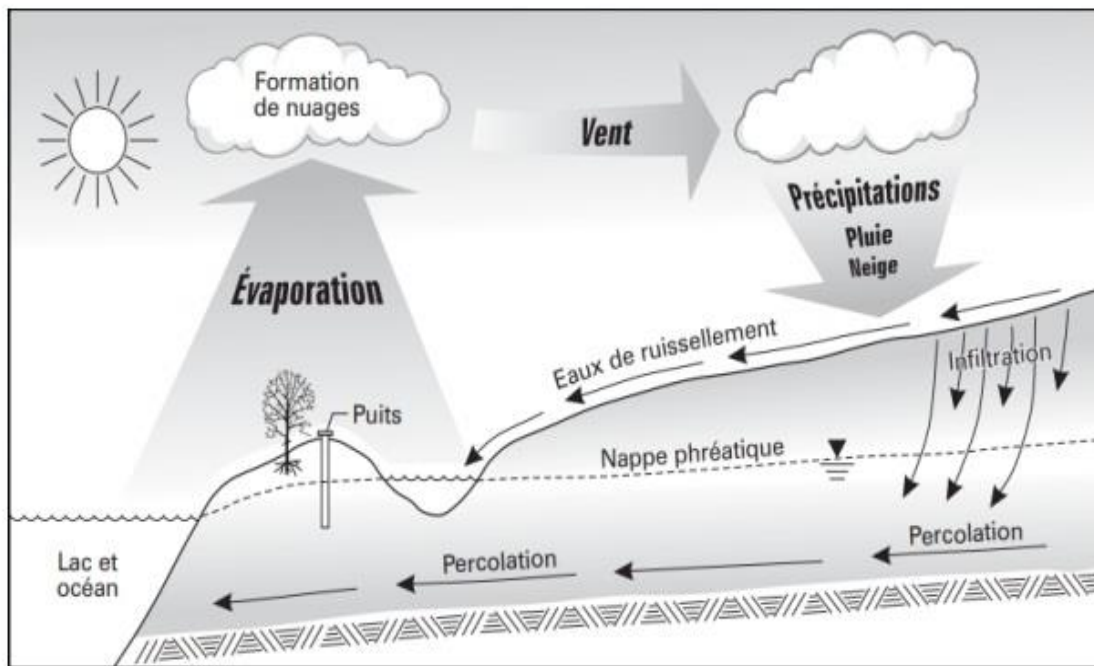


Figure 15 : Cycle de l'eau

Chapitre III

Géologie

III.1 Introduction :

La géologie de l'Ouarsenis constitue un élément essentiel pour comprendre l'histoire naturelle du nord-ouest de l'Algérie. Massif de l'Ouarsenis est une chaîne montagneuse appartenant à l'Atlas tellien, située principalement dans les wilayas de Tissemsilt, Chlef et Relizane. Ce massif présente une grande diversité de formations rocheuses et de structures tectoniques qui témoignent des différentes phases géologiques ayant affecté la région depuis l'ère secondaire jusqu'à l'ère quaternaire. **(Mattauer, 1958, Benhamou, 1996)**

Les terrains de l'Ouarsenis sont composés principalement de roches sédimentaires telles que les calcaires, les marnes et les grès, formées dans d'anciens milieux marins. Les mouvements tectoniques liés à la formation de l'Atlas ont provoqué le plissement et le soulèvement de ces couches, donnant naissance aux reliefs actuels. La région est également marquée par une forte activité d'érosion qui façonne les vallées, les versants et les plateaux. **(Mattauer, 1958, Calembert, 1952)**

L'étude géologique de l'Ouarsenis permet de mieux comprendre la structure géologique de l'Algérie du Nord, les ressources naturelles de la région ainsi que les risques naturels comme les glissements de terrain et les séismes. Ainsi, le massif de l'Ouarsenis représente un terrain d'étude important pour les géologues et les chercheurs intéressés par l'évolution géodynamique du Maghreb. **(Mattauer, 1958, Benhamou, 1996)**

III.2 CADRE GEOGRAPHIQUE DE L'OUASENIS:

Le massif de l'Ouarsenis désigne la section du Tell méridional située entre les longitudes de Boghari et Relizane, soit entre la vallée transversale de l'oued Chélif à l'est et celle de l'oued Mina à l'ouest. Le massif de Titteri borde l'Est, tandis que les monts de Beni Chougrane se trouvent à l'Ouest. Le plateau du Sersou s'étend au Sud et la dépression du Chélif au Nord. Cette région est répartie sur les Wilayas de Médéa, Ain Defla, Tissemsilt, Chlef, Relizane et Tiaret. **(Sari, 1977, Benhamou, 1996)**

III.3 -SITUATION DE L'OUARSENIS :

Le massif de l'Ouarsenis constitue l'un des principaux ensembles montagneux du Tell algérien. Il fait partie des massifs intérieurs situés sur la bordure méridionale du Tell. Il est limité au nord par la plaine du Chélif, au sud

par le plateau du Sersou, à l'est par les monts des Bibans et à l'ouest par les monts des Béni-Chougrane ainsi que la vallée de l'Oued Mina.

Son point culminant est le Grand Pic de Sidi Amar, qui s'élève à 1 985 m d'altitude. Ce sommet, considéré comme le plus élevé de l'Ouarsenis, est communément surnommé « le nombril du monde » ou encore « l'œil du Tell » en raison de sa position dominante et de son importance géographique. (Mattauer, 1958, Benhamou, 1996)

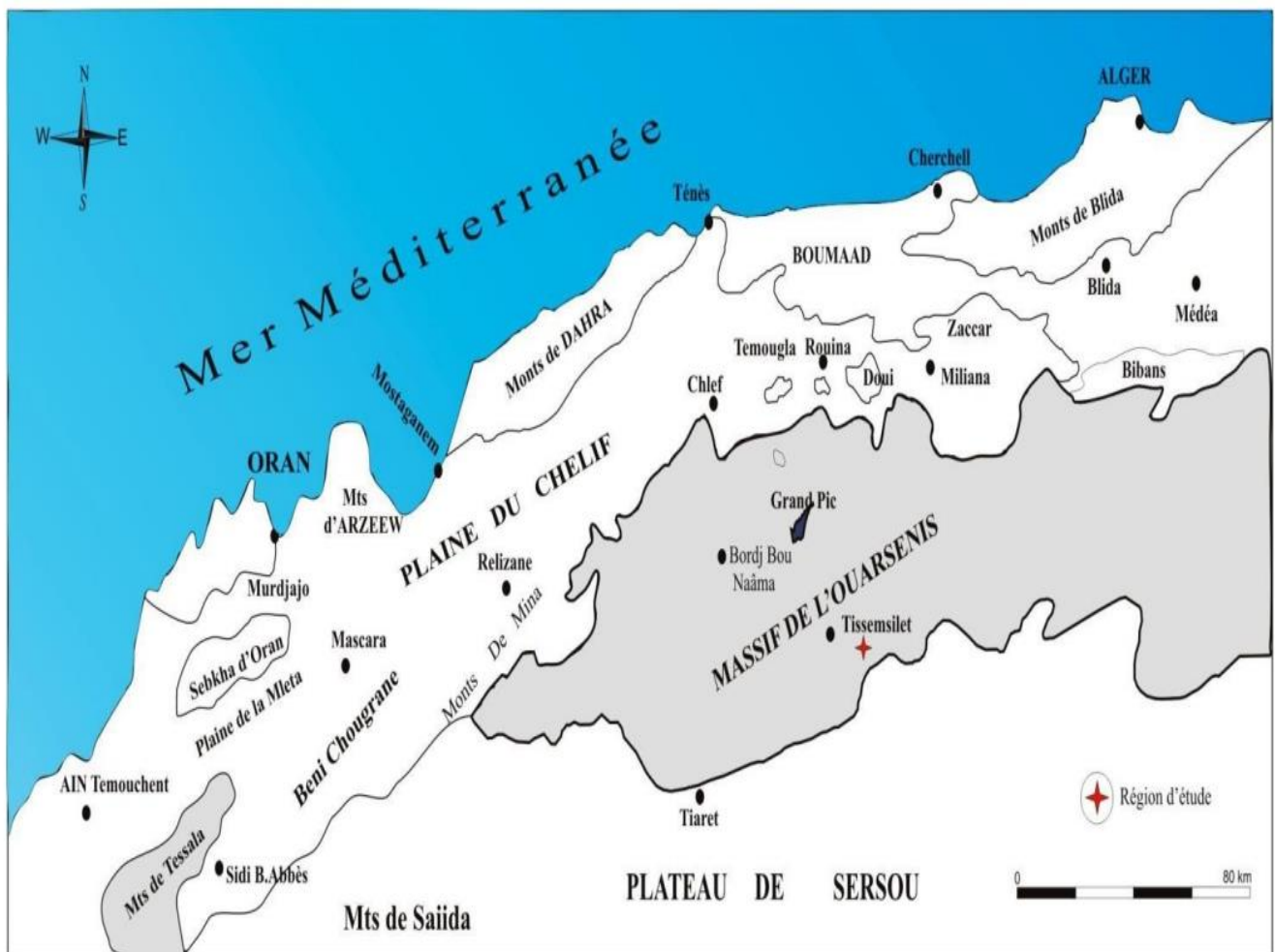


Figure N°16 : situation et limite géographique de massif de l'ouarsenis (Benhamou, 1996)

III.4 CONTEXTE GEOLOGIQUE GENERAL DE L'OUARSENIS:

A-APERÇU STRATIGRAPHIQUE

La série stratigraphique de l'Ouarsenis Oriental comporte des terrains assez diversifiés allant du: Paléozoïque, Mésozoïque et Cénozoïque (**Mattauer, 1958**).

III.4.1 Le Paléozoïque:

À la limite de notre zone d'étude, les formations paléozoïques sont peu représentées. Cependant, dans l'ensemble du massif de l'Ouarsenis, on observe de petits fragments de dimensions réduites intégrés au complexe triasique et provenant du socle anté-triasique (**Mattauer, 1958**).

Selon Mattauer (1958), les affleurements paléozoïques peuvent être répartis en trois catégories. La première correspond au Primaire autochtone, constitué de formations cristallines, sédimentaires et métamorphiques, présentes dans les massifs connus sous le nom de « Massifs du Chélif » (**Mattauer, 1958 ; Kirèche, 1977, 1993**). La deuxième catégorie regroupe les formations primaires incluses dans le complexe triasique (**Mattauer, 1958**). Enfin, la troisième catégorie concerne les formations primaires recouvertes par les dépôts du Miocène inférieur (**Mattauer, 1958**)

- Un Primaire enveloppé dans la formation triasique (Mattauer, 1958) ;
- un Primaire en galets datant du Miocène inférieur (Mattauer, 1958).

III.4.2 Le Mésozoïque:

III.4.2.1 Le Trias :

Dans la région de l'Ouarsenis, le Trias est généralement observable dans une position anormale et ne présente aucune faune. Ce dernier se présente sous forme d'un agencement gypso-salin, cargneules, argiles bariolées, grès rouges et dolomitiques, en association avec des roches magmatiques (**Mattauer, 1958**). Il se présente sous la forme d'un complexe gypso-salin, cargneules, argiles bariolées, grès rouges et dolomitiques, associé à des roches magmatiques (**Mattauer, 1958**).

III.4.3 Le Jurassique :

Les affleurements jurassiques sont moins abondants et plus discrets que ceux du Crétacé. Ils n'apparaissent que dans certaines zones localisées, notamment au centre du massif et à ses extrémités, où ils présentent une forte perturbation tectonique. **Dalloni (1936)** les a décrits comme des îlots émergents au sein des formations crétacées.

D'après les travaux plus récents de Benhamou (1996), ces affleurements sont constitués de dépôts carbonatés et détritiques de plateforme, allant de milieux peu profonds à plus profonds, représentés principalement par des dolomies et des calcaires. Ils témoignent d'une série jurassique ayant subi une inversion tectonique sous l'effet des mouvements structuraux.

III.4.4 Le Crétacé:

Le Crétacé inférieur est caractérisé par la présence de formations lithologiques variées, constituées principalement de marnes, de roches carbonatées, d'ensembles marno-calcaires ainsi que de dépôts détritiques à faciès flyschoïdes (**Dalloni, 1914 ; Calembert, 1937 ; Polvêche, 1960 ; Tchoumatchenco et al., 1995 ; Benyoucef, 2006 ; Chérif, 2009**). Ces formations correspondent essentiellement à l'intervalle Albien-Aptien.

Le Crétacé moyen et supérieur se caractérisent quant à eux par des dépôts sédimentaires développés dans des environnements de profondeur variable, allant de milieux peu profonds à plus profonds. Ces dépôts sont majoritairement marneux et présentent localement des intercalations de bancs calcaires associées à des niveaux détritiques dont l'importance et l'épaisseur peuvent varier selon les secteurs étudiés (**Benyoucef, 2006 ; Brahim, 2013**).

Ainsi, les séries du Crétacé moyen et supérieur sont dominées par des sédiments marneux, parfois interrompus par des couches calcaires et accompagnés de matériaux détritiques d'abondance variable, traduisant la diversité des conditions de sédimentation au cours de cette période

III.4.5 Le Cénozoïque:

III.4.5.1 Le Paléocène :

L'identification de la différence entre les dépôts du Crétacé et ceux du Paléocène ne se fait qu'à travers la microfaune, tous étant présents dans le complexe principalement marneux (**Mattauer, 1958**).

III.4.5.2 L'Eocène:

La transition entre le Crétacé et l'Éocène s'effectue de manière progressive, sans discontinuité lithologique marquée. La partie inférieure de l'Éocène est essentiellement caractérisée par des formations marneuses, dont l'extension demeure relativement limitée. Dans l'Ouarsenis, l'Éocène inférieur se distingue par trois principaux faciès : les marnes et calcaires blancs à Globigérines, le faciès gréseux glauconieux et le faciès phosphaté.

Les affleurements de l'Éocène moyen et supérieur se présentent soit sous un faciès marneux constitué de marnes brunes à noires, soit sous un faciès glauconieux. Enfin, les formations éocènes sont également représentées dans les dépôts miocènes sous forme de galets remaniés, témoignant d'une reprise et d'un transport des matériaux plus anciens (Mattaueur, 1958).

Ainsi, l'Éocène de l'Ouarsenis montre une grande diversité lithologique, traduisant l'évolution des conditions de sédimentation au cours de cette période géologique.

III.4.5.3 L'Oligocène:

L'Oligocène est essentiellement caractérisé par deux types de faciès. Le premier, le faciès à Boghari qui représente notre région d'étude, est principalement marneux avec des intercalations gréseuses et sporadiquement calcaires, tout en étant rarement détritique à sa base. Le second, le faciès numidien qui correspond à la nappe C, est majoritairement gréseux (**Mattaueur, 1958**). Selon **Mattaueur (1958)**, le faciès numidien qui correspond à la nappe C est principalement composé de grès.

III.4.5.4 Le Miocène:

Des dépôts de conglomérats ou de grès illustrent le Miocène inférieur, et ces derniers sont recouverts par des marnes grises contenant de petites faunes. Selon **Mattaueur (1958)**, le Miocène supérieur se caractérise par la présence de marnes grises similaires à celles du Miocène inférieur ainsi que de dépôts de grès.

III.4.5.5 Le Pliocène:

Il se caractérise par des dépôts continentaux composés de cailloux, graviers, sables, argiles et limons (**Mattaueur, 1958**).

III.5 Quaternaire :

Selon **Mattauer (1958)**, les dépôts quaternaires constituent des terrasses marquées par des cailloux et des alluvions récentes richement limoneuses, situées dans des vallées à une altitude supérieure à 50m.

Stratigraphie			Dépôts et faciès	Auteurs
Quaternaire			Alluvions et cailloutis	Mattaue (1958), Polvéche (1960)
Cénozoïque	Pliocène		Cailloutis et replats tufacés	
	Miocène	Sup	Gypse, grès-marnes, conglomérat (continental)	Belkébir et Bessedik (1992), Guardia (1975), Delteil (1974), Dalloni (1952)
		Inf.	Marnes, marno-calcaires, grès-calcaires, conglomérats	Bessedik et al. (2002), Polvéche (1960), Mattauer(1958), Cheylan et al. (1955)
	Oligocène		Boghari (Oranais), Numidien	Polvéche (1960), Mattauer (1958)
	Éocène		Mannes, marno-calcaires grès glauconieux, faciès phosphatés	Polvéche (1960) Mattaue(1958), Flandrin (1948)
	Paléocène		Marnes	Dalloni (1936)
	Mésozoïque	Crétacé	Sup	Marnes à boules calcaires, microbrèches, argiles (flysch), marno-calcaires, marnes, calcaires à niveaux siliceux
Inf.			Marno-calcaires Flysch schistes à lit calcaires-grès, marno-calcaires, marno-calcaires ammonitico-rosso	Tchoumatchenco et al. (1995) Benyoucef (2006) Chérif (2009), Tchoumatchenco et Krischev (1992a), Polvéche (1960), Mattauer (1958), Calambert (1952), Dalloni (1936).
Jurassique		Malm	Ammonitico-rosso, calcaires-marno-calcaires,	Atrops et al. (1991a et b), Benhamou (1996), Tchoumatchenco (1984-1986a- 1987) Kirèche (1977-1993), Farès- Khoudja (1968); Calambert (1937-1952), Caire, Glangeaud, Mattauer (1950 , 1952), Geoffroy (1936), Gentil (1902-1904), Pomel (1875)
		Dogger	grès-grès calcaires, marno-calcaires	
		Lias	carbonates ,dolomies	
Trias			Gypse, grès, argiles versicolores, dolomies cargneules, et bréchiqes, blocs primaires	Trümpy (1983), Mattauer (1958) Dalloni (1952), Fallot (1942 a, b) Gentil (1902), Nicaise (1870)
Paléozoïque			Conglomérats (Verrucano) Série volcano-sédimentaire Série schisto-gréseuse Socle cristallophyllien	Mattaue (1958), Caire, Glangeaud, Mattauer (1950, 1952), Glangeaud et Bétier (1935, 1937), Géoffrey (1933), Glangeaud (1932), Gentil (1904), Pomel (1856-1859)

Figure 17 : La série synthétique du bassin de l'Ouarsenis.

