

N° d'ordre...

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITÉ DJILLALI LIABES DE SIDI BEL ABBES
FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
Département des sciences de l'environnement
"Laboratoire : Eco-développement des Espaces"

THESE DE DOCTORAT EN SCIENCES

Présentée par :

Madame BENKHAMALLAH Zahra

Spécialité : Sciences de l'Environnement

Option : GESTION DES RESSOURCES HYDRIQUES

Intitulé

**CARACTERISATION DES ALEAS CLIMATIQUES ET
IMPACTS SUR LA RESSOURCE EAU SOUTERRAINE
DANS L'OUEST ALGERIEN: CAS DE LA REGION
D'AIN TEMOUCHENT.
ENJEUX SOCIO-ECONOMIQUES ET
ENVIRONNEMENTAUX ET GESTION DURABLE**

Soutenu le

Devant l'honorable jury composé de :

<i>Président de jury</i>	<i>: Dr MELIANI Habib</i>	<i>(MCA, UDL, SBA)</i>
<i>Examineurs</i>	<i>: Pr CHIBOUB FELLAH Abdelghani</i>	<i>(Professeur, Univ, Tlemcen)</i>
	<i>Dr ZENASNI Mohamed Amine</i>	<i>(MCA, Univ, Tlemcen)</i>
	<i>Dr MEROUFEL Bahia</i>	<i>(MCA, Univ, Tlemcen)</i>
<i>Directeur de thèse</i>	<i>: Pr BENYAHIA Mohamed</i>	<i>(Professeur, UDL, SBA)</i>
<i>Co-Directeur de thèse</i>	<i>: Pr MOUEDDENE Kada</i>	<i>(Professeur, UDL, SBA)</i>

Année universitaire 2020-2021

N° d'ordre...

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITÉ DJILLALI LIABES DE SIDI BEL ABBES
FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
Département des sciences de l'environnement
"Laboratoire : Eco-développement des Espaces"

THESE DE DOCTORAT EN SCIENCES

Présentée par :

Madame BENKHAMALLAH Zahra

Spécialité : Sciences de l'Environnement

Option : GESTION DES RESSOURCES HYDRIQUES

Intitulé

**CARACTERISATION DES ALEAS CLIMATIQUES ET
IMPACTS SUR LA RESSOURCE EAU SOUTERRAINE
DANS L'OUEST ALGERIEN: CAS DE LA REGION
D'AIN TEMOUCHENT.
ENJEUX SOCIO-ECONOMIQUES ET
ENVIRONNEMENTAUX ET GESTION DURABLE**

Soutenu le

Devant l'honorable jury composé de :

<i>Président de jury</i>	<i>: Dr MELIANI Habib</i>	<i>(MCA, UDL, SBA)</i>
<i>Examineurs</i>	<i>: Pr CHIBOUB FELLAH Abdelghani</i>	<i>(Professeur, Univ, Tlemcen)</i>
	<i>Dr ZENASNI Mohamed Amine</i>	<i>(MCA, Univ, Tlemcen)</i>
	<i>Dr MEROUFEL Bahia</i>	<i>(MCA, Univ, Tlemcen)</i>
<i>Directeur de thèse</i>	<i>: Pr BENYAHIA Mohamed</i>	<i>(Professeur, UDL, SBA)</i>
<i>Co-Directeur de thèse</i>	<i>: Pr MOUEDDENE Kada</i>	<i>(Professeur, UDL, SBA)</i>

Année universitaire 2020-2021

REMERCIEMENTS

Mes premiers remerciements vont à mon directeur de thèse, Monsieur **BENYAHIA Mohamed**, Professeur à l'Université Djillali Liabès de Sidi Bel Abbès, pour avoir dirigé ce travail, pour ses qualités scientifiques et humaines, sa disponibilité, tout au long de ces années, malgré ses nombreuses et lourdes obligations et responsabilités.

Je remercie également Monsieur **MOUEDDENE Kada**, Professeur à l'Université Djillali Liabès de Sidi Bel Abbès pour avoir accepté de co-diriger les travaux de ma thèse.

Je remercie vivement Monsieur **MELIANI Habib**, maître de conférences A, à l'Université Djillali Liabès de Sidi Bel Abbès, pour avoir accepté de présider le jury de la présente thèse.

J'exprime aussi ma profonde considération aux membres du jury : Monsieur **CHIBOUB FELLAH Abdelghani**, Professeur à l'Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen, Monsieur **ZENASNI Mohamed Amine**, maître conférences A, et Madame **MEROUFEL Bahia**, maître conférences A, de l'Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen, pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail et m'avoir fait l'honneur de l'examiner.

Je remercie également Monsieur **HALLOUCHE Bachir**, enseignant au département de l'Hydraulique, Faculté de Technologie, de l'Université de Sidi Bel Abbès, qui m'a prodigué encouragements et conseils, tout en me permettant de profiter de ses connaissances.

Mes remerciements à Monsieur **AMAR BEN SABER Kamel** (Chef de laboratoire d'analyse des eaux) à l'Algérienne Des Eaux d'Aïn Témouchent, qui m'a bien accueilli dans son laboratoire.

J'ai l'agréable tâche de témoigner ma grande reconnaissance aux différents services techniques, auprès desquels j'ai bénéficié d'un aimable appui, notamment ceux qui m'ont facilité l'accès aux données de mesures et à la documentation, en particulier :

- L'antenne de l'A.N.R.H. (Agence Nationale des Ressources Hydriques) d'Oran;
- La Direction des Ressources en Eaux d'Aïn Témouchent, particulièrement Mr **SALLAT Abdelhakim**;
- Bureau d'étude H.P.O, (Hydro-Projet-Ouest), particulièrement Mr **ADDADA Boukhatem**.

Avant de terminer, je ne manquerai pas de remercier ma famille pour son encouragement, son soutien et sa patience.

...Merci à mes parents...

DEDICACE

Je dédie ce travail à :

Mes chers parents, pour leur affection et leur support

Mon époux

Mes enfants Ismail, Kawther & Khawla

Ma sœur et mes frères ...

Tous ceux qui me sont chers

BENKHAMALLAH Z.

RESUMES

RESUME

Le présent travail a été mené sur la région d'Aïn Témouchent, qui fait partie du bassin versant des côtiers oranais (Algérie nord-occidentale). Il s'agit d'une étude pluridisciplinaire portant essentiellement sur les aléas climatiques, l'hydrogéologie, l'hydrochimie, les enjeux socio-économiques et environnementaux et la gestion durable des ressources hydriques.

La région d'Aïn Témouchent est caractérisée par la faiblesse de ses ressources en eau. L'Augmentation continue de la demande en eau due à la croissance démographique, au développement socio-économique, à l'agriculture et à l'urbanisation, ont accentué le problème de leurs pénuries.

L'étude climatologique montre que le régime de la région d'Aïn Témouchent est de type méditerranéen, caractérisé par une pluviométrie abondante en hiver, et par une saison sèche fortement prononcée conduisant à des étiages sur de longues périodes de l'année.

Et sur la base des résultats des analyses physicochimiques des différents échantillons prélevés, il ressort que ces eaux souterraines sont de faciès chlorurés sodiques et bicarbonatés sodiques, souvent dures, avec une conductivité élevée. La distribution spatiale de la minéralisation évolue dans le sens des écoulements des eaux du Sud vers le Nord ce qui confirme le contrôle des conditions hydrogéologiques sur la chimie des éléments majeurs des eaux souterraines. La diminution des précipitations et l'augmentation de l'évaporation influent aussi sur la minéralisation.

Enfin, l'évaluation de la qualité chimique des eaux souterraines pour l'irrigation par le calcul de l'indice de qualité des eaux d'irrigation (IWQI) révèle que ces eaux souterraines sont de la classe « restriction modérée » à celle de « très haute restriction ».

Mots clés : région Aïn Témouchent, pénuries, eaux souterraines, hydrochimie, Oued El Malah, irrigation, IWQI.

ABSTARCT

The present work was carried out in the region of Ain Temouchent, which is part of the Oran coastal watershed (north-western Algeria). This is an important multidisciplinary study mainly on climatic hazards, hydrogeology, hydrochemistry, socio-economic and environmental issues and the sustainable management of water resources.

The region of Ain Temouchent is characterized by the weakness of its water resources. Continued increase in demand for water due to population growth, socio-economic development, agriculture and urbanization, have exacerbated the problem of their shortages.

The climatological study shows that the regime of the region of Ain Temouchent is of the Mediterranean type, characterized by abundant rainfall in winter, and by a strongly pronounced dry season, which is very frequent for long periods.

And on the basis of the results of the physicochemical analyzes of the various samples taken, it appears that this groundwater is of sodium chloride and sodium bicarbonate facies, often hard, with high conductivity. The spatial distribution of the mineralization evolves in the direction of the water flows from the South to the North, which confirms the control of hydrogeological conditions on the chemistry of the major elements of groundwater. Decreased risk and increased evaporation also influence mineralization.

Finally, the evaluation of the chemical quality of groundwater for irrigation by calculating the quality index for irrigation water (IWQI) revealed that this groundwater is of the “moderate restriction” class to that of “very high restriction”.

Keywords: region of Ain Temouchent, shortages, groundwater, hydrochemistry, Oued El Malah, irrigation, IWQI.

ملخص

تم تنفيذ هذا العمل في منطقة عين تموشنت، وهي جزء من الحوض المائي الساحلي الوهراني (شمال غرب الجزائر). هذه الدراسة متعددة التخصصات حيث تركز بشكل أساسي على الأخطار المناخية، والجيولوجيا المائية، والكيمياء المائية، والقضايا الاجتماعية والاقتصادية والبيئية و التسيير المستدام لهوارد المياه.

تتميز منطقة عين تموشنت بضعف مواردها المائية. حيث أدت الزيادة المستمرة في الطلب على المياه بسبب النمو السكاني والتنمية الاجتماعية والاقتصادية والزراعة والتحصن إلى تفاقم مشكلة نقصها.

تظهر هذه الدراسة أن نظام مناخ منطقة عين تموشنت من النوع المتوسطي، يتميز بغزارة هطول الأمطار في الشتاء، وموسم جاف شديد الوضوح يؤدي إلى انخفاض منسوب المياه على مدى فترات طويلة من العام.

وعلى أساس نتائج التحليلات الفيزيائية والكيميائية للعينات المختلفة المأخوذة، يبدو أن المياه الجوفية تتكون من كلوريد الصوديوم وبيكربونات الصوديوم، وغالبًا ما تكون صلبة، وذات ناقلية عالية. يتطور التوزيع الفضائي للتمعدن في اتجاه تدفق المياه من الجنوب إلى الشمال، مما يؤكد السيطرة على الظروف الهيدروجيولوجية على كيمياء العناصر الرئيسية للمياه الجوفية. يؤثر انخفاض هطول الأمطار وزيادة التبخر أيضًا على التمعدن.

أخيرًا، فإن تقييم الجودة الكيميائية للمياه الجوفية للري عن طريق حساب مؤشر جودة مياه الري (IWQI) يكشف أن هذه المياه الجوفية من فئة "التقييد المعتدل" إلى فئة "التقييد العالي جدًا".

الكلمات المفتاحية: منطقة عين تموشنت، نقص المياه، المياه الجوفية، الكيمياء المائية، وادي الملح، الري، IWQI.

LISTE DES FIGURES

LISTE DES FIGURES

	Pages
Figure N° 01 : Conséquences du changement climatique à l'échelle mondiale.	8
Figure N° 02 : Ressources en eau actuelles disponibles par habitant.	24
Figure N° 03 : Réserves en eau dans le monde.	26
Figure N° 04 : Les cinq grands Bassins hydrographiques en Algérie.	28
Figure N° 05 : Évolution de la disponibilité en eau potable.	29
Figure N° 06 : Ressources renouvelables des nappes souterraines dans le Nord du pays.	34
Figure N° 07 : Évolution en pourcentage de l'utilisation de l'eau en Algérie.	39
Figure N° 08 : Valeur économique des bénéfices associés aux services écosystémiques.	43
Figure N° 09 : Représentation simplifiée d'un cycle court d'usages de l'eau.	44
Figure N° 10 : Différentes sources de pollution des eaux souterraines.	50
Figure N° 11 : Situation géographique de la zone d'étude.	59
Figure N° 12 : Esquisse géologique du Nord-Ouest algérien.	61
Figure N° 13 : Carte géologique de la région d'Aïn Témouchent.	64
Figure N° 14 : Carte des structures post-nappes.	67
Figure N° 15 : Position stratigraphique et âge du volcanisme en Oranie nord- occidentale.	72
Figure N° 16 : Aperçu sur les formations géologiques et les principales nappes dans la région d'Aïn Témouchent.	77
Figure N° 17 : Carte piézométrique.	81
Figure N° 18 : Variations des précipitations moyennes annuelles à la station d'Aïn Témouchent (1980/2014).	86
Figure N° 19 : Histogramme de la variation mensuelle des précipitations à la station d'Aïn Témouchent (1980/2014).	86
Figure N° 20 : Histogramme des précipitations moyennes saisonnières de la station d'Aïn Témouchent (1980/2014).	87
Figure N° 21 : Variation mensuelle des températures à la station d'Aïn Témouchent (1995/2012).	89
Figure N° 22 : Diagramme de Bagnouls et Gausson de la station de Aïn Témouchent (1994/2013).	90
Figure N° 23 : Abaque de l'indice d'aridité de De Martonne, station d'Aïn Témouchent (1994-2013).	91
Figure N° 24 : Position de la station d'Aïn Témouchent sur le Climagramme d'Emberger.	94
Figure N° 25 : Abaque de Wundt de la station d'Aïn Témouchent.	100
Figure N° 26 : Abaque représentatif du déficit d'écoulement.	101
Figure N° 27 : Situation géographique des puits et forages échantillonnées.	105
Figure N° 28 à 35 : Analyses au laboratoire ADE d'Aïn Témouchent.	115 – 118
Figure N° 36 : Diagramme des résultats chimiques des puits d'Aïn Témouchent.	123
Figure N° 37 : Faciès hydrochimiques des eaux échantillonnées selon le diagramme de PIPER.	124

Figure N° 38 : Résultats des eaux échantillonnées d'Aïn Témouchent selon le diagramme de Wilcox.	126
Figure N° 39 : Représentation des eaux échantillonnées d'Aïn Témouchent sur le diagramme de Richards (Riverside).	127
Figure N° 40 : Répartition spatiale du sodium (mg/l).	128
Figure N° 41 : Répartition spatiale de potassium (mg/l).	129
Figure N° 42 : Répartition spatiale du magnésium (mg/l).	130
Figure N° 43 : Répartition spatiale des chlorures (mg/l).	131
Figure N° 44 : Répartition spatiale des nitrates (mg/l).	132
Figure N° 45 : Répartition spatiale des sulfates (mg/l).	133
Figure N° 46 : Répartition spatiale du calcium (mg/l).	134
Figure N° 47 : Répartition des bicarbonates (mg/l).	135
Figure N° 48 : Diagramme des résultats chimique des eaux de forages d'Oued El Malah.	136
Figure N° 49 : Faciès hydrochimiques des eaux échantillonné selon le diagramme de PIPER.	137
Figure N° 50 : Résultats des eaux échantillonnées selon le diagramme de Wilcox.	140
Figure N° 51 : Résultats des eaux échantillonnées selon le diagramme de Richards Riverside.	142
Figure N° 52 : Répartition spatiale de sodium (mg/l).	143
Figure N° 53 : Répartition spatiale du potassium (mg/l).	144
Figure N° 54 : Répartition spatiale du magnésium (mg/l).	145
Figure N° 55 : Répartition spatiale des chlorures (mg/l).	146
Figure N° 56 : Répartition spatiale des nitrates (mg/l).	147
Figure N° 57 : Répartition spatiale des sulfates (mg/l).	148
Figure N° 58 : Répartition spatiale du calcium (mg/l).	149
Figure N° 59 : Répartition spatiale des bicarbonates (mg/l).	150
Figure N° 60 : Répartition spatiale de conductivité CE.	153
Figure N° 61 : Répartition spatiale du SAR.	154
Figure N° 62 : Evolution spatiale de l'indice de qualité des eaux d'irrigation (IWQI).	156
Figure N° 63 : Carte de la répartition de l'indice IWQI dans le bassin versant d'Oued El Malah.	157
Figure N° 64 : Variation des valeurs médianes, maximales et minimales des concentrations en éléments chimiques dans les puits et les forages de la région d'Aïn Témouchent.	161
Figure N° 65 : Cercle de corrélations entre les concentrations en éléments chimiques dans les puits et les forages de la région d'Aïn Témouchent.	163
Figure N° 66 : Carte d'analyse en composantes principales ACP des éléments chimiques dans les puits et les forages de la région d'Aïn Témouchent.	163
Figure N° 67 : Carte d'analyse des correspondances des éléments chimiques dans les puits et les forages de la région d'Aïn Témouchent.	164
Figure N° 68 : Carte d'analyse factorielle des correspondances (AFC) des éléments chimiques dans les puits et les forages de la région d'Aïn Témouchent.	166

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES TABLEAUX

	Pages
Tableau N° 01 : Apports par région hydrographique.	15
Tableau N° 02 : Synthèse des émissions et des absorptions de GES en Algérie (1994)(Gg).	23
Tableau N° 03 : Ressources en eau dans les Bassins Hydrographiques en Algérie.	29
Tableau N° 04 : Ressources en eau et prélèvements.	30
Tableau N° 05 : Estimation d'après la carte des ressources en eau ANRH.	32
Tableau N° 06 : Répartition spatiale des eaux de surface dans le territoire national.	33
Tableau N° 07 : Ressources en eaux souterraines concernant les nappes dont les potentialités sont supérieures à 10 millions m ³ .	35
Tableau N° 08 : Le volume d'eau épurée en Algérie.	36
Tableau N° 09 : Stations de dessalement en Algérie (programme réalisé entre 2005-2008).	37
Tableau N° 10 : Déminéralisation des eaux saumâtres en Algérie (programme réalisé entre 2006-2009).	38
Tableau N° 11 : Sous-bassins versants de la région d'Aïn Témouchent.	75
Tableau N° 12 : Etat des petits barrages et retenues collinaires de la zone d'étude.	76
Tableau N° 13 : Forages de la région d'Aïn Témouchent.	82
Tableau N° 14 : Inventaire des principales sources dans les communes de la région avec débits et usages.	83
Tableau N° 15 : Caractéristiques de la station météorologique.	85
Tableau N° 16 : Indice d'aridité de De Martonne.	91
Tableau N° 17 : Indices d'aridité mensuels de De Martonne.	92
Tableau N° 18 : Indice annuel de Moral.	92
Tableau N° 19 : Valeurs des indices mensuels de Moral et leurs classifications.	93
Tableau N° 20 : Indice d'Emberger.	93
Tableau N° 21 : Indice de Kerner.	95
Tableau N° 22 : Indice de Stewart.	96
Tableau N° 23 : Valeur de l'ETR.	97
Tableau N° 24 : Valeur du déficit d'écoulement.	98
Tableau N° 25 : Valeurs de l'ETP en (cm) à la station d'Aïn Témouchent (1994-2013).	99
Tableau N° 26 : Valeur du déficit d'écoulement (D) et du quotient d'écoulement (E).	99
Tableau N° 27 : Valeur du déficit d'écoulement.	101
Tableau N° 28 : Éléments du bilan hydrologique calculés pour la station d'Aïn Témouchent (1980-2014) avec RU=50 mm (selon la nature du sol).	103
Tableau N° 29 : Valeur du ruissellement.	104
Tableau N° 30 : Valeur de l'infiltration selon les différents auteurs.	104
Tableau N° 31 : Situation géographique des puits et forages échantillonnées.	106
Tableau N° 32 : Valeurs limites des paramètres de mesure de qualité.	112
Tableau N° 33 : Poids des paramètres à appliquer pour le calcul de l'indice de qualité des eaux d'irrigation.	113
Tableau N° 34 : Caractéristiques de l'indice de qualité de l'eau.	114

Tableau N° 35 : Calcul de la minéralisation à partir de la conductivité.	120
Tableau N° 36 : Potabilité en fonction du résidu sec.	121
Tableau N° 37 : Classification des eaux de puits échantillonnées selon leurs faciès.	125
Tableau N° 38 : Classification des eaux souterraines du bassin versant d'Oued El Malah selon leurs faciès.	138
Tableau N° 39 : Classification de la qualité des eaux d'irrigation par rapport à la salinité et le SAR.	141
Tableau N° 40 : Paramètres de IWQI obtenue sur les forages d'Oued Mallah (méthode Meireles et al. 2010).	151
Tableau N° 41 : Classification de la qualité des eaux d'irrigation selon différents paramètres.	155
Tableau N° 42 : Rapports caractéristiques étudiés pour les puits de la région d'Aïn Témouchent.	158
Tableau N° 43 : Rapports caractéristiques étudiés pour les forages dans le bassin versant d'Oued El Malah.	159
Tableau N° 44 : Corrélations entre les concentrations en éléments chimiques dans les puits et les forages de la région d'Aïn Témouchent.	162
Tableau N° 45 : Contributions dans la carte d'analyse factorielle des correspondances (AFC) en éléments chimiques dans les puits et les forages de la région d'AïnTémouchent.	165

LISTE DES ABREVIATIONS

LISTE DES ABREVIATIONS

- ACP** : Analyse de Composante Principale
- ADE** : Algérienne Des Eaux
- AEP** : Alimentation en Eau Potable
- AEPI** : Alimentation en Eau potable et Industrielle
- AF** : Analyse Factorielle
- AFNOR** : Association Française de Normalisation est l'Organisation Française
- ANAT** : Agence Nationale de l'Aménagement du Territoire
- ANBH** : Agence Nationale des Bassins Hydrographiques
- ANRH** : Agence Nationale des Ressources Hydriques
- CE** : Conductivité Electrique
- CET** : Centre d'Enfouissement Technique
- CI** : Continental Intercalaire
- CICR** : Comité international de la Croix-Rouge
- CNES** : Conseil National Economique et Social
- CT** : Complexe Terminal
- DRE** : Direction des Ressources en Eaux
- EDTA** : acide éthylènediaminetétraacétique
- FAO** : Food and Agriculture Organization
- GES** : Gaz à Effets de Serres
- GIEC** : Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du climat
- GPI** : Grands Périmètres d'Irrigations
- HSN** : Hydroxyde de Sodium (NaOH) à 2 N
- IPCC** : The Intergovernmental Panel on Climate Change
- IWQI** : Indice de Qualité des Eaux d'Irrigation
- MAGICC** : Model for the Assessment of Greenhouse-gas Induced Climate Change
- MATE** : Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement
- MRE** : Ministère des Ressources en eau
- MTH** : Maladies à Transmission Hydrique
- ONM** : Office National de Météorologie
- OPI** : Offices des Périmètres irrigués
- PMH** : Petite Moyenne Hydrauliques
- PNUD** : Programme des Nations Unies pour le Développement

PNUE : Programme des Nations Unies pour l'Environnement

RE : Restriction élevée

RF : Restriction faible

RM : Restriction modérée

RP : Pas de restriction

RS : Restriction sévère

SAR : Rapport d'adsorption du sodium

SIG : Système d'Informations Géographiques

TDS : Le total des solides dissous

TH : Hydrotimétrie

UNESCO : United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization

UNFCCC : United Nations Framework Convention on Climate Change

µS/cm : Micro Siemens / Centimètre

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES

	Pages
Remerciements	
Dédicaces	
Résumé	
Abstract	
Résumé en arabe	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Table des matières	
INTRODUCTION GENERALE	1
<i>Première partie</i>	
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	
<i>Premier chapitre</i>	
ALEAS CLIMATIQUES ET IMPACTS SUR LA RESSOURCE EN EAU SOUTERRAINE DANS L'OUEST ALGERIEN	
I. Aléas climatiques	5
II. Changements climatiques	5
III. Evolution spatiotemporelle du changement climatique	7
IV. Eau et changement climatique	9
V. Problématique de l'eau liée au changement climatique	12
VI. Changement climatique en Algérie	13
VII. Impacts attendus des changements climatiques sur les ressources en eau	14
VII.1. Impacts sur les écoulements de surface	14
VII.2. Impacts sur les eaux de barrages	15
VII.3. Impacts sur les nappes phréatiques	15
VII.4. Impact direct sur la ressource en eau souterraine	16
a. Modification des flux entrants et des flux sortants	16
b. Modification de l'interaction nappes / cours d'eau	17
c. Intrusion marine	17
VII.5. Impact indirect dû à la pression de l'homme sur son environnement	17
VII.6. Incidence du changement climatique sur l'irrigation	18
VII.7. Incidence du changement climatique sur l'assainissement	18
VII.8. Risques d'inondations	18
VIII. Impacts futurs du changement climatique	19
VIII.1. Facteurs du changement climatique	22
VIII.2. Emission des gaz à effet de serre en Algérie	23

Deuxième chapitre

SITUATION DES RESSOURCES EN EAU EN ALGERIE

I. Ressources en eau dans le monde	24
II. Principales réserves en eau dans le monde	25
III. Situation globale de l'eau en Algérie	26
III.1. Ressources en eau en Algérie	28
III.1.1. Grands bassins hydrographiques	28
III.1.2. Exploitation des ressources en eau	30
III.2. Potentialités en eau en Algérie	31
III.2.1. Eaux conventionnelles	32
a. Eaux superficielles	32
b. Ressources souterraines	33
III.2.2. Eaux non conventionnelles	36
a. Eaux usées	36
b. Eaux saumâtres et salées	37
c. Déminéralisation des eaux saumâtres	38
III.3. Utilisation des ressources en eau	39
III.4. Surexploitation des ressources souterraines	40
III.4.1. Forages	40
III.4.2. Superficies irriguées	41

Troisième chapitre

ENJEUX SOCIO-ECONOMIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX DES EAUX SOUTERRAINES

I. Enjeux de la préservation des eaux souterraines	42
II. Caractérisation des bénéfices économiques liés à la préservation des eaux souterraines	42
III. Usage des eaux et adaptation	44
IV. Évaluation de l'impact des activités humaines sur la ressource en eau	47
V. Enjeux environnementaux et socio-économiques des eaux souterraines dans la région d'Aïn Témouchent	49
V.1. Différents Types de pollution	50
V.1.1. Pollution bactérienne	50
V.1.2. Pollution chimique	50
V.2. Sources de pollution	51
V.2.1. Origine domestique	51
V.2.2. Origine industrielle	53
V.2.3. Origine agricole	54
VI. Vulnérabilité des nappes phréatiques de la région d'Aïn Témouchent à la pollution	55
VII. Pollution de la nappe des roches volcaniques par le CET d'Aïn Témouchent	57

Deuxième partie
MATERIELS ET METHODES

Quatrième chapitre
PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE : REGION D'AÏN TEMOUCHENT

I. Contexte géographique et administratif	59
II. Géologie de la zone d'étude	60
II.1. Généralités sur la géologie de l'Algérie du Nord	60
II.2. Cadre géologique de la région d'Aïn Témouchent	63
II.3. Aspect Structural et tectonique de la zone d'étude	65
II.3.1. Phase hercynienne	65
II.3.2. Phase compressive alpine	65
II.3.3. Phase transgressive alpine	67
II.3.4. Néotectonique	68
II.3.5. Unité du massif d'El Malah	68
II.4. Terrains sédimentaires	70
II.5. Volcanisme	70
II.5.1. Terrains volcaniques	71
II.5.2. Descriptions des différentes formations volcaniques	71
III. Eaux de surface	73
III.1. Eaux des oueds	74
III.2. Retenues collinaires	75
III.3. Hydrogéologie	77
III.3.1. Identification des aquifères existants dans la région d'Aïn Témouchent	77
a) Nappe des calcaires liasiques	77
b) Nappe des calcaires blancs Karstiques de Hassi El-Ghella	78
c) Aquifère des sables et grés du pliocène	78
d) Aquifère des alluvions quaternaires	78
e) Aquifère des basaltes Plio-quaternaires	79
f) Aquifère des calcaires et grés de l'Oligo-miocène	79
g) Aquifère du Jurassique inférieur	80
III.3.2. Caractéristiques physique des aquifères	81
III.3.3. Forages	82
III.3.4. Eaux des sources	83
IV. Etude bioclimatique de la région d'Aïn Témouchent	84
IV.1. Localisation de la station météorologique et périodes d'observation	85
IV.2. Paramètres climatiques	85
IV.2.1. variation annuelle des précipitations	85
IV.2.2. variation mensuelles des précipitations moyennes	86
IV.2.3. Variation saisonnière des précipitations	87
IV.2.4. variation annuelle des températures	88
V. Synthèse bioclimatique	89
V.1. Diagramme de Bagnouls et Gaussen	89
V.2. Indice d'aridité de De Martonne	90

A. Indice d'aridité annuel (I)	90
B. Indice d'aridité mensuel (i)	91
V.3. Indice de Moral	92
A. Indice annuel (IM)	92
B. Indice mensuel (Im)	93
V.4. Climagramme d'Emberger	93
V.5. Indice de continentalité de Kerner	95
V.6. Indice de Stewart (1969)	95
V.7. Evapotranspiration	96
V.7.1. Calcul de l'évaporation et du déficit d'écoulement	97
1. Méthode de Turc	97
2. Méthode de Coutagne	98
3. Méthode de Thornthwaite	98
4. Méthode de Wundt (1937) modifié par Coutagne (1954)	99
5. Méthode de P. Verdeil	100
V.8. Bilan hydrologique	102
V.9. Calcul du ruissellement	103
V.10. Détermination de l'infiltration	104

Cinquième chapitre
METHODOLOGIE ADOPTEE

I. Hydrochimie des eaux souterraines de la région d'Aïn Témouchent	105
II. Analyse de la qualité hydro-chimique des eaux souterraines	105
II.1. Echantillons prélevés	105
II.2. Mode d'échantillonnage	106
III. Techniques d'analyses physico-chimique	107
1. Mesures in situ	107
2. Analyses aux laboratoires	107
IV. méthodes d'interprétation des données chimiques	108
IV.1. Représentations graphiques	109
IV.1.1. Diagramme de WILCOX	109
IV.1.2. Diagramme de PIPER	109
IV.1.3. Aptitude des eaux à l'irrigation "SAR : Rapport d'adsorption du sodium"	109
IV.2. Rapports caractéristiques	110
IV.2. 1. Rapport SO_4^{-2}/Cl^-	110
IV.2. 2. Rapport Mg^{+2}/Ca^{+2}	111
IV.3. Calcul de l'indice de qualité des eaux d'irrigation	111

Sixième chapitre
**RESULTATS SUR LA RESSOURCE EN EAU SOUTERRAINE DANS LA REGION D'AÏN
TEMOUCHENT**

I. Présentation des résultats sur les eaux souterraines de la région d'Aïn Témouchent	119
I.1. Paramètres physiques	119
I.1.1. Potentiel d'hydrogène (pH)	119
I.1.2. Conductivité et minéralisation	119

I.1.3. Résidu sec	121
I.2. Paramètres hydro-chimiques	121
I.2.1. Balance ionique	122
I.2.2. Caractérisation hydrochimique des eaux des puits de la région d'Aïn Témouchent	122
I.2.3. Résultats sur diagramme Piper	123
I.2.4. Résultats sur diagramme de Wilcox	125
I.2.5. Résultats sur diagramme de SAR	126
I.3. Variation spatiale des éléments chimiques	128
I.3.1. Carte d'iso-teneurs en sodium	128
I.3.2. Carte d'iso-teneurs en potassium	129
I.3.3. Carte d'iso-teneurs en magnésium	130
I.3.4. Carte d'iso-teneurs des chlorures	131
I.3.5. Carte d'iso-teneurs des nitrates	132
I.3.6. Carte d'iso-teneurs des sulfates	133
I.3.7. Carte d'iso-teneurs en calcium	133
I.3.8. Carte d'iso-teneurs des bicarbonates	134
I.4. Résultats sur les forages du bassin d'Oued El Malah	135
I.4.1. Balance ionique	135
I.4.2. Caractérisation hydrochimique des eaux de forages du bassin d'Oued El Malah	136
I.4.3. Résultats sur diagramme Piper	137
I.4.4. Qualité des eaux pour l'irrigation	139
I.4.4.1. Salinité	139
I.4.4.2. Résultats sur diagramme de Wilcox	139
I.4.4.3. Résultats sur diagramme de SAR (Rapport d'adsorption du sodium)	141
I.4.5. Variation spatiale des éléments chimiques	142
I.4.5.1. Carte d'iso-teneurs en sodium	143
I.4.5.2. Carte d'iso-teneurs en potassium	144
I.4.5.3. Carte d'iso-teneurs en magnésium	145
I.4.5.4. Carte d'iso-teneurs des chlorures	146
I.4.5.5. Carte d'iso-teneurs des nitrates	147
I.4.5.6. Carte d'iso-teneurs des sulfates	148
I.4.5.7. Carte d'iso-teneurs en calcium	149
I.4.5.8. Carte d'iso-teneurs des bicarbonates	150
II. Résultats de l'indice de qualité des eaux souterraines (IWQI) d'Oued El Malah	150
II.1. Interprétation de paramètres de calcul de l'indice IWQI	150
II.2. Evaluation de l'indice de qualité des eaux d'irrigation (IWQI)	152
II.2.1. Risque de la salinité	152
II.2.2. Risque de la perméabilité (SAR)	153
II.2.3. Toxicité spécifique	154
II.2.4. Divers effets	154
II.3. Indice de qualité des eaux d'irrigation (IWQI)	155
III. Résultats des rapports caractéristiques	158
III.1. Interprétation des rapports caractéristiques des puits	158
III.2. interprétation des rapports caractéristiques des forages	159

VI. Synthèse globale sur l'ensemble des points d'eau (puits et forages)	160
VI.1. Résultats sur les valeurs Médianes, Maximales et Minimales	160
VI.2. Résultats sur le cercle de corrélation	161
VI.3. Résultats sur la carte d'analyse en composantes principales ACP	163
VI.4. Résultats sur la carte d'analyse des correspondances	164
VI.5. Résultats sur la carte d'analyse factorielle des correspondances AFC	165

Septième chapitre
DISCUSSIONS

Discussions	167
-------------	------------

CONCLUSION GENERALE **175**

PERSPECTIVES	178
--------------	------------

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXES

PUBLICATION (Article scientifique).

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

L'eau est l'élément dans lequel les premières formes de vie ont émergé, puis se sont développées. De toutes les substances nécessaires à la vie telle que nous la connaissons sur cette terre, l'eau est la plus importante. C'est une ressource naturelle vitale, indispensable à la survie et à la satisfaction des besoins domestiques. Elle est également une source de bien-être et de progrès, mais aussi une richesse nécessaire à toutes les activités humaines (**Kettab, 2001**).

Les changements climatiques et leurs répercussions sur l'eau constituent un réel défi des temps présents. Ils représentent en outre un sujet de recherche pertinent, rendant ainsi le développement des méthodes de prédiction du climat futur très nécessaire. Nombreuses sont les études réalisées sur l'impact des changements climatiques sur le régime hydrique des cours d'eau (**Khaldi, 2005**).

L'Algérie et surtout l'ouest, a connu plusieurs grandes sécheresses durant ce siècle, les années 40 et les années 80 jusqu'à nos jours, la plus récente a été caractérisée par la diminution de la pluviométrie associée à l'accroissement considérable de la température durant les deux dernières décennies et a influencé par son ampleur spatiale, son intensité et par son impact majeur sur la diminution des ressources en eau (**Khaldi, 2005**).

Dans de nombreuses régions soumises au climat aride et semi-aride, les eaux souterraines constituent la principale ressource en eau destinée à la fois pour l'approvisionnement en eau potable pour les populations que pour l'usage, industriel et agricole. L'utilisation excessive des eaux souterraines dans de telles régions, où l'influence de la variabilité climatique est très prononcée, a été à l'origine de la dégradation de cette ressource tant d'un point de vue quantitatif que qualitatif. L'engagement des pouvoirs publics pour le programme de développement agricole dans la perspective d'assurer la sécurité alimentaire, de nombreux pays en développement ont adopté les nouvelles techniques en agriculture, dans le but d'avoir une meilleure productivité agricole. Mais l'expérience a montré que pour atteindre cet objectif, il faut que certains facteurs soient réunis, tels que la qualité des sols et de l'eau d'irrigation, ainsi que les bonnes pratiques agricoles (**Toumi et al., 2015**).

Les eaux souterraines sont plus propres et ne nécessitent pas de très grands traitements comparées aux eaux de surface. Dans plusieurs régions côtières de l'Algérie, l'eau souterraine apparaît comme étant la source d'eau douce répondant le mieux aux exigences domestiques, agricoles et industrielles, notamment dans les régions qui ne reçoivent pas des précipitations importantes et régulières (**Bellaredj, 2013**).

Cette situation se retrouve dans le cas de la région d'Aïn Témouchent bordant au Nord la mer et au Sud-Est la sebkha d'Oran, avec une moyenne annuelle s'établit aux environs de 400 mm.

Depuis la plus haute antiquité et dans beaucoup de régions du monde, les êtres humains ont su tirer du sous-sol une part notable, parfois majeure, de l'eau nécessaire à leurs besoins. Partout où des eaux souterraines accessibles et exploitables ont été reconnues, il a été compris qu'elles étaient des sources d'approvisionnement plus extensives et plus stables que les eaux de surface – surtout dans les régions du monde où celles-ci sont rares et irrégulières, tout particulièrement en zones aride et semi-aride – et plus à la portée de nombreux usagers. Aussi, l'exploitation et l'utilisation des eaux souterraines ont une forte spécificité dans l'économie de l'eau (**Badraoui et al., 1998**).

Pour déterminer la disponibilité de l'eau pour l'irrigation, il faut tenir compte de son aspect quantitatif et qualitatif. Malheureusement, dans le pays connaissant un stress hydrique, l'aspect qualitatif de l'eau a été le plus souvent négligé. La notion de qualité doit englober la manière dont l'approvisionnement en eau répond aux besoins de l'utilisateur prévu et doit être évaluée en fonction de son aptitude à une utilisation bien déterminée (**Ayers et al., 1985**).

Parmi les problématiques les plus répandues et qui secouent actuellement le monde entier, nous citons celle de la qualité des eaux souterraines. Les ressources en eau en exploitation sont partout insuffisantes, les nouvelles ressources potentielles sont rares, éloignées et donc coûteuses à mobiliser.

A cet effet, la gestion intégrée des ressources en eau est devenue une nécessité absolue et ce dans la perspective de concilier le développement socio-économique et la préservation de l'environnement. Ceci est loin d'être accomplis en Algérie,

particulièrement dans le contexte actuel où le volet socio-économique a pris le dessus sur les exigences environnementales. (**Hallouche, 2017**).

Dans l'évaluation de la qualité des eaux d'irrigation on doit tenir compte d'un certain nombre de paramètres chimiques (la concentration en sodium, la présence de nutriments et d'oligo-éléments, l'alcalinité, l'acidité et la dureté de l'eau) qui a des teneurs relativement élevées auront un impact négatif, aussi bien sur la qualité des sols que sur le développement des végétaux. Le rapport des ions sodium aux ions calcium et magnésium peut être utilisé pour évaluer le degré auquel l'eau d'irrigation a tendance à entrer dans les réactions d'échange de cations dans le sol (**Richards, 1969**).

Ce rapport, appelé rapport d'adsorption de sodium (SAR), est utilisé pour déterminer le risque de sodium pour les eaux d'irrigation. Cet indice évolue linéairement avec la teneur en sodium. Des valeurs élevées du SAR réduisent l'aptitude de l'eau pour l'irrigation. La sodicité des sols est provoquée par l'effet spécifique des ions sodium adsorbés sur le complexe d'échange de minéraux argileux (**Hadji et al., 2012**).

Les sols sodiques ont un pH de plus de 8,2 avec une prépondérance de carbonate et bicarbonate de sodium (**Richards, 1954**).

Ceci entraîne une saturation en sodium de la fraction argileuse, ce qui provoque la dispersion des particules d'argile avec, comme conséquence la réduction de la porosité des sols. Le sol devient alors compact et imperméable, ce qui empêche l'aération et l'infiltration de l'eau dans le sol, élément nécessaire pour la croissance normale des plantes (**Ghassemi et al., 1995 ; Gupta et al., 1990**).

L'objectif de cette recherche consiste à caractériser les aléas climatiques de la région d'Aïn Témouchent et leurs impacts sur la ressource eau souterraine dans cette région, et une meilleure connaissance des potentialités hydriques (quantitative et qualitative) de la région, qui s'avèrent d'un intérêt capital pour pouvoir définir les mesures à prendre en vue d'assurer l'adéquation ressources / besoins. L'évaluation de la qualité des eaux souterraines destinées à l'irrigation des terres agricoles a fait l'objet de cette étude. On envisage de mettre en œuvre une cartographie par le système d'information géographique (SIG), et ce, pour représenter la répartition spatiale et les caractéristiques de la qualité des eaux souterraines.

Le thème proposé est structuré de la manière suivante :

Une introduction générale, qui décrit la problématique du sujet et les objectifs visés.

La première partie, est une synthèse bibliographique subdivisée en trois chapitres :

- **Le premier chapitre** est un rappel sur les aléas climatiques et leurs impacts sur les ressources en eaux ;
- **Le deuxième chapitre**, est un aperçu bibliographique sur la situation des ressources en eau dans le monde et, plus particulièrement, en Algérie ;
- **Le troisième chapitre**, est consacré à l'étude de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution. Nous avons également déterminé les principales sources de pollution qui peuvent contaminer les nappes d'eau de cette région.

La deuxième partie, est articulée sur quatre chapitres ;

- **Le quatrième chapitre**, donne une présentation détaillée de la zone d'étude ; car une évaluation de la qualité des eaux souterraines nécessite une compréhension globale du territoire concerné. Les principales caractéristiques géologiques et hydro-géologiques ont été abordées dans ce chapitre. Ensuite, une synthèse climatologique a été faite sur la région d'Aïn Témouchent ;
- **Le cinquième chapitre**, est consacré aux modalités d'échantillonnage, aux différentes méthodes hydrochimiques adoptées et les techniques d'analyse statistique ;
- **Le sixième chapitre**, analyse des résultats obtenus (les caractéristiques géochimiques des eaux des principales nappes aquifères de la région) pour chaque échantillon, afin de suivre la qualité physico-chimique des eaux échantillonnées, ainsi que l'évolution des différents faciès chimiques ;
- **Le septième chapitre**, est réservé à la discussion des résultats obtenus.

Avec à la fin une conclusion générale, et des perspectives.

Première partie

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Premier chapitre

**ALEAS CLIMATIQUES ET
IMPACTS SUR LA RESSOURCE
EN EAU SOUTERRAINE DANS
L'OUEST ALGERIEN**

I. Aléas climatiques

L'aléa climatique peut être soit une évolution tendancielle, soit un événement extrême climatique susceptible de se produire avec une probabilité plus ou moins élevée pouvant entraîner des dommages sur les populations, les activités et les milieux (**Webmaster 1**)

Le réchauffement climatique, épuisement des ressources naturelles, destruction de l'environnement, pollution de l'air, du sol et de l'eau provoquée par les industries diverses, disparité des richesses, raréfaction de l'eau, extinction des espèces vivantes, etc. sont les causes de l'activité humaine qui ont des répercussions sur l'environnement : Elles produisent des rejets (émission de polluants, eaux usées, production de déchets), Elles modifient et dégradent le sol, Elles utilisent abusivement et font disparaître les ressources, le dérèglement climatique et ses conséquences constat (**Webmaster 1**).

Les aléas climatiques naturels sont de quatre ordres :

- Géologiques : séisme, glissement de terrain, écroulement, éboulement, coulée de boue, érosion du littoral.
- Volcaniques : coulée de lave, expulsions de cendres, panaches volcaniques.
- Météorologiques : orage, foudre, pluie torrentielle, inondation, neige, avalanche, canicule, sécheresse, grand froid, tempête, cyclone, tornade, etc.
- Maritimes : forte houle, tsunami, submersion marine.

La planète connaît depuis quelques années d'importantes variations du climat qui amplifient certains aléas climatiques. Les 2 tempêtes de 1999 (Lothar-Martin) et de 2009 (Klaus) en sont les conséquences catastrophiques.

Des pluies torrentielles peuvent provoquer des crues dévastatrices. Aucune région française n'est épargnée. La température globale terrestre a augmenté de 1°C au cours du XX^e siècle entraînant des incidences dramatiques dues à l'activité anthropique dans les aléas climatiques (**Webmaster 1**).

II. Changements climatiques

Le changement climatique désigne l'ensemble des variations des caractéristiques climatiques en un endroit donné, au cours du temps : réchauffement ou refroidissement.

Certaines formes de pollution de l'air, résultant d'activités humaines, menacent de modifier sensiblement le climat, dans le sens d'un réchauffement global (**Déqué, 2005**). Ce phénomène peut entraîner des dommages importants : élévation du niveau des mers, accentuation des événements climatiques extrêmes (sécheresses, inondations, cyclones,...), déstabilisation des forêts, menaces sur les ressources d'eau douce, difficultés agricoles, désertification, réduction de la biodiversité, extension des maladies tropicales, etc. (**Déqué, 2005**).

Selon **GIEC (1995)**, ce changement climatique s'accompagnerait :

- d'une perturbation du cycle de l'eau ;
- d'une augmentation de la fréquence et de l'intensité des catastrophes naturelles d'origine climatique (sécheresses, inondations, tempêtes, cyclones) ;
- d'une menace de disparition de certains espaces côtiers, en particulier les deltas, les mangroves, les récifs coralliens, les plages d'Aquitaine, etc. ;
- d'une diminution de 17,5 % de la superficie émergée du Bangladesh, de 1 % de celle de l'Egypte ;
- favoriserait la recrudescence du paludisme, et l'extension de maladies infectieuses comme la salmonellose ou le choléra ;
- accélérerait la baisse de la biodiversité : disparition d'espèces animales ou végétales (**GIEC, 1995**).

Pour la France, les simulations réalisées par les experts de Météo France suggèrent que le changement climatique :

- réduirait le caractère tempéré du climat avec un réchauffement moyen de l'ordre de 2° C ;
- modifierait le régime des précipitations : augmentation de 20 % en hiver, diminution de 15 % l'été ;
- pourrait entraîner la disparition d'entre un tiers et la moitié de la masse des glaciers alpins au cours des cent prochaines années ;
- pourrait entraîner une réduction sensible du manteau neigeux dans les Alpes et les Pyrénées ;
- pourrait entraîner un affaiblissement du Gulf Stream, avec comme conséquence un refroidissement sensible de notre façade océanique (-4°C), ramenant les

températures moyennes en France au niveau de celles atteintes lors de la dernière glaciation (GIEC, 1995).

III. Evolution spatiotemporelle du changement climatique

Le réchauffement climatique de la planète ne fait désormais plus aucun doute, et nombreuses sont les observations qui attestent de l'augmentation des températures de l'atmosphère et des océans, de la fonte généralisée de neiges et des glaces, ainsi que l'élévation du niveau moyen des mers dans le monde.

Onze des douze dernières années (1995-2006) figurent parmi les douze années les plus chaudes jamais enregistrées depuis que les températures de la surface du globe sont mesurées (1850).

Au cours des cent dernières années (1906-2005), la température moyenne de la planète a augmenté de 0,74°C, soit une augmentation plus élevée que celle de 0,6°C mentionnée dans le TRE pour la période 1901-2000.

La courbe du réchauffement observée au cours des 50 dernières années, chiffrée comme étant égale à plus de 0,13°C par décennie, est presque deux fois plus forte que celle de ces cent dernières années. Les températures de la haute atmosphère et des océans (à des profondeurs d'au moins 3000 m) ont également augmenté, tout comme la teneur en vapeur d'eau de l'atmosphère.

Dans les deux hémisphères, les glaciers de montagnes, la couverture neigeuse et les calottes glaciaires ont fondu pour la plupart, contribuant ainsi à l'augmentation du niveau des mers dans le monde.

La fonte de la couverture de glace en Groenland et de l'Antarctique a également concouru à l'élévation du niveau des mers qui, au XX^e siècle, a atteint 17 cm au total.

De nombreux changements climatiques à long terme ont également été observés à l'échelle des continents, des régions et des bassins océaniques.

Ces changements au niveau des températures et de la glace dans l'Arctique, apparaissent comme étant des changements généralisés au niveau de la quantité de précipitations, de la salinité des océans, des régimes des vents, et de certains épisodes

météorologiques extrêmes, comme les sécheresses, les fortes précipitations, les fréquences de vagues de chaleur et l'intensité des cyclones tropicaux (Fellous, 2005).

Les conclusions du dernier Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (IPCC) confirment la thèse d'une augmentation de la température dans le monde depuis le début de l'ère industrielle et une accélération du réchauffement depuis 1975 (IPCC, 2007).

Ceci aura des conséquences à l'échelle planétaire, à savoir une augmentation des fréquences d'apparition des phénomènes climatiques extrêmes (inondations, sécheresses...), décroissance de la production agricole, hausse régionale importante des températures, migration humaine d'une région à une autre, dégradation de la qualité des eaux douces (Fellous, 2005).

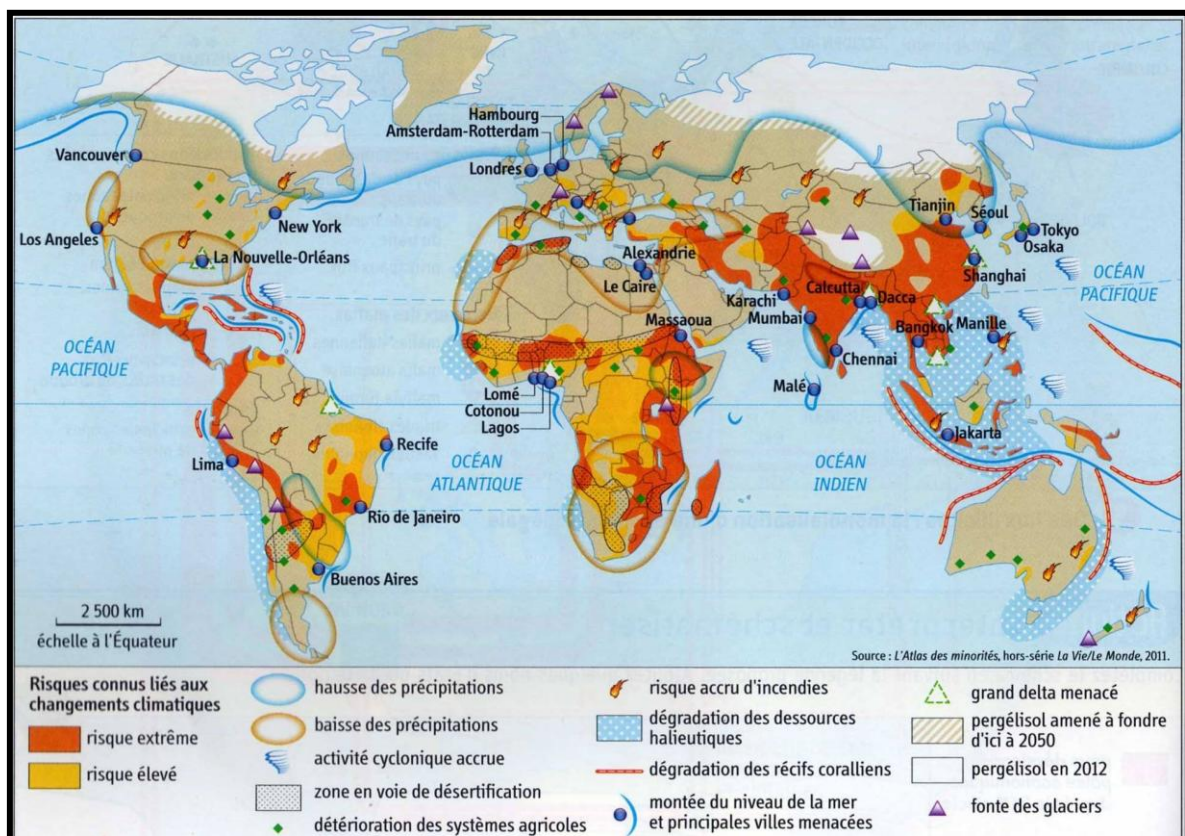


Figure N° 01 : Conséquences du changement climatique à l'échelle mondiale.
(Source : L'Atlas des minorités, hors série La Vie / Le Monde, 2011)

Bien que le réchauffement affecte le monde entier, les contrastes régionaux sont présentés avec le réchauffement plus marqué dans l'hémisphère nord et le réchauffement rapide des deux pôles planétaires (Chaouche et al., 2010).

On peut donc s'interroger sur les conséquences de ce réchauffement sur le cycle de l'eau globale et dans le Nord Algérien en particulier. En effet, cette région est probablement très sensible aux changements climatiques. Elle se situe géographiquement dans une zone de transition entre le régime climatique Africain, très chaud et sec au Sud, et le climat européen tempéré et humide dans le Nord, avec donc de grandes variations climatiques (**Fellous, 2005**).

Elle est caractérisée par des pluies d'hiver, des sécheresses estivales et des orages marqués au début d'automne et à la fin du printemps. La forte différence entre l'hiver humide et l'été sec est causés par l'alternance saisonnière de la dominance des tempêtes cycloniques en hiver et des cellules subtropicales de haute pression sur l'océan adjacent, causant des conditions sèches en été. Il est prévu une augmentation de la variabilité climatique saisonnière, avec :

- (i) les étés plus chauds et plus secs dans les régions semi-arides,
- (ii) une augmentation de la durée et la sévérité des périodes de faible débit ou d'étiage et une diminution de la recharge naturelle des eaux souterraines (**Jentsch et al., 2007**).

Ces changements climatiques devraient s'accompagner non seulement par changement dans les valeurs moyennes des variables de cycle de l'eau, mais aussi par un accroissement de leur variabilité dans le temps. Les évènements extrêmes devraient se produire plus fréquemment et avec une plus grande intensité (**Jentsch et al., 2007**).

IV. Eau et changement climatique

Il est largement prouvé par des relevés d'observations et des projections climatiques que les sources d'eau douce sont vulnérables et auront à souffrir gravement du changement climatique, avec de grandes répercussions sur les sociétés humaines et sur les écosystèmes (**Bates et al., 2008**).

- Le réchauffement observé pendant plusieurs décennies a été relié aux changements survenus dans le cycle hydrologique à grande échelle, notamment : l'augmentation de la teneur en vapeur d'eau de l'atmosphère, la modification de la configuration, de l'intensité et des extrêmes des précipitations, la diminution de la couverture neigeuse et la fonte des glaces accrue, ainsi que la modification de l'humidité du sol et du ruissellement. Les changements dans les précipitations sont très variables à l'échelle spatiale et d'une décennie à l'autre (**GIEC, 2008**).

Au cours du XX^e siècle, les précipitations ont surtout augmenté sur les continents dans les latitudes les plus septentrionales, tandis que des diminutions ont principalement touché les latitudes comprises entre 10°S et 30°N depuis les années 1970. La fréquence des épisodes de fortes précipitations (ou la partie des précipitations totales imputable à de fortes pluies) a augmenté dans la plupart des régions. Au niveau mondial, la superficie des terres considérées comme très sèches a plus que doublé depuis les années 1970 (GIEC, 2008).

Le volume d'eau stocké dans les glaciers de montagnes et la couverture neigeuse de l'hémisphère Nord a considérablement diminué. On a observé des décalages dans les variations saisonnières du débit des rivières alimentées par la fonte des glaciers et de la neige et dans les phénomènes liés à la glace dans les rivières et les lacs (GIEC, 2008).

Vers le milieu du XXI^e siècle, le débit moyen annuel des cours d'eau et la disponibilité en eau devraient augmenter en raison du changement climatique aux latitudes élevées et dans certaines zones tropicales humides, et diminuer dans des régions sèches aux latitudes moyennes et dans les régions tropicales sèches. De nombreuses régions semi-arides et arides (par exemple, le bassin méditerranéen, l'ouest des États-Unis d'Amérique, le sud de l'Afrique et le nord-est du Brésil) sont particulièrement exposées aux incidences du changement climatique et devraient voir leurs ressources en eau diminuer en conséquence (GIEC, 2008).

L'augmentation de l'intensité et de la variabilité des précipitations devrait augmenter les risques de crue et de sécheresse dans plusieurs régions. La fréquence des épisodes de fortes précipitations (ou la partie des précipitations totales imputables à de fortes pluies) augmentera de manière très probable dans la plupart des régions au cours du XXI^e siècle, ce qui augmentera le risque de crues d'origine pluviale. En même temps, le pourcentage de la superficie terrestre soumis à une sécheresse extrême à un moment donné devrait augmenter, venant s'ajouter à la tendance à la sécheresse prévue pour l'intérieur des terres pendant l'été, en particulier dans les régions subtropicales, à des latitudes basses à moyennes. (GIEC, 2008).

- L'eau stockée dans les glaciers et la couverture neigeuse devrait diminuer au cours du siècle, réduisant ainsi la disponibilité en eau pendant les périodes chaudes et sèches (via un décalage saisonnier de l'écoulement fluvial, une augmentation du

rapport du débit hivernal sur le débit annuel, et une réduction des basses eaux) dans les régions alimentées en eau de fonte des principales chaînes montagneuses, où vit actuellement plus du sixième de la population mondiale (GIEC, 2008).

- L'augmentation de la température des eaux et les variations des phénomènes extrêmes, notamment les crues et les sécheresses, devraient influencer la qualité de l'eau et aggraver de nombreuses formes de pollution aquatique (sédiments, nutriments, carbone organique dissous, organismes pathogènes, pesticides et sel) ainsi que la pollution thermique, avec d'éventuelles conséquences néfastes sur les écosystèmes, la santé publique, la fiabilité des systèmes de distribution d'eau et les coûts d'exploitation. De plus, l'élévation du niveau de la mer devrait étendre les zones de salinisation des eaux souterraines et les estuaires, ce qui entraînera une diminution de la disponibilité en eau douce pour l'homme et les écosystèmes dans les zones côtières (GIEC, 2008).
- Au niveau mondial, les impacts négatifs du changement climatique sur les systèmes d'eau douce à venir devraient l'emporter sur les avantages. À l'horizon 2050, la superficie des terres sujettes à un stress hydrique croissant en raison du changement climatique devrait être plus du double de celle des terres soumises à un stress hydrique décroissant. Les régions où le ruissellement est appelé à décroître seront confrontées à une réduction nette de la valeur des services fournis par les ressources en eau. Une augmentation du ruissellement annuel dans certaines régions devrait entraîner une augmentation de l'approvisionnement total en eau. Cependant, dans de nombreuses régions, cet avantage sera probablement contrebalancé par les effets négatifs de la variabilité accrue des précipitations et des variations saisonnières du ruissellement sur l'approvisionnement en eau, la qualité de l'eau et les risques d'inondation (GIEC, 2008).
- Des changements dans la quantité et la qualité de l'eau attribuables au changement climatique devraient influencer la disponibilité, la stabilité et l'utilisation des aliments ainsi que l'accès à ces derniers. Ceci devrait entraîner une diminution de la sécurité alimentaire et une vulnérabilité accrue des cultivateurs dans les zones rurales pauvres, en particulier dans les régions tropicales arides et semi-arides et dans les méga-deltas asiatiques et africains (GIEC, 2008).

V. Problématique de l'eau liée au changement climatique

Pour le Maghreb, les ressources hydriques sont sensibles à la variabilité climatique. Les perspectives fondées sur le changement climatique font ainsi peser des risques importants sur les systèmes agricoles.

Le modèle MAGICC selon Hulme et al (2001), centré sur cette région, estime en effet un réchauffement de l'ordre de 1°C entre 2000 et 2020, et une perturbation des régimes pluviométriques avec une tendance à la baisse, de l'ordre de 5 à 10°C. À plus long terme, la température pourrait augmenter de 3°C d'ici 2050 et dépasser les 5°C en 2100 (Arrus et al., 2007).

D'après ce même auteur, dans cette région les ressources hydriques sont vulnérables aux variations du climat. L'eau et sa gestion conditionnent l'avenir de cette région, indépendamment de tout changement climatique. La forte sensibilité des bassins hydrologiques à de faibles écarts des variables hydro-climatiques implique que le volume d'eau mobilisable sera fortement touché par la diminution du ruissellement. Au regard des estimations des besoins sectoriels, le changement climatique pourrait ainsi placer ces pays dans des situations inconfortables puisque le volume maximal mobilisable ne satisfera pas leurs besoins en eau, voire déficitaire, particulièrement en Algérie, d'ici 2020 (Arrus et al., 2007).

Par son appartenance géographique à la zone aride et semi-aride, l'Algérie est soumise à des conditions physiques et hydro-climatiques défavorables, accentuées par des périodes de sécheresse chronique. L'Algérie présente une grande sensibilité au climat, notamment dans les hauts plateaux et la steppe qui couvrent environ 60% des terres viables du Nord (PNUD, 2009).

Une modification du climat est donc inéluctable et il en résultera des impacts significatifs, liés entre autres à l'augmentation des températures et des précipitations, à la raréfaction des ressources en eau et à la hausse de la fréquence des tempêtes. D'autres impacts sont étudiés : la perte de biodiversité et la dégradation d'écosystèmes, la hausse du risque de famines, les mouvements de populations, ainsi que les incidences sur la santé (PNUD, 2009).

VI. Changement climatique en Algérie

En Algérie, pays dont la plus grande partie est désertique, les changements climatiques constituent une préoccupation majeure. En effet, de par sa position géographique, l'Algérie est exposée aux effets négatifs des changements climatiques et des émissions des gaz à effet de serre, notamment les inondations, la sécheresse et les températures élevées (**MATE, 2003**).

D'après des études réalisées par l'ONM sur l'évolution des températures, elles ont révélé que celles-ci sont en hausse depuis 1990, date du début des émissions à effet de serre.

Concernant la pluviométrie en Algérie, les constatations font ressortir un recul de 12% pour la période 1990-2005 en comparaison avec 1961-1990, causant une sécheresse à grande échelle au moment même où d'autres régions enregistrent des inondations dont celle de Bab El Oued en 2001 et dans la ville d'El Taref en 2012 (**MATE, 2003**).

D'après le travail d'élaboration d'une cartographie de la pluviométrie du nord algérien par **Laborde (1997)** en collaboration avec l'ANRH l'Agence Nationale des Ressources en eau, montre que le changement climatique s'est fait sentir sur le Nord-Ouest de l'Algérie, particulièrement dans les bassins de la Mactaa, de la Tafna et du Chellif, dans le sens où la pluviométrie a fortement diminué sur cette région.

L'évolution des températures en Algérie montre une hausse sur l'ensemble du territoire au cours des saisons d'hiver et d'automne et une hausse nette des températures minimales et maximales dans toutes les stations de l'Algérie du Nord et se prolonge jusqu'à nos jours. Durant ces 20 dernières années, les températures maximales ont augmenté plus que les minimales (**MATE, 2003**).

Dans la partie occidentale de l'Algérie, les précipitations enregistrées depuis 1930 montrent de nombreuses années déficitaires, puis sur l'ensemble des décennies 80 et 90. Sur la période 1930-2002, les précipitations annuelles présentent une baisse de l'ordre de 40%. À Sidi Bel Abbes les précipitations annuelles moyennes ont été de l'ordre de 259 mm/an seulement de septembre 2002 à août 2007, contre 292 mm/an de septembre 1980 à août 2002, les lames d'eau écoulées annuelles des bassins versants de l'oued El Hammam

à Trois Rivières et de l'oued Mekerra à Sdi Ali Benyoub et à Sidi Bel Abbes ont diminué de 28% à 36% en moyenne par rapport à la période 1949-1976. Dans le même temps les précipitations ont diminué de 26% à 28% entre 1949-1976 et 1976-2002, les débits annuels moyens sont passés de 4,58 à 2,93 m³/s à Trois Rivières, de 0,27 à 0,19 m³/s à Sidi Ali Benyoub et de 1,14 à 0,81 m³/s à Sidi Bel Abbes (**Meddi et al., 2009**).

VII. Impacts attendus des changements climatiques sur les ressources en eau

Une intensification générale des pluies torrentielles. Cela induirait une augmentation des inondations et du ruissellement tout en réduisant les possibilités d'infiltration de l'eau dans le sol (**PNUE et UNFCCC, 2001**).

Des modifications du régime des saisons pourraient affecter la répartition régionale des ressources en eaux tant souterraines que superficielles. Dans les climats secs, des modifications relativement faibles des températures et des précipitations pourraient provoquer une évolution relativement importante de l'écoulement. Les régions arides et semi-arides seront donc particulièrement sensibles à une diminution des précipitations et à une augmentation de l'évaporation. De nombreux modèles climatiques prévoient une baisse des précipitations moyennes dans les régions déjà sèches : Asie centrale, Méditerranée, Afrique, Sahel et Australie (**PNUE et UNFCCC, 2001**).

Le stockage des eaux de surface pourrait diminuer avec les pluies diluviennes et les glissements de terrain favorisant l'envasement et la réduction de la capacité des réservoirs. Une augmentation des pluies diluviennes et des inondations pourrait engendrer de plus grandes pertes d'eau sous forme de ruissellement. Cela pourrait influencer à long terme sur les nappes souterraines. La qualité de l'eau pourrait également varier en fonction de la quantité et du moment des précipitations (**PNUE et UNFCCC, 2001**).

VII.1. Impacts sur les écoulements de surface

La sécheresse intense et persistante, observée en Algérie durant les 30 dernières années et caractérisée par un déficit pluviométrique évalué à 30% (50% durant l'année 2001- 2002), a eu un impact négatif sur les régimes d'écoulement des cours d'eau, entraînant des conséquences graves sur l'ensemble des activités socio-économiques du pays (**PNUD, 2009**).

Tableau N° 01 : Apports par région hydrographique.
(Source : PNUD, 2009)

	Apport (Hm ³ /an) Période globale	Apport (Hm ³ /an) Période sèche	Taux de réduction en %
Oranie Chott-Chergui	385	265	31%
Cheliff – Zahrez	1650	1155	30%
Algérois- Hodna –Soummam	4290	2634	39%
Constantinois - Seybouse -Mellegue	4985	4137	17%
Sahara	620	440	29%
TOTAL	11930	8631	28%

Ces nouvelles données n'insinuent que toutes les prédictions calculées à partir des données historiques sur le cycle naturel et qui servent de base aux décisions d'investissement dans l'hydraulique doivent être réétudiées en fonction des nouvelles données de climat. En tenant compte de la sécheresse, les estimations du potentiel hydrique pourraient être revues à la baisse à 17 milliards de m³/an avec 10 milliards de m³ des ressources superficielles dans la région Nord, soit une diminution de 11% par rapport au potentiel en eau estimé initialement à 19,4 milliards de m³ (PNUD, 2009).

VII.2. Impacts sur les eaux de barrages

Les changements affectant la retenue des eaux de surface sont dus à l'envasement et à la diminution du ruissellement (Kadi, 1997) :

- **L'envasement** : La nature et la morphologie des terrains en pente, la fragilité du couvert végétal, le manque de boisement et l'urbanisation en amont des barrages engendrent une forte érosion qui réduit la capacité de stockage des barrages de 2 à 3% chaque année, à cause de l'envasement dû aux transports et au dépôt de sédiments par les eaux de pluie. Actuellement, 14 barrages sur la soixantaine existante sont envasés (PNUD, 2009).
- **La diminution du ruissellement** : La contribution du ruissellement aux eaux de surface a systématiquement diminué. Les flux trop faibles ne permettent pas de remplir suffisamment les barrages existants (PNUD, 2009).

VII.3. Impacts sur les nappes phréatiques

La diminution des pluies due aux sécheresses qui sévissent depuis le début des années 70 a entraîné une baisse constante des réserves d'eau souterraine des principales

nappes aquifères du nord du pays. Dans beaucoup de plaines du pays, le niveau des nappes phréatiques a déjà chuté dans des proportions alarmantes (> 20 m).

L'aggravation des sécheresses conjuguée à la surexploitation des nappes phréatiques a entraîné la minéralisation des zones non saturées des nappes aquifères profondes, dans les régions semi-arides comme le plateau d'Oran et les hautes plaines occidentales. Le taux moyen d'utilisation des nappes phréatiques est de 79% dans la région Nord, il peut parfois atteindre et dépasser les 90% dans certaines zones (PNUD, 2009).

Dans les régions côtières, la baisse des niveaux de pression hydrostatique a d'ores et déjà entraîné la pénétration d'eau de mer dans les réserves d'eau douce des nappes aquifères côtières des régions de la Mitidja, d'Oran, de Terga et d'Annaba (PNUD, 2009).

VII.4. Impact direct sur la ressource en eau souterraine

D'après les études menées, les changements climatiques auront des répercussions directes sur les ressources en eau souterraine, aussi bien sur le plan quantitatif que qualitatif.

a. Modification des flux entrants et des flux sortants

La recharge en eau des nappes souterraines, et plus particulièrement des nappes libres, se fait grâce à l'infiltration de l'eau de pluie. Cette recharge dépend donc des précipitations. Les différentes études menées sur les changements climatiques montrent, en règle générale, une diminution des précipitations, notamment pour la période estivale. À cela s'ajouterait une augmentation de l'évapotranspiration, ce qui diminuerait encore l'eau réellement infiltrée (Webmaster 2).

La diminution du flux entrant dans le système changerait les conditions de recharge des systèmes hydrogéologiques.

Pour les flux sortants, il existe une étroite relation entre les cours d'eau et les aquifères souterrains. Généralement, les cours d'eau alimentent les nappes en hiver et sont alimentés par ces dernières en été.

Si les cours d'eau sont amenés à connaître des périodes d'étiage plus importantes, alors les nappes joueraient un rôle plus important en matière d'alimentation des cours

d'eau. Le volume d'eau sortant des nappes serait alors plus important et étalé sur une plus grande période (**Webmaster 2**).

b. Modification de l'interaction nappes / cours d'eau

En période hivernale ou de hautes eaux, ce sont les cours d'eau qui alimentent les nappes. Ainsi, une baisse des débits des cours d'eau engendrerait une plus faible recharge des eaux souterraines en hiver.

c. Intrusion marine

Les systèmes hydrogéologiques côtiers sont caractérisés par une interface eau douce / eau salée. Certains de ces systèmes pourraient être impactés par une surcote du niveau marin et un déplacement du trait de côte vers l'intérieur du domaine continental. Ces deux facteurs pourraient perturber l'équilibre actuellement existant par un déplacement du front de salinité et une modification du biseau salé. Les captages en eau de ces aquifères seraient alors en péril.

VII.5. Impact indirect dû à la pression de l'homme sur son environnement

Le changement climatique va induire également des impacts indirects sur la ressource en eau souterraine avec par exemple :

- une **augmentation des volumes prélevés pour la consommation domestique**, particulièrement pendant les périodes de sécheresse qui pourraient être de plus en plus fréquentes dans le futur ;
- une **augmentation des prélèvements pour l'irrigation**, car plus il fait chaud, plus les plantes ont besoin d'eau ;
- une **augmentation des prélèvements d'eau souterraine** induite par la diminution des ressources disponibles en surface.

Ainsi, les questionnements portent à la fois sur le court terme avec la gestion des périodes de demandes sévères et ponctuelles comme la période d'irrigation, mais également sur le long terme avec l'effet cumulé d'un déficit de recharge ou d'alimentation, associé à une forte augmentation des prélèvements.

VII.6. Incidence du changement climatique sur l'irrigation

Les récentes fluctuations climatiques et les sécheresses, plus fréquentes au cours des trois dernières décennies, ont accentué le phénomène de dégradation des sols, engendrant ainsi la désertification des zones vulnérables comme les steppes et les hautes plaines. La tendance actuelle à des inondations plus intenses pourrait entraîner une érosion et une dégradation des sols plus importantes. Ces terres constituent de véritables potentiels agricoles et doivent assurer la sécurité alimentaire du pays ainsi que la protection de la frange côtière (PNUD, 2009).

Les ressources en eau sont capitales pour la production alimentaire. Sur les 150 000 ha irrigables, 43000 ha seulement ont été effectivement irrigués en 2007, du fait de la sécheresse et de la réaffectation des eaux d'irrigation à l'alimentation en eau potable des populations notamment à l'ouest du pays (PNUD, 2009).

VII.7. Incidence du changement climatique sur l'assainissement

Le changement climatique a des répercussions sur la santé publique, qui est la raison d'être des efforts réalisés en matière d'assainissement. La facture des épidémies de MTH (maladies à transmission hydrique) est lourde pour l'État algérien. Le coût de ces épidémies a été évalué à l'équivalent du budget de construction de plus d'une dizaine de stations de traitement des eaux. Le principal facteur de ces maladies réside dans l'insuffisance des ressources hydriques conjuguée à l'absence de traitement de certains points d'eau. Les spécialistes en matière d'assainissement essaient de mieux comprendre les liens entre changement climatique et assainissement, incluant les questions de santé et d'hygiène (PNUD, 2009).

VII.8. Risques d'inondations

S'appuyant sur des études scientifiques, les experts dans le domaine estiment que des pluies torrentielles et des orages comme ceux qui ont ravagé les régions de Bab El Oued, Ghardaïa ou Béchar seront de plus en plus fréquents. Il faut s'attendre à l'accentuation de ces phénomènes météorologiques, qui seront de plus en plus violents et dangereux (PNUD, 2009).

VIII. Impacts futurs du changement climatique

Des informations plus précises sont maintenant disponibles pour toutes les régions du monde. Elles concernent la nature des effets qui surviendront dans les décennies à venir si l'on ne parvient pas à atténuer le changement climatique.

- **L'Afrique occidentale**, au cours des 50 dernières années, a été soumise à d'importantes variations de précipitations, caractérisées à la fois par des périodes de sécheresse de longue durée, de 1970 à 1990, de nombreuses études ont décrit cette variabilité et son facteur déterminant (**Hubert et al., 1989 ; Hulme et al. 2001 ; Le Lay et al., 2005 ; Bzioui 2005 ; Fontaine et al., 2013**). Les impacts hydrologiques de ces fluctuations ne sont pas aussi bien compris, car ils nécessitent des études à plus petite échelle.
- **L'Afrique** est particulièrement vulnérable au changement climatique, à cause des pressions existant sur ses écosystèmes et de sa faible capacité d'adaptation. D'ici 2020, entre 75 et 250 millions de personnes devraient souffrir de pénurie en eau de plus en plus fréquente. La production agricole et les ressources en poissons devraient diminuer, entraînant une réduction des ressources alimentaires et une expansion de la malnutrition (**Gibelin et al., 2003**).
- **En Asie**, le changement climatique devrait augmenter les pressions existant sur les ressources naturelles et l'environnement, et donc, constituer un obstacle au développement durable. Dans l'Himalaya, la fonte des glaciers devrait provoquer davantage d'inondations et d'avalanches rocheuses, et affecter les ressources en eau au cours des deux à trois prochaines décennies. Les quantités d'eau douce disponibles seront de plus en plus faibles, à la fois en raison du changement climatique et de la croissance démographique (**Gibelin et al., 2003**).
- **Les zones côtières** très peuplées seront les plus menacées en raison de l'augmentation des inondations. D'ici 2050, le rendement des cultures pourrait s'améliorer en Asie centre et du Sud. Suite à l'augmentation des inondations et des sécheresses, les problèmes sanitaires et les décès dus à la diarrhée devraient augmenter (**Gibelin et al., 2003**).
- **En Australie** et en Nouvelle-Zélande, une importante perte de biodiversité devrait se produire dans certains sites écologiquement riches, tels que la grande barrière de corail. Les problèmes liés à la disponibilité en eau douce devraient s'intensifier et la

production agricole et forestière devrait diminuer en raison de l'augmentation des sécheresses et des incendies (**Gibelin et al., 2003**).

- **D'ici 2050**, les risques liés à l'élévation du niveau des mers ainsi qu'aux tempêtes et inondations côtières – qui se feront de plus en plus graves et de plus en plus fréquentes – devraient être exacerbés par le développement en cours des côtes et la croissance démographique. La région possède une grande capacité d'adaptation en raison de sa solide économie et de ses ressources scientifiques et techniques avancées, mais les systèmes naturels ne peuvent s'adapter que jusqu'à un certain point (**Gibelin et al., 2003**).
- **En Europe**, on a pu observer et étudier tout un éventail d'impacts des changements dans le climat actuel : recul des glaciers, saisons de croissance des cultures plus longues, changements dans la répartition géographique des espèces ou encore problèmes de santé en raison d'une vague de chaleur sans précédent. D'après les prévisions, la quasi-totalité des régions européennes pâtira du changement climatique, ce qui aura comme résultat d'accroître les différences régionales en matière de ressources naturelles et de biens. Cela aura des conséquences pour de nombreux secteurs économiques (**Gibelin et al., 2003**).
- **Les risques sanitaires** liés aux canicules devraient augmenter en Europe du Sud, en Europe centrale et en Europe de l'Est. Parmi les autres impacts négatifs attendus, on peut également citer les risques accrus d'inondations côtières et des terres intérieures et des extinctions importantes d'espèces dans les zones montagneuses (**Gibelin et al., 2003**).
- **En Europe du Nord**, le changement climatique devrait être bénéfique dans un premier temps, par exemple à travers une baisse de la demande en chauffage. Mais il est probable que les effets négatifs finissent par l'emporter à mesure que le changement climatique se poursuit (**Gibelin et al., 2003**).
- **Dans le Sud-Ouest** de la France, une tendance de la baisse de l'ETP en février est estimée à une moyenne 0,2 mm par an dans la zone étudiée (**Chaouche et al., 2010**).
- **En Amérique latine**, l'aridité accrue des sols en raison du réchauffement climatique devrait entraîner une disparition progressive des forêts tropicales au profit de la savane ainsi qu'une salinisation et une désertification des terres

agricoles. Il existe un risque important d'extinction d'espèces dans de nombreuses régions tropicales (**Gibelin et al., 2003**).

