

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Ibn Khaldoun –Tiaret



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Science de la terre et de
l'univers

Mémoire du diplôme de Master académique

Domaine : "Sciences de la Terre et de l'Univers"

Filière : "Géologie"

Spécialité : "Hydrogéologie"

**Thème : Evaluation qualitative des ressources en eau
souterraine de la nappe d'Ain kermès (wilaya de Tiaret).**

Encadré par :
Mr SABBOUA Toufik

Présenté par :
KOWE Wang-yang

JURY:

-Président: Mr. Mouchara. N

-Examineur : Mr. Boutouga. F

Année universitaire : 2022-2023

REMERCIEMENTS :

Avant tout, nous remercions ALLAH le tout puissant, de nous avoir donné tant de patience, de courage et de volonté pour accomplir ce travail.

Nos remerciements les plus sincères s'adressent à notre encadreur : Mr. SABBOUA TOUFIK pour la confiance et le soutien qu'Il nous a accordé, enfin de mener à bien ce travail.

Nous remercions les membres du jury qui ont daigné laisser leurs multiples occupations pour se donner la peine d'examiner ce travail, nous leur sommes infiniment reconnaissants. Leurs critiques et suggestions contribueront certainement à rehausser la valeur déontologique de ce travail.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements ainsi que notre grande reconnaissance à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet de fin d'études et leur exprimer notre gratitude pour l'intérêt et le soutien qu'ils nous ont généreusement accordé, en particulier tous les enseignements du département de science de la terre et de l'univers (STU) pour leurs efforts dans notre formation tout au long du cursus universitaire.

Enfin, je remercie ma famille pour leur patience, aide et soutien moral tout au long de la réalisation de ce travail, sans toutefois oublier ma famille Algérienne, pour l'amour, l'attention et pour avoir été là pour moi tout au long de mon séjour ici en Algérie, grâce à vous aujourd'hui je peux me permettre de dire rani djazairi. Merci infiniment, merci l'Algérie.

DEDICACES :

Avec soulagement, sincérité et avec un grand respect que je dédie ce travail :

En premier lieu à mes parents (ma très chère mère qu'Allah t'accorde la santé; et mon très cher père) ; que Dieu vous protège et vous donnent une longue vie.

A mes chers frères et sœurs : Moussa, Youssouf, François, Doba, Mackay, Helene et Melaine.

Tous mes oncles, mes tantes, mes cousins et cousines, et à toute la grande famille Kolandi.et Taisso.

A mes très chers amis(es), collègues et à tous ceux que j'ai rencontrés dans ma vie.

Et enfin à l'université Ibn khaldoun qui a fait de moi un ingénieur en Hydrogéologie.

Sommaire :

Introduction général	1
Chapitre I: Cadre physique et Géologique de la zone d'étude	3
I.1. Introduction :.....	4
I.2. La situation géographique :.....	4
I.3. Hydrologie :	5
I.4. Le bassin versant de Cheliff-Zahrez :	5
I.1.1. Cadre Géologique de la zone d'étude.....	7
I.1.2. Introduction:.....	7
I.1.3. Géologie régionale d'Ain kermès:	7
I.1.4. Aperçu sur la géologie du secteur d'étude :.....	9
I.1.5. La lithostratigraphie:	9
I.1.6. Aperçu général sur la Tectonique:	11
I.1.7. Conclusion:	11
Chapitre II: Etude hydroclimatique.....	12
II.1. Introduction:.....	13
II.2. Les factures climatiques :.....	13
II.3. Les précipitations :	13
II.4. Coefficient pluviométrique (Cp) :.....	15
II.5. Régimes saisonniers des précipitations :	17
II.6. La Température.....	18
II.7. Classification du climat de la région :.....	19
II.8. Diagramme Ombro-thermique de GAUSSEN:	19
II.9. Détermination de l'humidité du sol (méthode d'Euverte) :.....	20
II.10. Indice d'aridité de DE MARTONNE :	21
II.11. Le diagramme d'EMBERGER :	23
II.12. Le bilan hydrique :	24

II.13. Etude de l'évapotranspiration :	25
II.14. Estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP) :	25
II.15. Évapotranspiration réelle (ETR) :	26
II.16. Estimation du ruissellement :	27
II.17. Estimation de l'infiltration :	28
II.18. Conclusion :	30
Chapitre III Etude hydrogéologique.	32
III.1. Introduction:	33
III.2. L'aquifère du Cheliff Zahrez:	33
III.3. Le contexte hydrogéologique de la zone d'étude:	34
III.4. L'alimentation des nappes:	35
III.5. Identification hydrogéologique des sources (forages) étudiées:	35
III.6. Étude des débits des différents forages et sources:	36
III.7. Interprétation des résultats:(De Mars/Avril 2021) :	37
III.8. Conclusion :	37
Chapitre IV : Etude hydrochimique.	38
IV.1. Introduction :	39
IV.2. Etude de la chimie de l'eau :	39
IV.3. Echantillonnages et fréquences des prélèvements :	41
IV.4. Résultats et interprétation des analyses des eaux de sources:	43
IV.5. Les résultats:	43
IV.6. Interprétation des résultats:	43
IV.7. Les paramètres physiques:	43
IV.8. Etude des paramètres chimiques :	46
IV.9. Paramètres de pollution :	52
IV.10. Potabilité des eaux:	54
IV.11. Classification chimique des eaux:	55

IV.12. Classification de Piper : (Figure n°32)	68
IV.13. Classification de SCHOELLER-Berkaloff:	69
IV.14. Diagramme de STABLER :	70
IV.15. Aptitude des eaux pour l'irrigation :	70
IV.16. Classification des eaux par la méthode de richards :	70
IV.17. Classification des eaux par la méthode de Wilcox :.....	73
IV.18. Conclusion :.....	74
Conclusion générale :.....	75
Références bibliographiques	77
Source des données :.....	78
Norme Algérienne de potabilité:.....	79
Résumé :.....	80

Liste des abréviations :

ADE : Algérienne des eaux

AEP : Alimentation en eau potable

ANRH : Agence nationale des ressources hydriques.

BHC : Bureau d'hygiène communal.

Ca²⁺ : ions de Calcium.

CE : Conductivité électrique

Cl⁻ : ions de Chlorures.

DHW : Direction d'Hydraulique de la Wilaya de Tiaret.

i.e.b : Indice d'échange de base

HCO₃⁻ : Carbonates d'hydrogène.

LTPO : Laboratoire des Travaux Publique de l'Ouest

Mg²⁺ : Magnésium.

NO₃⁻ : Nitrates.

PH : potentiel d'hydrogène. **PO₄⁻³** : ions de phosphates

Q : Débit.

SO₄⁻² : ions de Sulfates.

SW-NE : Sud- Ouest et Nord- Est

T° : Température

Listes des Figures

Figure 1 : localisation de la commune d'Ain kermès.	5
Figure 2 : La région hydrographique Cheliff-Zahrez (Le Bassin Cheliff Zahrez (abh-cz.com.dz))	6
Figure 3 : Extrait de la carte géologique de Tiaret Echelle 1/500.000 (DWH 2008).	8
Figure 4 : Extrait de la carte Géographique de Tiaret (ANRH).	10
Figure 5 : Histogrammes des précipitations moyennes mensuelles (mm) de station météorologique d'Ain Bouchekif wilaya de Tiaret (2006/2020).	14
Figure 6 : Histogramme des précipitations interannuelles.	14
Figure 7 : Secteur des Régimes saisonniers des précipitations de la station D'Ain Bouche kif wilaya de Tiaret (2006/2020).	17
Figure 8 : Courbes des variations des températures moyennes mensuelles.	19
Figure 9 : Diagramme Ombro-thermique de GAUSSEN de station Ain Bouchékif.(2006/2020).	20
Figure 10 : Abaque de l'indice d'aridité annuel de DE Martone, 1923. De la station d'Ain Bouchekif (2006/2020).	22
Figure 11 : Climagramme d'EMBERGER de station Ain Bouchekif (2006/2020).	24
Figure 12 : Représentation graphique du bilan hydrique de C.W.Thornthwaite de la station d'Ain Bouchekif (2008/2020).	30
Figure 13 : Les valeurs des débits	37
Figure 14 : schéma du protocole expérimental.	40
Figure 15 : Carte de répartition spatiale des points de prélèvement	42
Figure 16 : Variation des Températures en (°C) des points de prélèvement de la zone d'étude.	44
Figure 17 : Variation des valeurs de pH des points de prélèvement de la zone d'étude.	45
Figure 18 : Variation des concentrations de C_e en ($\mu S/cm$) des points de prélèvement de la zone d'étude.	45
Figure 19 : Variation des concentrations de TH en (mg/l) des points de prélèvement de la zone d'étude.	46
Figure 20 : Variation des concentrations de Ca^{+2} en (mg/l) des points de prélèvement de la zone d'étude. ...	47
Figure 21 : Variation des concentrations de Mg^{+2} en (mg/l) des points de prélèvement de la zone d'étude.	48
Figure 22 Variation des concentrations de Na^{+} en (mg/l) des points de prélèvement de la zone d'étude.	49
Figure 23 : Variation des concentrations de K^{+} en (mg/l) des points de prélèvement.	49
Figure 24 : Variation des concentrations de HCO_3^{-} en (mg/l) des points de prélèvement de la zone d'étude. .	50
Figure 25 : Variation des concentrations de SO_4^{-2} en (mg/l) des points de prélèvement de la zone d'étude. ...	51
Figure 26 : Variation des concentrations de Cl^{-} en (mg/l) des points de prélèvement de la zone d'étude.	52
Figure 27 : Variation des concentrations de NO_3^{-} en (mg/l) des points de prélèvement de la zone d'étude.	53
Figure 28 : Présentation graphique des faciès chimique des eaux de sources suivant le Diagramme de piper .	68
Figure 29 : Présentation graphique des faciès chimique des eaux de sources suivant le diagramme Schoeller-Berkalof.	69
Figure 30 : Diagramme de STABLER	70
Figure 31 Diagramme de classification des eaux d'irrigation (Méthode de richards)	72
Figure 32 : Classification des eaux par la méthode de wilcox	73

Liste des Tableaux :

Tableau 1 : Les précipitations moyennes mensuelles de la région d'étude (Station d'Ain Bouchékif –Tiaret (2006/2020)).....	13
Tableau 2 : coefficient pluviométrique (2006/2020).	16
Tableau 3 : Régimes saisonniers des précipitations de la station d'Ain Bouchekif (2006/2020).	17
Tableau 4 : Températures moyennes mensuelles de la station d'Ain Bouchekif.	18
Tableau 5 : représentant les différents types du régime.	20
Tableau 6 : Valeurs du rapport (P/T) durant (2006/2020).	21
Tableau 7 : Classification des climats en fonction de la valeur de L'indice de De Martonne.....	22
Tableau 8 : Résultats de l'ETP obtenus par la formule de «C.W.Thornthwaite » de la station d'Ain Bouchekif (2006/2020).....	26
Tableau 9 : Comparaison entre les deux méthodes de calcul de l'ETR.	27
Tableau 10 : Estimation du ruissellement selon les formules de Tixeront-Berkaloff dans la station d'Ain Bouchekif (2006/2020).	28
Tableau 11 : Valeurs de l'infiltration efficace (Ie) en mm pour la station d'Ain Bouchekif Période (2006/2020).....	28
Tableau 12 : Bilan hydrique de la station d'Ain Bouchekif selon C.W Thornthwaite 29	29
Tableau 13 : Les coordonnées des forages et des Source étudiés : 36	36
Tableau 14 : Les valeurs des débits des sources étudié pendant la période du suivi. 36	36
Tableau 15 : les résultats des analyses physico-chimiques des eaux souterraines. (ADE de Tiaret Mars 2021). 43	43
Tableau 16 : Classification de la potabilité des eaux d'après les normes Algériennes. 55	55
Tableau 17 : Classification des eaux par degré d'aptitude à l'irrigation par la méthode du S.A.R..... 71	71

Introduction générale

Introduction général.

L'eau, ressource vitale pour l'homme et l'environnement, recouvre plus de 70% du globe. Cependant, l'eau potable est loin d'être présente en abondance : en effet, l'eau douce ne représente que 2% de l'eau de notre planète. Nous pouvons puiser cette eau indispensable à notre survie grâce à des forages, et celle-ci nous provient de glaciers, de nappes souterraines ou encore de sources. Le reste provient des eaux de surface que constituent les lacs et les rivières. Toutes ces sources d'eau douce sont renouvelables car la pluie et la neige contribuent à les réapprovisionner de près de 200 milliards de mètres carrés par an, mais il ne faut tout de même pas en abuser car certaines nappes phréatiques, par exemple, s'assèchent à force d'être exploitées : l'eau douce constitue une denrée de plus en plus rare et précieuse.

Les différentes ressources de la matière d'eau sont d'origine superficielle ou souterraine, une eau souterraine renferme une teneur en substance minérale dissoute d'origine naturelle et géologique.

Les eaux souterraines se trouvent presque partout et leur qualité est généralement très bonne. Le fait que les eaux souterraines soient stockées dans des couches situées sous la surface, et parfois à des profondeurs très élevées, permet de les protéger contre toute contamination et de préserver sa qualité. De plus, l'eau souterraine est une ressource naturelle qui peut souvent être trouvée près des consommateurs finaux et ne nécessite donc pas de gros investissements en termes d'infrastructures et de traitement, comme est souvent le cas lors de la récolte des eaux de surface. Il est crucial, pour éviter la surexploitation et la pollution de cette ressource cruciale, de trouver un juste équilibre entre le retrait et le repos de l'aquifère pour qu'il récupère son niveau.

Les eaux souterraines sont (naturellement) rechargées par l'eau de pluie et la fonte des neiges ou par l'eau qui fuit à travers le fond de certains lacs et rivières. Les eaux souterraines peuvent également être rechargées lorsque les systèmes d'approvisionnement en eau fuient et que les cultures sont irriguées avec plus d'eau que nécessaire. Il existe également des techniques pour gérer la recharge des aquifères et augmenter la quantité d'eau d'infiltration dans le sol.

Introduction générale

Dans notre cas, la présente étude s'ajoute à de plus anciens travaux de recherche, et ce pour donner un aperçu scientifique sur les sources d'eau dans la commune d'Ain kermès, du point de vue quantitatif et qualitatif.

La commune d'Ain kermès est une ville et un chef-lieu de commune du même nom, située dans la wilaya de Tiaret en Algérie avec une superficie de 237.8 Km² et une population de 30 541 hab. (2020).

En ce qui concerne cette commune notre étude a pour objet la connaissance des caractères géologiques, hydrologiques, hydrogéologiques et hydro chimiques ainsi que de quantifier et d'analyser la quantité et la qualité de la nappe d'eau.

Pour mieux aborder ces problèmes, nous avons adopté la méthodologie suivante :

- ✓ Une étude de cadre physique.
- ✓ Un aperçu géographique de la commune d'Ain kermès.
- ✓ Une étude hydroclimatologique.
- ✓ Une étude hydrogéologique
- ✓ Une étude hydrochimique.

Chapitre I:
Cadre physique et Géologique de la zone d'étude.

Chapitre I: Cadre physique et Géologique de la zone d'étude

I.1. Introduction :

Ce chapitre détaillera les données primaires que nous avons recueillies au cours de nos recherches, en nous concentrant sur l'environnement physique de la zone d'étude.

I.2. La situation géographique :

L'emplacement sur la carte :

Nichée à l'ouest de la wilaya de Tiaret, se trouve la commune d'Ain Kermès. Elle est située à 62 km au sud-ouest de la ville de Tiaret, avec des coordonnées de longitude 34°54'29" Nord et de latitude 1°06'29" Est.

La distance d'Ain Kermès à partir de:

- Situé à une distance de 226 kilomètres de la ville d'Oran,
- Situé à une distance de 132 kilomètres de Mascara.
- Situé à une distance de 333 km de la capitale Alger.

La commune s'étend sur environ 237,83 kilomètres carrés et compte une population de 30 541 habitants en 2020. Cela équivaut à une densité de population de 128 individus par kilomètre carré.

Les limites d'Ain Kermès sont définies par :

- Vers l'extrémité Nord, à proximité des communes de Frenda et Ain El Hadid,
- Situées dans la région sud se trouvent les communes de Madna et Sidi Abderrahmane.
- Vers l'Est se trouve la ville de Medrissa.
- Située vers l'ouest se trouve la commune de Djebilet Rosfa.

La région d'étude est située dans la wilaya de Tiaret, délimitée par le bassin versant sud de la chaîne montagneuse de l'Atlas tellien, l'Atlas saharien au sud et les monts Tiaret au sud-ouest. Le reste de la wilaya est constitué de hautes plaines frontalières.

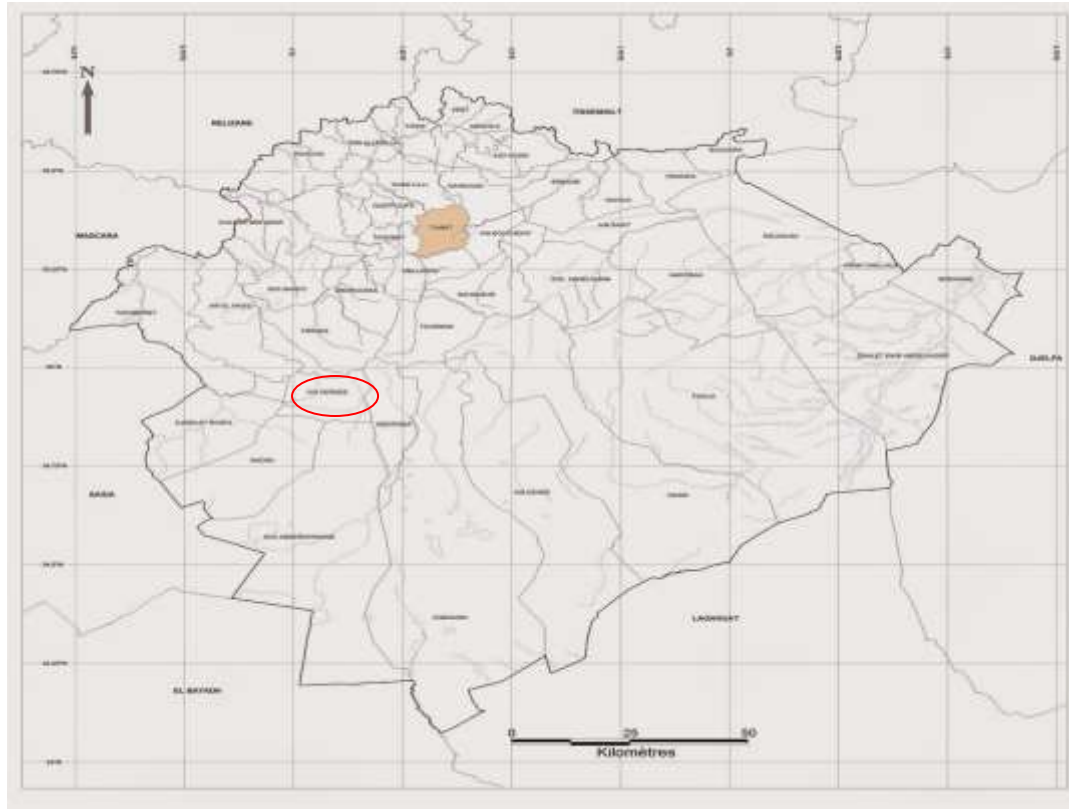


Figure 1 : localisation de la commune d'Ain kermès.

I.3. Relief et morphologie :

Notre zone d'étude est située dans la wilaya de Tiaret qui est limitée par le bassin versant méridional du chaînon de l'Atlas tellien, au sud par l'Atlas saharien et au sud-ouest par les monts de Tiaret, tout de même le reste de la wilaya représente les hautes plaines limitées aussi par :

- La cuvette du chott-cheroui au sud de la daïra de Frenda.
- Les plateaux de Sersou au nord-ouest.

I.4. Hydrologie :

Le territoire de notre commune est intéressé hydrographiquement par un grand bassin versant qui est le bassin versant de Cheliff-Zahrez.

I.5. Le bassin versant de Cheliff-Zahrez :

Située au centre Ouest de l'Algérie du Nord, la région hydrographique Cheliff-Zahrez s'étend, avec une superficie de 56.000 Km², en longitude entre 0°12" Est et 3°87" Est et en latitude entre 33°91" Nord et 36°58" Nord.

Chapitre I: Cadre physique et Géologique de la zone d'étude

S'étendant du Nord, de la mer méditerranée, avec un littoral de 200 kilomètres, aux chotts du Zahrez au sud, la RHCZ présente un relief compartimenté, reflet de la nette opposition topographique Tell-Hautes Plaines qui la caractérise.

Par ailleurs, à l'opposition topographique par laquelle se caractérise la Région Hydrographique Cheliff-Zahrez, s'ajoute une opposition structurale qui se traduit par un substratum relativement simple au sud, formé de vastes étendues sédimentaires d'où émergent des massifs calcaires isolés, et un édifice beaucoup plus complexe au nord, constitué de nombreuses séries hétérogènes empilées de phases tectoniques successives.

Aussi, on distingue de l'amont à l'aval de la RHCZ : l'Atlas Saharien, les hautes plaines, les massifs telliens, la vallée du Cheliff et les massifs côtiers du Dahra au nord.

