

**UNIVERSITE KASDI MERBAH - OUARGLA -**  
**FACULTE DES HYDROCARBURES ET DES ENERGIES**  
**RENOUVELABLE**  
**ET SCIENCES DE LA TERRE ET L'UNIVERS**  
**Département des Sciences de la Terre et de l'Univers.**



**MEMOIRE DE MASTER ACADEMIQUE**  
**Domaine : Sciences de la terre et de l'univers**  
**Filière : Géologie**  
**Spécialité : Hydrogéologie**

**THEME**

**Mise en évidence de l'intrusion marine vers les**  
**Aquifères côtiers : cas de la plaine de Mitidja**  
**Orientale**

*Soutenu publiquement par :*

- **KHOUALED Radja**
- **REMILI Safaa**

**Devant le jury :**

<b>Président :</b>	M <sup>er</sup> . BELKSEIR Mohammed Saleh	M.C.B Univ. Ouargla
<b>Promoteur :</b>	M <sup>er</sup> . BOUSELSAL Boualem	M.C.A Univ. Ouargla
<b>Examineur :</b>	M <sup>er</sup> . HOUARI Idir Menad	M.A.A Univ. Ouargla

**Année Universitaire : 2016/2017**

## *Remerciements*

*Ce mémoire, ne pourrait exister sans l'aide et l'engagement d'un certain nombre de personnes qui ont décidé de nous accompagner résolument dans notre parcours.*

*Que tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué par leurs conseils, leurs encouragements et leur assistance à l'aboutissement de ce travail, trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude.*

*Tout d'abord, nous tenons à remercier notre encadreur ; Monsieur BOUSELSAL Boualem pour les efforts qu'il n'a cessé de ménager pour nous aider et nous orienter, jusqu'à la finalisation de ce modeste travail. Qu'il trouve ici le témoignage de notre grande reconnaissance.*

*On voudrait exprimer nos vifs remerciements aux employés de l'ANRH LA D.R.E ET SEEAL D'ALGER .plus particulièrement M<sup>r</sup>. BELAIDI Mouloud, M<sup>r</sup>. RICHE Mourad, M<sup>me</sup> BERDJA Farida, M<sup>me</sup> MEKHLOUF Nouara*

*Nous tenons à adresser nos remerciements au personnel du  
Département de l'hydrogéologie*

*Nous tenons aussi à remercier Chacun des membres du jury ; M<sup>r</sup>. BELEKSAIR Mohamed Saleh et M<sup>r</sup>. HOUARI Idir Menad  
Pour nous avoir fait l'insigne honneur d'accepter d'examiner notre  
Travail.*

*Enfin, Par crainte d'avoir oublié quelqu'un, que tous ceux et  
Toutes celles dont nous sommes redevables se voient vivement  
Remerciés.*

## Résumé

La plaine de la Mitidja est située dans l'arrière-pays d'Alger et couvre une superficie de 1 450 km<sup>2</sup>. Son système aquifère est constitué des alluvions du quaternaire et des formations gréseuses ou gréso-calcaire du pliocène. L'interprétation des résultats des sondages électriques (2013), Indique que la zone affecté par l'intrusion marine est celle qui s'étend depuis Bordj El Kiffan jusqu'à la rive droite d'Oued El Hamiz. La comparaison de la piézométrie de 2014 avec celle de 1983 montre un abaissement du niveau de la nappe, avec inversement du sens d'écoulement. L'étude de l'évolution du chimisme des eaux de cette nappe (2017), conduit à conclure que la minéralisation de l'eau s'accroît vers la mer .Ce qui indique une potentielle invasion marine vers l'aquifère côtier.

**Mots clés : Mitidja, Aquifère côtier, l'intrusion marine, la piézométrie, les sondages électriques, chimisme des eaux.**

## Abstract

The plain of Mitidja is located in the hinterland of Algiers and covers an area of 1,450 km<sup>2</sup>. Its aquifer system consists of the alluvium of the quaternary and of the sandstone or Greece-limestone formations of the pliocene. The interpretation of the geophysical data result's (2013) indicates that the area affected by the marine intrusion is that which extends from Bordj El Kiffan to the right bank of Oued El Hamiz. The comparison of the piezometry of 2014 with that of 1983 shows a lowering of the level of the aquifer, with a reversal of the flow direction. The study of the evolution of the water chemistry of this aquifer (2017) leads us to conclude that the mineralization of water is accentuated towards the sea .this indicates a potential marine invasion towards the aquifer coastal.

**Key words: Mitidja, Coastal aquifer, marine intrusion, piezometry, geophysics, water chemistry.**

## ملخص

يقع سهل المتيجة في المنطقة الساحلية الشرقية للجزائر العاصمة وتغطي مساحة 1450 كم<sup>2</sup> . يتكون نظام المياه الجوفية بها من تكوينات جيولوجية من الترسب الطيني للحقبة الرابعة وتكوينات من الحجر الرملي و الحجر الجيري البليوسيني. تحليل تسجيلات السبر الكهربائي لسنة 2013 تشير إلى أن المنطقة المتضررة من تسرب مياه البحر هي التي تمتد من برج الكيفان إلى الضفة اليمنى من واد الحمير .مقارنة الخريطة البيزومترية لسنة 1983 مع الخريطة البيزومترية لسنة 2014 تدل على انخفاض مستوى المياه الجوفية و تغير اتجاه التدفق و الذي نتج عنها اجتياح مياه البحر للخزان المائي في المناطق الساحلية .الدراسة الكيميائية للمياه الجوفية سنة 2017 , تؤدي إلى استنتاج مفاده أن تراكيز العناصر الكيميائية ترتفع في اتجاه البحر , الذي يشير إلى وجود إمكانية تسرب مياه البحر إلى المياه الجوفية الساحلية.

**كلمات البحث : المتيجة, المياه الجوفية الساحلية, تسرب مياه البحر, البيزومترية, السبر الكهربائي, كيمياء المياه .**

## Table des matières

Résumé et abstract.....	1
Liste des figures et des tableaux.....	
Introduction générale .....	1

### Partie I:

#### Généralités sur la zone d'étude

1. Cadre géographique et géomorphologique .....	2
1.1. Situation géographique.....	2
1.2. Aspects socio-économiques de la Mitidja.....	3
1.2.1. Population :.....	3
1.3. Cadre géomorphologique .....	4
2.2. Caractéristiques morpho métriques.....	7
2.2.1. Paramètres géométriques.....	7
3 .Contexte Climatologique .....	10
3.1. La pluviométrie .....	10
3.2. Les températures .....	11
3.3. Diagramme Ombrothermique .....	12
3.4. Bilan hydrique.....	13
4.1 Stratigraphie .....	14
4.1.1 Le Quaternaire .....	15
4.1. 2. Le Tertiaire .....	17
4.2. Aperçu structurale .....	19
4.3. Aperçu paléogéographique.....	20
4.4. Tectonique.....	22
5. Etude hydrogéologique .....	24
5.1. Présentation de l'aquifère de Mitidja .....	24
5.2. Géométrie des systèmes aquifères .....	24
5.3. Caractéristiques hydrodynamique local de la baie d'Alger .....	26
5.4. La piézométrie.....	28
5.5. La production en AEP des champs de captage de la Mitidja Est.....	30
6. Conclusion .....	31

### Partie II:

#### Méthodologie

1. Mécanismes de l'intrusion marine .....	32
---	----

1.2. Cause de l'intrusion marine .....	34
1.3. Facteurs déterminants dans l'évolution de l'intrusion marine.....	34
2. Méthodes d'étude de l'intrusion marine .....	35
2.1. Etude géophysique du phénomène de l'intrusion marine dans la Mitidja Est .....	35
2.1.1 Méthodes de prospection électrique .....	35
2.1.2. Etalonnage du sondage électrique .....	38
2.1.3. Echelle des résistivités :.....	41
2.1.4. Présentation des données géo électriques.....	42
2.2. Etude de la piézométrie.....	42
2.3. Etude hydro chimique .....	43
3. Conclusion .....	44

### **Partie III**

#### **Résultats et discussion**

1. Mise en évidence de l'intrusion marine par la géophysique.....	45
1.1. Interprétation des Cartes des résistivités apparentes.....	45
1.1.1. Cartes des résistivités apparentes (AB=40 et AB=100) : .....	45
1.1.2. Cartes des résistivités apparentes (AB=300 et AB=400) : .....	47
1.2. Interprétation des Pseudo-sections et coupes géo électriques :.....	48
1.3. Interprétation de la Carte de la résistance transversale : .....	51
1.4. Interprétation Carte des isohypses du toit de substratum conducteur :.....	52
1.5. Cartographie de biseau salé :.....	53
2. Mise en évidence de l'intrusion marine par la cartographie piézométrique .....	54
2.1. Interprétation des cartes piézométriques de la période 1983-2014.....	54
1.2. Variation du niveau piézométrique :.....	57
3. Mise en évidence de l'intrusion marine par l'hydrochimie .....	59
3.1. Les paramètres physico-chimiques .....	59
3.2. Evolution de la conductivité électrique dans la baie d'Alger .....	59
3.3. Classification hydro chimique des eaux souterraines .....	62
3.3.1. Présentation du logiciel Diagrammes .....	62
3.3.2. Représentation graphique des faciès hydro chimiques:.....	63
3.4. Etudes des rapports caractéristiques.....	64
3.4.1. Le couple Ca – Cl :.....	64
3.4.2. Le Couple SO <sub>4</sub> – Cl :.....	64
3.4.3. Le Couple Na – Cl :.....	65

3.5. Evolution spatiale des paramètres physicochimiques .....	66
3.5.1. Evolution spatiale de la conductivité.....	66
3.5.2. Evolution spatiale des teneurs en chlorures.....	67
3.5.3. Evolution spatiale des teneurs en Calcium et en Magnésium .....	67
4. Conclusion .....	70
Conclusion générale.....	71
Bibliographie .....	73

## LISTE DES FIGURES

Figure 1:	Situation géographique générale de la plaine de la Mitidja.	2
Figure 2:	Situation géographique de la Mitidja Orientale.	3
Figure 3:	Les sous bassins versants de la Mitidja Est.	5
Figure 4:	Réseau hydrographique du bassin versant de la Mitidja Est.	6
Figure 5:	Carte des altitudes des deux bassins versants (Harrach et Hamiz).	8
Figure 6:	Courbe hypsométrique du bassin versant du Hamiz-Reghaia	9
Figure 7:	Histogramme des précipitations moyennes mensuelles, Période (1985-2015)	11
Figure 8:	Histogramme des précipitations moyennes annuelles (1985-2015)	11
Figure 9:	Histogramme des Variations de la température à la station de Dar El Beida	12
Figure 10:	Courbe pluvio-thermique de la zone d'étude.	12
Figure 11:	Carte géologique de la plaine de la Mitidja (D'après Mac Donald et Partners, 1992)	15
Figure 12:	Coupes géologiques dans la région d'El Harrach. 1-SE/NW.	17
Figure 13:	Coupes géologiques dans la partie Ouest du bassin Mitidja. 2- SE/NW	17
Figure 14:	Log litho stratigraphique de la plaine de la Mitidja.	19
Figure 15:	Coupes schématiques montrant l'histoire paléogéographique de la Mitidja(L. Glangeaud 1952)	21
Figure 16:	Activité sismo-tectonique de la Mitidja	23
Figure 17:	Coupe interprétative transversale de la Mitidja dans le bassin de Mazafran (Achie 1971).	24
Figure 18:	Schéma du système aquifère (M. Mac Donald & Partners, Février 1992)	25
Figure 19:	Localisation des dunes côtières (Ayme ,1962)	26
Figure 20:	Carte des iso-valeurs des transmissivités de la Baie d'Alger (m <sup>2</sup> /jour), (Binnie et Atkins, 1983)	27
Figure 21:	Carte des perméabilités de la nappe alluviale de la Mitidja Est.	27
Figure 22:	Piézométrie de l'aquifère de la Mitidja, juin 1968 (Géohydraulique, Sep1970).	28
Figure 23:	Carte piézométrique de la Baie d'Alger Avril (2011).	29
Figure 24:	La production des champs de captage de la Mitidja Est.	30
Figure 25:	Coupes schématiques d'un aquifère côtier en équilibre hydrostatique	33
Figure 26:	Impact d'un pompage sur l'interface eau douce/eau salée selon le principe de Ghyben-Herzberg	33
Figure 27:	Le dispositif quadripôle de Schlumberger	36
Figure 28:	Les matériels de sondages électriques	36
Figure 29:	Etalonnage du sondage électrique A1 à l'aide de logiciel Ipi2win	38
Figure 30:	Etalonnage du sondage électrique A2 à l'aide de logiciel Ipi2win	39
Figure 31:	Etalonnage du sondage électrique B4 à l'aide de logiciel Ipi2win	40
Figure 32:	Réseau de surveillance de la baie d'Alger et forages d'eau des champs de captage De la SEAL	43
Figure 33:	Carte des résistivités apparentes AB=40	46
Figure 34:	Carte des résistivités apparente AB=100	46
Figure 35:	Carte des résistivités apparentes AB=300	47
Figure 36:	Carte des résistivités apparentes AB=400	48
Figure 37:	Pseudo-section de profil (A)	49
Figure 38:	Coupe géo électrique de profil (A)	49
Figure 39:	Pseudo-section de profil (B)	50
Figure 40:	Coupe géo électrique de profil (B)	50

Figure 41:	Pseudo-section de profil (C)	50
Figure 42:	Coupe géo électrique de profil (C)	50
Figure 43:	Carte de la résistance transversale	51
Figure 44:	A) Carte synthétique du toit de substratum marneux, B) Profil de l'allure de substratum marneux	52
Figure 45:	Carte schématique de biseau salé dans la baie d'Alger 2013	53
Figure 46:	carte piézométrique de la Mitidja Est 1983	55
Figure 47:	Carte piézométrique de la Mitidja Est (Mai 2014)	56
Figure 48:	Variation du niveau piézométrique PZ2 (zone Hamiz)	58
Figure 49:	Carte d'isovaleur des conductivités des eaux souterraines de 1982 (J. Mania)	59
Figure 50:	Carte d'isovaleur des conductivités des eaux souterraines de 2009	60
Figure 51:	profils de conductivité à différentes profondeurs 2017	60
Figure 52:	Représentation de l'interface du logiciel d'hydrochimie	62
Figure 53:	Diagramme de Piper sur les analyses d'eau de la baie d'Alger, Campagne de Février 2017	63
Figure 54:	Relation Ca – Cl	64
Figure 55:	Relation SO <sub>4</sub> – Cl	64
Figure 56:	Relation Na– Cl	65
Figure 57:	Evolution de la conductivité en fonction de la distance à la mer	66
Figure 58:	Evolution de la teneur en chlorures en fonction de la distance à la mer	67
Figure 59:	Evolution de la teneur en calcium en fonction de la distance à la mer	67
Figure 60:	Evolution de la teneur en magnésium en fonction de la distance à la mer	68

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1:	Paramètres géométriques des sous bassins versants	7
Tableau 2:	Répartition altimétrique d'altitudes du bassin versant de l'oued El Hamiz	8
Tableau 3:	Les caractéristiques de relief de bassin versant du Hamiz-Reghaia	9
Tableau 4:	Caractéristiques des stations pluviométriques	10
Tableau 5:	Précipitations moyennes mensuelles de Mitidja Est (1985-2015)	10
Tableau 6:	Variation de la température à la station de Dar El Beida (1985-2015)	11
Tableau 7:	Calcul de bilan hydrique par la méthode de Thornthwaite (Hamiz 1985-2015)	13
Tableau 8:	Récapitulation des différents stades d'évolution de la Mitidja	22
Tableau 9:	Description de Sondage étalon A1	39
Tableau 10:	Description de sondage étalon A2	40
Tableau 11:	Description de sondage étalon B4	41
Tableau 12:	(A).Le rapport caractéristique de Todd (r Cl - / rHCO-3). (B) Les résultats du RC des eaux de la Mitidja	69



# *Introduction générale*

## **Introduction générale**

Les aquifères côtiers constituent des ressources en eau importantes dans les zones littorales, où l'on observe des fortes densités démographiques et une intense activité agricole. Cependant, l'exploitation de ces nappes pose des problèmes complexes car elle associe la notion des réserves des eaux souterraines à celle de leur qualité. Dans les conditions naturelles, sans perturbation, un état d'équilibre s'établit entre les deux fluides (eau de mer et eau douce), et la zone de contact sera stationnaire et située au sein de la nappe. Toute exploitation intensive, peut entraîner l'abaissement de la surface piézométrique qui pourrait atteindre des côtes inférieures au niveau de la mer, ce qui provoque une rupture de l'équilibre existant entre les deux fluides et engendre une intrusion saline à l'intérieur de la nappe. Cette intrusion peut se traduire par une avancée pouvant atteindre plusieurs kilomètres.

En effet, ce phénomène peut engendrer la formation de véritables langues d'eau salée en forme d'un biseau liée principalement à : la différence de la charge hydraulique, l'effet densitaire (eau salée, plus dense que l'eau douce), et la nature géologique de l'aquifère encaissant. En Algérie, le phénomène a pris de l'ampleur ces vingt dernières années à cause de la sécheresse qui a frappé le nord algérien, associé aux pompages excessifs et anarchiques. Aujourd'hui, toutes les régions du littoral algérien (1200 km) sont menacées par ce phénomène ; plusieurs lieux de contaminations des nappes ont été signalés le long du littoral.

Ce travail est une contribution à la compréhension du phénomène de l'intrusion marine vers les aquifères côtiers : cas de la plaine de Mitidja orientale en combinant plusieurs méthodes d'étude : la Piézométrie, la géophysique et l'hydrochimie.

Le travail proposé est structuré selon trois parties:

**Partie 1 : Généralités sur la zone d'étude** ; nous présentons des généralités sur la zone d'étude, relatives à la situation géographique, aux caractéristiques socio-économiques de la région, à la hydro-climatologie, la géologie et l'hydrogéologie.

**Partie 2 : Méthodologie** ; nous présentons les mécanismes de l'intrusion marine vers les aquifères côtiers et les travaux pratiques réalisés pour mettre en évidence les mécanismes de salinisation des eaux souterraines de la plaine de Mitidja orientale.

**Partie 3 : Résultats et discussions** ; nous présentons et nous interprétons les résultats obtenus pour mettre en évidence les mécanismes de salinisation des eaux souterraines.

A l'issue de ce travail nous présentons une *Conclusion générale et des Recommandations* faisant sortir les résultats de l'étude et à prendre en considération.

*Partie I*

*Généralités sur la zone*

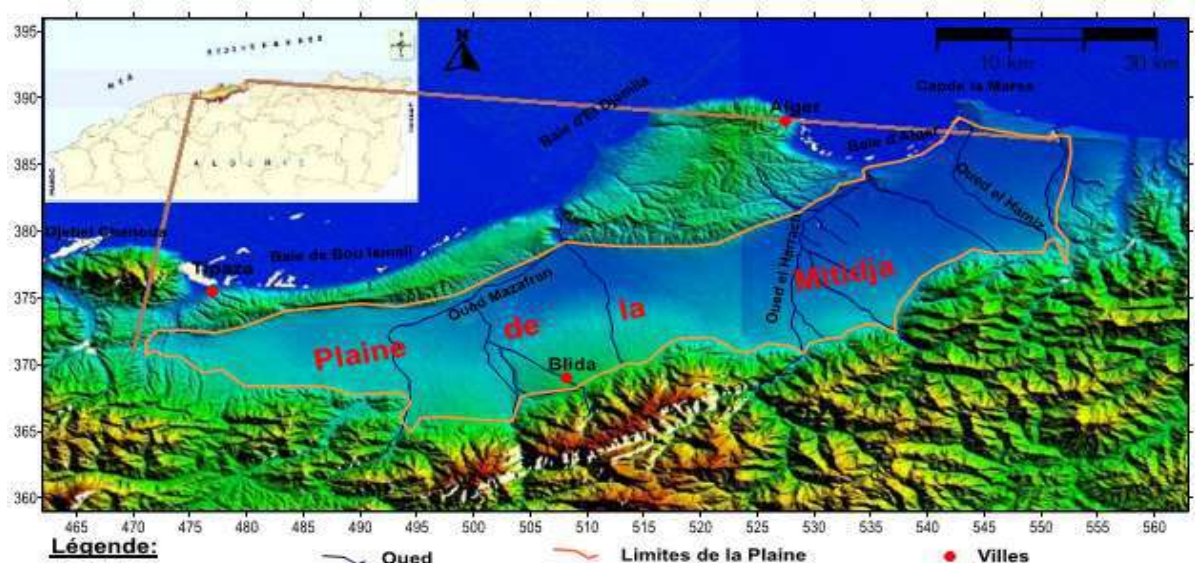
*d'étude*

## 1. Cadre géographique et géomorphologique

### 1.1. Situation géographique

La plaine de la Mitidja couvre une superficie de 1 450 km<sup>2</sup>. Cette plaine qui est située dans l'arrière-pays d'Alger, est une dépression allongée d'ouest en est, et s'incurve en direction ouest-sud-ouest, est-nord-est de Blida jusqu'à l'oued El Hamiz et la mer. Elle est orientée parallèlement au relief côtier, et de faible pente vers le Sahel et vers la mer, l'altitude moyenne est de 50 m.

Comme la présente la figure1, on peut définir quelques éléments délimitant la plaine de la Mitidja partant du Sud vers le Nord : L'Atlas Blidéen, culmine à 1 600 m, avec des pentes très fortes (supérieurs à 30%) qui sont sujettes à une érosion intense. Le Piémont de l'Atlas, avec une altitude qui varie entre 200 et 600 mètres, présente des conditions favorables pour un développement agricole. Elle est limitée à l'ouest par l'oued Nador et à l'est par l'oued Boudouaou, et par le sahel et la baie d'Alger au nord.



*Figure1: Situation géographique générale de la plaine de la Mitidja.*

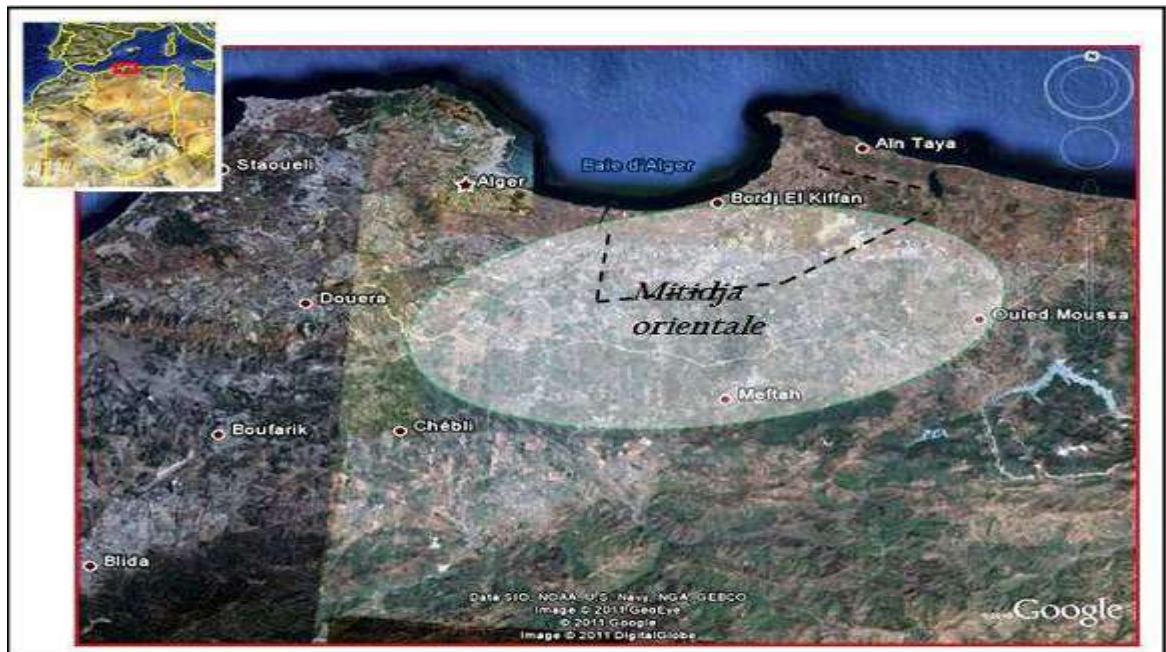
**La plaine de Mitidja est divisée en deux :**

- La Mitidja de l'Est ou basse Mitidja, qui est la zone qui fait l'objet de notre étude.
- La Mitidja de l'ouest ou haute Mitidja.

La Mitidja orientale est séparée de la Mitidja occidentale par la baie d'Alger qui divise le sahel en deux, la région d'étude présentée par la Mitidja orientale, fait partie du bassin versant de la Mitidja codé (02) par l'Agence Nationale des Ressources Hydriques. La Mitidja Est, est limitée par le Sahel au Nord l'Atlas Blidéen au Sud, Oued Reghaia à l'Est et El Harrach à l'Ouest (Fig.2).

### La Mitidja orientale :

S'étend depuis l'oued El Harrach à l'ouest jusqu'à l'oued Boudouaou à l'Est suivant un axe orienté OSO-ENE s'étale vers le sud sur une dizaine de kilomètres de la côte jusqu'au massif de Blida. Son unité physique est remarquable, elle est isolée de la mer par la ride du Sahel, qui s'estompe à l'est d'Alger et disparaît au droit de la cluse de Réghaïa. L'espace d'étude occupe la partie septentrionale de la plaine de la Mitidja Est qui est en contact direct avec la mer et qui la limite au Nord, tout comme l'oued El Harrach à l'ouest et l'oued de Réghaïa à l'est. Du point de vue topographique, la baie d'Alger est caractérisée par un relief relativement plat avec des altitudes comprises entre 0m et 20m dans la partie Nord et Nord Est, par contre la partie Sud-Ouest est caractérisée par un relief accidenté dont l'altitude maximale atteint environ 45m.



*Figure2: situation géographique de la Mitidja Orientale.*

## 1.2. Aspects socio-économiques de la Mitidja

### 1.2.1. Population :

D'ouest en Est, la plaine traverse successivement les wilayas de Tipaza, de Blida, d'Alger, de Boumerdès et l'extrême nord-est de Médéa. De nombreuses agglomérations occupent les lisières de la Mitidja, dont quatre importants centres urbains situés aux points cardinaux : Alger au nord, Blida au sud, Médéa au sud-est, Boumerdès à l'est et Tipaza à l'ouest, le centre de gravité étant occupé par Boufarik. Ces centres urbains sont nés dans leur majeure partie pendant la colonisation française pour le besoin d'encadrer les exploitations agricoles et d'assurer les biens et services.

**1.2.2. Végétation et agriculture :** La majorité de la zone est irriguée par pompage privé des eaux souterraines de la nappe quaternaire et les cultures les plus pratiquées sont de type maraîcher (tomate, pommes de terre, piment, carottes, navet...), ou les sols de cette région est parmi les plus fertiles en Algérie.