- La disparition des glaciers et les modifications au niveau des régimes de précipitation devraient considérablement affecter la disponibilité en eau pour la consommation humaine, l'agriculture et la production d'énergie. Certains pays ont fait des efforts d'adaptation, par le biais de la conservation des écosystèmes, l'utilisation des systèmes d'alerte précoce, etc. Cependant, l'efficacité de ces efforts ne fait pas le poids face aux contraintes technologiques, financières, politiques et sociales (**Gibelin et al., 2003**).
- **En Amérique du Nord**, le réchauffement climatique dans les montagnes de l'ouest devrait provoquer davantage d'inondations en hiver et diminuer le débit des cours d'eau en été. Un changement climatique modéré dans les décennies à venir devrait accroître de 5 à 20% le rendement global des terres agricoles dépendant des pluies, mais les défis majeurs concernent avant toutes les cultures pour lesquelles la limite de chaleur supportable est sur le point d'être dépassée (**Gibelin et al., 2003**).
- **Les organismes nuisibles**, les maladies et les incendies devraient avoir des répercussions de plus en plus fortes sur les forêts. Les villes qui souffrent actuellement de vagues de chaleur devraient voir celles-ci augmenter en nombre, en intensité et en durée. Dans les zones côtières, la croissance des populations rend ces populations plus vulnérables aux tempêtes tropicales, qui pourraient quant à elles gagner en intensité (**Gibelin et al., 2003**).
- **Dans les régions polaires**, le principal impact prévu est une réduction de l'épaisseur et de l'étendue des glaciers, des calottes glaciaires, de la banquise et du permafrost, ce qui a des conséquences sur les infrastructures, les écosystèmes et les modes de vie traditionnels (**Gibelin et al., 2003**).
- **Parmi les effets bénéfiques** prévus, on citera la réduction des coûts de chauffage et l'alimentation de la navigation sur la route maritime du nord. Les communautés humaines de l'Arctique ont déjà en train de s'adapter au changement climatique, mais leur capacité d'adaptation est limitée (**Gibelin et al., 2003**).
- **Les petites îles** sont particulièrement vulnérables aux effets du changement climatique, à l'élévation du niveau des mers et aux phénomènes météorologiques extrêmes. Il existe pour ces îles des risques d'érosion côtière, d'inondations, de

marées de tempêtes, qui pourraient nuire au tourisme et affecter les moyens de subsistance des communautés locales (**Gibelin et al., 2003**).

- **Le changement climatique** pourrait également provoquer une réduction des ressources en eau et accroître le risque d'invasion d'espèces non indigènes. Le pire est à venir pour les petites îles de l'océan Indien qui ne font qu'un mètre d'altitude sur une grande partie de leur surface. (**Gibelin et al., 2003**).
- **Les études sur le changement** climatique montrent qu'au Maghreb le réchauffement climatique est plus important que la moyenne, si au niveau mondial on a évalué la hausse de 0,74°C au 20^{ème} siècle, elle a été située entre 1,5°C et 2°C selon les régions au Maghreb, on a pu aussi évaluer une baisse des précipitations qui a été située entre 10 et 20% (**Tabet-Aoul, 2008**).
- **Entre 1900 et 2005**, les précipitations ont fortement augmenté dans l'est de l'Amérique du Nord et du Sud, dans le nord de l'Europe et dans le nord et le centre de l'Asie, tandis qu'elles diminuaient au Sahel, en Méditerranée, en Afrique australe et dans une partie de l'Asie du Sud. Il est probable que la sécheresse a progressé à l'échelle du globe depuis les années 1970 (**GIEC, 2007**).

VIII.1. Facteurs du changement climatique

Les changements climatiques futurs dépendront de l'émission de gaz à effet de serre (qui renvoie directement aux trajectoires de développement) et la réponse du système climatique à ces émissions. Afin d'élaborer des projections climatiques, les scientifiques mettent au point des scénarios d'émissions futures et des modèles climatiques. Les premiers relèvent majoritairement du domaine des sciences économiques, sociales et technologiques, et les seconds des sciences physiques et biologiques (**Magnan, 2009**).

L'intensité du changement climatique à venir dépend non seulement de nos émissions passées et actuelles de gaz à effet de serre (GES), mais aussi de nos émissions futures. Ainsi, plus nos émissions tarderont à diminuer, plus le changement climatique sera important et prolongé dans le temps. Pour avoir une idée du climat à l'horizon du demi-siècle ou du siècle à venir, il est donc nécessaire de savoir quelles seront ses émissions futures. Or, celles-ci sont fonction de facteurs économiques, technologiques et sociaux complexes, et de choix politiques encore incertains. Il n'est donc pas possible d'établir

avec quelques précisions que ce soient quels niveaux elles atteindront aux horizons 2100, 2050 ni même 2020 (Magnan, 2009).

VIII.2. Emission des gaz à effet de serre en Algérie

Les émissions de gaz à effet de serre en Algérie sont estimées à 75 870 Gg de CO₂, de 914 Gg de H₄ et à 31 Gg de N₂O. La séquestration de CO₂ par les forêts est estimée à 4 331 Gg (Magnan, 2009).

Le tableau suivant montre qu'essentiellement le secteur de l'énergie qui est responsable à plus des deux tiers des émissions (66,92%). Le potentiel du pays en hydrocarbures explique en grande partie cette situation. Le changement d'affectation des terres et de la foresterie est le second secteur important du point de vue des émissions (12,44%). L'agriculture est le troisième secteur émetteur de gaz à effet de serre avec plus de 11,49% du total. Le secteur des déchets intervient pour 4,59% et celui des procédés industriels pour 4,52% (Magnan, 2009).

Tableau N° 02 : Synthèse des émissions et des absorptions de GES en Algérie (1994)(Gg).
(Source : MATE, 2001)

Secteur	CO ₂ émissions	CO ₂ absorptions	CH ₄	N ₂ O	NOX	CO	COVNM	SO ₂
Energie	59245,74	0	515,57	0,3	238,41	916,09	184,46	31,69
Procédés Industriels	4437,8	0	0,24	0,88	2,47	5,35	92,91	7,89
Solvants	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
Agriculture	0	0	168,04	27,45	0,88	921,43	NC	0
Sols/Forêts	12166,55	4331,46	20,61	1,42	5,12	180,34	NC	0
Déchets	0	0	209,51	1,34	0	100	NC	0
Total	758711,09	4331,46	913,97	31,39	246,86	1123,21	277,37	39,58

Le gaz carbonique (CO₂) est le gaz le plus émis avec 72,40%, suivi du méthane (CH₄) avec 18,31% et de l'oxyde nitreux (N₂O) avec 9,29%. Les émissions fugitives liées aux activités gazières et pétrolières sont loin d'être négligeables. Néanmoins, l'absence de coefficients d'émissions spécifiques à l'Algérie a fait que dans la majeure partie des calculs, ce sont les facteurs d'émissions par défaut, proposés par le manuel de référence de l'inventaire (GIEC), qui ont été utilisés (MATE, 2001).

Deuxième chapitre

**SITUATION DES RESSOURCES
EN EAU EN ALGERIE**

I. Ressources en eau dans le monde

L'Or bleu, enjeu majeur du XXI^e siècle, est non seulement un des facteurs du développement mais aussi le facteur principal de la subsistance, sa consommation doit être rationalisée (AFNOR, 2005).

Les donnes en eau de la nature n'en sont pas moins très inégalement réparties dans le monde, tout comme les besoins en eau humains, en partie sous l'effet d'un même facteur : les différences de climat. Cette double variété est bien connue et les médias popularisent les images de situations extrêmes, conjoncturelles ou chroniques : inondations et sécheresses en alternance, surabondance ici, pénurie là. Aussi la comparaison des ressources et des besoins, qui requiert un minimum de quantification, n'a-t-elle guère de sens à l'échelle planétaire et en situation moyenne ; elle n'est pertinente que dans des cadres plus régionaux et temporellement définis (Margat, 1998). À ceux-là, s'ajoutent les variations spatio-temporelles de l'eau disponible (figure N° 02).

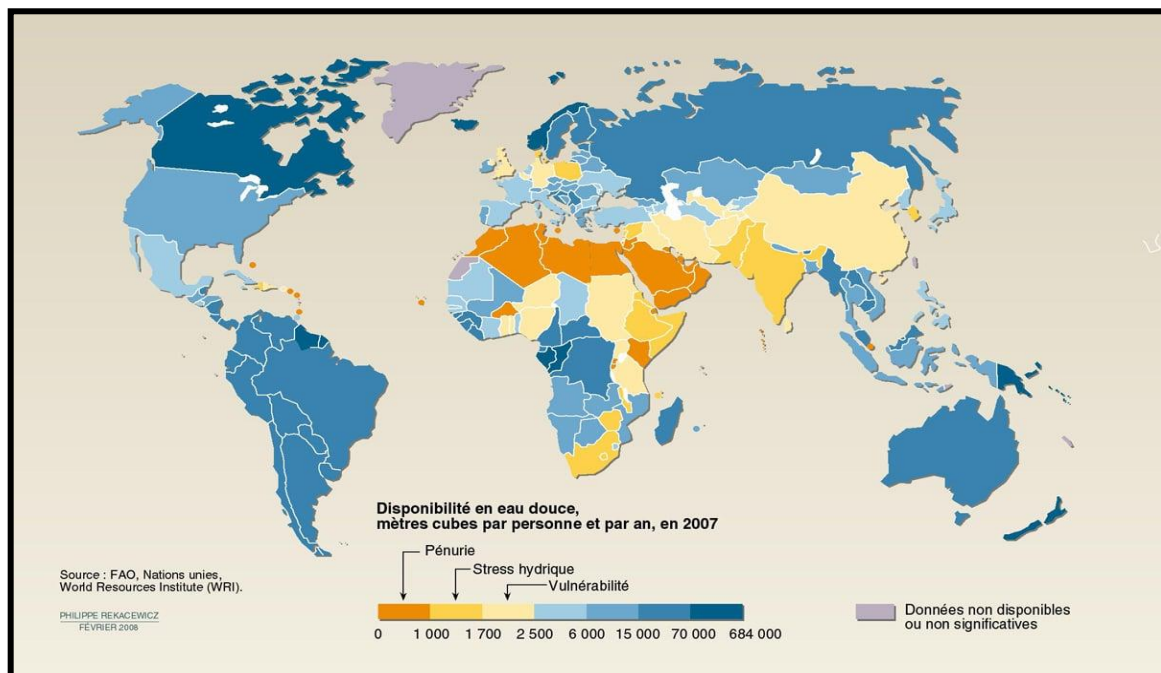


Figure N° 02 : Ressources en eau actuelles disponibles par habitant.
(Source : FAO, 2008)

Ainsi, l'eau nécessaire à toutes nos utilisations se raréfie et nous nous acheminons vers une crise de l'eau (Touhari et al., 2018).

Les disparités entre les pays industrialisés et les pays en voie de développement sont évidentes et entraînent de sérieux problèmes : 10 pays possèdent 60 % de l'eau mondiale, le reste souffre de pénuries (**UNESCO, 2003**). Les pays en développement consacrent à l'agriculture la plus grande partie de l'eau dont ils disposent. L'Inde, par exemple, emploie 90 % de son eau à des fins agricoles, contre à peine 07% pour l'industrie et 03 % pour la consommation domestique. Plus le développement est avancé, plus l'eau sert à des usages domestiques et à des fins industrielles, et moins à l'agriculture. Il y a cependant d'importantes exceptions à cette règle. Le Japon, par exemple, continue à employer la proportion la plus importante de son eau pour irriguer ses rizières. En outre, dans certaines régions arides d'Europe, telles que l'Espagne et le Portugal, la plus grande partie de l'eau disponible sert à l'irrigation agricole (**Dris, 2008**).

II. Principales réserves en eau dans le monde

D'après **Harrois (1977)**, on estime qu'il y a sur la planète environ 1,4 milliard de km³ d'eau. Cependant, la majeure partie (97%) de cette eau se présente sous forme d'eau salée (mers et océans), elle est difficilement valorisable pour les activités humaines. Les 03% restantes (36 millions de km³), plus des $\frac{3}{4}$ constituent les glaciers très peu accessibles. Le $\frac{1}{4}$ restant comprend essentiellement des eaux souterraines (< à 1% de l'eau totale du globe) (**figure N° 03**), et une faible partie sous forme d'eau de surface contenue dans les lacs et les rivières (soit 0.01% de l'eau de la planète).

Ces 03%, constituent de l'eau douce, les $\frac{3}{4}$ sont bloqués dans les glaciers et les nappes phréatiques très profondes. Donc seul le $\frac{1}{4}$ restant est utilisable, soit 0,4% des disponibilités totales en eau sur terre qui peuvent être directement exploitables par l'homme (**Bouziani, 2006**).

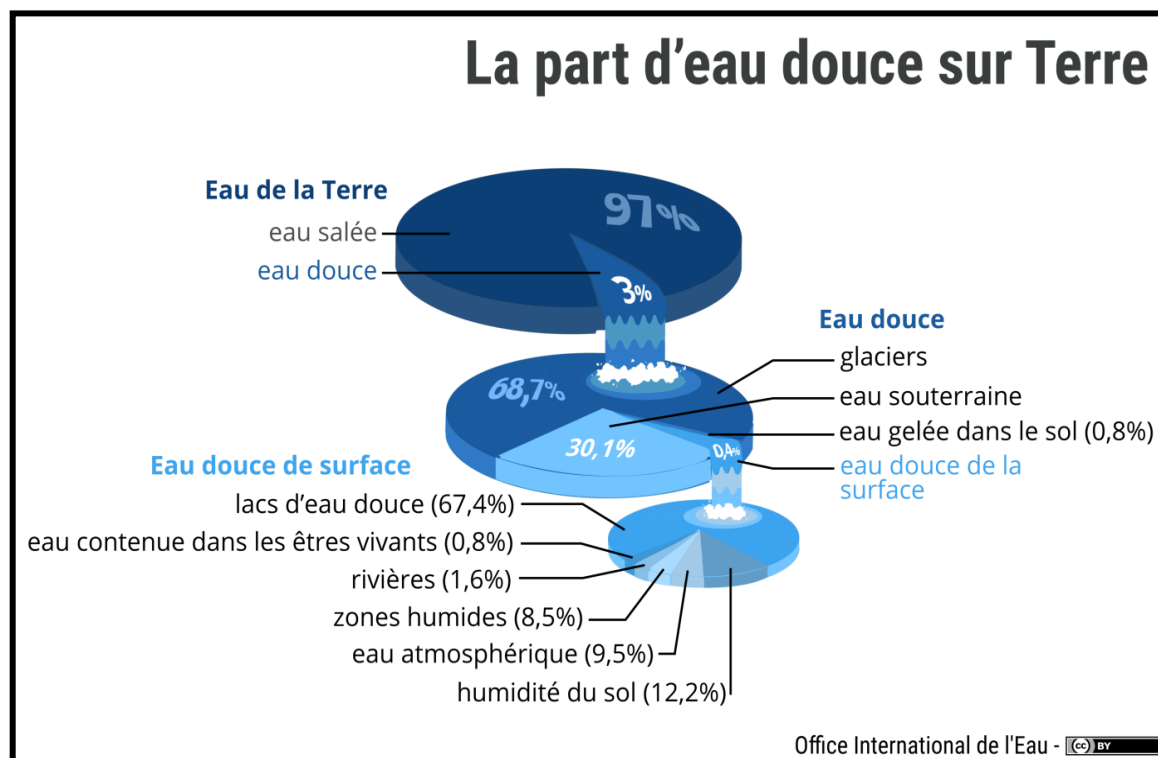


Figure N° 03 : Réserves en eau dans le monde.

(Source : Webmaster 3)

On estime que sur les 119000 km³ de pluies qui tombent sur les terres émergées, environ 72000 km³ s'évaporent, 25000 km³ retournent en mer, 7000 km³ tombent dans des zones éloignées du globe et, enfin, 15000 km³ sont utilisables par la population mondiale dans les conditions actuelles (Bouziani, 2006).

Ce dernier siècle, le monde a connu de graves crises liées au manque d'eau douce. Pour l'augmentation des réserves d'eau douce, diverses stratégies sont engagées à l'échelle internationale, en particulier les transferts de technologie et de nouvelles techniques économiques de dessalement (Bouziani, 2006).

III. Situation globale de l'eau en Algérie

L'Algérie souffre ces dernières années d'un manque d'eau sans précédent. Les aléas climatiques persistants, doublés d'une forte croissance de la population dans les grands centres urbains ont largement contribué à l'actuelle carence de ressources mobilisables pour les besoins élémentaires du pays. Les politiques publiques de ces 20 dernières années n'ont pas été à la hauteur des enjeux, qu'il s'agisse des retards enregistrés dans les programmes de construction de barrages ou de la minceur des moyens affectés de façon continue à la

maintenance des réseaux d'alimentation en eau potable ou des systèmes d'assainissement (Fredj et al., 2005).

La répartition des ressources en eau a contribué à dessiner l'occupation du territoire par les populations, leurs activités et leurs agglomérations. La présence d'eaux contribue à l'attraction des migrations internes vers le Nord du pays et à l'accentuation du phénomène de « littoralisation » qui se traduit par un accroissement important et rapide de la population et des activités des régions littorales et, en conséquence, par un surcroît des demandes en eau difficiles à satisfaire avec les ressources « classiques » disponibles (Benblidia et al., 2010).

La demande globale, autrement dit le total des prélèvements d'eau pour les populations, l'agriculture, les industries et autres usages, a été multipliée par quatre en quarante ans. Elle dépasse actuellement la moitié des ressources naturelles mobilisables. À ce rythme, les prélèvements atteindront probablement le niveau limité des ressources renouvelables avant le milieu du siècle, ce qui est déjà le cas de plusieurs pays de la rive Sud de la Méditerranée. Des phénomènes de surexploitation locale des nappes et des pollutions, en particulier industrielles, accélèrent directement ou indirectement la réduction des ressources (Benblidia et al., 2010).

Dans ce contexte, une forte concurrence se développe entre les grands secteurs d'utilisation de l'eau. Elle s'ajoute aux déséquilibres régionaux en terme de ressources hydrauliques, rendant de plus en plus difficiles les arbitrages de répartition. La demande en eau potable s'est considérablement accrue en volume et en proportion. Elle représentait 16% de la demande totale en eau en 1975. Elle a depuis plus que doublé et atteint actuellement la valeur de 35%. Durant la même période, la part de l'eau agricole est passée de 80 à 60%, celle de l'industrie gardant à peu près la même valeur de 3,5%. L'approvisionnement en eau des populations a acquis, de fait, une priorité certaine par rapport aux autres utilisations, priorité qui a été explicitement consacrée dans la législation algérienne relative à l'eau (Benblidia et al., 2010).

Comme pour de nombreux pays, l'Algérie considère actuellement la résolution des problèmes de l'eau comme l'une de ses priorités et un défi majeur à relever (MRE, 2004).

III.1. Ressources en eau en Algérie

III.1.1. Grands bassins hydrographiques

L'ANBH, divise le pays en cinq (05) bassins hydrographiques regroupant les 19 bassins versants du pays (**figure N° 04**).

Le découpage de l'Algérie du Nord en quatre régions repose sur les critères suivants (**MRE, Alger, 2007**) :

- ❖ Les caractéristiques géographiques et naturelles des régions ;
- ❖ le groupement des bassins versants et sous bassins hydrographiques, entre lesquels existent des nécessités de transfert.

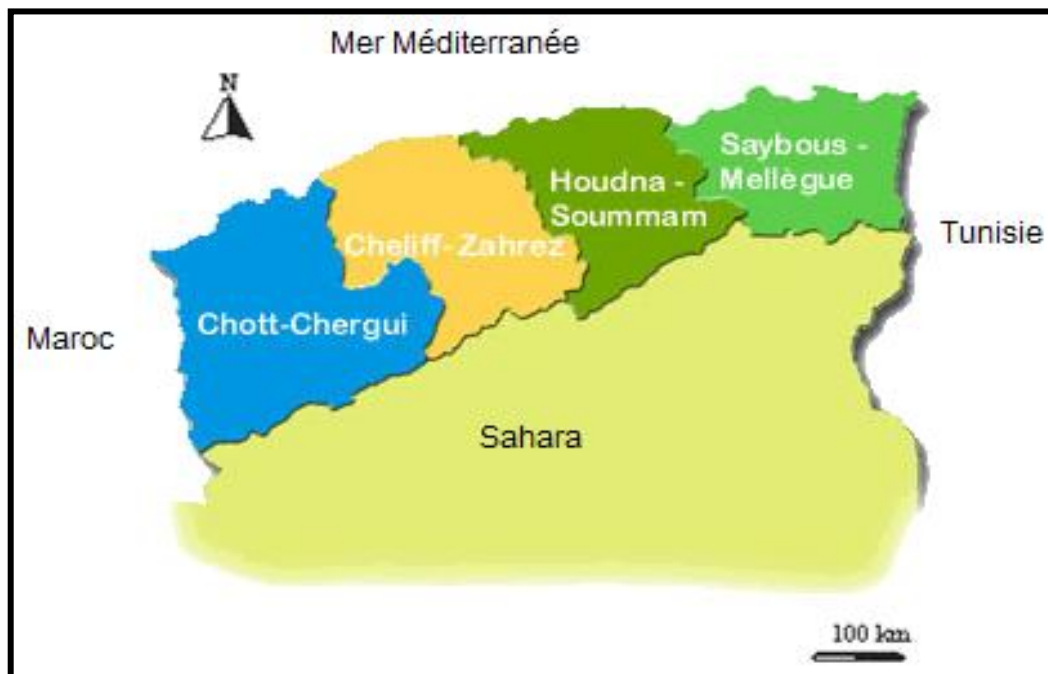


Figure N° 04 : Les cinq grands Bassins hydrographiques en Algérie.
(Source : MRE, Alger, 2007)

Actuellement, notre territoire se trouve divisé en cinq régions hydrographiques. Outre la région hydrographique sud, les quatre bassins délimités dans le nord sont d'Ouest en Est comme suite : les bassins de l'Oranie chott chergui, du chéelif-zahrez, de l'Algérois Hodna-Soummam et du Constantinois seybouse-Melleque (**MRE, Alger, 2007**).

Le tableau suivant illustre les principales ressources en eau dans les différents bassins hydrographiques en Algérie.

Tableau N° 03 : Ressources en eau dans les Bassins Hydrographiques en Algérie.
(Source : Boubou-Bouziani, 2015)

Bassins Hydrographiques	Oranie Chott Chergui	Chélif Zahrez	Algérois-Hodna Soummam	Constantinois Seybouse Mellègue	Sud
Superficie en Km	76000	56200	47 431	43000	225200
Population Millions d'habitant	3,8	3,8	9,5	5,5	5,5
Pluviométrie (milliards m ³ /an)	23,5	20,5	21	25	95
Ressources en eaux (Hm ³) de surface	958	2000	4304	5600	-
Ressources en eaux souterraines (Hm ³)	309	245	130	337	-
Disponibilité m ³ /hb	220	300	320	500	1 120
Apport annuel moyen en millions m ³ /an	958	1974	4300	5595	12827

Pour assurer une sécurité d'alimentation satisfaisante, il faudrait disposer de 15 à 20 milliards m³ par an et ce, en réservant 70 % à l'agriculture, alors que l'Algérie ne mobilise que 5 milliards m³ par an (**Boubou-Bouziani, 2015**). En 1987, la population en Algérie était estimée à 23 millions d'individus, 28 millions en 1995, 32 millions en 2000 et une prévision de plus de 39 millions en 2010 (**Boubou et al., 2009**).

La consommation d'eau distribuée est de l'ordre de 161 l/hab/j. Si l'on tenait compte des fuites (50%), de l'industrie et du tourisme, cette quantité deviendrait 60 l/hab/j (**Kettab, 2000**). L'évolution de la disponibilité en eau potable est, quant à elle, résumée dans la figure suivante :

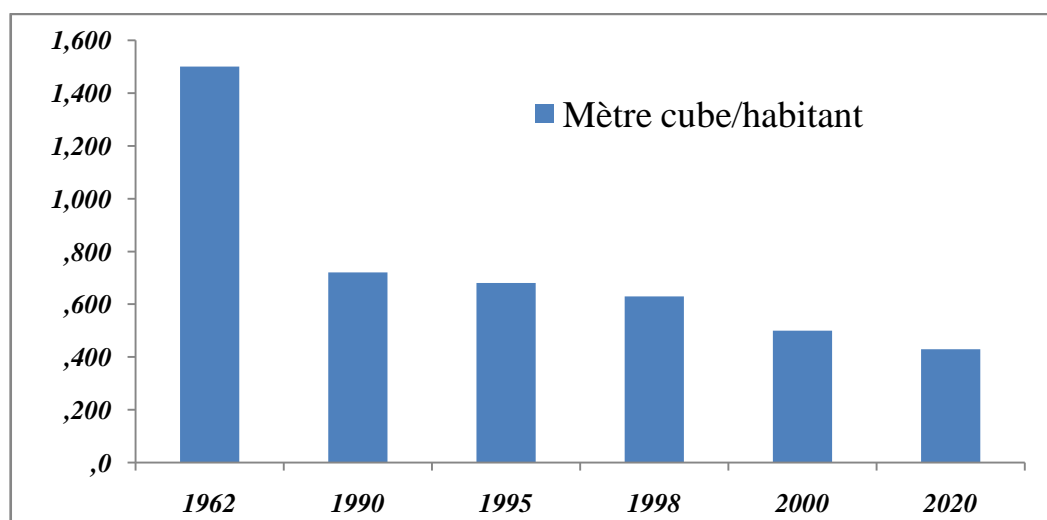


Figure N° 05 : Évolution de la disponibilité en eau potable.
(Source : Kettab, 2000)

Dans le nord du pays, les ressources mobilisées totales sont destinées, à raison de 55,3% à l'irrigation (2,1 milliards m³), 34,2% à l'AEP (1,3 milliard m³) et 10,5% à l'industrie (0,4 milliard m³) (Anonyme, 2001). La demande en eau douce croit, chaque année, de 4 à 5%, tandis que les ressources naturelles restent invariables.

On remarque une diminution de ressources en eau entre la période 1962 jusqu'à 2020. Cette diminution peut être due à la forte consommation en eau, à l'évolution démographique au développement socio-économique et l'irrigation et au changement des aléas climatique, période de sécheresse 1990-1998 (CNES, 2000).

Si en 1962 la disponibilité en eau théorique par habitant et par an était de 1500 m³, elle n'était plus que de 720 m³ en 1990, 680 m³ en 1995, 630 m³ en 1998, 500 m³ en 2000 et ne représenterait que 430 m³ en 2020 (CNES, 2000). « *La dégradation actuelle des ressources naturelles du continent, due au réchauffement climatique, risque de devenir irréversible en l'absence d'une mobilisation à la hauteur de la menace climatique à venir* » (Kara, 2008).

III.1.2. Exploitation des ressources en eau

Le tableau N° 04 représente les ressources en eau renouvelables en Algérie et les prélèvements possible en eau.

Tableau N° 04 : Ressources en eau et prélèvements.
(Source : AQUASTAT, 2005)

RESSOURCES EN EAU RENOUVELABLES	
➤ Précipitations moyennes	89 mm/an
➤ Ressources en eau renouvelables internes	11.247×10 ⁹ m ³ /an
➤ Ressources en eau renouvelables réelles totales	11.667×10 ⁹ m ³ /an
➤ Indice de dépendance	3.6 %
➤ Ressources en eau renouvelables réelles totales par habitant	361 m ³ /an
➤ Capacité totale des barrages	6004.5×10 ⁶ m ³
PRÉLÈVEMENTS EN EAU	
➤ Prélèvement total en eau	6074×10 ⁶ m ³ /an
➤ Prélèvement d'eau de surface et souterraine	6057×10 ⁶ m ³ /an
RESSOURCES EN EAU NON CONVENTIONNELLES	
➤ Volume d'eau usée produit	820×10 ⁶ m ³ /an
➤ L'eau dessalée produite	17.2×10 ⁶ m ³ /an

D'après le tableau N° 04, les ressources en eau superficielle renouvelables internes totalisent environ 9.8 km³/an pour l'ensemble du pays dont le Sahara, bassin le plus important par la surface, ne renferme que 0.6 km³. Les ressources en eaux souterraines renouvelables contenues dans les nappes du nord du pays sont estimées à près de 1.5 km³/an. Ces nappes sont alimentées essentiellement par les précipitations dont la répartition demeure irrégulière à la fois dans le temps et dans l'espace. Le sud du pays se caractérise par l'existence de ressources en eaux souterraines très importantes provenant des nappes du continental intercalaire et du complexe terminal. Si l'on considère qu'il n'existe pas de partie commune entre eaux de surface et eaux souterraines, les ressources totales renouvelables internes s'élèvent à 11.3 km³/an. Les ressources exploitables sont évaluées à 7.9 km³/an (AQUASTAT, 2005).

III.2. Potentialités en eau en Algérie

Elles sont estimées, globalement, à 19 milliards m³, correspondant à environ 600m³/hab./an, en 2006. Ce taux régressera à 500 m³/hab./an, en 2020 (Taux calculé sur la base des potentialités en eaux conventionnelles et non conventionnelles et de la projection de la population). De ce fait, l'Algérie se situe dans la catégorie des pays pauvres en ressources hydriques, au regard du seuil de rareté fixé par la Banque Mondiale à 1000m³/hab./an (MRE, Alger, 2006). Les ressources en eau ne sont pas réparties équitablement, que ce soit au niveau de leur répartition géographique, de leur quantité ou de leur nature (eaux de surface ou souterraines) (MRE, Alger, 2010).

Ces ressources se répartissent de la façon suivante (tableau N° 05) :

- **14 milliards m³, dans les régions Nord, avec :**
 - ❖ 12 milliards m³ (écoulement superficiel).
 - ❖ 02 milliards m³ (ressources souterraines).
- **05.2 milliards m³, dans les régions sahariennes, où on a :**
 - ❖ 0.2 milliard m³ (superficiels).
 - ❖ 05 milliards m³ (souterraines).

Selon la carte des ressources, les potentialités de l'Algérie du nord, sont de l'ordre de 2136.2 Hm³/an en année moyenne, et 717.6 Hm³/an en année sèche. Ces ressources ont été réparties en trois régions comme suit :

Tableau N° 05 : Estimation d'après la carte des ressources en eau ANRH.
(Source : MRE, Alger, 2010)

Région	Année moyenne (Hm ³ /an)	Année sèche (Hm ³ /an)
Région Ouest	428.52	110.3
Région Centre	922.70	339.6
Région Est	785.00	267.8
Total	2 136.2	717.6

En tenant compte de la sécheresse des 25 dernières années, les estimations des potentialités ont été revues à la baisse, et seraient de 17 milliards m³/an (potentialités superficielles du nord du pays estimées à 10 milliards m³/an) (Terra, 2006).

III.2.1. Eaux conventionnelles

C'est le nord du pays qui dispose de la presque totalité des ressources en eaux superficielles et souterraines renouvelables. L'apport principal en eau provient des eaux superficielles, mais où les pluies sont très irrégulières et mal distribuées à travers le pays et n'offrent donc qu'un très faible taux d'utilisation (Bouziyani, 2006).

a. Eaux superficielles

Le volume d'eau terrestre sous forme solide, liquide et gazeuse est estimé à 1.384.120.000 km³, dont seul 0.26 % sont de l'eau douce directement exploitable. On estime qu'il y a théoriquement suffisamment d'eau douce pour alimenter 20 milliards d'habitants (Kettab, 2001).

On sait que l'Algérie est un pays semi-aride, voire aride, (200 à 400 mm) et les ressources en eau sont faibles, irrégulières et localisées dans la bande côtière, où l'apport total des précipitations serait de l'ordre 100 milliards m³ d'eau/an, dont 12.4 milliards de m³ en écoulements superficiels, et seuls 6 milliards de m³ sont mobilisables, en tenant compte des sites favorables techniquement (Hydrologie, topographie, géologie) (Kettab, 2001).

En Algérie, les ressources en eau superficielle sont tributaires du climat. Elles sont assez variables dans le temps et dans l'espace. Cette situation est due à la sécheresse tant chronique qu'occasionnelle dont les incidences sont très conséquentes. D'après les études récentes qui ont été effectuées, le volume moyen de l'eau de surface est évalué à 12400

millions m³ et la mobilisation annuelle était de l'ordre de 4700 millions m³ par an (Bahmed, 2010).

L'écoulement superficiel dans le territoire national est hétérogène. Le nord algérien reçoit un taux de 92% d'apport pluviométrique total. Les bassins hydrographiques du centre et de l'Est du pays reçoivent 80% d'apport. Les écoulements superficiels de la steppe et du Sahara sont faibles et se présentent sous forme de crues épisodiques (Loucif, 2003).

Dans les régions steppiques et sahariennes, les écoulements superficiels sont très faibles et se manifestent généralement par des crues épisodiques, difficilement régularisables (Bouziati, 2006).

La répartition spatiale des eaux de surface par bassin hydrographique est donnée dans le tableau N° 06.

Tableau N° 06 : Répartition spatiale des eaux de surface dans le territoire national.
(Source : CNES, 2000)

Bassin hydrographique	Oranie - Chott Chergui	Chelif - Zahrez	Algérois - Hodna - Soummam	Constantinois - Seybouse – Mellegue	Sahara	Total
Ressources superficielles en milliard m³	1,025	1,840	4,380	4,500	0,600	12,345
Pourcentage (%)	8,3	14,9	35,4	36,4	4,8	100

b. Ressources souterraines

Les potentialités en eau souterraine, directement accessibles (exploitables) par les forages, sont évaluées à 1750 millions m³, dans la région située au Nord de l'Atlas Saharien, et à près de 5000 millions m³, pour le Sahara (essentiellement les nappes du Sahara septentrional) (MRE, Alger, 2006).

Ces ressources sont évaluées à 1.8 milliards de m³, dans le Nord de l'Algérie. Les potentialités du Sud sont estimées à 60000 milliards de m³. Ces dernières sont difficilement exploitables et renouvelables où seulement 4 à 5 milliards de m³ sont exploitables annuellement (Kettab, 2001).

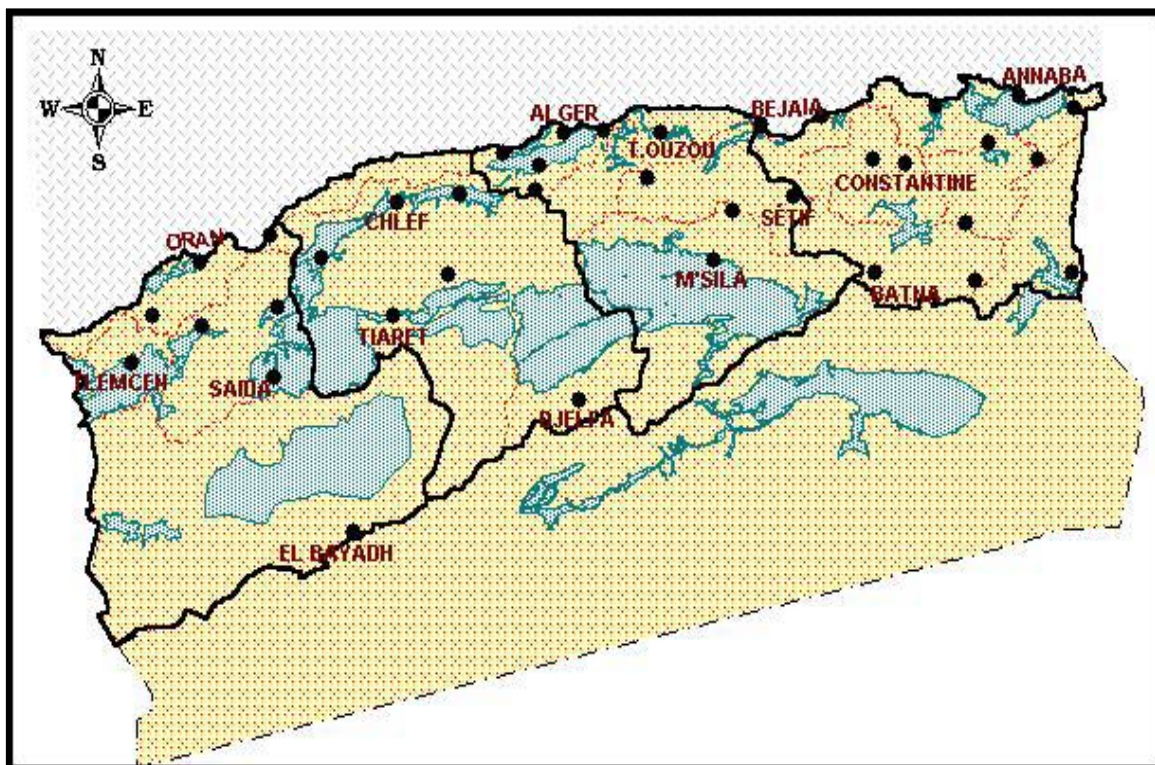


Figure N° 06 : Ressources renouvelables des nappes souterraines dans le Nord du pays.
(Source : MRE, Alger, 2008)

Les ressources en eaux souterraines contenues dans les nappes du Nord du pays sont estimées à près de 2 milliards m^3 /an. Ces nappes sont alimentées essentiellement par les précipitations dont la répartition demeure irrégulière à la fois dans le temps et dans l'espace. Actuellement, on estime à plus de 12000 forages, 9000 sources et 100000 puits qui sollicitent les nappes – pour les besoins de l'agriculture et l'alimentation en eau potable et industrielle (AEPI) (CNES, 2000). Les pompages agricoles restent faibles par rapport à celles réalisées pour l'industrie et l'AEP (Hamlat, 2013).

Dans le Sud du pays, quelques nappes phréatiques, souvent saumâtres, existent dans les lits d'Oueds tels ceux de Ghir, M'zab, Saoura, etc., mais l'essentiel du potentiel en eau se trouve dans les nappes du Sahara septentrional. Le renouvellement de ces nappes fossiles ou semi fossiles n'est assuré qu'à hauteur de 80 millions m^3 environ (Loucif, 2003).

Tableau N° 07 : Ressources en eaux souterraines concernant les nappes dont les potentialités sont supérieures à 10 millions m³.

(Source : MRE, Alger, 2008)

N°	Nappes	Potentialités (Hm ³)	Prélèvements (Hm ³)
01	Plaine de Maghnia	15	15
02	Monts de Tlemcen	40	40
03	Plaine de Sidi Bel Abbés	30	30
04	Dj. Murdjadjo – Brédéah	12	12
05	Chott Chergui	54	32
06	Plateau Sersou	12	12
07	Plaine de la Mina	17	14
08	Plaine de AïnOussera	27	9
09	Zahrez	50	16
10	Plateau Ksar Chellala	14	10
11	Plaine de Bouira	15	15
12	Plaine côtière Bejaia	35	17
13	Vallée de la Soummam	100	80
14	Plaine Alluv Oued Djer	20	20
15	Mitidja	328	335
16	Sahel	28	28
17	Boudouaou	12	12
18	Calcaire de Toudja	15	15
19	Calcaire de Bejaia	17	17
20	Sebaou	53	33
21	Chott El Hodna	133	81
22	Synclinal de Dekhla	14	14
23	Plaine de Tébessa Morsot	18	18
24	Plateau de Chrea	18	18
25	Plaine de Biskra Tolga	60	60
26	Oued Nil	20	16
27	Oued Djendjen	10	15
28	Plaine de AïnM'Lila	22	8
29	Vallée de l'Oued Safsaf	12	12
30	Plaine de O. Kebir Ouest	15	10
31	Plaine de Guelma	17	17
32	Plaine d'Annaba	45	45
33	Plaine alluviale Isser	35	12
34	Chélif	80	72
35	Oued M'zi	223	210
36	Chott Gharbi	40	3
37	Plateau de Saida	50	50
38	Plaine de Ghriss	70	70
Total		1 776	1 467

Le Sud du pays se caractérise par l'existence de ressources en eaux souterraines considérables provenant des nappes du Continental Intercalaire (CI) et du Complexe Terminal (CT). Les réserves exploitables sans risque de déséquilibre hydrodynamique sont estimées à 5 milliards m³/an. L'exploitation atteint actuellement 1.6 milliards m³ par forage et 85 millions m³ par foggaras (MRE, Alger, 2008). La particularité de cette ressource est que c'est une ressource non renouvelable d'où la nécessité de réfléchir à deux fois avant de l'utiliser (MRE, Alger, 2008).

III.2.2. Eaux non conventionnelles

La mobilisation des ressources en eaux non conventionnelles est constituées de :

- Dessalement de l'eau de mer ;
- Déminéralisation des eaux saumâtres (souterraines et superficielles) ;
- Réutilisation des eaux usées épurées.

a. Eaux usées

Le réseau d'assainissement à l'échelle national totalise 17000 km (11500 km en milieu urbain et 5500 km en milieu rural). Le recyclage des eaux usées épurées : Le volume annuel d'eaux usées rejetées est estimé à 730 millions m³. Le taux de raccordement en milieu urbain est supérieur à 80%. Le territoire national compte une soixantaine de stations d'épuration avec une capacité installée de 365 millions m³/an correspondant à 65 stations d'épuration en exploitation. Cependant, il faut noter que 95% de ces stations sont à réhabiliter, et si on arrive à cet objectif on pourra réutiliser 1,2 millions m³/an à l'horizon 2015 (Kettab, 2001).

Tableau N° 08 : Le volume d'eau épurée en Algérie.
(Source : MRE, Alger, 2007)

Nom	Wilaya	Année mise en service	Capacité (m ³ /j)	Volume Traité
BordjBou Arreridj	BordjBou Arreridj	2008	2 500	30 000
Ibn Ziad	Constantine	2009	5 000	69 120
Aïn Hout	Tlemcen	2009	9 300	30 000
Oran	Oran	2010		240 000
Touggourt	Ouargla	2012	460 000	10 000
Ghriss	Mascara	2012	1 000	3 700
Berraki	Alger	2013	76 712	150 000
Annaba	Annaba	2013		116 000
TOTAL			554 512	648 820

Une cinquantaine (50) de stations d'épuration ont été réalisées en Algérie, avec une capacité de l'ordre de 4 millions habitants équivalents ; à l'horizon 2000, le nombre serait porté à une soixantaine (60) de stations avec une capacité de l'ordre de 5.2 millions équivalents habitants. Il est à noter que près de 95% de ces stations sont à réhabiliter (Kettab, 2001).

D'après le tableau N° 08 la mobilisation des eaux usées épurées est très faible actuellement, le seul ouvrage existant est celui situé à l'aval de la station d'épuration de Bordj Bou Arreridj, d'une capacité de 2500 m³/j destiné à l'irrigation d'un périmètre de près de 100 ha. Selon le programme 2009-2013, ce volume sera porté à 554512 m³/j (MRE, Alger, 2007).

b. Eaux saumâtres et salées

L'Algérie, pays méditerranéen, à plus de 1200 km de côtes, ce qui laisse présager d'énormes possibilités. Actuellement, la quantité d'eau dessalée en Algérie est estimée à 60 millions de m³ (dans le monde Arabe 4537 millions m³) (Kettab, 2001) (Tableau N° 09).

Tableau N° 09 : Stations de dessalement en Algérie (programme réalisé entre 2005-2008).
(Source : MRE, Alger, 2007)

Nom	Wilaya	Année Mise en Service	Capacité (m ³ /j)
Kahrama Arzew	Oran	2005	90000
EL Hamma	Alger	2008	200000
Skikda	Skikda	2009	100000
Béni-Saf	Aïn Témouchent	2009	200000
Mostaganem	Mostaganem	2010	200000
Honaïne	Tlemcen	2010	200000
Ouled Ben Ayed	Tlemcen	2010	200000
Douaouda	Alger	2010	120000
Cap Djenet	Boumerdés	2010	100000
Mactaâ	Oran	2010	500000
Oued Sebt	Tipaza	2010	100000
Ténès	Chlef	2010	200000
Echatt	El Tarf	2011	50000
TOTAL			2260000

Un programme ambitieux est lancé en Algérie dont l'objectif est de produire à l'horizon 2010 des millions m³/jour, soit une production de 825 millions m³/an (MRE, Alger, 2010).

Le volume dessalé et mobilisé actuellement avoisine les 111.45 millions m³/an, avec (MRE, Alger, 2010) :

- 105,85 Hm³/an, produites par les grandes stations de dessalement d'eau de mer ;
- 5.60 Hm³/an, produites par les stations monobloc de dessalement d'eau de mer.

Parmi les grandes usines de dessalement prévues dans le programme 2002-2003, il a été réceptionné en 2005, la station Kahrama d'Arzew (wilaya d'Oran) et en 2008 celle d'El Hamma (wilaya d'Alger).

c. Déminéralisation des eaux saumâtres

A part le dessalement de l'eau de mer au nord d'Algérie, il est prévu la déminéralisation des eaux saumâtres dans les hauts plateaux et le sud algérien. Plusieurs stations de débits faibles, entre 100 et 200 m³/j, existant dans le sud sont en exploitation par les collectivités locales et Sonatrach, dont l'information est non disponible.

Dans le tableau qui suit, nous retrouvons des chiffres relatifs à la déminéralisation de certaines villes de l'Algérie, la capacité de minéralisation des usines et le volume traité. Le volume mobilisé actuellement est celui de Brédéah (Wilaya d'Oran) qui est de 27000 m³/j, à 7g/l de sel, au lieu de 34000 m³/j, à cause d'insuffisance d'eau produite et d'un module défectueux (MRE, Alger, 2007).

Tableau N° 10 : Déminéralisation des eaux saumâtres en Algérie (programme réalisé entre 2006-2009).

(Source : MRE, Alger, 2007)

Station de Déminéralisation	Wilaya	Année Service	Capacité (m ³ /j)	Volume Traité
Brédéah	Oran	2006	34 000	20 000
Gharbouz	Ouargla	2009	5 000	4 320
Aïn El Kheir	Ouargla	2009	9 000	7 920
Hai Bouzid	Ouargla	2009	10 000	9 000
Mekhadma	Ouargla	2009	3 000	4 608
Bamendil (El Khafedji)	Ouargla	2009	7 500	5 184
Village Bamendil	Ouargla	2009	3 000	1 440
Ifri – Gara	Ouargla	2009	10 500	7 560
Sokra	Ouargla	2009	3 000	1 440
Ruisset El Haddeb	Ouargla	2009	27 000	21 600
Touggourt	Ouargla	2009	34 000	28 800
El Oued	El Oued	2009	30 000	30 000
TOTAL			176 000	141 872

Le volume d'eau traité est enregistré au niveau de la wilaya d'Oran, à cause développement socio-économiques d'une part et rareté en eau superficielle d'une autre part. Donc, la demande en eau est très élevée (AQUASTAT, 2005).

En ce qui concerne les villes du Sud Ruisset El Haddeb, Touggourt et El Oued le volume d'eau traitée est important varie entre 21600 m³/j et 30000 m³/j, c'est à cause du manque en eau superficielles et la forte demande en eau domestique d'une façon continue en eau (AQUASTAT, 2005).

III.3. Utilisation des ressources en eau

Les ressources en eau prélevées en 2000, pour tout le pays, sont estimées à 6.074 milliards m³, réparties comme suit (AQUASTAT, 2005) :

- 3.983 milliards m³ (65%), destinés à l'agriculture ;
- 1.335 milliards m³ (22%), pour les usages domestiques ;
- 801 millions m³ (13%), utilisés dans l'industrie.

À noter que l'essentiel des précipitations s'écoule vers la mer du fait de la topographie du sol. Avec ses meilleures terres, la région de l'ouest ne reçoit que 25% des écoulements. En Algérie, sur 130 milliards m³ d'eau par an, 47 milliards s'évaporent, 3 milliards m³ s'infiltrent, et 15 milliards m³ s'écoulent dans la mer (Bouziari, 2006). Le besoin en eau douce, en Algérie, ne cesse de croître. En 2002, selon les estimations du Ministère des ressources en eau, le volume d'eau distribuée à travers le pays atteignait 3,3 milliards m³, 1300 millions m³ ont été affecté à l'usage domestique, 1800 millions m³ pour l'irrigation, et enfin 200 millions m³ pour l'industrie (Bouziari, 2006).

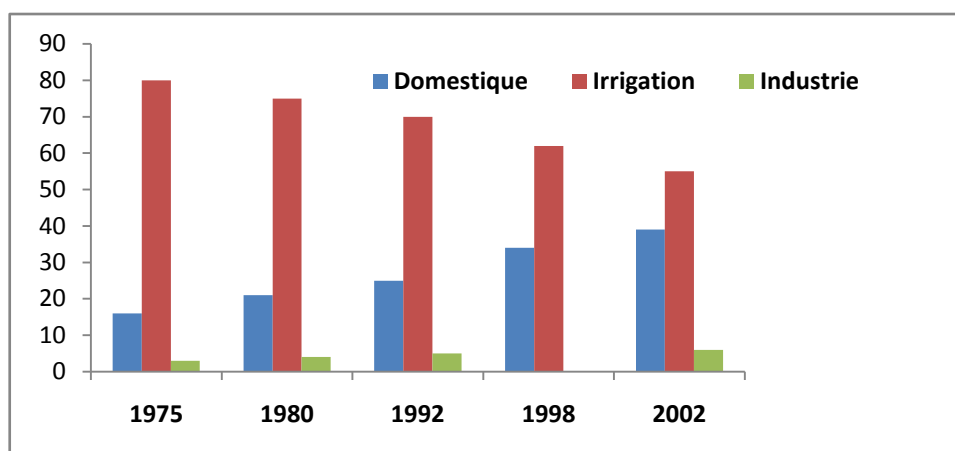


Figure N° 07 : Évolution en pourcentage de l'utilisation de l'eau en Algérie.
(Source : MRE, Alger, 2003)

Face à cette situation critique, L'État s'est engagé dans un vaste programme de mobilisation des ressources en eau pour satisfaire la demande et mettre fin à la problématique du stress hydrique (**Boubou-Bouziari, 2015**).

L'utilisation des eaux se répartit à raison de 55,3 % pour l'agriculture (2,1 milliards m³), 34,2% pour l'AEP (1,3 milliard m³) et 10,5 % pour l'industrie (0,4 milliard m³) (**CNES, 2000**).

III.4. Surexploitation des ressources souterraines

La connaissance des ressources souterraines reste soumise à des imprécisions : si la localisation et les potentialités des aquifères sont relativement bien connues, les volumes prélevés le sont moins, car ils ne sont soumis à aucun contrôle. Les wilayas de Tlemcen et de Sidi Bel Abbés détiennent 68% du volume avec 16 aquifères, dont les plus importants sont : la plaine de Sidi Bel Abbés (44 Hm³) et les Monts de Tlemcen (32,9 Hm³) (**MATE, Alger, 2005**).

L'exploitation par forages fait état de 196 Hm³ prélevés dans les nappes souterraines chaque année, soit 60% des potentialités. Ces volumes correspondent aux forages en service, qui représentent 40 à 90% des forages déclarés, selon la wilaya. Les volumes exploités indiquent plutôt une sous-exploitation des ressources souterraines, à l'exception de la wilaya d'Aïn Témouchent ; mais il faut noter que les chiffres concernant les volumes prélevés sont donnés par wilaya et non par aquifère. Les rabattements observés pour certaines nappes laissent à penser que certains aquifères sont sous-exploités, alors que d'autres font l'objet d'une surexploitation dangereuse confirmée par une forte chute du niveau piézométrique. Seuls les volumes prélevés par les forages déclarés ont été comptabilisés, ce qui peut expliquer cette impression de faible mobilisation des ressources souterraines (**MATE, Alger, 2005**).

III.4.1. Forages

En 1985, le nombre de forages exploités était d'environ 5 500. En 1999, plus de 2000 forages ont été encore réalisés dans le Nord du pays, fournissant un volume de 1 milliard m³ répartis entre l'alimentation en eau potable pour 852 millions m³ et l'irrigation pour 147 millions m³ (**CNES, 2000**).

Par ailleurs, 742 forages auraient été également réalisés dans le sud et mobiliseraient un volume annuel de 221 millions m³ pour l'alimentation en eau potable et 505 millions m³ pour l'irrigation (CNES, 2000).

III.4.2. Superficies irriguées

Les études pédologiques ont montré que le potentiel des terres irrigables atteint environ 850000 ha, soit 11 % des terres arables (7,5 millions ha) (Loucif, 2003).

En Algérie, les zones irriguées sont classées en :

- 1- Grands périmètres d'irrigations (GPI), infrastructure moderne d'irrigation, desservis essentiellement par de grands barrages, de taille supérieure à 3000 ha environ (CNES, 2000);
- 2- petits et moyens périmètres (PMH) d'irrigation, s'étendant entre la centaine et quelques milliers ha, avec réseaux modernes ou traditionnels d'irrigation, desservis à partir de petits barrages, dérivations d'oueds ou de forages (CNES, 2000) ;
- 3- les secteurs d'irrigations individuelle, desservis à partir de puits, de sources ou par épandage de crue (CNES, 2000).

Les superficies irriguées s'élevaient en 1989 à 378000 ha; en 1995, elles ont atteint 454000 ha (y compris les épandages de crues), soit 50% du potentiel irrigable et se répartissent comme suit (Loucif, 2003) :

- 38.000 ha (8,4%) périmètres gérés par les offices de périmètres irrigués (OPI) et irrigués à partir des barrages ;
- 142000 ha (31,3%) dans les wilayas du sud ;
- 274000 ha (60,3%) à travers la petite et moyenne hydraulique (PMH) dans le Nord.

La superficie irriguée n'a pratiquement pas évolué de 1960 à 1970. Au cours de 1980-84, environ 40000 ha nouveaux ont été mis en irrigation, soit 8000 ha/an ; 10000 ha existants ont en outre été réhabilités (Hamlat, 2013).

Troisième chapitre

**ENJEUX SOCIO-ECONOMIQUES
ET ENVIRONNEMENTAUX DES
EAUX SOUTERRAINES**

I. Enjeux de la préservation des eaux souterraines

Les données estiment que 97% de l'eau sur la Planète est de l'eau salée. Les 3 % d'eau douce sont contenus à 77,2 % dans les glaciers et à 22,2 % dans les nappes d'eau souterraine. Seulement environ 1% du stock mondial d'eau douce peut être utilisable par l'homme. Actuellement, la population mondiale consomme 54 % des ressources utilisables et accessibles. En 2025, elle en consommera entre 70 et 90 % (chiffres de 2009). On considère qu'une vingtaine de pays ont déjà recours à un approvisionnement forcé (consommation d'eau souterraine fossile et/ou dessalement de l'eau de mer) (**Webmaster 4**).

II. Caractérisation des bénéfices économiques liés à la préservation des eaux souterraines

Pour anticiper le changement climatique, il est nécessaire de préserver des ressources en eau qui pourront s'avérer stratégiques à l'avenir car elles permettront à la société de disposer d'alternatives pour l'alimentation en eau potable (AEP) lorsque les ressources actuelles se réduiront (**Webmaster 5**).

C'est notamment le cas des zones de sauvegarde pour l'alimentation en eau potable future, qui regroupent les territoires recelant des ressources de bonne qualité dont l'usage pour l'alimentation en eau potable est faible ou inexistant, et dont la préservation consiste à maintenir en l'état une occupation du sol ou des activités qui soient compatibles avec le bon état des eaux souterraines (**Webmaster 5**).

Il est cependant difficile de mobiliser les élus, équipes techniques et collectivités autour des enjeux liés à la préservation de ces ressources, notamment lorsque cela s'oppose à des projets d'aménagement concurrents. Il est ainsi apparu nécessaire de démontrer que ces actions génèrent toute une diversité de bénéfices économiques pour les territoires. Ces bénéfices de la préservation ne portent pas uniquement sur les futurs usages potentiels de la ressource, ils s'étendent à l'ensemble des services délivrés par les écosystèmes présents sur la zone à préserver, et sont compatibles avec un bon état de la ressource en eau souterraine. (**Webmaster 5**).

Neuf services écosystémiques ont été identifiés par les acteurs locaux. Ils correspondent à trois grandes familles (**Webmaster 5**) :

- les services d’approvisionnement qui conduisent à des biens appropriables (aliments, matériaux, etc.) ;
- les services de régulation qui correspondent à la capacité des écosystèmes à moduler dans un sens favorable à l’homme des phénomènes comme le climat ou le cycle de l’eau ;
- et les services culturels, c’est-à-dire l’utilisation des écosystèmes à des fins récréatives, esthétiques et spirituelles, ou éducatives.

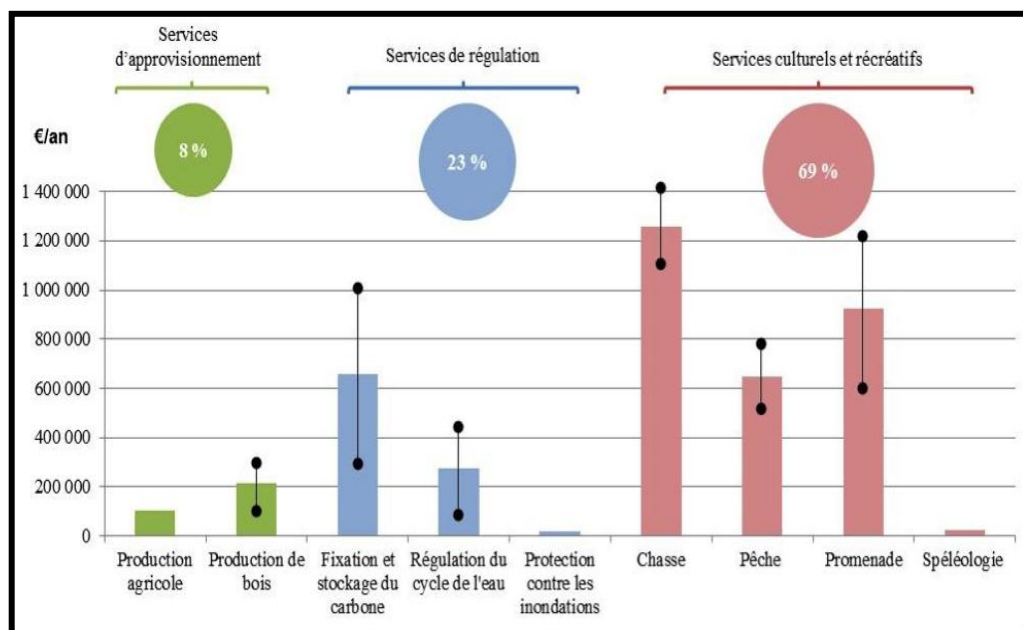


Figure N°08 : Valeur économique des bénéfices associés aux services écosystémiques. (Source : Webmaster 5)

Les bénéfices associés à la préservation de l’ensemble de ces services écosystémiques sont estimés entre 2,9 et 5,4 millions d’€/an, soit entre 390 et 730 €/ha/an pour la zone de sauvegarde de la Sainte-Baume, selon les méthodes d’évaluation économique et les hypothèses utilisées. Les plus gros contributeurs sont les services culturels et récréatifs qui représentent en moyenne environ 69% de la valeur économique des services écosystémiques fournis par la zone, suivis des services de régulation (23%) dont le seul service de fixation et de stockage du carbone par les forêts contribue à hauteur de 16%, puis des services d’approvisionnement (8%).

Il convient de noter qu’un argumentaire basé sur les seuls bénéfices associés à la préservation des ressources en eau pour l’alimentation en eau potable aurait amené à

estimer les bénéfices de la préservation à hauteur de 130 à 410 k€/an, soit seulement 7% des bénéfices totaux mis en évidence par une démarche globale basée sur les services écosystémiques à l'échelle d'un territoire (**Webmaster 5**).

III. Usage des eaux et adaptation

Toutes les activités humaines sont liées à un usage de l'eau qu'elles soient agricoles, industrielles, énergétiques ou domestiques (**figure N° 09**). Les développements économiques et démographiques entraînent de faire une croissance continue des besoins en eau (croissance particulièrement marquée dans les pays émergents). De plus, quelque soit l'endroit où l'on se trouve, les ressources conventionnelles (lacs, rivières, nappes phréatiques) sont limitées. Il est important donc, à différentes échelles et selon les endroits, de pouvoir mettre en place des stratégies de gestion optimisées des ressources en eau. L'utilisation de ressources non conventionnelles et de cycles courts d'utilisation de l'eau, telle que décrite sur la figure ci-dessous, permettrait de limiter ou réduire la pression sur les ressources conventionnelles. Sont appelées ressources non conventionnelles les eaux pluviales, les eaux provenant du dessalement d'eaux de mer ou saumâtres et la réutilisation d'eaux usées traitées. Elles présentent chacune des avantages et des inconvénients quant à leur gestion et leurs usages (**Roche, 1996**).

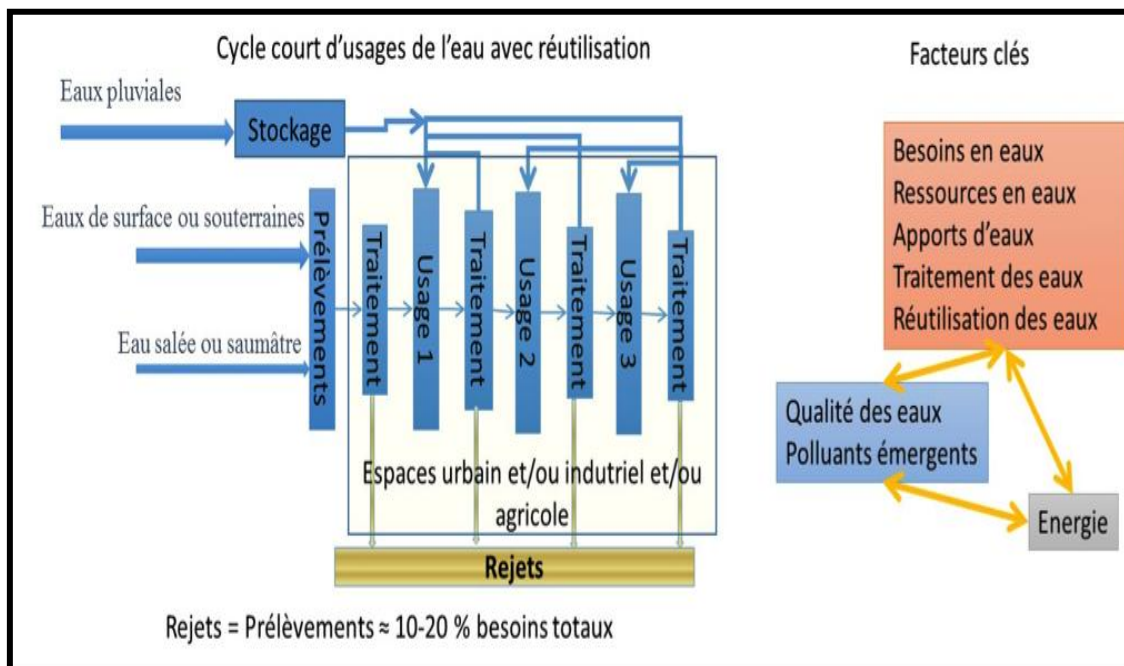


Figure N° 09 : Représentation simplifiée d'un cycle court d'usages de l'eau.
(Source : Roche, 1996)

Avec les techniques actuelles de traitement et de gestion des eaux, il est possible de mettre en place un tel cycle où les prélèvements directs de ressources conventionnelles ne représenteraient que 10 à 20 % de la somme de tous les besoins. Néanmoins, de tels cycles sont des solutions spécifiques à chaque endroit et à chaque territoire étudié.

Cela nécessite donc de faire à l'échelle d'un territoire donné :

- un état des lieux spatio-temporel précis des besoins en eau, aussi bien en termes de qualité qu'en termes de quantité, afin de classer les différents usages ;
- un état des lieux spatio-temporel précis des ressources, en termes de qualité et de quantité, mais aussi de fragilité ou robustesse du milieu et des aménagements existants ;
- une prospective et une projection réalistes de l'évolution des différents besoins dans le temps.

Les quantités d'eaux présentes dans les mers et les océans peuvent laisser à penser que leur ressource est inépuisable et qu'il suffit de dessaler les quantités nécessaires pour répondre à nos besoins. Néanmoins, même si les procédés de dessalement, par osmose inverse notamment, ont beaucoup évolué ces dernières années, il ne faut pas négliger les risques environnementaux qu'ils représentent en terme de consommation énergétique, de rejets salés et de rejets de produits chimiques.

De ce fait, cette ressource ne peut être envisagée, d'un point de vue durable, que comme une ressource d'appoint de moins de 10 % des besoins (**Roche, 1996**).

Le stockage des eaux pluviales présente de réels intérêts quant à la répartition temporelle et saisonnière de la ressource et ce, sur différentes échelles. À une grande échelle, avec la mise en place de grands réservoirs de stockage associés à des canaux de distribution, comme cela a déjà été réalisé avec succès dans la région, en permettant notamment d'éviter le manque d'eau en Provence.

Cette solution présente néanmoins des inconvénients liés notamment à l'impact de la mise en place de telles infrastructures sur les écosystèmes et sur le fait que les territoires situés en amont des réservoirs ne bénéficient pas ou peu de cette ressource. Il est aussi tout à fait pertinent de réaliser une gestion temporelle des eaux pluviales à des

plus petites échelles (villes, quartiers, villages, maisons individuelles) avec néanmoins la limitation importante de ne récupérer, pour des questions de qualité, que des eaux de toitures (**Webmaster 6**).

La réutilisation des eaux usées traitées est une pratique qui est déjà étudiée et appliquée depuis plusieurs décennies en agriculture et avec succès dans de nombreux pays. Il ne faut pas limiter néanmoins son usage à l'irrigation car selon le niveau de traitement atteint et les besoins spécifiques d'un territoire, cette ressource peut être valorisée pour de nombreux usages avec, cependant, de vraies contraintes quant à leur qualité. Enfin, il ne faut pas sous-estimer la problématique de l'acceptabilité sociétale de la réutilisation de ces eaux et des efforts de communication seront nécessaires pour dissiper les craintes (**Webmaster 6**).

La réutilisation des eaux usées traitées permettrait aussi de participer, au même titre que les eaux pluviales, à la recharge des aquifères côtiers très touchés par les prélèvements croissants et une imperméabilisation des sols provoquée par une urbanisation galopante qui provoque par endroit des remontées importantes du biseau salé. À une échelle plus petite, maison ou immeuble, le traitement et la réutilisation des eaux grises a déjà montré, par exemple au Japon, des potentialités très intéressantes permettant de réduire de 50 % le prélèvement d'eau pour un usage domestique (**Webmaster 6**).

Dans le cadre d'une gestion durable du cycle de l'eau, il convient donc de considérer, au même titre, toutes les ressources conventionnelles et non conventionnelles avec pour chacune, des spécificités, des qualités, des quantités à considérer. De ce point de vue, il faut aussi que le cadre législatif français sur la réutilisation des eaux usées traitées évolue rapidement de façon à permettre de sortir du cadre dérogatoire restrictif de son usage qui n'encourage pas la mise en place de projets d'envergure à l'instar de ce qui est fait dans de nombreux pays, notamment en Europe (Espagne, Italie, Portugal) (**Webmaster 6**).

Enfin, il est important de considérer le lien entre tous ces cycles anthropiques de l'eau et l'énergie pour faire en sorte que les solutions choisies soient les plus neutres possible en énergie. Il convient également aussi d'optimiser le potentiel énergétique de

ces eaux ; il est, en effet, tout à fait possible de produire de l'énergie à partir notamment de la chaleur des eaux usées (**Webmaster 6**).

IV. Évaluation de l'impact des activités humaines sur la ressource en eau

La notion d'eau virtuelle est un nouveau concept qui établit un lien entre la production agricole et industrielle et l'utilisation des ressources en eau, directe et indirecte. Découlant directement de cette notion, la définition de l'empreinte eau permet de comptabiliser l'utilisation de la ressource en eau, directe et indirecte, associée aux activités humaines, de l'échelle individuelle à l'échelle globale. C'est une notion très concrète, qui offre un cadre rigoureux d'évaluation de l'impact des activités humaines sur la ressource en eau (**Webmaster 6**).

Ainsi, par exemple, on montre qu'il faut en moyenne 8000 litres d'eau pour fabriquer un jean. Ce chiffre comptabilise la consommation d'eau totale, incluant la production du coton, son transport sur le site de production et le processus industriel de fabrication. Dans le domaine agroalimentaire, l'empreinte eau la plus élevée est celle de la viande de bœuf, avec une moyenne de 3000 litres nécessaires pour produire un steak de 200 g.

Néanmoins, il est évident que les impacts environnementaux de l'utilisation de la ressource en eau sont très dépendants de modes de production, qui vont de l'agriculture locale basée sur des cultures pluviales, à la production industrielle qui repose sur une agriculture intensive et irriguée. Pour permettre une analyse de ces impacts environnementaux potentiels, plusieurs catégories d'eau virtuelle sont définies (**Webmaster 6**).

L'eau verte comptabilise l'eau de pluie consommée localement par la production agricole, et l'eau bleue celle qui est prélevée dans l'environnement (eau de surface ou souterraine) pour être acheminée sur le lieu de production. Une troisième catégorie, l'eau grise, vise à estimer l'impact des activités humaines en termes de pollution. Elle est définie comme la quantité d'eau nécessaire pour diluer une pollution jusqu'à revenir à des concentrations acceptables. Cette dernière, qui repose sur la caractérisation d'une pollution, est moins facile à utiliser (**Webmaster 6**).

À l'échelle globale, l'empreinte eau a été estimée à 9087109 m³/an (1996-2005), dont 92 % sont liés au secteur agricole. Cela représente une moyenne d'environ 1400 m³/habitant/an, avec évidemment de grandes disparités en fonction des régions du globe. Est-ce que l'empreinte eau est plus importante dans les régions où la ressource est la plus abondante ? Pas forcément malheureusement, et il arrive même que les choix économiques de certains pays les conduisent à exporter de l'eau virtuelle alors même que les productions concernées reposent sur une ressource insuffisante, ce qui conduit à l'appauvrissement progressif des aquifères. Encore insuffisamment utilisée, la notion d'empreinte eau est un outil particulièrement intéressant pour contribuer à évaluer la durabilité environnementale et économique des activités humaines (**Webmaster 6**).

L'inégalité territoriale vis-à-vis de la ressource en eau a engendré la réalisation de nombreuses infrastructures de transfert de l'eau au cours du temps, suivant en cela les développements économiques et démographiques de la région. Ces aménagements ont fortement réduit les inégalités territoriales d'accès à la ressource en eau et ont permis, grâce notamment aux stockages, de s'affranchir d'une partie des contraintes saisonnières et géographiques. Mais lors des années de forte sécheresse (2003-2007), les tensions restent toutefois perceptibles et l'équilibre autour de la multiplicité des usages pourrait s'avérer fragile dans un futur soumis au changement climatique (**Webmaster 6**).

Les incertitudes sur l'évolution de la ressource en eau (quantité et qualité) sont très grandes. Les fortes incertitudes sur les prévisions des précipitations, la complexité des systèmes hydrologiques, la forte pression humaine sur ces systèmes et le manque de connaissances (surtout concernant le suivi instrumental des cours d'eau) rendent extrêmement difficile la modélisation de ces systèmes, et donc l'évaluation de l'impact du changement sur la ressource future. La diminution des débits ne sera pas également répartie sur l'année. Le printemps et l'été seront plus particulièrement touchés, avec une diminution des débits qui pourrait atteindre 50 % dans certains secteurs en raison d'une sécheresse estivale plus sévère en intensité et en durée. La diminution du manteau neigeux, de plus de 50 % au-dessous de 1800 m, et sa fonte plus précoce viendront également renforcer les étiages estivaux et printaniers (**Webmaster 6**).

Dans le contexte du changement climatique, les ressources en eau montrent donc une tendance générale à la baisse et avec un manque d'eau accru en été. Ce ne

sera pas sans conséquence sur les usages et le partage de l'eau. Sachant aussi que les écosystèmes aquatiques ne devront pas être écartés des réflexions et des mesures d'adaptation qui en découleront. En effet, une attention toute particulière doit être portée à la protection et la conservation de la biodiversité de ces écosystèmes déjà fortement impactés par les activités humaines (prélèvements, rejets, artificialisation des cours d'eau etc.) (**Webmaster 6**).

Il s'avère nécessaire aujourd'hui d'intégrer les enjeux de l'eau dans l'aménagement du territoire afin d'assurer une gestion durable de la ressource et des milieux aquatiques. Il s'agira à la fois d'optimiser l'équilibre entre les différents usages (énergie, agriculture, eau potable) et entre utilisation des ressources locales et le recours au transfert d'eau, de préserver le bon état des eaux et des milieux, mais aussi de favoriser l'innovation et les zones de sauvegarde de ressources stratégiques (**Webmaster 6**).

V. Enjeux environnementaux et socio-économiques des eaux souterraines dans la région d'Aïn Témouchent

Trois sources majeures peuvent être la cause de la pollution des eaux de surface et peuvent même contaminer les eaux souterraines on a :

- Pollution urbaine (solides et liquides)
- Pollution industrielle (solides et liquides)
- Pollution agricole par l'utilisation de pesticides et engrais. (figure N° 10)

Les décharges peuvent être aussi une source de contamination si les moyens de prévention et de traitement ne sont pas mis en œuvre. Les déchets seront emportés par les eaux de ruissellement et lessivés en profondeur.

Les déchets stockés dans les casiers de la décharge et du centre d'enfouissement technique libèrent, plus ou moins rapidement, l'eau qu'ils contiennent. Ces jus concentrent les polluants et substances toxiques contenus dans les déchets mélangés, notamment les métaux lourds, sont des menaces pour les sols et les ressources en eau de surface et souterraine (**Glandier, 2002**).

Certains centres de stockage ne sont pas équipés de membranes de protection au fond des casiers, les lixiviats pénètrent donc directement dans le sol et peuvent rejoindre une nappe phréatique, polluant ainsi la ressource en eau (**Bentekhici, 2018**).

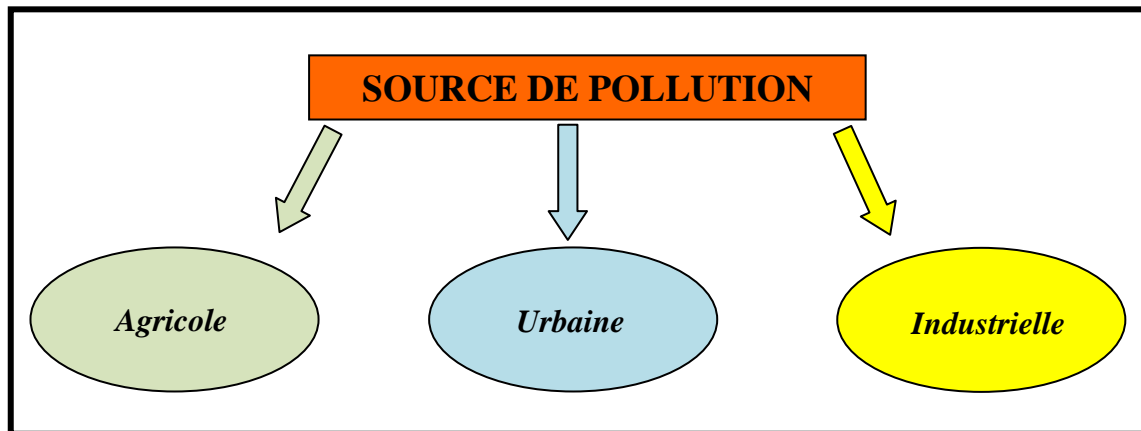


Figure N° 10 : Différentes sources de pollution des eaux souterraines.

V.1. Différents Types de pollution

V.1.1. Pollution bactérienne

Cette pollution est liée à la prolifération de micro-organismes dans les décharges publiques, fosses septiques ou puits perdus et qui, entraînés vers les nappes souterraines, amènent une pollution, limitée dans le cas de l'aquifère du Pliocène sableux où la propagation des micro-organismes est lente. Par contre, dans les formations fissurées telles que la région d'Aïn Témouchent qui renferme des basaltes, la pollution pourra s'étendre rapidement (**DRE, Aïn Témouchent, 2005**).

V.1.2. Pollution chimique

- **D'origine naturelle** : est liée au lessivage des formations géologiques.
- **D'origine anthropiques** : par l'apport d'eaux usées domestiques, industrielles et au lessivage d'engrais, pesticides, herbicides et autres produits chimiques utilisés dans l'agriculture.

La région d'Aïn Témouchent est caractérisée par sa vocation agricole, ce qui entraîne l'utilisation de quantités importantes de produits chimiques (engrais, herbicides, etc). Une grande partie de ces produits est absorbée par les végétaux en particulier les

engrais potassiques et sodiques, tandis que les engrais azotés plus mobiles vont être lessivés par les eaux d'irrigation et de ruissellement (DRE, Aïn Témouchent, 2005).

V.2. Sources de pollution

Il existe plusieurs sources possibles de pollution des eaux : domestiques, industrielles et agricoles.

V.2.1. Origine domestique

Dans le cas d'un assainissement, collectif ou individuel, défectueux, des substances indésirables contenues dans les eaux vannées et les eaux ménagères peuvent être transférées à la nappe (matières organiques, détergents, solvants, micro-organismes...). Le cas se produit avec les puits perdus, l'assainissement individuel avec infiltration dans le sol mal conçu ou mal dimensionné, les stations d'épuration urbaines surchargées... Les ordures ménagères accumulées dans des décharges sauvages ou non mises à la norme libèrent également des lixiviats riches en polluants.

➤ Caractéristiques de la décharge d'El Malah

Pour les 17165 habitants (année 2002) de la commune d'El Malah et les 844 habitants du village Messada (DRE, Aïn Témouchent, 2005).

- Superficie de la décharge : 02 Ha.
- Type de déchets : ordures ménagères et décombres.
- Site sur terre agricole.
- Perméabilité du sol non connue.
- Inexistence d'une nappe phréatique.
- La décharge est non située à proximité d'un lit d'Oued.
- Pas d'étude d'impact pour le site.
- La décharge est gérée par la commune d'El Malah.

➤ Aménagement au sein de la décharge

- Pas de clôture.
- Pas de contrôle à l'entrée de la décharge.
- Pas de voie de circulation à l'intérieur du site.
- Les déchets sont brûlés en plein air.

- Pas de récupération des déchets.
- Les mesures prévues : une clôture avec gardiennage.

➤ **Risques de nuisances**

- Pas de nuisances pour les ressources hydriques.
- Pas de nuisances pour les habitants avoisinants.

➤ **Caractéristiques de la décharge d'Aïn Témouchent**

Pour une population de 60489 habitants (année 2002) de la commune d'Aïn Témouchent (**DRE, Aïn Témouchent, 2005**).

- Décharge non contrôlée, située à 3 km au Nord-Ouest de la ville de Sidi Ben Adda.
- La superficie de la décharge est de 20 Ha.
- L'entreprise qui prend en charge la collecte des déchets est HYGEANA 2000.