Les limites du bassin du Cheliff-Zahrez sont très nettes sur la partie tellienne où elles suivent rigoureusement les lignes de crête; elles sont souvent très floues en ce qui concerne la ligne de partage des eaux le séparant du bassin du Sahara, au sud, car la limite endoréisme – exoréisme est localement imprécise. De ce fait, le calcul de la superficie de la RHCZ diffère souvent d'un opérateur à un autre.

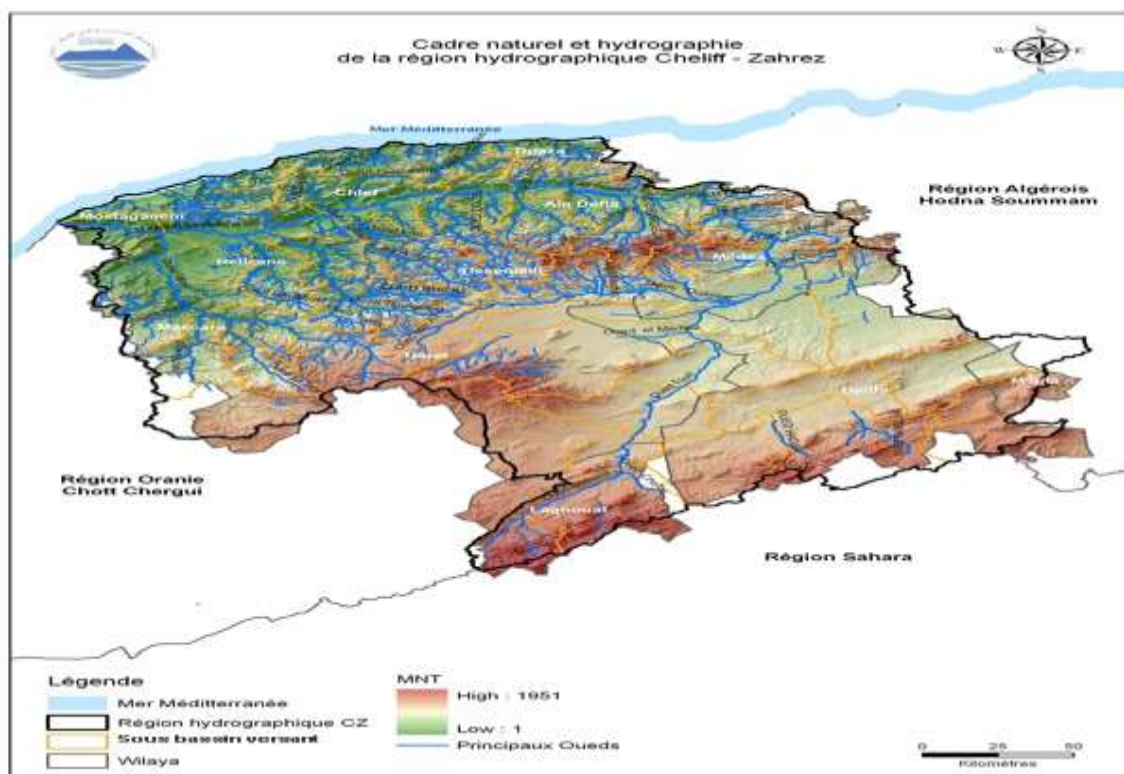


Figure 2 : La région hydrographique Cheliff-Zahrez (Le Bassin Cheliff Zahrez (abh-cz.com.dz))

Chapitre I: Cadre physique et Géologique de la zone d'étude

I.I.1. Cadre Géologique de la zone d'étude.

I.I.2. Introduction:

L'étude géologique d'une région nous permet de connaître les formations géologiques, la stratigraphie de la région et la lithologie.

L'Algérie se divise de la méditerranée au Sahara, en quatre unités géologiques et deux unités structurales plus ou moins parallèles du Nord au Sud

- L'Atlas tellien
- Les hautes plaines
- L'Atlas saharien
- Le Sahara.

La commune d'Ain kermès est située dans une vaste zone synclinale de l'ensemble tellien. C'est une zone de transition entre l'Atlas Tellien au Nord et l'Atlas Saharien au Sud. Les parties centrales et Sud s'associent au domaine plissé des hauts plateaux.

Le territoire d'Ain kermès est constitué par des formations marines et continentales allant du Jurassique au Quaternaire (DHW).

I.I.3. Géologie régionale d'Ain kermès:

La région d'Ain kermès est une zone de passage entre les montagnes au Nord, les hautes plaines au centre et les espaces semi-arides au Sud, cette diversité du relief qui caractérise la région, s'ajoute une opposition structurale, relativement simple au sud, constitués de vaste étendues sédimentaires d'où émergent des massifs de calcaires isolés et un édifice plus complexe au Nord par séries hétérogènes qui touchent la bordure Sud tellienne.(DHW Tiaret)

La région d'étude se trouve dans une vaste zone synclinale de l'ensemble tellien s'étendant du Sud-ouest au Nord Est et rempli de dépôts carbonatés du Méso- Cénozoïque, la structure lithologique de cet ensemble tellien se caractérise par le développement de dépôts alluviaux meubles, les calcaires Jurassiques et les grès, marnes du Miocène. Les formations géologiques constitutives sont d'origine marine et continentale dont l'âge s'étale du Secondaire au Quaternaire récent.

La région d'Ain kermès est constituée de dépôts autochtones faiblement tectonisés, ou

Chapitre I: Cadre physique et Géologique de la zone d'étude

les structures sont généralement des monts et des grabens de faible amplitude. La zone d'étude est matérialisée généralement par des grès massifs en gros bancs ainsi que des marnes et des argiles avec des nombreuses intercalations silteuses et gréseuses allant de fines plaquettes à des bancs décimétrique. Ces formations qui reposent en discordance angulaire sur une succession argilo- gréseux du Jurassique, sont attribuées stratigraphiquement au miocène.

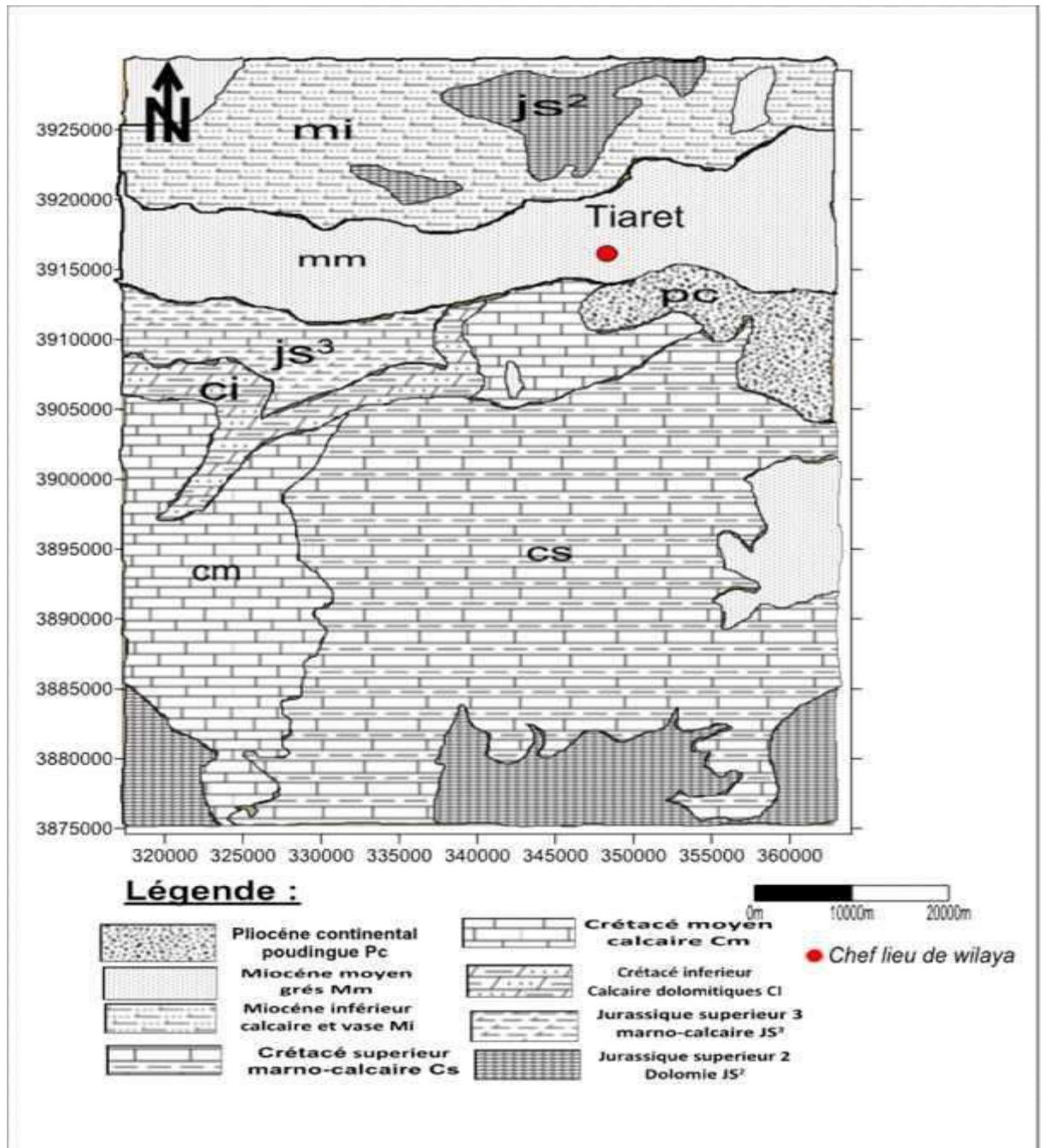


Figure 3 : Extrait de la carte géologique de Tiaret Echelle 1/500.000 (DWH 2008).

Chapitre I: Cadre physique et Géologique de la zone d'étude

I.I.4. Aperçu sur la géologie du secteur d'étude :

Du point de vue géologique le territoire de la wilaya de Tiaret est subdivisé en deux domaines : le domaine tellien et le domaine pré-atlasique.

Contrairement au domaine pré-Atlasique qui couvre particulièrement les zones steppiques, la zone d'étude appartient au domaine Tellien, ce dernier caractérisé par les formations sédimentaires du Secondaire, Tertiaire à Quaternaire. (DHW).

I.I.5. La lithostratigraphie:

Secondaire :

•Jurassique :

L'apparition des affleurements du Jurassique supérieur (calcaire, dolomites, grès, argile) de Kimméridgien a Madna.

•Crétacé:

Le Crétacé supérieur est caractérisé par une alternance de dépôts marins et continentaux, observé à Tiaret, avec des formations calcaires et des marnes.

Après la régression du Crétacé supérieur, il est à nouveau submergé, par les dépôts Eocènes et les Oligocènes marins y sont absents. Les formations continentales nummulitiques sont représentées par des calcaires lacustres, des grès et des conglomérats.

Tertiaire :

•Paléogène:

✓ **Oligocène :** Des marnes et des grès plus ou moins épais (600 à 900m) sont observées dans la région de Frenda et d'Ain el Hadid.

•Néogène :

✓ **Miocène :**

Le Miocène supérieur et moyen : est constitué par une formation gréseuse dominante : La formation géologique de la région de Medrissa est attribuée à l'unité tectonique de la dépression de Frenda. Elle est insérée entre le Miocène Post nappe de Tiaret, au Sud, et l'unité tectonique Sénonienne au Nord.

Chapitre I: Cadre physique et Géologique de la zone d'étude

Quaternaire :

Les alluvions actuelles et récentes de l'Holocène recouvrant les roches en place se composent de limons fins sableux parfois argileux d'une épaisseur variable de (3 à 5 m). Ces dépôts, de formation récente proviennent de la désagrégation de la roche mère. Les dépôts alluviaux sont composés de divers éléments (sables, galets, cailloutis ;...) de taille grossière. L'épaisseur de ces dépôts d'apport varie en fonction de la topographie du terrain, et une Croute calcaire dépôts Quaternaire anciens avec surface encroutée.

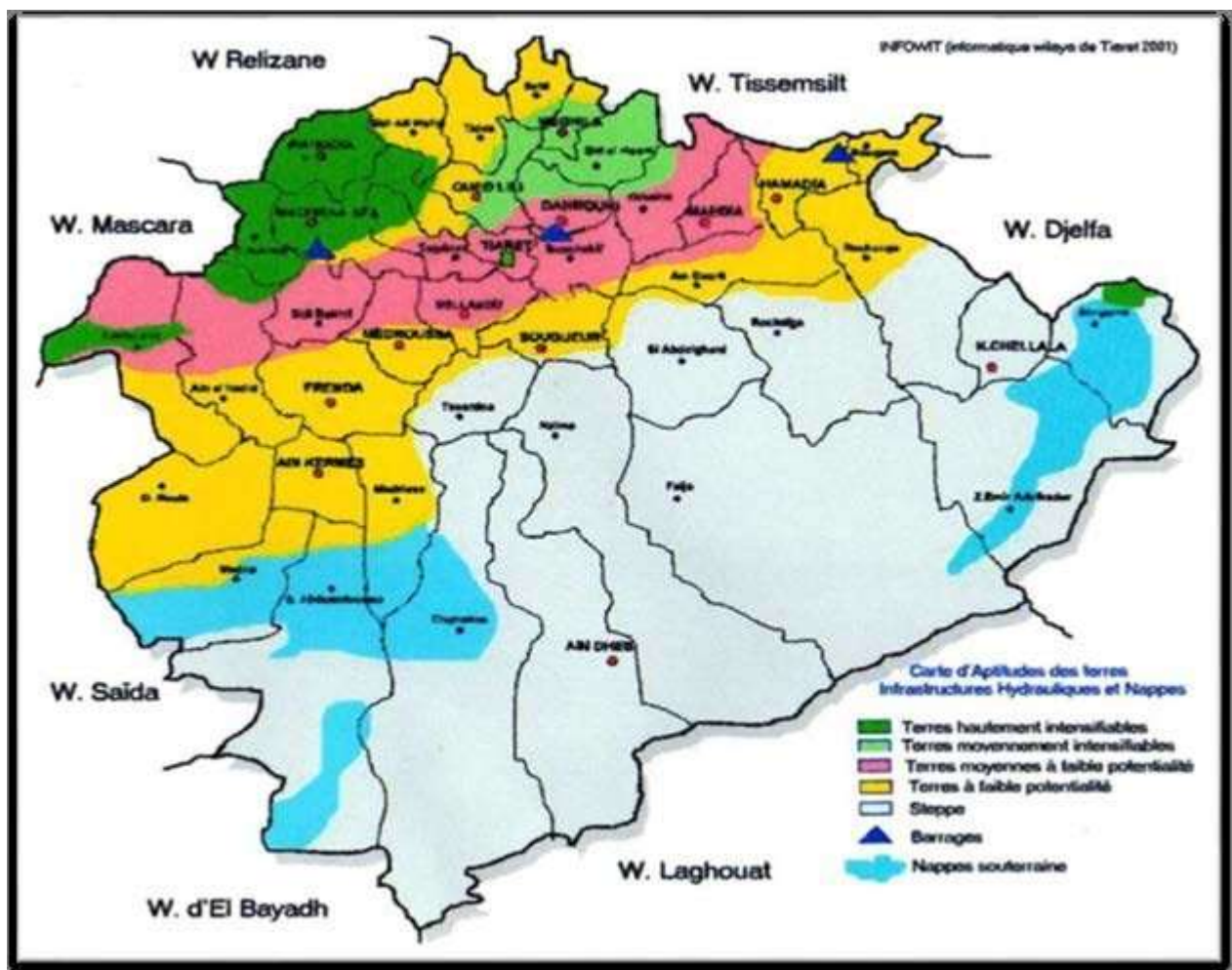


Figure 4 : Extrait de la carte Géographique de Tiaret (ANRH).

I.I.6. Aperçu général sur la Tectonique:

Les grandes lignes tectoniques de notre région d'étude sont situées au niveau des monts de Tiaret et celui du Djebel Nador. Elle est à la régie des faciès du Secondaire et Tertiaire. Le plateau du Sersou qui correspond à un vaste synclinal, est comblé par des dépôts Tertiaires à continentaux. Limité au Sud par le vaste anticlinal du Nador où le Centre est marqué par un accident tectonique majeur de direction SW-NE qui fait apparaître le Trias. Au Nord, l'anticlinal de Tiaret fait sortir un socle rigide formé de roches volcaniques, mise à jour à la faveur de faille de direction Est-Ouest.

Des formations souples viennent s'ajouter à la tectonique en écaillés cassantes où l'ensemble des plissements Jurassiques et Crétacés présente une orientation générale SW-NE qui se noie sous les formations Tertiaires du Nord.

I.I.7. Conclusion:

Nous pouvons donc en conclure que la région d'étude est représentée par une succession de terrains allant du Secondaire au Quaternaire. C'est une superposition de bancs de Grès tendres Miocène surmontant en concordance une assise argileuse de la même formation. Au-dessous vient le crétacé marno-calcaire dans sa partie inférieure et dolomitique dans sa partie supérieure.

Donc les formations géologiques rencontrées dans la zone d'étude est susceptibles de stocker des eaux souterraines.

Chapitre II:
Etude hydroclimatique.

II.1. Introduction:

L'hydroclimatologie est une science très importante pour un hydrogéologue car elle permet de mieux comprendre les mécanismes d'alimentation et de circulation des eaux superficielles et souterraines. Pour faire l'évaluation du bilan hydrique, on doit connaître les paramètres suivants: les précipitations, l'infiltration, l'évapotranspiration et le ruissellement.

L'étude climatique pose beaucoup de problèmes d'ordre pratique notamment: la disponibilité des données, la période d'observation et la situation géographique de la station d'observation par rapport à la zone d'étude.

Pour une étude climatique liée directement à notre zone d'étude, nous avons utilisé les données de la station climatique d'Ain Bouchékif qui fait partie de notre secteur d'étude pour une période de 15 ans (2006/2020).

II.2. Les factures climatiques :**II.3. Les précipitations :**

Les précipitations sont toutes les eaux qui tombent sur la surface de la terre, sous forme liquide ou solide, se sont la pluie la neige, la grêle, la rosée et le givre.

Ce facteur est joué un rôle important pour l'estimation quantitative de l'écoulement d'eaux.

- **Précipitations moyennes mensuelles :**

Les précipitations moyennes mensuelles dans la station météorologique d'Ain Bouchekif.

Tableau 1 : Les précipitations moyennes mensuelles de la région d'étude (Station d'Ain Bouchékif –Tiaret (2006/2020).

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	totale
P moy Mensuelle en (mm)	29 ,74	35 ,19	47,22	40,5	54,3	54,52	51,12	49,58	29,99	13,17	2,79	7,63	415,75

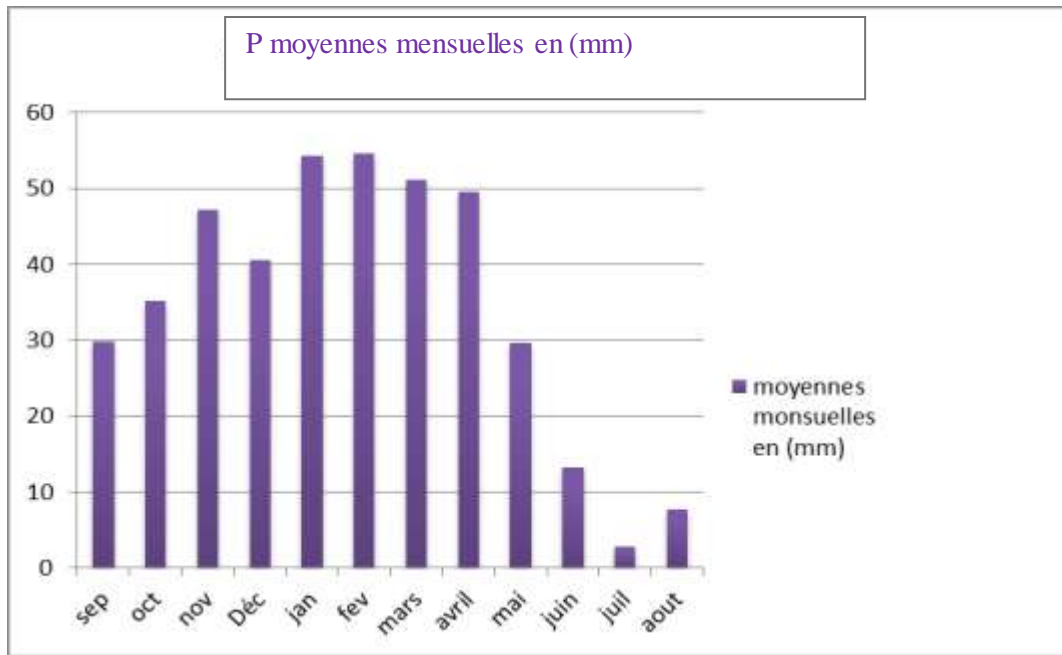


Figure 5 : Histogrammes des précipitations moyennes mensuelles (mm) de station météorologique d'Ain Bouchekif wilaya de Tiaret (2006/2020).

D'après l'histogramme de la précipitation moyenne mensuelle, nous remarquons que :

- Le mois février est le plus pluvieux par rapport aux autres mois, avec une précipitation moyenne mensuelle de l'ordre de **54,52mm**.

- Le mois Juil est le plus sec par rapport aux autres mois, avec une précipitation moyenne mensuelle de l'ordre de **2,79mm**.