**1.2.3. Industrie :** La région est l'une des plus importants pôles industriels de l'Algérie (zone industrielle de Reghaia et Rouïba). L'image de cette région se caractérise par le poids des industries chimiques et agro-alimentaires (sucreries, unités laitière,...). En plus de ces branches, la région est connue aussi par ses industries de textile, de conserves de poissons, de plastique et produits pharmaceutiques.

### 1.3. Cadre géomorphologique

**1.3.1. Le relief :** La plaine de la Mitidja est une dépression longue d'environ 100 km sur 15 à 20 km de large resserrée entre l'Atlas blidéen au sud, et le sahel au Nord, elle est largement ouverte sur la mer, sur une trentaine de kilomètres. Dans sa partie ouest, les collines du sahel entrent au contact du massif montagneux de chenoua (905 m) et rejoignent, au plateau de fadjana, les premières hauteurs de l'Atlas (djebel thebarrarine au sud, 853 m).

La plaine de la Mitidja présente une pente douce du sud au nord, de l'Atlas vers les collines. Cinquante mètres seulement entre Ahmeur-el-Ain et le fond du lac halloula. De l'extrémité ouest d'Alger, sur 70 km, la plaine ne communique avec la mer que par l'intermédiaire d'oued Nador et 40 km plus loin par le mazafran.

**1.3.2. Les unités Géomorphologiques :** La plaine de la Mitidja offre sur le plan géomorphologique une assez grande homogénéité. Ce phénomène est lié à la nature subsidence de cette unité. Le paysage apparaît ainsi sous différents aspects. Du Nord au Sud on peut définir les unités géomorphologiques suivantes :

**a. Le Sahel:** C'est une région littorale d'altitude moyenne de 200m représentée par un bombement anticlinal à faible pente.

**b. La plaine:** C'est une dépression en forme de carène dont l'altitude varie entre 10 et 100m d'Est en Ouest. Elle est coincée entre le sahel et l'Atlas Blidéen.

**c. L'Atlas Blidéen:** Il représente la case départ des cours d'eau qui traversent la plaine. Son altitude moyenne est de 1600m.



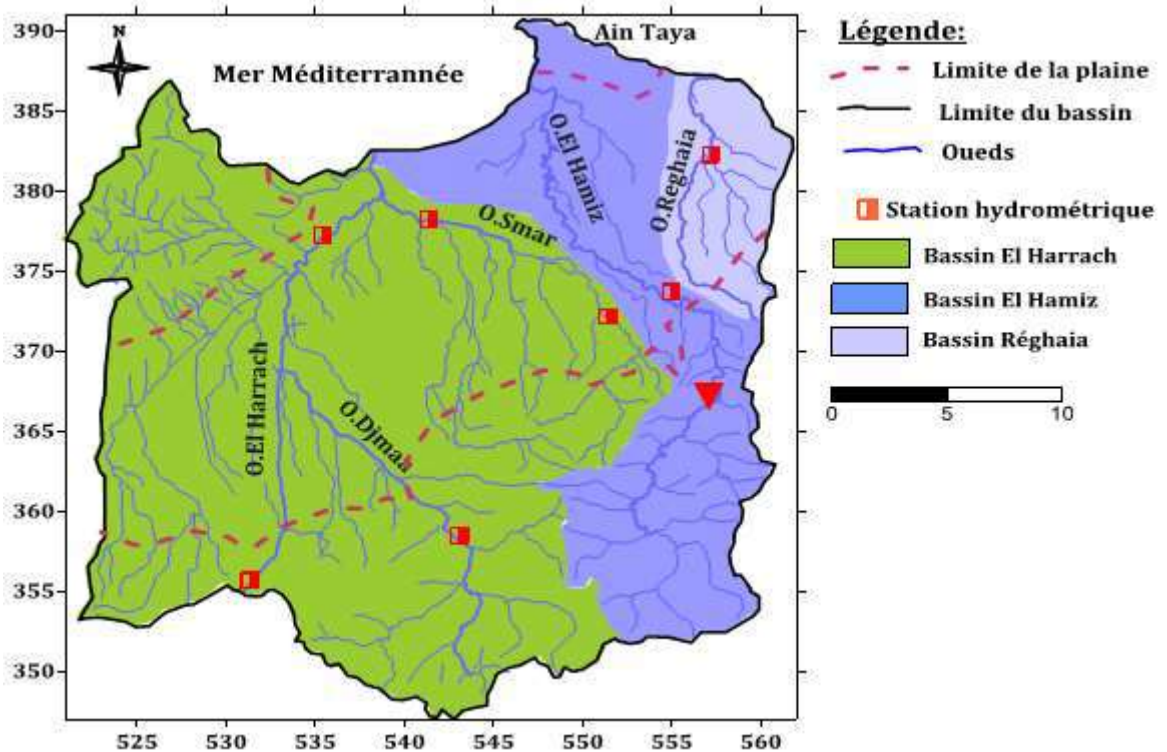
**1.3.3. Couvert végétal :** Elle joue un rôle important dans le comportement hydrologique du bassin. Elle a une influence mécanique sur le ruissellement superficiel, en plus du fait qu'elle conditionne l'évapotranspiration et donc le bilan hydrologique du bassin. La plaine de la Mitidja est une région agricole très intensive, en raison de sa topographie et de sa fertilité. Les activités agricoles les plus répandues sont l'arboriculture et les cultures maraîchères.

La végétation en tant que facteur de pédogénèse a été presque complètement détruite par une exploitation intensive, autant dire qu'aujourd'hui, elle n'existe presque plus. Cependant, les forêts de Reghaia et le bois de Boulogne au Sud de la ville de l'Arbaa sont parmi les seuls vestiges de cette végétation naturelle. Cette végétation est constituée, principalement, d'une association de chêne-vert et d'épais bosquets de maquis méditerranéen. Cette végétation naturelle exerçait un rôle prépondérant dans l'évolution des sols.

## 2. Hydrographie

### 2.1. Réseau hydrographique

Cinq oueds principaux drainent la plaine de la Mitidja (Fig.3). Ce sont d'Ouest à Est: Oued Nador (réunion des oueds Bou Ardoun, Meurad et Bourkika), Oued du Mazafran (résultant d'oued Djer grossi de Bou Roumi et la Chiffa avec l'oued Kébir), Oued El Harrach (reçoit sur sa rive droite l'oued Djemaâ et l'oued Smar) et Oued El Hamiz et Oued Réghaïa. Ces trois derniers oueds se jettent directement dans la mer sans rencontrer d'obstacles de relief.



*Figure3: Les sous bassins versants de la Mitidja Est.*

La plaine de la Mitidja orientale est d'une superficie de 510km<sup>2</sup>. Elle est partagée en deux bassins fluviaux principaux (Fig.4) qui sont :

- **Le bassin de l'oued El-Harrach** : Sa superficie est de 1236 km<sup>2</sup>.
- **Le bassin de l'oued Hamiz** : il occupe une superficie de 370 km<sup>2</sup>, situé à l'est de la plaine. Vu la faible superficie du bassin de Reghaia, il est regroupé dans le bassin du Hamiz. Le réseau hydrographique de la plaine de la Mitidja orientale est principalement représenté par trois oueds principaux : Oued El Harrach Oued Hamiz et Oued Réghaia. Ces derniers la traversent perpendiculairement selon des directions méridiennes, avec plusieurs plans d'eau naturels ou artificiels comme le lac Réghaia et le barrage de Hamiz.
- **Oued El Harrach** : il prend naissance dans les monts de Tablât. Cet oued est dévié plusieurs fois. Actuellement il traverse la plaine du sud au nord pour s'infléchir vers le N.E au pied du sahel jusqu'à la cluse d'El Harrach. Vers le milieu de la plaine, oued El Harrach reçoit sur sa rive droite oued Djemaa, qui conclue avec celui-ci avant de se jeter dans la mer. Les affluents de cet oued sont oued Djemââ, oued Smar et oued Boutrik.
- **Oued El Hamiz** : dont les affluents sont l'oued Arbattache, l'oued sekhine. Cet oued qui prend une direction N.O à partir de Fondouk jusqu'à Hamadi se redresse jusqu'au Sahel pour se jeter dans la mer au sud de cap Matifou (Bordj El Bahri).
- **Oued Reghaia** : cet oued est considéré comme un oued secondaire. Ces oueds côtiers présentent un certain nombre de caractéristiques communes : - Ils prennent tous naissance dans l'Atlas et sont tous de dimensions restreintes. - Tous présentent un profil longitudinal divisé en deux parties très distinctes. - Leur pente est très forte en montagne. - Dans un passé récent elles ont été constamment maintenues par le jeu tectonique.

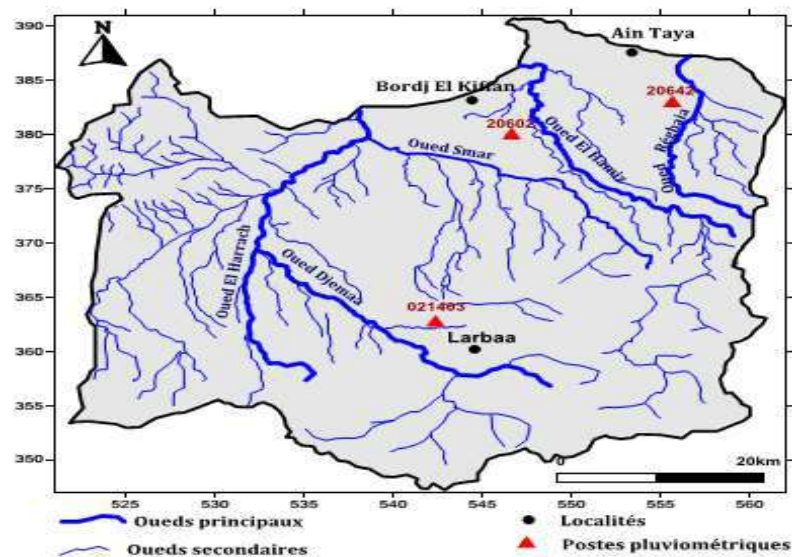


Figure4: Réseau hydrographique du bassin versant de la Mitidja Est.



## 2.2. Caractéristiques morpho métriques

### 2.2.1. Paramètres géométriques

Pour l'estimation de ces paramètres nous avons regroupé les deux sous bassins versants Hamiz et Réghaia sous un seul sous bassin versant dénommé **Hamiz-Réghaia** qui occupe 370 km<sup>2</sup> de la superficie de la Mitidja Est.

Les caractéristiques géométriques et morpho métriques du bassin du Hamiz sont représentées dans le tableau suivant :

**Tableau 1 : paramètres géométriques des sous bassins versants.**

Paramètres	Unité	Formule de calcul	Valeur
superficie (S)	km <sup>2</sup>		370,9
périmètre (P)	km		127,5
longueur du talweg principale (L)	km		
Indice de compacité de GRAVELIUS (K <sub>c</sub> )	%	$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$	1,7
Longeur du rectangle equivalent (L)	km	$L = \frac{K_c \sqrt{A}}{1,12} [1 + \sqrt{1 - (\frac{1,12}{K_c})^2}]$	53,91
Largeur du rectangle equivalent (l)	km	$l = \frac{K_c \sqrt{A}}{1,12} [1 - \sqrt{1 - (\frac{1,12}{K_c})^2}]$	7,62
Facteur de forme (Rf)		L <sup>2</sup> /S	7,83
Indice de conformité (Ic)		S/L	6,88
coefficient de compacité (C)		L/l	7,075

Avec un indice de compacité de l'ordre de 1.7 qui est supérieur à 1, notre bassin est de forme allongée qui traduit un temps de concentration et de ruissellement assez long, donnée confirmé par la forme du rectangle équivalent (L>2l).

**2.2.2. Paramètres de relief :** L'influence du relief sur l'écoulement se conçoit aisément, car de nombreux paramètres hydrométéorologiques varient avec l'altitude (précipitations, températures, etc.) et la morphologie du bassin. En outre, la pente influe sur la vitesse d'écoulement. Le relief se détermine lui aussi au moyen d'indices ou de caractéristiques suivants :

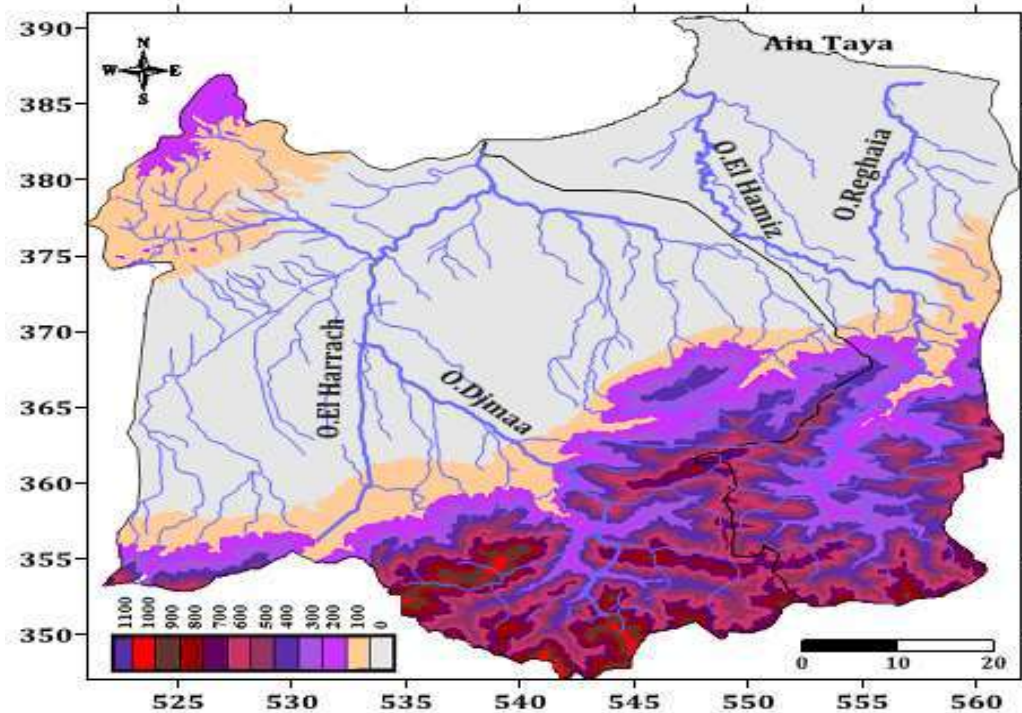


Figure 5 : Carte des altitudes des deux bassins versants (Harrach et Hamiz).

#### a. La courbe hypsométrique

La courbe hypsométrique fournit une vue synthétique de la pente du bassin, donc du relief. Cette courbe représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude. Elle porte en abscisse la surface (ou le pourcentage de surface) du bassin qui se trouve au-dessus (ou au-dessous) de l'altitude représentée en ordonnée. Elle exprime ainsi la superficie du bassin ou le pourcentage de superficie, au-delà d'une certaine altitude.

Tableau 2 : répartition altimétrique d'altitudes du bassin versant de l'oued ElHamiz

Tranche d'altitude (m)	Centre de classe (m)	surface Ai (km <sup>2</sup> )	%Ai	% Ai cumulé	Ai/Hi
0-200	100	175,14	42,79	100	17514
200-400	300	49,12	12	57,21	14736
400-600	500	85,5	20,89	45,2	42750
600-800	700	58,33	14,25	24,31	40831
800-1000	900	35,08	8,57	10,06	31572
1000-1200	1100	6,09	1,49	1,49	6699
		409,26			154102

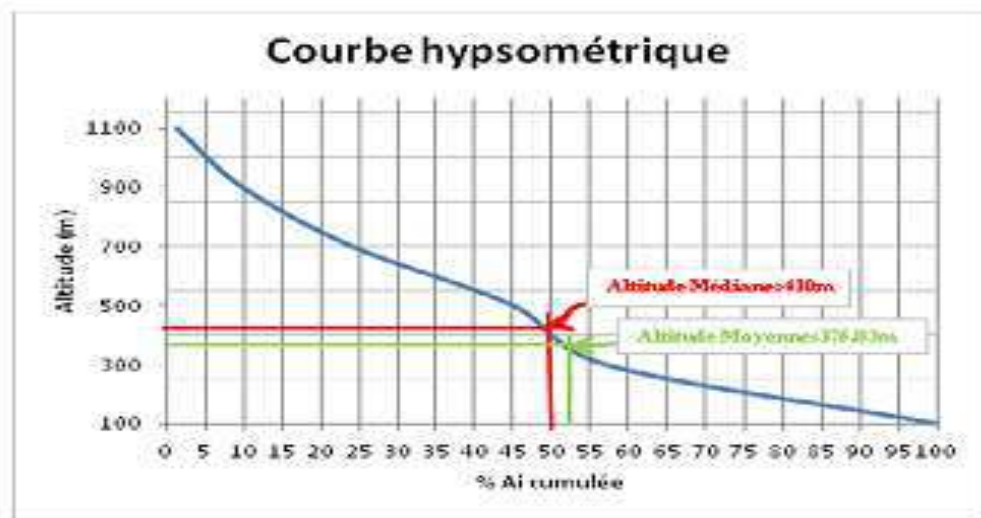


Figure 6: Courbe hypsométrique du bassin versant du Hamiz-Reghaia

La courbe hypsométrique du bassin de Hamiz-Reghaia (Fig.6), montre que plus de 50% de la surface du bassin correspond à des altitudes allant de 0 à 450 m, et que les altitudes supérieures à 300 m sont peu étendues.

**b. Les altitudes caractéristiques :** Le tableau ci-dessous résume les différentes altitudes et l'indice de pente globale.

Tableau 3 : Les caractéristiques de relief de bassin versant du Hamiz-Reghaia

Paramètres	Unité	Formule de calcul	Valeur
Altitude max ( $H_{max}$ )	m		1100
Altitude min ( $H_{min}$ )	m		28
Altitude médiane ( $H_{med}$ )	m		410
Altitude moyenne ( $H_{moy}$ )	m	$H_{moy} = \frac{1}{A} \sum H_i \cdot A_i$	375,03
La Dénivelée totale ( $D_t$ )	m	$H_{max} - H_{min}$	1072
Indice de pente globale ( $I_g$ )		$I_g = \frac{h_{5\%} - h_{95\%}}{L} = \frac{D}{L}$	19,88

L'indice de pente global montre que le sous bassin versant **Hamiz-Réghaia** a un relief relativement **faible**, traduisant ainsi une infiltration favorable optimale qui dépend du ruissellement.

### 3 .Contexte Climatologique

#### 3.1. La pluviométrie

Les données pluviométriques sont recueillies au niveau de 3 stations réparties de façon plus ou moins homogène sur l'ensemble des sous bassins versants de la plaine, couvrant une période de 30ans (1985-2015). Les stations et les postes choisis sont les suivants : Hamiz, Baraki et Reghaia. (Tab.4). Les différentes caractéristiques relatives à ces stations sont regroupées dans le tableau suivant :

**Tableau 4 : Caractéristiques des stations pluviométriques.**

Stations	Code ANRH	Coordonnées Lambert		Altitude (m)
		X	Y	
Baraki	021421	535.05	376.50	25
Hamiz Barrage	020602	558.60	367.40	130
Réghaïa	020632	557.80	382.20	20

La pluviométrie est le paramètre climatique qui joue un rôle majeur dans la recharge des nappes et le développement de réseau hydrographiques. Pour l'étude des précipitations, on exploitera les séries des chroniques disponibles des trois stations citées précédemment.

**3.1.1. Précipitations moyennes mensuelles et annuelles :** Les précipitations sont très irrégulières d'une année à l'autre. Leur répartition au cours de l'année n'est pas homogène, elle dépend de plusieurs facteurs qui sont la latitude et la continentalité.

La pluviométrie moyenne annuelle est de 590.73 mm ; 589.15mm et 702.16mm respectivement pour les stations Baraki, Reghaia et Hamiz. D'après le tableau 5 et figure 7; le mois le plus pluvieux est Novembre pour les stations de Bakari et Raghiaia, et le mois de décembre pour la station de Hamiz. Les plus faibles précipitations sont enregistrées au mois de Juillet et Août.

**Tableau 5: Précipitations moyennes mensuelles de Mitidja Est (1985-2015)**

	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout	annuel
BARAKI	30,1	50,15	98,26	93,7	80,43	72,83	55,2	54,7	34,15	9,5	4,61	7,03	590,73
REGHAIA	28,29	47,49	100,58	90	78,16	77,29	55,14	52,61	42,75	9,59	2,01	5,19	589,15
HAMIZ	32,57	57,95	102,74	103,91	93,53	94,55	72,61	75,47	51,18	9,5	2,41	5,68	702,16

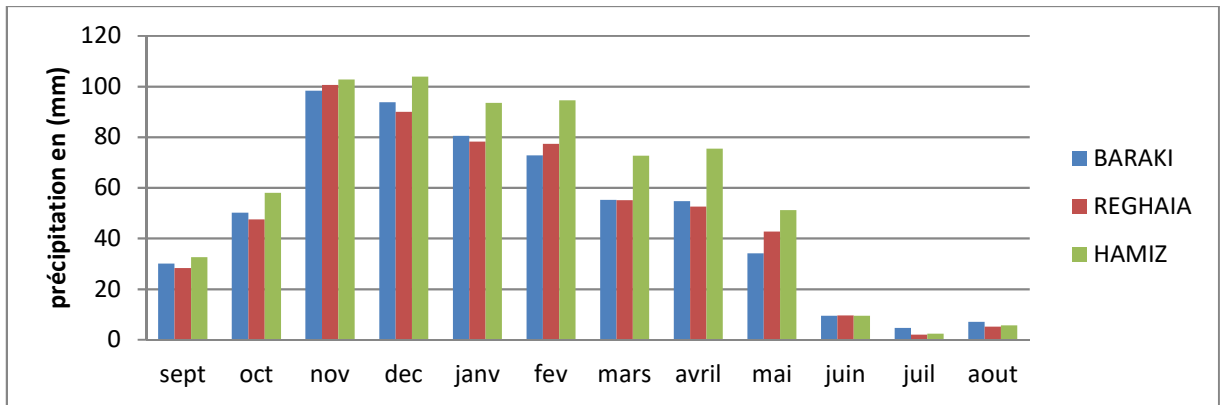


Figure 7: Histogramme des précipitations moyennes mensuelles, Période (1985-2015)

**3.1.2. Précipitations annuelles :** La plaine de la Mitidja montre une pluviosité qui varie dans l'espace et dans le temps. Cette pluviosité varie de 300 à 800 mm, et tombe en 95 jours en moyenne. La pluviosité moyenne annuelle aux différentes stations est d'environ 600 mm, avec une valeur minimale de 204 mm enregistrée en 2001 à la station de Larbaa, et un maximum de 1058 mm à la station de Hamiz barrage en 2002. A cette irrégularité annuelle, s'ajoute une irrégularité interannuelle, les années humides pouvant être deux fois plus arrosées que les années sèches (Fig.8)

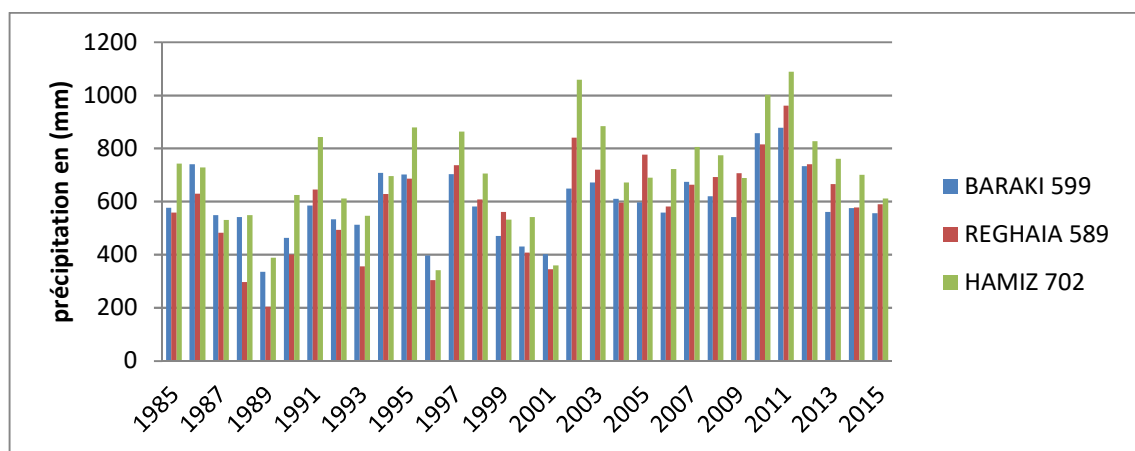


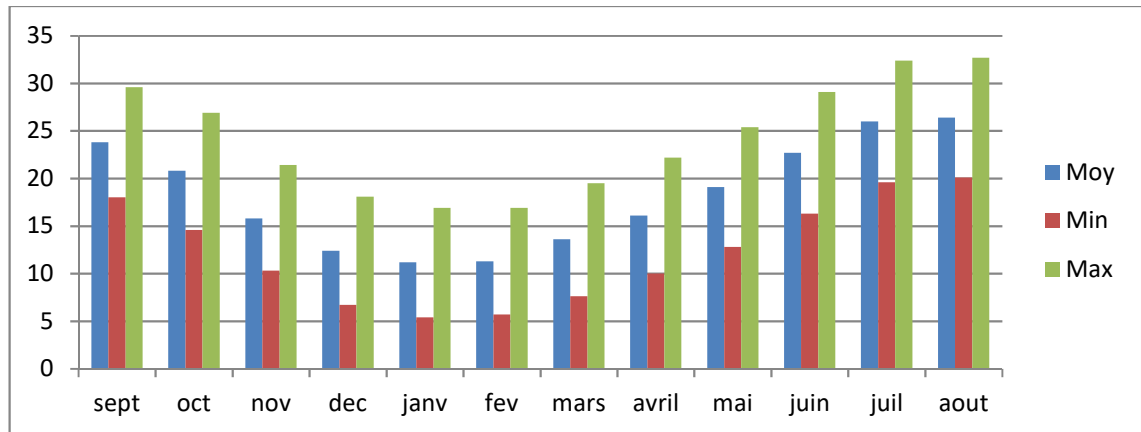
Figure 8: Histogramme des précipitations moyennes annuelles (1985-2015)

### 3.2. Les températures

Ce paramètre est un facteur très important dans l'évaluation du déficit d'écoulement, qui entre dans l'estimation du bilan hydrologique. Les relevés moyens mensuels des températures ont été enregistrés sur une période de 30 ans (1985 à 2015), par la station de Dar el Beida.

