

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de La Recherche Scientifique

Université Saad Dahleb de Blida 1

Faculté de technologie

Département des Sciences de l'Eau et Environnement



MEMOIRE DE MASTER

Spécialité : Ressources hydrauliques

Par :

TINGUALI Wassim

Intitulé :

Étude Spatio-Temporelle de la Qualité des Eaux Souterraines par l'Utilisation de l'Indice de Qualité des Eaux dans un Environnement SIG. Cas de la Plaine de la Mitidja

Devant le jury, composé de :

Mr. REMINI Boualem
Mr. OULARBI Azzeddine
Mr. BOUZERIA Housseyn

Professeur
MCB
MCB

Président
Examineur
Encadrant

Année universitaire : 2022 /2023

Résumé

Ce mémoire se concentre sur une étude approfondie de la qualité de l'eau dans la plaine de Mitidja. L'objectif principal de cette étude est d'analyser les paramètres physico-chimiques et physiques de l'eau, et d'évaluer leur évolution au fil du temps. Pour atteindre cet objectif, 21 échantillons d'eau ont été collectés lors de trois campagnes d'échantillonnage réalisées en 2016, 2017 et 2018. Les données obtenues ont révélé des variations significatives dans la composition chimique de l'eau au fil des années, mettant en évidence la nécessité de surveiller attentivement la qualité de l'eau dans la plaine de Mitidja.

Cette étude a également mis en évidence la prédominance de zones critiques en termes de qualité de l'eau dans la plaine de Mitidja. Il est donc essentiel d'améliorer l'aptitude des eaux souterraines pour répondre aux besoins en eau potable de la région. Des outils d'analyse tels que l'ArcGIS ont été utilisés pour cartographier les zones à risque et identifier les sources potentielles de pollution. Ces résultats contribueront à orienter les décisions en matière de gestion de l'eau et de protection des ressources hydriques dans la région de Mitidja.

Mots-clefs : Mitidja, Indice de Qualité de l'Eau (IQE), ArcGIS, Eau souterraine, Pollution.

Abstract

This dissertation focuses on a comprehensive study of water quality in the Mitidja plain. The main objective of this study is to analyze the physicochemical and physical parameters of water and evaluate their temporal variations. To achieve this goal, 21 water samples were collected during three sampling campaigns conducted in 2016, 2017, and 2018. The obtained data revealed significant variations in the chemical composition of water over the years, highlighting the need for careful monitoring of water quality in the Mitidja plain.

This study also identified the predominance of critical areas in terms of water quality in the Mitidja plain. Therefore, it is essential to improve the suitability of groundwater to meet the region's drinking water needs. Analytical tools such as ArcGIS were used to map high-risk areas and identify potential sources of pollution. These results will contribute to guiding decisions regarding water management and protection of water resources in the Mitidja region.

Key words: Mitidja, Water Quality Index (WQI), ArcGIS, Groundwater, Pollution.

ملخص

يركز هذا البحث على دراسة شاملة لجودة المياه في سهل مبيجة. الهدف الرئيسي لهذه الدراسة هو تحليل المعايير الفيزيوكيميائية والفيزيائية للماء وتقييم تطورها على مر الزمن. لتحقيق هذا الهدف، تم جمع 21 عينة مياه خلال ثلاث حملات أخذ عينات أجريت في خلال 2016، 2017 و2018. كشفت البيانات المتحصل عليها عن تغيرات ملحوظة في التركيب الكيميائي للمياه على مر السنين، مما يبرز ضرورة مراقبة جودة المياه في سهل مبيجة بعناية.

كما كشفت هذه الدراسة أيضاً سيادة المناطق الحرجة من حيث جودة المياه في سهل مبيجة. لذلك، فمن الضروري تحسين قدرة المياه الجوفية لتلبية احتياجات المياه الصالحة للشرب في المنطقة. تم استخدام أدوات التحليل مثل ArcGIS لرسم خرائط المناطق المعرضة للمخاطر وتحديد المصادر المحتملة للتلوث. ستساهم هذه النتائج في توجيه القرارات المتعلقة بإدارة المياه وحماية الموارد المائية في منطقة مبيجة.

الكلمات المفتاحية: مبيجة، مؤشر جودة المياه (WQI)، ArcGIS، المياه الجوفية، التلوث.

Remerciement

*Mon premier remerciement revient à ALLAH le tout puissant,
le miséricordieux qui m'a aidé et qui m'a permis de réaliser ce
modeste travail.*

*À Monsieur Housseyn Bouzeria qui a accepté d'encadrer mon
travail, pour son aide précieuse et son soutien dans la
rédaction de ce simple travail.*

*Qu'il trouve ici le témoignage de ma gratitude et de mon
admiration.*

Dédicaces

À ma chère mère,

Qui m'a tant donné pour faire de moi ce que je suis,

À mes frères,

À tous ceux qui comptent pour moi, À tous ceux pour qui je compte

Table des Matières

Résumé	I
Remerciement.....	III
Dédicaces.....	IV
Liste des Abréviations	VIII
Liste des Tableaux	IX
Liste des Figures.....	IX
Introduction Générale	1

Chapitre 1 : Revue de la Littérature

Introduction	3
1.1. Les ressources en eau.....	3
1.1.1. Ressources conventionnelles	3
1.1.2. Ressources non conventionnelles	4
1.2. Paramètres de qualité des eaux	4
1.2.1. Paramètres organoleptiques.....	5
1.2.2. Paramètres physicochimiques.....	6
1.2.3. Paramètres indésirables	10
1.2.4. Paramètres organiques globaux	12
1.2.5. Paramètres de toxicité.....	12
1.2.6. Paramètres bactériologiques	13
1.3. Normes de potabilité d'une eau	13
Conclusion.....	15

Chapitre 2 : Présentation de la Zone d'Étude

Introduction	16
2.1. Géographie et topographie de la zone d'étude	16
2.1.1. Situation géographique	16

2.1.2.	Caractéristiques topographiques.....	17
2.2.	Climat de la zone d'étude	18
2.2.1.	Régime climatique général	18
2.2.2.	Précipitations	18
2.2.3.	Températures	20
2.2.4.	L'évaporation	21
2.2.5.	L'humidité de l'air	22
2.3.	Caractéristiques hydrologiques	23
2.3.1.	Réseaux hydrographiques.....	23
2.3.2.	Caractéristiques des bassins versants	24
2.3.3.	Régime hydrologique	25
2.4.	Ressources en eau	26
2.4.1.	Disponibilité des ressources en eau	26
2.4.2.	Utilisation actuelle des ressources en eau.....	26
2.4.3.	Pressions sur les ressources en eau	28
2.5.	Végétation et couverture terrestre.....	29
2.5.1.	Types de végétation dominante	29
2.5.2.	Occupation du sol et couverture terrestre	29
2.5.3.	Influence de la végétation sur les processus hydrologiques	30
2.6.	Cadre géologique de la région d'étude	31
	Conclusion.....	33

Chapitre 3 : Matériels et Méthodes

	Introduction	34
3.1.	Acquisition des données	34
3.2.	Numérisation des données	35
3.2.1.	ArcGIS.....	36
3.2.2.	Excel.....	36

3.3.	Analyse des paramètres physico-chimiques	36
3.3.1.	Statistiques descriptives.....	36
3.3.2.	Paramètres chimiques	39
3.3.3.	Paramètres physiques	58
3.4.	Indice de la qualité de l'eau	64
3.4.1.	Définition d'Indice de Qualité de l'Eau (IQE ou WQI)	64
3.4.2.	Objectif de l'Indice de Qualité de l'Eau (IQE).....	65
3.4.3.	Composition de l'indice de Qualité de l'Eau (IQE)	65
3.4.4.	La méthode de l'indice pondéré de qualité de l'eau par calcul arithmétique .	68
	Conclusion	69

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

	Introduction	70
4.1.	Distribution et évaluation de la qualité des eaux souterraines de la plaine de la Mitidja	70
4.1.1.	Première Campagne 2016	70
4.1.2.	Deuxième Campagne 2017	70
4.1.3.	Troisième Campagne 2018.....	71
4.2.	Identification des zones critiques.....	72
4.3.	Aptitude des eaux en AEP	73
4.4.	Evolution de la qualité des eaux entre 2016 et 2017	73
4.5.	Evolution de la qualité des eaux entre 2017 et 2018	75
	Conclusion.....	76
	Conclusion Générale.....	77
	Références	78

Liste des Abréviations

AEP : Alimentation en Eau Potable	OE : Opinion d'Experts
ANBT : Agence National de Barrage et de Transfert	OM : Matière Organique
ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydraulique	OMS : Organisation Mondiale de la Santé
Ca : Calcium	ONS : Office National des Statistiques
Cl : Chlore	P : Phosphore
DBO5 : Demande Biologique en Oxygène	PH : Potentiel Hydrogène
DCO : Demande Chimique en Oxygène	PO ₄ : Phosphate
DO : L'oxygène Dissous	RS : Résidu Sec
EC : Conductivité Électrique	SEAAL : Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger
HCO ₃ : Bicarbonate	SIG : System Information Géographique
IQE : Indice de Qualité de l'Eau	SO ₄ : Sulfate
K : Potassium	T : Température
MES : Matière en Suspension	TA: Alcalinité Total
Mg : Magnésium	TDS : Solides Dissous Totaux
N ₂ : Azote	TH : Titre Hydrotimétrique
Na : Sodium	TH: Dureté Total
NH ₄ : Ammonium	Turb : Turbidité
NO ₂ : Nitrites	UE : Union Européenne
NO ₃ : Nitrate	VBA : Visual Basic Applications
NSFIQE : Indice de Qualité de l'eau de la National Sanitation Foundation	WQI : Water Quality Index
O ₂ : Oxygène	

Liste des Tableaux

Tableau 1.1 : Rapport entre la conductivité et la minéralisation [30].	7
Tableau 1.2 : Solubilité de l'oxygène dans l'eau en fonction de la température	8
Tableau 1.3 : Norme pour la dureté des eaux de boisson d'après l'OMS (1972).	9
Tableau 1.4 : Norme des substances toxiques d'une eau potable. [41, 42, 43].	12
Tableau 1.5 : Limites de qualité des eaux destinées à la consommation [41, 42, 43].	14
Tableau 2.1 : Les valeurs annuelles de précipitations de la Mitidja.	19
Tableau 2.2 : Variation temporelle des températures à la station de Boukourdane.	21
Tableau 2.3 : Variation mensuelle de l'évaporation à la station de Boukourdane.	21
Tableau 2.4 Humidité relative maximale et minimale mensuelle (1988-2008).	22
Tableau 2.5 : Principaux Oueds de la plaine de Mitidja.	25
Tableau 2.6 : Répartitions de la population par wilayas.	28
Tableau 3.1 : Points de prélèvement d'eau.	35
Tableau 3.2 : Caractéristiques statistiques des paramètres physico-chimiques des eaux de la nappe Mitidja pour la période 2016-2018	37
Tableau 3.3 : Formules d'agrégation pour le calcul d'un indice IQE à partir de sous-indices	66
Tableau 3.4 : La classification de la qualité d'eau selon la valeur de l'IQE.	68
Tableau 4.1 : Classes de l'évolution de l'IQE entre 2016 et 2017.	74
Tableau 4.2 : Classes de l'évolution de l'IQE entre 2017 et 2018.	76

Liste des Figures

Figure 2.1 : Situation géographique de la plaine de Mitidja.	16
Figure 2.2 : Caractéristiques topographiques de la Plaine de Mitidja.	18
Figure 2.3 : Carte des précipitations de la plaine de Mitidja.	19
Figure 2.4 : Variation mensuelle de l'évaporation à la station de Boukourdane.	21
Figure 2.5 : Répartition mensuelle d'humidité maximale et minimale.	23
Figure 2.6 : Réseau hydrographique de la Mitidja.	24
Figure 2.7 : occupation du sol de la zone d'étude.	30
Figure 2.8 : Carte géologie de la plaine de Mitidja.	32
Figure 2.9 : Coupe géologique au niveau de la Mitidja.	32
Figure 3.1 : Carte d'inventaire des points d'eau.	35

Figure 3.2 : Cartes de la répartition du Calcium (Ca) dans les eaux souterraines de Mitidja.	39
Figure 3.3 : Évolution spatio-temporelle du Calcium (Ca) des eaux souterraines de Mitidja.	40
Figure 3.4 : Cartes de la répartition du Magnésium (Mg) dans les eaux souterraines de Mitidja.	41
Figure 3.5 : Évolution spatio-temporelle du Magnésium (Mg) des eaux souterraines de Mitidja.	42
Figure 3.6 : Cartes de la répartition du Sodium (Na) dans les eaux souterraines de Mitidja.	43
Figure 3.7 : Évolution spatio-temporelle du Sodium (Na) des eaux souterraines de Mitidja.	44
Figure 3.8 : Cartes de la répartition du Potassium (K) dans les eaux souterraines de Mitidja.	45
Figure 3.9 : Évolution spatio-temporelle du Potassium (K) des eaux souterraines de Mitidja.	46
Figure 3.10 : Cartes de la répartition du Chlorure (Cl) dans les eaux souterraines de Mitidja.	47
Figure 3.11 : Évolution spatio-temporelle du Chlorure (Cl) des eaux souterraines de Mitidja.	48
Figure 3.12 : Cartes de la répartition du Sulfates (SO ₄) dans les eaux souterraines de Mitidja.	49
Figure 3.13 : Évolution spatio-temporelle du Sulfates (SO ₄) des eaux souterraines de Mitidja.	50
Figure 3.14 : Cartes de la répartition des Bicarbonates (HCO ₃) dans les eaux souterraines de Mitidja.....	51
Figure 3.15 : Évolution spatio-temporelle des Bicarbonates (HCO ₃) des eaux souterraines de Mitidja.....	52
Figure 3.16 : Cartes de la répartition des Nitrates (NO ₃) dans les eaux souterraines de Mitidja.	53
Figure 3.17 : Évolution spatio-temporelle des Nitrates (NO ₃) des eaux souterraines de Mitidja.	54
Figure 3.18 : Cartes de la répartition du pH dans les eaux souterraines de Mitidja.	55

Figure 3.19 : Évolution spatio-temporelle du pH des eaux souterraines de Mitidja.	56
Figure 3.20 : Cartes de la répartition du Résidu Sec dans les eaux souterraines de Mitidja.	57
Figure 3.21 : Évolution spatio-temporelle du Résidu Sec des eaux souterraines de Mitidja.	58
Figure 3.22 : Cartes de la répartition de la Conductivité Électrique dans les eaux souterraines de Mitidja.	59
Figure 3.23 : Évolution spatio-temporelle de la Conductivité Électrique des eaux souterraines de Mitidja.	60
Figure 3.24 : Cartes de la répartition de l'Hydrotimétrique dureté totale dans les eaux souterraines de Mitidja.	61
Figure 3.25 : Évolution spatio-temporelle de l'Hydrotimétrique dureté totale des eaux souterraines de Mitidja.	62
Figure 3.26 : Cartes de la répartition de l'Alcalinité Totale dans les eaux souterraines de Mitidja.	63
Figure 3.27 : Évolution spatio-temporelle de l'Alcalinité Totale des eaux souterraines de Mitidja.	64
Figure 4.1 : Carte de l'IQE des eaux souterraines de la plaine de Mitidja, Compagne 2016.	70
Figure 4.2 : Carte de l'IQE des eaux souterraines de la plaine de Mitidja, Compagne 2017.	71
Figure 4.3 : Carte de l'IQE des eaux souterraines de la plaine de Mitidja, Compagne 2018.	71
Figure 4.4 : Répartition des surfaces des zones critiques de la plaine de Mitidja.	72
Figure 4.5 : Évaluation de l'aptitude des eaux pour l'AEP dans la plaine de Mitidja.	73
Figure 4.6 : Carte de l'évolution de l'IQE entre 2016 et 2017.	74
Figure 4.7 : Carte de l'évolution de l'IQE entre 2017 et 2018.	75

Introduction Générale

Introduction Générale

L'eau est une ressource essentielle pour la vie et le développement socio-économique. Parmi les différentes sources d'eau, les ressources en eau souterraines jouent un rôle crucial en assurant l'approvisionnement en eau potable et l'irrigation agricole. Ces réserves d'eau situées sous la surface de la Terre sont le résultat de processus naturels de recharge et de stockage à long terme.

Cependant, la qualité des ressources en eau souterraine est devenue une préoccupation majeure dans de nombreuses régions du monde, en raison de la pression exercée par les activités humaines et des impacts environnementaux.

À cet égard, il est essentiel d'évaluer de manière approfondie la qualité des eaux souterraines pour assurer leur gestion durable et préserver la santé humaine.

Les systèmes d'information géographique (SIG) jouent un rôle essentiel dans l'étude de la qualité des eaux souterraines. Dans ce contexte, notre étude se focalise sur l'analyse de l'évolution de la qualité des eaux souterraines dans la plaine de Mitidja, en utilisant l'indice de qualité des eaux dans un environnement SIG.

Ce mémoire est structuré en quatre chapitres :

Le premier chapitre de ce mémoire se consacre à une revue de la littérature portant sur les ressources en eau, les paramètres de qualité de l'eau et les normes de potabilité de l'eau. Cette revue permettra de contextualiser les enjeux liés à la qualité des eaux souterraines et d'explorer les critères utilisés pour évaluer leur aptitude à la consommation humaine.

Le deuxième chapitre sera dédié à la présentation de la zone d'étude, la plaine de Mitidja. Une description détaillée de la géographie, de la topographie, de la climatologie, de l'hydrologie, de la géologie et des ressources en eau de la plaine sera réalisée. Cette présentation permettra de comprendre les caractéristiques spécifiques de la zone d'étude et leur influence sur la qualité des eaux souterraines.

Le troisième chapitre abordera les données utilisées dans cette étude. Des cartes et des graphiques illustrant l'évolution spatio-temporelle des différents paramètres physico-chimiques de notre zone d'étude seront également inclus, mettant en évidence l'utilisation de l'indice de qualité des eaux.

Enfin, le chapitre 4 présentera les résultats et la discussion de l'étude. Des cartes représentant l'indice de qualité des eaux dans la plaine de Mitidja seront élaborées, permettant d'identifier les zones de contamination potentielle. Une analyse approfondie des résultats sera menée, mettant en évidence les tendances spatio-temporelles et les implications pour la gestion des ressources en eau souterraine dans la région.

Chapitre 1 : Revue de la Littérature

Introduction

Le présent chapitre constitue une exploration approfondie de la littérature axée sur les ressources en eau, les paramètres de qualité de l'eau ainsi que les normes de potabilité de celle-ci. Dans le cadre de ce projet de fin d'études, il est crucial de comprendre l'état actuel des connaissances dans ces domaines clés afin de développer une compréhension approfondie des enjeux liés à la disponibilité et à la qualité de l'eau potable.

1.1. Les ressources en eau

L'eau est d'une importance primordiale pour la vie humaine, biologique et animale. Elle joue un rôle vital dans le développement et le maintien de l'écosystème [1]. Compte tenu du développement industriel et de la demande croissante, tous les pays devront plus ou moins combler leur manque en eau. Face à la demande croissante en eau douce, et à l'impossibilité de se contenter des ressources naturelles, l'homme a été amené à rechercher et développer des procédés pour obtenir de l'eau douce à partir d'eau de mer, d'eau saumâtre, et d'eau usée le plus techniquement et économiquement possible.

1.1.1. Ressources conventionnelles

Les ressources en eau conventionnelles sont des sources d'eau douce renouvelables qui sont facilement accessibles [2]. La pluie et les autres formes de précipitations sont l'origine de toutes les ressources naturelles en eau douce, qu'elles soient superficielles ou souterraines. Au cours du cycle d'eau, certaines de ces précipitations s'écouleront sur la surface, tandis que d'autres s'évaporeront, et d'autres s'infiltreront et atteindront les nappes souterraines [3].

1.1.1.1. Eaux souterraines

Les eaux souterraines sont des ressources naturelles qui résultent de l'infiltration de l'eau de pluie dans le sol [3]. Ces eaux sont tamponnées et altérées par les roches qu'elles traversent lors de l'écoulement. Ces roches jouent un rôle important dans l'épuration des eaux souterraines en filtrant les contaminants grâce à l'adsorption [4].

1.1.1.2. Eaux superficielles

Le terme « eaux de surface » désigne toutes les eaux naturelles qui sont exposées à l'atmosphère, comme les rivières, les lacs, les réservoirs, les ruisseaux, les lacs de barrage, les mers, etc. Les eaux de surface sont considérées comme une ressource facilement accessible mais vulnérable à la pollution [5]. L'activité humaine est le principal facteur de pollution, mais aussi l'eutrophisation qui est un processus naturel de développement des

algues. Ces facteurs dégradent de manière excessif la qualité de l'eau et créent un sérieux problème qui doit être réglé [6].

1.1.2. Ressources non conventionnelles

Les ressources non conventionnelles en eau sont des sources alternatives d'eau qui peuvent être utilisées pour pallier la tension sur la ressource en eau conventionnelle [7]. Ces ressources incluent les eaux provenant du dessalement d'eaux de mer ou saumâtres et la réutilisation des eaux usées traitées. Elles peuvent être utilisées pour l'irrigation, la production d'énergie, l'approvisionnement en eau potable et d'autres utilisations. Les eaux usées traitées peuvent être utilisées pour l'irrigation des cultures, tandis que les eaux salées peuvent être dessalées pour produire de l'eau potable. Les ressources en eau non conventionnelles sont de plus en plus utilisées dans le monde pour répondre aux besoins croissants en eau [8]. Bien que ces ressources puissent être utiles pour répondre aux besoins en eau, leur utilisation peut présenter des risques pour la santé et l'environnement.

1.1.2.1. Réutilisation d'eaux usées épurées

La réutilisation des eaux usées épurées consiste à récupérer les eaux usées traitées, à leur donner un nouveau traitement et à les utiliser pour différents usages tels que l'irrigation agricole, l'arrosage des espaces verts, l'alimentation de l'électrolyseur, l'eau pour les toilettes, etc [9]. Cette pratique produit plus d'eau pour différents usages et réduit la pression sur les ressources en eau douce, ainsi elle assure l'équilibre du cycle d'épuration naturelle de l'eau et la protection du milieu environnant [10].

1.1.2.2. Dessalement d'eaux de mer

Le dessalement de l'eau de mer est un processus qui permet de produire de l'eau douce à partir d'eau de mer en retirant le sel et autres impuretés. Les techniques les plus couramment utilisées pour le dessalement de l'eau de mer sont l'osmose inverse, électrodialyse et la distillation. Cependant, le dessalement de l'eau de mer est un processus coûteux et énergivore, et il produit également des déchets [11].

1.2. Paramètres de qualité des eaux

Avec le développement industriel, la pollution de l'eau est devenue un problème majeur. Une grande quantité d'eau est polluée par les usages industriels, agricoles ou encore domestiques. L'industrie utilise de grandes quantités d'eau mais le principal problème tient à ce que la majeure partie de cette eau retourne à la nature, polluée car chargée de déchets, de produits chimiques et de métaux lourds [12].

La qualité de l'eau est un facteur important qui touche à tous les aspects de l'écosystème et de l'homme, y compris la santé. La civilisation d'aujourd'hui est confrontée à un défi important : maintenir la qualité de l'eau [13]. Les problèmes de santé et les maladies d'origine hydrique peuvent résulter d'une mauvaise qualité de l'eau [14]. Les paramètres de qualité des eaux font référence aux caractéristiques chimiques, physiques, biologiques et radiologiques de l'eau, des eaux de surface, etc. [15]

Les substances présentes dans les eaux naturelles sont soit en solution (dissoutes), soit en suspension colloïdale, soit en suspension plus ou moins fine [16]. Au cours du cycle de l'eau dans la nature, l'eau se charge de différentes substances telles que les gaz et les fumées dissous, des sels minéraux, des substances organiques et des organismes vivants (algues, bactéries, ...) [17]. Les polluants (atmosphériques, des sols et des cours d'eau) contribuent par ailleurs à augmenter la quantité de substances présentes dans l'eau naturelle.

En plus de la qualité biologique des eaux, l'appréciation de la qualité des eaux se base sur la mesure de paramètres organoleptiques et physicochimiques. L'ensemble de ces éléments permet d'évaluer le degré de pollution [18].

1.2.1. Paramètres organoleptiques

Les paramètres organoleptiques de l'eau sont des paramètres qui permettent d'évaluer les caractéristiques sensorielles de l'eau, telles que l'odeur, le goût et la couleur. Il est essentiel de maîtriser ces paramètres pour ajuster les mesures de production, de stockage et de distribution, ainsi que pour prévoir et limiter les cas de non-conformité dans les eaux destinées à la consommation humaine [15].

1.2.1.1. Odeur saveur

L'odeur peut être définie comme étant l'ensemble des sensations perçues par l'odorat qui peuvent décrire une espèce [19]. Elle peut être agréable ou désagréable, elle varie en intensité en fonction des caractéristiques de la source odorante.

Le goût peut être définie comme étant l'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçues par la bouche. Cette expérience sensorielle peut varier en fonction des caractéristiques de l'individu et des conditions environnementales [20].

Dans le cas d'une eau potable, l'apparition des goûts et des odeurs peuvent être signes de présence des algues microscopiques [21].

1.2.1.2. Couleur

La couleur de l'eau est un paramètre de qualité qui peut être utilisé pour évaluer la pollution de l'eau. En effet, la présence de certaines substances dissoutes dans l'eau, peut donner à l'eau une couleur anormale. Cette couleur varie du jaune paille à peine perceptible au brun rougeâtre, selon la nature et la concentration des matières colorantes. Le degré de couleur dépend non seulement de la concentration en matières colorantes, mais aussi du pH et de la turbidité [22]. La mesure de la couleur d'une eau se fait par comparaison avec une échelle artificielle de couleur. L'unité de couleur est le Hazen correspondant à un mg/l de platine sous forme de (K₂PtCl₆). On l'appelle aussi unité platino-cobalt ou unité de couleur vraie (UCV). Pour une eau potable, le degré de couleur maximale est de 15 UCV [23].

1.2.2. Paramètres physico-chimiques

Les paramètres physicochimiques de l'eau sont des caractéristiques mesurables de l'eau qui décrivent ses propriétés physiques (la température, le pH, la turbidité la dureté totale...) et chimiques (potassium, magnésium, calcium...).

1.2.2.1. Température de l'eau

La température est un paramètre important dans l'évaluation de la qualité de l'eau car elle peut affecter de nombreux processus biologiques et chimiques. En effet, la température de l'eau affecte la solubilité des gaz, la croissance des organismes aquatiques, les réactions chimiques des composés organiques, la conductivité, la viscosité, la densité et la turbidité de l'eau. Des températures trop élevées entraîneront une baisse de la teneur en oxygène dissous dans l'eau, ce qui est nocif pour les poissons et autres organismes aquatiques [24].

1.2.2.2. Potentiel hydrogène

Le pH est la concentration d'ions hydrogène dans une solution. Il est considéré comme un facteur très important dans les procédés de traitement. Il est déterminé par la concentration d'ions d'hydrogène présents dans l'eau. Le décret n° 2.914/2011 du Ministère de la Santé recommande que le pH de l'Eau soit maintenu dans la gamme de 6,0 à 9,5 dans le système de distribution [25].

Il est calculé comme suit :

$$pH = -\text{Log}[H^+] \quad (1)$$

L'échelle du pH varie de 0 à 14 en fonction de la force ionique, si :

- pH > 7 : l'eau est alcaline ;
- pH < 7 : l'eau est acide ;
- pH = 7 : l'eau est neutre.

1.2.2.3. Turbidité

La turbidité est la mesure de l'aspect trouble de l'eau. C'est une diminution de la clarté d'un liquide due à la présence de substances non dissoutes. Elle est causée par les matières en suspension (MES), comme les argiles, les limons, les micro-organismes et les matières colloïdales d'origine organique ou minérale [26].

1.2.2.4. Minéralisation totale et Conductivité électrique

La minéralisation de l'eau peut être liée à la concentration de minéraux dans l'eau. Des études géochimiques ont montré que la minéralisation des eaux souterraines peut résulter de différents processus, tels que la remontée d'eau saline des profondeurs, la dissolution des aérosols et l'interaction des eaux météoriques et souterraines avec les minéraux des roches encaissantes [27]. Il existe également des procédés pour contrôler la minéralisation des eaux destinées à la consommation humaine, comme l'élimination des cations monovalents par osmose inverse et l'électrodialyse [28].