- Les précipitations moyennes interannuelles :**

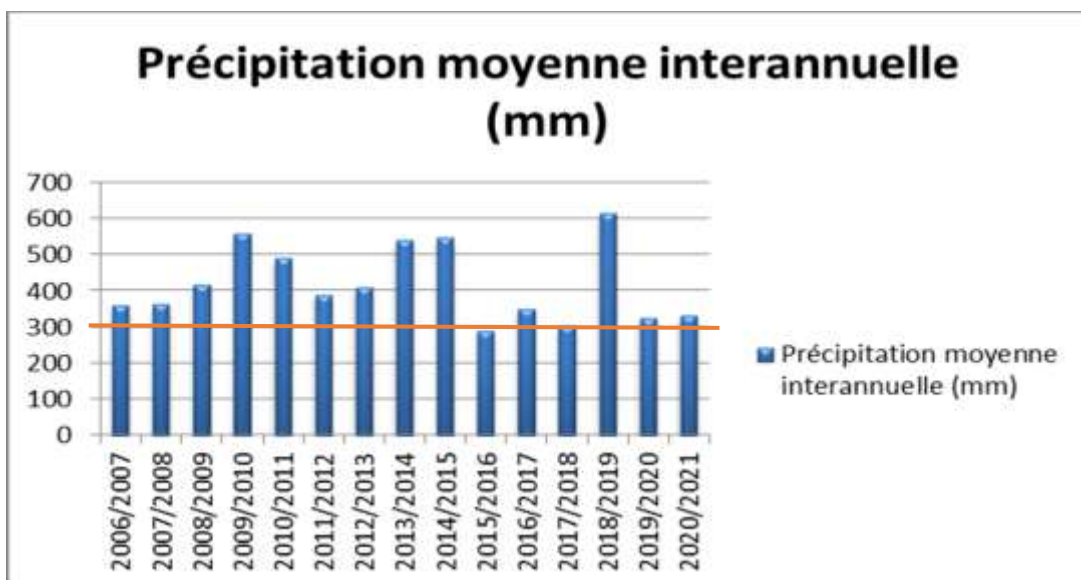


Figure 6 : Histogramme des précipitations interannuelles.

- **Coefficient pluviométrique (Cp) :**

Le coefficient pluviométrique annuel(Cp) est un paramètre très important pour la détermination des années excédentaires et des années déficitaires.

Il est déterminé par la formule suivante :

$$Cp = \frac{P}{P \text{ moyenne}}$$

Avec :

CP : coefficient pluviométrique (sans dimensions).

P : pluviométrie interannuelle (415,75mm).

P moyenne : pluviométrie moyenne annuelle de la période considérée (mm).

Il existe deux cas:

- Si **Cp > 1** : Année excédentaire (**AE**).
- Si **Cp < 1** : Année déficitaire (**AD**).

Tableau 2 : coefficient pluviométrique (2006/2020).

Année	Précipitation moyenne interannuelle (mm)	Coefficient pluviométrique	Observation
2006/2007	359,3	1,16	AE
2007/2008	362,7	1,15	AE
2008/2009	418,9	1,01	AE
2009/2010	558,6	0,75	AD
2010/2011	492	0,85	AD
2011/2012	389,3	1,07	AE
2012/2013	412,1	1,01	AE
2013/2014	540,4	0,77	AD
2014/2015	547,2	0,76	AD
2015/2016	288,2	1,45	AE
2016/2017	349,3	1,20	AE
2017/2018	303	1,38	AE
2018/2019	615,5	0,86	AE
2019/2020	324,5	1,29	AE
2020/2021	330,9	1,26	AE

D'après le tableau et l'histogramme la moyenne annuelle pluviométrique de 419,46mm sur une période de 15ans (2006/2021).

On distingue 10 ans présentant un coefficient pluviométrique annuel supérieur à 1 où

l'année (2018/2019) est la plus pluvieuse avec 615,5mm/an, donc elles sont excédentaires et présentent un coefficient pluviométrique annuel inférieure à 1, elles sont déficitaires où l'année (2015/2016) représente l'année la plus sèche avec 288,2mm.

II.4. Régimes saisonniers des précipitations :

L'étude des précipitations saisonnières permet de donner une idée sur la distribution de la lame d'eau précipitée durant une année et selon les 04 saisons. Les répartitions des précipitations selon les saisons représentées sur le tableau suivant :

Tableau 3 : Régimes saisonniers des précipitations de la station d'Ain Bouchekif (2006/2020).

Saison	Automne	Hiver	Printemps	Eté	Total
	Sep-Oct- Nov	Déc-Jan- Fév	Mar-Avr- Mai	Jun- Juil- Aout	
P (mm)	112,15	149,32	130,69	23,59	415,75
P(%)	26,97	35,91	31,43	5,67	100

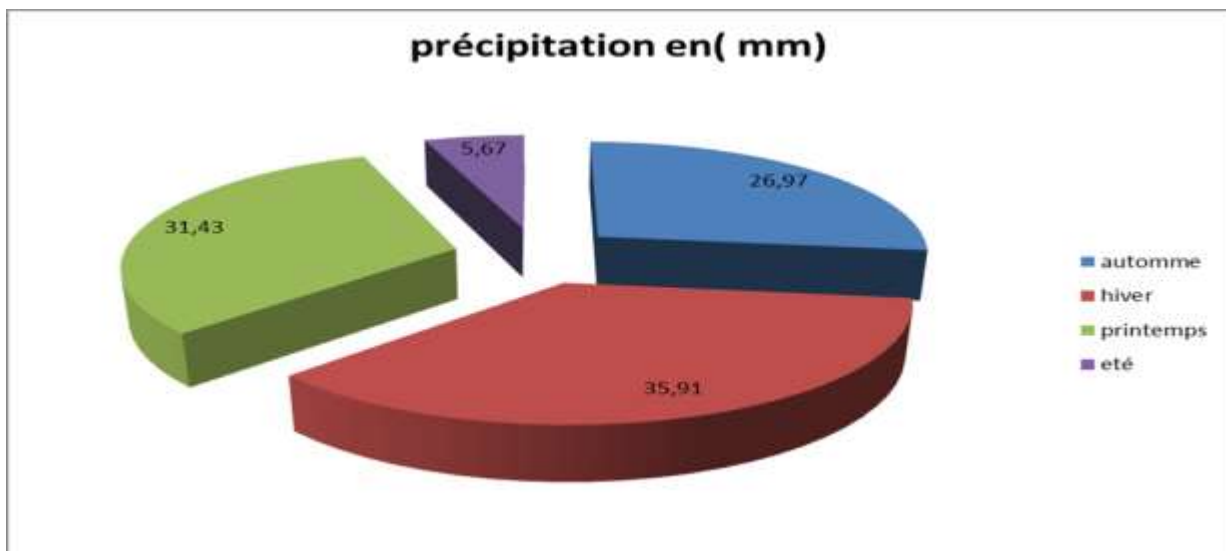


Figure 7 : Secteur des Régimes saisonniers des précipitations de la station D'Ain Bouche kif wilaya de Tiaret (2006/2020).

D'après le tableau et le secteur des Régimes saisonniers des précipitations, nous

remarquons qu'il y a deux périodes:

- ✓ Une période humide s'étendant du mois de septembre au mois de mai, c'est-à-dire pendant les 03 saisons : automne, hiver et printemps, avec une moyenne maximale de 149,32mm en hiver.
- ✓ Une période sèche s'étendant du mois de juin, juillet et aout (La saison estivale), avec une précipitation moyenne de 23,59mm.
- ✓ Il en découle que près de $\frac{3}{4}$ des précipitations tombent en une période humide avec un maximum de pluviométrie de 35,91% en hiver et un minimum en été soit 5,67% des précipitations annuelles.

II.5. La Température.

La Température est le second facteur constitutif du climat influant sur le développement de la végétation. Les températures moyennes annuelles ont une influence considérable sur l'aridité du climat. Ce sont les températures extrêmes plus que les moyennes qui ont une influence sur la végétation, sauf si elles sont exceptionnelles et de courte durée. (Greco .J.1996).

- **La Température moyennes mensuelles :**

Le tableau ci-dessous donne les températures moyennes mensuelles pour une période de de 15 ans (2006/2020).

Tableau 4 : Températures moyennes mensuelles de la station d'Ain Bouchekif.

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Aout	moy
Température (°C)	21,49	15,37	10,5	6,67	6,07	7	9,05	11,76	17,08	20,84	26,73	26,5	14,92

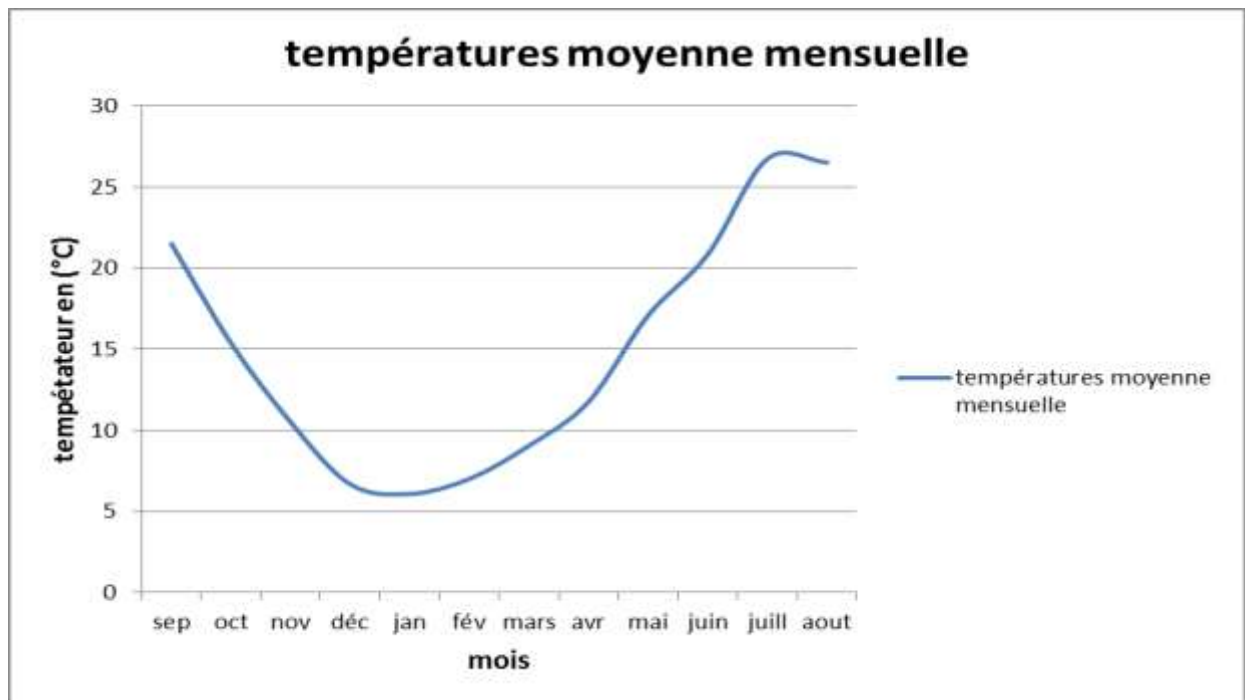


Figure 8 : Courbes des variations des températures moyennes mensuelles.

D'après La courbe des variations des températures moyenne mensuelle :

- janvier est le mois la plus froid, avec moyenne température de **6,07C°**.
- juillet est le mois la plus chaud, avec moyenne température de **26,73C°**.

II.6. Classification du climat de la région :

II.7. Diagramme Ombro-thermique de GAUSSEN:

Le diagramme Ombro-thermique est un type de diagramme climatique représente les variations mensuelles sur une année des températures et des précipitations, permet de calculer la durée de la saison sèche et humide sur un seul graphe.

En admettant que le mois est sec lorsque « $P \leq 2T$ ».

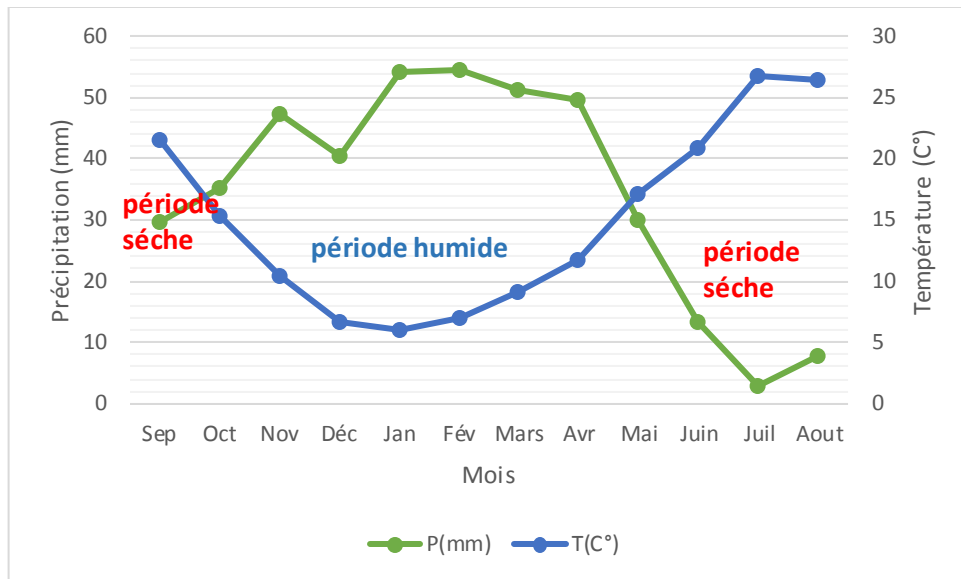


Figure 9 : Diagramme Ombro-thermique de GAUSSEN de station Ain Bouchékif.(2006/2020).

D’après le diagramme Ombro-thermique on déduit que la région d’étude est caractérisée par deux périodes climatiques :

- **Période humide** : c’est la surface limitée par les deux intersections des courbes, de précipitation et de température. Cette période allant du mois d’octobre au mois de mai.

- **Période Sèche** : s’étalant du mois juin au mois de Septembre.

II.8. Détermination de l’humidité du sol (méthode d’Euverte) :

La méthode d’Euverte c’est un rapport entre les précipitations et les températures moyennes mensuelles (P/T) d’une même période.

Selon le rapport (P/T) qui exprime l’humidité du sol, Il existe quatre types de régimes :

Tableau 5 : représentant les différents types du régime.

(P/T)	$P/T < 1$	$1 < P/T < 2$	$2 < P/T < 3$	$P/T > 3$
Régime	Très sec	Sec	Subhumide	humide

Tableau 6 : Valeurs du rapport (P/T) durant (2006/2020).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout
P (mm)	29,74	35,19	47,22	40,5	54,3	54,52	51,12	49,58	29,99	13,17	2,79	7,63
T (°C)	21,49	15,37	10,5	6,67	6,07	7	9,05	11,76	17,08	20,84	26,73	26,5
p/T	1,38	2,28	4,49	6,07	8,94	7,78	5,64	4,21	1,75	0,63	0,10	0,28

Les valeurs du rapport P/T représentées dans le Tableau N°06 permettent de connaître l'évolution de l'humidité du sol pendant l'année :

- Pour les mois Juin, Juillet et Aout le régime est très sec
- Pour les moi mai et Septembre le régime est sec
- Pour les mois octobre le régime est Subhumide
- Pour les mois novembre, décembre, janvier février mars et avril le régime est humide.

II.9. Indice d'aridité de DE MARTONNE :

Indice d'aridité de DE MARTONNE permet de connaître le degré de sécheresse d'une région. Il est calculé à l'aide de la formule suivant :

$$I = P / (T + 10)$$

Avec :

I : indice d'aridité annuelle.

P : Précipitation annuelle moyenne (mm).

T : Température annuelle moyenne (°C).

Tableau 7 : Classification des climats en fonction de la valeur de L'indice de De Martonne

Valeur de l'indice	0<I<5	5<I<10	10<I<20	20<I<30	30<I<55
Type de climat	Hyper_Aride	Aride	Semi_Aride	Semi_Humide	Humide

Application numérique :

$$P=415,75\text{mm}$$

$$T=14,92^\circ\text{C}$$

$$I=415,75/14,92+10$$

$$I=16,66$$

D'après l'indice d'aridité de DE MARTONE, on peut dire que notre région d'étude se caractérise par un climat semi-aride $10 < I < 20$, la figure ci-dessous montre la position de notre zone d'étude.

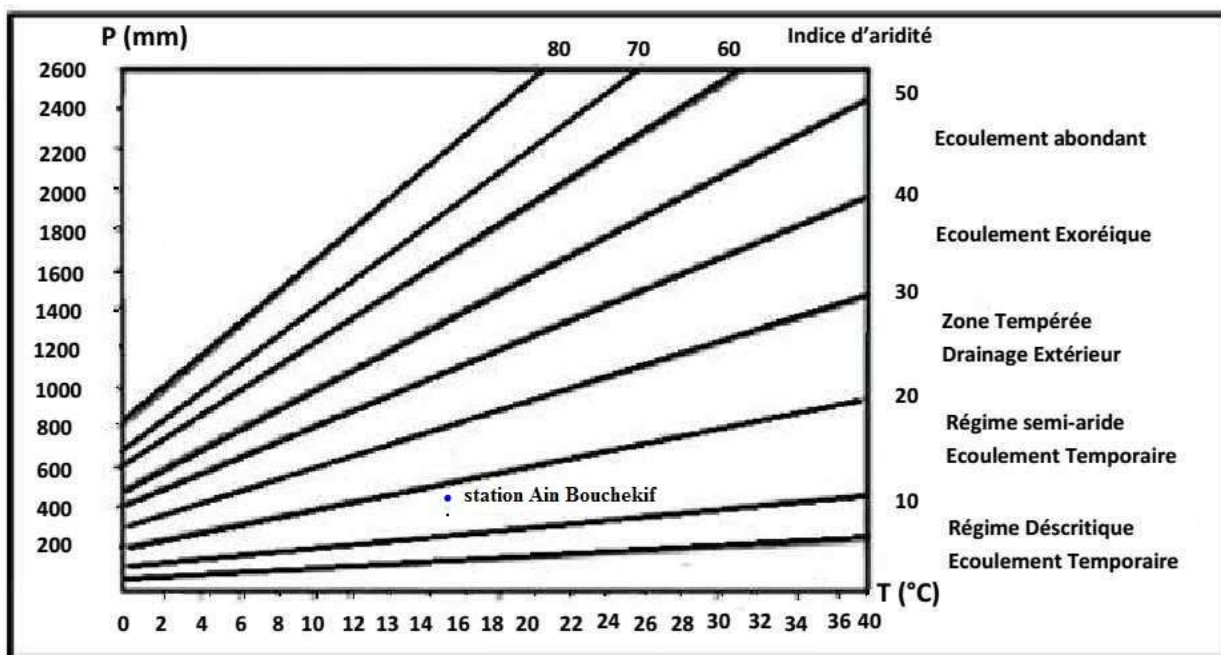


Figure 10 : Abaque de l'indice d'aridité annuel de DE Martone, 1923. De la station d'Ain Bouchekif (2006/2020).

II.10. Le diagramme d'EMBERGER :

$$Q^2=2000P/M^2-m^2$$

Avec :

- **Q²** : Quotient pluviométrique d'EMBERGER.
- **P** : Précipitation moyenne annuelle en (mm).
- **M²** : Température moyenne maximale du mois le plus chaud en degré kelvin (°C+273).
- **m²** : Température moyenne minimale du mois le plus froid en degré kelvin (°C+273).

Application numérique :

$$P= 415,75$$

$$M=26,73+273=299,73$$

$$m=6,07+273=279,07$$

$$Q=2000 \times 415,75 / (299,73)^2 - (279,07)^2$$

$$Q=69,53$$

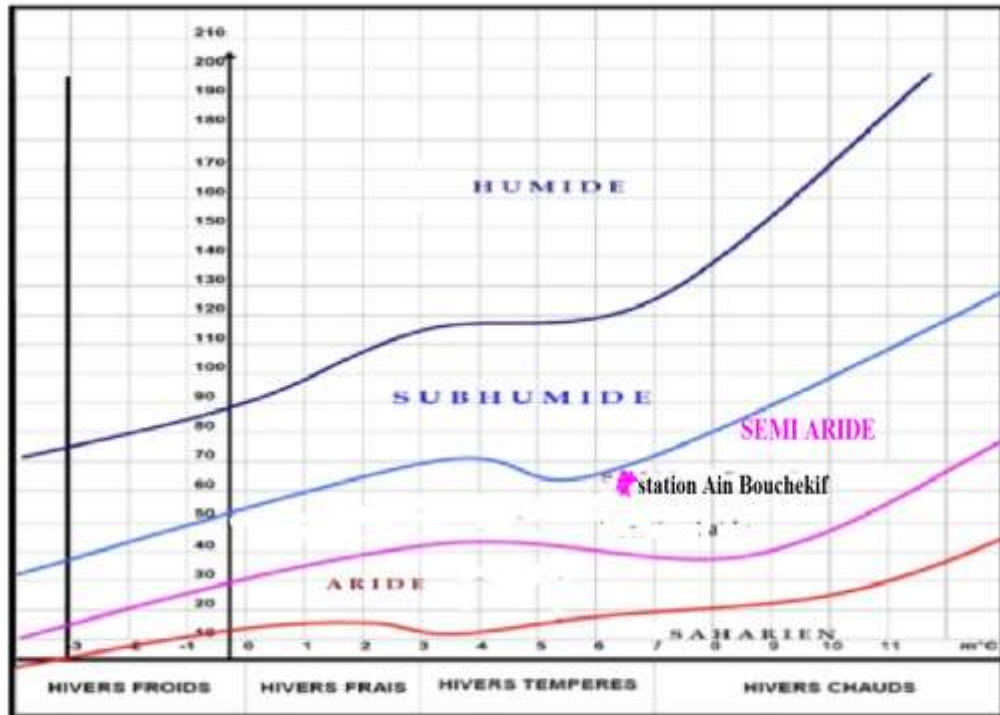


Figure 11 : Climagramme d'EMBERGER de station Ain Bouchekif (2006/2020).