Tableau 6 : Variation de la température à la station de Dar El Beida (1985-2015)

	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout	ANNUEL
Moy	23,8	20,8	15,8	12,4	11,2	11,3	13,6	16,1	19,1	22,7	26	26,4	18,3
Min	18	14,6	10,3	6,7	5,4	5,7	7,6	10	12,8	16,3	19,6	20,1	12,3
Max	29,6	26,9	21,4	18,1	16,9	16,9	19,5	22,2	25,4	29,1	32,4	32,7	24,3



**Figure 9: Histogramme des Variations de la température à la station de Dar El Beida.**

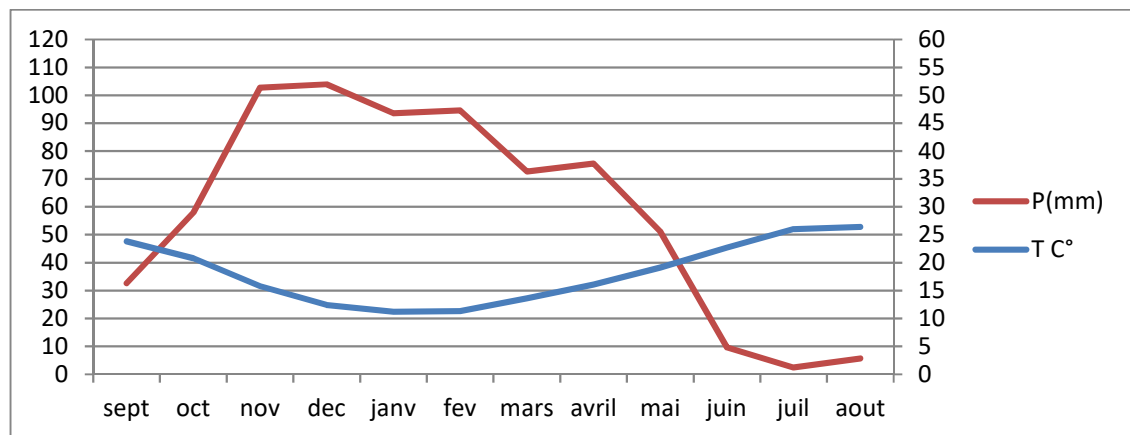
La température moyenne annuelle pour la période 1985 - 2015 est de 18.3°C. La saison hydrologique est subdivisée en deux périodes :

- Une période froide (saison humide) qui débute au mois de Novembre jusqu'au mois de Mai avec une température moyenne la plus basse enregistrée au mois de janvier à 11.2°C.
- Une période chaude (saison sèche) débute au mois de Juin jusqu'au mois d'Octobre, la température moyenne la plus élevée 26.4°C est observée au mois d'Aout.

L'amplitude thermique varie avec les mois et les saisons, mais cet écart reste toujours peu important, il en est de même pour l'amplitude thermique annuelle car la différence entre le mois le plus froid et le mois le plus chaud ne dépasse pas les 15°C.

### 3.3. Diagramme Ombrothermique

Un mois sec se définit, comme celui ayant un total pluviométrique (moyenne en millimètres) égal ou inférieur au double de la température ( $P = 2T^\circ$ ). Ainsi, on constate que la saison sèche est formée par plusieurs mois secs consécutifs. Le diagramme de Gaussen (Fig.10) permet de mettre en évidence une saison humide débutant au mois d'octobre qui se termine au mois de mai, et une saison sèche qui s'étale du mois de juin jusqu'au mois de septembre.



**Figure 10: Courbe pluvio-thermique de la zone d'étude.**

### 3.4. Bilan hydrique

Nous avons calculer le bilan hydrique (Tab.7) par la méthode de **Thornthwaite**. Cette méthode est basée sur la notion de réserve en eau facilement utilisable (notée par la suite RFU). On admet que le sol est capable de stocker une certaine quantité d'eau (la RFU) ; cette eau peut être reprise pour l'évaporation par l'intermédiaire des plantes. La quantité d'eau stockée dans la RFU est bornée par 0 (la RFU vide) et RFU max (capacité maximale de la RFU qui est de l'ordre de 0 à 200 mm suivant les sols et sous-sols considérés, avec une moyenne de l'ordre de 100 mm). On admet que la satisfaction de l'Etp a priorité sur l'écoulement, c'est-à-dire qu'avant qu'il n'y ait d'écoulement, il faut avoir satisfait le pouvoir évaporant (Etp = Etr). Par ailleurs, la complétion de la RFU est également prioritaire sur l'écoulement.

On établit ainsi un bilan à l'échelle mensuelle, à partir de la pluie du mois P, de l'Etp et de la RFU :

\*Si  $P > Etp$ , alors :

- $Etr = Etp$
- il reste un excédent ( $P - Etp$ ) qui est affecté en premier lieu à la RFU, et, si la RFU est complète, à l'écoulement Q

\*Si  $P < Etp$  :

- on évapore toute la pluie et on prend à la RFU (jusqu'à la vider) l'eau nécessaire pour satisfaire l'Etr soit :

- $Etr = P + \min(RFU, Etp - P)$

- $RFU = 0$  ou  $RFU + p - Etp$

\*Si  $RFU = 0$ , et  $P < Etp$  : dans ce cas  $P = Etr$ , la quantité ( $Da = Etp - Etr$ ) représente le déficit agricole, c'est-à-dire sensiblement la quantité d'eau qu'il faudrait apporter aux plantes pour qu'elles ne souffrent pas de la sécheresse.

**Tableau 7: Calcul de bilan hydrique par la méthode de Thornthwaite (Hamiz 1985-2015)**

	sep	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avr	mai	juin	juil	aout	Annuel
P	32,57	57,95	102,74	103,91	93,53	94,55	72,61	75,47	51,18	9,5	2,41	5,68	702,16
ETP	109,81	79,95	41,93	25,78	21,98	21,85	37,71	55,58	84,74	118,83	156,51	150,75	905,40
P-ETP	-77,24	-22,00	60,82	78,13	71,55	72,71	34,90	19,89	-33,56	-109,33	-154,10	-145,07	-203,24
RU	0	0	60,82	100	100	100	100	100	66,44	0	0	0	/
DEF	77,24	22	0	0	0	0	0	0	0	109,33	156,51	145,07	510,15
Exc	0	0	0	78,13	71,55	72,71	34,9	19,89	0	0	0	0	281,68
ETR	32,57	57,95	41,93	5,78	21,98	21,85	37,71	55,58	51,18	9,5	2,41	5,68	344,12



L'observation du bilan hydrologique nous amène à dire que l'ETP est importante du mois de mai jusqu'au mois d'octobre, avec des valeurs atteignant les 156.51 mm au mois de juillet, rendant ainsi nécessaire l'irrigation. A partir du mois de novembre, on assiste à une reconstitution du stock qui s'accompagne d'une augmentation de la RFU, qui atteint son maximum entre les mois de décembre et avril. Au-delà de cette période, on assiste à une baisse de la RFU, traduisant un épuisement du stock. (Tableau 4).

- Le déficit agricole est enregistré pendant 04 mois (de juin à septembre). Les sols agricoles demandent donc une irrigation.
- L'ETR ne couvre que 38% de l'ETP. Elle consomme 48,8% des précipitations. Ceci induit un faible excédent et par conséquent la recharge de la nappe est très limitée.
- La lame d'eau ruisselée est déterminée par la formule d'approximation de Tixeront-Berkaloff est de l'ordre de  $R = 208.51 \text{ mm}$ .
- La lame infiltrée représente les apports à la nappe à partir des précipitations efficaces, elle est déduite de l'équation du bilan hydrologique suivante :  $I = P + R + \text{ETR} + \Delta S$ . Elle est d'ordre de 74.71 mm qui représente 10 % des précipitations.

## 4. Géologie de la plaine de Mitidja

### 4.1 Stratigraphie

Le Primaire est représenté par des affleurements réduits isolés dans le massif d'Alger, dans les régions de Bordj-El-Bahri et Arbatach. Ces affleurements sont formés par des schistes, des calcaires plus ou moins métamorphisés, des micaschistes et des gneiss (Saadallah, 1985). On notera toutefois une lacune du secondaire dans toute la zone d'étude de la plaine de la Mitidja. Le Tertiaire discordant sur le primaire est représenté par le Miocène et le pliocène.

Le Miocène est présent sous la plaine de la Mitidja et dans le cœur de l'anticlinal du Sahel. Il affleure par endroits dans l'Atlas blidéen sur la bordure sud du bassin de la Mitidja (L. Glangeaud, 1952 ; A. Aymé, 1954).

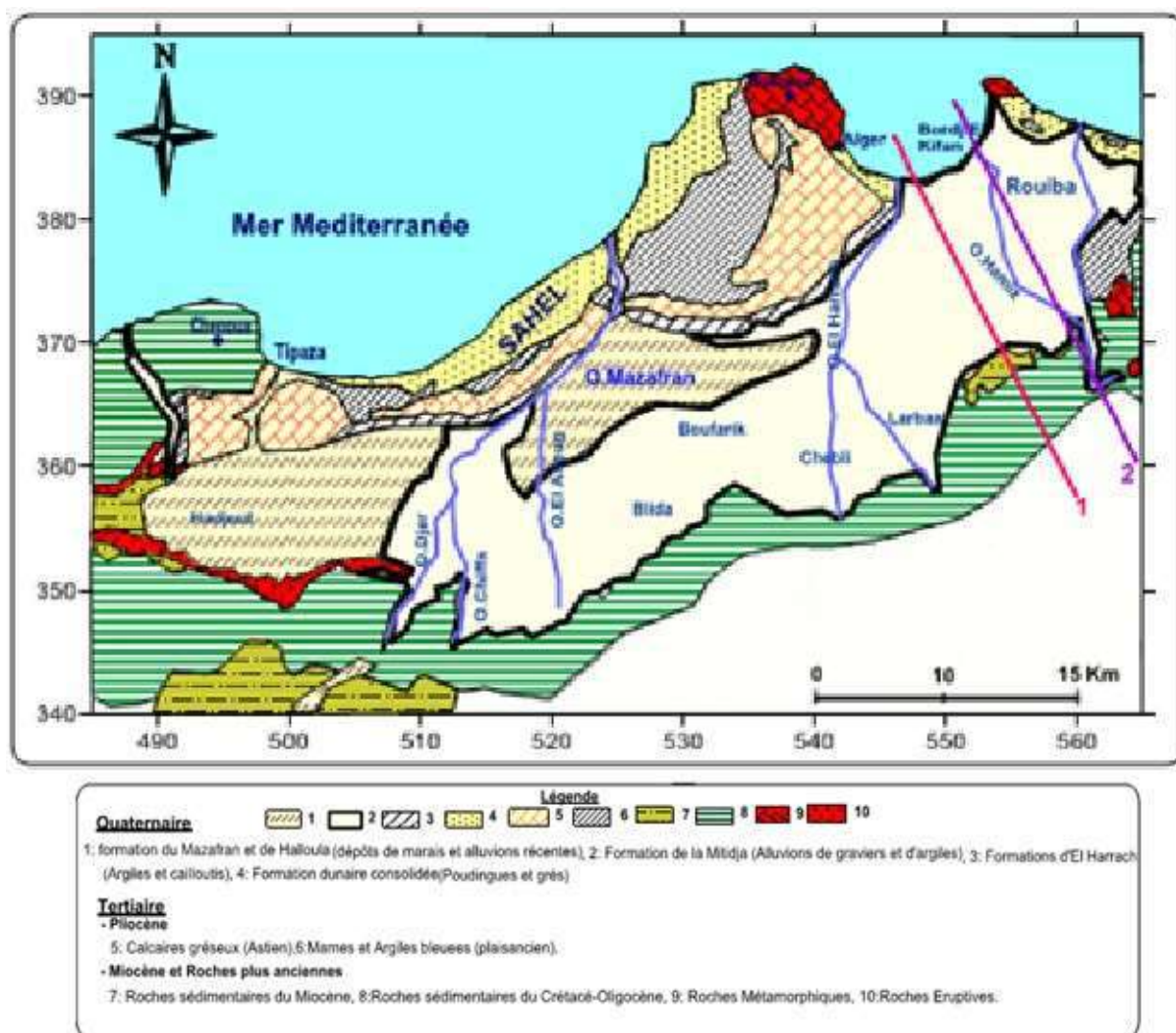
Le Pliocène est bien développé à l'Est de Koléa, à la limite Sahel-Mitidja. Il apparaît en affleurements réduits sur la bordure Ouest du bassin à l'immédiat de Hadjout où il est masqué par les formations quaternaires. D'après L. Glangeaud (1952) ; le Pliocène dans le Sahel est représenté de bas en haut par :

- Argiles bleues d'âge indéterminé
- Niveaux fossilifères glauconieux
- Marnes jaunes et mollasses
- Grés rouges, poudingues et sables du pliocène supérieur ou Calabrien.



L'étude de la succession stratigraphique du remplissage a été effectuée par de nombreux auteurs (Glangeaud, 1935 ; Aymé, 1952 ; ingénieurs de Géohydrologie, 1972) ainsi que par l'interprétation de données récentes des forages (Binnie et Partners, 1981).

La synthèse des différents travaux, appuyée par de nombreux sondages hydrauliques montre en fonction de leur intérêt vis-à-vis de l'eau ; deux grands ensembles stratigraphiques (Fig.11) d'âge Quaternaire et Tertiaire (Pliocène).



**Figure 11: Carte géologique de la plaine de la Mitidja (D'après Mac Donald et Partners, 1992).**

#### 4.1.1 Le Quaternaire

Le Quaternaire est constitué de haut en bas par les formations suivantes:

**a. Les dépôts récents :** Ils comprennent des dépôts de lits d'oueds, de sables dunaires et de piémont de l'Atlas :

- Les dépôts de lits d'oueds sont des alluvions déposées principalement au cours des crues des oueds qui sillonnent la Mitidja. Elles sont constituées de cailloutis, de graviers, de sables graveleux et limoneux. L'épaisseur de ces alluvions est peu importante, inférieure à 10 mètres.
- Les dépôts de sables dunaires, épais de 20 à 40 mètres, sont composés de sables fins à moyens et des couches fossilifères consolidées. Ils occupent une partie de la baie d'Alger et la région de Réghaïa.
- Les dépôts de piémont de l'Atlas constituent le premier contact avec la plaine ; il s'agit des cônes de déjection de Blida et de Bougara, qui s'étendent respectivement du Sud de la rive gauche de l'Oued Chiffa jusqu'à Bouinan et de l'Oued El-Harrach jusqu'à la hauteur de Meftah. Ils sont constitués d'éléments grossiers hétérométriques ciés par une matrice limono-argileuse. Leurs épaisseurs varient de quelques mètres à quelques dizaines de mètres.

**b. Les formations du Mazafran et de Halloula :** Ces deux formations contenues dans la plaine sont séparées par les Oued Djer et Bou Roumi. A l'Ouest de l'Oued Djer, dans l'ancien lac Halloula, les dépôts sont limoneux et argilo limoneux de couleur généralement noire ou grise, et sont probablement des vases et/ou des argiles organiques, riches en matières organiques. Leur épaisseur est de 10m en moyenne.

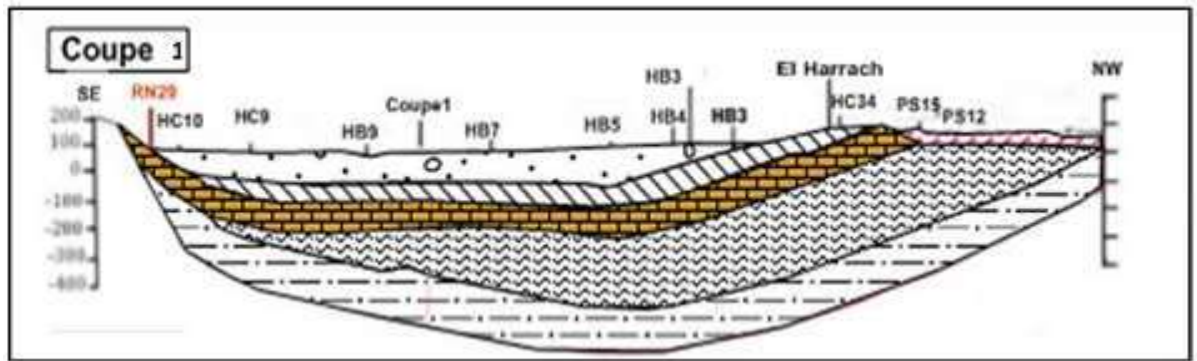
A l'Est de l'oued Djer, les limons de la formation du Mazafran se localisent le long de la cluse de l'Oued Mazafran. Selon M. Montouchet (1952), ces dépôts limoneux se sont déposés dans une zone basse marécageuse dite : «*marais des Ouleds Mendil*». L'épaisseur maximale de cette formation est de 60m.

**c. La formation de la Mitidja :** Les données de forages prises en compte dans cette étude montrent que la formation de la Mitidja est constituée essentiellement de matériaux alluvionnaires : sables, argiles sableuses, argiles graveleuses, graviers, galets, graviers et galets gréseux souvent argileux ou limoneux. Celle-ci est présente sur toute l'étendue de la plaine à l'exception de la partie occidentale où ces alluvions sont recouvertes par les marnes et argiles de la basse plaine du Mazafran et de Halloula.

**d. La formation d'El Harrach :** C'est une formation (dénommée par L. Glangeaud «argiles de *Maison carrée*») constituée par des argiles plastiques jaunâtres dont la base est grise. On y rencontre des niveaux lenticulaires de graviers, de sables et de lits tourbeux de deux à six mètres d'épaisseur (Géohydraulique, 1972).

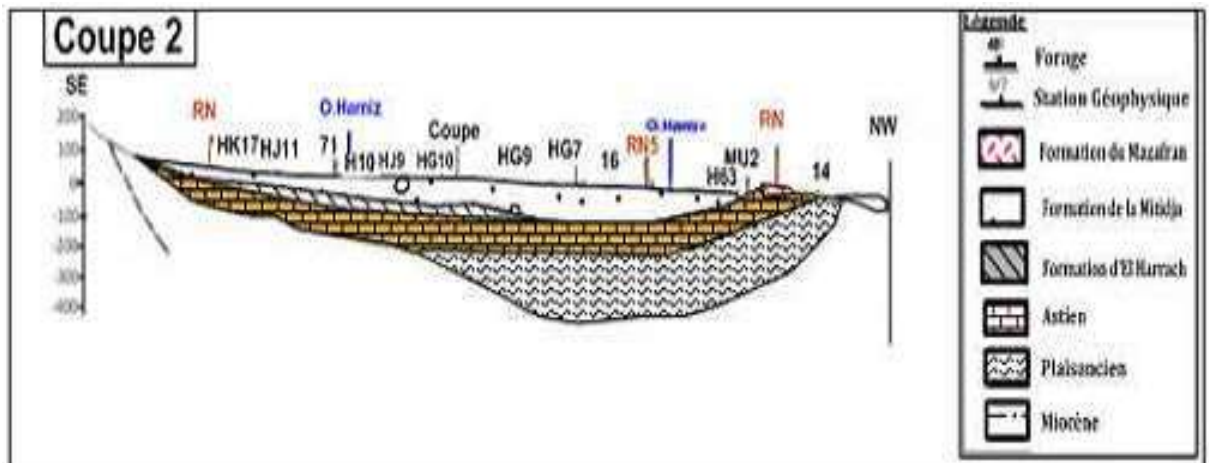
Nous la retrouvons visible, en surface, dans la région d'El-Harrach, le long du versant Sud du Sahel et à l'Ouest de Hadjout. Sa présence au-dessous de la formation de la Mitidja a été mise en évidence par **L. Glangeaud** (1932) et confirmée peu après par l'étude des forages.

Les forages situés dans les régions de Rouiba et Réghaïa ne montrent pas l'existence de cette formation, mais un passage direct de la formation de la Mitidja (Soltano-Tensiftien) au pliocène supérieur (Fig.12).



*Figure 12: Coupes géologiques dans la région d'El Harrach. 1-SE/NW.  
(Bennie and partners, 1983)*

L'étude par sondages électriques réalisée par Géohydraulique (1972) et Bennie & Partners (1981) montre que cette formation atteint son épaisseur maximale (200m) dans la partie Ouest du bassin. Son épaisseur moyenne au centre du bassin est d'environ 100m.



*Figure 13 : Coupes géologiques dans la partie Ouest du bassin Mitidja. 2- SE/NW.  
(Bennie and partners, 1983)*

#### 4.1. 2. Le Tertiaire

**a. Le Miocène et roches plus anciennes :** Ces formations sont présentes sous le bassin de la Mitidja dans le cœur de l'anticlinal du Sahel et affleurent par endroits dans l'Atlas, sur la bordure Sud du bassin. (Aymé et Al, 1954 ; Glangeaud, 1952).

- **Les formations plus anciennes** : elles sont constituées par les roches éruptives du tertiaire (rhyolites et andésites) sont visibles sur le pourtour SW de la Mitidja.
- **Le Miocène** : affleure le long de l'Atlas entre Meftah et Khemis El Khechna, et à l'Est de oued Réghaïa. Il est représenté par des marnes de 50 m d'épaisseur du Vindobonien contenant des lentilles de calcaires, et aussi des lentilles de grès d'épaisseur variable du Burdigalien.

**b. Le Pliocène** : Il est formé par des dépôts astiens et plais anciens bien distincts. Il est bien développé à l'Est de Koléa, à la limite 'Sahel Mitidja' et apparaît très peu sur la bordure Sud près de Hadjout. Sur cette bordure méridionale le Pliocène est masqué par les formations quaternaires qui viennent recouvrir les formations du paléocène. Le Pliocène comprend :

- **L'Astien** : L'Astien montre une lithologie variée composée de calcaires ou de calcaires sableux, grès, argiles calcaires de couleur jaune et des calcaires à faciès récifal ou sub-récifal. L'épaisseur moyenne de cette série est située entre 100 et 130 m. La formation de l'Astien est bien développée sur le côté Sud de la Mitidja. Elle se trouve à des profondeurs allant de 250 à 300 m. On la rencontre particulièrement à l'est de Rouïba à de faibles profondeurs
- **Le Plaisancien** : Il est constitué de marnes qui forment l'essentiel du bourrelet sahélien et une partie du remplissage de la Mitidja, et localement de bancs de grès faiblement glauconieux. Les affleurements du plaisancien sont visibles sur le Sahel en dessous de l'Astien et dans la région de Khemis-El-Khechna où ils viennent reposer en discordance sur les formations miocènes (Rivoirard, 1952).

**3.1.3. Le secondaire** : On distingue : - Les calcaires de l'Oued Sidi El Kebir ; calcaire massif cristallin d'âge Jurassique. - Les calcaires et les grès de la Chiffa d'âge Néocomien et Aptien. - Les flyschs (marnes et calcaires) d'âge Albien supérieur à Sénonien.

**3.1.4. Le socle primaire** : Il affleure principalement à Alger et au Chenoua. Il est constitué d'un socle gneissique fortement métamorphique (gneiss oillé, gneiss fin), surmonté par une série de schistes satinés faiblement métamorphiques (séricitoschistes et chloritoschistes).

La litho stratigraphie de la plaine de la Mitidja est sommairement résumée dans la figure 14.

SYSTEME		ETAGE	LITOLOGIE	Epaisseur (m)	
<b>QUATERNAIRE</b>	Holocène	Actuel récent		20	
	<b>PLEISTOCENE</b>	Flandrien/ Rharibien	Limons, Argiles limoneuses Sables consolidés à lumachelles	30	
		Soltanien/ Tensiftien	Alternance de graviers et d'argiles	150	
		Calabrien/ Villafranchien	Argiles et cailloutis	100	
		Astien	Grès, Sables et calcaires	120	
	<b>TERTIAIRE</b>	<b>PLIOCENE</b>	Plaisancien	Marnes et Argiles bleues	200
<b>MIOCENE</b>			Vindobonien	Marnes à lentilles de calcaire	50
			Burdigalien	Marnes à lentilles de grès	?

Figure 14: Log litho stratigraphique de la plaine de la Mitidja.

#### 4.2. Aperçu structurale

La plaine de la Mitidja est une plaine quaternaire née d'une tectonique distensive qui a induit :

- Un effondrement central.
- Une subsidence active suivant un axe ENE-WSW sur un substratum morcelé par une tectonique cassante.

L'alimentation en détritique est assurée par l'érosion des reliefs de l'Atlas Blidéen (Glangeaud, 1952). Dans cet ensemble, les formations miocènes et même antérieures occupent une faible place. L'astien affleure plus au Nord dans le Sahel en structure anticlinale. Son flanc Sud disparaît sous la plaine de la Mitidja pour réapparaître en reliefs isolés sur les piémonts de l'Atlas. Selon L. Glangeaud (1932, 1935) et G. Mutin (1977), la plaine de la Mitidja se trouve en contact structural avec l'Atlas, notamment avec:

- Des flexures et cassures locales à l'ouest d'El Affroun ;
- Des failles à l'Est de l'oued El-Harrach.

Toutefois, en plusieurs endroits, le suivi de ce contact ne peut être confirmé en raison de la présence de nombreux et épais cônes de déjection qui le masquent.

### 4.3. Aperçu paléogéographique

La Mitidja constituait une zone d'effondrement dont l'évolution remonte à l'Eocène, tandis que son individualisation en unité structurale s'esquisse dès la fin de l'Astien. Selon Glangeaud, l'évolution du Sahel et de la Mitidja (Fig.15 et Tab.8) est liée à la combinaison de trois facteurs : un plissement, un remblaiement et un déblaiement.

L'histoire géologique du bassin de la Mitidja a fait l'objet de plusieurs interprétations. Pour de nombreux auteurs (Général De Lamothe, 1911 ; M.E-F.Gautier, 1922 ; Glangeaud, 1932 ; Dalloni, 1953), Il s'agit d'un bassin à valeur synclinale individualisé dès le Miocène inférieur où une sédimentation essentiellement marneuse se poursuit jusqu'au Plaisancien. A l'Astien, les mouvements de surrection de l'Atlas entraînent une phase active de l'érosion accompagnée de dépôts calcaro-gréseux. La transgression sicilienne a débuté par une intense érosion provoquant la diminution de l'épaisseur de la formation astienne et la disparition des argiles villafranchiennes dans la partie orientale du bassin. Au Tyrrhénien, les mouvements de surrection s'accroissent et d'importants matériaux fluviaux et torrentiels viennent recouvrir le Villafranchien argileux (formation d'ElHarrach). Ces dépôts correspondent à la formation dite : «*Alluvions de la Mitidja*». Au Pléistocène, les oscillations du niveau de la mer se traduisent par un abaissement jusqu'à 60m du niveau marin actuel.

Les oueds creusent alors leurs lits et le Sahel est dégagé de ses alluvions. La morphologie actuelle du bassin correspond à l'aire d'extension du cycle tyrrhénien et du cycle flandrien. Durant le Flandrien (Rharbien) des sédiments fins se déposent dans les lits des oueds et le bassin acquiert son aspect actuel avec des cônes de déjection adossés à l'Atlas et aux régions basses marécageuses occupées par des limons et des argiles, notamment à l'Ouest (Lac Halloula et le Bas-Mazafran).



