

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou

جامعة مولود معمري

FACULTÉ DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES

AGRONOMIQUES

DÉPARTEMENT DES SCIENCES GÉOLOGIQUES



MEMOIRE de fin d'études

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

Filière :Géologie

Option : Hydrogéologie

Par : Bentarzi Soumia

Et

Hamrani Houria

**Modélisation cartographique de la vulnérabilité spécifique aux nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) des eaux souterraines de la Mitidja orientale**

**(W. d'Alger)**

*Soutenu publiquement le 20/09/2023 devant le Jury composé de :*

M. MAKHLOUF Ali

M.C.A à l'UMMTO

Président

M. DROUCHE Abdelmadjid

M.C.B à l'UMMTO

Encadrant

Mme DJEMA Manal

Ingénieur, DREW Boumerdès

Co-encadrant

M. KARDACHE Ramdane

M.C.A à l'UMMTO

Examineur

## **REMERCIEMENTS**

*Toute notre parfait gratitude et remerciement à Allah le plus puissant qui nous a donné la force, le courage et la volonté pour élaborer ce travail.*

*Nous tenons à remercier M.Drouiche A. encadrant du présent mémoire, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter notre réflexion.*

*Nos remerciements s'adressent également à Mme Djama M. Ingénieure à la DRE de Boumerdes.*

*Ainsi, on exprime nos reconnaissances à tous les membres de jury d'avoir accepté de lire ce manuscrit à la mise en forme de ce mémoire.*

*Nous remercions tous les enseignants du Département des Sciences Géologiques pour leurs aides, leurs informations et les encouragements durant les cinq années d'étude.*

*Enfin nous adressons nos meilleurs et chaleureux remerciements à toutes les personnes qui nous ont aidé de près ou de loin dans la réalisation de ce projet de fin d'étude*

## **DEDICACES**

*Je dédie ce travail comme preuve de respect et de gratitude à la mémoire de ma chère grand-mère qui a su guider mon enfance, puisse-t-elle reposer en paix.*

*À mes chères parents et ma grand-mère pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien tout au long de mes études.*

*À mes chères sœurs « Lydia, Sylia et Djedjiga » pour leurs encouragements permanents, et leur soutien.*

*À mon chère frère : « Salem » et mon oncle « Kamel » qui m'ont soutenu et encouragé durant mes études, eux qui m'ont toujours apporté le soutien moral et matériel.*

*Mes chères amies: Samira, Lilia, Massilia, Amel, Nassima, Djoudjou, Thanina, qui m'ont toujours encouragé, et à qui je souhaite plus de succès.*

*A ma chère binôme Soumia pour son soutien moral, sa patience, sa compréhension tout au long de ce travail*

*A mes camarades de section*

*A mon chère Nadir qui ma encouragé, aidé et qui m'a supporté dans les moments les plus difficiles*

*A toute la famille Hamrani et Hamraoui*

*Et toutes les personnes que je connais et que j'aime.*

**Houria**

## **DEDICACES**

*J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail à :*

*La source de sécurité où je récupère mes forces, à la lumière de mes yeux, ma chance, ma victoire et ma fierté à celle qui a été la première à me soutenir dans la réalisation de mon ambition, à celle qui a été mon refuge et mon bras droit dans mes études à celui à travers qui j'ai vu le chemin de ma vie et de mon estime de soi. Au cœur compatissant à celui dont les prières m'entouraient « maman ».*

*Mon cher père, pour ses encouragements, son soutien, surtout pour son amour et son sacrifice afin que rien n'entrave le déroulement de mes études.*

*Mes chères sœurs. Khaoula, Hanane et ses princesses Takwa, Maria et Bayan.*

*Mes chères frères AbdElhalim, Ridha et son prince AbdEllah, yacine .*

*Mes chères copines Ahlem, Asma, Zineb, Soraya.*

*A toute ma famille, mes proches et mes amies.*

*Pour ma binôme et amie Houria.*

*A toute la promotion 2022-2023.*

*Et à tous ceux que j'aime et qui m'aiment.*

**Soumia**

## **Résumé**

Le bassin de la Mitidja-est dispose d'un réservoir d'eau souterraine important pour le développement agricole, urbain et industriel.

La contamination de l'eau souterraine par les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) est un phénomène mondiale. À ce jour, les ( $\text{NO}_3^-$ ) représentent le contaminant le plus présent au niveau mondial dans les eaux souterraines. Ce type de pollution est étroitement lié aux pratiques agricoles.

Le but de ce travail est la modélisation cartographique de la susceptibilité des eaux souterraines de la Mitidja-est à la pollution spécifique aux nitrates par la méthode d'analyse hiérarchique des procédés.

**Mots clés :** Mitidja-est, pollution, vulnérabilité, nitrates, réservoir souterrain, AHP.

### **Abstract:**

The Eastern Mitidja basin is an underground reservoir essential for agricultural, urban and industrial development.

Nitrate contamination of groundwater ( $\text{NO}_3^-$ ) is a growing phenomenon worldwide. To date, ( $\text{NO}_3^-$ ) is the most ubiquitous contaminant in groundwater and is closely linked to agricultural practices.

The aim of this research is modelling and mapping of areas vulnerable to nitrate pollution ( $\text{NO}_3^-$ ) which is based on the hierarchical method of processes and ARCGIS software.

**Keywords:** Mitidja-Est, pollution, vulnerability, nitrates, underground reservoir, AHP.

## LISTE DES ACRONYMES

A	:Superficie (Km <sup>2</sup> )
A	: Indice d'aridité
ANRH	: Agence Nationale des Ressources Hydriques
ASGA	: Agence du Service Géologique de l'Algérie
AGIRE	: Agence Nationale de Gestion intégrée des Ressources en Eau
BV	: Bassin Versant
ETP	: Evapotranspiration potentielle
ETR	: Evapotranspiration réelle.
Ie	: Infiltration
Kc	: Indice de capacité de Gravelius
Max	: Maximale
Min	: Minimale
Moy	: Moyenne
SIG	: Système d'Information Géographique
AHP	: Analyse Hiérarchique des Procédées
NO <sub>3</sub>	: Nitrate

# Table des matières

Remerciements	
Dédecaces	
Résumé	
Liste des acronymes	
Sommaire	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
CHAPITRE 1 : PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE .....	2
1. Introduction .....	2
2. Cadre géographique.....	2
3. Cadre géomorphologique de la Mitidja-Est .....	3
4. Caractéristiques morphométriques des bassins versants .....	3
Caractéristiques des sous bassins versants .....	4
5. Hydrographie.....	6
6. Les ressources en eau de la Mitidja Orientale .....	6
7. Besoins en eau de la zone d'étude.....	7
7.1 Irrigation .....	7
7.2 Alimentation en eau potable (AEP).....	7
7.3 Industrie .....	8
8. L' assainissement .....	8
9. Le couvert végétal .....	8
10. La pédologie .....	9
10.1 Sols alluviaux.....	9
10.2 Sol insaturé .....	9
10.3 Sols dunaires.....	9
10.4 Sols calcaires .....	9
10.5 Sols de marais .....	9
11. Aspect socio-économique.....	10
12. Conclusion.....	11
CHAPITRE 2 : CONTEXTE GÉOLOGIQUE E HYDROGÉOLOGIQUE.....	10
1. Introduction .....	10
2. Contexte géologique.....	10
2.1 Géologie générale .....	10

2.2	Géologie locale .....	11
2.2.1	Stratigraphie et litho stratigraphie.....	12
2.2.1.1	Miocène et formations plus anciennes.....	12
2.2.1.2	Pliocène .....	12
2.2.1.2.1	Le Plaisancien .....	12
2.2.1.2.2	L’Astien .....	12
2.2.1.3	Pléistocène .....	13
a)	Villafranchien (Calabriens) .....	13
b)	Soltanien – Tensiftien (Tyrrhénien) .....	13
c)	Rharbien (Flandrien).....	13
2.2.2	Evolution paléographique et tectonique .....	14
3.	Contexte hydrogéologique : .....	16
3.1	L’aquifère de l’Astien.....	16
3.2	L’aquifère quaternaire .....	17
3.3	Alimentation de aquifères de la Mitidja .....	18
3.4	Exutoires des acquières e la Mitidja : .....	18
3.5	Piézométrie de la nappe alluviale de la Mitidja-Est .....	19
4.	Conclusion.....	20
CHAPITRE 3 : Hydroclimatologie .....		22
1.	Introduction .....	22
2.	Le climat :.....	22
2.1	La température .....	22
2.1.1	La température moyenne mensuelle : .....	23
2.2	Etude des précipitations :.....	23
2.2.1	La pluviométrie moyenne mensuelle .....	24
2.2.2	Pluviométrie moyenne annuelle : .....	25
3.	Diagramme Ombrothermique.....	26
3.1	Indice d’aridité « A » de Martonne : .....	27
4.	Estimation de l’Evapotranspiration .....	28
4.1.1	Estimation de l’Evapotranspiration Potentielle ETP (mm) .....	28
4.1.1.1.1	Formule de Thornthwaite.....	28
4.2	Estimation de l’Evapotranspiration Réelle ETR (mm).....	29
4.2.1	Formule de Turc : .....	29
4.2.2	Formule de Coutagne : .....	30

4.2.3	Le calcul de l'ETR par méthode de Thornthwaite.....	30
4.2.3.1	Bilan hydrologique en fonction de l'ETP de Thornthwaite.....	31
4.2.3.2	Bilan hydrologique en fonction de l'ETP de Serra.....	32
5.	Estimation de l'infiltration « I » :.....	34
6.	Estimation du Ruissellement « R » :.....	34
7.	Conclusion :.....	35
<b>CHAPITRE 4 :QUALITÉ HYDROCHIMIQUE DES EAUX DE LA MITIDJA-EST .....</b>		<b>37</b>
1.	Introduction .....	37
2.	Analyse des paramètres physiques :.....	37
2.1	La température :.....	37
2.2	Le PH :.....	37
2.3	La conductivité :.....	37
3.	Analyses des paramètres chimique.....	38
3.1	Alcalinité.....	38
3.2	Calcium.....	38
3.3	Magnésium .....	38
3.4	Sodium.....	38
3.5	Chlorures.....	38
3.6	Sulfates .....	39
4.	Le faciès chimique.....	39
4.1	Diagramme de Piper .....	39
4.1.1	Evolution annuelle des facies des eaux de la Mitidja orientale .....	40
5.	Les paramètres de pollution .....	41
5.1	Azote.....	41
5.2	Nitrates.....	41
6.	Conclusion.....	42
<b>CHAPITRE 5 : CONCEPTE DE VULNÉRABILITÉ DES EAUX SOUTERRAINE DE LA MITIDJA-EST 44</b>		<b>44</b>
1.	Introduction .....	44
2.	Types de vulnérabilité des eaux souterraines .....	44
2.1	la vulnérabilité intrinsèque .....	44
2.2	La vulnérabilité spécifique .....	44
3.	Types de pollution.....	44
3.1	La pollution ponctuelle .....	44
3.2	La pollution diffuse.....	45

4.	Principales sources de pollution des eaux souterraines.....	45
5.	Matériels et méthodes utilisées.....	45
5.1	Matériels .....	45
5.1.1	Les images satellitaires .....	45
5.1.2	Les données utilisées .....	46
□	Les données piézométrique.....	46
□	Les données pluviométriques .....	46
3.1.3	Les logiciels utilisés .....	46
6.	L'analyse hiérarchique des procédés.....	46
7.	Application de la méthode hiérarchique des procédées .....	49
7.1	Les critères de la méthode: .....	49
7.1	Hiérarchie des critères : .....	49
7.2	Comparaison par paires .....	50
7.3	Matrice des comparaison .....	50
7.4	Calcul des poids et le 1 max .....	50
7.5	La cohérence de jugement .....	50
7.6	Influence des paramètres sur la continuation des eaux souterraines de la Mitidja-Est par les Nitrates.....	51
7.6.1	Carte piézométrique.....	52
7.6.2	La profondeur de la nappe .....	53
7.6.3	L'occupation des sols.....	54
7.6.4	L'éloignement des activités agricoles.....	54
7.6.5	La recharge nette.....	55
7.6.5.1	La carte de l'indice de pente.....	55
	.....	55
7.6.5.2	Carte de l'indice des précipitations.....	55
7.6.5.3	La perméabilité des sols.....	57
7.6.5.4	Carte de la recharge nette .....	58
7.6.6	L'éloignement de la mer .....	58
7.6.7	Le réseau hydrographique.....	59
7.6.8	Résultats.....	60
8.	Conclusion.....	61
	Conclusion générale	
	Références bibliographiques	

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 :	Situation géographique de la Mitidja Est .....	2
Figure 2 :	Carte topographique de la Mitidja Est. ....	3
Figure 3 :	Carte des bassins versants et les sous bassins versants de la Mitidja .....	5
Figure 4 :	carte du réseau hydrographique de la Mitidja orientale. ....	6
Figure 6 :	Carte d'occupation de sol de la Mitidja-Est .....	9
Figure 7 :	Carte pédologique de la Mitidja-Est .....	10
Figure 8 :	Carte géologique de la plaine de la Mitidja. ....	13
Figure 9 :	Carte géologique de la Mitidja-Est digitalisée à partir de la carte de MacDonald & Partners, 1983). ....	14
Figure 10:	Coupes géologiques de la Mitidja Est ( Binnie et Coll 1983). ....	16
Figure 11 :	Série de coupes géologiques montrant l'évolution de Sahel et la Mitidja pendant le Pliocène et le Quaternaire (Glangeaud et Aymé, 1952). ....	17
Figure 12:	Coupe hydrogéologique interprétative à travers le système aquifère de la Mitidja, Bennie & Partners, 1983, in Drouich.A.2012 .....	19
Figure 13:	Carte piézométriques de la nappe de la Mitidja-Est ( période des hautes eaux, 2018)	21
Figure 14:	Carte piézométrique de la nappe de la Mitidja-Est ( période des basses eaux, 2018) .....	22
Figure 15:	Températures moyennes mensuelles T (°C) période (1991-2011) .....	27
Figure 16:	Précipitations moyennes mensuelles (mm) de la Mitidja orientale pour la période de (1991-2011) .....	25
Figure 17:	Histogramme de la pluviométrie moyenne interannuelle des stations climatiques de la période (1991-2011) .....	26
Figure 18:	Diagramme Ombrothermique de Gausse de la station du Hamiz pour la période (1991-2011) .....	27
Figure 19:	Bilan de Serra en fonction de l'ETP de Thornthwaite période (1991-2011) .....	31
Figure 20:	Bilan de Serra en fonction de l'ETP de Serra période (1991-2011) .....	32
Figure 21:	Diagramme de Piper des eaux de la nappe de la Mitidja-Est en 2015 .....	38
Figure 22:	Diagramme de Piper des eaux de la nappe de la Mitidja-Est en 2012 .....	38
Figure 23:	Diagramme de Piper des eaux de la nappe de la Mitidja-Est en 2020 .....	38

Figure 23:	Evolution des teneurs en nitrates des eaux de la Mitidja orientale (2012, 2015 et 2020) .....	42
Figure 24 :	carte piézométrique période des haute eaux 2018 .....	48
Figure 25:	Carte piézométrique période des basses eaux 2018.....	48
Figure 26:	carte de vulnérabilité relative à la profondeur de la nape de la Mitidja-Est ( Mai 2018) .....	48
Figure 27:	carte de vulnérabilité relative à la profondeur de la nape de la Mitidja-Est ( Octobre 2018) .....	50
Figure 28:	Carte de vulnérabilité relative à d'occupation d'occupation des sols de la Mitidja-Est .....	48
Figure 29:	Indice de distances aux zones agricoles.....	48
Figure 30 :	Carte de l'indice de pente de la Mitidja-Est .....	48
Figure 31:	Carte des précipitations dans la zone de Mitidja-Est.....	48
Figure 32:	Carte de l'indice de précipitation dans la zone de la Mitidja-Est.....	48
Figure 33:	Carte des types des sols de la Mitidja-Est .....	48
Figure 34:	Carte de facteur de perméabilité des sols de la Mitidja -Est.....	48
Figure 35:	carte de vulnérabilité relative au taux de la recharge nette de la nappe de la Mitidja -Est .....	48
Figure 36:	Carte de l'influence de la mer sur la vulnérabilité des eaux souterraine de la Mitidja-Est .....	48
Figure 37:	carte de l'influence du réseau hydrographique sur la vulnérabilité des eaux souterraines de la Mitidja-Est .....	48
Figure 38:	Carte vulnérabilité de l'exposition des eaux souterraines de la Mitidja-Est à la contamination par NO <sub>3</sub> ( période des basses eaux 2018).....	58
Figure 39:	Carte de vulnérabilité de l'exposition des eaux souterraine de la Mitidja-Est a la contamination par NO <sub>3</sub> ( periode des hautes eaux 2018).....	59

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 :	Caractéristiques des sous bassins versants	5
Tableau 2:	Besoins en eau pour l'agriculture irriguée 2017 (AGIR,2021)	7
Tableau 3:	Unités litho stratigraphiques dans le bassin de la Mitidja (MacDonald & Partners Limited, 1992)	18
Tableau 4:	Caractéristiques des stations climatiques dans la zone d'étude	23
Tableau 5:	Températures moyennes mensuelles T (°C) de la station de Hamiz (ANRH de Blida)	23
Tableau 6:	La pluviométrie moyenne mensuelle (mm) des stations de la Mitidja orientale pour la période de (1991-2011)	24
Tableau 7:	La pluviométrie moyenne interannuelle des stations climatiques période	25
Tableau 8:	précipitations moyenne mensuelles à la station du Hamiz, période (1991-2011)	26
Tableau 9:	indice d'aridité de la station du Hamiz	27
Tableau 10:	Calcule d'ETP par la méthode de Thornthwaite la période (1991-2011)	28
Tableau 11:	l'ETR par la formule de Truc période (1991-2011) station du Hamiz.	28
Tableau 12:	Calcule de l'ETR par la formule de Coutagne période (1991-2011)	29
Tableau 13:	Bilan de Thornthwaite en fonction de l'ETP de Thornthwaite période (1991-2011)	31
Tableau 15:	Bilan de Serra en fonction de l'ETP de Serra période (1991-2011) station du Hamiz	33
Tableau 16:	récapitulatif des résultats des paramètres du bilan hydrologiques période (1991-2011) station de Hamiz	34
Tableau 17:	résultats du bilan hydrologiques période (2000-2013) station	35
Tableau 18:	Variation du PH des eaux de différents forages pour les années	35
Tableau 19 :	valeurs des différents éléments chimiques (mg/l) des eaux des forages pour l'année de 2015, ANRH de Blida	37
Tableau 21:	Echelle de comparaison	44
Tableau 22:	Indice Aléatoire (IA)	45
Tableau 23:	Cotes de recharge et pondérations pour la zone d'étude (Piscopo 2001, Al-Adamat et al. 2003)	47

# *Introduction Générale*

## INTRODUCTION GENERALE

En Algérie, comme dans la plupart des pays, l'eau est une ressource rare et menacée, il est nécessaire de la préserver. À la suite de la croissance démographique, du développement agricole et industriel notamment au Nord du pays, l'impact des pollutions ne cesse d'augmenter, ce qui met en danger le présent et l'avenir de cette ressource, si indispensable à la vie.

Les pollutions diffuses d'origine agricole sont une des causes majeures de la détérioration de la qualité des eaux souterraines en zone rurale. Avec les pesticides, les nitrates représentent les principales sources de pollution des aquifères. Dans de nombreuses régions à vocation agricole, le niveau des concentrations en nitrates des eaux souterraines atteint et dépasse fréquemment le seuil de potabilité de 50 mg/L.

La nappe alluviale de la Mitidja Est ne fait pas exception, elle est de plus en plus vulnérable, vu le développement de l'agriculture et les quantités de rejets déversés, généralement sans épuration appropriée, dans le milieu récepteur. En effet, de fortes pollutions, notamment par les nitrates, et l'intrusion marine sont signalées.

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre étude. Il s'agit de la modélisation cartographique de la pollution par les nitrates. L'objectif de notre travail est d'établir un modèle cartographique pour déterminer les zones vulnérables à la pollution par les nitrates basés sur un système d'information géographique couplé avec l'analyse hiérarchique des procédés (AHP). Cette approche a permis de réaliser le présent travail, qui a concerné l'étude qualitative des eaux souterraines de la Mitidja-est. Des phénomènes de risques et de vulnérabilité ont été également mis en évidence.

Pour cela, le plan de travail sera présenté comme suit :

- ✓ Chapitre 1 : c'est une présentation des généralités sur la zone d'étude relative à la situation géographique, la géomorphologie, l'hydrographie, les ressources en eau, l'assainissement, les besoins en eau, le couvert végétal/ pédologique et l'aspect socio-économique de la Mitidja est. ;
- ✓ Chapitre 2 : dans lequel on s'intéresse à la géologie et aux caractéristiques hydrogéologiques de la zone d'étude ;
- ✓ Chapitre 3 : il est consacré à l'aspect hydroclimatologique de la région pour estimer les paramètres suivants : la précipitation, l'évapotranspiration, le ruissèlement et l'infiltration efficace ;
- ✓ Chapitre 4 : il s'intéresse à l'étude de la qualité hydrochimique des eaux souterraines de la Mitidja-est ;
- ✓ Chapitre 5 : dans ce chapitre, on procède à l'élaboration du modèle cartographique en s'appuyant la méthode d'analyse AHP et en exploitant un logiciel de SIG.

# *Chapitre 1*

## *Présentation de la Zone d'étude*

## CHAPITRE 1: PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

### 1. Introduction

La plaine de la Mitidja est une région agricole côtière du Nord Algérien, ses caractéristiques topographiques, pédologiques et climatiques ont permis l'installation des conditions favorables à l'agriculture. Dans ce chapitre, on présente la situation géographique, la géomorphologie, l'hydrographie, les ressources en eau, l'assainissement, les besoins en eau, le couvert végétal/ pédologie et l'aspect socio-économique de la Mitidja-est.

### 2. Cadre géographique

La plaine de la Mitidja, d'une superficie d'environ 1450 km<sup>2</sup>, mesure environ 100 km de long sur 5 à 20 km de large. Elle est d'orientation Est-nord-est/Ouest-sud-ouest. Elle est limitée au Nord par les collines du Sahel algérien et au Sud par l'Atlas blidéen. Elle a une altitude moyenne de 40 à 45 mètres.

La Mitidja-est, est d'une superficie totale de 510 Km<sup>2</sup>. Elle est limitée :

- Au Nord, par la ride du Sahel qui sépare la plaine de la mer.
- Au Sud, par l'Atlas de Blida, chaîne montagneuse atteignant 1600 m d'altitude.
- A l'Est, par l'Oued Reghaïa.
- A l'Ouest, par l'Oued El Harrach (figure 1).

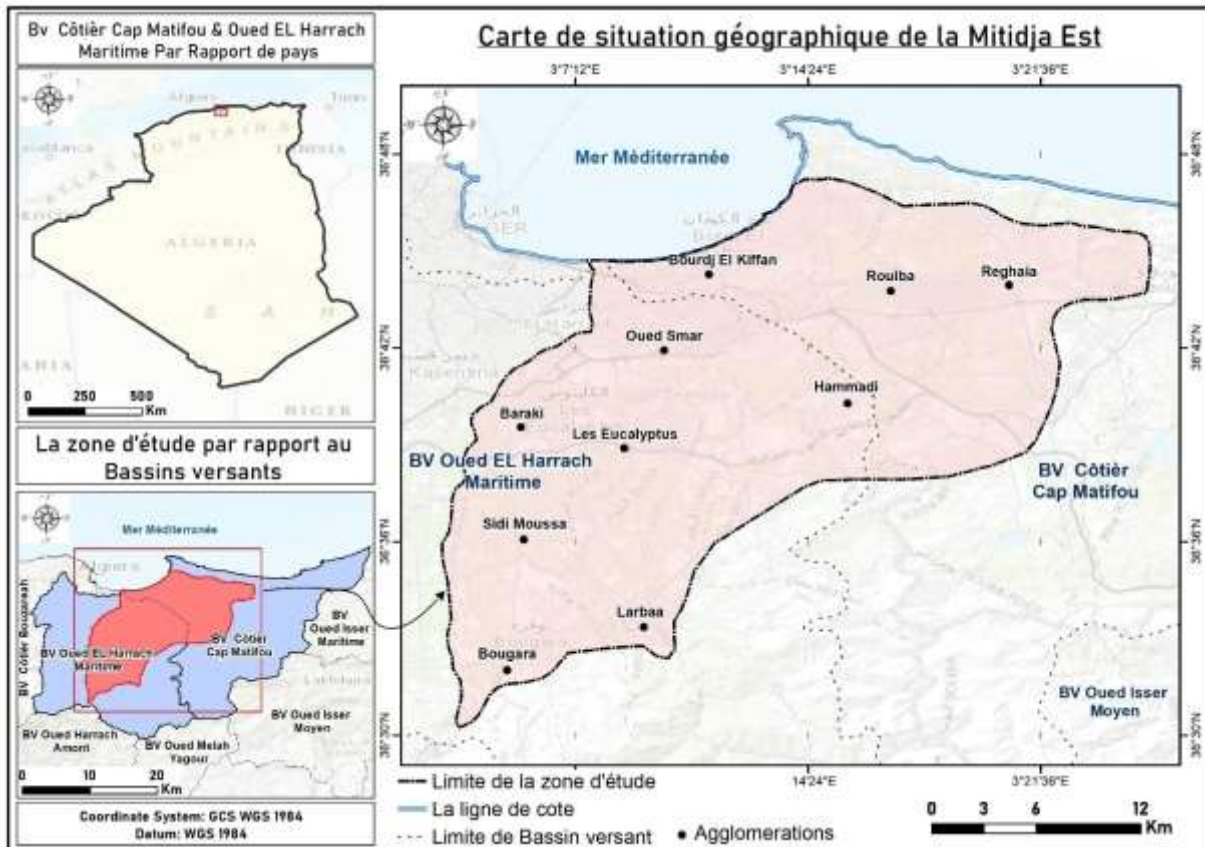


Figure 1 : Situation géographique de la Mitidja-est

### 3. Cadre géomorphologique de la Mitidja-Est

La zone d'étude comprend du Nord au Sud trois unités structurales : le Sahel d'Alger, la plaine de la Mitidja et les monts de l'Atlas Blidéen.

Le Sahel est une structure plissée orientée Est-ouest, d'altitude maximale de 250 mètres à l'Ouest d'Alger et de 60 mètres au Nord de Reghaïa, Le Sahel s'étend tout au long du littoral algérois, à l'exception d'une section érodée en bordure de la baie d'Alger.

La plaine de la Mitidja est formée de sédiments provenant des reliefs limitrophes, qui sont le Sahel au Nord et l'Atlas au Sud.

L'Atlas Blidéen est un massif montagneux atteignant 1600 mètres d'altitude, orienté NE-SW, bordant la plaine de la Mitidja au Sud. Il présente des pentes abruptes et est la source de plusieurs cours d'eau qui sillonnent la Mitidja-est. (figure 2).