➤ **Commune de Chabaàt El Leham**

La décharge de la commune est sauvage, située à 3 km au Sud- Est du chef lieu de la commune avec une superficie de 01 Ha. Cette décharge englobe les déchets de 14055 habitants (année 2002).

➤ **Commune de Sidi Ben Adda**

Le site de cette commune prend les déchets de 12943 habitants (année 2002) (**DRE, Aïn Témouchent, 2005**).

La décharge située à la sortie du village de Sidi Ben Adda à 500 m au Nord-Ouest au sommet d'une colline, à proximité d'un cimetière et l'Oued Sennan.

Le site prend une superficie de 02 ha.

Une étude est en phase d'achèvement, établit par le bureau d'étude AGRO-DEV (Tlemcen), concernant l'aménagement et l'équipement d'un centre d'enfouissement du groupement des communes d'Aïn Témouchent.

➤ **Quantité de déchets urbains (statistiques 2002)**

Les déchets générés par les principales agglomérations du bassin versant sont comme suit:

- Pour l'agglomération d'Aïn Témouchent: 43,01 tonnes/jour.
- Pour l'agglomération de Chabaàt El Leham: environ 10 tonnes par jour.

- Pour Sidi Ben Adda: 9,20 tonnes par jour.
- Pour l'agglomération d'El Malah: 12,20 tonnes/jour (**DRE, Aïn Témouchent, 2005**).

La collecte est assurée par les municipalités à part la commune d'Aïn Témouchent, par contre l'élimination ne se fait pas de façon satisfaisante. Aucune décharge n'est exploitée ni aménagée selon les règles minimales d'hygiène et de protection de la santé. La mauvaise gestion des décharges comporte des risques sérieux de pollution des eaux de surface, plus particulièrement dans cette région où le sol est perméable. La reproduction et le développement de vecteurs de maladies dans et autour de la décharge comme les rongeurs, les chiens et chats errants, présentent une menace pour les riverains. Les nuisances dues à l'envol des particules légères, les odeurs et la déclaration d'incendies spontanés ou volontaires sont autant de facteurs qui militent en faveur d'une prise en charge sérieuse des déchets et de leur élimination (**DRE, Aïn Témouchent, 2005**).

V.2.2. Origine industrielle

Les polluants d'origine industrielle sont très variés selon le type d'activité: substances organiques banales, produits organiques de synthèse, hydrocarbures, sels minéraux, métaux lourds... Les pollutions sont exceptionnelles (incident dans un procédé industriel) mais encore trop souvent chroniques (fuite de réservoirs, de canalisations...), un cas particulier est celui des exploitations minières. L'extraction des granulats en plaine alluviale met en contact l'eau de la nappe avec les polluants éventuels.

La wilaya d'Aïn Témouchent, comprend deux zones industrielles Aïn Témouchent et de Beni Saf, dont on cite 840 industries selon ONS, 2011 (**Bentekhici, 2018**).

La zone industrielle Aïn Témouchent située à 2 km au Sud de la ville Aïn Témouchent, d'une superficie de 130 ha, sur des terrains à haute valeur agricole. La plus importante unité implantée dans la zone, c'est le complexe de fabrication de détergents (ENAD), il a été créé en 1989, d'une superficie de 23.3 ha. Sa conception est axée vers la fabrication de détergentes poudres. Il est représenté comme le plus pollueur dans la zone, car il rejette ses eaux usées dans l'oued Chaabet El Ham, un effluent d'oued El Malah, des eaux usées très toxiques (**Bentekhici, 2018**).

La zone industrielle de Beni Saf : localisée à 4 km est de la ville de Beni Saf, la plus importante unité implantée dans la zone, c'est la cimenterie de SCIBS, qui a été créée

en 1975, l'activité a débuté en 1989, elle s'étend sur une superficie de 42 ha, elle est située à proximité d'une ZHUN, il représente le pollueur majeur de l'atmosphère (**Bentekhici, 2018**).

➤ Déchets industriels

- Commune d'Aïn Témouchent: 1180 tonnes/an.
- Commune d'El Malah: 20 tonnes/an.
- Commune de Chabat El Leham: 6 tonnes/an.

Une grande partie de ces quantités de déchets provient des unités industrielles suivantes :

- Conserveries de fruits et légumes.
- Conserveries de poissons et fruits de mer.
- Fabrication de l'emballage.
- Fabrication de produits détergents (Société Nationale des Industries Chimiques, située à quelques kilomètres au Nord- Est de la ville d'Aïn Témouchent).

En matière de l'environnement, ces entreprises évacuent des produits toxiques caractérisés par des teneurs élevées en matières oxydables et organiques. Il s'agit de différents déchets provenant des industries diverses (Industrie alimentaire, Industrie agricole, Tannerie et textile, Papeterie, Industrie physique, Industrie chimique, Industrie pétrochimie). L'impact des rejets industriels sur la qualité des eaux marines, de surface et souterraines est en fonction de leur affinité avec l'oxygène, de la quantité de solides en suspension, et de leurs teneurs en substances organiques et inorganiques (**Bentekhici, 2018**).

Selon les données sur les déchets des activités industrielles fournies par l'inspection de l'environnement de la wilaya d'Aïn Témouchent, il n'y aurait pas de problème majeur de pollution industrielle vue que l'activité industrielle dans toute la wilaya est faible. Néanmoins, certaines activités et certains déchets ou substances doivent être surveillés (**DRE, Aïn Témouchent, 2005**).

V.2.3. Origine agricole

La croissance démographique, et l'exploitation excessive des terres agricoles ont eu pour résultat un déséquilibre à cause des besoins alimentaires toujours croissants et les surfaces agricoles en constante régression. Les services concernés étaient obligés de

multiplier les rendements sur les mêmes espaces, par l'introduction d'un machinisme sans cesse amélioré d'une part et de l'autre part l'utilisation massive des engrais et des produits chimiques de traitement des plantes qui détruit la vie dans les rivières et rend impropres à la consommation humaine et parfois animale, les eaux souterraines et superficielles. C'est ainsi que ces produits deviennent de véritables sources de pollution, dont les principales sont : Le traitement des sols et des végétaux, l'élevage, la maintenance des machines, la plasticulture (**DRE, Aïn Témouchent, 2005**).

Les principaux déchets produits par le secteur agricole sont les déchets d'élevage. Hors, ces déchets sont actuellement utilisés pour l'amendement des sols. Les autres types de déchets pouvant présenter des risques majeurs de contamination pour les eaux superficielles et même souterraines sont :

- Les produits phytosanitaires utilisés abusivement. L'excès de ces produits lessivés par les eaux d'irrigation.
- Les emballages contaminés ayant contenus des produits phytosanitaires pouvant être réutilisés par la population.
- Les produits phytosanitaires périmés.

Les renseignements concernant l'utilisation de pesticides et engrais pour les différentes communes du bassin versant d'Oued El Malah ne sont pas disponibles mais on peut avoir une idée sur l'utilisation de ces produits en se référant aux données et aux quantités disponibles au niveau des services concernés englobant toute la wilaya. Le transfert des engrais et pesticides à la nappe se fait soit par infiltration sur l'ensemble de la surface cultivée, soit par rejet dans des puits perdus, des gouffres et bétoires, la pratique de l'irrigation accélère le transfert (**DRE, Aïn Témouchent, 2005**).

VI. Vulnérabilité des nappes phréatiques de la région d'Aïn Témouchent à la pollution

La pollution du sol et des nappes est en relation directe avec la nature des roches, et donc aux natures des formations lithologiques, par exemple, dans un massif calcaire (on l'appelle karst) les réserves d'eau sont très importantes et constituent une ressource en eau potable, qu'il est possible d'exploiter à grande échelle. Cependant, l'eau s'infiltré dans les fractures sans être filtrée, ce qui rend la nappe particulièrement vulnérable aux pollutions (**Bentekhici, 2018**).

La vulnérabilité dépend du type de nappe, libre ou captive, et du mode de circulation de l'eau dans l'aquifère. Les nappes libres sont les plus vulnérables: les polluants d'origine superficielle peuvent diffuser librement dans le sol et la zone non saturée jusqu'au niveau piézométrique, d'autre part, la fluctuation verticale saisonnière du niveau piézométrique aboutit à rincer les particules de la zone non saturée et entraîner les substances qui y sont adsorbées. Les nappes captives en revanche sont mieux protégées par les couches imperméables qui les surmontent. Leur alimentation en eau superficielle est plus circonscrite, donc plus aisée à protéger. Leur pollution apparaît lorsque le niveau protecteur imperméable est percé par un ouvrage (ancien forage, fouille profonde...), la percolation de l'eau dans un milieu poreux peut produire une fixation des substances sur les particules et donc une épuration de l'eau.

Pour atteindre une nappe libre en milieux poreux, les polluants transportés par les eaux d'infiltration doivent franchir de nombreux obstacles (**DRE, Aïn Témouchent, 2005**).

Au Sud de la ville d'Aïn Témouchent, on retrouve des formations volcaniques des andésites et des tufs, qui sont des roches magmatiques effusives, le Nord est constitué par des couches calcaires gréseux-argilos (**Bentekhici, 2018**).

- **Le sol** : l'activité chimique et microbiologique est intense (oxydation, réduction...). De nombreux corps sont modifiés chimiquement, les polluants organiques peuvent être métabolisés et minéralisés. Néanmoins, cette biodégradation peut aboutir à des métabolites au moins aussi toxiques que les polluants d'origine. Les complexes argilo-humiques peuvent fixer de nombreux corps minéraux et organiques par adsorption.

- **La zone non saturée** : comme le sol, elle joue un rôle dans la filtration et la rétention de certaines substances. Cette action est d'autant plus efficace que la granulométrie est plus faible.

- **La zone saturée** : la filtration se poursuit dans le milieu poreux de la nappe; le polluant est dilué dans la masse d'eau.

On voit que la protection de la nappe sera d'autant meilleure que le sol et la zone non saturée sont épais, que leur granulométrie est fine, que la vitesse de percolation de l'eau dans la nappe est faible. En revanche, ce type de nappe une fois contaminée par un polluant le reste longtemps (**DRE, Aïn Témouchent, 2005**).

Dans tous les cas, la pollution des eaux souterraines est favorisée par certains aménagements et pratiques :

- Interventions qui favorisent l'infiltration dans la nappe: forages de puits sans précaution, ouverture de gravières, puits perdus pour infiltrer les eaux usées...
- Mauvaise gestion des eaux de ruissellement, suite à l'imperméabilisation des surfaces (ville, routes), aux drainages agricoles, et des eaux usées.
- Modification des pratiques agricoles: remplacement de la prairie par des cultures intensives (remembrement, suppression des haies, du bocage, sols à nu pendant l'hiver).
- Elevages intensifs 'hors-sol', produisant une accumulation locale d'excréments difficiles à gérer.

Les conditions de propagation de la pollution dans la nappe d'eau sont liées au champ des vitesses de l'eau de la nappe, il permet d'estimer en effet, l'importance de l'atténuation de la pollution de la nappe par dilution et oxydation (**DRE, Aïn Témouchent, 2005**).

VII. Pollution de la nappe des roches volcaniques par le CET d'Aïn Témouchent

Le centre d'enfouissement technique de Sidi Ben Adda est installé au substratum de massif volcanique d'Aïn Témouchent. Ce massif couvre une superficie de 350 Km², caractérisé par son âge jeune le quaternaire (**Louni-Hacini et al., 1995 ; Coulon et al., 2002**). Les émissions volcaniques varient entre des laves associées le plus souvent à des brèches volcaniques et du volcano-sédimentaire. Les coulées émises reposent sur un substratum représenté par des sédiments néogènes du deuxième cycle post-nappes. Aux environs du Dj. Dziuou, de Koudiat Berbous et de Sidi Ben Adda, les produits éruptifs recouvrent des récifs coralliens d'âge messinien. Les gisements volcaniques les plus méridionaux reposent sur des formations marno-gréseuses d'âge miocène (**Moissette, 1988**).

Lecocq (1987) indique que la perméabilité des formations volcaniques est comprise entre 2.10^{-4} et 8.10^{-7} m/s, avec une valeur moyenne de 6.10^{-5} m/s (**Bentekhici, 2018**).

Le centre d'enfouissement technique (CET) est installé dans l'impluvium de l'aquifère plio-quaternaire des volcans sédimentaires localisées principalement au niveau de la zone d'Aïn Témouchent, Aïn Tolba, Sidi Ben Adda et Oulhaça, cette aquifère

présente une épaisseur de 20 à 100 m, comporte deux couches productives, les sables pliocènes et les calcaires fissurés du miocène supérieur. Les basaltes qui étaient secs deviennent aquifères et suralimentent les sables pliocènes et les calcaires miocènes (Hamidi, 1989).

Cet emplacement risque de polluer la nappe des roches volcaniques, avec une perméabilité moyenne de 6.10^{-5} m/s et une profondeur de la nappe moyenne de 20 m, nous assistons à une contamination de la qualité des eaux souterraines. Le déversement des lixiviats accumulés dans la nature favorise la contamination de la nappe des roches volcaniques et l'inexploitation des eaux souterraines.

Deuxième partie

MATERIELS ET METHODES

Quatrième chapitre

**PRESENTATION DE LA ZONE
D'ETUDE : REGION D'AÏN
TEMOUCHENT**

I. Contexte géographique et administratif

La wilaya d'Aïn Témouchent a une superficie de 2400 km², elle se situe dans la partie occidentale. Elle fait partie du bassin versant des côtiers oranais. Le Chef lieu de la wilaya est situé à 500 km à l'Ouest de la capitale, Alger.

Son réseau hydrographique draine des apports superficiels estimés à 47 millions m³/an, dont la quasi-totalité se déverse dans la mer ou la sebkha d'Oran et sont généralement source d'inondations.

Il est à noter que le territoire de la wilaya est constitué de formations géologiques de faibles potentialités hydriques (13.701 m³) (DRE, Aïn Témouchent, 2009).

La wilaya d'Aïn Témouchent issue du dernier découpage administratif (Loi n°48-09 du 01 Janvier 1984, relative à l'organisation territoriale du pays) et comprend actuellement vingt huit (28) communes et huit (08) Daïras. Elle est limitée : au Nord, par la mer méditerranée, au Sud Ouest, la wilaya de Tlemcen, au Sud Est, la wilaya de Sidi Bel Abbés et, à l'Est, par la wilaya d'Oran.

La population totale de la wilaya est de 410423 habitants, soit une densité de 172 habitants par Km² (DRE, Aïn Témouchent, 2015).

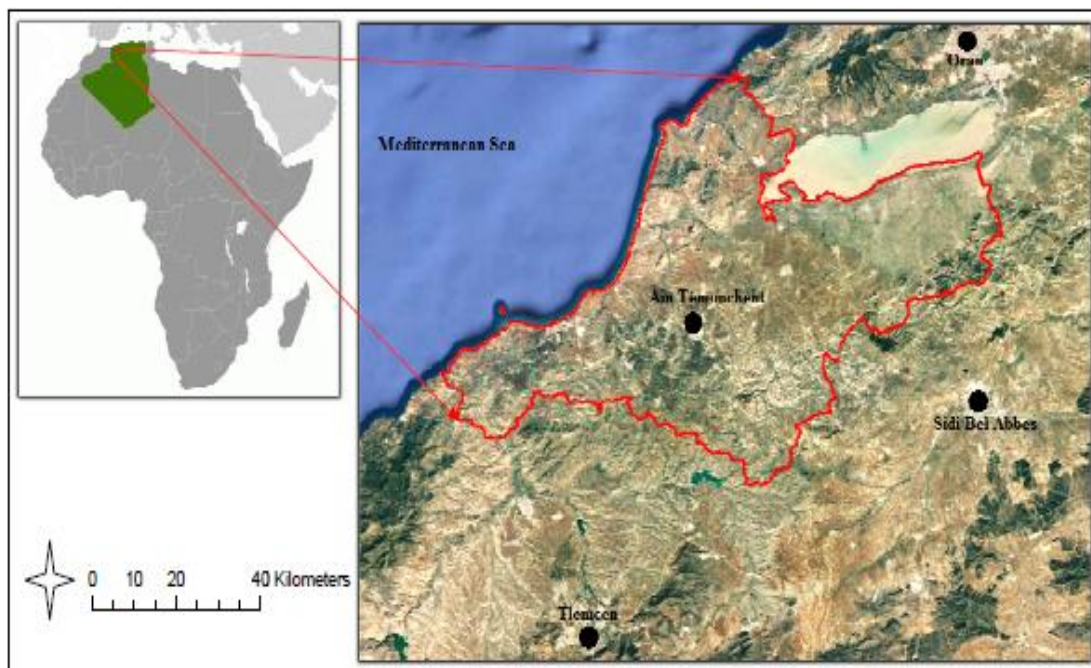


Figure N° 11 : Situation géographique de la zone d'étude.

II. Géologie de la zone d'étude

II.1. Généralités sur la géologie de l'Algérie du Nord

L'Afrique du Nord, localisée entre la Méditerranée et le Craton Africain, peut être subdivisée en trois parties fortement différenciées, ce sont du Nord au Sud (figure N° 12) (Safa, 2010).

- a) **Domaine Tello-rifain** : c'est une portion de la chaîne Alpine se raccordant à l'Ouest aux chaînes Bético-Balears au niveau de l'arc de Gibraltar et à l'Est au système Sicilo-Calabrais.
- b) **Domaine Atlasique** : Avant pays tellien de la chaîne Alpine se bordant au Nord dans sa partie centrale par l'ensemble de la Maséta Oranaise et le domaine Tlemcenien.
- c) **Domaine Saharien** : Il s'agit d'une région stable et faisant partie de la plaque Africaine.

L'Algérie du Nord a été marquée par deux importantes manifestations tectoniques, une Orogenèse Hercynienne et une Orogenèse Alpine dominante, qui ont donné naissance à trois grands ensembles structuraux de l'Algérie septentrionale, on y distingue du Nord au Sud (Safa, 2010).

1) Le domaine Tellien

- **Le Tell septentrionale** : les massifs anciens ou noyaux Kabyles autochtones ; les chaînes calcaires ou dorsale Kabyle ; les flyshes.
- **Le Tell méridionale** : Superposition de l'autochtone intertellien et de nappes de glissement.

2) Le domaine Présaharien

- **Les Hautes plaines et les hauts Plateaux** : on distingue les Hautes Plaines Oranaises bordées au Nord par le domaine Tlemcenien, les Hautes Plaines Algéroises et les Hautes Plaines Constantinoises.

3) L'Atlas Saharien

- **Le domaine de la plateforme Saharienne** : on distingue le Sahara Occidentale (Haute Sahara) et le Sahara Orientale (Bas Sahara).

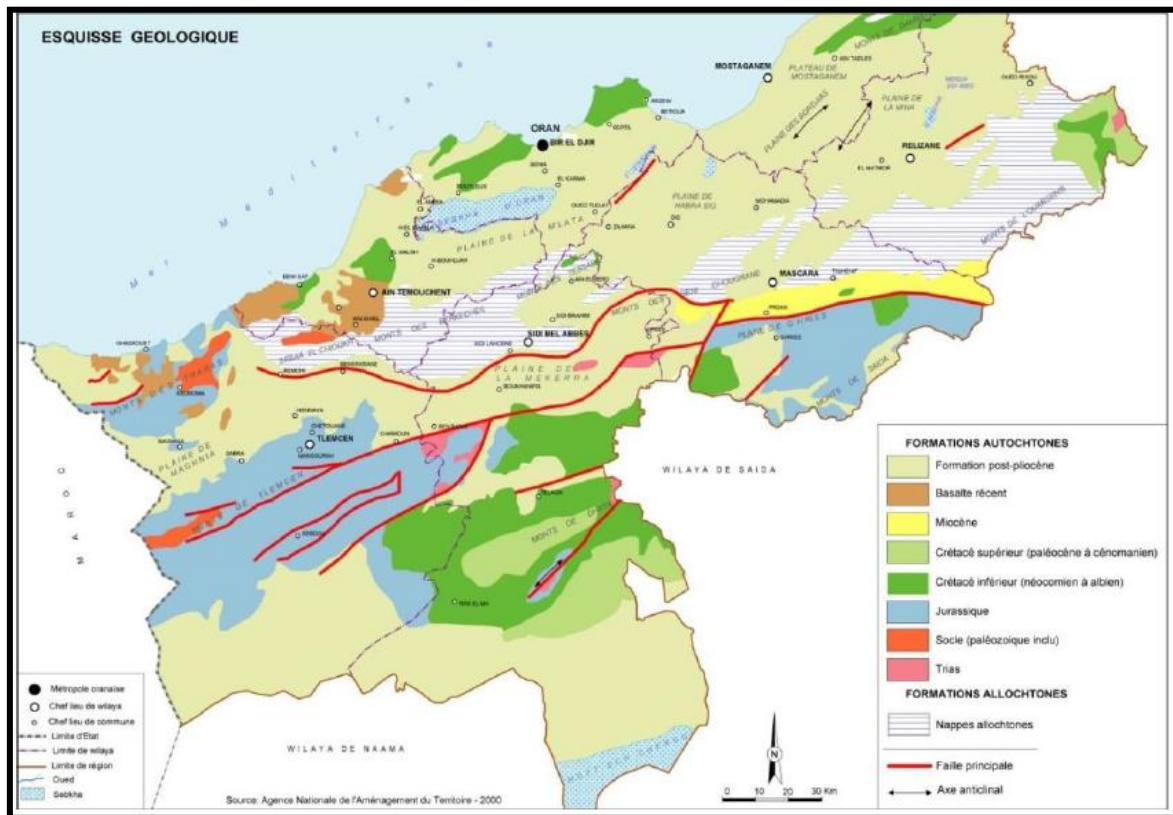


Figure N° 12 : Esquisse géologique du Nord-Ouest algérien.
(Source : ANAT, 2005)

Au point de vue structural, la zone occidentale de la région est marquée par une succession de horsts et de grabens orientés globalement ENE-WSW, depuis les monts de Tlemcen jusqu'au massif des Traras. Les compartiments sont limités par de grandes failles normales dont le rejet vertical peut dépasser 500 m. Cette tectonique qui a compartimenté les formations calcaires a eu pour effet d'isoler, plus ou moins, les aquifères karstiques les uns des autres (Hamlat, 2013).

Plusieurs travaux et recherches scientifiques ont été effectués dans la région du Tell occidental (littoral oranais), Depuis le début des années 1800. Des études géologiques; études hydrogéologiques et études paléontologique.

Les premières études géologiques de la bordure septentrionale des hautes plaines Oraïnes ont débuté au milieu du siècle dernier par Ville (1846) et Renou (1848).

En 1852, un ensemble de dolomies jurassiques a été reconnue au Djebel Nador par Ville.

J. Welsch en 1890 a établi des coupes au niveau des formations du Djebel Nador.

P. Deleau (1935-1936) et J. Savornin (1940-1948) ont fourni la base de la stratigraphie et de la structure du Djebel Nador central et du massif de Chellala qui ont servi à l'élaboration de cette partie de la carte géologique de l'Algérie à l'échelle 1/500000.

D. Auclair et J. Biehler en 1967 ont élaboré une description et une corrélation entre les différentes formations existantes dans le domaine Tlemcenien.

En 1978, F. Atrops et M. Benest parlent de données biostratigraphiques nouvelles sur l'Oxfordien et le Kimmeridgien du Djebel Nador et des conséquences paléogéologiques.

G. Sadran (1952-1958) : a étudié le volcanisme du littoral oranais en établissant une chronologie entre les diverses manifestations éruptives au voisinage du volcan de Tifaraouine.

A cause de la guerre de libération algérienne déclarée en 1954, les recherches dans le Nord de l'Algérie ont été arrêtées pour un temps.

P. Guardia (1975) : a effectué une étude géodynamique de la marge alpine du continent africain d'après l'étude de l'Oranais nord-occidental. Il a aussi établi des relations structurales et paléontologiques entre le Rif, le Tell et l'avant-pays atlasique.

B. Fenet (1975) : a établi des recherches sur l'application de la bordure septentrionale du bouclier africain à partir de l'étude d'un élément de l'orogénèse nord maghrébin, les massifs du Djebel Tessala et les massifs du littoral oranais.

B. Fenet (1975), Thomas (1985) : esquissèrent l'évolution géodynamique de l'Oranais central et décrivent la sédimentation post - messénienne.

G. Thomas (1985) : décrit une démarche géodynamique basée sur une étude du bassin du Bas Chelif comme bassin intra montagneux.

M. Megartsi (1985) : précise les données volcanologiques et pétrologiques du volcanisme de l'Oranie Nord-Occidentale. Il étudie notamment le volcanisme calcoalcalin miocène situé dans la zone tifaraouine – Bouzedjar, et le volcanisme alcalin mioplio-quadernaire de la basse Tafna, les Souhaite et Aïn Témouchent.

M. Megartsi en 1985, dans sa thèse d'état intitulée « Le volcanisme Mio-plio-quadernaire de l'Oranie Nord occidentale (Géologie, Pétrologie et Géodynamique).

P. Guardia en 1975 et 1981 a réalisé les cartes géologiques de la région d'Aïn Témouchent et de Béni Saf, sont une représentation cartographique fine et de grande qualité des unités géologiques affleurant à la surface du sol .Il a effectué une étude géodynamique de la marge alpine du continent africain d'après l'étude de l'Oranais nord-occidental. Il a aussi établi des relations structurales et paléontologiques entre le Rif, le Tell et l'avant-pays atlasique.

On notera également que la région étudiée fait l'objet d'études géologiques récentes par les services de la Direction des Ressources en Eaux, Hydro-Projet-Ouest et par des géologues tel que Hallouche, 1986.

II.2. Cadre géologique de la région d'Aïn Témouchent

La région d'Aïn Témouchent appartient au domaine tellien, caractérisé par une succession de nappes de charriages, dont les racines se situeraient à l'emplacement de la méditerranée actuelle.

II.3. Aspect Structural et tectonique de la zone d'étude

De nombreuses investigations géologiques faites par les chercheurs géologues permettent aujourd'hui d'avoir une parfaite connaissance du style tectonique et de l'architecture des principaux reliefs du domaine tellien (**DRE, Aïn Témouchent, 2005**).

Le domaine tellien est passé par les quatre grandes phases tectoniques suivantes:

II.3.1. Phase hercynienne

Le substratum hercynien n'est que rarement visible et les seuls témoins ont subi des transformations au cours de la tectogénèse tello-rifaine. Dans la partie nord du domaine atlasique oranais, le substratum primaire affleure largement, il forme le cœur des Traras et de la chaîne de Fillaoussène. Il est constitué essentiellement de séries carbonatées et grésopélitiques qui ont subi une tectogénèse hercynienne polyphasée intense dévasée en mouvements précoces (**Hallouche, 1986, Lakhdari et al., 2011 et Hammadi, 2012**).

- Anté-Dévonien moyen.
- Anté-Viséen: phase majeure.
- Post-Viséen.

Plusieurs phases de compressions hâtives, agissent dans les conditions qui définissent le niveau structural moyen. Le substratum ancien est induré par une granitisation dont la plus importante est celle de Nedroma (8Km²), essentiellement post-tectonique. De plus, l'ensemble du futur domaine atlasique est découpé par plusieurs familles de grands décrochements qui délimitent une mosaïque de blocs (**Hallouche, 1986, Lakhdari et al., 2011 et Hammadi, 2012**).

II.3.2. Phase compressive alpine

Le domaine tellien a connu une vaste compression durant la phase alpine dont les plis sont orientés (NE-SW). Une émergence paléogéographique accompagne ce mouvement tectonique allant d'Est en Ouest (d'Arzew jusqu'à Beni-Saf). Ce régime provoque des encrassements ferrugineux épais. Elle comprend deux phases successives (**Hallouche, 1986, Lakhdari et al., 2011 et Hammadi, 2012**).

- **Phase lutétienne: (première phase alpine)**

C'est le résultat du premier affrontement entre les marges de "la plaque d'Alboran" et "la plaque Africaine". Elle est d'âge lutétien. Cette phase est responsable de certains

phénomènes attribués à la tectonique miocène, en particulier épimétamorphisme des massifs littoraux à schistosité.

➤ **Phase miocène: (deuxième phase alpine)**

Cette phase est responsable d'un nouveau épimétamorphisme. La compression engendre la schistosité des massifs littoraux. Elle est d'âge Aquitano-Burdigalien (**Fenet, 1975**). Elle est subdivisée en deux phases de plissements: la compression est moins intense dans le Djebel Mendjel. Cette phase est accompagnée de failles inverses provoquant l'écaillage et le chevauchement de l'allochtone vers le Sud. Une érosion à la fin de cette première phase fait disparaître la partie la plus haute de l'édifice structural (**Fenet, 1975**).

➤ **Deuxième phase de plissement**

Elle est caractérisée par une schistosité de fracture, de plan axial subvertical due à la première phase. Les structures sont plus fines et rares. Les plis sont particulièrement aigus dans le Djebel Sidi Kassem d'une orientation "Nord-Sud". Dans le même temps et pendant le Miocène, intervient un chevauchement des formations allochtones par glissement des parties externes, c'est des contacts anormaux où le matériel Albo-Cénomaniens se déplace vers le Sud et érode les massifs à schistosités. Ces nappes charriées comprennent trois unités telliennes qui caractérisent les monts de Sebàa Chioukh: l'unité de Chouala, l'unité sénonienne, et l'unité oligo-miocène (**Guardia, 1975**).

Donc, c'est la phase, pendant laquelle, le matériel des unités « tello-rifaines » acquière l'essentiel de leur structure, et se termine par la mise en place des unités allochtones frontalement dans un avant fosse miocène qui est nommé "Bassin Synchronappe" ; celui-ci va donner lieu à une accumulation de sédiments, dont la nature dépendra du secteur où se constitue le dépôt, on observe dans la plupart des cas une épaisseur importante de marnes vertes entrecoupées par des bancs gréseux, on peut également noter la présence de formations conglomératiques. Le Miocène Synchronappe occupe une place importante au Sud d'Aïn Témouchent. Il se développe également vers l'Est dans le Tessala (**Guardia, 1975**).

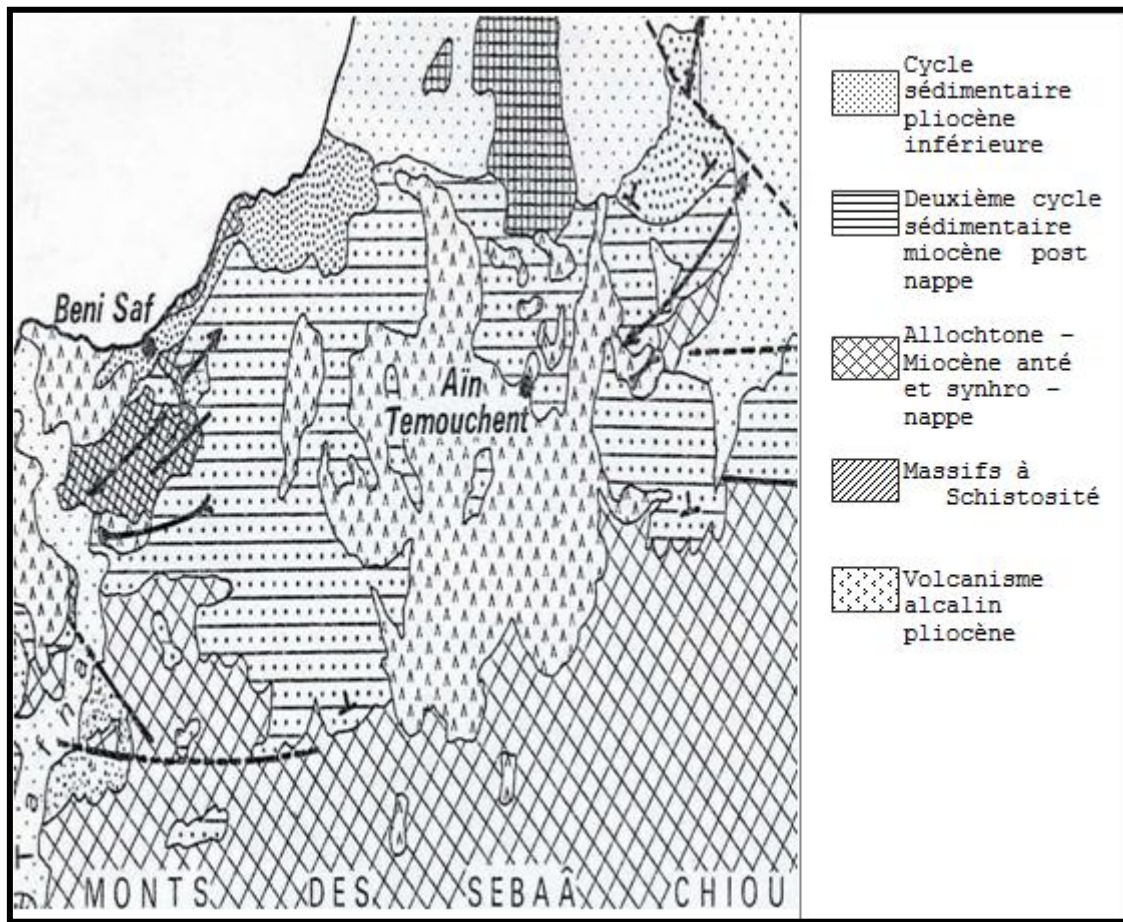


Figure N° 14 : Carte des structures post-nappes.
(Source: Thomas, 1985)

II.3.3. Phase transgressive alpine

A la suite des deux phases lutétienne et miocène qui finissent avec un comblement du bassin synchro-nappe par les nappes telliennes et après la compression alpine, survient la transgression du deuxième cycle post-nappe pendant le Néogène où vont s'emboîter les différentes unités charriées du Nord vers le Sud, elle est caractérisée par une grande épaisseur des dépôts (Thomas, 1985).

Au cours de cette période, une importante tectonique provoque la mise en place des nappes dans les grands bassins. La limite d'avancée des nappes se trouve donc dans l'avant fosse miocène qui constitue la partie septentrionale du domaine atlasique. Cette tectonique dessine les traits essentiels de la structure actuelle (Thomas, 1985).

II.3.4. Néotectonique

La clôture de la mise en place des ensembles alpins dans l'Oranie est marquée par un volcanisme acide plio-Quaternaire (**Guardia, 1975**), c'est une tectonique récente représentée en deux phases :

➤ **Tectonique du Messinien**

Plusieurs événements distensifs sont enregistrés, ils sont responsables du découpage en horst et graben du littoral et ont été accompagnés de basculement de bloc vers le Sud généralement, cette tectonique distensive est épirogénique (**Fenet, 1975**).

➤ **Tectonique du Plio-Quaternaire**

Les déformations du Plio-Quaternaire sont encore plus rares dans le Messinien. Elles constituent des failles inverses et des décrochements suivants lesquels s'effectue le découpage de l'orogène alpine du Nord au Pléistocène et par la suite l'association du volcanisme basaltique alcalin d'Aïn Témouchent. La tectonique actuelle est caractérisée par une activité sismique le long des grands décrochements (**Thomas, 1985**).

II.3.5. Unité du massif d'El Malah

Il s'agit des massifs de Sidi Kassem, Mendjel, et Tounit (Aïcha Touila), appartenant à une unité charriée sur le para-autochtone de la région d'Aïn Témouchent. Le contact est souvent jalonné par le Trias qui est représenté par des roches vertes, pélites violacées, dolomies noires. Ces massifs sont marqués par la présence de métamorphisme et de déformation intense (**Hallouche, 1986**). On connaît deux formations :

➤ **Les formations carbonatées**

Elles sont attribuées à la base du Jurassique, elles comprennent dans le Djebel Sidi Kassem des calcaires massifs finement rubanés, intensément recristallisés et très plissés avec un affleurement local du silex par contre la formation est presque entièrement dolomitisée dans le Djebel Mendjel, cette dolomitisation conçoit par endroits des calcaires sombres, des calcaires sombres à silex noires, des calcaires clairs à silex clair et des calcaires à lits schisteux, prenant l'aspect de "peau de serpent". Quelques passages dans ces calcaires sont peu transformés (**Hallouche, 1986**).

➤ **Les formations schisteuses**

Elles sont en contact anormal avec les calcaires d'âge jurassique moyen à supérieur, les schistes correspondent à d'anciennes pélites finement litées à niveau quartzeux très fins. Ils sont très métamorphisés dans le Djebel Sidi Kassem, verdâtres et beaucoup moins recristallisés dans le Djebel Mendjel. La différence entre les schistes de Sidi Kassem et ceux du Djebel Mendjel serait essentiellement due au métamorphisme plus intense dans le premier affleurement (**Hallouche, 1986**).

La série lithostratigraphique observée dans la zone se présente de la manière suivante :

- **Le Quaternaire** : il est composé d'alluvions très fins de limons d'argile et de sable plus ou moins consolidés (**DRE, Aïn Témouchent, 2005**).
- **Le Pliocène** : à mi distance entre El-Mallah et Hammam BouHadjar, on observe les dépôts continentaux pliocène du djebel El-Meida : il s'agit d'une épaisse série de sédiments fins de couleur ocre rouge, surmontant les calcaires messiniens du Djebel Keroulis.
- **Le Miocène** : Les derniers glissements des nappes rifaines se font dans une avant fosse miocène appelée : bassin synchro-nappes. Après une période d'érosion, se produit une transgression marine avec dépôt de formations sédimentaires du miocène terminal. Cette transgression est dite Messinienne. Dans le bassin d'El-Mallah, les formations marines transgressives sont formées de calcaire sommital, localisées au Nord de la ligne Sebaa Chioukh – Djebel Keroulis, couronnées par des calcaires construits à algues (lithothamniées) déposés au cours de la transgression Messinienne. En revanche, dans les massifs d'El-Malah, les formations calcaires du miocène supérieur sont directement transgressives sur le substratum (**DRE, Aïn Témouchent, 2005**).
- **L'Eocène et l'Oligocène** : Ces formations sont composées de grés quartziteux et de marnes argileuses (**DRE, Aïn Témouchent, 2005**).
- **Le Jurassique et le Crétacé** : sont formés de calcaires massifs dolomitiques parfois en bancs à intercalations de niveaux marneux et schisteux.

II.4. Terrains sédimentaires

- **Le Trias :** Il affleure au Sud du massif de D'Har El Mendjel. Il est représenté généralement par des argiles bariolées rougeâtres, lie de vin parfois vertes et violacées ; associées à du gypse et à du sel. Ces affleurements sont en effet nombreux, mais ils sont recouverts par des alluvions caillouteuses et poudingues tertiaires ; qui forment la plus grande partie du sol de la plaine d'Aïn Témouchent (**Thomas, 1985**).
- **Le Lias :** Il est représenté généralement par des calcaires. Ils forment les deux principaux épitements de Djebel Touita et de D'har El Mendjel. Il s'agit de calcaires qui affleurent en grands bancs gris ou bleu grisâtre très fissurés ; et entrecoupés à l'échelle locale par de nombreux filonnets de calcite. Les calcaires passent plus haut à des dolomies du même âge, plus compactes et plus marmorisées (**Thomas, 1985**).
- **Les schistes d'âge Callovo-Oxfordien :** Il s'agit de schistes verdâtres intercalés de filonnets de calcite, parfois ferrugineuses et de lentilles de quartzites. Ces formations forment la base des massifs de Djebel Touita et de D'Har El Mendjel.
- **Le Néocomien :** Il correspond à des schistes et des quartzites, des schistes argileux avec des intercalations de lentilles de quartzites.

II.5. Volcanisme

Dans la région d'Aïn Témouchent, la phase volcanique principale a été rapportée au Quaternaire. Ces coulées ont en général un substratum miocène supérieur ou villafranchien (Oued El Hallouf). Les émissions volcaniques du plateau néogène d'Aïn Témouchent couvrent une surface de 450 km² entre Chaabet El Leham, le Djebel de Sidi Kassem et Aïn Kihal du Nord au Sud et entre l'Oued Souf et Tell et Sidi Safi de l'Est à l'Ouest (**Hallouche, 1986**).

Bien que l'érosion ait été intense, elle est restée régulière, le réseau hydrographique est peu imprimé dans la topographie et les appareils volcaniques sont en général bien conservés (volcan de Sidi Ben Adda 304m). La cuvette basaltique de Chaabet El Leham doit être apparemment attribuée à des épanchements fissurais locaux (**Thomas, 1985**).

II.5.1. Terrains volcaniques.

Le massif d'Aïn Témouchent se situe à environ 70 Km au Sud-Ouest de la ville d'Oran. Le volcanisme d'Aïn Témouchent couvre une superficie de 350 Km². Les produits émis ont atteint les alentours de Chaâbet Elaham, au Nord, le Douar Chentouf à l'Est, Aïn Tolba et Aïn Kihal au Sud et les environs de Sidi Safi à l'Ouest. Le volcanisme de la région d'Aïn Témouchent se caractérise par son jeune âge car il s'est manifesté pendant le Quaternaire entre -1.28 et -0.82 Ma (**Louni-Hacini et al., 1995 et Coulon et al., 2002**).

Les émissions volcaniques varient entre des laves associées le plus souvent à des brèches volcaniques et du volcano-sédimentaires. Les coulées émises reposent sur un substratum représenté par des sédiments Néogènes du deuxième cycle post-nappes. Aux environs du Djebel Dzioua, de Koudiat Berbous et de Sidi Ben Adda, les produits éruptifs recouvrent des récifs coralliens d'âge Messinien (**Moissette, 1988**). Les gisements volcaniques les plus méridionaux reposent sur des formations marno-gréseuses d'âge Miocène. Ce vaste massif contient pré de 22 appareils volcaniques (**Moissette, 1988**).

II.5.2. Descriptions des différentes formations volcaniques

Les formations volcaniques d'Aïn Témouchent sont formées de trois niveaux de produits de déjections, de bas en haut on a: Les tufs, les brèches et les coulées (**Hallouche, 1986**).

- **Les Tufs** : Les premières manifestations responsables de la formation des anneaux (Anneau de Bengana) de tufs sont de type phréatomagmatiques. D'après leur origine, on peut distinguer :
 - **Les tufs d'origine volcano-sédimentaire** : Ce sont les cendres et lapillis qui ont entraîné la formation de tufs cinéritiques très fertiles et parfois très fins présentant des enclaves (nodules à olivine, bombes à hornblendes brunes, fragments de gneiss à sillimanite) avec des cristaux d'orthoses, d'augites et de spinelles. Ces formations sont bien visibles à Oued Sennâne au Sud de Guentret Saboun (**Hallouche, 1986**).

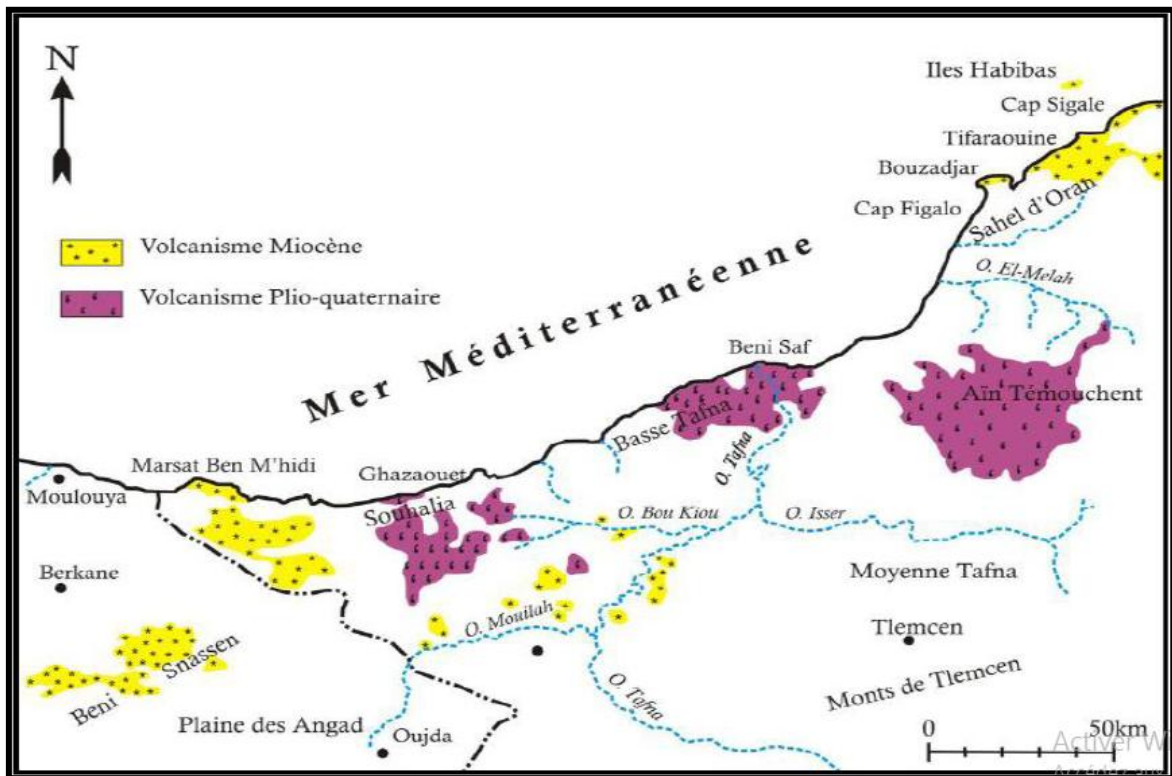


Figure N° 15 : Position stratigraphique et âge du volcanisme en Oranie nord- occidentale.
(Source : Mégartsi, 1985, In Boucif, 2006)

- **Les tufs de retombée :** Ils sont de couleur rougeâtre à aspect induré, de faible densité. Composés de bombes centimétriques à décimétriques, de nature scoriacée et renferment des minéraux ferromagnésiens, leur épaisseur varie de quelques décimètres à un mètre (Hallouche, 1986).
- **Les tufs d'origine explosive :** C'est une formation litée, de couleur sombre contenant des blocs de calcaires, marnes ou grès et des blocs d'origine volcanique de taille variable, ce sont des fragments de coulée (Hallouche, 1986).
- **Les Brèches :** On distingue des brèches de base ou de sommet de coulées et des brèches stromboliennes : les brèches de base ou de sommet de coulées Scoriacées avec des éléments soudés entre eux. Elles sont de couleur rouge en raison du remaniement des tufs sous-jacents au moment du dépôt de la brèche. les brèches stromboliennes : Ce sont des bombes très caractéristiques des volcans stromboliens, formées soit de cônes (Bengana) soit des pitons tels que Hammar Tizi, Snidig. Ces brèches sont bien litées avec des enclaves d'origine profonde (enclaves de péridotites) ayant une taille de quelques centimètres à un mètre (Hallouche, 1986).

- **Les Coulées** : Les coulées et les amas de roches pyroclastiques du massif d'Aïn Témouchent occupent de vastes étendues de très faible pente, légèrement inclinées vers la mer de direction du Sud au Nord. Ces coulées sont massives, rarement prismées, de couleur sombre quand elles affleurent. En raison de leur fluidité, elles s'y accumulent dans les thalwegs en formant de vastes plateaux autour des cratères, les coulées ayant par ailleurs emprunté les lits des anciens Oueds entraînant une profonde transformation du réseau hydrographique. Les produits de projection sont surtout des scories de laves basiques renfermant des nodules à olivine, de gros cristaux d'augite et parfois des enclaves constituées de "bombes à hornblende, nodules à olivine, fragments de gneiss à sillimanite", de même que l'absence des feldspaths. La topographie volcanique a de nos jours pratiquement disparu, la présence de cratères est uniquement marquée par de légères dépressions circulaires renfermant un peu d'eau pendant la saison des pluies et des pitons de scories (**Hallouche, 1986**).

III. Eaux de surface

La nature hydrogéologique est l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, qui participent dans l'écoulement. La région étudiée comprend les bassins versants des oueds suivants (**DRE, Aïn Témouchent, 2010**) :

- Oued Sidi Djelloul.
- Oued El Hallouf.
- Oued Sassel.
- Oued Sidi Baroudi.
- Oued Besbes.
- Oued Senane.
- Oued Ouzert.
- Oued Souf.
- Oued Et-Tell.
- Oued Meteguer.
- Oued Mallah.

La wilaya est parcourue par un réseau hydrographique moyennement intense, dont la superficie totale de bassins versants est de 1667,42 km² pour une pluviométrie moyenne de 350 mm/an (ADE, Aïn Témouchent, 2010).

Malgré les précipitations réduites, le réseau hydrographique est important et de nombreux oueds conservant un écoulement pendant une grande partie de l'année. Ceci est dû à la présence de nombreux aquifères. La grande variété des formations géologiques qui, bien que d'importance généralement faible, donnent naissance à de nombreuses sources à débit faible qui contribuent à alimenter les cours d'eau le long de leur parcours, depuis leur origine jusqu'à la mer (DRE, Aïn Témouchent, 2005).

On observe deux types d'écoulement :

- Un écoulement exoréisme classique, dirigé vers la mer ;
- Un écoulement endoréisme, dirigé vers la Sebkha.

A l'exemple de :

Oued Sidi Baroudi (plateau de Ghamra) est un exemple parfait d'endoréisme : prenant sa source à 2 km de la mer, il parcourt 15 km environ vers le sud avant de rejoindre la cuvette fermée de la grande Sebkha (DRE, Aïn Témouchent, 2005).

Oueds côtiers qui entaillent le plateau d'Aïn Témouchent (Oued Sidi Djelloul, Oued El Hallouf, Oued Senane, Oued El Malah) ou le plateau Ghamra (Oued Sassel, Oued Ouzert) sont les plus importants avec un écoulement pérenne ;

Oued principal, El Melah, représente un appareil fluvial complet qui draine le flanc nord de la chaîne de Tessala (DRE, Aïn Témouchent, 2005).

III.1. Eaux des oueds

Le territoire de la wilaya est drainé principalement par les Oueds de la Tafna, d'El Malah, d'El Hallouf et de Mekhayssia, à écoulement exoréique (vers la mer), et ceux de Besbes, Azgoun, Ghassoul, Haimeur, Tamazourah et Sidi Baroudi, à écoulement endoréique (vers la sebkha) (DRE, Aïn Témouchent, 2005).

Le climat semi-aride de la région d'Aïn Témouchent, où les précipitations sont faibles et irrégulières, engendre un tarissement quasi-total de tous les oueds pendant les périodes estivales. Le tableau N° 11 représente les oueds qui constituent le réseau

hydrographiques de son territoire et donne une idée globale sur les principaux sous bassins versants de la wilaya. En hiver, ces oueds sont généralement en crue pendant la saison des pluies, alors qu'en été ils sont presque à sec (**DRE, Aïn Témouchent, 2010**).

Tableau N° 11 : Sous-bassins versants de la wilaya d'Aïn Témouchent.
(Source : DRE, Aïn Témouchent, 2010)

Oueds	Cordonnées		Bassins Versants	Cartes 1/50000	Surfaces Km ²	Apports Annuels (S.B.V) m ³ /an
	X	Y				
El Maleh	142,95	245,40	Bassin versant Oued El Malah	179	880,750	24829 434,630
Aghlal	164,25	222,80	Sous bassin versant Oued Aghlal	209	132,875	3 745 911,015
Meteguer	164,35	234,27	Sous bassin versant Oued Meteguer	209	138,750	3 911 534,550
Souf El Tell	157,10	242,00	Sous bassin versant Oued Souf El Tell	180	106,375	2 998 843,155
Ouzert	149,80	246,00	Sous bassin versant Oued Ouzert	180	47,175	1 329 921,747
Sennane Tayeb	146,95	244,95	Sous bassin versant Oued Sennane	179	161,875	4 563 456,975
Oued El Hallouf	139,17	237,17	Sous bassin versant Oued El Hallouf	208	73	2051456,220
Mekhaissia	138,00	236,00	Sous bassin versant Oued Sidi Djelloul	208	187,250	5262125,715
Sassel	144,85	251,00	Sous bassin versant Oued Sassel	180	60,875	1737414,806
Sidi Baroudi	163,65	252,00	Sous bassin versant Oued Sidi Baroudi	180	60,875	1710717,773
Besbes	179,12	237,15	Sous bassin versant Oued Bessbes	209	107,420	3018731,879
Bendjalloul	124,00	220,00	Sous bassin versant Oued Bendjalloul	239	30	843064,200
EL-Ghassoul	189,10	237,90	Sous bassin versant Oued El Ghassoul	210	69,850	1962934,479
Berkeche	168,82	225,92	Sous bassin versant Oued Berkèche	209	72.500	2 043 864,900
Dellize	168,86	225,96	Sous bassin versant Oued Delliz	209	33,500	944 406,540
Sekkane	138,05	223,44	Sous bassin versant Oued Sekkane	208	26,750	751732,245
Tamazourah	195,90	239,20	Sous bassin versant Oued Tamazourah	210	42,650	1198556,271
Tandjourfa	197,00	243,50	Sous bassin versant Oued Tandjourfa	181	10,450	293667,363

III.2. Retenues collinaires

Ce sont de petits ouvrages en terre destinés à emmagasiner des quantités d'eau peu importantes. Ils sont faciles à réaliser et à mettre en œuvre. Ils ne demandent pas de gros investissements et les délais de réalisation sont assez courts. Les volumes d'eau mobilisés par ce moyen sont surtout destinés à la mise en valeur agricole à petite échelle et à l'abreuvement du cheptel. Pour l'espace littoral, seule deux retenues collinaires ont été réalisées pour subvenir aux besoins de l'agriculture (**Bensaoula, 2008**).

La retenue de Hachama, est complètement envasée et nécessite des travaux de réhabilitation (drainage). Ces retenues sont construit au début des années 1990 cette période a été remarque par la diminution de la pluviométrie et l'augmentation de la

température ce qui indique à l'évaporation forte et excessive des retenues (**DRE, Aïn Témouchent, 2005**).

Sur les 4 ouvrages de la région Plaine et Côteaux d'Aïn Témouchent - M'leta, seule la retenue collinaire de Sekkane est en exploitation, mais pratiquement à sec ; le petit barrage de Sidi Aneur, dont le niveau a atteint le point mort, fait l'objet d'un arrêté du Wali interdisant tout prélèvement depuis 2006 ; le barrage de Mekhaissia et la retenue de Ouled Bouguedra, de construction plus récente, n'ont pas atteint le niveau d'eau nécessaire pour l'exploitation (**DRE, Aïn Témouchent, 2005**).

Le tableau suivant montre les principales retenues collinaires de la zone d'étude.

Tableau N° 12 : Etat des petits barrages et retenues collinaires de la zone d'étude.
(Source : Etude d'inventaire PMH / DHW 2008)

Nom de l'ouvrage	Commune	Date d'exploit	Capacité théorique (hm ³)	Volume exploité actuel (hm ³)	Taux d'envasement (%)	Superficie irriguée prévue (ha)	Superficie irriguée actuelle (ha)	Observations
Sekkane	Aïn Tolba	1991	0.54	0.02	40	58	2	En exploitation
Ben Djelloul	Oulhaça El Gheraba	1994	0.96	0.25	30	101	15	En exploitation
Ouled Azzouz	Sidi Ourieche (ex Tadmaya)	2007	0.1	0.04	1	16	3.5	En exploitation
Oued Kolla	Hassasna		0.3	0.15	0	18	0	Remplie à moitié mais non exploitée
Mekhaissia	Sidi Ben Adda	2006	2.96	0	2	480	0	Niveau d'exploitation non atteint
Ouled Bouguedra	El Malah	2008	0.4	0	0	80	0	Niveau d'exploitation non atteint
Sidi Aneur	Ouled Kihal	1998	1.43	0	40	151	0	A atteint le niveau mort
Sidi Hadouche	Aïn Kihal	1993	0.62	0	30	55	0	À sec
Aïn Guemal	Aghlal	1993	0.45	0	20	47	0	À sec
Michimiche	Aghlal	19889	0.3	0	60	32	0	À sec
Hachama(I)	Oued Berkeche	1990	0.44	0	100	47	0	Déclassé

D'après le tableau N° 12, nous avons observé que 3 retenues collinaires sont à sec avec un taux d'envasement allant de 20 à 60%.

Les deux ouvrages barrage Ben Djelloul et la retenue d'Ouled Azouz, localisées dans les côtes littorales du Tlemcenais-Oranais sont en exploitation réduite.

III.3. Hydrogéologie

Elles proviennent essentiellement de quartes nappes, réparties comme suit :

III.3.1. Identification des aquifères existants dans la région d'Aïn Témouchent

Selon Hallouche, 1986 ; plusieurs études ont été faites par les services de DHW sur les formations géologiques, qui ont permis d'individualiser, dans le secteur les formations perméables suivantes :

a) Nappe des calcaires liasiques

Cette nappe des Djebels Menguel et Touita, perchée au-dessus de la plaine d'El-Maleh, vers laquelle elle s'écoule avec un fort gradient, a des réponses de forte amplitude aux variations extérieures. Les chutes de pluies sont immédiatement suivies par une recharge de la nappe qui se vidange rapidement dès la fin des périodes pluvieuses, le rabattement annuel est important.

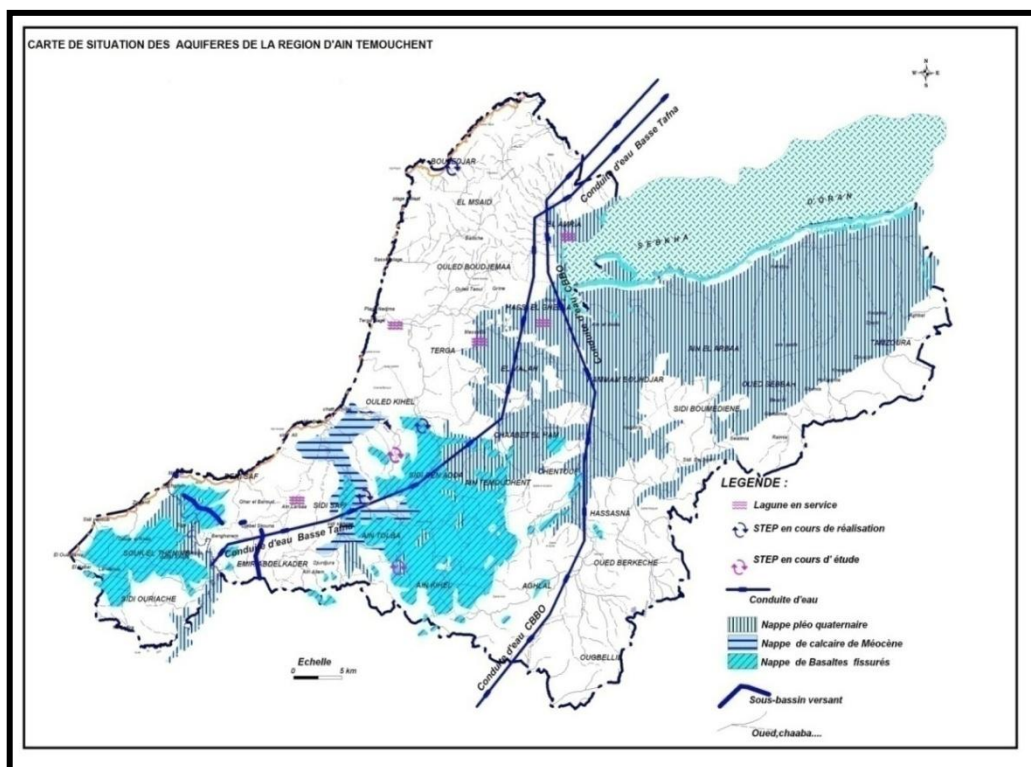


Figure N° 16 : Aperçu sur les formations géologiques et les principales nappes dans la région d'Aïn Témouchent.
(Source : ANAT, 2005)

b) Nappe des calcaires blancs Karstiques de Hassi El-Ghella

Les pluies de Novembre participent à la reconstitution des réserves du sol. Les premières réponses de la nappe apparaissent un mois après. Puis les pluies fortes de Février entraînant la recharge de la nappe, qui se poursuit ensuite jusqu'au mois de Juin.

- De juin à octobre : vidange de la nappe.
- D'octobre à décembre, la constitution des réserves utiles à la végétation.
- De janvier à mi-juin : recharge de la nappe.

On observe une réponse beaucoup plus rapide du calcaire à la fin de la période pluvieuse. On peut envisager deux raisons à cela :

- Alimentation retardée des terrains volcaniques moins transmissifs.
- Vidange plus rapide des calcaires Karstiques (à perméabilité de chenaux) de rétention plus faible et délivrant les débits plus importants.

c) Aquifère des sables et grés du pliocène

Le Pliocène est représenté, dans l'ensemble, par une alternance de sables, de grés et de marnes, qui surmontent les calcaires du Miocène supérieur. Cette formation constitue un aquifère à perméabilité d'interstice variable. Le gradient est faible, ce qui peut se traduire par une forte perméabilité. L'écoulement de la nappe se fait du Nord vers le Sud, une partie de l'alimentation se fait par les calcaires blancs messéniens.

Dans la région de Sassel, l'écoulement se fait du Nord-Est vers le Sud-Ouest, une partie de ces eaux s'écoule vers la mer, l'autre partie s'écoule vers la vallée de l'Oued El-Malah (**DRE, Aïn Témouchent, 2005**).

d) Aquifère des alluvions quaternaires

Le quaternaire est représenté par des alluvions, limons sableux et sables argileux et par des dépôts de pente. Ces formations présentent une perméabilité généralement faible, mais qui localement peut devenir importante. L'extension de ces formations est limitée aux vallées des oueds et aux bas fonds. Elles se localisent essentiellement dans la région de Terga au Nord-Ouest de Hassi El-Ghella et dans la plaine de la M'leta (**DRE, Aïn Témouchent, 2005**).

Les alluvions composées d'argiles rouges à galets en bordure de la sebkha contiennent une nappe peu profonde, l'eau y est saumâtre. Dans la zone de Hassi El-Ghella et à l'Est de Boutlélis, l'aquifère calcaire du miocène alimente localement les alluvions et permettent d'obtenir des mélanges acceptables et d'augmenter les réserves. Les eaux du bassin versant situé à l'est de Hassi El-Ghella se dirigent vers la grande Sebkha entre El-Djezira et Hassi El-Ghella. Le Calabrien comprend les alluvions et sédiments de la marge continentale, sables à Hélix indurés des grès, galets et des carapaces calcaires (**DRE, Aïn Témouchent, 2005**).

e) Aquifère des basaltes Plio-quaternaires

Les basaltes requièrent une grande importance sur le plan des ressources en eau principalement en raison de leur extension dans la région. Le substratum de cette formation varie suivant la localisation: ce serait parfois les formations sableuses du Pliocène et parfois les calcaires et les marnes du Miocène. On distingue trois niveaux de bas en haut:

- **Tufs basaltiques:** formation légère et tendre, formée de matériaux grossiers qui apparaissent à la base et certains plus fins au sommet tels que les cinérites. Ces tufs d'origine phréatomagmatique présentent une perméabilité d'interstices.
- **Scories:** composées d'éléments cimentés, de tailles variables (épaisseur de 5 à 10m), caractérisées par une perméabilité d'interstices.
- **Coulées:** occupent de vastes étendues et se disposent en dalles massives. Comportant un réseau de fissures très dense et d'orientations différentes. Ces coulées ont donc une perméabilité de fissures qui sont à l'origine de plusieurs émergences le long des Oueds (Sennâne, Souf et Tell).

Il existe quelques sources de faible débit dans les basaltes, ainsi que certains forages ont été implantés à ce niveau au Sud d'Aïn Témouchent (**Hachemaoui, 2016**).

f) Aquifère des calcaires et grès de l'Oligo-miocène

Il s'agit d'alternance de marnes, de calcaire gréseux et grès à ciment calcaire qui affleurent au niveau d'Aghlal et Oued Berkeche. Cet aquifère ne présente que des nappes perchées et superposées d'extension réduite, donnant naissance à des sources de déversement de faibles débits (**DRE, Aïn Témouchent, 2005**).

D'autre part, la perméabilité des terrains est souvent faible, les débits des exutoires sont peu importants (en général inférieurs à quelques litres par seconde) sauf dans le cas d'une disposition favorable (structurale) comme celui d'Aïn El Had au Nord- Est d'Aoubellil qui présente un débit élevé: environ 35 L/s (**DRE, Aïn Témouchent, 2005**).

g) Aquifère du Jurassique inférieur

Le Jurassique inférieur intéresse le massif d'El Malah (les Djebels de Sidi Kassem, Mengel, Touita) et Djebel Tounit, formé de séries carbonatées qui reposent sur la série primaire schisto-gréseuse. La formation du calcaire jurassique se présente comme un ensemble fracturé ayant une direction moyenne comprise entre N20° et N40° dont l'eau absorbée y circule, ces calcaires comportent quelques sources telle que la source d'Aïn Tounit (X = 151,051km, Y= 229,870km) (**Hallouche, 1986**).

La nappe des calcaires liasiques a des réponses de forte amplitude aux variations extérieures car elle se vidange rapidement après avoir été rechargée pendant les périodes pluvieuses, le rabattement annuel est important. Une formation aquifère a été distinguée dans le Djebel Houarya, composée d'une séquence calcaire-dolomitique comprise entre les schistes primaires (qui forment un écran imperméable) et les schistes du jurassique moyen et supérieur (**Hallouche, 1986**), on distingue :

➤ **Nappes des roches volcaniques**

Elles s'étendent sur les régions d'Aïn Témouchent, Oulhaça et Bouzedjar. Les eaux sont de bonne qualité chimique, leur résidu sec ne dépasse pas 01g/l. L'épaisseur de l'aquifère varie de 30 à 100 m ;

➤ **Nappe des grés**

Ils forment un aquifère important, présentant une bonne perméabilité d'interstices. Ces grés se situent au Sud d'Aïn Témouchent et s'étalent d'Oued Berkèche jusqu'à l'Est d'Aïn Kihal ;

➤ **Nappe des dunes anciennes**

Elle se situe en bordure du littoral et est constituée essentiellement d'un sable fin à moyen à Hélix (**DRE, Aïn Témouchent, 2010**).

III.3.2. Caractéristiques physique des aquifères

➤ Piézométrie

Nous avons pris en compte la carte piézométrique réalisée par J.Priol 1975, l'Oued El Malah prend origine des deux directions.

Du Nord-Est à partir des calcaires blancs du miocène supérieur de Hassi El-Ghella, les sables et grés du pliocène de la région Sud de Douar Taoui drainent les eaux issues des calcaires miocènes pour alimenter à leur tour la vallée de l'Oued El Malah (**DHW, Aïn Témouchent, 2005**).

Du Sud, d'autres venues des eaux souterraines contribuent à l'alimentation de l'oued, une ligne de séparation des écoulements souterrains se situe à l'est de l'Oued Metguer, passe par Hammam Bouhdjar puis Hassi El-Ghella. La nappe s'écoule vers le Nord-Ouest selon la vallée de l'Oued El Malah, elle reçoit un écoulement souterrain provenant des versants Miocènes de Hassi El-Ghella (**DHW, Aïn Témouchent, 2005**).

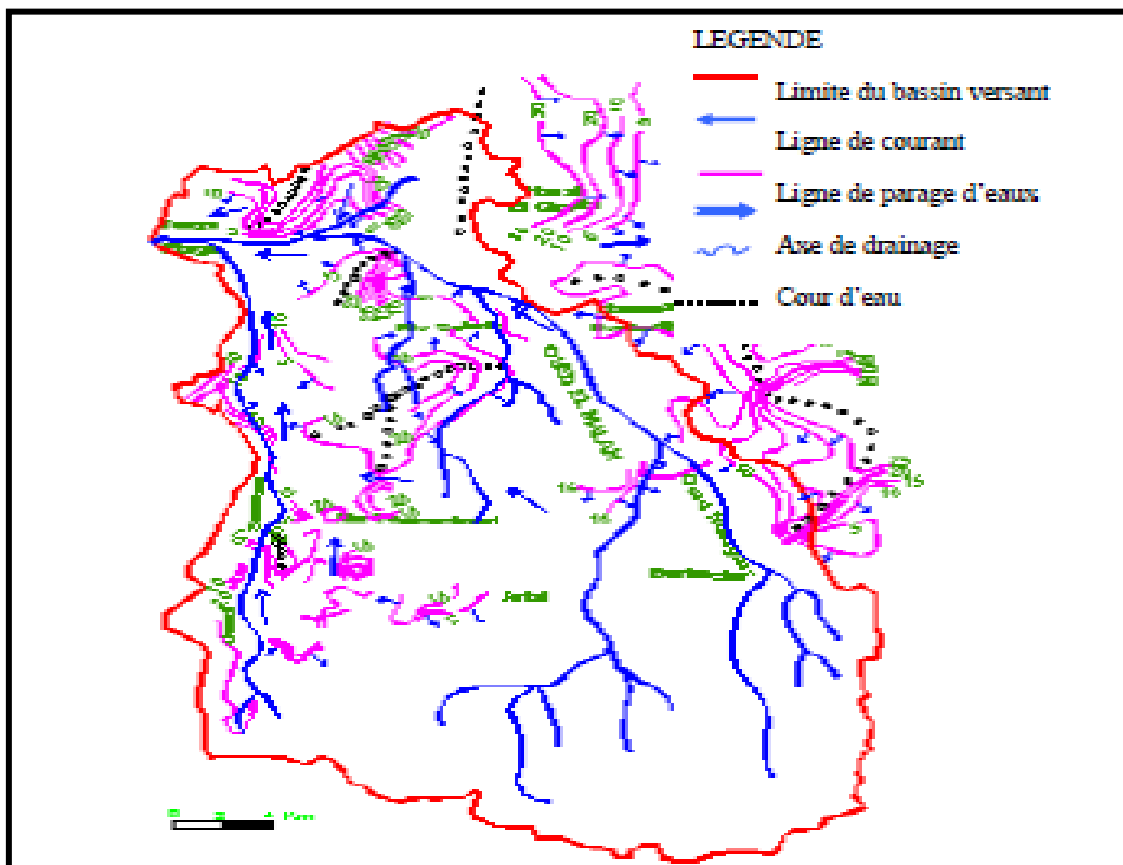


Figure N° 17 : Carte piézométrique.
(Source : DRE, Aïn Témouchent, 2005)

➤ Caractéristiques hydrodynamiques

Le concept fondamental de l'essai de pompage est très simple : de l'eau est extraite (par pompage ou puisage) d'un puits ou d'un forage, faisant ainsi baisser le niveau d'eau. Le niveau d'eau dans le forage d'extraction et le débit de pompage sont observés pendant un certain temps, de même que divers autres paramètres, lorsque c'est possible (par ex. les niveaux d'eau dans des forages d'observation). La manière dont le niveau d'eau réagit au pompage est ensuite analysée pour en tirer des informations sur les caractéristiques de performance du forage et les propriétés hydrauliques de l'aquifère (CICR, 2011).

La reconnaissance a été effectuée au 8h jusqu'à la profondeur 170m. L'ouvrage a recoupé une série d'alternance de basalte et de cendre volcanique à passées de grès et d'argiles jusqu'à 121m et une alternance de grès quartzite et d'argiles à la base (Thomas, 1985).

III.3.3. Forages

Selon les services de la Direction de l'Hydraulique de la wilaya d'Aïn Témouchent, une partie de l'alimentation en eau est assurée par les ressources souterraines (les forages) où il existe actuellement 30 forages qui sont en services (tableau N°13). Ces forages prenant sources des nappes phréatiques (DRE, Aïn Témouchent, 2010).

L'eau est véhiculée par un mouvement gravitaire dans des canalisations en acier, dont le diamètre ne dépasse pas 350 mm, vers tous les réservoirs.

Tableau N° 13 : Forages de la wilaya d'Aïn Témouchent.
(Source : DRE, Aïn Témouchent, 2010)

Daïra	Nombre de forage	Qualité des eaux
Aïn Témouchent	08	Bonne
El Maleh	03	Passable
El Amria	03	Passable
Hammam Bou Hadjar	02	Bonne
Aïn Larbaa	04 + 01 nouveau 2009	Passable à médiocre
Beni Saf	05	Bonne
Oulhaça	06	Passable à bonne
Aïn Kihal	06	Bonne

Les forages localisées dans les communes suivantes : d'Aïn Témouchent, Hammam Bou Hadjar, Beni Saf et Aïn Kihal se caractérisent par une bonne qualité des eaux.

Les autres sont entre passable à bonne qualité des eaux. A l'exception les 05 forages localisées dans la zone de Aïn Larbaa, se caractérisent par de mauvaise qualité et cela peuvent être du à la proximité de la sebkha d'Oran qui contamine les nappes (**DRE, Aïn Témouchent, 2010**).

III.3.4. Eaux des sources

Les sources qui alimentent les oueds dans cette wilaya sont nombreuses, mais d'un débit très faible et souvent temporaire (tableau N° 14).

La région d'Aïn Témouchent totalise un nombre de 19 sources avec un débit plus moins faible qui varie entre 0.2 et 10l/s. L'eau de ces sources est destinée à l'alimentation en eau potable (AEP). Celle de Sidi Younés n'est pas captée à cause de la mauvaise qualité de son eau (polluée) (**DRE, Aïn Témouchent, 2010**).

Tableau N° 14 : Inventaire des principales sources dans les communes de la wilaya avec débits et usages.
(Source : DRE, Aïn Témouchent, 2010)

Nom	Usage	X(Long)	Y (Lat)	Z(Sol)	Q(Debit)	OBS.
Aïn El Merdja	AEP	122.70	225.07	30	2	Captée par AEP Tadmay
Aïn Ouerda	AEP	117.85	223.54	190	0.8	Captée par AEP Oulhaça
Tenikremt	AEP	132.60	234.45	120	10	Captée par AEP Béni Saf
Tinesramet	AEP	139.20	225.92	-	5	Captée par AEP Aïn Tolba
Sidi Younes	AEP	148.73	223.40	320	6	Captée par AEP A.T.
Sidi Yamine	AEP	149.23	232.65	-	3	Non captée, polluée
Aïn Tounit	AEP	153.40	236.05	100	2	Captée par AEP El Malah
Aïn El Amria	AEP	160.60	255.95	-	3	Captée par AEP El Amria
Source Fendjrou	AEP	145.45	219.20	-	3	Captée par AEP El Kihhal
Aïn Aghlal	AEP	157.30	217.90	-	5.5	Captée Aghlal
Aïn El Had	AEP	167.90	214.10	-	8	Berkèche et Hassasna
Aïn Aoubellile	AEP	165.40	213.70	-	0.2	Captée pour abreuvement cheptel
Aïn Djenane	AEP	163.50	209.70	-	0.5	Captée AEP ferme
Aïn Ançor	AEP	131.10	227.00	-	4	Captée AEP Béni Saf
Aïn Beni Ghalem	AEP	122.95	223.38	-	1	Captée AEP Rechgoun
Aïn Mini BeniSaf	AEP	129.60	230.00	-	5	Captée AEP Béni Saf
M'Saïd	AEP	151.225	252.725	-	10	Captés AEP M'saïd
Source Sassel	AEP	145.800	251.300	-	2	AEP Sassel
Aïn Kihal	AEP	155.150	225.35	-	3	Captée AEP Chaâbat El Ham

Le tableau montre les principales sources de la région d'Aïn Témouchent. Les eaux de sources sont destinées pour l'usage domestique pour répondre aux besoins de la population en eau potable (AEP).

La source de Sidi Yamine est non captée à cause de la mauvaise qualité de ces eaux (pollution).

Cette quantité d'eau prélevée ne peut satisfaire les besoins en eau de la ville et des communes. Cependant, et afin de combler ce manque, les services régionaux (Oranie) du secteur des eaux ont opté pour le prélèvement d'une partie des eaux du barrage Béni Bahdel (wilaya de Tlemcen) vers la wilaya d'Aïn Témouchent, destinée pour l'alimentation en eau potable (AEP) et pour l'industrie (**Ex. : cimenterie de Béni Saf**). Actuellement la wilaya Aïn Témouchent dispose d'une usine de dessalement d'eau de mer d'une capacité de 200 000 m³/jours (**ADE, Aïn Témouchent, 2010**).

IV. Etude bioclimatique de la région d'Aïn Témouchent

Le climat Algérien est un climat de transition entre le climat tempéré humide et le climat désertique. Il varie de manière contrastée, du type méditerranéen et semi-aride dans le Nord vers le type désertique dans le Sahara (**Hamlat, 2013**).

L'Oranie est caractérisée par une aridité singulière, car les perturbations climatiques abordent le Maghreb par l'Ouest lorsque l'anticyclone des Açores occupe une position méridionale (**Benabdelli, 1996**).

D'une manière générale, le climat est relativement sec sur l'ensemble de la région nord-ouest. La pluviométrie est souvent inférieure à 500 mm, à l'exception des hauteurs (Monts de Tlemcen, en particulier, et, à un degré moindre, les monts de Daya) où elle atteint 700 à 800 mm sur une étendue appréciable (**Berrayah, 2006**).

Les variations climatiques influent d'une façon directe sur la qualité et la quantité des eaux souterraines et superficielles exploitées. Donc l'étude des facteurs climatiques (précipitation, températures, vent et humidité) est nécessaire (**DRE, Aïn Témouchent, 2010**).

Dans ce chapitre nous allons étudier la situation bioclimatologique de la région d'Aïn Témouchent qui a été basée sur les paramètres climatiques principaux.

Les données météorologiques recueillies auprès des établissements spécialisés (ANRH, Oran), (ONM, Aïn Témouchent) et la (DRE, Aïn Témouchent).

IV.1. Localisation de la station météorologique et périodes d'observation

La wilaya d'Aïn Témouchent comprend trois stations dont une installée à Beni Saf, l'ITMA Aïn Témouchent, et Turgo situé au Nord du bassin versant d'Oued El Malah. Celle d'Aïn Témouchent qui nous fournit des données complètes de précipitations sur une période de 35 ans. Le tableau N° 15 représente les caractéristiques de la station Aïn Témouchent.

Tableau N° 15 : Caractéristiques de la station météorologique.
(Source : DRE, Aïn Témouchent, 2018)

Stations	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Période d'observation	Observation
Aïn Témouchent	153.5	227	330	1980-2014	Précipitation

La station d'Aïn Témouchent n'a fonctionné que dans les années 1970 dont la série d'observation semble plus représentative du bassin projeté compte tenu de sa localisation à l'intérieur du bassin (**DRE, Aïn Témouchent, 2010**).

IV.2. Paramètres climatiques

L'étude est basée sur les paramètres climatiques essentiels qui sont la température et les précipitations relevées par les services de l'ANRH au niveau de différentes stations montées sur le bassin versant d'Oued El Malah (**Annexe I**).