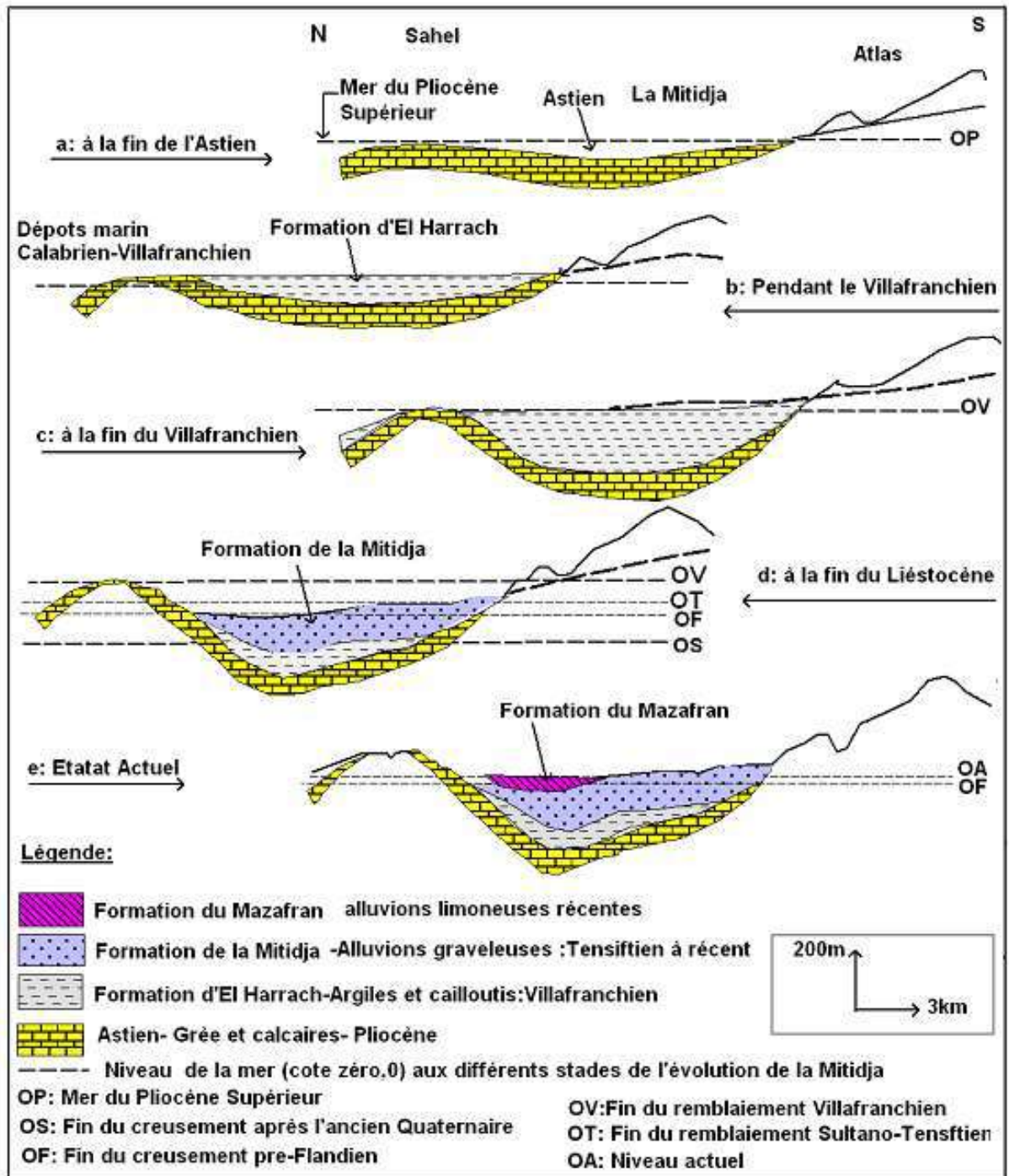


Figure 15: Coupes schématiques montrant l'histoire paléogéographique de la Mitidja.  
(L. Glangeaud 1952).

Tableau 8: récapitulation des différents stades d'évolution de la Mitidja.

Système géologique, série, âge	Niveaux de la mer	Evénements géologiques
Récent/Actuel	0 m	Dépôts de dunes sableuses et de sédiments marins autour de la baie d'Alger. Creusement des oueds et des lits actuels.
Rharbien	- 5 m	Remblaiement du bassin par des graviers fluviaux et avancement des cônes de déjection dans le piémont de l'Atlas. Evaluation du niveau marin insuffisamment rapide pour donner lieu à une transgression marine. La baisse du niveau marin provoque l'érosion et l'enlèvement de quelques 30 m de gravier ; les oueds Mazafran et El Harrach adopte leur tracé actuel.
Soltanien	- 10 à - 15 m ( ? ) - 20 m	Drainage médiocre, remblaiement des cluses par des fins sédiments, formation de marécages et dépôts de limons et d'argiles dans les lacs peu profonds
-Tensiftien	- 30 à - 35 m - 60 m ( ? )	Rajeunissement de l'Atlas entraînant Une sédimentation rapide et le remblaiement du bassin par colluvions et des alluvions caillouteuses d'origine continentale. Erosion des graviers et affouillement de la cluse de Mazafran.
<b>Quaternaire :</b> -Pléistocène-Villafranchien  -Arminien et Sallinien	- 100 m - 150 m ( ? )  Fluctuations du niveau marin mais baisse progressive jusqu'à - 50 m A la fin de cette période.	-Développement du bassin isolé de la mer par l'anticlinal du Sahel. -Dépôts d'épaisses couches d'argiles et de limons avec des couches minces de graviers en milieu fluvio-lacustre. -Période d'érosion intense et continue avec enlèvement jusqu'à 300 m de sédiment du Villafranchien. -Mise à nu de l'anticlinal du Sahel et creusement de cluses dans celui-ci, l'oued El Harrach devient un affluent de l'oued Mazafran. -Exposition et érosion des matériaux de l'Astien à l'Est.
-Astien -Plaisancien -Pliocène	Baisse du niveau marin ( ? ) Evolution du niveau marin ( ? )	-Dépôts de couches épaisses de marnes en mer profonde sur la surface d'érosion antérieure au miocène. -Dépôts de grès et de calcaires en mer peu profonde. -Léger plissement continu des sédiments.
<b>Tertiaire :</b> Miocène et Miocène supérieur	Baisse importante du niveau marin	Isolement de la Mitidja en tant qu'une unité structurale à la fin de la phase principale de l'orogénèse alpine, qui a amorcé un affaissement; apparition de roches volcaniques en bordure du bassin.

#### 4.4. Tectonique

La plaine de la Mitidja se présente comme un vaste synclinorium limité par deux flexures au Nord et au Sud plus ou moins visibles. La bordure septentrionale essentiellement constituée par l'Astien à pendage faible (10° Sud) mais tectonisé localement ce qui permet l'affleurement des marnes bleues plus anciennes (Sidi Rached). La bordure méridionale se caractérise par des affleurements isolés de l'Astien sous forme de petits lambeaux entre El Affroun et Hadjout. Les formations anté-astiennes constituent quant à elles l'essentiel des formations de bordure de la plaine. L'évolution du bassin de la Mitidja a été contrôlée par l'affaissement continu du socle rigide.



L'activité tectonique de la zone d'étude est le résultat des mouvements de convergence entre les plaques ; Africaine et Eurasienne (Mackenzie, 1977). Le résultat s'est traduit par des plissements, des failles qui affectent les niveaux du Miocène post-nappes, du Pliocène et du Quaternaire. Ces déformations continuent jusqu'à l'heure actuelle et se traduisent par l'activité sismique de la région (Boudiaf, 1996).

Les études effectuées dans le bassin montrent que la tectonique active se manifeste le long de ses bordures Nord et Sud par de nombreuses failles et plis failles à jeu inverse de direction NE-SW (pli faille du Sahel), recoupés par des accidents conjugués de direction NW-SE.

La région sud-algéroise est marquée par le chapelet de failles qui bordent la zone de contact entre le bassin de la Mitidja et le massif de Blida. Cette bordure montre des indices de déformations tectoniques affectant les niveaux plio-quaternaires. Ces déformations correspondent à des décrochements dextres ou à des chevauchements vers le nord, des niveaux créacés sur les niveaux plus récents du Miocène et du Plio- Quaternaire. Les failles actives de cette région sont observées dans la région de Ménaceur et au sud de la Mitidja (failles F3 et F4). Elles sont associées à la sismicité historique importante de cette région (séismes de 1716 et de 1825). La bordure sud de la Mitidja constitue ainsi l'une des principales sources sismogènes de la région d'Alger.

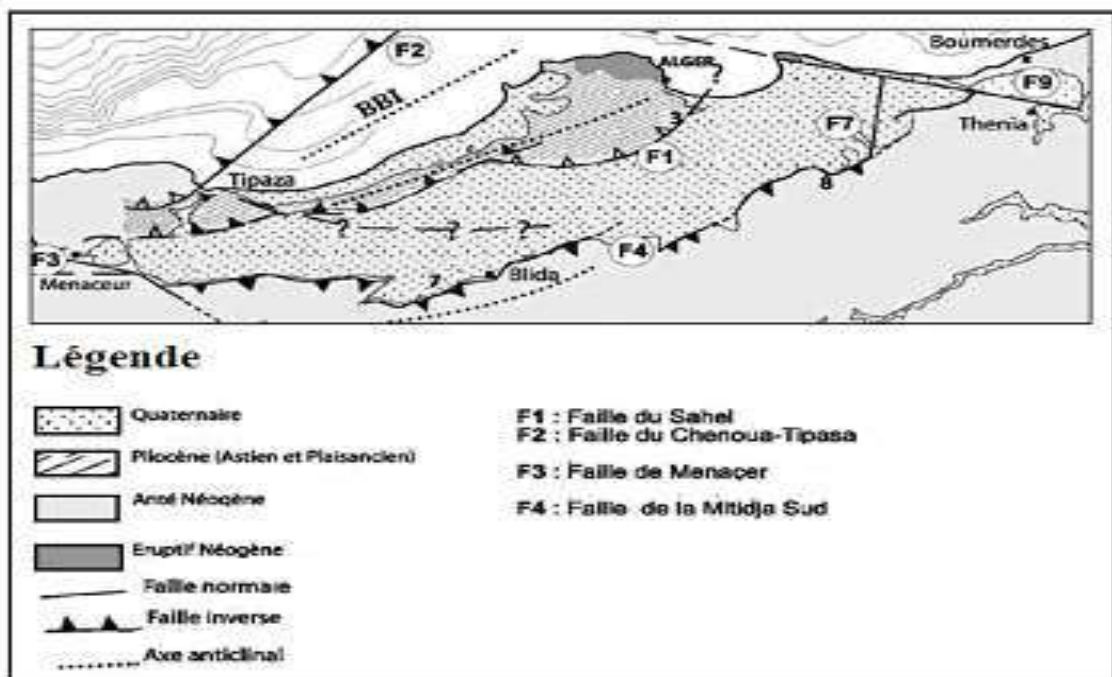


Figure 16: Activité sismo-tectonique de la Mitidja

## 5. Etude hydrogéologique

### 5.1. Présentation de l'aquifère de Mitidja

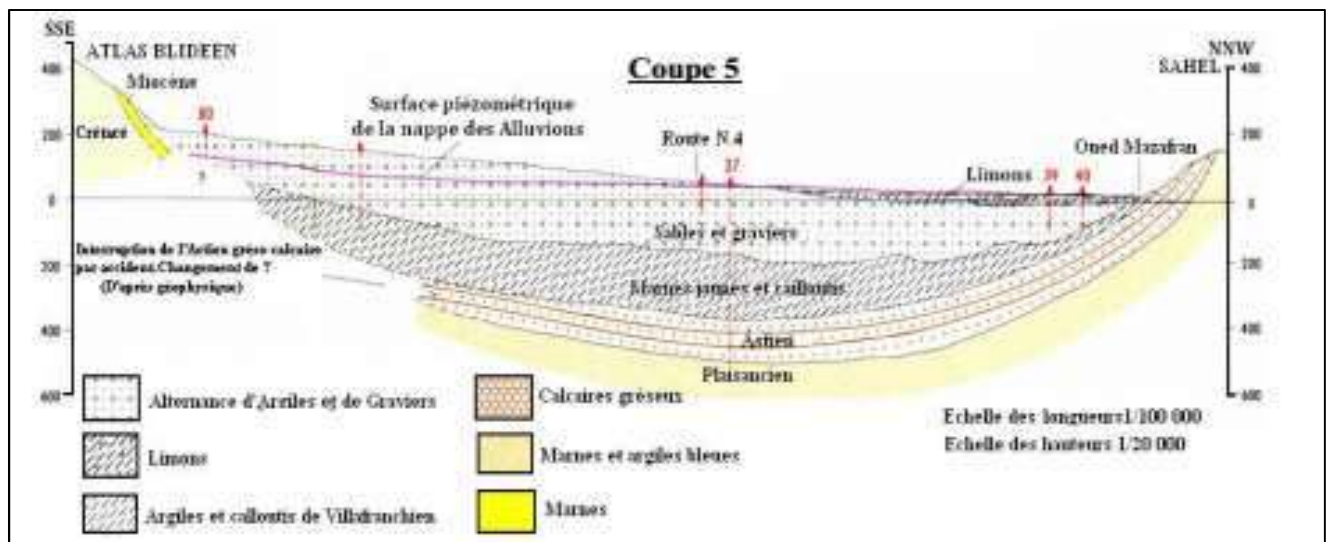
Le système aquifère de la plaine de la Mitidja est encaissé dans un bassin de subsidence, d'âge Plio-Quaternaire, et dont la structure lithologique est très variée. Cette structure est caractérisée par une superposition de bas en haut (Fig.17) :

- Une série marneuse formant le substratum qui peut être considéré comme imperméable.
- Un ensemble calcaire-sablo-gréseux correspondant à l'Astien.
- Un ensemble argileux contenant par endroit de sables et de graviers correspondant à la formation dite « formation d'El Harrach ».
- Un ensemble gravelo-sableux dit « Alluvions de la Mitidja ».

Deux types de nappes peuvent être distingués selon la nature des roches magasins, et selon la nature du toit et du mur qui les limitent.

- L'aquifère des alluvions du quaternaire (Soltano-Tensiftien).
- L'aquifère contenu dans les calcaires et grès de l'Astien, qui repose sur les marnes du Plaisancien formant la limite étanche de presque tout le bassin.

Ces deux aquifères sont séparés par la formation semi perméable du villafranchien, appelée marne d'El Harrach.

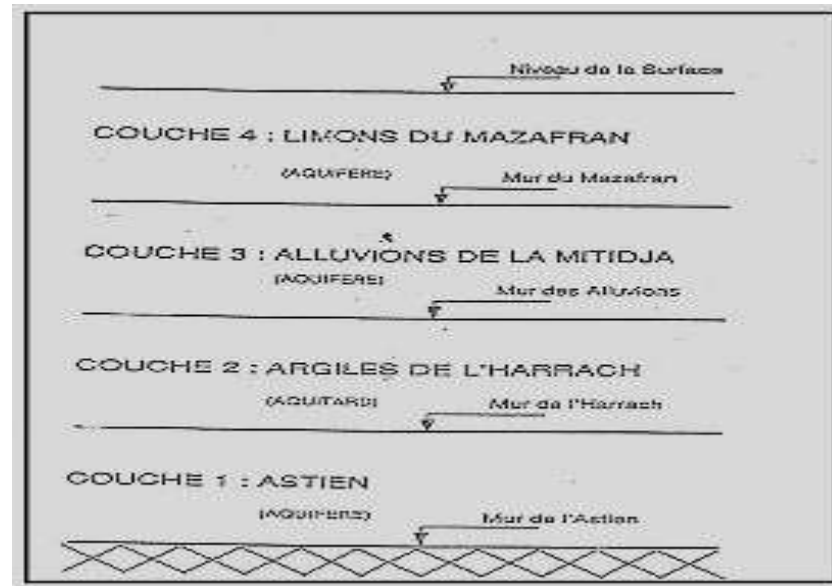


*Figure 17: Coupe interprétative transversale de la Mitidja dans le bassin de Mazafran (Achie 1971).*

### 5.2. Géométrie des systèmes aquifères

Dans la plaine de la Mitidja Est on distingue deux réservoirs aquifères :

- Les alluvions du quaternaire (formation de la Mitidja)
- Les formations gréseuses ou grésocalcaire de l'Astien



**Figure 18: Schéma du système aquifère (M. Mac Donald & Partners, Février 1992)**

- L'aquifère Astien s'étend sous la majeure partie du bassin alluvial et affleure principalement dans le Sahel. Il est situé entre un substratum marneux Plaisancien et la couverture épaisse de marnes jaunes d'El Harrach, à l'exception de la partie orientale de la plaine où il est en contact direct avec l'aquifère alluvial.
- L'aquifère alluvial qui nous intéresse ici s'étend sur toute la superficie du bassin, sauf dans les secteurs occidentaux au-delà de Ameer El Aïn. Dans certaines zones localisées en bordure du bassin, il est essentiellement constitué par la superposition des alluvions du Quaternaire moyen et les alluvions récents parfois très argileux. Son substratum est constitué par les formations marneuses d'El Harrach, à l'exception de la partie orientale où c'est l'Astien qui forme cette limite inférieure.

Localement, au niveau de la baie d'Alger, la formation des marnes d'El Harrach a été érodée. Les deux aquifères composent ainsi une seule nappe "Quaternaire-Astien". Sur de la baie d'Alger, cet aquifère unique formé par les grès de l'Astien et les alluvions de la Mitidja atteint une grande épaisseur ; dans cette zone, le mur de l'aquifère correspond au toit du substratum marneux du Plaisancien, situé à environ 180 mètres de profondeur. Globalement l'aquifère est en équilibre de pression hydrostatique avec la mer. Les directions naturelles d'écoulement des eaux souterraines vont globalement du sud vers le nord, du continent vers la mer. Cependant, l'exploitation intensive de la ressource au nord de la baie d'Alger là où se retrouve des champs captant, des forages d'irrigation et des forages d'industrie qui ont pour conséquence de rabattre la nappe, de modifier les directions d'écoulement des eaux souterraines et l'appel inévitable de l'intrusion marine.

Dans les années 1980 (Mania, 1985), on note la présence de dômes piézométriques au droit des dunes côtières (Fig.19), semblant indiquées une zone préférentielle d'alimentation au niveau de ce secteur. Ces « dômes piézométriques » pouvaient alors, à l'époque, jouer le rôle de « barrière hydraulique » définie comme une zone d'apport hydraulique.

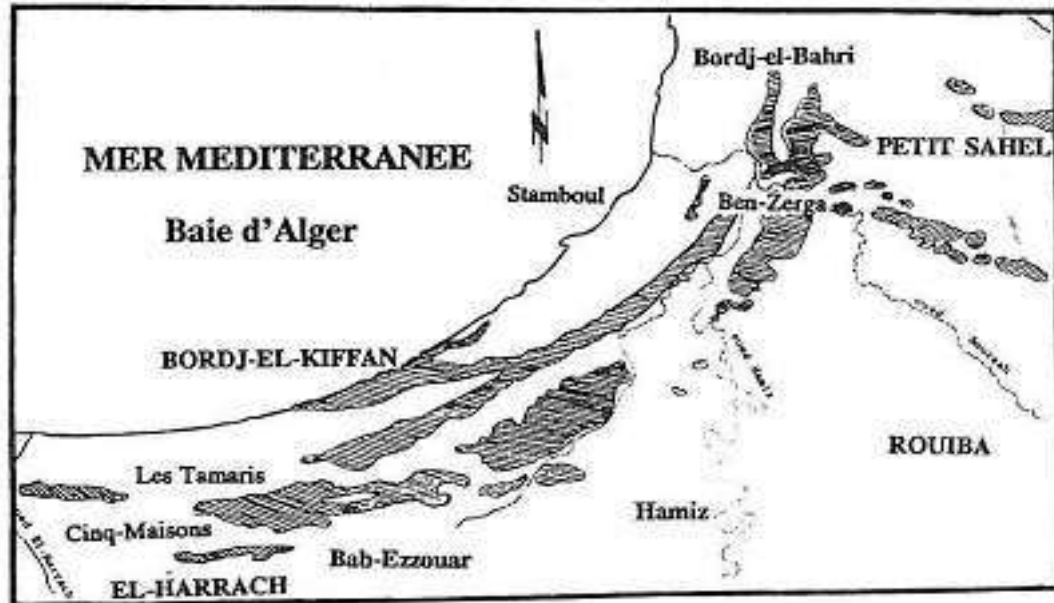


Figure 19: Localisation des dunes côtières (Ayme ,1962)

### 5.3. Caractéristiques hydrodynamique local de la baie d'Alger

**5.3.1. La transmissivité (T) et Coefficient d'emmagasinement :** Les transmissivités élaborées par Binnie et Atkins en 1983 (Fig.20), fournissent des valeurs cohérentes avec la composition de l'aquifère. Les terrains sont relativement perméables de l'ordre de  $10^{-4}$  m/s au niveau du champ captant du Hamiz et un coefficient d'emmagasinement de l'ordre de 3 à 10 % dans le bassin El Harrach- Hamiz, caractérisant ainsi une nappe libre. Les transmissivités les plus importantes se retrouvent au niveau du champ captant du Hamizet celui de Rouiba et sont de l'ordre de 2000 à 3000 m<sup>2</sup>/jour, soit environ  $2.10^{-2}$  à  $3.10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s. Les faibles transmissivités s'observent dans les piémonts de l'Atlas où les valeurs varient de  $5.10^{-3}$  à  $10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s.

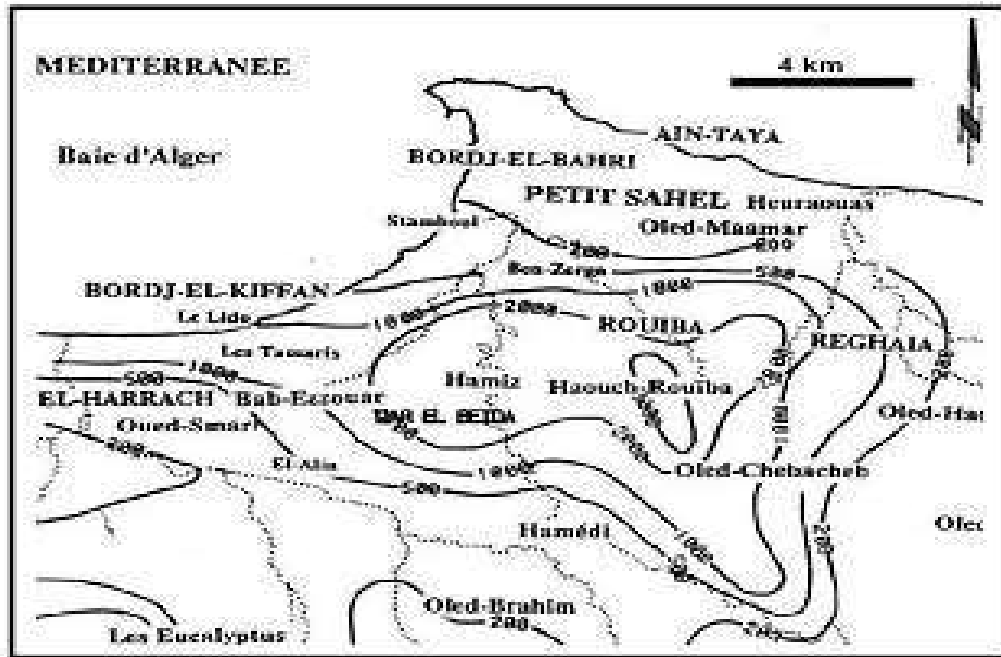


Figure 20: Carte des iso-valeurs des transmissivités de la Baie d'Alger ( $m^2/jour$ ), (Binnie et Atkins, 1983).

b. **Perméabilité** : La carte de la perméabilité (Fig.21) montre les terrains sont relativement perméables de l'ordre de  $10^{-4}$  m/s au niveau du champ captant du Hamiz et dans le bassin El Harrach-Hamiz (J. Mania 1985), caractéristiques d'une nappe libre. Ces zones correspondent aux matériaux grossiers relativement résistants déposés par les grands oueds.

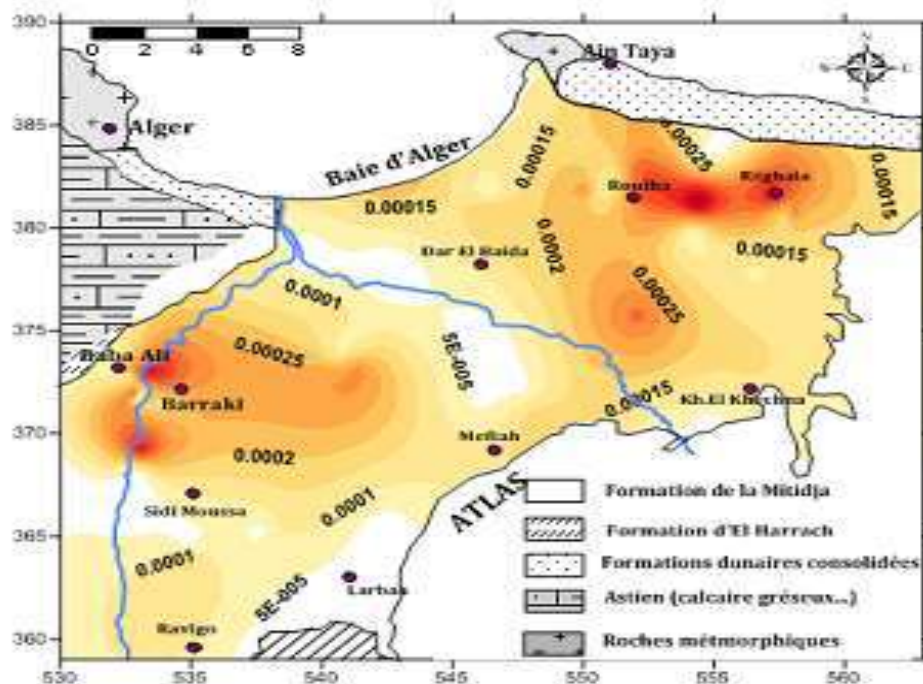
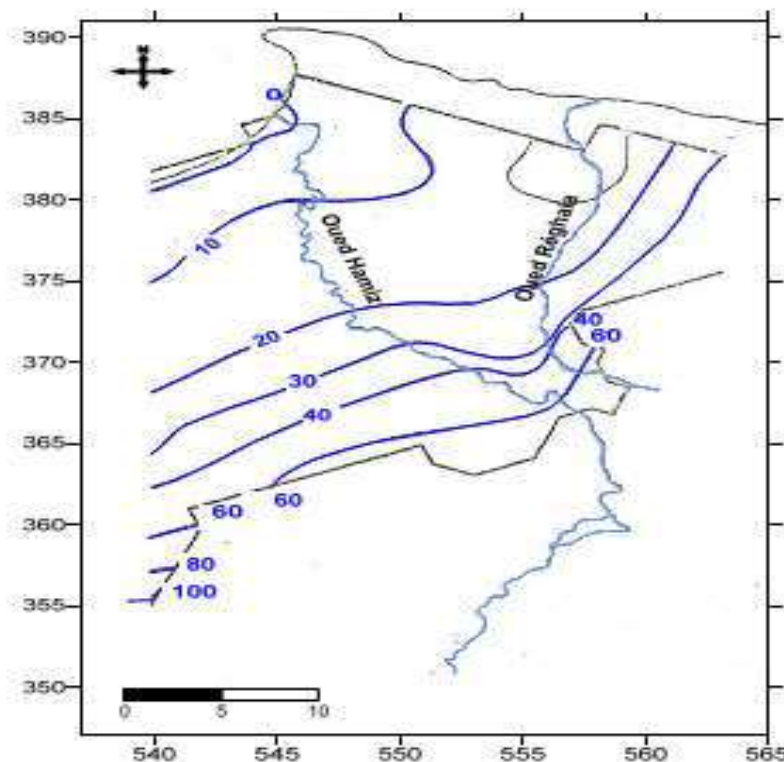


Figure 21: Carte des perméabilités de la nappe alluviale de la Mitidja Est.