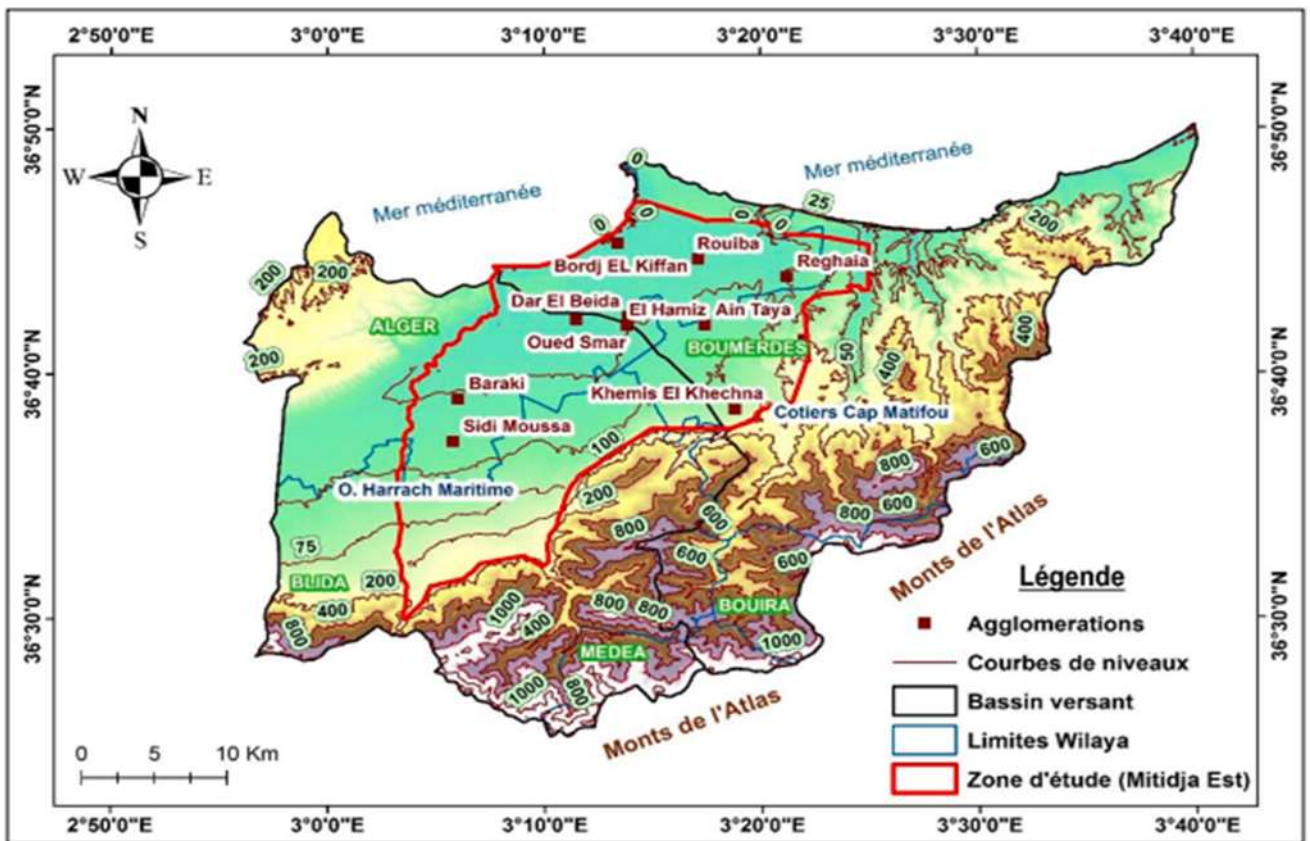


Figure 2 : Carte topographique de la Mitidja-est

#### 4. Caractéristiques morphométriques des bassins versants

La zone d'étude se trouve entre les sous bassins versants Oued El-Harrach Maritime codé 0214 et Côtier Cap Matifou codé 0206. (figure 3).

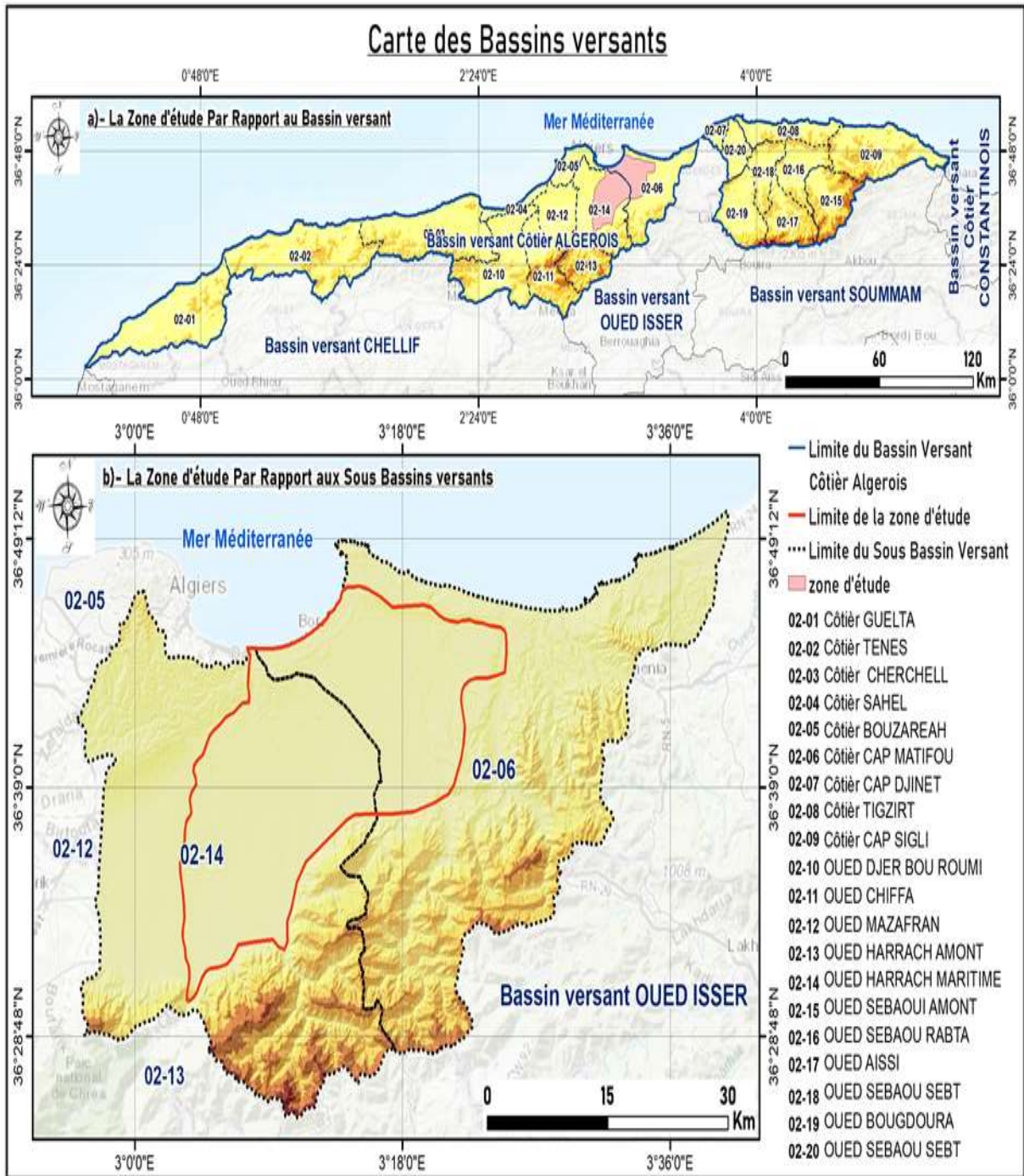


Figure 3: Carte des bassins versants et les sous bassins versants de la Mitidja

Le tableau suivant montre les caractéristiques morphométriques des bassins versant

Tableau 1 : Caractéristiques des sous bassins versants

Caractéristiques	Oued El-Harrach Maritime	Côtier Cap Matifou
A(Km <sup>2</sup> )	846.788	785.336
P (Km)	151.38	190.59
Kc	1,457	1.904
Forme	Allongé	Allongé
L (Km)	62.04	86.18
I (Km)	13.65	9.11
Altitude max (m)	1258	1121
Altitude min (m)	0	0
Altitude Moyenne (m)	240	227
Pente moyenne (%)	15.3	17.5

### 5. Caractéristiques des sous bassins versants

Le sous bassin versant de l'Oued El Harrach se situe à l'Ouest de la Mitidja Orientale, de 845,79Km<sup>2</sup> et représente 6,87 % de la superficie totale du bassin de la Mitidja. Il se caractérise par une forme allongée (Kc = 1,457) qui indique un temps de concentration relativement important. Ce sous bassin versant est drainé par l'Oued El Harrach d'une longueur de 45,2 km. Par ailleurs, les altitudes maximale et minimale sont respectivement 1258 et 0 m, et l'altitude moyenne de 240 m. La pente moyenne est modérée dont elle est de l'ordre de 15,3 %.

Le sous bassin versant côtiers Cap Matifou constitue la partie est de la zone d'étude. Il représente 785,34 km<sup>2</sup> de la superficie totale du bassin Côtier Algérois. Sa forme est allongée vue que Kc = 1,904, drainé par Oued El Hamiz qui a une longueur de 49,8 km. L'altitude du sous bassin varie entre 1121 et 0 m dont la moyenne est de 227 m. Sa pente moyenne est modérée, elle est de l'ordre de 17,5 %.

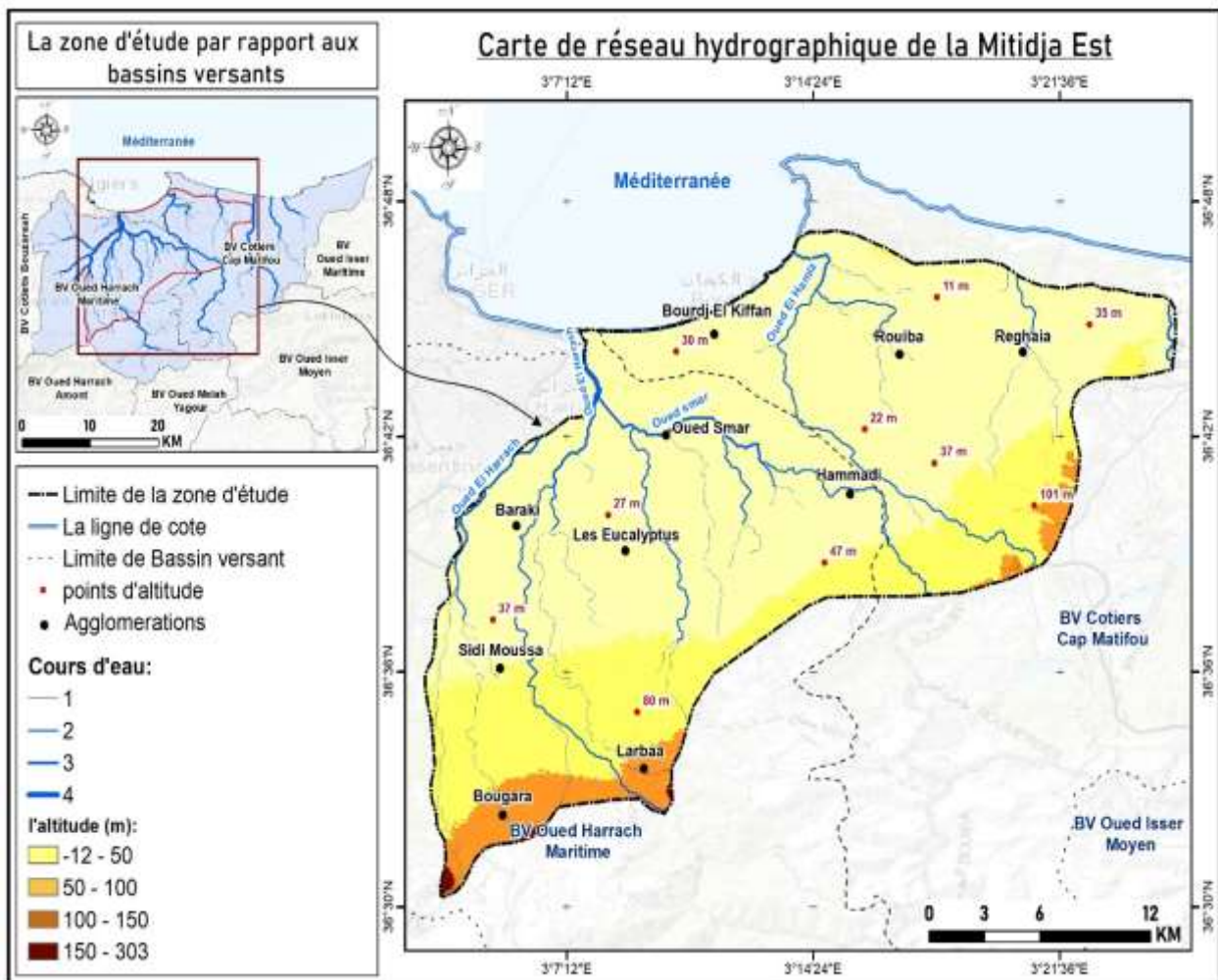
## 6. Hydrographie

La plaine de la Mitidja-est fait partie des deux sous bassin principaux, qui sont :

- Le bassin de l'Oued ElHarrach d'une superficie de 1236,28 km<sup>2</sup> avec un périmètre de 188,17 km.
- Le bassin de l'Oued El Hamiz. Il occupe une superficie de 283,21 km<sup>2</sup> et se délimite par un périmètre est de 102,11 km, situé à l'Est de la plaine.
- Le bassin de Reghaïa est intégré dans le bassin du Hamiz vue sa faible superficie.

Le réseau hydrographique de la plaine de la Mitidja-est est principalement représenté par trois oueds importants (figure 4) :

Oued El-Harrach (45,2 km) et ses trois affluents (Oued Djemaa, Oued Smar et Oued Boutrik), Oued El-Hamiz (49,8 km) et Oued Réghaïa (7,4 km). Ces deniers traversent la plaine selon des directions méridiennes, avec plans d'eau naturels comme le lac de Reghaïa et



le Barrage d'El Hamiz.

Figure 4 : Carte du réseau hydrographique de la Mitidja-est

## 7. Ressources en eau de la Mitidja-est

Les ressources en eau superficielles exploitées actuellement dans la Mitidja-est sont constituées par ces barrages :

- Barrage d'El Hamiz ;
- Barrage de Keddara ;
- La digue de Reghaïa.

Les principaux champs de captage des eaux souterraines de la Mitidja-est sont :

Berraki, HaouchFlit, Hamiz, El-Harrach, Rouiba, Reghaïa, Boueah, Ouled Adda, Haouch Bel Abess, Dar El Beida, Chebcheb, Eucaliptus.

## 8. Besoins en eau de la zone d'étude

### 8.1. Irrigation

D'après le rapport établi par l'agence nationale de gestion intégrée des ressources en eau (AGIRE) en 2017, les besoins annuels en eau pour l'agriculture ont été de 1,3 hm<sup>3</sup>/an en 2017. D'ici 2035, ils seront de 1,5 hm<sup>3</sup>/an, si on estime que la superficie utilisée en agriculture augmente de 1 % chaque année. Dans les estimations, il n'a pas été tenu compte des besoins en eau pour l'élevage ni la part du volume d'eau provenant du Barrage d'El Hamiz.

Tableau 2: Besoins en eau pour l'agriculture irriguée 2017 (AGIRE, 2021)

	Maraichage	Arboriculture	Céréales	Total
Superficie irriguée(ha)	106	147	207	460
Besoins en eau(m <sup>3</sup> /an/ha)	4000	6000	/	/

### 8.2. Alimentation en eau potable (AEP)

L'alimentation en eau potable de la zone d'étude est assurée par les forages captant l'aquifère de la Mitidja.

Le nombre de la population de cette région devrait passer de 628 516 habitants en 2018 à 712 424 habitants en 2030, les besoins d'alimentation en eau potable passeront de 34 millions m<sup>3</sup>/an en 2018 à 40 millions m<sup>3</sup>/an en 2030, (AGIRE, 2021).

### 8.3. Industrie

La région Est de la Mitidja connaît une très forte activité industrielle dont les effluents sont déversés directement dans les oueds sans traitement préalable, selon la même source, soulignant que cette région est "la plus affectée" par la pollution où les concentrations des hydrocarbures est normale (Drouiche.A, 2012).

## 9. Assainissement

Le régime d'assainissement des eaux usées de la zone d'étude est collectif et unitaire. Il semble de prime abord que toutes les habitations localisées dans cette zone sont raccordées au réseau d'assainissement. Le volume d'eau usées rejetée sur la Mitidja-est s'élève à 6500 m<sup>3</sup>/j.

Ce chiffre représente 2,4 millions de m<sup>3</sup>/an. Les eaux usées collectées dans la zone d'étude par les réseaux d'assainissement sont acheminées vers la station d'épuration (STEP) de Réghaïa.

D'après l'agence nationale de gestion intégrée des ressources en eau, les rejets urbains drainés par le réseau d'assainissement public sont déversés sans traitements dans des oueds parcourant la plaine.

La station d'épuration de Réghaïa est l'une des stations gérées par la Société des eaux et de l'assainissement d'Alger (SEAAL) au niveau de son périmètre d'intervention, à savoir les wilayas d'Alger et de Tipasa. La STEP couvre sept communes d'Alger-est (dont celles de Rouiba, Réghaïa, Bordj El Bahri, Aïn Taya). Sa capacité nominale est de 80 000 m<sup>3</sup> par jour, soit 400 000 équivalent-habitant.

Les eaux usées viennent via un inextricable réseau de canalisations souterraines. Une fois arrivés à la station, les effluents passent par plusieurs étapes de traitement. Pour commencer, les eaux réceptionnées subissent un traitement dit « primaire ». Elles passent d'abord par un « dégrilleur » pour enlever tous les déchets solides. Elles transitent ensuite par un dessableur, un déshuileur et un dégraisseur pour supprimer les sables, les huiles et les graisses. On entre ensuite dans la partie fine du process : le traitement biologique. Objectif : débarrasser les eaux usées de tout ce qui est composants chimiques et organiques. Une séquence d'autant plus délicate que la station a hérité des rejets de la zone industrielle de Rouiba-Réghaïa.

Il y a pratiquement 60 % de rejets urbains et 40 % de rejets industriels. Le traitement biologique est basé sur le procédé de la boue activée. Ce sont des boues biologiques pleines de micro-organismes qui se nourrissent de polluants. Les eaux sont alors transférées vers des « bassins d'aération » pour un traitement secondaire. A ce stade, des bactéries se chargent d'éliminer la pollution carbonée, azotée ainsi que les phosphores. Les eaux passent ensuite dans un « clarificateur » pour séparer les eaux traitées des boues résiduelles. Ultime précaution : les eaux subissent un traitement tertiaire, avec une filtration sur sable. Au terme de cette dernière opération, elles peuvent être tranquillement rejetées dans le milieu naturel, voire être réutilisées au niveau de la STEP.

## **10. Couvert végétal**

Il joue un rôle important dans le comportement hydrologique de la plaine de la Mitidja. Il a une influence mécanique sur le ruissellement superficiel, il conditionne l'évapotranspiration et par la suite influe sur le bilan hydrologique. La plaine de la Mitidja-est est une région agricole avec une diversité, en raison de sa topographie et la fertilité de ses sols, (figure 6).

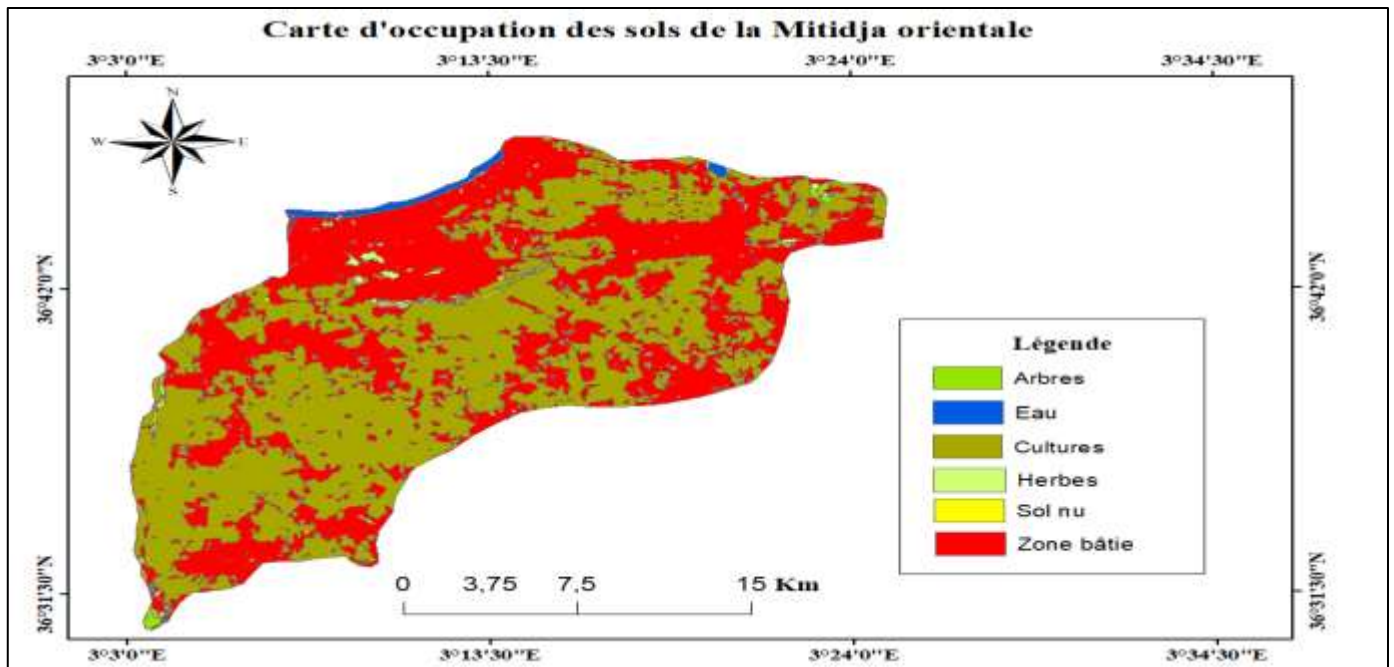


Figure 6: Carte d'occupation du sol de la Mitidja-est

## 11. La pédologie

D'après les travaux de Benchetrit Maurice 1956, il existe (05) classes de sol (figure 7).

- Sols alluviaux : ce sont des sols constitués d'alluvions et de sédiments déposés par les eaux.
- Sols insaturés : ce sont des sols qui résultent des éléments argileux imperméables.
- Sols dunaires : ce sont des sols riches en sable.
- Sols calcaires : ce sont des sols influencés par la présence abondante de carbonates de calcium.
- Sols de marais : un sol hydromorphe à argile peu profond occupe une grande surface correspondant à l'ancien marais de l'Oued Adda au Sud d'El Harrach. L'hydromorphie est induite par une nappe phréatique à faible oscillation.

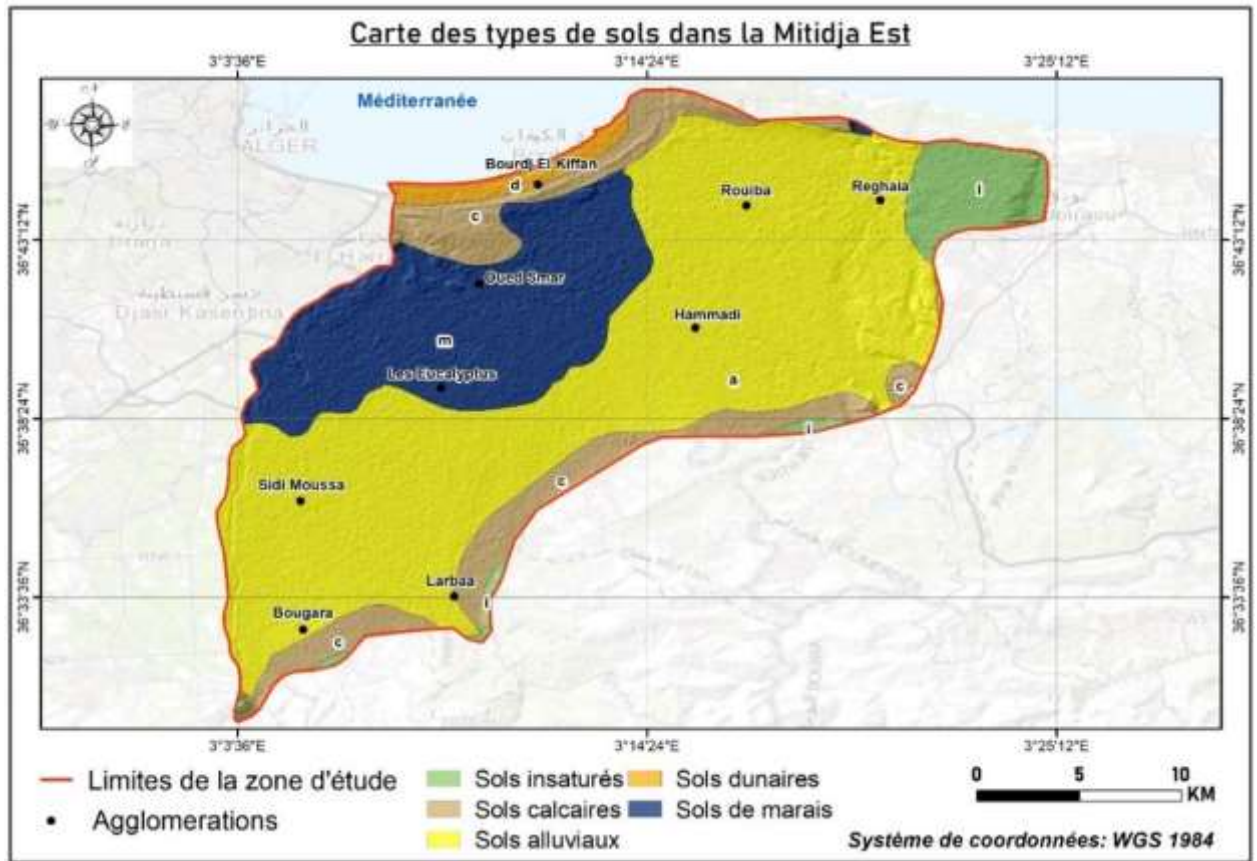


Figure 7 : Carte pédologique de la Mitidja-Est

### 11.Aspect socio-économique

L'eau est considérée comme un moteur du cycle économique et de développement du pays. Suite à une croissance continue de la population et des centres urbains, la nappe de la Mitidja-est est sujette à une forte sollicitation pour les besoins en eau pour différentes utilisation (AEP, agriculture et industrie). Cette demande, de plus en plus accentuée, a provoqué une baisse critique du niveau des eaux souterraines dans la Mitidja particulièrement à Larbaa, les Eucalyptus et El Hamiz, durant les dernières décennies (Drouiche A.,2012).

Depuis la période coloniale à ce jour, la Mitidja-est est connue par ses activités agricoles, sous un climat méditerranéen, un relief relativement plat et un sol relativement homogène. La Mitidja-est possède une plaine fertile très convenable au développement de l'agriculture, on trouve les cultures céréalières (orge et blé), les cultures maraichères, les agrumes, et l'arboriculture, auxquelles s'ajoute l'élevage ovin, bovin, caprin, la cuniculture, l'apiculture, etc. Ces activités ont favorisé l'augmentation de la demande en eau dans la région.

Quant à l'industrie, la Mitidja orientale dispose d'un tissu industriel relativement bien développé sous forme de zones d'activités dont les plus importantes se localisent à Rouiba, Réghaïa, dar El Beida, Oued Smar et El Harrach. Les branches rencontrées sont diversifiées, on trouve l'industrie agroalimentaire, le textile, l'industrie chimique et pharmaceutique, la

transformation des métaux et plastique, l'industrie de papier, etc. Ce secteur, de plus en plus actif, assure sa progression par les nouvelles technologies adoptées.

La démographie dans la plaine de Mitidja-est, connaît un accroissement graduel et continu. Cette population se concentre dans les grandes villes notamment à Reghaïa, Rouiba, El Hamiz, Dar El Beida, Bab Ezzouar, El Harrach, Baraki et les Eucalyptus.

Vers la fin du dernier siècle le niveau des eaux souterraines dans la plaine de la Mitidja-est a considérablement baissé suite à un pompage excessif. A partir des années 2000, l'état s'est engagé dans une nouvelle stratégie pour réduire la surexploitation en multipliant les ressources en eaux afin de satisfaire les besoins croissant des citoyens.