II.11. Le bilan hydrique :

Le calcul du bilan hydrique est très important dans l'hydrogéologie, est l'étude comparée de la lame d'eau tombe sur la surface donnée.

Le bilan hydrique s'exprime par la relation suivante :

$$P=R+ETR+I$$

Avec :

- **P** : précipitation moyenne annuelle (mm).
- **R** : ruissellement moyen annuel (mm).
- **ETR** : l'évapotranspiration moyenne annuelle (mm).
- **I** : infiltration moyenne annuelle (mm).

II.12. Etude de l'évapotranspiration :

C'est un terme important du cycle hydrique qui résulte de deux phénomènes l'un physique (l'évaporation), l'autre biologique (la transpiration); l'évapotranspiration est fonction de plusieurs facteurs (l'humidité, la température, l'insolation et la couverture végétale).

II.13. Estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP) :

Cette méthode est basée sur la notion de RFU (réserve en eau dans le sol facilement utilisable par les plantes).

On admet que la hauteur d'eau stockée dans le sol qui est reprise par l'évaporation est de 110mm comme valeur maximale. Outre que les données pluviométriques et la température, cette méthode introduit le coefficient thermique K et l'indice de température mensuel i pour l'estimation de l'E.T.P.

L'ETP est calculée par la formule de C.W. Thornthwaite. Est exprimée par la relation suivante :

$$ETP = 16 \times (10T / I)^a \times K$$

Avec:

$$a = (1.6/100)I + 0.5$$

$$I = \sum i$$

$$i = (t/5)^{1.5}$$

Où :

- **ETP** : Evapotranspiration Potentielle mensuelle en (mm).
- **T**: température moyenne mensuelle en (°C).
- **i** : indice thermique mensuel.
- **I** : la somme des indices mensuels de l'année.
- **K** : facteur correctif intégrant la durée d'insolation.

Tableau 8 : Résultats de l'ETP obtenus par la formule de «C.W.Thornthwaite » de la station d'Ain Bouchekif (2006/2020).

Mois	sep	oct	nov	déc	jan	fév	mars	avril	mai	juin	juil	aout	total
i	8,91	5,38	3,04	1,54	1,33	1,65	2,43	3,60	6,31	8,50	12,36	12,20	67,25
T	21,49	15,37	10,5	6,67	6,07	7	9,05	11,76	17,0	20,84	26,73	26,5	14,92
ETP (mm)	101,83	56,60	27,65	13,22	11,79	14,46	26,09	41,99	82,62	114,73	172,83	159,77	823,58

II.14. Évapotranspiration réelle (ETR) :

Dans une période définie et pour une surface donnée on peut trouver une quantité l'évapotranspiration et de la transpiration réelle. Il existe deux méthodes chaqu'un a une formule (Turc, C.W.Thornthwaite).

ETR selon la formule de « Turc » : Cette formule est basée sur les températures et les précipitations moyennes annuelles et on a :

$$ETR = P / \sqrt{0.9 + P^2/L^2}$$

Avec :

ETR = Evapotranspiration réelle en (mm).

P = précipitation moyenne annuelle en (mm).

L = pouvoir évaporant, est une limite vers laquelle tend l'ETR lorsque P devient

$$\text{Grande : } L = 300 + 25t + 0.05t^3$$

Où :

t = la température moyenne annuelle en (°C).

ETR selon la formule «C.W.Thornthwaite» :

L'estimation de l'ETR en (mm) avec cette méthode est liée au volume des précipitations.

- Trois cas :

▪ 1er cas : **$P > ETP$ $ETR = ETP$:**

Il y a une reconstitution des réserves du sol jusqu'à la saturation, le surplus va représenter l'écoulement superficiel.

$$ETR = P \sqrt{0.9 + (P^2/L^2)}$$

▪ 2ème cas : **$P < ETP$ $ETR = P + RFU$:**

Dans ce cas, la RFU (réserve facilement utilisable) va s'épuiser jusqu'à la satisfaction de l'ETP.

▪ 3ème cas : **$P < ETP$ et $RFU = 0$ $ETR = P$:**

Il y a donc un déficit agricole (DA) représenté par la quantité d'eau qui doit être apportée pour l'irrigation.

Selon les deux formules précédentes de l'évapotranspiration réelle de la station d'Ain Bouhekif on obtient :

Tableau 9 : Comparaison entre les deux méthodes de calcul de l'ETR.

Station	ETR TURC (mm/an)	ETR C.W.Thornthwaite (mm/an)
La zone d'étude	388,45	309,90

II.15. Estimation du ruissellement :

C'est la quantité d'eau qui au cours d'une précipitation, échappe à l'infiltration et l'évapotranspiration. R est calculé par la formule suivante :

$$R = P^3 / 3(ETP)^2$$

Si : **$P < 600$ mm**

Avec :

- **R** : Ruissellement en (mm).
- **P** : Précipitations moyennes annuelles en (mm).
- **ETP** : L'évapotranspiration potentielle annuelle en (mm).

Tableau 10 : Estimation du ruissellement selon les formules de Tixeront-Berkaloff dans la station d'Ain Bouchekif (2006/2020).

Station	P (mm/an)	ETP	R (mm)
Ain Bouchekif	415,75	1033,22	35,31

II.16. Estimation de l'infiltration :

L'équation du bilan hydrique nous permet de déterminer l'infiltration efficace (Ie) :

$$P = ETR + R + I \rightarrow I = P - R - ETR$$

Avec :

- **P** : précipitation moyenne annuelle en mm.
- **ETR** : évapotranspiration réelle annuelle en mm.
- **R** : ruissellement en mm.
- **I** : l'infiltration efficace en mm.

$$I = P - ETR - R = 415.75 - 309.90 - 35.31 = 70.54$$

Si $I > 0$: les entrées sont supérieures aux sorties.

Si $I < 0$: les entrées sont inférieures aux sorties.

Tableau 11 : Valeurs de l'infiltration efficace (Ie) en mm pour la station d'Ain Bouchekif Période (2006-2020).

Station	P	ETR	R	I
Ain bouchekif	415,75	309,90	35,31	70,54

Tableau 12 : Bilan hydrique de la station d'Ain Bouchekif selon C.W Thornthwaite

Mois	T	i	K	ETP	P	BH (mm)	CH	VR	RFU	ETR	DA	EXD
	(°C)			(mm)	(mm)					(mm)		(mm)
Sep	21.49	9.09	1.03	130.35	29.74	-100.61	-0.77	0.00	0.00	29.74	100.61	0.00
Oct	15.37	5.47	0.97	66.93	35.19	-31.74	-0.47	0.00	0.00	35.19	31.74	0.00
Nov	10.5	3.07	0.86	29.77	47.22	17.45	0.59	17.45	17.45	29.77	0.00	0.00
Déc	6.67	1.55	0.81	12.33	40.5	28.17	2.28	28.17	45.62	12.33	0.00	0.00
Jan	6.07	1.34	0.87	11.17	54.3	43.13	3.86	4.38	50.00	11.17	0.00	38.75
Fév	7,00	1.66	0.85	14.12	54.52	40.40	2.86	0.00	50.00	14.12	0.00	40.40
Mars	9.05	2.46	1.03	27.25	51.12	23.87	0.88	0.00	50.00	27.25	0.00	23.87
Avr	11.76	3.65	1.10	46.75	49.58	2.83	0.06	0.00	50.00	46.75	0.00	2.83
Mai	17.08	6.42	1.21	101.05	29.99	-71.06	-0.70	-50.00	0.00	79.99	21.06	0.00
Juin	20.84	8.68	1.22	146.05	13.17	-132.88	-0.91	0.00	0.00	13.17	132.88	0.00
Juil	26.73	12.65	1.24	232.93	2.79	-230.14	-0.99	0.00	0.00	2.79	230.14	0.00
Aout	26.5	12.49	1.16	214.52	7.63	-206.89	-0.96	0.00	0.00	7.63	206.89	0.00
Annuel	14.92	68.55	/	1033.22	415.75	-617.47	/	/	263.07	309.90	723.32	105.85

T : température moyenne mensuelle en (°C).

P : précipitation moyenne mensuelle en (mm).

IT : indice thermique mensuel

CL : coefficient de latitude.

ETP : évapotranspiration potentielle en (mm).

ETR : évaporation réelle en (mm).

RFU : réserve facilement utilisable en (mm).

EXD : excédent en (mm).

DA : déficit agricole en (mm).

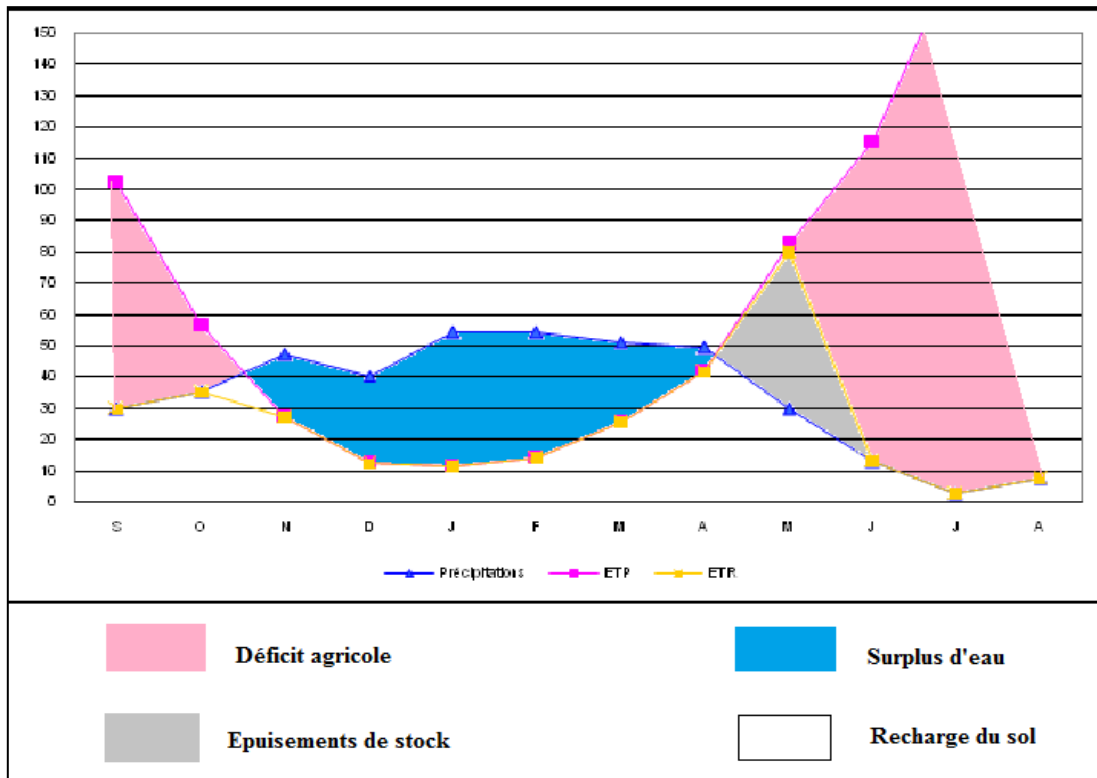


Figure 12 : Représentation graphique du bilan hydrique de C.W.Thornthwaite de la station d'Ain Bouchekif (2008/2020).

II.17. Conclusion :

D'après l'étude des facteurs climatique, on peut dire que la zone d'étude (Ain kermès) est caractérisée par un climat semi-aride.

Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de **415,75 mm** à la station d'Ain Bouchekif.

La température moyenne annuelle est de **14,92°C** à la station Ain Bouchekif.

Des précipitations saisonnières réparties comme suivant:

L'hiver est le plus pluvieux avec **149,32mm**.

Le printemps avec **130,96mm**.

, L'automne avec **112,15 mm**.

L'été avec **23,59mm**.

L'analyse du bilan hydrique calculé montre que :

L'évapotranspiration potentielle E.T.P moyen calculé est de **309,90 mm**.

L'évapotranspiration réelle ETR ou déficit d'écoulement qui est égale à **1033,22mm**.

Le ruissellement (**35,31mm**) et l'infiltration (**68,55mm**).

Chapitre III:
Etude hydrogéologique.

III.1. Introduction:

Les études d'hydrogéologie s'attachent à identifier les différents horizons aquifères présents sur un territoire donné. Ces investigations décrivent l'écoulement souterrain, la structure et la composition des paramètres de l'aquifère, et la pression globale de la nappe phréatique. De plus, ils décrivent les zones d'approvisionnement distinctes et l'écoulement directionnel de la nappe phréatique.

Dans notre région d'étude désignée, les sources d'eau souterraines sont principalement situées dans le bassin versant du Cheliff Zahrez. Sur les 4 forages et 2 sources exploités, 1 a été fermé pour privilégier l'approvisionnement en eau de l'AEP.

Notre municipalité dispose d'un aquifère qui s'étend sur tout notre territoire et qui contient d'abondantes ressources en eau. Vaste de 56 227 km² environ soit de 22% de la superficie de l'Algérie du Nord, s'étendant entre la mer méditerranée au Nord et l'Atlas Saharien au Sud. Cependant, cet aquifère précieux reste mal défini et quantifié. Elle nécessite un bilan hydrogéologique et un suivi rigoureux. On cite la nappe de Cheliff Zahrez. (DHW, 2015)

III.2. L'aquifère du Cheliff Zahrez:

La région se compose de 03 (trois) zones bien distinctes :

- Au Nord, le sillon du Cheliff encadré par les deux chaînes telliennes (Monts du Dahra au Nord et le Massif de l'Ouarsenis au Sud).
- Au Sud, les hautes plaines entre l'Ouarsenis et l'Atlas Saharien.
- Plus au Sud, le bassin du Zahrez.

De nombreuses formations géologiques contiennent des eaux souterraines, les plus anciennes sont attribuées au jurassique et les récentes correspondent aux alluvions quaternaires. Dans la zone septentrionale de la RHCZ, les deux chaînes telliennes présentent des ressources médiocres et non exploitables directement, les niveaux perméables (calcaires et grès) sont généralement peu développés et encaissés dans de puissantes formations imperméables.

Le sillon du Cheliff est compartimenté en trois cuvettes (Haut, Moyen et Bas Cheliff), séparées par deux seuils : le seuil d'Ain Defla et le seuil d'Oum Drou.

- **La géologie :**

Le bassin du Cheliff appartient aux bassins sédimentaires sub-littoraux allongés Est - Ouest et mis en place après la dernière phase alpine de tectonique tangentielle.

Au Nord, cette dépression est séparée de la mer par le Tell septentrional représenté par une suite de reliefs parallèles formés essentiellement de terrains jurassico-crétacés que l'on retrouve aussi dans la plaine (Dahra et massifs épi-métamorphiques à schistosités du Doui, Rouina et Témoulga).

Au sud, le bassin du Cheliff est limité par le Tell méridional représenté par un ensemble de massif montagneux où le substratum y est principalement marno-calcaire et correspond à l'allochtone tellien avec ses différentes nappes. ([Le Bassin Cheliff Zahrez \(abh-cz.com.dz\)](http://abh-cz.com.dz))

III.3. Le contexte hydrogéologique de la zone d'étude:

Notre zone d'étude appartient au bassin versant du Chott chergui, qui constitue le principal corps d'activité hydrogéologique de la région.

Ce bassin versant est le plus important et le plus intéressant des sous-bassins sous la zone d'étude.

Ces unités hydrogéologiques se situent approximativement à la ligne de démarcation des eaux de surface, qui consistent en la terre identifiée comme la limite sud-tyrienne, et comprennent probablement aussi des eaux souterraines. Un système constitué de deux types d'aquifères a été identifié :

- **Systèmes aquifères monocouches :** Ce sont des aquifères discontinus à fractures et pores karstiques, correspondant à la zone de Tiaret au sud du karst de Frenda, à surfaces libres, impliquant principalement les horizons Miocène et Crétacé.

- **Systèmes aquifères multicouches :** ce sont des aquifères continus et discontinus, des aquifères profonds non restreints, dans notre cas ils correspondent au système aquifère Ain ezzeiate au sud-ouest du Le Miocène est généralement caractérisé par des strates quaternaires.

L'unité hydrogéologique centrale est constituée de calcaires du Crétacé supérieur, tandis que les parties nord et extrême nord-est sont constitués de grès et de pudding stones du Pliocène moyen (Vindobonien).

Les grès et les argiles miocènes définissent un aquifère libre ; la limite entre les deux

strates, le grès représentant le réservoir et l'argile représentant le substratum imperméable, est matérialisée par des lignes de source connues dans la région.

Une grande partie du Miocène est constituée de marnes, de sables et de grès, en particulier près de Tiaret. Les chenaux gréseux miocènes expliquent le stockage massif de l'eau (LTPO 2013).

Les aquifères de tous les dépôts alluviaux quaternaires actuels et récents sont présents dans la partie ouest de la zone, constitués principalement de sable, de gravier et de croûte argilo-calcaire provenant de dépôts plus anciens avec des surfaces encroûtées.

Du point de vue hydrogéologique, ces formations ne contiennent que l'écoulement hypodermique qui est surtout actif au moment des pluies et qui contribue d'une manière assez importante à l'écoulement superficiel de la nappe d'eau souterraine de notre région d'étude.

III.4. L'alimentation des nappes:

La perméabilité et la profondeur des sols et des terres de la zone non saturée indiquent la recharge des eaux souterraines. Les formations calcaires sont caractérisées par des fractures très importantes et profondes et une perméabilité karstique. Cela facilite une importante recharge saisonnière grâce à l'infiltration des eaux de pluie, qui peut lentement devenir la principale source d'approvisionnement de la nappe phréatique de surface. (ECS Tiaret, 2007).

Les faibles profondeurs des aquifères monocouches du Miocène moyen et du Crétacé supérieur observées dans la zone d'étude ont facilité la recharge des aquifères par les précipitations.

III.5. Identification hydrogéologique des sources (forages) étudiées:

Les aquifères se rechargent naturellement par infiltration directe des eaux pluviales ou par la présence d'échange entre nappes ou indirectement par drainage. Ils se nourrissent également des eaux de surface.

La saison des pluies recharge ces aquifères avec des précipitations qui augmentent le niveau d'eau du réservoir.

Le processus de recharge dépend de divers facteurs tels que la configuration de l'aquifère, la profondeur de la zone non saturée et sa perméabilité. Dans la zone d'étude, il existe plusieurs systèmes aquifères qui sont drainés par de multiples forages et sources.

Pour mieux comprendre les mécanismes qui régissent les forages et les sources, nous avons utilisé une méthodologie hydrologique. Il s'agissait d'analyser les débits mesurés de chacune des forages et sources étudiées tout au long de la période de suivi. Il est à noter que les forages de Touillete 1 et Touillete 2 sont à l'arrêt.

Tableau 13 : Les coordonnées des forages et des Source étudiés :

Forages et Sources	X UTM	Y UTM
Touillete 1	334099	3867678
Touillete 2	334328	3868393
Ras El Ain	326585	3863171
Centre 1	326352	3864091
Source Sidi Slimane	326504	3865325
Source Ras El Ain	326585	3862644

III.6. Étude des débits des différents forages et sources:

L'examen des forages et sources utilisées dans les études hydrogéologiques permet de révéler des fluctuations dans les modèles de sources d'origines diverses. Les résultats de cette étude sont consignés au (tableau n°15) suivant :

Tableau 14 : Les valeurs des débits des sources étudié pendant la période du suivi.

Forage	Débit(m³/s)
Forage Touillete 01 (F1)	15
Forage Touillete 02 (F2)	7
Forage Ras El Ain (F3)	6
Forage centre 1 (F4)	6
Source Sidi Slimane (S1)	1
Source Ras El Ain (S2)	4

III.7. Interprétation des résultats:(De Mars/Avril 2021) :

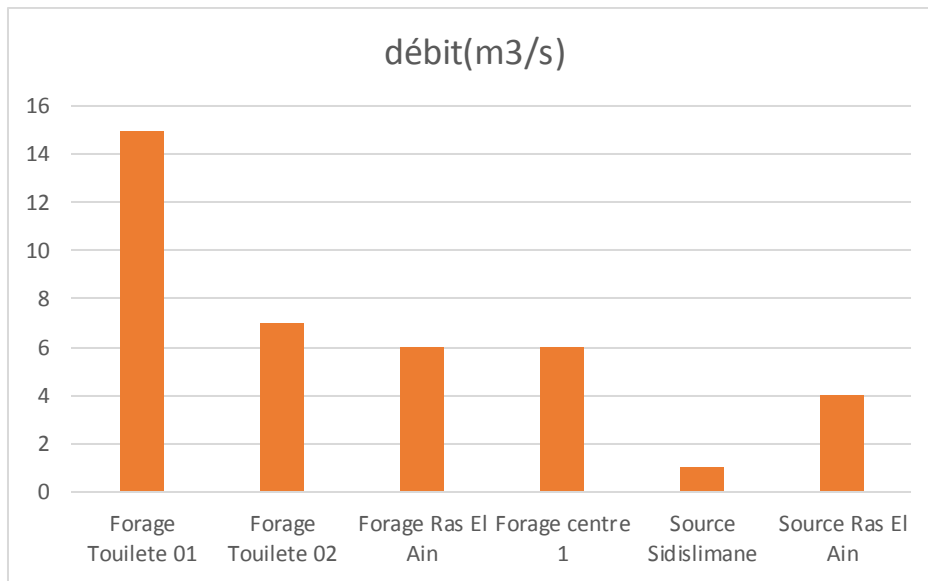


Figure 13 : Les valeurs des débits

En analysant l'histogramme (Fig.14) et en examinant les valeurs de débit aux sources, il est évident que : Le débit maximal enregistré dans les forages est le forage de Touillete 1 avec 15m³/s, et la valeur minimale est celui de la Source Sidi Slimane avec 1m³/s. Les forages de Ras el Ain et le forage de Centre1 ont le même débit qui est de 6m³/s. Pour le forage de Touillete 2 on a un débit qui égale à 7m³/s et enfin la source de Ras el Ain avec 4m³/s.