La conductivité électrique est un indicateur de la minéralisation totale des eaux souterraines. L'étude de la distribution des fréquences de conductivité électrique permet de faire un suivi hydrochimique des systèmes hydrologiques [29]. Elle mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes, exprimée en micro siemens/cm.

La conductivité nous permet de déduire la minéralisation totale en sels minéraux d'une eau donnée par une relation simple :

$$\text{Minéralisation} \left(\frac{mg}{l} \right) = k * C^{20} \left(\frac{\mu S}{cm} \right) \quad (2)$$

Où k est un Coefficient dépendant de la gamme de concentration.

Tableau 1.1 : Rapport entre la conductivité et la minéralisation [30].

Conductivité	Minéralisation
0-100 $\mu S/cm$	Minéralisation très faible
100-200 $\mu S/cm$	Minéralisation faible
200-333 $\mu S/cm$	Minéralisation moyenne accentuée
333-666 $\mu S/cm$	Minéralisation accentuée
666-1000 $\mu S/cm$	Minéralisation importante
>1000 $\mu S/cm$	Minéralisation élevée

1.2.2.5. Oxygène dissous

La concentration en oxygène dissous est l'un des paramètres de qualité de l'eau les plus importants. L'oxygène dissous dans les eaux de surface provient principalement de l'atmosphère et de la photosynthèse des algues et des plantes aquatiques. La variation de la concentration en oxygène dissous dépend de nombreux facteurs tels que la pression partielle en oxygène de l'atmosphère, la température de l'eau, la salinité, la pénétration de la lumière, l'agitation de l'eau et la disponibilité en nutriments. Elle est exprimée en mg d'O₂ par litre [31].

Tableau 1.2 : Solubilité de l'oxygène dans l'eau en fonction de la température

Température (°C)	Solubilité (mg O ₂ /l)
0	14.16
5	12.37
10	10.92
15	9.76
20	8.84
25	8.11

1.2.2.6. Matière en suspension

Toutes les matières minérales ou organiques qui ne sont pas solubles dans l'eau sont considérées comme matières en suspension. Elles comprennent l'argile, le sable, le limon, les matières organiques et minérales de faible dimension, le plancton et autres micro-organismes de l'eau. Ces matières affectent la transparence de l'eau et diminuent la pénétration de la lumière. Elles sont exprimées en mg/l. [31]

1.2.2.7. Résidu sec

Le résidu sec donne une information sur la teneur en substances dissoutes non volatiles (le taux des éléments minéraux). Suivant le domaine d'origine de l'eau cette teneur peut varier de moins de 100 mg/l (eaux provenant de massifs cristallins) à plus de 1000 mg/l. [32]

1.2.2.8. Dureté

La dureté ou titre hydrotimétrique d'une eau correspondons à la somme des concentrations des cations alcalino-terreux (sels de calcium (Ca²⁺) et de magnésium (Mg²⁺)). Ils proviennent des roches calcaires ou dolomitiques. Dans une eau naturelle, on peut distinguer différents types de dureté [33] :

- Dureté totale : somme des concentrations en calcium et magnésium ;
- Dureté calcique : concentration globale en calcium ;

- Dureté magnésienne : concentration globale en magnésium.ws

La dureté s'exprime généralement en degré Français ou en milliéquivalents/l.

Tableau 1.3 : Norme pour la dureté des eaux de boisson d'après l'OMS (1972).

Dureté d'eau	Douce	Modérément douce	Assez douce	Dure	Très dure
TH (°F)	0-7	7-22	22-32	32-54	54

1.2.2.9. Acidité et Alcalinité

L'alcalinité de l'eau est une mesure de sa capacité à neutraliser les acides. Elle est déterminée par la quantité de composés alcalins dispersés dans l'eau, comme les carbonates, les bicarbonates et les hydroxydes. L'équilibre calco-carbonate d'une eau est un indicateur clé de son caractère agressif ou incrustant, et il est fréquemment utilisé dans les installations de traitement de l'eau et les stations de dessalement. Le calcul de l'équilibre calco-carbonique d'une eau implique de déterminer ses propriétés chimiques, telles que son pH d'équilibre, le CO₂, l'alcalinité et les niveaux de calcium, ainsi que la quantité de matière réactive à ajouter pour le ramener à l'équilibre [34].

1.2.2.10. Chlorure

La principale source de chlorure dans l'eau est la dissolution des roches sédimentaires qui se déposent dans les milieux marins, mais qui n'ont pas été entièrement réduites, ainsi que la présence d'évaporites. D'autres sources potentielles de chlorures comprennent l'entrée d'eau de mer et les phénomènes d'évaporation dans les bassins endoréiques. Les roches cristallines jouent un rôle mineur dans la minéralisation des chlorures [35].

1.2.2.11. Calcium

Le calcium est un élément métallique alcalino-terreux qui se trouve largement dans la nature, notamment dans les roches calcaires sous forme de carbonates. Il est considéré comme un composant majeur de la dureté de l'eau potable, et est généralement l'élément prédominant dans les eaux potables. Sa concentration dans l'eau varie en fonction de la nature des sols traversés par l'eau. Le calcium se trouve principalement sous forme d'hydrogénocarbonate, mais également en quantités moindres sous forme de sulfates et de chlorures [36].

1.2.2.12. Sodium

Les concentrations en sodium dans l'eau sont influencées par la géologie de chaque région. Le sodium dans l'eau provient des formations géologiques contenant du chlorure de sodium et de la décomposition des sels minéraux. Dans le corps humain, le sodium joue un

rôle important dans le maintien de l'équilibre des compartiments cellulaires, sous l'influence de processus de régulation endocrinienne et cardiovasculaire.

Les corrélations entre la consommation journalière du sodium par l'homme et l'hypertension artérielle ont été démontrées [37].

1.2.2.13. Potassium

Le potassium se trouve dans la croûte terrestre surtout dans les roches ignées (granite, rhyolite, syénite). Il est à peu près constant dans les eaux naturelles (10 à 15 mg/l) [36] et n'a pas d'effet sur la santé des populations. Certains rejets industriels (mines de potasse) et d'usines d'engrais peuvent entraîner des quantités de potassium relativement importantes dans l'eau.

1.2.2.14. Magnésium

Le magnésium est un élément très répandu dans la nature et la majorité de ses sels sont très solubles dans l'eau, même le carbonate. Sa teneur dépend de la composition des roches sédimentaires rencontrées, et elle dépasse rarement 15mg/l. Les valeurs les plus faibles sont relevées dans la plupart des eaux des massifs anciens [36].

1.2.2.15. Sulfates

La présence de sulfate dans les eaux naturelles non polluées invoque la présence de gypse ou de pyrite. La teneur en sulfates (SO_4^{2-}) dans l'eau est liée aux composés alcalins de la minéralisation. Selon l'intolérance des consommateurs, l'excès de sulfates dans l'eau peut entraîner des troubles intestinaux [37].

1.2.2.16. Phosphates

Les ions phosphates sont présents dans les eaux de surface et souterraines, et peuvent être d'origine naturelle, telle que la décomposition de matière organique ou le lessivage de minéraux, ou d'origine anthropique, provenant de rejets industriels, domestiques ou d'engrais. En absence d'oxygène, leur concentration est généralement faible. Cependant, les eaux usées mal traitées peuvent introduire des quantités significatives de phosphates dans les eaux de surface telles que les rivières et les lacs. La concentration maximale admissible de phosphate dans l'eau potable est fixée à 0,5 mg/L [38].

1.2.3. Paramètres indésirables

Certains paramètres de qualité de l'eau sont considérés comme indésirables car ils peuvent causer des désagréments pour les consommateurs, tels que le goût, l'odeur ou la couleur de l'eau, ou encore des effets néfastes sur la santé. Les principales préoccupations en matière de qualité de l'eau sont donc la présence de matières organiques (mesurée par

l'oxydabilité au permanganate de potassium), la concentration en ammonium, la présence de nitrates et de nitrites, ainsi que la concentration en fer. Ces paramètres font l'objet d'une surveillance particulière pour garantir la sécurité sanitaire de l'eau potable [33].

1.2.3.1. Fer

Le fer est un élément abondant dans la croûte terrestre, classé 4ème en termes de fréquence. Il est largement utilisé dans l'industrie métallurgique, et ses applications dans la chimie sont nombreuses. Les eaux de surface peuvent contenir jusqu'à quelques milligrammes par litre de fer, provenant de l'érosion des sols ou de la pollution industrielle. Les eaux de forage peuvent contenir jusqu'à 10 mg/l de fer, tandis que certaines eaux minérales, en particulier les eaux thermales, peuvent en contenir plus de 10 mg/l. La présence de fer dans l'eau peut causer des problèmes de goût, d'odeur et de coloration, ainsi que des problèmes de santé pour les consommateurs [36].

1.2.3.2. Aluminium

La présence d'aluminium dans l'eau potable est principalement due à l'utilisation de coagulants contenant ce métal lors du traitement de l'eau. Bien que les risques sanitaires liés à l'aluminium dans l'eau potable n'aient pas été clairement démontrés, il est soupçonné d'aggraver la maladie d'Alzheimer. Selon l'OMS, une concentration d'aluminium supérieure à 0,2 mg/l peut provoquer des désagréments tels que la floculation de l'hydroxyde d'aluminium dans les canalisations et une coloration de l'eau due à la présence de fer.

1.2.3.3. Manganèse

Le manganèse est un élément abondant dans la nature, avec des concentrations allant jusqu'à 500 à 600 mg/kg dans l'écorce terrestre. Il se trouve sous forme de minerais tels que la pyrolusite, la rhodochrosite ou la brunîtes. Dans certaines eaux souterraines, sa concentration peut atteindre environ 1 mg/l, surtout en présence d'un milieu réducteur ou sous l'effet de certaines bactéries [36].

1.2.3.4. Fluor

Le fluor se retrouve naturellement dans les eaux souterraines sous forme d'apatite présente dans les bassins phosphatés, de fluorine présente dans les roches magmatiques alcalines et dans des filons, ainsi que dans les zones de thermalisme. Les concentrations élevées en fluor sont principalement dues au temps de contact entre l'eau souterraine et la roche, ainsi qu'à des facteurs chimiques. Le fluor est reconnu pour ses effets bénéfiques sur la prévention des caries dentaires, mais une ingestion régulière d'eau dont la concentration en fluor est supérieure à 2mg/l peut être préoccupante pour la santé.

1.2.3.5. Nitrites

Les nitrates sont présents dans l'eau grâce au lessivage des produits azotés dans le sol, à la décomposition des matières organiques, ou à l'utilisation d'engrais de synthèse ou naturels. L'azote est un élément essentiel dans la formation des cellules et se présente sous différentes formes dans l'eau : moléculaire (N₂), ionisée (nitrates, nitrites et ammonium) ainsi que sous forme organique dissoute ou particulaire (protéines, acides aminés, urée, etc.). Ces différentes formes de l'azote sont en constante évolution et peuvent se transformer les unes en les autres par des processus physico-chimiques et surtout biochimiques. Bien que les nitrates ne constituent qu'une des multiples formes de l'azote présent dans l'eau, ils sont généralement la forme la plus abondante de l'azote minéral [39].

1.2.4. Paramètres organiques globaux

Les paramètres globaux couramment utilisés pour estimer la teneur en matière organique d'une eau sont les suivants :

1.2.4.1. La demande biochimique en oxygène à 5 jours (DBO5)

La mesure de la demande biochimique en oxygène (DBO) consiste à fournir la quantité d'oxygène nécessaire pour dégrader la matière organique d'un échantillon d'eau par voie biologique, à une température de 20°C pendant une durée d'incubation de 5 jours. Cette mesure permet d'estimer la quantité de matières organiques biodégradables présentes dans l'eau. D'après CHAPMAN et al. (1996), la DBO5 des eaux naturelles est inférieure à 2 mg/l [40].

1.2.4.2. La demande chimique en oxygène (DCO)

La DCO exprime la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder la matière organique, d'une eau à l'aide d'un oxydant : le bichromate de potassium, en milieu acide fort (H₂SO₄) et au reflux pendant 2 heures [36].

1.2.5. Paramètres de toxicité

Des substances présentes dans l'eau et dans la terre sont des éléments nécessaires à la vie des plantes et des animaux. Ils jouent un rôle important dans la transformation de la matière. Au-delà du seuil maximum, ils inhibent la croissance et deviennent toxiques.

Tableau 1.4: Norme des substances toxiques d'une eau potable. [41, 42, 43]

Paramètre toxique	Unité	Norme (OMS,2006)	Norme (Algérienne,2000)
Arsenic	mg/l	0.01	Au maximum 0.05
Cadmium	mg/l	0.003	Au maximum 0.01

Paramètre toxique	Unité	Norme (OMS,2006)	Norme (Algérienne,2000)
Cyanure	mg/l	0.07	Au maximum 0.05
Chrome	mg/l	0.05	Au maximum 0.05
Mercure	mg/l	0.001	Au maximum 0.01
Plomb	mg/l	0.1	Au maximum 0.05
Sélénium	mg/l	0.1	Au maximum 0.01

1.2.6. Paramètres bactériologiques

1.2.6.1. Les Coliformes

Les coliformes sont des bactéries appartenant à la famille des Enterobacteriaceae. Elles sont des bacilles Gram-négatifs, non sporulés, et ont la particularité d'être oxydase négatives et aéro-anaérobies facultatives. Les coliformes sont capables de fermenter le lactose (et le mannitol) avec production d'acide et de gaz dans un délai de 48 heures, à des températures de 35 à 37°C. Les genres les plus courants de coliformes sont : Escherichia, Citrobacter, Enterobacter, Klebsiella, Yersinia et Serratia [36].

1.2.6.2. Coliformes fécaux ou Coliformes thermotolérants

Les coliformes fécaux sont des coliformes de bacilles à Gram négatifs, aérobies ou anaérobies facultatifs, non sporulés, ne possédant pas d'oxydase, capable de se multiplier en présence de sels biliaires et capable de fermenter le lactose avec production d'acide et de gaz en 24 à 48 heures à une température comprise entre 36 et 37° C [44].

1.2.6.3. Les streptocoques fécaux

Les streptocoques fécaux sont des micro-organismes utilisés comme indicateurs de la contamination fécale de l'eau. Ils sont souvent analysés en même temps que les coliformes fécaux et totaux pour évaluer la qualité microbiologique de l'eau [45].

1.3. Normes de potabilité d'une eau

Généralement, lors de l'analyse d'un échantillon d'eau, on recherche la présence de certains paramètres et on mesure leur concentration dans l'eau. Chaque paramètre est associé à une norme qui définit une limite supérieure à ne pas dépasser et/ou une limite inférieure à respecter. Si la concentration d'un paramètre dépasse la limite fixée, cela indique une non-conformité de l'eau par rapport aux normes en vigueur.

Dans ce cadre, l'OMS ne propose pas de normes strictes pour les paramètres de qualité de l'eau, mais plutôt des valeurs guides qui sont souples et peuvent être utilisées de manière adaptée pour protéger la santé de la population tout en permettant des comparaisons de la qualité de l'eau.

Tableau 1.5 : Limites de qualité des eaux destinées à la consommation [41, 42, 43].

Paramètre	Unité	Norme OMS (2006)	Norme UE (1998)	Norme Algérienne (2000)
Paramètres organoleptiques				
Turbidité	Unité Jackson	<5	2	Au maximum 2
Couleur	Mg/ de platine	15	-	Au maximum 25
Odeur	Seuil de perception à 25°C	4	2	Au maximum 4
Saveur	Seuil de perception à 25°C	2	4	Au maximum 4
Paramètres physico-chimiques				
Température	C°	≤5	≤25	-
pH	-	6.5 à 8.5	6.5 à 9	6.5 à 8.5
Conductivité	μs/cm	2800	1000	Max 2800
Résidus secs	mg/l après séchage	Max 2000	Max 1500	1.5 à 2
Alcalinité totale	°F	≥2.5	≥2.5	-
Dureté totale	°F	≤15	≤15	10 à 50
Chlorure	mg/l de Cl ⁻	200	200	200 à 500
Sulfates	mg/l de SO ₄ ²⁻	200	200	200 à 400
Sodium	mg/l de Na ⁺	200	150	200
Potassium	mg/l de K ⁺	20	12	20
Les substances indésirables				
Azote	mg/l	50	Non mentionnée	Au maximum 1
Fluor	mg/l	1.5	1.2	0.2 à 2
Hydrogène sulfuré	mg/l	0.05 à 1	-	Peut-être décelable Organoleptiquement
Manganèse	mg/l	0.5	0.05	Au maximum 0.05

Paramètre	Unité	Norme OMS (2006)	Norme UE (1998)	Norme Algérienne (2000)
Fer	mg/l	0.3	0.2	Au maximum 0.3
Cuivre	mg/l	2	2	Au maximum 1.5
Zinc	mg/l	3	Non mentionnée	Au maximum 5
Argent	mg/l	Pas de valeur guide	-	Au maximum 0.05
Les paramètres de pollution				
Nitrates	mg/l	(Voir azote)	50	Au maximum 50
Nitrites	mg/l	(Voir azote)	0.5	Au maximum 0.1
Ammonium	mg/l	0.5	Max 0.5	Au maximum 0.5
Phosphore	mg/l	0.5	Max 0.5	-
Paramètres bactériologiques				
Germes pathogènes	Nbr/ml	0	0	-
Coliformes totaux	Nbr/ml	0	0	-
Colibacilles	Nbr/ml	0	0	-
Streptocoques fécaux	Nbr/ml	0	0	-
Clostridium sulfito- réducteurs	Nbr/ml	0	0	-

Conclusion

Cette revue nous a permis d'établir les bases conceptuelles et théoriques nécessaires à la compréhension des aspects clés liés à la qualité des eaux souterraines dans la plaine de Mitidja. Elle nous a fourni également une base solide pour le développement de notre méthodologie et l'interprétation des résultats obtenus dans les chapitres suivants.

Chapitre 2 : Présentation de la Zone d'Étude

Introduction

Ce chapitre est dédié à la présentation de la zone d'étude, la plaine de Mitidja. Cette présentation vise à fournir une compréhension approfondie des caractéristiques géographiques, topographiques, climatologiques, hydrologiques, géologiques et des ressources en eau de la plaine.

2.1. Géographie et topographie de la zone d'étude

2.1.1. Situation géographique

Avec une superficie d'environ 1500 km² et une altitude moyenne de 100 m ; la Mitidja est une vaste plaine alluviale du Nord algérien qui appartient aux grands bassins côtiers algérois (*fig.2.1*), codé (2) par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques [46].

La Mitidja est limitée à l'ouest par l'oued Nador et à l'est par l'oued Boudouaou, et par la mer méditerranéenne au nord et l'Atlas Blidéen au Sud. Elle est située entre les Longitudes 2°25' à 3°17' et les altitudes 36°29' à 36°44' [47]. Elle est répartie entre les wilayas d'Alger, Blida, Tipaza et de Boumerdès.

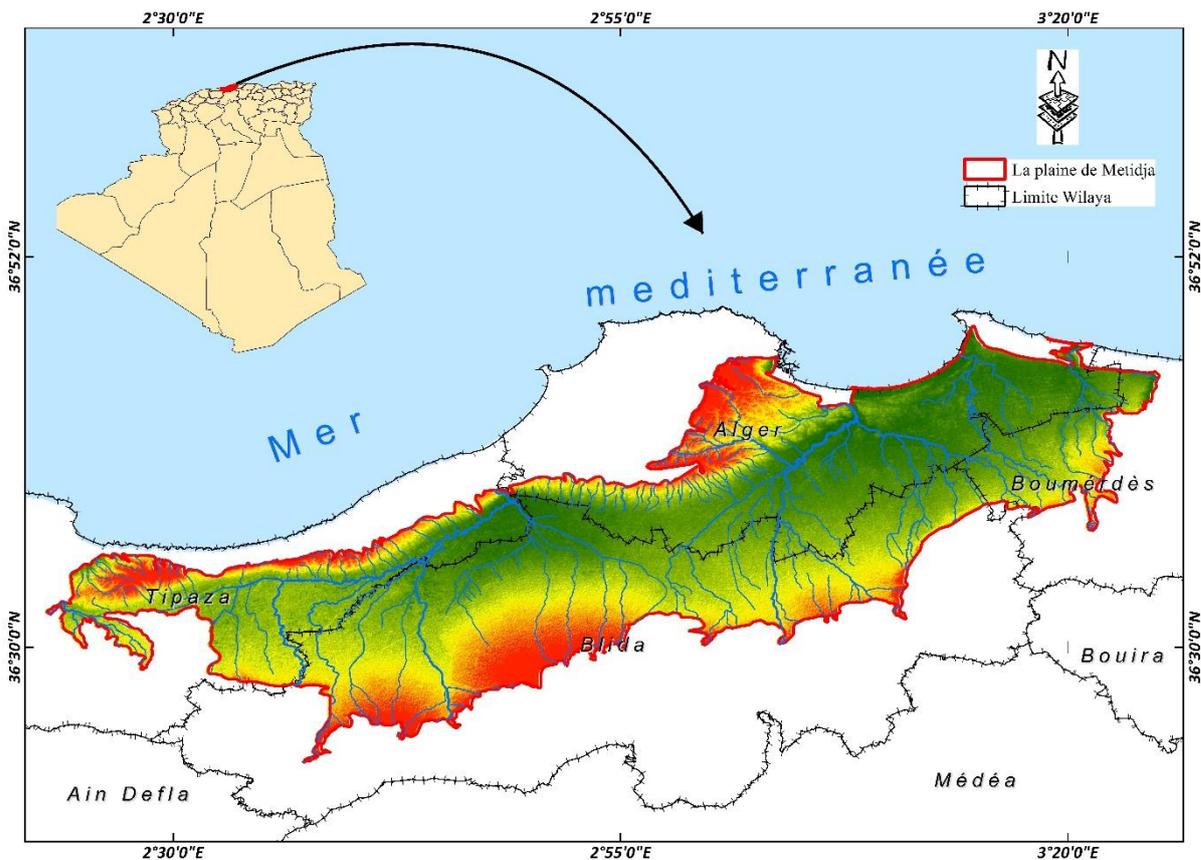


Figure 2.1 : Situation géographique de la plaine de Mitidja.

La plaine de la Mitidja s'étend avec une légère pente et trouve sa limite naturelle au sud avec l'Atlas de Blida, une chaîne de montagnes qui atteint une altitude de plus de 1600 m. Cette chaîne montagneuse joue un rôle crucial dans l'alimentation du réseau hydrographique de la Mitidja (*Fig.2.1*). Du point de vue hydrologique, la plaine de la Mitidja est traversée par plusieurs cours d'eau, tels que l'oued Réghaïa, l'oued El Hamiz, l'oued El Harrach, l'oued Mazafran et leurs affluents (Chiffa, Bouroumi et Djer). Ces cours d'eau prennent leur source dans les contreforts de l'Atlas blidéen. En particulier, les sections aval de ces cours d'eau jouent un rôle essentiel dans le renouvellement de la nappe alluviale de la Mitidja, avant de se jeter dans la mer Méditerranée (*Fig.2.1*).

2.1.2. Caractéristiques topographiques

La plaine de Mitidja s'étend sur une longue distance d'environ 100 km et a une largeur d'environ 15 à 20 km. Elle est située entre l'Atlas Blidéen au sud et le Sahel au nord. Cette dépression géographique est caractérisée par une ouverture significative sur la mer Méditerranée, s'étendant sur environ 30 km. À l'ouest de la plaine, les collines du Sahel rencontrent le massif montagneux de Chenoua, qui culmine à 905 mètres d'altitude. Ces collines rejoignent également les premières hauteurs de l'Atlas au plateau de Fadjana, où l'on trouve le djebel Thebarrarine avec une altitude de 853 mètres au sud.

La plaine de Mitidja s'incline doucement du sud au nord, descendant de l'Atlas vers les collines. Sur une distance de 70 km, entre Ahmeur-el-Ain et le fond du lac Halloula à l'extrémité ouest d'Alger, la plaine est seulement séparée de la mer par l'oued Nador, puis par le Mazafran situé à 40 km plus loin [48].

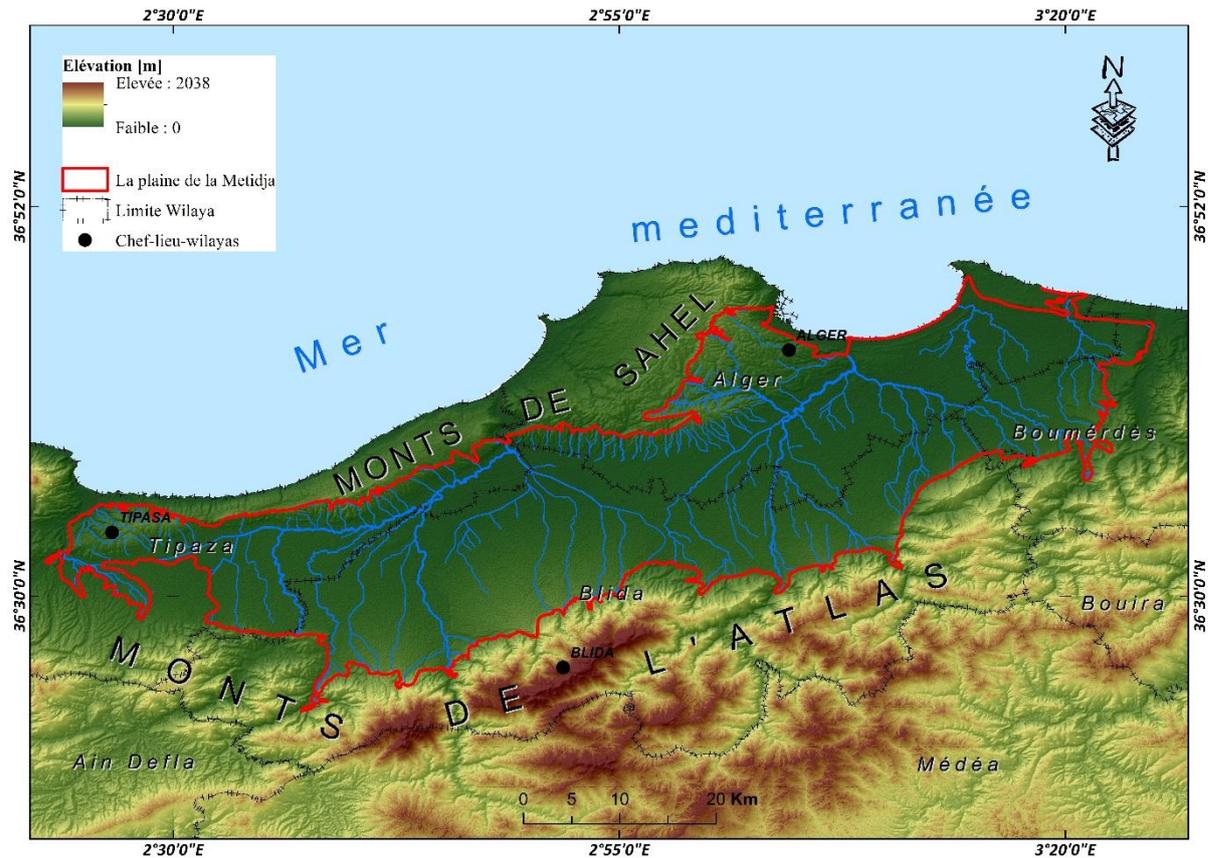


Figure 2.2 : Caractéristiques topographiques de la Plaine de Mitidja.

2.2. Climat de la zone d'étude

2.2.1. Régime climatique général

Le climat de la plaine de la Mitidja est classé comme régional subhumide littoral, ce qui est typique des plaines côtières de la région. Cependant, à mesure que l'on s'éloigne du littoral et que l'on s'enfonce dans les terres, le climat devient de plus en plus continental, entraînant une diminution significative des températures [48].

2.2.2. Précipitations

Dans la région d'étude, les précipitations présentent une grande variabilité à la fois entre les mois et les années. Cette variabilité est influencée par plusieurs facteurs, notamment la latitude et la continentalité.

L'étude est basée sur les séries de précipitations annuelles qui s'étalent entre 1970 et 2012, enregistrées sur 22 stations dispersées de manière à couvrir la plaine de la Mitidja (Fig.2.3, Tab.2.1). Avant l'exploitation de ces données, on a procédé, dans une première étape, à la suppression des mesures mensuelles aberrantes incluant les valeurs anormalement

importantes dues, en général, à une erreur de saisie dans la base de données. Dans une deuxième étape, on a effectué un comblement des lacunes mensuelles.