(KANIT HAFIDHA, 2020)

III.6 CONCLUSION:

Massif de l'Ouarsenis est une région géologique majeure du nord-ouest algérien, façonnée par les mouvements tectoniques alpins qui ont créé plis, failles et chevauchements. Sa structure complexe résulte de plusieurs phases de compression tectonique. La région est principalement composée de roches calcaires et dolomitiques favorisant des phénomènes karstiques comme les cavités et dolines, témoins d'anciens milieux marins du Jurassique. Elle possède aussi un intérêt économique important grâce aux gisements de plomb, zinc et baryte, notamment à Bou Caïd, liés à des circulations hydrothermales dans les fractures rocheuses.

Chapitre IV
Étude hydrochimique

V.1 Introduction:

L'eau est le moteur de la vie, l'élément indispensable à fixer en un lien Population, La Source des activités Agricoles La substance La Plus Consomme par les industries et l'économie Quotidien.

L'Eau de Consommation Doit être d'une bonne qualité Physico-Chimique mais elle n'est pas toujours directement utilisable car Elle peu être polluée lors de sa circulation dans le sol, à la surface de la par l'air . doit entre traité avant la consommation.

Notre travail qui a été rendue au niveau de Laboratoire de l'Algérienne des Eaux de commune de Tissemsilt, Porte sur l'Étude des Eaux Potables.

V.2 Etude des sources de la commune de Tissemsilt:

Les eaux souterraines présentes dans la croûte terrestre circulent à travers des cavités de perméabilité et de composition géologique variées qui sont fortement influencées par les changements de structure; elles se déplacent de zones élevées vers des zones plus basses. **(Berbera F., 2008).**

V.3 Echantillonnage:

Figure N°18 : Echantillonnage des sources de l'eau

Notre travail 8 stations de source, forage, puits de la comune de Tissemsilt ont fait l'objet les analyses, Qui sont:

- ✓ An sfa
- ✓ An Rrehahla
- ✓ An Hamera
- ✓ An Tissemsilt

- ✓ An Ouateouate
- ✓ An kebbaba
- ✓ An Fourzi
- ✓ An dhaya

N°	DATE de prélèvement	SOURCE	Coordonnées x (m)	Coordonnées y (m)
01	23/03/2026	An Tissemsilt	1° 4 3 05 E	35° 34 37 N
02	23/03/2026	An Ouatouate	1°47 15 E	35° 34 42 E
03	23/03/2026	An Rehahla	1°44 52 E	35°36 27 N
04	23/03/2026	An hamera	1° 50 0 E	35° 33 28 N
05	23/03/2026	An forzi	1° 6 21 E	35° 35 39 N
06	23/03/2026	An kebbaba	1°6 51 E	35° 33 52 N
07	23/03/2026	An sfa	1° 60 47 E	35° 32 47 N
08	23/03/2026	An dhaya	1° 3 54 E	35°35 21 N

Tableau N°07: Répartition des points de prélèvement de la commune de Tissemsilt

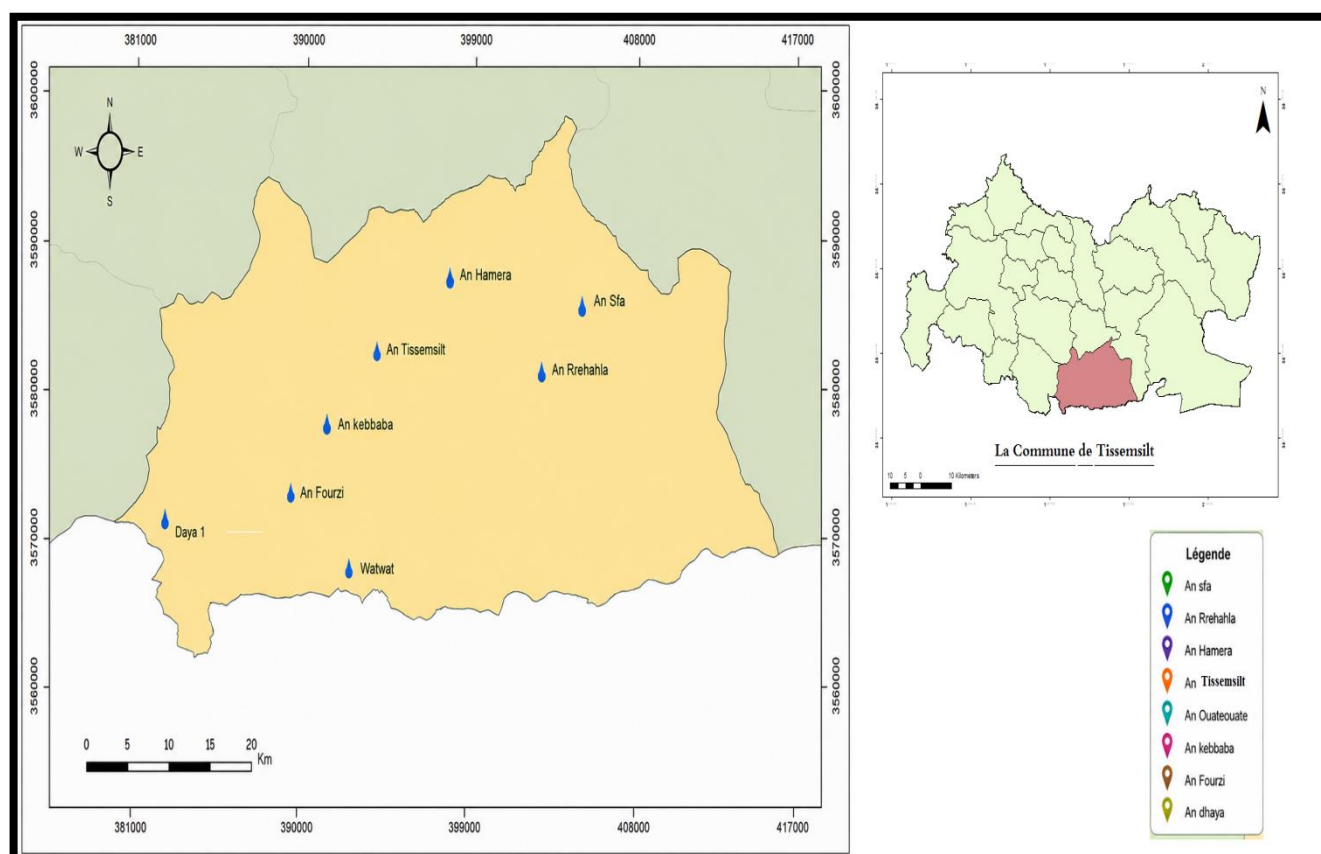


Figure N°19 : Carte de localisation des sources dans la commune de Tissemsilt(original 2026)

V.4. Le chimisme et la qualité des eaux dans la région de Tissemsilt:

Lorsque l'eau entre en contact avec différents sols, elle s'enrichit de divers composants qui affectent sa qualité. Quelques-uns de ces composants se trouvent naturellement dans le sol et détermineront la qualité naturelle de l'eau non traitée. De ce fait, l'eau dans son état naturel peut contenir

Les eaux naturelles renferment des matières organiques, des éléments dissous d'origine géologique et des particules en suspension, auxquels peuvent s'ajouter des polluants issus des activités humaines. La qualité de l'eau dépend principalement de la concentration de ces éléments. La vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution varie selon le type d'aquifère et les conditions de circulation de l'eau. Les nappes libres sont les plus exposées, tandis que les nappes captives bénéficient d'une meilleure protection grâce aux couches imperméables qui les recouvrent, bien que cette protection puisse être altérée par les forages ou autres ouvrages traversant ces couches.

➤ Les paramètres physiques:

Différents tests accessibles sont bénéfiques pour évaluer la potabilité de l'eau. Le paquet d'analyse standard de l'eau potable inclut des mesures de température, du pH, de la conductivité électrique, de la turbidité, ainsi que de la salinité à l'aide d'un pH-mètre, d'un conductimètre et d'un turbidimètre.

➤ Les paramètres chimiques :

_Lésions : Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ .

_Les anions : HCO_3 , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} .

Paramètres physicochimiques	Symboles/formules	Valeurs indicatives (les normes algériennes)
Potentiel Hydrogène	pH	$6.5 < \text{pH} < 9$
Conductivité électrique	CE	$2800 \mu\text{m/cm}$
Turbidité	Turb	5 NTU
Températures	T	$< 25^\circ \text{C}$
Salinité	NaCl	1.4 mg/l
Calcium	Ca^{+2}	200 mg/l
Magnésium	Mg^{+2}	150 mg/l
Potassium	K^+	12 mg/l
Sodium	Na^+	200 mg/l
Ammonium	NH_4^+	0.5 mg/l
Dureté	TH	200 mg/l en CaCO_3
Alcalinité	HCO_3^-	500 mg/l en CaCO_3
Fer	Fe^{+2}	0.3 mg/l
Matières oxydables	Mo	5 mg/l
Sulfates	SO_4^{2-}	400 mg/l
Chlorures	Cl^-	500 mg/l
Ortho phosphates	PO_4^{3-}	0.5 mg/l

Nitrates	NO₃-	50 mg/l
Nitrites	NO₂-	0.2

Tableau 08 : Normes algériennes de potabilité des eaux (ADE 2026)**V.5_Conditions et mode d'échantillonnage**

La collecte d'un échantillon d'eau est une procédure délicate qui nécessite une attention minutieuse, car elle influence les résultats des analyses et leur interprétation. L'échantillon doit être uniforme, représentatif et recueilli sans altérer les propriétés physico-chimiques de l'eau (gaz dissous, substances en suspension, etc.).

Toutefois, pour obtenir des résultats d'analyse pertinents, l'échantillon doit être correctement conservé jusqu'à son arrivée au laboratoire.

Echantillons destinés aux analyses physico-chimiques:

Les prélèvements effectués sur diverses sources ont été réalisés directement. Les bouteilles teintées d'un litre sont plusieurs fois lavées avec de l'eau à tester, puis complètement remplies afin d'éviter toute réaction d'oxydation. Les bouteilles doivent être fermées et étiquetées avec un code pour en assurer une identification aisée.

V.6- Les analyses physico-chimiques:**V.6.1. Le pH:****V.6.1.1 Principe:**

L'écart de potentiel entre une électrode en verre et une électrode de référence (Calomel- kcl saturé). Dans une solution identique, c'est une fonction linéaire du pH de cette dernière. Le potentiel de l'électrode est associé à l'activité des ions H⁺.

_Appareil: PH mètre

_Électrode : PH réf. 60209000

_Réactifs: Tampon pH = 7

_Tampon PH = 4

**Figure N°20 :PH Mètre (original 2026)**

V.6.1.2 Mode opératoire:**V.6.1.2.1-Etalonnage de l'appareil. :**

- Mettre le pH-mètre en marche.
- Connecter correctement l'électrode à l'appareil.
- Nettoyer soigneusement l'électrode à l'aide d'eau distillée.
- Contrôler l'état de l'électrode et vérifier le niveau de la solution de KCl.
- Verser une quantité suffisante de solution tampon de pH 7 dans un bécher propre.
- Introduire l'électrode dans la solution tampon.
- Attendre quelques instants jusqu'à la stabilisation de la valeur affichée.
- Régler l'appareil de manière à obtenir une valeur exacte de pH 7.
- Retirer l'électrode puis la rincer abondamment à l'eau distillée.
- Réaliser une seconde calibration en utilisant une solution tampon de pH 4 selon la même procédure.
- Rincer de nouveau l'électrode avec de l'eau distillée après l'étalonnage.
- Procéder enfin à la mesure du pH des échantillons à analyser.

V.6.1.2.2-Dosage de l'échantillon:

- Prélever environ 100 mL de l'échantillon d'eau à analyser dans un bécher propre.
- Immerger délicatement l'électrode du pH-mètre dans l'échantillon.
- Attendre quelques instants afin de permettre la stabilisation de la lecture.
- Relever et enregistrer la valeur du pH affichée par l'appareil.

V.6.2. Mesure de la conductivité électrique**V.6.2.1-Définition:**

La conductivité électrique de l'eau correspond à la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de surface égale à 1 m² et séparées par une distance d'un mètre. Elle représente l'aptitude de l'eau à conduire le courant électrique et constitue l'inverse de la résistivité.

Dans le Système international, la conductivité s'exprime en siemens par mètre (S/m). Toutefois, pour les analyses des eaux, elle est généralement exprimée en microsiemens par centimètre (μS/cm).

La relation entre la résistivité et la conductivité est donnée par :

$$\text{Résistivité } (\Omega \cdot \text{cm}) = 1 / \text{Conductivité (S/cm)}$$

Ainsi, plus la conductivité électrique est élevée, plus la résistivité est faible, ce qui traduit une concentration plus importante en ions dissous dans l'eau.

$$\text{Résistivité (cm)} = \frac{1000000}{\text{Conductivité } (\mu\text{S/cm})}$$



Figure N°21 : Conductimètre

V.6.2.2-Principe:

La mesure de la conductance électrique consiste à évaluer la capacité d'une colonne d'eau, délimitée par deux électrodes parallèles en platine (Pt), ou recouvertes de noir de platine, à conduire le courant électrique. La résistance de cette colonne d'eau, notée R, est exprimée en ohms (Ω) et représente l'opposition offerte par l'eau au passage du courant électrique.

La résistivité électrique en Ohms.cm est: $P=R S$

La conductivité électrique en S/cm est:

$$V = \frac{1}{P} = \frac{1}{R} \frac{1}{S}$$

1/S: Est appelé constante de l'élément de mesure.

- Matériel:

.Thermomètre.

.Conductimètre.

V.6.2.3 Mode opératoire:

En règle générale, assurez-vous d'utiliser de la verrerie soigneusement propre et rincée au préalable, avec de l'eau distillée.

Effectuez plusieurs rinçages de la cellule de conductivité, d'abord avec de l'eau distillée, puis en la submergeant dans un conteneur rempli d'eau à examiner. Enregistrez la mesure dans un second réceptacle tout en veillant à ce que les électrodes de platine soient entièrement immergées.

Secouer le liquide (barreau magnétique) pour que la concentration ionique entre les électrodes soit la même que celle du liquide environnant. Cette agitation contribue également à supprimer les bulles d'air présentes sur les électrodes. Insérez le thermomètre dans la cellule aussi rapidement que possible. Il est impératif que la température du fluide ne change pas durant la mesure.

Expression des résultats:

Le résultat est donné directement en $\mu\text{S}/\text{cm}$

V.6.2 - Mesure de la température:

La température joue un rôle crucial dans les réactions physiques et chimiques. (Rodier 1996) traite des aspects chimiques et biologiques. Sa fluctuation a une importance considérable dans diverses réactions chimiques, telles que la solubilité des sels et des gaz dissous dans l'eau. Il est primordial de réaliser la mesure directement sur le terrain (la température a été évaluée localement à l'aide d'un thermomètre ou multimètre et Le résultat est directement fourni $^{\circ}\text{C}$).



Figure N°22 : Multi paramètre type (original 2026)

V.7 TURBIDITE:

V.7.1 Définition:

Réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matière non dissoute.

V.7.2 Principe:

Pour chaque échantillon d'eau, la lumière diffusée et la lumière sont mesurées. La transmission permet l'identification de substances non dissoutes, absorbantes mais mal diffusantes, qui Elles passeraient inaperçues si l'on se basait uniquement sur la mesure de la lumière diffusée.



Figure N°23 : Turbidimètre HACH TL2300. (original 2026)

V.7.3 Appareillage:

Cuvette d'évaluation de la transparence constituée d'une cuvette de verre incolore de 50mm diamètre.

Etalonnage de l'appareil:

A l'aide des solution d'étalonnage de formazine de 400 à 4000 NTU.

V.7.4 Mode opératoire:

Remplissez une cuvette de mesure propre et soigneusement séchée avec du papier toilette. Avec le prélèvement à examiner bien homogène et en procédant rapidement à la mesure, il est indispensable de contrôler qu'aucune bulle d'air n'est présente avant d'effectuer la mesure.

.Expression des résultats: La mesure est obtenue directement en NTU

.Détermination de l'azote ammoniacal (NH^{+4})

V.7.5 Principe:

Mesure spectrométrique du composé bleu formé par réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et hypochlorite en présence de nitroprussiate de sodium.