III.8. Conclusion :

Dans notre zone d'étude, les principales sources d'eau sont les eaux souterraines, en particulier les sources, qui proviennent des différents horizons aquifères de la région et sont alimentées par les eaux de surface.

Les unités hydrogéologiques étudiées semblent remplies de matériaux alluvionnaires fins et hétérogènes constitués principalement de sables limoneux et de croûtes calcaires, de poudingues et calcaires gréseux et de marnes.

L'analyse hydrogéologique de la zone d'étude révèle une séquence stratigraphique allant du Jurassique au Quaternaire, caractérisée par deux systèmes aquifères. Alors que la monocouche peu profonde est exploitée par les sources S1 et S2 à faible profondeur, l'aquifère multicouche profond est également exploité par les sources F1, F2, F3 et F4.

Divers facteurs, dont la composition de l'aquifère, la profondeur et la perméabilité de la zone non saturée, contribuent à la recharge des aquifères.

Chapitre IV :
Etude hydrochimique.

IV.1. Introduction :

Au cours de son parcours, l'eau absorbe divers éléments minéraux déterminés par la géographie du territoire traversé, ainsi que les éventuels polluants agricoles ou industriels qu'elle rencontre sur son parcours. Pour déterminer l'adéquation de l'eau à la consommation et à d'autres fins, l'analyse chimique de l'eau joue un rôle crucial dans l'évaluation de sa qualité. L'interprétation des analyses permet d'identifier les faciès chimiques, d'appréhender la répartition quantitative des éléments dissous et de déterminer la potabilité de l'eau destinée à la consommation publique.

IV.2. Etude de la chimie de l'eau :

L'examen complet des échantillons prélevés dans six forages, tous situés à Ain Kermès, constitue la base de cette enquête chimique. Afin de mener l'étude expérimentale, une analyse des propriétés physico-chimiques de l'eau des sources de la zone d'étude sera réalisée. Le laboratoire de l'Algérienne des eaux de la wilaya de Tiaret était chargé de réaliser les analyses physico-chimiques.

Ces analyses ont porté sur : Plusieurs paramètres physiques tels que le pH, la température, la conductivité, la salinité et la dureté totale sont mesurés. De plus, les principaux éléments chimiques sont également mesurés, notamment les suivants :

La liste des cations comprend Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} et K^{+} .

La liste des anions comprend HCO_3^- , Cl^- et SO_4^{2-} .

La liste des pollutions comprend NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} , NH_4^+

Pour mener à bien cette enquête, nous avons suivi un protocole expérimental prédéterminé, comme suit :

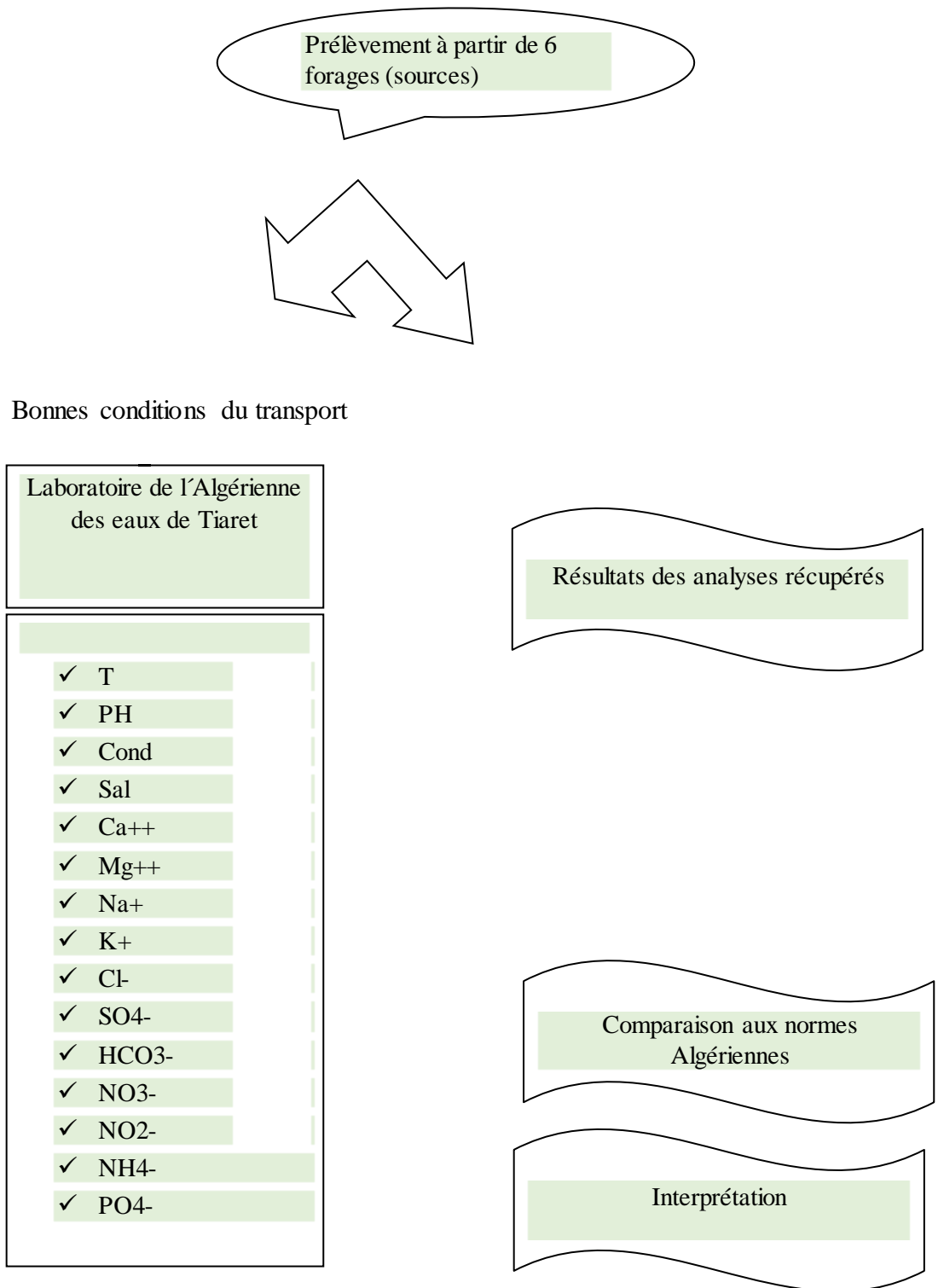


Figure 14 : schéma du protocole expérimental.

IV.3. Echantillonnages et fréquences des prélèvements :

Pour une interprétation valable de l'analyse de l'eau, il est indispensable d'effectuer l'analyse sur un échantillon représentatif de l'eau qui doit être correctement prélevé, et pour cela, plusieurs conditions doivent être remplies.

- Pour assurer la stérilité des contenants, il est nécessaire de laver, rincer, sécher et stériliser les biberons.

- Le mode de fonctionnement est très spécifique et précis.

Pour maintenir l'intégrité de la population bactérienne pendant le transport du point de prélèvement au laboratoire, il est important de maintenir la température entre 4°C et 6°C. Toute fluctuation de température peut entraîner des modifications de la population bactérienne.

- Il est recommandé d'utiliser une glacière pour le transport. Pour des résultats optimaux, il est recommandé d'effectuer l'analyse dès que possible en raison de la courte durée de conservation de l'échantillon.

- Pour les analyses physico-chimiques, une bouteille en polyéthylène (P.E.T) de 1,5 litre est utilisée pour recueillir les échantillons.

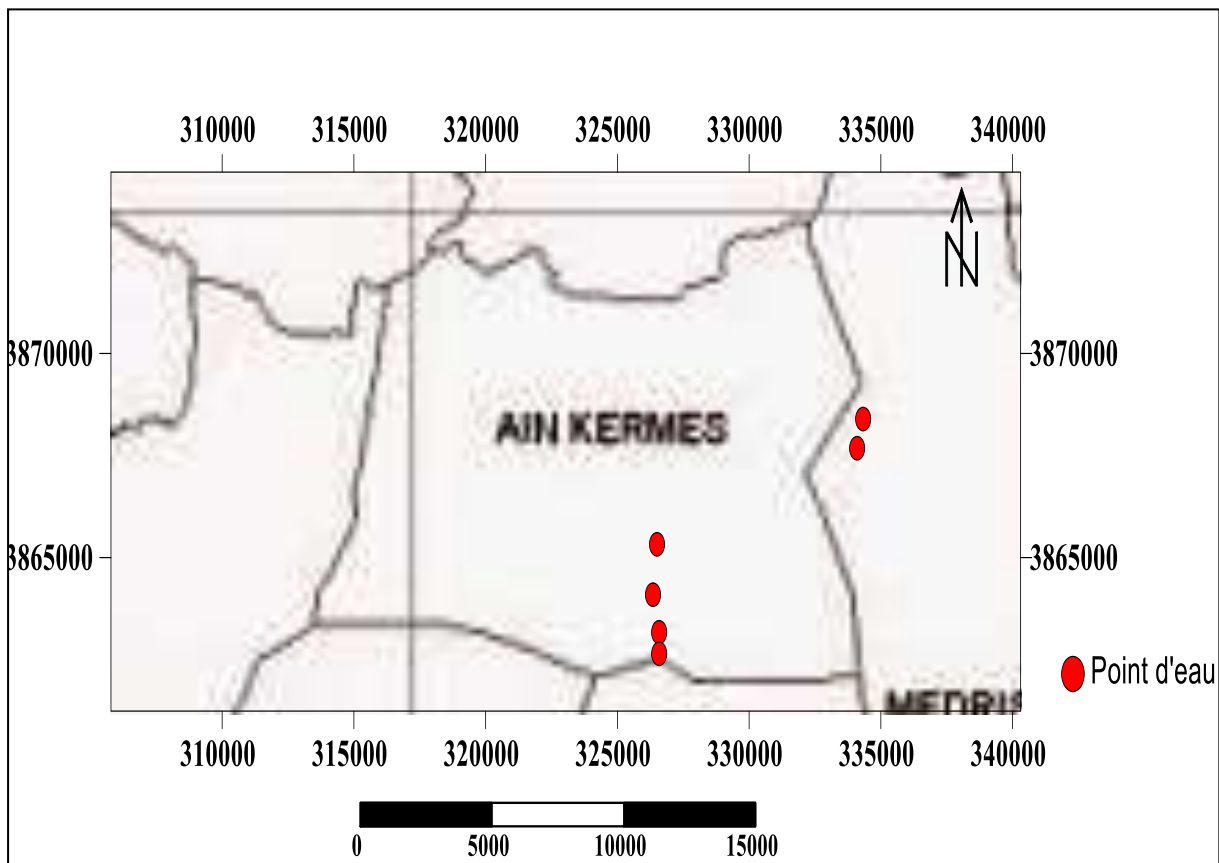
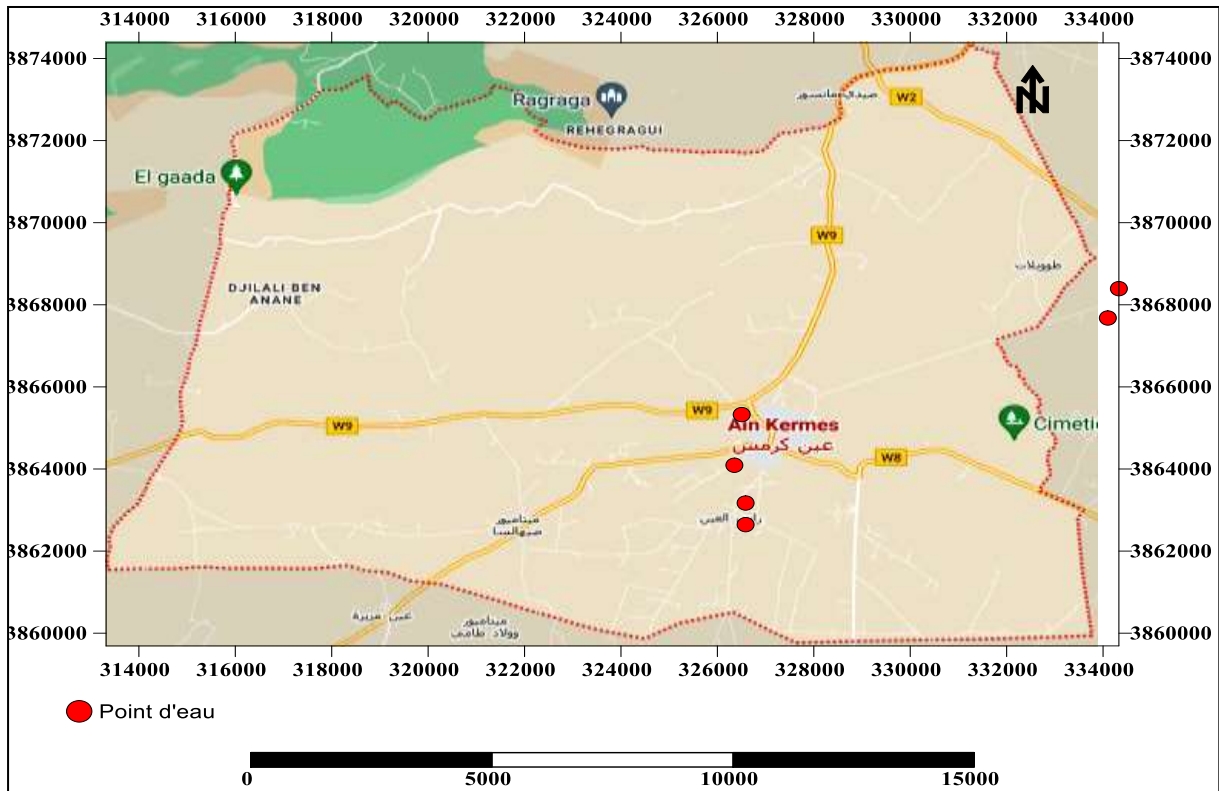


Figure 15 : Carte de répartition spatiale des points de prélèvement

IV.4. Résultats et interprétation des analyses des eaux de sources:

IV.5. Les résultats:

Tableau 15 : les résultats des analyses physico-chimiques des eaux souterraines. (ADE de Tiaret Mars 2021).

NOM	F1	F2	F3	F4	S1 (F5)	S2 (F6)
T°	12,3	12,1	12,2	12,2	12,1	12,2
PH	7,63	7,62	7,45	7,41	7,45	7,44
COND	775	775	637	645	776	778
TH	456	451	341	349	466	366
CA ⁺⁺	136,5	136	106,7	109,3	109,3	132
Mg ⁺⁺	33,1	33	27,4	30,2	25,3	32,5
Cl ⁻	207,5	206	135	134	201,8	189,6
SO ₄ ⁻⁻	57,2	58	40,6	43,3	49,7	54,7
HCO ₃	147	147	127	128	155	157
NO ₃ ⁻	20,68	21,36	26,58	39,51	33,84	40,12
NO ₂ ⁻	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
NH ₄ ⁺	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
PO ₄ ⁻	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Na ⁺	30	29,8	45,2	43,7	30,7	49,8
K ⁺	1,2	1,1	1,6	1,5	1,2	1,5

IV.6. Interprétation des résultats:

IV.7. Les paramètres physiques:

La détermination de l'état chimique des polluants présents dans l'eau peut être facilitée par la mesure de paramètres facilement quantifiables. Quatre de ces paramètres ont été étudiés : la température (T°C), le potentiel hydrogène (pH), la conductivité électrique (Ce) et la dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH). Ces mesures fournissent des données utiles pour identifier les polluants et leurs concentrations dans les systèmes d'eau.

•La température (T°C):

Le rôle que joue la température dans la solubilité des sels et des gaz, ainsi que dans la dissolution des sels dissous, est crucial car il affecte directement la conductivité.

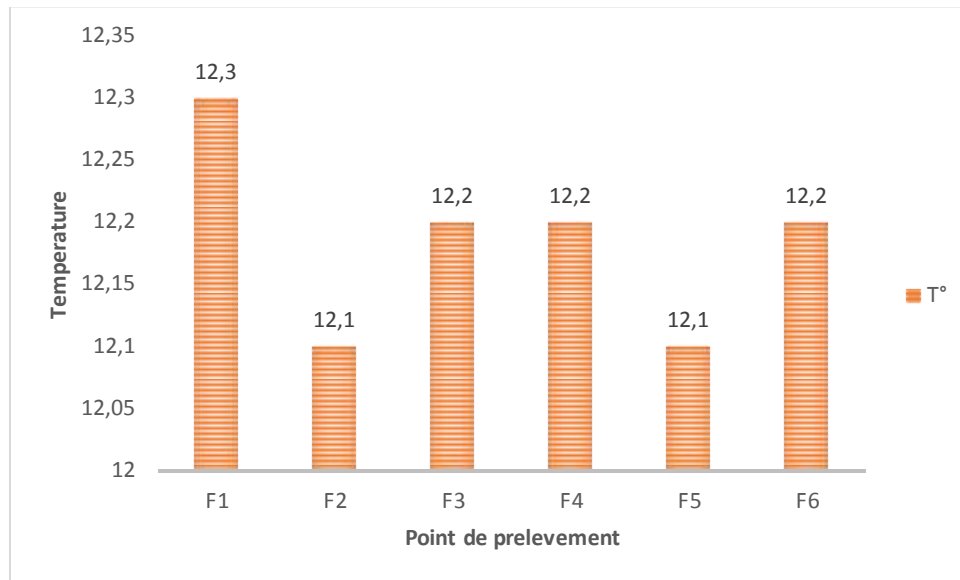


Figure 16 : Variation des Températures en (°C) des points de prélèvement de la zone d'étude.

La plage de température de notre eau de source observée se situe entre 12,1°C et 12,3°C, comme le montre la figure. La réglementation algérienne exige que l'eau potable ait une température de 25°C.

•Le potentiel hydrogène (pH):

Le pH correspond à la concentration d'ions hydrogènes $[H^+]$, il mesure l'acidité ou la basicité d'une eau, $pH = \log [1/ [H^+]]$.

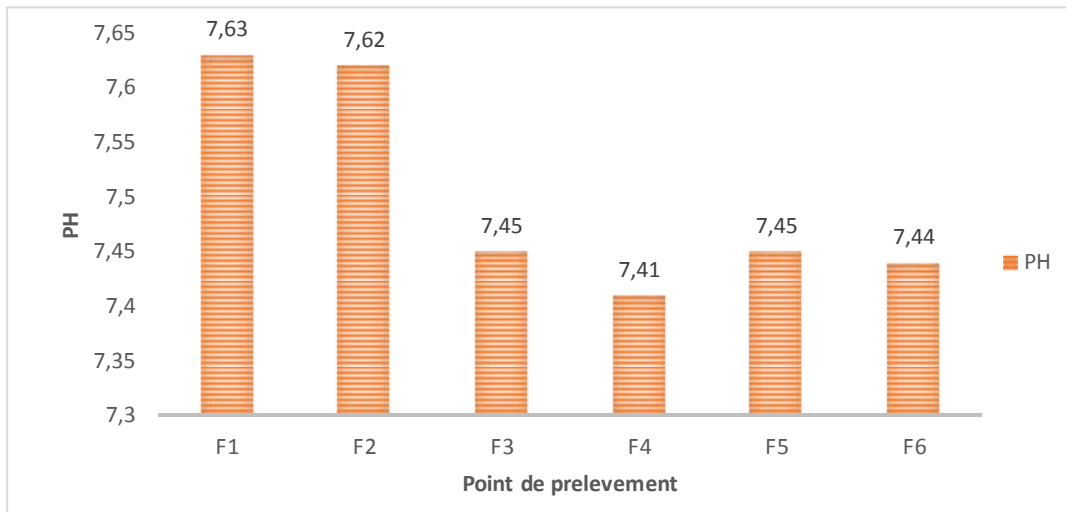


Figure 17 : Variation des valeurs de pH des points de prélèvement de la zone d'étude.

D'après les résultats représentés sur la figure n°17, tous les échantillons que nous avons collectés affichaient un niveau de pH allant de 7,41 à 7,63, ce qui est presque neutre. Ceci est conforme à la norme algérienne qui spécifie que la plage de pH acceptable de l'eau potable se situe entre 6,5 et 9.