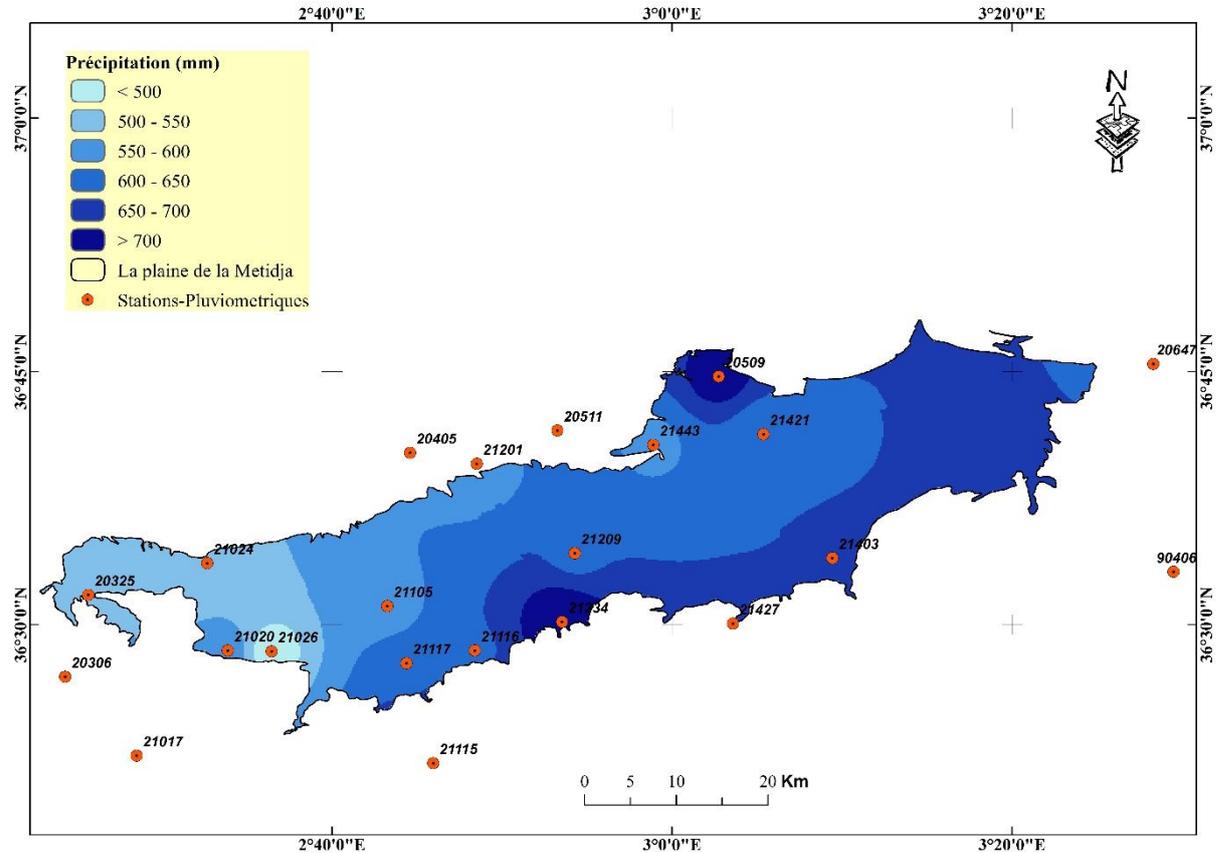


Figure 2.3 : Carte des précipitations de la plaine de Mitidja.

Les pluies interviennent principalement en automne, en hiver et au printemps. L'été est généralement sec. C'est d'ailleurs là une caractéristique du climat méditerranéen. Les valeurs annuelles de précipitations de la Mitidja sont représentées dans le tableau :

Tableau 2.1 : Les valeurs annuelles de précipitations de la Mitidja.

N°	Nom	Code	X (m)	Y (m)	Z (m)	Pmoy.An (mm)
1	Meurad Barrage	020306	473800	349900	300	629,88
2	Pont Cw 7 Hadjout	020325	475850	358850	59	511,32
3	Fouka Marine	020405	504100	374400	25	594,66
4	Birmandreis ANRH	020509	531100	382800	140	742,72
5	Mahelma Ferme	020511	517000	376850	150	620,72
6	Boumerdes	020647	569150	384400	50	62,33
7	Boumedfaa Mf	021017	480050	341250	270	504,23
8	Ameur El Ain	021020	488100	352750	120	584,69
9	Sidi Rached Helloula	021024	486300	362300	57	506,85
10	El Affroun Dne 44	021026	491950	352650	95	452,46

N°	Nom	Code	X (m)	Y (m)	Z (m)	Pmoy.An (mm)
11	Rn4 Chiffa	021105	502100	357600	58	56,42
12	El Hamdania	021115	506150	340400	400	912,98
13	Blida	021116	509800	352750	210	639,92
14	Chiffa	021117	503800	351350	110	622,87
15	Fer A Cheval	021201	509950	373200	10	551,7
16	Boufarik Pepiniere	021209	518550	363400	60	631,91
17	Soumaa	021234	517450	355900	177	787,58
18	Larbaa	021403	541150	362950	100	659,78
19	Baraki	021421	535050	376500	20	603,29
20	Douar Makli	021427	532450	355750	130	662,66
21	Altairac	021443	525400	375300	20	575,69
22	Tazerout	090406	571100	361650	520	783,83

La région d'étude présente une importante variabilité des précipitations tant dans le temps que dans l'espace. La partie Est, du nord au sud, est caractérisée par un climat plus humide, avec des valeurs de précipitations dépassant les 700 mm enregistrées dans différentes stations. Par exemple, la station El-Hamdania affiche une moyenne interannuelle de 913 mm, tandis que la station Tazerout enregistre en moyenne 784 mm de précipitations. Cette observation peut être expliquée par les altitudes élevées dans cette partie de la région. En revanche, les précipitations minimales sont enregistrées dans les stations RN4 Chiffa (56,42 mm) et Boumerdes (62,33 mm), en raison de leurs altitudes très basses. En effet, le régime de pluie dans cette région est de type méditerranéen à partir du mois de juin, avec les mois de juin, juillet et août étant les plus secs. Les valeurs maximales de précipitations sont observées en janvier et février.

2.2.3. Températures

Chaque espèce ne peut vivre que dans un certain intervalle de températures limité au-dessus par de températures létales maximales et au-dessous par des températures létales minimales. En dehors de cet intervalle, elle est tuée par la chaleur ou par le froid (**DREUX, 1974**). La région de la Mitidja se caractérise par un climat méditerranéen. Les étés sont chauds et secs, tandis que les hivers sont froids et relativement humides. Cette variation saisonnière est typique des régions méditerranéennes [47]. En effet, les températures mitidjiennes sont soumises à l'influence de la mer, d'avantage dans la partie orientale de la plaine qu'à Oued El Alleug ou à Hadjout (**MUTIN, 1977**).

L'analyse des données de température enregistrées à la station météorologique de barrage Boukourdane sur une période allant de 1988 à 2008 met en évidence une moyenne annuelle de température d'environ 17,95 °C. Au cours de la saison estivale, qui s'étend de juin à août, les températures moyennes varient entre 23,16 °C et 26,53 °C. En revanche, les trois mois d'hiver, de décembre à février, se caractérisent par des températures moyennes relativement basses, oscillant entre 11,90 °C et 12,46 °C. Ces données sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau 2.2 : Variation temporelle des températures à la station de Boukourdane.

T (°C)	Automne			Hiver			Printemps			Été		
	sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	juil	Août
moy	23,31	19,83	15,53	12,46	10,97	11,90	13,84	15,05	19,05	23,16	26,11	26,53
	19.56			11.78			15.98			25.27		
max	29,27	26,71	21,10	16,86	16,65	17,04	19,17	20,62	24,59	28,67	32,07	32,38
	25.69			16.85			21.46			31.04		
min	17,76	13,71	10,68	8,57	6,58	7,01	9,60	11,18	13,70	18,18	20,91	20,37
	14.05			7.39			11.49			19.82		

2.2.4. L'évaporation

Tableau 2.3 : Variation mensuelle de l'évaporation à la station de Boukourdane.

Mois	sept	oct	nov	dec	jan	fev	mars	avr	mai	juin	juil	aout
Evap (mm)	162,81	129,98	75,85	82,56	60,99	68,21	106,98	133,92	164,80	219,58	247,83	221,92

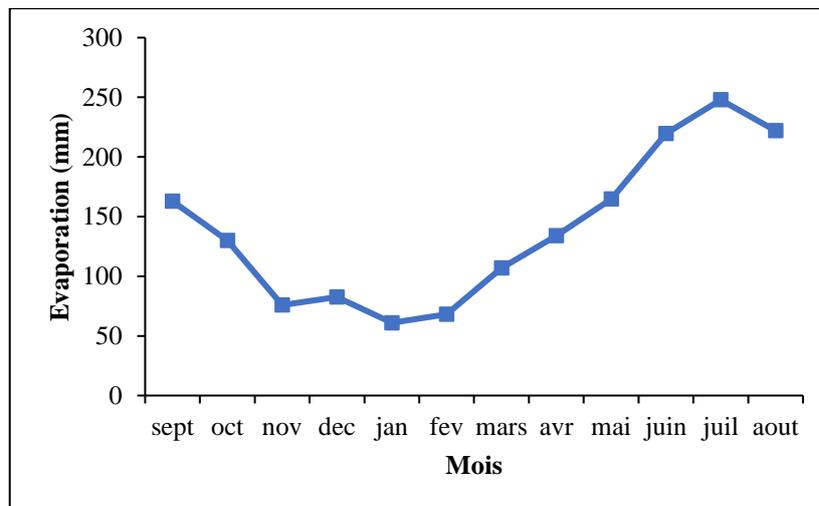


Figure 2.4 : Variation mensuelle de l'évaporation à la station de Boukourdane.

2.2.5. L'humidité de l'air

L'humidité de l'air joue un rôle essentiel dans la compréhension de l'état de l'atmosphère, tout aussi important que les précipitations. Elle révèle si l'air est plus ou moins proche du point de condensation. Elle augmente progressivement à partir du sol et atteint son maximum lorsque les couches nuageuses sont présentes, avec une valeur de 100 %.

L'humidité de l'air est généralement mesurée à l'aide de paramètres tels que l'humidité relative et le point de rosée. C'est le rapport entre la quantité d'eau réellement présente dans l'air et la quantité maximale que l'air peut contenir à une température donnée. Lorsque l'humidité relative atteint 100 %, cela signifie que l'air est saturé et ne peut plus retenir d'eau sous forme de vapeur, ce qui conduit souvent à la formation de nuages et à la possibilité de précipitations.

Le niveau d'humidité de l'air peut varier en fonction de nombreux facteurs, tels que la température, la pression atmosphérique, les mouvements d'air et la proximité de sources d'eau, comme les océans, la mer, les lacs ou les rivières. Les conditions météorologiques locales et la géographie d'une région peuvent également influencer l'humidité de l'air. Par exemple, les régions côtières ont souvent une humidité plus élevée en raison de l'évaporation de l'eau de mer, tandis que les régions continentales peuvent avoir une humidité plus faible en raison de l'éloignement des sources d'eau.

Les données sur l'humidité relative maximale et minimale ont été obtenues mensuellement en utilisant les enregistrements de la station météorologique de barrage Boukourdane pour la période de 1987/1988 à 2007/2008. Les valeurs moyennes mensuelles maximales d'humidité relative varient de 92,18 % en juillet à 96,25 % en novembre. En revanche, les valeurs minimales varient de 2,80 % à 19,06 %. L'humidité relative de l'air est généralement plus basse pendant les mois chauds et plus élevée pendant les mois froids (voir figure 2.5).

Tableau 2.4 Humidité relative maximale et minimale mensuelle (1988-2008).

Humidité (%)	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Max	94,40	95,06	96,25	94,19	95,00	95,29	94,18	95,75	94,53	92,18	92,93	92,57
Min	11,13	11,31	14,06	19,06	11,88	10,41	7,56	11,56	9,63	4,76	2,80	2,86

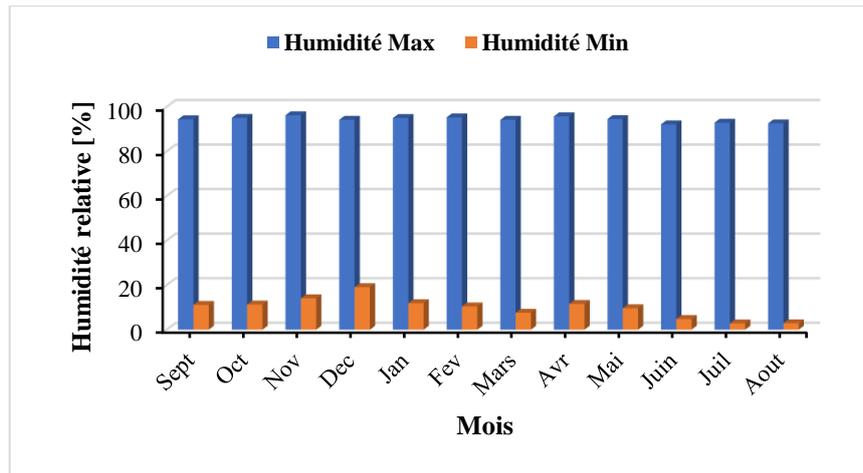


Figure 2.5 : Répartition mensuelle d'humidité maximale et minimale.

2.3. Caractéristiques hydrologiques

2.3.1. Réseaux hydrographiques

La plaine de la Mitidja est traversée d'est en ouest par plusieurs cours d'eau importants, à savoir l'oued Réghaïa, l'oued Hamiz, l'oued El Harrach, l'oued Mazafran et l'oued Nador. Tous ces affluents prennent leur source dans l'Atlas et suivent une direction générale de sud vers nord en traversant la plaine. Ces cours d'eau jouent un rôle crucial dans le renouvellement de la nappe alluviale de la Mitidja en transportant l'eau des montagnes vers la plaine, favorisant ainsi son infiltration dans la nappe souterraine. Cette recharge en eau de la nappe alluviale est essentielle pour l'irrigation des terres agricoles de la région. Parmi ces cours d'eau, l'oued Mazafran présente les débits les plus élevés. Avec une longueur de 65 km et une surface de bassin versant de 1900 km², il est considéré comme le plus important. Il est formé par la confluence de trois autres oueds, à savoir l'oued Djer, l'oued Bouroumi et l'oued Chiffa.

✓ Oued Djer :

L'oued Djer, tout comme l'oued Bourkika, était indécis quant à sa direction, hésitant entre deux voies opposées. L'une allait vers l'ouest, en direction du lac Halloula, tandis que l'autre se dirigeait vers l'est, rejoignant l'oued Bou Roumi. Cependant, grâce à des mesures prises au cours du siècle dernier en suivant le pied du Sahel, ces hésitations ont été résolues, mettant ainsi fin à des fluctuations favorables à la formation de marais dans la basse plaine.

✓ Oued Bouroumi :

Autrefois, l'oued Bouroumi occupait un lit qui pourrait correspondre à celui de l'actuel oued Bouchouaou. Il suivait un trajet qui contournait de manière très proche le cône de la

ville de Mouzaia, Chiffa, et se terminait près du point où la Chiffa change de nom pour devenir Mazafran. Cependant, ces circonstances ont évolué récemment.

✓ **Oued Chiffa :**

Actuellement, l'oued Chiffa traverse la plaine de manière directe, du sud au nord, sans aucune hésitation. Cependant, il est possible que cela n'ait pas toujours été le cas. En raison d'un relief peu marqué composé d'alluvions anciennes, l'oued Chiffa aurait pu être contraint de contourner la base du cône de déjection de Blida. Ainsi, il suivait son cours à travers Haouch Kouch, une zone déprimée aujourd'hui traversée par le canal de dessèchement, avant de se terminer dans la cluse du Mazafran.

À la fin de leur parcours à travers la plaine de la Mitidja, ces cours d'eau se dirigent vers la mer Méditerranée, où ils se jettent, assurant ainsi un écoulement final vers l'océan. Cette interaction entre les cours d'eau et la mer joue un rôle essentiel dans le maintien de l'équilibre hydrologique de la région.

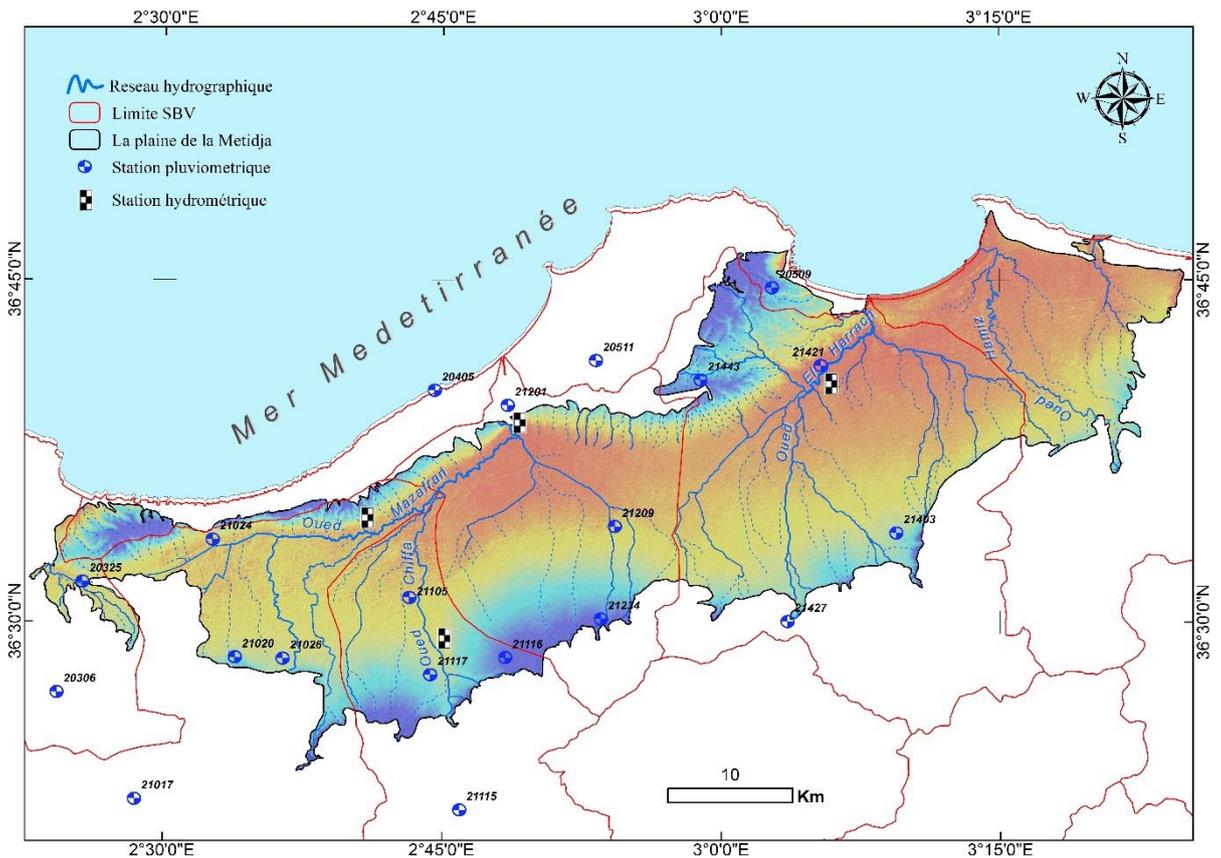


Figure 2.6 : Réseau hydrographique de la Mitidja.

2.3.2. Caractéristiques des bassins versants

La plaine de Mitidja est partagée en quatre bassins fluviaux : celui d'oued Nador, d'oued Mazafran, d'oued Harrach et du Hamiz. Alors que la plaine s'allonge dans une direction

d'Est-Ouest, ces derniers la traverses perpendiculairement selon des directions méridiennes.

Tableau 2.5 : Principaux Oueds de la plaine de Mitidja.

Bassin versant	Principaux Oueds
Nador	Nador, Bourkika, Meuraad, Bouharoun, Bouyéersen
Mazafran	Djer, Bouroumi, Chiffa
El Harrache	Djemaa, Semar
Hamiz et Réghaïa	Hamiz, Réghaïa

2.3.3. Régime hydrologique

La dépression allongée de la plaine de la Mitidja présente un réseau hydrographique qui n'est pas idéalement adapté ni bien structuré. Les cours d'eau qui la traversent le font perpendiculairement, selon des directions méridiennes, prenant tous leur source dans l'Atlas. Leurs vallées sont étroites, peu profondes et encaissées. Parmi ces cours d'eau, on peut mentionner, de l'ouest à l'est, les oueds Nador, Mazafran et El Harrach.

Les oueds Nador, Bou yerzen, Meurad et Bourkika se rejoignent pour former l'Oued Nador, qui traverse la plaine de la Mitidja vers le nord et franchit le Sahel par des cluses. Cependant, l'Oued Mazafran est le cours d'eau le plus important dans la région de la Mitidja, étant constitué des oueds Djer, Bouroumi et Chiffa. À l'est de la plaine, l'Oued El Harrach traverse la Mitidja du sud vers le nord, puis se courbe au pied du Sahel jusqu'à la cluse d'El Harrach. À l'extrême est de la Mitidja, l'Oued El Hamiz prend une direction nord-est à partir de Fourkoug jusqu'à Hamadi, puis se redresse jusqu'au Sahel avant de se jeter dans la mer, au sud de Cap Matifou.

Le débit précis de ces Oueds n'est pas connu avec certitude. Malheureusement, la majeure partie des eaux qui traversent la plaine du sud au nord de manière perpendiculaire reste actuellement inutilisée. Les écoulements se produisent principalement pendant la saison des pluies, lorsque l'irrigation n'est pas nécessaire. Cette sous-utilisation des ressources en eau dans la plaine de la Mitidja soulève des questions sur la gestion hydrologique et l'optimisation de ces ressources pour répondre aux besoins agricoles et environnementaux de la région. Il serait intéressant d'étudier plus en détail les débits de ces oueds afin de mieux comprendre leur potentiel hydrique et d'évaluer les possibilités d'utilisation de ces ressources pour l'irrigation ou d'autres usages. De plus, il serait pertinent d'explorer les solutions techniques et les aménagements hydrologiques possibles pour mieux

structurer le réseau hydrographique de la plaine de la Mitidja et optimiser l'utilisation de ces précieuses ressources en eau tout au long de l'année.

2.4. Ressources en eau

2.4.1. Disponibilité des ressources en eau

Les eaux de surface sont retenues et stockées dans les barrages présents dans la plaine de la Mitidja (ANBT) :

- Barrage du Hamiz 220 km³
- Barrage de Boukourdane 97 km³
- Barrage de Bou Roumi 215 km³

Les potentialités hydrogéologiques de la Mitidja sont caractérisées par une nappe souterraine d'une importance significative. Les ressources en eau disponibles dans cette nappe sont estimées à environ 500 hm³. Parmi les principaux champs captant exploitant cette nappe, on trouve :

- Mazafran I et II,
- Chebli,
- Barraki,
- Haouch Felit,
- Hamiz.

2.4.2. Utilisation actuelle des ressources en eau

Le principal but de cette section est de fournir un aperçu de la demande en eau dans différents secteurs tels que l'agriculture, l'industrie et les zones urbaines. De plus, elle présente également des informations sur la population et la densité dans les principaux centres urbains de la plaine.

2.4.2.1. Besoin en eau

La demande croissante des centres urbains a entraîné une diminution progressive de la disponibilité de la ressource en eau souterraine, ce qui a conduit à une insuffisance pour répondre aux besoins actuels. Cette situation est particulièrement préoccupante dans la région du Mazafran et de l'Araba, où les niveaux piézométriques de la nappe quaternaire, qui alimente plus de la moitié des terres irriguées, ont considérablement chuté, atteignant

des valeurs alarmantes de plus de 20 mètres. Ces baisses sont principalement attribuées à des prélèvements d'eau importants dans ces régions.

2.4.2.2. L'agriculture

Cette région présente des terres riches en raison de sa topographie et de sa fertilité, offrant ainsi des conditions favorables à diverses cultures telles que les agrumes, les arbres fruitiers et les maraîchages sur des terrains irrigués, ainsi que la viticulture et la culture du tabac, entre autres.

Dans le but d'exploiter de manière plus économique ces terres fertiles, un périmètre d'irrigation d'une superficie de plus de 24 000 hectares a été mis en place. L'approvisionnement en eau provient principalement du barrage El Moustakbel et de Boukerdane, en ce qui concerne la région ouest. La surface irriguée se caractérise par trois types d'assolement culturel : l'agrumiculture, une rotation maraîchère incluant des cultures industrielles, ainsi qu'une rotation de cultures fourragères. De plus, le périmètre est équipé d'un système d'assainissement qui assure une évacuation rapide des eaux de pluie et des apports extérieurs au périmètre.

2.4.2.3. Secteur industriel

La majeure partie des activités industrielles sont concentrées au centre et à l'est de la plaine, notamment dans les régions d'Araba, Blida, Rouïba, El-Harrach et Boufarik. On y trouve les deux pôles industriels de Rouïba et Réghaia. Les industries présentes dans la plaine comprennent :

- Mines et installations de traitement des minerais.
- Industrie de transformation du fer et d'autres matériaux.
- Industries chimiques produisant des silicates d'alumine.
- Industries alimentaires.
- Industries de transformation des résidus végétaux et animaux.
- Industrie de transformation des combustibles.
- Industrie de la cellulose et du papier, etc.

2.4.2.4. Démographie

En 1998, la population totale de la plaine s'élevait à 2 millions d'habitants, avec une densité de 60 habitants par kilomètre carré. Les principaux centres de concentration démographique comprennent Blida, Chiffa, Boufarik, Soumaa, El-Affroun, Dar El-Beida et El-Harrach.

Tableau 2.6 : Répartitions de la population par wilayas.

Wilaya	Population en 2008	Taux d'accroissement annuel moyen (1998-2008)
Alger	2 988 145	1.6
Blida	1 009 892	2.5
Boumerdès	802 083	2.2
Tipaza	617 661	1.6
Total	5417781	2.0

Source : ONS

Ce volume de population, concentré sur un territoire très limité du point de vue géographique, représente 15% de la population total du pays. La population de cette zone s'est accrue en 2008 par rapport à celle de 1998. Mais le taux d'accroissement démographique a augmenté.

2.4.3. Pressions sur les ressources en eau

Entre 1990 et le début des années 2000, le niveau piézométrique dans la nappe de la Mitidja a subi une baisse alarmante, avec une chute maximale de 18,6 m en période de basses eaux et de 15,9 m pendant les hautes eaux dans la Mitidja-Est, selon les données de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH). Cette diminution de la nappe phréatique s'est produite simultanément à une croissance démographique rapide de la Mitidja, où la population a doublé entre 1987 et 2007, entraînant une demande en eau considérable (NEZZAL et IFTITI-BELAID, 2013). En 2010, le volume total d'eau mobilisé dans la région dépassait 329 hm³, avec les eaux de surface représentant 53 % et les eaux souterraines 28 %. Le dessalement de l'eau de mer contribuait à hauteur de 19 % du volume mobilisé, selon les données de la Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger (SEAAL). De plus, une comparaison effectuée en 2012 entre deux campagnes de l'ANRH a révélé une diminution significative du niveau de la nappe phréatique de la Mitidja. Cette baisse de la surface piézométrique est attribuée à plusieurs facteurs [49] :

- **Longue période de sécheresse :** Les deux dernières décennies ont été marquées par une sécheresse prolongée, ce qui a entraîné une augmentation de la demande en eau. En conséquence, de nombreux forages ont été réalisés pour répondre aux besoins en eau, ce qui a contribué à l'abaissement du niveau de la nappe.
- **Expansion de l'irrigation :** En raison de la sécheresse, l'irrigation agricole a commencé plus tôt que d'habitude et les surfaces irrigables ont augmenté. Cela a

entraîné une demande accrue en eau souterraine, ce qui a également contribué à la diminution du niveau de la nappe.