IV.2.1. variation annuelle des précipitations

La figure N° 18 montre les variations des précipitations moyennes annuelles à la station d'Aïn Témouchent durant la période 1980-2014.

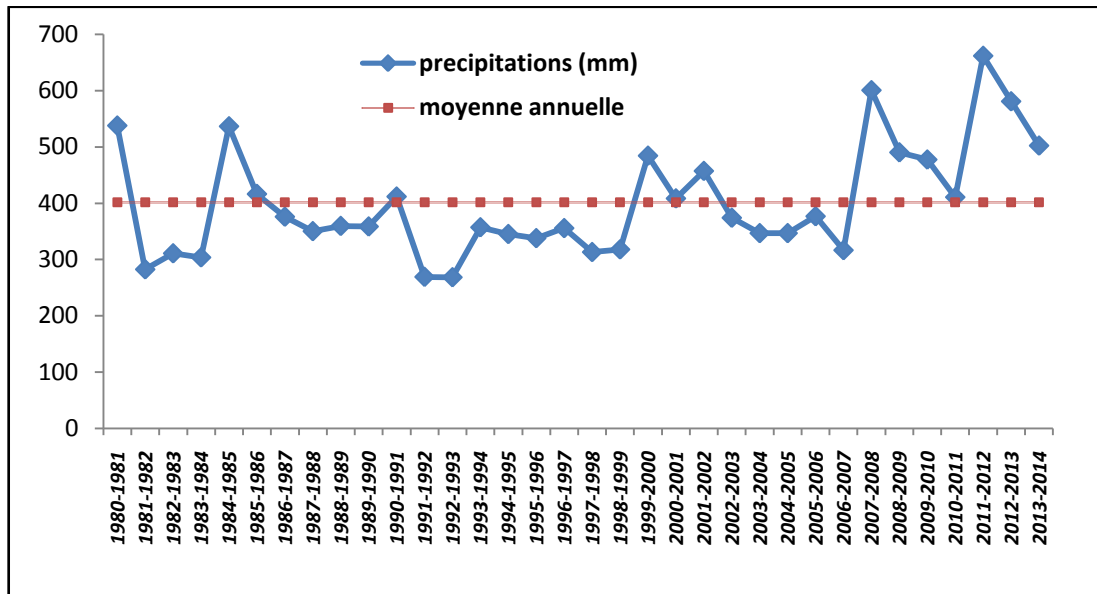


Figure N° 18 : Variations des précipitations moyennes annuelles à la station d'Aïn Témouchent (1980/2014).

On note une nette diminution des précipitations avec le temps pour la période comprise entre 1981 et 2000 où la majorité des valeurs annuelles se trouvent en dessous de la moyenne annuelle qui est de 400.1 mm, par contre la période: 2000-2014 apparait comme excédentaire avec une tendance à un retour des précipitations où l'on enregistre un maximum pendant l'année 2007-2009 de 605,3 mm et 2011-2012 avec 661 mm (figure N° 18).

IV.2.2. variation mensuelles des précipitations moyennes

La figure N°19 montre les variations mensuelles des précipitations à la station d'Aïn Témouchent durant la période 1980-2014.

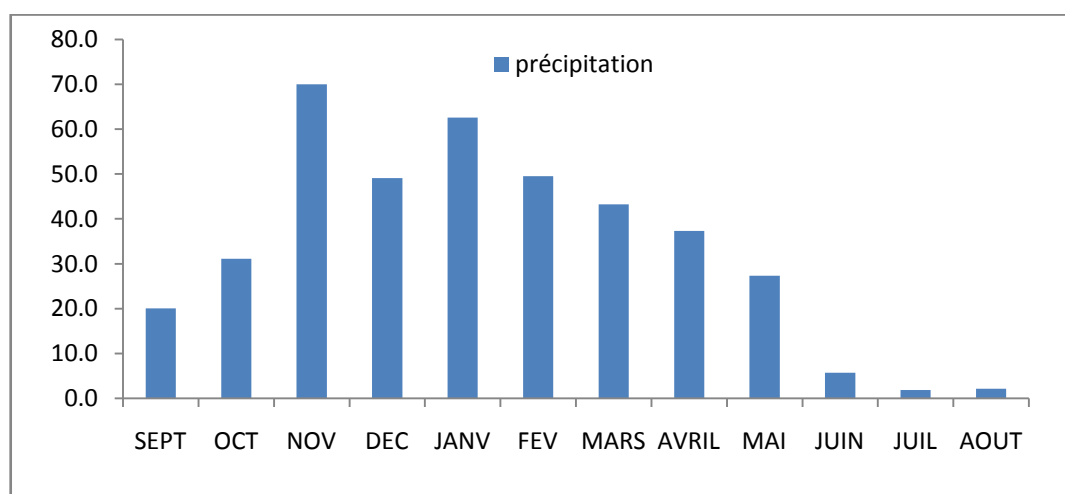


Figure N° 19 : Histogramme de la variation mensuelle des précipitations à la station d'Aïn Témouchent (1980/2014).

La région d'Aïn Témouchent se caractérise par deux périodes distinctes :

- Une période Sèche: qui correspond à la saison d'Été (juin, juillet, août), marquée par une importante diminution des précipitations.
- Une période Humide: convient aux autres mois de l'année, où l'on observe une alternance de mois humides avec certains mois peu secs, ce qui implique une période de pluviométrie irrégulière.

D'autre part, les mois les plus pluvieux sont Novembre (70 mm) et Janvier (62.6 mm), par contre le mois de Juillet est le plus sec avec une hauteur de 1,9 mm (figure N° 19).

IV.2.3. Variation saisonnière des précipitations

L'étude des précipitations saisonnières est importante car elle permet d'apprécier la variation des précipitations et leur tendance.

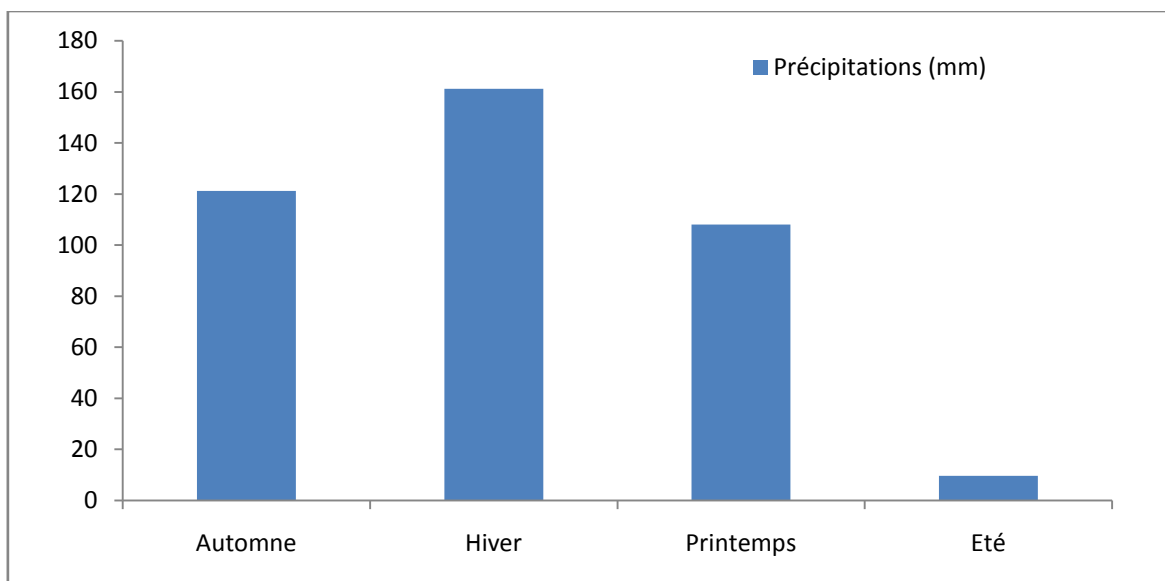


Figure N° 20 : Histogramme des précipitations moyennes saisonnières de la station d'Aïn Témouchent (1980/2014).

La région d'Aïn Témouchent se caractérise par deux grandes saisons, respectivement froides et pluvieuses en hiver, et aride sans précipitations significatives, en été.

Ainsi, à l'échelle saisonnière, la figure N° 20 montre que la saison la plus instable est celle de l'automne, après notamment celle de l'été, où cette variabilité est traduite nécessairement par l'occurrence des précipitations orageuses abondantes sous forme d'averses épisodiques très irrégulières. Cette saison renferme en moyenne interannuelle

près de 30% du total annuel qui compte environ 400.1 mm, pour la station d'Aïn Témouchent (période de traitement 1980/2014). La saison d'hiver, la période la plus humide de l'année hydrologique, est alimentée en grande partie du régime méditerranéen, donnant un total moyen avoisinant les 40% avec une quantité de pluie estimée à 161.2 mm.

IV.2.4. variation annuelle des températures

La caractéristique essentielle du climat semi aride est sans doute la très grande variation de température de l'air sous différentes échelles spatiotemporelles. La température peut s'exercer directement sur le milieu physique du bassin versant tout en réduisant ses potentialités hydriques tant pour les eaux de surface que pour les eaux souterraines. En effet, c'est l'évapotranspiration qui est considérablement affectée par les grandes chaleurs estivales qui sévissent dans les espaces humides en dégradant l'équilibre de la biomasse d'une région (**DRE, Aïn Témouchent, 2005**).

En effet, à l'échelle annuelle, le bassin subit deux grandes saisons caractéristiques aux termes des températures qui semblent partager le cycle climatique en deux périodes nettement inégales et irrégulières. Une période semestrielle continentale froide s'étend de novembre à mars dont la température moyenne avoisine les 12°C, et un semestre modéré à sec et chaud à l'intérieur du bassin. La température moyenne de l'ensemble du bassin est estimée à 17°C sous l'influence des entrées marines régulant ainsi les zones continentales en saison chaude (**DRE, Aïn Témouchent, 2005**).

Il s'agit, en effet, des stations d'Aïn Témouchent et de celle de Béni Saf qui apparemment représentent mieux les caractéristiques climatiques de la région, l'une à caractère continental des terrains montagneux et l'autre, à caractère maritime régulant les amplitudes thermiques de la région (**DRE, Aïn Témouchent, 2005**).

A ce titre, partant des relevés thermométriques enregistrés à la station d'Aïn Témouchent dont les données sont fournies par les organismes compétents de l'ANRH et l'ONM, complétées par les anciens annuaires et archives des deux secteurs, il a été possible de procéder à l'évaluation des valeurs interannuelles mensuelles et annuelles du bassin d'El-Malleh, en étendant la période standard à près de 19 années (1994-2013). On a :

- Tm: moyennes mensuelles et annuelles des températures minimales (°C).
- TM: moyennes mensuelles et annuelles des températures maximales (°C).

➤ $T_{moy} = (T_m + T_M) / 2$.

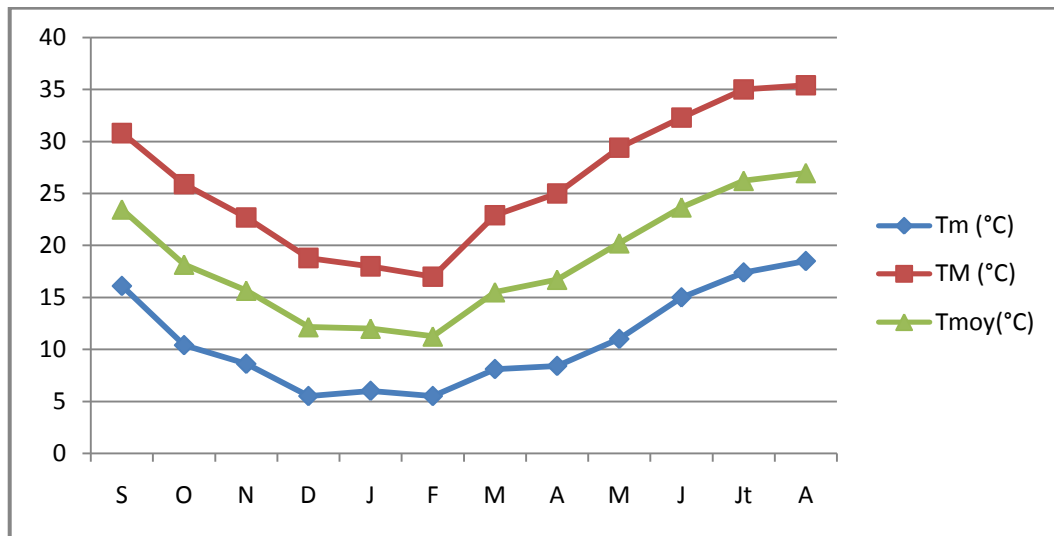


Figure N° 21 : Variation mensuelle des températures à la station d'Aïn Témouchent (1995/2012).

Selon la figure N° 21, il s'avère qu'à partir de Mai et jusqu'à Octobre, les températures moyennes mensuelles tendent à s'accroître en présentant des valeurs allant de 20 °C à 26,95 °C supérieures à la moyenne annuelle (18,5 °C), par contre la saison comprise entre Novembre et Avril représente des températures moyennes mensuelles qui varient entre 11,25 °C et 16,5 °C inférieures à la moyenne annuelle (18,5 °C). Le maximum des températures est atteint en mois d'Août avec une moyenne de (26,95 °C) et le minimum se situe en Janvier aux environs de (11,25 °C).

D'une manière générale, les températures sont maximales en Juillet-Août et minimales en Janvier.

V. Synthèse bioclimatique

V.1. Diagramme de Bagnouls et Gausson

Pour Bagnouls et Gausson, un mois sec est celui où le total moyen des précipitations exprimées (mm) est inférieur ou égal au double de la température moyenne exprimé en (C°).

Cette relation permet d'établir un diagramme pluvio-thermique sur lequel les températures sont portées sur une échelle double des précipitations ($P=2T$).

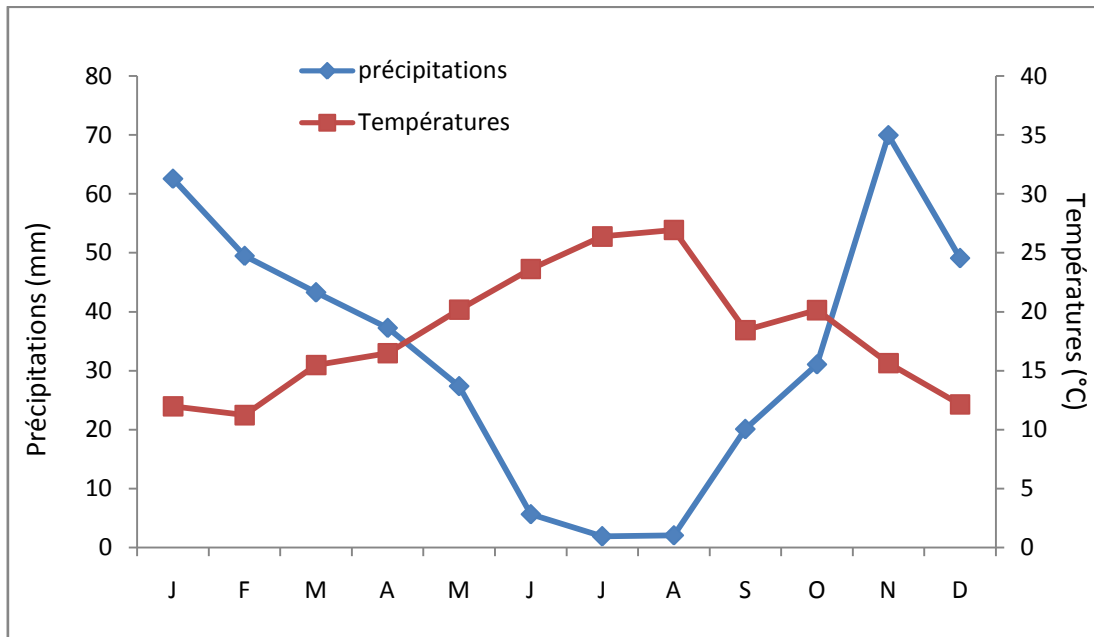


Figure N° 22 : Diagramme de Bagnouls et Gaussen de la station de Aïn Témouchent (1994/2013).

Selon le diagramme pluvio-thermique de la station de Aïn Témouchent (1994/2013) nous avons :

- Une période humide allant de Janvier jusqu'au début du mois de Mai puis elle reprend d'Octobre jusqu'au Décembre.
- Une période sèche comprenant le mois de Juin, Juillet, Aout et Septembre.

V.2. Indice d'aridité de De Martonne:

L'indice d'aridité de Martonne, noté I, cet indice permet de déterminer le degré d'aridité d'une région, pour:

- $20 < I < 30 \rightarrow$ Climat tempéré,
- $10 < I < 20 \rightarrow$ Climat semi aride,
- $7,5 < I < 10 \rightarrow$ Climat steppique,
- $5 < I < 7,5 \rightarrow$ Climat désertique,
- $I < 5 \rightarrow$ Climat hyper aride.

A. Indice d'aridité annuel (I) est donnée par la relation :

$$I = P / (T + 10) \text{ Où:}$$

I : indice d'aridité annuel.

P : précipitations moyennes annuelles (mm).

T : température moyenne annuelle (°C).

Tableau N° 16 : Indice d'aridité de De Martonne.

P (mm)	T (°C)	I
400.1	18.5	14.04

Le tableau N° 16 montre un indice d'aridité de De Martonne I=14,04. Donc, la station d'Aïn Témouchent se trouve en milieu semi-aride avec un écoulement temporaire et une couverture herbacée.

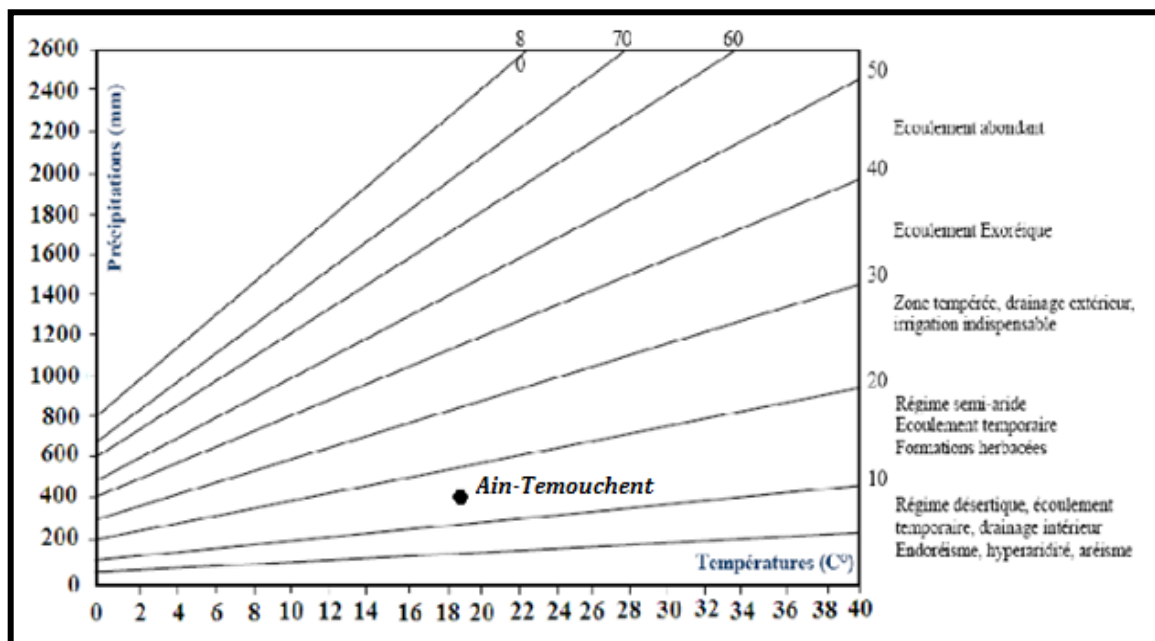


Figure N° 23 : Abaque de l'indice d'aridité de De Martonne, station d'Aïn Témouchent (1994-2013).

L'indice de notre région, moyennant la température annuelle à 18.5°C, la quantité moyenne annuelle de pluie enregistrée à la station d'Aïn Témouchent, est évaluée à près de 400 mm. Cette valeur indiciaire permet de conclure, notamment à l'échelle annuelle, que notre station peut être classée dans la catégorie des milieux moins arides avec des écoulements de surface temporaires mais tempérés en périodes pluvieuses. L'irrigation est non indispensable car la végétation est herbacée dont le sol peut retenir suffisamment l'eau pour les plantes (figure N° 23).

B. Indice d'aridité mensuel (i):

Cet indice établi par les élèves de De Martonne permet de mieux examiner le climat de notre station en reportant l'indice à l'échelle mensuelle, il est donné par la relation:

$$I = 12p/(t+10)$$

Où : P: précipitations mensuelles et T : température mensuelles.

Le tableau N° 17 représente les résultats d'indices d'aridité mensuels de De Martonne.

Tableau N° 17 : Indices d'aridité mensuels de De Martonne.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A
I	7.21	13.26	32.75	26.60	34.15	27.95	20.38	16.76	10.89	2.03	0.63	0.68
Type du Climat	S	SA	T	T	T	T	T	SA	SA	HA	HA	HA

D: désertique, SA : semi aride, T : tempéré, S : steppique, HA : hyper aride,

$20 < I < 30 \rightarrow$ Climat tempéré,

$10 < I < 20 \rightarrow$ Climat semi aride,

$7,5 < I < 10 \rightarrow$ Climat steppique,

$5 < I < 7,5 \rightarrow$ Climat désertique,

$I < 5 \rightarrow$ Climat hyper aride.

Les valeurs obtenus sur le tableau N° 17 de cet indice indiquent que :

- les mois les plus chauds sont : juin, juillet et août, et forment une saison "hyper-aride".
- le mois de septembre, avec un indice égal à 7,21 est considéré comme un mois steppique à tendance semi-aride.
- les mois de Novembre, Décembre, Janvier Février et Mars sont considérés comme mois tempérés.

V.3. Indice de Moral

A. Indice annuel (I_M): L'application de cet indice permet selon Moral de fixer la limite de la zone aride pour un coefficient égal à l'unité:

$$I_M = P / (T^2 - 10T + 200)$$

Où:

P: précipitations moyennes annuelles (mm).

T: température moyenne annuelle (°C).

Tableau N° 18 : Indice annuel de Moral.

P (mm)	T (°C)	I _M
400.1	18.5	1.14

B. Indice mensuel (I_m) : Moral a proposé un indice plus précis, permettant d'évaluer l'intensité de la sécheresse pour chaque mois, donné par:

$$I_m = p / (0,1t^2 - t + 20)$$

Où p et t représentent les précipitations et températures moyennes du mois considéré.

Tableau N° 19 : Valeurs des indices mensuels de Moral et leurs classifications.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S
I_m	0.39	0.89	2.42	2.17	2.79	2.31	1.51	1.19	0.67	0.10	0.03	0.03	0.39
Type du Climat	A	S	P	P	P	P	P	H	A	A	A	A	A

H: Humide, A: Aride, P: Pluvieux.

Nous avons déterminé le caractère climatique mensuel à partir des quatre types indiqués par Moral qui sont:

Mois pluvieux: $p > 0,1t^2 - t + 30$.

Mois humide: $0,1t^2 - t + 30 > p > 0,1t^2 - t + 20$.

Mois sec: $0,1t^2 - t + 20 > p > 0,1t^2 - t + 10$.

Mois aride: $p < 0,1t^2 - t + 10$.

V.4. Climagramme d'Emberger

La classification du milieu se base sur le calcul d'un indice Q_2 donné par la relation :

$$Q_2 = 1000 \frac{P}{\left(\frac{M+m}{2}\right)(M-m)} \text{ d'où:}$$

Q_2 : Quotient pluviométrique d'Emberger,

P : Précipitations moyennes annuelles (mm), (P= 400.1 mm).

M : Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud en degrés absolu (°K) (M=306,1).

m : Moyenne des températures minimales du mois le plus froid en degrés absolu (°K), (m=278,1).

Nous obtenons :

Tableau N° 20 : Indice d'Emberger.

P(mm)	M(°K)	m(°K)	Q_2
400.1	306,1	278,1	48.92

Le tableau N° 20 indique que la station d'Aïn Témouchent se trouve en milieu semi-aride à hiver chaud à tempéré ($Q_2= 48.92$).

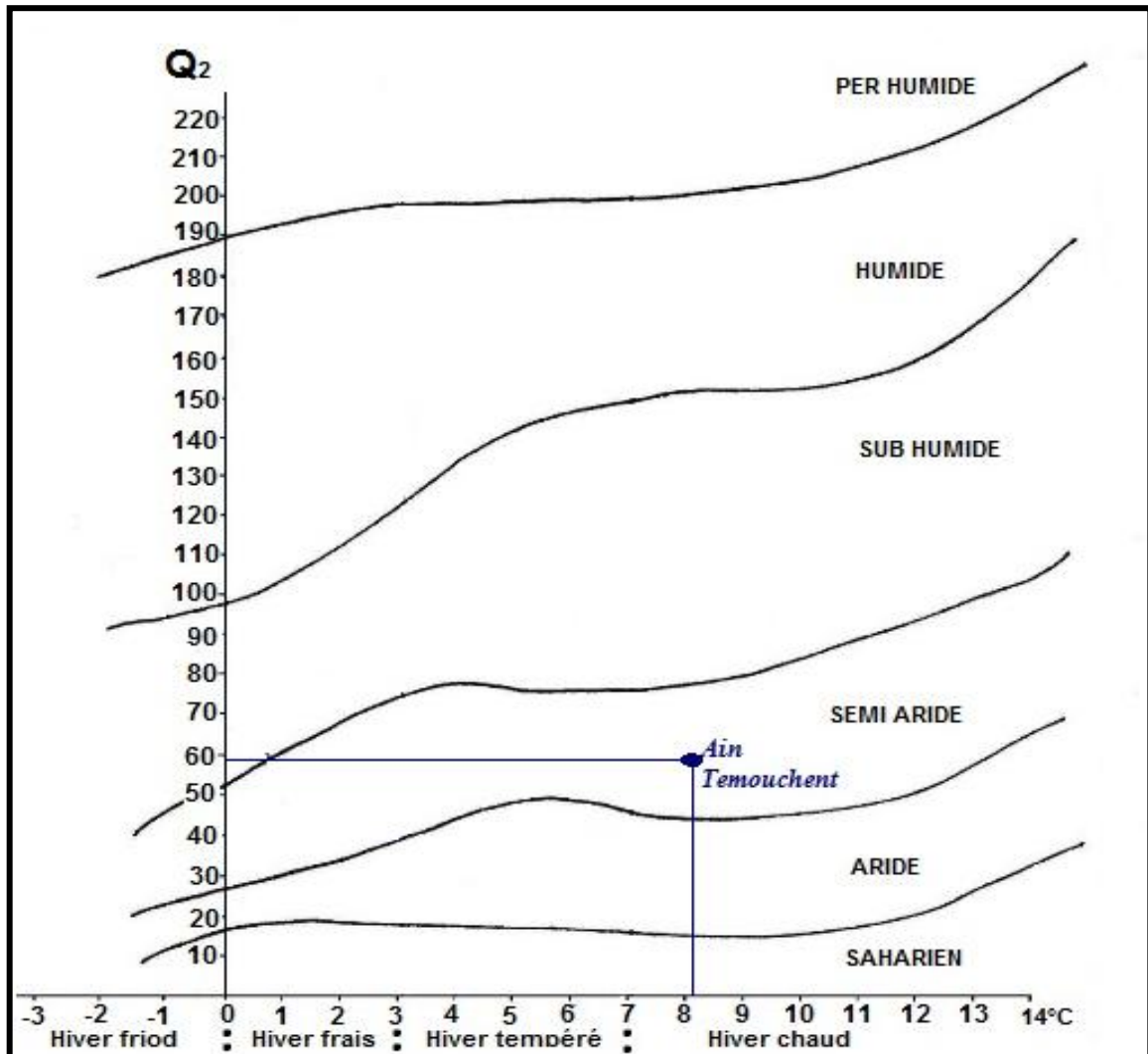


Figure N° 24 : Position de la station d'Aïn Témouchent sur le Climagramme d'Emberger.

Pour notre cas, la valeur de Q_2 est estimée à près de 48.92 avec une température moyenne minimale de 6.5°C et maximale de 32.5°C, d'après les relevés thermiques extrêmes de la station d'Aïn Témouchent. Le climagramme de L. Emberger classe les régions climatiques en sous zones de régimes différents suivant la rigueur des conditions thermiques, allant de l'hiver très froid saharien à l'hiver chaud mais humide. Ainsi, le climat auquel est soumis notre bassin étudié relève de la catégorie des régimes méditerranéens semi arides avec un hiver tempéré. (DRE, Aïn Témouchent, 2015).

V.5. Indice de continentalité de Kerner

L'indice (I_k) établi par Kerner pour mieux connaître l'influence maritime sur une région. Il diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la mer, c'est-à-dire de préciser son degré de continentalité, cet indice est donné par la relation:

$$I_k = 100 \frac{t_o - t_a}{A}$$

Avec:

t_o : Température moyenne du mois d'Octobre (°C).

t_a : Température moyenne du mois d'Avril (°C).

A: Différence des températures moyennes des mois le plus chaud et le plus froid ($A=15,7^\circ\text{C}$).

Nous obtenant :

Tableau N° 21 : Indice de Kerner.

t_o	t_a	A	I_k
20.15	15.5	15.7	23

En Comparant la valeur obtenue ($I_k = 23$) avec les résultats de la station côtière de Béni-Saf ($I_k = 34,7$), Oran ($I_k = 26$), et celle très continentale de Ghardaïa ($I_k = 1,3$), la station de Tiaret (Hauts Plateaux) $K_r = 19.0$, la station d'Aflou (Atlas Saharien) $K_r = 15.7$, Sidi Bel Abbes ($I_k = 9.4$), nous pouvons constater que notre station ($K_r = 23$) présente les mêmes caractéristiques des zone côtières (influences maritimes).

V.6. Indice de Stewart (1969)

A partir du quotient pluviométrique Q_r nous pouvons classer le climat, il est donné par cette formule:

$$Q_r = 3,43 \frac{P}{M+m}$$

Avec :

P: Précipitations moyennes annuelles (mm),

M: Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud (°C),

m: Moyenne des températures minimales du mois le plus froid (°C).

Selon Stewart:

$10 < Q_r < 50$: climat semi aride.

$2 < Q_r < 10$: climat désertique.

$Q_r < 2$: climat insaturé.

On obtient pour Aïn Témouchent $Q_r = 33,55$, l'indice est compris entre 10 et 50, notre station présente donc un climat semi-aride.

Le tableau N° 22 montre l'indice de Stewart calculer pour la station d'Aïn Témouchent $Q_r=33,55$.

Tableau N° 22 : Indice de Stewart.

P(mm)	M	m	Q_r
400.1	35.4	5.5	33.55

Les différents indices appliqués sur la station d'Aïn Témouchent montrent que le climat de la région étudiée est semi-aride à écoulement temporaire. Ce climat est similaire à celui des zones côtières.

V.7. Evapotranspiration

Les termes d'évaporation et d'évapotranspiration désignent tous les deux des pertes en eau par un retour directe dans l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau. Ainsi, on désigne sous le nom « d'évaporation » les pertes en eau subies par les surfaces d'eau libre. Par contre, le vocabulaire « évapotranspiration » correspond à un phénomène complexe regroupant à la fois le processus d'évaporation de l'eau contenue dans le sol et le processus d'évaporation correspondant à l'utilisation de l'eau atmosphérique et de l'eau contenue dans le sol par les végétaux et au rejet de la vapeur d'eau dans l'atmosphère (**Hallouche, 2017**).

Dans cette région de l'étude, la tranche d'eau évaporée annuellement est presque toujours supérieure aux précipitations, et cet excès croît considérablement avec l'aridité du climat. Le processus de l'évaporation nous permet d'étudier directement la transformation physique de l'eau en vapeur à partir des surfaces libres. L'évaporation est mesurée quotidiennement, le plus souvent sur des bacs de type "Colorado".

Pour notre région, les valeurs de l'évaporation du plan d'eau libre sont adoptées d'après les bulletins du résumé annuel du temps en Algérie (**ONM, Aïn Témouchent, 2010**).

Nous avons :

- L'évapotranspiration réelle (ETR) qui correspond à la quantité d'eau évaporée et transpirée dans les conditions du sol considérée.
- L'évapotranspiration potentielle (ETP) qui correspond à la quantité d'eau qui pourrait être évapotranspirée dans les conditions de satisfaction complète des besoins en eau.

Plusieurs méthodes ont été adoptées pour évaluer l'évapotranspiration réelle et potentielle basées sur les données de précipitations et de températures enregistrées à la station d'Aïn Témouchent sur une période comprise entre 1994 et 2014, nous avons les méthodes suivantes : de Turc, Coutagne, Thornthwaite, Wundt et Verdeil.

V.7.1. Calcul de l'évaporation et du déficit d'écoulement

1. Méthode de Turc

L'évapotranspiration réelle d'une région représente l'eau réellement perdue par celle-ci sous forme de vapeur, l'évapotranspiration potentielle, l'eau susceptible d'être perdue dans les mêmes conditions quand elle n'est plus facteur limitant. La connaissance de ces deux données est évidemment indispensable pour étudier la circulation de l'eau ou pour définir les besoins en eau des cultures. Elle se déduit à partir de la relation de L. Turc (1961) :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

ETR : évapotranspiration réelle annuelle (mm),

P : Précipitations moyennes annuelles (mm).

L : $300 + 25T + 0.05T^3$ avec T: température moyenne annuelle (°C).

Le tableau N° 23 montre l'ETR calculé par la méthode de Turc.

Tableau N° 23 : Valeur de l'ETR.

P(mm)	T (°C)	L	ETR (mm)	% P
400.1	18.5	1079.081	392,64	98.13

Ainsi:

ETR = 392,64 mm, ce qui représente 98.13% des précipitations.

D'après les résultats obtenus sur l'évapotranspiration réelle, on aurait pour la station d'Aïn Témouchent, un déficit légèrement inférieur ou égal aux précipitations. (La valeur de l'ETR est de 392,64 mm, elle représente 98.13% des précipitations moyennes annuelles 400.1 mm).

2. Méthode de Coutagne

Le déficit d'écoulement représenté sur le (tableau N° 24) est donné par la relation de Coutagne (1954) suivante :

$$D = P - \lambda P^2 \text{ où } \lambda = \frac{1}{0,8 + (0,14T)} = 0.3$$

D: déficit d'écoulement (m/an).

P: hauteur moyenne annuelle des précipitations (m/an).

T: température moyenne annuelle (°C).

Cette méthode n'est applicable que pour:

$$\frac{1}{8\lambda} \leq P \leq \frac{1}{2\lambda}$$

D = 352.1 mm.

Tableau N° 24 : Valeur du déficit d'écoulement.

P (mm)	1/8λ(mm)	1/2λ(mm)	T (°C)	D (mm)	Écoulement + Infiltration
400,1	416.7	1666.7	18,5	352.1	48 mm soit 12 %

D'après les valeurs obtenues du facteur « λ », comparées à celle des précipitations, $\frac{1}{8\lambda} \leq P \leq \frac{1}{2\lambda}$ le déficit d'écoulement sera inférieur ou égal aux précipitations.

3. Méthode de Thornthwaite

Thornthwaite a suggéré une équation favorisant le calcul de l'évapotranspiration potentielle:

$$ETP = 1,6 \left(10 \frac{t}{I} \right)^a f(\lambda)$$

Où:

- ETP: évapotranspiration potentielle mensuelle (cm).
- t: température moyenne mensuelle (°C).

- $f(\lambda)$: facteur de correction mensuel lié à la latitude (durée maximale d'ensoleillement), donné par des tables.
- $I = \sum 12i$, avec i (indice thermique mensuel) $= \left(\frac{t}{5}\right)^{1,514}$.
- a (exposant climatique) $= \left(\frac{1,6}{100} I\right) + 0,5$.

On consigne les valeurs de l'évapotranspiration potentielle (Thornthwaite, 1948) relatives au douze mois de l'année dans le tableau ci-dessous en considérant que:

$$ETP_{\text{calculée}} = 1,6 \left(10 \frac{t}{I}\right)^a$$

$$ETP_{\text{corrigée}} = ETP_{\text{calculée}} \times f(\lambda).$$

Tableau N° 25 : Valeurs de l'ETP en (cm) à la station d'Aïn Témouchent (1994-2013).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A
t(°C)	23.45	18.15	15.65	12.15	12	11.25	15.5	16.7	20.2	23.65	26.2	26.95
I	10.38	7.04	5.63	3.84	3.76	3.41	5.55	6.21	8.28	10.51	12.28	12.81
I = 91,28. et a = (0,016*91,28)+0,5 = 1,9604.												
ETP cal(cm)	10.99	6.38	4.81	2.97	2.90	2.57	4.73	5.45	7.83	10.57	12.84	13.55
f(λ)	1.03	0.97	0.86	0.85	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16
ETP cor(cm)	11.31	6.19	4.14	2.53	2.53	2.18	4.87	5.94	9.47	12.78	15.79	15.72

$f(\lambda) = > N35^\circ$ (selon la carte géologique d'AïnTémouchent).

D'après le tableau N° 25, les de l'ETP moyenne à AïnTémouchent montre une évolution progressive de l'évapotranspiration potentielle avec (25.3 mm) obtenue au mois de Janvier et mois de Février pour atteindre son maximum (157.9 mm) au mois de Juillet.

4. Méthode de Wundt (1937) modifié par Coutagne (1954)

Cette méthode consiste à porter sur l'abaque de Wundt, la température moyenne et en ordonnée la précipitation (1980-2014) les résultats sont représentés sur le tableau suivant :

Tableau N° 26 : Valeur du déficit d'écoulement (D) et du quotient d'écoulement (E).

P (mm)	T (°C)	D (mm)	E (mm)
400.1	18,5	398	2.1 mm soit 0,994 %

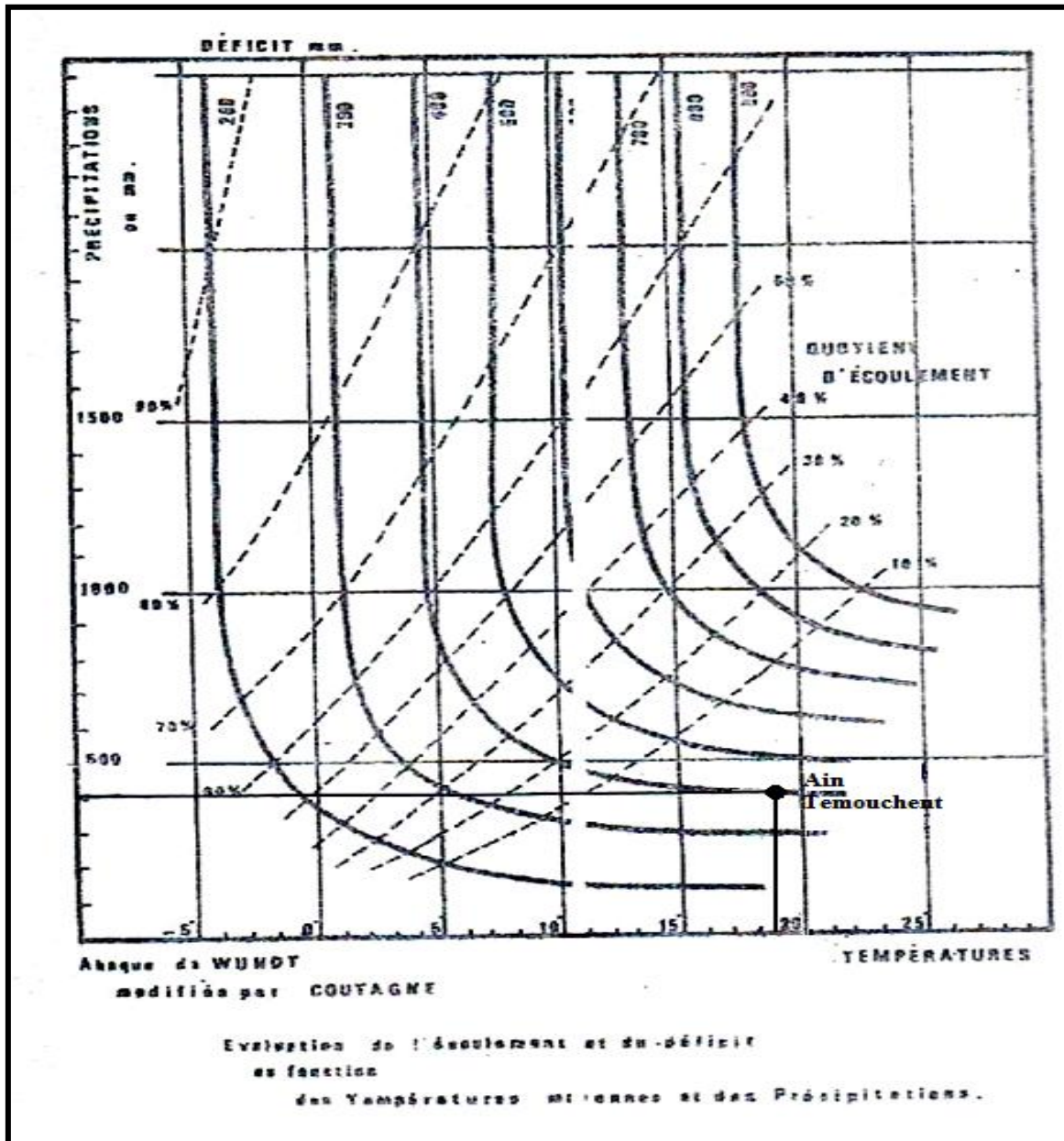


Figure N° 25 : Abaque de Wundt de la station d'Aïn Témouchent.

En ce qui concerne la région d'Aïn Témouchent, l'E.T.R = 398 mm, soit 99.5% des précipitations.

5. Méthode de P. Verdeil

Cette méthode consiste à utiliser un abaque P. Verdeil 1988 pour la détermination l'évapotranspiration réelle ou le déficit d'écoulement en tenant compte uniquement des précipitations annuelles.

Le tableau suivant montre le déficit d'écoulement dans la région d'Aïn Témouchent.

Tableau N° 27 : Valeur du déficit d'écoulement.

P (mm)	D (mm)	Écoulement (mm)
400,1	380	20,1 mm soit 5,02%

D'après la valeur de déficit d'écoulement calculée à la station d'Aïn Témouchent, on en déduit que l'ensemble des écoulements est faible 20,1 mm, soit 5,02% des précipitations moyennes annuelles.

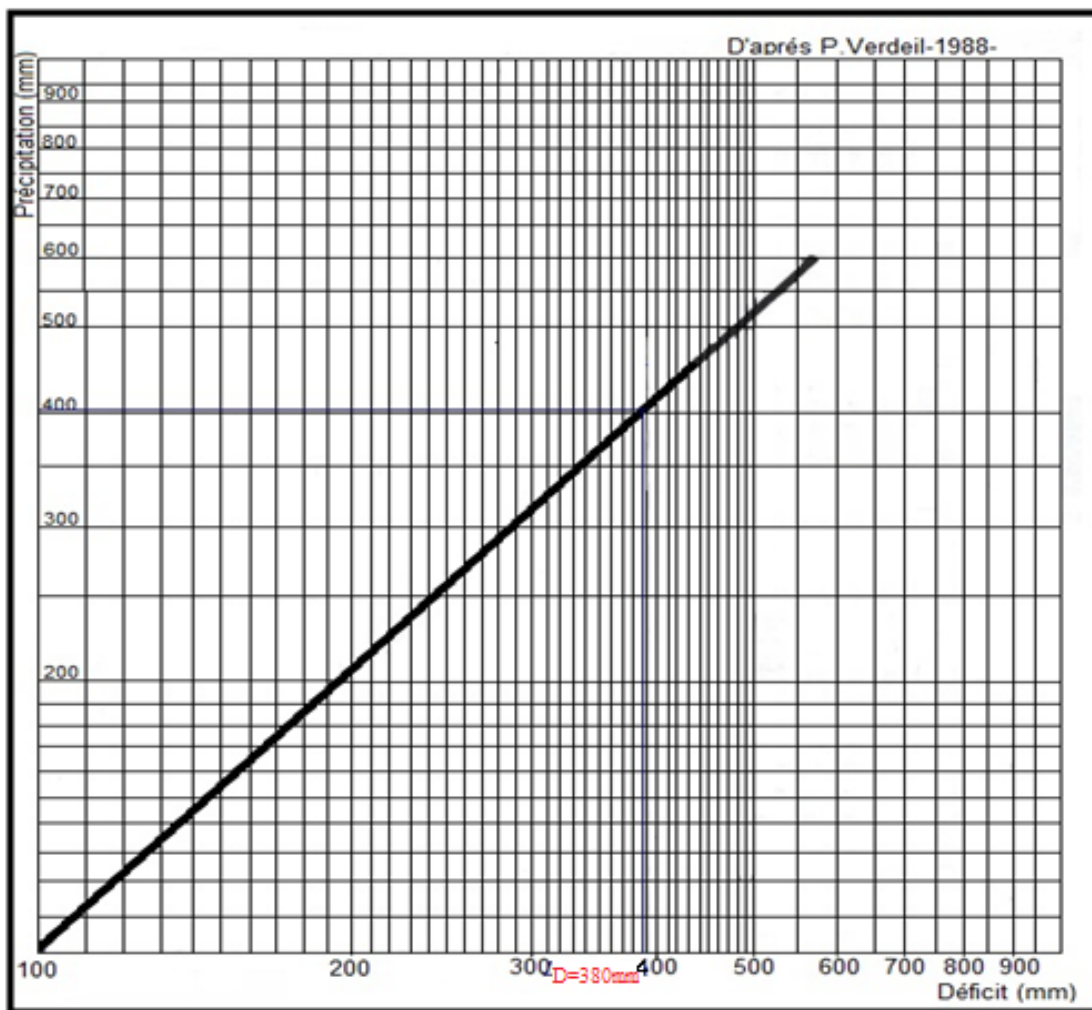


Figure N° 26 : Abaque représentatif du déficit d'écoulement.

La figure N° 26 nous indique une valeur d'ETR = 380 mm dans la station d'Aïn Témouchent. Soit 95% des précipitations.

V.8. Bilan hydrologique

Le bilan de Thornthwaite comporte le calcul des paramètres suivants:

a- Variation de la réserve: $\Delta U = P - ETP$.

b- Réserve utile (RU): On admet que la saturation du sol est atteinte lorsque la réserve utile maximale franchit le seuil de 50 mm (cas de notre bassin versant).

c- Evapotranspiration réelle (ETR): deux cas peuvent se présenter :

- Si les précipitations du mois sont supérieures à l'ETP: l'ETR sera égale à l'ETP et on aura alors un excédant emmagasiné dans l'humidité du sol dont il augmente les réserves jusqu'à saturation, au delà, l'eau disponible alimentera l'infiltration.

$P > ETP \Rightarrow ETR = ETP$

- Si les précipitations mensuelles sont inférieures à l'ETP:
 - ETR sera égale à l'ETP aussi longtemps que la réserve sera capable de fournir les quantités d'eau complémentaires.
 - $ETR = RU + P$ lorsque la réserve d'humidité deviendra insuffisante et on aura ainsi un déficit d'écoulement, ensuite l'ETR sera égale à P au fur et à mesure que RU reste nul.

d- Déficit agricole: $DA = ETP - ETR$.

Le tableau suivant montre le bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite pour la série 1980-2014:

P: précipitations (mm),

ETP: évapotranspiration potentielle (mm),

ΔU : variation de la réserve,

RU: réserve utile (mm),

ETR: évapotranspiration réelle (mm),

D.A: déficit agricole (mm),

EX: excédent (mm),

E: écoulement (mm).

Tableau N° 28 : Éléments du bilan hydrologique calculés pour la station d'Aïn Témouchent (1980-2014) avec RU=50 mm (selon la nature du sol).

Mois	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	Année
P(mm)	70.0	49.1	62.6	49.5	43.3	37.3	27.4	5.7	1.9	2.1	20.1	31.1	400.1
T(°C)	15.65	12.15	12	11.25	15.5	16.7	20.2	23.65	26.2	26.95	23.45	18.15	221.85
ETP	41.4	25.3	25.3	21.8	48.7	59.4	94.7	127.8	157.9	157.2	113.1	61.9	934.5
ΔR = P-ETP	28.6	23.8	37.3	27.7	-5.4	-22.1	-67.3	-122.1	-156	-155.1	-93	-30.8	
RU (50mm)	28.6	50	50	50	44.6	22.5	0	0	0	0	0	0	
ETR	41.4	25.3	25.3	21.8	48.7	59.4	94.7	5.7	1.9	2.1	20.1	31.1	377.5
D.A	0	0	0	0	0	0	0	122.1	156	155.1	93	30.8	557
EX	0	2.4	37.3	27.7	0	0	0	0	0	0	0	0	67.4
Écoulement				27.7	55.4								83.1

Dans notre région d'étude, l'ETR annuelle estimée par la méthode de Thornthwaite est de 377,5 mm. Le déficit agricole est de 557 mm. Il s'étend du mois d'avril au mois d'octobre avec un maximum au mois de juillet. La réserve utile se reconstitue sur la période allant de novembre à février. Les mois excédentaires sont ceux de décembre janvier et de février qui totalisent 67,4 ou une partie va s'écouler et l'autre partie assurera l'alimentation des nappes.

V.9. Calcul du ruissellement

Le ruissellement calculé par la relation Tixeront-Berkaloff qui est établi pour des bassins Tunisiens et qui donne une erreur de 10% si les précipitations sont inférieure à 600 mm est la suivant :

$$R = \frac{P^3}{3ETP^2}$$

Avec:

R: ruissellement (m).

P: précipitations (m).

ETP: évapotranspiration potentielle (m).

Le tableau N° 29 montre la valeur d'ETP (m) et de ruissellement (m) calculés pour la station d'Aïn Témouchent avec la relation Tixeront-Berkaloff.

Tableau N° 29 : Valeur du ruissellement.

P (m)	ETP (m)	Ruissellement (m)
0,4001	0,9345	0,0247

D'après les résultats obtenus par le tableau N° 29, le ruissellement est de 24,7 mm dans la région d'Aïn Témouchent.

V.10. Détermination de l'infiltration

L'équation du bilan est: $P = D + R + I$

$E = R + I$

P: précipitations moyennes annuelles (mm).

D: déficit d'écoulement (mm).

R: ruissellement (mm).

I: infiltration (mm).

E: écoulement (mm).

Le tableau ci-dessous montre les valeurs de l'évapotranspiration réelle calculé par les différentes méthodes, et la valeur de l'infiltration.

Tableau N° 30 : Valeur de l'infiltration selon les différents auteurs.

R (mm)	Turc		Coutagne		Verdeil		Wundt		Thornthwaite	
	ETR	I	ETR	I	ETR	I	ETR	I	ETR	I
24.7	392.64	-	352.1	19.8	380	-	398	-	377	58.4

Le calcul de l'évapotranspiration réelle par les méthodes de Turc, Wundt, Verdeil et Thornthwaite a donné une valeur moyenne de 379,95 mm pour la région d'Aïn Témouchent.

Le calcul de l'infiltration par la méthode de Coutagne donne une valeur estimée à 19.8 mm, alors que celle calculé par la méthode de Thornthwaite donne la valeur de 58,4 mm d'infiltration (tableau N° 30), contrairement aux autres méthodes qui ne présentent aucune valeur significative.

Cinquième chapitre

METHODOLOGIE ADOPTEE

I. Hydrochimie des eaux souterraines de la région d'Ain Témouchent

L'hydrochimie est l'étude des caractéristiques physiques et chimiques de l'eau. L'interprétation des résultats des analyses des eaux nous permette de déterminer l'origine de ces eaux et de détecter une éventuelle contamination.

Pour atteindre cet objectif, nous allons étudier dans ce chapitre les méthodes d'analyses des paramètres physico-chimiques. Ensuite, nous allons déterminer les faciès chimiques de ces eaux souterraines afin de déterminer la qualité de cette eau pour une utilisation appropriée.

II. Analyse de la qualité hydro-chimique des eaux souterraines

II.1. Echantillons prélevés

L'analyse physico-chimique a concernée 15 puits et 20 forages situés sur la nappe de la wilaya. Les points de prélèvement couvrent l'ensemble de la zone d'étude effectué durant la période 2017/2018/2019. Pour localiser les coordonnées géographiques de chaque source, on a utilisé le système GPS.

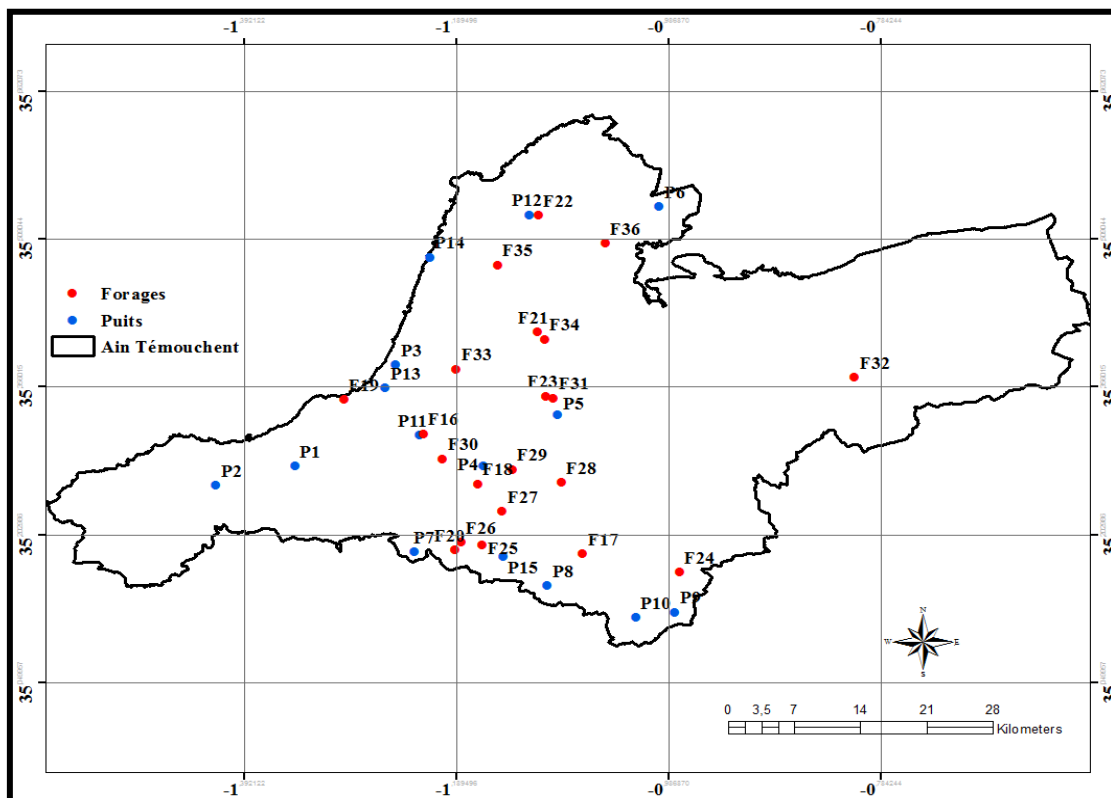


Figure N° 27 : Situation géographique des puits et forages échantillonnés.

Tableau N° 31 : Situation géographique des puits et forages échantillonnés.

Nom	X	Y
P1 Aïn El Merdja	-1,343936	35,274213
P2 Aïn Ouerda	-1,418952	35,25403
P3 Temkrempt	-1,247291	35,378973
P4 Tinesramet	-1,164035	35,274777
P5 Sidi Yamine	-1,092238	35,32696
P6 Aïn El Amria	-0,995464	35,542563
P7 Source Fendjrou	-1,229953	35,185032
P8 Aïn Aghlal	-1,102924	35,14995
P9 Dayet El Had	-0,980701	35,122716
P10 Aïn Aoubellile	-1,01778	35,1171
P11Aïn Ançor	-1,224803	35,30616
P12 M'said	-1,119747	35,534181
P13 4eme niveau	-1,257162	35,355036
P14 Source Sassel	-1,214815	35,490201
P15 Aïn Kihal	-1,144809	35,180262
F16: sidi bouazza	-1,22077	35,30746
F17: sidi saad	-1,06849	35,18291
F18: barette AT4	-1,16872	35,25548
F19: sidi jelloul	-1,29697	35,34319
F20: das kherrafi	-1,19014	35,1871
F21: bailiche ouled taou	-1,11133	35,41299
F22: bouzedjar2	-1,11104	35,53391
F23: ain temouchent 3	-1,1037	35,3467
F24: aoubellil I	-0,97587	35,16416
F25: ain kihal V	-1,16457	35,19245
F26: ain kihal I	-1,18502	35,19494
F27: sidi mohamed	-1,14534	35,22691
F28: chentouf	-1,08905	35,25715
F29: barrette	-1,13589	35,27053
F30: temouchent V	-1,20243	35,28145
F31: chabat I	-1,09649	35,34443
F32: Oued Sebah II	-0,80894	35,3659
F33: AT2 Terga I	-1,18931	35,37437
F34: El Malah II	-1,10491	35,40552
F35: Bailiche II	-1,14995	35,48258
F36: El Amria I	-1,04676	35,50482

II.2. Mode d'échantillonnage

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté, il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée (Rodier, 2009). Pour le matériel de prélèvement, on a utilisé des bouteilles en plastique d'un litre et demi.

Au moment du prélèvement des échantillons, les bouteilles sont de nouveau rincées trois fois avec l'eau à analyser puis remplies jusqu'au bord et enfin fermées de telle façon qu'il n'y ait aucune bulle d'air. Les échantillons ainsi recueillis ont été transportés au laboratoire d'analyse de l'ADE (Algérienne des eaux) de la Wilaya d'Aïn Témouchent.

Le travail de l'analyse et l'exploitation des résultats, chaque bouteille a été accompagnée d'une étiquette portant le numéro de la source, la date, l'heure et le lieu du prélèvement.

III. Techniques d'analyses physico-chimique

1. Mesures in situ

La température et les paramètres physico-chimiques (pH, conductivité électrique, TDS et oxygène dissous) ont été mesurés in situ, immédiatement après le prélèvement de l'échantillon. La mesure des paramètres physico-chimiques a été réalisée à l'aide d'un Multi-paramètres de terrain de marque HACH (Type : Sens Ion 156).

2. Analyses aux laboratoires

On a procédé à une analyse complète de tous les éléments majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} et HCO_3^-) et les composés azotés (NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+) et phosphoré (PO_4^{3-}) (Annexe II).

Les méthodes analytiques utilisées pour chaque élément sont :

- a) **Calcium** : Titrage des ions calcium avec une solution aqueuse de l'EDTA à pH compris entre 12 et 13. Le HSN qui forme un complexe rouge avec le calcium est utilisé comme indicateur. Le magnésium est précipité sous forme d'hydroxyde et n'interfère pas lors du dosage. Lors du titrage, l'EDTA réagit tout d'abord avec les ions calcium libre, puis avec les ions combinés avec l'indicateur qui vire alors de la couleur rouge à la couleur bleu clair.
- b) **Chlorures** : Réaction des ions chlorure avec des ions argent pour former du chlorure d'argent insoluble qui est précipité quantitativement. Addition d'un petit excès d'ion argent et formation du chromate d'argent brun-rouge avec des ions chromate qui ont été ajoutés comme indicateur. Cette réaction est utilisée.

- c) **Magnésium** : Ses origines sont comparables à celle du calcium, car il provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium.
- d) **Nitrites (NO_3^-)** : En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosalicylate de sodium, coloré en jaune et susceptible d'un dosage spectrométrique (**Rodier, 2009**).
- e) **Sulfates (SO_4^{2-})** : Ils sont naturellement présents dans bon nombre de minéraux et sont utilisés dans le commerce, principalement dans l'industrie chimique. Ils passent dans l'eau par rejet industriel ou par déposition atmosphérique. Sa présence dans l'eau potable engendre une odeur et un goût notable, et, à de très hautes concentrations, cause un effet laxatif. Il contribue aussi à la corrosion du système de distribution. Seuil goût détectable à 250 mg/L.
- Le sulfate est l'un des anions les moins toxiques mais cependant peut provoquer la déshydratation, ou une irritation gastro-intestinale. Cependant, il n'existe pas de normes internationales concernant ce composé et ses conséquences sur la santé humaine. Il convient de remarquer que, pour des concentrations avoisinantes les 500 mg/l, les autorités locales doivent être informées.
- f) **Sodium** : Le sodium dans l'eau provient des formations géologiques contenant du chlorure de sodium et de la décomposition des sels minéraux (**Rodier, 2009**).
- g) **Potassium** : Le potassium est généralement l'élément majeur le moins abondant dans les eaux après le sodium, le calcium et le magnésium ; il ne prend qu'exceptionnellement le troisième rang des cations. Le potassium se rencontre sous forme de chlorures doubles dans de nombreux minerais tels que le corollaire et la sylvinite. On le trouve également dans les cendres des végétaux sous forme de carbonate. Le potassium est un élément indispensable à la vie et notamment à la croissance des végétaux. L'agriculture, il est utilisé comme engrais sous forme de sulfate de potassium, de chlorure de potassium, ou encore de nitrate de potassium (**Rodier, 2009**).

IV. méthodes d'interprétation des données chimiques

Les méthodes d'analyses chimiques des eaux et la détermination de leur teneur sont d'une grande importance car elles permettent d'avoir une idée sur la nature des formations géologiques traversées par ces eaux.

IV.1. Représentations graphiques

L'étude du chimisme des eaux souterraines apporte à l'hydrogéologie une somme considérable de renseignements utiles à la compréhension des phénomènes se produisant dans les systèmes aquifères. C'est-à-dire dans les échanges possibles entre l'eau et la roche, sachant que la minéralisation des eaux souterraines peut provenir de l'acquisition des éléments chimiques par dissolution et altération des minéraux du réservoir. L'étude de la chimie des eaux souterraines permet aussi de suivre l'évolution spatiale des différents éléments dissouts et d'estimer leur origine, d'estimer leur profondeur de circulation et d'apprécier leur qualité vis-à-vis de la potabilité et de l'irrigation.

IV.1.1. Diagramme de WILCOX

Le diagramme de WILCOX classe les eaux à partir de leur proportion en sodium en fonction de la conductivité électrique. Ce diagramme est essentiellement utilisé pour évaluer le risque de salinisation des sols. Il utilise pour cela la conductivité électrique (CE) ou la charge totale dissoute, toutes deux relatives à la salinité de l'eau.

Le diagramme est découpé en quatre classes de salinité (axe des abscisses) et quatre classes de risques de sodisation (axe des ordonnées).

L'estimation de cet indice est donnée par la formule de Todd (1980). Les concentrations sont exprimées en méq/l :

$$Na\% = \frac{Na^+ + K^+}{\sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+)}} \times 100$$

IV.1.2. Diagramme de PIPER

Cette méthode consiste à représenter sur deux triangles les pourcentages des quantités en réactions (r %) de chaque cation et anion. Les deux points sont reportés sur un losange en un seul point qui représente la famille chimique de l'eau. Ce diagramme présente l'avantage de pouvoir regrouper un grand nombre d'analyses.

IV.1.3. Aptitude des eaux à l'irrigation "SAR : Rapport d'adsorption du sodium "

L'index utilisé est le rapport d'adsorption du sodium (SAR) qui exprime l'activité relative des ions de sodium dans les réactions d'échange dans les sols. Cet indice mesure la

concentration relative du sodium par rapport au calcium et au magnésium. Une grande quantité d'ions sodium dans l'eau affecte la perméabilité des sols et pose des problèmes d'infiltration. Ceci est dû au fait que le sodium présent dans le sol en forme échangeable remplace les calcium et les magnésium adsorbés sur les argiles de sol et cause la dispersion des particules dans le sol (c.-à-d. si le calcium et le magnésium sont les cations prédominants adsorbés sur le complexe d'échange du sol, le sol tend à être facilement cultivé et a une structure perméable et granulaire). Cette dispersion a comme conséquence l'altération des agrégats des sols. Le sol devient alors dur et compact (lorsqu'il est sec) réduisant ainsi les vitesses d'infiltration de l'eau et d'air, affectant ainsi sa structure.

Ce problème est également relié avec plusieurs facteurs tels que le taux de salinité et le type de sol. Par exemple les sols sableux ne subiront pas de dommage si facilement en comparaison aux plus lourds quand ils sont irrigués avec de l'eau à haut SAR. La relation entre les trois cations proposée par le laboratoire de Riverside (Richards, 1954) est exprimée par la relation suivante :

$$SAR = \frac{rNa^+}{\sqrt{(rCa^{2+} + rMg^{2+}) \div 2}}$$

rNa^+ : Concentration du sodium (meq/L).

rCa^{2+} : Concentration du calcium (meq/L).

rMg^{2+} : Concentration du magnésium (meq/L).

IV.2. Rapports caractéristiques

L'utilisation de certains rapports entre les éléments chimiques permet de préciser le milieu de provenance des eaux thermo-minérales, de comparer leur concentration en éléments chimiques et de confirmer les résultats précédents.

L'étude des rapports caractéristiques a concerné les rapports suivants:



IV.2. 1. Rapport SO_4^{-2}/Cl^-

Représente une approche de la connaissance des variations des teneurs en chlorures dans le sous-sol. Ce rapport permet de distinguer les eaux qui ont circulé à travers des roches évaporitiques en dissolvant les sels sulfatés, principalement le gypse; dans ce cas,

on obtient des valeurs inférieures à 1, de celles qui ont dissout des sels chlorurés, fondamentalement la halite, avec des valeurs supérieures à 1 (**El Morabiti et al., 2008**).

IV.2. 2. Rapport Mg^{+2}/Ca^{+2}

Permet d'apprécier la part du Magnésium (provenant de roches dolomitiques) par rapport au Calcium. Une valeur élevée serait liée à la présence de dolomies et/ou à un temps de séjour long (**Barbieri et al., 2005**). Si les valeurs de ce rapport sont faibles, ceci est dû à leur enrichissement en ion calcium, qui aurait pour origine l'échange cationique inverse entre l'eau et le substratum marneux. L'enrichissement en magnésium et l'appauvrissement en calcium sont dus essentiellement aux réactions d'échange ionique.

IV.3. Calcul de l'indice de qualité des eaux d'irrigation

Il est reconnu que la qualité des eaux d'irrigation, et bien d'autres facteurs tels que la nature du sol, le type des cultures, les conditions climatiques et les méthodes d'irrigation, jouent un rôle prépondérant dans la rentabilité et le rendement agricole (**Kizar, 2017**). L'augmentation de la salinité des eaux d'irrigation a un impact négatif aussi bien pour le sol que pour les plantes. Les sels minéraux présents dans l'eau d'irrigation peuvent causer des changements dans la structure du sol en modifiant ainsi sa perméabilité et son aération ce qui entraîne une perturbation dans le développement des plantes (**Person, 1978**).

L'évaluation de l'aptitude des eaux souterraines du bassin versant de l'Oued El Malah à l'irrigation, a été établie par rapport au standard international, et par la suite, on a procédé au calcul de l'indice de qualité des eaux d'irrigation par le modèle (IWQI) développé par Meireles et *al.* (2010). Cet indice constitue avec d'autres paramètres de qualité la base de données à introduire dans un environnement de système d'informations géographique (SIG). Pour l'intégration spatiale des données, MapInfo et son module complémentaire d'analyse « Vertical Mapper », ont été utilisés pour l'élaboration de la cartographie de la qualité des eaux souterraines.

L'indice de qualité des eaux d'irrigation (IWQI) développé en deux étapes par Meireles et *al.* (2010) a été appliqué dans cette étude. L'IWQI exprimé par l'équation 1 est un paramètre sans dimension compris entre 0 et 100.

$$IWQI = \sum_{i=1}^n q_i * w_i \quad (1)$$

Où q_i est la qualité du paramètre étudié variant entre 0 et 100, en fonction de la valeur de la concentration ou de la mesure du paramètre considéré, et w_i est le poids normalisé affectant le paramètre étudié, il dépend de l'importance de la variabilité globale de la qualité de l'eau. Dans la première étape, les paramètres qui contribuent le plus dans variabilité de la qualité de l'eau d'irrigation ont été identifiés à partir de l'Analyse de la Composante Principale et une Analyse factorielle (ACP/AF). Dans une deuxième étape, la définition des valeurs de pondération de la qualité (q_i) et le poids (w_i) attribué à chacun des paramètres intervenant la définition de l'indice de qualité des eaux d'irrigation ont été établi. Les valeurs de (q_i) ont été estimées sur la base des de chaque paramètre, selon les critères de qualité de l'eau d'irrigation proposés par University of California Committee of Consultants (UCCC) et sur la base des critères établis par Ayers et Westcot (1999) (tableau N° 01). Les valeurs élevées de (q_i) indiquent une bonne qualité des eaux (Meireles et al., 2010).

Tableau N° 32 : Valeurs limites des paramètres de mesure de qualité.
(Source : Meireles et al. 2010)

Qi	EC (µs/cm)	SAR (méq/l) ^{1/2}	Na ⁺ (méq/l)	Cl ⁻ (méq/l)	HCO ₃ ⁻ (méq/l)
85 – 100	200 ≤ EC < 750	2 ≤ SAR < 3	2 ≤ Na < 3	1 ≤ Cl < 4	1 ≤ HCO ₃ < 1.5
60 – 85	750 ≤ EC < 1500	3 ≤ AR < 6	3 ≤ Na < 6	4 ≤ Cl < 7	1.5 ≤ HCO ₃ < 4.5
35 – 60	1500 ≤ EC < 3000	6 ≤ SAR < 12	6 ≤ Na < 9	7 ≤ Cl < 10	4.5 ≤ HCO ₃ < 8.5
0 – 35	EC < 200 ou	SAR < 2 ou	Na < 2 ou	Cl < 1 ou	HCO ₃ < 1 ou
	EC ≥ 3000	SAR ≥ 12	Na ≥ 9	Cl ≥ 10	HCO ₃ ≥ 8.5

Les valeurs de (q_i) ont été calculées à partir de l'équation 2, en se basant sur les limites de tolérance indiquées dans le tableau 1et en se basant sur les résultats de l'analyse chimique de l'eau déterminée en laboratoire (Meireles et al., 2010) :

$$q_i = q_{i \max} - \left[\frac{(X_{ij} - X_{inf})}{X_{amp}} * q_{i \text{ amp}} \right] \quad (2)$$

Où $q_{i \max}$ correspond à la valeur maximale de la classe à laquelle appartient q_i ; X_{ij} est la valeur observée pour le paramètre; X_{inf} est la valeur correspondante à la limite inférieure de la classe à laquelle appartient le paramètre; $q_{i \text{ amp}}$ est l'amplitude de la classe; X_{amp} est l'amplitude de la classe à laquelle appartient le paramètre.

Pour évaluer X_{amp} , de la dernière classe de chaque paramètre, la limite supérieure a été considérée comme étant la valeur la plus élevée déterminée dans l'analyse chimique physico-chimique des échantillons d'eau.

Le de poids chaque paramètre utilisé dans l'indice de qualité des eaux d'irrigation (IWQI) a été extrait à partir du tableau N° 31 établi par Meireles et *al.* (2010), dans lequel, les valeurs de w_i ont été normalisées de telle sorte que leur somme soit égale à un.

Tableau N° 33 : Poids des paramètres à appliquer pour le calcul de l'indice de qualité des eaux d'irrigation.

(Source : Meireles et *al.*, 2010)

Paramètres	Wi
Conductivité électrique (EC)	0.211
Sodium (Na ⁺)	0.204
Chlorure (Cl ⁻)	0.194
Bicarbonate (HCO ₃ ⁻)	0.202
SAR	0.189
Total	1.00

La division en classes de la qualité des eaux d'irrigation est établie sur la base de l'indice de qualité des eaux. Les classes ont été définies en tenant compte du risque des problèmes de salinité, de la réduction de la perméabilité du sol et de la toxicité pour les plantes (Meireles et *al.*, 2010).

Tableau N° 34 : Caractéristiques de l'indice de qualité de l'eau.
(Source : Meireles et *al.*, 2010)

IWQI	Restriction d'utilisation de l'eau	Recommandation	
		Sols	Plantes
85 ≤ 100	Pas de restriction (RP)	Peut être utilisé pour la majorité des sols ayant une faible probabilité de causer des problèmes de salinité et de sodicité, le lessivage est recommandé dans les pratiques d'irrigation, sauf pour les sols ayant une perméabilité extrêmement faible	Aucun risque de toxicité pour la plupart des plantes
70 ≤ 85	Restriction faible (RF)	Recommandé pour les sols irrigués de texture légère ou de perméabilité modérée, le lessivage est recommandé du sel. Une sodicité du sol peut se produire dans les sols à texture lourde, il est recommandé d'éviter son utilisation dans les sols à forte teneur en argile.	Éviter les plantes sensibles au sel
55 ≤ 70	Restriction modérée (RM)	Peut être utilisé dans les sols ayant des valeurs de perméabilité modérées à élevées, on suggère une lixiviation modérée des sels.	Les plantes ayant une tolérance modérée aux sels peuvent être cultivées
40 ≤ 55	Restriction élevée (RE)	Peut être utilisé dans des sols à haute perméabilité sans couches compactes. Un programme d'irrigation à haute fréquence doit être adopté pour les eaux dont la CE est supérieure à 2.000 dS m ⁻¹ et le SAR supérieur à 7,0.	Des plantes présentant une tolérance modérée à élevée aux sels avec des pratiques spéciales de contrôle de la salinité, à l'exception des eaux présentant de faibles valeurs de Na, Cl et HCO ₃
0 ≤ 40	Restriction sévère (RS)	Il faut éviter de l'utiliser pour l'irrigation dans des conditions normales. Dans des cas particuliers, il peut être utilisé occasionnellement. Les eaux à faible teneur en sel et à SAR élevé nécessitent l'utilisation du gypse. Dans les eaux à forte teneur en sel, les sols doivent avoir une grande perméabilité, et il faut utiliser un excès d'eau pour éviter l'accumulation de sel.	Seules les plantes ayant une tolérance élevée au sel, à l'exception des eaux ayant des valeurs extrêmement faibles de Na, Cl et HCO ₃ .

Dans une deuxième étape, une cartographie de la qualité des eaux souterraine a été réalisée à l'aide du logiciel du système d'informations géographiques MapInfo. L'extension Vertical Mapper de MapInfo a été utilisée pour effectuer l'intégration spatiale

pour la cartographie des paramètres et de l'indice de la qualité des eaux d'irrigation (IWQI) du bassin versant d'Oued El Malah. L'indice IWQI tel que formulé par l'équation précédente, résulte des recouvrements de cartes thématiques des paramètres chimiques et physiques qui interviennent dans le calcul de cet indice.



Figure N° 28 : Analyses au laboratoire ADE d'Aïn Témouchent.
(Cliché : Benkhamallah, 2019)



Figure N° 29 : Analyses au laboratoire ADE d'Aïn Témouchent.
(Cliché : Benkhamallah, 2019)



Figure N° 30: Analyses au laboratoire ADE d'Aïn Témouchent.
(Cliché : Benkhamallah, 2019)



Figure N° 31 : Analyses au laboratoire ADE d'Aïn Témouchent.
(Cliché : Benkhamallah, 2019)



Figure N° 32 : Analyses au laboratoire ADE d'Aïn Témouchent.
(Cliché : Benkhamallah, 2019)



Figure N° 33 : Analyses au laboratoire ADE d'Aïn Témouchent.
(Cliché : Benkhamallah, 2019)



Figure N° 34 : Analyses au laboratoire ADE d'Aïn Témouchent.
(Cliché : Benkhamallah, 2019)



Figure N° 35 : Analyses au laboratoire ADE d'Aïn Témouchent.
(Cliché : Benkhamallah, 2019)

Sixième chapitre

**RESULTATS SUR LA
RESSOURCE EN EAU
SOUTERRAINE DANS LA
REGION D'AIN TEMOUCHENT**

I. Présentation des résultats sur les eaux souterraines de la région d'Aïn Témouchent

L'annexe III donne les résultats des analyses physico-chimiques effectuées sur différents points d'eau de la région d'Aïn Témouchent, les concentrations sont exprimées en milligramme par litre (mg/l) et en milliéquivalent par litre (még/l).

I.1. Paramètres physiques

I.1.1. Potentiel d'hydrogène (pH)

C'est un paramètre physique qui détermine l'acidité ou l'alcalinité. Le pH est relié à l'activité en protons par: $\text{pH} = -\text{Log}_{10} a_{\text{H}^+}$ avec a_{H^+} : activité en ions H^+ à l'équilibre (Rodier, 2009). Les différents échantillons de la zone étudiée montrent que le pH des eaux varie de 7.21 à 8.38, il est voisin à la neutralité. Donc, toutes les valeurs du pH mesuré ne dépassent pas la norme de la réglementation algérienne entre 6,5 et 8,5 (JORA, 1993 ; OMS, 1994). Le pH est souvent inférieur à 8.38 ce qui indique qu'elles sont légèrement basiques.

I.1.2. Conductivité et minéralisation

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm² de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm (Rodier, 2009), elle traduit une aptitude de l'eau à laisser passer le courant électrique, c'est une mesure rapide de la teneur globale en électrolytes d'une solution. La minéralisation globale est la teneur en sels dissous d'une eau, elle dépend généralement des différentes couches géologiques traversées Ainsi que de la charge physico-chimique et biologique des eaux d'infiltration, la minéralisation est estimée à partir de la conductivité suivant le tableau ci- dessous.

Tableau N° 35 : Calcul de la minéralisation à partir de la conductivité.
(Source : Rodier, 2009)

Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$).	Minéralisation (mg/L).
Conductivité <50	$1,365079 \times \text{conductivité à } 20^\circ\text{C}$
$50 < \text{conductivité} < 166$	$0,947658 \times \text{conductivité à } 20^\circ\text{C}$
$166 < \text{conductivité} < 333$	$0,769574 \times \text{conductivité à } 20^\circ\text{C}$
$333 < \text{conductivité} < 833$	$0,715920 \times \text{conductivité à } 20^\circ\text{C}$
$833 < \text{conductivité} < 10\ 000$	$0,758544 \times \text{conductivité à } 20^\circ\text{C}$
Conductivité $>10\ 000$	$0,850432 \times \text{conductivité à } 20^\circ\text{C}$

Les valeurs de la conductivité sont supérieures à $1000\ \mu\text{S}/\text{cm}$ se qui s'explique par une minéralisation élevée.