• **La conductivité électrique (Ce) :**

L'évaluation de la capacité d'un liquide à conduire l'électricité entre deux électrodes est appelée conductivité. La majorité des matériaux qui sont dissous dans l'eau sont constitués d'ions qui ont une charge électrique. En mesurant la conductivité, il est possible de déterminer la quantité de sels dissous présents dans l'eau. La température de l'eau a un impact direct sur sa conductivité, la conductivité devenant de plus en plus importante à mesure que la température augmente.

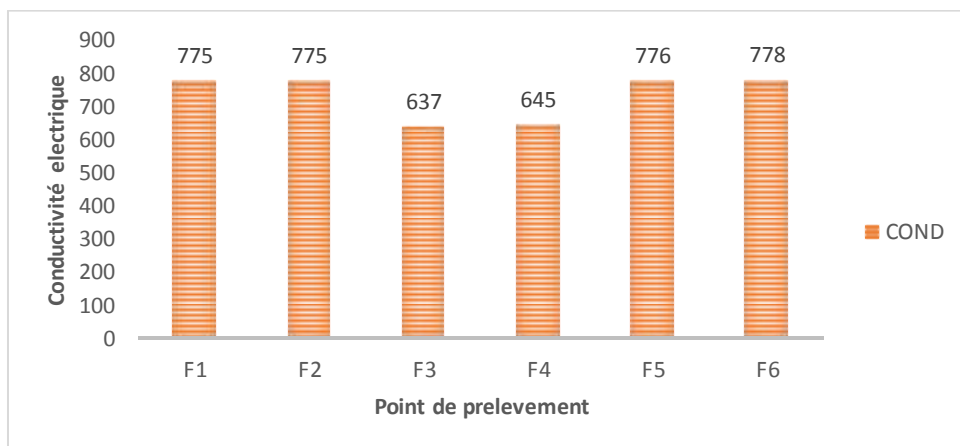


Figure 18 : Variation des concentrations de Ce en (μS/cm) des points de prélèvement de la zone d'étude.

Les valeurs de conductivité des sources F1, F2, S1(F5) et S2(F6) sont relativement élevées, comprises entre 637 et 778 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et conformes à la norme algérienne qui limite la valeur à 2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

• **Dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH) :**

Le caractère naturel du titre ou de la dureté hydrotimétrique est lié au lessivage des terrains traversés et corrélé aux niveaux de calcium (Ca^{2+}) et de magnésium (Mg^{2+}) présents. L'unité de mesure utilisée est le degré français ($^{\circ}\text{F}$). Cette unité spécifique équivaut à une concentration de 10 mg/l de carbonate de calcium (CaCO_3).

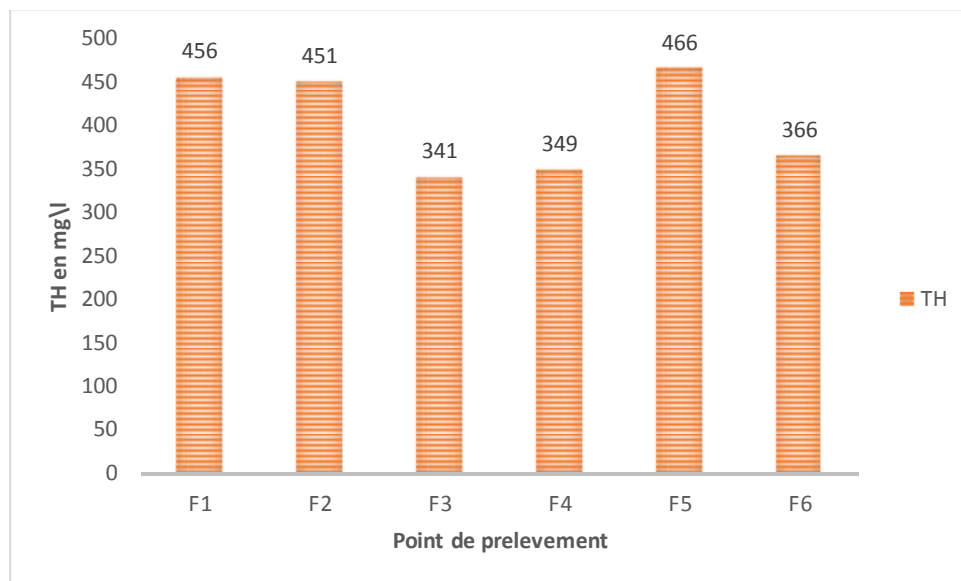


Figure 19 : Variation des concentrations de TH en (mg/l) des points de prélèvement de la zone d'étude.

Conformément à la réglementation algérienne sur la potabilité de l'eau, il a été observé que la majorité des échantillons d'eau prélevés ont un titre hydrotimétrique inférieur ou égal à 500 mg/l. Cela indique que l'eau de ces sources est classée comme étant modérément dure et douce.

IV.8. Etude des paramètres chimiques :

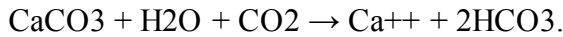
L'analyse des eaux montre les principaux éléments chimiques suivants :

• **Cations :**

• **Calcium (Ca^{++}):**

La dureté totale est composée de divers éléments, dont un qui provient d'une source naturelle. Cet élément particulier est le résultat de la réaction entre les formations carbonatées et le dioxyde de carbone. L'équation chimique de la réaction entre le carbonate

de calcium, l'eau et le dioxyde de carbone qui aboutit à la formation d'ions calcium et d'ions bicarbonate est représentée comme suit :



Les ions Ca^{2+} détectés dans l'eau peuvent être attribués à la dissolution de diverses formations telles que des formations carbonatées comme la calcite (CaCO_3) et la dolomite $[(\text{Ca}, \text{Mg}) \text{CO}_3]$, ou des formations évaporitiques comme le gypse $[\text{CaSO}_4, 2(\text{H}_2\text{O})]$ et l'anhydrite (CaSO_4).

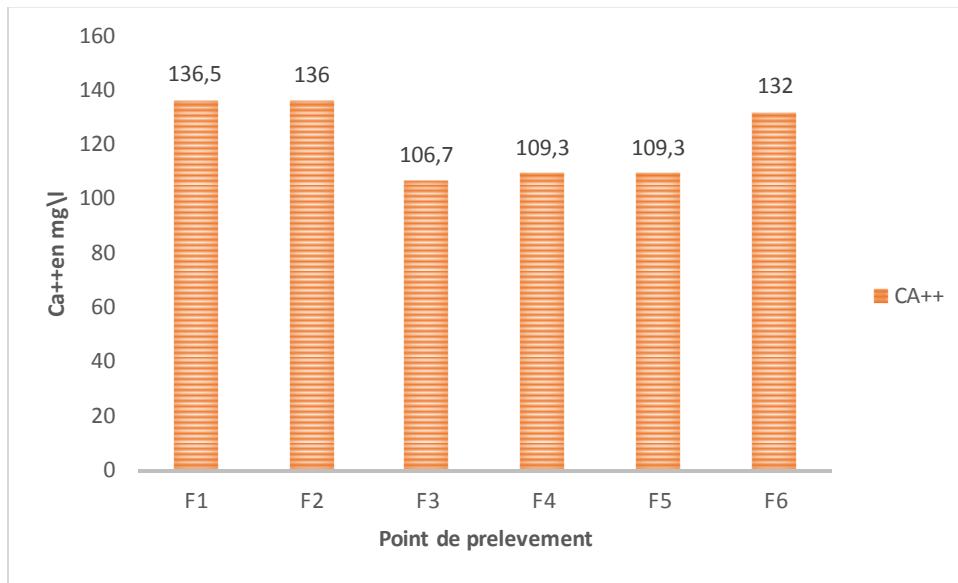


Figure 20 : Variation des concentrations de Ca^{2+} en (mg/l) des points de prélèvement de la zone d'étude.

Le diagramme montre les concentrations de Ca^{2+} dans les eaux de source, révélant que des niveaux minimums de 106,7 mg/l sont observés à la source F3, tandis que des niveaux maximums de 136,5 mg/l sont observés à la source F1. Ces concentrations sont conformes à la norme algérienne qui limite les valeurs à 200mg/l.

• **Magnésium (Mg^{++}):**

La présence de cet ion est un facteur contribuant à la dureté totale d'une substance. Sa dissolution est un processus long et peut provenir de diverses sources telles que la réaction des formations dolomitiques avec le dioxyde de carbone, la dissolution de MgSO_4 dans les sols de gypse résultant en magnésium et la présence de minéraux ferromagnésiens.

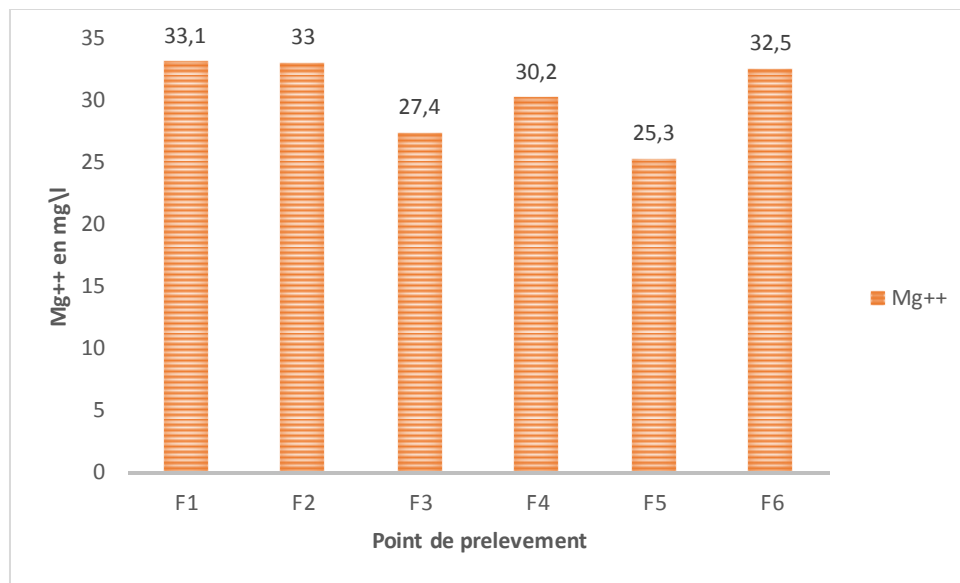


Figure 21 : Variation des concentrations de Mg^{+2} en (mg/l) des points de prélèvement de la zone d'étude.

Les niveaux de magnésium dans la zone varient de 25,3 mg/l à la source F5 à 33,1 mg/l à la source F1. Ces teneurs sont inférieures à la valeur recommandée de 50 mg/l fixée par la norme algérienne. Il est probable que la variation des niveaux de magnésium soit due aux caractéristiques physiques du terrain.

- **Sodium Na^+** :

Le potassium est moins abondant que le sodium et se trouve à des niveaux variables dans les eaux naturelles. Il provient de formations riches en NaCl, telles que l'argile et la marne, ainsi que d'eaux usées industrielles et domestiques. Le sodium, en revanche, est beaucoup plus abondant et constamment présent dans les eaux naturelles à des niveaux variables.

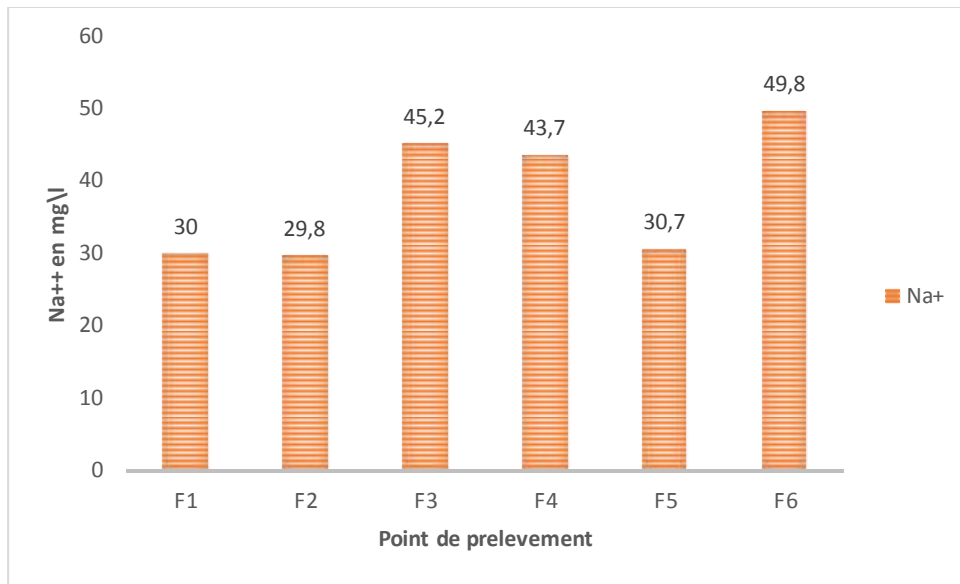


Figure 22 Variation des concentrations de Na⁺ en (mg/l) des points de prélèvement de la zone d'étude.

Les valeurs relevées varient de 29,8 mg/l, qui sont la valeur minimale à la source F2, à une valeur maximale de 49,8 mg/l à la source F6, et sont dans les normes algériennes.

•Potassium K⁺ :

Les infimes quantités de potassium présentes dans les eaux naturelles proviendraient de la même source que le sodium : la dissolution des roches ignées. En effet, la teneur en potassium des roches ignées est aussi élevée que celle du sodium et peut atteindre des niveaux de 1 à 5 mg/l dans les eaux naturelles. Ces niveaux ne sont pas préjudiciables à la santé des populations, selon Rodier en 1978.

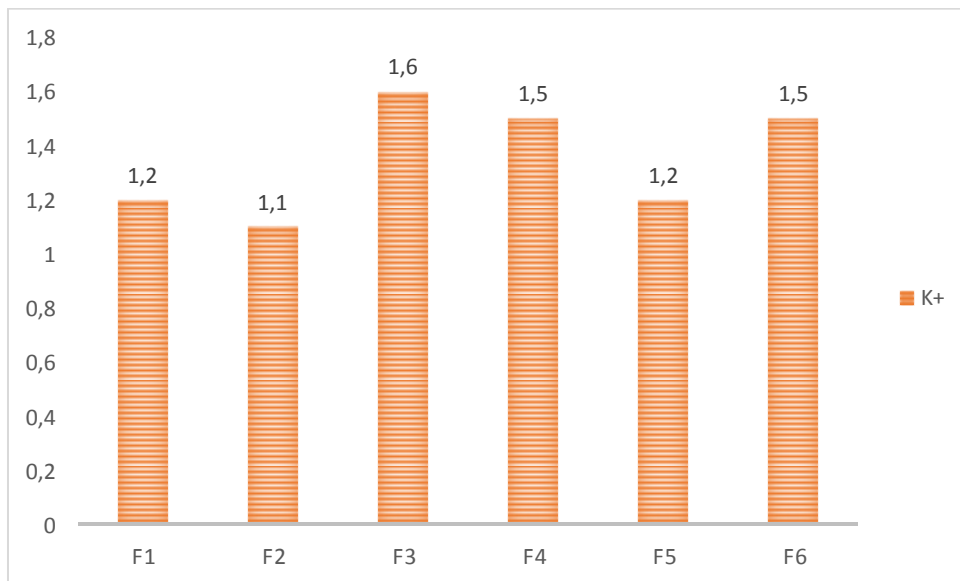


Figure 23 : Variation des concentrations de K⁺ en (mg/l) des points de prélèvement.

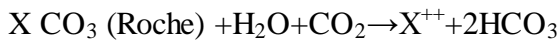
Conformément aux directives algériennes, la concentration la plus élevée recommandée

est de 10 mg/l. Les concentrations de potassium identifiées dans l'eau examinée variaient de 1,1 mg/l à la source F2 à 1,6 mg/l à la source F3. Ces constatations sont conformes aux normes fixées par l'Algérie.

• **Anions :**

• **Bicarbonates (HCO₃⁻) :**

L'équation qui suit illustre la création de bicarbonates par l'équilibre de la roche, de l'eau et du dioxyde de carbone dans un processus physico-chimique.



La concentration de ces substances dans l'eau est déterminée par leur origine, qui est principalement liée à la dissolution des roches carbonatées.

- ✓ Le type de paysage traversé joue un rôle crucial.
- ✓ La température de l'eau.
- ✓ La pression de CO₂ qui a été dissous.

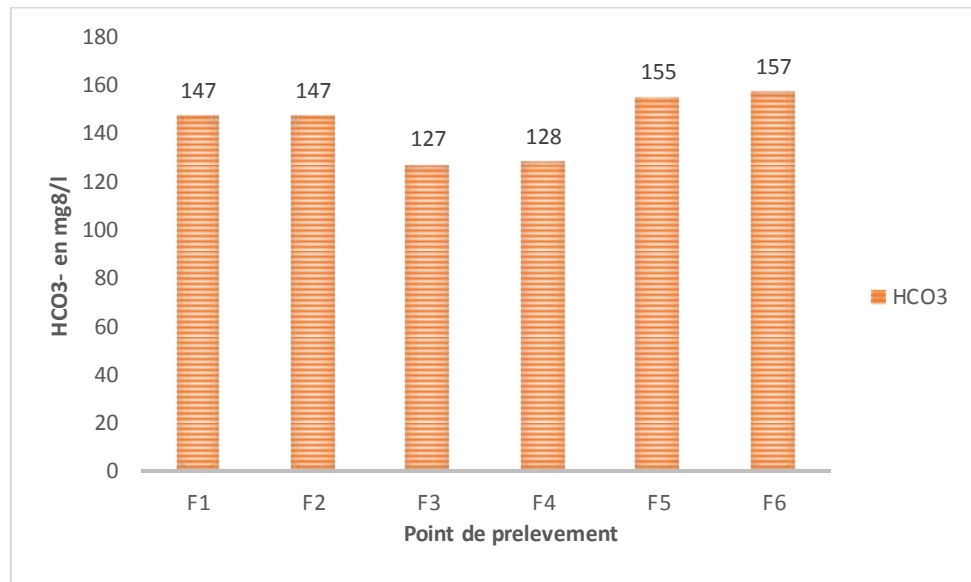


Figure 24 : Variation des concentrations de HCO₃⁻ en (mg/l) des points de prélèvement de la zoned'étude.

Au cours de cette étude, il a été constaté que la quantité de bicarbonates présents dans l'eau variait de 127 à 157 mg/l. Il est important de noter que la réglementation algérienne a établi une valeur représentative standard de 500 mg/l pour les bicarbonates dans l'eau.

• Sulfates (SO₄²⁻) :

La quantité de sulfates dans les masses d'eau naturelles est sujette à des variations et à des incohérences. Ces niveaux de sulfates proviennent d'un certain nombre de causes, notamment :

- ✓ La solubilité du gypse, dont la formule chimique est CaSO₄, 2H₂O, est à l'étude.
- ✓ L'utilisation d'engrais contenant des produits chimiques.
- ✓ Lors des précipitations, l'oxydation du soufre se produit du fait de sa présence dans l'atmosphère. Le processus de lessivage est communément associé aux sols argileux et marneux.

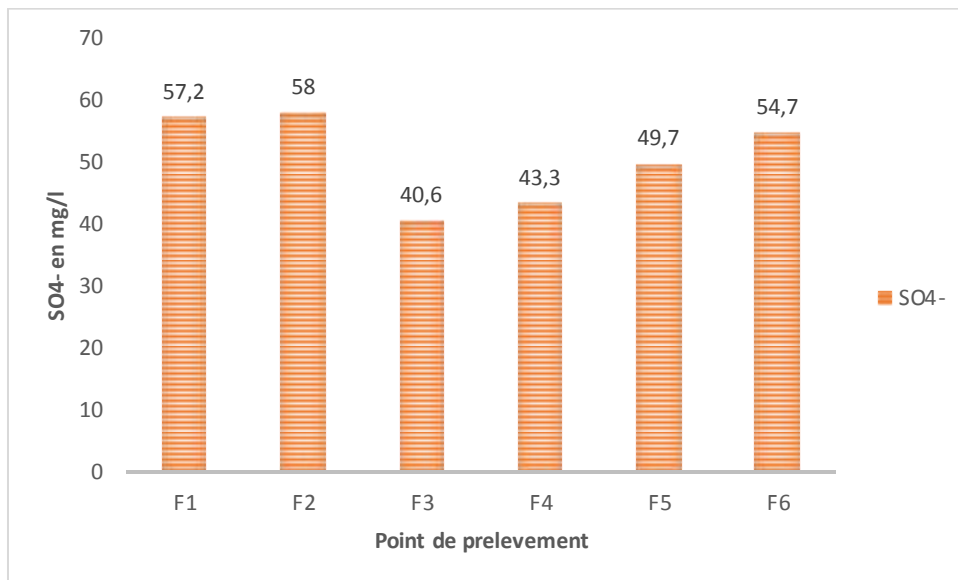


Figure 25 : Variation des concentrations de SO₄²⁻ en (mg/l) des points de prélèvement de la zone d'étude.

La teneur en ions sulfate de tous nos échantillons variait entre 40,6 et... Comme le montre la figure numéro 25, la concentration de 58 mg/l est révélée. Il est à noter que cette concentration est notablement inférieure à la concentration de 400 mg/l prescrite dans la norme algérienne.

• Chlorures (Cl⁻) :

Ces éléments peuvent être trouvés dans les masses d'eau naturelles, bien que leurs concentrations diffèrent. Ils proviennent principalement de :

- ✓ Les sols salifères subissent un lessivage qui conduit à la dissolution des sels naturels.
- ✓ Le rejet d'eaux usées domestiques et industrielles est un phénomène courant.