Au cours des deux dernières décennies, les eaux souterraines de la nappe de la Mitidja ont également été affectées par divers types de pollution [50, 51] :

- ✓ La pollution par les nitrates.
- ✓ La pollution par intrusion marine dans la Mitidja Orientale (Baie d'Alger).
- ✓ La pollution accidentelle par les hydrocarbures.

2.5. Végétation et couverture terrestre

2.5.1. Types de végétation dominante

La plaine de la Mitidja présente un couvert végétal caractéristique de la région méditerranéenne. En parcourant les rives des oueds qui traversent la plaine, on peut observer de nombreuses formations forestières composées de peupliers blancs, de frênes, d'ormes et d'autres essences végétales. Ces formations représentent les vestiges des forêts naturelles qui ont autrefois couvert la région (**BENSETTITI, 1985**). Cependant, il convient de souligner que dans la partie centrale de la Mitidja, la présence de mauvaises herbes est notable, notamment dans les vergers d'arbres fruitiers mal entretenus. Parallèlement, on constate également un développement exubérant de divers groupements forestiers au sein de la végétation naturelle de la plaine (**WOJTERSKI et BOULFEKHAR, 1988 ; BOULFEKHAR, 1989**) [47]. Ces observations témoignent des dynamiques végétales complexes qui se manifestent dans cette région et soulignent l'importance de la gestion appropriée des vergers et des écosystèmes forestiers pour préserver la biodiversité et les équilibres écologiques de la Mitidja.

2.5.2. Occupation du sol et couverture terrestre

Dans la plaine de Mitidja, la région Nord-Est est caractérisée par la présence d'espaces bâtis, tandis que la partie Sud-Est est principalement dédiée aux cultures maraîchères et arboricoles. Au centre de la plaine, on observe une prédominance de la culture arboricole, avec la présence de forêts et de viticulture au Nord, des espaces bâtis au Sud, et une partie de grandes cultures en sec s'étendant jusqu'à l'Ouest.

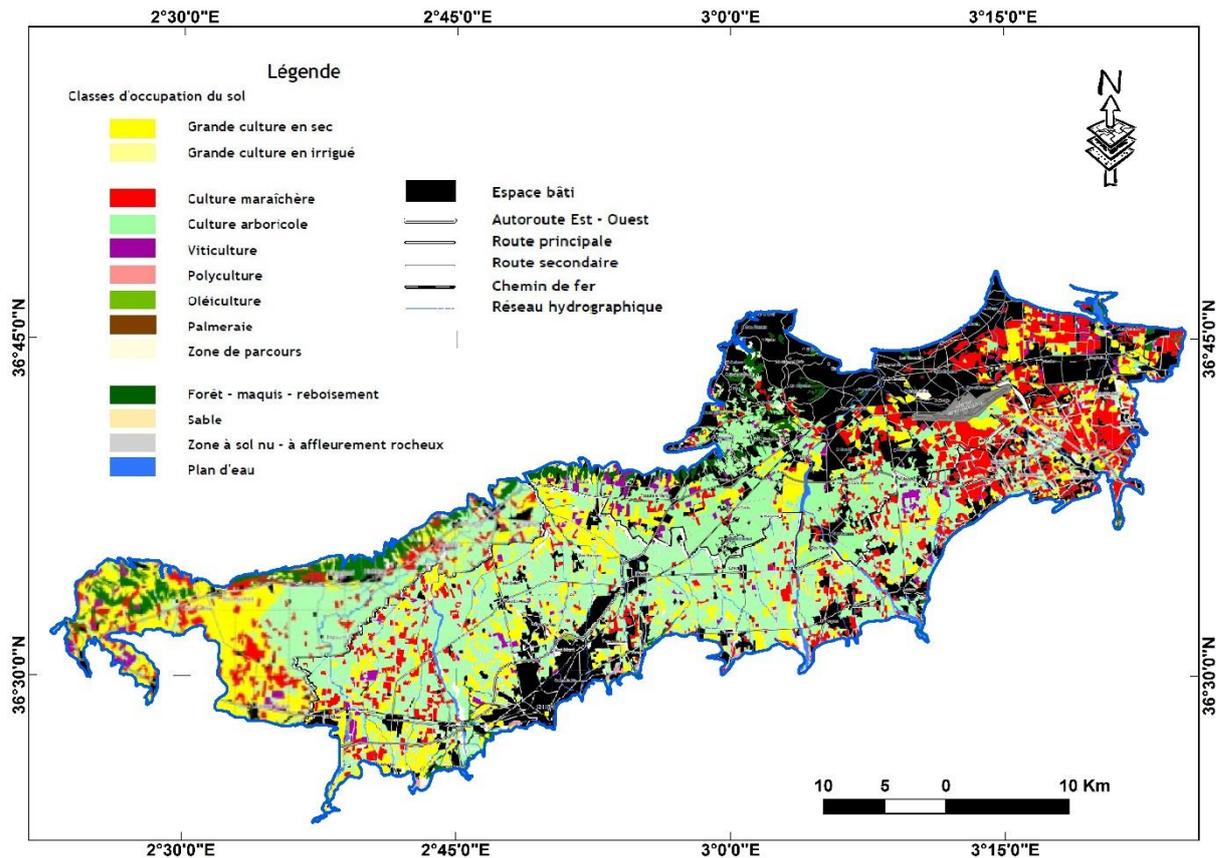


Figure 2.7 : occupation du sol de la zone d'étude.

2.5.3. Influence de la végétation sur les processus hydrologiques

La végétation exerce une influence significative sur les processus hydrologiques en jouant un rôle crucial dans le cycle de l'eau. Les plantes interagissent avec l'eau de différentes manières, contribuant ainsi à la régulation de la quantité et de la qualité de l'eau dans les écosystèmes. Tout d'abord, la végétation agit comme une barrière naturelle en interceptant une partie des précipitations, ce qui réduit le ruissellement direct et permet à l'eau de s'infiltrer lentement dans le sol. De plus, les plantes transpirent activement, évaporant l'eau par leurs feuilles et contribuant ainsi à l'évapotranspiration. Ce processus favorise la formation des nuages et la régulation du climat local. En outre, les racines des plantes stabilisent le sol, réduisant l'érosion causée par l'eau et le vent, et favorisant une infiltration plus efficace de l'eau dans le sol. La végétation riveraine joue également un rôle important en régulant le débit des cours d'eau, en maintenant la stabilité des berges et en contribuant à un écoulement régulier de l'eau. De plus, la végétation aide à filtrer les contaminants et les nutriments en excès lorsque l'eau s'infiltré à travers le sol, ce qui contribue à maintenir la qualité de l'eau des aquifères et des cours d'eau. Enfin, la présence de végétation influence le microclimat local en créant de l'ombre, en réduisant l'impact des vents et en abaissant la

température ambiante. Ces conditions favorisent une évaporation moins rapide de l'eau et préservent ainsi les ressources hydriques. Globalement, la végétation joue un rôle essentiel dans le maintien d'un cycle de l'eau équilibré et dans la préservation des ressources hydriques.

2.6. Cadre géologique de la région d'étude

La plaine de la Mitidja est une dépression située au sein d'un bassin alluvial formé par des effondrements géologiques et rempli de dépôts datant du Pléistocène et du Quaternaire [52]. Cette région abrite deux aquifères principaux : l'aquifère de l'Astien et l'aquifère de la Mitidja, séparés par des argiles de la formation d'El Harrach. La lithologie de la plaine est caractérisée par une succession de formations géologiques.

La base de la plaine est constituée du Plaisancien, une formation marneuse imperméable. Au-dessus se trouve l'aquifère de l'Astien, qui présente des faciès gréseux et a généralement une épaisseur d'environ 100 à 200 mètres. Les alluvions argileuses recouvrent la majeure partie du bassin, avec des dépôts grossiers qui s'intercalent par endroits. Dans la partie occidentale du bassin, l'épaisseur des alluvions argileuses peut atteindre jusqu'à 200 mètres [53]. En surface, on trouve des alluvions grossières comprenant des graviers, des galets, des limons et des argiles [54].

Sur le plan géologique, la plaine de la Mitidja est considérée comme un bassin alluvial intramontagneux formé par effondrement et rempli de dépôts d'âge Plio-Quaternaire (Fig.2.7) [52]. Ce processus a donné naissance à deux aquifères principaux : l'aquifère de l'Astien, qui est plus profond et de nature captive, et l'aquifère de la Mitidja. Ces deux formations aquifères sont séparées par les argiles de la formation d'El Harrach.

La formation de la Mitidja est principalement composée de matériaux alluviaux grossiers tels que des graviers, des galets, des limons et des argiles, formant ainsi la nappe libre de la plaine de la Mitidja. Cependant, dans la partie ouest de la zone d'étude, en particulier à Mazafran, une couche de limons gris s'étend au sud de la cluse, ce qui confine la nappe alluviale en cet endroit. L'aquifère de l'Astien présente différents types de faciès, le plus dominant étant le faciès marno-sableux, mais il comprend également d'autres faciès tels que des calcaires gréseux et des grès sableux. Ces différents faciès sont séparés par des argiles de la formation d'El Harrach, datant du Villafranchien.

Des terrains anciens se trouvent également dans la plaine, tels que le socle de Bouzareah et celui de Chenoua, qui se présentent sous la forme de blocs isolés dans la partie nord de la

Conclusion

Ce chapitre nous a permis d'approfondir notre compréhension des caractéristiques spécifiques de la zone d'étude, la plaine de Mitidja, et de leur influence sur la qualité des eaux souterraines. En examinant de près les aspects géographiques, topographiques, climatologiques, hydrologiques et géologiques de la région, nous avons pu appréhender les facteurs qui façonnent la dynamique des ressources en eau souterraines

Chapitre 3 : Matériels et

Méthodes

Introduction

Dans ce chapitre, nous nous concentrons sur l'analyse des données recueillies dans la plaine de Mitidja au cours des trois années. Notre objectif principal est de cartographier la répartition des paramètres physico-chimiques et physiques dans la région, en mettant l'accent sur leur évolution spatio-temporelle. Cette cartographie nous permettra de visualiser les variations des paramètres au fil du temps et de comprendre leur impact sur la qualité de l'eau. Enfin, nous présenterons l'indice de qualité de l'eau.

3.1. Acquisition des données

La plaine de Mitidja est une zone à vocation agricole. Les eaux souterraines de cette région font une source très importante pour l'alimentation en eau potable, l'irrigation et l'industrie. Cependant, l'analyse de la qualité de ces eaux représente une occupation majeure à cause des différents polluants. Dans le but d'évaluer la qualité de la nappe de la Mitidja en vue de son utilisation pour la consommation humaine, une sélection de 21 forages, répartis sur l'ensemble de la zone d'étude (*Fig.3.1*), a été effectuée. Cette sélection a permis d'obtenir des données représentatives de la variabilité spatiale des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines de la région étudiée. Les prélèvements ont été réalisés à la tête des forages lors de trois périodes (2016, 2017 et 2018) pendant les mois de juin, juillet et août. Les paramètres analysés comprennent le potentiel hydrogène (pH), la turbidité (Turb), la conductivité électrique (EC), l'oxygène dissous (DO), la demande biochimique en oxygène (BOD), la demande chimique en oxygène (COD), l'ammonium (NH₄), le phosphate (PO₄), les nitrates (NO₃), les nitrites (NO₂), la matière organique (OM), l'alcalinité totale (TA), la dureté totale (TH), les solides dissous totaux (TDS), le calcium (Ca), le magnésium (Mg), le sodium (Na), le potassium (K), le chlorure (Cl) et le sulfate (SO₄). Les échantillons d'eau ont été analysés par les services de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) selon un protocole strict en laboratoire. Afin d'identifier les éventuels facteurs naturels et anthropiques influençant la qualité des eaux de la nappe de la Mitidja, des analyses statistiques ont été appliquées, couplées à la cartographie en intégrant un Système d'Information Géographique (SIG).

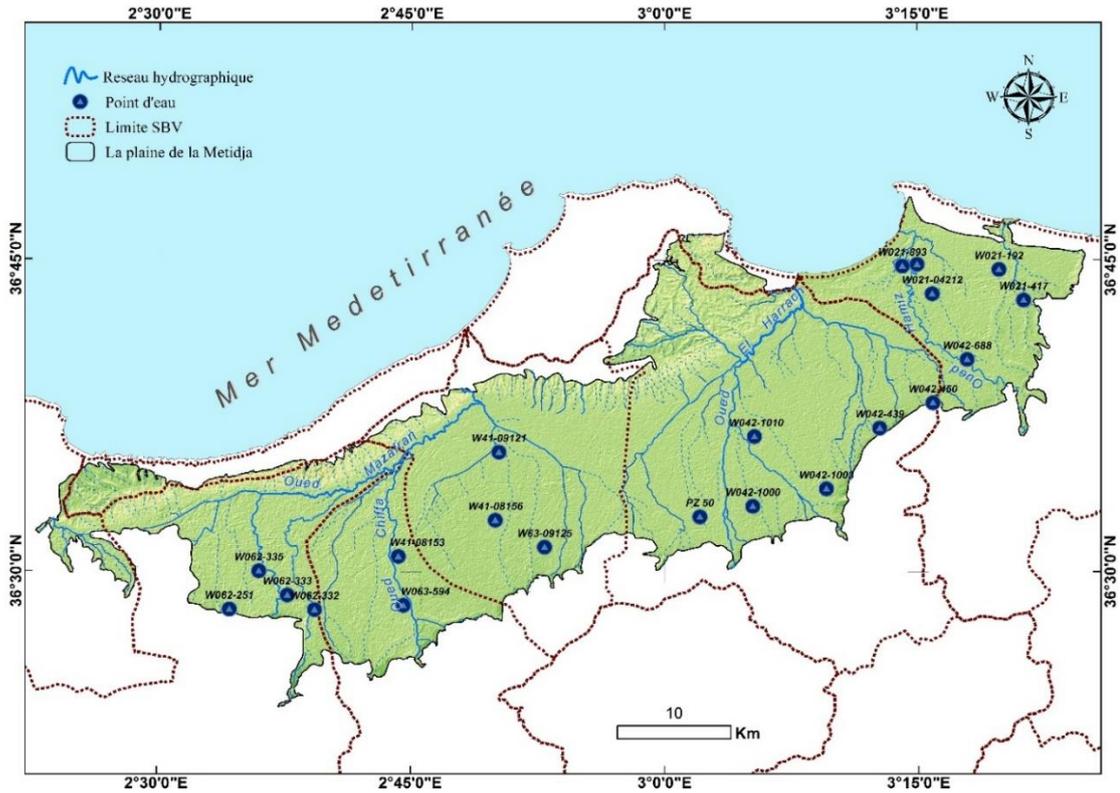


Figure 3.1 : Carte d'inventaire des points d'eau.

Tableau 3.1 : Points de prélèvement d'eau.

N°	Point d'eau	X	Y	N°	Point d'eau	X	Y
01	W062-251	488 600	352 230	12	W41-09121	512 350	366 250
02	W062-335	491 200	355 640	13	W63-09125	516 400	357 800
03	W062-333	493 720	353 500	14	PZ 50	530 100	360 550
04	W062-332	496 120	352 200	15	W042-1000	534 770	361 500
05	W41-08153	503 500	356 950	16	W042-1010	534 900	367 700
06	W063-594	503 950	352 600	17	W042-1003	541 270	363 070
07	W41-08156	512 050	360 200	18	W042-439	545 950	368 500
08	W021-893	547 900	382 900	19	W021-04212	550 550	380 450
09	W021-890	549 200	383 070	20	W042-450	550 650	370 750
10	W042-688	553 650	374 620	21	W021-192	556 440	382 630
11	W021-417	558 620	379 920				

3.2. Numérisation des données

Cette procédure consiste à interpréter les données acquises sous forme de cartes via le logiciel ArcGIS, et une représentation graphique de l'évolution spatio-temporelle des paramètres à l'aide du logiciel Excel.

3.2.1. ArcGIS

ArcGIS est un logiciel de bureau qui offre aux utilisateurs la possibilité de collecter, organiser, gérer, analyser, communiquer et diffuser des informations géographiques. Il comprend une suite d'applications intégrées qui permettent d'accomplir différentes tâches en SIG, telles que la cartographie, la gestion des données, l'analyse géographique et le géotraitement [55].

3.2.2. Excel

Microsoft Excel est un puissant logiciel de tableur qui permet aux utilisateurs de créer, visualiser, modifier et partager des fichiers rapidement et facilement. Il offre une large gamme de fonctionnalités, notamment des capacités de calcul ou de computation, des outils de graphique, des tableaux croisés dynamiques et un langage de programmation de macro appelé Visual Basic for Applications (VBA) [56].

3.3. Analyse des paramètres physico-chimiques

3.3.1. Statistiques descriptives

La statistique est une discipline qui consiste à collecter et présenter des données numériques sous forme de tableaux ou de graphiques. Dans ce présent travail, un tableau descriptif des données (*Tab.3.2*) a été élaboré en identifiant les éléments physico-chimiques des données pour les trois compagnes (2016, 2017 et 2018) dans les lignes, et les analyses qu'il faut synthétiser dans les colonnes, à savoir :

- **La valeur minimale** : C'est la valeur la plus élevée de la série ;
- **La valeur maximale** : C'est la valeur la plus faible de la série ;
- **La valeur moyenne** : Correspond à la somme de toutes les valeurs de la série, divisée par leur nombre ;
- **La valeur médiane** : C'est la valeur qui correspond à la fréquence cumulé 50% ;
- **L'écart-type** : C'est une mesure de la distribution des données ;
- **La variance** : C'est une mesure de la dispersion des données par rapport à leur moyenne.

Ces valeurs ont été calculé via le logiciel Excel, et comparé avec les normes de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS).

Tableau 3.2 : Caractéristiques statistiques des paramètres physico-chimiques des eaux de la nappe Mitidja pour la période 2016-2018

Paramètre	Année	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane	Écart-Type	Variance	Norme OMS
Calcium	2016	6.67	336.84	112.85	107.37	78.48	8.86	75
	2017	12.12	155.88	48.36	115.46	68.65	8.29	
	2018	43.48	250.98	156.94	172.55	59.77	7.73	
Magnésium	2016	2.53	117.69	38.19	33.33	28.87	5.37	30
	2017	12.12	155.88	48.36	40.82	35.48	5.96	
	2018	16.97	72.26	44.17	44.71	17.39	4.17	
Sodium	2016	28	262	120.48	115	75.08	8.66	200
	2017	33	181	94.57	87	48.09	6.93	
	2018	22	248	98.14	95	58.45	7.65	
Potassium	2016	1	13	2.48	2	2.69	1.64	10
	2017	0.3	9	2.53	2	2.06	1.44	
	2018	0.1	9.5	1.84	1	2.34	1.53	
Chlorures	2016	39	670	158.86	113	142.03	11.92	250
	2017	34	737.5	180.83	161	152.58	12.35	
	2018	36	314	145.19	111	87.67	9.36	
Sulfates	2016	0	441	177.86	166	115.28	10.74	150
	2017	0	432	166.33	168	121.15	11.01	
	2018	0.5	394	192.29	197	115.13	10.73	
Bicarbonates	2016	137.25	533.75	301.37	274.5	95.1	9.75	300
	2017	79.3	524.6	299.63	283.65	113.56	10.66	
	2018	167.75	579.5	352.93	366	108.51	10.42	
Nitrates	2016	0	98	48.05	45	26.4	5.14	50
	2017	7	94	47.29	46	27.23	5.22	
	2018	3	95	53.9	56	31.19	5.58	

Paramètre	Année	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane	Écart-Type	Variance	Norme OMS
pH	2016	7.7	8.3	8.04	8.1	0.22	0.47	8.5
	2017	7	8.5	7.72	7.7	0.33	0.57	
	2018	7.44	8.3	7.87	7.9	0.24	0.49	
CE	2016	421	3 245	1 445.19	1 450	675.27	25.99	2 500
	2017	417	3 010	1 439.38	1 378	654.73	25.59	
	2018	590	2 440	1 457.81	1 501	525.19	22.92	
Résidu Sec	2016	257	1 949	948.05	881	439.58	20.97	1 500
	2017	228	1 644	923.91	957	404.55	20.11	
	2018	367	1 635	954.62	971	341.74	18.49	
TH	2016	5.56	105.26	44.13	43.16	21.441	4.63	500
	2017	12.63	124.74	54.96	52.53	25.968	5.10	
	2018	18.18	86.02	57.64	61.29	19.2	4.38	
TAC	2016	11.25	43.75	24.7	22.5	7.79	2.79	250
	2017	8	43	24.63	23.25	9.16	3.03	
	2018	13.75	47.5	28.93	30	8.89	2.98	

3.3.2. Paramètres chimiques

À partir des données collectées, et à l'aide du logiciel ArcGIS, nous avons pu élaborer les cartes des paramètres chimiques, qui vont nous aider à déterminer la répartition des concentrations de ces paramètres sur la plaine de Mitidja et expliquer leurs origines. Et pour évaluer leurs répartitions spatio-temporelles, nous avons élaborer des graphiques sous le logiciel Excel.

3.3.2.1. Calcium (Ca)

La présence du Calcium dans l'eau est d'une origine naturelle. Ça provient de la dissolution des formations carbonatées (CaCO_3) ou bien la dissolution des formations gypseuses (CaSO_4).

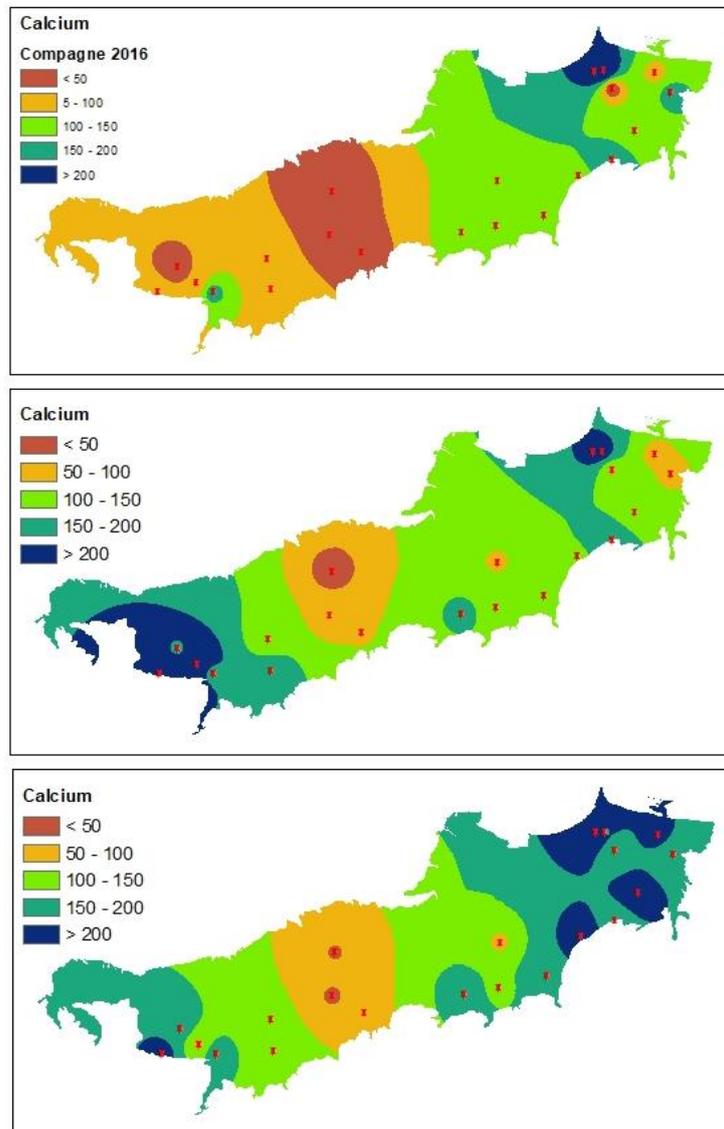


Figure 3.2 : Cartes de la répartition du Calcium (Ca) dans les eaux souterraines de Mitidja.

D'après la carte de la répartition du Calcium (Fig.3.2), la propagation dans la région Ouest est remarquable dans la campagne 2017, tandis que la région Est a connu une diminution de concentration. Dans la campagne 2018, la région Ouest a connu une diminution de concentration, alors que la région Est a connu une large propagation du Calcium. Le centre de la région a connu une petite augmentation de concentration dans la campagne 2017, mais elle s'est diminuée dans la campagne 2018.

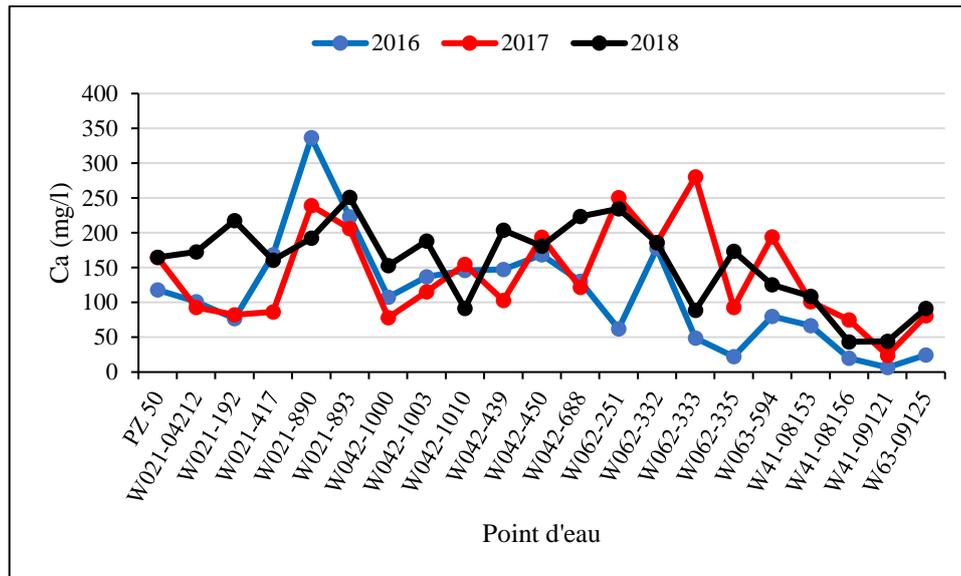


Figure 3.3 : Évolution spatio-temporelle du Calcium (Ca) des eaux souterraines de Mitidja.

Alors que la norme de potabilité définie par l'OMS est donnée par 50 mg/l, Les concentrations du Calcium varient entre 6.67 et 336.84 mg/l. Les plus grandes valeurs de concentration du Calcium sont marquées dans la partie Est de la plaine de Mitidja, tandis que la partie Ouest, surtout en 2016, a connu des concentrations conformes aux normes de l'OMS.

3.3.2.2. Magnésium (Mg)

Le Magnésium est souvent présent dans les formations carbonatées à forte teneur en Magnésium.

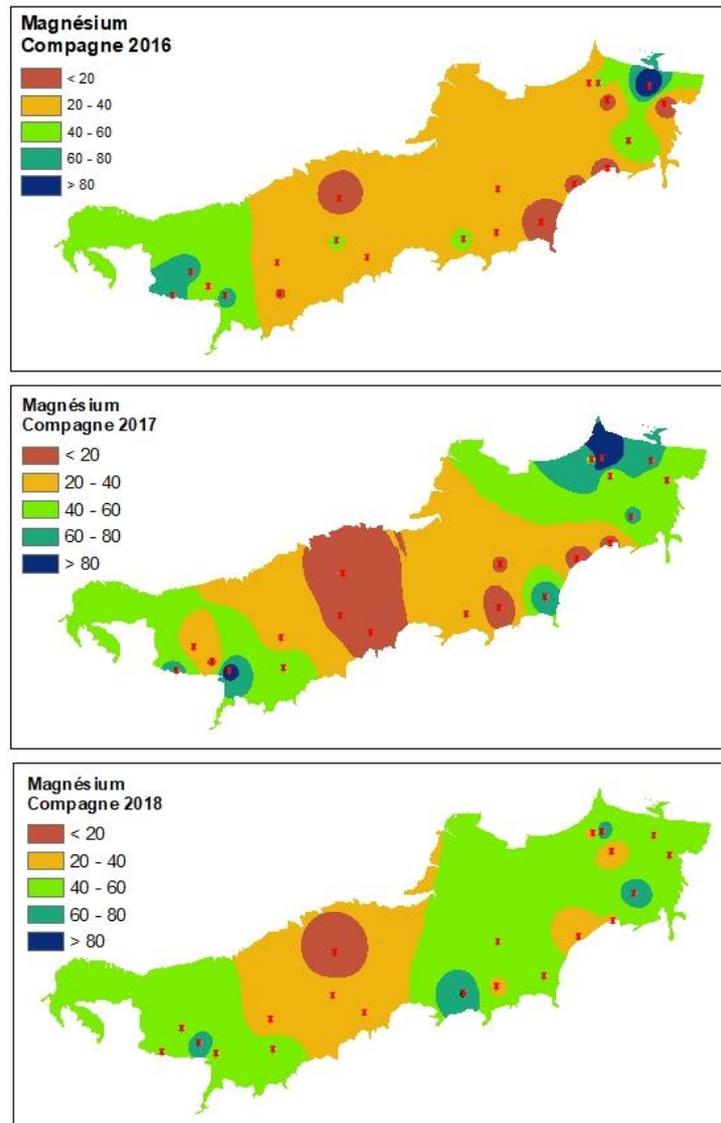


Figure 3.4 : Cartes de la répartition du Magnésium (Mg) dans les eaux souterraines de Mitidja.