#### 5.4. La piézométrie

La piézométrie initiale de l'aquifère de la Mitidja est basée sur une reconnaissance effectuée par Géohydraulique en septembre 1970, comme le montre la figure 22. Cette piézométrie a été considérée comme la meilleure approximation disponible du régime permanent puisqu'elle représente les valeurs observées à la fin de la saison sèche et avant l'accroissement des prélèvements pour l'AEP effectués à partir des nouveaux champs de captage établis au cours des années 1970. Le sens d'écoulement des eaux est de sud vers le nord, la nappe se décharge directement dans la mer.

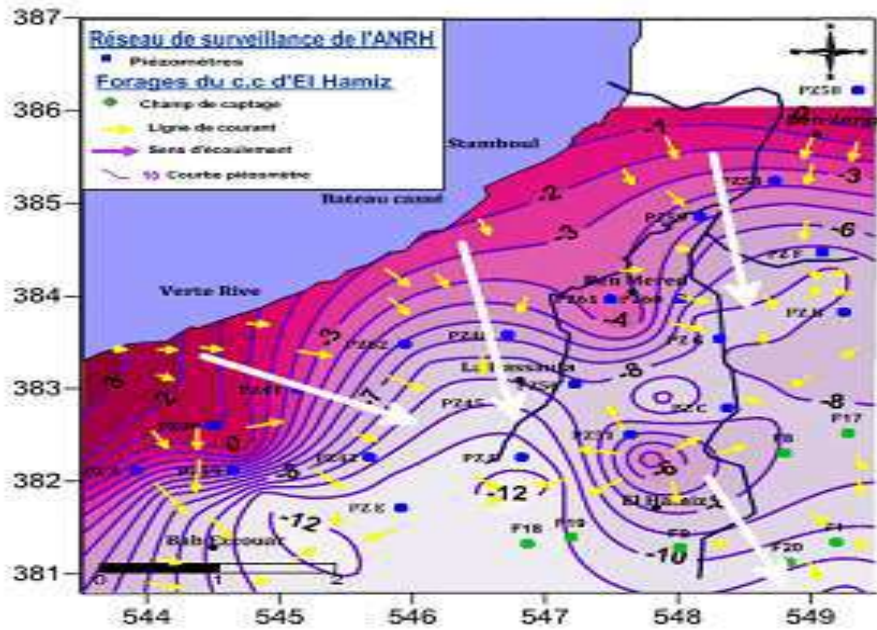


*Figure 22 : Piézométrie de l'aquifère de la Mitidja, juin 1968 (Géohydraulique, Sep1970).*

En 2011 la configuration de la surface piézométrique (Fig.23) a complètement changée. Le niveau piézométrique est à plusieurs mètres sous le niveau de la mer impliquant un déséquilibre hydrodynamique responsable du phénomène d'intrusion marine.

- On remarque l'existence d'un dôme piézométrique au niveau de la Rassauta, lié à la présence de cordons dunaires. Le gradient hydraulique est d'une façon générale inférieur à 0,1% sauf à l'aplomb des dénivellations dunaires où il atteint 5%.
- La dépression du champ de captage du Hamiz, est bien tracée par la courbe en isovaleur - 11 m faisant un appel non évitable à l'intrusion saline.





*Figure 23: Carte piézométrique de la Baie d'Alger Avril (2011).*

La nappe alluviale de la Mitidja est alimentée par :

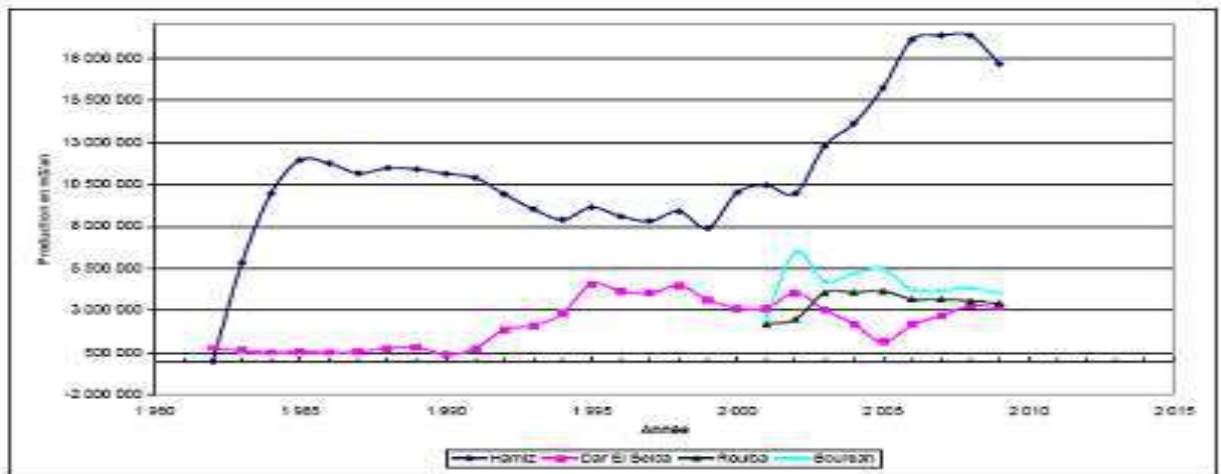
- Infiltration des précipitations sur la plaine,
- Infiltration à partir des cours d'eau et du ruissellement sur les piémonts de l'Atlas,
- Écoulement souterrain de l'Atlas,
- Fuites des réseaux de distribution en eau,
- Infiltrations des eaux d'irrigation excédentaires.

Les exhaures sont assurées par :

- Pompage dans les points et forages de la plaine
- Drainage des Oueds dans leur cours aval,
- Fuites souterraines vers la mer,
- Écoulement vers les limons de la formation du Mazafran par drainance.

### 5.5. La production en AEP des champs de captage de la Mitidja Est

La production moyenne annuelle des forages d'eau des champs de captage a été fournie par les données de la SEAAL (Fig.24).



*Figure 24: La production des champs de captage de la Mitidja Est.*

On constate qu'entre la mise en exploitation (1983) et la fin des années 1990, la production du champ captant du Hamiz a été relativement stable, autour de 10 Mm<sup>3</sup>/an. Par contre, depuis 2000, la production aurait presque doublé pour atteindre 19 Mm<sup>3</sup>/an en 2007. Mais à partir de 2009, elle semble baisser. La production du champ captant de Dar El Beida a fortement augmenté dans les années 1990 et est restée stable jusqu'à la mise en exploitation des champs captant de Rouiba et Bouréah. Une chute de production est à noter en 2005. Concernant les champs captant de Bouréah et de Rouiba, depuis leur mise en exploitation en 2001, la production est relativement stable et s'établit respectivement pour Bouréah et pour Rouiba autour de 4,5 Mm<sup>3</sup>/an et 3,5 Mm<sup>3</sup>/an avec un pic de production à 6,5 Mm<sup>3</sup>/an en 2002 sur le champ captant de Bouréah.



## 6. Conclusion

La plaine de la Mitidja couvre une superficie de 1 450 km<sup>2</sup>. Cette plaine qui est située dans l'arrière-pays d'Alger. De l'ouest en est, la plaine traverse successivement les wilayas de Tipaza, de Blida, d'Alger, de Boumerdès et l'extrême nord-est de Médéa.

La région d'étude présentée par la Mitidja orientale, fait partie du bassin versant de la Mitidja codé (02) par l'Agence Nationale des Ressources Hydriques. La Mitidja Est, est Limitée par le Sahel au Nord l'Atlas Blidéen au Sud, Oued Reghaia à l'Est et El Harrach à l'Ouest.

Le climat de la Mitidja est de type méditerranéen subhumide à deux saisons distinctes: une saison humide débutant au mois d'octobre qui se termine au mois de mai, et une saison sèche qui s'étale du mois de juin jusqu'au mois de septembre.

Le système aquifère de la plaine de la Mitidja est constitué de deux aquifères ce sont l'aquifère Astien et l'aquifère alluvial, dans la partie orientale de la plaine ses deux aquifères sont en contact.

La piézométrie initiale de l'aquifère de la Mitidja est basée sur une reconnaissance effectuée par Géohydraulique en septembre 1970, montre que l'écoulement des eaux se fait de sud vers le nord, la nappe se décharge directement dans la mer.

En 2011 la configuration de la surface piézométrique a complètement changée. Le niveau piézométrique est à plusieurs mètres sous le niveau de la mer, impliquant un déséquilibre hydrodynamique responsable du phénomène d'intrusion marine.

*Partie II*

*Méthodologie*

## 1. Mécanismes de l'intrusion marine

Il est évident que les systèmes aquifères littoraux se déversent vers la mer comme il est connu dans le cycle de l'eau. Le niveau piézométrique de ces nappes d'eau douce se retrouve au-dessus de celui de la mer et le lieu de rencontre de ces deux liquides est défini par une zone limite au niveau de laquelle se produit un équilibre hydrostatique. Toute exploitation intensive des nappes côtières déprime la surface piézométrique à des côtes inférieures au niveau de la mer et rompt la zone limite eau douce-eau salée en provoquant ainsi le phénomène d'invasion marine vers les régions côtières tributaires des eaux souterraines pour leur approvisionnement en eau et qui a pour effet la dégradation de la qualité des eaux.

En effet, l'eau salée plus dense ( $\rho_s=1025$  g/l) que l'eau douce ( $\rho_f=1000$  g/l) a tendance à « se glisser » sous celle-ci formant ainsi un « biseau salé ». En raison du contraste de densité, le niveau de l'eau douce (niveau piézométrique) doit être supérieur au niveau de la mer pour maintenir l'eau salée en profondeur et l'empêcher de remonter.

Pour un aquifère alluvial comme celui qui nous préoccupe ici, la loi de **Ghyben-Herzberg** définit la position du contact entre les deux milieux à l'équilibre par l'équation suivante :

$$\rho_f \cdot (h_2+h_1) = \rho_s \cdot h_2$$

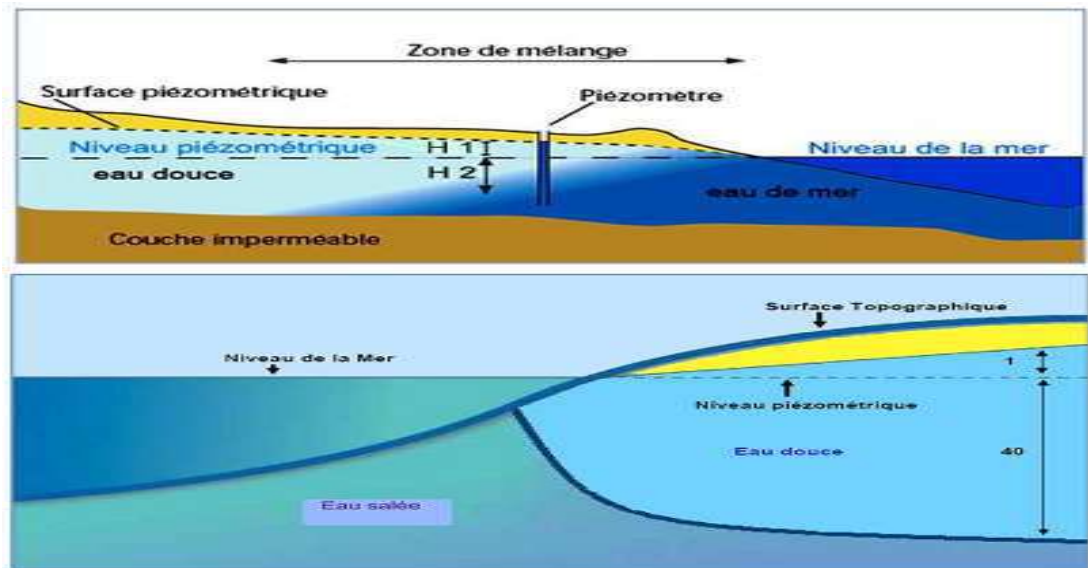
Soit approximativement  $h_2 = 40 \cdot h_1$ , avec :

$h_2$ : la profondeur de l'interface,

$h_1$ : la charge hydraulique (ou niveau piézométrique) par rapport au niveau de base,

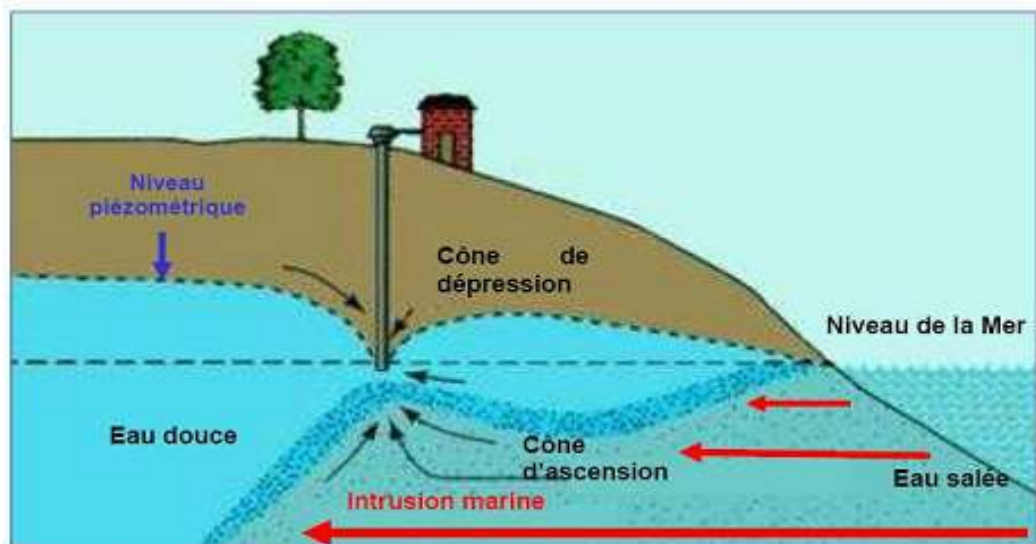
$\rho_f$ : densité de l'eau douce,

$\rho_s$  : densité de l'eau de mer.



*Fig.25 : Coupes schématiques d'un aquifère côtier en équilibre hydrostatique.*

Cet équilibre hydrostatique peut être modifié dans le temps. Une baisse de niveau piézométrique entraîne en effet une intrusion d'eau de mer dans l'aquifère et une salinisation difficilement réversible.



*Fig.26 : Impact d'un pompage sur l'interface eau douce/eau salée selon le principe de Ghyben-Herzberg.*

## 1.2. Cause de l'intrusion marine

On peut distinguer deux facteurs principaux ayant pu causer une intrusion marine :

- Un facteur naturel : une insuffisance d'Apports ou un fort déficit pluviométrique peut provoquer une baisse généralisée du niveau piézométrique et une avancée de l'intrusion marine.
- Un facteur anthropique : l'excès d'Exores par rapport à l'Apports est une des raisons les plus communes de l'apparition de ce phénomène qui explique la surexploitation des aquifères côtiers, exacerbée par la population toujours croissante de ces zones.

## 1.3. Facteurs déterminants dans l'évolution de l'intrusion marine

La forme et l'épaisseur de cette interface ainsi que de son étalement vers les terres, dépendent de plusieurs facteurs dont :

- a. Profondeur de la nappe : Les nappes d'eaux souterraines dans les zones côtières circulent à des profondeurs généralement faibles, Ce qui fait de ces secteurs, des zones considérées à priori comme les plus vulnérables au phénomène de l'intrusion marine.
- b. Débit de la nappe : Toute surexploitation de la nappe côtière entraîne un déséquilibre hydrodynamique de l'interface «eau douce-eau salée marine». Cela se traduit par une diminution des débits souterrains et un abaissement du niveau de la nappe. Celui-ci va devenir inférieur à celui de la mer, ce qui va provoquer un écoulement des eaux marines vers l'aquifère côtier.
- c. Perméabilité : Dans les terrains à perméabilité d'interstice tels que les sables et les argiles, la pollution ne se transmet qu'à une très faible vitesse. Dans les terrains à perméabilité de fissures (terrains cristallins et carbonatés), la vitesse de propagation des solutés est relativement plus rapide.
- d. Géométrie de l'aquifère et topographie du substratum : L'étalement du biseau salé à l'intérieur de la plaine côtière est régi par la topographie du substratum. En règle générale, plus ce dernier est incliné vers la mer, plus il y aurait une avancée rapide des eaux de mer vers l'aquifère côtier.

## 2. Méthodes d'étude de l'intrusion marine

La délimitation de l'interface eau douce-eau salée est très compliquée à déterminer, ce qui rend la lutte contre ce problème délicat, difficile et Nécessite une approche pluridisciplinaire. Plusieurs auteurs ont étudié le phénomène pour localiser la position de l'interface « eau douce - eau salée » par différentes méthodes tels que :

- La géophysique: (le changement des valeurs de résistivité) peut indiquer une intrusion marine.
- La Piézométrie: Le contrôle du sens de l'écoulement nous renseigne sur le sens de déplacement de l'eau;
- La chimie des eaux, l'étude de la répartition dans l'espace, et l'évolution dans le temps des concentrations en ions majeurs constitue un atout important pour la mise en évidence du biseau salé.

### 2.1. Etude géophysique du phénomène de l'intrusion marine dans la Mitidja Est

La géophysique est un outil complémentaire indispensable à une étude hydrogéologique, elle complète les données d'un forage quand la zone d'étude est vaste et complexe. Les irrégularités sont généralement détectées de même que pour la puissance, l'allure et la structure de la formation étudiée.

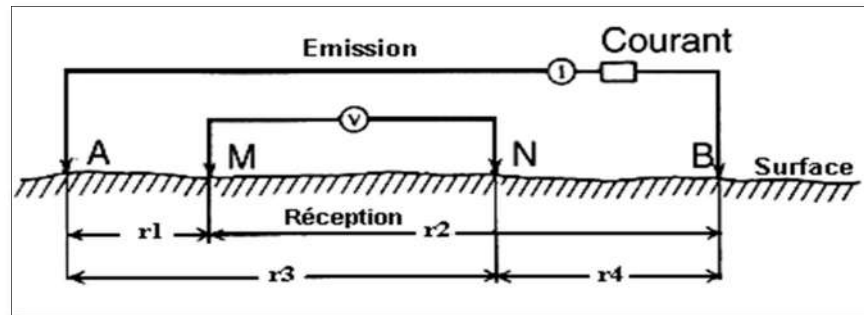
#### 2.1.1 Méthodes de prospection électrique

Afin de cartographier l'avancé de l'intrusion des eaux de mer dans l'aquifère cotier de la Mitidja Est on a fait appel a une méthode géophysique qui est le sondage électrique vertical, La mesure de la résistivité électrique s'effectue généralement à l'aide du quadripôle de Schlumberger (Fig.27), .son principe consiste à envoyer à partir de la surface un courant électrique d'intensité I, crée par un générateur (piles accumulateur) à l'aide de deux électrodes A et B. les électrodes de réception M et N permettent de mesurer la différence de potentiel  $\Delta V$  provoquée par le passage courant (Fig.28). On obtient la résistivité apparente grâce à la formule suivante :

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I}$$

Où :  $K$  = est coefficient qui ne dépend que de la géométrie du dispositif, pour le dispositif de Schlumberger ( $K = \pi AM.AN / MN$  pour un quadripôle symétrique).

$\Delta V$  et  $I$  sont mesurés respectivement à l'aide d'un voltmètre et d'un ampèremètre. La profondeur d'investigation d'un tel dispositif est fonction de l'écartement des électrodes d'émission A et B, ainsi que des épaisseurs et des résistivités des formations sont approximativement et empiriquement de l'ordre de  $(1/4 \text{ à } 1/10) \cdot AB$ .



**Figure 27: Le dispositif quadripôle de Schlumberger**



**Figure 28: Les matériels de sondages électriques.**

Lorsque les filets de courant circulent entièrement dans un même niveau homogène, la résistivité mesurée correspond à la résistivité vraie de terrain, c'est le cas notamment des mesures test ou paramétriques effectuées sur des formations sub-affleurantes, d'épaisseurs et d'extensions suffisamment importantes par rapport à l'écartement de la ligne d'émission (AB). Généralement les filets de courant traversent plusieurs horizons différents, dans ce cas, la résistivité est fonction des résistivités de différentes couches et de leurs épaisseurs. Les résistivités mesurées sont dites résistivités apparentes, grâce à ces valeurs que nous essayons de déterminer les résistivités vraies  $\rho_i$  et les épaisseurs  $h_i$  caractérisant chaque niveau.



La présence d'une structure dans le sol se manifeste par une anomalie de la résistivité apparente  $\rho_a$  dépendant de nombreux paramètres (dimension et profondeur de la structure, dimensions du dispositif, contraste électrique entre la structure et le milieu environnement. Afin de déduire des informations concernant les causes des anomalies observées sur le terrain, il est nécessaire de connaître la relation qui existe entre une structure et son anomalie. Pour cela deux techniques sont employées, le traîné et le sondage électrique vertical, en effet ces deux méthodes sont complémentaires.

Si le sous-sol est homogène et isotrope, avec un dispositif de ce type on obtiendra la résistivité vraie, Si par contre, le sous-sol est hétérogène, on mesurera la résistivité apparente, qui est fonction de la nature du sous-sol et de la dimension du dispositif utilisé (le Schlumberger: La distance MN est petite par rapport à AB. En général  $MN < AB/5$ ).

#### **a. Le traîné électrique.**

Dans la technique du traîné le dispositif AMNB est déplacé à travers champs. Selon des profils plus au moins parallèles, tout en gardant constant l'espacement AB. La mesure ainsi obtenue correspond au centre. Les horizons géologiques explorés par cette méthode correspondent à une profondeur à peu près constante. Les résultats de résistivité apparente sont reportés sur des cartes et permettent de déduire les niveaux de même résistivité électrique et de délimiter leurs extensions. Ces cartes constituent un document qui complète l'interprétation géologique et permettent de faire un choix sur les emplacements éventuels de sondages électriques.

#### **b. Le sondage électrique vertical.**

Dans la méthode du sondage électrique on recueille des informations géologiques à la verticale d'un point donné, en poussant l'investigation toujours plus profondément. Pour cela, on effectue une série de mesures en agrandissement à chaque fois la longueur de la ligne d'émission AB, tout en gardant fixe le centre du dispositif.

En reportant, sur un graphe bi-logarithmique, les valeurs des résistivités apparentes mesurées en fonction de la longueur de ligne AB ; on obtient une courbe du sondage électrique dont l'interprétation va servir à déterminer graphiquement les résistivités  $\rho_i$  et les épaisseurs  $h_i$  des différents niveaux lithologiques.

### 2.1.2. Etalonnage du sondage électrique

Pour l'établissement d'une échelle des résistivités qui sera utilisée lors de l'interprétation des sondages électriques et en raison de la particularité géologique et hydro chimique (présence d'eau salée) dans les secteurs étudiés, nous nous sommes basés sur les sondages étalons réalisés à proximité des forages et les données des travaux antérieurs réalisés dans la région d'études (ENAGEO1978, TOUBAL 1992).