La conductivité ainsi que la minéralisation sont liées au contexte lithologique des formations hydrogéologiques ainsi qu'à leur perméabilité, nous avons obtenus les variations suivantes :

- Eaux des alluvions quaternaires : on constate que la majorité des valeurs de la conductivité sont supérieures à $1000\ \mu\text{S}/\text{cm}$ indiquant une minéralisation élevée dans les points d'eau ($2000\ \mu\text{S}/\text{cm}$ à (Ouled Etaoui), $2400\ \mu\text{S}/\text{cm}$ à (Sassel) et $2440\ \mu\text{S}/\text{cm}$ à M'said).
- Eaux du Miocène: les valeurs de la conductivité sont comprises entre $1090\ \mu\text{S}/\text{cm}$ au point d'eau (Aghlal), ce qui implique une minéralisation élevée (d'Aïn Merdja, Aïn Ourda, Tenikrempt, Aïn Onçor, 4^{ème} niveau et Fendjrou).
- Eaux des Plio-Quaternaire : les valeurs de la conductivité sont supérieures à $1000\ \mu\text{S}/\text{cm}$ avec $1200\ \mu\text{S}/\text{cm}$ dans le point d'eau (Aïn Kihel I), montrent une faible minéralisation donc une meilleure qualité chimique.
- Eaux du Pliocène : la conductivité varie entre 1090 et $2530\ \mu\text{S}/\text{cm}$ signifiant une minéralisation élevée.
- Eaux de l'Oligo-Miocène : la conductivité est de l'ordre de $1230\ \mu\text{S}/\text{cm}$ au point d'eau (Aoubellil I) et $1890\ \mu\text{S}/\text{cm}$ à (Dayet El Had), se qui traduisant une minéralisation élevée.

La dissolution des formations calcaires et évaporitiques est à l'origine de la minéralisation des eaux souterraines (Gouaidia, 2017).

Concernant les eaux d'une faible minéralisation se trouvent dans les nappes de basaltes fissurés tel que les points d'eau suivants : Temkrempt, Sidi Bouazza, Aïn Aghlal, Aïn Kihel, Aïn Aoubellil.

La minéralisation élevée peut être liée d'une part à la durée de contact des eaux avec les formations aquifères et d'autre part, à la facilité de mise en solution des éléments constructifs de ces roches ainsi à la forte teneur en chlorures et en sodium. On peut dire que la minéralisation évolue graduellement du Sud vers le Nord.

I.1.3. Résidu sec

Le résidu desséché après évaporation d'une certaine quantité d'eau est considéré comme résidu sec. Les concentrations de résidu sec ont été déterminées du tableau ci-dessous.

Tableau N° 36 : Potabilité en fonction du résidu sec.
(Source : Rodier, 2009)

Résidu sec (mg/L).	Potabilité.
RS < 500	Bonne
500 < RS < 1000	Passable
1000 < RS < 2000	Médiocre
2000 < RS < 4000	Mauvaise
4000 < RS < 8000	Momentanée

Nous avons constaté que les valeurs de résidu sec sont comprises entre 940 et 960 mg/l exprimant une potabilité passable au niveau des basaltes fissurés. D'autres valeurs sont de l'ordre de 1000 mg/l dans le point d'eau Temkrempt se qui exprime une potabilité passable au niveau de l'aquifère d'Oligo-Miocène.

Pour les deux points (Dayet el Had et Aoubellil) nous avons les valeurs de l'ordre de 1098 et 1280 mg/l et 2080 mg/l au point d'eau (Sidi Saad), désignant une potabilité médiocre.

I.2. Paramètres hydro-chimiques

L'étude chimique des eaux concerne les mesures des éléments suivants : Les cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+), et les anions (Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , CO_3^{2-}).

I.2.1. Balance ionique

Les analyses physico-chimiques se contrôlent par la balance ionique (le pourcentage d'erreur), qui égale à :

$$BI = 100 \frac{|\sum r^+ - \sum r^-|}{\sum r^+ + \sum r^-}$$

Avec :

BI : Balance ionique en %.

$\sum r^+$: Somme des quantités en réactions des cations.

$\sum r^-$: Somme des quantités en réactions des anions.

Dont la limite acceptable pour une analyse chimique d'une eau est inférieure à 5%.

Donc, si:

$BI \leq 2 \%$: bonne analyse.

$2 \% < BI < 5 \%$: acceptable.

$BI > 5 \%$: mauvaise.

Les résultats obtenus après le calcul de la balance ionique des analyses des eaux étudiées sont inférieures ou égales à 2 % dans les points d'eau (Sassel, 4eme niveau, Fendjerou, Oulehaça, Tinesramet, Tenkrempt), ce qui traduit une bonne analyse.

Elles sont supérieures à 2 % et inférieures à 5 % pour les points d'eau (Aïn Ançor, Ouled Boudjemaa, Aïn Kihel, Aoubellil), ce qui indique que les résultats d'analyses sont acceptables.

Il est à noter que quelques analyses présentent une erreur telle que celles des points (Aïn Merdja, Aïn Ourda, Ameria, Sidi Yamine, Dayet el Had, Hassi Ghala, M'said).

I.2.2. Caractérisation hydrochimique des eaux des puits de la région d'Aïn Témouchent

Les principaux résultats des analyses chimiques obtenus sont représentés dans le diagramme suivant :

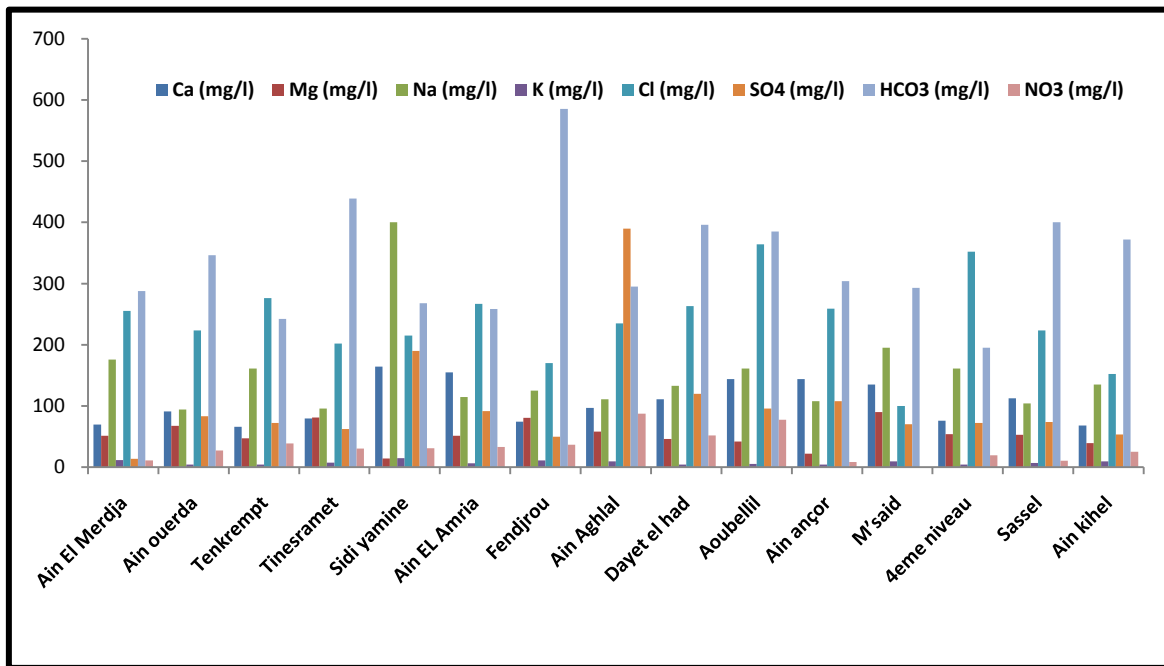


Figure N° 36 : Diagramme des résultats chimiques des puits d'Aïn Témouchent.

On remarque que les valeurs de concentration les plus remarquable sont retenus pour les bicarbonates avec un minimum de 195 mg/l au point d'eau (4^{ème} niveau) et un maximum de 585,3 mg/l dans la source (Fendjrou), et les chlorures avec un minimum 100 mg/l à (M'said) et un maximum de 364 mg/l enregistré dans le point d'eau (Ain Aoubellil). Des valeurs moyennes sont enregistrées pour le calcium, le sodium, les sulfates et les nitrates. Le potassium marque des concentrations très faibles.

On constate pour les puits suivants : Fendjrou, Tinesramet, Aïn Ouerda, Dayet El Had et Aoubellil ; des concentrations très remarquables en bicarbonates HCO_3^- , sodium Na^+ et en chlorure Cl^- . On note aussi que les eaux de puits d'Aïn Aghlal et de Sidi Yamine marquent des valeurs très élevés en sulfates.

I.2.3. Résultats sur diagramme Piper

Le faciès chimique des eaux souterraines de la région d'Aïn Témouchent a été déterminé classiquement à l'aide du diagramme de Piper, en ayant eu recours au logiciel Diagramme du Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon (Simler, 2007).

Les données des anions (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_3^-) et des cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) reportées sur ce diagramme montrent d'une manière générale, que les eaux

souterraines de la région d'Aïn Témouchent sont principalement de type chloruré à bicarbonaté, calcique et magnésien.

La figure N° 37 montre les faciès hydrochimiques des eaux échantillonnées selon le Diagramme de Piper.

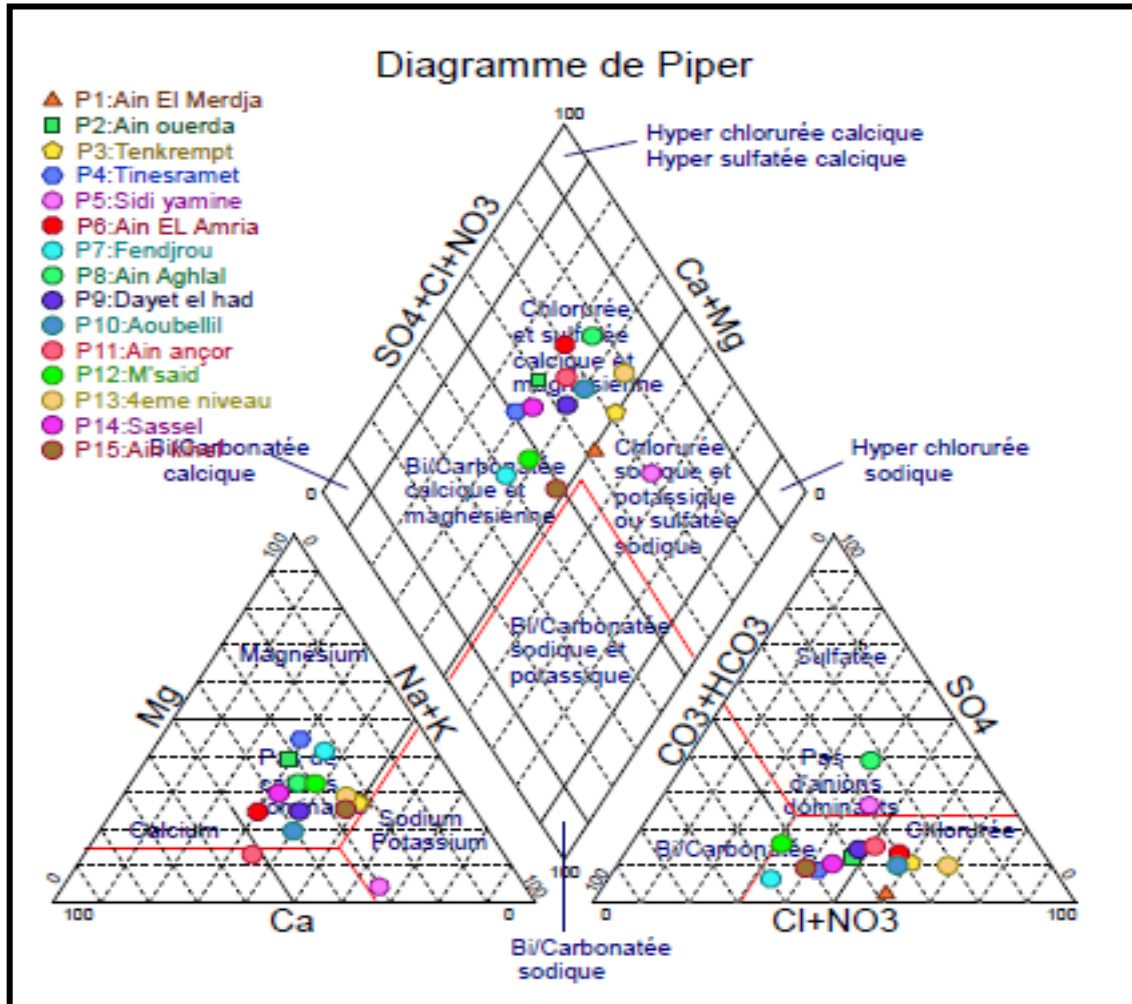


Figure N° 37 : Faciès hydrochimiques des eaux échantillonnées selon le diagramme de Piper.

Le diagramme de Piper effectué sur les eaux de quinze puits échantillonnées, nous montre la dominance de trois principaux faciès comme suites :

- **Chloruré et sulfaté, calcique et magnésienne** : ce faciès dénombre les puits d'Aïn Aghlal, Aïn El Amria, Aïn Ançor, Sassel, Dayet El Had, Aoubellil, Aïn Ouerda, Tenkrempt, Tinesramet et 4^{ème} niveau.
- **Bicarbonate, calcique et magnésienne** : Ce faciès dénombre les puits de Fendjrou, M'said et Aïn Kihel.

- **Chloruré sodique et potassique ou sulfaté sodique** : Ce faciès dénombre les puits d'Aïn El Merdja et Sidi Yamine.

On constate aussi d'après le diagramme, l'apparition des sous-faciès caractérisent nos puits échantillonnées comme le sous-faciès : calcique magnésienne et chloruré sulfaté.

Tableau N° 37 : Classification des eaux de puits échantillonnées selon leurs faciès.

Point d'eau	Formules caractéristique		Faciès chimique
	Anions	Cations	
Aïn El Merdja, Tenkrempt, Dayet El Had, Aoubellil, 4 ^{ème} niveau.	Cl>Hco3>So4	Na+K>Mg>Ca	Chloruré sodique
Aïn Ouerda, Sidi Yamine, Fendjrou, M'said, Aïn Kihel	Hco3>Cl>So4	Na+K >Mg> Ca	Bicarbonatée sodique
Tinesramet	Hco3>Cl>So4	Mg>Na+K>Ca	Bicarbonatée magnésienne
Aïn Aghlal	So4>Cl>Hco3	Na+K>Ca>Mg	Sulfatée sodique
Sassel	Hco3>Cl>So4	Ca>Na+K>Mg	Bicarbonaté calcique
Aïn EL Amria, Aoubellil	Cl>Hco3>So4	Ca>Na+K>Mg	Chlorurée calcique

On constate que la plus part des points d'eau sont chargés par les ions HCO₃ pour les anions et les ions K⁺ et Na⁺ pour les cations. Les faciès principaux d'eau sont liés aux conditions lithologiques.

I.2.4. Résultats sur diagramme de Wilcox

La figure N° 38 montre la classification de la qualité des eaux échantillonnées sur le Diagramme de Wilcox.

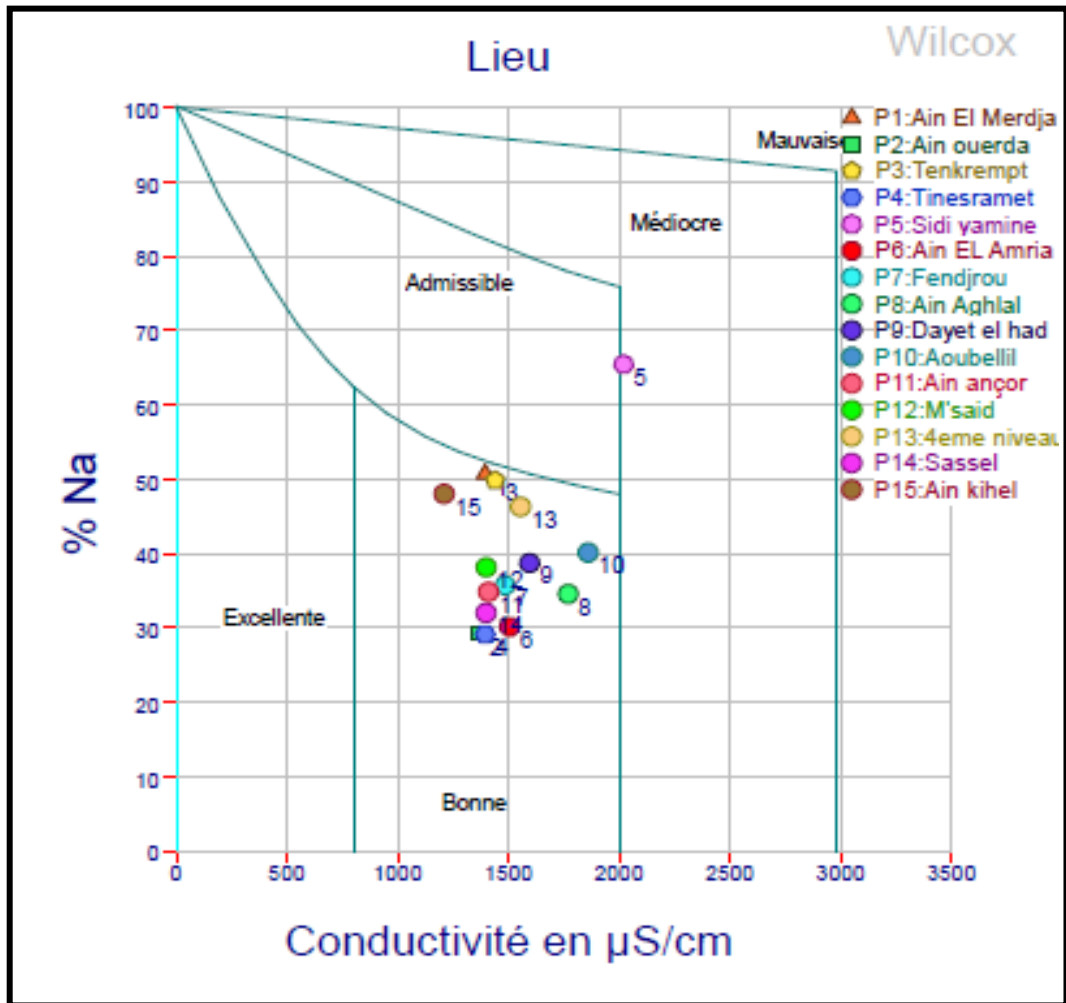


Figure N° 38 : Résultats des eaux échantillonnées d'Aïn Témouchent selon le diagramme de Wilcox.

Les résultats obtenus par le diagramme de Wilcox, indiquent que les eaux souterraines d'Aïn Témouchent appartiennent majoritairement (14 points sur 15 échantillons) à la classe « bonne » Qualité pour l'irrigation. Un seul échantillon P5 (Sidi Yamine) qui appartient à la classe « médiocre » de la classification de Wilcox (figure N° 38).

I.2.5. Résultats sur diagramme de SAR

Le SAR est un critère d'appréciation pour évaluer le pouvoir alcalinisant des eaux d'irrigation (Richards, 1954). Il renseigne sur la richesse relative de l'eau en sodium (cation dispersant) comparativement aux cations flocculant (le calcium et le magnésium).

Si ce ratio est élevé dans l'eau d'irrigation, il provoque une sodification et une détérioration de la structure des sols ainsi qu'une réduction du taux d'infiltration (Todd, 1980).

Le diagramme suivant montre une représentation des eaux souterraines d'Aïn Témouchent sur le diagramme de Richards (Riverside).

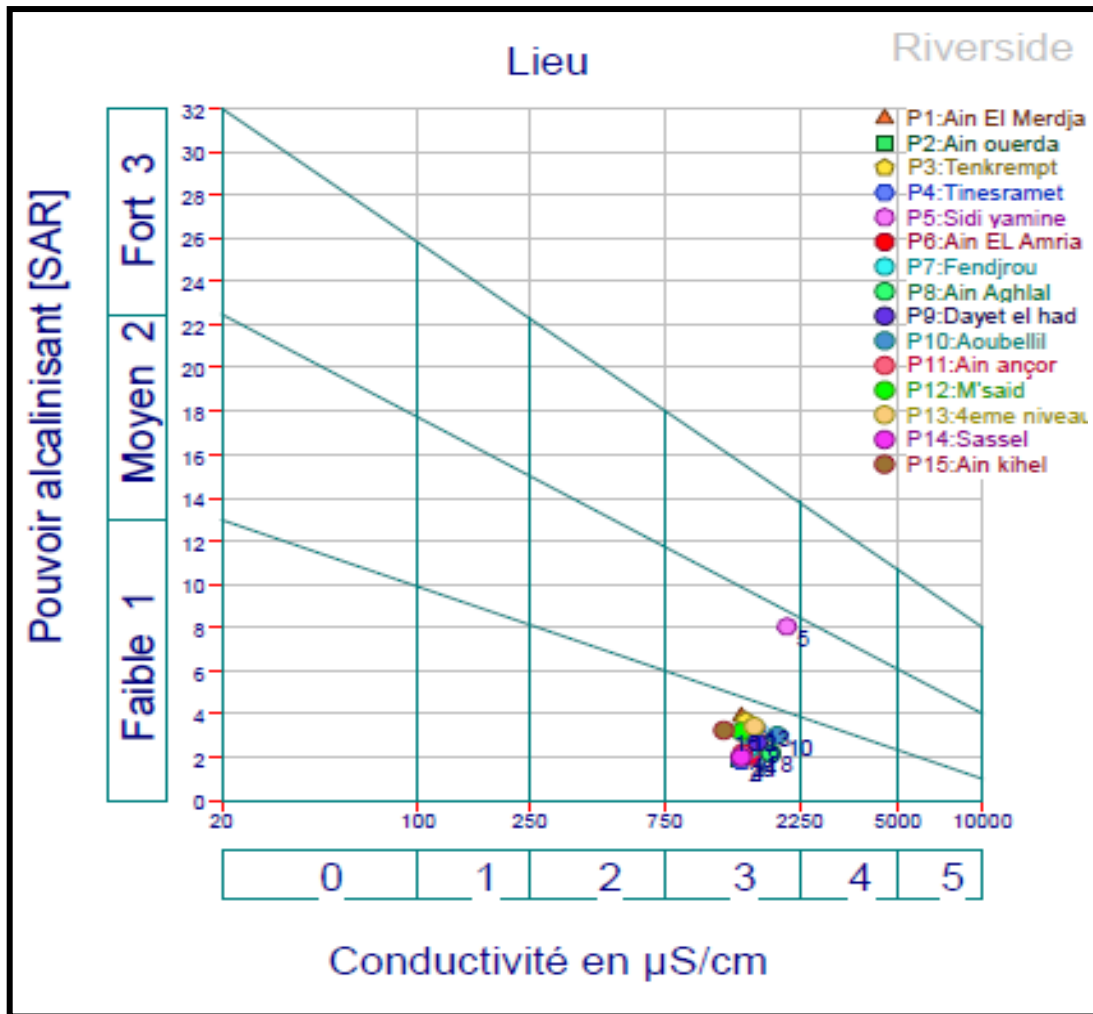


Figure N° 39 : Représentation des eaux échantillonnées d'Aïn Témouchent sur le diagramme de Richards (Riverside).

On constate que la proportion du sodium adsorbée est comprise entre 0,5 et 8, ce qui affirme un très faible apport du sodium à la solution du sol. Le report des points d'eau échantillonnés sur le diagramme de Richards (figure N° 39), nous a permis de distinguer deux classes :

- La classe C3S1 caractérisant 93% des points d'eau échantillonnés. Les eaux de cette classe sont médiocres, et ne peuvent être utilisées pour l'irrigation sauf quelques cultures tolérantes aux sels, ou sur des sols bien drainés ou de bonne perméabilité, avec une salinité qui doit être contrôlée.
- La classe C3S2 désigne des eaux de mauvaise qualité, fortement minéralisées, qui ne peuvent convenir qu'à des espèces bien tolérantes aux sels et sur des sols bien

drainés et lessivés. Les points d'eau appartenant à cette classe sont : P5 (Sidi Yamine) qui capte la nappe du Plio-Quaternaire.

I.3. Variation spatiale des éléments chimiques

Dans notre présente étude, on va cartographier les éléments chimiques dominants caractérisant les faciès chimiques qui présentent une influence sur la qualité des eaux souterraines. Les cartes d'iso-teneurs suivantes représentent les variations spatiales des éléments chimiques des eaux souterraines de la région d'Aïn Témouchent.

I.3.1. Carte d'iso-teneurs en sodium

Le diagramme suivant montre la répartition spatiale de sodium (Na^+) de la région d'Aïn Témouchent.

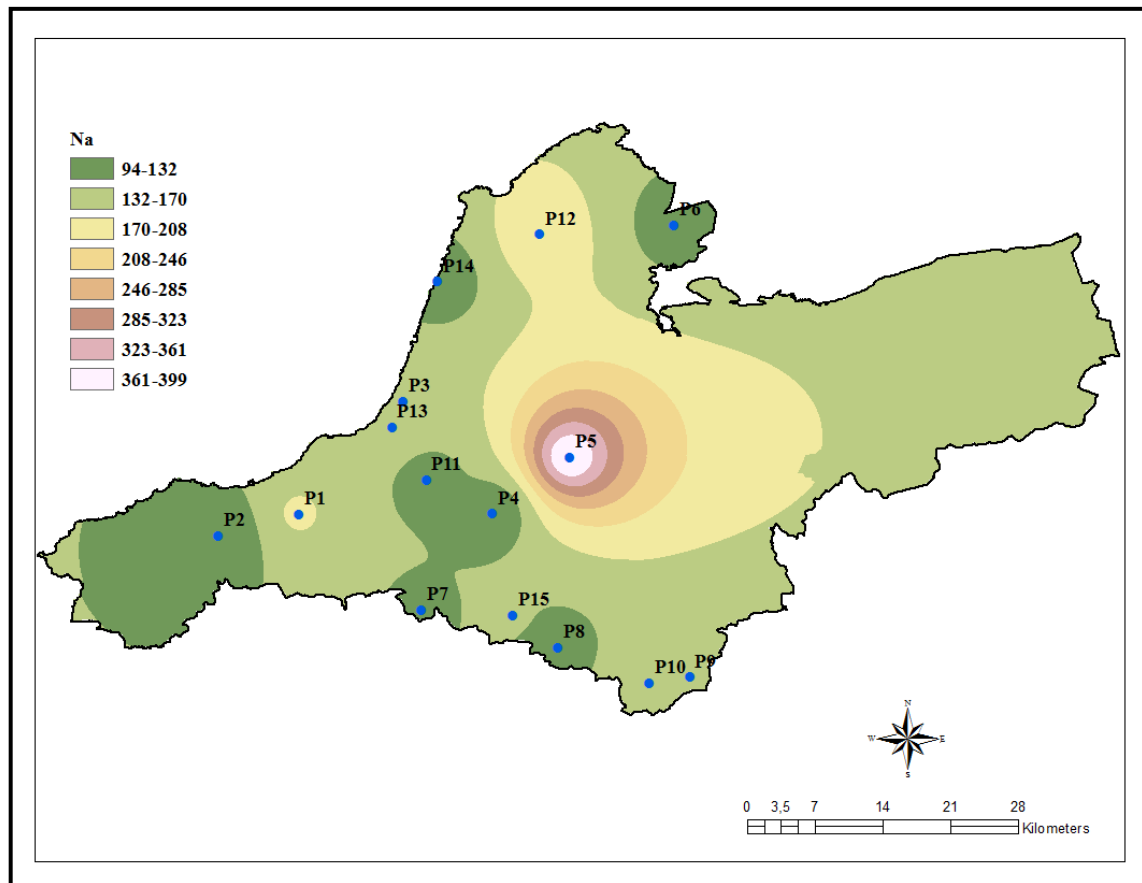


Figure N° 40 : Répartition spatiale de sodium (mg/l).

Le sodium dans l'eau provient des formations géologiques contenant du chlorure de sodium et de la décomposition des sels minéraux. L'OMS recommande à ce titre une

réduction progressive de l'apport quotidien total en sodium hydrique et alimentaire à 6 gr/jour au maximum. Les résultats sont compris entre 94 mg/l et 195 mg/l. On observe que le sodium est plus élevé au Nord et au Sud (figure N° 40).

I.3.2. Carte d'iso-teneurs en potassium

Le diagramme suivant montre les variations spatiales du potassium (K^+) des eaux souterraines de la région d'Aïn Témouchent.

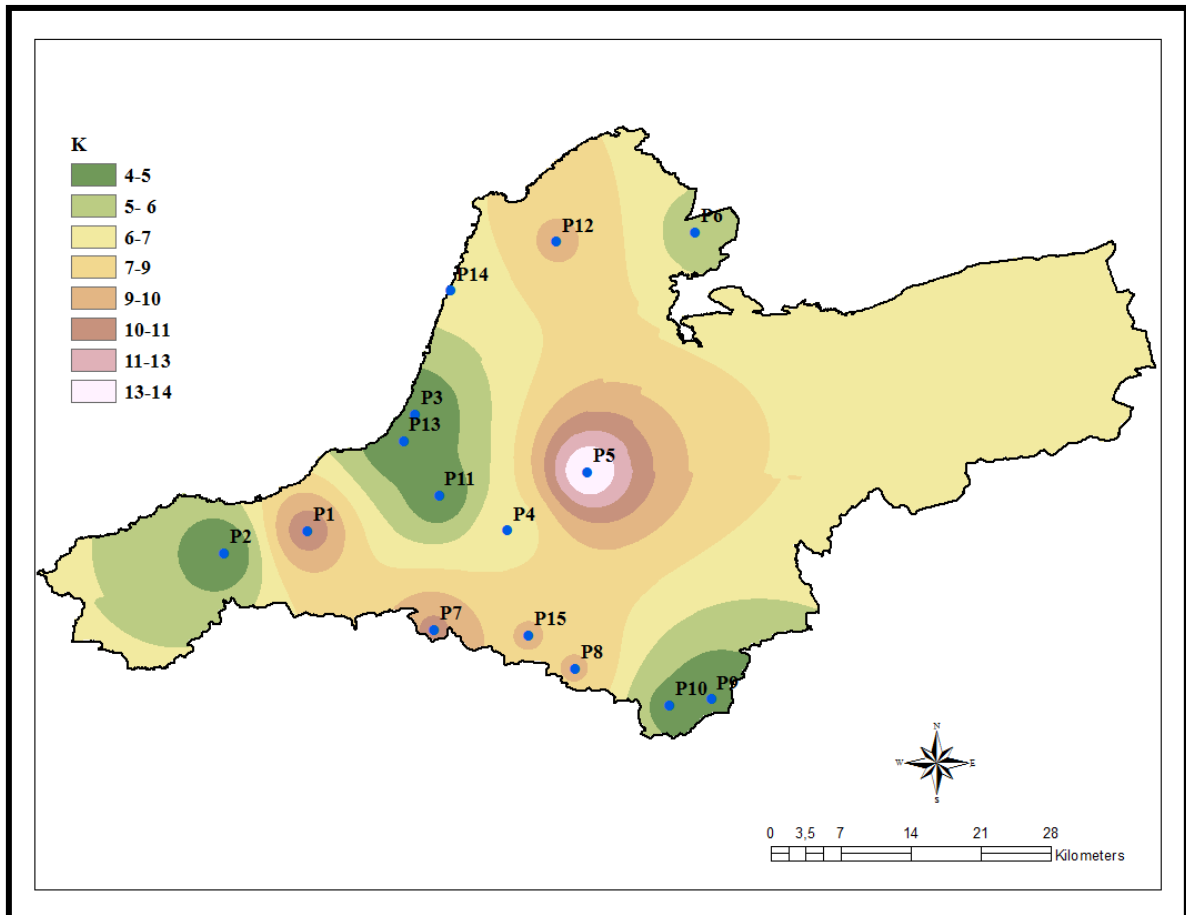


Figure N° 41 : Répartition spatiale du potassium (mg/l).

Le potassium est généralement l'élément majeur le moins abondant dans les eaux après le sodium, le calcium et le magnésium ; il ne prend qu'exceptionnellement le troisième rang des cations. Sa concentration dans les sources est inférieure à la norme qui égale à 15 mg/L (figure N° 41).

I.3.3. Carte d'iso-teneurs en magnésium

Le diagramme suivant montre les variations spatiales de magnésium (Mg^{2+}) des eaux souterraines de la région d'Aïn Témouchent.

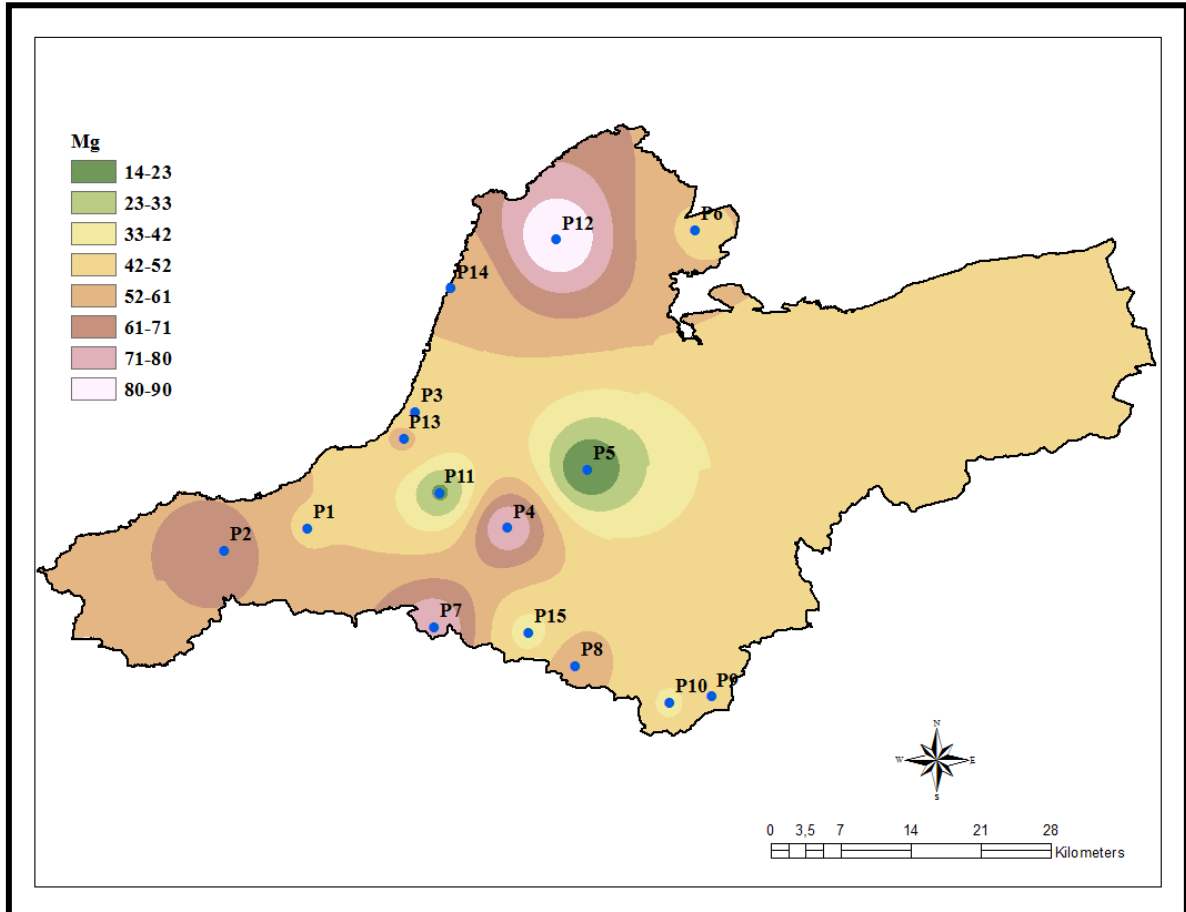


Figure N° 42 : Répartition spatiale du magnésium (mg/l).

La majorité des eaux naturelles contiennent généralement une petite quantité de magnésium, sa teneur dépend de la composition des roches sédimentaires rencontrées. Dans les points d'eau analysés, les teneurs en magnésium variaient entre 22 mg/l et 90,15 mg/l. le maximum est enregistré au P12 (sources M'Said) avec une valeur de 90,15 mg/l, et un minimum au P11 (sources Aïn Ançor). Ces valeurs sont inférieures à la norme qui égale 150 mg/l. la teneur en Mg^{2+} dans les eaux souterraines varie en fonction de l'intensité des phénomènes de dissolution des roches et de précipitation (figure N° 42).

Les ions du calcium et du magnésium présents dans les eaux souterraines, sont particulièrement dérivés de la dissolution des calcaires, des dolomites, du gypse et des

anhydrites. Cependant, ils peuvent également provenir des minéraux argileux, tels que la montmorillonite, l'illite et le chlorite (Garrels, 1976).

I.3.4. Carte d'iso-teneurs des chlorures

Le diagramme suivant montre les variations spatiales des chlorures (Cl) des eaux souterraines de la région d'Aïn Témouchent.

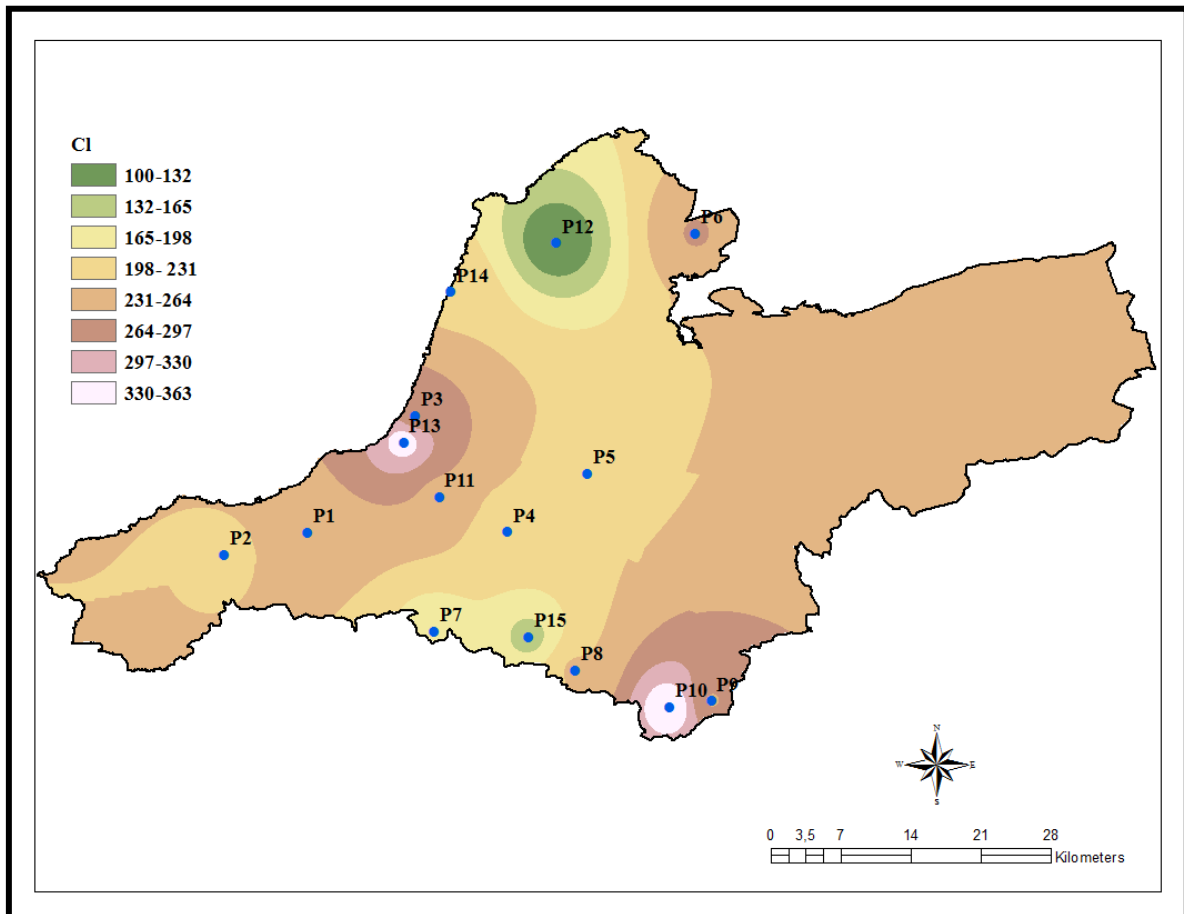


Figure N° 43 : Répartition spatiale des chlorures (mg/l).

La concentration en chlorures est importante dans eaux des plaines alluviales et des argiles semi-perméables, dont les résultats sont compris entre 100 et 364 mg/l. La teneur en chlorure dans les eaux du Plio-quaternaire est en moyenne de l'ordre de 557,87 mg/l avec un maximum mesuré dans le puits P10 Aïn Aoubellil et P13 4eme niveau (364 mg/l) et un minimum au point Aïn Aghlal P8 (100 mg/l) (figure N° 43).

Les ions chlorures peuvent avoir plusieurs origines telles que la dissolution de certaines évaporites formées en fonction des formations environnantes par le dépôt de leurs

minéraux (Sodium, Calcium, Potassium), elles sont dues aussi aux remplissages alluvionnaires et aux forts résidus d'ions de chlore qu'entraîne l'évaporation sur les terrasses alluvionnaires. Elles sont dues aussi aux activités anthropiques ou l'origine atmosphérique. Tous les résultats des eaux de sources échantillonnées sont dans les normes algériennes 500 mg/l.

I.3.5. Carte d'iso-teneurs des nitrates

Le diagramme suivant montre les variations spatiales des nitrates (NO₃⁻) des eaux souterraines de la région d'Aïn Témouchent.

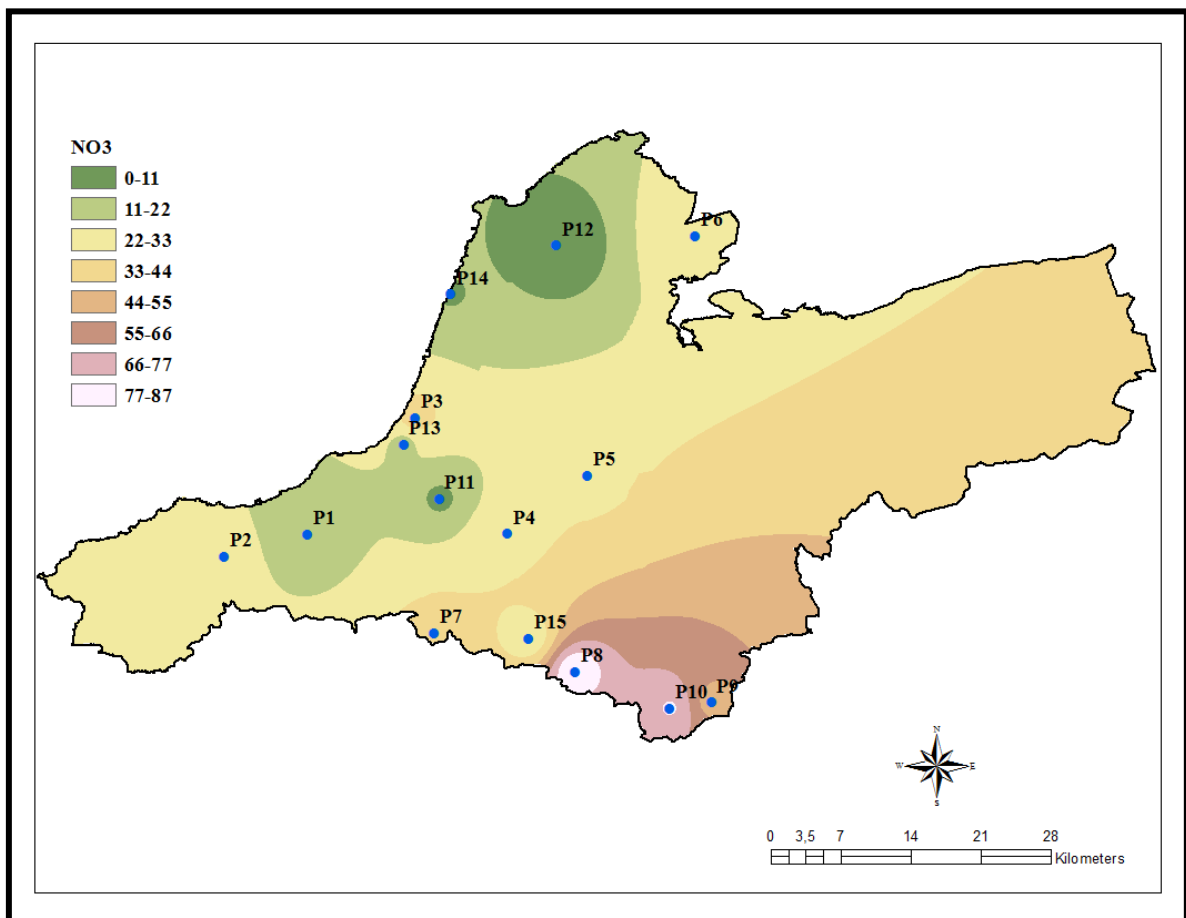


Figure N° 44 : Répartition spatiale des nitrates (mg/l).

Les teneurs des Nitrates obtenues varient entre 0.44 mg/l et 88 mg/l, et toutes les sources ont des teneurs conformes à la norme (50 mg/l) à l'exception de certaine qui marquent des valeurs importantes qui sont respectivement P8 et P10 (Aïn Aghlal et Aoubellil) (figure N° 44).

I.3.6. Carte d'iso-teneurs des sulfates

Le diagramme suivant montre les variations spatiales des sulfates (SO_4^{2-}) des eaux souterraines de la région d'Aïn Témouchent.

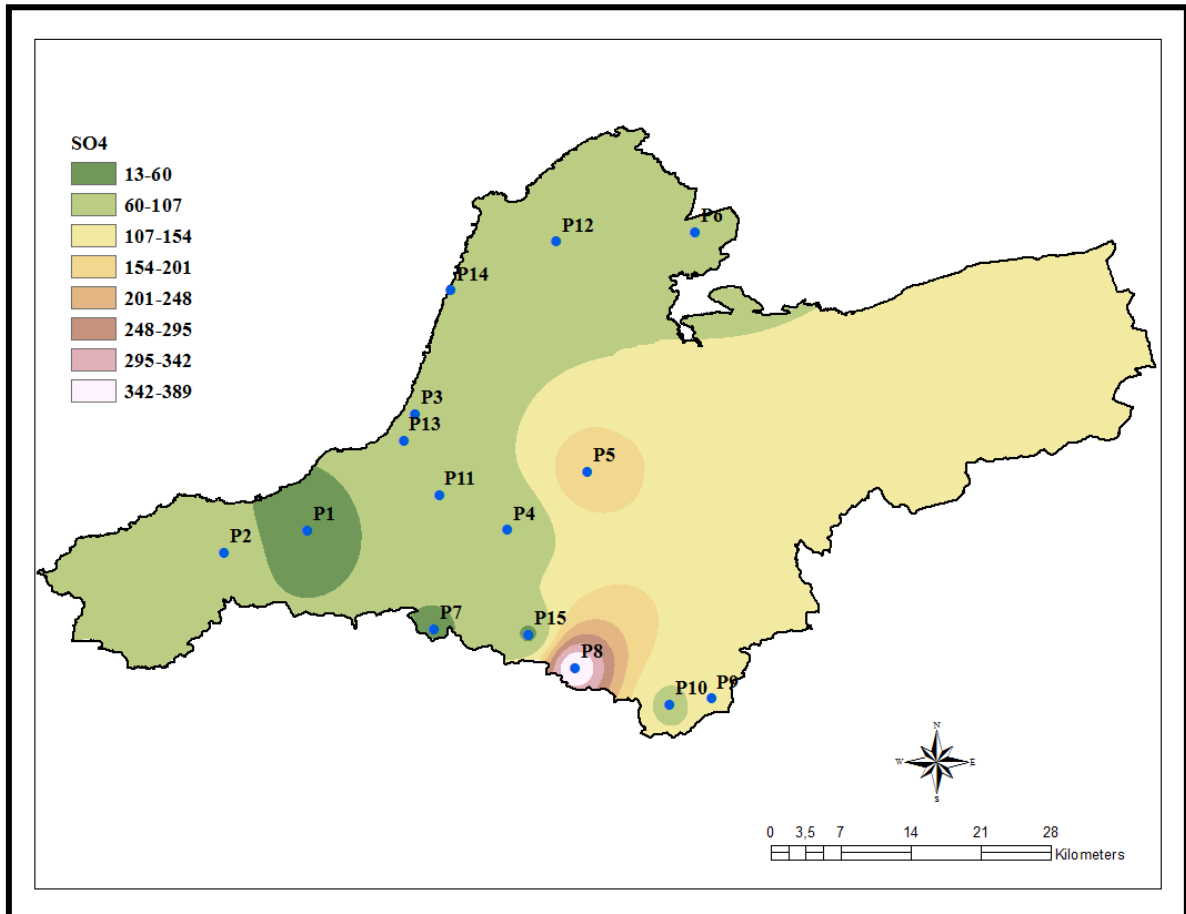


Figure N° 45 : Répartition spatiale des sulfates (mg/l).

Les sulfates sont les ions les moins abondants dans les eaux de la nappe libre. Les sulfates peuvent provenir de l'altération des pyrites ou pollution artificielles.

Les résultats obtenus par la carte d'isoteneurs des sulfates montrent que la teneur en SO_4^{2-} est comprise entre 13,45 et 390 mg/l ils sont inférieurs aux normes algériennes (400mg/l) (figure N° 45).

I.3.7. Carte d'iso-teneurs en calcium

Le diagramme suivant montre les variations spatiales de calcium (Ca^{2+}) des eaux souterraines de la région d'Aïn Témouchent.

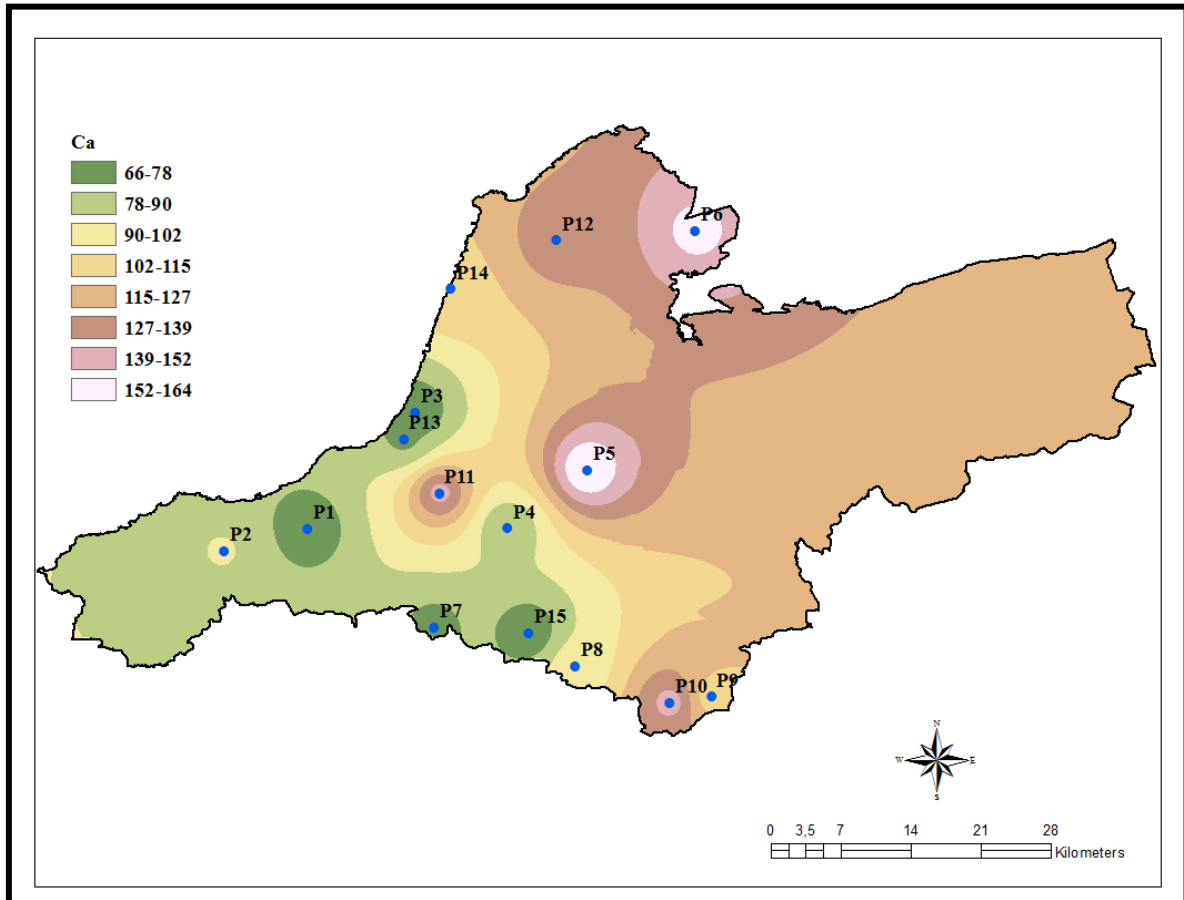


Figure N° 46 : Répartition spatiale du calcium (mg/l).

Le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables et sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés (calcaire, gypse). Elles proviennent essentiellement des affleurements des calcaires du plateau de Sidi Bakhti et du plateau de Ghamra qui sont généralement des calcaires crayeux Miocène supérieur ainsi que les calcaires blancs de Mardjadjou et les calcaires Francs Karstifiés.

Selon la figure N° 46, on aperçoit des teneurs comprises entre 66 et 164,5 mg/L, avec une valeur plus élevée mesurée au point (P5 Sidi Yamine). Toutes les sources ont des concentrations inférieures à la valeur maximale qui est 200 mg/L de calcium.

I.3.8. Carte d'iso-teneurs des bicarbonates

Le diagramme suivant montre les variations spatiales des bicarbonates (HCO_3^-) des eaux souterraines de la région d'Aïn Témouchent.

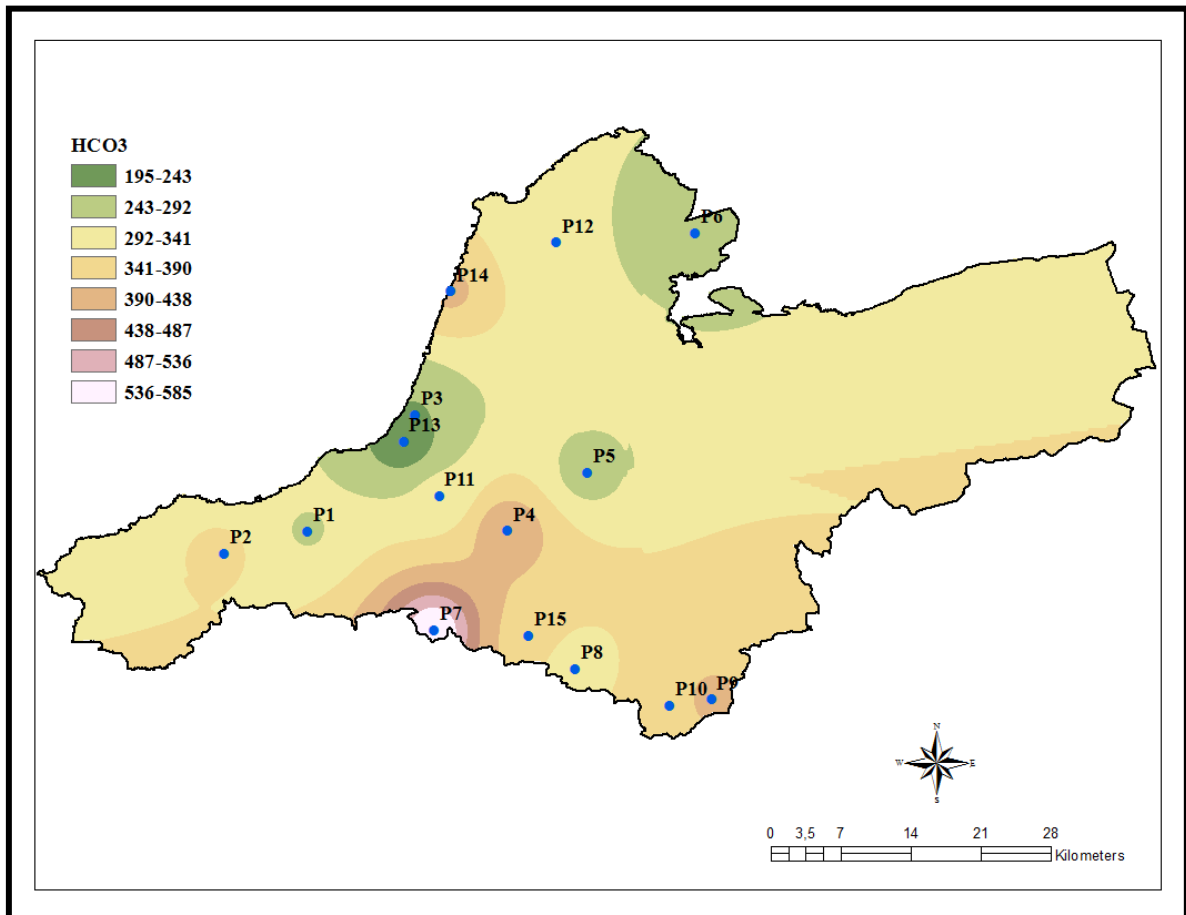


Figure N° 47 : Répartition des bicarbonates (mg/l).

La teneur en bicarbonate est élevée au niveau de la plus part des eaux échantillonnées.

Les eaux du Plio-quadernaire renferment en moyenne 386,75 mg/l de bicarbonates, le maximum a été observé au point d'eau P7 (source Fendjrou) avec 588 mg/l, et le minimum au P13 (forage 4eme niveau) avec une concentration de 195 mg/l (figure N° 47).

I.4. Résultats sur les forages du bassin d'Oued El Malah

I.4.1. Balance ionique

Les analyses physico-chimiques se contrôlent par la balance ionique (le pourcentage d'erreur), qui égale à :

$$BI = 100 \frac{|\sum r^+ - \sum r^-|}{\sum r^+ + \sum r^-}$$

Les résultats de la balance ionique des analyses des eaux étudiées sont inférieures ou égales à 2 % dans les points d'eau suivantes : (Aoubellil I, Ain Kihel V, Ain Kihel I,

Aïn Témouchent V, Chabat I, AT2 Terga I, Chentouf, Sidi Bouazza, Sidi Djelloul, El MalahII), ce qui traduit une bonne analyse.

Elles sont supérieures à 2 % et inférieures à 5 % pour les points d'eau suivantes : (Sidi Saad, Barette AT4, Das Kherrafi, Bailliche, Bouzedjar 2, Oued Sebah II, Aïn Témouchent 3, El Ameria I, Sidi Mohamed, Barette), ce qui indique que les résultats d'analyses sont acceptables.

I.4.2. Caractérisation hydrochimique des eaux de forages du bassin d'Oued El Malah

Les principaux résultats d'analyse chimique obtenus sont représentés dans le diagramme suivant :

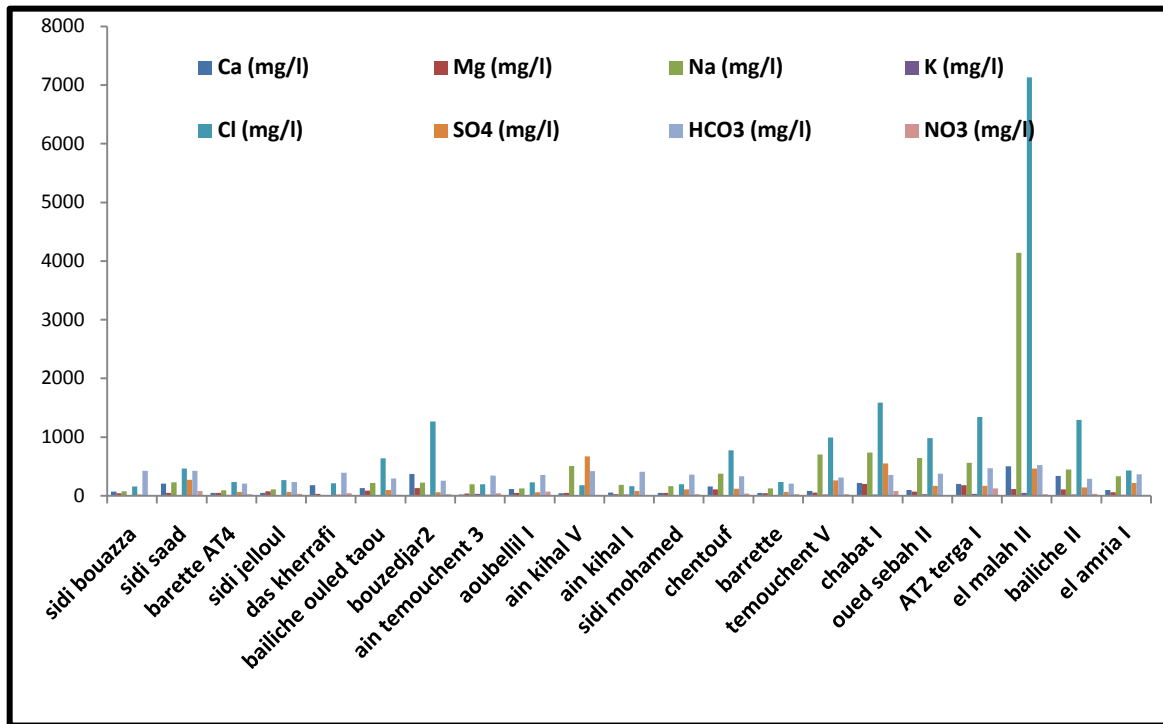


Figure N° 48 : Diagramme des résultats chimique des eaux de forages d'Oued El Malah.

Selon la figure N° 48, on remarque que les valeurs de concentration les plus remarquable sont retenus pour le chlore dans les forages suivants : El Malah II, Terga, Oued Sebah II, Chabat I, Témouchent V, Bouzedjar 2 et Ouled Taoui, dont un maximum de 7131 mg/l est enregistré dans le forage (El Malah II). Le sodium marque des concentrations assai importantes pour la plus part des forages, dont des valeurs très élevés

dans AT2 Terga I avec 978 mg/l, à Chabat I avec 748 mg/l, à Bouzedjar II avec 725 mg/l et un maximum au forage d'El Malah II avec 4140 mg/l.

Les concentrations en sulfates enregistrent des valeurs remarquables dans les deux forages (Aïn Kihal I = 672 mg/l et Chabat I = 528 mg/l). Les concentrations en bicarbonates sont très élevées pour tous les forages varie entre 252 mg/l et 588 mg/l.

Pour le reste de forages, des valeurs moyennes en concentration sont enregistrées pour le sodium, le chlorure, le calcium, le potassium et les nitrates.

I.4.3. Résultats sur diagramme Piper

La figure N° 49 montre les faciès hydrochimiques des eaux du bassin versant d'Oued El Malah sur le Diagramme de Piper.

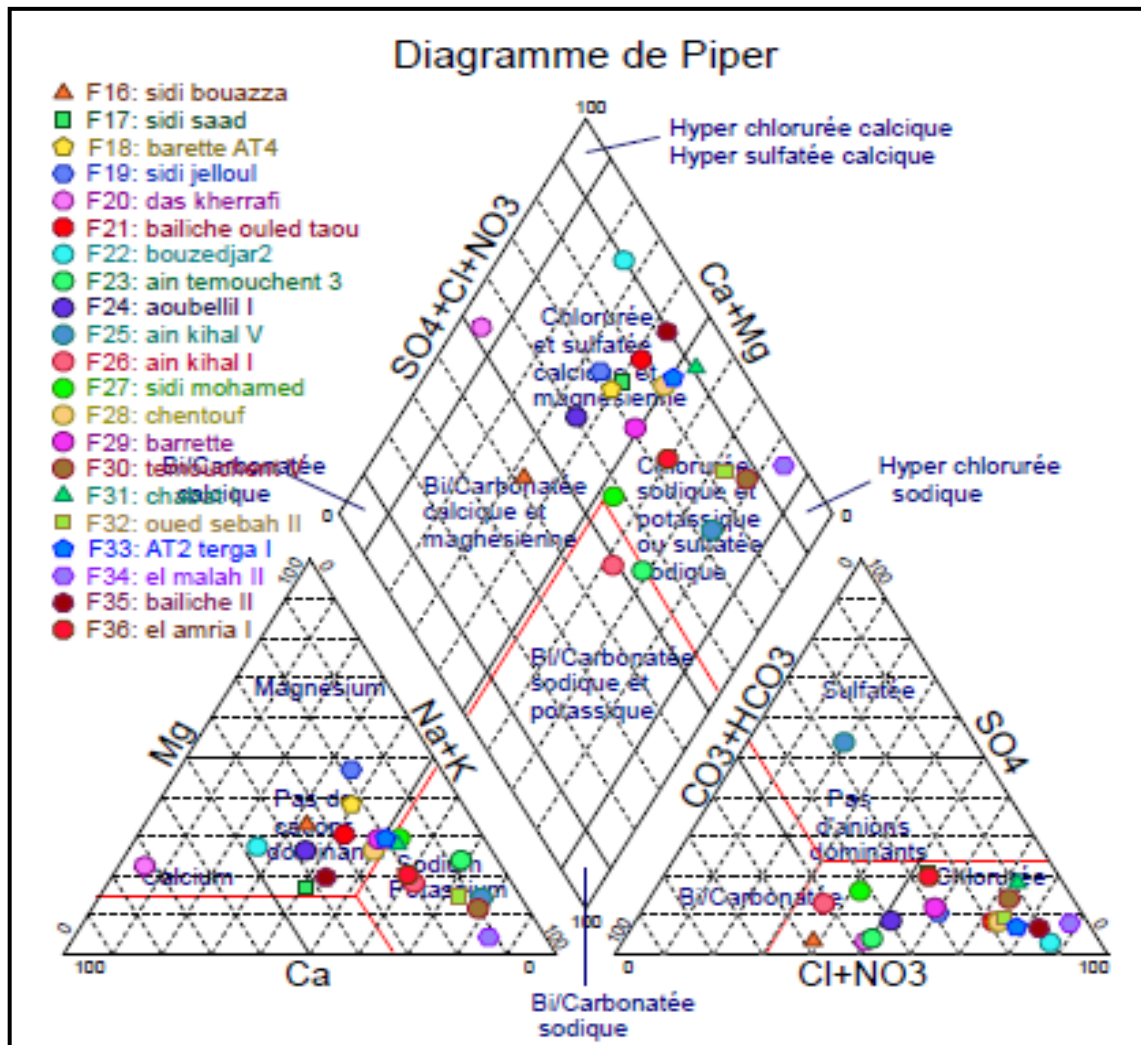


Figure N° 49 : Faciès hydrochimiques des eaux échantillonné selon le diagramme de piper.

Le report de 21 forages sur le diagramme de Piper montre une grande variabilité du faciès chimique des eaux. Ces derniers sont positionnés entre trois pôles (figure N°49) :

- Un pôle salifère qui se caractérise la dominance des eaux chlorurées sodiques et potassiques ou sulfatées sodiques ainsi que celles chlorurées et sulfatées calciques et magnésiennes dans le bassin versant d'Oued El Malah.
- Le pôle des carbonates qui se caractérise par un faciès bicarbonaté calcique et magnésienne représenté seulement par le point (P16 Sidi Bouazza). Ce point positionné dans la nappe de basaltes fissurés.
- Bicarbonaté sodique et potassique qui caractérise les deux points d'eau (Aïn Témouchent 3 et Aïn Kihel I).

Tableau N° 38 : Classification des eaux souterraines du bassin versant d'Oued El Malah selon leurs faciès.

Point d'eau	Formules caractéristique		Faciès chimique
	Anions	Cations	
El Malah II, Bailiche Ouled Taoui, Sidi Saad, Barrette, Sidi Djelloul, Chentouf 02, Aoubellil I, Témouchent V, Chabat I, Oued Sebah II, Terga I	Cl>Hco3>So4	Na+K>Mg>Ca	Chloruré sodique
Ain Témouchent 3, Sidi Mohamed, Aïn Kihel I	Hco3>Cl>So4	Na+K >Mg> Ca	Bicarbonatée sodique
Sidi Bouazza	Hco3>Cl>So4	Mg>Na+K>Ca	Bicarbonatée magnésienne
Aïn Kihel V	So4>Cl>Hco3	Na+K>Ca>Mg	Sulfatée sodique
Das Kherrafi	Hco3>Cl>So4	Ca>Na+K>Mg	Bicarbonaté calcique
Aïn EL Amria, Bouzedjar 2	Cl>Hco3>So4	Ca>Na+K>Mg	Chlorurée calcique

I.4.4. Qualité des eaux pour l'irrigation

La dégradation de la qualité des eaux destinées à l'irrigation est due à plusieurs facteurs, dont la concentration en sels dissous exprimée par le résidu sec ou la conductivité électrique, la salinité potentielle et la concentration relative en sodium. Pour ce dernier facteur, il a été reconnu que la concentration en sodium dans les eaux d'irrigation a une influence sur la perméabilité et l'infiltration des sols. La présence de l'élément Na^+ a des effets néfastes sur la structure des sols par défloculation des argiles (**Hallouche, 2017**).

La qualité des eaux d'irrigation peut être interprétée en déterminant un certain nombre de paramètres tels que la salinité le pourcentage de sodium (Na^+) et le coefficient d'absorption du sodium (SAR).

I.4.4.1. Salinité

La salinité exprimée par la conductivité électrique ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) est due principalement à présence de la charge minérale dissoute dans l'eau (TDS). Le risque de la salinité se produit lorsqu'une accumulation de sels se produit dans la zone racinaire. Les eaux souterraines du bassin versant d'Oued El Malah affichent des valeurs de salinité relativement élevée, qui varient entre 740 et 5010 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ avec une de 3800 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. L'annexe III montre que 62% des échantillons prélevés se rangent dans la classe à risque élevé, et 38% dans la classe à risque très élevé.

I.4.4.2. Résultats sur Diagramme de Wilcox

La figure N° 50 montre la classification de la qualité des eaux souterraines du bassin versant d'Oued El Malah sur le diagramme de Wilcox.

A noter que l'excès de sodium dans l'eau est souvent à l'origine de la modification des propriétés du sol ainsi que de la réduction de sa perméabilité (**Subra Rao, 2006**). Dès lors L'appréciation du pourcentage de sodium est nécessaire pour se prononcer sur l'aptitude des eaux à l'irrigation (classification de Wilcox, 1955).

Le diagramme de Wilcox nous montre quatre classes bien distinctes comme suite :

- Bonne qualité pour l'irrigation concerne les points d'eaux suivants : Barette, Das Kherrafi, Aoubellil I, Barette AT4, AT2 Terga II.

- Qualité médiocre pour l'irrigation concerne les points d'eaux suivants : Sidi Saad, El Ameria I, Bailiche, Aïn Kihel V.
- Qualité admissible pour l'irrigation concerne les points d'eaux suivants : Aïn Temouchen, Aïn Kihel I, Sidi Mohamed.
- Qualité mauvaise pour l'irrigation concerne les autres points d'eaux qui restent.

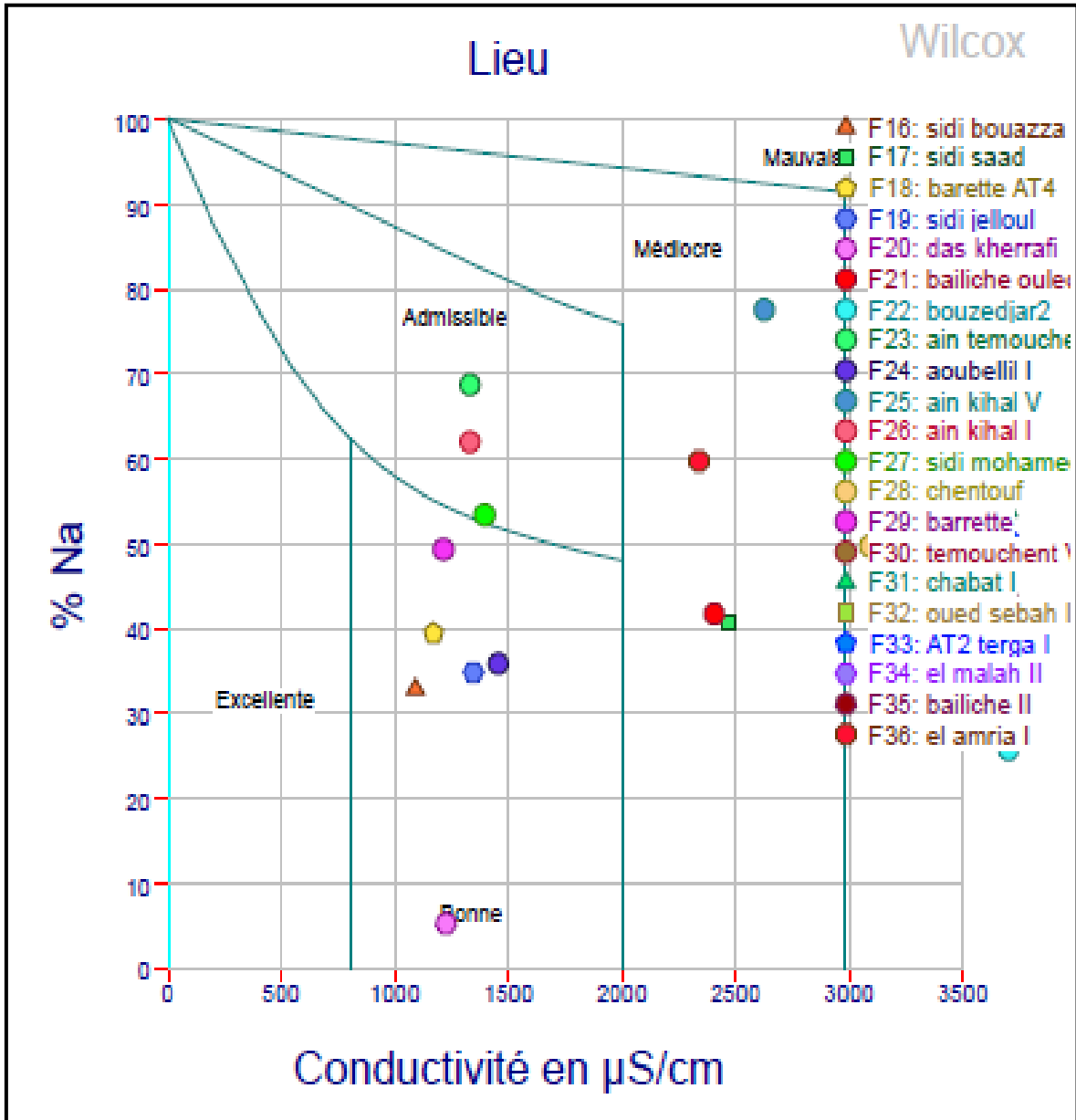


Figure N° 50 : Résultats des eaux échantillonnées selon le diagramme de Wilcox.

I.4.4.3. Résultats sur diagramme de SAR (Rapport d'Adsorption de Sodium)

Pour les eaux souterraines de notre région d'étude (tableau N° 39), les valeurs sur SAR varient de 0.21 à 43.31 avec une moyenne de 7.31, ce qui nous permet de ranger les échantillons analysés dans la classe « Excellent » à « Bonne » à l'exception du forage F26.

Tableau N° 39 : Classification de la qualité des eaux d'irrigation par rapport à la salinité et le SAR.

Intervalle	Classe	Classification des eaux	
		Nombre d'échantillons	Numéro d'échantillon
A) EC ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)			
< 250	Faible	Néant	-
250 – 750	Moyenne	Néant	-
750 – 2250	Elevée	13	F1, F5, F6, F7, F10, F12, F14, F17, F18, F20, F24, F26, F28
>2250	Très élevée	8	F2, F11, F16, F19, F21, F23, F25, F27
B) Taux d'adsorption de sodium (SAR)			
SAR<10	Excellente	17	F1, F5, F6, F7, F10, F12, F14, F17, F18, F20, F28, F2, F11, F19, F23, F25, F27
10 – 18	Bonne	3	F16, F21, F24
18 – 26	Moyenne	-	-
SAR >26	Mauvaisre	1	F26

Le diagramme suivant montre la représentation sur le diagramme de Richards (Riverside) des eaux souterraines du bassin versant d'Oued El Malah.