Réactifs:

Réactif 1:

Acide dichloroisocyanurique2g

Hydroxyde de sodium.(NaOH).....30 g.

H₂O distillée..... q.s.p 1000 ml.

Réactif 2 (coloré):

Trictrate de sodium.....130 g

Salicylate de sodium.....130 g

Nitropruciade de sodium.....0.97

H₂O distillée.....q.s.p 1000 ml.

V.7.6 Mode opératoire :

- Prélever 40 mL de l'échantillon d'eau à analyser.
- Ajouter 4 mL du réactif n°1 et mélanger soigneusement.

- Introduire ensuite 4 mL du réactif n°2.
- Compléter le volume jusqu'à 50 mL avec de l'eau distillée.
- Laisser la solution au repos pendant une durée d'une heure.
- Observer la coloration obtenue : l'apparition d'une teinte verdâtre témoigne de la présence des ions ammonium (NH^{+4}).

Expression des résultats:

Le résultat est donné directement en mg/l

La longueur d'onde est 655 nm.

V.8. Détermination des nitrites (NO_2^-) :**Réactif mixte:**

Sulfanilamide.....40g

Acide phosphorique.....100 ml.

N-1- Naphtyl éthylène diamine2g

H_2O distillée.....q.s.p 1000 ml.

V.8.1 Mode opératoire:

- Prélever 50 mL de l'échantillon d'eau à analyser.
- Ajouter 1 mL du réactif mixte et homogénéiser la solution.
- Observer la coloration obtenue après réaction.
- L'apparition d'une coloration rose indique la présence des ions ammonium (NH^{+4}) dans l'échantillon analysé.

V.9. Détermination des nitrates (NO_3^-) Méthode au salicylate de sodium :**V.9.1- Principe:**

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosoulate de sodium coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétriques :



Figure N°24 : dosage des nitrates (NO_3^-) (original 2026)

Réactifs:

- Solution de salicylate de sodium à 0,5% (renouveler toutes les 24 h)
- Solution d'hydroxyde de sodium 30%
- H_2SO_4 , concentré
- Tartrate double de sodium et de potassium.
 - Hydroxyde de sodium NaOH.....200 g
 - Tartrate de sodium et de potassium45g
 - Eau distilléeqsp1000 ml

Laisser refroidir avant de compléter à 1000 cc.

Cette solution doit être conservée dans un flacon de polyéthylène.

Solution mère d'azote d'origine nitrique à 1000 mg/l

- Nitrate de potassium anhydre.....0.600
- Eau distillée.....1000 ml.
- Chloroforme.....1ml
- Nitrate de potassium anhydre
- Eau distillée
- Solution fille d'azote d'origine nitrique à5 mg

V.9.2- Matériels

- Capsule de 60 ml
- Pipette de 2 ml
- Pipette de 10ml
- Pipette de 15 ml
- Pipette de 1 ml

V.9.3- Appareillage

- Etuve
- Spectrophotomètre.

V.9.4- Mode opératoire

- Prélever 10 mL de l'échantillon à analyser.
- joindre 2 à 3 gouttes de NaOH (30 %) puis 1 mL de salicylate de sodium.
- Évaporer à sec à l'étuve ou au bain-marie (75–88 °C), puis laisser refroidir.
- Dissoudre le résidu dans 2 mL de H_2SO_4 et laisser reposer 10 minutes.
- joindre successivement 15 mL d'eau distillée et 15 mL de tartrate double.
- Effectuer la lecture au spectrophotomètre à 420 nm ; le résultat est exprimé en mg/L.

Expression des résultats.

Le résultat est donné directement en mg/l à une longueur d'onde de 420 nm

V.10- Détermination du calcium (Ca^{2+}) et du magnésium (Mg^{2+}) :**V.10.1 Principe:**

Le calcium est dosé avec une solution aqueuse d'EDTA à PH compris entre 12-13

Ce dosage se fait en présence de MUREXIDE L'ED.T.A réagit tout d'abord avec les ions de calcium libres, puis avec les ions calcium combiné avec l'indicateur qui vire alors de la couleur rouge à la couleur violet.



Figure N°25 : dosage de calcium (original 2026)

Réactifs:

Solution d' E.D.T.A N/50 ($\text{CH}_2\text{N}_2\text{Na}_2\text{O}_8 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$):

- EDTA3,722g
- H_2O distilléeq.s.p 1000 ml
- Solution d' hydroxyde de sodium (NaOH) 2 N
- NaOH (pastilles)80 g
- H_2O distilléeq.s.p. 1000 ml.
- Solution d' hydroxyde d'ammonium (NH_4OH) Ph=10.1
- Chlorure d'ammonium.....65 g
- H_2O distilléeq.s.p 1000 ml.
- Indicateur colorés: Murexide,
- NH_3 550 ml.
- Noir eriochrome.
- Solution mère de Ca^{+2} a * 100mg / l .

V.10.2 Mode opératoire:

(V_1) Ca^{2+}

- obtenir 50 ml d'eau à analyser
- joindre 2 ml de NaOH à 2 N
- joindre du Murexide.
- Titrer par l'EDTA jusqu'au changement de couleur vers le violet (V_2)

$\text{Ca}^{2+}\text{Mg}^{2+}$

- obtenir 50 ml d'eau à analyser
- joindre 2 ml de NH_4OH (10.1)
- joindre noir eriochrome

- Et titrer jusqu'au virage (bleu)

Expression des résultats.

$$\text{Mg}^{2+} \text{ mg/l} = (V_2 - V_1) \cdot F \cdot 12$$

- obtenir 50 ml de la solution mère à 100 mg / l Ca^{+2}
- joindre 2 ml de NaOH, puis l'indicateur MUREXIDE)
- Effectuer le dosage par l'EDTA jusqu'au changement de couleur au violet.

$$f = \frac{VT}{VP} = \frac{5}{VP}$$



Figure N°26: dosage du magnésium (original 2026)

V.11 Dosage de sodium et de potassium par photométrie de la flamme**Partie théorique:**

La photométrie de la flamme est un des procédés les plus rapides et sensibles connus aujourd'hui pour le dosage des éléments alcalins et alcalino-terreux.

Les éléments à analyser (sodium, potassium lithium, calcium etc) sont généralement sous forme de sels. L'analyse se fait en partant de leurs solutions.

Partie pratique:**V.11 1. Mode opératoire:**

- Mettre l'appareil sous tension, puis démarrer la pompe.
- Ouvrir la bouteille de propane et allumer la flamme.
- Introduire une cuvette remplie d'eau distillée.
- Sélectionner le mode « KONTROL (<20) », puis lancer le réglage du zéro à l'aide de la touche « NULL » et attendre sa stabilisation.
- Remplacer ensuite la cuvette d'eau distillée par une cuvette contenant la solution étalon (Na^+ ou K^+ à 10 mg/L).
- Appuyer sur « STANDARD » jusqu'à la validation de l'étalonnage.

- Vérifier l'étalonnage en mode « ANALYSE » ; la lecture doit afficher 10.
- Procéder à l'analyse des échantillons inconnus en utilisant uniquement la touche « ANALYSE » (trois mesures par échantillon).
- À la fin des analyses, fermer d'abord la bouteille de propane, puis arrêter l'appareil et la pompe.



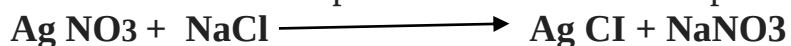
Figure N°27 : sodium par photométrie de la flamme (original 2026)

V.12 Détermination des chlorures (CT)

V.12.1- Principe:

On fait agir en milieu neutre. PH 6.7 ou 7, une solution à titrer de nitrate d'argent sur une prise d'essai connue de solution titrée de chlorure de sodium.

La réaction se fait en présence de chromate de potassium.



Réactifs

- Solution de nitrate d'argent à 0,01 N
- Solution de chlorures à 68 mg/l
- Indicateur coloré K_2CrO_4 à 10%

V.12.2-Mode opératoire:

- prélever 5 ml d'eau à analyser
- Apporter 2 gouttes de K_2CrO_4 coloration jaunâtre).
- Titrer par AgNO_3 (0,01 N) jusqu'au virage brunâtre.

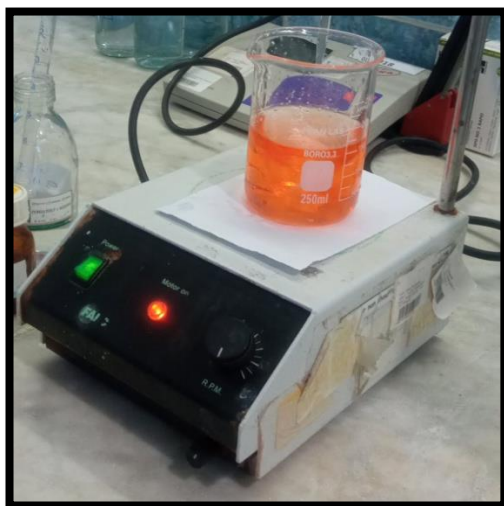


Figure N°28 : Dosage Des Chlorures (original 2026)

V.13-Détermination des Sulfates (SO_4^{2-}) :

V.13.1-Principe:

Les ions sulfates sont précipités et passés à l'état de sulfate de baryum.

V.13.2-APPAREIL:

- Spectrophotomètre DR/2000 de marque "HACH"

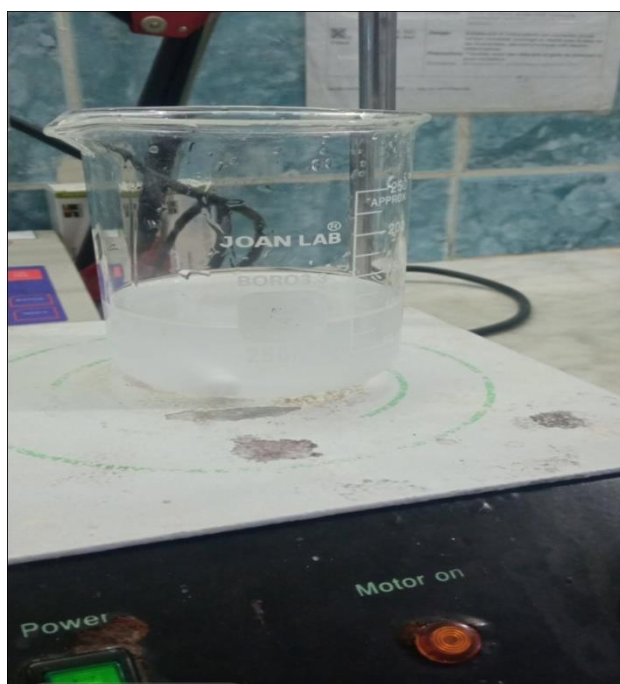


Figure N°29: dosage des Sulfates (original 2026)

Réactifs:

- Solution mère de sulfates à 1g/l à partir de NO_2SO_4
- Peser 4 g de Na_2SO_4 1000 ml d'eau distillée.

Solution stabilisante:

- Acide chlorhydrique (c).....50 ml
- Elhanol200 ml

- Chlorure de sodium.....150g
- Glycérol.....
- Eau distillée.....1000-ml

V.13.3-Mode opératoire:

- prélever 20 ml d'eau à analyser puis compléter à 100 ml d'eau distillée
- Apporter 5 ml de la solution stabilisante.
- Apporter 2 ml de chlorure de baryum.
- Agiter énergiquement pendant 1mn.
- Accéder à au spectrophotomètre 420 nm.

Expression des résultats:

Mg/l SO_4^{2-} la valeur lue sur le spectrophotomètre x la dilution

V.14-Détermination de Bicarbonate (HCO_3^-) :**V.14.1-Principe:**

La détermination consiste à mesurer les volumes successifs d'une solution diluée d'acide fort nécessaires pour neutraliser un échantillon d'eau aux valeurs de pH 8,3 et 4,3. La première mesure permet de déterminer le titre alcalimétrique (TA), tandis que la seconde sert à calculer le titre alcalimétrique complet (TAC). »

Réactifs:

- Solution d'acide Chlorhydrique à IN:
- Solution d'HCLA IN
- Solution d'HCHA IN.....100 ml.
- H_2O distillée.....q.s.p1000 ml.

V.14.2-Mode opératoire:

- prélever 100 ml d'eau à analyser
- Noter son pH puis titrer avec HCl à 0.1 N jusqu'à obtention d'un pH de 4.7

Tableau N°09 : Normes d'eau potable selon l'Algérie et selon l'OMS

Paramètres	Normes Algériennes	Normes OMS
PH	6.5 – 9	6.5-9.2
Température (°C)	25	/
Conductivité(s/cm)	2800	/
Turbidité (NTU)	2	5
Magnésium	150	150
Sodium	200	/
Potassium	20	/
Sulfate	400	250
Chlorure	500	250
Nitrate	50	50
Nitrite	0.1	0.1
Phosphate	0.5	0.5
Ammonium	0.5	/

Fer	0.3	0.3
-----	-----	-----

V.15 Définition Le diagramme de Wilcox

Le diagramme de Wilcox est une représentation graphique utilisée pour évaluer la qualité des eaux destinées à l'irrigation. Il établit une relation entre la conductivité électrique (CE), qui traduit le degré de salinité de l'eau, et le pourcentage de sodium (% Na), indicateur du risque de sodisation des sols. Ce diagramme permet ainsi de classer les eaux selon leur aptitude à un usage agricole et d'apprécier leur qualité pour l'irrigation.

V15.1 Le principe repose sur l'utilisation de deux paramètres essentiels:

_L'axe horizontal (X) : la conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$), qui traduit la quantité totale des sels dissous dans l'eau.

_L'axe vertical (Y) : le pourcentage de sodium (% Na), calculé à partir des concentrations des principaux cations en milliéquivalents par litre.

Interprétation :

Le diagramme de Wilcox de Tissemsilt montre que la majorité des échantillons se situent dans les domaines Bonne et Admissible. Les points correspondant aux sources Daya, Rehahla, Ouattwat et Kebbaba présentent de faibles pourcentages de sodium et sont donc favorables à l'irrigation. Les échantillons A Sfa, Digou, A Hamra et Fourzi présentent des conductivités plus élevées mais restent dans les classes admissibles à bonnes. Aucun échantillon n'est localisé dans la zone « Mauvaise », ce qui indique que les eaux étudiées sont globalement adaptées à l'irrigation, avec toutefois une surveillance nécessaire pour les eaux les plus minéralisées afin d'éviter une accumulation de sels dans les sols.

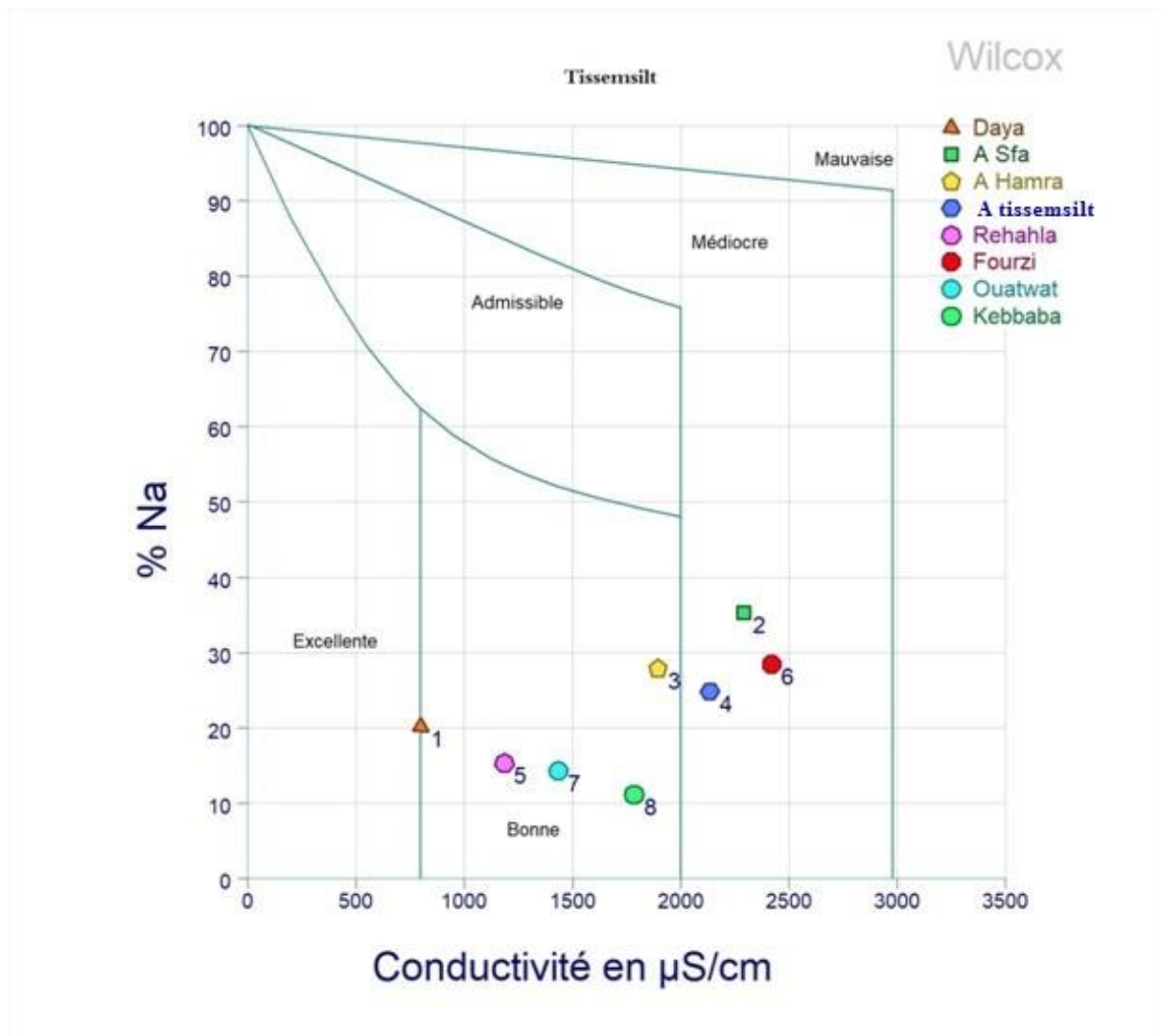


Figure N°30 : diagramme de Wilcox (original 2026)