## 12. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les caractéristiques générales de notre zone d'étude. La Mitidja-est, fait partie du bassin versant Côtier Algérois codé (02) dans le répertoire de l'Agence Nationale des ressources Hydriques.

La Mitidja-est est Limitée par le Sahel et la mer méditerranée au Nord, l'Atlas blidéen au Sud, Oued Réghaïa à l'Est et El Harrach à l'Ouest.

La plaine orientale de la Mitidja est traversée par trois oueds principaux : oued El Hamiz, oued Réghaïa et oued El Harrach et ses affluents.

La zone d'étude est partagée entre trois sous bassins ; le sous bassin d'Oued El-Harrach, sous bassin d'Oued el Hamiz et le sous bassin de Réghaïa qui est intégré dans le bassin de Hamiz.

Les besoins en eau de la zone d'étude pour l'irrigation est estimé de 1,5 hm<sup>3</sup>/an ; d'ici 2035 et les besoins d'alimentation en eau potable passeront de 34 millions m<sup>3</sup>/an en 2018 à 40 millions m<sup>3</sup>/an en 2030, (AGIRE, 2021).

La Mitidja-est dispose d'un tissu industriel relativement bien développé, et se caractérise par une plaine fertile très convenable au développement de l'agriculture.

La zone d'étude est caractérisée par 5 classes de sol : Sols alluviaux, Sols insaturés, Sols dunaires, sols calcaires et les sols de marais.

## *Chapitre 2*

# *Géologie et hydrogéologie*

## CHAPITRE 2 :GÉOLOGIE ET HYDROGÉOLOGIE

### 1. Introduction

Dans ce chapitre nous allons définir le contexte géologique, ensuite nous analyserons la stratigraphie et la lithologie, l'évolution paléogéographique et tectonique de la Mitidja, et le contexte hydrogéologique de la zone d'étude.

### 2. Contexte géologique

#### 2.1. Géologie générale

L'Algérie présente quatre ensembles structuraux du Nord au Sud, ce sont :

- Le domaine tellien ;
- Les hauts plateaux ;
- L'Atlas saharien ;
- La plateforme saharienne.

Notre région d'étude appartient au domaine tellien et se situe dans les limites de la chaîne orogénique d'âge alpin.

La plaine de la Mitidja est une zone de subsidence continue. Cette dernière a donné naissance à une sédimentation active dont les éléments proviennent des reliefs de l'Atlas Blidéen.

D'après les études réalisées par Glangeaud et Aymé (1952), la Mitidja est un bassin intra-montagneux formé par effondrement rempli de dépôts d'âge plio-quadernaire (figure 8). La formation de la Mitidja est constituée essentiellement de matériaux grossiers : des graviers, des galets avec des limons ou des argiles en quantités variables. Sa partie supérieure est composée par endroits de limons et d'argiles recouvrant les dépôts plus grossiers. Cette formation est présente sur toute l'étendue de la plaine à l'exception de la partie située à l'extrême Ouest, où ces matériaux passent en dessous des marnes et argiles de la basse plaine du Mazafran. La formation de la Mitidja s'est constituée dans une dépression fermée, complètement isolée de la mer durant le Pléistocène (Rivoirard, 1952). La formation de la Mitidja atteint 200 mètres à proximité de la cluse du Mazafran, et à l'Est (Rouiba) il y a une réduction progressive des alluvions de 70 à 30 m.

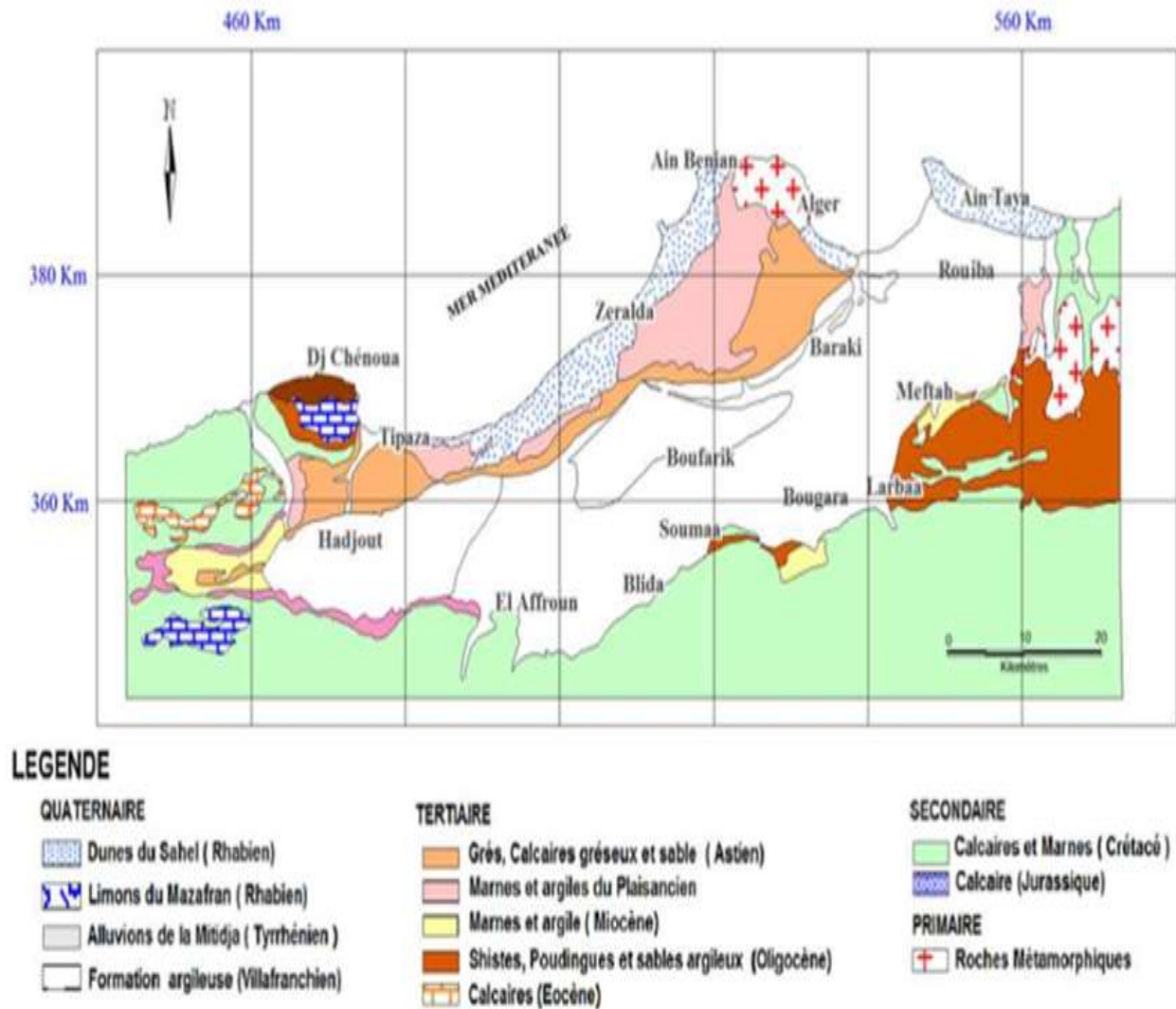


Figure 8 : Carte géologique de la plaine de la Mitidja (Benie et Patners, 1983)

## 2.2. Géologie locale

La Mitidja-estappartient au bassin de la Mitidja qui est considéré comme un bassin sédimentaire post-nappe constitué de terrains plio-quaternaires, c'est un synclinal néogène à fond dissymétrique reposant sur un substratum marneux plaisancien, par endroits d'âge miocène ou quelquefois crétacé (figure 9).

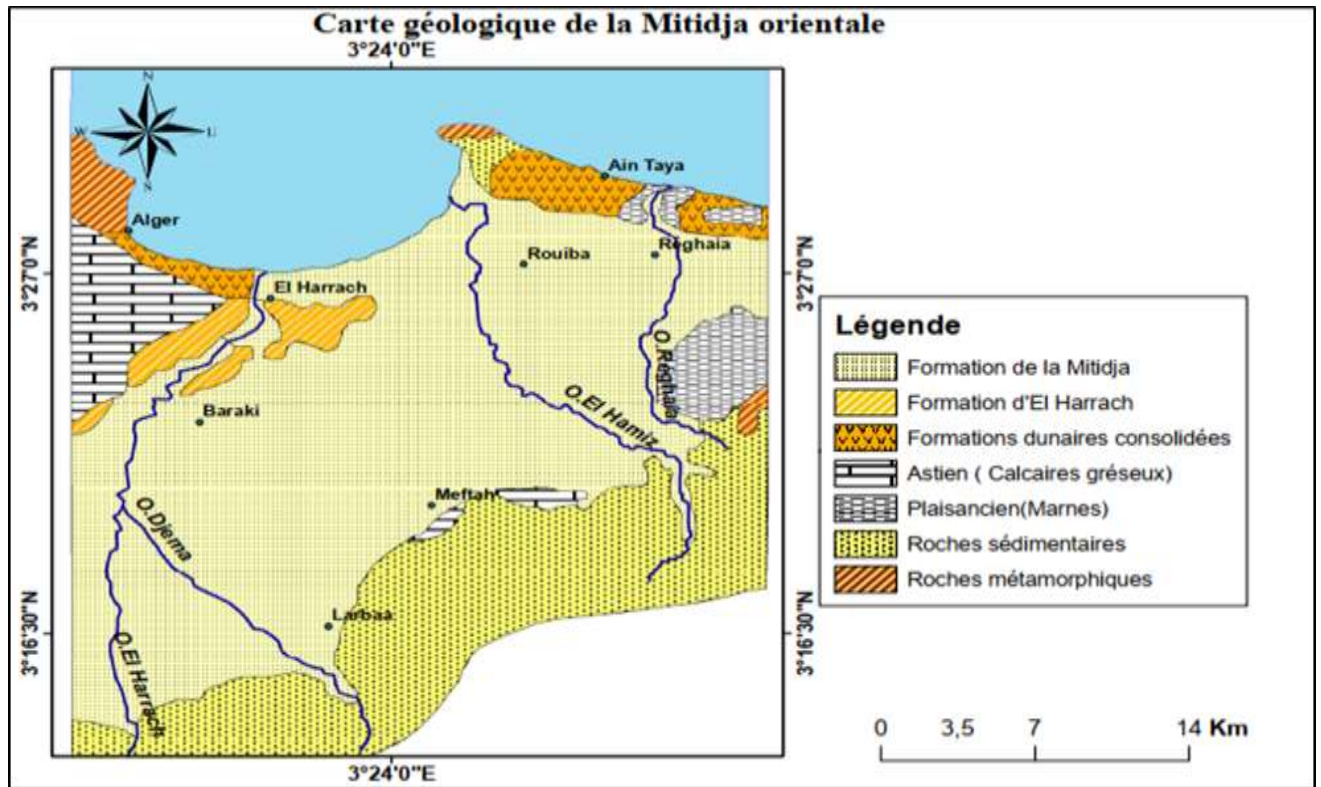


Figure 9 : Carte géologique de la Mitidja-est digitalisée à partir de la carte de MacDonald & Partners (1983)

### 2.2.1. Stratigraphie et litho stratigraphie

#### 2.2.1.1. Miocène et formations plus anciennes

Le Miocène est constitué de marnes à intercalations de lentilles de calcaires ou de grès centimétriques (40 à 50 cm) d'âge vindobonien ou burdigalien. Il affleure essentiellement le long de l'Atlas, entre Meftah et Khemis El Khechna, et au Nord de la ville de Rouiba. Le socle cristallophyllien représenté par des schistes, micaschistes et gneiss affleure dans le massif d'Alger en particulier à Cap Matifou et à l'Est de Khemis El Khechna.

Les formations anciennes se présentent comme suit :

- Roches éruptives du Tertiaire : Ce sont associées aux roches volcaniques, calcaires, conglomérats affleurant sur le périphérie Sud-Ouest de la plaine de la Mitidja.
- Roches métamorphiques : Ce sont constituées essentiellement de gneiss, des schistes et mica schistes, elles apparaissent au Nord de la plaine (Cap Matifou).

#### 2.2.1.2. Pliocène

##### 2.2.1.2.1. Le Plaisancien

Il est formé principalement de marnes bleues et localement de bancs de grès faiblement glauconieux. Son épaisseur, importante sous le Sahel et le Nord de la Mitidja (environ 1000m) diminue progressivement vers le Sud où il ne subsisterait qu'un linéament entre Fondouk et Oued El Alleug (L. Glangeaud, Aymé, 1952).

#### 2.2.1.2.2. L'Astien

Cette formation se compose de sédiments marins de hauts fonds, qui débute par une couche de glauconie et se poursuit par de la molasse récifale ou subrécifale. Il se présente sous différents types de faciès :

- Le faciès marno-sableux : du point de vue puissance et étendue, c'est le faciès dominant. Les terrains de ce faciès sont en profondeur gris cendré ; en surface, ils sont jaunes.
- Le faciès gréso-calcaire : il est constitué le plus souvent de calcaires gréseux et granuleux parfois glauconieux, on peut rencontrer des faciès de calcaires à lumachelles (huîtres, échinodermes et gastéropodes). Également, vers la base, on a des intercalations de marnes brunes ou d'argiles jaunes.
- Le faciès molassique : c'est un faciès récifal ou sub-récifal. Il est constitué par un calcaire spongieux, grumeleux, tendre ou encore par des dalles de calcaires pouvant avoir un mètre d'épaisseur. Ce faciès est très localisé dans la banlieue d'Alger. La molasse repose sur un niveau de glauconie dont l'épaisseur peut atteindre 4 m et se réduire ailleurs à quelques centimètres.
- Le faciès gréseux et sableux : C'est le sommet de l'Astien, très détritique, continental en bordure de la Mitidja, de 30 m d'épaisseur.

#### 2.2.1.3. Pléistocène

##### 2.2.1.3.1. Villafranchien (Calabriens)

Connu aussi par « la formation d'El Harrach ». Cette formation est constituée par une séquence relativement uniforme d'argiles plastiques jaunes ou grises localement, légèrement caillouteuses, contenant un petit nombre de lentilles de graviers de 2 à 6 m d'épaisseur. Quelquefois, la formation d'El Harrach, en raison de la présence de graviers, a été confondue avec les formations alluviales sus-jacentes qui sont essentiellement caillouteuses. La rareté des forages ayant atteint cette formation fait qu'on a un manque de détails descriptifs. Les argiles sont totalement absentes autour de Rouiba. L'épaisseur moyenne de la formation au centre du bassin est estimée à 100 m et diminue vers le Sud.

##### 2.2.1.3.2. Soltanien – Tensiftien (Tyrrhénien)

Connue aussi par « la formation de la Mitidja ». Cette formation est composée principalement d'alluvions grossières (graviers, galets, limons et argiles en quantités variables). Les alluvions de la formation de la Mitidja sont épaisses et sont présentes dans le centre du bassin. Elle est puissante au centre (100 à 200 m) et devient de plus en plus faible en allant vers les bordures du bassin et la baie d'Alger.

##### 2.2.1.3.3. Rharbien (Flandrien)

Il est représenté par le « dépôts récents ». Ce sont des sables meubles éoliens ou des sables dunaires épais de 20 à 40 m, des graviers et des couches fossilifères consolidées ou cimentées. Le piémont de l'Atlas est recouvert de débris anguleux cimentés par une matrice argileuse provenant d'un cône de déjection et d'une solifluxion de matériaux du massif blidéen. Ces

débris ne représentent qu'une faible partie du remplissage du bassin de la Mitidja. Ils regroupent les dépôts de sables dunaires, les dépôts du piémont de l'Atlas Blidéen ainsi que les sables et les graviers provenant des lits des oueds. La baie d'Alger et la région de Réghaïa sont bordées par des dépôts marins et des dunes.

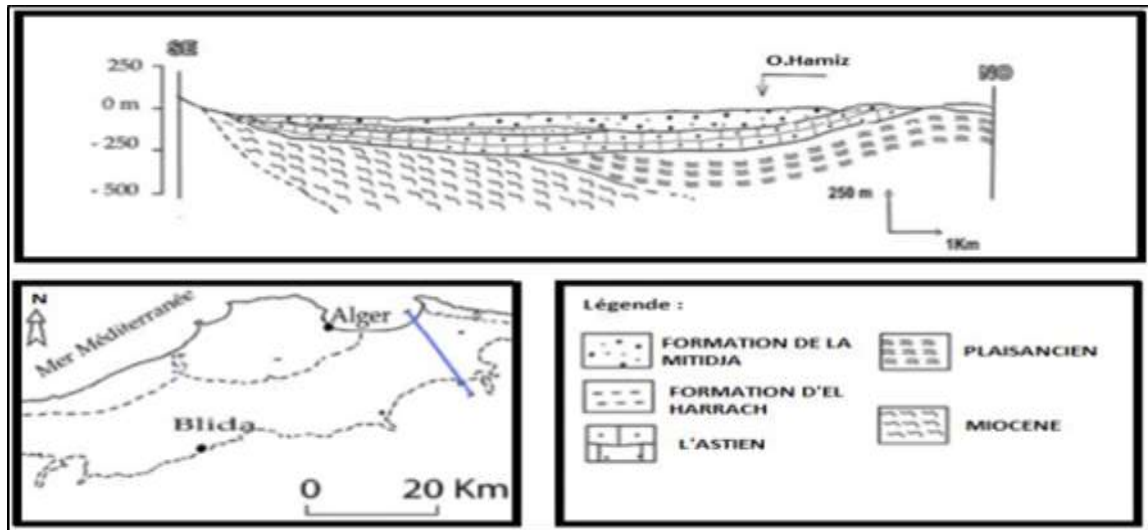


Figure 10 : Coupes géologiques de la Mitidja-est (Binnie et Coll, 1983).

### 2.2.2. Evolution paléogéographique et tectonique

L'histoire géologique de la zone d'étude remonte à l'Éocène, cependant son individualisation en unité structurale s'esquisse dès la fin de l'Astien.

A partir de l'Astien le phénomène de plissement et d'érosion commencent à s'accroître. Ils poursuivent jusqu'à la fin du Pléistocène en modifiant la distribution spatio-temporelle des sédiments précédemment déposés. Cette évolution est schématisée par la (figure 11).

**A l'Éocène :** jusqu'à la fin de l'Oligocène, les formations anciennes ont été structurées avec les formations d'échelles et de plis complexes. Vers la fin de la phase priabonnienne, il y a un soulèvement de l'Atlas qui connaît dès lors une évolution continentale.

**Au Miocène :** au Burdigalien, la mer occupe toute la Mitidja, le processus de sédimentation et de plissement s'accroît et le bassin commence à s'effondrer. Cette phase de plissement se poursuit au Cartenien par des formations cassantes. A la période du Vindobonien, la mer se retire de la totalité de la Mitidja. Cette régression généralisée est accompagnée par une phase tectonique en distension favorisant l'émission de roche éruptives.

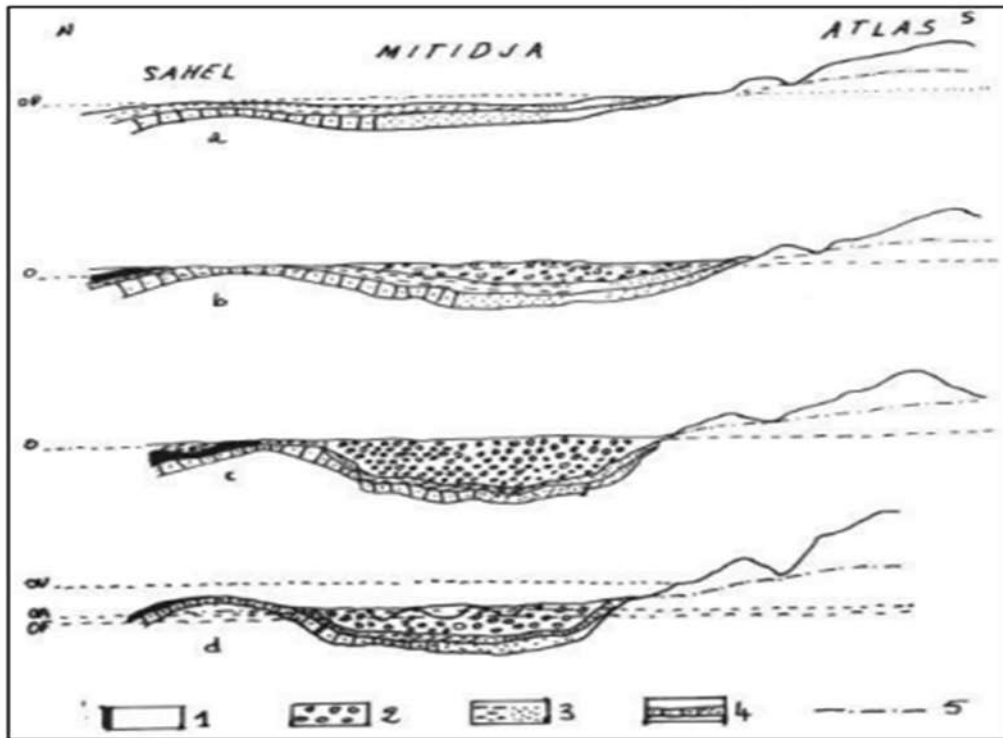
**Au Pliocène :** le cycle débute par une transgression marine traduisant une cimentation marneuse et se termine par une régression avec émergence.

**Au Plaisancien :** il correspond à une période de calme orogénique avec une sédimentation en mer profonde, à cette époque la mer avance vers le Sud sans atteindre le pied de l'Atlas qui est en surrection continue.

Cette transgression traduit une sédimentation marneuse opposée sur la formation du Miocène. Cet épisode porte sur une sédimentation détritico ; grès, calcaire, sable, sable glauconique de faible profondeur qui marque le début de l'Astien.

**A la fin de l'Astien** : un plissement surélève l'Atlas Blidéen, le synclinale s'enfonce tout en provoquant l'apparition du bombement anticlinal du Sahel.

L'Atlas est soumis à une érosion dont les dépôts viennent se déposer ; c'est le début du



1 : Alluvions récentes (épaisseur exagérée).  
 2 : Marnes d'El-Harrach et alluvions villafranchiennes.  
 3 : Grès et Boudingues de la fin d'Astien.  
 4 : Mollasses et grès de l'Astien.  
 5 : Profil supposé des oueds atlasiques aux différents stades de leur évolution  
 Les tirets correspondent au niveau de la mer (côtes zéro) aux différents stades de l'évolution de la Mitidja.  
 OP : Mer du Pliocène inférieur.  
 OV : Fin du remblaiement Villafranchien.  
 OF : Fin du creusement préflandrien.  
 OA : Niveau actuel.  
 Le figuré noir correspond aux dépôts marins du Quaternaire (calabrien principalement)  
 Villafranchien.

Figure 11 : Série de coupes géologiques montrant l'évolution de Sahel et la Mitidja pendant le Pliocène et le Quaternaire (Glangeaud et Aymé, 1952)

**Au Quaternaire** : pendant le Villafranchien, le bassin se remplit de marnes et de cailloutis et s'approfondit. A ce mouvement d'enfoncement s'ajoutent des compressions latérales de relief et subsidence. Puis il y a arrêt de ces compressions et à la période de remblaiement succède une période de déblaiement au cours de laquelle le Sahel est dégagé.

Lors de la régression post-tyrrhénienne, le déblaiement consécutif à la baisse du niveau marin est particulièrement important, notamment les cours d'eau parcourant la plaine alluviale. Les Oueds alors s'incruster dans le Sahel et y forment des cluses, la transgression flandrienne provoque le remblaiement des cluses des oueds.

Le tableau suivant (tableau 4) récapitule les unités lithostratigraphiques rencontrées dans le bassin de la Mitidja

Tableau 3: Unités lithostratigraphiques du bassin de la Mitidja (MacDonald & Partners Limited, 1992)

		Série / Etage	Formation	Lithologie	Epaisseur (m)	Observation
Quaternaire		Récent	Alluvions des oueds	Gravier, sable	< 10 m	-
	Pléistocène	Soltanien Tensiftien	Mitidja	Gravier et sable ± argile	100 à 200 m	Nappe
		Amirien Saltinien	-	-	-	Période d'érosion intense ; enlèvement jusqu'à 300 m de sédiments villafranchiens à l'Ouest. Formation de l'Astien est exposée et érodée à l'Est.
		Villafranchien	El Harrach	Argile ± lits minces de gravier	0 à 200 m	Aquitard
Tertiaire		Pliocène sup	Astien	Grès ± calcaire et sable	100 à 200 m	Nappe : absente, c'est dû à une non-sédimentation dans le secteur de Blida
		Pliocène inf.	Plaisancien	Argile bleue, marne	> 200 m	-
		Miocène sup	-	Calcaire, marne	-	-

### 3. Contexte hydrogéologique

D'après les études effectuées par Géohydraulique (1968 à 1972) et Binnie & Atkins (1980 à 1983). Sur la grande partie de la plaine ; les aquifères de l'Astien et celui du Quaternaire sont séparés par un complexe argilo-marneux (formation d'El-Harrach) d'épaisseur très variable suivant les endroits. L'aquifère quaternaire développé dans le centre du bassin est constitué d'alluvions grossières. L'épaisseur varie de 100 m à 200 m au centre du bassin, pour décroître vers le Sud et la Baie d'Alger figure 12).

#### 3.1. L'aquifère de l'Astien

Cet aquifère est formé d'un terrain argilo-gréseux-calcaire et s'étend sur toute la plaine. Son épaisseur varie de 100 à 130 m et est enfouie à 250 ou 300 m sous terre au centre de la plaine. Il affleure dans les collines du Sahel et par endroits dans les contreforts de l'Atlas (région de Meftah). Cet aquifère confiné se situe entre les argiles de Plaisance et du Miocène et l'argile jaune villafranchienne (Formation d'El Harrach) où la première forme la base imperméable tandis que la seconde forme le toit semi-séparé. la région de Rouiba où les alluvions du Quaternaire reposent directement sur Astien et créent par la suite un réservoir unique. Astien est alimentée principalement par l'infiltration des eaux pluviales dans les zones exposées (le Sahel et les contreforts de l'Atlas) et le drainage des limons de la Mitidja à travers les argiles semi-perméables d'El Harrach. L'écoulement progressif de la nappe vers les vasières à travers les terres rocheuses d'El Harrach forme un exutoire de ce réservoir. D'un

point de vue hydrodynamique, la nappe d'Astien est peu connue, ce qui s'explique par le fait qu'elle est rarement forée, mais on sait qu'elle est sous la pression des argiles jaunes d'El Harrach lorsqu'elles existaient (en contact direct avec les alluvions de la Mitidja dans la plaine orientale). Selon Bennie & Partners, 1983 [03] et Sir MacDonald, 1992, le coefficient de transmissivité estimé varie de  $10^{-2}$  à  $2,3 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$  et de  $1,1 \cdot 10^{-3}$  et  $2,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  (Drouiche A., 2012).

### 3.2. L'aquifère quaternaire

Les formations de cet aquifère sont composées principalement de graviers et de galets alternant avec des limons et des argiles, couvrant toute l'étendue de la plaine. Les alluvions sont d'âge quaternaire (soltano-tensifien inférieur) et reposent sur les marnes jaunes d'El Harrach.