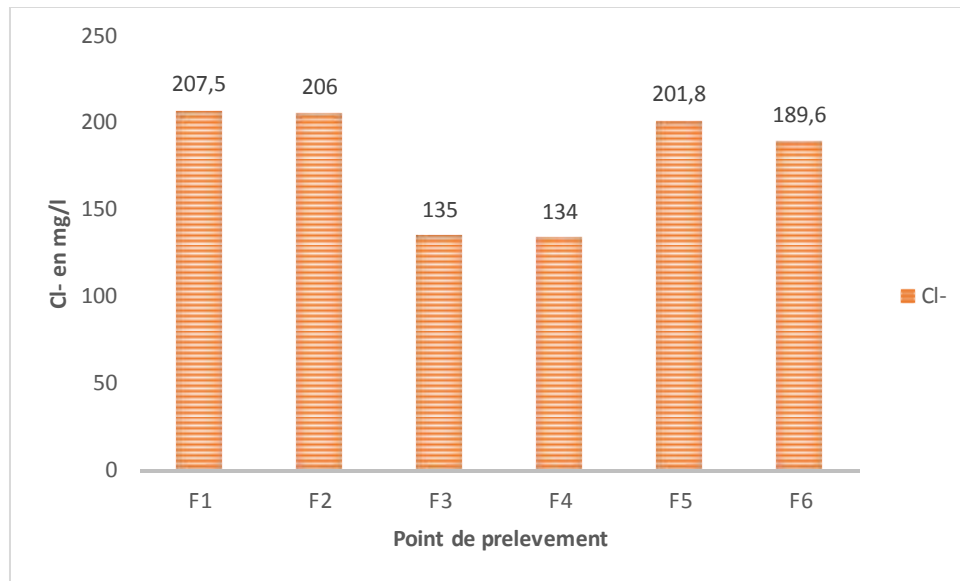


Figure 26 : Variation des concentrations de cl- en (mg/l) des points de prélèvement de la zone d'étude.

Les données présentées dans la figure 26 montrent les fluctuations des concentrations d'ions chlorure dans les échantillons d'eau. Les niveaux de concentration des ions chlorure détectés vont de 134 à 207,5 mg/l. Il convient de noter que la norme algérienne pour la concentration en ions chlorure dans l'eau potable est fixée à 500 mg/l, ce qui affirme que les résultats sont conformes à la norme établie.

IV.9. Paramètres de pollution :

•Les Nitrates (NO_3^-)

L'ion nitrate est la variante oxydée de l'azote, et ses sources naturelles comprennent principalement la pluie et les interactions avec le sol et la végétation. Les nitrates peuvent également être introduits artificiellement par contamination par les engrais et les ordures ménagères.

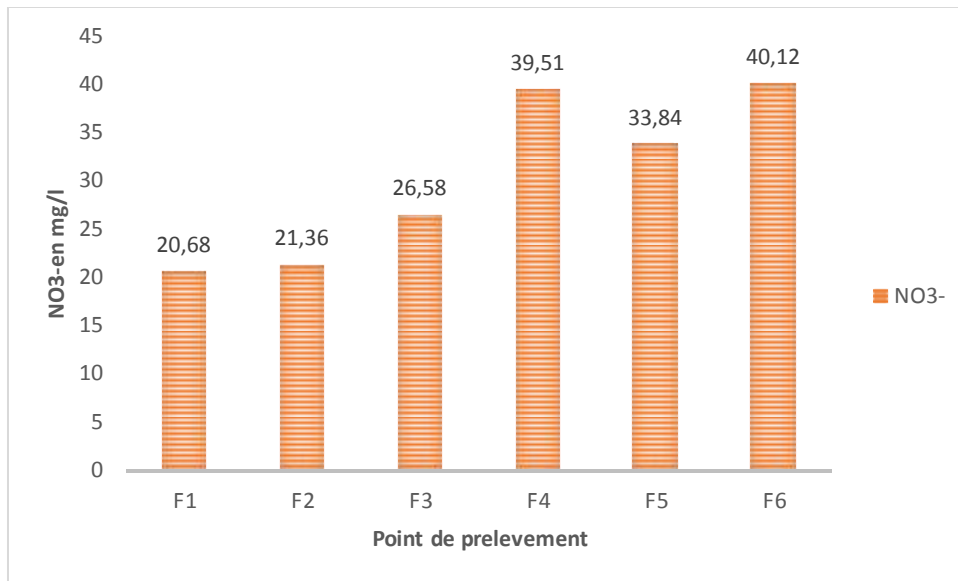


Figure 27 : Variation des concentrations de NO₃⁻ en (mg/l) des points de prélèvement de la zone d'étude

Notre étude a dévoilé que les niveaux de nitrate trouvés dans tous les échantillons d'eau analysés sont conformes à la norme algérienne qui stipule que la quantité maximale de nitrate autorisée dans l'eau destinée à la consommation est de 50mg/l.

- **Les Nitrites (NO₂⁻) :**

La pollution peut être indiquée par la présence de nitrites qui se forment par l'oxydation incomplète de l'ammonium ou la réduction des nitrates

En Algérie, il existe une norme établie pour la quantité de nitrites présents dans l'eau, la teneur maximale autorisée étant de 0,2 mg/l. Cependant, toutes les sources d'eau de F1 à F6 ont enregistré des valeurs nettement inférieures à cette limite, avec des niveaux inférieurs à 0,02 mg/l.

- **Phosphates PO₄⁻³ :**

L'accélération de l'eutrophisation des masses d'eau telles que les lacs et les rivières est souvent attribuée à la présence de phosphates. Dans le cas où ces niveaux dépassent les limites établies, ils sont considérés comme une indication de contamination fécale. Cela peut entraîner une augmentation de la prolifération de bactéries nocives, ainsi qu'un goût et une décoloration indésirables de l'eau (Rodier J., 2005).

Selon la réglementation algérienne, un indice de pollution doit être établi pour toute source d'eau contenant des niveaux supérieurs à 0,5 mg/L. Cependant, dans notre étude de diverses sources, nous avons constaté que toutes avaient une teneur supérieure ou égale à

<0,01 mg/L. Cette valeur est inférieure à la limite maximale admissible fixée par la réglementation algérienne de 0,5 mg/L

- **Ammonium** NH_4^+ :

L'infiltration des eaux de lixiviation des sites d'enfouissement, le rejet d'effluents domestiques et industriels ou la réduction naturelle des nitrates sont autant de facteurs qui contribuent à la contamination des eaux naturelles par l'ammonium. Dans les aquifères à surface libre, la présence d'ammonium est principalement due à une dégradation incomplète de la matière organique. Cela indique la présence de pollution organique et de contamination microbiologique.

L'Algérie a établi un niveau maximal autorisé de 0,5 mg/l d'ammonium dans son approvisionnement en eau. Cependant, tous les résultats recueillis indiquent que les niveaux d'ammonium sont égaux ou supérieurs à 0,02 mg/l, ce qui reste dans la fourchette de la norme recommandée.

IV.10. Potabilité des eaux:

L'eau destinée à l'usage domestique, spécifiquement pour l'AEP, doit être complètement dépourvue d'impuretés, de bactéries et de polluants, entre autres contaminants. Lorsque l'eau traverse des formations souterraines, elle subit divers changements tels que des altérations de sa composition chimique, de son goût, de sa couleur et de son odeur. L'acceptabilité de cette altération persiste jusqu'à ce qu'elle atteigne un certain niveau de potabilité. En comparant les données d'analyse chimique des eaux de source avec les normes algériennes, les potabilités peuvent être déduites comme suit :

Tableau 16 : Classification de la potabilité des eaux d'après les normes Algériennes.

NOM	NORMES	F1	F2	F3	F4	S1 (F5)	S2 (F6)
T°	25	12,3	12,1	12,2	12,2	12,1	12,2
PH	6,5 à 9	7,63	7,62	7,45	7,41	7,45	7,44
COND	2800	775	775	637	645	776	778
TH	500	456	451	341	349	466	366
CA ⁺⁺	200	136,5	136	106,7	109,3	109,3	132
Mg ⁺⁺	50	33,1	33	27,4	30,2	25,3	32,5
Cl ⁻	500	207,5	206	135	134	201,8	189,6
SO ₄ ⁻	400	57,2	58	40,6	43,3	49,7	54,7
HCO ₃	500	147	147	127	128	155	157
NO ₃ ⁻	50	20,68	21,36	26,58	39,51	33,84	40,12
NO ₂ ⁻	0,5	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
NH ₄ ⁺	0,2	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
PO ₄ ⁻	0,5	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Na ⁺	200	30	29,8	45,2	43,7	30,7	49,8
K ⁺	10	1,2	1,1	1,6	1,5	1,2	1,5

Les éléments physico-chimiques sous forme concentrée répondent aux normes fixées par l'Algérie, et cela se traduit par la qualité de l'eau des forages qui indique une bonne qualité chimique.

IV.11. Classification chimique des eaux:

La classification des faciès naturels des eaux repose sur deux critères fondamentaux, ce qui conduit à identifier de multiples classifications.

- ✓ La composition des produits chimiques.
- ✓ La source et l'endroit où les eaux ont pris naissance et ont été déposées.

Les principales classifications des eaux naturelles basées sur leur composition chimique sont : **PIPER**, **SCHOELLER**, **STABLER**, **la méthode de richards et la méthode de wilcox**.

Pour créer ces représentations, nous avons utilisé **DIAGRAM**, un logiciel développé par Roland **SIMILER** au Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon.

IV.12. Classification de Piper : (Figure n°32)

La représentation graphique des faciès hydrochimiques est rendue possible grâce au diagramme de Piper. Ce diagramme se compose de deux triangles distincts qui illustrent la distribution des anions et des cations, ainsi que d'un losange qui représente la distribution combinée des ions majeurs de manière synthétique.

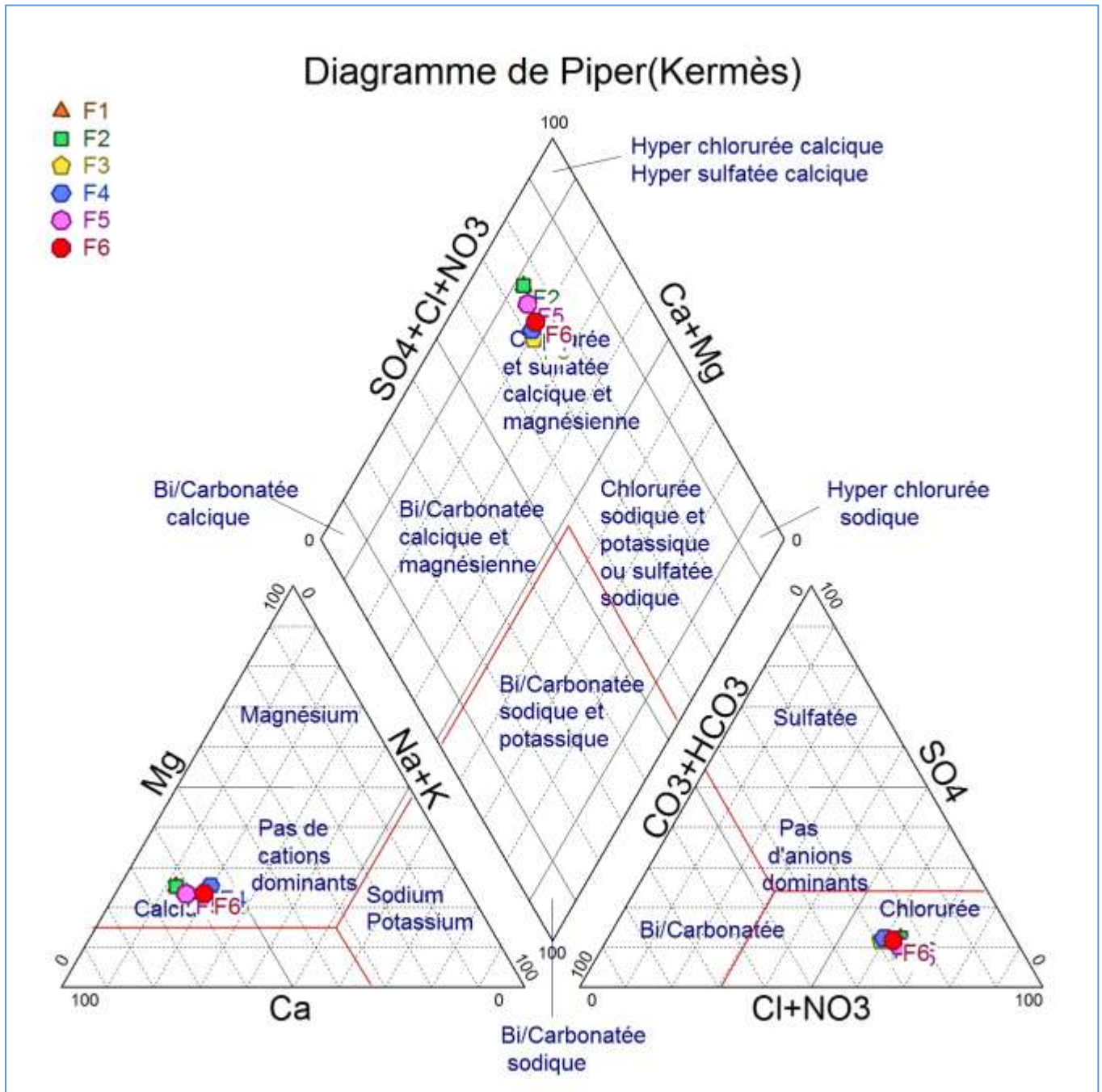


Figure 28 : Présentation graphique des faciès chimique des eaux de sources suivant le Diagramme de piper

En examinant le diagramme, il devient évident que tous les échantillons sont regroupés en une forme de losange singulier, en particulier dans les faciès chlorurés sulfatés

et calciques magnésiens. Le triangle représentant les cations affiche une nette dominance du calcium magnésium. Pendant ce temps, le triangle représentant les anions indique une nette supériorité des chlorures.

IV.13. Classification de SCHOELLER-Berkaloff:

Le diagramme de Schoeller-Berkaloff, qui suit une échelle semi-logarithmique, est utilisé pour représenter visuellement les analyses chimiques de l'eau. Sur la base de l'importance des anions et des cations primaires, le système de classification détermine le faciès de l'eau. Comme le montre la figure 34, le diagramme affirme en grande partie que le principal faciès chimique est soit le chloruré calcique et de potassium, soit le sulfate de sodium.

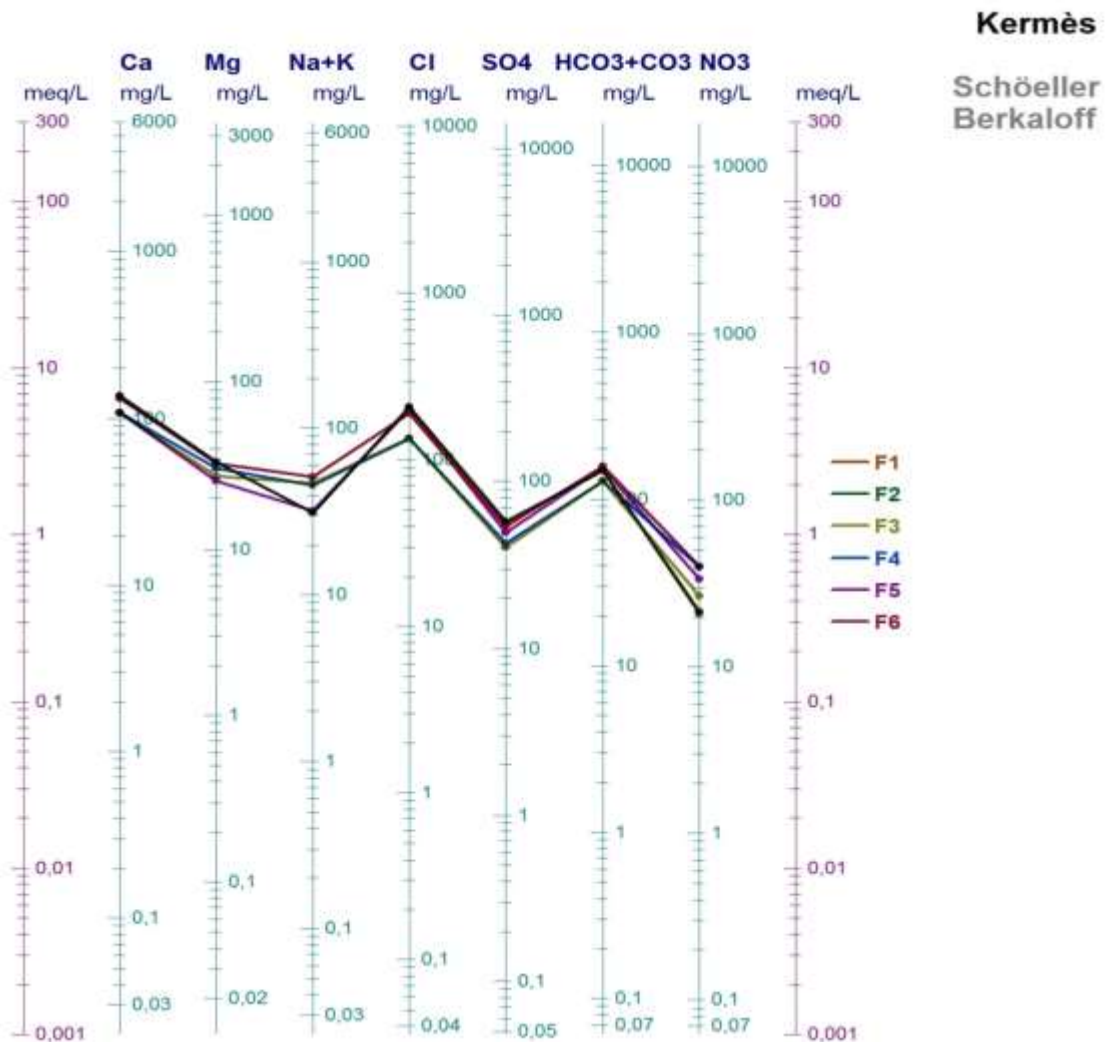


Figure 29 : Présentation graphique des faciès chimique des eaux de sources suivant le diagramme Schoeller-Berkalof.

La figure 29 montre, le diagramme affirme en grande partie que le principal faciès

chimique est le chloruré calcique.

IV.14. Diagramme de STABLER :

Ce diagramme est très utile pour l'étude des équilibres carbonatés. Il permet de représenter très rapidement l'alcalinité, l'alcalinité résiduelle calcite et les alcalinités résiduelles généralisées. On classe séparément les anions et les cations par ordre décroissant (Fig.30).

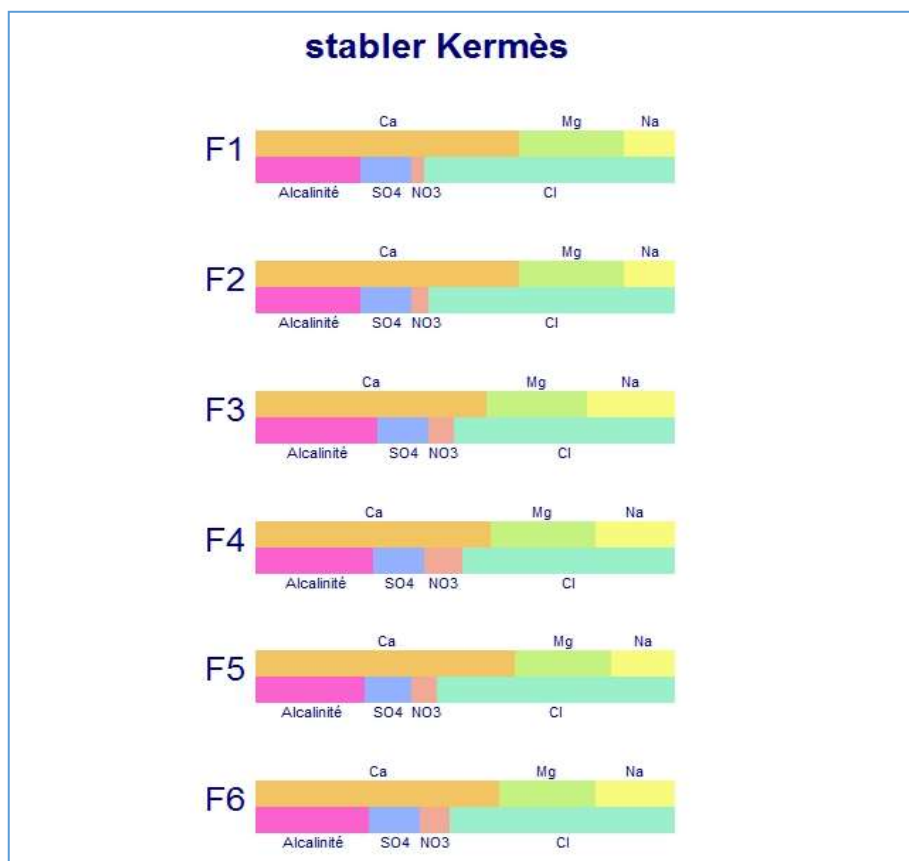


Figure 30 : Diagramme de STABLER

Les résultats obtenus permettent de distinguer les faciès chimiques Chloruré calcique

IV.15. Aptitude des eaux pour l'irrigation :

IV.16. Classification des eaux par la méthode de richards :

Cette classification a été proposée par Richards. Elle est très utile et facile pour caractériser une eau d'irrigation une eau chargée en sels peut provoquer un risque est déterminé à l'aide de la valeur du sodium absorbable (sodium absorption Ration, SAR) cette classification se fait en reportant sur le diagramme les conductivités, électriques en ($\mu\text{s}/\text{cm}$) à 20c° en fonction du taux d'absorption du sodium (SAR), Alors la classification de richards est basée sur la conductivité et le SAR.