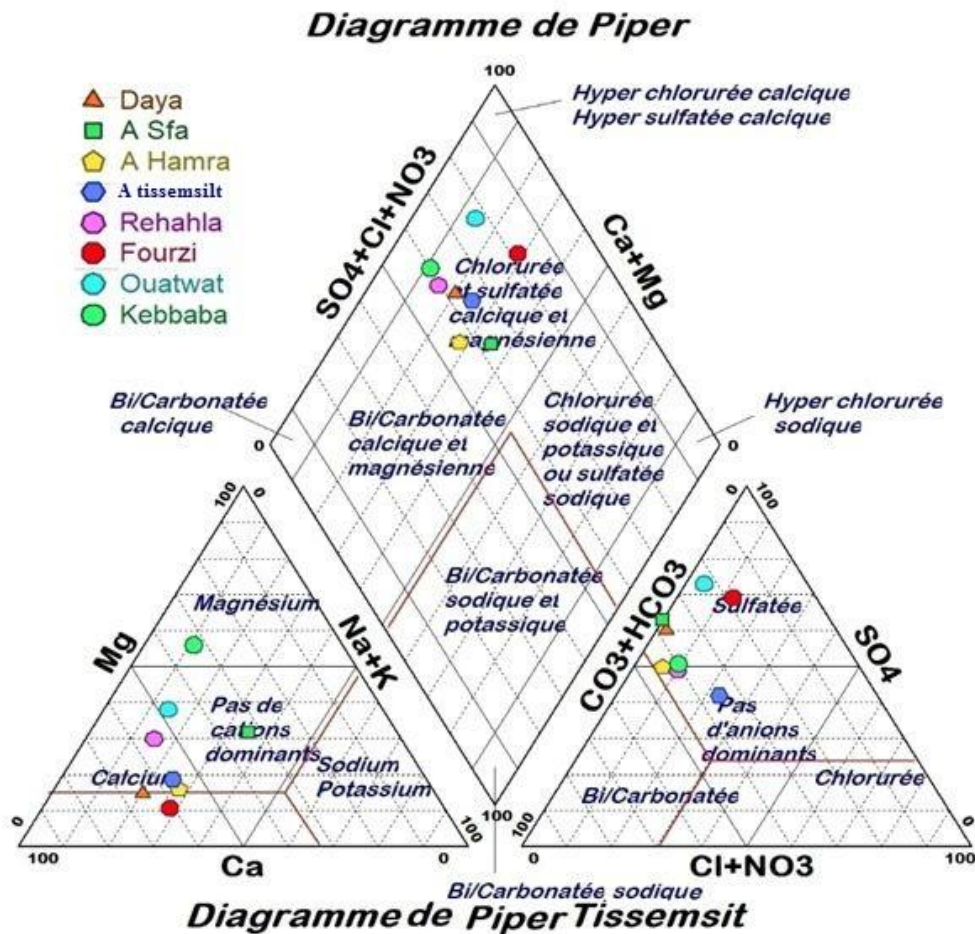


Figure N°31 : Diagramme de Piper (original 2026)

V16.Définition d'un diagramme de Piper:

Le diagramme de Piper est une illustration graphique tripartite dédiée à l'hydrogéologie et à l'hydrochimie, servant à la cartographie et à la classification de la composition chimique des prélèvements d'eau.

Ce dernier permet d'observer en même temps les proportions relatives des ions principaux (cations et anions) présents dans l'eau pour identifier son faciès hydrochimique, cerner la source de minéralisation (interactions entre l'eau et les roches) et détecter d'éventuelles superpositions de nappes.

V16.1 Principe du diagramme:

_Convertir les concentrations des principaux ions dissous en pourcentages de milliéquivalents par litre (% meq/L).

_Reporter les valeurs des cations dans le triangle de gauche et celles des anions dans le triangle de droite.

_Projeter les deux points obtenus dans le losange central.

_Interpréter la position du point dans le losange afin de déterminer le type d'eau ou le faciès hydrochimique.

V16.2 Interprétation:

Dans le diagramme présenté pour la région de Tissemsilt, la majorité des échantillons se situent dans le domaine des eaux chlorurées-sulfatées calciques et magnésiennes. Cela indique une dominance des ions Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- et SO_4^{2-} . Ce faciès traduit généralement l'influence de la dissolution des formations évaporitiques (gypse, halite), des interactions eau-roche et parfois des apports liés aux activités agricoles ou anthropiques. L'absence d'un faciès bicarbonaté dominant montre que les eaux ont subi une minéralisation relativement avancée.

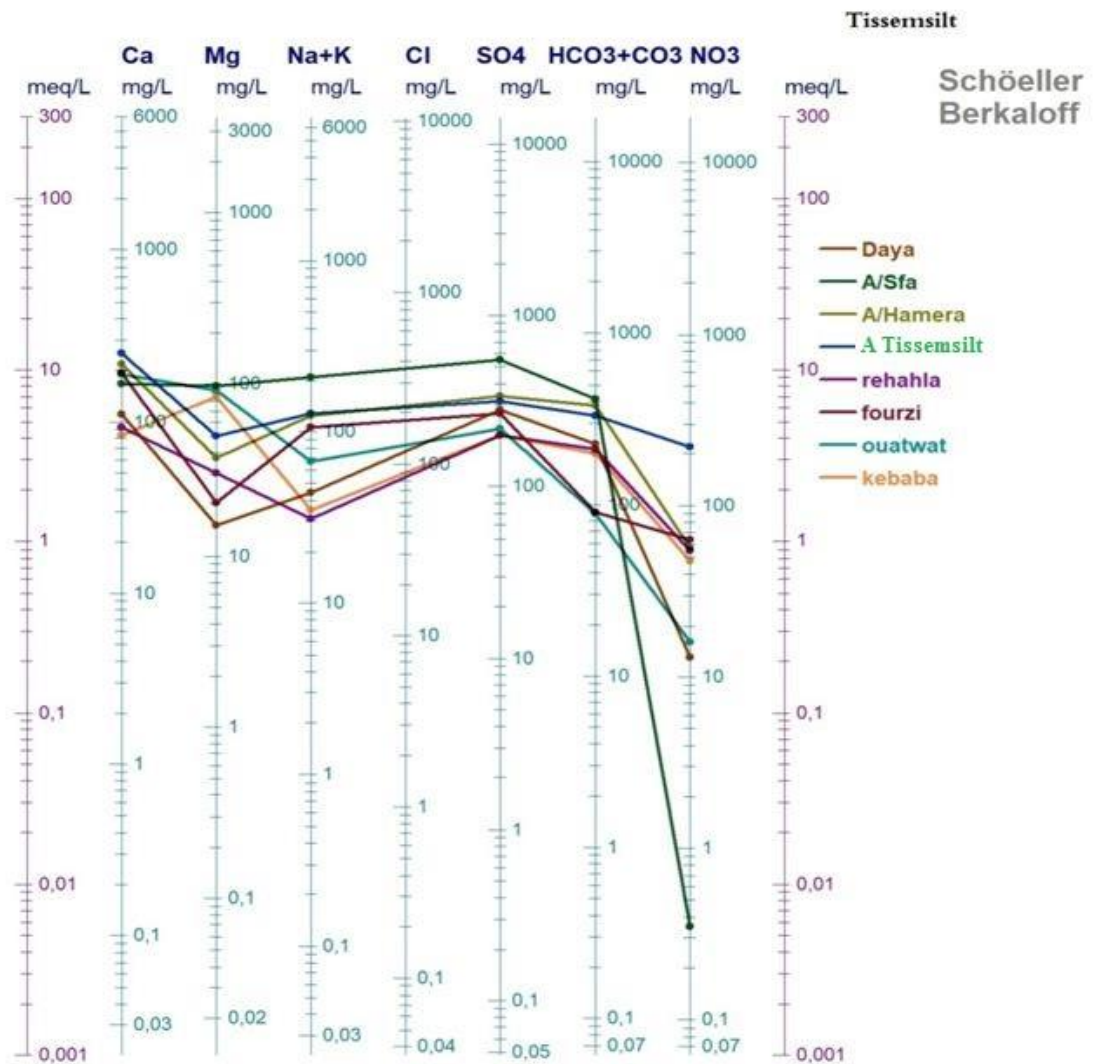


Figure N°32 : Le diagramme de Schoeller-Berkaloff (original 2026)

V.17 Définition du diagramme de Schoeller-Berkaloff

Le diagramme de Schoeller-Berkaloff est une représentation graphique semi-logarithmique utilisée en hydrogéochimie pour comparer la composition chimique de plusieurs échantillons d'eau. Il permet de visualiser les concentrations des principaux ions dissous et de mettre en évidence les similitudes ou les différences entre les eaux étudiées.

Principe du diagramme de Schoeller-Berkaloff

V17.1 Le principe consiste à :

_Convertir les concentrations ioniques en milliéquivalents par litre (meq/L).

_Reporter les valeurs sur des axes verticaux parallèles à échelle logarithmique.

_Relier les points correspondant à chaque ion par une ligne pour chaque échantillon d'eau.

V17.2 Interprétation :

Le diagramme de Schoeller-Berkaloff des sources de Tissemsilt montre que les concentrations des ions majeurs varient d'une source à l'autre, traduisant une certaine hétérogénéité hydrochimique. Les ions calcium (Ca^{2+}), magnésium (Mg^{2+}), chlorures (Cl^-) et sulfates (SO_4^{2-}) présentent globalement les teneurs les plus élevées, indiquant une minéralisation dominée par ces éléments. Les concentrations en nitrates (NO_3^-) restent relativement faibles dans la majorité des échantillons. Les courbes présentent des profils relativement proches, suggérant des processus géochimiques similaires liés aux interactions eau-roche. Cette configuration confirme l'existence d'un faciès majoritairement chloruré-sulfaté calcique et magnésien, déjà mis en évidence par le diagramme de Piper. Ce type d'eau résulte généralement de la dissolution des formations géologiques riches en sels et en minéraux carbonatés.

Sources Paramètres	T C°	Ph	cond (us\cm)	tur (Ntu)	Ca⁺² mg/l	Mg⁺² mg/l	Na⁺ mg/l	k⁺ mg/l	Hco₃⁻ mg/l	cl⁻ mg/l	so₄⁻² mg/l	No₃ mg/l
An dhaya	19	7,9	798	0,1	110	15	32	12	225	71	281	13
An Sfa	20,3	7,6	2290	0,5	167	98	202	6,5	411	237	552	0,35
An Hamera	19,4	7,4	1894	0,95	216	37,2	120	5,3	378	179	339,4	57,3
An Tissemsilt	20,2	7,5	2134	0,25	249	50,1	123	5	333	230	313	220
An rehahla	17,8	7,8	1186	0,93	92	30,2	26,9	3,9	210,1	69	199	55
An fourzi	17	7,8	2420	0,52	192	20,38	98,8	7,1	90,3	49	267	63
An Ouateouate	16	7,9	1433	0,85	190	92,1	62,2	5	88,1	55,9	220	16
An kebbaba	17	7,7	1783	0,5	83,1	85	28	7	198,7	40,1	200	48

Tableau N° 10 : les analyses des Paramètres physico - chimique des sources de eaux de la commune de Tissemsilt

V.18 Indice de la qualité des eaux (IQE):**V.18.1 Calcul de l'Indice de qualité de l'eau (IQE):**

L'Indice de Qualité de l'Eau (IQE) est calculé à partir de plusieurs paramètres physico-chimiques, tels que le pH, la conductivité électrique (CE) et les solides dissous totaux (TDS). Il permet d'évaluer et de classer la qualité de l'eau en la comparant aux normes algériennes ou internationales. L'IQE synthétise les données en différentes catégories de qualité (excellente, bonne, mauvaise, etc.) et permet d'apprécier l'influence des facteurs naturels et anthropiques sur les eaux des sources artésiennes de la commune de Tissemsilt. Son calcul repose sur la méthode de l'indice arithmétique pondéré, qui attribue un poids relatif à chaque paramètre physico-chimique.

$$W_i = k/S_i \dots\dots\dots(1)$$

Où :

k: constante de proportionnalité et peut également être calculée à l'aide de l'équation suivante:

$$k = 1 / \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{S_i} \right) \dots\dots\dots(2)$$

n: nombre de paramètres

S_i: valeur maximale de la norme standard marocaine des eaux

(Norme Algérienne de qualité des eaux, 2011) de chaque paramètre en mg/l sauf pour le pH, la T°C et la conductivité électrique.

Ensuite, une échelle d'évaluation de la qualité (Q_i) est calculée pour chaque paramètre en divisant la concentration par la norme dudit paramètre et en multipliant l'ensemble par 100 comme dans la formule suivante :

$$Q_i = (C_i/S_i) \times 100 \dots\dots\dots(3)$$

Q_i: échelle d'évaluation de la qualité de chaque paramètre.

C_i : la concentration du paramètre en mg/l

Finalement l'indice global de la qualité de l'eau est calculé par l'équation suivante :

$$IQE = \sum_{i=1}^n Q_i * W_i / \sum_{i=1}^n W_i \dots\dots\dots(4)$$

Tableau N°11 Poids des paramètres physico-chimiques

Paramètre	Normes Algériennes	Norme Standard (Si)	Inverse (1/Si)	Poids Calculé (Wi)
Turbidité (Tur) NTU	2	5	0,20000	0,4128
pH	09	8,5	0,11765	0,2428
Potassium (K ⁺) mg/l	20	12	0,08333	0,1720
Température (T) C°	25	25	0,04000	0,0826
Nitrates (NO ₃ ⁻) mg/l	50	50	0,02000	0,0413
Magnésium (Mg ²⁺ mg/l)	150	150	0,00667	0,0138
Calcium (Ca ²⁺) mg/l	200	200	0,00500	0,0103
Sodium (Na ⁺) mg/l	200	200	0,00500	0,0103
Sulfates (SO ₄ ²⁻) mg/l	400	400	0,00250	0,0052
Bicarbonates (HCO ₃ ⁻) mg/l	32	500	0,00200	0,0041
Chlorures (Cl ⁻) mg/l	500	500	0,00200	0,0041
Conductivité (Cond) µS/cm	2800	2800	0,00036	0,0007
			= 0.48451	= 1

Suite au calcul de l'indice global de qualité IQE basé sur les résultats des analyses physico-chimiques et les valeurs définies par la norme algérienne (Norme Algérienne de qualité des eaux 2011), la classification de qualité de l'eau est déterminée pour les huit échantillons mentionnés . Par conséquent, le tableau dénote trois catégories de qualité : Excellente et Bonne qualité.

Tableau N°12 Classification et usage possible de l'eau selon l'IQE

WQI	Classe	Qualité	Usage possible
0-50	1	Excellente	Eau potable, irrigation
50-100	2	Bonne	Eau potable Irrigation
100-200	3	Mauvaise	Irrigation
200-300	4	Très mauvaise	Irrigation
> 300	5	Eau non potable	Traitement approprié requis avant utilisation

Cette étude présente des résultats qui sont décortiqués et interprétés dans le but de fournir une vue d'ensemble concernant la qualité des eaux analysées ainsi que leur variation en fonction de l'espace et des saisons.

Tableau N°13 valeurs de l'indice l'IQE et classe de qualité des sources dans la commune de Tissemsilt

Source	Résultat IQE	Classe de Qualité	Usage possible
An Dhaya	49	Excellente	Eau potable , irrigation
An El Sfa	46	Excellente	Eau potable , irrigation
An Hamera	51	Bonne	Eau potable Irrigation
An Tissemsilt	59	Bonne	Eau potable Irrigation
An rehahla	47	Excellente	Eau potable , irrigation
An Fourzi	51 ,5	Bonne	Eau potable Irrigation
An Outouat	46	Excellente	Eau potable , irrigation
An kebbaba	48	Excellente	Eau potable , irrigation

- **Les résultats :**

Le tableau de l'étude hydrochimique présente l'Indice de Qualité de l'Eau (IQE) pour cinq sources différentes : Digou, rehahla, Fourzi, Outouat et kebbaba. Les résultats montrent que la qualité de l'eau varie entre "Excellente" (pour Outouat, rehahla et kebbaba, avec des indices allant de 46 à 49) et "Bonne" (pour Fourzi et Digou, avec des indices de 51,5 et 59). En raison de ces résultats favorables, toutes ces sources sont considérées comme aptes à une utilisation pour l'eau potable, l'irrigation et l'industrie

Tableau14: Valeurs propres et pourcentages des axes principaux.