L'épaisseur moyenne de l'aquifère est d'environ 100 à 150 m sur une grande partie de la plaine. Elle diminue vers le Sud, en direction de l'Atlas blidéen, et atteint 40 m vers le Nord, au niveau de la baie d'Alger. Cet aquifère est libre sur toute son étendue sauf dans le bas Mazafran où il devient captif sous les limons d'âge rhabien. Sa transmissivité moyenne est de l'ordre de  $1,5$  à  $2 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$  et son coefficient d'emmagasinement varie de  $1,7$  à  $10 \cdot 10^{-3}$ , (Binnie et al., 1983). L'aquifère alluvial est très sollicité pour l'alimentation en eau potable

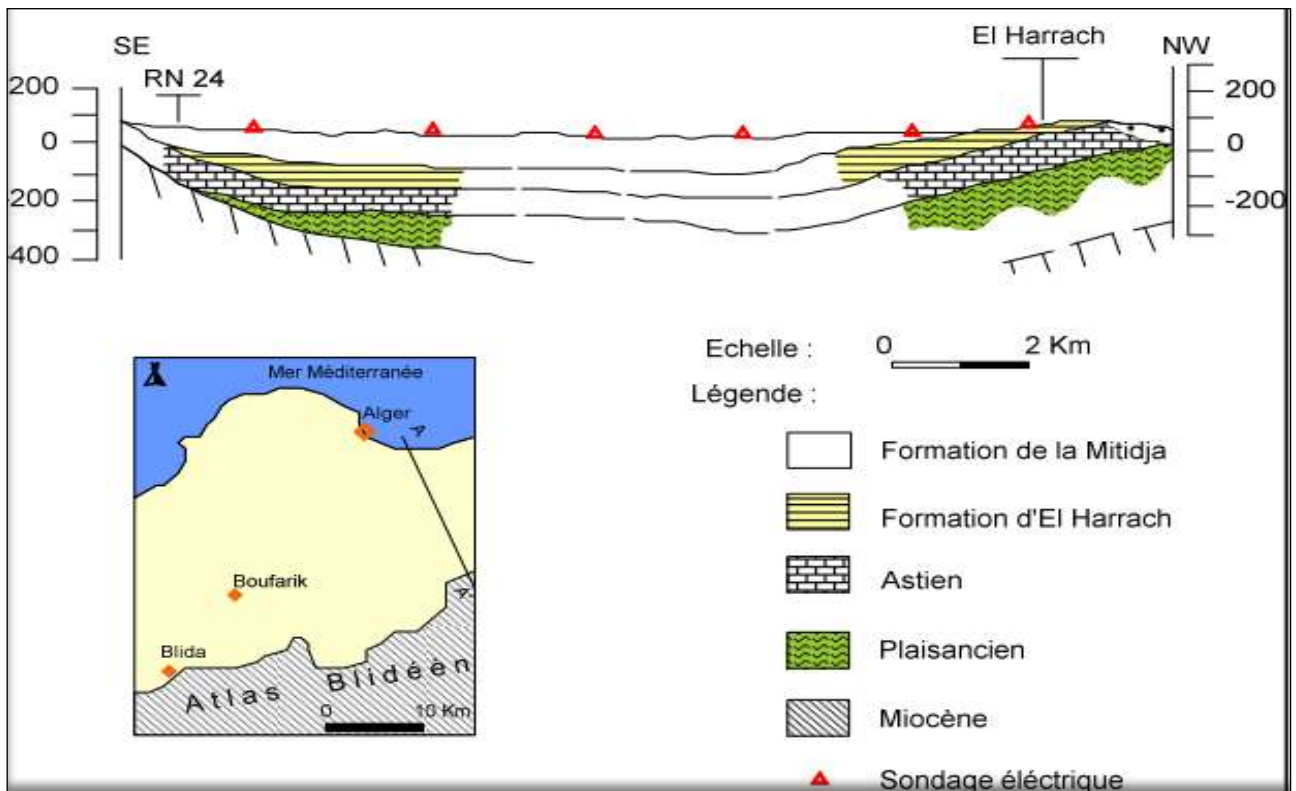


Figure 12: Coupe hydrogéologique interprétative à travers le système aquifère de la Mitidja, Bennie & Partners, 1983, in DrouichA., 2012

des villes d'Alger, de Boumerdès et de Blida.

### 3.3. Alimentation de aquifères de la Mitidja

#### 3.3.1. L'aquifère astien

Il s'alimente par :

- Par l'infiltration efficace des précipitations (la nappe libre) ;
- Par infiltration des eaux des nappes alluviales sus-jacentes par drainance à travers la formation d'El Harrach (sables et graviers) dans la zone de rouiba-hamiz.

#### 3.3.2. L'aquifère quaternaire

Il s'alimente essentiellement par :

- L'infiltration de précipitation sur toute l'étendue ;
- L'infiltration à travers des cours d'eau particulièrement dans leurs cours amont ;
- Les écoulements souterrains de la nappe de l'Astien vers la nappe alluviale à travers la formation d'El-Harrach lorsque les conditions favorable à ce transfert sont reunies.

### 3.4. Exutoires des acquières e la Mitidja

#### 3.4.1. L'Aquifère astien

Les exutoires de cet aquifère sont constitués par un flux de drainance ascendant vers la nappe alluviale à travers les passées caillouteuses de la formation d'El Harrach et les forages qui le captent.

#### 3.4.2. L'aquifère quaternaire

Les exutoires de cet aquifère sont plus important comparativement à l'aquifère astien ; ils sont assurés par :

- Le drainage des oueds dans leur cours d'eau aval,
- Les fuites souterraines vers la mer,
- Le pompage dans les puits et forages.

### 3.4. Piézométrie de la nappe alluviale de la Mitidja-est

La carte piézométrique de la figure 13 montre plusieurs sens d'écoulement. La nappe est caractérisée par quatre zones d'écoulement convergent (Bougara, Eucalyptus, Rouiba et Réghaia) représentées par des cônes de dépression. Ces dépressions souterraines sont principalement liées à l'effet de pompage dans les forages de la région. A l'Est du bassin, on observe des courbes isopièzes espacées par rapport à l'Ouest, ce qui indique une bonne perméabilité.

On remarque que le sens de l'écoulement s'inverse au Nord et indique une intrusion de l'eau de mer qui provoquera par la suite une salinisation des eaux souterraines de la Mitidja-est

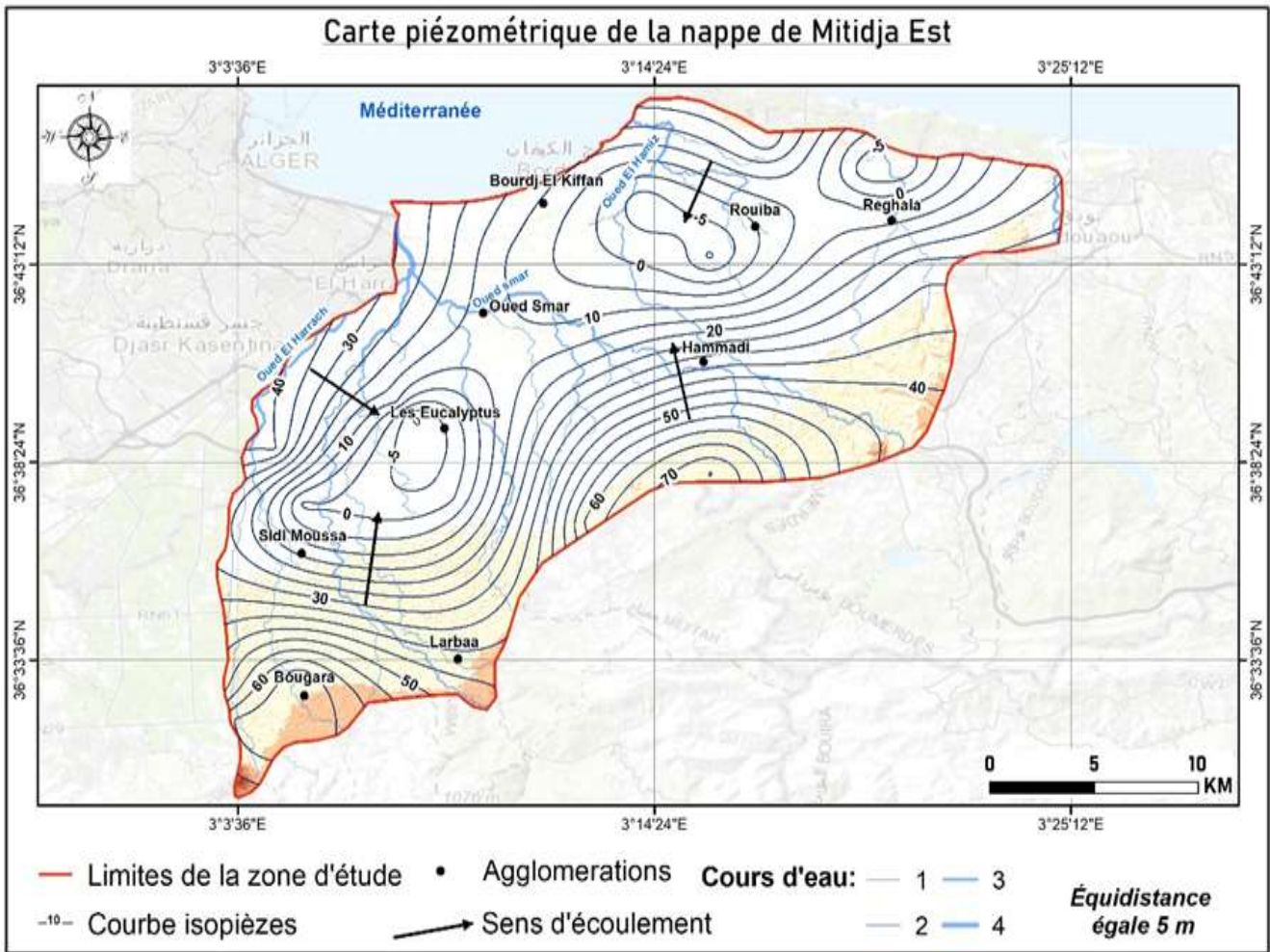


Figure 13: Carte piézométriques de la nappe plio-quaternaire de la Mitidja-Est (période des hautes eaux, 2018)

La carte piézométrique de la nappe de la Mitidja-est des périodes des basses eaux de l'année 2018 mettent en évidence le sens d'écoulement souterrain (figure 14).

On observe 4 cônes de dépressions qui résultent des champs de captage de ( Rouiba , Eucalyptus, Réghaia et Bougara).

Les courbes s'incurvent à l'Est et à l'Ouest où les eaux souterraines convergent vers les champs captants de Baraki, Réghia et El Hamiz.

Au Nord la situation s'aggrave et le niveau piézométrique baisse encore dont on observe une isopèze de - 10 m.

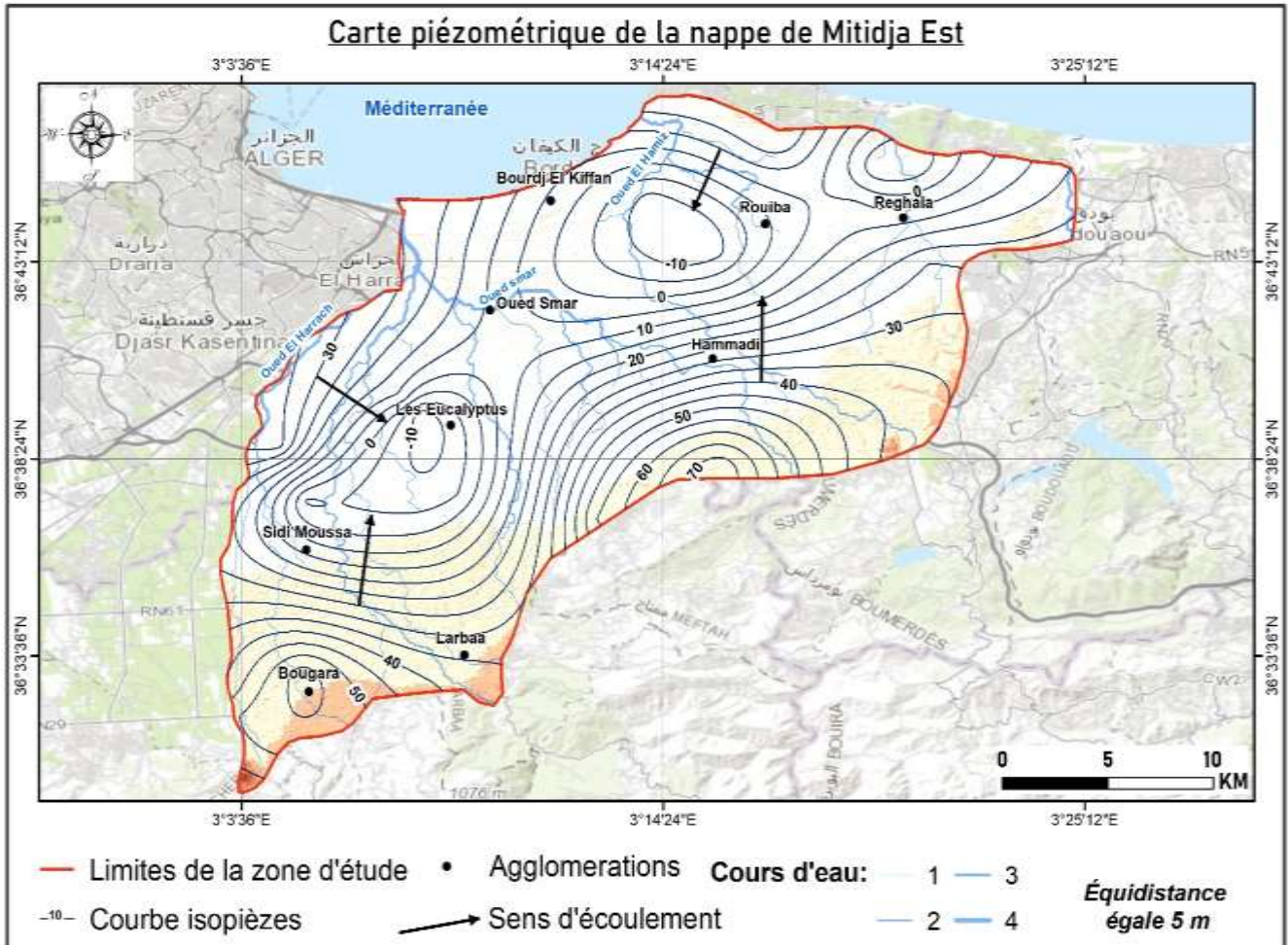


Figure 14: Carte piézométriques de la nappe de la Mitidja-est (Basses eaux, 2018)

#### 4. Conclusion

Le contexte géologique et hydrogéologique de la Mitidja orientale montre qu'elle était un bassin intra-montagneux formé par effondrement rempli de dépôts d'âge plio-quadernaire d'après les études effectuées par Aymé et Glangeaud en 1952.

Notre zone d'étude constitue trois niveaux importants qui sont du plus ancien vers le plus récent :

- Les grès de l'Astien qui reposent sur un substratum argileux-marneux du Plaisancien ;
- Le niveau semi-perméable constitué par les marnes d'El-Harrach ;
- La formation de la Mitidja qui est la couverture superficielle constitué par les alluvions grossières.

La Mitidja est formée de deux aquifères : l'aquifère de l'Astien et celui du Quaternaire séparés par la formation d'El-Harrach, et sont en contact direct dans la partie est de la plaine.

- L'aquifère de l'Astien (calcaire-gréseux) se trouve en charge sous la forme d'El-Harrach.

- L'aquifère de la Mitidja renferme un nappe d'eau libre. Sa transmissivité moyenne est de l'ordre de  $1,5$  à  $2 \cdot 10^{-2}$   $m^2/s$  et son coefficient d'emménagement varie de  $1,7$  à  $10 \cdot 10^{-3}$ , (Binnie et al., 1983).

*Chapitre 3*

*Hydroclimatologie*

## CHAPITRE 3 : HYDROCLIMATOLOGIE

### 1. Introduction

Un bassin versant est défini comme la totalité de la surface topographique drainée par un cours d'eau principal et ses affluents. Il est caractérisé par son exutoire, et ses paramètres physiques et climatiques qui le conditionnent. Ces conditions climatiques jouent un rôle capital dans le comportement hydrologique des cours d'eau (Roche, 1963). Une des principales caractéristiques du cycle hydrologique est l'état de mouvement de l'eau depuis la surface vers les aquifères. Cet échange se fait par infiltration efficace qui conditionne la qualité et de la nappe.

Dans la présente étude, nous allons essayer de déterminer l'infiltration efficace à travers l'établissement du bilan hydrologique au niveau de bassin versant de la Mitidja orientale. Pour atteindre cet objectif, nous avons adopté une série de mesures des paramètres hydroclimatiques qui ont été observés durant la période (1991-2011) dans 4 stations couvrant l'ensemble de la zone d'étude (tableau 4).

Tableau 4: Caractéristiques des stations climatiques dans la zone d'étude (source : ANRH)

station	Code	X (Km)	Y (Km)	Z (m)
Chiffa	021117	503,8	351,35	110
Douira	021407	522,25	374,9	170
Boufarik	021209	518,55	363,4	60
Hamiz	020602	558,55	367,4	130

### 2. Température

La température de l'air est l'un des facteurs qui régissent les conditions climatiques d'une région donnée.

#### 2.1. Température moyenne mensuelle

Les températures moyennes mensuelles mesurées dans la station de Hamiz sur une période de 20 ans (1991-2011) sont reportées dans le tableau suivant :

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc	Janvier	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août
T (°C)	23,6	20,1	15,4	12,5	11,13	11,7	13,3	15,05	18,3	22,25	25,2	26,11

Tableau 5: Températures moyennes mensuelles T (°C) de la station de Chiffa (ANRH)

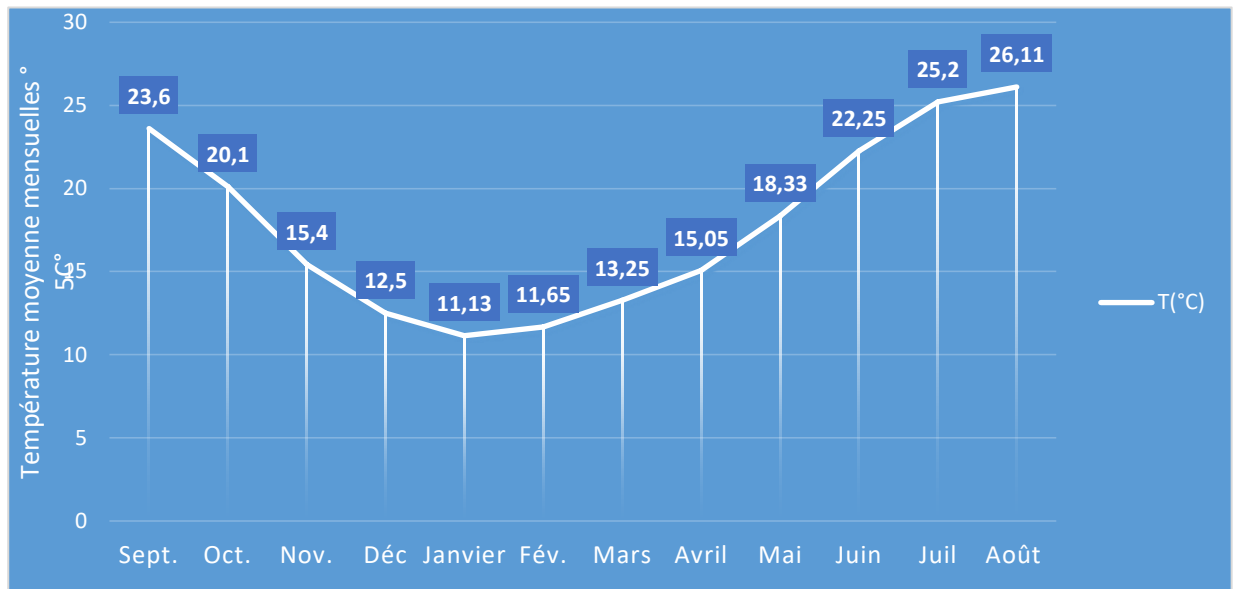


Figure 15: Températures moyennes mensuelles T (°C) à la station de Chiffa (1991-2011)

L'histogramme des températures moyennes mensuelles montre que, les faibles valeurs sont mesurées aux mois de décembre, janvier, février et mars où on remarque que le mois le plus froid est le mois de janvier, avec une température de l'ordre de 11,13 °C. Par contre, les fortes valeurs caractérisent les mois de juin, juillet et août où on remarque que le mois le plus chaud est le mois d'août, avec une température de l'ordre de 26,11 °C.

### 3. Etude des précipitations

Les précipitations de la région se trouvent sous l'influence des paramètres géographiques telles que l'altitude, la distance par rapport à la mer et l'exposition des versants.

#### 3.1. Précipitations moyennes mensuelles

Notre étude est basée sur les données pluviométriques mises à notre disposition par le service de l'ANRH de Blida

Nous avons calculé les moyennes mensuelles des précipitations mesurées sur une période de 20 ans (1991-2011).

Tableau 6: Précipitations moyennes mensuelles (mm) de la Mitidja-est(1991-2011)

Stations	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars.	Avril.	Mai.	Juin.	Juil.	Août.
<b>Chiffa</b>	31,69	50,1	94,58	87,11	84,9	78,87	53,67	58,63	54,26	3,99	0,9	6,94
<b>Douira</b>	25,36	59,88	118,14	109,95	97,18	77,19	47,69	59,25	43,64	2,91	0,45	6,86
<b>Boufarik</b>	28,96	57,11	92,25	90,8	83,49	79,52	52,07	59,95	43,08	3,56	1,38	9,3
<b>El-Hamiz</b>	35,35	67,75	114,24	114,85	107,86	95,5	67,66	89,87	57,64	7,71	1,71	6,72

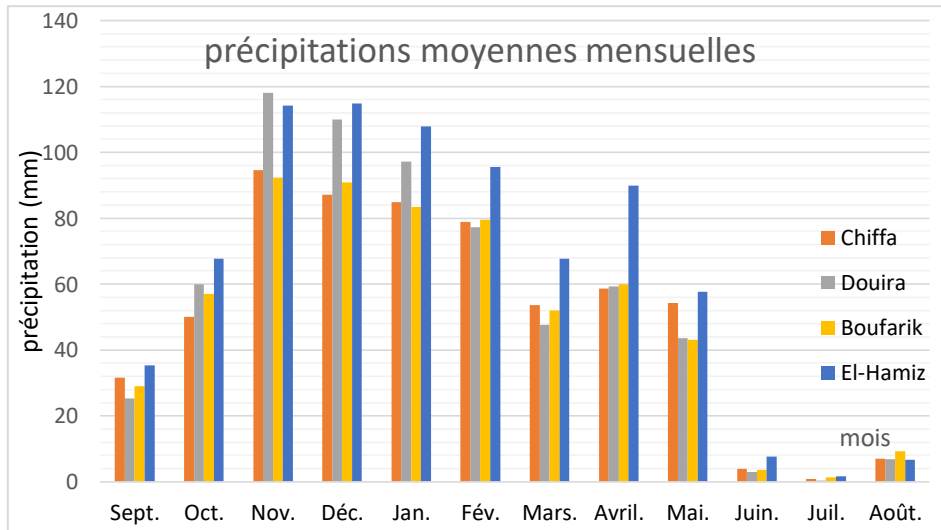


Figure 1: Précipitations moyennes mensuelles (mm) de la Mitidja-est (1991-2011)

Le mois de juillet représente le mois avec les plus faibles pluies suivi du mois de juin et du mois d'aout, par contre le mois de novembre est le mois le plus pluvieux.

### 3.2. Précipitations moyennes annuelles

La pluviométrie moyenne annuelle mesurée dans les stations de la Mitidja-est sur une période de 20 ans (1991-2011) est récapitulée dans le tableau 7.

Tableau 7: Précipitations moyennes annuelles (1991/2011) (ANRH)

Années	Chiffa	Douira	El-Hamiz	Boufarik
1991-1992	459,6	458,3	611,2	443,9
1992-1993	439,7	574,3	546,5	469
1993-1994	681,6	707,3	695,2	568,7
1994-1995	797,7	614,6	878,9	756,6
1995-1996	378,4	248,2	341,4	386,1
1996-1997	695,4	713,2	863,8	675,9
1997-1998	551,3	587,5	705,7	453,7
1998-1999	421,8	515,7	531,3	384,7
1999-2000	556,3	544,2	541,5	523,5
2000-2001	365,5	418,1	360	410,1
2001-2002	793,6	903,1	1058,6	664,5
2002-2003	640,3	722,2	883,3	655,6
2003-2004	517	578,3	672,1	523,4
2004-2005	551,5	708,4	689,7	616 ;6
2005-2006	352,2	662,8	722,5	552,3
2006-2007	483,5	668,4	805,4	369,9
2007-2008	540,6	463,2	774,3	640
2008-2009	429,7	534,9	688,9	620
2009-2010	753,8	796,8	1001,7	858,7
2010-2011	655,5	837,5	1098,1	761,6

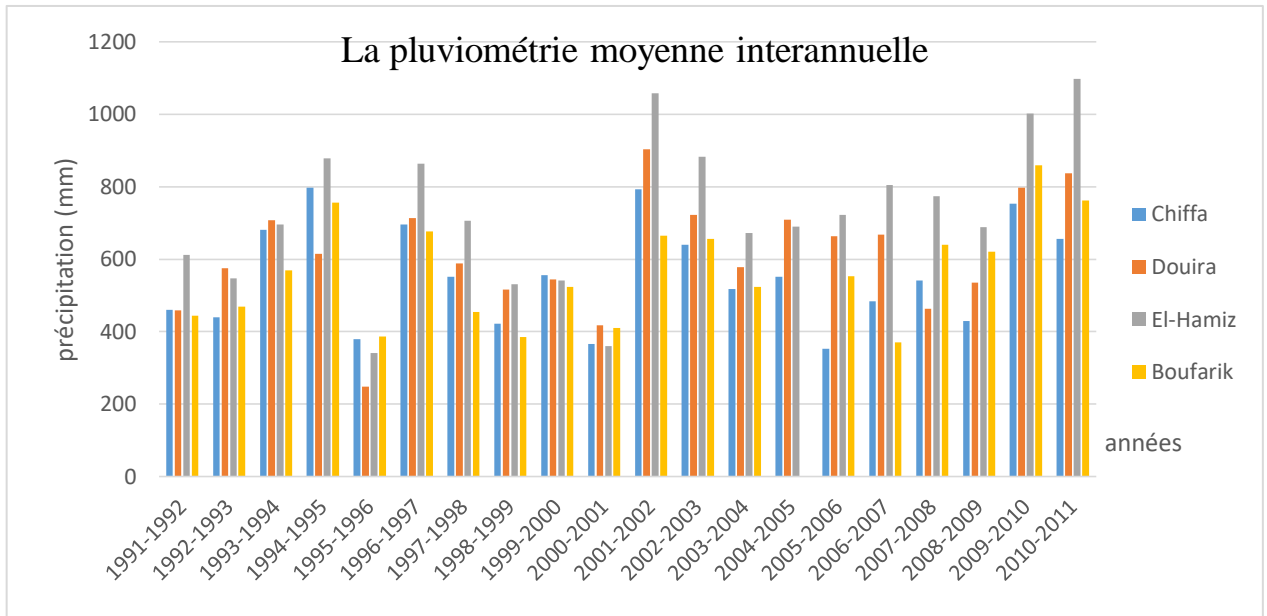


Figure 2 Histogramme de la pluviométrie moyenne interannuelle des stations climatiques de la période (1991-2011)

Sur une période d'observation de 20 ans, les précipitations moyennes interannuelles dans les stations de la Mitidja-est sont représentées sur l'histogramme (Figures 17) qui donne un aperçu sur les variations des précipitations interannuelles dans la région d'étude, montre que les pluies des stations évoluent de la même tendance pour la même année et elles présentent des variabilités d'année en année.

On remarque que l'année de 2011 est l'année la plus pluvieuse dans la station de Hamiz.

#### 4. Diagramme Ombrothermique (Bagnoule et Gausсен).

Une courbe ombrothermique est une représentation graphique combinant les données mensuelle des températures moyennes et des précipitations d'une station donnée. L'avantage de ces courbes nous permet de mettre en évidence les deux périodes sèche et humide.

Un mois sec est celui dont les précipitations totales exprimées en millimètres, sont égales ou inférieures au double de la température dont la règle est :  $P < 2T$ .