L'analyse de la carte du Magnésium (*Fig.3.4*) montre que les concentrations dans les zones situées à l'Est de la plaine sont évoluer avec le temps et leur propagation s'est augmentée surtout dans la campagne de 2018. Quant à la partie Ouest de la plaine, elle a connu une diminution de concentration dans l'année 2017, mais a fortement augmenté en 2018.

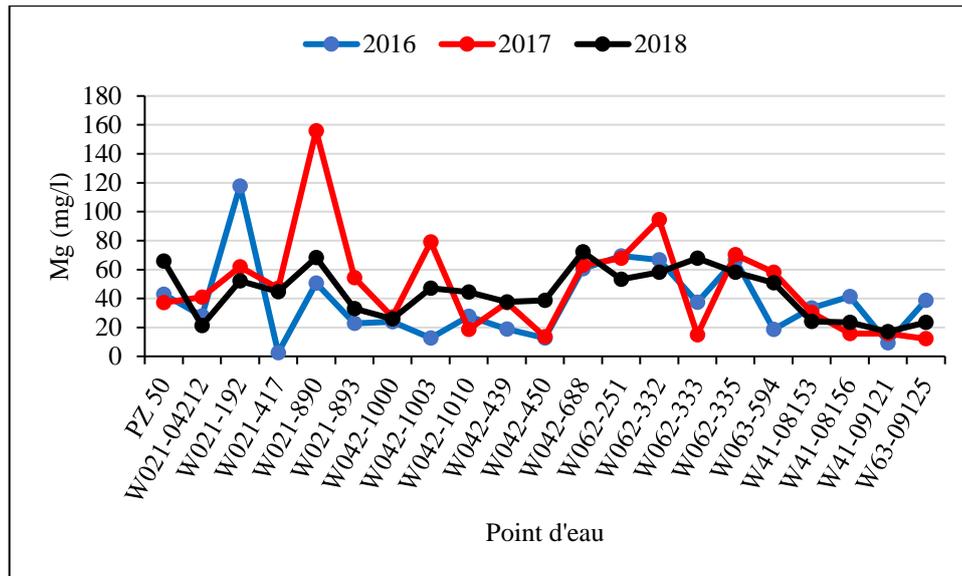


Figure 3.5 : Évolution spatio-temporelle du Magnésium (Mg) des eaux souterraines de Mitidja.

Les concentrations du Magnésium varient entre 2.53 et 117.69 mg/l, ce qui signifie que la majorité des valeurs enregistrées sont supérieures aux normes de l’OMS. L’année 2017 a marqué les plus grandes valeurs de concentration en Magnésium.

3.3.2.3. Sodium (Na)

Le sodium est souvent présent dans les eaux naturelles. Il provient essentiellement des roches magmatiques.

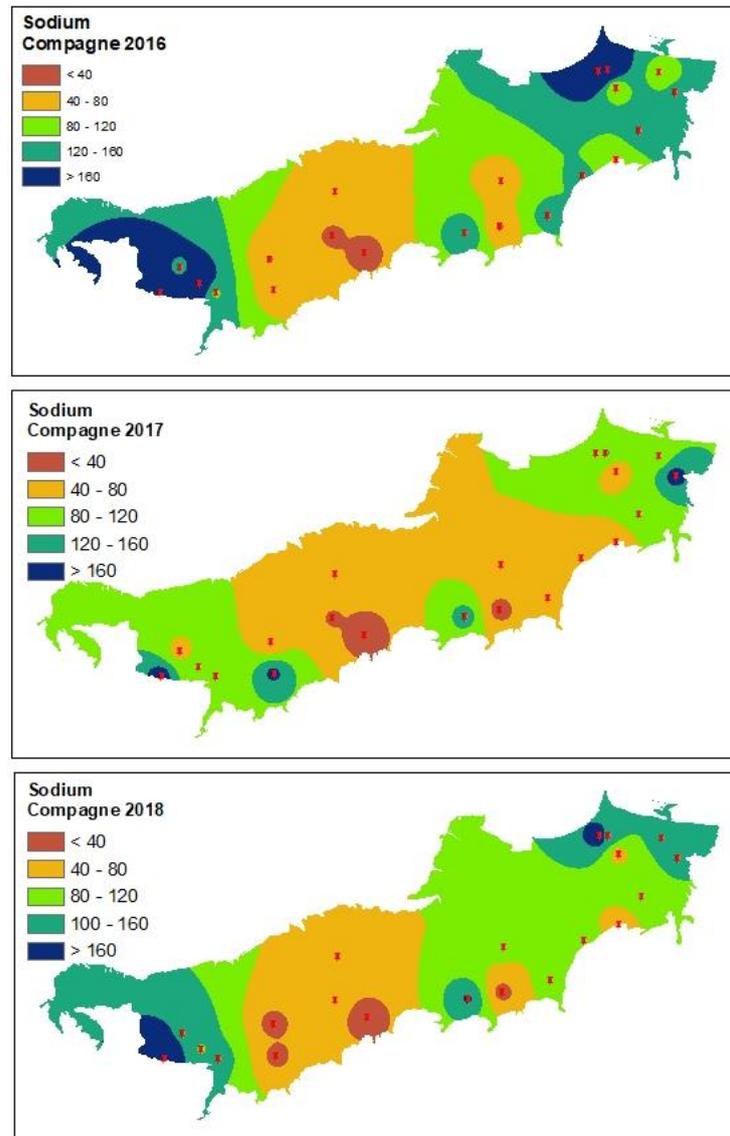


Figure 3.6 : Cartes de la répartition du Sodium (Na) dans les eaux souterraines de Mitidja.

La carte du Sodium (*Fig.3.6*) montre que la concentration a connu une diminution remarquable en 2017 dans les zones situées à l'Est de la plaine. En 2018, cette même zone a connu une augmentation de concentration en Sodium en propageant aux zones intérieures. La partie Ouest de la plaine a aussi connu une diminution en 2017, puis une augmentation en 2018.

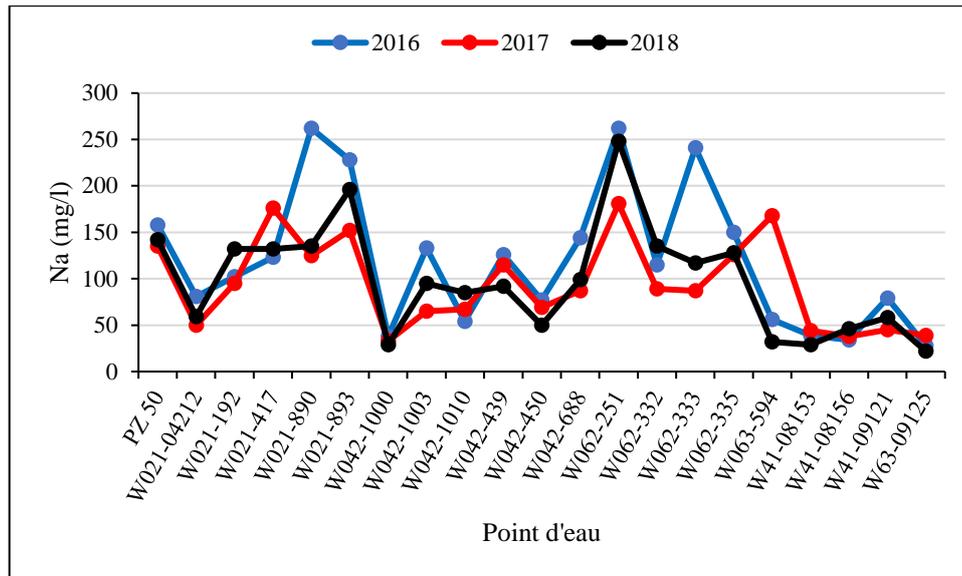


Figure 3.7 : Évolution spatio-temporelle du Sodium (Na) des eaux souterraines de Mitidja.

L’OMS a fixé une norme de 200 mg/l pour le Sodium. La majorité des valeurs du Sodium enregistrées dans la plaine de Mitidja sont inférieures à cette norme, dans les trois années. L’année 2016 est l’année qui a connu plus de valeurs enregistrées supérieures à cette norme. En 2017, toutes les valeurs enregistrées sont conformes à cette norme.

3.3.2.4. Potassium (K)

Le potassium provient des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques (NPK) souvent utilisés par les agriculteurs.

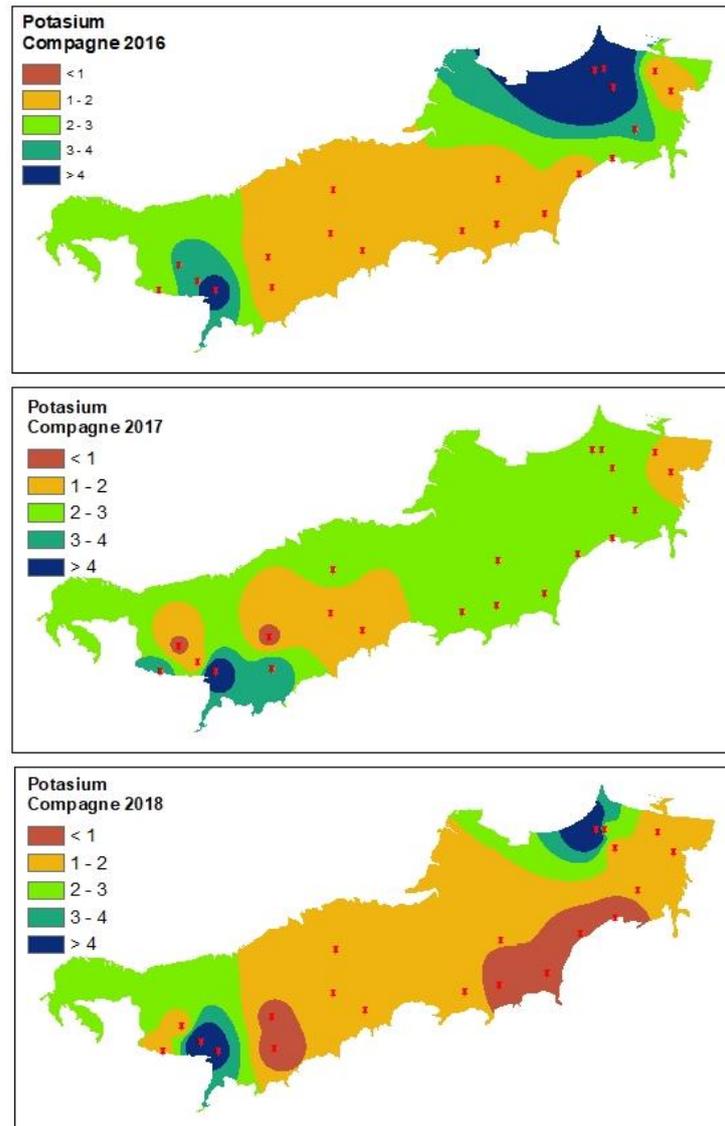


Figure 3.8 : Cartes de la répartition du Potassium (K) dans les eaux souterraines de Mitidja.

Comme indique la carte du Potassium (Fig.3.8), les concentrations sont largement propagées en 2017 mais de valeurs minimales, surtout dans la région Est où on voit une diminution de concentration. En 2018, on voit que les concentrations sont diminuées dans presque toute la plaine, sauf la partie Nord-Est où on remarque une augmentation de concentration.

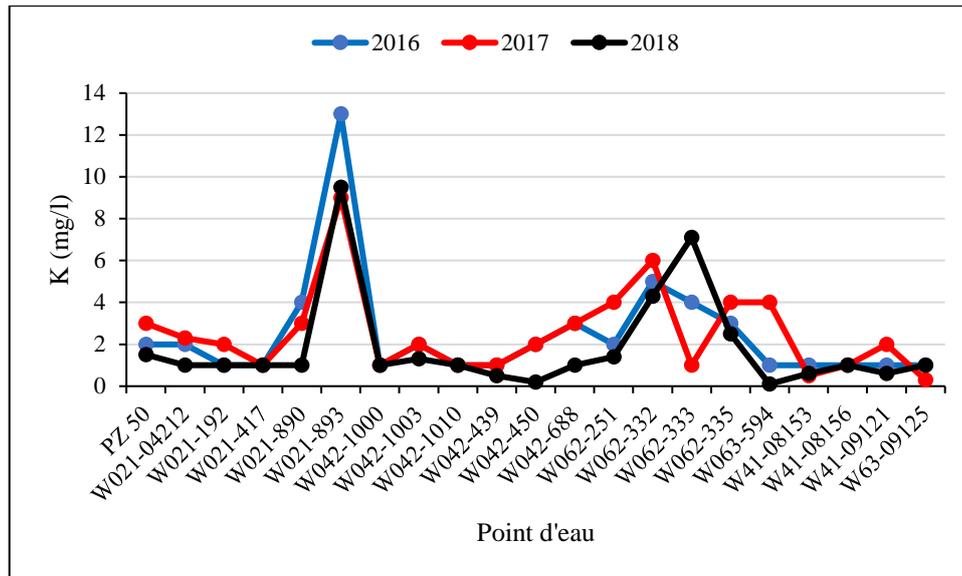


Figure 3.9 : Évolution spatio-temporelle du Potassium (K) des eaux souterraines de Mitidja.

Les valeurs de concentration du Potassium varient entre 0.1 et 13 mg/l. Avec une norme de l'OMS de 10 mg/l, on constate qu'en 2017 et 2018 les valeurs observées ne dépassent pas cette norme, alors qu'en 2016 on observe que dans le point W021-893 la valeur observée a dépassé cette norme.

3.3.2.5. Chlorures (Cl)

Le Chlorure est un indicateur de pollution de l'eau. Sa présence est due à l'emplacement de la plaine qui est à proximité de la mer, au déversement des eaux usées dans la plaine et aussi aux formations sableuses gypsifères.

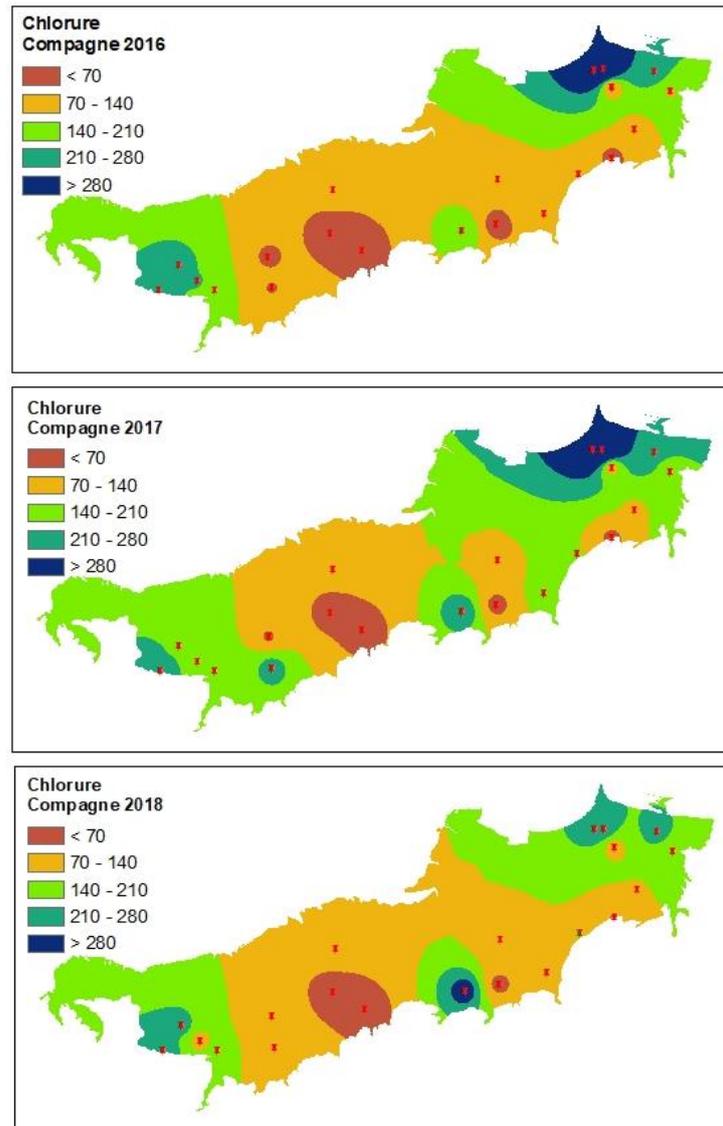


Figure 3.10 : Cartes de la répartition du Chlorure (Cl) dans les eaux souterraines de Mitidja.

La carte du Chlorure (Fig.3.10) montre que la zone Nord-Est ainsi que la zone Ouest de la plaine sont contaminées par le Chlorure et par grandes concentrations. Les zones les moins affectées par le Chlorure sont les zones du centre.

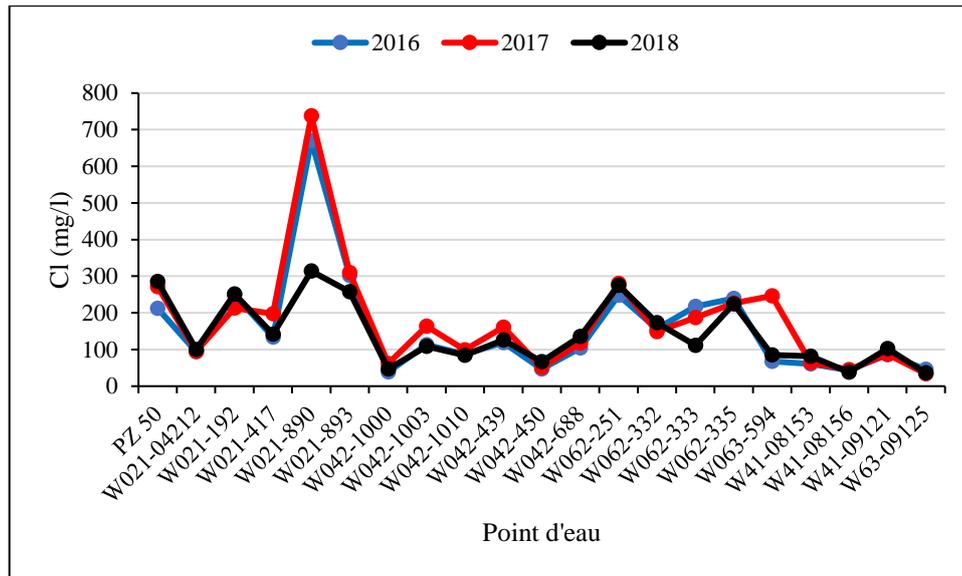


Figure 3.11 : Évolution spatio-temporelle du Chlorure (Cl) des eaux souterraines de Mitidja.

L'OMS a fixé une valeur de 250 mg/l comme norme de potabilité en ce qui concerne le Chlorure. Cette valeur a été dépassée dans les 3 années. 2017 a enregistré la valeur la plus haute de concentration en Chlorure, 737.5 mg/l est beaucoup plus grande que la norme fixée par l'OMS.

3.3.2.6. Sulfates (SO₄)

Le Sulfate peut être nocif pour la santé humaine si sa valeur dépasse la limite maximale autorisée par l'OMS de 150 mg/l. sa présence dans l'eau est due à la dissolution du gypse, aux rejets des eaux usées ainsi que l'utilisation des engrais chimiques sulfatés.

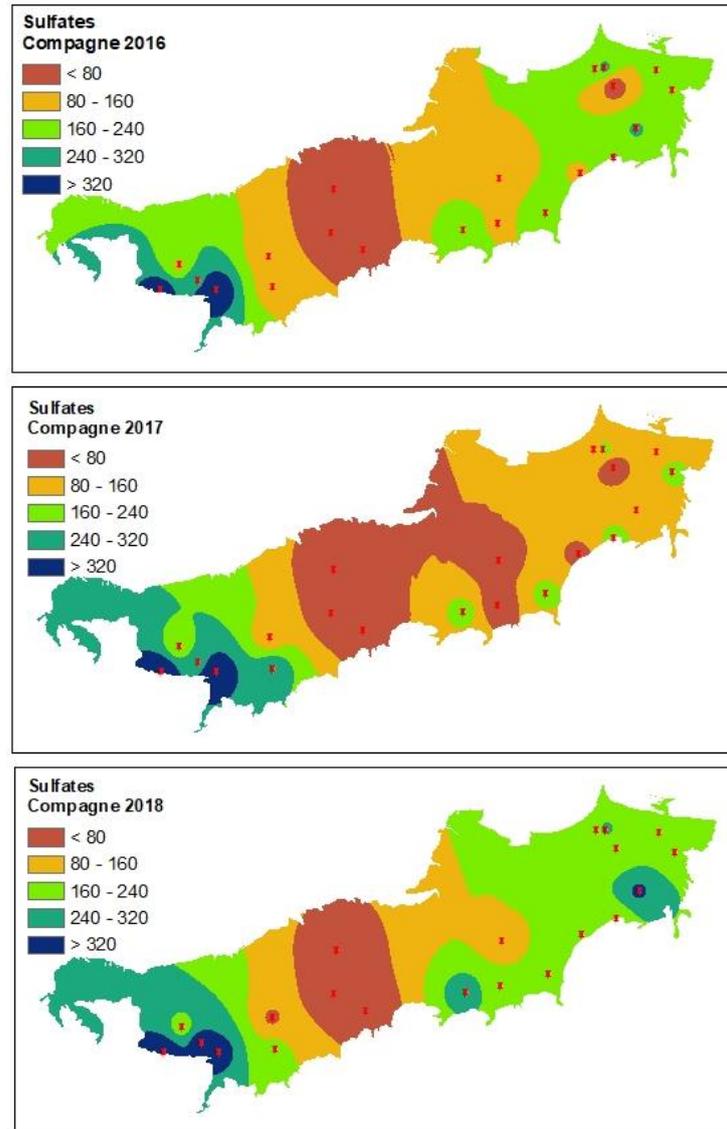


Figure 3.12 : Cartes de la répartition du Sulfates (SO_4) dans les eaux souterraines de Mitidja.

D'après la carte du Sulfate (Fig.3.12), les zones qui contiennent des grandes valeurs de concentration sont situées dans l'Ouest de la plaine. La concentration dans ces zones augmente au cours des années mais ne propage pas sur les zones du centre. Quant à la partie Est de la plaine, on a enregistré des valeurs entre 160 et 240 mg/l en 2016, mais en 2017 ça a diminué jusqu'à 80-160 mg/l, mais ce n'est qu'en 2018 que ces valeurs ont augmenté à nouveau et quelques zones de la partie Sud-Est ont marqué des valeurs entre 240-320 mg/l.

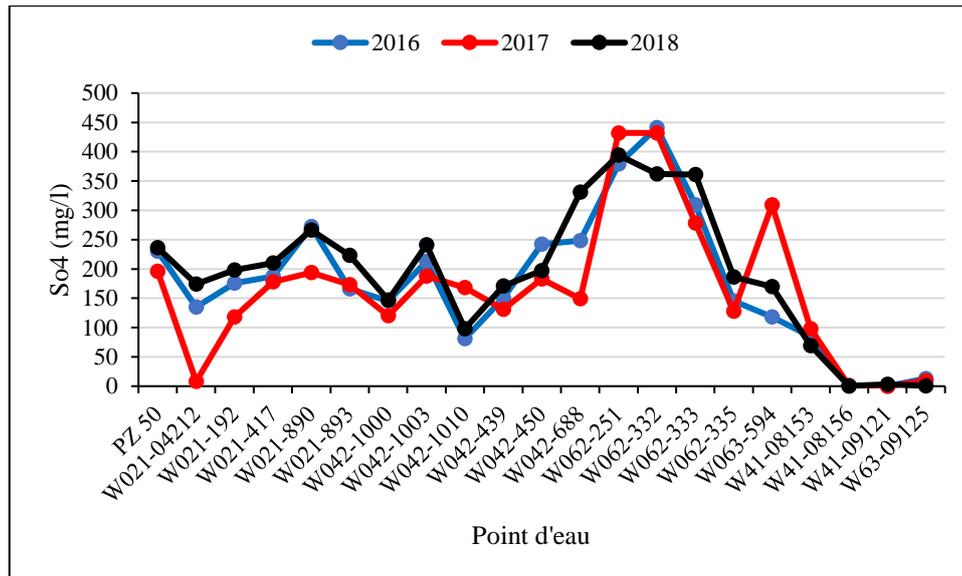


Figure 3.13 : Évolution spatio-temporelle du Sulfates (SO₄) des eaux souterraines de Mitidja.

L’OMS a autorisé une valeur maximale de 150 mg/l, et les valeurs enregistrées au cours des 3 années varient entre 0 et 441 mg/l. Seulement 1/3 des valeurs sont inférieures ou égales à cette norme, ce qui signifie que la présence du Sulfate dans la nappe est bien propagée.

3.3.2.7. Bicarbonates (HCO₃)

Les bicarbonates se forment grâce à l’interaction entre les roches, l’eau et le dioxyde de carbone, principalement par la dissolution des minéraux carbonates sous l’effet des eaux météoriques et du sol.

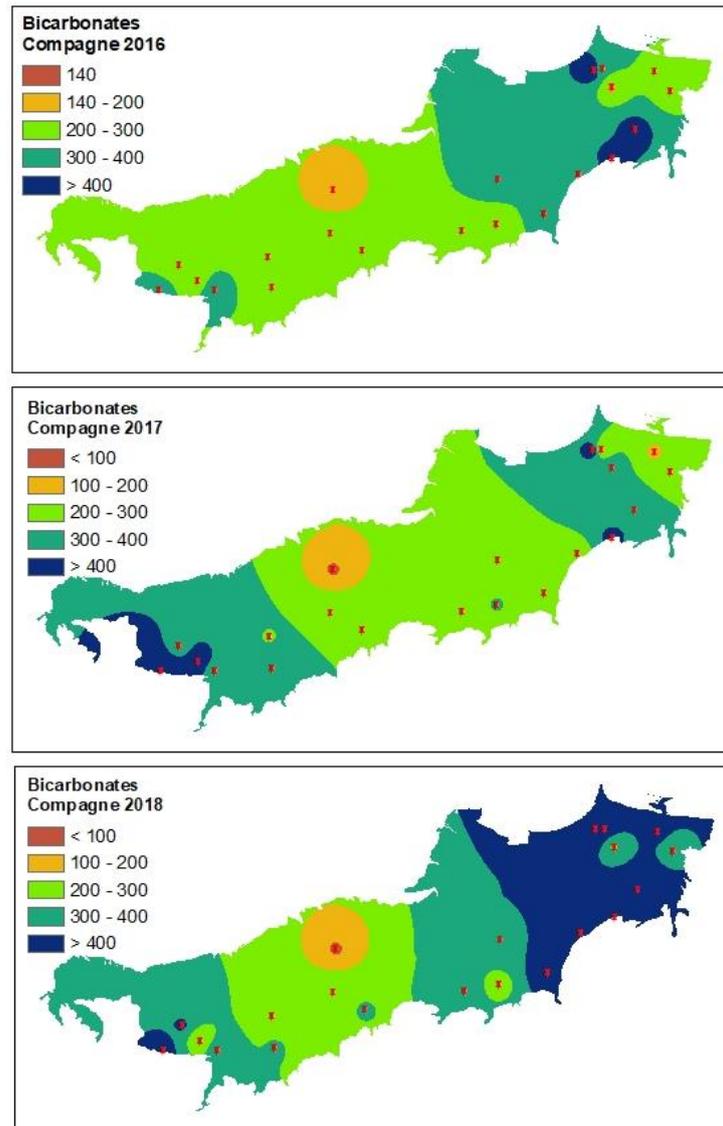


Figure 3.14 : Cartes de la répartition des Bicarbonates (HCO_3) dans les eaux souterraines de Mitidja.