Composant (Axe)	Valeurs propres initiales			Extraction sommes des charge carrées			Rotation sommes des charges carées		
	Valeur propre	Variance %	Pourcentage cumulé %	Valeur propre	Variance %	Pourcentage cumulé %	Valeur propre	Variance %	Pourcentage cumulé %
1	5.326	44.383	44.383	5.326	44.383	44.383	4.812	40.100	40.100
2	2.146	17.884	17.884	2.146	17.884	62.267	2.347	19.558	59.658
3	1.792	14.933	14.933	1.792	14.933	77.200	2.105	17.542	77.200
4	0.931	7.758	7.758						
5	0.678	6.650	5.650						
6	0.472	3.933	9.933						
7	0.325	2.708	2.708						
8	0.164	1.367	1.367						
9	0.0091	0.758	0.758						
10	0.048	4.400	0.400						
11	0.021	0.175	0.175						
12	0.006	0.051	0.051						

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) réalisée sur les paramètres physico-chimiques des eaux de la commune de Tissemsilt a permis de mettre en évidence trois axes principaux présentant des valeurs propres supérieures à 1. Ces trois composantes expliquent à elles seules 77,20 % de la variance totale, ce qui indique qu'elles renferment l'essentiel de l'information contenue dans les données analysées..

Le premier axe (F1) possède une valeur propre de 5,326 et explique 44,383 % de la variance totale. Il constitue l'axe le plus important et traduit principalement le degré de minéralisation

Le deuxième axe (F2) présente une valeur propre de 2,146 et représente 17,884 % de la variance totale.

Le troisième axe (F3), caractérisé par une valeur propre de 1,792, contribue à hauteur de 14,933 % de la variance totale.

Ainsi, les trois premiers axes de l'ACP fournissent une représentation satisfaisante de la structure des données et permettent de caractériser les principaux facteurs contrôlant la qualité physico-chimique des eaux dans la commune de Tissemsilt, Les axes suivants, ayant des valeurs propres inférieures à 1, apportent une contribution faible et ne sont donc pas retenus dans l'interprétation selon le critère de Kaiser.

Carte d'IQE

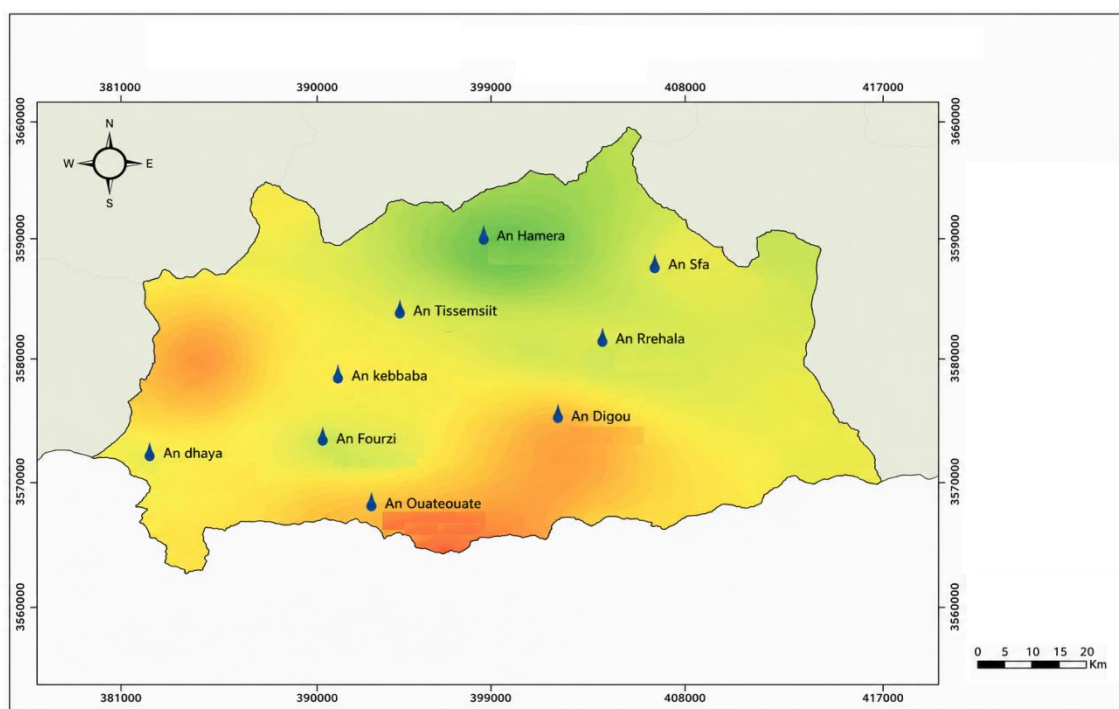


Figure N°33 : carte de l'indice de qualité des eaux IQE des sources de la commune de Tissemsilt (originale 2026)

La carte de l'indice de qualité des eaux (IQE) montre que les eaux de la commune de Tissemsilt sont de bonne à excellente qualité. Les valeurs de l'IQE varient entre 46 et 59, avec une qualité excellente dans les sources d'An El Sfa, An Rehahla, An Outouat, An Dhaya et An Kebbaba, et une qualité bonne dans les sources d'An Hamera, An Fourzi et AnTissemsilt . Aucune source ne présente une qualité moyenne, mauvaise ou impropre. Globalement, les eaux de la commune sont adaptées à la consommation humaine (après traitement si nécessaire) et à l'irrigation

V.19 la matrice de corrélation :

L'analyse de la matrice de corrélation met en évidence une forte association entre la conductivité électrique et les principaux ions dissous (Ca^{2+} , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} et HCO_3^-), indiquant que la minéralisation des eaux est principalement contrôlée par la dissolution des minéraux et l'enrichissement en sels dissous. La forte corrélation observée entre Ca^{2+} et HCO_3^- suggère une contribution importante de l'altération des formations carbonatées. Les corrélations positives entre Na^+ , Cl^- et SO_4^{2-} témoignent d'une origine géochimique commune ou d'influences anthropiques. Les nitrates montrent des relations positives avec plusieurs ions majeurs et une relation négative avec le pH, indiquant une possible contribution des activités agricoles ou des eaux usées à la qualité des eaux étudiées. Globalement, la chimie des eaux semble résulter à la fois des processus naturels d'altération rocheuse et des apports anthropiques.

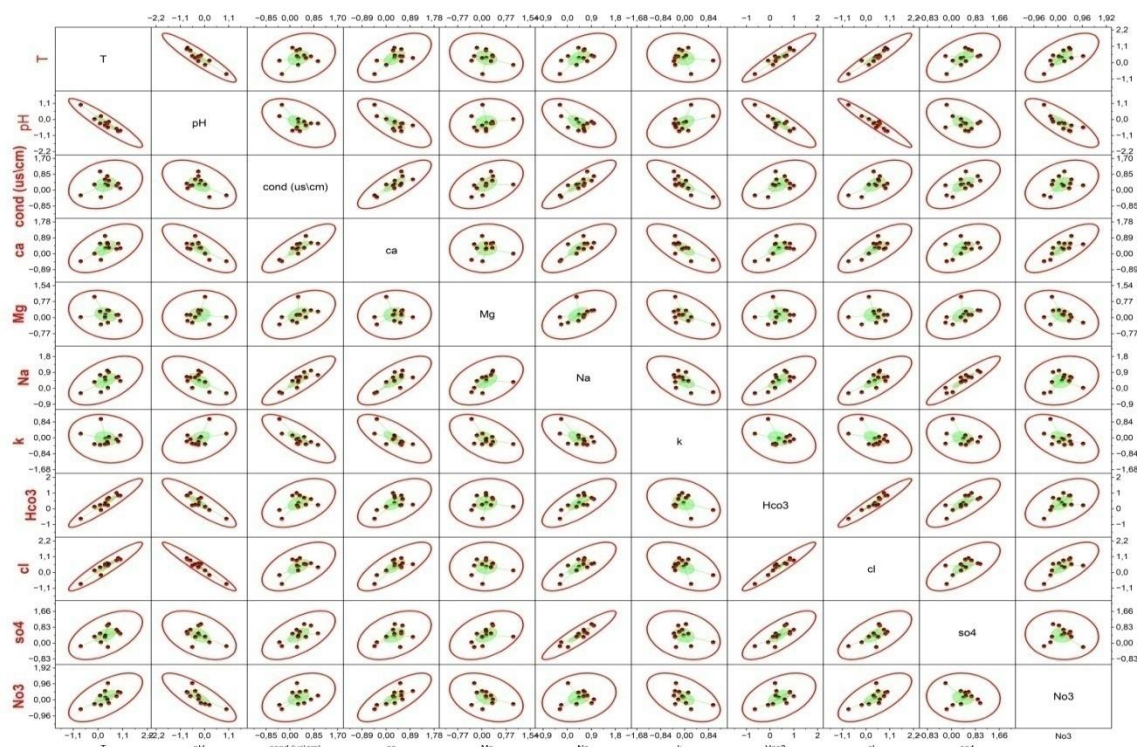


Figure N°34 : corrélations entre les paramètres mesurés

Carte de Mg :

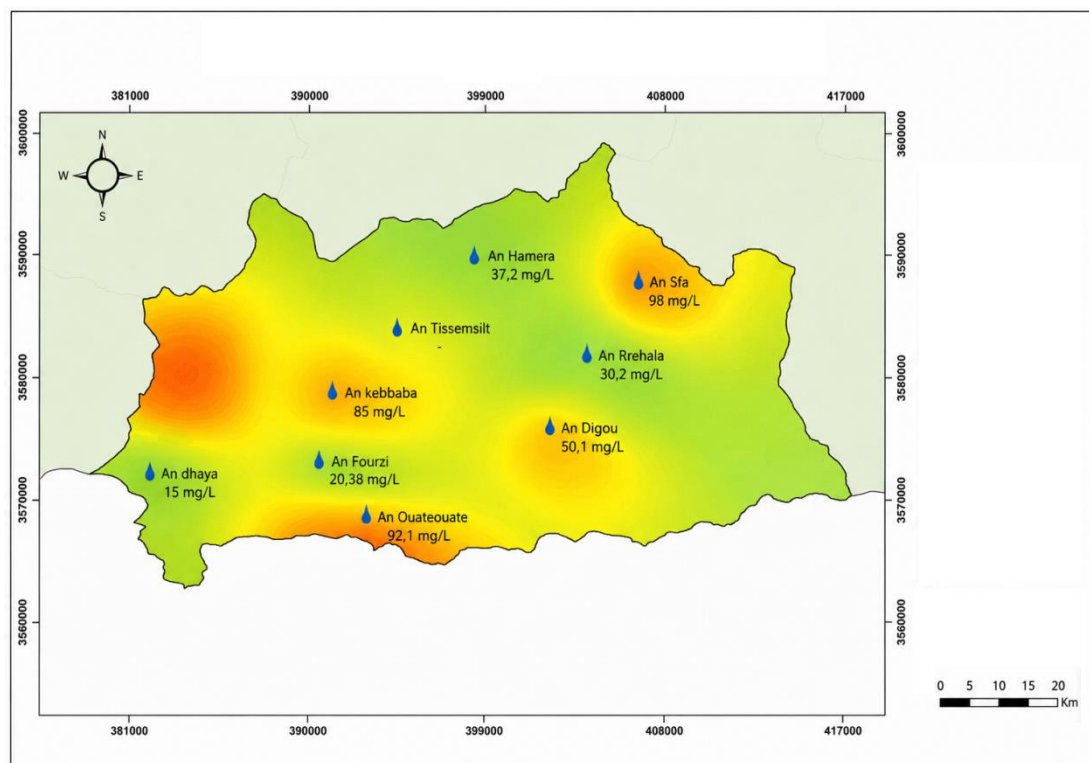


Figure N°35 : Distribution spatiale du Mg des Source étudiées (original 2026)

La carte de distribution spatiale du magnésium montre une répartition hétérogène des concentrations dans les eaux souterraines de la commune de Tissemsilt. Les teneurs les plus élevées (> 250 mg/L) sont localisées dans la partie sud-ouest, principalement au niveau de Aïn Kebbaba. Des concentrations élevées (150 à 250 mg/L) sont également observées autour de Aïn Tissemsilt et Aïn Hamera. En revanche, les plus faibles teneurs (< 50 mg/L) se situent dans les secteurs nord-est et sud-est, notamment vers Aïn Rehahla et Aïn Sfa. Les concentrations diminuent progressivement du sud-ouest vers l'est et le nord-est, ce qui traduit l'influence de la lithologie et des processus de dissolution des roches magnésiennes sur la composition des eaux souterraines

Carte de Na^+

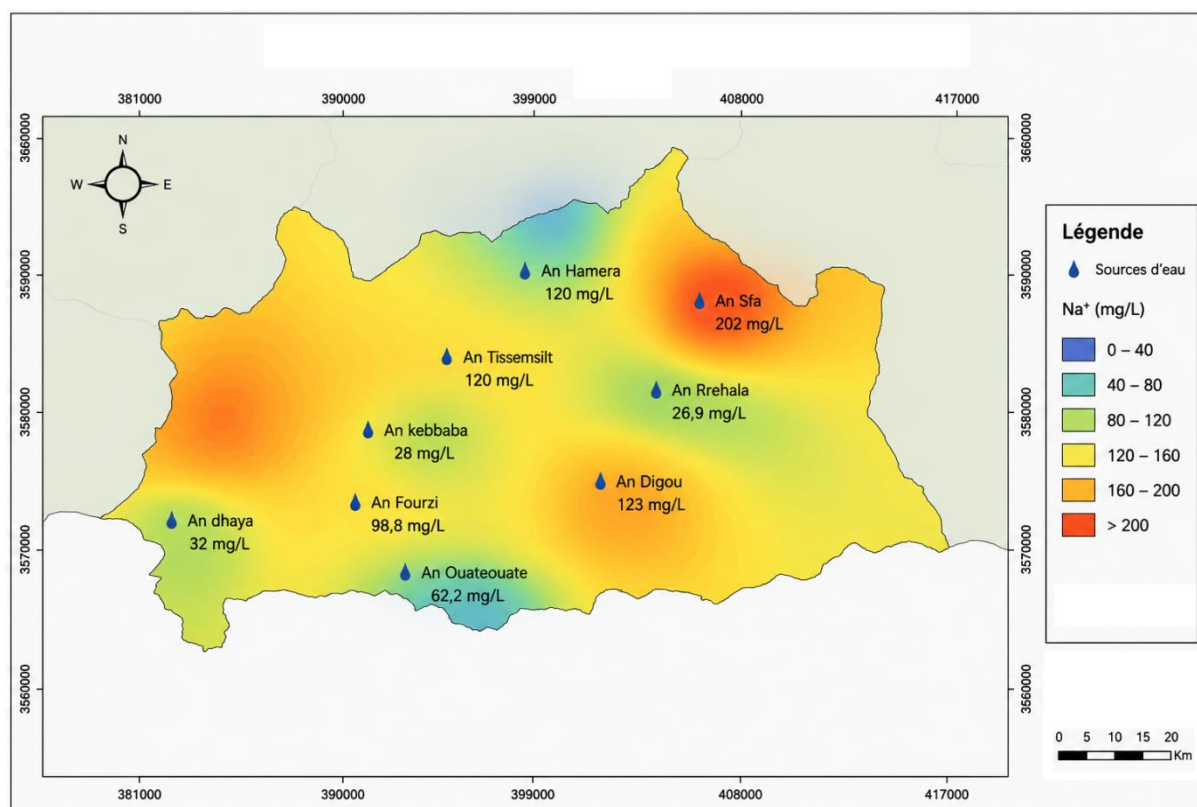


Figure N°36 : Distribution spatiale du Na^+ des Source étudiées (original 2026

La carte met en évidence une variation spatiale des concentrations en sodium dans les eaux souterraines de la commune de Tissemsilt. Les teneurs les plus élevées (180 à >210 mg/L) sont localisées dans la partie ouest, principalement autour des sources Aïn Tissemsilt et Aïn Hamera. Les

concentrations sont moyennes (90 à 150 mg/L) dans les zones centrales et sud-ouest, notamment à Aïn Kebbaba et Aïn Fourzi. Les plus faibles teneurs (<60 mg/L) sont observées dans les secteurs est et sud-est, en particulier vers Aïn Dhaya et Aïn Ouateouate. Cette répartition montre une diminution progressive des concentrations en sodium de l'ouest vers l'est, ce qui peut être expliqué par l'influence de la lithologie, des processus de dissolution des roches et du temps de circulation des eaux souterraines.