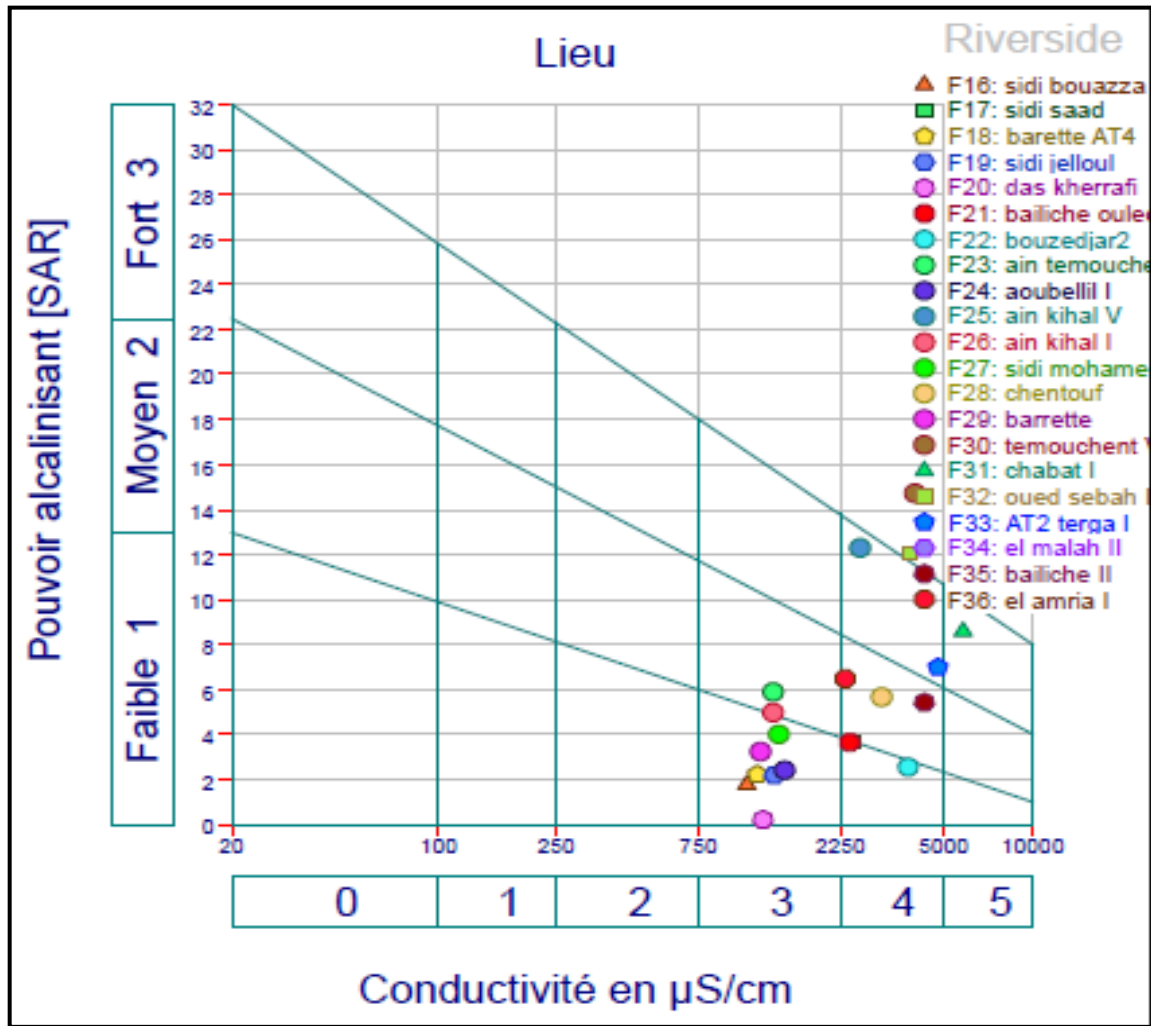


Figure N° 51 : Résultats des eaux échantillonnées selon le diagramme de Richards Riverside.

Le report des données du SAR en fonction de conductivité CE sur le diagramme Riverside montre que, 76% des échantillons appartiennent aux classes C3S1, C3S2, C4S1 et C4S2, ce qui reflète la forte salinité des eaux de la région d'étude.

A l'exception des eaux du forage F26 dont la valeur du SAR est de 43.31, donc de mauvaise qualité, le reste des échantillons d'eau se rangent dans la classe excellente (17 forages) et bonne (F16, F21, F24).

I.4.5. Variation spatiale des éléments chimiques

Les cartes d'iso-teneurs suivantes représentent les variations spatiales des éléments chimiques dans les 21 forages bassin d'Oued El Malah.

I.4.5.1. Carte d'iso-teneurs en sodium

Le diagramme suivant montre les variations spatiales du sodium (Na⁺) des eaux souterraines dans le bassin versant d'Oued El Malah.

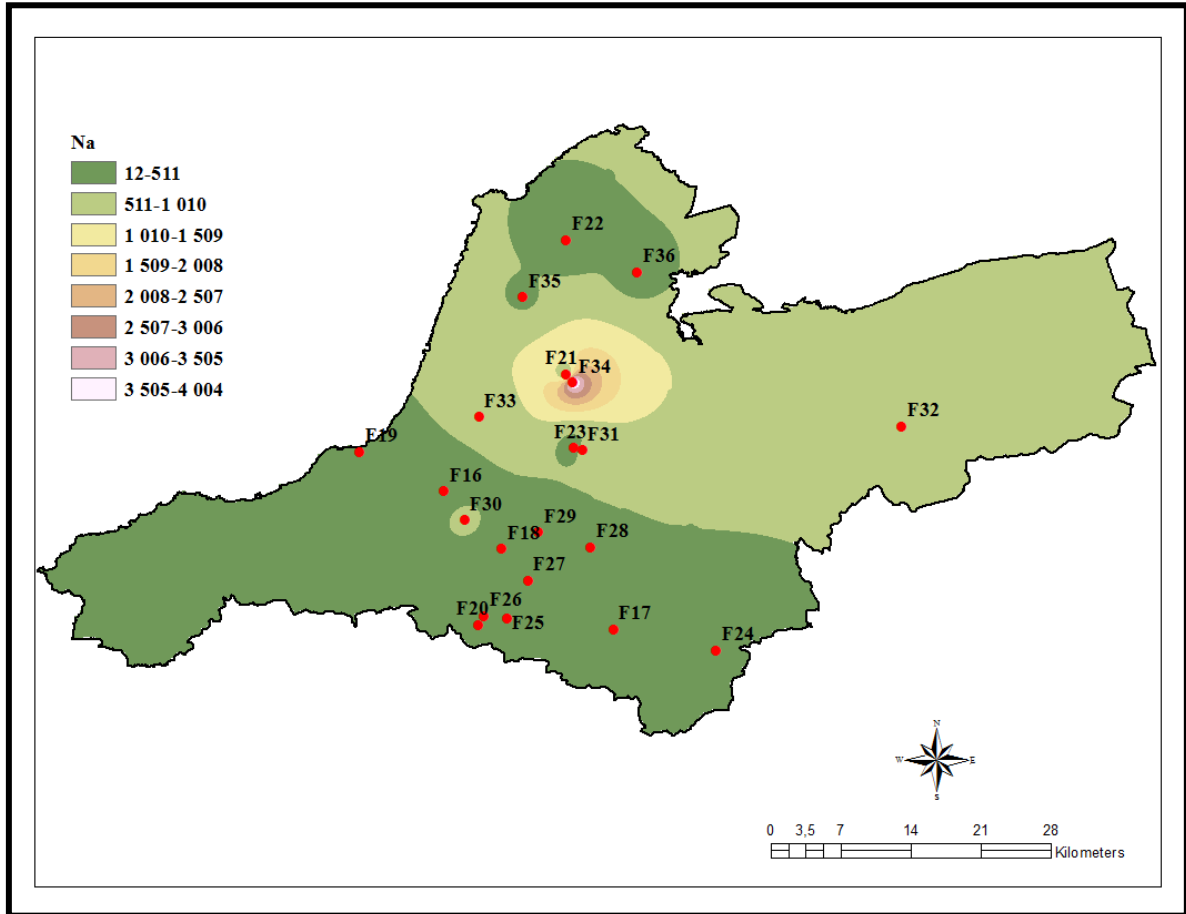


Figure N° 52 : Répartition spatiale de sodium (mg/l).

Les concentrations en sodium (Na⁺) oscillent entre 12 mg/l et 4140 mg/l avec une teneur moyenne de 486,29 mg/l. le maximum de concentration en sodium apparaisse dans le forage El Malah II et forage Bailiche, les plus fortes teneurs apparaissent vers le Centre-Est de la nappe (figure N° 52), le minimum est enregistré au forage (Das Kherrafi).

I.4.5.2. Carte d'iso-teneurs en potassium

Le diagramme suivant montre les variations spatiales du potassium (K^+) des eaux souterraines dans le bassin versant d'Oued El Malah.

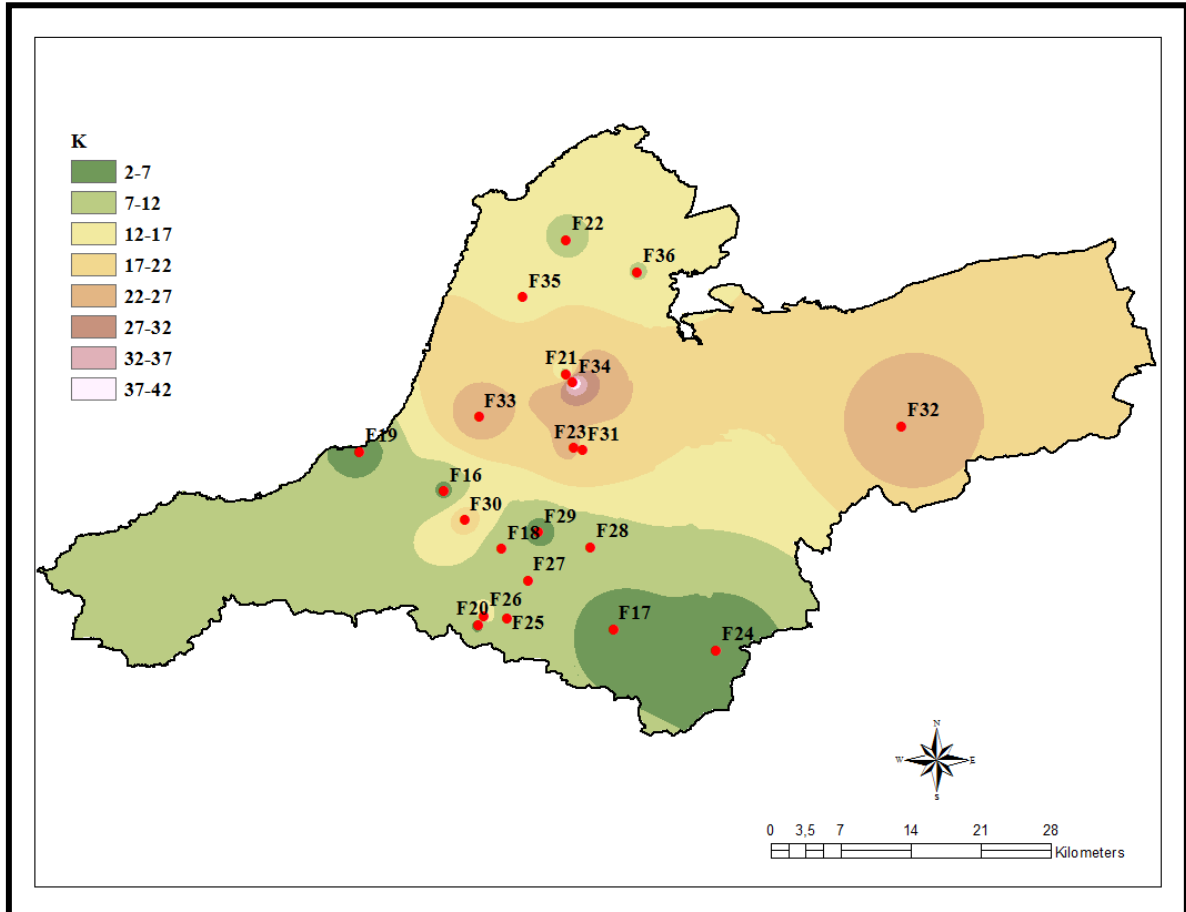


Figure N° 53 : Répartition spatiale du potassium (mg/l).

Les concentrations en potassium (K^+) oscillent entre 2 mg/l et 44 mg/l avec une teneur moyenne de 13,76 mg/l. Le maximum est enregistré à (El Malah II, Terga, Aïn Témouchent et Oued Sebah) et un minimum à (Sidi Saad). Les plus fortes teneurs apparaissent vers le Centre-Est de la nappe (figure N° 53).

I.4.5.3. Carte d'iso-teneurs en magnésium

Le diagramme suivant montre les variations spatiales de magnésium (Mg^{+}) des eaux souterraines du bassin versant d'Oued El Malah.

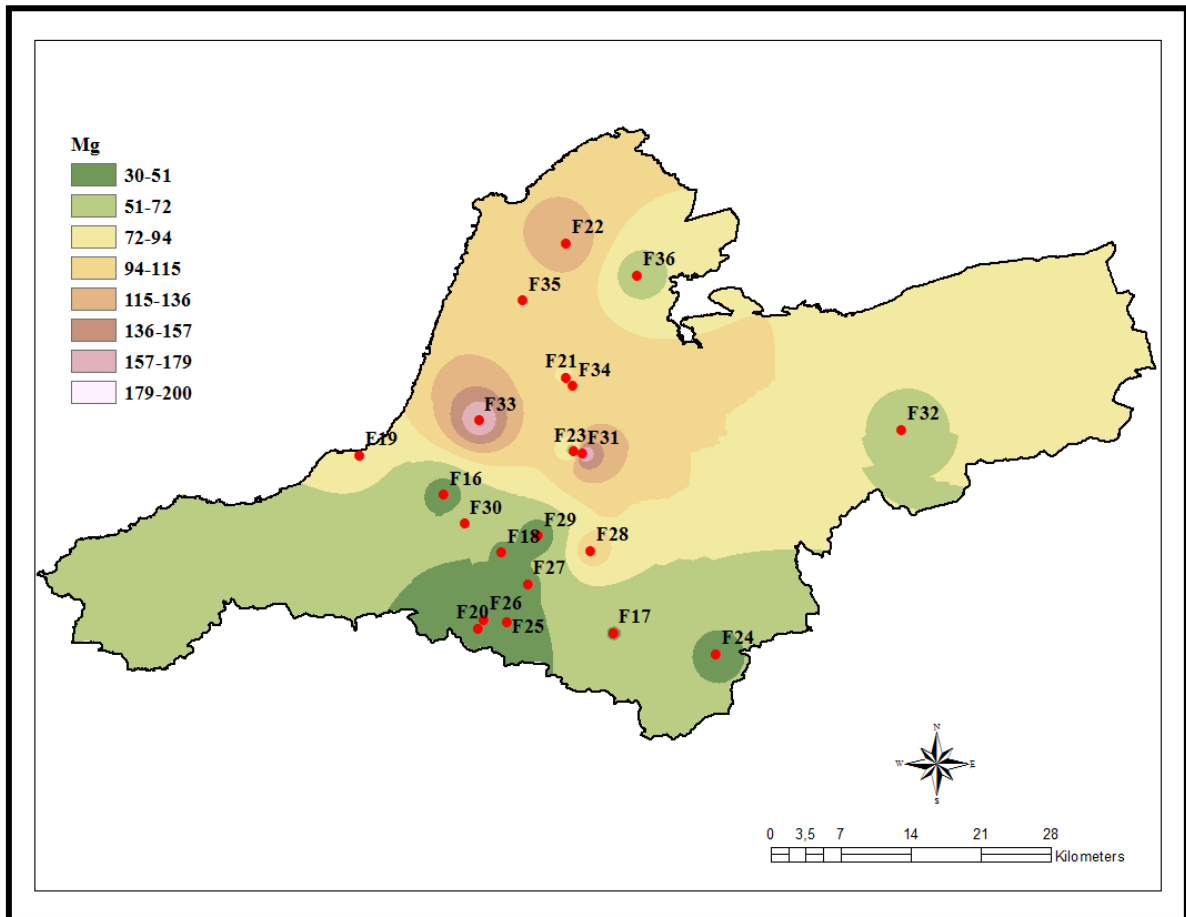


Figure N° 54 : Répartition spatiale du magnésium (mg/l).

D'un point de vue chimique, le magnésium s'apparente au calcium. Dans les aquifères carbonatés, la concentration en magnésium est contrôlée par les équilibres avec les minéraux carbonatés. Cet ion reste un élément prédominant des eaux drainant des aquifères des carbonates magnésiens comme la dolomie ($CaMgCO_3$), la magnésite ($MgCO_3$). Son comportement sera contrôlé tout comme le calcium, les ions (Mg^{2+}) proviennent de la dissolution des formations carbonatées riches en magnésium (dolomite) (Hallouche, 2017).

On note une teneur moyenne en magnésium égale à 77,57 mg/l avec un maximum de 204 mg/l dans le forage F 31(Chabat I), et un minimum de 30 mg/l dans le forage F 26 (Aïn Kihel I).

I.4.5.4. Carte d'iso-teneurs des chlorures

Le diagramme suivant montre les variations spatiales des chlorures (Cl⁻) des eaux souterraines du bassin versant d'Oued El Malah (nappe du Plio-Quaternaire).

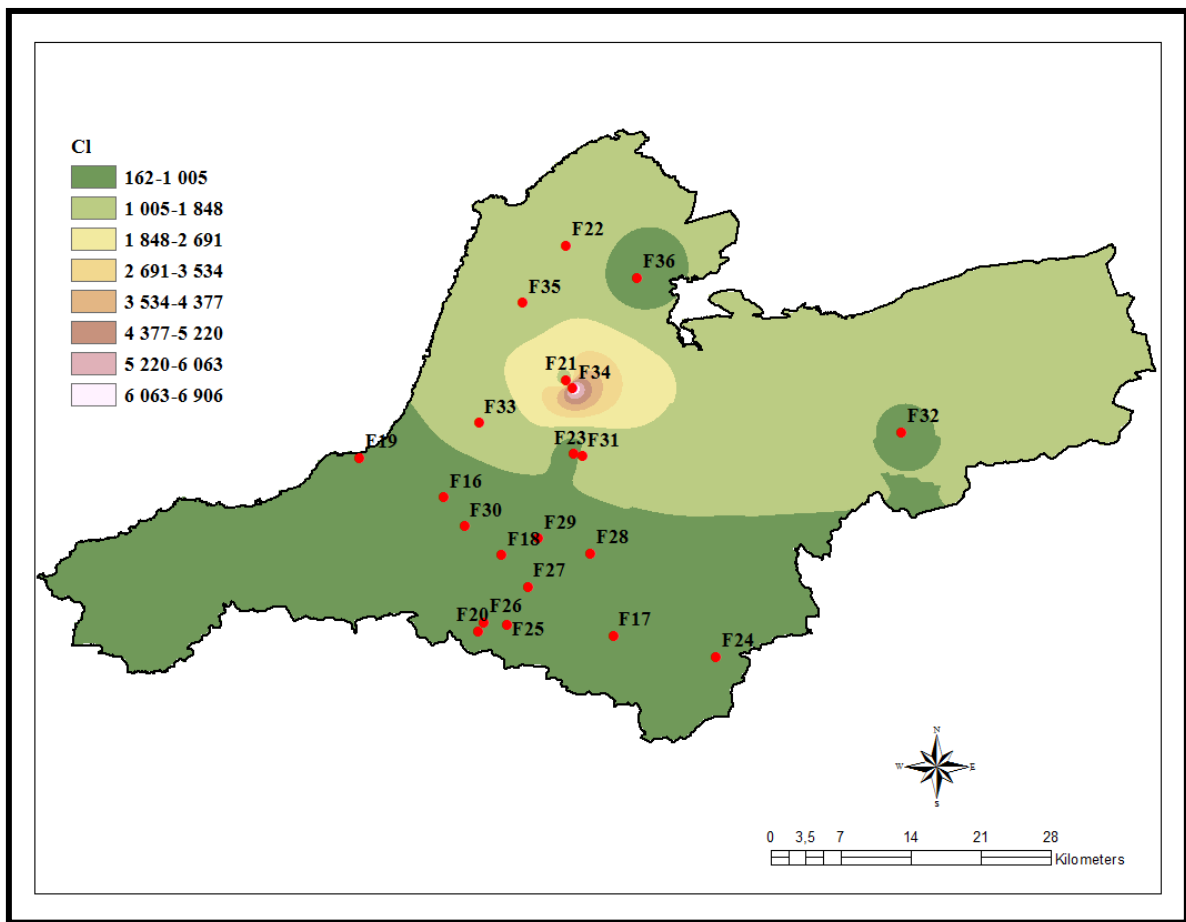


Figure N° 55 : Répartition spatiale des chlorures (mg/l).

La répartition spatiale de cet élément chimique dans les eaux de souterraines de la région d'étude, présente des teneurs variables. La teneur en chlorure Cl⁻ dans les eaux du Plio-Quaternaire est en moyenne de l'ordre de 904 mg/l avec un maximum mesuré dans le forage (El Malah II) (7131 mg/l) et un minimum dans le forage (Sidi Bouazza) (160 mg/l) (figure N° 55).

I.4.5.5. Carte d'iso-teneurs des nitrates

Le diagramme suivant montre les variations spatiales des nitrates (NO_3^-) des eaux souterraines du bassin versant d'Oued El Malah.

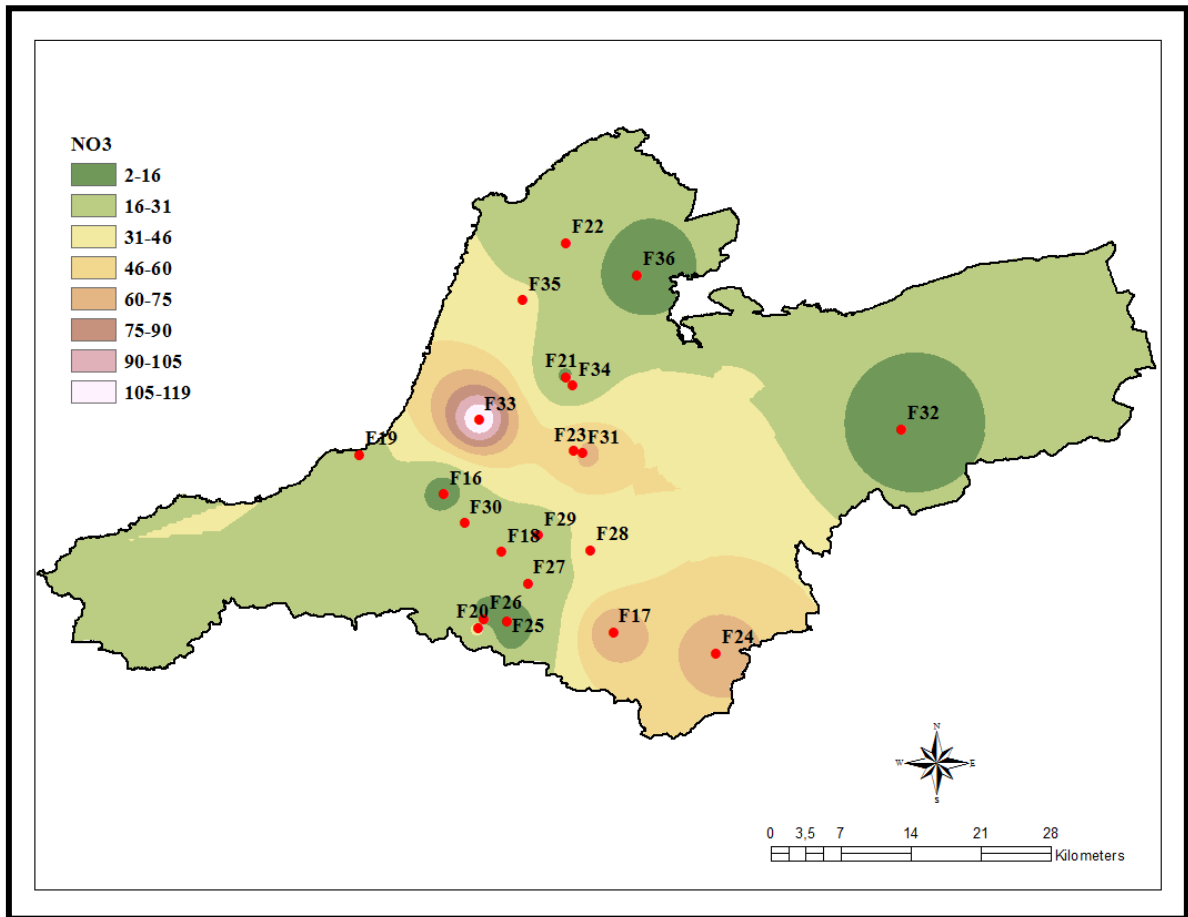


Figure N° 56 : Répartition spatiale des nitrates (mg/l).

La teneur en nitrates NO_3^- dans les eaux du Plio-quaternaire est en moyenne de l'ordre de 33.29 mg/l avec un maximum mesuré dans le forage (Terga I) d'une teneur de 120 mg/l et un minimum dans le forage (El Ameria) avec une concentration de 02 mg/l (figure N° 56).

I.4.5.6. Carte d'iso-teneurs des sulfates

Le diagramme suivant montre les variations spatiales des sulfates (SO_4^{2-}) des eaux souterraines du bassin versant d'Oued El Malah.

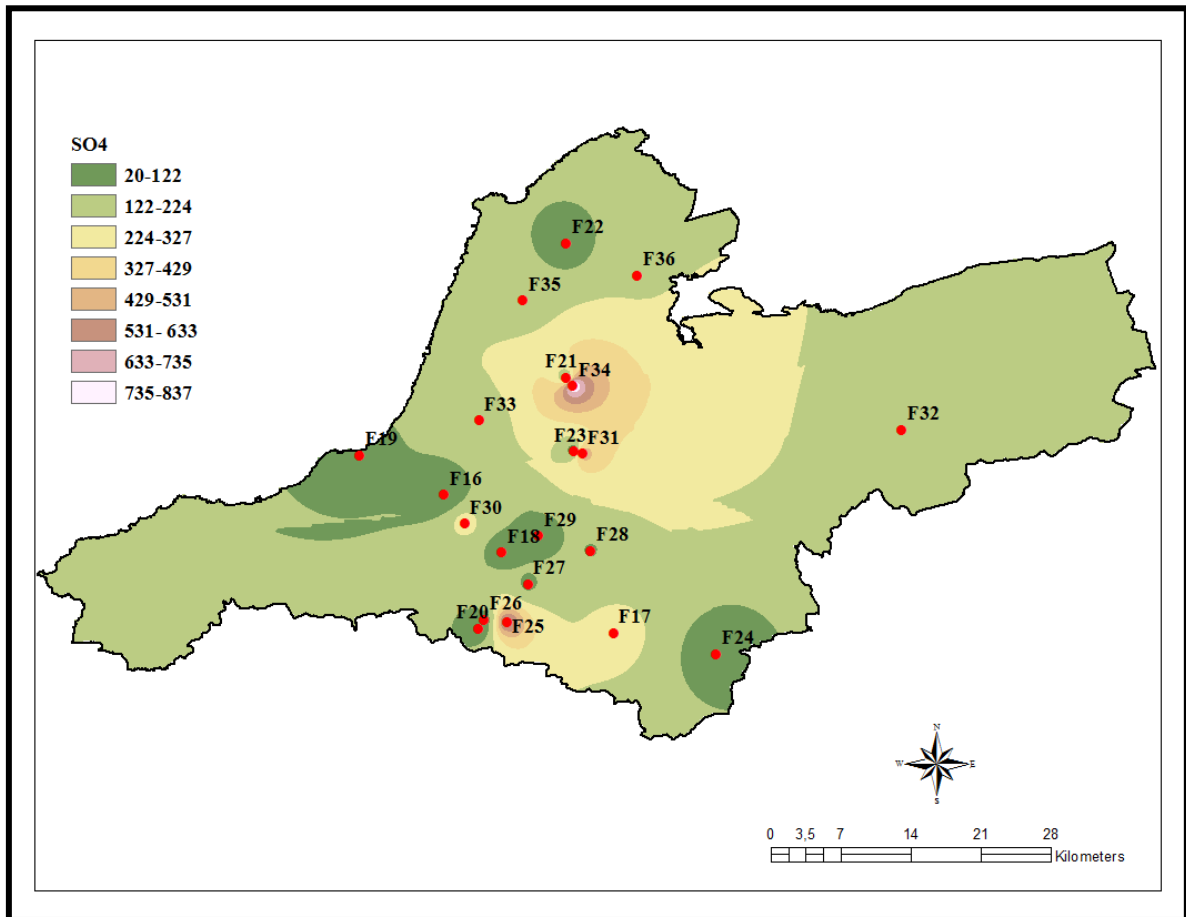


Figure N° 57 : Répartition spatiale des sulfates (mg/l).

La teneur en SO_4^{2-} est de 196 mg/l en moyenne. Les plus fortes valeurs ont été enregistrées dans le forage (El Malah II) avec une concentration de 864 mg/l et un minimum au point (Sidi Bouazza) avec 20 mg/l (figure N° 57).

I.4.5.7. Carte d'iso-teneurs en calcium

Le diagramme suivant montre les variations spatiales de calcium (Ca^{+}) des eaux souterraines du bassin versant d'Oued El Malah.

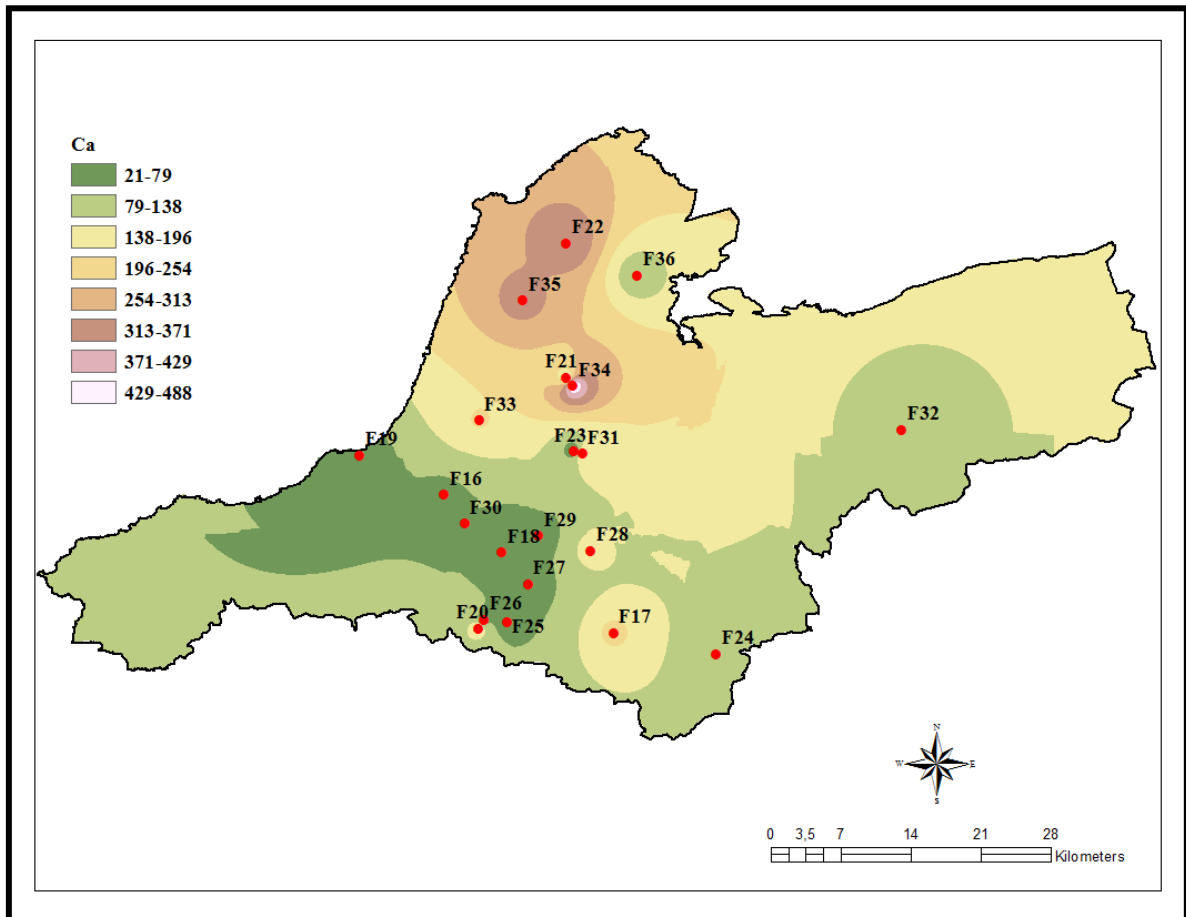


Figure N° 58 : Répartition spatiale du calcium (mg/l).

Le calcium est l'élément de prédilection des roches carbonatées. La concentration en cet élément dans les eaux souterraines est contrôlée principalement par la solubilité de certains minéraux comme les minéraux carbonatés (calcite et dolomite), le gypse ou encore les silicates (**Blum et al., 2002**). En ce qui concerne le bassin versant d'Oued El Malah, on aperçoit une teneur moyenne de 147,43 mg/l avec une valeur plus élevée mesurée au point (El Malah II) 501 mg/l (Nord-Ouest de la nappe) et un minimum de 20 mg/l au point d'eau (Aïn Témouchent 3) (figure N° 58).

I.4.5.8. Carte d'iso-teneurs des Bicarbonates

Le diagramme suivant montre les variations spatiales de bicarbonates (HCO_3^-) des eaux souterraines du bassin versant d'Oued El Malah.

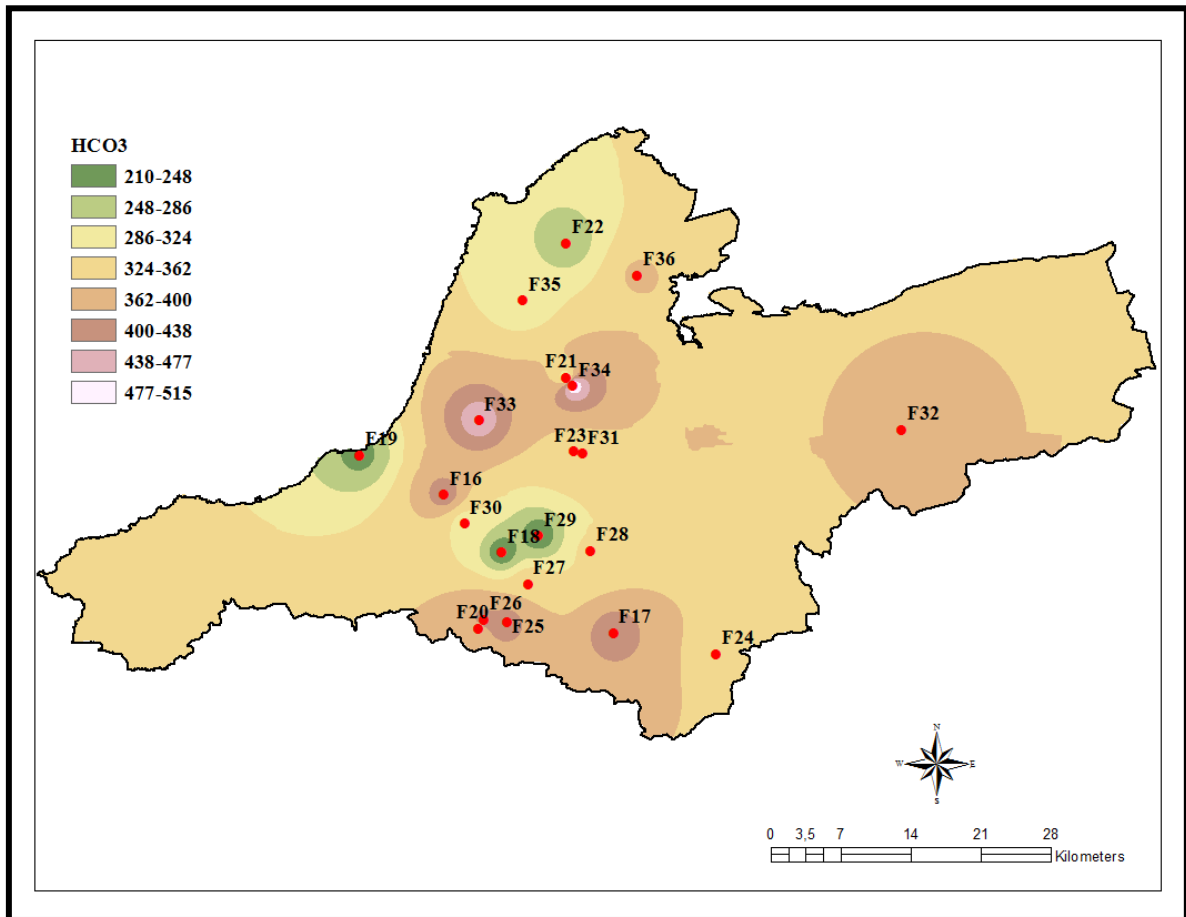


Figure N° 59 : Répartition spatiale des bicarbonates (mg/l).

Les eaux du Plio-quaternaire renferment en moyenne 350,52 mg/l de bicarbonates, le maximum a été observé au point (El Malah II) avec 523 mg/l, le minimum au forage (Barrette) dont la concentration est de 210 mg/l (figure N° 59).

II. Résultats de l'indice de qualité des eaux souterraines (IWQI) d'Oued El Malah

II.1. Interprétation des paramètres de calcul de l'indice IWQI

Le tableau N° 40 montre les valeurs des indices : CE, SAR, Na^+ , Cl^- , HCO_3^- nécessaires pour calculer l'indice de (Meireles et al. 2010) de la qualité des eaux souterraines (IWQI) du bassin versant d'Oued El Malah.

Tableau N° 40 : Paramètres de IWQI obtenue sur les forages d'Oued El Malah (méthode Meireles et al. 2010).

Echantillons	Libellé	Cordonnées (WGH84)		CE	SAR	Na ⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	IWQI
		X	Y	µS.cm ⁻¹	(méq/l) ^{1/2}	Még.l ⁻¹			
Sidi Bouazza	F1	-1.22077	35.30746	1510	1.76	3.30	4.50	6.96	59.06
Sidi Saad	F2	-1.06849	35.18291	2742	3.69	10.00	13.07	7.00	48.09
Barette AT4	F5	-1.16872	35.25548	1300	2.23	4.04	6.59	3.44	60.42
Sidi Djelloul	F6	-1.29697	35.34319	1970	2.20	4.66	7.51	3.84	54.24
Das Kherrafi	F7	-1.19014	35.1871	1140	0.21	0.52	6.05	6.48	51.49
Bailiche Ouled Taou	F10	-1.11133	35.41299	2188	3.64	9.52	17.94	4.80	52.84
Bouzedjar 2	F11	-1.11104	35.53391	3520	2.55	9.78	35.69	4.25	38.45
Aïn Témouchent 3	F12	-1.1037	35.3467	1034	5.85	8.52	5.52	5.66	60.84
Aoubellil I	F14	-0.97587	35.16416	1318	2.43	5.39	6.45	5.82	55.79
Aïn Kihal V	F16	-1.16457	35.19245	2268	12.23	22.00	5.07	6.92	48.88
Aïn Kihal I	F17	-1.18502	35.19494	1117	4.96	8.00	4.65	6.72	62.51
Sidi Mohamed	F18	-1.14534	35.22691	1134	3.96	7.22	5.46	5.92	65.72
Chentouf	F19	-1.08905	35.25715	2900	5.64	16.39	21.86	5.44	45.68
Barette	F20	-1.13589	35.27053	1145	4.67	7.00	4.96	5.70	69.18
Témouchent V	F21	-1.20243	35.28145	3006	14.66	30.52	28.03	5.07	39.41
Chabat I	F23	-1.09649	35.34443	5010	8.55	32.00	44.73	5.80	41.33
Oued Sebah II	F24	-0.80894	35.3659	1318	12.03	28.00	27.66	6.16	47.48
AT2 Terga I	F25	-1.18931	35.37347	4140	6.96	24.52	37.80	7.66	40.11
El Malah II	F26	-1.10491	35.40552	1851	43.31	180.00	200.87	8.57	24.01
Bailiche II	F27	-1.14995	35.48258	4034	5.40	19.52	36.48	4.70	45.69
El Amria	F28	-1.04676	35.50482	1318	6.47	14.52	12.20	6.02	51.33
			Min.	1034	0.21	0.52	4.50	3.44	24.01
			Max.	5010	43.31	180	200.87	8.57	69.18
			Moy.	2189	7.31	21.21	25.39	5.85	50.60
			E.T.	1181.12	9.05	37.58	42.34	1.25	10.67

Les paramètres représentés sur le tableau N° 41 sont nécessaires pour évaluer la qualité des eaux d'irrigation. La Conductivité électrique CE, varie entre 1034 et 5010 dont le maximum est enregistré dans le point d'eau (Chabat I). Les valeurs de SAR qui varie entre 0.21 et 43.31 dont le maximum est enregistré au niveau du point d'eau (El Malah II).

Les concentrations en (Na⁺) oscillent entre 0.52 et 180 meq/l avec une teneur moyenne de 21,21 mg/l, les plus fortes teneurs apparaissent dans les points d'eau suivantes : EL Malah II, AT2 Terga I, Oued Sebah II, Chabat I, Témouchent V, Aïn Kihel V. Les concentrations en Cl⁻ varient entre 4.5 et 200.87 meq/l, avec un maximum mesuré dans le forage (El Malah II) et un minimum dans le forage (Sidi Bouazza), la teneur moyenne est de 25.39 meq/L. Les eaux du Plio-Quaternaire renferment en moyenne 5.85 meq/l de bicarbonates, le maximum a été observé au point (El Malah II) avec 8.57 meq/l, le minimum au forage (Barrette AT4) avec une concentration de 3.44 meq/l.

L'indice de la qualité des eaux d'irrigation IWQI varie entre 24,01 et 69,18 avec une moyenne de 50,60. Le maximum dans le forage (Barette) et le minimum dans le forage (El Malah II).

II.2. Evaluation de l'indice de qualité des eaux d'irrigation (IWQI)

L'évaluation de l'indice (IWQI) se base sur l'estimation d'un certain nombre de paramètres qui définissent l'aptitude des eaux à l'irrigation (tableau N° 40). L'évaluation du risque de l'utilisation des eaux pour des besoins agricoles est déterminée par les paramètres suivants : conductivité CE en $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, Na^+ en $(\text{m}\acute{\text{e}}\text{q}/\text{l})^{1/2}$, Cl^- en $(\text{m}\acute{\text{e}}\text{q}/\text{l})^{1/2}$, HCO_3^- en $(\text{m}\acute{\text{e}}\text{q}/\text{l})^{1/2}$ et le SAR en $(\text{m}\acute{\text{e}}\text{q}/\text{l})^{1/2}$.

II.2.1. Risque de la salinité

L'évolution spatiale de la salinité exprimée par la conductivité électrique montre qu'à l'échelle de notre région d'étude, le risque lié à ce paramètre est relativement élevé. Dans l'ensemble la salinité varie sensiblement d'une période à une autre, cette variation serait rattachée aux processus hydrogéochimiques (dissolution, dilution). La conductivité électrique (salinité) des eaux souterraines du bassin versant d'Oued El Malah varie de 1034 à $5010\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (figure N° 60).

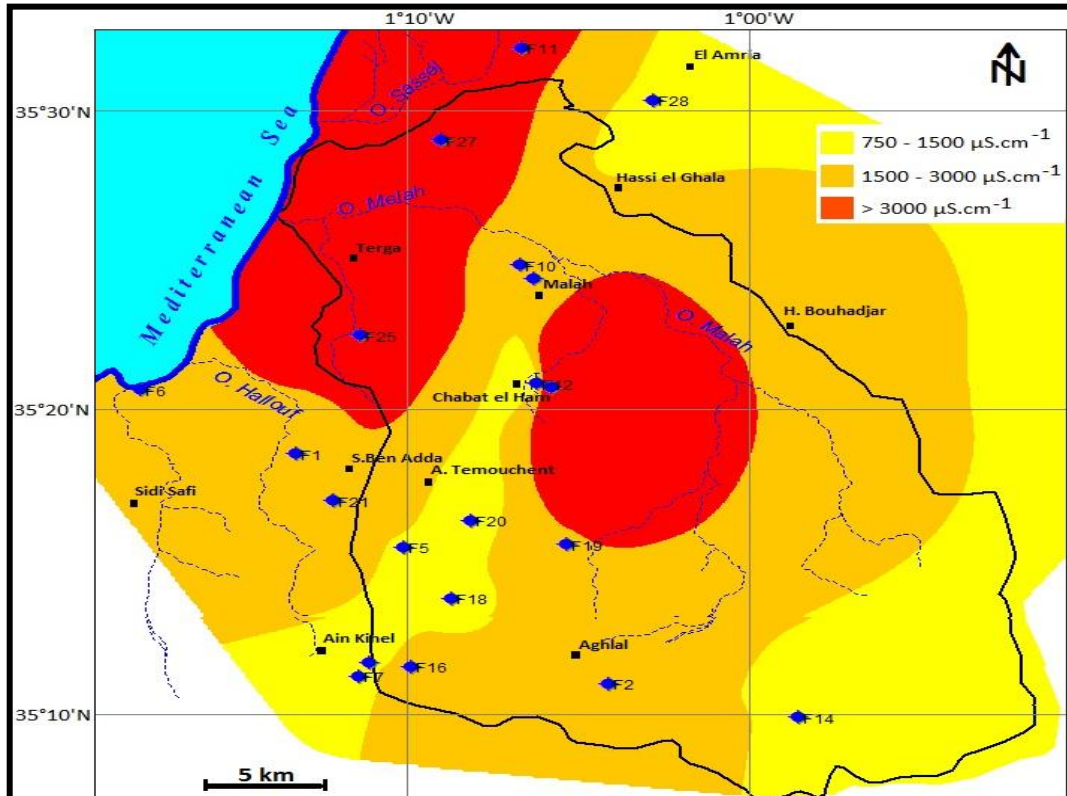


Figure N° 60 : Répartition spatiale de conductivité CE.

II.2.2. Risque de la perméabilité (SAR)

La figure suivante montre la répartition du SAR au niveau de la zone d'étude. Les valeurs calculées de ce paramètre varient de 0.21 à 43.31. Sur l'ensemble des points d'eau prélevés, un seul échantillon F26 avec un SAR = 43.31 m²q/l présente un fort risque d'utilisation, les 20 autres échantillons varient entre la qualité d'excellente et bonne, ce qui ne va présenter aucune restriction d'utilisation par rapport à ce paramètre.

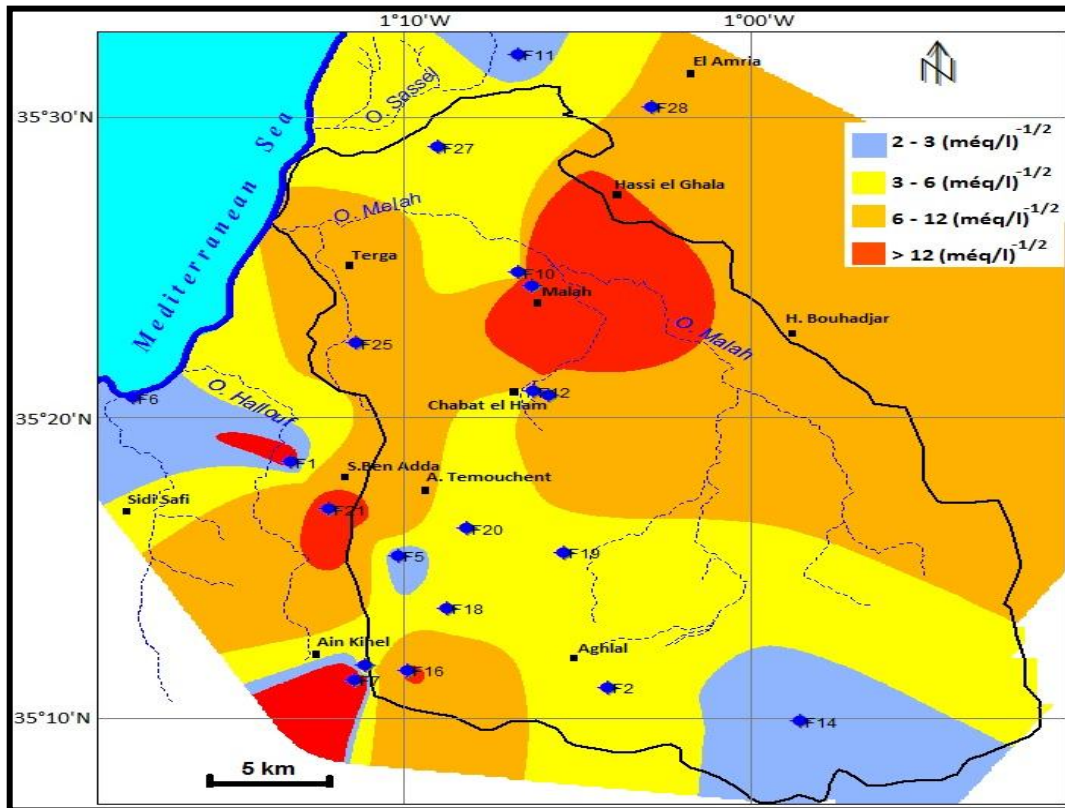


Figure N° 61 : Répartition spatiale du SAR (még/l).

II.2.3. Toxicité spécifique

Les concentrations en sodium (Na^+) des eaux souterraines du bassin versant d'Oued El Malah varient de 0.52 à 180 még/l, et une moyenne de 21.21 még/l. Les chlorures sont considérés comme étant un autre paramètre à toxicité spécifique. Les teneurs en cet élément varient dans notre région entre dans les concentrations varient de 4.5 à 200.87 még/l et de 2.82 à 9.25 még/l. La répartition spatiale de l'ion Na^+ et l'ion Cl^- montre que ces deux éléments sont très liés. Leur forte concentration dans les eaux souterraines de la région d'étude serait liée principalement à l'intrusion marine provenant de la limite nord du bassin versant (**Annexe III**).

II.2.4. Divers effets

L'alcalinité est la mesure de la capacité de l'eau à neutraliser les acides. Ce paramètre est lié en partie à la présence de carbonates (CO_3^{2-}) et bicarbonates (HCO_3^-) dans l'eau, et qui sont généralement responsables de l'élévation de son pH (supérieurs à 8,5). Les carbonates à de fortes teneurs dans l'eau se combinent facilement avec les ions de

calcium et de magnésium pour constituer des composés insolubles favorisant ainsi, au sodium d'être l'ion dominant en solution (**Annexe III**).

Concernant notre zone d'étude, les concentrations en bicarbonates des eaux souterraines varient de 3.34 et 8.57 méq/l, avec une moyenne 5.85 méq/l. La répartition spatiale des concentrations en HCO_3 , montre que les eaux des différents aquifères du bassin versant d'Oued El Malah, présentent un risque d'alcalinité important à sévère (**Annexe III**).

II.3. Indice de qualité des eaux d'irrigation (IWQI)

Le calcul de l'indice de qualité des eaux d'irrigation (IWQI) d'après le modèle de Meireles et *al.*, 2010 montre que les eaux souterraines de notre zone d'étude se rangent de la classe à restriction modérée à celle de très haute restriction (tableau N° 41 ; figure N° 62). La classe à « Restriction Modérée » est représentée par 33.3% des échantillons prélevés. Les eaux de cette classe peuvent être utilisées dans les sols ayant des valeurs de perméabilité modérées à élevées, et que les sels soient modérément lessivés. Un lessivage modéré des sels est suggéré. La classe à « Haute Restriction » est la classe dominante, elle représente 52.4% de l'ensemble des échantillons prélevés. L'utilisation des eaux appartenant à cette classe est tolérée pour les sols à haute perméabilité sans couches compactes.

Tableau N° 41 : Classification de la qualité des eaux d'irrigation selon différents paramètres.

Intervalle	Classe	Nbre.	Numéro d'échantillon
IWQI > 85	Aucune restriction	00	
70 – 85	Faible restriction	00	
55 – 70	Restriction modérée	07	F1, F5, F14, F12, F17, F18, F20
40 – 55	Haute restriction	11	F2, F6, F7, F10, F16, F19, F23, F24, F25, F27, F28
IWQI < 40	Très haute restriction	03	F11, F21, F26

Un programme d'irrigation à haute fréquence doit être adopté pour les eaux dont la conductivité (CE) est supérieure à 2 dS m⁻¹ et le SAR supérieur à 7,0. La classe à « Très

Haute Restriction » est représentée par 3 échantillons (soit 14.3%). Pour les eaux de cette classe, il faut éviter son utiliser pour l’irrigation dans des conditions normales. Dans des cas particuliers, il peut être utilisé occasionnellement. Les eaux à faible teneur en sel et à SAR élevé nécessitent l’utilisation du gypse. Dans les eaux à forte teneur en sel, les sols doivent avoir une grande perméabilité, et il faut utiliser un excès d’eau pour éviter l’accumulation de sel.

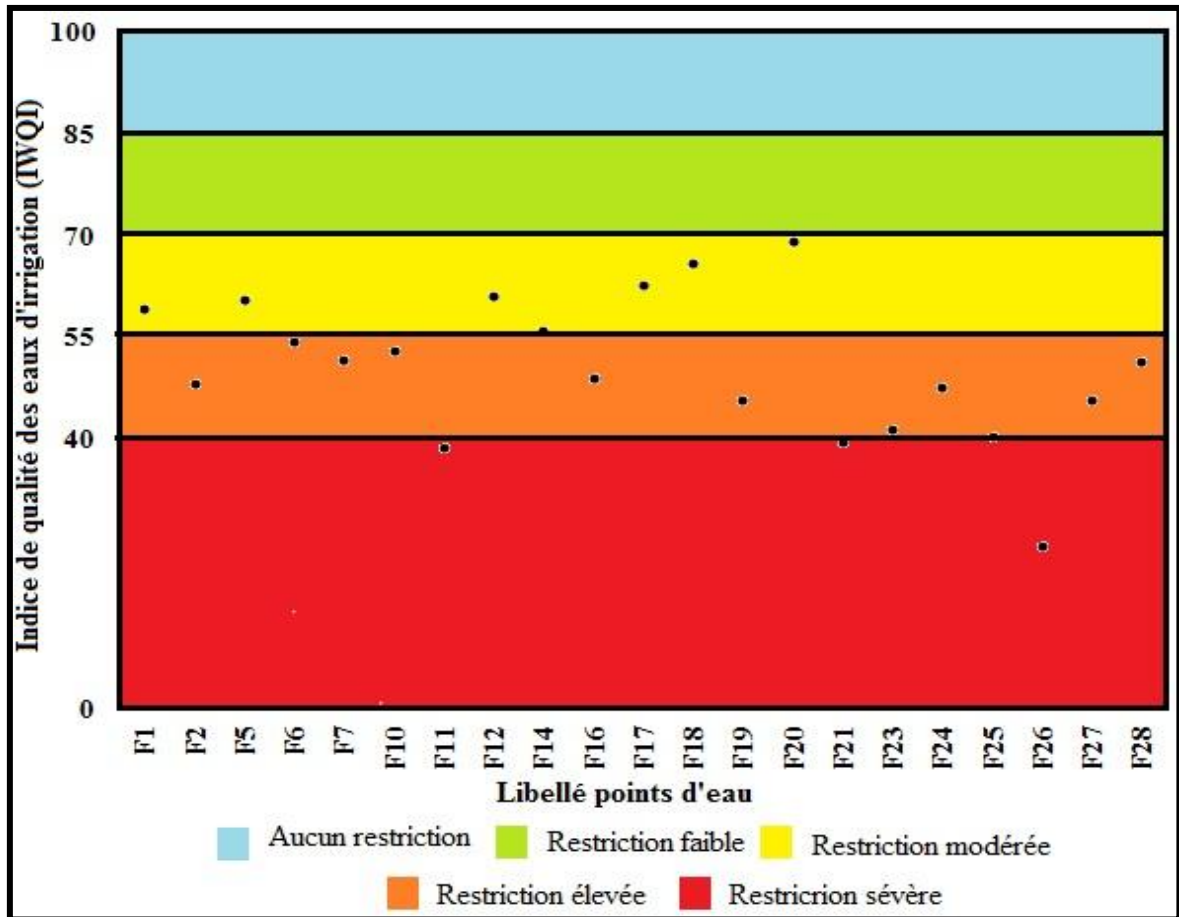


Figure N° 62 : Evolution spatiale de l’indice de qualité des eaux d’irrigation (IWQI).

L’élaboration de la carte de l’indice de qualité des eaux d’irrigation (IWQI) a été établie à partir de recouvrements de cartes thématiques des paramètres (CE, SAR, Na⁺, Cl⁻ et HCO₃⁻) qui jouent un rôle important dans la détermination et l’évaluation de la qualité des eaux d’irrigation. L’intégration spatiale pour la cartographie de la qualité des eaux souterraines a été réalisée à l’aide du module d’analyse spatiale Vertical Mapper suivant l’équation (1) $IWQI = \sum_{i=1}^n q_i * w_i$.

Cette intégration a permis de reproduire la carte d'indice IWQI, qui correspond à la carte d'aptitude des eaux souterraines du bassin versant de l'oued El Malah à l'irrigation (figure N° 63). Cette approche cartographique établie sur la base de l'indice IWQI dans le système d'informations géographique (SIG), devrait permettre aux décideurs de cibler les zones favorables au développement de zones irrigables et d'adapter des cultures sur la base des critères de restrictions par rapport à la qualité des eaux de la région d'étude.

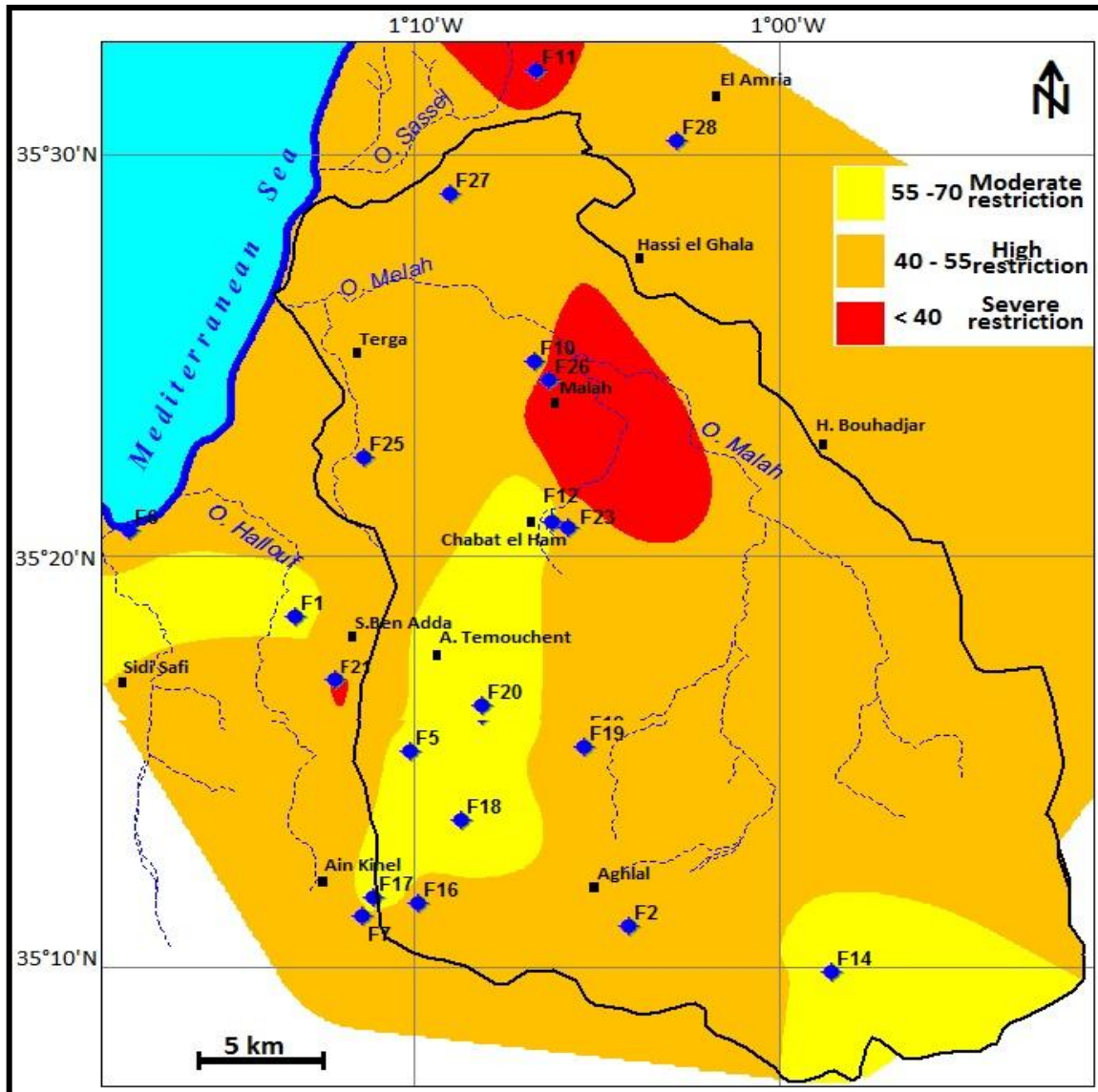


Figure N° 63 : Carte de la répartition de l'indice IWQI dans le bassin versant d'Oued El Malah.

III. Résultats des rapports caractéristiques

Quatre rapports caractéristiques sont utilisés pour déterminer l'évolution des éléments chimiques en fonction de la conductivité.

III.1. Interprétation des rapports caractéristiques des puits

On appelle rapport caractéristique, le rapport de certains éléments chimiques exprimés en meq/l. Le tableau suivant représente les rapports caractéristiques étudiés pour les puits de la région d'Aïn Témouchent.

Tableau N°42: Rapports caractéristiques étudiés pour les puits de la région d'Aïn Témouchent.

	SO ₄ /Cl ⁻	Na/Ca	Na/Mg	Mg/Ca
P1:Ain El Merdja	0,05269137	2,53060637	3,41297591	0,74146622
P2:Ain ouerda	0,3723752	1,0322864	1,38847858	0,74346585
P3:Tenkrempt	0,26086957	2,43939394	3,42553191	0,71212121
P4:Tinesramet	0,30750198	1,20869565	1,18363569	1,02117202
P5:Sidi yamine	0,88372093	2,43161094	27,8164117	0,08741641
P6:Ain EL Amria	0,34262246	0,74095607	2,23325545	0,33178295
P7:Fendjrou	0,29129924	1,68690958	1,55472637	1,08502024
P8:Ain Aghlal	1,65957447	1,14669421	1,9137931	0,59917355
P9:Dayet el had	0,45627376	1,1981982	2,89130435	0,41441441
P10:Aoubellil	0,26373626	1,11805556	3,83333333	0,29166667
P11:Ain ançor	0,41698842	0,75	4,90909091	0,15277778
P12:M'said	0,7	1,44658754	2,16306156	0,66876855
P13:4eme niveau	0,20454545	2,11842105	2,98148148	0,71052632
P14:Sassel	0,33076579	0,92326821	1,96003017	0,47104796
P15:Ain kihel	0,35170604	1,98237885	3,4351145	0,57709251

Le rapport rSO_4^{2-}/rCl^- est généralement inférieur à 1 mis à part le puits P8 (Ain Aghlal), ce qui indique la nette dominance des chlorures sur les sulfates.

Le rapport rNa^+/rCa^{2+} est supérieur à 1 ce qui indique la prédominance du sodium dans la majorité du secteur d'étude, liée à la présence d'évaporites.

Le rapport rNa^+/rMg^{2+} est supérieur à 1 ce qui indique la dominance de sodium dans l'ensemble des points d'eau étudiés.

Le rapport rMg^{2+}/rCa^{2+} est inférieur à 1 pour les points d'eau (Ain Merdja, Ain Ourda, Sidi Yamine, Tenkrempt, Ain El Amria, Aghlal, Dayet El Had, Aoubellil, El Ançor, M'Said, 4eme niveau, Ain Kihel); ce qui traduit la prédominance du calcium Ca^{2+} dans la zone d'étude, ainsi qu'il est supérieur à 1 pour le point « Tinesrament et Fendjrou » traduisant la dominance du magnésium, cela est due à la solubilité des calcaires riches en calcium.

III.2. interprétation des rapports caractéristiques des forages

Le tableau suivant montre les rapports caractéristiques étudiés pour les forages dans le bassin versant d'Oued El Malah.

Tableau N°43: Rapports caractéristiques étudiés pour les forages dans le bassin versant d'Oued El Malah.

	SO_4/Cl	Na^+/Ca^{2+}	Na^+/Mg^{2+}	Mg^{2+}/Ca^{2+}
F16: Sidi Bouazza	0,125	1,05555556	1,80952381	0,58333333
F17: Sidi Saad	0,58405172	1,10047847	4,50980392	0,24401914
F18: Barette AT4	0,28632479	1,89795918	1,86	1,02040816
F19: Sidi Djelloul	0,25093633	2,14	1,37179487	1,56
F20: Das Kherrafi	0,10232558	0,06666667	0,35294118	0,18888889
F21: Bailiche Ouled Taou	0,15698587	1,68461538	2,54651163	0,66153846
F22: Bouzedjar2	0,04735596	0,60810811	1,73076923	0,35135135
F23: Ain Temouchent 3	0,12244898	9,8	5,02564103	1,95
F24: Aoubellil I	0,26200873	1,06896552	2,53061224	0,42241379
F25: Ain Kihal V	3,73333333	11	10,12	1,08695652
F26: Ain Kihal I	0,4969697	3,40740741	6,13333333	0,55555556
F27: Sidi Mohamed	0,55670103	3,45833333	3,32	1,04166667
F28: Chentouf	0,15463918	2,35625	3,52336449	0,66875
F29: Barrette	0,28632479	2,56	3,12195122	0,82
F30: Temouchent V	0,26532663	8,775	12,5357143	0,7
F31: Chabat I	0,34760705	3,34545455	3,60784314	0,92727273
F32: Oued Sebah II	0,17107943	6,44	9,2	0,7
F33: AT2 Terga I	0,12518629	2,82	3,16853933	0,89
F34: El Malah II	0,12116113	8,26347305	36,3157895	0,22754491
F35: Bailiche II	0,11119691	1,31671554	4,11926606	0,31964809
F36: El Amria I	0,49884527	3,34	5,47540984	0,61

Le rapport $r\text{SO}_4^{2-}/r\text{Cl}^-$ est généralement inférieur à 1 mis à part le puits "Ain Kihel V" qui a une valeur de 3,733 supérieur à 1, ce qui indique la prédominance des chlorures par rapport au sulfates dû à la dissolution d'évaporites.

Le rapport $r\text{Na}^+/r\text{Ca}^{2+}$ est supérieur à 1 à l'exception les forages F20 et F22 (Das Kherrafi et Bouzedjar2) ou le rapport caractéristique $r\text{Na}^+/r\text{Ca}^{2+}$ est inférieur à 1, ce qui indique la dominance de sodium.

Le rapport $r\text{Na}^+/r\text{Mg}^{2+}$ est supérieur à 1 sauf le point F20 (Das Kherrafi) ce qui indique la dominance de sodium. La présence de magnésium dans le forage F22 (Das Kherrafi) dû au lessivage des dolomies

Le rapport $r\text{Mg}^{2+}/r\text{Ca}^{2+}$ est inférieur à 1 pour la majorité des forages; ce qui traduit la dominance du calcium Ca, ainsi qu'il est supérieur à 1 respectivement aux forages F23 et F20 (Aïn Temouchent 3 et Das Kherrafi) traduisant la dominance du Magnésium, s'expliquant par la présence de bancs cacaréo-dolomitiques et du calcaire sénonien transgressif.

VI. Synthèse globale sur l'ensemble des points d'eau (puits et forages)

VI.1. Résultats sur les valeurs Médianes, Maximales et Minimales

Le diagramme ci-dessous montre la variation des valeurs de médianes, maximum et minimum des concentrations en éléments chimiques dans les puits et les forages de la région d'Aïn Témouchent.

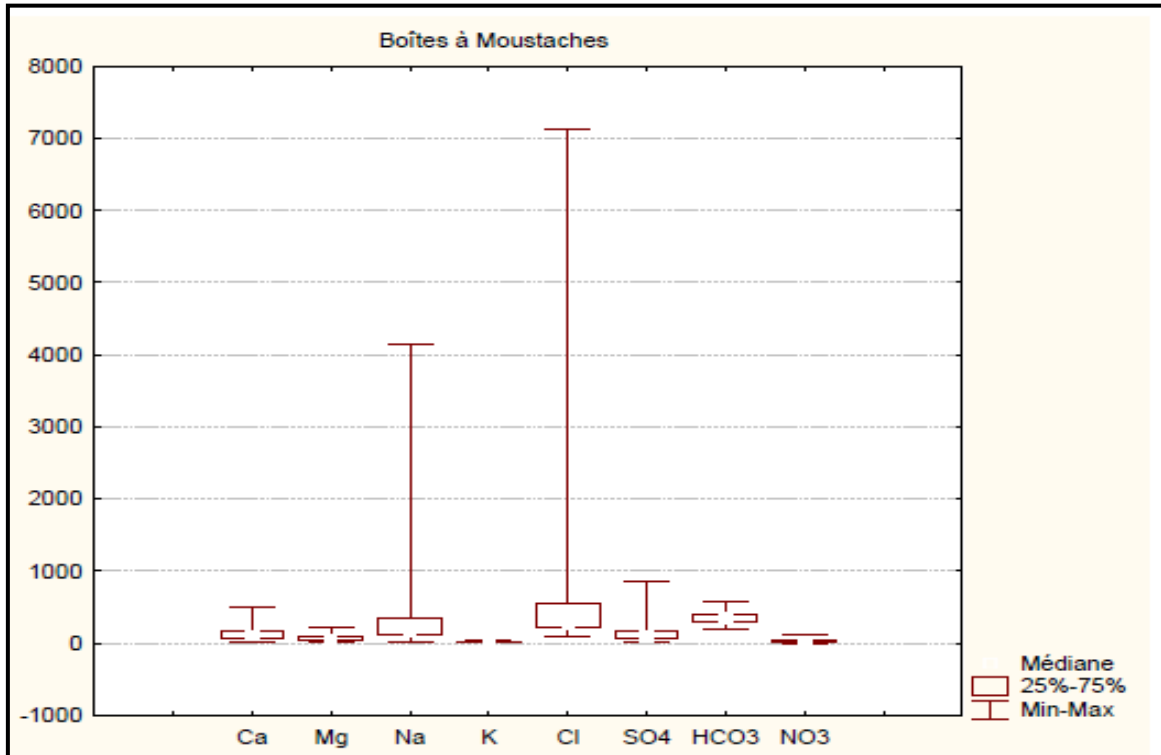


Figure N° 64: Variation des valeurs médianes, maximales et minimales des concentrations en éléments chimiques dans les puits et les forages de la région d'Aïn Témouchent.

On note que les concentrations en sodium et en chlorures sont en maximum par rapport aux autres éléments. Donc ; la médiane est très importante. Cela explique qu'il y a des points d'eaux qui manifestent des concentrations négligeables et d'autres montrent des valeurs importantes.

VI.2. Résultats sur le cercle de corrélation

Le tableau ci-dessous montre les principales corrélations obtenues entre les concentrations en éléments chimiques dans les puits et les forages de la région d'Aïn Témouchent.

Tableau N°44: Corrélations entre les concentrations en éléments chimiques dans les puits et les forages de la région d'Aïn Témouchent.

Corrélations significatives marquées à $p < ,05000$ N=36								
	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3
Ca	1,00	0,53	0,67	0,46	0,78	0,48	0,19	0,19
Mg		1,00	0,34	0,41	0,45	0,36	0,18	0,38
Na			1,00	0,76	0,98	0,76	0,36	-0,00
K				1,00	0,75	0,52	0,35	0,06
Cl					1,00	0,70	0,32	0,07
SO4						1,00	0,32	0,13
HCO3							1,00	0,19
NO3								1,00

On remarque des corrélations importantes entre : le calcium et les chlorures, le sodium et le potassium, le sodium et les chlorures et le sodium et les sulfates. Des corrélations aussi moyennes ont été enregistrées entre le magnésium et le sodium, potassium, les chlorures et les sulfates. Le diagramme de corrélation (figure N°65) confirme que des corrélations importantes ont été enregistrées entre les sulfates, les chlorures et le sodium.

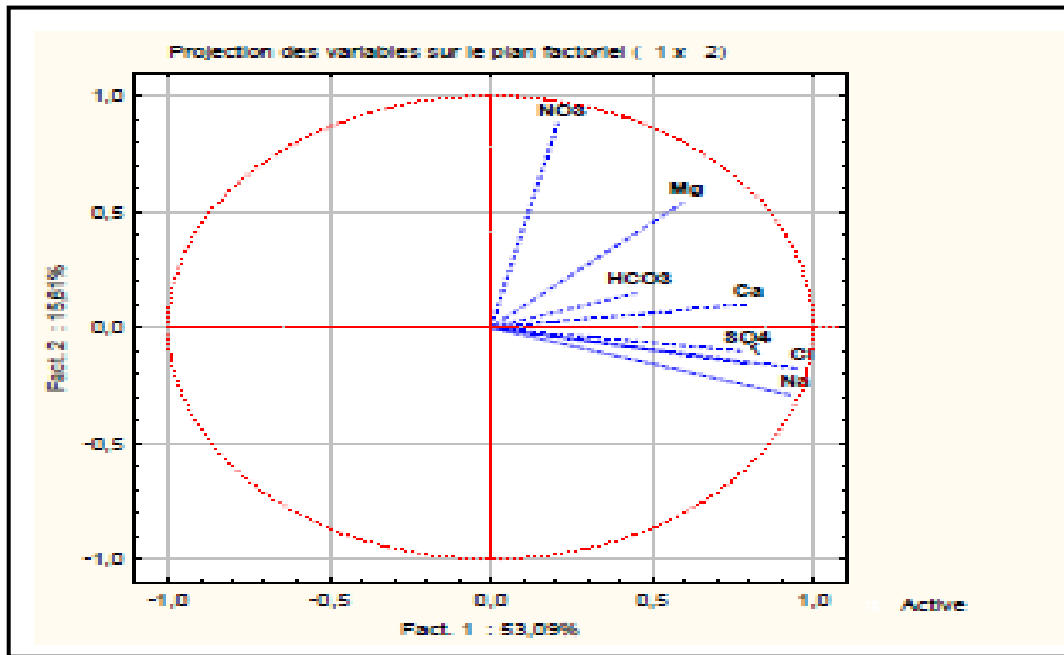


Figure N° 65: Cercle de corrélations entre les concentrations en éléments chimiques dans les puits et les forages de la région d'Aïn Témouchent.

VI.3. Résultats sur la carte d'analyse en composantes principales ACP

La figure ci-dessous montre la carte d'analyse en composantes principales (ACP) des éléments chimiques dans les puits et les forages de la région d'Aïn Témouchent.

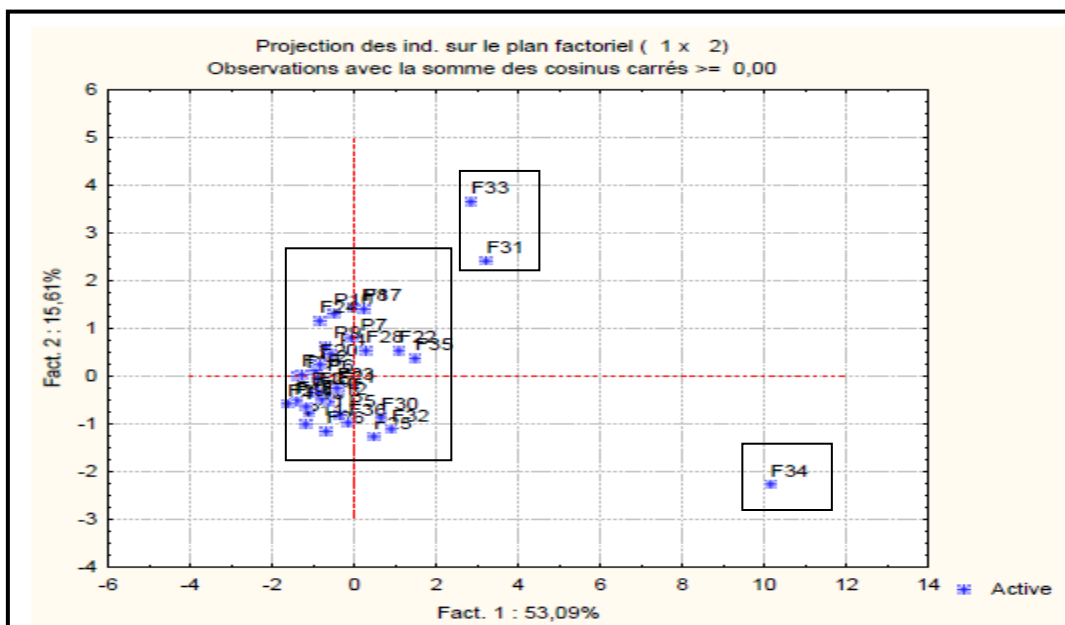


Figure N° 66: Carte d'analyse en composantes principales ACP des éléments chimiques dans les puits et les forages de la région d'Aïn Témouchent.

L'analyse en composantes principales montre l'obtention de trois groupes bien distincts :

Groupe 1 : Contient le forage F33 et le forage F31 ; sont caractérisés par des concentrations en éléments chimiques très importantes.

Groupe 2 : Contient le forage F34 ; est marqué par des concentrations en éléments chimiques importantes.

Groupe 3 : Contient la majorité des puits et les forages ; sont caractérisés par des concentrations en éléments chimiques moyennement importantes.

VI.4. Résultats sur la carte d'analyse des correspondances

La figure ci-dessous montre la carte d'analyse des correspondances des éléments chimiques dans les puits et les forages de la région d'Aïn Témouchent.

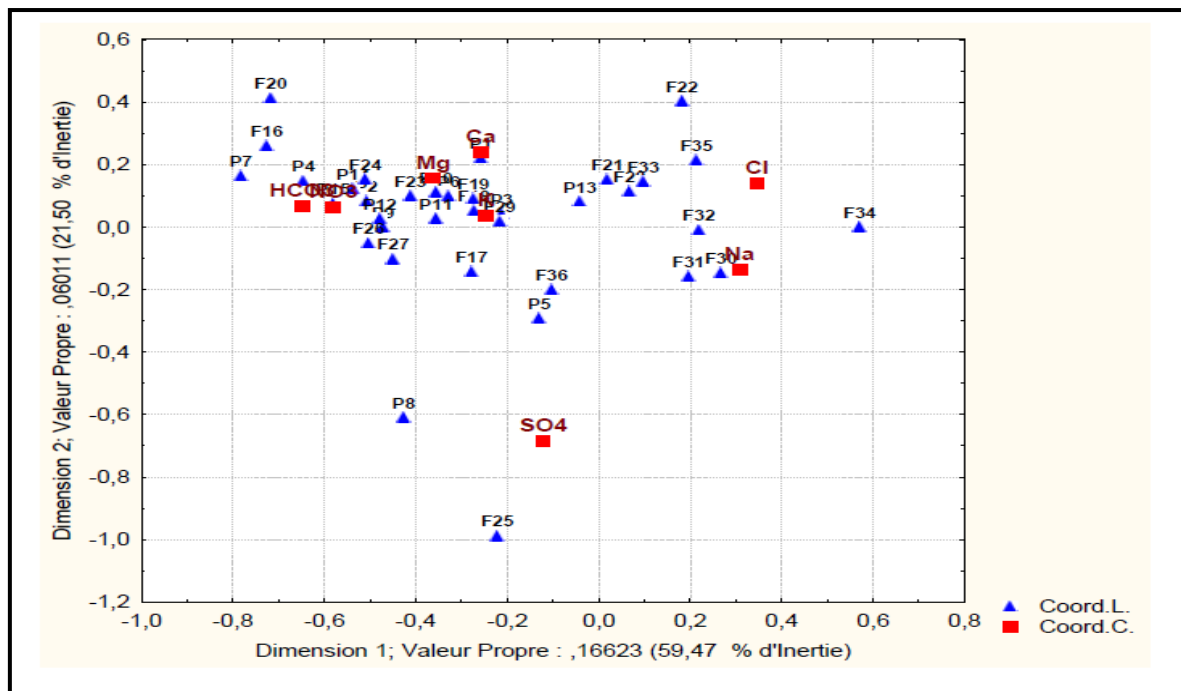


Figure N° 67: Carte d'analyse des correspondances des éléments chimiques dans les puits et les forages de la région d'Aïn Témouchent.