Les Bicarbonates sont largement propagés sur toute la plaine. En 2016, les valeurs sont comprises entre 200 et 400 mg/l avec présence de zones où la concentration a dépassé 400 mg/l dans la partie Sud-Est et Nord-Est.

En 2017, on remarque une diminution de concentrations dans la partie Est de la plaine mais une forte augmentation dans la partie Ouest.

En 2018, la région Est a enregistré les plus grandes valeurs avec plus de 400 mg/l sur toute la région, avec propagation sur le centre de la plaine avec des concentration comprises entre 300 et 400 mg/l.

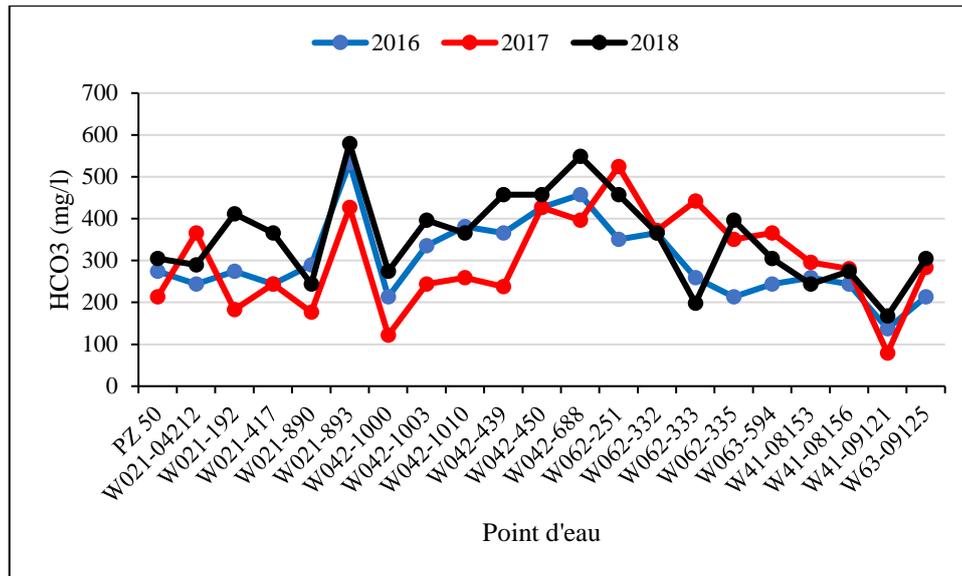


Figure 3.15 : Évolution spatio-temporelle des Bicarbonates (HCO_3) des eaux souterraines de Mitidja.

Les valeurs de Bicarbonates dans la plaine de Mitidja sont comprises entre 79.3 et 579.5 mg/l. L’OMS a autorisé une valeur maximale de 300 mg/l. durant les 3 années, les valeurs enregistrées représentent 50% de valeurs admises sous cette norme. Le reste des valeurs sont supérieures à la norme.

3.3.2.8. Nitrates (NO_3)

La présence excessive des Nitrates dans l’eau est néfaste pour l’écosystème. Ils proviennent de l’utilisation excessive des engrais et des rejets des eaux usées.

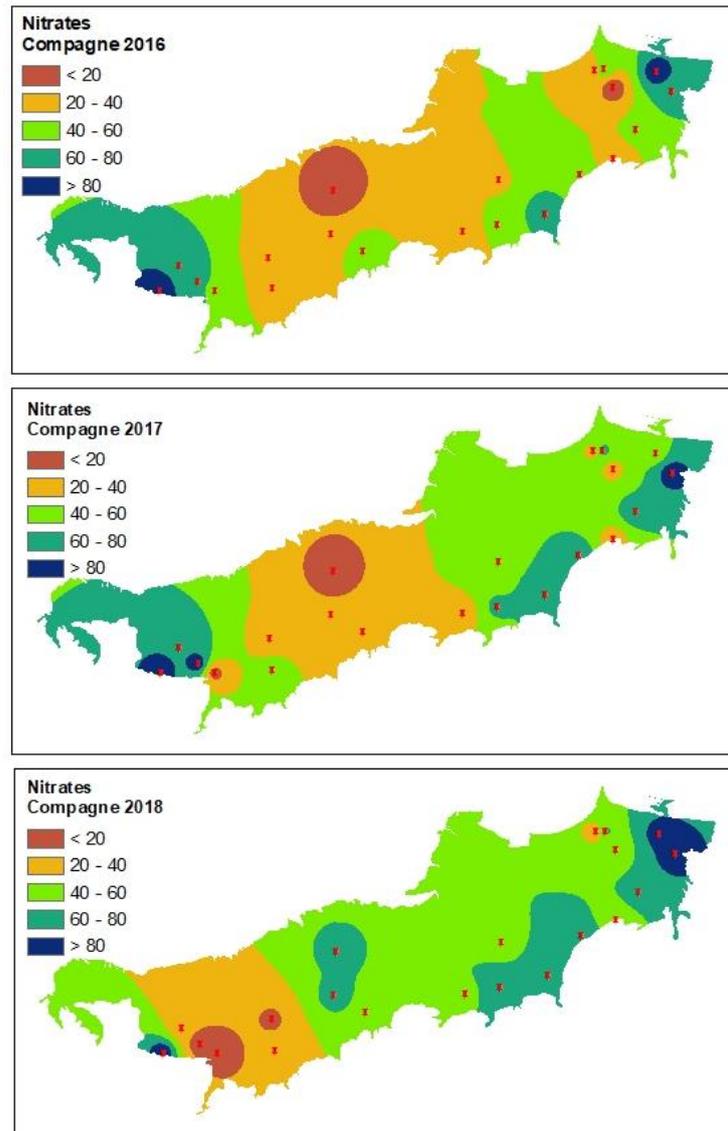


Figure 3.16 : Cartes de la répartition des Nitrates (NO_3) dans les eaux souterraines de Mitidja.

La carte des Nitrates (Fig.3.16) montre qu'en 2016, les Nitrates étaient largement distribués sur la plaine avec des valeurs moyennes entre 20 et 40 mg/l avec des tracés supérieurs à 80 mg/l dans les zones situées à l'Ouest de la plaine ainsi que le Sud-Est.

En 2018, les concentrations sont augmentées en Est avec des valeurs comprises entre 40 et 60 mg/l. Ces valeurs de concentrations se sont largement propagées en 2018 vers le centre de la plaine.

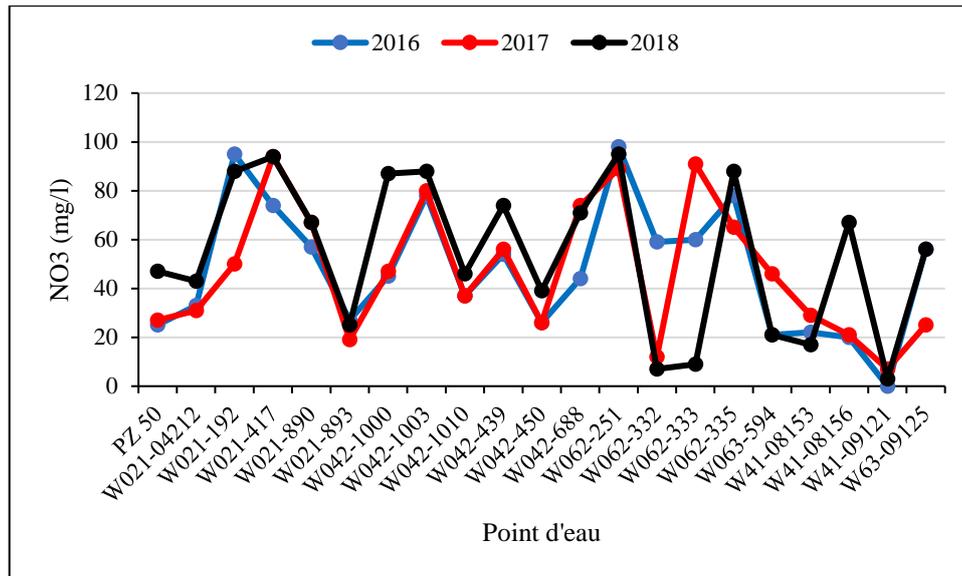


Figure 3.17 : Évolution spatio-temporelle des Nitrates (NO₃) des eaux souterraines de Mitidja.

2016 a enregistré la valeur minimale (0 mg/l) et la valeur maximale (98 mg/l) des trois séries. Alors que l’OMS a fixé une norme de 50 mg/l, la majorité des valeurs enregistrées durant les 3 années, tout au long de la plaine, sont supérieures à cette norme.

3.3.2.9. Potentiel hydrogène (pH)

Le pH est une mesure qui indique le degré d'acidité ou d'alcalinité de l'eau. Il joue un rôle important dans de nombreux processus chimiques, biologiques et environnementaux.

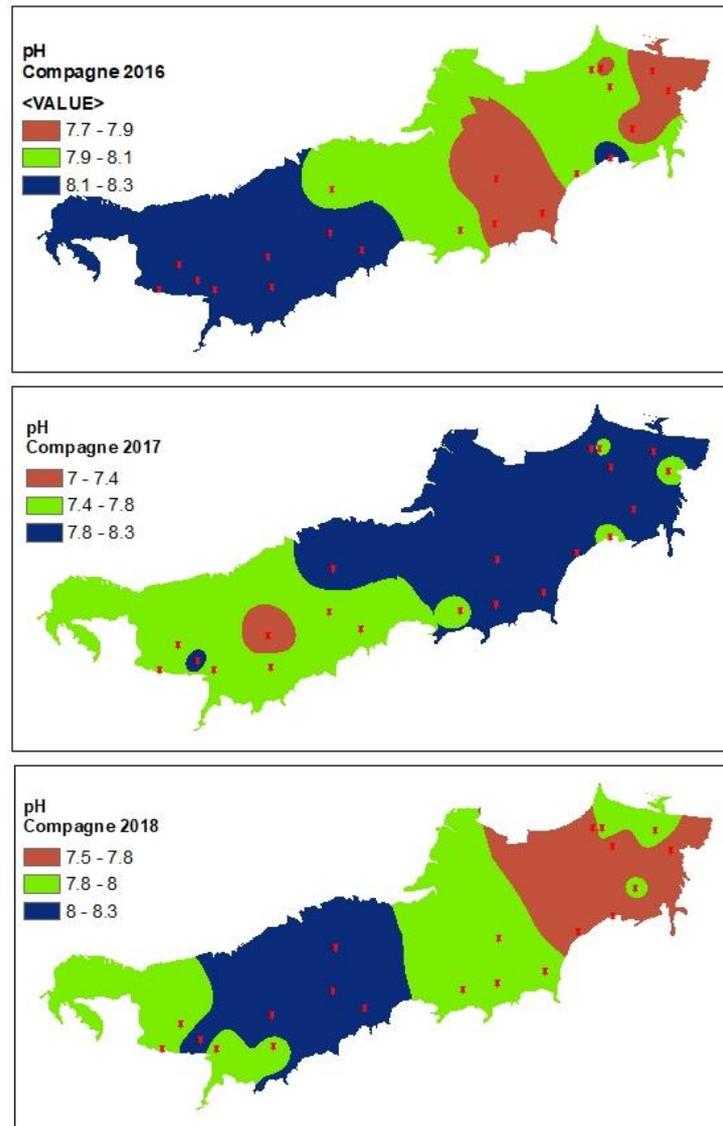


Figure 3.18 : Cartes de la répartition du pH dans les eaux souterraines de Mitidja.

En 2016, la partie Ouest de la plaine a enregistré des valeurs comprises entre 8.1 et 8.3, alors que cette même partie, en 2017, a enregistré une baisse de valeurs du pH, avec une variation entre 7.4 et 7.8. La partie Est de la plaine a marqué des valeurs inférieures à 7.7 en 2016, mais ça a augmenté en 2017 jusqu'à 8.3 avec une propagation jusqu'au centre de la plaine.

En 2018, la partie Est a connu une baisse de valeur du pH, alors que le centre de la plaine a connu une augmentation avec des valeurs supérieures à 8.

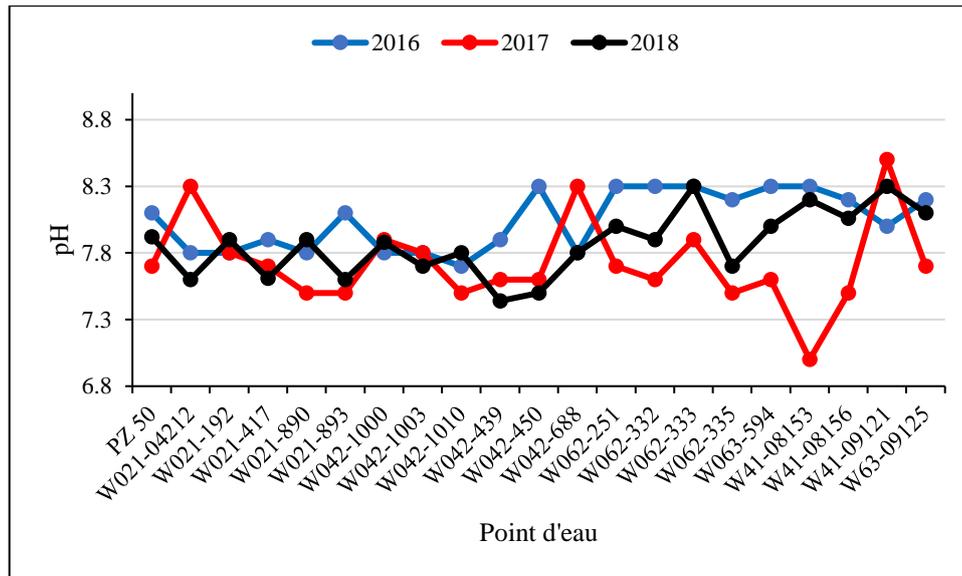


Figure 3.19 : Évolution spatio-temporelle du pH des eaux souterraines de Mitidja.

Les valeurs du pH enregistrées sur la plaine de Mitidja dans les 3 années, varient entre 7 et 8.5. Toutes ces valeurs sont inférieures ou égales à la norme définie par l’OMS qui est de 8.5.

3.3.2.10. Résidu Sec (RS)

Le résidu sec est un indicateur important de la qualité de l'eau, car il permet d'évaluer la concentration totale des substances dissoutes et des particules en suspension.

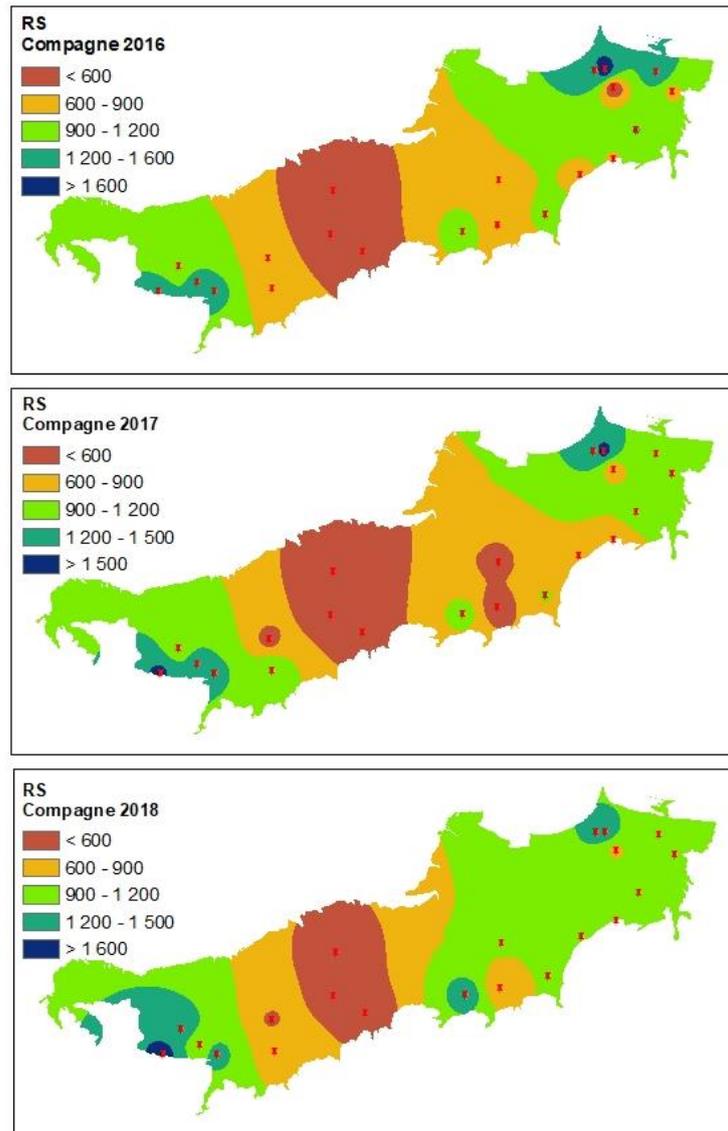


Figure 3.20 : Cartes de la répartition du Résidu Sec dans les eaux souterraines de Mitidja.

La carte du résidu sec (*Fig.3.20*) montre que les valeurs enregistrées du résidu sec n'ont pas vraiment changé. Une augmentation minimale dans la partie Sud-Ouest de la plaine a été enregistré au cours des années. La partie Nord-Est quant à elle, elle a enregistré une diminution de concentration du résidu sec.

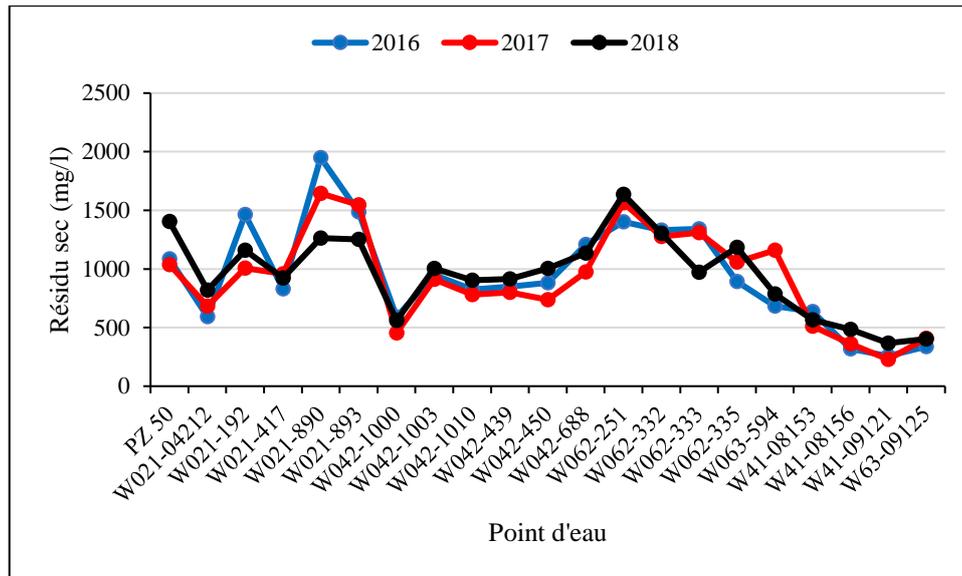


Figure 3.21 : Évolution spatio-temporelle du Résidu Sec des eaux souterraines de Mitidja.

L’OMS a fixé une norme de 1 500 mg/l. Les valeurs enregistrées dans la plaine de Mitidja, varient entre 228 et 1 949 mg/l. En 2016, une seule valeur supérieure à la norme fixée par l’OMS a été enregistré. En 2017, 3 valeurs ont été enregistrés. En 2018, comme en 2016, une seule valeur supérieure à la norme a été enregistré.

3.3.3. Paramètres physiques

3.3.3.1. Conductivité électrique (µ/cm) (CE)

La conductivité électrique dépend de la présence des ions en solution. Son augmentation signifie une pollution ou une salinisation de l’eau.

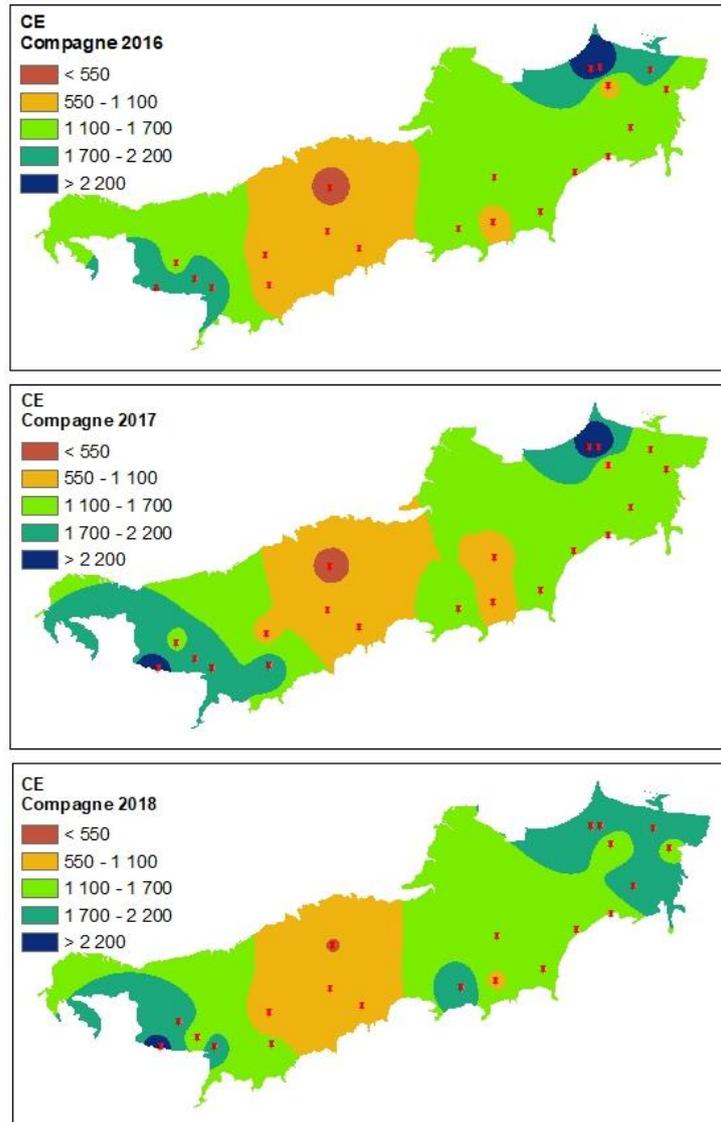


Figure 3.22 : Cartes de la répartition de la Conductivité Électrique dans les eaux souterraines de Mitidja.

Dans la carte de la conductivité électrique (*Fig.3.22*), on remarque que les zones qui ont enregistré des valeurs comprises entre 1 100 et 2 200 μcm sont celles qui se situent dans l'Est et l'Ouest de la plaine. Quant au centre, il a enregistré des valeurs comprises entre 550 et 1 100 μcm avec une petite zone inférieure à 550 μcm .

En 2016 et 2017, des valeurs supérieures à 2 200 μcm ont été enregistré au Nord-Est de la plaine. En 2018, un petit périmètre a enregistré des valeurs supérieures à 2 200 μcm à l'Ouest de la plaine.

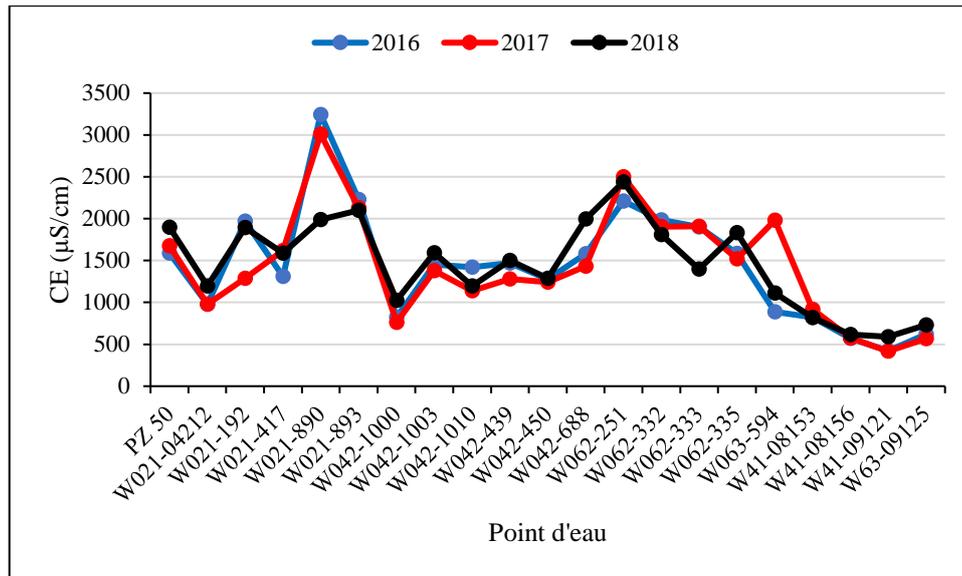


Figure 3.23 : Évolution spatio-temporelle de la Conductivité Électrique des eaux souterraines de Mitidja.

Les valeurs de la conductivité varient entre 417 et 3 245 µ/cm. L’OMS a fixé une norme de 2 500 µ/cm. Une seule valeur supérieure à cette norme a été enregistré en 2016 et 2017. Mais ça a diminué de façon brusque en 2018, pour que ça devient admissible.

3.3.3.2. Hydrotimétrie dureté totale (TH)

La dureté totale indique la quantité de minéraux présents dans l'eau. Elle peut influencer la qualité de l'eau.

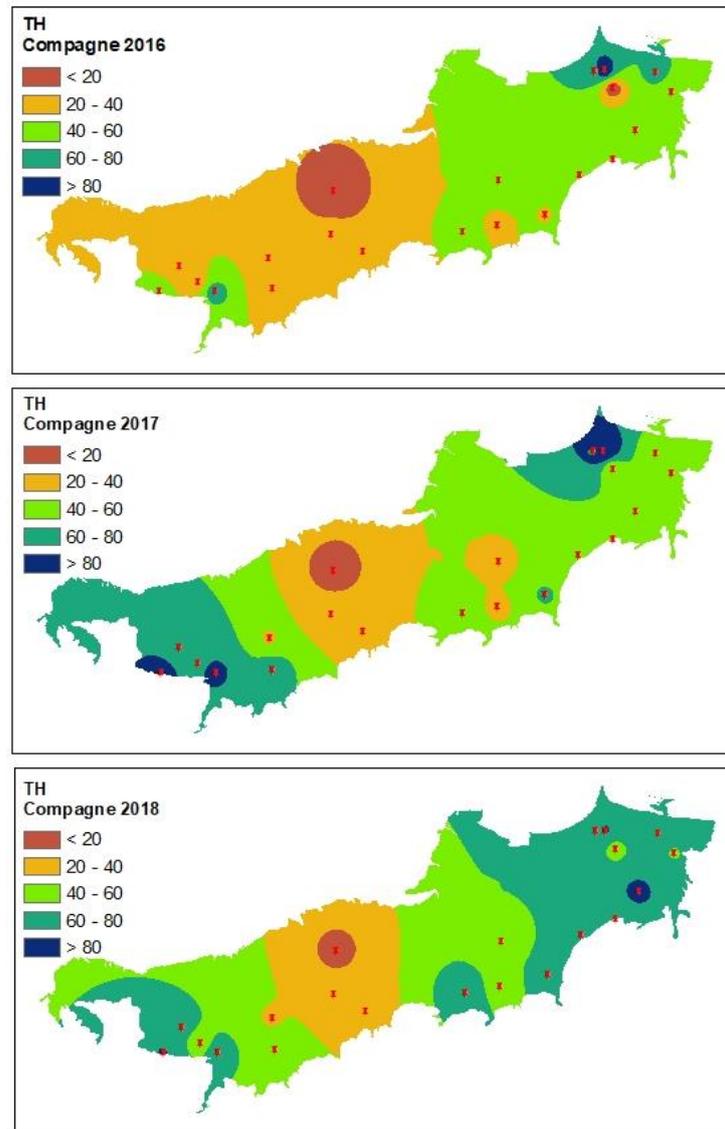


Figure 3.24 : Cartes de la répartition de l’Hydrotimétrie dureté totale dans les eaux souterraines de Mitidja.