#### a. Etalonnage du sondage électrique A1 à l'aide de forage E7-7395 :

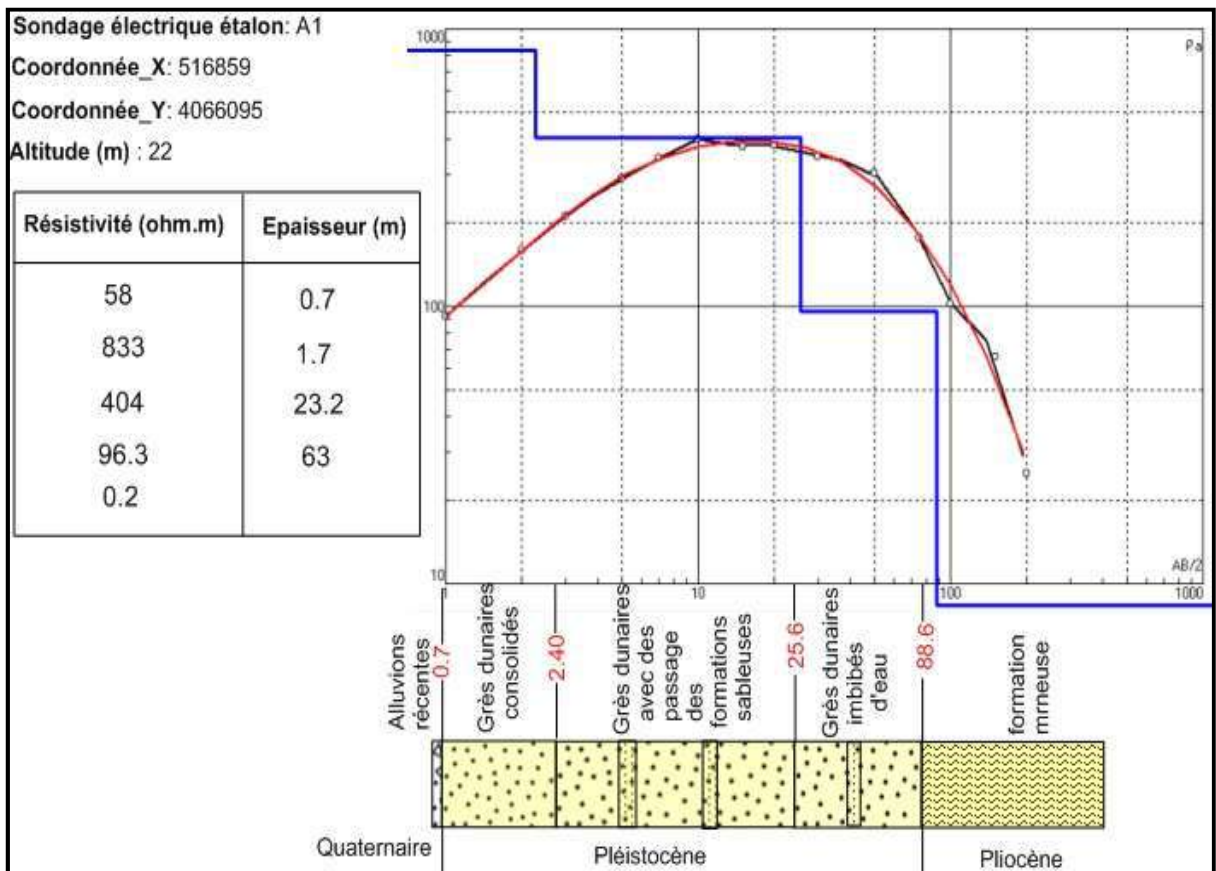


Fig.29: Etalonnage du sondage électrique A1 à l'aide de logiciel Ipi2win

Tableau9 : Description de Sondage étalon A1

Terrain	Description
1	Une formation alluvionnaire constituée d'argiles et de sables présente une résistivité de 58Ω.m et une épaisseur de 0.7m contribué au quaternaire récent
2	Terrain très résistant constitué de grès dunaires consolidés de Pléistocène d'une épaisseur de 1.7m et une résistivité de 833Ω.m
3	Terrain très résistant constitué de grès dunaires avec une intercalation de formations sableuses ou la résistivité enregistrée est de 404Ω.m avec une épaisseur de 23m représente le pléistocène
4	Terrain constitué de grès dunaires imbibés d'eau douce d'une épaisseur de 63m et une résistivité de 96.3Ω.m
5	Substratum marneux d'une résistivité de 0.2 Ω.m contribué au pliocène

## b. Etalonnage du sondage électrique A2 à l'aide de Piézomètre PZ 39 :

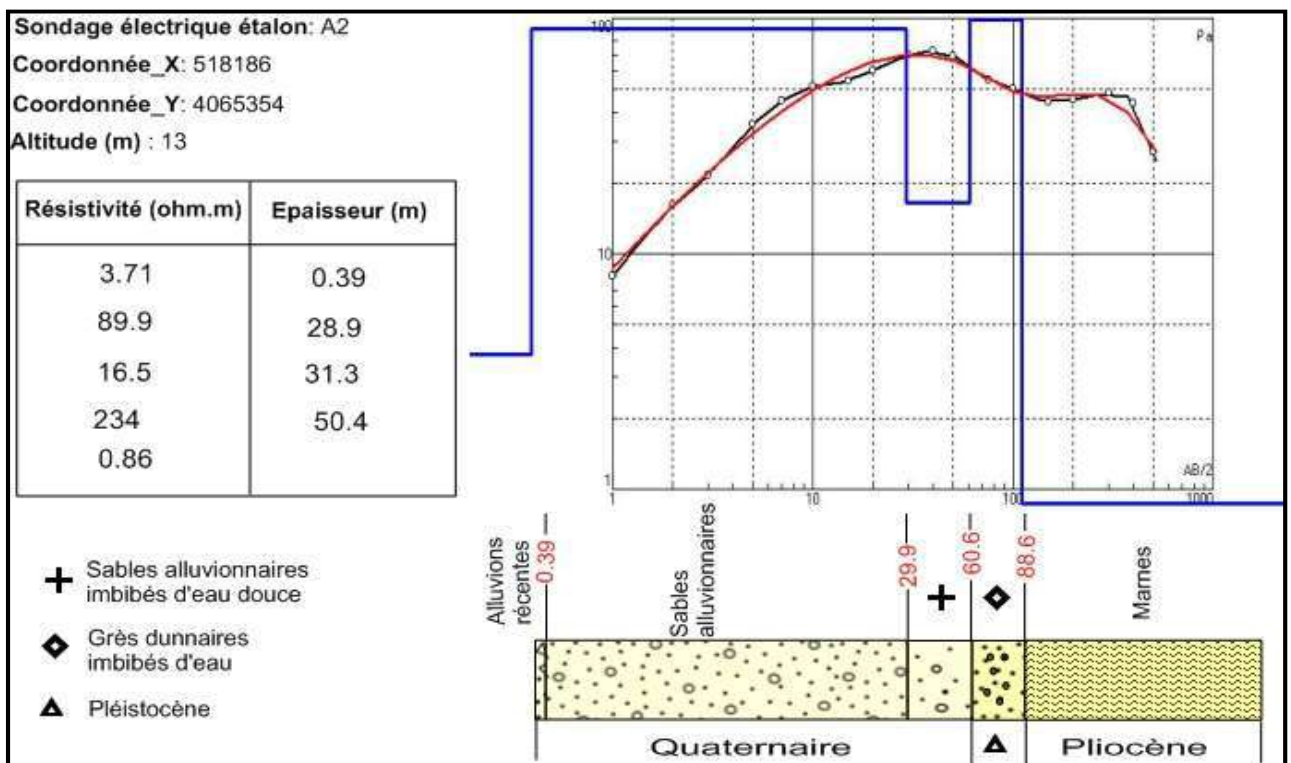


Fig.30: Etalonnage du sondage électrique A2 à l'aide de logiciel Ipi2win

Tableau 10 : Description de sondage étalon A2

Terrain	Description
1	Terrain conducteur d'une résistivité de 3.71 $\Omega$ .m et une épaisseur de 0.39m. attribué au quaternaire, constitué d'alluvions récente essentiellement argileux.
2	Terrain résistant constitué de sables alluvionnaires de quaternaire d'une épaisseur de 28.9m et une résistivité de 89.9 $\Omega$ .m
3	Terrain conducteur d'une résistivité 16.5 $\Omega$ .m avec une épaisseur de 31.3m constitué de sables alluvionnaires imbibés d'eau.
4	Terrain très résistant de Pléistocène d'une résistivité de 234 $\Omega$ .m et une épaisseur de 50.4m constitué de grès dunaires imbibés d'eau
5	Substratum marneux très conducteur de pliocène d'une résistivité de 0.86 $\Omega$ .m

## c. Etalonnage du sondage électrique B4 à l'aide de forage F2 HZ :

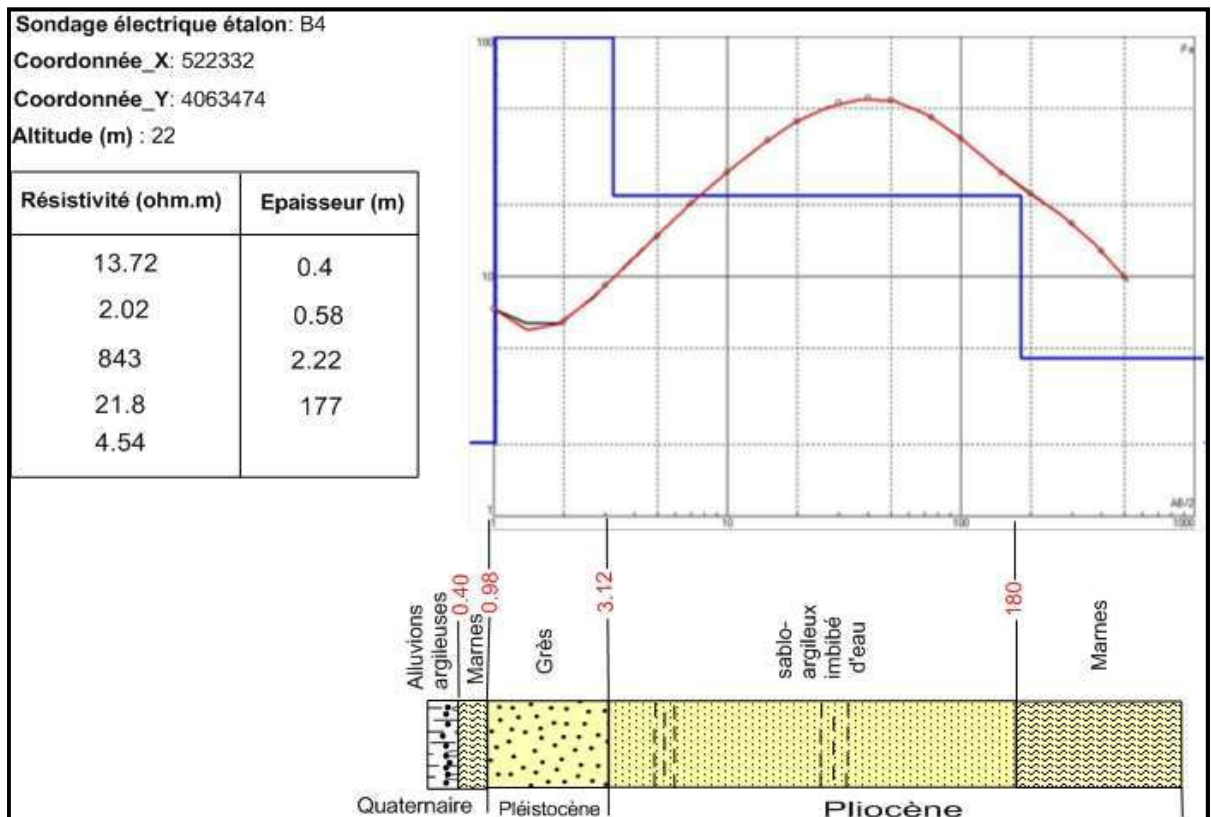


Fig.31: Etalonnage du sondage électrique B4 à l'aide de logiciel Ipi2win

Tableau 11: Description de sondage étalon B4

Terrain	Description
1	Terrain conducteur d'une résistivité de 13.72 $\Omega$ .m et une épaisseur de 0.4m. attribué au quaternaire, constitué d'argile alluvionnaire.
2	Niveau très conducteur d'une résistivité de 2.02 $\Omega$ .m et une épaisseur de 0.58m ; c'est une formation marneuse.
3	Niveau très résistant d'une résistivité de 843 $\Omega$ .m et une épaisseur de 2.22m constitué de grès de Pléistocène.
4	Terrain conducteur constitué par des formations sablo-argileux d'une résistivité de 21.8 $\Omega$ .m et une épaisseur de 177m contribué au pliocène.
5	Substratum marneux très conducteur d'une résistivité de 4.54 $\Omega$ .m

### 2.1.3. Echelle des résistivités :

Echelle des résistivités adoptée d'après la description des sondages étalons est la suivante :

Age	Lithologie	Résistivité ( $\Omega$ .m)	
Quaternaire	Alluvions	Argilo-sableuses	10-58
		Argileuses	3-15
		Graviers argileuses	10-96
	Marnes	Formations marneuses, argilo-marneuses	2-5
Pléistocène	Grès	Grès dunaires sains	830
		Grès dunaires avec de passages des sables	200-400
Pliocène	Sablo-argileux		20-40
	Argilo-marneux		10-20
	Marnes		<5

#### 2.1.4. Présentation des données géo électriques

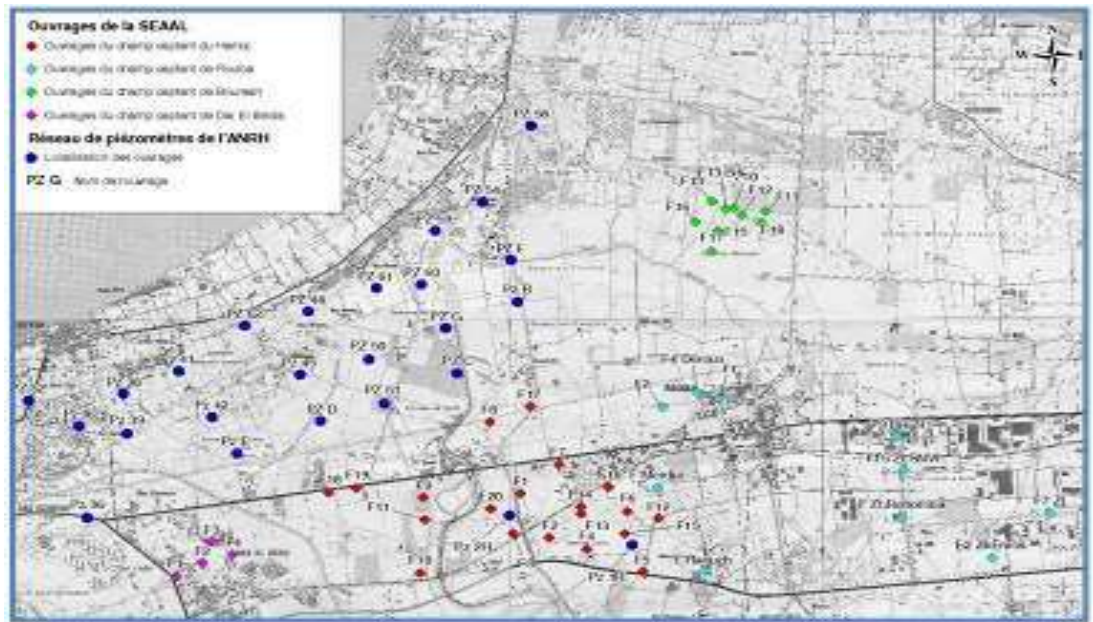
Les résultats des sondages électriques verticaux sont représentés; à l'aide de logiciel Surfer 12, et Ip2Win sous forme des diagrammes où l'on porte en abscisse la demi longueur de AB, et en ordonnée la valeur de la résistivité apparente correspondante, avec une échelle bi-logarithmique. Elles sont représentées également sous la forme de cartes de résistivité apparente pour des longueurs de ligne d'émission AB choisis (AB= 40 m, 100m, 300m, 400m) ainsi qu'une carte de résistances transversale. En fin, des coupes géo électriques sont réalisées pour délimiter la longue de biseau salé.

#### 2.2. Etude de la piézométrie

La mesure du niveau des eaux souterraines est d'une importance fondamentale dans l'hydrogéologie. Ce niveau peut être utilisé pour plusieurs raisons, y compris l'établissement d'une carte piézométrique, dont le but est de représenter à une date donnée, la distribution spatiale des charges et potentiels hydrauliques ; cette carte est nécessaire afin de connaître l'extension de l'aquifère, la direction et la vitesse de l'écoulement des eaux souterraines, ainsi que leur zones d'accumulation. Elle traduit le comportement hydraulique de la nappe (zones d'alimentation, d'exutoire et de surexploitation) et son évolution dans le temps. L'interprétation des enregistrements piézométriques effectués selon des pas de temps réguliers ou variables, montre l'évolution piézométrique ponctuelle de la nappe suite à son alimentation ou à son exploitation locale. L'information piézométrique ne peut pas alors, être ponctuelle (Margat, 1972). C'est ce qui fait que cette dernière, est parfaitement explicite de l'état quantitatif de la ressource en eau souterraine, en n'importe quel point localisé dans l'espace ou dans le temps (Compte, 1994).

La première carte piézométrique de la Mitidja réalisé est celle de Géo Hydraulique à la fin des années 60. Cette carte a été établie à partir d'un grand nombre de points (plus de 600). Le premier inventaire partiel des points d'eau a été réalisé en 1974 par l'agence nationale des ressources hydraulique (ANRH). Cet inventaire a été complété en 1991. Depuis juin 1993, un réseau piézométrique a été sélectionné pour le suivi de la nappe. Ce réseau fait l'objet de deux campagnes de mesure du niveau statique durant la période 1993- 1994. Depuis, le suivi de cette nappe a été interrompu pour des raisons sécuritaires pour être repris en 2003.

Dans le cadre de la surveillance de la fluctuation des eaux souterraines, l'ANRH a retenu des points de mesures constitués de puits, de piézomètres et de forages non exploités. (Figure32). Ces points d'observation forment le réseau piézométrique de la nappe alluviale de la Mitidja.



*Fig. 32: Réseau de surveillance de la baie d'Alger et forages d'eau des champs de captage De la SEAAL.*

### 2.3. Etude hydro chimique

Cette étude est basée sur l'analyse des échantillons d'eau prélevés en avril 2017 au niveau de 10 points répartis sur l'ensemble de la zone d'étude. 5 échantillons sont analysés au laboratoire de la SEAAL et 5 échantillons au niveau de laboratoire d'ANRH de Blida.

La Fig32montre la localisation des points de prélèvements.

Les paramètres physico-chimiques (pH, température et conductivité) ont été déterminés in situ, grâce à un multi paramètres portatif. Les échantillons devant être analysés au laboratoire ont été prélevés dans des flacons en polyéthylène après été filtrés et acidifiés pour les cations. Le calcium, magnésium et chlore ont été dosés par titrimétrie. Le sulfate par photo colorimétrie, le sodium et potassium au moyen d'une spectrométrie d'absorption atomique à flamme.

Cette étude hydro chimique consiste à :

- Déterminer la répartition quantitative des différents éléments chimiques majeurs : anions ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) et cations ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$ ) dissous dans les eaux de la nappe et de suivre leur évolution spatiale.
- Déterminer le faciès chimique des eaux ainsi que leurs qualités.
- Evolution des teneurs en ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) en fonction de la distance de la mer.
- Evolution de la conductivité électrique des eaux souterraine en fonction de la distance de la Mer.



### **3. Conclusion**

Le phénomène d'intrusion saline est un processus actif qui correspond à une rupture de l'équilibre hydrodynamique entre l'eau douce et l'eau de mer par une baisse importante de la charge et des flux d'eau douce et/ou une augmentation de la charge d'eau de mer.

On peut distinguer deux facteurs principaux ayant pu causer une intrusion marine : un facteur naturel : une insuffisance d'Apports et un facteur anthropique : excès d'Exores.

L'intrusion saline au sein des aquifères littoraux peut être caractérisée en ayant recours à différents outils utilisés en hydrogéologie tels que :

- La géophysique
- La piézométrie
- L'hydrochimie

## *Partie III*

### *Résultats et discussion*

## 1. Mise en évidence de l'intrusion marine par la géophysique

L'utilisation de la prospection géophysique pour la détection et la caractérisation des aquifères a connu un essor important ces dernières années. Dans le cas de la salinisation (problème de l'intrusion marine, salinisation continentale des nappes etc....), le paramètre physique qui permet de la caractériser est la résistivité électrique, exprimé en  $\Omega\text{m}$ ; représente la capacité de matériau à s'opposer au passage d'un courant électrique, elle représente l'inverse de la conductivité électrique, exprimée en S/m.

Cette présente étude concerne la partie Est de la plaine de la Mitidja qui a pour objectif de faire, un diagnostic sur l'état des eaux souterraines et de cartographier par conséquent l'avancé du biseau salé dans l'aquifère côtiers de cette plaine.

### 1.1. Interprétation des Cartes des résistivités apparentes

#### 1.1.1. Cartes des résistivités apparentes (AB=40 et AB=100) :

Les cartes de résistivités apparentes de longueur AB=40 et AB=100 montre bien que la résistivité apparente augmente en allant de la plaine vers la côte avec des valeurs qui varie entre 60 et 220  $\Omega\text{m}$ . Ces fortes valeurs enregistrées près de rivage reproduisent la structure morphologique et les formations géologiques de terrain qui présente des bombements dunaires secs très résistant au niveau de Bordj El Kifan et la Rassauta.

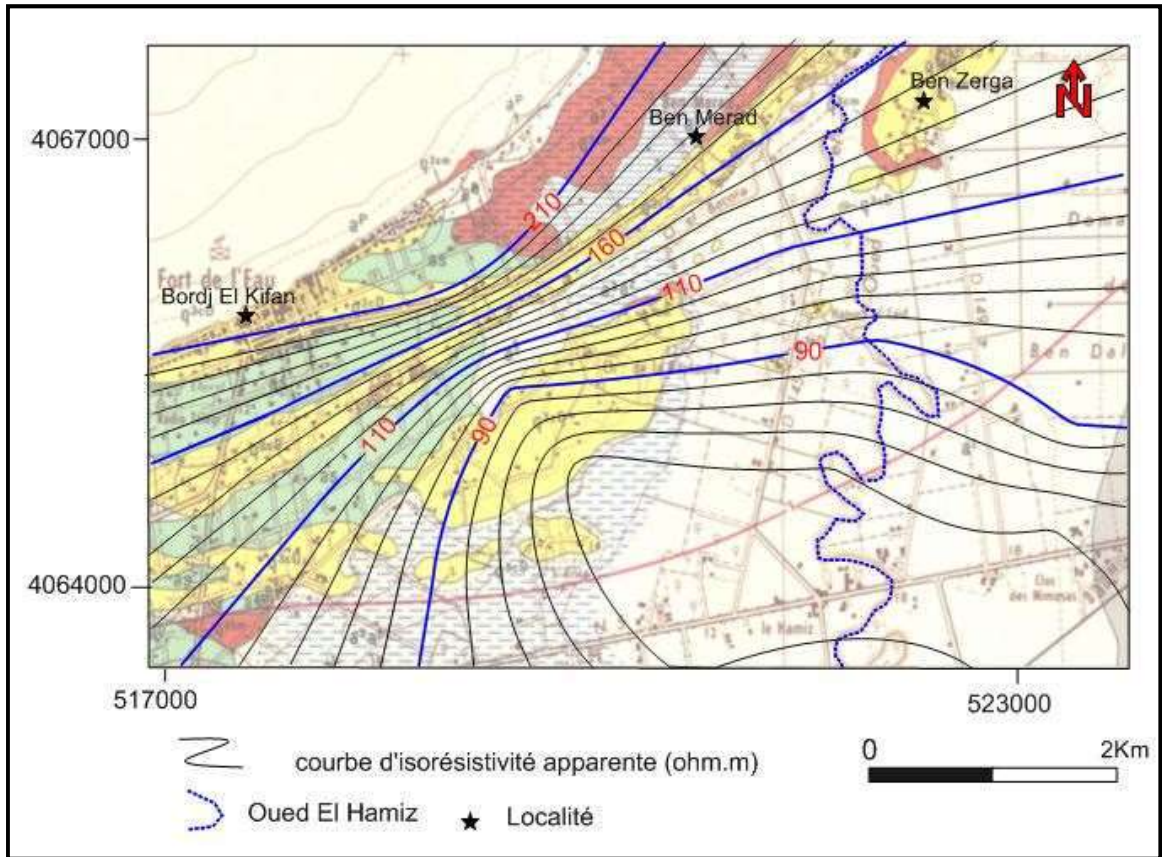


Fig.33: Carte des résistivités apparentes AB=40

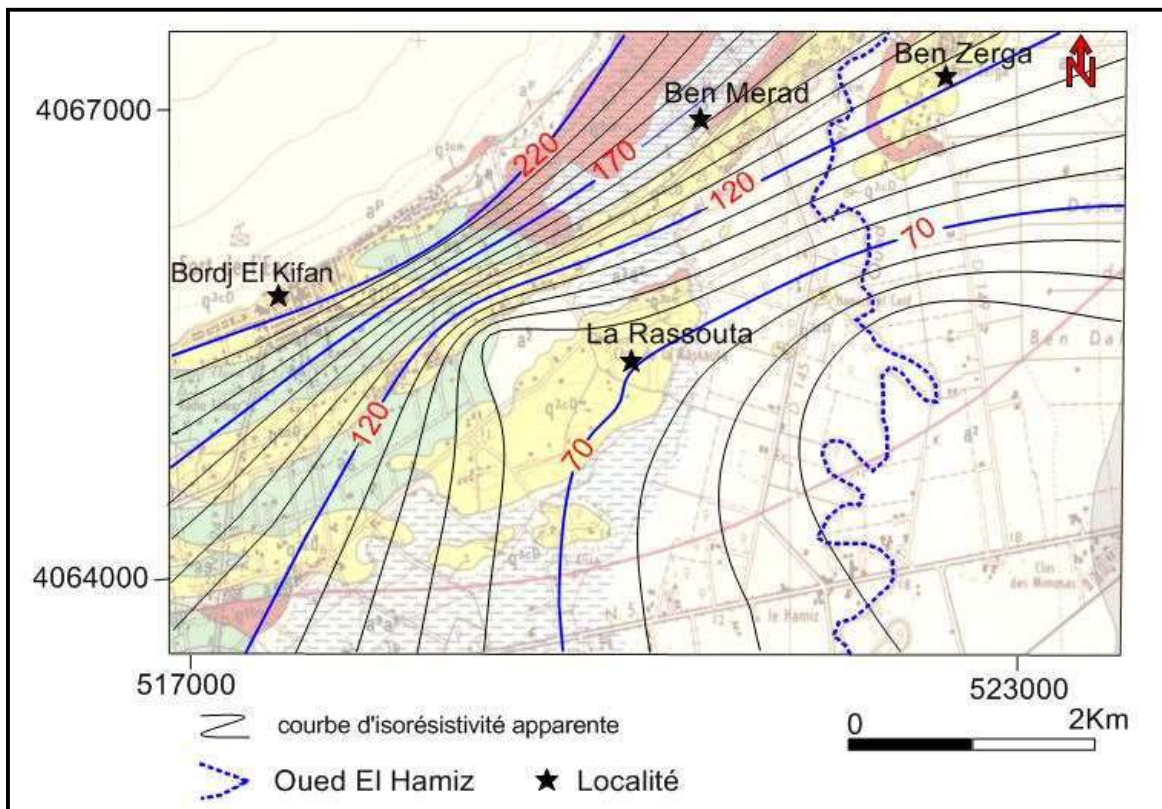


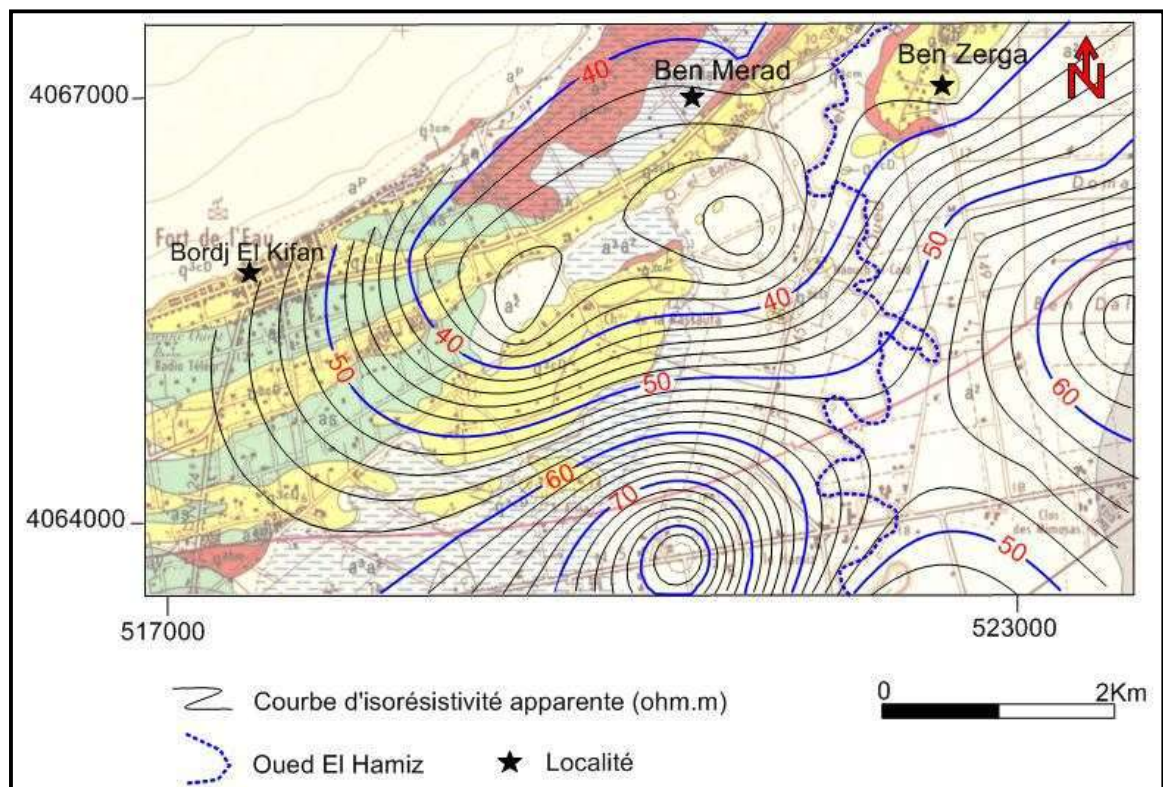
Fig.34: Carte des résistivités apparente AB=100

### 1.1.2. Cartes des résistivités apparentes (AB=300 et AB=400) :

Contrairement aux cartes précédentes ; les cartes des résistivités apparentes de la longueur AB=300 et AB=400 montre bien que les valeurs des courbes iso résistivités diminues en allant du Sud de la plaine vers le Nord (littoral), ce qui signifie que la couche superficielle résistante est complètement disparue et l'intrusion des eaux de mer vers la plaine est généré.