Carte de Cl^-

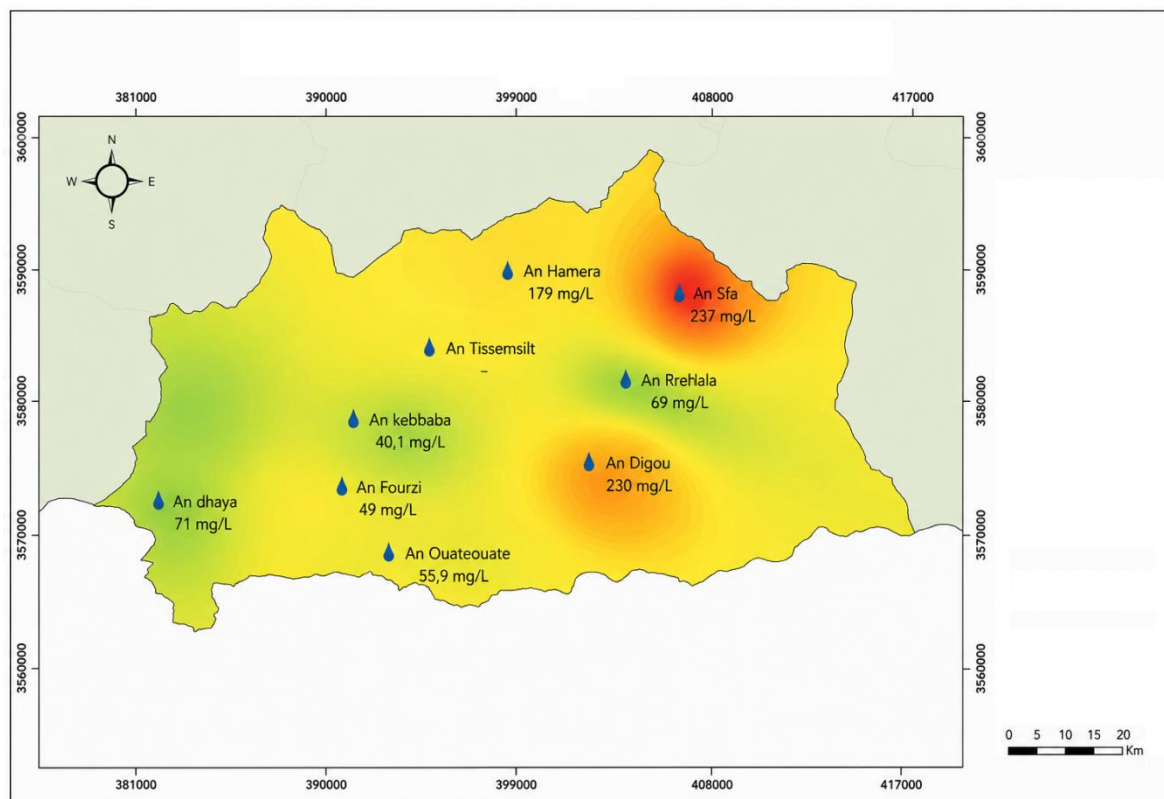


Figure N°37 : Distribution spatiale du Cl^- des Source étudiées (original 2026)

La carte de distribution spatiale des chlorures montre une variation des concentrations dans les eaux souterraines de la commune de Tissemsilt. Les teneurs les plus élevées (>350 mg/L) sont localisées dans la partie nord-ouest, principalement autour des sources Aïn Sfa et Aïn Tissemsilt. Des concentrations moyennes (200 à 300 mg/L) sont observées dans la zone centrale, notamment vers Aïn Hamera. En revanche, les plus faibles concentrations (<150 mg/L) sont enregistrées dans les secteurs sud-ouest, est et sud-est, notamment à Aïn Kebbaba, Aïn Ouateouate et Aïn Dhaya. Cette répartition met en évidence une diminution progressive des concentrations en chlorures du nord-ouest vers l'est.

et le sud-est, ce qui traduit l'influence de la lithologie, de la circulation des eaux souterraines et des processus de minéralisation.

Carte de SO_4^{2-}

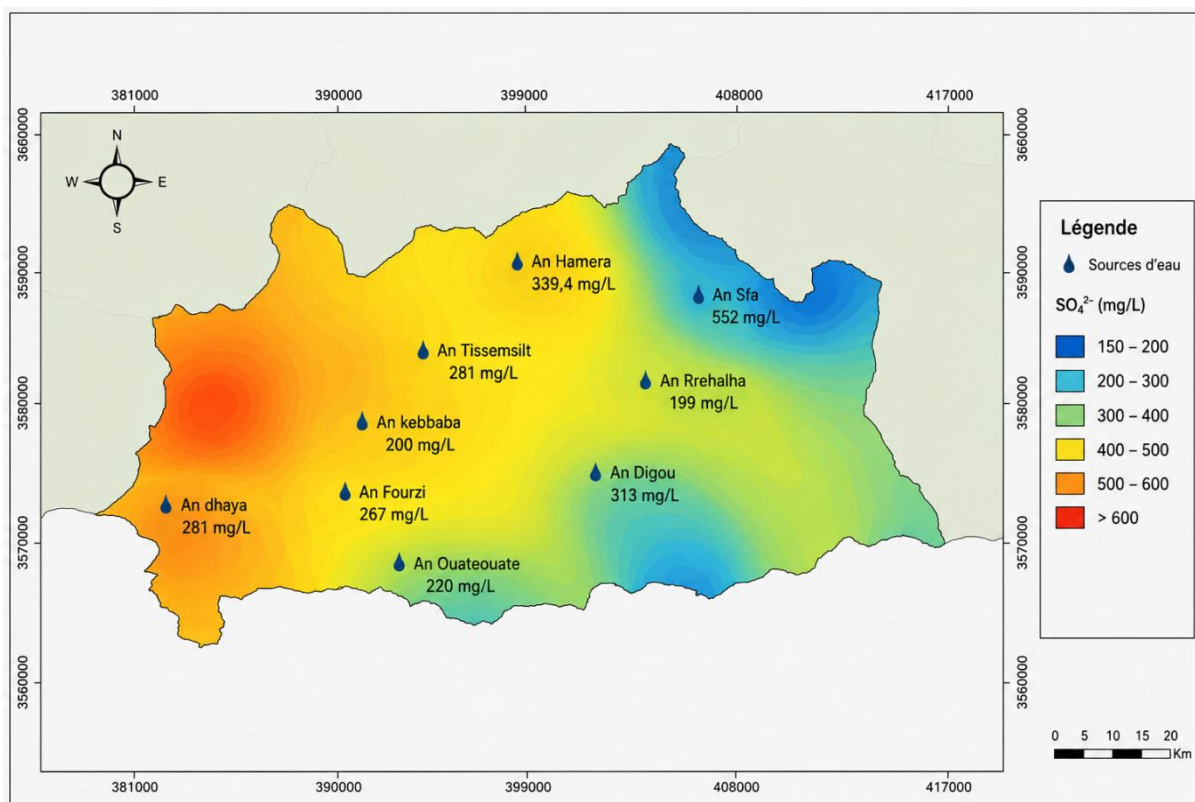


Figure N°38 : Distribution spatiale du SO_4^{2-} des Source étudiées (original 2026)

La carte de distribution spatiale des sulfates (SO_4^{2-}) dans les sources de la commune de Tissemsilt révèle une hétérogénéité importante des concentrations à travers la zone d'étude. Les teneurs les plus élevées sont enregistrées dans la partie nord de la commune au niveau de Aïn Sfa (552 mg/L), où apparaît une zone de forte minéralisation traduite par des concentrations dépassant largement la valeur recommandée pour l'eau potable. Des teneurs relativement élevées sont également observées à Rebahla (339 mg/L), Aïn Digou (313 mg/L) et Dhaya (281 mg/L), indiquant une influence significative des formations géologiques riches en minéraux sulfatés ou des phénomènes de dissolution des roches évaporitiques. Les sources de Aïn Hamera (267 mg/L), Ouatouate (220 mg/L), Kebbaba (200 mg/L) et Forzi (200 mg/L) présentent des concentrations modérées, témoignant d'une minéralisation moyenne des eaux souterraines. La répartition spatiale montre ainsi une augmentation des teneurs en sulfates vers

les secteurs nord et ouest, tandis que les zones centrales et sud-est affichent des concentrations plus faibles. Cette variabilité spatiale peut être attribuée à la nature lithologique des terrains traversés par les eaux souterraines, aux processus de lessivage des minéraux contenant du sulfate ainsi qu'aux conditions hydrogéologiques locales.

Globalement, la prédominance de concentrations relativement élevées traduit une forte influence géologique sur la composition chimique des eaux et nécessite un suivi régulier afin d'évaluer leur aptitude à la consommation humaine et aux usages agricoles.

Carte de NO_3^-

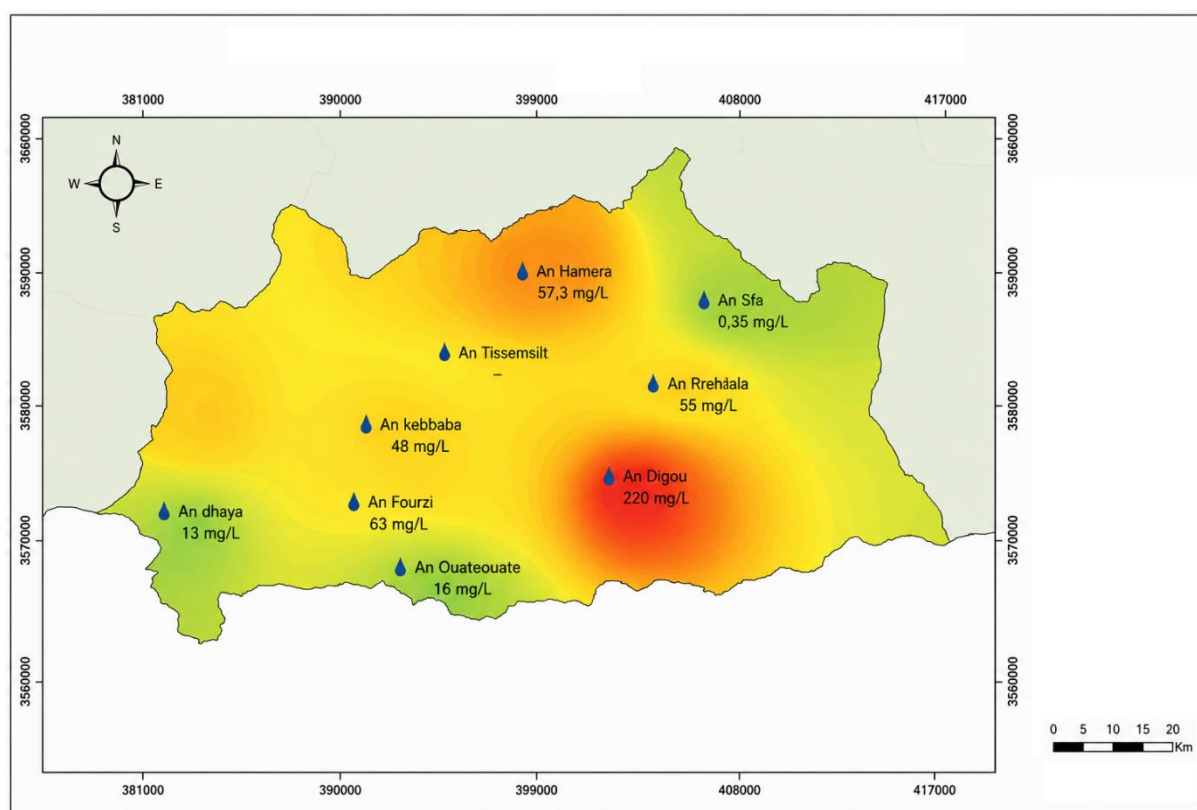


Figure N°39 : Distribution spatiale du NO_3^- des Source étudiées (original 2026)

La carte de distribution spatiale des nitrates (NO_3^-) dans les sources de la commune de Tissemsilt met en évidence une forte variabilité spatiale des concentrations. Les teneurs les plus élevées sont observées au niveau de la source de Dhaya (281 mg/L), située à l'est de la zone d'étude, où apparaît une anomalie très marquée représentée par les couleurs rouge et orange. Cette concentration dépasse largement la limite recommandée pour l'eau potable et peut être liée aux activités agricoles, à l'utilisation intensive d'engrais azotés ou

aux rejets domestiques. Des concentrations relativement élevées sont également enregistrées à Aïn Digou (220 mg/L) et, dans une moindre mesure, à Rehahla (57 mg/L),

indiquant une influence locale des sources de pollution. À l'inverse, les valeurs les plus faibles sont relevées à Kebbaba (0,35 mg/L) et Aïn Sfa (13 mg/L), traduisant une faible contamination et une meilleure qualité des eaux souterraines dans ces secteurs. Les autres sources, notamment Aïn Hamera (63 mg/L), Ouatouate (55 mg/L) et Forzi (48 mg/L), présentent des teneurs intermédiaires. Globalement, la carte révèle un gradient de concentration avec des zones fortement contaminées localisées principalement à l'est et à l'ouest de la commune, tandis que les secteurs centraux et nordiques présentent des teneurs plus faibles. Cette répartition spatiale souligne l'importance d'un suivi régulier de la qualité des eaux afin d'identifier les sources de pollution et de protéger les ressources hydriques destinées à la consommation humaine.

Carte de Ca^{+2} :

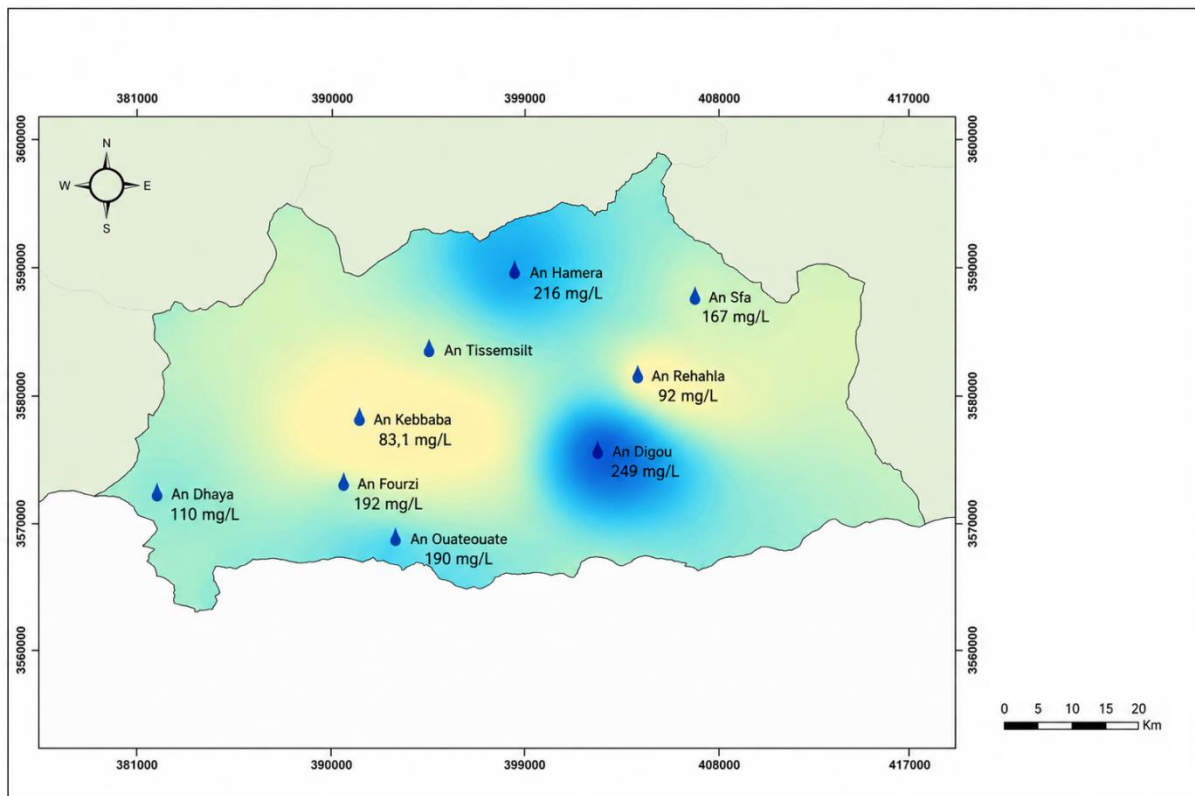


Figure N°40 : Distribution spatiale du Ca des sources étudiées (original 2026)

La carte de distribution spatiale du calcium montre une hétérogénéité des concentrations dans les eaux souterraines de la commune de Tissemsilt. Les teneurs les plus élevées (> 320 mg/L) sont observées dans la partie ouest, principalement au niveau de la source Aïn Tissemsilt. Des concentrations élevées à moyennes (200 à 320 mg/L) occupent la zone centrale, notamment autour de Aïn Hamera et Aïn Sfa. En revanche, les plus faibles concentrations (< 120 mg/L) sont enregistrées dans les secteurs sud-ouest (Aïn Kebbaba) ainsi qu'à l'est et au sud-est, vers Aïn Ouateouate et Aïn Dhaya. Cette répartition met en évidence un gradient de diminution des concentrations du centre-ouest vers l'est, traduisant l'influence de la nature lithologique et des processus de dissolution des roches carbonatées sur la minéralisation des eaux souterraines.