En 2016, la dureté totale était répartie avec des valeurs entre 20 et 40 mg/l dans la partie Ouest de la plaine avec quelques traces de valeurs comprise entre 40 et 80 mg/l en Sud-Ouest. La partie Est a enregistré des valeurs entre 40 et 60 mg/l, et la partie Nord-Est a enregistré des valeurs supérieures à 60 mg/l. En 2017, la dureté totale de la zone Nord-Est s’est propagée vers le Sud-Est. Ainsi que celle de la zone Sud-Ouest s’est propagée vers le centre avec une forte augmentation. En 2018, la propagation s’est continuée dans les zones de l’Est, mais ça a diminué en Ouest.

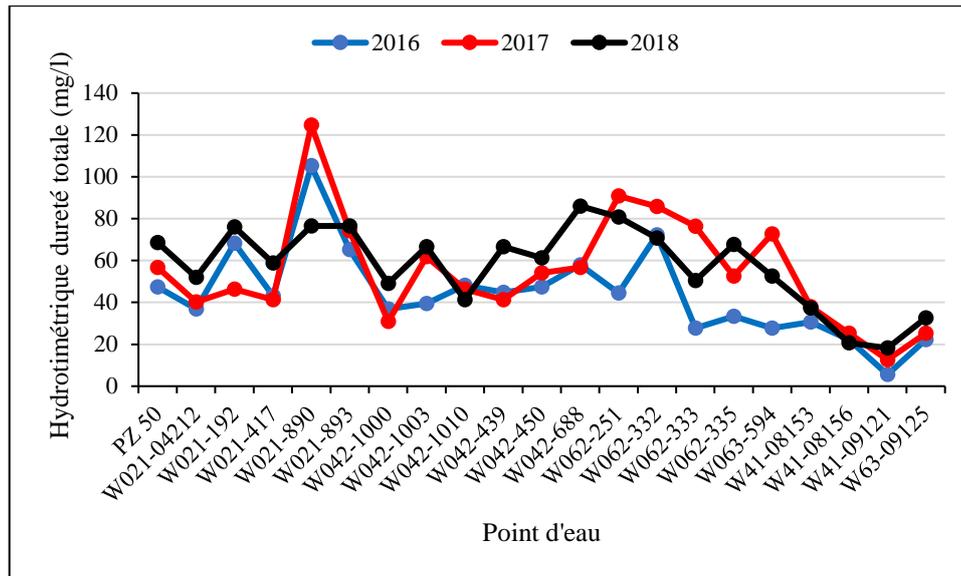


Figure 3.25 : Évolution spatio-temporelle de l’Hydrotimétrique dureté totale des eaux souterraines de Mitidja.

L’OMS a autorisé une norme de 500 mg/l. Toutes les valeurs enregistrées sont sous la limite de cette norme.

3.3.3.3. Alcalinité Totale (TAC)

L’alcalinité totale est principalement due à la présence d’ions carbonates, bicarbonate et hydroxyde dans l’eau.

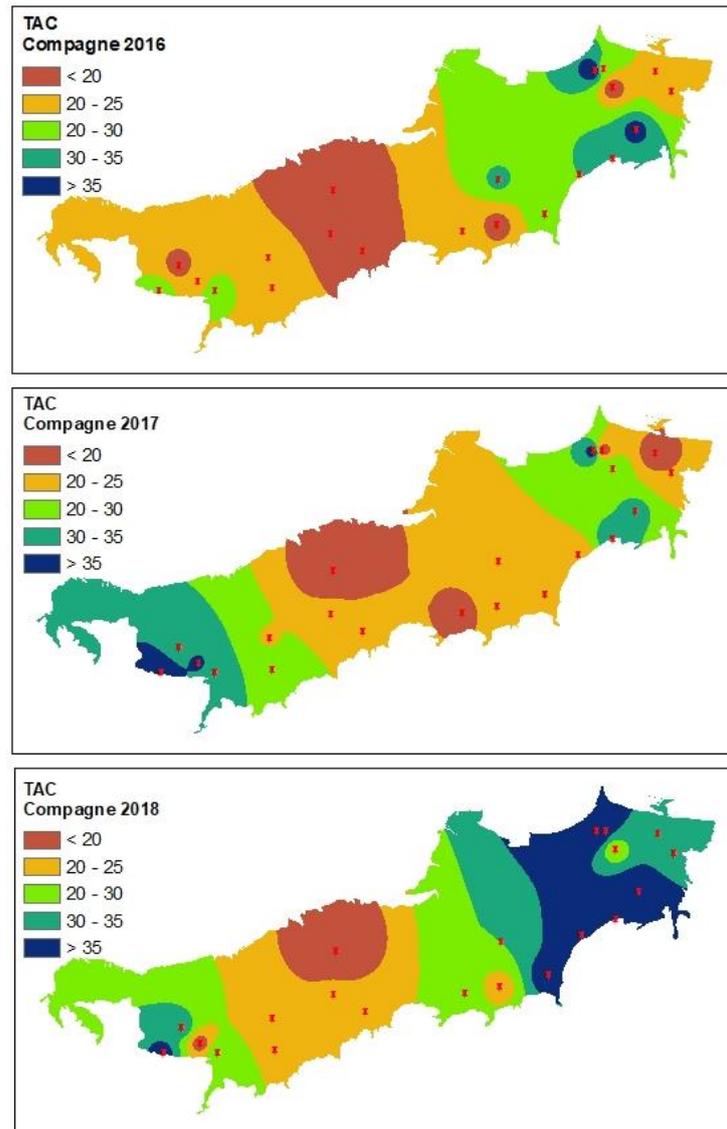


Figure 3.26 : Cartes de la répartition de l'Alcalinité Totale dans les eaux souterraines de Mitidja.

La carte de l'alcalinité totale (Fig.3.26) montre une propagation dans les zones de l'Ouest en 2017, avec une diminution de valeurs dans les zones de l'Est. En 2018, on voit le contraire. Les zones de l'Est ont connu une propagation, alors que les zone de l'Ouest ont connu une diminution. Les zones du centre de la plaine ont connu une augmentation mais les valeurs sont comprises entre 20 et 25 mg/l.

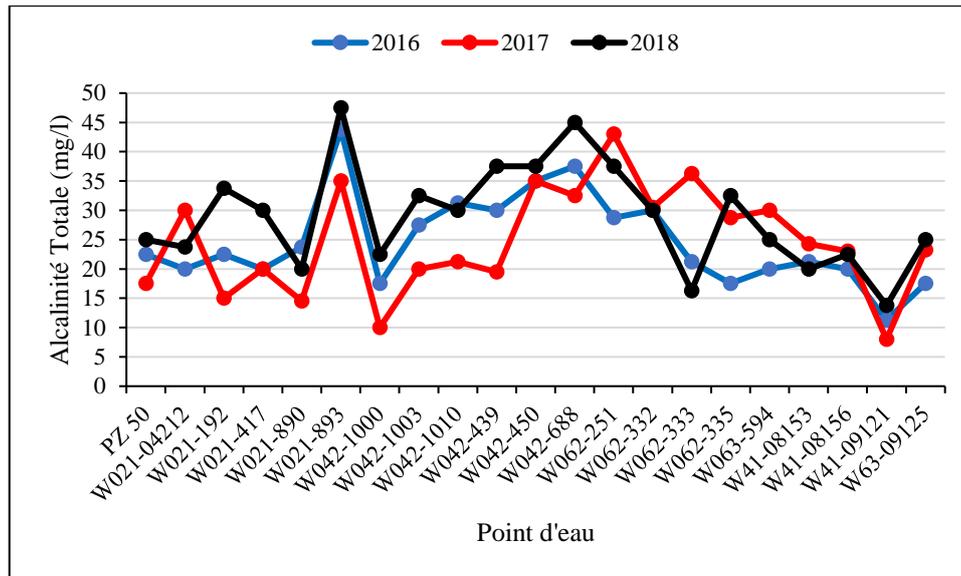


Figure 3.27 : Évolution spatio-temporelle de l'Alcalinité Totale des eaux souterraines de Mitidja.

Les valeurs de l'alcalinité totale sont comprises entre 8 et 47.5 mg/l. La norme de potabilité est fixée par l'OMS à 250 mg/l, ce qui signifie que toutes les valeurs enregistrées au fil des années sont admissibles.

3.4. Indice de la qualité de l'eau

L'Indice de Qualité de l'Eau (IQE) est un outil précieux et unique permettant d'évaluer la qualité de l'eau et sa viabilité pour la consommation. Il synthétise les différents paramètres de qualité de l'eau et fournit des informations essentielles sur sa qualité aux décideurs et à la population en général.

L'IQE a été introduit pour la première fois par Horton (1965) comme un moyen d'analyser la qualité de l'eau potable. Par la suite, Pesce et Wunderlin (2000) ont proposé une méthode d'IQE qui a été largement adoptée par de nombreux chercheurs [57].

3.4.1. Définition d'Indice de Qualité de l'Eau (IQE ou WQI)

L'indice de qualité de l'eau (IQE) ou Water Quality Index (WQI), est défini comme une représentation simplifiée d'une combinaison plus ou moins complexe de divers paramètres de qualité de l'eau. Il sert de mesure pour évaluer la qualité de l'eau. L'indice est exprimé sous la forme d'un nombre, d'une classe, d'une description verbale, d'un symbole unique ou d'une couleur. L'avantage de cet indice réside dans sa simplicité (il résume de nombreuses données en une seule valeur), mais son inconvénient est la perte d'informations [58].

3.4.2. Objectif de l'Indice de Qualité de l'Eau (IQE)

L'indice de qualité de l'eau est une méthode cohérente, pratique et bien structurée pour évaluer et communiquer des informations sur la qualité globale de l'eau dans une zone donnée. Son objectif est d'aider à déterminer si les sources d'eau souterraine sont adaptées à l'usage auquel elles sont destinées [59].

La qualité de l'eau est un critère essentiel pour équilibrer l'offre et la demande en eau. Une quantité adéquate d'eau douce est indispensable car les besoins biologiques jouent un rôle crucial dans la gestion intégrée de l'environnement et du développement durable. L'évaluation des indices de qualité de l'eau vise à réduire la complexité des multiples paramètres en une seule valeur représentative des données de manière simplifiée.

Cette analyse comprend différents indices de qualité de l'eau (IQE) utilisés pour évaluer la qualité de l'eau de surface. Il existe de nombreux IQE spécifiques à chaque région, car de nombreux organismes internationaux établissent des critères de qualité de l'eau adaptés à divers usages, en prenant en compte différents paramètres dans l'évaluation de la qualité de l'eau et le contrôle de la pollution [60].

3.4.3. Composition de l'indice de Qualité de l'Eau (IQE)

Un indice de qualité de l'eau comprend trois étapes successives :

- Sélection des paramètres ;
- Détermination des scores de qualité par paramètre : les sous-indices ;
- Détermination de l'indice de qualité de l'eau par agrégation des sous-indices [58].

3.4.3.1. Sélection des paramètres

Théoriquement, un indice de qualité de l'eau peut inclure un nombre variable de paramètres, allant de deux à un nombre infini. Le choix des paramètres est basé sur les circonstances, les normes et les critères spécifiques du temps et du lieu, ainsi que sur l'expertise des spécialistes [61].

Un minimum de deux paramètres est nécessaire pour établir un indice de qualité de l'eau. Le choix des paramètres dépend des objectifs spécifiques. Par exemple, si l'intérêt porte sur l'eutrophisation, un indice peut être créé en se basant sur les données relatives à l'azote (N) et au phosphore (P). Si l'objectif est d'évaluer l'impact des eaux usées, un indice peut être établi en utilisant la demande biochimique en oxygène (DBO5), l'ammonium (NH4) (composants importants des eaux usées) et l'oxygène dissous [57].

3.4.3.2. Détermination des scores de qualité par paramètre (les sous-indices)

Les sous-indices peuvent être déterminés à l'aide de différentes méthodes :

- En comparant la valeur d'un paramètre à une norme ou à un critère, le paramètre reçoit une évaluation nominale ou numérique.
- Les paramètres peuvent être convertis en nombres adimensionnels à l'aide de diagrammes d'étalonnage. Dans ce cas, un diagramme distinct est développé pour chaque paramètre, indiquant la corrélation entre la valeur du paramètre et le score de qualité. Les échelles du diagramme sont identiques pour tous les paramètres, et le score de qualité est généralement compris entre 0 et 100.
- Une alternative aux diagrammes d'étalonnage est l'utilisation de tables d'étalonnage. Dans ces tableaux, les valeurs des paramètres sont également associées à un score de qualité.
- Pour chaque paramètre, une formule mathématique est développée pour convertir les valeurs des paramètres selon différentes échelles, en conservant les unités d'origine des paramètres [62].

3.4.3.3. Détermination de l'indice de qualité de l'eau par agrégation des sous-indices

L'agrégation des sous-indices pour former un indice QE global peut être effectuée au moyen des formules d'agrégation énumérées dans le Tableau 3.3 [62].

Avec :

I = indice Qualité de l'Eau (QE) ;

n = nombre de paramètres;

q_i = score de qualité (sous-indice) du paramètre i ;

w_i = facteur de pondération du paramètre i.

Tableau 3.3 : Formules d'agrégation pour le calcul d'un indice IQE à partir de sous-indices

N°	Méthode	Formule
01	Moyenne non pondérée	$I = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i$ (3)
02	Moyenne pondérée	$I = \sum_{i=1}^n q_i w_i$ (4)
03	Moyenne non géométrique	$I = \left(\prod_{i=1}^n q_i \right)^{\frac{1}{n}}$ (5)
04	Moyenne géométrique	$I = \left(\prod_{i=1}^n q_i \right)^{w_i}$ (6)
05	Sous-index	$I = \min(q_1 \cdot q_2 \dots q_n)$ (7)
06	Sous-index	$I = \max(q_1 \cdot q_2 \dots q_n)$ (8)

N°	Méthode	Formule
07	Moyenne non pondérée modifiée	$I = \frac{I}{100} \left(\frac{I}{n} \sum_{i=1}^n q_i \right)^2 \quad (9)$
08	Moyenne pondérée modifiée	$I = \frac{I}{100} \left(\frac{I}{n} \sum_{i=1}^n q_i w_i \right)^2 \quad (10)$

3.4.3.4. Catégories de l'indice de qualité de l'eau

En général, les indices de qualité de l'eau sont classés en quatre groupes principaux :

- **Les indices publics** : Ces indices ne tiennent pas compte du type d'utilisation de l'eau dans la méthode d'analyse et sont utilisés pour évaluer la qualité générale de l'eau. Un exemple est l'indice de qualité de l'eau de la National Sanitation Foundation (NSFIQE).
- **Les indices de consommation spécifiques** : La classification de l'eau est basée sur le type d'utilisation et d'application, tels que la consommation humaine, la préservation industrielle ou les écosystèmes. Des exemples d'indices de ce groupe sont ceux de l'Oregon et de la Colombie-Britannique.
- **Les indices de conception ou de planification** : Cette catégorie sert d'outil de planification pour les projets de gestion de la qualité de l'eau et aide à la prise de décision.
- **Les indices statistiques** : Ces indices sont basés sur des méthodes statistiques et ne tiennent pas compte des opinions personnelles. Des approches statistiques sont utilisées pour évaluer les données.

La partie essentielle de l'approche statistique est liée aux hypothèses concernant la pertinence des variables dans l'évaluation de la qualité de l'eau.

Les trois premiers indices sont également connus sous le nom d'approche de l'opinion d'experts (OE). En raison des poids différents accordés aux mêmes variables par différents groupes d'experts, l'OE devient une approche subjective. L'objectivité et la comparabilité peuvent être réduites en raison des différentes évaluations fournies par les experts. C'est pourquoi de nombreux indices alternatifs ont été développés. En utilisant des approches statistiques, il est possible de réduire la subjectivité lors de l'élaboration d'indices. Les approches statistiques sont également utiles pour identifier l'importance des paramètres dans l'évaluation de la qualité de l'eau [60].

3.4.4. La méthode de l'indice pondéré de qualité de l'eau par calcul arithmétique

La méthode de l'indice pondéré de qualité de l'eau classe la qualité de l'eau en fonction du degré de pureté en utilisant les variables de qualité de l'eau les plus couramment mesurées. Cette méthode a été largement utilisée par différents scientifiques [63].

Le calcul de l'IQE a été effectué en utilisant l'équation suivante :

$$IQE = \sum Q_i W_i \quad (11)$$

La valeur de classement de qualité (q_i) pour chaque paramètre est obtenue en utilisant cette expression :

$$Q_i = 100 \left[\frac{V_i - V_0}{S_i - V_0} \right] \quad (12)$$

V_i : la valeur mesurée sur le terrain (ANRH)

V_0 : la valeur idéale pour chaque paramètre (0 pour chaque paramètre sauf pH elle est à 7)

S_i : la norme (OMS)

Le poids unitaire (W_i) de chaque paramètre de qualité de l'eau est calculé en utilisant la formule suivante :

$$W_i = \frac{K}{S_i} \quad (13)$$

On a :

$$k = \frac{1}{\sum \left(\frac{1}{S_i} \right)} \quad (14)$$

K : La constante de proportionnalité

L'évaluation de la qualité de l'eau selon cet IQE est donnée dans le tableau suivant :

Tableau 3.4 : La classification de la qualité d'eau selon la valeur de l'IQE.

Valeur IQE	Qualité de l'eau	Usage possible
0 - 25	Excellente	Eau potable, irrigation et industrie
26 - 50	Bonne	Eau potable, irrigation et industrie
51 - 75	Moyenne	Irrigation et industrie
76 - 100	Mauvaise	Industrie
> 100	Très mauvaise	Traitement approprié requis avant utilisation

Conclusion

Ce chapitre nous a permis de visualiser et d'analyser les variations des paramètres physico-chimiques et physiques dans la plaine de Mitidja au fil du temps. Cette analyse nous a permis de mieux comprendre la qualité des eaux souterraines dans la région et d'identifier les zones présentant des valeurs élevées ou faibles pour chaque paramètre.

Chapitre 4 :

Résultats et Discussion

Introduction

Ce chapitre se concentre sur les résultats de l'indice de qualité de l'eau souterraine de la plaine de Mitidja. Nous allons cartographier les résultats de chaque campagne, puis nous allons faire des comparaisons entre chaque deux campagnes. Cette analyse va nous permettre de visualiser de manière claire et concise l'évolution spatio-temporelle de la qualité de l'eau souterraine dans la plaine de Mitidja

4.1. Distribution et évaluation de la qualité des eaux souterraines de la plaine de la Mitidja

4.1.1. Première Campagne 2016

En analysant la carte de l'indice de qualité des eaux (IQE) présentée ci-dessous (Fig.4.1), nous pouvons observer que la plaine de Mitidja présentait en majorité une qualité moyenne de l'eau en 2016. Des zones localisées à l'Ouest et au Nord-Est de la plaine ont affiché une mauvaise qualité de l'eau, tandis que certaines zones au centre de la plaine ont montré une bonne qualité de l'eau.

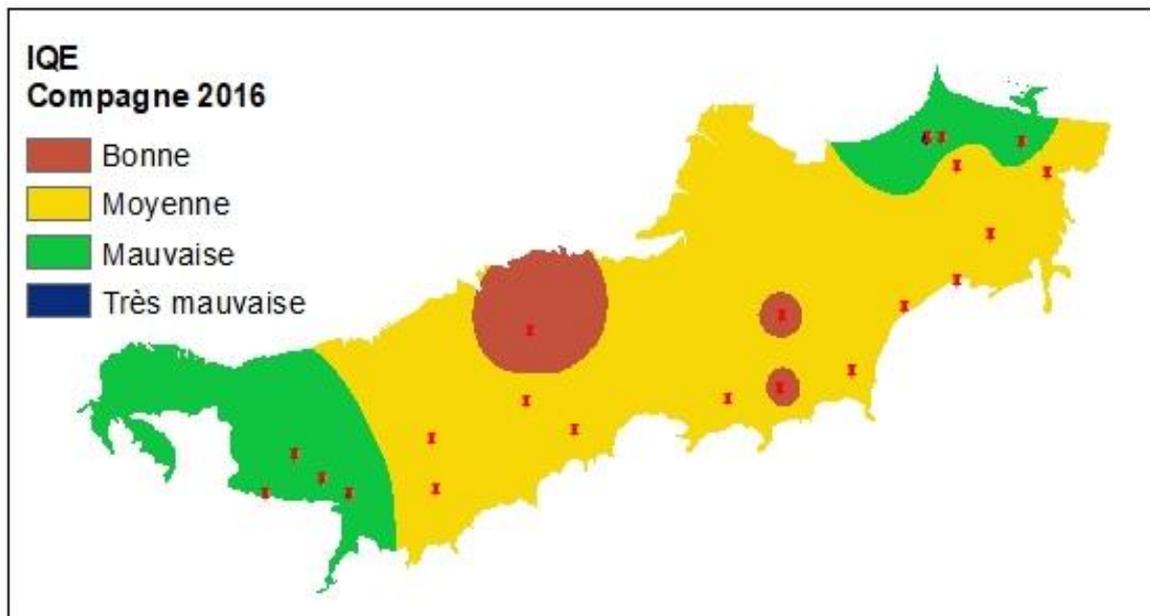


Figure 4.1 : Carte de l'IQE des eaux souterraines de la plaine de Mitidja, Campagne 2016.

4.1.2. Deuxième Campagne 2017

L'analyse de la carte de l'IQE de la campagne de 2017 a révélé une amélioration de la qualité de l'eau. Les zones présentant une mauvaise qualité de l'eau sont réduites à l'ouest, tandis que la majorité de la zone centrale de la plaine de Mitidja affiche une bonne qualité de l'eau.

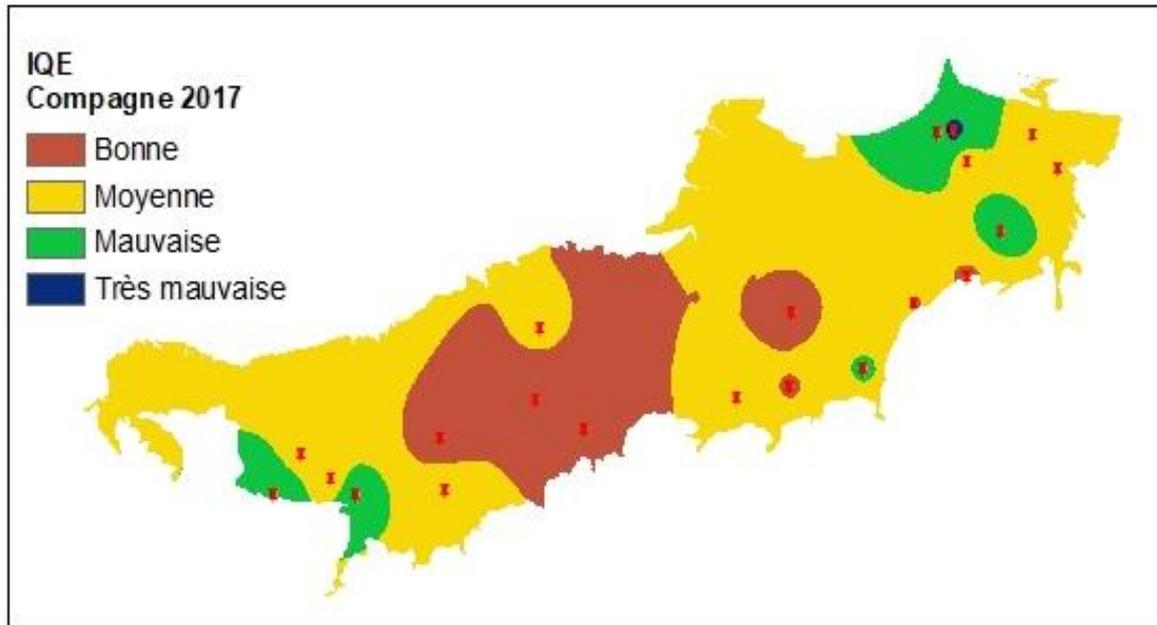


Figure 4.2 : Carte de l’IQE des eaux souterraines de la plaine de Mitidja, Campagne 2017.

4.1.3. Troisième Campagne 2018

D’après la carte de l’IQE de 2018 (Fig.4.3), la plaine de Mitidja affiche une qualité moyenne de l’eau dans la majorité de son territoire. Cependant, des zones de mauvaise qualité sont observées à l’Ouest et quelques zones de l’Est.

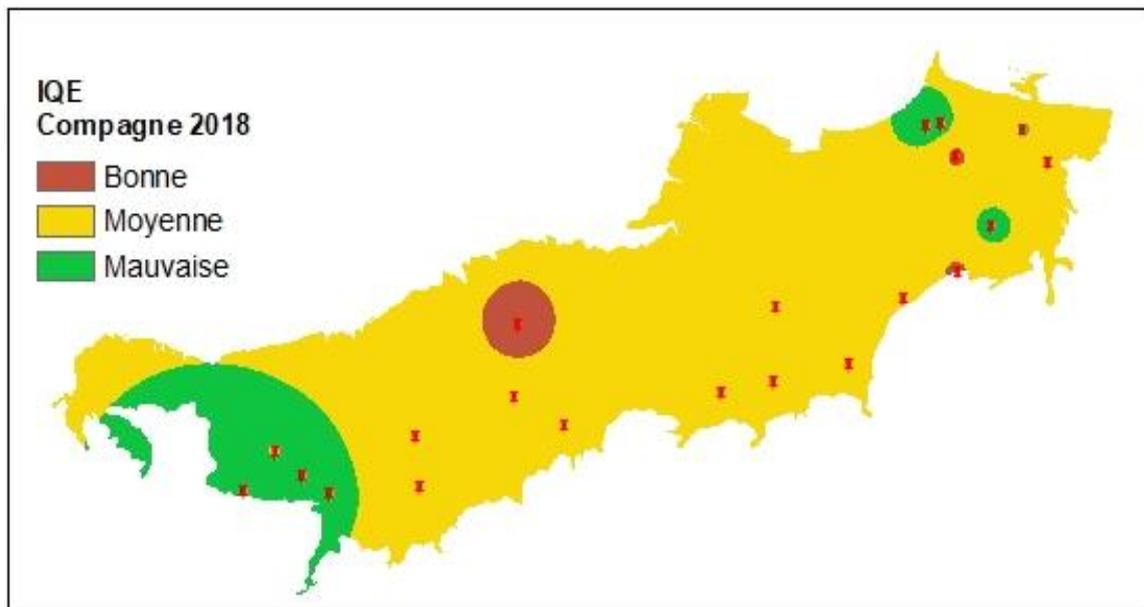


Figure 4.3 : Carte de l’IQE des eaux souterraines de la plaine de Mitidja, Campagne 2018.

4.2. Identification des zones critiques

L'interprétation de la carte de la répartition des surfaces des zones critiques de la plaine de Mitidja (*Fig.4.4*) met en évidence les variations de qualité de l'eau au fil des années par rapport à la surface totale de la plaine.

En 2016, la majorité de la plaine (70%) était classée comme ayant une qualité moyenne, tandis que les zones de mauvaise qualité couvraient 21.57% de la surface totale et les zones de très mauvaise qualité représentaient une proportion négligeable (0.07%).

En 2017, on observe une légère amélioration de la qualité de l'eau, avec une diminution de la surface occupée par les zones de mauvaise qualité (9.81%) et une augmentation de la surface classée comme ayant une qualité moyenne (65.54%). Les zones de très mauvaise qualité augmentent légèrement à 0.14% de la surface totale.

En 2018, une évolution significative est observée, avec une augmentation considérable de la surface occupée par des zones de moyenne qualité (85.04%). Les zones de mauvaise qualité restent relativement stables (12.60%), tandis que les zones de très mauvaise qualité disparaissent complètement.