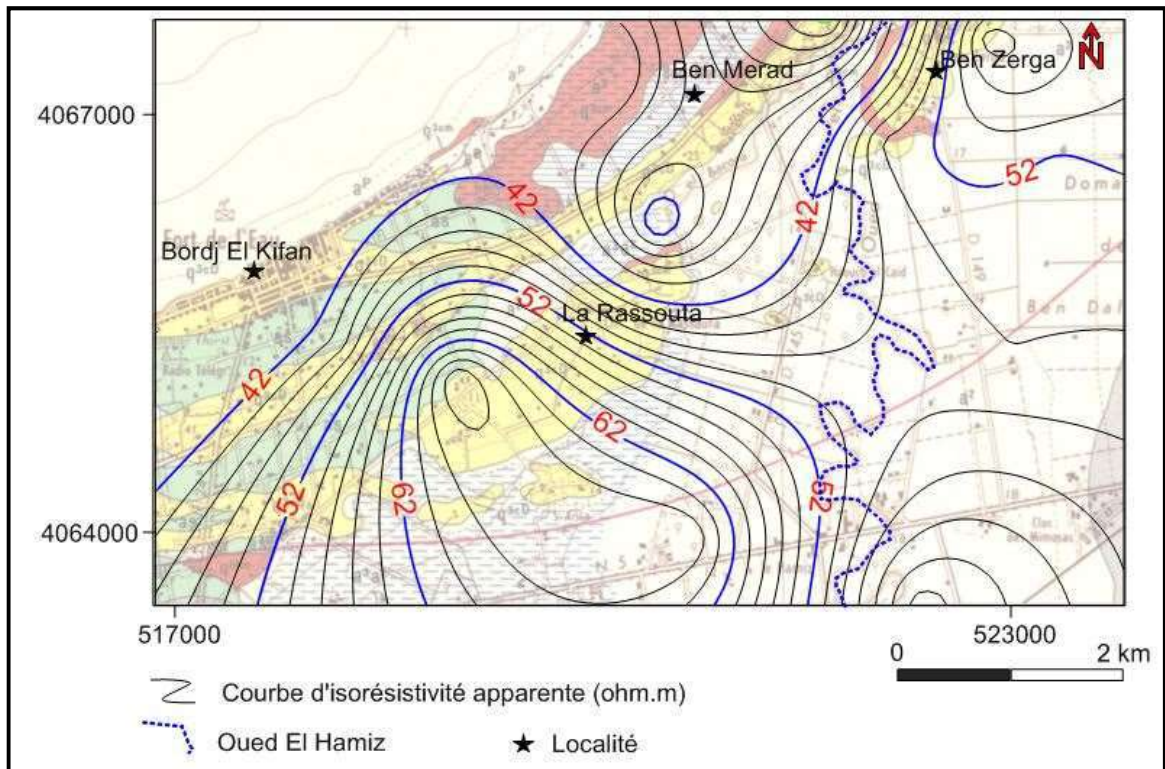
La faible résistivité enregistrée (40  $\Omega$ .m) au Sud de Ben Merad et au nord-est de la Rassauta (fig.35), est due probablement aux apports des métaux lourds d'Oued El Bacora qui provient de la nouvelle zone industrielle de Bab Ezzouar ou aux formations alluvionnaires récentes et aux faciès argileux (d'après la coupe géoélectrique ; Toubal 1992) qui présente des résistivités de 10 à 50  $\Omega$ .m.

Une courbe d'isorésistivité de 70  $\Omega$ .m est enregistrée au nord-ouest de la Rassauta au sud de Bordj El Kifan pourrait coïncider avec la remonté du toit de substratum marneux de l'aquifère.



**Fig.35: Carte des résistivités apparentes AB=300**





**Fig.36: Carte des résistivités apparentes AB=400**

### 1.2. Interprétation des Pseudo-sections et coupes géo électriques :

L'établissement des Pseudo-sections a pour but la mise en évidence de la variation de la résistivité verticale des différentes couches et l'extension horizontale de ces dernières.

Les coupes géoélectriques d'orientation Nord-Sud d'une part et Nord Nord-Ouest Sud Sud Est d'autre part, montrent généralement trois formations distinctes ; le quaternaire, le pléistocène et le pliocène.

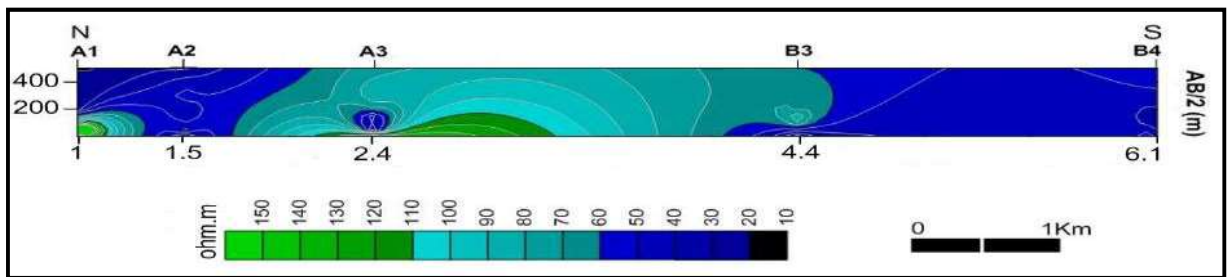
On notera dans ces coupes géoélectriques, que les dépôts du Quaternaire sont représentés par deux à trois niveaux, dont on trouve de haut en bas:

Un niveau résistant, se compose essentiellement d'Alluvions grossières hétérogènes marquées par une résistivité qui peut atteindre 500  $\Omega$ .m ou l'épaisseur ne dépasse pas les 8 m. Les formations conductrices concernent les dépôts du Quaternaire récents représentés par les argiles ou sablo-argileux et quelques passages marneux où une résistivité varie de 4 à 80  $\Omega$ .m dont l'épaisseur varié entre 10 et 150m. des grès et poudings sont présents, aussi, se forme des lentilles minces mais avec des résistivités importantes (400  $\Omega$ .m). Les dépôts du Quaternaire sont présents dans toute la zone. Vu cette hétérogénéité, une même résistivité est apparait pour différentes couches.

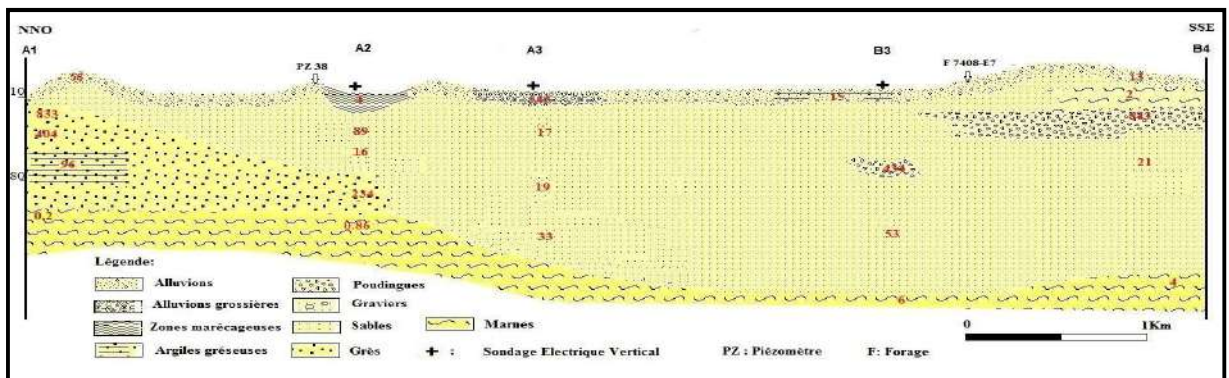
Un autre niveau très résistant de pléistocène d'une épaisseur aller de 10 à 100m où sa résistivité dépasse les 800  $\Omega.m$ , cette résistivité diminue considérablement dans le cas où ces grès sont imbibés d'eau ou bien lorsqu'il y aura une intercalation de sables et d'argiles pour atteindre une valeur aller de 200 à 400  $\Omega.m$ .

Et enfin un substratum conducteur formé par des marnes compactes et parfois marneux argileux de faible résistivité ; 0.08 à 13  $\Omega.m$ .

Les chutes des résistivités enregistrées au niveau des Sondages Électriques Verticaux (B1, B2, C1, C2 et D1) dans les formations sont essentiellement sableuses dues à la présence d'eau salé proviens de l'intrusion des eaux marines vers le continent sur un axe préférentiel N-S ou NNW-SSE allant de la région comprise entre Verte rive et Stamboul vers le champ de captage Hamiz sur une distance d'environ 3.5 Km.



*Fig.37: Pseudo-section de profil (A)*



*Fig.38: Coupe géo électrique de profil (A)*



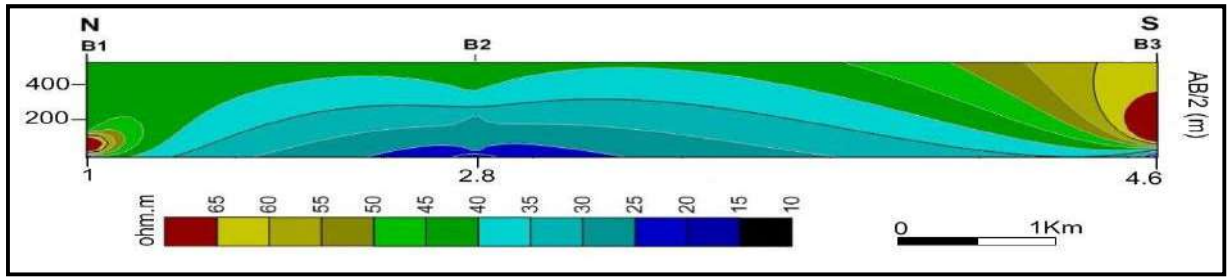


Fig.39: Pseudo-section de profil (B)

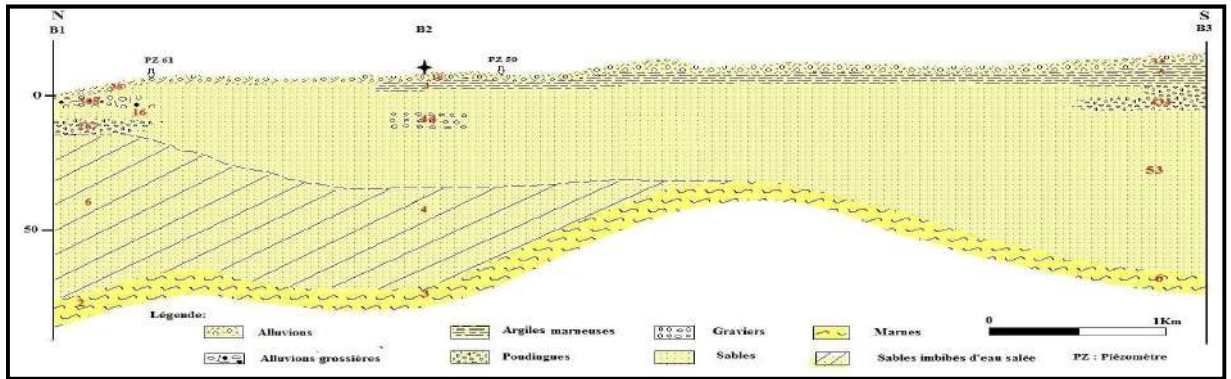


Fig.40: Coupe géo électrique de profil (B)

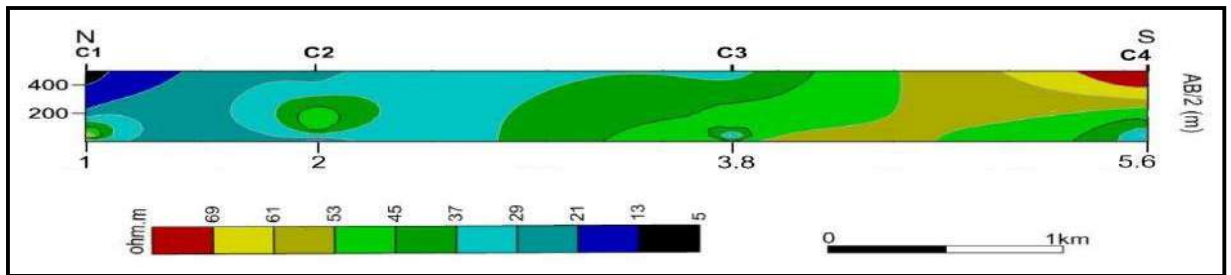


Fig.41: Pseudo-section de profil (C)

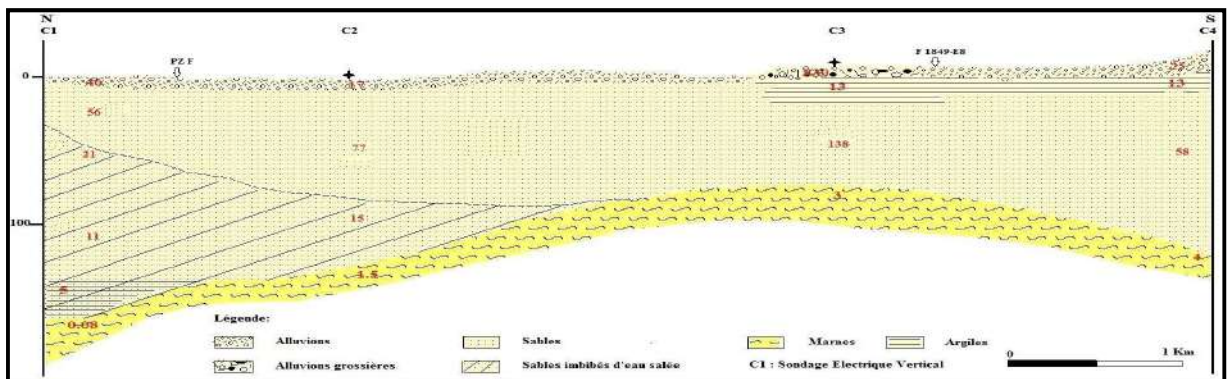
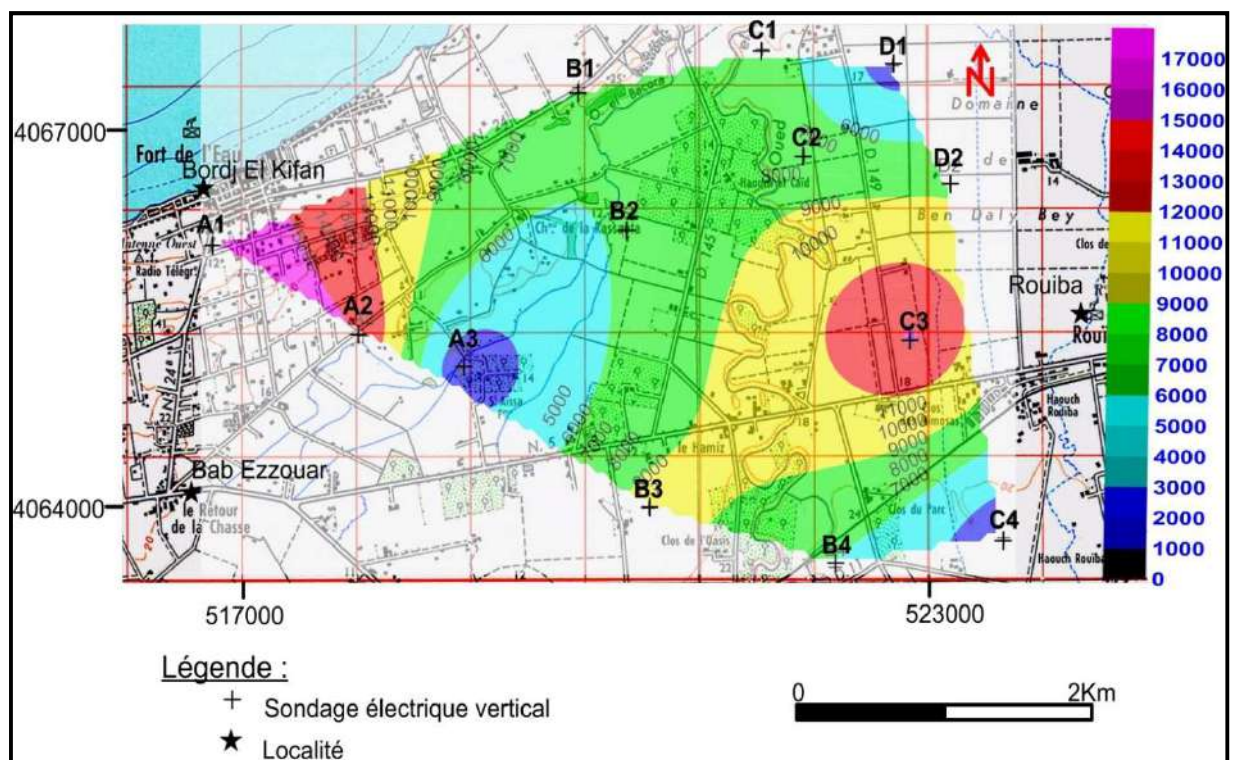


Fig.42: Coupe géo électrique de profil (C)

### 1.3. Interprétation de la Carte de la résistance transversale :

Les fortes valeurs des résistances transversales enregistrées au niveau des sondages électriques verticaux (SEV A1, SEV A2) sont expliquées par la présence des formations dunaires très résistantes, et celle de (SEV C3) est due aux formations alluvionnaires grossières en surface et aux formations sableuses résistantes en profondeur.

Les faibles valeurs enregistrées au niveau des SEV (B1, B2, C1, C2 et D1) témoignent la contamination de la nappe par les eaux de mer. Par contre la faible valeur de la résistance transversale marquée par le SEV A3 est due à la formation sableuse conductrice de l'aquifère.

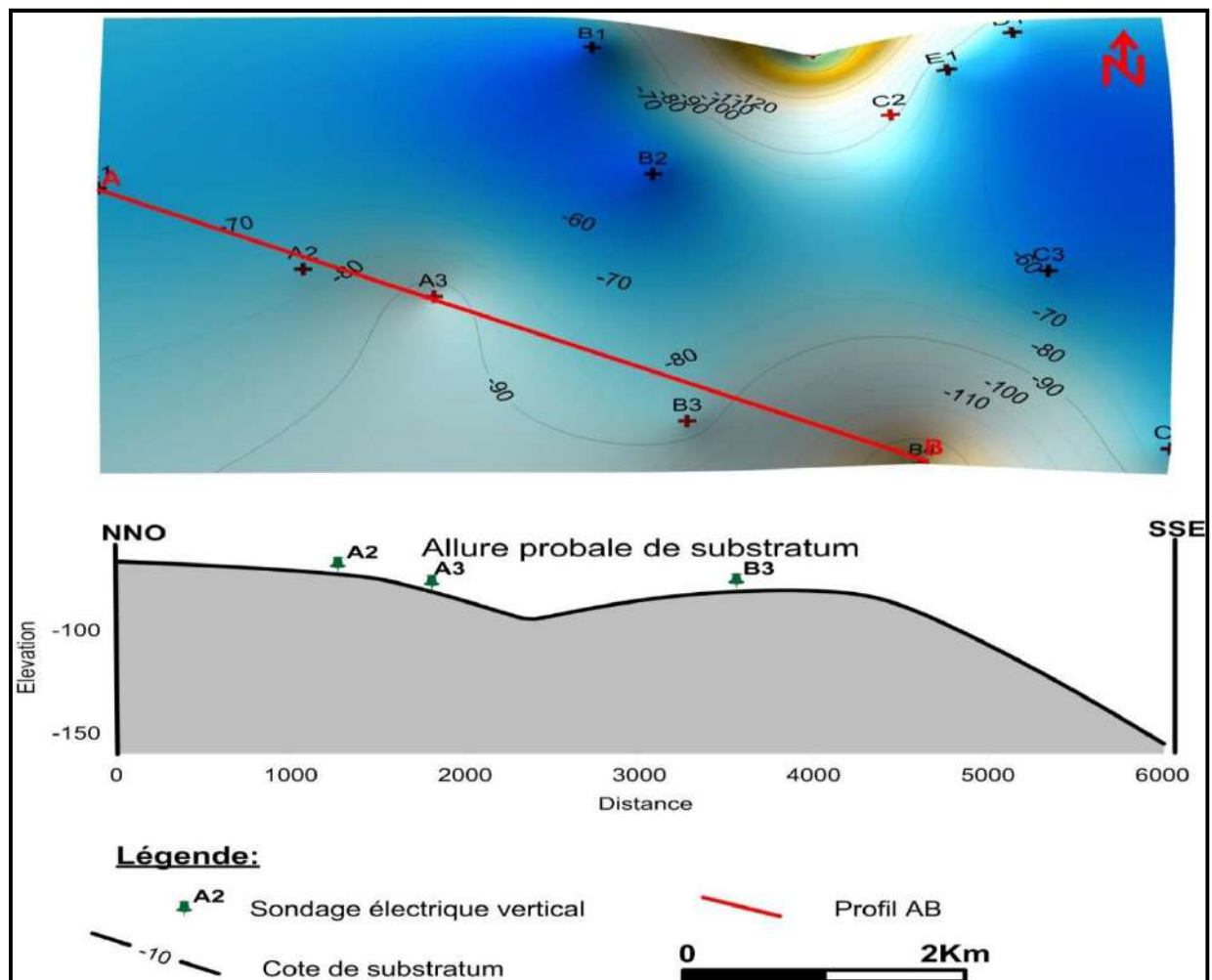


*Fig.43: Carte de la résistance transversale*

#### 1.4. Interprétation Carte des isohypses du toit de substratum conducteur :

Cette carte de synthèse (fig.44) a été réalisée en utilisant le logiciel Surfer 12, les côtes du toit de substratum conducteur sont interpolées spatialement en utilisant la méthode du krigéage. D'une manière générale la carte des isohypses fait ressortir que le substratum conducteur de Pliocène plonge du nord vers le sud avec un aspect sinusoïdale.

Vu la difficulté de différencier entre les marnes conductrices de pliocène et les formations imbibées d'eaux de mer, un profil (AB) d'une direction NNO-SSE a été réalisé afin d'éclairer mieux l'allure de toit de substratum marneux, ou il ressort une zone très profonde au niveau de Haouch El Kaid sur la rive gauche de Oued El Hamiz au sud de Bateau cassé ce qui constitue un couloir favorisant l'invasion saline.

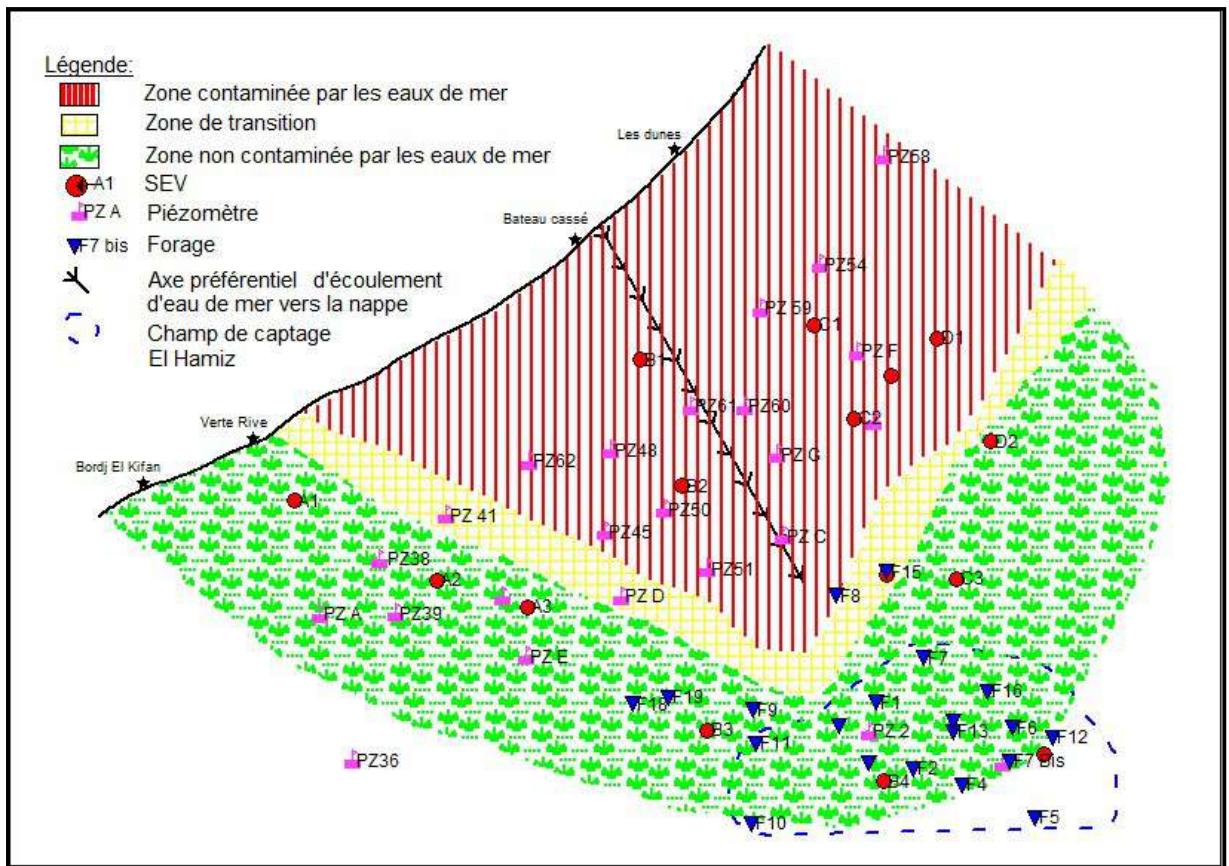


*Fig.44 : A) Carte synthétique du toit de substratum marneux, B) Profil de l'allure de substratum marneux*



### 1.5. Cartographie de biseau salé :

A partir de l'interprétation qualitative et quantitative des données de la campagne géophysique réalisée, on a pu cartographier probablement la limite de l'intrusion marine vers l'aquifère de la Mitidja Est et son axe préférentiel d'écoulement qui s'étend de Bateau Cassé jusqu'au champ de captage de Hamiz sur une distance de 3.5 km.