Carte de HCO_3^- :

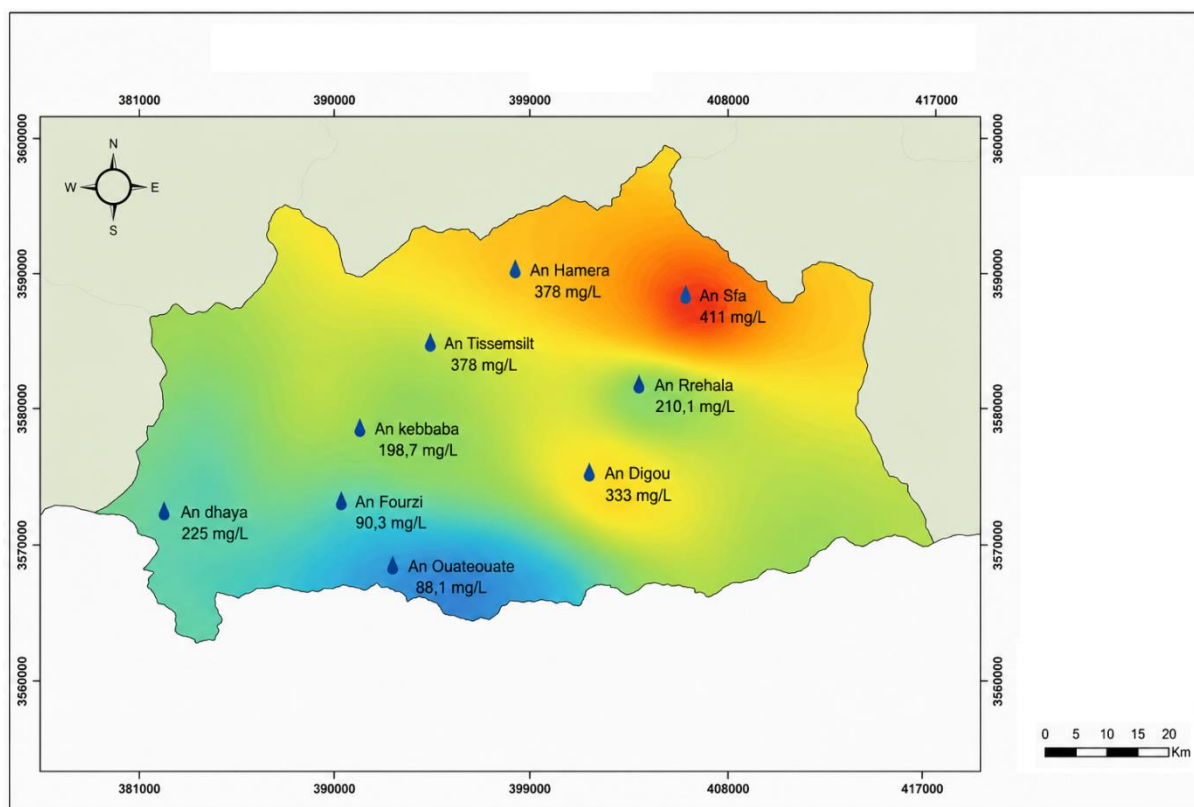


Figure N°41 : Distribution spatiale du HCO_3^- des sources étudiée (original 2026)

La carte montre une répartition spatiale variable des bicarbonates dans les eaux souterraines de la commune de Tissemsilt. Les concentrations les plus élevées (350 à >400 mg/L) sont localisées dans la partie sud-ouest, notamment au niveau de Aïn Kebbaba, tandis que des teneurs élevées (300 à 350 mg/L) sont également observées autour de Aïn Tissemsilt et Aïn Hamera. Les

concentrations deviennent moyennes (200 à 300 mg/L) dans la zone centrale, puis diminuent progressivement vers l'est et le sud-est, où les valeurs les plus faibles (<150 mg/L) sont enregistrées à Aïn Dhaya et Aïn Ouateouate. Cette distribution traduit un gradient décroissant des bicarbonates du sud-ouest vers l'est, probablement lié à la dissolution des roches carbonatées et au temps de circulation des eaux souterraines.

Carte de K:

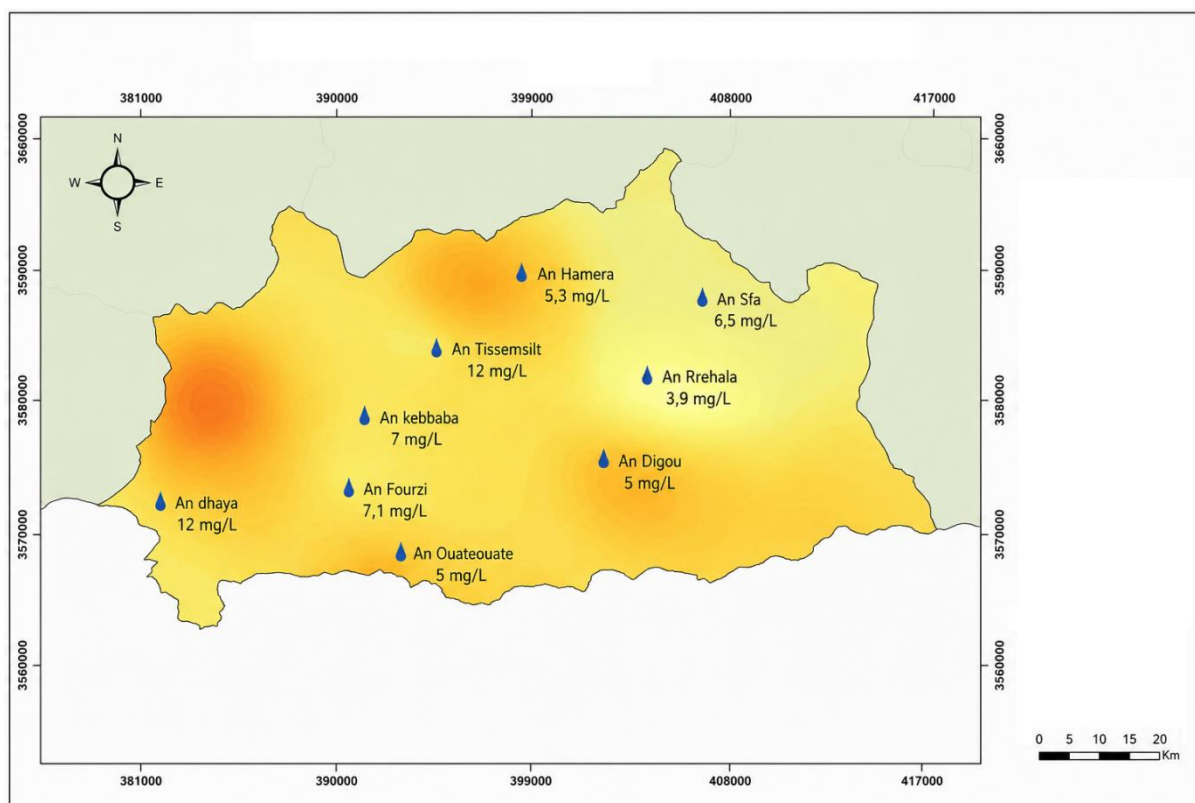


Figure N°42 : Distribution spatiale du K des sources étudiée (original 2026)

La distribution spatiale du potassium (K^+) montre des concentrations comprises entre 3,9 et 12 mg/L dans les sources étudiées de la commune de Tissemsilt. La concentration la plus élevée est observée à An Dhaya (12 mg/L), tandis que la plus faible est enregistrée à An Rehahla (3,9 mg/L). Les autres sources présentent des teneurs faibles à modérées. Cette répartition reflète principalement l'influence de la géologie locale et des processus naturels d'altération des roches, avec une faible contribution des activités humaines. Globalement, les teneurs en potassium restent faibles, indiquant une bonne qualité des eaux vis-à-vis de ce paramètre.

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) 3D:

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) des paramètres physico-chimiques des eaux de la commune de Tissemsilt a mis en évidence trois axes principaux expliquant 77,20 % de la variance totale. Le premier axe (F1), représentant 44,383 % de la variance, est principalement lié au degré de minéralisation des eaux. Les deuxième et troisième axes contribuent respectivement à 17,554 % et 14,933 % de la variance totale. Ces trois composantes permettent de caractériser les principaux facteurs influençant la qualité physico-chimique des eaux. Par ailleurs, la carte de l'Indice de Qualité de l'Eau (IQE) met en évidence la répartition spatiale des différentes catégories de qualité des eaux dans la commune de Tissemsilt

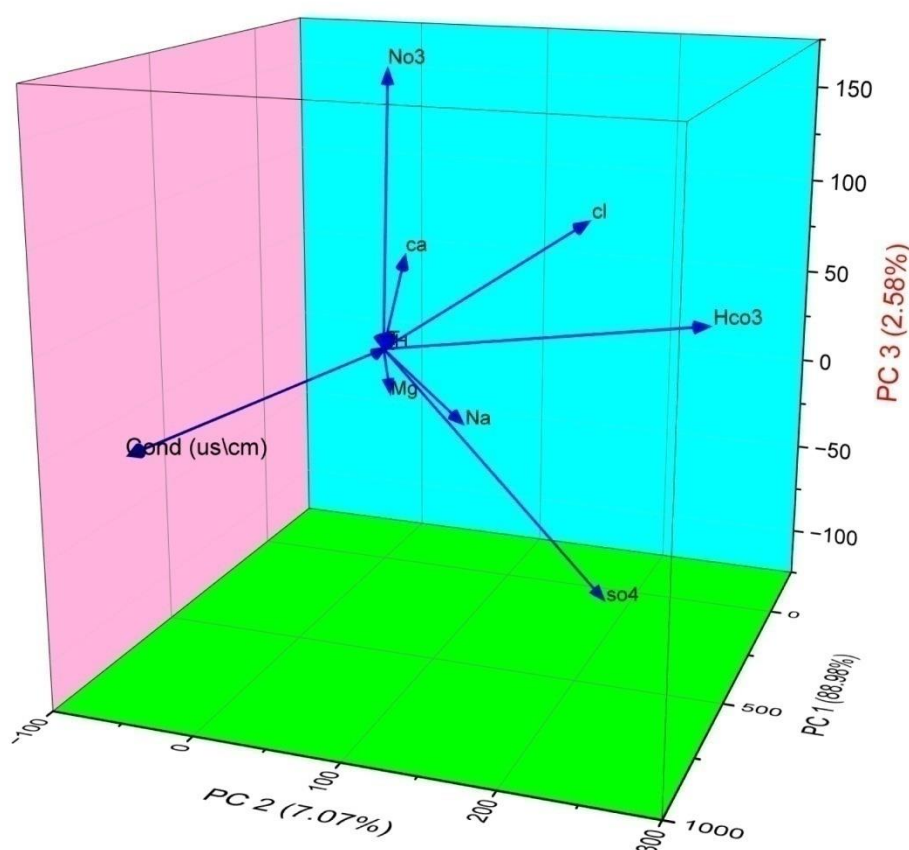


Figure N°43 : Corrélation des variables (diagramme des composantes dan l'espace

La classification hiérarchique couplée à la heatmap circulaire met en évidence une sectorisation hydrochimique claire des différents points d'eau (sources « Ain ») de la région d'étude en fonction de leur charge saline globale.

Le dendrogramme central permet de regrouper les stations en familles distinctes selon leurs similitudes physico-chimiques, où la conductivité électrique et les concentrations ioniques associées (visibles sur la bande périphérique externe) dictent la différenciation des groupes.

Deux profils hydrochimiques majeurs se détachent nettement:

_Un pôle à forte minéralisation : représenté par des stations telles que Ain Digou, Ain Sfa et Ain Hamera, qui se distinguent par des valeurs périphériques tendant vers le rouge (atteignant ou dépassant 1452 à 2420 $\mu\text{S}/\text{cm}$), caractéristiques d'eaux fortement chargées en sels dissous issues d'un lessivage lithologique intense.

_Un pôle à faible ou moyenne minéralisation : englobant des sources comme Ain Daya, Ain Rehahla, Ain Ouattwat , dominées par des nuances de bleu homogènes indiquant des concentrations salines et des conductivités nettement plus modérées

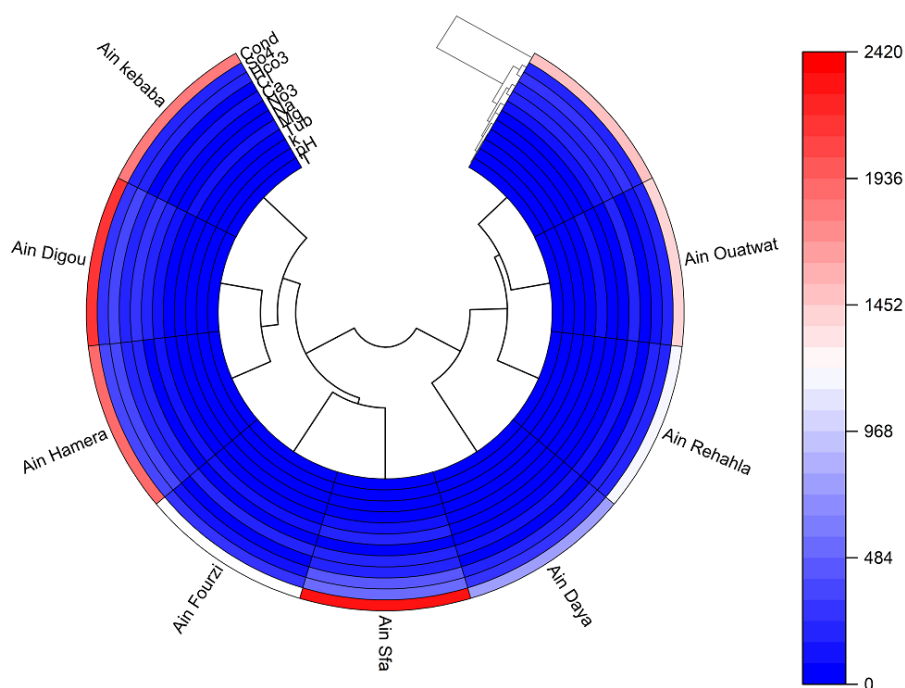


Figure N°44 : l'analyse hiérarchique des données chimiques

le graphique des valeurs propres (Scree Plot) justifie de manière rigoureuse le choix du nombre de facteurs à retenir pour l'Analyse en Composantes Principales (ACP). On observe une rupture de pente extrêmement brutale, ou « effet de coude », juste après le premier facteur, suivie d'une stabilisation

progressive à partir du deuxième et du troisième facteur. La première valeur propre écrase statistiquement les autres en capturant la quasi-totalité de la variance des données hydrochimiques, ce qui confirme l'existence d'un phénomène de fond ultra-dominant (la minéralisation globale). L'intégration des trois premiers facteurs s'avère donc amplement suffisante pour restituer l'essentiel de l'information hydrochimique, permettant ainsi de réduire la dimension du système d'étude sans perte significative d'information scientifique.

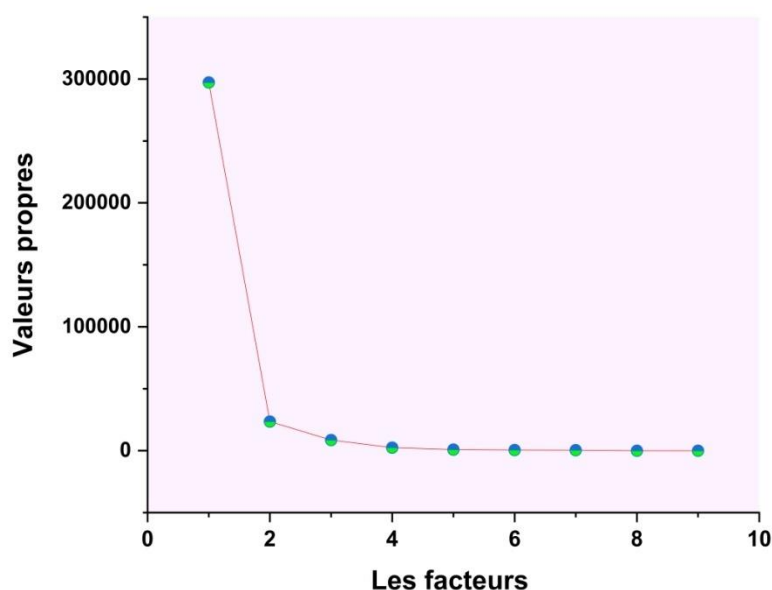


Figure N°45 : Evolution des valeurs propres du facteur de L'ACP des paramètres physicochimique de la qualité des eaux des communes de Tissemsilt

La représentation graphique sous forme de boîtes à moustaches (Box-plots) et de courbes de distribution permet de dresser le profil hydrochimique global et d'évaluer la variabilité des paramètres mesurés au sein de l'aquifère.

L'analyse de la figure met en évidence les points fondamentaux suivants:

Une forte dispersion de la conductivité électrique : Ce paramètre affiche l'amplitude de variation la plus critique de tout le jeu de données (s'étalant d'environ 800 à plus de 2400 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Cette forte dispersion, associée à une distribution étalée, traduit une hétérogénéité spatiale marquée de la charge saline au sein de la nappe. Elle confirme la coexistence de secteurs préservés à faible minéralisation et de secteurs soumis à une dissolution lithologique intense ou à un temps de séjour prolongé de l'eau.

_L'homogénéité des paramètres physiques de base : À l'inverse, la température (T), le Ph et la turbidité (Tub) présentent des boîtes extrêmement resserrées et aplaties près de l'origine. Cela témoigne d'une grande stabilité thermodynamique et d'un pouvoir tampon naturel efficace de l'aquifère face aux variations extérieures.