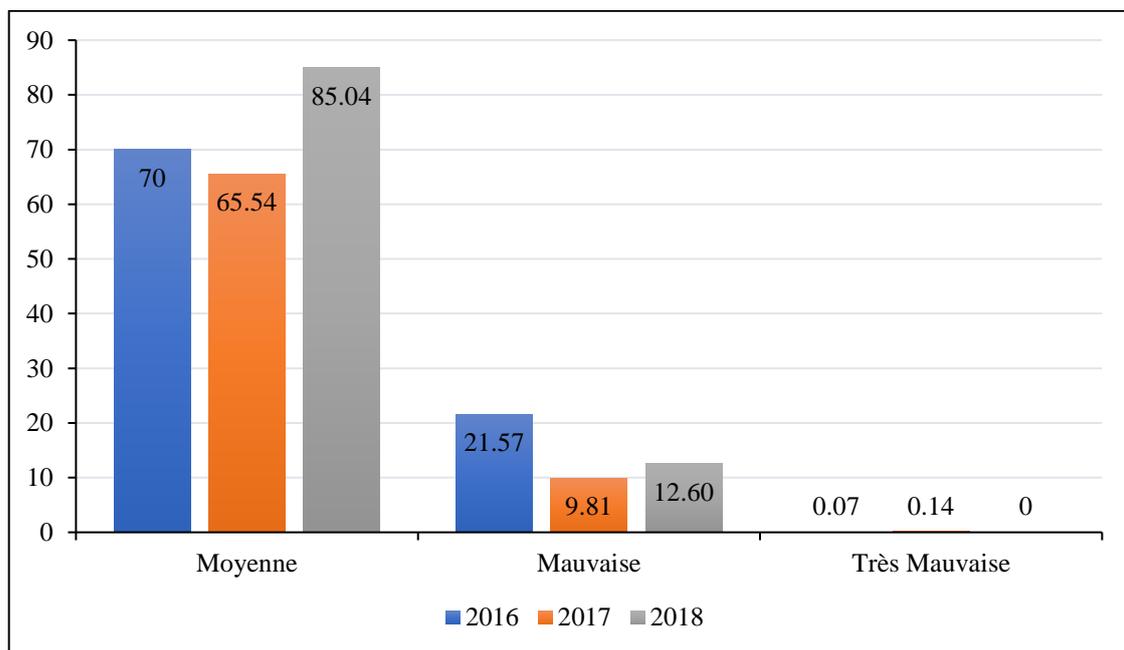


Figure 4.4 : Répartition des surfaces des zones critiques de la plaine de Mitidja.

4.3. Aptitude des eaux en AEP

L'analyse de la répartition des surfaces des zones de bonne et très bonne qualité dans la plaine de Mitidja met en évidence une situation préoccupante en ce qui concerne l'aptitude des eaux pour l'Alimentation en Eau Potable (AEP).

En 2016, seulement 8% de la surface totale de la plaine était classée comme ayant une bonne qualité d'eau, tandis qu'aucune zone n'était considérée comme ayant une très bonne qualité pour l'AEP.

En 2017, une amélioration significative est observée, avec une augmentation notable de la surface occupée par des zones de bonne qualité (24.53%). Cependant, aucune zone n'a été identifiée comme ayant une très bonne qualité pour l'AEP.

En 2018, la situation se détériore à nouveau, avec une diminution importante de la surface des zones de bonne qualité, qui représente maintenant seulement 2.39% de la surface totale de la plaine. Aucune zone de très bonne qualité n'a été identifiée cette année-là, soulignant les défis persistants liés à l'aptitude des eaux pour l'AEP dans la région.

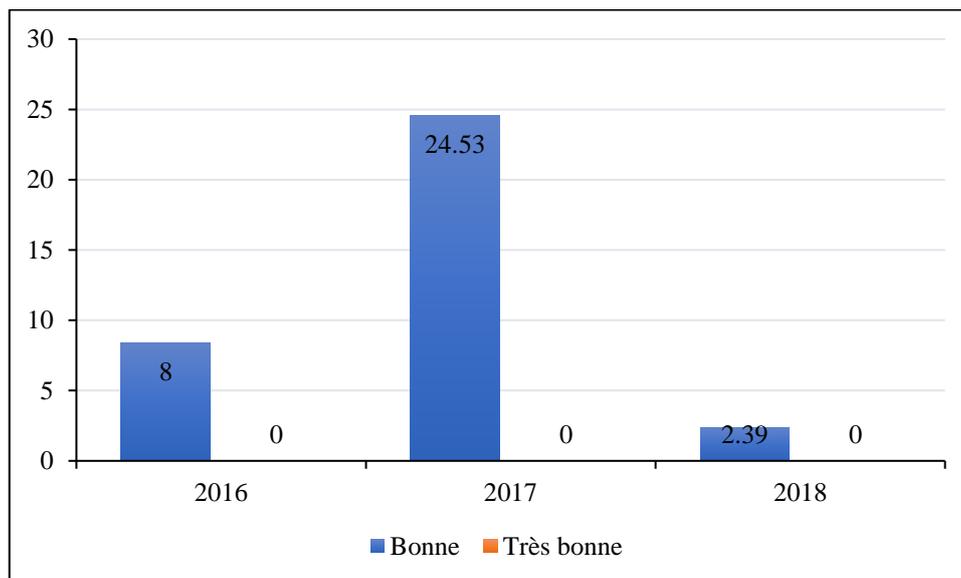


Figure 4.5 : Évaluation de l'aptitude des eaux pour l'AEP dans la plaine de Mitidja.

4.4. Evolution de la qualité des eaux entre 2016 et 2017

La carte de l'évolution de l'IQE entre 2016 et 2017 dans la plaine de Mitidja ci-dessous, met en évidence des changements significatifs dans la répartition de la qualité de l'eau. Le tableau 4.1 présente les surfaces de chaque classe de l'évolution.

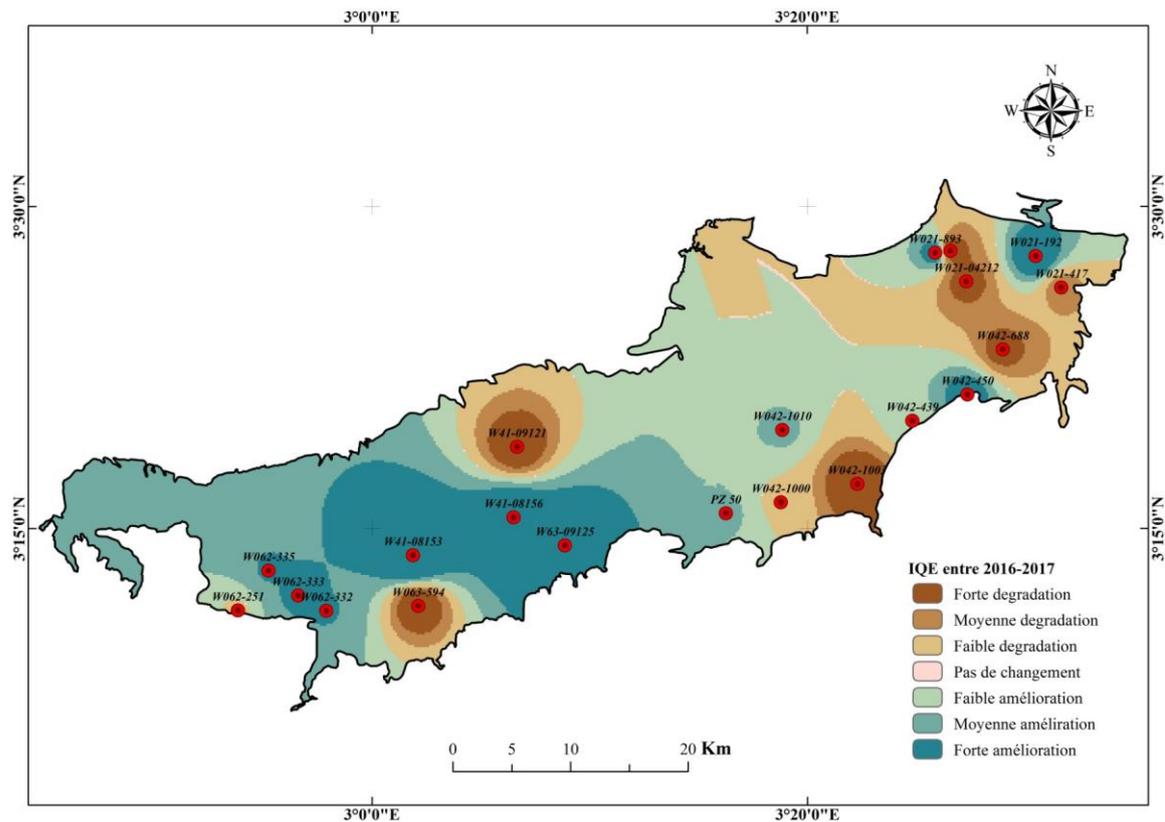


Figure 4.6 : Carte de l'évolution de l'IQE entre 2016 et 2017.

On observe une forte dégradation de la qualité de l'eau dans une surface de 76.78 km², touchant des zones situées au centre, à l'Est et au sud de la plaine. De plus, une moyenne dégradation est également constatée dans une surface de 98.54 km², affectant les mêmes zones.

Pendant, des améliorations sont observées dans certaines parties de la plaine. Une faible amélioration de la qualité de l'eau est constatée dans une surface de 414.55 km², majoritairement au centre de la plaine. De plus, une moyenne amélioration est observée dans une surface de 366.29 km², principalement à l'ouest de la plaine. Enfin, une forte amélioration est constatée dans une surface de 264.93 km², situé majoritairement au centre de la plaine.

Tableau 4.1 : Classes de l'évolution de l'IQE entre 2016 et 2017.

Classe	Surface	Classe	Surface
Forte Dégradation	76.78	Faible Amélioration	414.55
Moyenne Dégradation	98.54	Moyenne Amélioration	366.29
Faible Dégradation	273.84	Forte Amélioration	264.93
Pas de Changement	5.73		

4.5. Evolution de la qualité des eaux entre 2017 et 2018

La carte de l'évolution de l'IQE entre 2017 et 2018 présentée ci-dessous, révèle des changements significatifs dans la répartition de la qualité de l'eau. Ainsi, le tableau 4.2 indique les surfaces relatives à chaque variation.

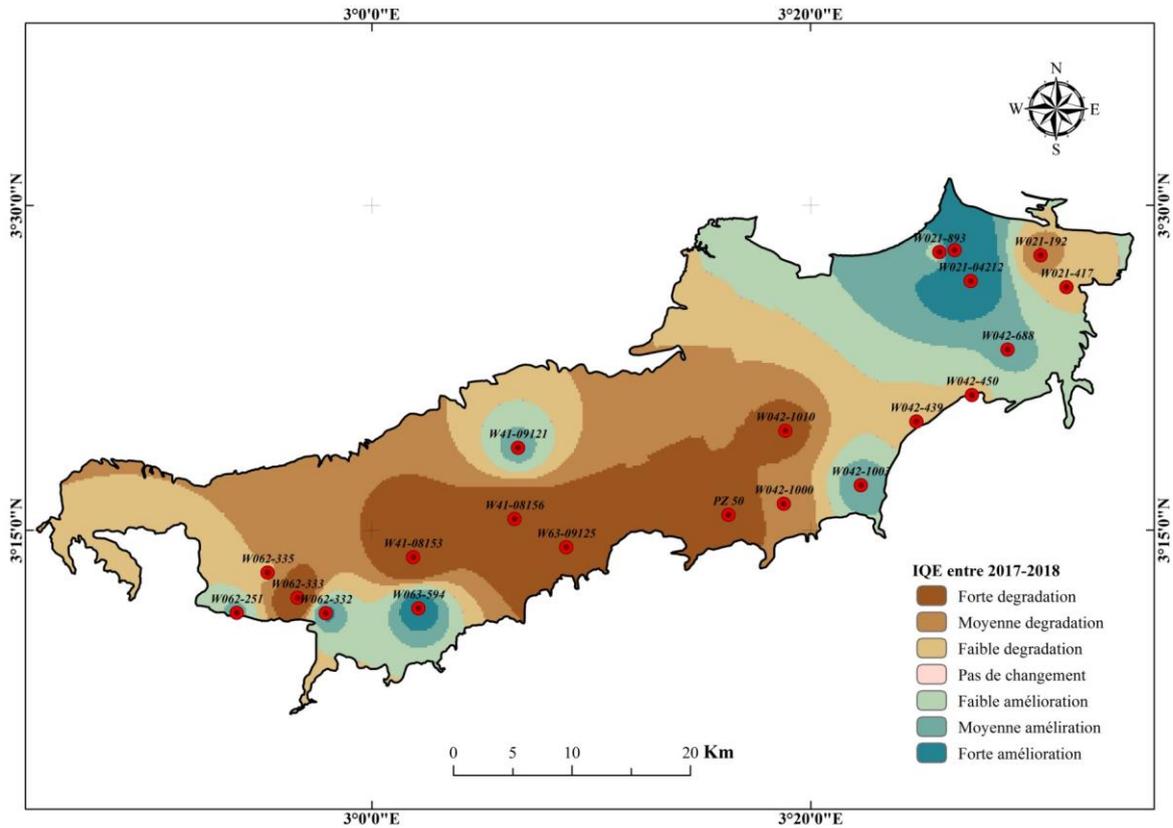


Figure 4.7 : Carte de l'évolution de l'IQE entre 2017 et 2018.

On observe une forte dégradation de la qualité de l'eau dans une surface de 314.35 km², localisée majoritairement au Sud de la plaine. De plus, une moyenne dégradation est constatée dans une surface de 370.49 km², située au Nord. La plupart des zones de dégradation se concentrent dans cette partie de la plaine.

Cependant, des améliorations sont observées dans certaines parties de la plaine. Une faible amélioration de la qualité de l'eau est constatée dans une surface de 260.09 km², principalement à l'est de la plaine. De plus, une moyenne amélioration est observée dans une surface de 131.7 km², également à l'est de la plaine. Enfin, une forte amélioration est constatée dans une surface de 65.12 km².

Tableau 4.2 : Classes de l'évolution de l'IQE entre 2017 et 2018.

Classe	Surface
Forte Dégradation	314.35
Moyenne Dégradation	370.49
Faible Dégradation	356.22
Pas de Changement	2.68
Faible Amélioration	260.09
Moyenne Amélioration	131.7
Forte Amélioration	65.12

Conclusion

En conclusion, l'analyse de l'évolution de l'IQE entre 2016 et 2018 dans la plaine de Mitidja met en évidence des changements significatifs dans la répartition de la qualité de l'eau, avec une dégradation observée principalement au centre de la plaine et des améliorations localisées à l'est. Ces résultats soulignent l'importance de continuer à surveiller et à protéger la qualité de l'eau dans la région pour préserver cette ressource essentielle.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

L'étude menée dans la plaine de Mitidja a permis de caractériser divers aspects environnementaux et hydrogéologiques de la région. La topographie de la plaine, inclinée du sud au nord et bordée par l'Atlas Blidéen au sud et le Sahel au nord, offre des conditions favorables à l'agriculture grâce à sa fertilité et sa richesse en terres.

Les ressources hydrogéologiques, notamment la nappe souterraine qui est d'une capacité significative de 500 hm³, jouent un rôle important dans l'approvisionnement en eau de la plaine.

La plaine de Mitidja présente une importante variabilité des précipitations, tant dans le temps que dans l'espace, ce qui peut influencer la qualité de l'eau. L'influence de la végétation sur les processus hydrologiques est également significative.

Cependant, le réseau hydrographique de la plaine n'est pas idéalement adapté ni bien structuré, ce qui peut entraîner des défis dans la gestion des ressources en eau.

L'analyse des échantillons d'eau prélevés dans la plaine a révélé des variations dans les niveaux de différents paramètres physico-chimiques et physiques. Ces variations peuvent indiquer des changements dans la qualité de l'eau au fil des années.

L'analyse de la répartition des zones critiques de la plaine de Mitidja révèle une prédominance de zones présentant des problèmes de qualité de l'eau. En 2016, 91,64% de la surface totale était considérée comme critique, et bien que des améliorations aient été observées en 2017 (75,49%) et en 2018 (97,64%), la situation générale reste préoccupante. En ce qui concerne l'aptitude des eaux pour l'AEP, les résultats montrent une faible proportion de zones répondant aux normes requises, avec seulement 8% en 2016, 24,53% en 2017 et 2,39% en 2018.

Les cartes montrant l'évolution de l'indice de qualité de l'eau entre 2016 et 2017 ainsi qu'entre 2017 et 2018 révèlent des tendances de dégradation de la qualité de l'eau dans certaines zones de la plaine. Cependant, des améliorations sont également observées dans certaines autres parties de la plaine.

Ces résultats soulignent la nécessité d'actions continues visant à améliorer la qualité de l'eau dans la plaine de Mitidja afin de garantir un approvisionnement en eau potable sûr et durable pour la population.

Références

Bibliographiques

Références

- [1] Viovy, N., & Abril, G. 2015. 17. L'eau dans les écosystèmes continentaux. In Euzen, A., Jeandel, C., & Mosseri, R. (Eds.), *L'eau à découvert*. CNRS Éditions. DOI: 10.4000/books.editions-cnrs.9881
- [2] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), *Review of World Water Resources by Country*. Rome, 2003. DOI : <https://www.fao.org/3/y4473e/y4473e00.htm#Contents>
- [3] J. Margat, L. Moniton. 1971. rapport 71 SGN 085 HYD : Les eaux souterraines, gestion et protection. Bureau de recherche géologique et minière. DOI : <http://infoterre.brgm.fr/rapports/71-SGN-108-HYD.pdf>
- [4] JAMET, P., 2004. Les eaux continentales. Rapport sur la science et la technologie n° 25, Académie des sciences. Les Ulis Cedex A., France.
- [5] Fabre, C. (2019). Rôle des zones humides alluviales dans la régulation des flux de nitrates et de carbone organique vers les eaux de surface à l'échelle des bassins versants.
- [6] Scherrer, D., Bürgi, M., Gessler, A., Kessler, M., Nobis, M.P., & Wohlgemuth, T. (2022). Abundance changes of neophytes and native species indicate a thermophilisation and eutrophication of the Swiss flora during the 20th century.
- [7] DOI : <https://www.actu-environnement.com/ae/news/utilisation-eaux-non-conventionnelles-risques-sante-39643.php4>
- [8] Zella, L.L., & Smadhi, D.D. (2010). La pénurie d'eau dans les pays arabes et la nécessité de l'utilisation des eaux non conventionnelles. *LARHYSS Journal*, 8, 149-166.
- [9] Samuel, B., Jean-Philippe, C., Agnès, L., Isabelle, G. (ORS) et Antoine, F. (IAURIF), *Réutilisation des eaux usées épurées : considérations sanitaires et intérêts pour l'Île-de-France*, France, Décembre 2004
- [10] ECOSSE, D. (2001) - Techniques alternatives en vue de subvenir à la pénurie d'eau dans le monde. *Mém. D.E.S.S. « Qualité et Gestion de l'Eau »*, Fac. Sciences, Amiens, 62 p.
- [11] Jean, B., *Revue des aspects maritimes du dessalement d'eau de mer. Revue Paralia*, Volume 6 (2013) pp 1.1-1.13

- [12] SAWADOGO, B., Traitement des eaux usées industrielles par des procédés membranaires sous climat sahélien : cas des eaux usées de brasserie au Burkina Faso. Burkina Faso, 2018.
- [13] Pradinaud, C. (2018). Considération de la qualité de l'eau et caractérisation de l'eau en tant que ressource en Analyse du Cycle de Vie.
- [14] Vissin, E.W., Aimade, H.S., Dougnon, L.D., Sohounou, M., Atiye, E.Y., & Atchade, G.A. (2017). Qualité de l'eau et maladies hydriques dans la commune de Toffo (Bénin, Afrique de l'ouest). *Journal of Applied Biosciences*, 106, 10300-10308.
- [15] Lefèvre, S., Genin-Lomier, S., Orlandini, P., & Cabre, O. (2021). Maîtrise de la qualité des eaux destinées à la consommation humaine à bord des bâtiments de la Marine : enjeu des paramètres chimiques et organoleptiques. *Bulletin De L'Académie Vétérinaire De France*.
- [16] Khadro, B. (2008). Conception et réalisation de biocapteurs pour le suivi de polluants dans les eaux naturelles.
- [17] Marsily, G.D. (2000). Le cycle de l'eau et l'adéquation besoin-ressources au 21ème siècle.
- [18] Nireti, L.R., Carine, K.N., & Micheline, A.D. (2017). Characterization of Ouémé River Quality in Upper Delta Using Water Evaluation Indices and Multivariate Analysis. *European scientific journal*, 13, 170-170.
- [19] Hervé, P. (1988). L'odorat en mycologie.
- [20] Fantino, M. (2008). Le goût du gras : une nouvelle composante gustative.
- [21] Proulx, F., Rodriguez, M. & Sérodes, J.-B. (2010). Les goûts et les odeurs dans l'eau potable : revue des composés responsables et des techniques de mesure. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, 23(3), 303–323. DOI : <https://doi.org/10.7202/044691ar>
- [22] Ronalad, V., Eau environnement et santé publique, 2ème édition, Ed TEC&DOC, 2003.
- [23] Sarney, J. (2007). La Couleur. *Review: Literature and Arts of the Americas*, 40, 169-174.

- [24] Mehdaoui, R., Mili, E.M., & Mahboub, A. (2019). Caractérisations physico-chimiques et bactériologiques pour l'évaluation de la qualité des eaux souterraines de la vallée du moyen Ziz (Errachidia Sud-Est du Maroc). *La Houille Blanche*, 105, 5 - 15.
- [25] Fondation Nationale de la Santé (2013), Manuel pratique d'analyse de l'eau 4ème édition Brasilia. Brésil. P57, 67
- [26] Rejsek, F., Analyse des eaux, aspect réglementaire et technique, centre régional de documentation pédagogique d'aquitaine, France, 2002.
- [27] Zakaria, M.G., Taupin, J.D., Ranaivoarisoa, A., & Robison, L.R. (2015). Caractérisation géochimique et bactériologique des nappes d'une région à climat tropical sec au centre Sud de Madagascar. *Hydrological Sciences Journal*, 60, 746 - 759.
- [28] Aimar, P., Bacchin, P., Bramaud, C., Jauffret, H., & Raphanel, C. (2000). Procédé d'appauvrissement en cations monovalents d'une eau destinée à l'alimentation.
- [29] Kouassi, A.M., Ahoussi, K.E., Kouakou, K.E., Mamadou, A., & Biémi, J. (2016). Analyse comparative entre la distribution des fréquences de conductivité électrique et les faciès géochimiques des eaux des aquifères de socle (Côte d'Ivoire). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 10, 435-446.
- [30] Rodier, J., L'analyse de l'eau, eaux naturel, eau résiduaires, eau de mer, 9ème édition, Dunod, paris, 2009,1600p.
- [31] Squilbin, M., Yourassowsky, C., Qualité physico-chimique et Chimie des eaux de surface. Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement / Observatoire des Données de l'Environnement. 2005, 16p.
- [32] Berne, F., Jean, C., Traitement des eaux, Édition TECHNIP, 1991, 306 p.
- [33] Lounnas, A., Amélioration des procédés de clarification des eaux de la station Hamadi-kroma de Skikda, thèse de magister en chimie, université du 20 Août 1955 de Skikda, 2009.
- [34] Hachemi, A., & Benammour, M. (2014). CALCUL NUMERIQUE DE L'EQUILIBRE CALCO-CARBONIQUE DE L'EAU SELON LE MODELE DE LEGRAND-POIRIER.
- [35] BREMOND, R., VUICHARD. R ; Paramètres de la qualité des eaux, Documentation Française, Paris, 1973.

- [36] RODIER, J., l'analyse de l'eau ; eaux naturelles ; eaux résiduaires ; eaux de mer ; édition dunod, 8eme édition ; pages (945 à1075), 1976.
- [37] Besbes, M., Hydrogéologie de l'ingénieur, Centre de Publication Universitaire, Tunisie, ISBN : 978-9973-37-617-6, 2010, 350 p.
- [38] Tardat, M., Chimie Des Eaux, 2ème Edition, Les éditions du griffon d'Argile, 1992, pp 213-215.
- [39] Mezzar, L., Etat de la qualité chimique et bactériologique de la nappe alluviale de Guerrara, Mémoire de Magister, spécialité : biologie, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2015
- [40] CHAPMAN.D, KIMSTACH.V; Selection of water quality variables. Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring, Chapman edition, 2nd ed. E & FN SPON; London; pp 59-126, 1996.
- [41] JORA, Arrête du 26 mars 2000 relatif aux spécifications des eaux de boisson préemballées et aux modalités de leur présentation, journal officiel de la république algérienne N°51 du 20 Aout 2000.
- [42] OMS, Les lignes directrices de l'OMS en ce qui concerne la qualité de l'eau potable, mises à jour en 2006, organisation mondiale de la santé, Genève, Suisse, 2006.
- [43] UE, Norme de l'union européenne sur l'eau potable, directive du conseil 98/83/EC sur la qualité de l'eau attendue pour la consommation humaine, 1998.
- [44] Edberg. R, Raczynski M., Prost J.C, Elmur T, Aide à la fiabilisation de l'eau potable en milieu rural. Aspect techniques et financiers. OI eau, France,2000, p 5.
- [45] Bonnefont, J.L., & Martin, Y.P. (2004). Evaluation du T90 des coliformes et streptocoques fecaux d'un effluent urbain dans les eaux de surface du lagon de Mayotte (ocean Indien).
- [46] Zamiche, S., Hamaidi-Chergui, F., Demiai, A. 2017. Pollution of the quaternary aquifer of Mitidja (Algeria) by nitrates: origins and impacts on the quality of water for human consumption. Journal of Fundamental and Applied Sciences.
- [47] Bendjoudi, D. 2008. Étude de l'Avifaune de la Mitidja. Thèse de doctorat en sciences agronomiques. Institut national agronomique. El Harrach.

- [48] Leghlam, S. 2021. Analyses statistiques multivariées de la qualité des eaux souterraines de la plaine de Mitidja. Mémoire de Master en Hydraulique. Université Mohamed Boudiaf. M'sila.
- [49] Belaidi, M. Rabehaoui, H. Sadat, M. 2010. État du réseau de surveillance des eaux souterraines de la nappe de la Mitidja. Note Technique ANRH/ DRC Soumâa. 16 p.
- [50] Yahiaoui, S. 2006. Etude de l'impact de l'intrusion marine par cartographie assistée par le SIG, de la baie d'Alger. Mémoire d'ingénieur, ENSH. 158 p.
- [51] Belaidi, M et Salhi, M. 2011. Note sur la piézométrie de la nappe de la Mitidja (campagne 2010). Agence national des ressources hydrauliques. 7 p.
- [52] Glangeaud, L. Étude géologique de la région littorale de la province d'Alger. Bull Serv. Cartes Géol.Algérie.1932.
- [53] Sekkal R. Hydrologie de la nappe de la Mitidja (Algérie). Étude hydrodynamique des champs captants de la ville d'Alger. Thèse de docteur Ingénieur de l'Université Scientifique et Médicale de Grenoble, France.1986. 403 P.
- [54] Bennie&Partners. Schéma d'aménagement des ressources en eau de la région d'Alger et du Sébaou.1983
- [55] Esri France (s.d.). Premiers pas avec ArcGIS Online. Récupéré de <https://resources.arcgis.com/fr/help/gettingstarted/articles/026n00000014000000.htm>
- [56] Microsoft Excel Spreadsheet Software. Microsoft 365. (n.d.). <https://www.microsoft.com/en-us/microsoft-365/excel>
- [57] Acharya, S. Sharma, S.K. Khandegar, V. 2018. Assessment of groundwater quality by water quality indices for irrigation and drinking in South West Delhi, India, Data Brief. P 2019–2028.
- [58] Bhateria, Jain, R. D. 2016. Water quality assessment of lake water: a review, Sustain. Water Resour. Manag. P 161–173.
- [59] Muralitharan, Palanivel, J. K. 2018. GIS based Water Quality Index method for ground water quality assessment-using hydro geochemical data: Karur district, Tamil Nadu, India, India IJSRST.

- [60] Poonam, T. Tanushree, B. Sukalyan, C. 2013. Water quality indices-important tools for water quality assessment: a review, *Int. J. Adv. Chem.* P 5–28.
- [61] Katyal, D. 2011. Water quality indices used for surface water vulnerability assessment, *Int. J. Environ. Sci.*
- [62] Fernández, N. Ramírez, A. Solano, F. 2004. Physico-chemical water quality indices-a comparative review, *Bistua Rev. Fac. Cienc. Básicas.* P 19–30.
- [63] Shweta, T. Bhavtosh, S. Prashant, S. Rajendra, D. Water Quality Assessment in Terms of Water Quality Index. *American Journal of Water Resources* 1, no. 3 (2013): 34-38. doi: 10.12691/ajwr-1-3-3.