Le premier axe est très important avec 59,47% d'inertie. Du point vu qualité de ses eaux ; Le sodium, les sulfates et les chlorures sont les principaux éléments chimiques de certains puits et forages. On dénombre dans ce groupe : F22, F35, P13, P8, F25, F33, P5, F36, F31, F21.

Le deuxième axe est moins important avec 21,50% d'inertie. Du point vu qualité de ses eaux ; Le calcium, magnésium, bicarbonates, les nitrates et le potassium sont les principaux éléments chimiques d'autres groupes puits et forages. On dénombre dans ce groupe : P4, P1, F19, F16, P15, P14, P13, F23, F27, F17.

VI.5. Résultats sur la carte d'analyse factorielle des correspondances AFC

Le tableau ci-dessous montre les contributions des éléments dans carte d'analyse factorielle des correspondances (AFC) des éléments chimiques dans les puits et les forages de la région d'Aïn Témouchent.

Tableau N°45: Contributions dans la carte d'analyse factorielle des correspondances (AFC) en éléments chimiques dans les puits et les forages de la région d'Aïn Témouchent.

Poids Factoriels : Compos. principales (Poids marqués >,700000)		
	Facteur 1	Facteur 2
Ca	0,786322	0,099900
Mg	0,595375	0,538531
Na	0,931973	-0,292925
K	0,800884	-0,156750
Cl	0,952633	-0,178635
SO4	0,782712	-0,102315
HCO3	0,448706	0,148256
NO3	0,208114	0,879755
Var. Exp	4,247558	1,248698
Prp.Tot	0,530945	0,156087

L'analyse factorielle (AFC) fait apparaître deux facteurs (F1 et F2) corrélés avec des éléments.

Un facteur F1 géochimique (Na, K, Ca, Cl, SO4) (noter les forts coefficients positifs pour cette association géochimique) qui correspond à **0,93 ; 0,80 ; 0,78 ; 0,95 ; 0,78**. D'autre part, ce facteur (F1) montre l'existence probable d'un faciès évaporitique (Cl-SO4) associée aux autres cations (Na-K-Ca).

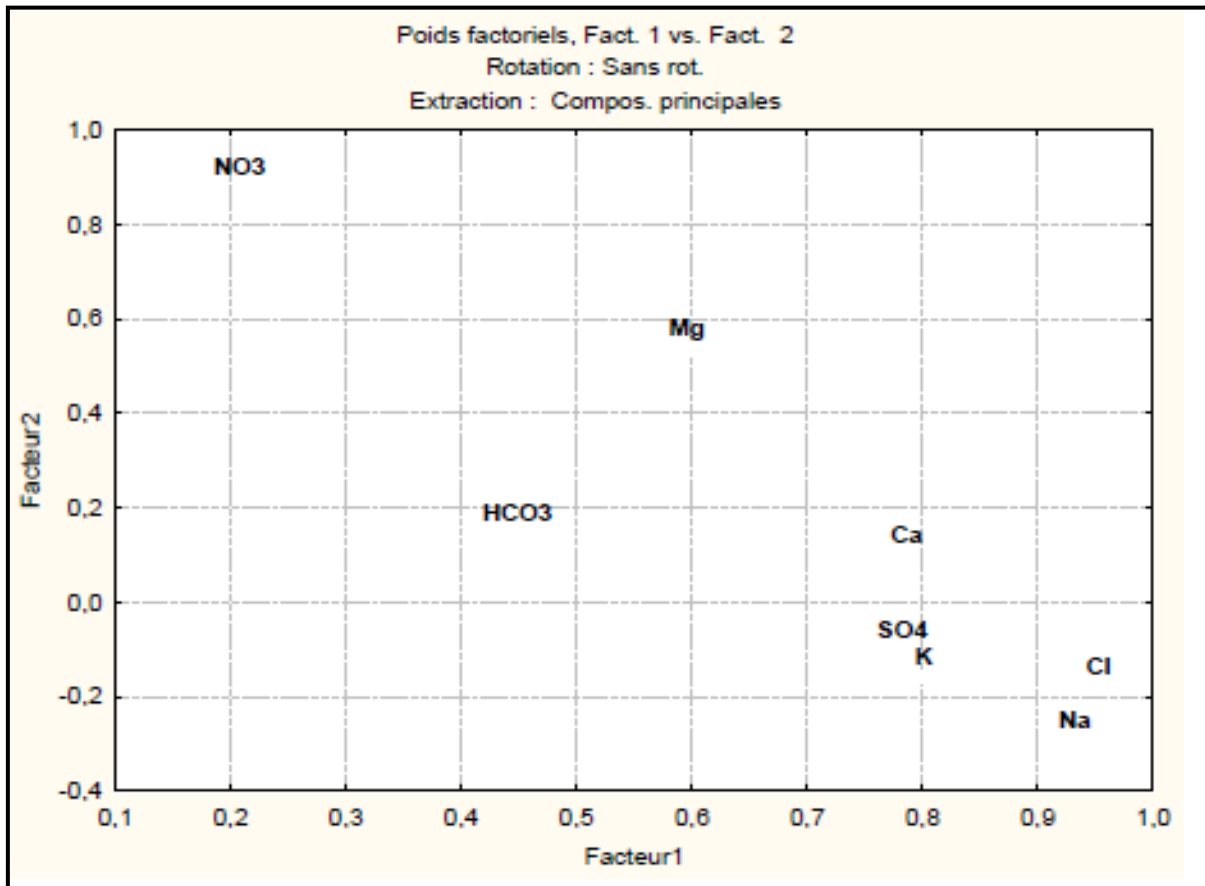
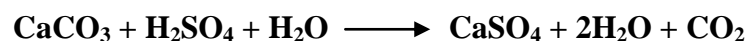


Figure N° 68: Carte d'analyse factorielle des correspondances (AFC) des éléments chimiques dans les puits et les forages de la région d'Aïn Témouchent.

Un **facteur F2 lithologique** traduit l'existence de roche carbonatée (mise en évidence par la présence de CO_3). Les carbonates peuvent être représentés par les calcaires ou les dolomies ; la corrélation (Ca-Mg) nous montre la nature de la formation. D'autre part, ce facteur indique que les carbonates sont silicifiés ; notez une faible loading en silice. L'analyse factorielle indique un lessivage des carbonates lors de leur percolation par l'eau et une rétention des éléments par le faciès évaporitique qui constitue leur piège ou alors une métasomatose transformant les carbonates (calcaires) en sulfates (gypse) suivant la formule :



Septième chapitre

DISCUSSIONS

Discussions

Du point du vue général ; A partir des analyses physico-chimiques des eaux de sources et des eaux de forages, on peut dire, d'une manière générale, que les eaux de la région d'Aïn Témouchent se caractérisent par :

- Une conductivité des eaux souterraines comprise entre 1034 et 5010 $\mu\text{S}/\text{cm}$, les fortes concentrations peuvent être liées à une contamination par des eaux salées provenant soit de la mer ou bien de la sebkha d'Oran.
- Une minéralisation élevée qui varie entre 639 et 11594 mg/l pour les eaux souterraines de la région d'Aïn Témouchent (eau de sources, puits et forages).
- Un résidu sec entre 720 et 14040 mg/l, les hautes teneurs peuvent être dues aux venues d'eaux salées dans le bassin versant d'Oued El Malah.
- Les valeurs de pH varient entre 7 à 8,38 pour les eaux souterraines.

On remarque que les eaux souterraines de la région d'Aïn Témouchent se caractérisent par la prédominance des ions Na^+ et Cl^- .

L'augmentation de la minéralisation des eaux du Sud vers le Nord, cela est due principalement à la nature lithologique des formations géologiques de la zone d'étude (Sud- ouest du bassin) est représenté par des basaltes moins solubles dans l'eau tandis que le Miocène est représenté par des calcaires qui sont solubles dans l'eau et due aussi aux venues d'eaux salées vers le Nord.

En général, la qualité physico-chimique des eaux souterraines de la région d'Aïn Témouchent est passable pour l'alimentation en eau potable. A l'exception les points d'eau (ITAF Bis, El Malah II) qui possèdent une mauvaise qualité physico-chimique; impropre à la consommation humaine.

La classification du diagramme de salinité présente une qualité bonne, admissible, médiocre et parfois mauvaise à l'irrigation par endroit.

A propos des Aléas climatiques

Plusieurs études faites (GIEC, 2007 ; PNUD, 2009) sur le changement climatique confirment que la planète a subi des changements climatiques remarquables ces derniers temps.

Meddi et *al.*, 2009, confirment que la partie occidentale de l'Algérie a enregistré des hausses de températures et des baisses en précipitations à partir des années 1930. Ce qui nous a permis de dire que notre zone d'étude située au Nord-Ouest du pays est touchée par la sécheresse (changement climatique).

Concernant le Changement climatique ; des différentes méthodes utilisées pour l'étude climatique de la région d'Aïn Témouchent nous ont permis de ranger la zone d'étude dans l'étage climatique semi-aride à hiver chaud et avec un écoulement temporaire.

Le bilan climatique de la station d'Aïn Témouchent sur la période 1980-2014, fait ressortir :

- Une précipitation moyenne annuelle de l'ordre de 400,1 mm.
- Une moyenne annuelle de température égale à 18,5 °C avec janvier le mois le plus froid (11,25 °C) et août le plus chaud (26,95 °C).
- L'étude des précipitations saisonnières a montré que l'hiver est la saison la plus humide tandis que celle de l'été est la plus sèche.
- La méthode des courbes pluviométriques nous a permis de définir une période humide d'octobre à avril.
- Le bilan hydrologique (1980-2014) révèle une ETP extrêmement forte avec une moyenne de 903,8 mm et une ETR près de 352,79 mm soit 88,17 % des précipitations.
- La quantité d'eau disponible pour le ruissellement atteint 26,1 mm/an.

Concernant l'alimentation souterraine, on peut supposer que la nappe a un apport pluviométrique par infiltration directe.

Pour la Qualité des eaux de sources ; Notre modeste travail s'articule sur une étude hydrochimique des sources, puits et forages des eaux potables dans la région d'Aïn Témouchent. D'après les résultats obtenus ; on a pu identifier pour les quinze sources et puits échantillonnés trois faciès dominants : chloruré et sulfaté, calcique et magnésien pour

les sources (d'Aïn Aghlal, Aïn El Amria, Aïn Ançor, Sassel, Dayet El Had, Aoubellil, Aïn Ouerda, Tenkrempt, Tinesramet et 4^{ème} niveau); le faciès Bicarbonaté, calcique et magnésien pour les sources de (Fendjrou, M'said et Aïn Kihel); et enfin le faciès chloruré sodique et potassique ou sulfaté sodique : ce faciès dénombre les sources (d'Aïn El Merdja et Sidi Yamine). On a pu aussi classer les sources en deux catégories des eaux d'irrigation : bonne qualité et qualité médiocre. Le pH nous renseigne sur l'acidité et l'alcalinité des eaux naturelles et il est généralement compris entre 6.6 et 7.8.

Les mesures de pH des eaux de puits (d'Aïn Ançor et 4^{ème} niveau) sont supérieures à la norme par rapport aux autres puits où le pH ne dépasse pas la norme (6,5 et 8,5).

La conductivité électrique (CE) joue un rôle très important dans la connaissance de la minéralisation des eaux souterraines et principalement l'ensemble des cations et des anions dissous dans l'eau. La conductivité électrique (CE) permet une estimation approchée de la minéralisation des eaux. Elle augmente avec la teneur en sel dissous (conductivité élevée \Rightarrow eau chargée). La salinité est les sels inorganiques et les petites quantités de matières organiques qui sont dissous dans l'eau. Leurs principaux constituants sont habituellement les cations (calcium, magnésium, sodium et potassium) et les anions (carbonate, bicarbonate, chlorure, sulfate et les nitrate) surtout quand il s'agit des eaux souterraines (**Sapan et al., 2013**). La salinité des eaux souterraines de la nappe peut avoir plusieurs origines géologiques et lithologiques. Par contre, les facteurs favorisant une large dispersion de la salinité au sein de l'aquifère contribuent en l'occurrence, la tectonique, hydrodynamique, température et l'exploitation intensive des eaux souterraines en particulier en période sèche (**Hachemaoui, 2016**). La dureté d'une eau est un caractère naturel lié au lessivage des terrains traversés et se résume globalement à sa teneur en calcium et en magnésium. Une eau à titre hydrotimétrique TH élevé est dite « dure », dans le cas contraire, il s'agit d'une eau « douce ».

D'après les concentrations obtenues. Nos résultats sur la nappe d'Aïn Témouchent comprise entre 176 mg/l et 380 mg/l de CaCO₃. Alors ; on peut constater que ses eaux sont légèrement dures. Le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables et sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés (calcaire, gypse).

Toutes les sources ont des concentrations inférieures à la valeur maximale qui est 200 mg/l de calcium (**Sapan et al., 2013 et Benmoussa, 2018**), et ceci pourrait être

attribué à la dissolution de la calcite ou du gypse. La présence des ions Ca^{2+} dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles soit à la dissolution des formations carbonatées : $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3$; soit à la dissolution des formations gypseuses : $(\text{CaSO}_4, 2(\text{H}_2\text{O})) \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4 + 2(\text{H}_2\text{O})$ (Mahi, 2017, Thomas, 1985, Benmoussa, 2018). Une teneur faible en calcium fait penser à un échange de base contre le sodium ou à l'absence de minéraux riches en calcium faiblement altérable. Par contre, une teneur élevée en calcium pourrait provenir de la mise en solution du gypse ou de l'anhydrite (Hachemaoui et al., 2016, Sapan et al., 2013). La majorité des eaux naturelles contiennent généralement une petite quantité de magnésium, sa teneur dépend de la composition des roches sédimentaires rencontrées. Il provient de l'attaque par l'acide carbonique des roches magnésiennes et de la mise en solution du magnésium sous forme de carbonates et bicarbonates (Sapan et al., 2013).

Dans les points d'eau analysés, les teneurs en magnésium (Mg^{++}) variaient entre 22 mg/l et 90,15 mg/l. Les sources ont des concentrations inférieures à la norme qui est égale à 150 mg/l. La source du magnésium semble être liée au contact de l'eau avec les roches calcaires et dolomitiques (Thomas, 1985, Hachemaoui et al., 2016). Ses origines sont comparables à celles du calcium, car il provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium, le Magnésite : $\text{MgCO}_3 = \text{Mg}^{2+} + \text{CO}_3$ et le Dolomite : $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + 2(\text{CO}_3)$ (Hachemaoui et al., 2016, Sapan et al., 2013).

Le sodium (Na^+) dans l'eau provient des formations géologiques contenant du chlorure de sodium et de la décomposition des sels minéraux. L'OMS recommande à ce titre une réduction progressive de l'apport quotidien total en sodium hydrique et alimentaire à 6 g/jour au maximum. On observe que le sodium (Na^+) est plus élevé, sa concentration est élevée pour certaines sources en dépassant la norme qui est égale à 200 mg/l. La cause de la teneur en sodium élevée est la présence des argiles et les alluvions aquifères drainées par la nappe (Sapan et al., 2013). L'origine de cet élément est liée principalement à la dissolution des formations salifères et à la proximité de la côte. Les évaporites seraient la principale origine de la teneur en Na^+ . La proximité des Sebkhass et des Chotts peut être aussi à l'origine de l'enrichissement en cet élément (Thomas, 1985). Les ions chlorures peuvent avoir plusieurs origines ; dissolution des chlorures de sodium,

des alluvions salifères, des activités humaines ou d'origines atmosphériques (**Benmoussa, 2018**).

L'origine de cet élément est comme pour le cas du sodium, liée principalement à la dissolution des formations salifères. Les évaporites constituent la source principale de cet enrichissement. L'influence marine, la proximité des bassins endoréiques (Chotts, Sebkhass), les eaux fossiles ou cannées, peuvent aussi être à l'origine de cet élément (**Hachemaoui et al., 2016, Thomas, 1985, Sapan et al., 2013**). Les sulfates sont les ions les moins abondants dans les eaux de la nappe libre. Les sulfates peuvent provenir de l'altération des pyrites ou pollutions artificielles (**Sapan et al., 2013**). Les sulfates peuvent avoir une origine météorique, comme ils peuvent également provenir de l'activité agricole ou biologique naturelle, ou de l'utilisation domestique (détergents), ou de la présence d'évaporites (gypse) (**Sapan et al., 2013**). Les teneurs des nitrates obtenues varient entre 0,44 et 88 mg/l. Cette variation peut être expliquée par la présence d'un apport en nitrates exogène (utilisation des pesticides pour les agricultures) ou la présence d'un rejet domestique directement dans le sol (**Benmoussa, 2018**).

Le SAR est un indice important pour déterminer l'aptitude des eaux à l'irrigation. Il constitue un critère d'appréciation pour évaluer le pouvoir alcalinisant des eaux d'irrigation (**Richards, 1954**). Ce paramètre « SAR » renseigne sur l'abondance relative du sodium dans l'eau (cation dispersant) par rapport aux cations flocculant (calcium et magnésium) et permet également de prédire l'ampleur des échanges de sodium et de terres alcalines (Ca et Mg) entre l'eau et les particules fines du sol. Si le sodium est élevé dans l'eau d'irrigation, il provoque la détérioration de la structure du sol et diminue le taux d'infiltration (**Todd, 1980**). Pour les eaux souterraines de notre région d'étude, les valeurs du SAR varient de 0.5 à 8, la majorité des points d'eau sont de qualité médiocre pour l'irrigation sauf le point P5 (Sidi Yamine) qui est de la classe mauvaise qualité pour l'irrigation.

Concernant la Qualité des eaux de forages ; Pour l'étude hydrochimique des 21 forages répartis à travers le bassin versant d'Oued El Malah, nous avons identifié trois faciès dominants : Chloruré sodique pour les forages suivants (El Malah II, Bailiche Ouled Taoui, Sidi Saad, Barrette, Sidi Djelloul, Chentouf 02, Aoubellil I, Témouchent V, Chabat I, Oued Sebah II, Terga I). Et le faciès bicarbonaté sodique qui caractérise les forages (Aïn Témouchent 3, Sidi Mohamed, Aïn Kihel I), et le faciès bicarbonaté calcique et magnésien

qui caractérise le forage (Sidi Bouazza). Le forage (Aïn Kihel V) est représenté par le faciès sulfaté sodique, et le forage (Das Kherrafi) avec un faciès bicarbonaté calcique.

Les valeurs de pH varient entre 6 et 8,3 ce qui indique que ces eaux sont légèrement basiques.

La conductivité électrique (CE) des forages montre une conductivité élevée pour la majorité des forages à l'exception forage (Aïn Kihal I) localisé dans la nappe de basaltes fissurés. La minéralisation augmente en fonction de la conductivité (CE). Pour notre étude d'après les valeurs de la minéralisation on distingue deux catégories d'eau : une eau peu minéralisée pour l'aquifère homogène formé par les formations basaltiques et une autre très minéralisée pour l'aquifère bicouche constitué par les formations carbonatées et volcaniques. La dissolution des formations calcaires et évaporitiques est à l'origine de la minéralisation des eaux souterraines (**Gouaidia, 2017**).

La salinité est très élevée dans la plupart des forages 62% dont des échantillons prélevés se rangent dans la classe à risque élevé, et 38% dans la classe à risque très élevé. Due à l'intrusion des eaux marines dans les nappes d'eaux souterraines.

Ce phénomène de la salinité marine concerne surtout les zones du littoral, il est dû à une arrivée modérée de l'eau à partir de la mer ou à l'existence d'une paléosalinité dans les sédiments de la nappe, ce qui a produit une augmentation de la salinité des eaux (**Debieche, 2002**).

L'alcalinité est la mesure de la capacité de l'eau à neutraliser les acides. Ce paramètre est lié en partie à la présence de carbonates (CO_3^{2-}) et bicarbonates (HCO_3^-) dans l'eau, et qui sont généralement responsables de l'élévation de son pH (supérieur à 8,5). Les carbonates à de fortes teneurs dans l'eau se combinent facilement avec les ions de calcium et de magnésium pour constituer des composés insolubles favorisant ainsi, au sodium d'être l'ion dominant en solution. L'augmentation de la concentration en sodium dans l'eau engendre de gros risques pour le rendement des cultures et à la qualité des sols. Ainsi, il est possible de dire que les eaux d'irrigation fortement alcalines pourraient intensifier les conditions sodiques du sol (**Simsek et al., 2007**). Selon Ayers et Wescott (1985), la teneur idéale en bicarbonates dans les eaux d'irrigation serait de l'ordre de 90 mg/l (1.5 méq/l).

Concernant notre zone d'étude, les concentrations en bicarbonates des eaux souterraines varient de 3.44 et 8.57 méq/l avec une moyenne 5.85 méq/l (tableau N° 40). La répartition spatiale des concentrations en HCO_3^- (figure N° 59), montre que les eaux des différents aquifères du bassin versant d'Oued El Malah, présentent un risque d'alcalinité important à sévère.

La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées (cipolin, calcaire) par des eaux chargées en gaz carbonique. La somme des équations de dissolution est donnée comme suit : $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 = 2\text{HCO}_3^- + \text{Ca}^{2+}$ (Debieche, 2002).

D'après les résultats du pourcentage de sodium Na^+ %, le classement des eaux de forages échantillonnées pour l'irrigation nous a permis d'identifier quatre classes : bonne qualité, qualité médiocre, qualité admissible et mauvaise qualité pour l'irrigation. Cette concentration en sodium (Na^+) est due à la nature lithologique du remplissage des alluvions au niveau des forages qui entraîne une forte concentration en saumure. Les chlorures (Cl^-) présentent aussi une prédominance dans la zone d'étude.

Pour les eaux de mauvaise qualité à l'irrigation dues à la présence de fortes teneurs en saumures (concentration de cristaux gypsifères) au niveau de ces forages à cause de l'influence des eaux de mer et de la Sebkhah d'Oran.

La répartition des concentrations dépend de plusieurs facteurs tels que la lithologie, l'état hydrodynamique de la nappe (les profondeurs de la surface piézométrique, la vitesse d'écoulement) et les conditions climatiques (une température élevée provoque l'évaporation et les précipitations engendrent le lessivage et la dissolution des roches).

La teneur maximale en sulfates SO_4^{2-} apparaît dans le forage (El Malah) avec 864 mg/l, due à la dissolution d'évaporite telle que le gypse, qui sont dans les remplissages alluvionnaires.

Les valeurs du SAR varient de 0.21 à 43.31 avec une moyenne de 7.31, ce qui nous permet de ranger les échantillons analysés dans la classe « Excellent » à « Bonne » à l'exception du forage F26 (tableau N° 40 ; figure N° 51).

L'eau est excellente pour l'irrigation pour la plupart des forages, elle est bonne pour les forages (Ain Kihel I, Temouchent V, Oued Sebah II), et mauvaise pour le forage (El Malah II) où la valeur de (SAR) est égale à 43.31 qui est due à la contamination de ce forage, par les rejets des eaux usées de la région d'Aïn Témouchent qui passent au-dessus de ce forage à travers des rigoles qui se terminent en exutoire vers la mer (plage Terga).

L'absence de traitement de ces eaux usées a de graves conséquences sur l'hygiène et la santé publique, avec la recrudescence des maladies à transmission hydrique (HTM), et sur l'environnement global, notamment les ressources en eau (oueds, nappes phréatiques...), les sols agricoles et le littoral, exutoire final de la majorité de ces effluents.

La contamination des ressources hydriques par ces eaux riches en azote, phosphore, charge bactériologiques, matières en suspension, métaux... va compromettre son utilisation future et, ainsi, diminuer encore la disponibilité en eau, ressource déjà limitée qui ne permet pas de satisfaire actuellement les besoins des populations. Le traitement des effluents permettrait de réduire la pression sur la ressource et pourrait même procurer une ressource supplémentaire, par la réutilisation des eaux épurées, notamment pour l'irrigation (moyennant l'adoption d'une réglementation) (**Benyahia et al., 2008**).

Dans la partie sud du bassin étudié, les forages implantés au niveau des formations basaltiques du plio-quadernaire indiquent une faible minéralisation donc la qualité chimique de ces eaux est bonne, mais la teneur en nitrate NO_3^- augmente progressivement au niveau des forages (Sidi Saad, Aoubellil, AT2, Terga I et Chabat I) avec des valeurs supérieures à la norme OMS (50 mg/l). Cette teneur en nitrates indique une pollution due à l'infiltration des eaux usées, et le lessivage des engrais utilisés pour l'agriculture.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

La zone d'étude se situe dans la partie Nord-occidentale de l'Algérie. Elle fait partie du bassin versant des côtiers oranais.

L'étude climatique de la région, sur la période allant de 1980 jusqu'à 2014, montre une forte fluctuation spatio-temporelle de la pluviométrie. La moyenne annuelle des précipitations de la station d'Aïn Témouchent est au voisinage de 400.1 mm. Les variations des précipitations mensuelles, nous ont permis de distinguer une période humide qui s'étale de septembre à mai et une autre sèche de juin, juillet et août. La température moyenne annuelle est de 18,5 °C. Le maximum des températures est atteint au mois d'août, avec une moyenne de 26,95 °C, et le minimum se situe au mois de Janvier, aux environs de 11,25 °C.

L'utilisation des différentes méthodes mettant en relation les données de précipitations et températures, nous indiquent que le climat de la région d'Aïn Témouchent est de type semi-aride à hiver froid et pluvieux, et aride sans précipitations significatives, en été. Le calcul du bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite montre que l'évapotranspiration réelle est de l'ordre de 241,2 mm, soit 60,3 % de la hauteur d'eau précipitée, alors que l'écoulement est de 70.78 mm. Le ruissellement est de 26,1 mm et l'infiltration 19,8 mm.

L'étude hydrogéochimique confirme l'évolution de la minéralisation qui se fait suivant la direction de l'écoulement des eaux souterraines qui est en général de direction Sud vers le Nord avec une alimentation provenant du Sud à partir des sables et grès du pliocène ainsi que le miocène ante et synchronappe. La minéralisation augmente du Sud vers le Nord selon la nature des formations géologiques traversées.

Les valeurs de la conductivité électrique des eaux sont élevées, peuvent être liées à la contamination des nappes d'eau par l'intrusion des eaux salées provenant soit de la mer ou bien de la sebkha d'Oran.

Le manque de points d'eaux dans la région Est, est dû à la nature saumâtre des eaux déversés dans le bassin versant provenant d'une nappe salée située aux alentours de la Sebkha d'Oran.

Les principaux types de faciès des eaux souterraines dans la région d'Aïn Témouchent sont : du chloruré sodique $\text{Cl} > \text{HCO}_3 > \text{SO}_4$ et $\text{Na} + \text{K} > \text{Mg} > \text{Ca}$ et le bicarbonaté sodique $\text{HCO}_3 > \text{Cl} > \text{SO}_4$ et $\text{Na} + \text{K} > \text{Mg} > \text{Ca}$, reflétant la lithologie des formations géologiques dans lesquelles l'écoulement souterrain emprunte sont chemin.

Les mutations de la composition des eaux de sources affirment un enrichissement en calcium et en potassium, peuvent être reliées à la dissolution de calcite et/ou de la dolomite et de la dissolution de minéraux potassiques. L'appauvrissement en magnésium et en sulfates des eaux peut provenir de la précipitation de minéraux magnésiens comme la magnésite et/ou la dolomite par équilibre avec la roche encaissante.

Nous avons évalué aussi la qualité des eaux de forages destinées à l'irrigation dans le bassin versant d'Oued El Malah. Ces eaux souterraines constituent une ressource très importante pour l'irrigation. A l'échelle de notre zone d'étude, le risque lié à la salinité est relativement élevé. Dans l'ensemble la salinité varie sensiblement d'une période à une autre, cette variation serait rattachée aux processus hydrogéochimiques (dissolution, dilution). La conductivité électrique (salinité) des eaux souterraines du bassin d'Oued El Malah varie de 1034 à 5010 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$. Plusieurs facteurs peuvent être responsables de la salinité : la nature géologique, et les conditions climatiques (dissolution des roches pendant la saison pluviale, évaporation pendant la saison sèche et par conséquent l'augmentation de la salinité).

La valeur moyenne du **SAR** qui est inférieure à 18 méq/l, indique que les eaux souterraines présentent un faible danger d'alcalinisation, et pourraient donc être utilisées en irrigation pour certaines cultures telles que : fruits, noix, citron, avocat, et haricot. A l'exception point d'El Malah II.

Les résultats des analyses chimiques des eaux de forages montrent une concentration élevée des chlorures et de sodium qui augmentent du Sud vers le Nord, et principalement à l'intrusion marine. A cet effet, les zones côtières doivent être surveillées, car le risque d'infiltration d'eau de mer dans les aquifères augmentera la salinité de l'eau d'irrigation.

Evidemment, ces zones névralgiques en matière de salinité sont d'autant plus accentuées en période sèche sous l'effet d'une forte évapotranspiration. Par contre, en

période pluvieuse, les cours d'eau sont moins chargés en sels sans pour autant atteindre les normes requises pour la consommation.

Les variations spatiales de la qualité des eaux souterraines dans le bassin versant d'Oued El Malah achevées avec le système multicritères basé sur le SIG, ont indiquées trois classes ; La classe à « Restriction Modérée », la classe à « Haute Restriction » est la classe dominante et la classe à « Très Haute Restriction ». La carte de l'indice de la qualité des eaux souterraines (**IWQI**) nous montre que la qualité des eaux du bassin versant d'Oued El Malah est limitée, et que leur utilisation nécessite l'adaptation des cultures en fonction des variations de l'indice (**IWQI**).

Pour une meilleure exploitation des ressources hydriques de la région d'Aïn Témouchent, nous recommandons l'élaboration de plusieurs retenues collinaires destinées à l'irrigation des terres agricoles, l'utilisation des eaux de dessalement d'eau de mer pour l'alimentation en eau potable (AEP), et de lutter contre la surexploitation des nappes d'eau. Enfin, le suivi continu de la qualité des eaux souterraines par d'autres études est indispensable.

La pollution chimique causée par les rejets industriels et ménagers dans la zone d'Aïn Témouchent, rend les eaux souterraines gravement impropres à la consommation. La présence de nitrates en concentrations relativement élevées au niveau de quelques points d'eau indique une pollution due au lessivage des engrais et des eaux domestiques.

A cet effet, le risque de contamination des aquifères par des pollutions d'origines diverses pourrait devenir un problème d'ampleur majeure dans le futur immédiat et par conséquent la réalisation de stations d'épuration des eaux usées et industrielles est nécessaire et l'élimination de dépotoirs. Ainsi le contrôle de quantité et de la nature de pesticides utilisé dans l'agriculture contribua dans la protection des eaux souterraines contre la pollution d'origine agricole.

PERSPECTIVES

PERSPECTIVES

A l'issue de cette étude qui constitue une contribution à la caractérisation de la qualité des eaux souterraines au niveau de la région d'Aïn Témouchent, afin d'assurer une gestion intégrée des ressources hydriques dans le cadre du développement durable, de nombreuses perspectives nous apparaissent, en particulier :

- ❖ Définir les potentialités quantitatives et les paramètres hydrodynamiques des différents niveaux aquifères. Il faut procéder à des essais de pompage au niveau des points d'eau (forages et puits) représentatifs ;
- ❖ le suivi de l'évolution de la qualité de l'eau, par la multiplication des campagnes d'échantillonnages d'eau souterraines ;
- ❖ L'élaboration des bilans "demandes - ressources" à l'échelle des bassins hydrologiques ;
- ❖ Traitement et récupération des eaux usées ;
- ❖ Utilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation ;
- ❖ L'utilisation de techniques optimales d'irrigation comme celle du goutte à goutte permettra de réaliser entre 10 et 20 % d'économie sur la dotation en eau de l'agriculture; ce qui correspond à une économie de 0,5 à 1 milliard de m³ par an ;
- ❖ Exploitation rationnelle des eaux souterraines ;
- ❖ L'injection, au cours d'épisodes pluvieux intenses des eaux de pluie dans les nappes souterraines existantes, permet de recharger et de reconstituer le potentiel de ces nappes qui sont actuellement utilisées de façon intense. Cependant, cette technique nécessite des aménagements au niveau des sols pour canaliser, filtrer et répartir les eaux de ruissellement ;
- ❖ La mise en place des périmètres de protection des captages d'eau destinée à la consommation, par l'application de la loi nationale, la loi N°05-12 du 04.08.2005, sur l'eau en Algérie prévoit trois zones de protection des ressources en eau (forages, champ captant, barrages, sources, etc.) : la zone de protection immédiate ; la zone de protection rapprochée et la zone de protection éloignée ;
- ❖ Outils d'observations et de surveillance, les moyens et outils d'observation et de surveillance terrestres ont pour objet le renforcement, le développement et la modernisation des réseaux d'acquisition des données climatologiques,

- environnementales, hydrologiques, agricoles ainsi que les données socio-économiques; ils doivent être adaptés et couvrir les différentes régions du pays ;
- ❖ Outils de modélisation et de gestion, un système d'informations géographiques (SIG) pour disposer d'informations fiables et permettant de faciliter rapidement la prise de décision ;
 - ❖ La formation continue du personnel spécifiquement dans le domaine du changement climatique et la gestion des ressources en eau ;
 - ❖ le renforcement de la capacité de modélisation des systèmes hydrologiques, agricoles (WEAP, COMAP) ;
 - ❖ Le transfert technologique est indispensable pour limiter les émissions de gaz à effet de serre. Il s'agit de développer des conventions entre les universités nationales et les universités étrangères dans le domaine des nouvelles technologies et principalement les énergies renouvelables ;
 - ❖ Mise en place d'un plan de gestion des ressources hydriques.
 - ❖ Adaptation de type de culture selon le type de climat dominant de la région (culture pluviale) ;
 - ❖ Sensibiliser des citoyens et vulgarisation à travers les médias ;
 - ❖ Réduction des fuites d'eau dans les canalisations de distribution des eaux ;
 - ❖ Réalisation de nouvelles retenues collinaires pour augmenter le volume d'eau superficiel ;
 - ❖ Mettre en place des STEP sur chaque installation classée pour diminuer le risque de pollution.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **AFNOR, 2005.** Guide pratique du développement durable, un savoir-faire à l'usage de tous.
- **ANAT (Agence Nationale de l'Aménagement du Territoire), 2005.** Plan d'aménagement côtier de l'oranaise (PACO) 2025. Rapport de mise en œuvre.
- **Anonyme, 2001.** Guide de l'environnement de l'Algérie, Environment Directory of Algeria, Édition Symbiose, 2001.
- **AQUASTAT, 2005.** Système d'information de la FAO sur l'eau et l'agriculture.
- **Arrus R. et Rousset N., 2006.** L'agriculture du Maghreb au défi du changement climatique : quelles stratégies d'adaptation face à la raréfaction des ressources hydriques? Tripoli, Laboratoire d'Economie de la Production et de l'Intégration Internationale. Groupe Energie et Politiques de l'Environnement.
- **Atrops F. et Benest M., 1978.** Les formations à ammonites du Malm dans le bassin Tellien, au nord de Tiaret; Leur importance pour les corrélations avec les séries de l'avant-pays de l'Ouest algérien.
- **Auclair D., Biehler J., 1967.** Etude géologique des hautes plaines Oranaïses entre Tlemcen et Saida, SGA n°34.
- **Ayers R.S., Westcot D.W., 1985.** Water quality for agriculture, FAO Irrigation and Drainage Paper No. 29, Rev. 1, U.N. Food and Agriculture Organization, Rome.
- **Baba Hamed K., 2007.** Hydrodynamique et modélisation d'une nappe alluviale, validation par l'approche géostatistique. Application à la nappe de la plaine de Maghnia (NW Algérien). Doctorat en géologie appliquée. Université Abou Bekr Belkaïd, Tlemcen.
- **Badraoui M., Soudi B., et Farhat A., 1998.** Variation de la qualité des sols : Une base pour évaluer la durabilité de la mise en valeur agricole sous irrigation par pivot au Maroc. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc, pp.227-234. California, Davis.
- **Bahmed L. et Djebabra M., 2010.** Démarche d'intégration du concept qualité sécurité environnement aux systèmes d'alimentation en eau potable. Larhyss journal, vol.8, n°3.
- **Barbieri O., Hahn M., Herzog A. et Kötz R., 2005.** Capacitance limits of high surface area activated carbons for double layer capacitors. Carbon 43:1303-1310.

- **Bates B.C., Kundzewicz Z.W., Wu S. et Palutikof J.P., 2008.** Le changement climatique et l'eau, document technique publié par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Secrétariat du GIEC, Genève.
- **Bellaredj A., 2013.** Caractérisation des eaux souterraines de la plaine de M'leta (Algérie Nord-Ouest) par applications de méthode statistiques multivariées et modélisation géochimique, mémoire de Magister en sciences de la terre, université d'Oran.
- **Bemoussat A., 2012.** Impact de l'activité agricole sur la qualité des eaux souterraines à travers le bassin de la Tafna, mémoire de magister, université de Tlemcen.
- **Benabdelli K., 1996.** Aspects physionomico-structuraux et dynamiques des écosystèmes forestiers face à la pression anthropozoogène dans les monts de Tlemcen et les monts de Daya (Algérie septentrionale occidentale). Thèse d'état, Univ. de Sidi Bel Abbés, 356 p.
- **Benblidia M. et Thivet G., 2010.** Gestion des ressources en eau : Les limites d'une politique de l'offre. Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes (CIHEAM), Rapport d'analyse n° 58.
- **Benest M., 1982.** Importance des décrochements sénestres (N-S) et dextres (E-W) dans les Monts de Tlemcen et de Daïa (Algérie occidentale). *Rev. Géol. Dayn. Géogr. Phy.* vol. 23, pp. 345-362.
- **Benest M., 1985.** Evolution de la plateforme de l'Ouest algérien et du Nord-Est marocain au cours du Jurassique supérieur et au début du Crétacé : Stratigraphie, milieux de dépôts et dynamique sédimentaire. Thèse Doctorat. Université de Lyon , 367p.
- **Benmoussa H., 2018.** Chimie des eaux (polycopié), Faculté de chimie, Université des sciences et de la technologie d'Oran.
- **Bensaoula F., Abjim M., 2008.** La mobilisation des ressources en eaux, contextes climatiques et contraintes socio-économiques, Larhyss Journal n°7.
- **Bentekhici N., 2018.** Evaluation et gestion des déchets solides et liquides, Apport des SIG et la Télédétection Cas de: Ain Témouchent, Tlemcen, Oran et Sidi Bel Abbes, Doctorat en Sciences de la Terre et de l'Univers. Université d'Oran 2.
- **Benyahia M., Kerfouf A., Alaoui F., Toumi F. et Megherbi A., 2008.** Diagnostic du mode de gestion actuelle de l'eau potable distribuée dans la ville de Sidi Bel Abbés. Premier Séminaire National, Biodiversités Végétales et Espaces Naturels, 05-07 Mai 2008, Univ. Djillali Liabés, Fac. des Sciences, Dép. des Sciences de l'Environnement, Sidi Bel Abbés.

- **Berkaloff E., 1938.** Notice explicative concernant le diagramme logarithmique de la composition chimique des eaux (Rapport inédit), Direction des Travaux Publics.
- **Berrayah M., 2006.** Analyse de la dynamique des systèmes et approche d'aménagement intégré en zones des montagnes. Cas des montagnes des Traras (Wilaya de Tlemcen). Mémoire Magister Foresterie, Univ. de Tlemcen, pp178.
- **Blinda M., 2010.** Eau, énergie, dessalement et changement climatique en Méditerranée, Fac Copies, Plan Bleu, vol.3, n°16.
- **Blum J.D., Klaue, A., Nezat, C.A., Driscoll, C.T., Johnson, C.E., Siccama, T. G., Eagar, C., Fahey, T.J., Likens, G.E., 2002.** Mycorrhizal dissolution of apatite as an important calcium source in base-poor forest ecosystems. Nature 417.
- **Boubou N. et Maliki S., 2009.** Innovation technologique et gestion de l'eau en Algérie : La maîtrise de la demande, IN MECAS, édition Ibn Khaldoun, Tlemcen, N°5.
- **Boubou-Bouziyani N., 2015.** Eau, environnement et énergies renouvelables : vers une gestion intégrée de l'eau en Algérie, thèse de Doctorat en Sciences de Gestion, Université de Tlemcen.
- **Bouziyani M., 2006.** L'eau dans tous ses états. Ed. Dar el Gharb, Oran, Algérie, pp 260.
- **Bzioui M., 2005.** Rapport sous régional sur la mise en valeur des ressources en eau en Afrique du Nord. Rapport UN WATER-AFRICA.
- **Chaouche K., Neppel L., Dieulin C., Pujol N., Ladouche B., Martin E., Salas D. et Caballero Y., 2010.** Analyse des variables précipitation, température et évapotranspiration en région méditerranéenne française dans un contexte de changement climatique. Journal Comptes Rendus Geoscience, France 342, n°. 3 (Mars 2010) : 234-43.
- **CICR (Comité international de la Croix-Rouge), 2011.** Guide pratique pour les essais de pompage de puits. Revue technique.
- **CNES (Conseil National Economique et Social), 2000.** L'eau en Algérie : le grand défi de demain, CNES National Report, 15^{ème} Session, Alger.
- **Coulon C., Megartsi M., Fourcade S., Maury R., Bellon H., Louni-Hacini A., Cotten J., Coutelle A. et Hermitte D., 2002.** Post collisional transition from calkalkaline to alkaline volcanism during the Neogene in Oranie (Algeria): magmatic expression of a slab breakoff. Lithos, vol.62, pp. 87-110.
- **Coutagne A., 1954.** Quelques considérations sur le pouvoir évaporant de l'atmosphère, le déficit d'écoulement effectif et le déficit d'écoulement maximum. La houille blanche. n°3 : pp.360-374.

- **Debieche T.H., 2002.** Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle Application à la basse plaine de la Seybouse Nord-est Algérien, thèse de Doctorat d'état Université de Franche-Comté.
- **Dehaan R.L. et Taylor G.R., 2002.** Field-derived spectra of salinized soils and vegetation as indicators of irrigation - induced soil salinization. *International Journal of Remote Sensing* 80, pp. 87-110.
- **Deque M., 2005.** Température et précipitations extrêmes sur la France dans un scénario de changement climatique. *Climate dynamics*, 11: 321-339.
- **De Martonne E., 1942.** Nouvelle carte mondiale de l'indice d'aridité. In: *Annales de Géographie*, t. 51, n°288 : pp. 241-250.
- **DRE (Direction des Ressources en Eaux de la Wilaya Aïn Témouchent), 2005.** Etudes d'aménagement du bassin versant d'Oued El Malah. Etude Préliminaire.
- **DRE (Direction des Ressources en Eaux de la Wilaya Aïn Témouchent), 2005.** Etudes d'aménagement du bassin versant d'Oued El Malah. Mission II : Etude Hydrologique.
- **DRE (Direction des Ressources en Eaux de la Wilaya Aïn Témouchent), 2009.** Recueil des données sur la wilaya d'Aïn Temouchent.
- **DRE (Direction des Ressources en Eaux de la Wilaya Aïn Témouchent), 2010.** Recueil des données sur la wilaya d'Aïn Temouchent.
- **DRE (Direction des Ressources en Eaux de la Wilaya Aïn Témouchent), 2015.** Recueil des données sur la wilaya d'Aïn Temouchent.
- **Dris A., 2008.** L'eau matière stratégique et enjeu de sécurité au 21^{ème} siècle, DEA Sciences Politiques, Univ. Paris 10^e, France.
- **El Morabiti K., Benmakhelou M., Pulido Bosch A. et Cèron J.C., 2008.** Hydrogéochimie des sources thermales du couloir sud-rifain(Maroc). *Bulletin. d'Hydrogéologie* no 22. Centre d'Hydrogéologie, Université de Neuchâtel.
- **Emberger L., 1942.** Un projet de classification des climats du point de vue phytogéographique, *Bul Soc Hist Nat Toulouse*, vol.12, n°4.
- **Fellous J.L., 2005.** Le Climat. Ed. Le Cavalier Bleu - idées reçues ; Sciences et techniques N°89-1, 10-100p.
- **Fenet B., 1975.** Recherche sur l'alpinisation de la bordure septentrionale du bouclier africain, à partir de l'étude d'un élément de l'orogénie nord maghrébine : les Monts du Djebel Tessala et les Massifs du littoral Oranais. *Thèse Doctorat*, Univ. Nice, 301 p.

- **Fontaine B., Serge J. et Monerie P.A., 2013.** Recent changes in air temperature, heat waves occurrences and atmospheric circulation in Northern Africa. *Journal of geophysical research: Atmospheres* 118, n° 15: 8536-52.
- **Fredj T. et Silhadi K., 2005.** Secteur de l'eau en Algérie. Fiche de synthèse -Mission économiques- MINEFI-DGTPE. Présentation réalisée sous système de management de la qualité certifié AFAQ ISO 2001.
- **Garrels R.M., 1976.** A Survey of Low Temperature Water Mineral Relations. In: *Interpretation of Environmental Isotope and Hydrogeochemical Data in Groundwater Hydrology*, International Atomic Energy Agency. Vienna.
- **Ghassemi F., Jakeman A.J. et Nix H.A., 1995.** Salinization of land and water resources: human causes, extent, management and case studies. Center for resource and environmental studies, The Australian National University, Canberra, Australia.
- **Gibelin A.L. et Déqué M., 2003.** Anthropogenic climate change over the mediterranean region simulated by a global variable resolution model. *Clim. Dyn.*, 20: 327-339.
- **GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), 1995.** Rapport : Seconde évaluation du GIEC Changement de climat.
- **GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), 2007.** Rapport de synthèse : Bilan des changements climatiques.
- **GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), 2008.** Le Changement climatique et L'eau. Document technique VI.
- **Glandier S., 2002.** Risques sanitaires liées aux fuites de lixiviats des centres de stockage de déchets ménagers et assimilés, mémoire de fin d'étude, ENSP Rennes.
- **Gouaidia L., 2008.** Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico-chimiques des eaux d'une nappe en zone semi-aride, cas de la nappe de Meskiana Nord-Est algérien. Thèse Doctorat, Univ. Annaba, Algérie. 131p.
- **Guardia P., 1975.** Géodynamique de la marge alpine du continent africain d'après l'étude de l'Oranie nord- occidentale. Relations structurales et paléogéographiques entre le Rif externe, le Tell et l'avant- pays atlasique. Thèse doctorat d'état. Université de Nice (France).
- **Gupta R.K. et Abrol I.P., 1990.** Salt-affected soil: Their reclamation and management for crop production. *Advances in Soil Science, Volume 11, Soil degradation*, ed. Lal R., Stewart B.A. Springer-Verlag, New York, pp. 288.

- **Hachemaoui, D. et Sadek, M., 2016.** Hydrologie et Modélisation pluie-débit : cas du bassin versant de l'oued El-Malleh Wilya de Ain Temouchent. Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en hydraulique, université Dr moulay Tahar, saïda. pp102.
- **Hadji F., Guasmi I. et Djabri L., 2012.** Suitability of Surface Water from MouillahWadi of Algeria for Irrigation Purposes. DOI: 10.1007/978-94-007-5684-7_47 In book. Developments in Soil Salinity Assessment and Reclamation, pp.723-735.
- **Hallouche B., 1986.** Contribution à l'étude hydrogéologique de la partie occidentale du bassin versant de l'Oued El Malah (W. AïnTemouchent). Projet d'ingénieur d'état.
- **Hallouche B., 2017.** Bassin versant de la haute mekkera (Nord-Ouest algérien) : hydrologie, géochimie et pollution. Thèse de doctorat en sciences. Université de Sidi Bel Abbes.
- **Hamlat A., 2013.** Contribution à la gestion des ressources en eau des bassins versants de l'ouest algérien à l'aide d'un système informatisé, thèse de doctorat, Université d'Oran.
- **Hanson B., Grattan S.R. et Fulton A., 1999.** Agricultural salinity and drainage. Irrigation Program. University of California.
- **Harrois Monin F., 1977.** L'eau et nous, revue science et vie, Hors-série, Décembre.
- **HPO Oran (Hydro Projets Ouest), 2005.** Étude d'aménagement du bassin versant d'Oued El Malah, étude préliminaire.
- **Hubert P., Carbonnel J.P. et Chaouche A., 1989.** Segmentation des séries hydrométéorologiques – applications à des séries de précipitations et de débits de l'Afrique de l'Ouest. Journal of Hydrology 110, 349-367.
- **Hulme M., Ruth D., Todd N., Mark N. et David L., 2001.** African climate change 1900-2100. Climate research 17, n° 2.
- **IPCC (The Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007.** Report: Technical Guidelines for Assessing Climate Change Impacts and Adaptations.
- **Jentsch A., Kreyling J. and Beierkuhnlein C., 2007.** A new generation of climate change experiments: events, not trends. Journal Frontiers in Ecology and the Environment.
- **JORA (Journal Officiel De La République Algérienne), 1993.** n° 46 du 10 Juillet 1993, 7-12.
- **Kadi A., 1997.** La gestion de l'eau en Algérie, Hydrological Sciences. Journal des Sciences Hydrologiques, Avril 1997, n° 57, France, pp 191-197.

- **Kettab A., 2000.** Les ressources en eau en Algérie. In the Conference on Desalination Strategies in South Mediterranean Countries, cooperation between Mediterranean Countries of Europe and the Southern Rim of the Mediterranean, Tunis.
- **Kettab A., 2001.** Ressources en eau en Algérie : stratégie, enjeux et vision. Elsevier, Sciences, n°98, pp 66 -72.
- **Khaldi A., 2005.** Impacts de la sécheresse sur le régime des écoulements souterrains dans les massifs calcaires de l'Ouest Algérien " Monts de Tlemcen - Saida". Doctorat d'état en hydrogéologie, université d'Oran.
- **Kizar F.M., 2017.** Using the Canadian Method to Classify Irrigation Water Quality Index for Shatt Al- Kufa River Section (Al Zerkh to Al Qadisiya). Journal of Babylon University / Engineering Sciences Vol.25 n°1, pp 165-176.
- **Laborde J.P., 1997.** Eléments d'hydrologie de surface, cours de DEA, PAE3S, de l'ENSG Nancy.
- **Lakhdari M., Kadi M.Y. et Hammadi S., 2011.** Caractérisation et état de connaissance du bassin de la Grande Sebkhia d'Oran. Projet de fin d'étude (licence), Université des Sciences et de la Technologie Mohamed Boudiaf d'Oran, 92P.
- **Lecocq A., 1987.** Hydrogéologie en milieu volcanique - Etude de la partie nord du plateau basaltique du Devès (Massif central). Thèse de doctorat, université Blaise Pascal de Clermont-Ferrand.
- **Le Lay M. et Galle S., 2005.** How changing rainfall regimes may affect the water balance: A modeling approach in West Africa. Regional hydrological impacts of climatic change hydroclimatic variability. AISH 296.
- **Loucif S.N., 2003.** L'eau en Algérie et sa gestion dans le secteur agricole, Institut national de la recherche agronomique d'Alger.
- **Louni-Hacini A., Bellon H. Maury R.C., Megartsi M., Coulon C., Semroud B., Cotten J. et Coutelle A., 1995.** Datation de la transition du volcanisme calco-alcalin au volcanisme alcalin en Oranie au Miocene supérieur. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences.
- **Louni Hacini A., 2002.** La transition du magmatisme calco-alcalin au magmatisme alcalin dans l'Oranie (Algérie nord occidentale). Thèse Doctorat d'état, USTHB, Alger.
- **Magnan A., 2009.** La vulnérabilité des territoires littoraux au changement climatique : mise au point conceptuelle et facteurs d'influence. Analyses Iddri, Paris.
- **Mahi, E.A., 2017.** Etude des Caractéristiques Morpho métriques du bassin versant des côtiers oranais. Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en hydraulique, Universitaire Belhadj Bouchaib -Ain Temouchent. pp 93.

- **Margat J., 1998.** Les eaux souterraines dans le bassin méditerranéen. Ressources et utilisations. éd. Plan Bleu et BRGM, Documents du BRGM. Orléans.
- **Margat, J., 1998.** Sécheresses et ressources en eau en Méditerranée. Rapp. à la conférence sur la politique de l'eau en Méditerranée, Valence - Espagne 16-18 av., session « Gestion des sécheresses ». C.R. édités par le Réseau Méditerranéen de l'Eau, Madrid.
- **MATE (Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement), 2001.** Elaboration de la stratégie et du plan d'action national des changements climatiques, Projet national ALG/98/G31. Communication nationale initiale.
- **MATE (Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement), 2003.** Rapport sur l'état et l'avenir de l'environnement.
- **MATE (Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement), 2010.** Rapport sur les changements climatiques.
- **Meddi M., Talia A. et Claude M., 2009.** Évolution récente des conditions climatiques et des écoulements sur le bassin versant de la Macta (Nord-Ouest de l'Algérie), Physio-Géo [En ligne], Volume 3.
- **Megartsi M., 1985.** Le volcanisme Mio-Plio-Quaternaire de l'Oranie nord-occidentale, Géologie, pétrologie et géodynamique. Thèse Doctorat d'Etat, USTHB (Alger), 296p.
- **Meireles A., Andrade E.M., Chaves L., Frischkorn H. et Crisostomo L.A., 2010.** A new proposal of the classification of irrigation water. Rev Ciênc Agron 41.
- **Mohammed M.N., 2011.** Quality assessment of Tigrsriver by using water quality index for irrigation purpose. European Journal of Scientific Research 57: 15-28.
- **Moissette P., 1988.** Faune de bryozoaires du Messinien d'Algérie occidentale.Doc. Lab. Géol., Fac. Sc., Lyon. P351.
- **Mostefa Kara K., 2008.** La menace climatique en Algérie et en Afrique : les inéluctables solutions, éd. Dahlab. Algérie.
- **MRE (Ministère des Ressources en eau), 2004.** Stratégie nationale de développement économique et social, perspective décennale du secteur des ressources en eau 2004-2013.
- **MRE (Ministère des Ressources en eau), 2006.** Plan national de l'eau. schéma directeur des grandes infrastructures hydrauliques.
- **MRE (Ministère des Ressources en eau), 2007 :** Données sur l'eau en Algérie.
- **MRE (Ministère des Ressources en eau), 2009.** Plan directeur d'aménagement des ressources en eau Oranie (Chott Chergui). Rapport de Synthèse. Alger.

- **MRE (Ministère des Ressources en eau), 2010.** Actualisation du plan national de l'eau. Travaux d'études en cours. Réalisés par le groupement Sofreco / Grontmij-Carl Bro / OIE. Rapports provisoires : Ressources et Demandes.
- **Nishanthiny S.C., Thushyanthy M., Barathithasan T. et Saravanan S., 2010.** Irrigation water quality based on hydro chemical analysis, Jaffna, Sri Lanka. An Eurasian Agric. Environ. Sci. 7.
- **OMS (Organisation Mondiale de la Santé), 1994.** Directives de qualité pour l'eau de boisson,1, 9- 187.
- **ONM (Office National de Météorologie) Aïn Témouchent, 2010.** Recueil de données climatologiques.
- **Person J., 1978.** Irrigation et drainage en Tunisie, problème posé par la salinité des sols et des eaux. Bulletin du BRGM, 2^{ème} série, section III, n°2.
- **PNUD (Programme des Nations Unies pour le Développement), 2009.** Problématique du secteur de l'eau et impacts liés au climat en Algérie. Rapport national eau - adaptation. Algérie.
- **PNUE (Programme des Nations Unies pour l'Environnement et UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change), 2001.** Changements climatiques (fiches informatives), « Ressources en eau », GE. 01-02690, France.
- **Remini B., 2005.** La problématique de l'eau en Algérie. Office des Publications Universitaires, Alger, pp 162.
- **Richards L.A., 1954.** Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils, Handbook 60. U.S. Dept. of Agriculture, Washington, D.C.160 p.
- **Richards L.A., 1969.** Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. United States Department of Agriculture, Washington.
- **Roche N., 1996.** Etude de la remise en suspension des boues activées par aérateurs de surface : Approche rhéologique. Journées Internationales d'Etude du CEBEDEAU. La Tribune de l'eau, Vol 49, Num 583-84, ref : 15 ref
- **Rodier J., 2009.** L'analyse de l'eau. 9^{ème} édition : DUNOD. Paris.
- **Sadashivaiah C., Ramakrishnaiah C.R. et Ranganna G., 2008.** Hydrochemical analysis and evaluation of groundwater quality in Tumkur Taluk, Karnataka State, India. International Journal of Environmental Research and Public Health 30.
- **Safa A., 2010.** Contribution à l'étude hydrogéologique du bassin versant de la Mina, zone aride à semi-aride (Hautes plaines oranaises, Algérie nord occidentale), thèse de doctorat d'état en géologie, université d'Oran, p 21.

- **Sapan P., Laverrière R., Tissot J.M., Mage N., Pachova T., N'Duakulu J.J., Nançoz M., Bourguignon C., Jimaja S., Joseph S., Roux L., De Figueiredo M., Jacot Descombes E., Auzanneau N., Sauterel F., Cerato L. et Constenla Martinez J.A., 2013.** Sampling and Analysis of Natural Water. University of Genève. pp 88.
- **Sedran J., 1958.** Volcanisme du tell oranais. ANRH, Oran.
- **Simler R., 2007.** Diagramme : Logiciel Libre du Laboratoire d'Hydrogéologie. Université d'Avignon, Logiciel d'hydrochimie multilingue en distribution libre.
- **Simsek C. et Gunduz O., 2007.** IWQ Index: A GIS-Integrated Technique to Assess Irrigation Water Quality. *Environ Monit Assess* 128:227–300.
- **Spandana M.P., Suresh K.R. et Prathima B., 2013.** Developing an Irrigation Water Quality Index for Vrishabavathi Command Area. *International Journal of Engineering Resources & Technology (IJERT)* Vol. 2 Issue 6.
- **Subra Rao N., 2006.** Seasonal variation of groundwater quality in a part of Guntur district. Andhra Pradesh, India. *Environ. Geol.*, n° 49, pp. 413-429.
- **Tabet Aoul M., 2008.** Impacts du changement climatique sur les agricultures et les ressources hydriques au Maghreb, note d'alerte du CIHEAM, N° 48.
- **Terra M., 2007.** Le secteur de l'eau en Algérie. État des lieux, stratégie de développement, conférence des directeurs de l'eau des pays euro-méditerranéens et de l'Europe du sud-est, Athènes.
- **Thomas G., 1985.** Géodynamique d'un bassin intramontagneux, Le bassin du Bas-Chéelif occidental durant le mio-plio-quadernaire. Unpublished Doctorat d'Etat, Université de Pau, France. pp173.
- **Thornthwaite C.W., 1948.** An approach toward a rational classification of climate: *Geographical Review*, v. 38, p. 55–94.
- **Tixeront J. et Berkaloff E., 1956.** Méthodes d'étude et d'évaluation de l'érosion en Tunisie (10^{ème} Assemblée UGGI, Rome). *AIHS*. n° 36, pp.172-177.
- **Todd D., 1980.** Groundwater, 2nd ed. Wiley, New York, 535p.
- **Touhari F., Mehaiguene M. et Messelmi H., 2018.** Évolution de la qualité des eaux des barrages dans le bassin du Haut Cheliff, SAGREN Systèmes Agricoles et Environnement, SAGREN, Vol 02, N° 01.
- **Toumi N., Hussein B.H. et Rafrafi S., 2015.** Groundwater quality and hydrochemical properties of Al-Ula region, Saudi Arabia. *Environmental Monitoring and Assessment* 187: 84.

- **Turc L., 1961.** Evaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle. Ann. Agronomique INRA, vol. 12 n°1, pp. 13-49.
- **UNESCO, 2003.** L'eau pour les hommes, l'eau pour la vie. Rapport mondial pour l'évaluation des ressources en eau.
- **Van Der Lelij A. et Poolman G., 1989.** EM-38 applications in irrigated areas of southern New South Wales, resource - monitoring workshop. Proceedings and abstracts, Department of Agriculture and Rural Affairs, Institute for Irrigation and Salinity Research, Tatura, Victoria, Vol. 1, 13 pages.
- **Verdeil P., 1988.** Abaque pour le calcul du déficit d'écoulement en Algérie. 2^{ème} séminaire. Sciences. de la Terre. Alger.
- **Welsch J., 1890.** Les terrains crétacés du Seressou occidental et du Lehou. Bulletin Société géologique. France, 3eme série, XVIII, pp. 493-510.
- **Wilcox L.V., 1948.** The quality of water for agricultural use. éd. US Department of Agriculture, Technical Bulletin, vol. 962, Washington.
- **Wilcox L.V., 1955.** Classification and use of irrigation waters. *US. Department of Agriculture*. Circular, n° 969, 19 p.
- **Wundt W., 1937.** Beziehungen zwischen Mittelwerten von Niederschlag, Abfluss, Verdunstung und Luft-temperatur für die Landflächen der Erde. Deutsche Wasserwirtschaft 5/6, n°32.

Webmasters :

- **Webmaster1.** <https://www.picbleu.fr/page/aleas-climatiques-risques-naturels-et-change-ment-climatique>
- **Webmaster2.** <http://sigesaqi.brgm.fr/Impact-du-changement-climatique-sur-les-ressour-ces-en-eau.html#header>
- **Webmaster 3.** <https://www.oieau.fr/Mediatheque/illustrations/la-part-deau-douce-sur-terre>
- **Webmaster 4.** <http://sigesmpy.brgm.fr/spip.php?article333>
- **Webmaster5.** <http://www.grec-sud.fr/article-cahier/articles-du-cahier-eau/la-gestion-de-leau-face-au-changement-climatique-un-pas-vers-ladaptation/caracterisation-des-benefi-ces-economiques-lies-a-la-preservation-des-eaux-souterraines/>
- **Webmaster6.** <http://www.grec-sud.fr/article-cahier/articles-du-cahier-eau/la-gestion-de-leau-face-au-changement-climatique-un-pas-vers-ladaptation/les-ressources-non-conve-ntionnelles-peuvent-elles-constituer-une-piste-dadaptation/>

ANNEXE I

Variations pluviométriques mensuelles de la station d'Ain Témouchent (x= 153.5 ,y= 227.0)

Année	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avri	Mai	Jun	Jul	Aou	
1980	30.0	37.9	25.2	124.1	43.5	66.7	41.4	96.5	8.9	61.3	0.7	1.7	537.9
1981	9.9	2.8	0.0	24.2	24.2	74.4	3.9	50.5	86.4	2.2	2.4	1.6	282.5
1982	4.1	51.9	86.9	70.1	0.0	56.8	25.7	4.3	6.8	0.0	2.0	2.3	310.9
1983	0.0	0.2	14.8	64.0	43.0	50.4	46.1	1.8	81.9	1.5	0.0	0.0	303.7
1984	7.1	10.6	256.7	40.0	38.8	21.4	63.4	54.5	43.7	0.4	0.0	0.0	536.6
1985	0.5	0.7	77.9	44.7	70.4	108.2	56.5	48.1	5.6	2.0	0.0	1.8	416.4
1986	50.8	43.7	57.4	42.0	45.6	102.4	1.1	0.8	9.7	2.2	18.6	1.7	376.0
1987	39.0	15.9	55.4	39.6	89.7	13.0	9.9	29.5	40.2	18.1	0.0	0.0	350.3
1988	20.9	2.3	36.9	9.8	38.3	20.4	155.9	60.0	10.0	0.5	0.5	4.1	359.6
1989	11.2	1.9	10.5	27.6	147.6	0.0	41.0	90.8	27.0	0.0	1.0	0.0	358.6
1990	8.7	7.4	66.1	43.6	69.0	58.0	142.7	6.6	8.3	0.0	0.0	1.4	411.8
1991	7.2	55.7	50.0	17.6	32.5	20.2	77.0	9.6	99.5	28.1	0.0	0.0	397.4
1992	0.7	13.8	25.5	13.0	4.2	86.3	27.7	48.6	43.6	3.9	1.5	0.3	269.1
1993	6.3	20.5	77.3	5.3	67.0	46.7	5.6	26.9	6.7	0.5	2.8	2.8	268.4
1994	22.7	29.1	24.3	8.5	38.8	94.9	93.3	31.0	0.0	12.7	1.5	0.4	357.2
1995	9.2	10.6	26.0	49.4	66.0	83.1	40.6	24.8	25.6	7.7	0.5	1.7	345.2
1996	42.1	11.6	25.2	62.4	124.2	0.0	0.0	52.5	10.1	1.5	1.0	7.3	337.9
1997	38.7	19.5	90.3	42.7	20.2	38.5	31.2	40.9	30.2	1.1	0.5	1.9	355.7
1998	3.4	9.3	33.9	5.7	141.9	58.6	58.2	0.0	1.5	0.7	0.0	0.0	313.2
1999	17.2	30.4	102.7	70.2	5.6	0.0	6.1	35.2	49.4	0.0	0.0	1.1	317.9
2000	60.3	116.5	62.7	33.2	112.0	74.4	3.6	3.3	17.7	0.2	0.5	0.0	484.4
2001	22.6	19.0	159.6	41.4	2.1	6.7	24.1	70.7	41.7	1.5	0.0	19.1	408.5
2002	0.2	30.1	139.8	9.7	97.1	105.0	33.7	24.4	15.7	0.9	0.0	0.7	457.3
2003	0.7	35.1	41.0	96.2	41.5	19.2	25.6	24.6	70.4	13.4	0.0	6.4	374.1
2004	0.2	49.5	43.3	77.9	23.6	49.8	39.2	22.5	0.8	0.0	0.0	0.8	307.6
2005	4.6	18.5	55.7	34.4	59.6	78.2	18.0	37.4	37.8	2.2	0.0	0.4	346.8
2006	23.2	3.9	10.0	80.0	18.7	37.5	127.9	73.9	0.9	0.0	0.2	0.6	376.8
2007	26.7	125.2	45.2	16.5	21.4	33.0	15.6	11.4	21.5	0.0	0.0	0.0	316.5
2008	21.3	94.9	95.7	145.3	135.1	24.2	35.3	38.2	10.0	0.0	0.0	0.7	600.7
2009	80.6	1.5	21.7	64.4	114.4	66.1	82.5	22.0	9.9	15.0	0.2	12.0	490.3
2010	3.5	83.9	59.2	24.6	81.6	39.6	24.9	105.1	44.3	8.8	0.0	2.0	477.5
2011	5.2	52.5	154.6	31.2	39.1	30.6	32.2	45.9	8.2	0.3	11.0	0.0	410.8
2012	8.5	45.0	183.2	29.9	113.7	66.9	64.0	106.1	43.5	0.0	0.0	1.0	661.8
2013	66.5	18.0	141.5	131.4	105.1	32.5	37.8	4.8	15.0	8.2	20.2	0.0	581.0
2014	48.0	20.2	94.2	98.0	114.9	70.0	23.0	3.0	25.0	6.0	0.0	0.0	502.3
	20.1	31.1	70.0	49.1	62.6	49.5	43.3	37.3	27.4	5.7	1.9	2.1	400.1

Variations de la température mensuelle de la station ITMA Aïn Témouchent.

Année	Paramètres	Jan	Fév	Mrs	Avr	Mai	Jun	Jul	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
1994	T max											25.4	24
	T min											18.5	2.9
	T moy											21.95	14.45
1995	T max	22.7	25	27	30	32	37.4	39	39	36.5	33	30.6	24.1
	T min	3.5	5	14.1	4.5	12	14	17.1	19.4	13	13.5	8.5	6.5
	T moy	13.1	15	20.55	17.25	22	25.7	28.05	29.2	24.75	23.25	19.55	15.3
1996	T max	25	20	27.5	26.9	35	35.7	40	35.5	35.3	29.5	28.9	23
	T min	7	0	5	9	8.5	12.6	15.5	17.2	15	10	8	5
	T moy	16	10	16.25	17.95	21.75	24.15	27.75	26.35	25.15	19.75	18.45	14
1997	T max	6	23.5	27.1	31.5	29.8	33	38.1	38.6	35.1	32.5	30	23.7
	T min	5	7	7.1	8.4	11.9	13.5	13.5	17.9	17	9.5	8.4	5.8
	T moy	14.25	15.25	17.1	19.95	20.85	23.25	25.8	28.25	26.05	21	20.2	14.75
1998	T max	20.8	22.5	28.7	31	31.3	33	41	40	34	30	26	20.3
	T min	5.5	4.5	5	7	7.8	14	17	17.5	21.3	10	6	3.5
	T moy	13.15	13.5	16.85	19	19.55	23.5	29	28.75	27.65	20	16	11.9
1999	T max	21.5	19	24	27.9	34.1	40.5	39.2	42.2	35.6	33.9	28.1	19
	T min	3.5	2	6.5	9	11.3	15	18	20	14.5	13.5	4	0
	T moy	12.5	10.5	15.25	18.45	22.7	27.75	28.6	31.1	25.05	23.7	16.05	9.5
2000	T max	21.2	23.2	26.5	27.6	35.6	38.5	38.6	42.5	34	30	26.3	24.5
	T min	4.2	6	6.5	7.5	11	14.5	17.5	17.5	13	8.2	7.3	7.3
	T moy	12.7	14.6	16.5	17.55	23.3	26.5	28.05	30	23.5	19.1	16.8	15.9
2001	T max	22	21.5	34.5	26.5	34	35.3	40	40.5	36.2	35	24.5	20.5
	T min	5.5	5.5	8	7.5	8.4	13.8	17	19	16.5	14	3	5.4
	T moy	13.75	13.5	21.4	17	21.2	24.55	28.5	29.75	26.35	24.5	13.75	12.95
2002	T max	21	24.5	27	31.3	35	35.5	39.8	38.5	36.5	28.5	26.5	25.6
	T min	5.5	5.7	6.5	6.5	9	22	16	16.5	16.5	10.3	8.5	0.6
	T moy	13.25	15.1	16.75	18.9	22	28.75	27.9	27.5	26.5	19.4	16.66	13.1
2003	T max	20.5	20.5	24	29.5	32	38	41	41	32.5	32	24.5	21.3
	T min	0.2	2	6	5	9.5	16.5	19.5	20	16	11	8.5	4
	T moy	10.26	10.98	14.28	17.25	20.75	27.25	30.25	30.5	24	21.5	16.5	12.65
2004	T max	21.3	22.3	23	29.1	32	37	40	46	37	37.5	22	21.6
	T min	3	4.5	1	6	8.5	13.9	17	18.5	16	10.5	7	0
	T moy	12.15	13.4	12	17.55	20.2	24.6	28.5	32.2	26.5	24	14.5	10.8
2005	T max	20.5	20.5	28	26	35.6	37.5	41	41	36.6	34.5	26.5	16.6
	T min	0	0	3	5.5	11.8	14.8	17.29	18.2	15	13	6.3	7.8
	T moy	10.25	10.25	15.5	15.75	23.7	26.15	29.7	29.6	25.8	23.7	16.4	12.2
2006	T max	14.2	15.8	20.2	29.5	40.5	38	32.1	32.4	29.3	27.7	22.7	14.9
	T min	6.98	7.84	10.2	10.5	11.6	11.5	19.8	20.7	18.9	16.5	14.2	8.8
	T moy	10.5	11.8	15.2	20	26.05	24.7	25.9	26.5	24.1	22.15	18.4	11.8
2007	T max	15.8	17.85	19.2	18.1	25.16	28	31.7	32.8	29.8	22.8	17.9	14
	T min	7.98	9.87	8.4	11.1	14.48	17.3	19	20.2	20.1	14.7	10.7	8.6
	T moy	11.9	13.86	13.8	14.6	19.8	22.6	25.3	26.5	24.9	18.8	14.3	11.2
2008	T max	15.6	17	15.95	23.5	23.3	28.0	36.0	33.1	28.7	23.8	17.8	14.0
	T min	8.07	8.5	7.82	11.8	14.3	17.2	24.3	22.1	19.6	15.79	10.0	7.0
	T moy	17.6	12.75	11.88	18.9	37.6	22.6	30.15	27.6	24.15	19.8	13.9	10.5
2009	T max	10.3	7.5	9.6	21	26.2	30.8	34.7	31.6	27	26.4	21.4	19
	T min	14.3	17	19.1	10.2	14.6	19.1	22.4	21	18.8	16.9	13.1	10.7
	T moy	12.3	9.5	10.4	15.7	20.4	24.9	28.3	26.3	22.9	21.7	17.3	14.8
2010	T max	15.8	18.05	18.1	21.1	24.8	28.11	33.07	33.98	29.6	23.8	18.8	17.8
	T min	9.3	9.9	10.2	12.6	14.18	18.11	21.7	22.33	19.5	15.2	11.4	9.7
	T moy	12.5	14.23	14.2	17.09	19.38	23.42	27.23	28.15	24.5	19.5	15.1	13.8
2011	T max	15.6	12.7	19.51	24.05	25.8	29.95	33	33.79	29.5	25.4	19.04	16.1
	T min	8.2	6.2	9.6	12.9	15.9	18.66	21.49	22.54	19.4	16	12.28	8.7
	T moy	11.9	9.45	14.56	18.55	20.8	24.3	27.25	28.04	24.5	20.7	15.66	12.4
2012	T max	15.1	13.3	17.2	19.3	26.75	30.2	32.2	31.2	24.1	24.1	18.7	17.1
	T min	7.2	5	9.3	11.2	15	20.2	21.3	22.6	15.8	15.8	12.6	9.9
	T moy	11.15	9.3	13.2	15.2	21	25.2	26.8	21.05	19.8	19.8	15.6	13.5
2013	T max	16.2	15.2	18.2	19.6	22.4	26.7	30.4	32.6	26.5	22	18	17.6
	T min	8.9	7.1	10.7	10.8	13.7	16.1	20	21.3	19.6	15	14	10
	T moy	12.5	11.1	14.4	15.5	18	21.4	25.1	27	23.1	18.5	16	13.8

ANNEXE II



	METHODE D'ESSAI	MEAC-LAB 06
	LABORATOIRES DE L'ADE	Version 1
	DETERMINATION DU PHOSPHORE PAR SPECTROMETRIE A L'AIDE DU MOLYBDATE D'AMMONIUM	Xx/XXX/20xx Page 1/5

TABLE DES MATIERES

1. OBJET	2
2. DOMAINE D'APPLICATION.....	2
3. PRINCIPE.....	2
4. ECHANTILLONNAGE.....	2
5. MÉTHODE DE TRAVAIL.....	2
REACTIFS ET MATERIEL	2
TRAITEMENT DES ECHANTILLONS	3
PARTIE EXPERIMENTALE	3
MESURES ET CALCUL DU RESULTAT.....	4
ENREGISTREMENT DU RESULTAT.....	4
6. CONTRÔLE DE QUALITÉ.....	4
7. MESURES DE SÉCURITÉ	5
SECURITE ET HYGIENE.....	5
PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT.....	5
8. REMARQUES	5
9. REFERENCES.....	5

	METHODE D'ESSAI	MEAC-LAB 06
	LABORATOIRES DE L'ADE	Version 1
	DETERMINATION DU PHOSPHORE PAR SPECTROMETRIE A L'AIDE DU MOLYBDATE D'AMMONIUM	Xx/XXX/20xx Page 2/5

1. OBJET

L'objet de la présente est de décrire la mesure des orthophosphates par spectrométrie.

2. DOMAINE D'APPLICATION

Cette méthode de dosage s'applique aux différents types d'eaux : souterraines, de surface et résiduaires, à des concentrations variable à l'état dissous et non dissous. Les teneurs en orthophosphates peuvent être déterminées sans dilution pour des échantillons dont les concentrations se situent entre 0,04 et 0.4 mg/l.

3. PRINCIPE

C'est une réaction des ions orthophosphates avec une solution acide contenant des ions molybdate et d'antimoine pour former un complexe d'antimonyl-phosphomolybdate.

4. ECHANTILLONNAGE

Prélever des échantillons pour laboratoire dans des bouteilles en polyéthylène, polychlorure de vinyle ou, de préférence, en verre. En cas de faible concentration de phosphate, utiliser des bouteilles en verre (voir INQ-LAB 05).

5. MÉTHODE DE TRAVAIL

Réactifs et matériel


Réactifs

a) Acide sulfurique à 9 mol/L (dilution de 1/2)

Introduire 500 ml \pm 5 ml d'eau dans un bécher de 2L. Ajouter avec précaution, sous agitation et refroidissement continu, 500 ml \pm 5 ml d'acide sulfurique ($\rho = 1.84$ g/ml). Bien mélanger et laisser la solution refroidir à température ambiante.

b) Réactif mélange (solution molybdate acide)

Dissoudre 13 g \pm 0.5 g d'heptamolybdate d'ammonium tétrahydraté $[(NH_4)_6Mo_7O_{24}, 4H_2O]$ dans 100 ml \pm 5 ml d'eau. Dissoudre 0.35 g \pm 0.05 g de tartrate de potassium et d'antimoine hémihydraté $[K(SbO)C_4H_4O_6, 1/2H_2O]$ dans 100 ml \pm 5 ml d'eau. Ajouter, tout en agitant, la solution de molybdate à 300 ml \pm 5 ml d'une solution d'acide sulfurique à 9 mol/L. Ajouter la solution de tartrate et bien mélanger. Conservé dans une bouteille en verre brun, ce réactif est stable pendant au moins deux mois.