Mois	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc
P(mm)	84,9	78,87	53,67	58,6	4,3	3,99	0,9	6,94	31,69	50,1	94,6	87,11
T(°C)	11,13	11,65	13,25	15,1	18,3	22,25	25,2	26,11	23,6	20,1	15,4	12,5
2T(°C)	22,26	23,3	26,5	30,1	36,66	44,5	50,4	52,22	47,2	40,2	30,8	25

Tableau 8: précipitations moyenne mensuelles à la station de Chiffa, période (1991-2011)

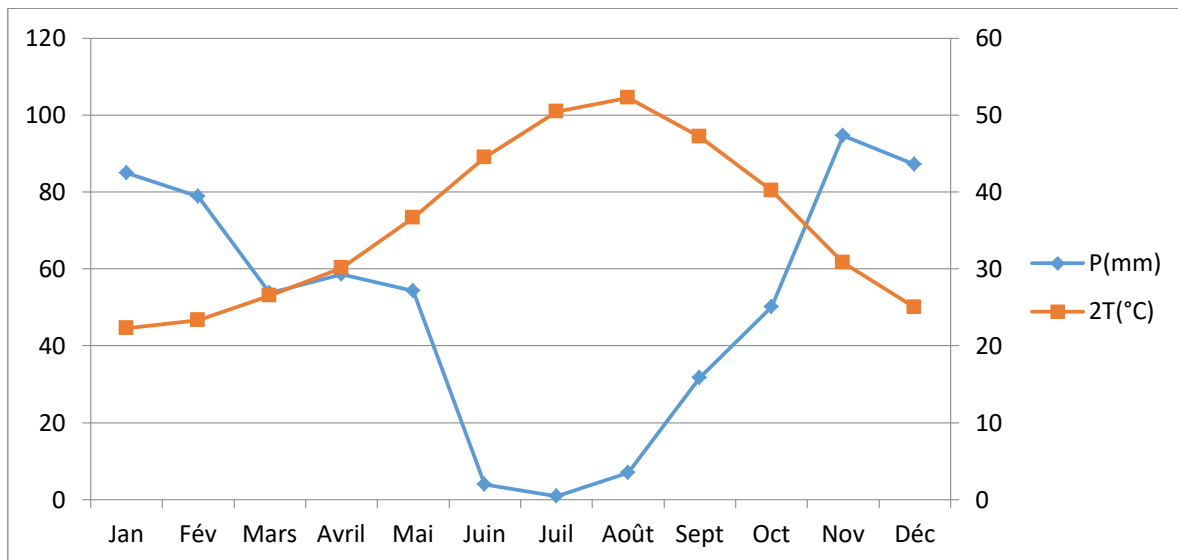


Figure 3: Diagramme Ombrothermique de la station de Hamiz (1991-2011)

A partir du diagramme Ombrothermique (figure 18), on constate que l'année hydrologique de la zone d'étude est caractérisée par deux saisons bien distinctes :

- Une période humide qui s'étale du mois de Novembre jusqu'au mois de Mai, cette dernière se caractérise par une précipitation importante et une baisse de température.
- Une période sèche qui s'étend du mois de Juin jusqu'au mois de septembre, elle se caractérise par l'augmentation de la température et la diminution de la précipitation.

### 5. Indice d'aridité « A » de Martonne

Cet indice s'exprime par la formule suivante :  $A = \frac{P}{(10+T)}$

Avec :

- **A** : indice d'aridité annuelle.
- **P** : précipitations moyennes annuelles en (mm).
- **T** : température moyenne annuelle en (°C).

Les résultats du calcul sont résumés dans le (tableau 9) représentant l'Indice d'aridité de la station d'El-Hamiz avec les paramètres utilisés.

Tableau 9: indice d'aridité de la station du Hamiz

Station	P (mm)	T (°C)	A (mm/°C)
ElHamiz	605,6	17,9	21,7

Et selon DE. MARTONNE

- Si  $A < 5$  : le climat est hyperaride ;
- Si  $5 < A < 10$  : le climat est très sec ;
- Si  $10 < A < 20$  : le climat est sec ;

- Si  $20 < A < 30$  : le climat est tempéré, Subhumide ;
- Si  $A > 30$  : le climat est humide (l'écoulement est abondant).

Selon cette classification notre région d'étude est caractérisée par un climat tempéré, subhumide, d'après le résultat de l'Indice d'aridité (A).

## 6. Estimation de l'Evapotranspiration

L'évapotranspiration est un phénomène important du cycle hydrologique. Elle englobe l'ensemble des phénomènes d'évaporation directe par retour dans l'atmosphère, à partir des réservoirs de surface (lac, mer, etc...), souterrain (nappes, aquifères) et la transpiration des plantes.

Elle dépend du climat et de ses variations qui sont déterminées par l'humidité de l'air, la vitesse du vent, la température de l'air et de l'eau, le rayonnement solaire et la pression atmosphérique.

On distingue deux types de l'évapotranspiration :

- L'évapotranspiration potentielle (ETP).
- L'évapotranspiration réelle (ETR).

### 6.1. Estimation de l'Evapotranspiration Potentielle ETP (mm)

#### 6.1.1. Formule de Thornthwaite

La formule de thornthwaite est la suivante  $ETP = 16 * \left(10 \frac{T}{I}\right)^a * K$

Avec :

- ETP : Evapotranspiration Potentielle mensuel corrigé en (mm).
- T : Température moyenne mensuelle en (°C).
- K : Coefficient d'ajustement mensuel.
- I : Indice thermique annuel : somme des indices mensuelles calculées à partir de températures moyennes mensuelles selon la formule :

$I = \sum_{i=1}^{12} i$	$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1,514}$	$a = 6,75 \cdot 10^{-7} \cdot I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} \cdot I^2 + 1,79 \cdot 10^{-2} \cdot I + 0,49239$
-------------------------	--	--

Tableau 10: Calcul d'ETP par la formule de Thornthwaite, Station du Hamiz 1991-2011

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août
<b>P (mm)</b>	31,69	50,1	94,58	87,11	84,9	78,87	53,67	58,63	54,26	3,99	0,9	6,94
<b>T (°C)</b>	23,6	20,1	15,4	12,5	11,13	11,65	13,25	15,05	18,33	22,25	25,2	26,11
<b>i</b>	10,48	8,22	5,49	4,00	3,36	3,60	4,37	5,30	7,15	9,59	11,57	12,21
<b>K</b>	1,03	0,97	0,86	0,84	0,87	0,85	1,03	1,10	1,21	1,22	1,24	1,16
<b>ETPc (mm)</b>	109,90	76,72	41,38	27,39	22,84	24,30	37,44	50,71	80,58	116,63	149,54	149,46

### 6.1.2. Formule de Serra

Elle est de la forme suivante :  $ETP = 16 * \left(10 \frac{T}{i}\right)^a * K$

Avec :

$$I = \sum_{i=1}^{12} i$$

$$i = 0,09T^{3/2}$$

$$a = \frac{1,6}{100} I + 0,5$$

Tableau 4: Calcul de l'ETP par la méthode de Serra, Station du Hamiz 1991-201

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août
<b>P (mm)</b>	31,69	50,1	94,58	87,11	84,9	78,87	53,67	58,6	54,3	3,99	0,9	6,94
<b>T (°C)</b>	23,6	20,1	15,4	12,5	11,1	11,65	13,25	15,1	18,3	22,25	25,2	26,11
<b>i</b>	10,32	8,11	5,44	3,98	3,34	3,58	4,34	5,25	7,06	9,45	11,39	12,01
<b>K</b>	1,03	0,97	0,86	0,84	0,87	0,85	1,03	1,10	1,21	1,22	1,24	1,16
<b>ETPc (mm)</b>	110,56	77,39	41,94	27,86	23,28	24,75	38,04	51,41	81,42	117,45	150,26	150,09

### 6.2. Estimation de l'Evapotranspiration Réelle ETR (mm)

#### 6.2.1. Formule de Turc :

La formule de Turc est :  $ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$  et  $L = 300 + 25t + 0,05t^3$

Avec :

- **ETR** : Evapotranspiration réelle en mm.
- **P** : Hauteur annuelle de la pluie (en mm).
- **t** : Température annuelle (°C)

Cette formule consiste à évaluer directement l'évapotranspiration réelle, à partir de la hauteur moyenne de la pluie et de la température moyenne annuelle

Tableau 5: l'ETR par la formule de Truc, station du Hamiz 1991-2011

Station	P (mm)	T (°C)	L	L <sup>2</sup>	ETR (mm/an)
<b>El-Hamiz</b>	605,64	17,88	1032,87	1066815,46	543,04

#### 6.2.2. Formule de Coutagne

Elle est sous la forme suivante :  $ETR = \bar{P} - \lambda T^2$  à condition que :  $\frac{1}{8\lambda} < \bar{P} < \frac{1}{2\lambda}$  en sachant que  $\lambda = \frac{1}{0,8 + 0,1T}$

Avec :

- **ETR** : Evapotranspiration réelle en mm.
- **T** : température moyenne annuelle en °C.
- **P** : pluie moyenne annuelle en mm.

Tableau 6: Calcule de l'ETR par la formule de Coutagne, stationdeHamiz 1991-2011

<i>1/8λ</i>		<i>P (mm)</i>	<i>1/2λ</i>		
0,32		0,81	1,29		
<i>Station</i>	<i>P(mm/an)</i>	<i>T(°C)</i>	<i>T<sup>2</sup> (°C)</i>	<i>λ</i>	<i>ETR(mm)</i>
<i>Hamiz</i>	<i>605,64</i>	<i>17,88</i>	<i>319,72</i>	<i>0,39</i>	<i>482,10</i>

### 6.2.2. Calcul de l'ETR parla méthodedu bilan simplifié de Thornthwaite

L'évapotranspiration réelle désigne la quantité d'eau réellement perdue sous forme de vapeur d'eau par le couvert végétal.L'ETR traduit l'ensemble des interactions : sol, plante, climat.

Pour calculer l'ETR on utilise la méthode de Thornthwaite :

- Si les précipitations du mois (P) sont supérieures à l'évapotranspiration potentielle :

L'évapotranspiration réelle est égale à l'évapotranspiration potentielle :

- **Si : P>ETP→ETR=ETP.**

Dans ce cas on parle d'excédent de précipitations qui sera emmagasiné dans le sous-sol participant ainsi à l'augmentation des réserves en eau souterraines jusqu'à ce que ces dernières soient maximales, le surplus constitue l'excédent qui va être disponible pour l'alimentation de l'écoulement de surface et des nappes profondes

- les précipitations (P) sont inférieures à l'évapotranspiration potentielle :

- **Si P < ETP ⇒ ETR = P+RFU**

Dans ce cas l'ETR dépens de toutes les pluies mensuelles et le déficit et comblé par les réserves du sol.

- **Si P + RFU > ETP ⇒ ETR = ETP**

La réserve facilement utilisable (RFU) contient l'eau nécessaire pour satisfaire le déficit, dans le cas contraire la (RFU) est vide, l'ETR est liée aux précipitations mensuelles et le déficit constitue le déficit agricole (da) qui représente la quantité d'eau qu'il faudrait apporter aux plantes pour qu'elles ne souffrent de sécheresse.

**6.2.2.1. Bilan simplifié de Thornthwaite calculé sur la base de l'ETPc-Thornthwaite**

Tableau7: Bilan de Thornthwaite en fonction de l'ETP de Thornthwaite période (1991-2011)

Station de Chiffa

mois	p (mm)	ETP (mm)	RFU (mm)	ETR (mm)	Da (mm)	excédent (mm)
septembre	31,69	109,90	0	31,69	78,21	0
octobre	50,1	76,72	0	50,10	26,62	0
novembre	94,58	41,38	53,20	41,38	0	0
décembre	87,11	27,39	100	27,39	0	12,92
janvier	84,9	22,84	100	22,84	0	62,06
février	78,87	24,3	100	24,30	0	54,57
mars	53,67	37,44	100	37,44	0	16,23
avril	58,63	50,71	100	50,71	0	7,92
mai	54,26	80,58	73,68	80,58	26,32	0,00
juin	3,99	116,63	0	77,67	38,96	0
juillet	0,9	149,54	0	0,9	148,64	0
août	6,94	149,46	0	6,94	142,52	0
Annuel	605,64	886,89	/	451,04	461,27	153,70

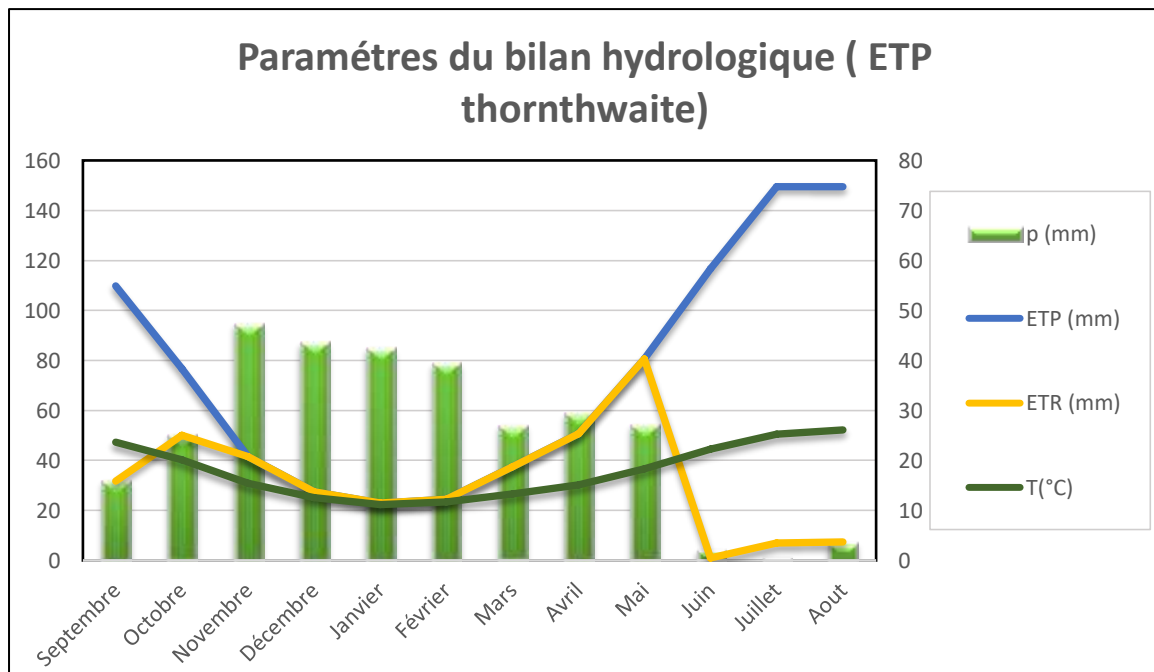


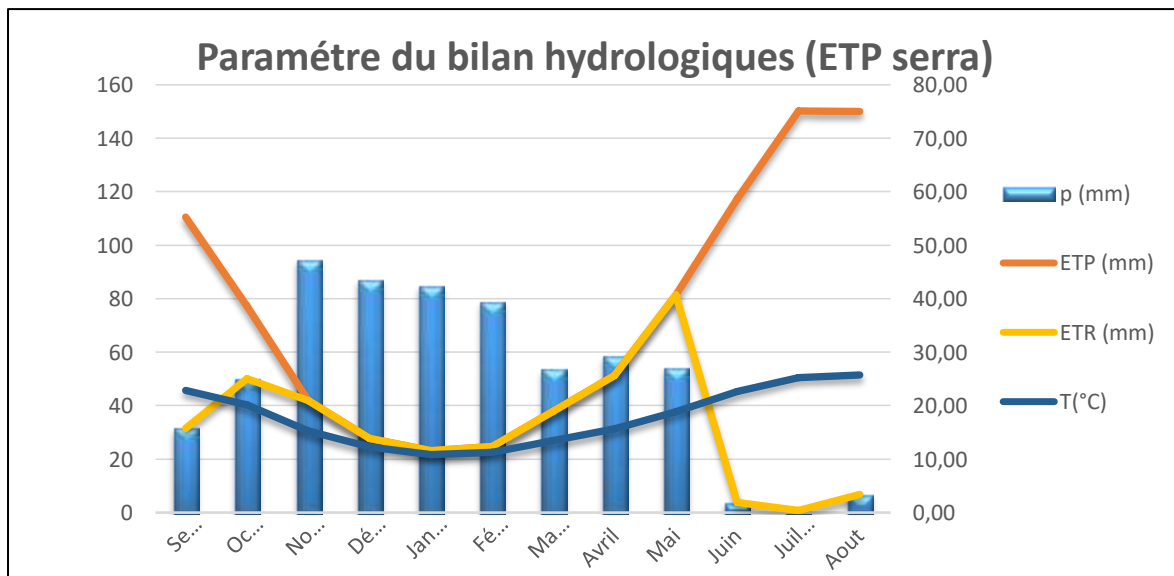
Figure 4: Bilan de Thornthwaite en fonction de l'ETP de Thornthwaite (1991-2011)

6.2.2.2. Bilan simplifié de Thornthwaite calculé sur la base de l'ETPc-Serra

Tableau 8: Bilan de Serra en fonction de l'ETP de Serra période (1991-2011) station de Chiffa

Mois	p (mm)	ETP (mm)	RFU (mm)	ETR (mm)	Da (mm)	excédent (mm)
septembre	31,69	110,56	0	31,69	78,87	0
octobre	50,1	77,39	0	50,10	27,29	0
novembre	94,58	41,94	52,64	41,94	0	0
décembre	87,11	27,86	100,00	27,86	0	11,89
janvier	84,9	23,28	100,00	23,28	0	61,62
février	78,87	24,75	100,00	24,75	0	54,12
mars	53,67	38,04	100,00	38,04	0	15,63
avril	58,63	51,41	100	51,41	0	7,22
mai	54,26	81,42	72,84	81,42	27,16	0
juin	3,99	117,45	0	76,83	113,46	0
juillet	0,9	150,26	0	0,9	149,36	0
août	6,94	150,09	0	6,94	143,15	0
Annuel	605,64	894,45	/	454,26	539,29	150,48

Figure 20: Bilan de Serra en fonction de l'ETP de Serra période (1991-2011)



Selon des deux méthodes précédentes (Serra et Thornthwaite) : la période humide excédentaire de l'ordre 148,69mm qui va du mois de novembre jusqu'à mois de Mai et ainsi que la période sèche du mois de Juin à Octobre qui est de l'ordre de 512,13mm.

Le tableau suivant représente le récapitulatif des résultats des paramètres du bilan hydrologique

Tableau 9: récapitulatif des résultats des paramètres du bilan hydrologiques période (1991-2011) station de Hamiz

Paramètres	Méthode	Résultats	Moyennes (mm)
<b>P (mm)</b>		605,64	605,64
<b>ETP (mm)</b>	<b>Thorntwaite</b>	886,89	890,67
	<b>Serra</b>	894,45	
	<b>ETP Thorntwaite</b>	451,04	452,65
<b>ETR (mm)</b>	<b>ETP Serra</b>	454,26	542,50
	<b>Turc</b>	542,50	
	<b>Coutagne</b>	482,10	

### 6.3. Estimation de l'infiltration « I »

L'infiltration dépend de plusieurs facteurs importants sont :

- Lanature du sol.
- La perméabilité et la porosité du terrain
- La couverture végétale.
- L'intensité de la pluie
- Topographie du terrain.

Elle est calculée par la formule suivante :

$$P = ETR + Ie + R \Rightarrow$$

$$I = P - (ETR + R)$$

Avec :

- **P** : Précipitation moyennes annuelles (mm).
- **ETR** : Evaporation Réelle (mm).
- **Ie** : la lame d'eau infiltrée (mm).
- **R** : la lame d'eau ruisselée.

### 6.4. Estimation du Ruissellement « R »

la formule s'écrit comme suit :  $R = \frac{P^3}{3ETP^2}$

Avec :

- **R** : lame d'eau ruisselée annuelle en mm.
- **P** : précipitation moyenne annuelle en mm.
- **ETP** : Evapotranspiration annuelle en mm.

Tableau 10: résultats du bilan hydrologiques période (2000-2013) station

<b>Paramètres</b>	<b>P</b>	<b>ETR</b>	<b>R</b>	<b>I</b>
<b>Termes en mm</b>	605,64	454,26	94,14	59,56
<b>Termes en %</b>	100	75,01	15,5	9,4

## 7. Conclusion

Notre zone d'étude est soumise à un climat tempéré caractérisé par deux saisons, la première humide allant du mois de novembre au mois de mai et une seconde sèche allant de mois de juin au mois d'octobre. Ce climat est influencé par une précipitation moyenne annuelle de l'ordre de 605,64 mm, avec une température moyenne annuelle de 17,9 °C. L'estimation des moyennes des paramètres constituant le bilan hydrologique sur la période 1991-2011, a permis de faire ressortir les résultats suivants pour la station de Chiffa :

- Une évapotranspiration potentielle (ETP) de 894,45 mm/an.
- Une évapotranspiration réelle (ETR) de 454,26mm/an soit 75,01 %
- Un ruissellement (R) de 94,14mm/an soit 15,54 %.
- Un taux d'infiltration (I) de 59,56mm/an soit 9,45 %.

*Chapitre 4*

*Qualité hydrochimique des eaux*

*de la Mitidja-est*

## CHAPITRE 4 : QUALITÉ HYDROCHIMIQUE DES EAUX DE LA MITIDJA-EST

### 1. Introduction

La qualité d'une eau est définie par ses caractéristiques physiques, chimiques et bactériologiques.

La chimie des eaux souterraines dépend de la nature lithologique des couches traversées, des conditions hydrodynamiques et du temps de séjour des eaux dans l'aquifère. La relation entre l'eau et son milieu détermine pour l'essentiel l'acquisition de la minéralisation de l'eau. Les éléments chimiques majeurs sont aussi influencés par d'autres facteurs tels que les échanges entre aquifères, les paramètres climatiques et très souvent, aussi, les activités anthropiques.

Dans ce chapitre notre étude est basée sur les analyses physico-chimiques des forages et des puits qui appartiennent à la Mitidja orientale fournies par l'agence nationale des ressources hydriques (ANRH) de Blida pour les années de 2012, 2015 et 2020.

### 2. Analyse des paramètres physiques

#### 2.1. La température

La température est un paramètre physique clé, qui permet de déterminer les processus chimiques et biologiques au sein des cours d'eau et joue un rôle dans la solubilité des sels et des gaz, aussi dans la dissociation des sels dissous et dans la détermination du pH et de la conductivité, pour la connaissance de l'origine de l'eau et les mélanges éventuels.

#### 2.2. Le pH

Le potentiel d'hydrogène, exprime la concentration en ion  $H^+$  d'une solution qui lui confère son caractère acide ou basique. C'est un paramètre physique qui détermine le caractère incrustant ou agressif d'une eau. Le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés.

Tableau 11 Variation du PH des eaux de différents forages pour les années (2012, 2015 et 2018)

	<b>W042-439</b>	<b>W042-450</b>	<b>W042-688</b>	<b>W042-1000</b>	<b>W042-1003</b>
<b>2012</b>	7,5	7,8	7,5	7,5	7,8
<b>2015</b>	8,1	8,1	8,1	8,3	8,2
<b>2018</b>	7,6	7,5	7,8	7,9	7,9

#### 2.3. La conductivité

La conductivité électrique d'une eau est la propriété qu'elle possède pour favoriser le passage d'un courant électrique. Elle traduit globalement sa teneur en sels dissous et permet d'évaluer approximativement sa minéralisation globale et d'en suivre l'évolution.

D'après les analyses de 2012 jusqu'à 2020, la conductivité des eaux de la nappe est comprise entre 302  $\mu\text{s/cm}$  et 3245  $\mu\text{s/cm}$  donc c'est une minéralisation moyenne.

### 3. Analyses des paramètres chimique

#### 3.1. Alcalinité

L'alcalinité de l'eau désigne sa concentration en ions carbonates et bicarbonates (RODIER 1996). Il existe deux types d'alcalinité qui se distinguent selon la borne de Ph :

- Titre alcalimétrique complet (TAC) ou alcalinité au point de virage du rouge de méthyle au pH 4.5 ce qui revient à déterminer les bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ )
- Titre alcalimétrique (TA) ou alcalinité au point de virage de la phénophtaléine qui sert à déterminer les carbonates ( $\text{CO}_3^{2-}$ ).

#### 3.2. Calcium

Le calcium est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires et marneuses entraînant dans les eaux, divers sels de calcium essentiellement les carbonates et les sulfates. Composant majeur de la dureté de l'eau, le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables, et en traces pour les eaux de pluies. Sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés. (RODIER 1996).

Les valeurs du calcium sont inférieures à la concentration maximale admissible de 200 mg/l pour les eaux potables (Normes algériennes, 2011).

#### 3.3. Magnésium

C'est un des éléments les plus répandus dans la nature (environ 2.1% de l'écorce terrestre). Il est un constituant de nombreux minéraux et roches, en particulier la dolomie. Le magnésium constitue un élément significatif de la dureté de l'eau. (RODIER 1996).

#### 3.4. Sodium

Toutes les eaux souterraines contiennent du sodium en raison des roches et des sols contenant des composés de sodium. Toutefois, des taux élevés de sodium peuvent indiquer une contamination nécessitant un traitement :

- Érosion des dépôts de sel.
- Infiltration d'eau dans les puits (dans les zones côtières).
- Contamination des eaux de surface par le sel de voirie.
- Irrigation et lessivage des précipitations à travers des sols riches en sodium.
- Pollution par les effluents d'eaux usées.
- Infiltration de lixiviats provenant de décharges ou de sites industriels.

#### 3.5. Chlorures

Les teneurs en chlorures des eaux sont extrêmement variées et liées principalement à la nature des terrains traversés (roches évaporitiques). (RODIER 1996).

Les teneurs en chlorures pendant les périodes pluvieuses subissent une élévation qui peut être provoquée par un lessivage superficiel, et en profondeur peut être due aux incrustations.

### 3.6. Sulfates

La concentration en ions sulfates dans les eaux naturelles est très variable. Dans les terrains ne contenant pas une proportion importante de sulfates minéraux, elle peut atteindre 30 à 50 mg/l, mais ce chiffre peut être très largement dépassé (jusqu'à 300 mg/l) dans les zones contenant du gypse ou lorsque le temps de contact avec la roche est élevé. (RODIER 1996).

Le tableau suivant montre les concentrations des différents éléments chimiques des eaux des forages pour l'année de 2018 (haute eaux) selon l'ANRH de Blida. Ces résultats ont été validés par le calcul du pourcentage d'erreur (e). ce dernier ne doit pas dépasser 5 %. Pour des objectifs purement académiques, on tolère jusqu'à 10 %.

Tableau 12 : Teneurs en éléments chimiques des eaux souterraines de la Mitidja-est en mg/l, 2018, (ANRH Blida)

Points d'eau	Calcium	Magnésium	Sodium	Potassium	Chlorures	Sulfates	Bicarbonates	e (%)
W021-894	249	39	198	9	249	191	824	0
W042-450	181	39	50	0	67	197	458	3
W042-688	224	72	99	1	136	331	549	4
W41-08156	48	82	26	0	70	111	290	6
W41-08163	173	21	59	1	100	174	290	7
W41-09121	44	17	58	1	103	3	168	4
W63-09125	91	23	22	1	36	1	305	10
W042-439	232	26	100	0	141	159	488	8
W042-999	165	42	186	2	313	217	275	5
W042-1000	139	37	29	0	50	166	259	10
W042-1003	187	57	89	1	128	187	473	8
W042-1010	161	45	132	1	142	210	366	10

## 4. Le faciès chimique

Les faciès chimiques sont couramment utilisés en hydrogéologie pour la description de la composition chimique des eaux naturelles. La nécessité d'une comparaison aisée, voir une classification des eaux, nécessite l'utilisation des représentations graphiques. De ce fait, on a utilisé le diagramme de Piper.