La prédominance des ions majeurs dans le bilan chimique : Parmi les éléments dissous, les sulfates (SO_4), les bicarbonates (HCO_3) ainsi que le calcium (ca)

Ca^{+2} et les chlorures (Cl^-) se positionnent comme les pôles ioniques dominants en termes de concentration brute. Leurs boîtes à moustaches étalées indiquent que ces éléments guident activement les fluctuations de la conductivité électrique globale.

La présence d'anomalies locales (Nitrates) : La distribution des nitrates (NO_3) révèle une dispersion notable vers les valeurs supérieures. Bien que sa médiane reste modérée, l'étirement de sa moustache supérieure signale la présence de points d'eau locaux significativement impactés, confirmant une vulnérabilité ciblée de la nappe vis-à-vis des infiltrations d'origine anthropique

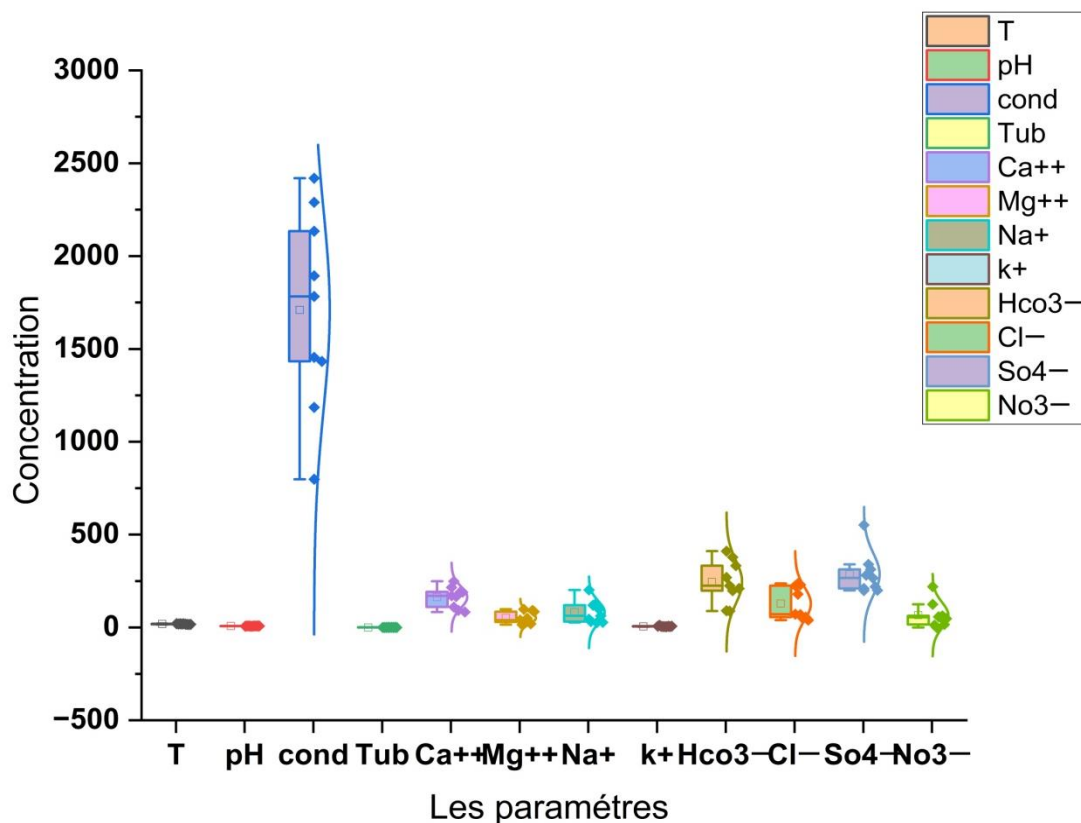


Figure N°46 : Boîtes de box élément chimiques des la commune de tissemsilt

Conclusion générale

Conclusion Générale

Dans le but d'évaluer la qualité des eaux souterraines, une étude hydrochimique ainsi qu'une détermination de l'Indice de Qualité de l'Eau (IQE) des sources artésiennes de la commune de Tissemsilt ont été réalisées. Cette approche permet de mieux comprendre les caractéristiques hydrochimiques des eaux souterraines, d'apprécier leur aptitude à la consommation humaine et à l'irrigation, et d'identifier les principales sources de pollution.

La synthèse hydrochimique a mis en évidence les principaux faciès des eaux étudiées. Le diagramme de Piper révèle une dominance du faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien.

- Selon le diagramme de Wilcox, qui prend en compte la conductivité électrique, les eaux artésiennes de la région de Tissemsilt présentent une qualité globalement excellente pour l'irrigation.

- L'analyse statistique, réalisée à l'aide de l'Analyse en Composantes Principales (ACP), a permis de regrouper efficacement les échantillons et de mettre en évidence les corrélations existant entre les différentes variables physico-chimiques.

- Par ailleurs, le calcul de l'Indice de Qualité de l'Eau (IQE), basé sur les résultats des analyses physico-chimiques, a permis de classer les quinze échantillons étudiés en trois catégories de qualité, allant d'une qualité excellente à une bonne qualité.

Perspectives:

- Réaliser un suivi saisonnier de la qualité des eaux (périodes humide et sèche).

- Augmenter le nombre de points d'échantillonnage afin d'améliorer la précision des cartes de distribution spatiale.

- Compléter les analyses physico-chimiques par des analyses microbiologiques et des éléments traces métalliques.

- Étudier l'impact des activités agricoles, urbaines et industrielles sur la qualité des eaux souterraines.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

- Ardjane, A.(2025).Étude hydrogéologique, hydrochimique et modélisation des eaux dans les plaines alluviales des oueds el abd et el taht algérie nord occidentale. THESE de DOCTORAT ,Université de Tiaret.
- APHA (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (23rd ed.). American Public Health Association.
- Atkins, P., & Jones, L. (2019). Chemical Principles: The Quest for Insight (7th ed.). W. H. Freeman.
- Bekkoussa, S., Bekkoussa, B., Taupin, J. D., Patris, N. et Meddi, M. (2018). Caractérisation hydrochimique et évaluation de la qualité des eaux souterraines dans le bassin de la plaine du Ghriss, nord-ouest de l'Algérie. Journal of Water Supply Research and Technology-Aqua, 67 (5), 458-466.
- Benchenouf. Let Melazem. M. (2014). Les analyses physico-chimiques de l'eau de source de TOUSSNINA (Lejdar). Thèse Ing INES Agro-Vét, Tiaret, 10-12p.
- Benhamou, M. (1996). Étude géologique du massif de l'Ouarsenis. Université d'Oran. (à compléter avec le titre exact, le type de document (thèse, mémoire ou rapport), l'université et les pages si vous les connaissez.
- Benhamou, M. (1996). Évolution tectono-eustatique d'un bassin de la Téthys maghrébine : l'Ouarsenis (Algérie) pendant le Jurassique inférieur et moyen. Thèse d'État, Université d'Oran, 434 p.
- BOUDERBA, A. Sarah,R .(2021).Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de sources de la wilaya de TISSEMSILT. mémoire de Master ,Univ-TissemSilt.
- Brown, T. L., LeMay, H. E., Bursten, B. E., et al. (2018). Chemistry: The Central Science (14th ed.). Pearson.
- Calembert, L. (1952). Étude géologique du massif culminant de l'Ouarsenis. Service de la Carte Géologique d'Algérie.
- Cardot.C et Gilles.A, (2013) Analyse des eaux, réglementation, analyses volumétriques et spectrophotométriques, statistiques. Cours et exercices corrigés. Ellipses Edition Marketing.S.A.
- Chang, R., & Goldsby, K. (2016). Chemistry (12th ed.). McGraw-Hill Education.
- Chaplin, M. (2023). Water Structure and Science. London South Bank University.
- Chapman, D., Kimstach, V. (1996). Sélection des variables de qualité de l'eau. Évaluation de la qualité de l'eau : guide d'utilisation du biote, des

Références Bibliographiques

- sédiments et de l'eau dans la surveillance environnementale. Édition Chapman, 2e éd. E. et F.N. Spon, Londres, p. 75.
- Derkaoui, S. Etude Paléontologique, Ichnologique et Sédimentologique de la Série Miocène Inférieur/Moyen de Kef Ighoud (Ouarsenis Orientale, Algérie). mémoire de Master ,Université d'Oran 2.
 - DGAIH 1997. Plant nationale de l'eau évaluation de ressource en eaux.
 - dimalla, N. (2019). Facteurs de contrôle et _mécanismes de variation de la qualité des eaux souterraines dans une région semi-aride du sud de l'Inde : une approche par l'indice de qualité de l'eau (IQA) et l'évaluation des risques sanitaires (ERS). *Environmental Geochemistry and Health*, 42, 1725-1752.
 - Domenico, P. A., & Schwartz, F. W. (1998). *Physical and Chemical Hydrogeology* (2nd ed.). New York: John Wiley & Sons.
 - Durov, S. A. (1948). Classification des eaux naturelles et représentation graphique de leur composition. *Doklady Akademii Nauk SSSR*, 59, 87-90.
 - FAO. (2017). *Water Pollution from Agriculture: A Global Review*. Rome.
 - Freeze et Cherry, 1979 ; Domenico et Schwartz, 1998).
 - Freeze, R. A., & Cherry, J. A. (1979). *Groundwater*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
 - Germaine.A.W, (janvier 2013). Cours alimentation en eau potable AEP, ISS, Cameroun.
 - H. Sari, 2014. Participation à l'analyse de la __qualité physico-chimique et bactériologique de la source attar» (Tlemcen). Thèse de Master en sciences alimentaires. Tlemcen. Pages 11 à 13.
 - Hassan, Z. U., Jefferson, A. J., Avellaneda, P. M. et Bhaskar, A. S. (2024). Évaluation de l'influence des paramètres hydrologiques sur la dispersion des incertitudes de projection des débits des cours d'eau urbains et des crues climatiques. *Journal of Hydrology*, 638, 131546.
 - Hem, J. D. (1985). *Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water*. U.S. Geological Survey.
 - Hocine necib à Tissemsilt « les besoins hydriques de la wilaya couverts pour 20 ans Horton, R.K., 1965. Un système de numéro d'index pour évaluer la qualité de l'eau. *J. Water Pollut. Control fed.* 37(3), 300-306.
 - <http://livre21.com>
 - <https://doi.org/10.1007/s10653-019-00374-8>.
 - <https://geomatejournal.com/geomate/article/view/1856>.
 - <https://weatherspark.com>

Références Bibliographiques

- <https://www.eaufrance.fr>
- <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school>.
- INH. Institut National d'Hygiène, (2019). Guide des Analyses Physico-chimiques des eaux destinées à la consommation humaine. Maroc.
- ISO 6058 (1984) Qualité du dosage du calcium dans l'eau - Technique de titrage utilisant l'EDTA.
- ISO 6058(1984) Qualité de l'eau-dosage du sodium et potassium partie 3: Dosage de sodium et du potassium par spectrométrie d'émission de flamme.
- ISO 6878, (2004). Qualité de l'eau-dosage de phosphore-Méthode par spectrométrie au molybdate d'ammonium.
- ISO 7150-1, (1984). Qualité de l'eau-dosage de l'ammonium-spectrométrie manuelle ISO 6777, (1984). Qualité de l'eau-dosage de nitrites- technique par spectrométrie d'absorption moléculaire.
- JOEL.G., (2014). La qualité de l'eau potable, technique et responsabilités, Paris.
- Kamel , I .FETTOUH , O.(2019) .Evaluation et gestion des ressources en eau dans la région de Tissemsilt . mémoire de Master ,Univ-Tissemsilt.
- L. 1996. L'analyse de l'eau Eaux naturelles, eaux résiduelles, eaux de mer. Ed. Dunod, Paris. P 30-31-204-205-380-500-1086-1335.
- Louis Chaussade. Jet Mestrallet. G, (2005). Mémento méthode de l'eau.
- LOUIS SCHRIVER-M, 2012. La gestion durable de l'eau ressource, qualité, organisation P 18.
- Maiga.A.S, (2005). Qualite Organoleptique De L'eau De Consommation Produite Et Distribuee Par L'edm.Sa Dans La Ville De Bamako Evaluation Saisonniere. Thèse de Doctorat en Pharmacie. Faculté de Médecine de Pharmacie et D'odontostomatologic. Universite De Bamako Mali.
- Mallya, G., Hantush, M. et Govindaraju, R. S. (2018). Mesures composites de la santé des bassins versants du point de vue de la qualité de l'eau. Journal of Environmental Management, 214, 104-124.
- Mammeri, A., Tiri, A., Belkhiri, L., Salhi, H., Brella, D., Lakouas, E., Tahraoui, H., Amrane, A. et Mouni, L. 2023. Évaluation de la qualité des eaux de surface à l'aide de l'indice de qualité de l'eau et de la méthode d'analyse discriminante. Water, 15(4), 680.
_https://doi.org/10.3390/w15040680

Références Bibliographiques

- Masmoudi T., Benakcha M., Abdenmour M.A., Bouzekri A., Amrane A., Alcala F.J. 2024. Évaluation de la qualité des eaux souterraines à usage potable et agricole. Étude de cas en région semi-aride (Zab El-Gharbi, sud-est de l'Algérie). Dessalement et Traitement de l'Eau, 319, 100476.
- Mattauer, M. (1958). Étude géologique de l'Ouarsenis oriental (Algérie). Bulletin du Service de la Carte Géologique d'Algérie, Monographie régionale, 17.
- Maurya, S., Srivastava, P. K., Gupta, M. et Singh, S. (2016). Intégration des paramètres hydrauliques du sol et des précipitations micro-ondes à l'analyse morphométrique pour la priorisation des bassins versants. Water Resources Management, 30(14), 5385-5405. <https://doi.org/10.1007/s11269-016-1494-4>.
- Meybeck, M., Friedrich, G., Thomas, R., & Chapman, D. (1996). Rivers. In Water Quality Assessments. UNESCO/WHO/UNEP.
- Ministère des ressources en eau, Algérie.
- OMS (2017). Guidelines for Drinking Water Quality.
- OMS 1985_1986 Directives de qualité pour l'eau de boisson Genève.
- Organisation mondiale de la Santé (1998). Directives de qualité pour l'eau de boisson. - 2^e éd. vl. Additif au Volume IRecommandations. Genève.
- Organisation Mondiale de la Santé (OMS). (2022). Guidelines for Drinking-water Quality (4th ed., with updates). Genève.
- Organisation Mondiale de la Santé (OMS). (2022). Guidelines for Drinking-water Quality.
- Organisation Mondiale de la Santé (OMS). (2022). Guidelines for Drinking-water Quality.
- Organisation mondiale de la Santé., (2017). Directives de qualité pour l'eau de boisson: 4^e éd. intégrant le premier additif [Guidelines for drinking-water quality: 4th ed. incorporating first addendum]. Genève
- Organisation mondiale de la Santé., (2017). Directives de qualité pour l'eau de boisson: 4^e éd. intégrant le premier additif [Guidelines for drinking-water quality: 4th ed. incorporating first addendum]. Genève
- Petrucci, R. H., Herring, F. G., Madura, J. D., & Bissonnette, C. (2017). General Chemistry: Principles and Modern Applications (11th ed.). Pearson.
- Rodier J, (2005). L'analyse de l'eau: Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer. 6^{ème} édition, Dunod, Paris.
- Rodier J. (2009). L'analyse de l'eau.

Références Bibliographiques

- Rodier, J., Legube, B., & Merlet, N. (2009). L'analyse de l'eau (9e éd.). Dunod, Paris.
- Rodier, J., Legube, B., & Merlet, N. (2009). L'analyse de l'eau.
- Rodier, J., Legube, B., & Merlet, N. (2009). L'analyse de l'eau.
- Rodier, J., Legube, B., Merlet, N., & Brunet, R. (2009). Water analysis: natural waters, waste water, sea water. 8th edition. Dunod. Paris, France. 1579p.
- Rodier. Jet Bernad. L, (2009). L'analyse de l'eau: Eaux naturelles, Eaux résiduelles, Eau de mer. 9eme édition, Dunod, Paris.
- Saadi ,F .Miliari , Z.(2022) .Contribution à l'étude de l'indice de la qualité des Sources Artésienne de la Commune de Tissemsilt . mémoire de Master ,Univ-Tissemsilt.
- SARADI(2014). Evaluation De La Qualite Physicochimique Et Bacteriologique Des Eaux Usees Brutes Et Epuree De La Ville D'ouargla. Possibilite De Leur Valorisation En Irrigation / Larhyss Journal, N° 20, PP 247-258.
- Sari, D. (1977). L'Algérie : géographie physique. (référence utilisée pour les limites géographiques de l'Ouarsenis).
- Schumm, S.A., 1956, Évolution des systèmes de drainage et des pentes dans les Badlands de Perth Amboy, New Jersey, Bulletin de la Société géologique d'Amérique, vol. 67, pp. 597-646.
- Suharyanto, A., Suhartanto, E. et Lesmana, S. B. (2020). Analyse de classification morphométrique des bassins versants à l'aide d'un système d'information géographique. GEOMATE Journal, 19(74), 114-122. Consulté sur
- UNESCO. (2024). United Nations World Water Development Report. Paris: UNESCO.
- World Health Organization (WHO). (2022). Guidelines for Drinking-water Quality.