	METHODE D'ESSAI	MEAC-LAB 06
	LABORATOIRES DE L'ADE	Version 1
	DETERMINATION DU PHOSPHORE PAR SPECTROMETRIE A L'AIDE DU MOLYBDATE D'AMMONIUM	Xx/XXX/20xx Page 3/5

c) Acide ascorbique, solution, $\rho = 100 \text{ g/l}$

Dissoudre $10 \text{ g} \pm 0.5 \text{ g}$ d'acide ascorbique ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$) dans 100 ml d'eau. Cette solution est stable pendant deux semaines si elle est conservée dans une bouteille en verre brun au réfrigérateur et peut être utilisée tant qu'aucune coloration n'apparaît.

d) Orthophosphates, solution mère, $\rho = 50 \text{ mg/l}$

Sécher quelques grammes de dihydrogénophosphate de potassium jusqu'à masse constante à 105°C . Dissoudre $0.2197 \text{ g} \pm 0.0002 \text{ g}$ de KH_2PO_4 dans environ $800 \text{ ml} \pm 10 \text{ ml}$ d'eau dans une fiole jaugée de 1000 ml. Ajouter $10 \text{ ml} \pm 0.5 \text{ ml}$ de solution d'acide sulfurique (dilution de $\frac{1}{4}$) et compléter au volume avec de l'eau.

Conserver dans un flacon en verre bouché, cette solution est stable pendant au moins trois mois. Une réfrigération à environ 4°C est recommandée.

e) Orthophosphates, solution étalon, $\rho = 2 \text{ mg/l}$

Introduire, à l'aide d'une pipette, $20 \text{ ml} \pm 0.01 \text{ ml}$ de la solution mère d'orthophosphates dans une fiole jaugée de 500 ml. Compléter au volume avec de l'eau et bien mélanger. Préparer et utiliser cette solution le jour de l'emploi.

Matériel

- Balance analytique à $0,1 \text{ g}$ et à $0,0001 \text{ g}$ près.
- Spectromètre doit convenir pour la mesure de l'absorbance dans les régions du spectre visible et proches de l'infrarouge. La longueur d'onde la plus sensible est 880 nm , mais si une perte de sensibilité peut être admise l'absorbance peut être mesurée à 700 nm .


Traitement des échantillons

- Pas d'application.

Partie expérimentale

Nettoyage de la verrerie.

La verrerie doit être lavée avec une solution d'acide chlorhydrique (1.12 g/ml) à environ 40°C à 50°C et rincée soigneusement avec de l'eau. Ne pas utiliser de détergents contenant des phosphates. La verrerie utilisée pour la phase de développement de la coloration doit être rincée de temps en temps avec une solution d'hydroxyde de sodium (2 mol/l) à fin d'éliminer les dépôts de

	METHODE D'ESSAI	MEAC-LAB 06
	LABORATOIRES DE L'ADE	Version 1
	DETERMINATION DU PHOSPHORE PAR SPECTROMETRIE A L'AIDE DU MOLYBDATE D'AMMONIUM	Xx/XXX/20xx Page 4/5

complexe coloré qui ont tendance à adhérer en fines couches aux parois de la verrerie.

Calibration

N° Fiole	0	1	2	3	4	5	6
S.fille à 2.0 mg/l P (mL)	0	0.8	1.6	2	4	6	8
qsp 40 ml eau distillée (mL)	40	39.2	38.4	38	36	34	32
Conc. mg/l en P	0.0	0.04	0.08	0.1	0.2	0.3	0.4
Conc. mg/l en PO₄³⁻	0.0	0.1224	0.2448	0.306	0.612	0.918	1.224
Formule : $P \times 3.06 = PO_4^{3-}$							
Acide ascorbique (mL)	1	1	1	1	1	1	1
Réactif –mélange (mL)	2	2	2	2	2	2	2
qsp 50 ml eau distillée en mL	7	7	7	7	7	7	7

Après un laps de temps compris entre 10 à 30 min, mesurer l'absorption à 880 nm.

Dosage

Introduire 40 ml d'échantillon, ajouter 1 ml d'acide ascorbique et 2mL de réactif mélange dans une fiole jaugé de 50 ml. Compléter le volume.
Effectuer parallèlement au dosage, un essai à blanc en suivant le même mode opératoire en utilisant les mêmes quantités de réactif mais en employant le même volume approprié d'eau distillée à la place de la prise d'essai.

Mesures et calcul du résultat


Les résultats sont retranscrits sur la feuille des résultats puis dans une trame informatique.

Enregistrement du résultat

Les résultats sont retranscrits sur la feuille des résultats puis dans une trame informatique.

6. CONTRÔLE DE QUALITÉ

Contrôle de la concentration d'une solution connu comme contrôle de qualité.
Si la valeur observée sort des limites définies sur la carte de contrôle correspondante, une action corrective est prise.

	METHODE D'ESSAI	MEAC-LAB 06
	LABORATOIRES DE L'ADE	Version 1
	DETERMINATION DU PHOSPHORE PAR SPECTROMETRIE A L'AIDE DU MOLYBDATE D'AMMONIUM	Xx/XXX/20xx Page 5/5

7. MESURES DE SÉCURITÉ

Sécurité et hygiène

- H₂SO₄ : corrosif.

Protection de l'environnement

- Pas d'application.

8. REMARQUES

- Si l'échantillon pour essai est trouble et/ou coloré, il convient de le filtrer.
- Si l'échantillon pour essai comporte une forte concentration en orthophosphates, il convient de réduire le volume de la prise d'essai.


9. REFERENCES

- NA 2364/1994 – Qualité de l'eau— dosage spectrométrique du phosphore en utilisant le molybdate d'ammonium
- ISO 6878/1:1998 (F) Qualité de l'eau — dosage spectrométrique du phosphore en utilisant le molybdate d'ammonium
- Norme ISO 5667 : 2004(F) Qualité de l'eau - échantillonnage

	METHODE D'ESSAI	MEAC-LAB 07
	LABORATOIRES DE L'ADE	Version 01
	DETERMINATION DES SULFATES	22/08/2013 Page 1/ 4

TABLE DES MATIERES

1. OBJET	2
2. DOMAINE D'APPLICATION.....	2
3. PRINCIPE.....	2
4. ÉCHANTILLONNAGE.....	2
5. MÉTHODE DE TRAVAIL.....	2
REACTIFS ET MATERIEL	2
TRAITEMENT DES ECHANTILLONS	3
PARTIE EXPERIMENTALE	3
MESURES ET CALCUL DU RESULTAT	3
ENREGISTREMENT DU RESULTAT	4
6. CONTRÔLE DE QUALITÉ.....	4
7. MESURES DE SÉCURITÉ	4
SECURITE ET HYGIENE.....	4
PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT	4
8. REMARQUES	4
9. REFERENCES... ..	4

	METHODE D'ESSAI	MEAC-LAB 07
	LABORATOIRES DE L'ADE	Version 01
	DETERMINATION DES SULFATES	22/08/2013 Page 2/ 4

1. OBJET

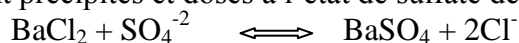
L'objet de la présente est de décrire la détermination des sulfates par spectroscopie.

2. DOMAINE D'APPLICATION

Cette méthode de dosage s'applique aux eaux de distribution, souterraines et de surface.

3. PRINCIPE

Les ions sulfates sont précipités et dosés à l'état de sulfate de baryum suivant la réaction :



4. ÉCHANTILLONNAGE

Effectuer des prélèvements dans des bouteilles en verre ou en polyéthylène et conserver à 4°C à une période n'excédant pas les 7 jours (voir INQ-LAB 05).

5. MÉTHODE DE TRAVAIL

Réactifs et matériel

Réactifs

a) Solution stabilisante

Dans une fiole jaugée de 1000 ml, mettre 100 ml d'eau distillée, ajouter successivement 60 ml d'acide chlorhydrique pur (HCl : d= 1.19), 200 ml d'éthanol (C₂H₅OH), 150 g de chlorure de sodium (NaCl) et 100 ml de glycérol ; compléter à 1000 ml avec de l'eau distillée.

Cette solution se conserve deux semaines en flacon brun à 4°C.


b) Solution de chlorure de baryum (BaCl₂) à 0.01N

Peser 150g de chlorure de baryum (BaCl₂, ajouter 5 ml d'acide chlorhydrique ; dans une fiole de 1000ml et compléter jusqu'au trait de jauge. Cette solution se conserve deux semaines en flacon brun à 4°C.

c) Solution mère de sulfates à 1 g/l à partir de sulfate de sodium (Na₂SO₄)

Peser 1,479 g de sulfate de sodium (Na₂SO₄), la mettre dans une fiole jaugée de 1 000 ml et compléter jusqu'au trait de jauge avec de l'eau distillée.

La solution se conserve pendant 2 mois si elle est mise à l'abri de la lumière dans un flacon brun à 4°C.

	METHODE D'ESSAI	MEAC-LAB 07
	LABORATOIRES DE L'ADE	Version 01
	DETERMINATION DES SULFATES	22/08/2013 Page 3/ 4

Matériel

- Matériel courant de laboratoire (fioles, pipettes, béchers ...)
- Spectrophotomètre UV/Visible
- Agitateur magnétique

Traitement des échantillons

- Pas d'application.

Partie expérimentale

Préparation des échantillons.

Les échantillons troubles ou colorés doivent passer par un filtre de 0.45 μm .

Calibration

N° Fiole	0	1	2	3	4	5	6	7
Solution mère à 1 g/l (mL)	0	1	2	3	4	5	6	7
qsp eau distillée (mL)	100	99	98	97	96	95	94	93
Solution stabilisante (mL)	5	5	5	5	5	5	5	5
Agiter énergiquement pendant 1 mn.								
Solution BaCl₂ (mL)	2	2	2	2	2	2	2	2
Agiter énergiquement pendant 1 mn.								
Conc. Finale en SO₄²⁻ en mg/L	0	10	20	30	40	50	60	70


- Enregistrer la gamme dans le spectrophotomètre à la longueur d'onde $\lambda = 420 \text{ nm}$.

Dosage

Procéder comme décrit à la calibration en effectuant un essai à blanc en suivant le même mode opératoire en utilisant les mêmes quantités de réactif mais en employant le même volume approprié d'eau distillée à la place de la prise d'essai.

Mesures et calcul du résultat

Les résultats sont exprimés en SO₄²⁻ mg/L.

	METHODE D'ESSAI	MEAC-LAB 07
	LABORATOIRES DE L'ADE	Version 01
	DETERMINATION DES SULFATES	22/08/2013 Page 4/ 4

Enregistrement du résultat

Les résultats sont retranscrits sur le cahier de poste puis enregistrés dans la trame informatique.

6. CONTRÔLE DE QUALITÉ

Contrôle de la concentration d'une solution comme contrôle de qualité.

Un contrôle de qualité est utilisé afin de vérifier la dérive de l'équipement ou un dysfonctionnement en cours de série. A cette fin, une solution de contrôle de concentration connue est analysée au moins une fois par série.

Si la valeur observée sort des limites définies sur la carte de contrôle correspondante, une action corrective est prise.

7. MESURES DE SÉCURITÉ

Sécurité et hygiène

- HCl : corrosif.
- C₂H₅OH : toxique et inflammable.

Protection de l'environnement

- Pas de protection

8. REMARQUES

- Toujours utiliser des cuvettes propres et en très bon état. Les cuvettes sales, rayées ou endommagées conduisent à des mesures inexactes.
- Veiller à agiter avant chaque mesure.
- Ajouter au fur et à mesure la solution de BaCl₂ dans chaque bécher et non à la fois.
- Après ajout de la solution de BaCl₂ couvrir le bêcheur à l'aide d'un couvercle propre (exp : couvercle de la boîte de pétri) afin d'éviter quelques pertes et quantifier l'échantillon dans l'immédiat.

9. REFERENCES

- Analyses de l'eau, J.RODIER, p.214 (8^{ème} édition).
- Norme ISO 5667 : 2004(F) Qualité de l'eau – échantillonnage.



	METHODE D'ESSAI	MEAC-LAB 08
	LABORATOIRES DE L'ADE	Version 1
	DOSAGE DES CHLORURES-TITRAGE AU NITRATE D'ARGENT AVEC DU CHROMATE DPOTASSIUM (METHODE DE MOHR)	Xx/XXX/20xx Page 1/5

TABLE DES MATIERES

1. OBJET	2
2. DOMAINE D'APPLICATION	2
3. PRINCIPE.....	2
4. ECHANTILLONNAGE.....	2
5. METHODE DE TRAVAIL.....	2
REACTIFS ET MATERIEL	2
PARTIE EXPERIMENTALE	3
EXPRESSION DES RESULTATS	4
6. CONTROLE DE QUALITE.....	4
7. MESURE DE SECURITE	4
SECURITE ET HYGIENE.....	4
PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT	5
8. REMARQUES	5
9. REFERENCES	5

	METHODE D'ESSAI	MEAC-LAB 08
	LABORATOIRES DE L'ADE	Version 1
	DOSAGE DES CHLORURES-TITRAGE AU NITRATE D'ARGENT AVEC DU CHROMATE DPOTASSIUM (METHODE DE MOHR)	Xx/XXX/20xx Page 2/5

1. OBJET

L'objet de la présente prescrit une méthode titrimétrique pour le dosage des chlorures dissous dans l'eau (méthode de Mohr).

2. DOMAINE D'APPLICATION

Cette méthode est applicable pour le dosage des chlorures dans les eaux de distribution, souterraines et de surface.

3. PRINCIPE

Réaction des ions chlorures avec des ions argent pour former du chlorure d'argent insoluble qui est précipité quantitativement. Addition d'un petit excès d'ions argent et formation du chromate d'argent brun-rouge avec des ions chromates qui ont été ajoutés comme indicateur. Cette réaction est utilisée pour l'indication du virage. Durant le titrage, le pH est maintenu entre 5 et 9.5 afin de permettre la précipitation.

4. ECHANTILLONNAGE

Les échantillons sont prélevés dans des bouteilles en polyéthylène (voir INQ-LAB 05).

5. METHODE DE TRAVAIL

Réactifs et matériel

Réactifs


a) **Solution de nitrate d'argent (AgNO_3) à 0,02 mol/l**

Dissoudre dans l'eau 3.3974 g de nitrate d'argent (AgNO_3) séchés au préalable à 105 °C et compléter à 1000 ml dans une fiole jaugée.

Si la solution est conservée à l'obscurité dans une bouteille en verre brun munie d'un bouchon en verre, elle reste stable pendant plusieurs mois. La solution est étalonnée avec 10 ml d'une solution étalon de référence de chlorure de sodium (NaCl)

b) **Solution d'indicateur de chromate de potassium (K_2CrO_4) à 100 g/l**

Dissoudre 10 g de chromate de potassium (K_2CrO_4) dans l'eau et diluer à 100 ml.

	METHODE D'ESSAI	MEAC-LAB 08
	LABORATOIRES DE L'ADE	Version 1
	DOSAGE DES CHLORURES-TITRAGE AU NITRATE D'ARGENT AVEC DU CHROMATE DPOTASSIUM (METHODE DE MOHR)	Xx/XXX/20xx Page 3/5

c) **Solution étalon de chlorure de sodium (Na Cl) à 0.02 mol/l**
Dissoudre 1.1688 g de chlorure de sodium (Na Cl) séchés au préalable à 105°C et compléter à 1000 ml d'eau distillée.

d) **Solution d'acide nitrique (HNO₃) à 0.1 mol/l**

Cette solution doit-être conservée dans un flacon en verre et elle est stable indéfiniment. Utilisée pour réajuster un pH supérieur à 9.5.

e) **Solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) à 0.1 mol/l**

Dissoudre 4 g d'hydroxyde de sodium (NaOH) dans l'eau et compléter à 1000 ml.
Solution utilisée pour réajuster un pH inférieur à 5.

f) **Carbonate de calcium (CaCO₃) ou mono hydrogénocarbonate de sodium (NaHCO₃) en poudre**

Matériel

- Burette ;
- Capsules en porcelaine de 100 ml ;
- Pipettes ;
- Fioles ;
- Bécher.

Partie expérimentale


Dosage

Introduire 100 ml de l'échantillon dans une capsule en porcelaine blanche ou dans une fiole ou dans un bêcheur conique, placé sur un fond blanc.

Ajouter 1 ml d'indicateur de chromate de potassium (**b**) et titrer la solution par addition goutte à goutte de solution de nitrate d'Argent jusqu'à ce que la solution prenne une couleur rougeâtre. Après addition d'une goutte de solution de Chlorure de Sodium cette coloration doit disparaître.

Essai à blanc

Titre une solution à blanc en utilisant 100 ml d'eau distillée à la place de l'échantillon pour essai. La valeur de l'essai à blanc ne devrait pas dépasser 0.2 ml de Nitrate d'Argent (**a**), dans le cas contraire, vérifier la pureté de l'eau.

	METHODE D'ESSAI	MEAC-LAB 08
	LABORATOIRES DE L'ADE	Version 1
	DOSAGE DES CHLORURES-TITRAGE AU NITRATE D'ARGENT AVEC DU CHROMATE DPOTASSIUM (METHODE DE MOHR)	Xx/XXX/20xx Page 4/5

Expression des résultats

La concentration en chlorure P_{Cl} exprimée en milligrammes par litre, est donnée par formule

$$P_{Cl} = \frac{(V_s - V_b)}{V_a} \quad C f$$

Où

- P_{Cl} : est la concentration en milligramme par litre de chlorure.
- V_a : est le volume, en millilitres de l'échantillon pour essai (maximum 100 ml ; les dilutions doivent être prises en compte).
- V_b : est le volume, en millilitres de solution de Nitrates d'Argent utilisée pour le titrage de du blanc.
- V_s : est le volume, en millilitres de solution de Nitrates d'Argent utilisée pour le titrage de du l'échantillon.
- C : est la concentration réelle exprimée en moles d'AgNO₃ par litre, de la solution de Nitrate d'Argent.
- f : est le facteur de conversion $f=35453$ mg/mol

Donner le résultat à 1 mg/l près, avec seulement 3 chiffres significatifs.

6. CONTROLE DE QUALITE


Contrôle de la concentration d'une solution de chlorures à 500 mg/l:

Si la valeur observée sort des limites définies sur la carte de contrôle correspondante, une action corrective est prise.

7. MESURE DE SECURITE

Sécurité et hygiène

Lors de l'utilisation des réactifs chimiques, il est indispensable de disposer d'une protection oculaire, de masque, de vêtement de protection et d'extracteur d'air au laboratoire. Ces réactifs ne doivent jamais être pipetés à la bouche.

	METHODE D'ESSAI	MEAC-LAB 08
	LABORATOIRES DE L'ADE	Version 1
	DOSAGE DES CHLORURES-TITRAGE AU NITRATE D'ARGENT AVEC DU CHROMATE DPOTASSIUM (METHODE DE MOHR)	Xx/XXX/20xx Page 5/5

Protection de l'environnement

- Pas d'application

8. REMARQUES

- Si le pH de l'échantillon n'est pas compris entre 5 et 9.5, ajuster le pH en utilisant soit la solution d'acide nitrique (**d**), soit la solution d'hydroxyde de sodium (**e**), selon le cas, et noter le volume requis.
- S'il ya des ions ammonium dans l'échantillon à des concentrations supérieures à 10 mg/l, ajuster le pH entre 6.5 et 7.
- Ajuster le pH sur une partie aliquote, puis en prélever une autre et, cette fois-ci, sans mesurer le pH, ajouter les mêmes quantités de solutions d'acide/hydroxyde.
- Si le pH est inférieur à 5, et pour améliorer la capacité du tampon, il peut-être utile d'ajuster le pH à l'aide de carbonate de calcium ou d'hydrogénocarbonate de sodium (**f**). La quantité ajoutée devra être choisie de façon qu'un résidu de carbonate reste dans l'échantillon après dosage.

9. REFERENCES

- ISO 9297 – NA 6917 - Qualité de l'eau – Dosage de chlorures – Titration au nitrate d'argent avec du chromate comme indicateur (Méthode de Mohr)
- Méthode ISO 5667-3 :2003 (F) Techniques généralement appropriées pour la conservation des échantillons.



	METHODE D'ESSAI	MEAC-LAB 13
	LABORATOIRES DE L'ADE	Version 1
	DOSAGE DE LA SOMME DU CALCIUM ET MAGNESIUM PAR METHODE TITRIMETRIQUE A L'EDTA	Xx/XXX/20xx Page 1/5

TABLE DES MATIERES

1. OBJET	2
2. DOMAINE D'APPLICATION.....	2
3. PRINCIPE	2
4. ECHANTILLONNAGE	2
5. METHODE DE TRAVAIL.....	2
5.1. Réactifs et matériels.....	2
5.2. Traitement des échantillons	4
5.3. Partie expérimentale	4
5.4. Mesures et calcul du résultat	4
5.5. Enregistrement du résultat	5
6. CONTRÔLE DE QUALITÉ	5
7. MESURES DE SECURITE.....	5
8. REMARQUES	5
9. REFERENCES	5

	METHODE D'ESSAI	MEAC-LAB 13
	LABORATOIRES DE L'ADE	Version 1
	DOSAGE DE LA SOMME DU CALCIUM ET MAGNESIUM PAR METHODE TITRIMETRIQUE A L'EDTA	Xx/XXX/20xx Page 2/5

1. OBJET

Cette méthode d'essai a pour objet de déterminer la somme des concentrations en calcium et magnésium d'une eau.

2. DOMAINE D'APPLICATION

La méthode est applicable pour les eaux souterraines, les eaux de surfaces, les eaux destinées à la consommation humaine. Elle peut aussi être utilisée pour les eaux résiduaires urbaines et les eaux brutes industrielles, à condition qu'elles ne contiennent pas de métaux lourds en quantités interférentes.

La méthode n'est pas applicable aux eaux de mer et eaux du même type à forte teneur en sels.

3. PRINCIPE

Titration par complexométrie des ions calcium et magnésium avec une solution acqueeuse de sel disodique d'acide éthylène-diamine tétraacétique (EDTA) à un pH de 10. L'indicateur utilisé est le noir ériochrome T, qui donne une couleur rose en présence des ions calcium et magnésium.

Lors du titrage avec l'EDTA la solution vire au bleu.

4. ECHANTILLONNAGE

- Sans application

5. METHODE DE TRAVAIL


5.1. Réactifs et matériels

Réactifs

a) Calcium, solution étalon de référence à 0,01 mol/l

Sécher un échantillon de carbonate de calcium pur pendant 2 heures à 150 °C et laisser refroidir à la température ambiante dans un dessiccateur.

En introduire 1,001 g dans une fiole conique de 500 ml, et l'humidifier avec de l'eau. Ajouter goutte à goutte de l'acide chlorhydrique à 4 mol/l jusqu'à ce que tout le carbonate soit dissous.

	METHODE D'ESSAI	MEAC-LAB 13
	LABORATOIRES DE L'ADE	Version 1
	DOSAGE DE LA SOMME DU CALCIUM ET MAGNESIUM PAR METHODE TITRIMETRIQUE A L'EDTA	Xx/XXX/20xx Page 3/5

Eviter un excès d'acide. Ajouter 200 ml d'eau et porter à ébullition quelques minutes afin d'éliminer le dioxyde de carbone. Refroidir et ajouter quelques gouttes de l'indicateur au rouge de méthyle. Ajouter une solution ammoniacale à 3 mol/l jusqu'à ce que la solution devienne orange. Transvaser la solution dans une fiole jaugée de 1000 ml et amener au volume avec de l'eau distillée.

1 ml de la solution contient 0,4008 mg (0,01 mmol) de calcium.

b) EDTA, solution titrée à 0,01 mol/l

Sécher une portion d'EDTA, sel disodique dihydraté ($C_{10}H_{14}N_2O_8Na_2 \cdot 2H_2O$) à 80°C pendant 2 heures (étuve), dissoudre ensuite 3,725 g du sel sec dans de l'eau distillée et diluer à 1000 ml dans une fiole jaugée.

Conserver la solution d'EDTA dans une bouteille en verre ou en polyéthylène et en vérifier le titre de temps à autre (fréquence hebdomadaire et voir calcul de facteur de correction).

c) Solution tampon pH 10

Dissoudre 67,5 g de chlorure d'ammonium (NH_4Cl) dans 570 ml de solution ammoniacale [25 % (m/m) ; $Q_{20} = 0.91$ g/ml].

Ajouter ensuite 5 g du sel disodique de magnésium de l'EDTA ($C_{10}H_{12}N_2O_8Na_2Mg$) et diluer à 1000 ml avec de l'eau distillée.

Conserver la solution dans une bouteille en polyéthylène (durée de conservation 3 mois). Diluer 10 ml de cette solution dans une fiole de 100 ml (dilution au 1/10ème) avec de l'eau distillée et vérifier que le pH est de $10,0 \pm 0,5$.


d) Mordant noir 11, indicateur

Dissoudre 0,5 g de sel de sodium de mordant noir 11 (acide [hydroxy-1 naphtylazo-2) nitro-6 naphthol-2 sulfonique-4] ($C_{20}H_{12}N_3O_7SNa$) dans 100 ml de triéthanolamine [($HOCH_2$)₃N]. Il est possible d'ajouter jusqu'à 25 ml d'éthanol à la place de la triéthanolamine, afin de diminuer la viscosité de la solution.

Cet indicateur est aussi appelé noir ériochrome T (NET). Un mélange de 1 g de noir ériochrome et de 100 g de chlorure de sodium (NaCl) peut-être utilisé comme indicateur.

Matériels

- Burette de 25 à 50 ml utilisée pour l'EDTA ;
- Matériel courant de laboratoire : fioles, pipettes, béchers... ;
- pH-mètre

	METHODE D'ESSAI	MEAC-LAB 13
	LABORATOIRES DE L'ADE	Version 1
	DOSAGE DE LA SOMME DU CALCIUM ET MAGNESIUM PAR METHODE TITRIMETRIQUE A L'EDTA	Xx/XXX/20xx Page 4/5

5.2. Traitement des échantillons

- Sans application

5.3. Partie expérimentale

Nettoyage de la verrerie

Calcul de facteur de correction (Fc)

Prendre 50 ml de la solution de référence calcium à 100 mg/l. S'en servir pour titrer la solution d'EDTA en versant lentement l'EDTA jusqu'au virage au violet. Lorsque la coloration violette est obtenue, noter le volume d'EDTA versé.

Le facteur de correction Fc est égal à :

$$F_c = \frac{\text{Volume versé}}{\text{Volume théorique (12.5 ml)}}$$

Si : $0,96 \leq F_c \leq 1,04$, alors la solution d'EDTA est utilisable pour le dosage.

Dosage

Prélever une prise d'essai de 50 ml de l'échantillon, ajouter 4 ml de la solution tampon (c) et une pincée d'indicateur NET (d). Bien mélanger, la solution doit se colorer en rose. Titrer immédiatement avec la solution d'EDTA (b), en versant lentement jusqu'au virage au bleu.


La couleur ne doit plus changer avec l'ajout d'une goutte supplémentaire de la solution d'EDTA.

5.4. Mesures et calcul du résultat

La concentration totale en ions calcium et magnésium ($Ca^{++} + Mg^{++}$), exprimée en °F, est donnée par la formule :

$$TH = V_2 \times 2 \times F \times F_c$$

Où

	METHODE D'ESSAI	MEAC-LAB 13
	LABORATOIRES DE L'ADE	Version 1
	DOSAGE DE LA SOMME DU CALCIUM ET MAGNESIUM PAR METHODE TITRIMETRIQUE A L'EDTA	Xx/XXX/20xx Page 5/5

TH : dureté exprimée en °F ;

V₂ : est le volume, en millilitres, d'échantillon dosé ;

Fc : facteur de correction ;

F : facteur de dilution ;

5.5. Enregistrement du résultat

Les résultats sont retranscrits sur le cahier de poste et ensuite enregistrés dans la trame informatique.

6. CONTRÔLE DE QUALITÉ

Contrôle de la concentration d'une solution comme contrôle de qualité.

Si la valeur observée sort des limites définies sur la carte de contrôle correspondante, une action corrective est prise.

7. MESURES DE SECURITE

- EDTA : dangereux
- NH₄Cl
- NH₄OH

8. REMARQUES

- Une solution mère de commerce 1 g/l en calcium peut être utilisée
- Transporter et conserver les échantillons au frais et à l'obscurité.
- Utilisation du NET au lieu du mordant noir 11.

9. REFERENCES

- ISO 6059 –Qualité de l'eau – Dosage de la somme du calcium et magnésium par la méthode titrimétrique à l'EDTA.

ANNEXE III

Résultats d'analyse chimique des eaux souterraines du bassin versant d'Oued El Malah

N° Source	Noms	Lambert			Conduc- tivité	Minéra- lisation	pH	TH	TAC	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Cl (mg/l)	SO4 (mg/l)	HCO3 (mg/l)	NO3 (mg/l)
		X	Y	Z													
1	Aïn El Merdja	122.7	225.07	30	1690.00	1282	7.42	38.8	23.6	69.43	51.48	175.7	11.41	255.26	13.45	287.92	11.37
2	Source Ain Ourda (Oulhaca)	117.8	223.535	222	1340	1016	7.66	44.3	28.4	73.4	62.3	122	5.24	180.8	38.14	346.5	9.86
3	Temkrempt	132.6	234.45	120	1230.00	933	7.8			66	47	161	4	276	72	242	39
4	Tinesramet	139.2	225.92	210	1730.00	1312	7.65	53.6	36	79.35	81.03	95.91	7.29	202.08	62.14	439.2	30.78
5	Puits Kouamlia (Amria)	159.6	256.5	160	2530	1919	7.5	60.1	21.2	154.8	51.36	114.7	6.24	266.62	91.35	258.6	33.12
6	Sidi Yamine	149.23	232.65			0	7.53			164.5	14.38	400	14.6	215	190	400	
7	Source Sidi Bouazza (Oulhaca)	143.75	230.45	200	1260	956	7.44	25.7	25.4	21.82	48.67	158.01	3.78	187.9	45.34	309.88	48.56
8	Aïn El Amria	160.6	255.95	-	2530.00	1919	7.5	60.1	21.2	154.8	51.36	114.7	6.24	266.62	91.35	258.6	33.12
9	Source Fendjrou	145.45	219.2	-	1420.00	1077	7.69	52	48.8	74.1	80.4	125	10.9	170.1	49.55	585.3	37.2
10	Aïn Aghlal	157.3	217.9	500	1090.00	827	7.4			96.8	58	111	5	235	390	295.2	88
11	Dayet El Had	167.9	214.1	560	1890.00	1434	7.5			111	46	133	4	263	120	396	52
12	Aïn Aoubellile	165.4	213.7	600	1230.00	933	7.4			144	42	161	5	364	96	385	78
13	Puits Graiaa (Hassi el Ghalla)	155.85	247.65	210	2450	1858	7.61	1.11	17.6	81.37	92.3	113.8	5.85	273.7	93.7	214.7	23.66
14	Aïn Ançor	131.1	227	-		0	8.38			144	22	108	4	259	108	304	9
15	m'said	151.225	252.725		2440.00	1851	7.78			134.8	90.15	195	9.53	100	70	293	0.44
16	4 ^{ème} niveau	129.6	230	50		0	8.2			76	54	161	4	352	72	195	20
17	Puits ouled Taoui (Ouled Boudjema)	152.65	248.15	90	2000	1517	7.72	53.8	34	109.1	63.6	132	6.6	319	70	414.8	26.5
18	Aïn Mini BeniSaf	129.6	230	50		0											
19	Source Sassel	145.8	251.3	36	2400.00	1821	7.26	30.3	32.8	112.6	53.04	103.96	6.9	223.3	73.86	400	10.9
20	Aïn Kihal	155.15	225.35	482	1200	910	7.58	33.4	30.5	68.1	39.3	135	9.4	152.4	53.6	372.1	25.3

PUBLICATION

(Article scientifique)

HYDROCHEMICAL STUDY OF GROUNDWATER IN PROVINCE OF AIN TEMOUCHENT (WESTERN ALGERIA)

Z. Benkhamallah¹, M. Benyahia¹, A. Ayache^{2*}

¹Ecodevelopment Laboratory, Djillali Liabes University, BP 89 Tlemcen street 22000, Sidi
Bel-Abbes, Algeria

²Biodiversiy vegetale conservation and valorisation, Djillali Liabes University, BP 89
Tlemcen street 22000, Sidi Bel-Abbes, Algeria

Received: 23 July 2020 / Accepted: 26 August 2020 / Published online: 01 September 2020

ABSTRACT

Groundwater resources are very scarce in the Ain Temouchent region due to the geological nature. Their operations are essential to increase the volume of water to meet the needs of the population, socio-economic development; agriculture and urbanization have accentuated the problem of their shortages. The results of the physico-chemical analyzes of the various samples taken from the fifteen underground sources; show us that these waters are chlorinated, sulphated, calcic and magnesian in nature; Bicarbonate, calcic and magnesian and sodic and potassic, with high electrical conductivity and significant mineralization, evolve slightly from south to north. A predominance of chlorides, magnesium, a high content of calcium, are influenced in some places by the lithology and mineralogy of the aquifer, but also by precipitation and high evaporation in these areas, in some cases by the overexploitation of aquifers.

Keywords: Ain Temouchent, groundwater, quality, hydrochemistry, geological nature.

Author Correspondence, e-mail: aya_ayache@yahoo.com

doi: <http://dx.doi.org/10.4314/jfas.v12i3.19>



1. INTRODUCTION

L'approvisionnement en eau dans l'Ouest Algérien dépend fortement des eaux souterraines pour la consommation, l'agriculture et l'industrie. L'agriculture dans le nord, en plus particulier ; repose sur l'irrigation par les eaux souterraines, constituées d'aquifères côtiers relativement récents et peu profonds, qui sont activement rechargés par les précipitations [1]. Dans cette région ; les hauteurs des pluies moyennes annuelles sont d'environ 600 mm, et peuvent atteindre jusqu'à 1800 mm à l'Est. Les précipitations faibles signifient que la majorité des oueds dans ces régions sont éphémères, ne s'écoulent qu'après de fortes précipitations. Seuls quelques oueds de la région côtière du nord sont pérenns, coulant toute l'année [2,3]. D'après Khaldi (2005) [4], Errih (1993) [5], Habi et al. (2011) [6], Meddi et al. (2003) [7], Meddi et al. (2013) [8], Hamlet et al. (2013) [9] ; l'Ouest du pays a connu plusieurs grandes sécheresses durant les années 40 et 80. La plus récente est caractérisée par un déficit pluviométrique de 30 % associé à une augmentation considérable de la température. Son impact majeur est surtout sur la disponibilité des ressources en eau souterraine. Cependant, cette situation peut engendrer des problèmes de surexploitation de certaines nappes ou encore la détérioration de la qualité [10]. Dans le cadre de la protection de la qualité de cette ressource en eau potable et d'autres utilisations ; des organismes de gestion des eaux souterraines sont responsables de comptabiliser les débits d'eaux souterraines, et de surveiller et faciliter les activités [11]. Le contrôle de la qualité des eaux souterraines est réellement propice à une gestion durable de la qualité de cette ressource qui permet d'obtenir des données utiles pour l'évaluation de la situation du moment et analyser l'ampleur des processus naturels et de l'impact de l'activité humaine sur les systèmes d'eaux souterraines dans le temps et dans l'espace [12]. Dans ce contexte, notre travail consiste à réaliser une étude hydrochimique de quinze sources localisées à Ain Temouchent. Une caractérisation des faciès chimiques de ces eaux a été effectuée pour identifier leurs qualités et l'influence du substrat géologique et hydrogéologique sur leurs vulnérabilités.

2. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

2.1. Localisation

La wilaya d'Ain Témouchent fait partie du bassin versant du côtier d'Oranais, son réseau hydrographique draine des apports superficiels estimés à 47 millions m^3 /an, dont la quasi-totalité se déverse dans la mer et la sebkha d'Oran. Il est à noter que le territoire de la wilaya est constitué de formations géologiques de faibles potentialités hydriques (estimée à 13.701 m^3) [13].

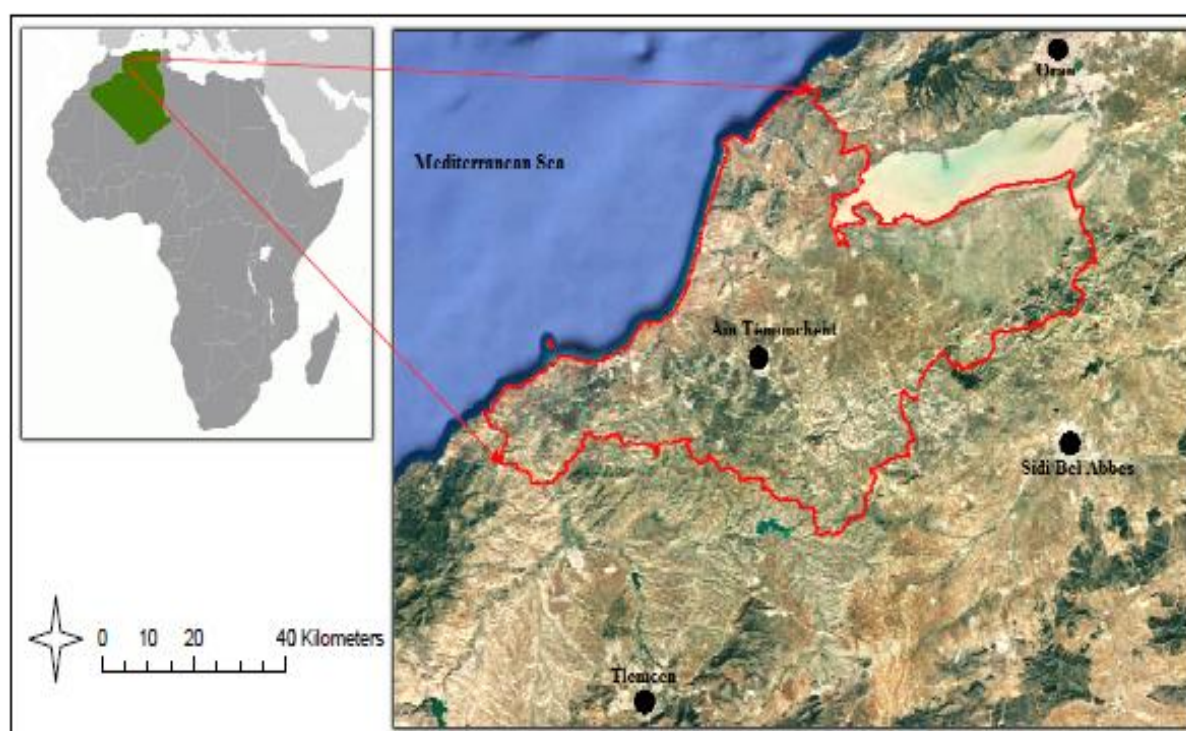


Fig.1. Situation géographique de la zone d'étude

2.2. Géologie

La région d'étude appartient au domaine tellien, caractérisé par une succession de nappes de charriage dont les racines se situeraient à l'emplacement de la méditerranée actuelle. Après la mise en place des nappes, une alternance de transgressions et régressions marines devait donner une succession de dépôts marins et continentaux. Ces dépôts sont couronnés du Miocène post-nappe au Quaternaire. L'activité volcanique est apparue après l'épisode post-nappe (Mio-plio-quaternaire) [13,14].

2.3. Bioclimat

La zone d'étude appartient à l'étage bioclimatique méditerranéen, semi-aride avec un climat continental (été chaud et hiver tempéré). Les températures moyennes annuelles en hiver sont de l'ordre de 16 à 17,7°C, avec un minimum de 10°C. Cette région subit des influences maritimes qui assurent la régularité de la température avec une légère humidité [2,3,8,9]. Par ailleurs, les reliefs méridionaux (Sbaâ Chioukh, Tessala, Monts de Tlemcen) ont une influence continentale sèche et chaude. La pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre de 336.2 mm/an [9].

2.4. Hydrologie

La wilaya d'Ain Témouchent est constituée d'une série de nappes dans différents niveaux Aquifères. Les limons, argiles sableuses, croûtes calcaires, cailloux calcaires et conglomératiques du quaternaire et du plio-quaternaire formant les terrasses d'oueds correspondant à des nappes d'inéoflux dont l'intérêt hydraulique est d'une importance réelle [14]. Les ressources souterraines proviennent essentiellement de cinq nappes exploitées sous forme de 30 forages et 45 puits produisant un volume de 21 Hm³/an. Ces différentes nappes sont : les nappes des roches volcaniques, les nappes des roches calcaires, les nappes des grès, les nappes des alluvions et les nappes des dunes anciennes [13,14].

3. METHODOLOGIE ADOPTÉE

Les prélèvements des échantillons provenant des quinze sources ont été répartis sur la zone étudiée en fonction de leur disposition hydrogéologique de façon à refléter la nature et la composition minéralogique des formations constituantes des aquifères. Nous avons effectué quatre prélèvements pour chaque source. Le pH, la minéralisation et la conductivité ont été mesurés in situ, tandis que les autres paramètres chimiques ont été mesurés par la méthode volumétrique au niveau de l'ADE d'Ain Témouchent. Le traitement des résultats obtenus a été fait par le logiciel *Statistica*. Tandis que l'étude hydrochimique a été faite par le logiciel *Diagramme*.

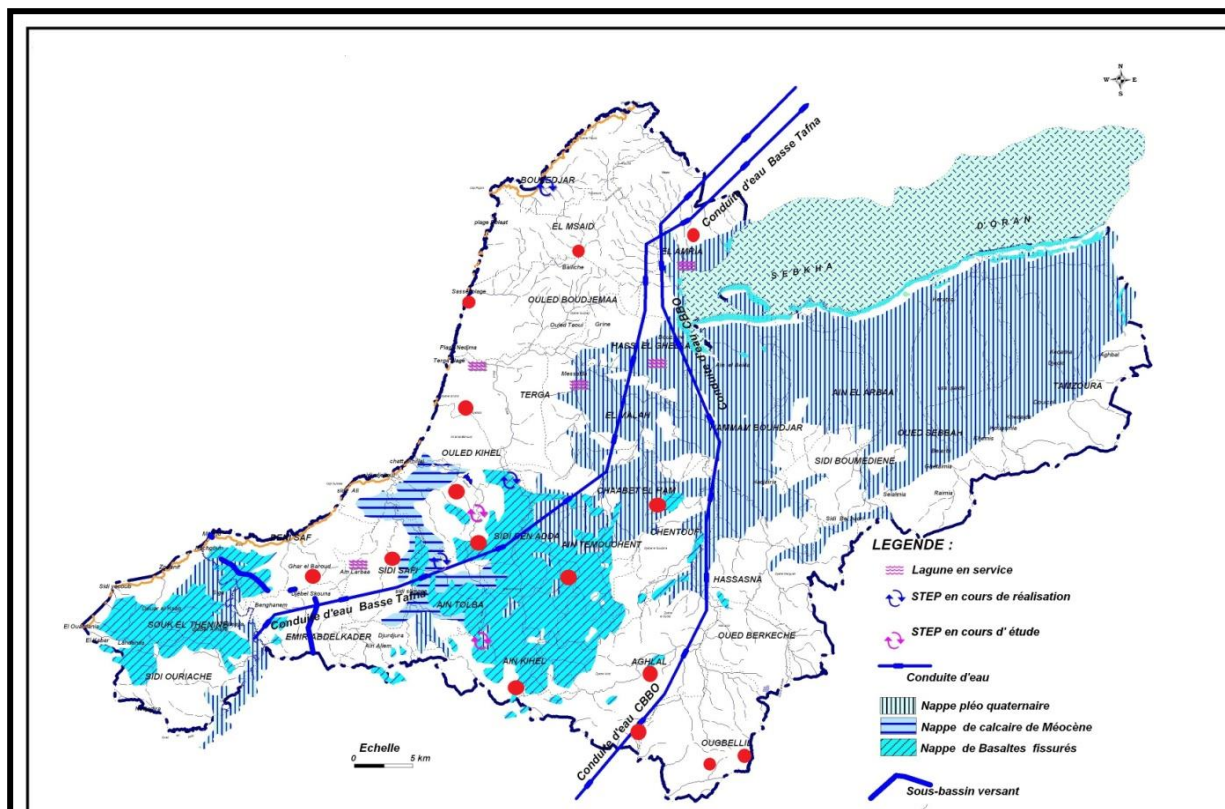


Fig.2. Points d'échantillonnages sur la Carte des structures post-nappes de la zone d'étude
(Source : G. Thomas, 1985 [15])

Le Diagramme de Berkaloff-Schoeller consiste à établir pour l'échantillon analysé, la ligne figurative joignant les points correspondants aux teneurs des éléments chimiques et le type d'eau est donné par la prédominance d'un anion et d'un cation. Le diagramme de Piper consiste à représenter sur deux triangles les pourcentages des quantités en réactions (r %) de chaque cation et anion. Les deux points sont reportés sur un losange en un seul point qui représente la famille chimique de l'eau. Ce diagramme présente l'avantage de pouvoir regrouper un grand nombre d'analyses.

4. RESULTATS

4.1. Résultats du pH, de la minéralisation et la conductivité des puits

On constate pour les quinze puits d'eaux échantillonnées que leurs pH varient entre 7.21 et 8.3. Ces valeurs indiquent que les puits ont un pH légèrement neutre comme : Aïn El Merdja (7,42), Tinesramet (7,65), M'said (7,78) et basique comme les puits d'Aïn Ançor (8,38), 4eme

niveau (8,2).

La minéralisation et la conductivité sont très importantes pour les puits suivants : P14: sassel (1821 mg/L et 2400 μ s/cm), P12: M'said (1851 mg/L et 2440 μ s/cm), P6: Ain El Amria (1919 mg/L et 2530 μ s/cm), P4: Tinesramet (1312 mg/L et 1730 μ s/cm), P9:Dayet el had (1434 mg/L et 1890 μ s/cm), P7:Fendjrou (1077 mg/L et 1420 μ s/cm), P1:Ain El Merdja (1282 mg/L et 1690 μ s/cm), P2:Ain ouerda (1016 mg/L et 1340 μ s/cm). Tandis que les autres puits marquent des valeurs moyennes comme les puits de : P3 : Tenkrempt (933 mg/L et 1230 μ s/cm), P5 : Sidi yamine (956 mg/L et 1260 μ s/cm), P8 : Ain Aghlal (827 mg/L et 1090 μ s/cm), P10 : Aoubellil (941 mg/L et 1110 μ s/cm), P11 : Ain ançor (749 mg/L et 1080 μ s/cm), P13 :4eme niveau (856 mg/L et 1024 μ s/cm), P15 : Ain kihel (910 mg/L et 1200 μ s/cm).

4.2. Résultats physicochimiques des puits

Les principaux résultats d'analyse physicochimique obtenus sont représentés dans la figure suivante :

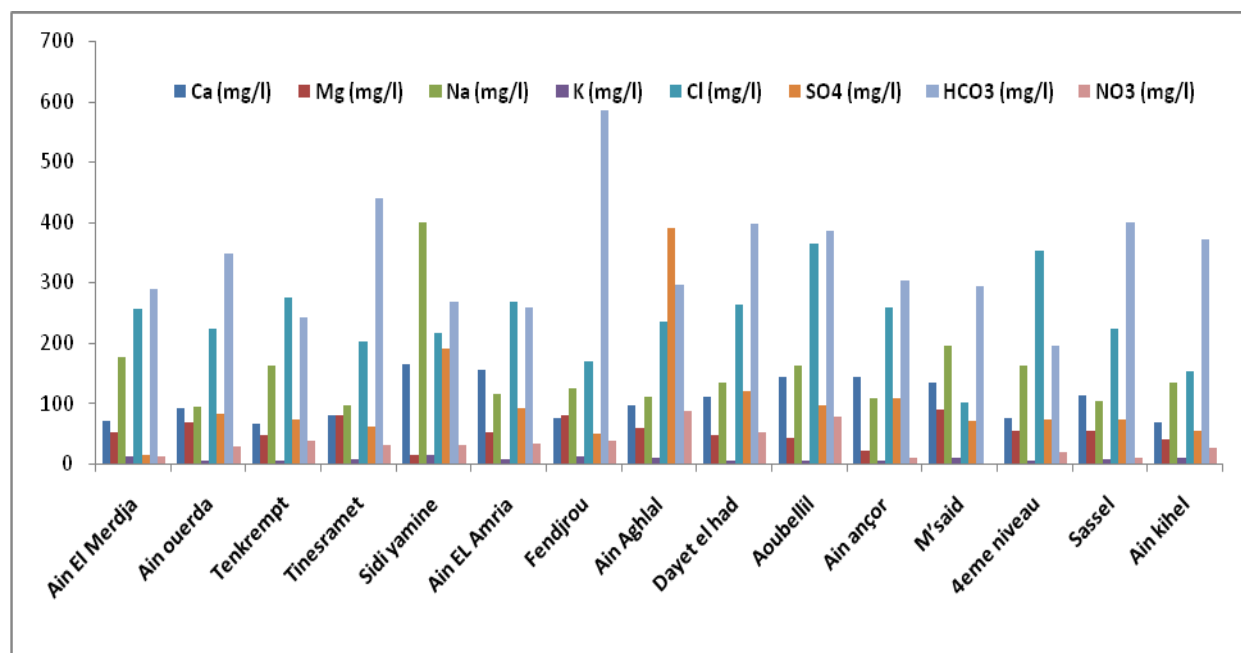


Fig.3. Diagramme des résultats physicochimiques des puits d'Ain Témouchent

On remarque que les valeurs de concentration les plus remarquables sont retenus pour les bicarbonates (avec un minimum 195mg/l et un maximum de 585,3 mg/l) et les chlorures (avec un minimum 100 mg/l et un maximum de 364 mg/l). Des valeurs moyennes sont enregistrées pour le calcium, le sodium, les sulfates et les nitrates. Le potassium marque des

concentrations très faibles.

On constate que pour les puits : Ferdjrou, Tinesramet, Ain ouerda, Dayet el had et Aoubellil ; enregistrent des concentrations très remarquables en bicarbonates, sodium et chlorure. On note aussi que Ain aghlal et Sidi yamine marquent des valeurs très élevés en sulfates.

4.3. Caractérisation hydrochimique des eaux des puits

4.3.1. Résultats sur Diagramme Piper

Le diagramme de Piper effectué sur les quinze sources échantillonnées, nous montre la dominance de trois principaux faciès comme suit :

- **Chloruré et sulfaté, calcique et magnésienne** : ce faciès dénombre les sources d'Ain Aghlal, Ain EL Amria, Ain ançor, Sassel, Dayet el had, Aoubellil, Ain ouerda, Tenkrempt, Tinesramet et 4eme niveau.
- **Bicarbonate, calcique et magnésienne** : ce faciès dénombre les sources de Fendjrou, M'said et Ain kihel.
- **Chloruré sodique et potassique ou sulfaté sodique** : ce faciès dénombre les sources d'Ain El Merdja et Sidi yamine.

On constate aussi d'après le diagramme (figure 4 (a)), l'apparition des sous-faciès caractérisent nos sources échantillonnées comme le sous-faciès : calcique magnésien et chloruré sulfaté.

4.3.2. Résultats sur Diagramme de Schoeller-berkallof

Le diagramme tracé pour les quinze sources de la nappe d'Ain temouchent (figure 4 (c)), confirme la prédominance du faciès Bicarbonate, calcique et magnésien, Chloruré et sulfaté, calcique et magnésien, permettant de dire que la minéralisation des eaux est liée essentiellement aux ions chlorure, bicarbonate et calcium. L'enrichissement en calcium peut être relié à la dissolution de calcite et/ou de la dolomite, minéraux largement présents dans le milieu, l'appauvrissement en magnésium des eaux peut provenir de la précipitation de minéraux magnésiens comme la magnésite et/ou la dolomite par équilibre avec la roche encaissante, l'appauvrissement en sulfates et en bicarbonates peut être lié à de la réduction de cet élément en sulfures ou bien à la précipitation d'un minéral de sulfate comme le gypse.

4.3.3. Résultats sur Diagramme de Wilcox

Le diagramme de Wilcox (figure 4 (b)) ; nous montre trois classes bien distinctes comme suite :

- Bonne qualité pour l'irrigation
- Qualité médiocre pour l'irrigation
- Qualité admissible pour l'irrigation

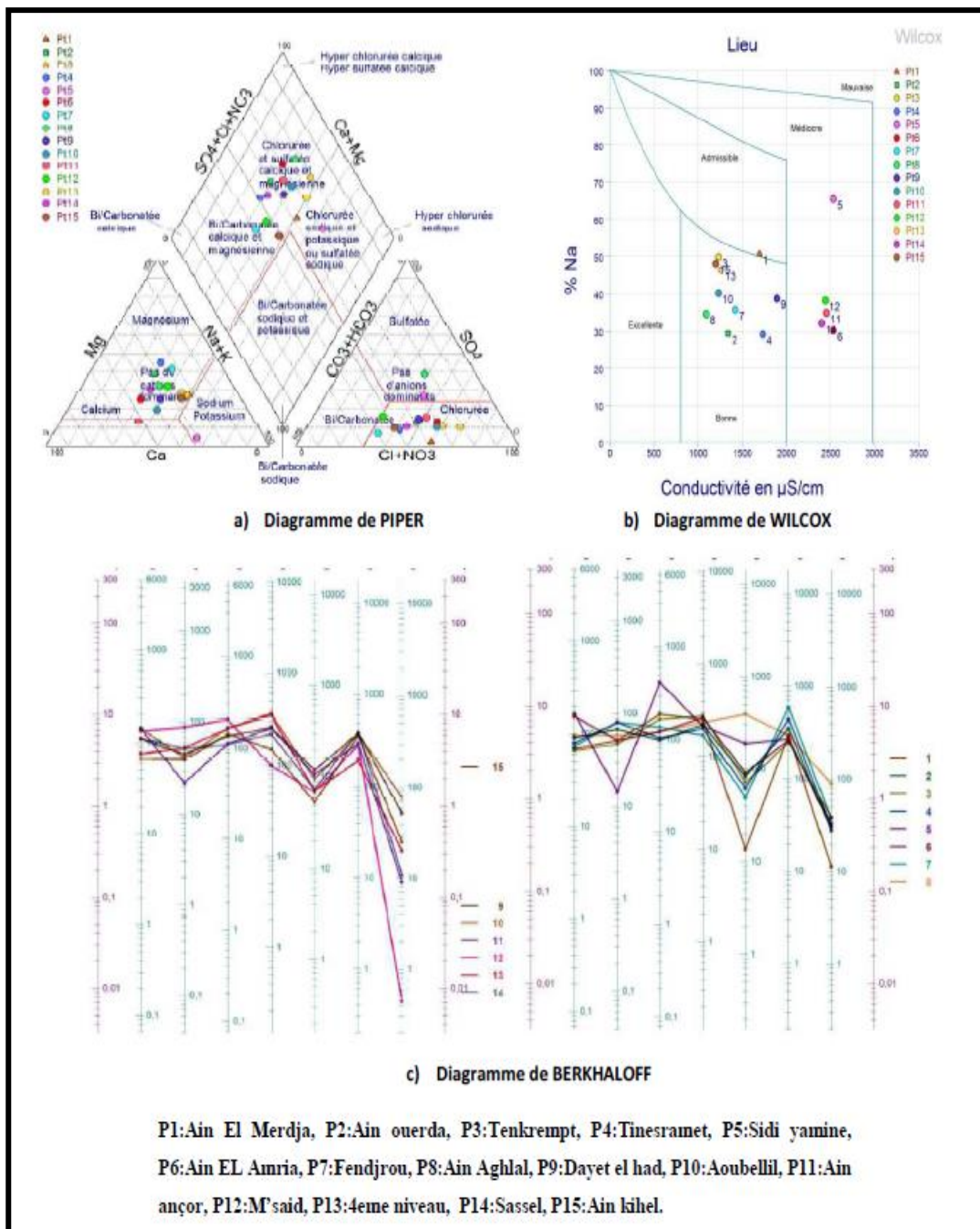


Fig.4. Caractérisation hydrochimique des eaux des puits d'Ain Témouchent

4.3.4. Résultats sur la répartition spatiale des éléments chimiques

Les cartes d'isoteneurs suivantes représentent la variation spatiale des éléments chimiques dans les quinze sources d'Ain temouchent.

- Le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables et sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés (calcaire, gypse). Les résultats sont compris entre 66 et 164,5 mg/l. Toutes les sources ont des concentrations inférieures à la valeur maximale qui est 200 mg/l de calcium.
- La majorité des eaux naturelles contiennent généralement une petite quantité de magnésium, sa teneur dépend de la composition des roches sédimentaires rencontrées. Dans les points d'eau analysés, les teneurs en magnésium varient entre 22 et 90,15 mg/l. Ces valeurs sont inférieures à la norme qui égale 150 mg/l.
- Le sodium dans l'eau provient des formations géologiques contenant du chlorure de sodium et de la décomposition des sels minéraux. L'OMS recommande à ce titre une réduction progressive de l'apport quotidien total en sodium hydrique et alimentaire à 6 gr/jour au maximum. Les résultats sont compris entre 94 et 195 mg/l. On observe que le sodium est plus élevé au nord et au sud.
- Le potassium est généralement l'élément majeur le moins abondant dans les eaux après le sodium, le calcium et le magnésium ; il ne prend qu'exceptionnellement le troisième rang des cations. Sa concentration dans les sources est inférieure à la norme qui est égale à 15 mg/l.
- Les ions chlorures peuvent avoir plusieurs origines ; dissolution des chlorures de sodium. Les résultats sont compris entre 100 et 364 mg/l. tous les résultats des sources sont dans les normes Algériennes 500mg/l.
- Les sulfates sont les ions les moins abondants dans les eaux de la nappe libre. Les sulfates peuvent provenir de l'altération des pyrites ou de la pollution artificielle. Les résultats sont compris entre 13,45 et 390 mg/l ils sont inférieurs aux normes Algériennes (400mg/l).
- Les teneurs des Nitrates obtenues varient entre 0.44 et 88 mg/L et toutes les sources ont des teneurs conformes à la norme (50 mg/l) à l'exception de certaines qui marquent des valeurs importantes.

- Les bicarbonates montrent des valeurs importantes qui s'échelonnent entre 195 et 585,3 mg/L.

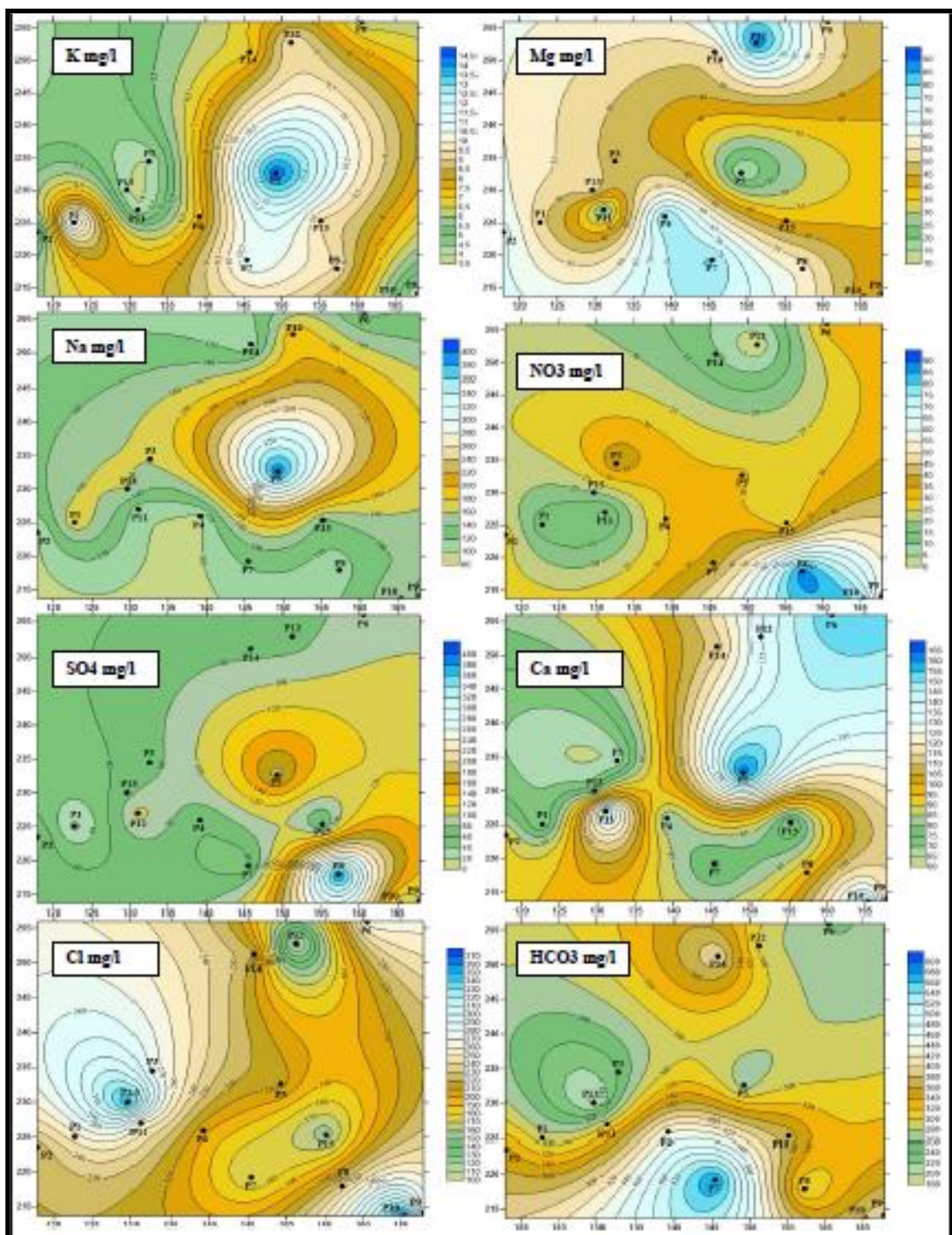


Fig.5. Répartition spatiale des éléments chimiques de quinze sources échantillonnées

5. DISCUSSION

Notre modeste travail s'articule sur une étude hydrochimique des sources des eaux potables dans la wilaya d'Ain Temouchent. D'après les résultats obtenus ; on a pu identifier pour les quinze sources échantillonnées trois faciès dominants : chloruré et sulfaté, calcique et magnésien pour les sources d'Ain Aghlal, Ain EL Amria, Ain ançor, Sassel, Dayet el had, Aoubellil, Ain ouerda, Tenkrempt, Tinesramet et 4eme niveau ; le faciès Bicarbonate, calcique et magnésien pour les sources de Fendjrou, M'said et Ain kihel ; et enfin le faciès chloruré sodique et potassique ou sulfaté sodique : ce faciès dénombre les sources d'Ain El Merdja et Sidi yamine. On a pu classer également les sources en trois catégories des eaux d'irrigation : bonne qualité, Qualité médiocre et Qualité admissible. Le pH nous renseigne sur l'acidité et l'alcalinité des eaux naturelles il est généralement compris entre 6.6 et 7.8. D'après les résultats obtenus ; le pH de puits d'Ain Ançor et 4eme niveau sont supérieurs à la norme par rapport aux autres puits. La conductivité électrique (CE) joue un rôle très important dans la connaissance de la minéralisation des eaux souterraines et principalement l'ensemble des cations et des anions dissous dans l'eau. La conductivité électrique permet une estimation approchée de la minéralisation des eaux. Elle augmente avec la teneur en sels dissous (conductivité élevée => eau chargée). La Salinité est les sels inorganiques et les petites quantités de matières organiques qui sont dissous dans l'eau. Leurs principaux constituants sont habituellement les cations (calcium, magnésium, sodium et potassium) et les anions (carbonate, bicarbonate, chlorure, sulfate et les nitrate) surtout quand il s'agit des eaux souterraines [16]. La salinité des eaux souterraines de la nappe peut avoir plusieurs origines géologiques et lithologiques. Par contre, les facteurs favorisant une large dispersion de la salinité au sein de l'aquifère contribue en l'occurrence, la tectonique, hydrodynamique, température et l'exploitation intensive des eaux souterraines en particulier en période sèche [14]. La dureté d'une eau est un caractère naturel lié au lessivage des terrains traversés et se résume globalement à sa teneur en calcium et en magnésium. Une eau à titre hydrotimétrique TH élevé est dite « dure », dans le cas contraire, il s'agit d'une eau « douce ». D'après les concentrations obtenues. Les résultats sur la nappe d'Ain temouchent enregistrés entre 176 et 380 mg/L de CaCO_3 revelent que ces eaux sont légèrement dures. Le calcium est

généralement l'élément dominant des eaux potables et sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés (calcaire, gypse). Toutes les sources ont des concentrations inférieures à la valeur maximale qui est 200 mg/l de calcium [16,17], et ceci pourrait être attribué à la dissolution de la calcite ou du gypse. La présence des ions Ca^{2+} dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles soit à la dissolution des formations carbonatées : $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3$; soit à la dissolution des formations gypseuses : $(\text{CaSO}_4, 2(\text{H}_2\text{O})) \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} + 2(\text{H}_2\text{O})$ [13,15,17]. Une teneur faible en calcium fait penser à un échange de base contre le sodium ou à l'absence de minéraux riches en calcium faiblement altérable. Par contre, une teneur élevée en calcium pourrait provenir de la mise en solution du gypse ou de l'anhydrite [14,16]. La majorité des eaux naturelles contiennent généralement une petite quantité de magnésium, sa teneur dépend de la composition des roches sédimentaires rencontrées. Il provient de l'attaque par l'acide carbonique des roches magnésiennes et de la mise en solution du magnésium sous forme de carbonates et bicarbonates [16]. Dans les points d'eau analysés, les teneurs en magnésium varient entre 22 et 90,15 mg/l. Les sources ont des concentrations inférieures à la norme qui est égale 150 mg/l. La source du magnésium semble être liée au contact de l'eau avec les roches calcaires et dolomitiques [15,14]. Ses origines sont comparables à celle du calcium, car il provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium, le Magnésite : $\text{MgCO}_3 = \text{Mg}^{2+} + \text{CO}_3$ et le Dolomite : $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + 2(\text{CO}_3)$ [14,16]. Le sodium dans l'eau provient des formations géologiques contenant du chlorure de sodium et de la décomposition des sels minéraux. L'OMS recommande à ce titre une réduction progressive de l'apport quotidien total en sodium hydrique et alimentaire à 6 gr/jour au maximum. On observe que le sodium est plus élevé, sa concentration est élevée pour certaines sources en dépassant la norme qui égale à 200 mg/l. La cause de la teneur en sodium élevée est la présence des argiles et les alluvions aquifères drainées par la nappe [16]. L'origine de cet élément est liée principalement à la dissolution des formations salifères et à la proximité de la côte. Les évaporites seraient la principale origine de la teneur en Na^+ . La proximité des Sebkhass et des Chotts peut être aussi à l'origine de l'enrichissement en cet élément [15]. Les ions chlorures peuvent avoir plusieurs origines ; dissolution des chlorures de sodium, des alluvions salifères, des activités humaines

ou d'origines atmosphériques [17]. L'origine de cet élément est comme pour le cas du sodium, liée principalement à la dissolution des formations salifères. Les évaporites constituent la source principale de cet enrichissement. L'influence marine, la proximité des bassins endoréiques (Chotts, Sebkhass), les eaux fossiles ou connées, peuvent aussi être à l'origine de cet élément [14-16]. Les sulfates sont les ions les moins abondants dans les eaux de la nappe libre. Les sulfates peuvent provenir de l'altération des pyrites ou pollutions artificielles [16]. Les sulfates peuvent avoir une origine météorique, comme ils peuvent également provenir de l'activité agricole ou biologique naturelle, ou de l'utilisation domestique (détergents), ou de la présence d'évaporites (gypse) [16]. Les teneurs des nitrates obtenues varient entre 0,44 et 88 mg/l. Cette variation peut être expliquée par la présence d'un apport en nitrates exogène (utilisation des pesticides pour les agricultures) ou la présence d'un rejet domestique directement dans le sol [17].

6. CONCLUSION

Au terme de l'étude du système hydrochimique dans la région d'Ain temouchent, les différents résultats obtenus sur les caractéristiques géochimiques de l'eau des quinze sources échantillonnées, ainsi que les observations et les connaissances acquises sur la nature géologique et hydrogéologique de la nappe, sont rassemblés afin de déterminer la qualité et la caractérisation et la qualité ces eaux. La concentration ionique nous indique : le faciès chloruré et sulfaté, calcique et magnésien ; le faciès Bicarbonate, calcique et magnésien, et en dernier le faciès chloruré sodique et potassique ou sulfaté sodique. Les résultats obtenus d'après ces méthodes affirment qu'il y a une prédominance des chlorures par rapport aux sulfates, une forte teneur de calcium par rapport au sodium, et prédominance des alcalins sur les alcalino-terreux et enfin prédominance de magnésium et inversement une augmentation notable du calcium. Le digramme de Piper, Berkhalof et Wilcox ; montre la tendance vers le pôle magnésien et le pôle sodique pour les cations, alors que les anions montrent une dominance chlorure et parfois la tendance vers le pôle Sulfaté. Les mutations de la composition de l'eau des sources affirment un enrichissement en calcium et en potassium lié à la dissolution de calcite et/ou de la dolomite et de la dissolution de minéraux potassiques.

L'appauvrissement en magnésium et en sulfates des eaux peut provenir de la précipitation de minéraux magnésiens comme la magnésite et/ou la dolomite par équilibre avec la roche encaissante. À l'issue de cette contribution, les eaux d'Ain Temouchent restent parmi les sources les plus appréciées pour l'utilisation en eau potable et pour l'irrigation.

7. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Chabour, N, Mebrouk, N, Hassani, I H, Upton, K, Ó Dochartaigh, B É et Bellwood-Howard, I. 2018. Atlas de l'eau souterraine en Afrique : hydrogéologie de l'Algérie. *British Geological Survey*.
- [2] Hildebert, I. La répartition saisonnière des pluies en Algérie ; *Annales de géographie* ; 1950, pp. 354-361.
- [3] Seltzer, P. Le climat de l'Algérie, 1946. p 145.
- [4] Kaldi, A. Impacts de la sécheresse sur le régime des écoulements souterrains dans les massifs calcaires de l'Ouest Algérien " Monts de Tlemcen - Saida", Thèse de doctorat 3^o cycle –Université d'Oran. 2005.
- [5] Errih, M. Programme de calcul de régularisation des ressources en eau superficielles au moyen de barrages- réservoirs. 2eme Journées Tunisiennes de Géologie Appliquée, 17–19 mai 1993, Sfax, Tunisie, 590–600.
- [6] Habi, M., Morsli, B. Contraintes et perspectives des retenues collinaires dans le Nord-Ouest algérien - Science et changements planétaires/Sécheresse, jle.com, 2011.
- [7] Meddi, M., Hubert, P. Impact de la modification du régime pluviométrique sur les ressources en eau du Nord-Ouest de l'Algérie. IAHS publication, books.google.com. 2003.
- [8] Meddi, M. Sediment transport and rainfall erosivity evolution in twelve basins in Central and Western Algeria. *Journal of Urban and Environmental Engineering*, JSTOR. 2013.
- [9] Hamlet, AF., Elsner, MMG., Mauger, GS., Lee, SY. An overview of the Columbia Basin Climate Change Scenarios Project: Approach, methods, and summary of key results *Atmosphere*, Taylor & Francis. 2013.
- [10] Fatah, A. Construction de la surexploitation et reproduction des inégalités d'accès et

d'usage des eaux souterraines : Cas des exploitations agricoles dans le Saïss (Maroc). Hydrologie. AgroParisTech ; Institut agronomique et vétérinaire Hassan II (Maroc). Français. ffNNT: 2017.

[11] Custodio, E. Aquifer over-exploitation; what does it mean? Hydrogeology Journal, 10, 2002, 254-277.

[12] Acreman, M.C. Wetlands and hydrology. MedWet Publication 9. Tour du Valat, France. 2003.

[13] Mahi, E.A. Etude des Caractéristiques Morpho métriques du bassin versant des côtiers oranais. Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en hydraulique, Universitaire Belhadj Bouchaib - Ain Temouchent, 2017. pp 93.

[14] Hachemaoui, D., Sadek, M. Hydrologie et Modélisation pluie-débit : cas du bassin versant de l'oued El-Malleh Wilya de Ain Temouchent. Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en hydraulique, université Dr moulay Tahar, saïda, 2016. pp102.

[15] Thomas, G. Géodynamique d'un bassin intramontagneux. Le Bassin du Bas Chéelif occidental (Algérie) durant le Mio-Plio-Quaternaire. 11^{ème} réunion Ann, Sci terre, clement-ferrant. 1985. pp173.

[16] Sapan, P., Laverrière, R., Tissot, J.M., Mage, N., Pachova, T., N'Duakulu, J.J., Nançoz, M., Bourguignon, C., Jimaja, S., Joseph, S., Roux, L., De Figueiredo, M., Jacot-Descombes, E., Auzanneau, N., Sauterel, F., Cerato, L., Constenla-Martinez, J.A. Sampling and Analysis of Natural Water. University of Genève, 2013. pp 88.

[17] Benmoussa, H. Chimie des eaux. Polycopié d'Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf, 2018. pp124 .

How to cite this article:

Benkhamallah Z, Benyahia M, Ayache A. Hydrochemical study of groundwater in province of ain temouchent (western Algeria). J. Fundam. Appl. Sci., 2020, 12(3), 1298-1312.

RESUME

Le présent travail a été mené sur la région d'Aïn Témouchent, qui fait partie du bassin versant des côtières oranais (Algérie nord-occidentale). Il s'agit d'une étude pluridisciplinaire portant essentiellement sur les aléas climatiques, l'hydrogéologie, l'hydrochimie, les enjeux socio-économiques et environnementaux et la gestion durable des ressources hydriques.

La région d'Aïn Témouchent est caractérisée par la faiblesse de ses ressources en eau. L'Augmentation continue de la demande en eau due à la croissance démographique, au développement socio-économique, à l'agriculture et à l'urbanisation, ont accentué le problème de leurs pénuries.

L'étude climatologique montre que le régime de la région d'Aïn Témouchent est de type méditerranéen, caractérisé par une pluviométrie abondante en hiver, et par une saison sèche fortement prononcée conduisant à des étages sur de longues périodes de l'année.

Et sur la base des résultats des analyses physicochimiques des différents échantillons prélevés, il ressort que ces eaux souterraines sont de faciès chlorurés sodiques et bicarbonatés sodiques, souvent dures, avec une conductivité élevée. La distribution spatiale de la minéralisation évolue dans le sens des écoulements des eaux du Sud vers le Nord ce qui confirme le contrôle des conditions hydrogéologiques sur la chimie des éléments majeurs des eaux souterraines. La diminution des précipitations et l'augmentation de l'évaporation influent aussi sur la minéralisation.

Enfin, l'évaluation de la qualité chimique des eaux souterraines pour l'irrigation par le calcul de l'indice de qualité des eaux d'irrigation (IWQI) révèle que ces eaux souterraines sont de la classe « restriction modérée » à celle de « très haute restriction ».

Mots clés : région d'Aïn Témouchent, pénuries, eaux souterraines, hydrochimie, Oued El Malah, irrigation, IWQI.

ABSTARCT

The present work was carried out in the region of Ain Temouchent, which is part of the Oran coastal watershed (north-western Algeria). This is an important multidisciplinary study mainly on climatic hazards, hydrogeology, hydrochemistry, socio-economic and environmental issues and the sustainable management of water resources.

The region of Ain Temouchent is characterized by the weakness of its water resources. Continued increase in demand for water due to population growth, socio-economic development, agriculture and urbanization, have exacerbated the problem of their shortages.

The climatological study shows that the regime of the region of Ain Temouchent is of the Mediterranean type, characterized by abundant rainfall in winter, and by a strongly pronounced dry season, which is very frequent for long periods.

And on the basis of the results of the physicochemical analyzes of the various samples taken, it appears that this groundwater is of sodium chloride and sodium bicarbonate facies, often hard, with high conductivity. The spatial distribution of the mineralization evolves in the direction of the water flows from the South to the North, which confirms the control of hydrogeological conditions on the chemistry of the major elements of groundwater. Decreased risk and increased evaporation also influence mineralization.

Finally, the evaluation of the chemical quality of groundwater for irrigation by calculating the quality index for irrigation water (IWQI) revealed that this groundwater is of the "moderate restriction" class to that of "very high restriction".

Keywords: region of Ain Temouchent, shortages, groundwater, hydrochemistry, Oued El Malah, irrigation, IWQI.

ملخص

تم تنفيذ هذا العمل في منطقة عين تموشنت، وهي جزء من الحوض المائي الساحلي الوهراني (شمال غرب الجزائر). هذه الدراسة متعددة التخصصات حيث تركز بشكل أساسي على الأخطار المناخية، والجيولوجيا المائية، والكيمياء المائية، والقضايا الاجتماعية والاقتصادية والبيئية والتسيير المستدام لموارد المياه.

تتميز منطقة عين تموشنت بضعف مواردها المائية. حيث أدت الزيادة المستمرة في الطلب على المياه بسبب النمو السكاني والتنمية الاجتماعية والاقتصادية والزراعة والتحضر إلى تفاقم مشكلة نقصها.

تظهر هذه الدراسة أن نظام مناخ منطقة عين تموشنت من النوع المتوسطي، يتميز بغزارة هطول الأمطار في الشتاء، وموسم جاف شديد الوضوح يؤدي إلى انخفاض منسوب المياه على مدى فترات طويلة من العام.

وعلى أساس نتائج التحليلات الفيزيائية والكيميائية للعينات المختلفة المأخوذة، يبدو أن المياه الجوفية تتكون من كلوريد الصوديوم وبيكربونات الصوديوم، وغالبًا ما تكون صلبة، وذات ناقلية عالية. يتطور التوزيع الفضائي للتمعدن في اتجاه تدفق المياه من الجنوب إلى الشمال، مما يؤكد السيطرة على الظروف الهيدروجيولوجية على كيمياء العناصر الرئيسية للمياه الجوفية. يؤثر انخفاض هطول الأمطار وزيادة التبخر أيضًا على التمدن.

أخيرًا، فإن تقييم الجودة الكيميائية للمياه الجوفية للري عن طريق حساب مؤشر جودة مياه الري (IWQI) يكشف أن هذه المياه الجوفية من فئة "التقييد المعتدل" إلى فئة "التقييد العالي جدًا".

الكلمات المفتاحية: منطقة عين تموشنت، نقص المياه، المياه الجوفية، الكيمياء المائية، وادي الملح، الري، IWQI.