### 4.1. Diagramme de Piper

Le diagramme de Piper permet de représenter plusieurs échantillons d'eau simultanément. Il est composé de deux triangles, permettant de représenter le faciès cationique et le faciès anionique, et d'un losange synthétisant le faciès global. Le principe consiste à représenter dans chaque triangle équilatéral les quantités en réaction par rapport à la concentration totale

des anions et cations. On obtient ainsi deux points représentatifs indiquant la dominance d'un anion ou d'un cation.

#### 4.2. Évolution annuelle des faciès des eaux de la Mitidja-est

Figure 21: Diagramme de Piper des eaux de la nappe de la Mitidja-est en 2012

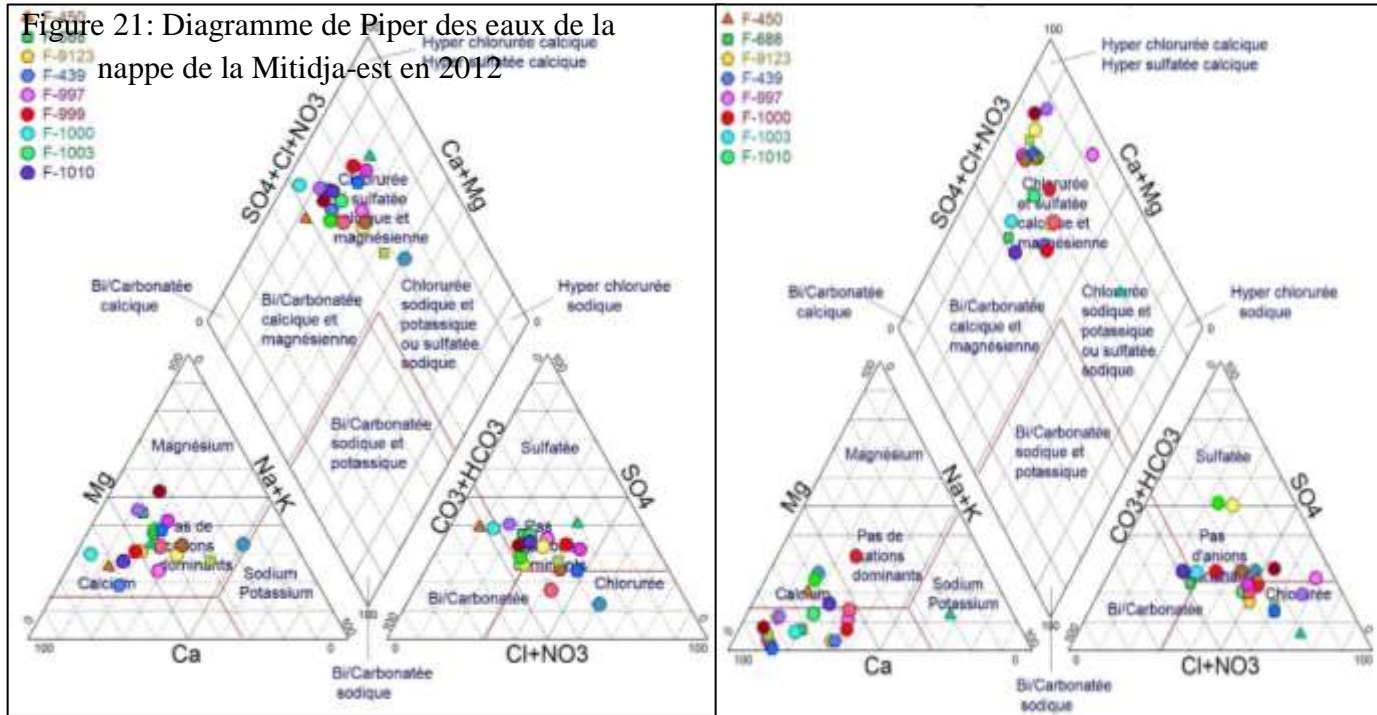


Figure 22 : Diagramme de Piper des eaux de la nappe de la Mitidja-est en 2015

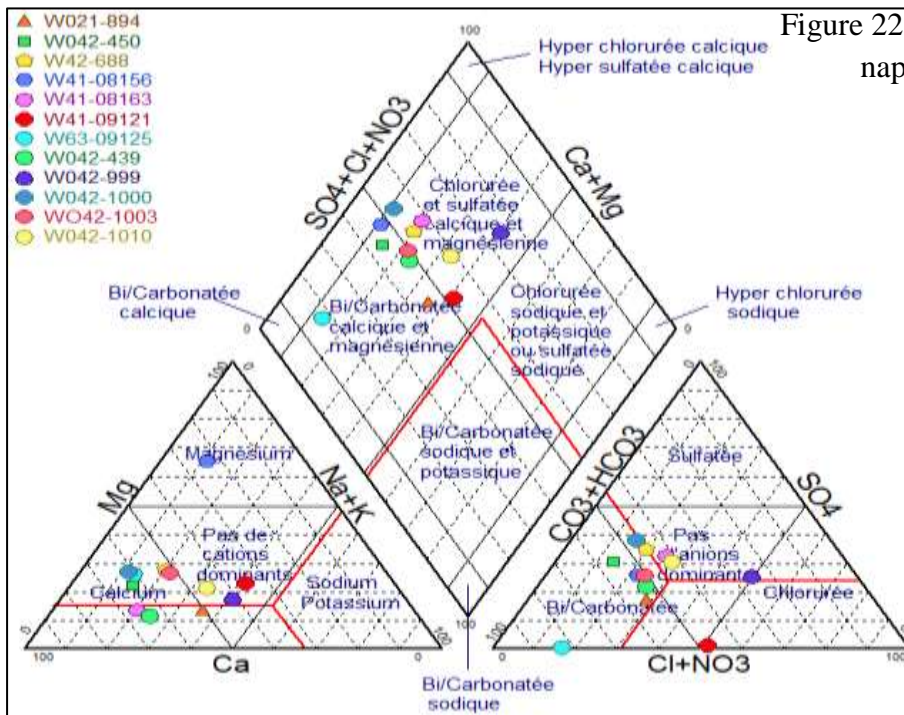


Figure 23: Diagramme de Piper des eaux de la nappe de la Mitidja-est en 2018

La représentation des points d'eau de la nappe de la Mitidja-Est sur le diagramme triangulaire de Piper pour les années (2012, 2015 et 2020) ; (figure 21, figure 22 et figure 23) fait ressortir un faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien, qui indique un écoulement

souterrain des eaux salés par infiltration ou ruissèlement ou dessalement des minéraux à cause de plusieurs facteurs parmi eux la nature des formations géologiques de l'aquifère (la dilution des marnes) sa perméabilité et sa saturation ou exploitation.

Ces écoulements causent le lessivage des formations lithologiques avec un apport en sulfates provenant principalement du gypse et de l'anhydrite avec l'influence des rejets eaux usées domestiques avec des apports en nitrates et les nitrites.

## 5. Les paramètres de pollution

### 5.1. Azote

L'azote N<sub>2</sub> qui est un constituant majeur de l'atmosphère (78%) joue un rôle essentiel dans la biosphère. Les différentes formes minérales (ammoniac, nitrites, nitrates...) et organique (acides aminés protéine ...) font l'objet d'échanges réversible incessants. (RODIER 1996).

### 5.2. Nitrates

Toutes les formes d'azote (azote organique, ammoniacque, nitrites, etc.) sont susceptibles d'être à l'origine des nitrates par un processus d'oxydation biologique. (RODIER 1996).

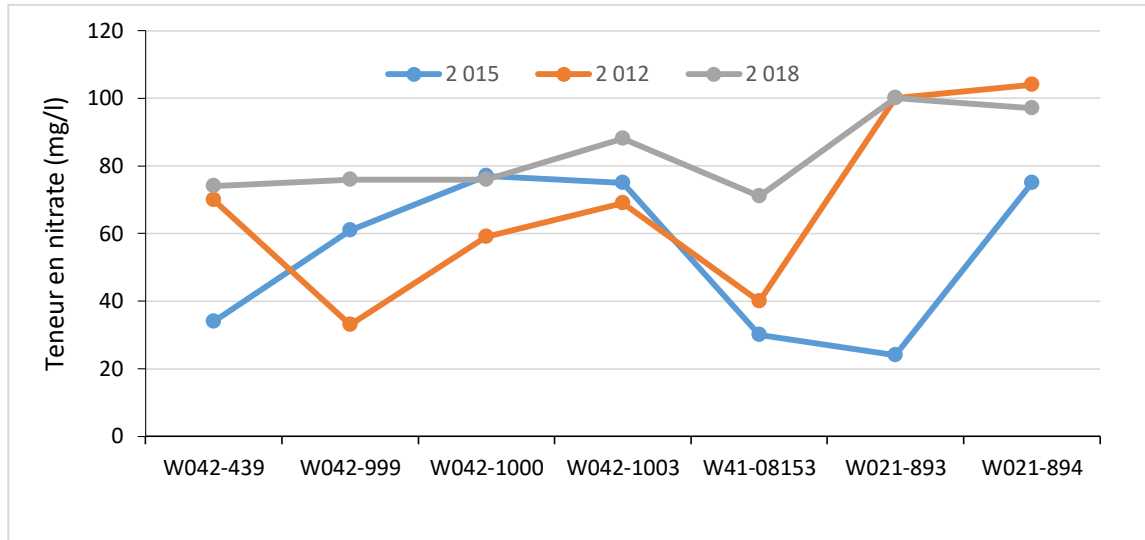
Les nitrates sont très solubles dans l'eau. Chargés négativement, ils ne sont pas retenus par le complexe argilo-humique du sol. Ils sont donc véhiculés à 100 % sous forme dissoute.

Constituent la forme azotée la plus dominante dans les cours d'eau et dans les nappes d'eau souterraine, sa concentration dépasse rarement 0.45 mg/l des valeurs supérieures indiquent des rejets d'eau usées dans les milieux aquatiques superficielles et souterraines, et surtout une utilisation excessive de fertilisants utilisés en agriculture (RODIER 1996).

Tableau 20 des nitrates (mg/l) des eaux de la nappe de la Mitidja-est (2012, 2015 et 2020)

Points D'eau	2 015	2 012	2 020
<b>W042-439</b>	34,0	70,0	73,0
<b>W042-999</b>	61,0	33,0	46,0
<b>W042-1000</b>	77,0	59,0	64,0
<b>W042-1003</b>	75,0	69,0	84,0
<b>W41-08153</b>	30,0	40,0	31,0
<b>W021-892</b>	24	100,0	110,0
<b>W021-894</b>	75	104,0	100,0

D'après les normes algériennes, il est recommandé de ne pas dépasser une valeur de 50 mg/l pour les nitrates. En effet, les eaux souterraines de la nappe de la Mitidja-est dépassent la



norme en indiquant une pollution d'origine agricole

Figure 24 : Teneurs en Nitrates des eaux souterraines de la Mitidja-est (2012, 2015 et 2020)

## 6. Conclusion

L'étude hydrochimique des eaux souterraines de la Mitidja-est a permis d'apprécier leur qualité chimique, qui constitue un point essentiel pour notre étude.

Ces eaux souterraines présentent un pH de 7,5 à 8,3. Cette eau est légèrement basique ou alcaline à cause des carbonates de calcium présents dans les formations calcaires.

Les eaux de la nappe de la Mitidja-est présentent un faciès chloruré-calcique et sulfaté magnésien influencé par l'infiltration des eaux superficielles principalement les précipitations et le lessivage des formations lithologiques avec un apport en sulfates provenant principalement du gypse et de l'anhydrite.

Les teneurs en nitrate dans les eaux souterraines varient entre 24 mg/l et 100 mg/l. Ce là est dû à l'utilisation excessive des engrais azotés par les agriculteurs de la région.

## *Chapitre 5*

# *Vulnérabilité des eaux souterraines de la Mitidja-est*

## CHAPITRE 5 : VULNÉRABILITÉ DES EAUX SOUTERRAINES DE LA MITIDJA-EST

### 1. Introduction

La notion de vulnérabilité des eaux souterraines a pris naissance que vers les années 1960, pour sensibiliser la population au fait que même si la notion d'eau souterraine est associée à une image de pureté, cette ressource n'en reste pas moins sensible aux agents extérieurs et susceptible d'être polluée (Murat, 2000). Les problèmes de contaminations des eaux souterraines n'ont été perçus comme réellement préoccupants qu'après les années 1980. Cette perception de la part du public et des professionnels de l'environnement résulte du nombre croissant de remarque de contamination, mais également du développement de méthodes ou d'outils qui ont amélioré la connaissance de l'origine, de la présence et du devenir de ces contaminations (Banton et Bangoy, 1999).

La Mitidja Orientale est une région agricole et industrielle, fait face à des problèmes de pollution environnementale importants, les activités industrielles, les déchets agricoles et urbains, ainsi que le transport routier, sont les principales sources de pollution de la région.

### 2. Types de vulnérabilité des eaux souterraines

On distingue deux types :

- La vulnérabilité intrinsèque ;
- La vulnérabilité spécifique.

#### 2.1. La vulnérabilité intrinsèque

la vulnérabilité intrinsèque est le terme utilisé pour représenter les caractéristiques du milieu naturel qui déterminent la sensibilité des eaux souterraines à la pollution par les activités humaines. Cette vulnérabilité dépend de différents facteurs, notamment la nature du sol (pédologie), la pente du terrain, la profondeur de la nappe.

#### 2.2. La vulnérabilité spécifique

la vulnérabilité spécifique est le terme utilisé pour définir la vulnérabilité d'une eau souterraine à un polluant particulier ou à un groupe de polluants. Elle prend en compte les propriétés des polluants et leurs relations avec les divers composants de la vulnérabilité intrinsèque.

### 3. Types de pollution

#### 3.1. La pollution ponctuelle

La pollution ponctuelle est un type de pollution de l'eau qui est causé par une source unique et identifiable. Elle provient généralement de déversement accidentels ou intentionnels de substances polluantes dans le cours d'eau, tels que les rejets industriels, les déversements de produits chimiques, les déchets de construction, etc.

### 3.2. La pollution diffuse

Ce type de pollution est causé par une multitude de sources diffuses. Elle est souvent associée à des activités telles que l'agriculture, l'urbanisation et la foresterie.

La pollution diffuse se produit lorsque des substances toxiques telles que les pesticides, les engrais, les métaux lourds et les nutriments sont transportées dans l'eau par ruissellement ou infiltration à partir de surfaces terrestres.

### 4. Principales sources de pollution des eaux souterraines

La pollution de la ressource en eau souterraine se caractérise par la présence des microorganismes, des substances chimiques ou encore des déchets industriels. Cette pollution peut avoir des origines diverses et peuvent être liquide et solide, nous citons quelques-unes :

- **La pollution minérale** : l'échange physico-chimique des eaux avec le milieu réservoir qui provoque un changement dans la qualité de l'eau et ne répond pas aux normes ;
- **Intrusion marine** : défini comme un phénomène qui influence sur les aquifères côtiers par l'entrée de l'eau de mer dans la nappe qui provoque une pollution saline ;
- **La pollution accidentelle** : concerne le déversement accidentel de produits toxiques dans le milieu naturel et qui viennent perturber l'écosystème ;
- **La pollution domestique** : par l'infiltration des eaux usées domestiques, les produits d'entretien ou cosmétiques (savons de lessives, détergents), les peintures, solvants, huiles de vidanges, hydrocarbures..., soit rejetée dans la nature ou dans les effluents en contact direct avec les eaux souterraines ;
- **La pollution industrielle** : concerne les rejets liquide et solide, de produits chimiques comme les hydrocarbures rejetés par les industries ainsi que toutes les eaux usées évacuées par les usines directement dans la nature sans aucun traitement préalable ;
- **La pollution agricole** : concerne les déjections animales, mais aussi les produits phytosanitaires/pesticides (herbicides, insecticides, fongicides) contenus dans les engrais, utilisés dans l'agriculture. Ils pénètrent alors dans les sols jusqu'à atteindre les eaux souterraines ;

### 5. Matériels, données et logiciel

Dans cette partie, nous allons présenter la méthode de traitements pour déterminer et cartographier l'ensemble des paramètres ou indices caractérisant la méthode de vulnérabilité (AHP), cette étude repose sur plusieurs données (images satellitaires, cartes scannées, données numériques ... etc.) pour réaliser la carte globale de la vulnérabilité de la région de la plaine de la Mitidja-Est. Les processus de différents traitements sont réalisés par l'utilisation de SIG.

#### 5.1. Images satellitaires

Un Modèle Numérique de Terrain (MNT) est une représentation 3D de la surface d'un terrain

ou d'une planète, créée à partir des données d'altitude de terrain. Le MNT ne prend pas en compte les objets présents STRM avec la résolution de 30m par pixel. On a utilisé ce modèle numérique de terrain pour réaliser :

- La carte des pentes ;
- La délimitation du bassin versant ;
- La détermination du réseau hydrographique drainant le bassin versant ;
- La carte d'occupation de sol ;
- La carte piézométrique.

## 5.2. Données

### 5.2.1. Données piézométriques

Les données piézométriques sont obtenues par l'ANRH de Blida, ce sont utilisées pour réaliser la carte piézométrique.

### 5.2.2. Données pluviométriques

Ces données sont obtenues par l'ANRH de Blida service climatologie, sont stockées dans le tableau excel, sont utiliser pour réaliser la carte de précipitation

## 5.3. Logiciel

Le traitement de différentes données est fait à l'aide de ArcGIS 10.8 appliqués au domaine d'hydrogéologie et facilitent beaucoup plus les traitements ou la représentation des résultats.

## 6. L'analyse hiérarchique des procédés

La méthode d'analyse hiérarchique des procédés (AHP) a été développé par le professeur *Thomas.L. Saaty* dans les années 1970et est largement utilisée pour prendre des décisions dans des situations complexes et multicritères. Elle permet de structurer et d'analyser des problèmes complexes en utilisant une approche hiérarchique.

Couramment utilisée pour de nombreux problèmes requérant une prise de décision, certains ont même souligné que cette méthode avait révolutionné la façon de résoudre des problèmes complexes (Saaty et Sodenkamp, 2010). D'inspiration simple, elle permet l'analyse de situations complexes en guidant l'utilisateur dans la décomposition du problème et l'identification des critères importants (Saaty, 1984). L'AHP permet d'obtenir les poids et de comparer des critères de nature différente (Store & Kangas, 2001). Elle offre la possibilité de mettre en relation des données autant qualitatives que quantitatives et de prendre en compte l'opinion de nombreux acteurs. Les résultats de chacune des analyses peuvent ensuite être comparés et menés à une évaluation des consensus si nécessaire (Higgs, 2006).

La méthode AHP présente l'avantage d'être relativement simple à utiliser, souple et adaptable afin de mieux appréhender le monde réel auquel les décisions se caractérisent par une nature multi-critères et aussi multi-acteurs. En outre, il s'agit de la seule méthode parmi les autres méthodes d'aide à la décision multicritères qui permet la décomposition du problème en plusieurs niveaux, ainsi que la vérification de la cohérence de l'ensemble des jugements de comparaison.

Les étapes de la méthode AHP sont :

- **Hierarchie des critères** : le premier pas consiste à construire une hiérarchie des critères en identifiant le problème global et en le décomposant en critères plus spécifiques.

Cette hiérarchie est représentée sous la forme d'un arbre, où le critère principal est au sommet, les sou-critères sont situés au niveau intermédiaire, et les critères les plus spécifiques sont situés au niveau inférieur.

- **Comparaison par paires (comparaison binaire)** : pour chaque niveau de la hiérarchie, des comparaisons par paires sont effectuées entre les critères pour établir leurs relations de priorité.

Par exemple si l'on compare deux critères A et B, on évalue lequel des deux est le plus important en termes de leur impact sur le phénomène étudié (ensemble : pollution par les nitrates). Cette comparaison se fait en utilisant l'échelle de notation de Saaty (1977) (tableau 21) pour configurer une matrice carrées (matrice de comparaison) relative aux critères adoptés. Les résultats des comparaisons par paires sont enregistrés dans une matrice des comparaisons. Les éléments de la matrice représentent les rapports de priorités entre les critères et sont généralement exprimés sous forme de ratios.

- **Calcul des poids** : les rapports de priorité contenus dans la matrice des comparaisons sont utilisés pour calculer les poids (coefficients de pondérations  $C_p$ ) relatifs des critères à chaque niveau de la hiérarchie. Cela se fait en utilisant des calculs mathématiques en se basant sur l'échelle proposée par Saaty (tableau 21).

Pour déterminer les poids au niveau de chaque critère, on procède aux calculs des vecteurs propres ( $V_p$ ) et le ratio de cohérence ( $R_c$ ) comme suit :

le vecteur propre est calculé par la formule suivante :  $V_p = \sqrt[n]{W_1 \times \dots \times W_n}$  avec :

$n$  : le nombre de critères comparés dans la matrice carrée ;

$W_n$  : principales notes attribuées au critère  $n$  pour exprimer son importance relative.

Les coefficients de pondération ( $C_p$ ) est calculé par la formule suivante :

$$C_p = \frac{V_p}{V_{p1} + \dots + V_{pn}} \text{ dont la somme des } C_p \text{ est égale à l'unité.}$$

- **Validation de la matrice de comparaison** : pour valider la comparaison relative entre les critères, le ratio de cohérence ( $RC$ ) doit être inférieur ou égale 10 %.  $RC$  est calculé par la formule suivante :  $RC = \frac{I_c}{I_A}$  avec :

$I_C$  : Indice de cohérence, donné par la formule suivante :  $I_C = (\lambda_{max} - n) / (n - 1)$  avec :

$\lambda_{max} = \sum_1^n (\text{sommes colonne } i * C_{pi})$ .  $n$  est le nombre de critère dans la matrice et  $i$  correspond au critère  $i$  ;

$I_A$  : indice aléatoire donnée dans le tableau 22 élaboré par Saaty (1977)

- **Agrégation des résultats** : les évaluations des alternatives sont agrégées pour obtenir une évaluation globale de chaque alternative. Cela peut être réalisé en utilisant une

approche pondérée, où les poids des critères sont utilisés pour combiner les évaluations individuelles et obtenir une évaluation globale.

Tableau 21: Echelle de comparaison (Saaty, 1977)

Degré d'importance numérique	Degré d'importance verbale	Définition
1	Importance	Les deux éléments contribuent autant à l'explication de l'objectif
3	Un élément est un peu plus important (sensible) que l'autre	L'expérience et l'appréciation personnelle de l'expert favorisent légèrement un élément par rapport à l'autre
5	Un élément est plus important (sensible) que l'autre	L'expérience et l'appréciation personnelle de l'expert favorisent vraiment un élément par rapport à l'autre
7	Un élément est beaucoup plus important (sensible) que l'autre	L'expérience et l'appréciation personnelle de l'expert favorisent fortement un élément par rapport à l'autre
9	Un élément est absolument plus important (sensible) que l'autre	La dominance d'un élément par rapport à l'autre est démontrée par l'expérience et l'appréciation personnelle
2, 4, 6, 8	Valeurs intermédiaires entre deux appréciations voisines	Utilisées pour affiner le jugement lorsqu'un compromis est nécessaire entre deux appréciations
$\frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4}, \frac{1}{5}, \frac{1}{6}, \frac{1}{7}, \frac{1}{8}, \frac{1}{9}$	Valeurs réciproques des appréciations précédentes	

Tableau 22:Indice Aléatoire (IA)

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----

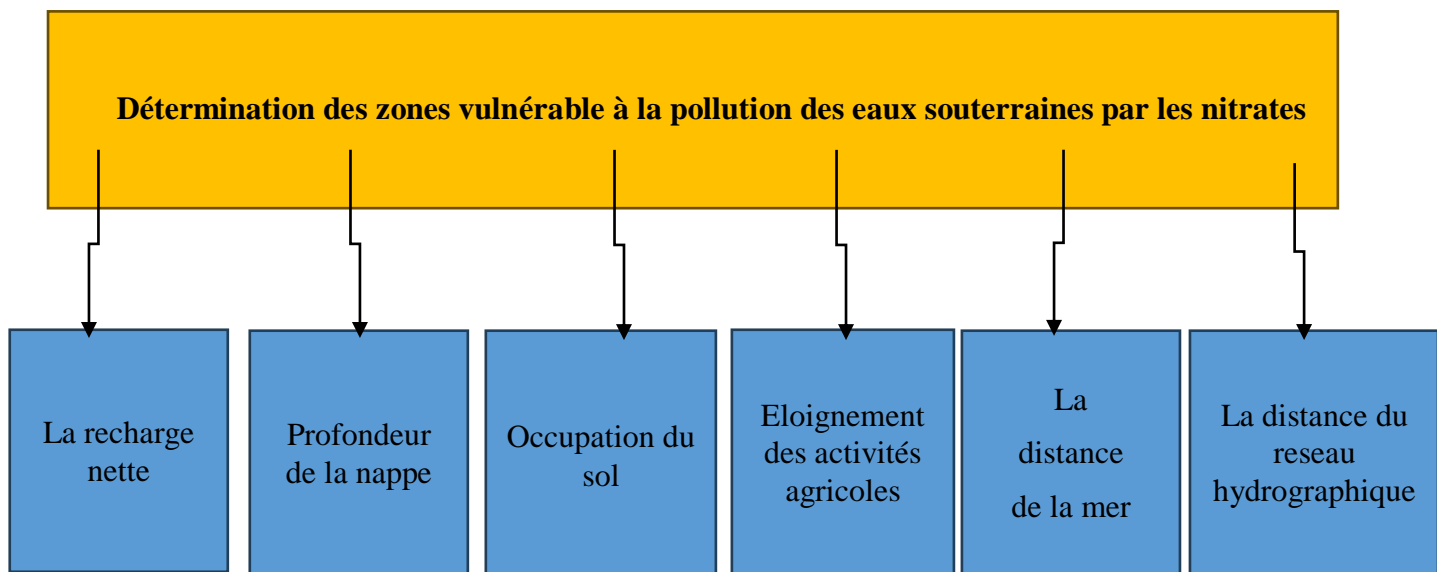
IA	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59
----	---	---	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

## 7. Application de la méthode hiérarchique des procédées

### 7.1. Critères adoptés

- L'occupation du sol ;
- La recharge nette ;
- L'éloignement de la mer ;
- L'éloignement des activités agricoles ;
- La profondeur de lanappe ;
- Le réseau hydrographique.

### 7.2.Hiérarchie des critères



### 7.3. Comparaison par paires et calcul du coefficient de pondération

		i1	i2	i3	i4	i5	i6		
		Profondeur de l'eau	Occupation de sol	Recharge nette	Eloignement des activités	Distance de la mer	Réseau hydrographique	Vp	Cp
i1	Profondeur de l'eau	1	4	2	1	3	5	2,22	0,29
i2	Occupation de sol	0,25	1	0,33	0,25	0,5	2	0,52	0,07
i3	Recharge nette	0,5	3	1	0,5	2	3	1,28	0,17
i4	Eloignement des activités	1	4	2	1	3	5	2,22	0,29
i5	Distance de la mer	0,33	2	0,5	0,33	1	3	0,83	0,11
i6	Réseau hydrographique	0,2	0,5	0,33	0,2	0,33	1	0,36	0,04

	<b>Somme</b>	3,28	14,5	6,16	3,28	9,83	19	7,44	1
--	--------------	------	------	------	------	------	----	------	---

#### 7.4. La cohérence de jugement

$$RC = \frac{IC}{IA}$$

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

$$\lambda_{max} = 6,06$$

<b>IC :</b>	0,013
<b>IA (6) :</b>	1,24
<b>RC :</b>	0,010

Les résultats obtenus permettent de valider la comparaison entre les critères adoptés dont le ratio de cohérence est inférieur à 10 %.