Le S.A.R (Sodium Adsorption Ration) est donné par la formule :

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+}+Mg^{2+}}{2}}}$$

Tableau 17 : Classification des eaux par degré d’aptitude à l’irrigation par la méthode du S.A.R

Degré	Qualité	Classe	Etat d’utilisation
1	Excellente	C1-S1	Eau à utilisation sans danger pour l’irrigation pour la plupart des sols.
2	Bonne	C2-S1 C2-S2	En général, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l’irrigation des plantes moyennements tolérantes en sels
3	Admissible	C3-S1 C4-S2 C3-S3	En général, eau convenant à l’irrigation des cultures tolérantes en sel, sur des sols bien drainés l’évolution de la salinité doit cependant être contrôlée
4	Médiocre	C4-S1 C4-S2 C4-S3	En général, eau fortement minéralisée pouvant convenir à l’irrigation de certaines espèces bien tolérantes en sel sur des sols bien drainés et lessivés.
5	Mauvaise	C4-S1 C4-S2 C3-S3	Eau ne convenant pas à l’irrigation mais pouvant être utilisée sous certaines conditions

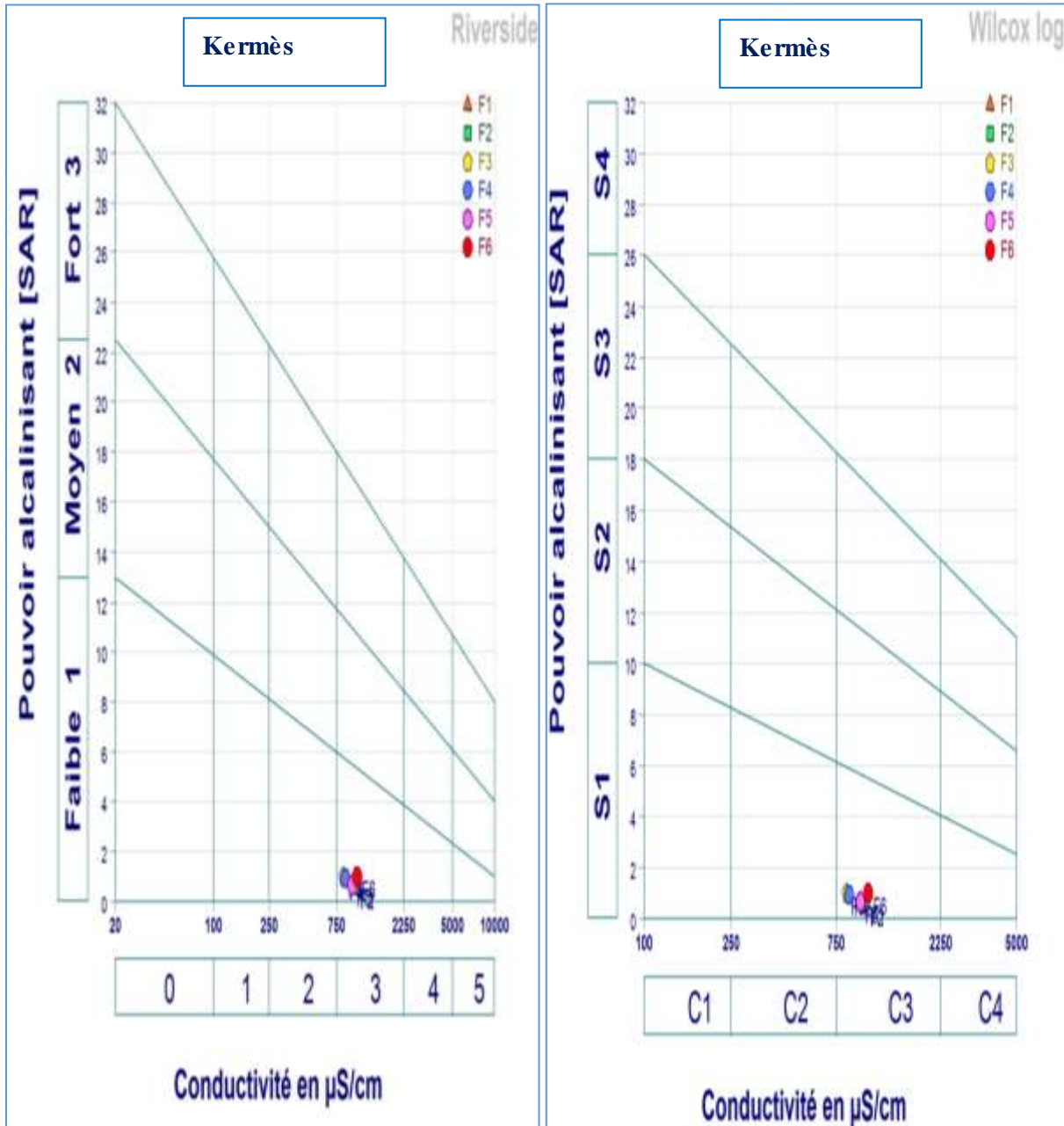


Figure 31 Diagramme de classification des eaux d'irrigation (Méthode de richards)

La représentation des échantillons analysée sur le diagramme de Richards (fig.31) montre que les eaux de notre zone d'étude appartiennent au classe C3S1 elle se manifestent par un faible risque d'alcalinisation et par une salinisation moyenne , donc ces eaux sont convenables a l'irrigation de culture , tolérante au sels sur des sols bien drainés, l'évolution de la salinité doit être contrôlé la salinisation est causée par la dissolution des gypse et la forte évaporation des eaux, due au climat semi-aride de la région.

IV.17. Classification des eaux par la méthode de Wilcox :

Cette classification est fondée sur la conductivité électrique et la teneur en sodium dans l'eau exprimée en pourcentage. Elle permet de caractériser des eaux pour leur aptitude à l'irrigation.

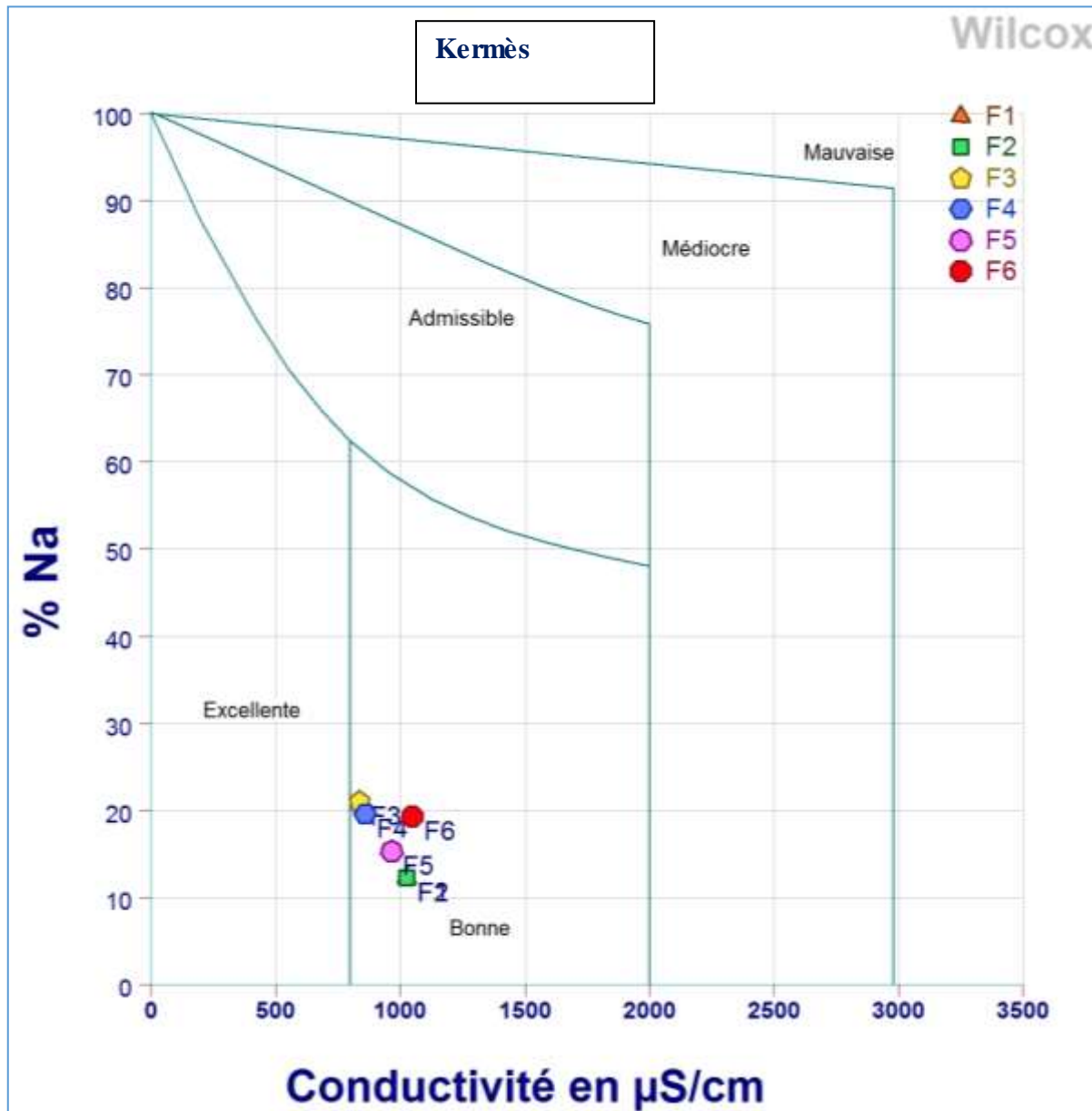


Figure 32 : Classification des eaux par la méthode de wilcox

Représentation d'échantillon analysée sur le diagramme de wilcox (fig.32) montre que les eaux de notre zone d'étude appartiennent sont dans la bonne classe, donc elles sont admissible à l'irrigation.

IV.17. Conclusion :

Grâce à une étude hydrochimique prenant en compte l'impact des facteurs géologiques, climatiques et hydrogéologiques, nous avons pu identifier l'hétérogénéité des paramètres physico-chimiques qui affectent l'évolution et la qualité de l'eau. Après analyse des résultats des tests effectués sur les échantillons d'eau provenant de différentes sources, on peut conclure que ces eaux présentent les caractéristiques suivantes :

- ✓ La température de l'eau varie entre 12,1 et 12,3 degrés Celsius.
- ✓ La plage d'un niveau de pH presque neutre est assez étroite, mesurant entre 7,41 et 7,62.
- ✓ La plage de conductivité électrique se situe entre 637 et 778 $\mu\text{S}/\text{cm}$.
- ✓ Les eaux de source se caractérisent par un niveau de dureté modéré, comme l'indiquent leurs valeurs de dureté ne dépassant pas 500mg/l.

Il est à noter que tous les aspects physico-chimiques ont répondu aux normes fixées par l'Algérie. Ces sources ont le potentiel d'être utilisées à des fins agricoles et d'irrigation. Le type chlorure de sodium est le faciès chimique dominant, selon la classification proposée par Piper et Shoeller-Berkalof.

La répartition des faciès est directement liée aux niveaux de concentration résultant des activités agricoles et des rejets d'eaux usées.

Conclusion générale

Conclusion générale :

Après avoir mené une étude géologique et hydrogéologique approfondie de la zone Ain kermès, il a été déterminé que la région peut être identifiée par trois ensembles lithostratigraphiques primaires qui sont classés par ordre décroissant.

La période secondaire, marquée par des affleurements jurassiques et des calcaires lacustres, des grès, ainsi que des conglomérats crétacés, est bien représentée.

La période tertiaire, marquée par la présence de marnes oligocènes et de formations gréseuses miocènes, se distingue des autres périodes géologiques.

Les alluvions holocènes, composées de sable, de cailloux, de gravier et d'autres sédiments, ont contribué au Quaternaire.

La période triasique a été largement influencée par la présence d'une tectonique fragile et flexible, avec un accident tectonique notable se produisant dans la direction SW-NE. De plus, de nombreux plissements au cours des périodes jurassique et crétacée ont contribué au paysage géologique.

La zone étudiée se distingue par ses aspects hydroclimatologiques, qui comprennent :

- ✓ La région étudiée connaît un climat semi-aride, avec une précipitation moyenne de 378,27 mm.
- ✓ La température annuelle moyenne s'élève à 18,17 degrés Celsius.
- ✓ La période sèche, qui s'étend de fin mai à fin septembre, est caractérisée par un manque de précipitations.
- ✓ La période commençant à partir d'octobre et s'étendant jusqu'à la fin de mai est caractérisée par une croissance végétative ou une humidité.
- ✓ L'ETR, mesurant environ 311,18 mm ou 82,27% de P, a un impact significatif sur le déficit agricole et les personnes impliquées dans les activités agricoles, soulignant la nécessité d'irriguer pendant les mois de déficit.
- ✓ Environ 17,72 % des précipitations totales sont dues au ruissellement et à l'infiltration (R+I) qui s'élève à 67,03 mm.

Sur le plan hydrogéologique, la zone est définie par :

Dans la zone d'étude, il existe une séquence stratigraphique qui s'étend du Jurassique au

Conclusion générale

Quaternaire. De plus, la zone est composée de deux systèmes aquifères distincts :

- ✓ Aquifère monocouche superficielle est exploitée par les sources S1 et S2;
- ✓ Aquifère multicouche profonde est exploitée aussi par les forages F1, F2, F3 et F4.

Grâce à l'étude hydrodynamique, les caractéristiques de l'aquifère ont été mises en lumière, révélant que le système de recharge des eaux souterraines est influencé par divers facteurs tels que la formation, la profondeur et la perméabilité de la zone non saturée.

Après analyse des sources, il a été découvert que leur composition hydrochimique se compose d'eau avec un niveau de pH principalement neutre. Il est important de noter que tous les paramètres physico-chimiques respectent les normes établies en Algérie. En conséquence, ces sources d'eau ont le potentiel d'être utilisées aux fins de l'A.E.P.

Il est fortement conseillé de mettre en place une surveillance renforcée et des contrôles fréquents de ce matériau délicat tout au long de l'année. De plus, il est crucial de surveiller les sources de pollution qui mettent en danger ces sources d'eau. Cela peut être réalisé en établissant et en maintenant des zones de protection, telles que des nappes et des captages, pour garantir un approvisionnement en eau adéquat et satisfaisant en quantité et en qualité, au profit de tous les utilisateurs.

Il ne s'agit pas seulement de mettre en place des structures d'approvisionnement en eau potable, mais aussi il faut mettre un accent particulier sur le comportement – c'est-à-dire l'assimilation et la protection de ses sources.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- ✓ **ANRH (2008)** : Cartes géologiques et hydrogéologiques de Tiaret
- ✓ **BOUCHENTOUF. K, 1994** : Mémoire de Magister, Thème : Les bilans d'eau à travers les paramètres physico-géographique et hydrodynamique. Cas du bassin versant de la haute Mina (Tiaret), univ. Tiaret. Fig n°2.
- ✓ **LTPO, 2013** : Laboratoire des travaux publics de l'Ouest (Unité de Tiaret) TRS 2752p :
- ✓ **B.Mekki et I. Hassan Younes**, thème : Contribution à l'étude qualitative et quantitative des ressources en eau souterraine de la région de Saida
- ✓ **LADJAL. R, 2013** : Mémoire de Magister en Hydraulique Problématique de la mobilisation et de la préservation des ressources hydriques dans le Sersou (Bassin Cheliff amont Boughzoul) p : 43
- ✓ **Mlle. BARHAM Khadija et Mlle. BOUDRIA Amel 2015** : mémoire de magister, Thème : Evaluation qualitative et quantitative des eaux souterraines : exemple de quelques sources de la région de Tiaret (Figure n°16 : schéma du protocole expérimental).
- ✓ **NOUAR. B, 2010** : Mémoire de Magister ; Thème : Qualité des eaux des sources thermales. Cas des sources de Djebel Safia (HadjarSoud) Nord Est Algérie p :38
- ✓ **Rapport de Réalisation de l'étude d'actualisation du plan national de l'eau (Avril 2010)** : Mission 2 : Ressources et demandes. Volet 2 : Les ressources en eau souterraines. Tome 2 : Monographie des aquifères. p.47.59 à66.70.71.
- ✓ **Rodier. J, 1996**. L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer. 6eme édition : Dunod,Paris
- ✓ **Dahmaouilkram et HoceinKhaoula et BoubekourNawel : thème** : Essai de gestion des ressources en eau dans une zone Semi-aride cas de la région Meghila et Oued Lilli (Nord de la Wilaya de Tiaret).

Références bibliographiques

Source des données :

- ✓ **A.N.R.H** – Agence Nationale des Ressources Hydraulique –Tiaret.
- ✓ **D .H.W** : Direction Hydraulique de Willaya –Tiaret
- ✓ **O.N.M** : Office National de la Météorologie – Station de Bouchékif (Tiaret)
- ✓ **ADE** : Agence des eaux d’Ain kermès
- ✓ **CFT** : Conservation des forêts de Tiaret.
- ✓ <http://decoupageadministratifalgerie.blogspot.com/>
- ✓ <https://wikipedia.org>
- ✓ [Le Bassin Cheliff Zahrez \(abh-cz.com.dz\)](http://LeBassinCheliffZahrez.abh-cz.com.dz)

Norme Algérienne de potabilité:

Paramètre	Valeur	Unité
les paramètres physico-chimiques		
Température	25	°C
PH	6,5 à 9	.
Conductivité	2800	µS/cm
Dureté (TH)	500	mg/l (CaCo3)
les paramètres chimiques		
calcium	200	mg/l
Magnésium	50	mg/l
Chlorures	500	mg/l
Sulfates	400	mg/l
sodium	200	mg/l
potassium	10	mg/l
Bicarbonate	500	mg/l
les paramètres de pollutions		
Nitrate	50	mg/l
Nitrite	0,2	mg/l
phosphate	0,5	mg/l
Ammonium	0,5	mg/l

Résumé :

Les eaux des sources de notre région d'étude sont utilisées pour différents usages surtout la consommation, Evaluation qualitative et quantitative des ressources en eau souterraine de nappe d'Ain kermès (wilaya de Tiaret), est le thème de notre travail

Cette étude a envisagé d'effectuer des analyses physico-chimiques en vue de caractériser le milieu (eaux souterraines) et mettre en évidence les paramètres qui déterminent la qualité de l'eau à savoir : La conductivité ; la température, pH, TH, les cations (Calcium, Magnésium) ; les anions (Chlorure, Sulfate, Nitrate, Nitrite et Bicarbonate), et de les comparer aux normes algériennes de potabilité. Aussi pour connaître le potentiel hydrique sur le plan hydrogéologique de cette région, qui montre la présence de deux nappes superposées, l'une superficielle et l'autre profonde.

La plus part des résultats d'analyse des éléments physico-chimiques ne dépassent pas les normes algériennes de potabilité.

Mots clés : Sources (forages), aquifères, eaux souterraines, Analyses physico-chimiques, Ain kermès.

Summary:

The waters of the sources of our study area are used for various uses especially the consumption, Qualitative and quantitative evaluation of the groundwater resources of Ain kermes (wilaya de Tiaret), is the theme of our work

This study envisaged to carry out physico-chemical analyses in order to characterize the medium (groundwater) and to highlight the parameters that determine the water quality, namely: Conductivity; temperature, pH, TH, cations (Calcium, Magnesium) anions (Chloride, Sulfate, Nitrate, Nitrite and Bicarbonate), and compare them to Algerian standards of potability. Also to know the water potential on the hydrogeological plane of this region, which shows the presence of two layers, one superficial and the other deep.

Most of the results of the analysis of the physico-chemical elements do not exceed the Algerian standards of potability.

Keywords: Sources (drilling), aquifers, groundwater, physico-chemical analyses, Ain kermes.

الملخص :

تُستخدم مياه مصادر منطقة دراستنا لاستخدامات مختلفة وخاصة الاستهلاك والتقييم النوعي والكيميائي لموارد المياه الجوفية في عين كرمس (ولاية تيارت)، هو موضوع عملنا

وتتوخى هذه الدراسة إجراء تحليلات فيزيائية - كيميائية من أجل تحديد خصائص الوسط (المياه الجوفية) وإبراز البارامترات التي تحدد نوعية المياه، وهي: الموصلية ؛ درجة الحرارة، درجة الحموضة، درجة الحموضة، الكاتيونات (الكالسيوم والمغنيسيوم) (الكلوريد والكبريتات والنترات والنترات والبيكربونات)، ومقارنتها بالمعايير الجزائرية لصلاحية الشرب. أيضاً لمعرفة إمكانات المياه على المستوى الهيدروجيولوجي لهذه المنطقة، مما يدل على وجود طبقتين، إحداهما سطحية والأخرى عميقة.

ولا تتجاوز معظم نتائج تحليل العناصر الفيزيائية - الكيميائية المعايير الجزائرية لصلاحية الشرب.

الكلمات المفتاحية : المصادر (الحفر)، طبقات المياه الجوفية، المياه الجوفية، التحليلات الفيزيائية الكيميائية، عين كرمس