Tableau 13: Cotes de recharge et pondérations pour la zone d'étude (Piscopo 2001, Al-Adamat et al. 2003)

<b>Pente (%)</b>	<b>Cote</b>	<b>Précipitation (mm)</b>	<b>Cote</b>	<b>Perméabilité du sol</b>	<b>Cote</b>	<b>Recharge Nette</b>	<b>Cote</b>
<2	4	<500	1	Très faible	1	11-13	10
2-10	3	500-700	2	Faible	2	9-11	8
10-33	2	700-850	3	Moyenne	3	7-9	5
>33	1	>850	4	Forte	4	5-7	3
				Très forte	5	3-5	1

#### 7.5. Influence des paramètres sur la contamination des eaux souterraines de la Mitidja-est par les Nitrates

Nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) est l'un des indicateurs les plus importants de la contamination des ressources en eau. Les nitrates pénètrent dans l'eau Approvisionnement par plusieurs sources telles que les fosses septiques, (MacQuarrie et coll., 2001), l'utilisation excessive des engrais chimique pour l'agriculture.

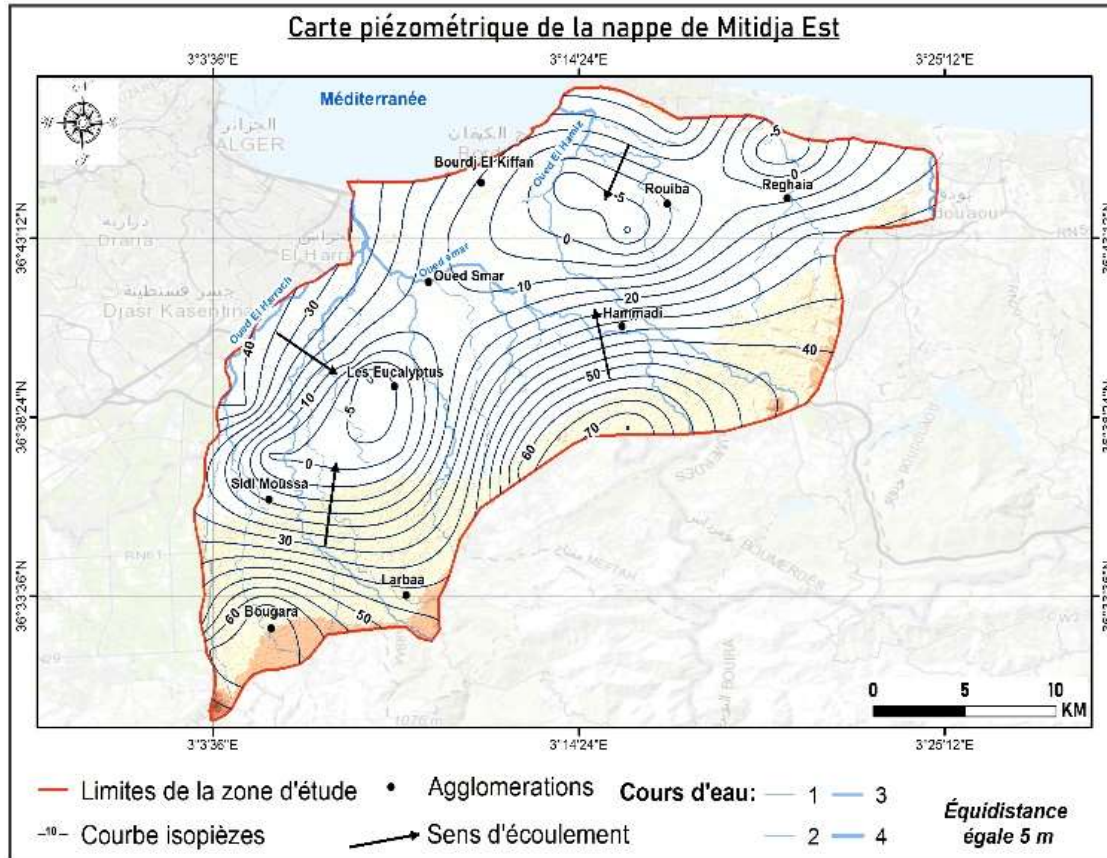


Figure 24 : carte piézométrique, période des haute eaux 2018

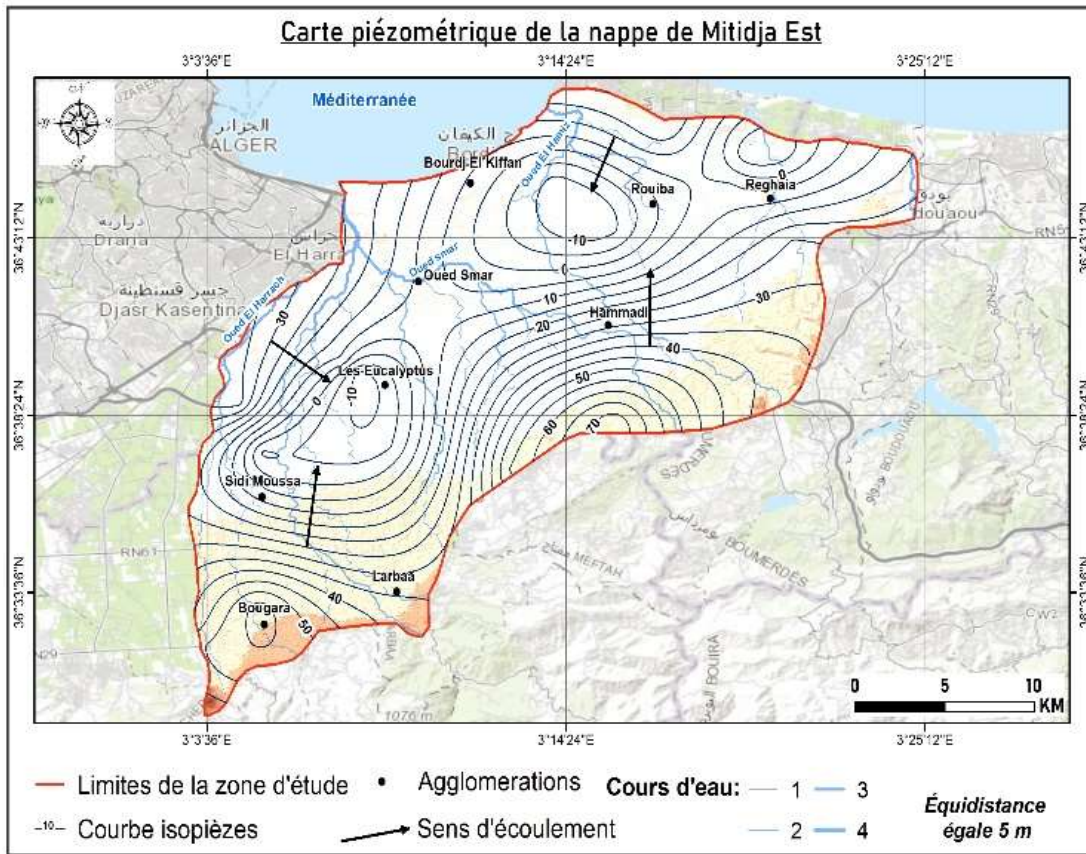


Figure 25 : Carte piézométrique, période des basses eaux 2018

### 7.6. Laprofondeur de la nappe

Nous avons établi les cartes de la profondeur de la nappe à partir des données piézométriques de l'ANRH de Blida des périodes des hautes eaux et des basses eaux de l'année de 2018. On a réalisé ces cartes avec le logiciel ArcGIS 10.8.

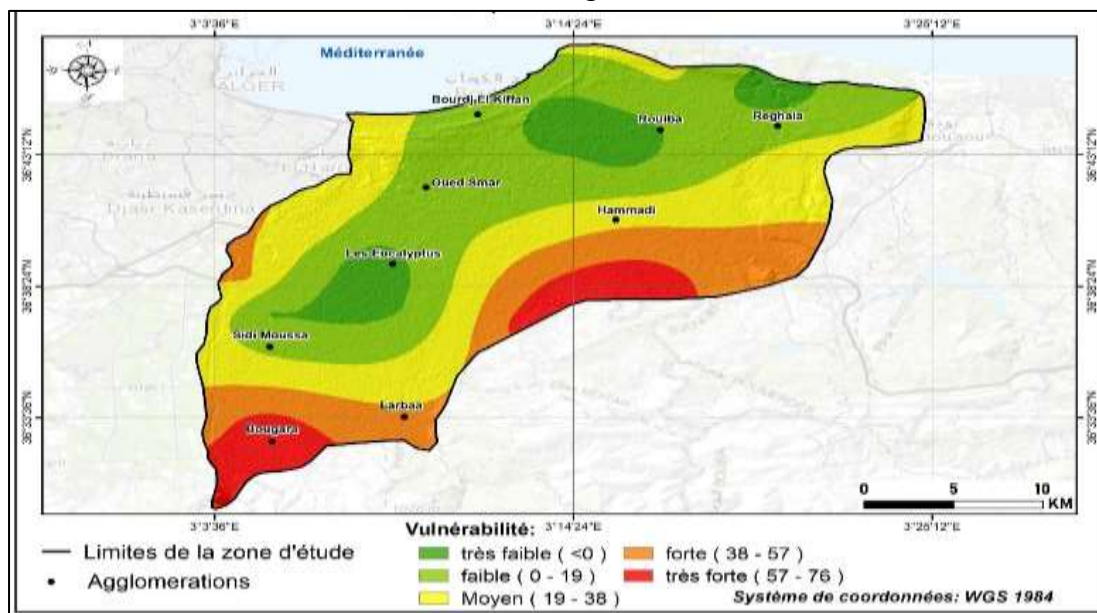


Figure 26 : carte de vulnérabilité relative à la profondeur de la nape de la Mitidja-est (Mai 2018)

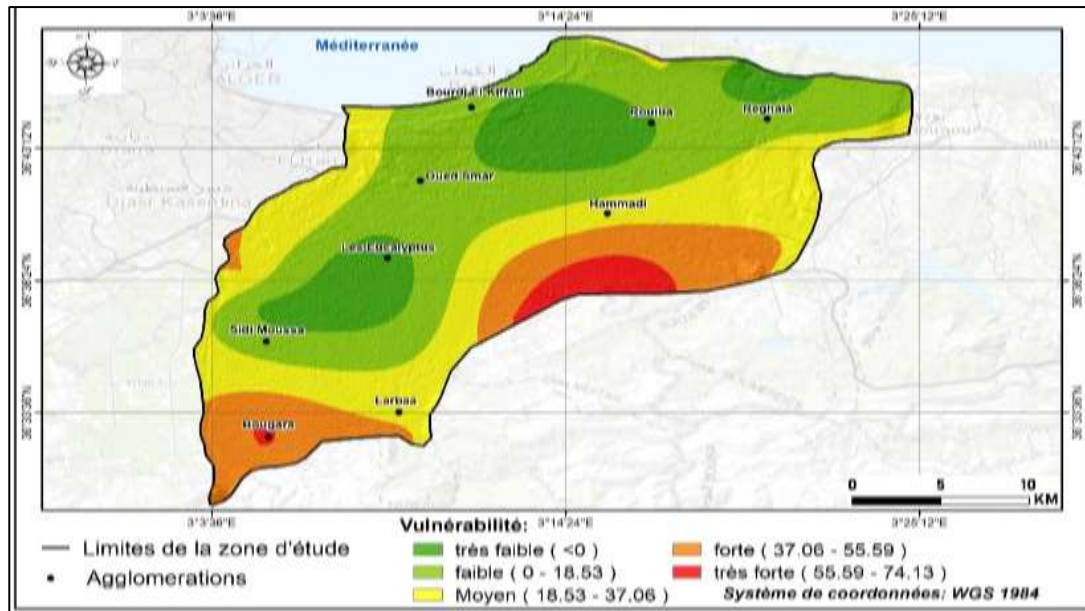


Figure 27 : carte de vulnérabilité relative à la profondeur de la nappe de la Mitidja-est (Octobre 2018)

Ces cartes ont mis en évidence cinq classes de vulnérabilité (très faibles, faible, moyenne, forte et très forte). On remarque que les zones à faibles profondeurs sont les plus vulnérables à la pollution.

### 7.7. L'occupation des sols

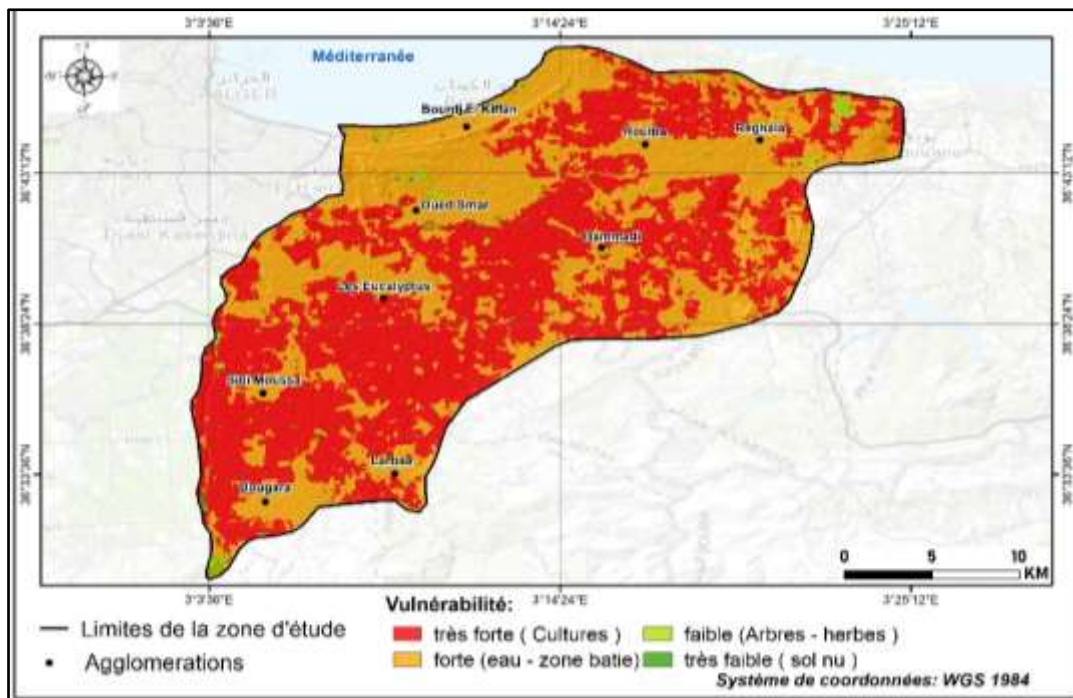


Figure 28 : Carte de vulnérabilité relative à l'occupation des sols de la Mitidja-est

### 7.8. Eloignement des activités agricoles

Les nitrates sont une des principales causes de dégradation de la qualité des eaux souterraines et principalement des nappes phréatiques sont les plus vulnérables. Ils proviennent essentiellement de pollutions diffuses agricoles. On a réalisé cette carte (figure 30) à partir de la carte d'occupation des sol

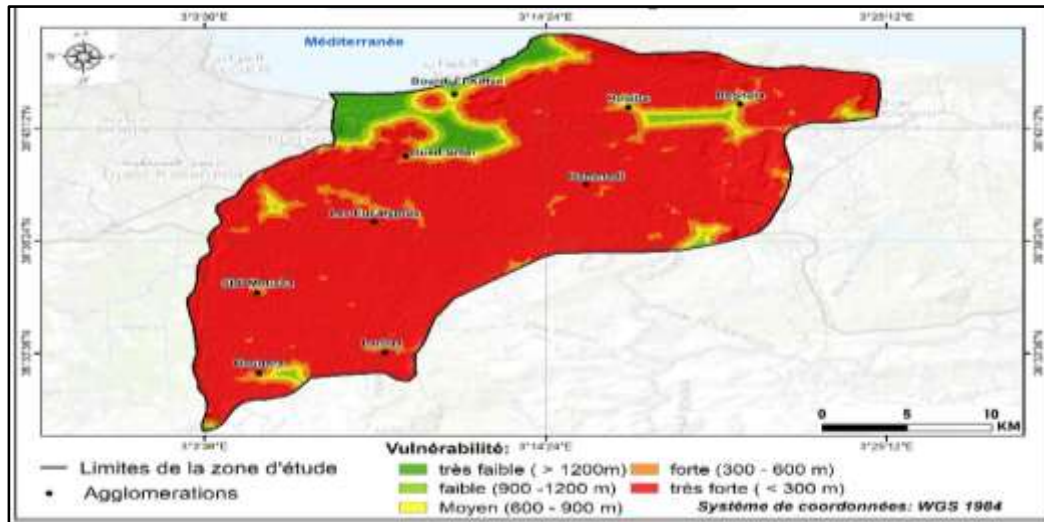


Figure 29: Indice de distances aux zones agricoles

La carte de l'indice de distance des zones agricole obtenue montre cinq classes de vulnérabilité : [ $> 1200$ ]: très faible; [ $900-1200$ ]: faible; [ $600- 900$ ]: moyenne ; [ $300-600$ ]: forte; [ $< 300$ ]: très forte. Les zones à très faible et faible vulnérabilité occupent une faible aire à l'extrême Nord de la Mitidja-Est. Les zones à forte vulnérabilité présente la majeure partie de la région d'étude

### 7.9. La recharge nette

La recharge nette représente la quantité d'eau qui pénètre dans la surface du sol et atteint la nappe phréatique. Cette eau de recharge est disponible pour transporter un contaminant verticalement vers la nappe phréatique et horizontalement à l'intérieur de l'aquifère. En général, plus la recharge est élevée, plus le potentiel de pollution des eaux souterraines est important. L'équation suivante a été utilisée pour calculer la valeur de recharge nette (Piscopo 2001) :

$$\text{Valeur de la recharge} = \text{Facteur de pente} + \text{Facteur de précipitations} + \text{Facteur de perméabilité du sol}$$

### 7.10. La carte de l'indice de pente

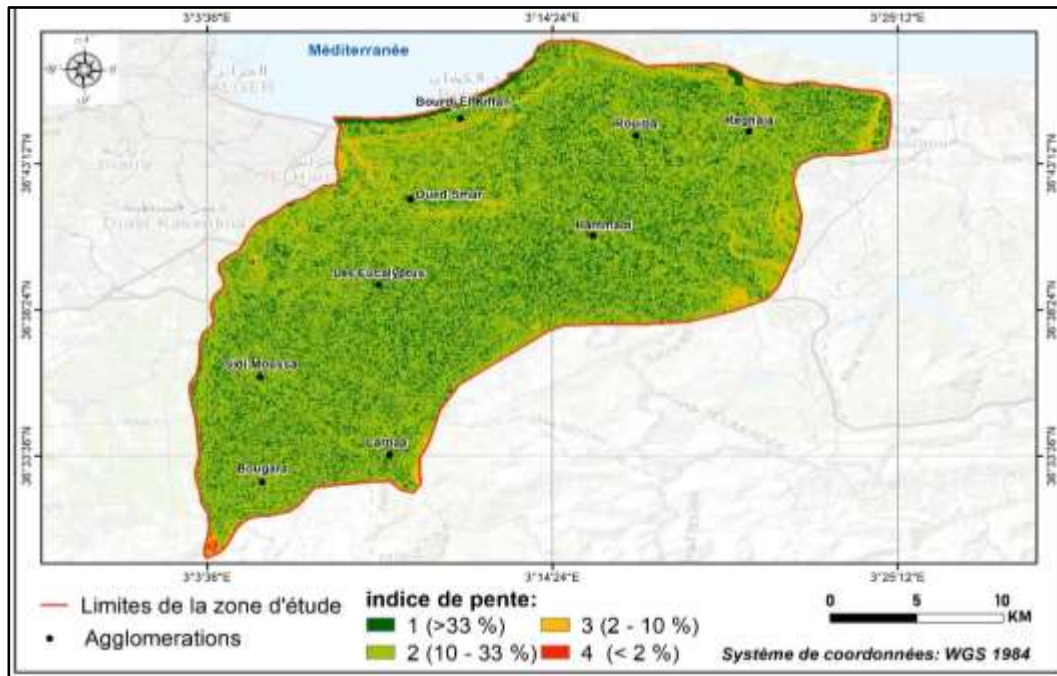


Figure 30 : Carte de l'indice de pente de la Mitidja-est

Pour le paramètre de la pente nous avons établi la carte de pente à partir du traitement de la carte satellite STRM avec le logiciel 10.8 La carte des pentes a mis en évidence quatre classes allant de moins de 2% à 33%. La région d'étude est caractérisée par des pentes faibles ce qui favorise l'infiltration plutôt que le ruissellement et donc une éventuelle pollution qui se produit à la surface serait ainsi entraînée vers la nappe.

### 7.11. Carte de l'indice des précipitations

La recharge des nappes souterraines est directement liée aux quantités d'eau tombées sur leur bassin d'alimentation. l'infiltration des eaux de pluie s'introduisent dans les zones de recharges et s'infilte vers la nappe.

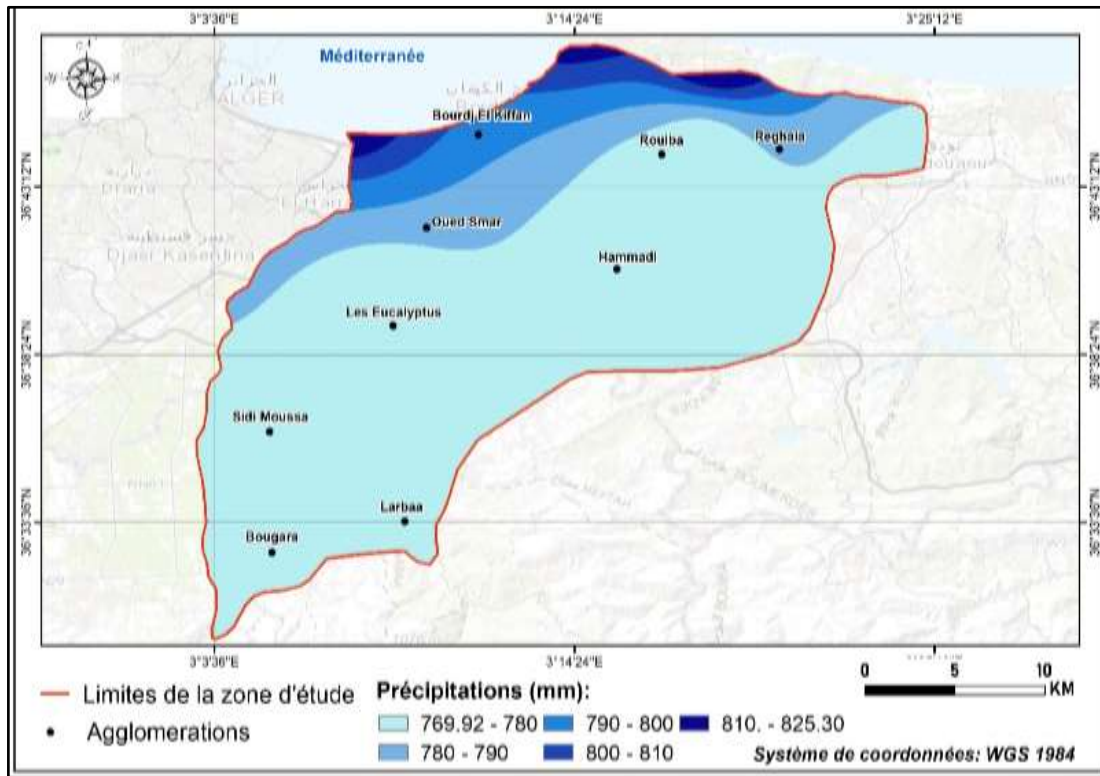


Figure 31 : Carte des précipitations dans la zone de Mitidja-est(2018)

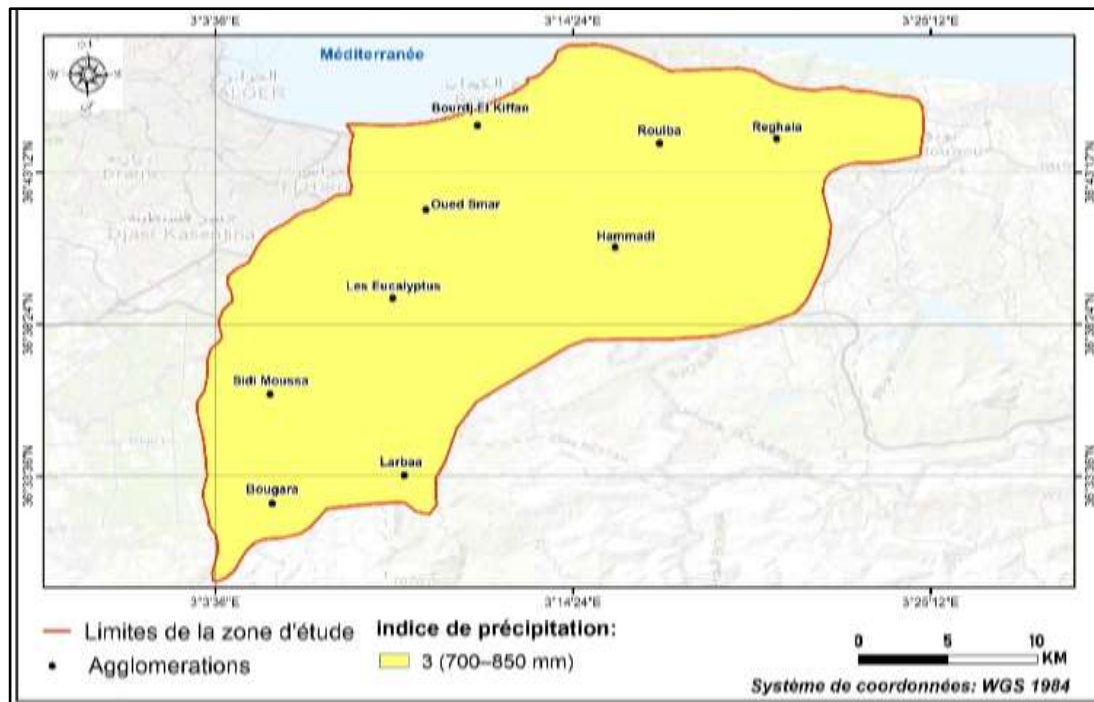
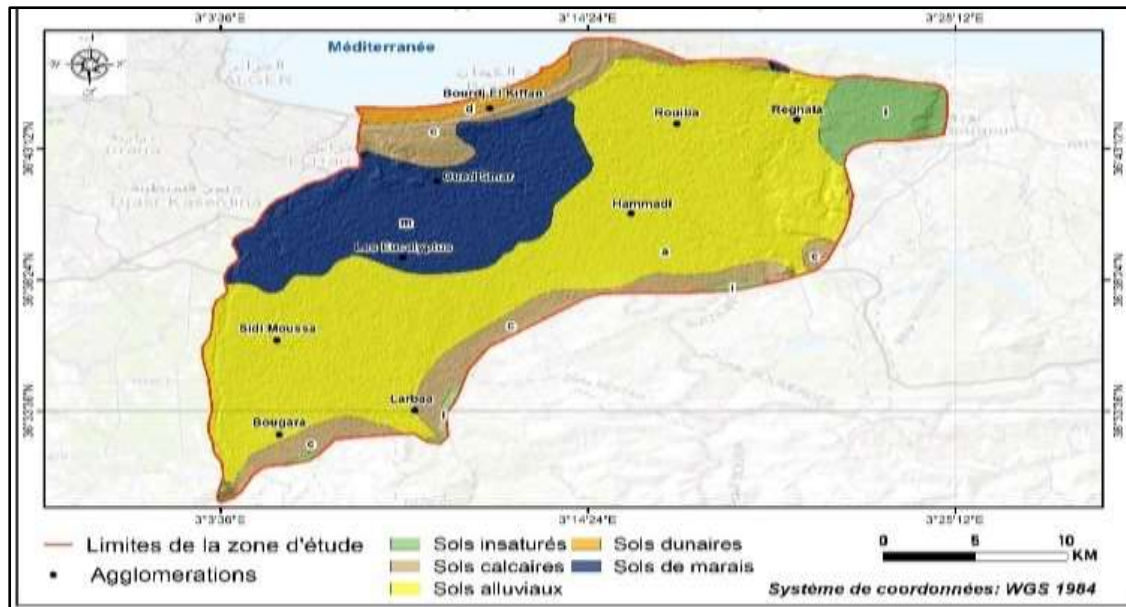


Figure 32: Carte de l'indice de précipitation dans la zone de la Mitidja-est

La carte de précipitation a mis en évidence 5 classes des précipitations qui varient de 769,92 à 810 mm. La carte de l'indice de précipitation est réalisée à partir de la carte de précipitation et le tableau (tableau 22).

### 7.12. La perméabilité des sols

Le sol a un impact significatif sur la quantité de recharge qui peut s'infiltrer dans la nappe phréatique, et donc sur le mouvement des contaminants. La présence de matériaux à texture fine, tels que les argiles, peut réduire la perméabilité relative du sol et limiter la migration des contaminants.



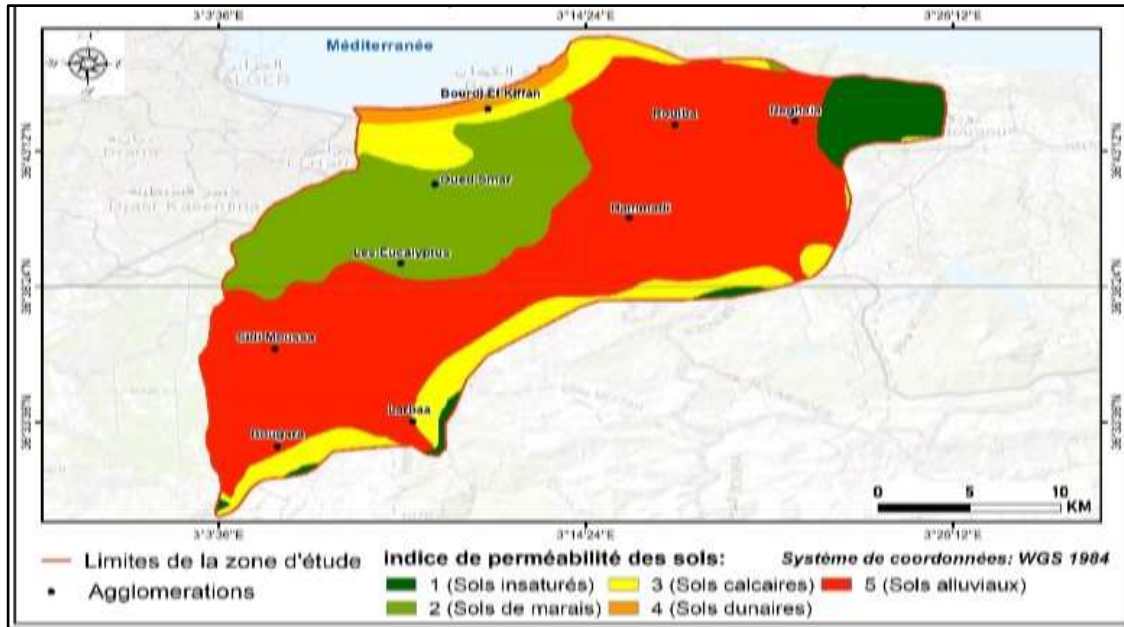


Figure 34 : Carte de facteur de perméabilité des sols de la Mitidja-est

Les cartes de perméabilité relatives au types des sols (figure 33 et 34) mettent en évidence cinq classes de très faible à très forte perméabilité (de 1 à 5). Les zones à forte et très forte perméabilité sont localisées à Bourdj El Kiffan, Bougara, Larbaa, Sidi Moussa, Hammadi, Rouiba et Réghaia, correspondant aux classes des sols de marais et les sols alluviaux.

### 7.13. Carte de la recharge nette

Après avoir réalisé les cartes des indices de pente, de précipitation et celui des types des sol on a obtenu la carte suivante (figure 35)

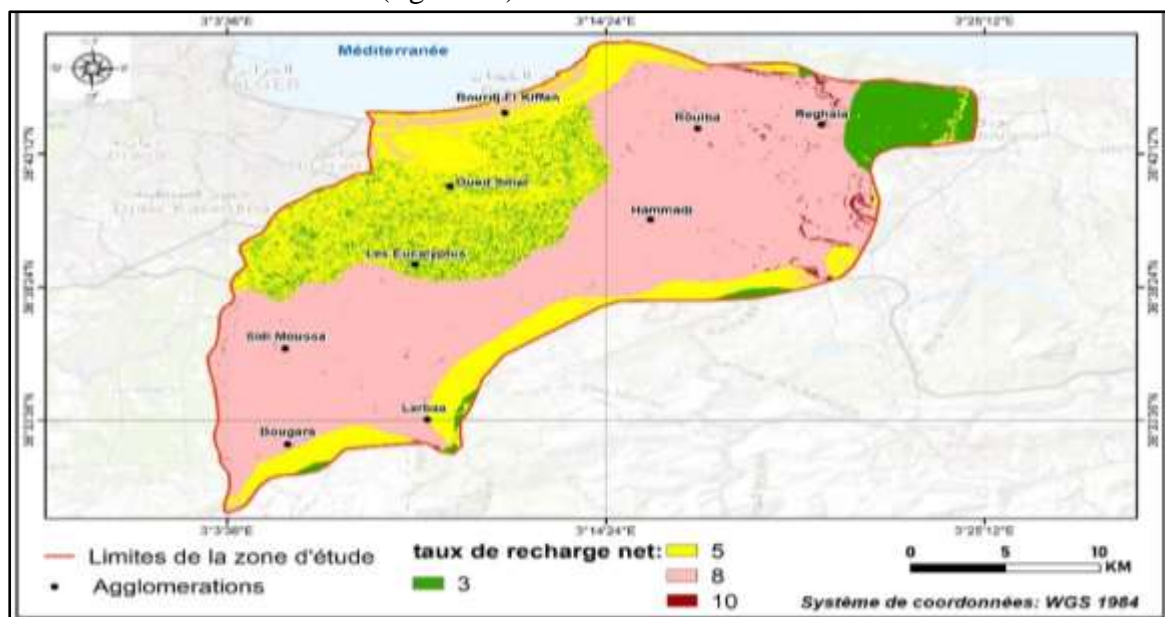


Figure 35 : carte de vulnérabilité relative au taux de la recharge nette de la nappe de la Mitidja-est

Plus la recharge est importante, plus le risque de pollution des eaux souterraines est grand.

#### 7.14. L'éloignement de la mer

Les zones proches de la mer sont plus vulnérables à la pollution, et la surexploitation des eaux souterraines conduit à l'avancement des eaux salées vers les aquifères.

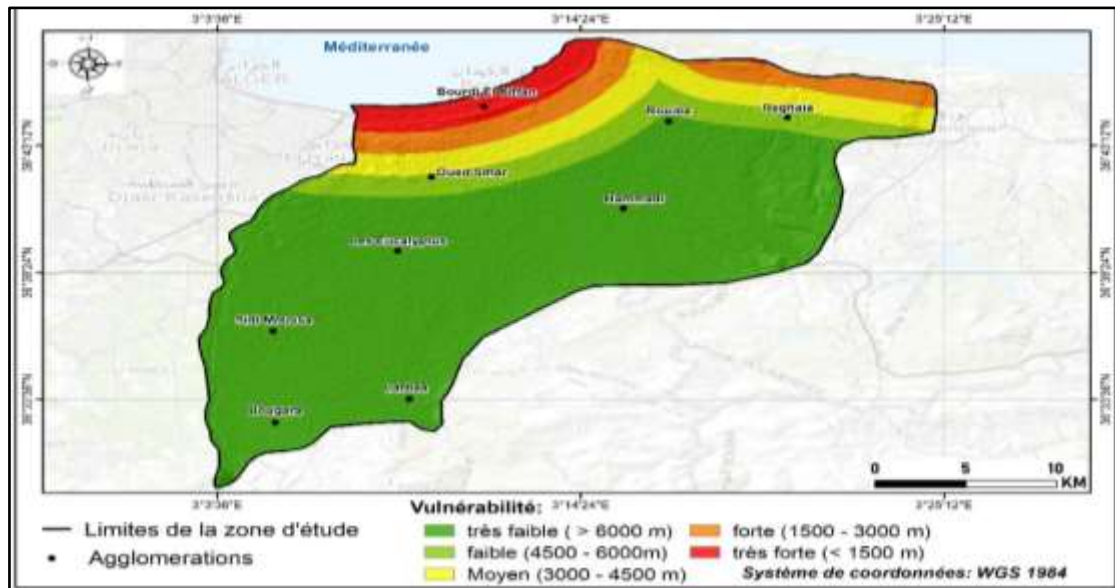


Figure 36 : Carte de l'influence de la mer sur la vulnérabilité des eaux souterraines de la Mitidja-est

La carte (figure 36) nous montre que les zones proches de la mer sont plus vulnérables à la pollution par l'intrusion marine à cause de l'abaissement de niveau piézométrique qui est dû à la surexploitation de la nappe

#### 7.15. Le réseau hydrographique

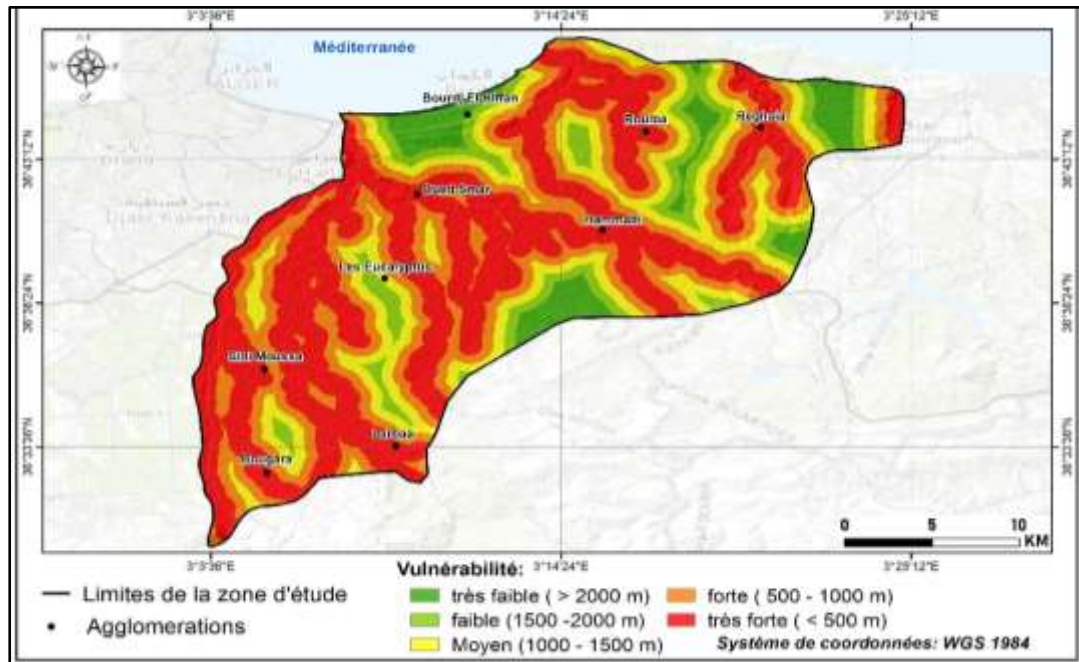


Figure 37 : carte de l'influence du réseau hydrographique sur la vulnérabilité des eaux souterraines de la Mitidja-est

Cette carte (figure 37) a mis en évidence 5 classes de vulnérabilité : très faible ( $> 2000$  M) ; faible (1500-2000 m) ; moyenne (100-1500) ; forte ( 500-1000 m) ; très forte ( $< 500$  m), et cela nous montre que les zones proche des cours d'eau sont les plus vulnérables.

## 8. Résultats:

La superposition des cartes thématiques nous a permis d'obtenir les cartes de vulnérabilités de la nappe alluviale de la Mitidja-est. La superposition se fait par l'addition des produits de la cote de la chaque critère et son coefficient de pondération.

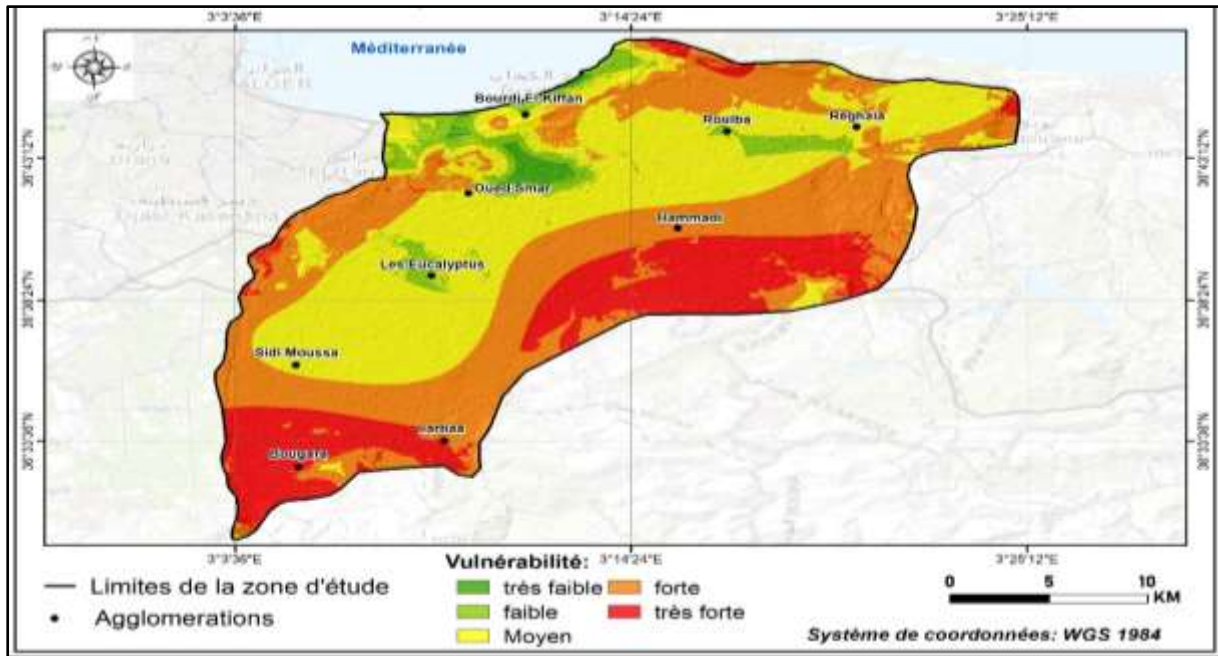


Figure 38: Carte de vulnérabilité de l'exposition des eaux souterraine de la Mitidja-Est à la contamination par NO<sub>3</sub> ( période des hautes eaux 2018)

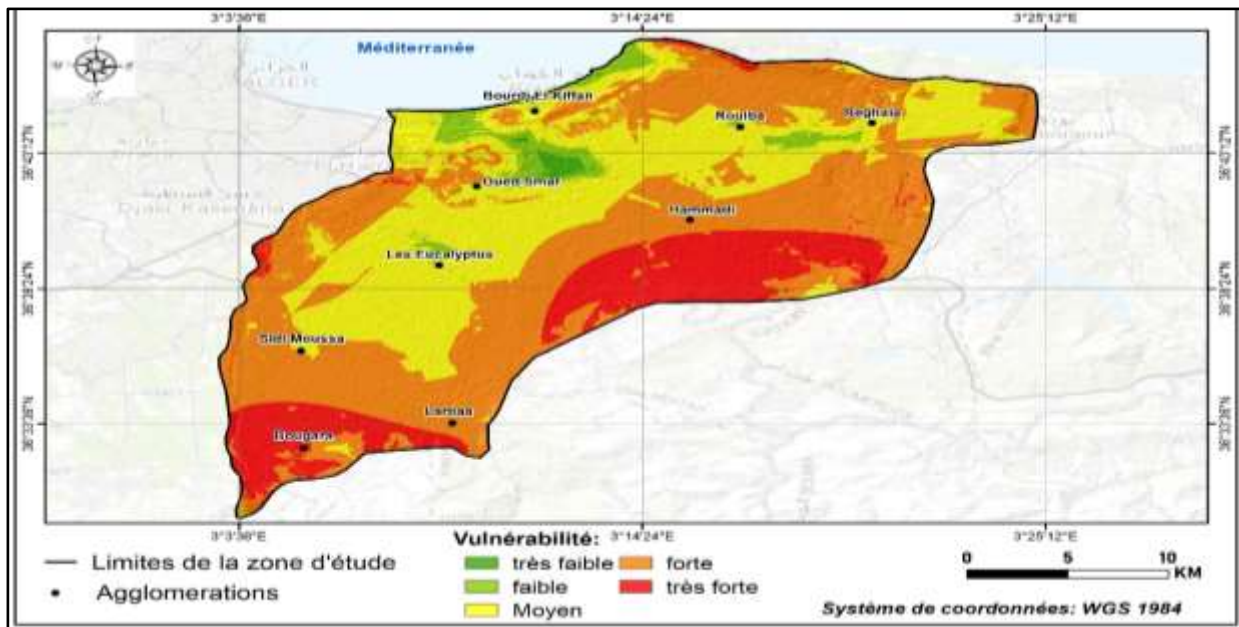


Figure 39: Carte vulnérabilité de l'exposition des eaux souterraines de la Mitidja-Est à la contamination par NO<sub>3</sub>( période des basses eaux 2018)

Les cartes de vulnérabilités sont le résultat de la superposition des cartes des facteurs régissant la vulnérabilité de la nappe au risque de contamination par les nitrates. Ainsi établies

elles ont permis de distinguer cinq zones de différents degrés de vulnérabilité : les zones à très faible et faible vulnérabilité occupent une faible aire à l'extrême Nord. La zone à moyenne vulnérabilité est répartie sur plusieurs endroits de la zone d'étude. La zone à forte et très forte vulnérabilité présente couvre la majeure partie de la zone d'étude. Dans cette zone, les activités doivent être contrôlées notamment l'emploi des fertilisants, des engrais et des produits phytosanitaires qui doit être rationnel.

## 9. Conclusion

L'étude de l'occupation du sol de la Mitidja-est nous montre que l'agriculture est la principale source de pollution des eaux souterraines à cause de l'utilisation de grandes quantités d'engrais chimiques qui s'infiltrent vers la nappe.

L'étude de la lithologie des sols de la région a permis d'en déterminer les textures. Il s'agit des sols alluviaux qui occupent la grande partie de la zone d'étude. Les sols insaturés occupent une petite partie à l'Est de la plaine, tandis que la texture calcaire occupe le Sud et le Nord de la zone d'étude. Les sols dunaires occupent le Nord de la zone d'étude et enfin les sols de maris occupent le centre de la zone d'étude et l'extrême Ouest.

En ce qui concerne la topographie, la région d'étude est caractérisée par des pentes faibles favorisant l'infiltration qui à son tour entraînerait une contamination vers la nappe.

Ce travail a permis de tirer les résultats suivants :

- La zone où la nappe est à très faible profondeur est donc facilement accessible par un polluant, s'étend sur le périmètre de la zone d'étude et présente une forte susceptibilité à la pollution par les nitrates.
- Le secteur où la nappe se trouve à très forte profondeur, donc moins vulnérable à la pollution, est localisée au centre et au Nord de la zone d'étude.
- La carte de profondeur de la nappe nous montre une surexploitation. C'est ce qui favorise la contamination des eaux souterraines par l'échange des cours d'eau avec la nappe par infiltration.

# *Conclusion générale*

## CONCLUSION GENERALE

la plaine de Mitidja-est couvre une superficie de 510 Km<sup>2</sup>. Elle s'étale de l'Oued Réghaïa à l'Est jusqu'à l'Oued El Harrach à l'Ouest et repose entre les collines du Sahel au Nord et le bloc montagneux atlasique au Sud. Au centre de la plaine, l'altitude est de l'ordre de 30 m. Du point de vue administratif, la Mitidja orientale est partagée entre trois Wilaya : Alger à l'Ouest, Boumerdes à l'Est et Blida au Sud-ouest.

La plaine orientale de la Mitidja est une région agricole côtière du Nord Algérien. Ses caractéristiques topographiques, pédologiques et climatiques ont permis l'installation des conditions favorables à l'agriculture.

La zone d'étude est partagée entre trois sous bassins ; le sous bassin d'Oued ElHarrach, sous bassin d'Oued el Hamiz et le sous bassin de Réghaïa qui est intégré dans le bassin de Hamiz.

Les besoins en eau de la zone d'étude pour l'irrigation est estimé de 1,5 hm<sup>3</sup>/an ; d'ici 2035 et les besoins d'alimentation en eau potable passeront de 34 millions m<sup>3</sup>/an en 2018 à 40 millions m<sup>3</sup>/an en 2030, (AGIRE, 2021).

La plaine de la Mitidja-est correspond à un bassin formé par subsidence, couvert de dépôts plio-quaternaires. La synthèse géologique et hydrogéologique de la zone d'étude montre trois niveaux importants. Les grès astiens reposent sur un substratum argileux-marneux du Plaisancien et les marnes d'El Harrach sus-jacents constituent un niveau semi-perméable. En couverture superficielle, vient la formation quaternaire de la Mitidja, formée d'alluvions grossières. La série de remplissage renferme deux niveaux aquifères, l'Astien captif essentiellement gréseux et les formations alluvionnaires de la Mitidja du Quaternaire, représentant la nappe libre d'une transmissivité moyenne de l'ordre de 1,5 à  $2.10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s et de coefficient d'emmagasinement qui varie entre 1,7 à  $10.10^{-3}$  (Binie et *al.*, 1983). Ces aquifères sont séparés par la formation argileuse semi-perméable d'El Harrach. Exceptionnellement, à Rouiba, ils sont en contact direct suite à une érosion complète de l'horizon argileux.

Le sens de l'écoulement souterrain se fait du Nord vers le Sud où la zone d'alimentation principale est l'Atlas Blidéen et en amont des Oueds de la région d'étude, mais au Nord de la zone, l'écoulement des eaux souterrains s'inverse du Nord vers le Sud. Ce comportement est expliqué par l'intrusion marine. Les cones de depression observées à Reghaïa, Rouiba, Eucalyptus et Bougarasont dûs au pompage dans les champs captants.

La zone d'étude, est soumise à un climat tempéré caractérisé par deux saisons, la première humide allant du mois de novembre au mois de mai et une seconde sèche allant du mois de juin au mois d'octobre. Ce climat est influencé par une précipitation moyenne annuelle de l'ordre de 605,64 mm/an, avec une température moyenne annuelle de 17,9 °C. L'estimation des différents termes du bilan hydrologique de la station de Chiffa sur la période 1991-2011, a permis de constater que 75 % des précipitations de la Mitidja-est retourne vers l'atmosphère sous forme d'évaporation et d'évapotranspiration. En effet, plus de 9 % des précipitation assure l'alimentation de la nappe de la zone d'étude. C'est une valeur qui est relativement considérable par rapport aux conditions climatiques.

L'étude hydrochimique des eaux souterraines a permis d'apprécier leur qualité chimique, ces eaux souterraines présentent un pH de 7,5 à 8,3 traduisant une eau basique ou alcaline.

Les eaux de la nappe de la Mitidja-est présentent un faciès chloruré-calcique et sulfaté magnésien influencé par l'infiltration des eaux superficielles principalement les précipitations et le lessivage des formations lithologiques.

Les teneurs en nitrate dans les eaux souterraines varient entre 24 mg/l et 100 mg/l. Plusieurs points sont contaminés par la pollution nitraté car la teneur en ce polluant est supérieure à la norme (50 mg/l). la présence des nitrates dans les eaux souterraines est deessentiellement à l'utilisation excessive des engrais azotés en agriculture.

La cartographie de la vulnérabilité spécifique aux nitrates des eaux de la nappe de la Mitidja-esta été établie par la méthode AHP. Dansl'application de cette méthode a multicritères, on a choisit 2 goupes de paramètres l'un est lié au polluant (nitrate) et l'autre lié à la nature de l'aquifère et le sol. Il en ressort :

- La zone où la nappe est à très faible profondeur est donc facilement accessible par un polluant, s'étend sur le périmètre de la zone d'étude et présente une forte susceptibilité à la pollution par les nitrates.
- Au centre et au Nord de la zone d'étude, la nappe présente un faible degré de susceptibilité à la pollution nitraté. Ceci à cause de plusieurs paramètre qui empêchent ou retardent le transfert des nitrates vers les eaux souterraines telle la profondeur de la nappe, la nature lithologique du réservoir et en particulier de la zone non saturée.

Au terme de ce rapport et en vue de préserver les eaux souterraines de la Mitidja-est sur le plan qualitatif et quantitatif, il ressort les recommandations suivantes :

- Effectuer un contrôlepériodique de la qualité chimique et physico-chimique des eaux souterraines par des analyses et des mesures in-situ ;
- Utilisation de façon rationnelles les produits phytosanitaires et les engrais ;
- Supprimer les rejets des eaux usées à ciel ouvert.
- Eviter les décharges anarchiques et sauvages ;
- Eviter la surexploitation de la nappe de la Mitidja-est par l'orientation de la demande vers d'autres types de ressources telles que les superficielles et les eaux non conventionnelles ;
- Réduire les débits de pompage d'eau souterraine dans les zones sensibles à lapénétration du biseau d'eau salée ;
- Instalerdes périmètres de protections pour les forages et puits de pompage dans la plaine de la Mitidja-est.

# *Références bibliographiques*

**REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUES**

- ALLER L., BENNETT T., LEHR J., PETTY R., HACKETT G. (1987)** : Drastic: A standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings. National Water Well Association.
- AYME A. (1956)** : Contribution à l'étude de la plaine de la Mitidja occidentale et de sa bordure atlasique. Cartes géologiques d'Algérie.
- BELAIDI. M et REBEGAOUI. H. (1995-200)** : Note sur l'évolution de la profondeur de la nappe de la Mitidja. Section surveillance des nappes. A.N.R.H. Blaida. Algérie.
- BENNIET PARTNERS, 1983** : Schéma d'aménagement des ressources en eau d'Alger Sébaou. Mission B ; Evolution des ressources, rapport B1 ; reconnaissances des bassins versants
- CDER (2003)** : Hydrogéologie de la plaine de la Mitidja orientale
- DJOUDAR D. et HELLAL D. (1993)** : Approche du comportement hydrodynamique d'un système aquifère. Zone : oued El Harrach – oued El Hamiz. Mémoire d'ingénieur d'État, USTHB, Alger, Algérie.
- DROUCHE A. (2012)** : Contribution à l'étude de la vulnérabilité spécifique à la pollution par les éléments en traces métallique et les hydrocarbures : cas de la nappe d'eau souterraine de la Mitidja-est.
- GENG Q. Z. (1988)** : Modélisation conjointe du cycle de l'eau et du transfert des nitrates dans un système hydrologique. Thèse de doctorat à l'Ecole des Mines de Paris.
- GLANGEAUD L. (1932)** : Étude géologique de la région littorale de la province d'Alger, Algérie. Thèse, Bordeaux. KNESSE A. (1967)
- GLANGEAUD A., (1952)** : Etude géologique de la région littorale d'Alger. Bull. Serv. Carte. Géol. Algérie., 2ème série, n°8, 2 tomes.
- GLANGEAUD L. et Ayeme. A. (1952)** : Histoire géologique de la province d'Alger. XIX.
- Khoualed et Remili (2016)** : Mise en évidence de l'intrusion marine vers les aquifères côtiers : cas de la plaine de la Mitidja orientale 73 p. Université de Ouargla, Algérie
- SIR M MACDONALD & Partners Limited (1992)** : Etude de l'aménagement hydroagricole de la plaine de la Mitidja. Rapport : ressources en eau souterraine. Ministère de l'agriculture.