**Fig.45 : Carte schématique de biseau salé dans la baie d'Alger 2013**

L'interprétation des données des sondages électriques paraît délicate en raison de la confusion entre les résistivités des formations imbibées d'eau salée et celles des formations marneuses à argileux marneuses voir même les différentes résistivités qui peuvent avoir une même origine (formation sableuse présente des différentes résistivités qui varie entre 20 et 130 Ohm.m).

L'analyse des cartes des résistivités apparentes montre qu'il existe deux niveaux, le premier en surface avec des résistivités élevées et un autre en profondeur avec des faibles résistivités.

Les coupes géoélectriques établies montrent une avancée importante de biseau salé comparativement aux travaux réalisés par Mr Toubal, 1992. Malgré les difficultés d'interprétation liées aux principes de suppression et d'équivalence, et l'anisotropie de l'aquifère ainsi qu'à l'existence d'une gamme de résistivité parfois pu différencier, la méthode s'est distinguée par sa capacité de résolution.

La carte de la résistance transversale confirme l'axe de l'intrusion marine par la présence d'une zone subsidente de substratum marneux de la nappe au sud de la région comprise entre Bateau cassé et Stamboul en direction de champ de captage El Hamiz.

La carte de toit de substratum marneux montre une irrégularité de la forme de substratum.

En fin, on peut dire que l'étude géophysique nous a permis de mettre en évidence l'invasion marine vers la nappe côtière de la Mitidja Est et de cerner la zone contaminée.

## **2. Mise en évidence de l'intrusion marine par la cartographie piézométrique**

L'étude de la piézométrie et de ses variations à court ou long terme permet de caractériser le fonctionnement hydrogéologique d'un aquifère. Dans le cas des aquifères côtiers, l'étude de l'équilibre des charges entre l'aquifère et la mer est primordiale pour comprendre et prévoir l'évolution de la salinité.

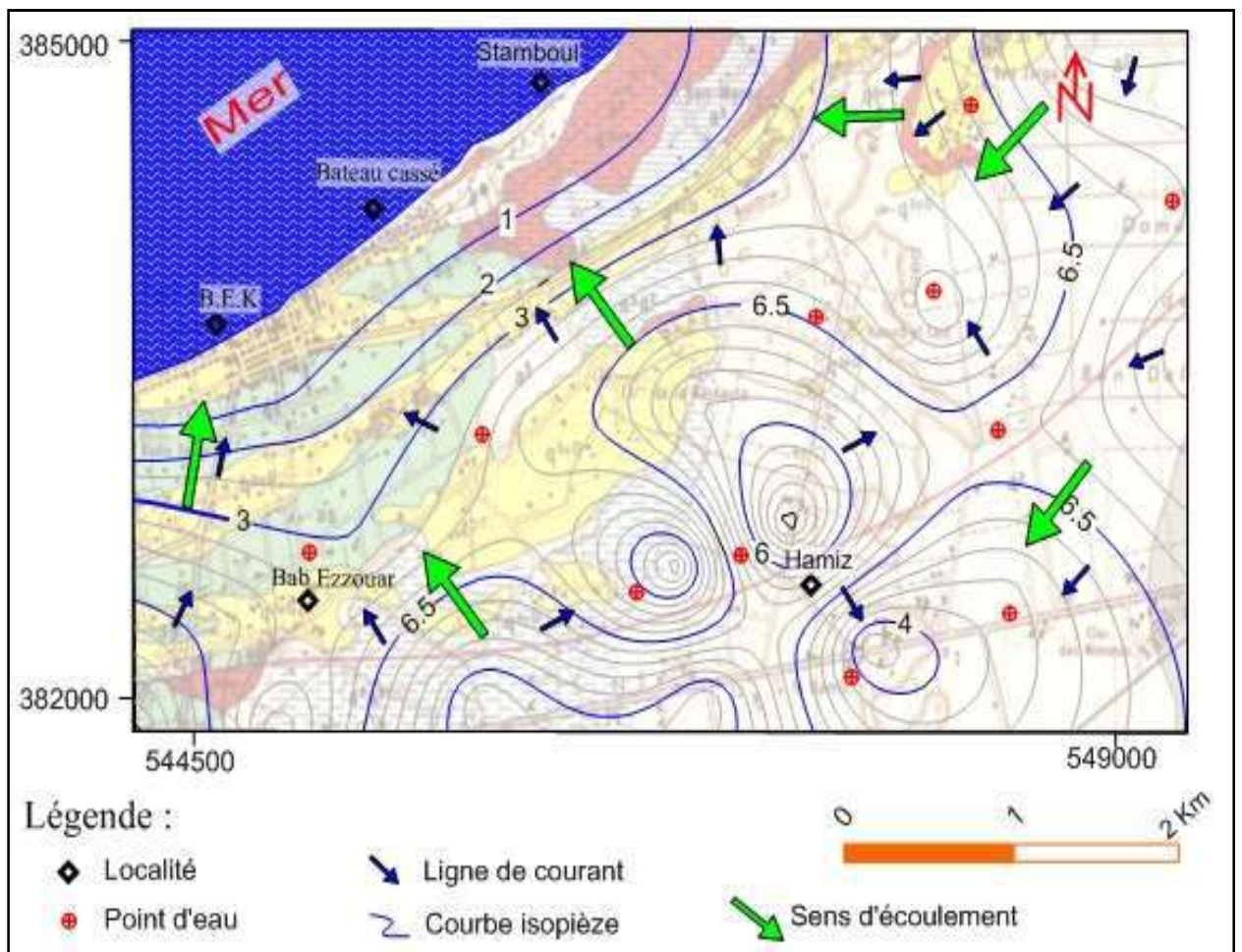
Le suivi de la piézométrie dans la baie d'Alger, l'Agence Nationale des Ressources Hydriques direction régionale centre/SOUMAA et dans le cadre de son plan d'action a établi un réseau de surveillance où pas moins de 20 piézomètres ont été installés plus les deux piézomètres de la SEAAL au niveau de champ de captage de Hamiz dans le but la suivi du niveau piézométrique et échantillonnage d'eau.

### **2.1. Interprétation des cartes piézométriques de la période 1983-2014**

Les campagnes piézométriques réalisées en 1983 et en 2014 au niveau de la baie d'Alger, ont permis d'établir les cartes piézométriques suivantes :

➤ **Cartes piézométriques 1983 :**

Compte tenu du nombre réduit de niveaux piézométriques disponibles et des incertitudes des données récupérées, la réalisation d'une carte piézométrique reste sujette à caution. Néanmoins, on peut proposer la carte simplifiée suivante (figure46) ; nous permettre de caractériser les directions et les sens d'écoulement de la nappe ainsi que les zones de drainage et l'évolution du gradient hydraulique de la nappe. En effet, l'écoulement général de la nappe se fait du Sud vers le Nord, vers la mer qui constitue son seul exutoire naturel et à cet écoulement naturel se superpose un autre écoulement vers les forages des champs de captages.



**Fig.46 : carte piézométrique de la Mitidja Est 1983(A.N.R.H)**



Cet état piézométrique montre l'existence de deux zones :

-Une zone où les isopièzes sont espacées qui correspond à l'aval de la nappe et qui est caractérisé par un gradient hydraulique faible de l'aquifère remarquant ça dans la région de Stamboul et Bordj El Kiffan où la côte piézométrique est presque égale ou légèrement supérieur à celle de la mer à certains endroits, ce qui empêche l'eau de mer de pénétrer à l'intérieur des terres, selon les règles hydrodynamiques.

-Une zone des dépressions piézométriques (cône de dépression) où les isopièzes sont resserrées et le gradient hydraulique est élevé dû probablement à l'exploitation de la nappe par les laboureurs de cette région comme on remarque aussi l'existence d'une crête piézométrique lié à la géologie de cette zone (présence d'un cordon dunaire).

#### ➤ Cartes piézométriques 2014

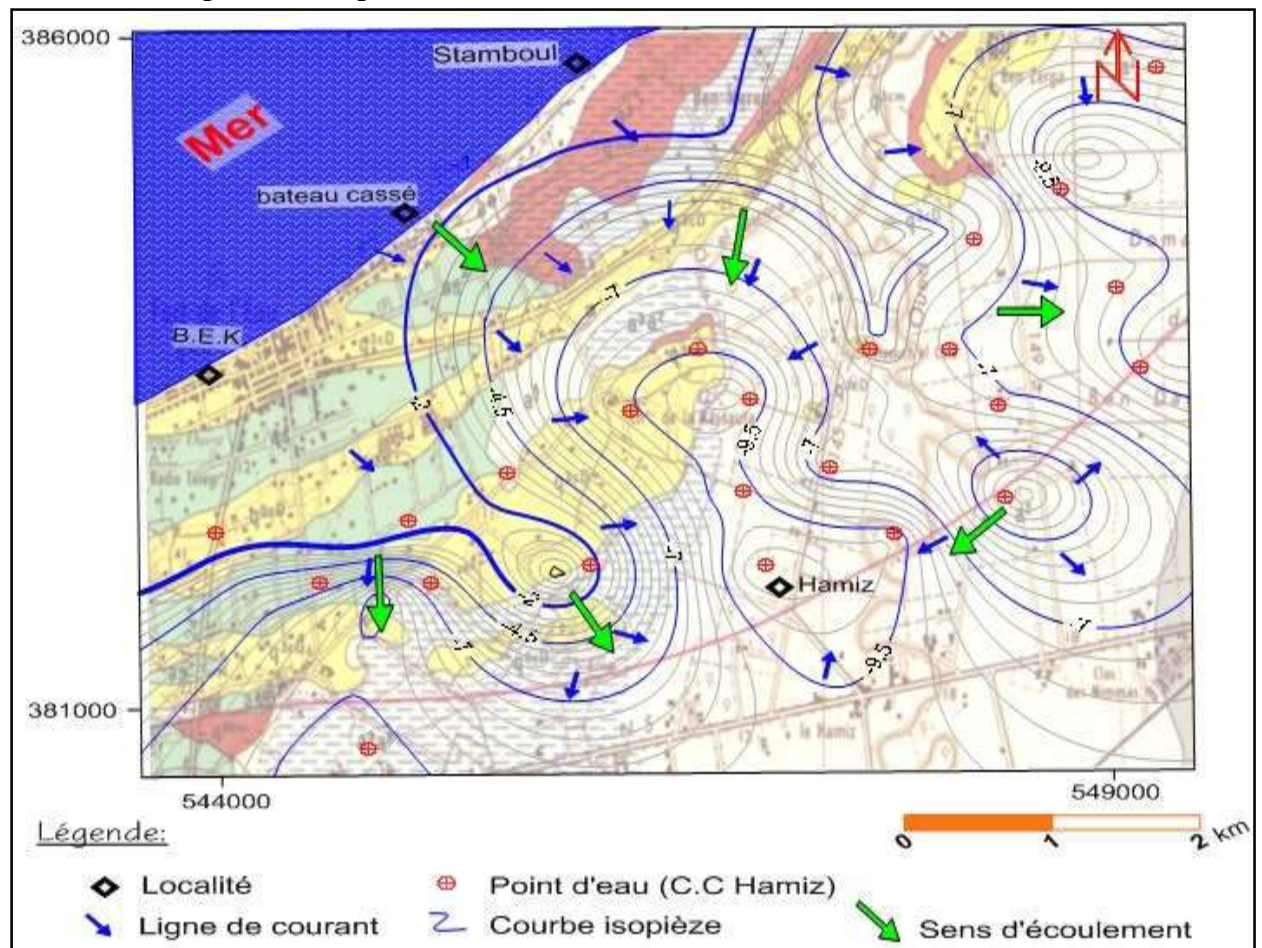


Fig.47 : Carte piézométrique de la Mitidja Est (Mai 2014). (A.N.R.H)



L'examen de la carte piézométrique de la Mitidja Est en période de hautes eaux (Mai 2014) permis de tirer les remarques suivantes :

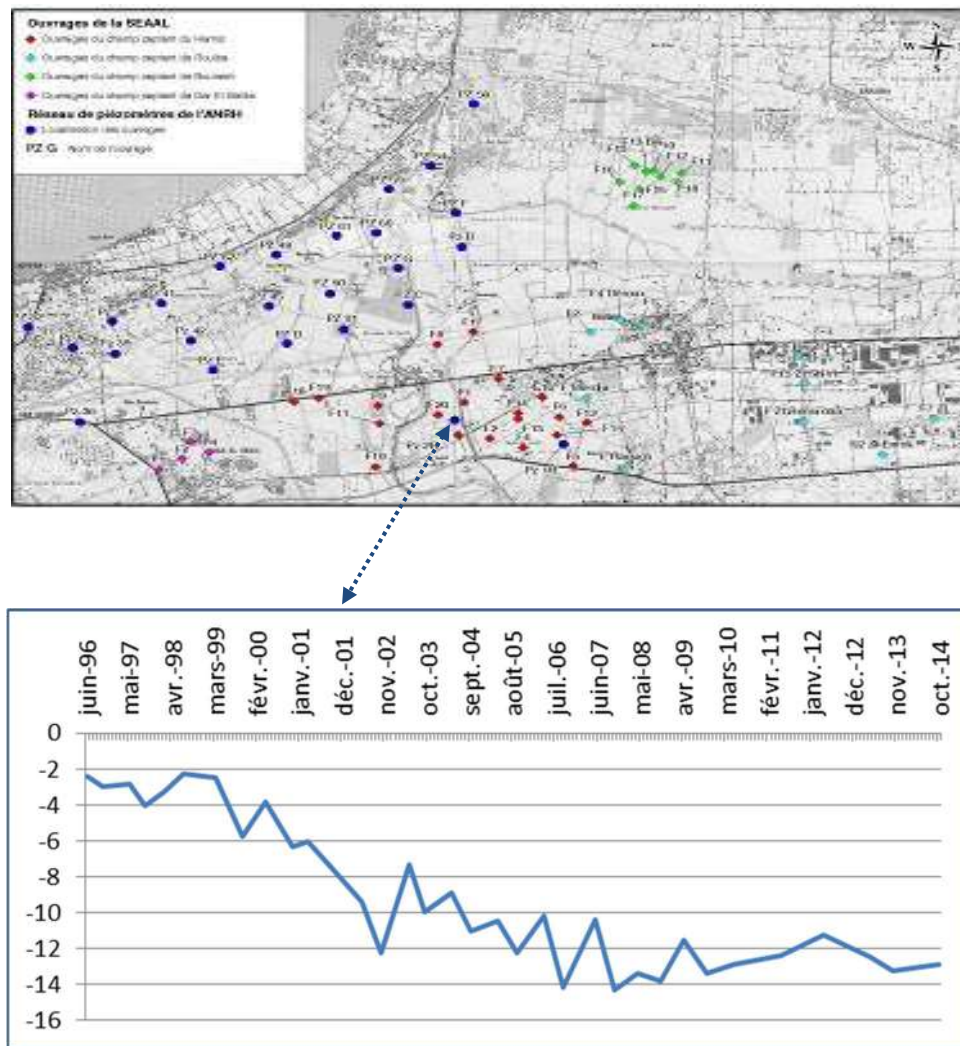
- un écoulement se fait de la mer vers la plaine de fait que les côtes piézométriques sont inférieurs au niveau de la mer (-9 à -10m), favorable à la contamination de la nappe dû à l'influence du champ de captage de Hamiz et la surexploitation dans cette zone.
- apparition des cônes de dépression au niveau des champs de captage de Bouréah, Dar El Beida, Rouïba et Hamiz conséquent par un intense pompage.
- le cordon dunaire et le léger bombement du substratum semble freiné l'extension de l'invasion marine à l'Ouest jouant ainsi le rôle de barrière hydraulique.

La comparaison entre ces deux cartes piézométriques montre clairement l'inversion du sens d'écoulement des eaux souterraines, qui se faisait du continent vers la mer en 1983, synonyme d'une invasion marine.

## **1.2. Variation du niveau piézométrique :**

Le point de mesure sélectionnée correspond au piézomètre (PZ2) situé dans le champ de captage de Hamiz.

L'observation du graphique établi sur le piézomètre PZ2 Hamiz situé à l'intérieur du périmètre de protection du champ de captage du Hamiz (figure 48), montre bien l'abaissement continu du niveau d'eau de la nappe qui varie de -2.5m en Janvier 1996 à -13.7m en Janvier 2014. Cet abaissement est dû en partie à la longue période de sécheresse et à la forte exploitation de la nappe sollicitée par des forages licites et illicites à différents usages.



**Fig.48 : Variation du niveau piézométrique PZ2 (zone Hamiz)**

L'étude piézométrique a montré une inversion de sens d'écoulement de la mer vers la nappe contrairement à l'état naturel de la nappe en 1983 où elle est soumise à la loi d'hydrodynamisme ; due à la sécheresse de ces trois dernières décennies premièrement et à une surexploitation de la ressource souterraine par les forages de la SEAAL et les puits des paysans engendré par une baisse remarquable des niveaux piézométriques ce qui fait appel à une intrusion marine vers la nappe côtière

### 3. Mise en évidence de l'intrusion marine par l'hydrochimie

#### 3.1. Les paramètres physico-chimiques

**3.1.1. Le Potentiel Hydrogène :** La plage des valeurs de pH est comprise entre 6.2 et 7.8 avec une moyenne de 7.3. Les variations de pH sont assez homogènes (coefficients de variation inférieurs à 0,5). Les eaux de la nappe des alluvions de la Mitidja sont neutres.

**3.1.2. Température :** La température des eaux varie entre 20°C et 23.5°C avec une moyenne de 21.2°C. Ces températures sont dans l'ensemble assez proches de la température de l'air qui est de 21°C, liées principalement à la profondeur relativement faible des forages.

**3.1.3. Conductivité électrique :** La conductivité électrique des eaux souterraines varie entre 833 et 3800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , avec une valeur moyenne de 1858  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Ces valeurs indiquent une minéralisation moyenne à forte car elles sont toutes globalement supérieures à 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et dépassent les normes OMS, 2000 (soit 1500mg/l). En effet, la minéralisation correspond à la totalité des sels dissous contenus dans l'eau.

#### 3.2. Evolution de la conductivité électrique dans la baie d'Alger

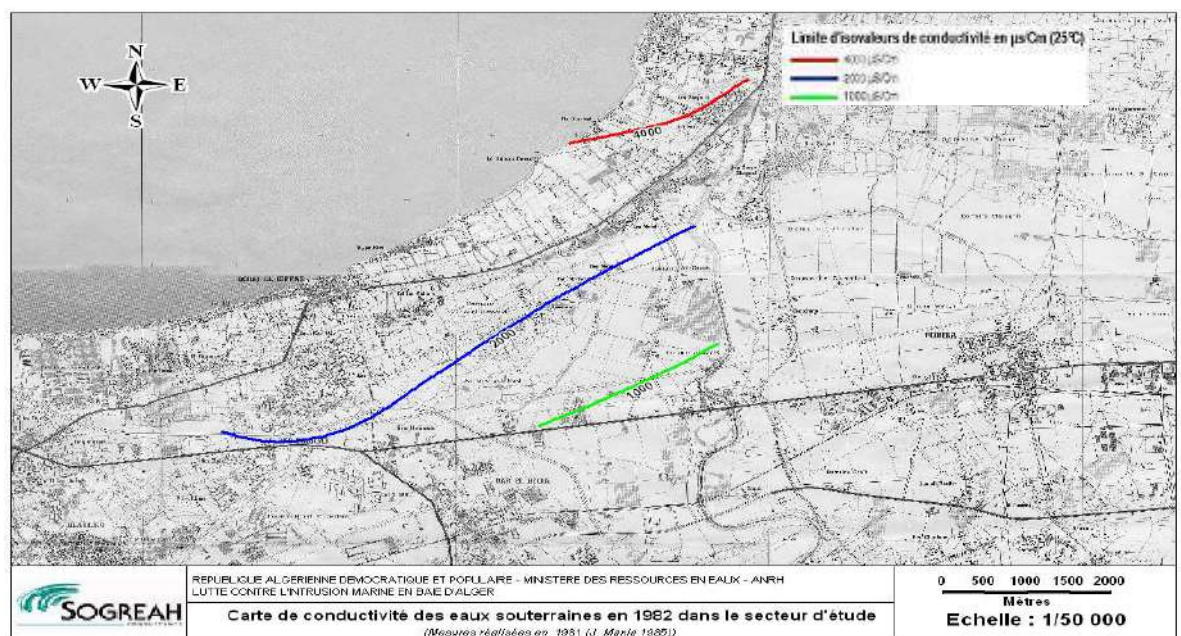


Figure 49 : Carte d'isovaleur des conductivités des eaux souterraines de 1982 (J. Mania)

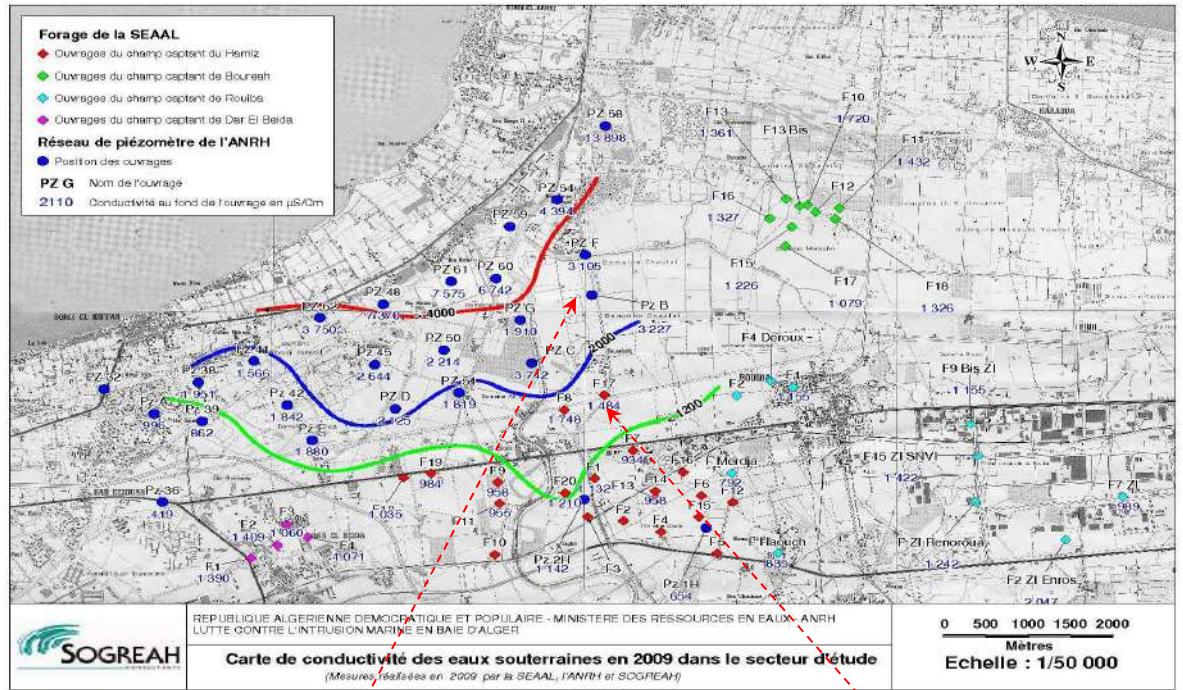


Figure 50 : Carte d'isovaleur des conductivités des eaux souterraines de 2009

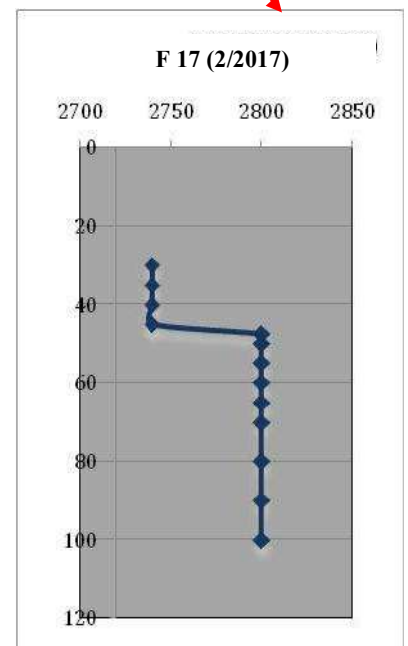
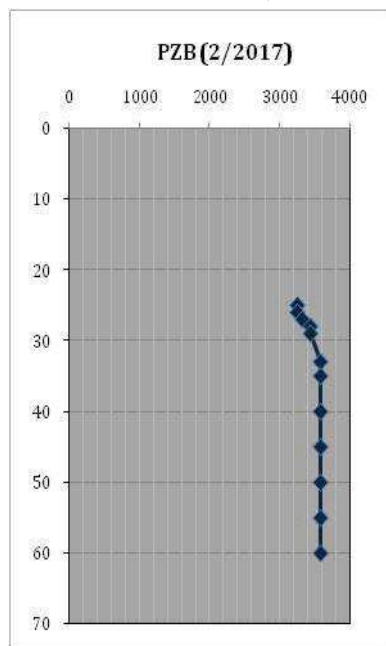


Figure 51 : Profils de conductivité à différentes profondeurs 2017



Des profils de conductivité à différentes profondeurs ont été réalisés sur les piézomètres de surveillance, ce qui a permis de réaliser les cartes d'iso-valeurs de conductivités de l'année 2009.

Les cartes ci-dessus, ont été établies dans le but de suivre l'évolution dans le temps et dans l'espace de l'avancée du front salé.

La comparaison entre les cartes d'iso-conductivités, établie en 1982 (J. Mania) et, celle réalisées durant la période 2009, ont mis en évidence cette évolution progressive du front salé depuis la côte,

Par ailleurs, l'examen des enregistrements des graphes (figure 51) recueillis des sondes multi-paramètres, installées au niveau du piézomètre **PZ B** et du forage **F17** du champ de captage du Hamiz, nous ont permis de déduire ce qui suit :

Que la conductivité enregistrée au niveau du forage F17, est passée de **1490  $\mu\text{S/cm}$**  en 2009, à **2800  $\mu\text{S/cm}$**  en 2017, et en moyenne de **3100  $\mu\text{S/cm}$**  à **3800  $\mu\text{S/cm}$** , au niveau du PZ B, situé à un kilomètre au nord de ce champ de captage.

Le front salé est actuellement situé à environ 5 km par rapport à la côte soit à moins de 0.5 km par rapport à la limite nord-ouest du champ de captage

Une telle situation, nous incite à tirer encore une fois l'alarme du risque inévitable de l'avancement de cette invasion marine, et le risque inévitable d'affectation du champ de captage du Hamiz, si la cadence des prélèvements reste telle qu'elle est pratiquée actuellement, et la dégradation des terres agricoles situées dans la zone.

### 3.3. Classification hydro chimique des eaux souterraines

#### 3.3.1. Présentation du logiciel Diagrammes

Dans le but de bien identifier les faciès hydro chimiques et d'avoir une indication sur l'aspect qualitatif des eaux souterraines, la représentation graphique des résultats d'analyses s'avère un outil inévitable. Pour atteindre cet objectif, on a eu recours au diagramme de Piper. La réalisation de ce diagramme a été faite en utilisant le logiciel **Diagrammes** (figure 52), conçu par Roland Simler (Laboratoire d'hydrogéologie, Université d'Avignon, 2004).

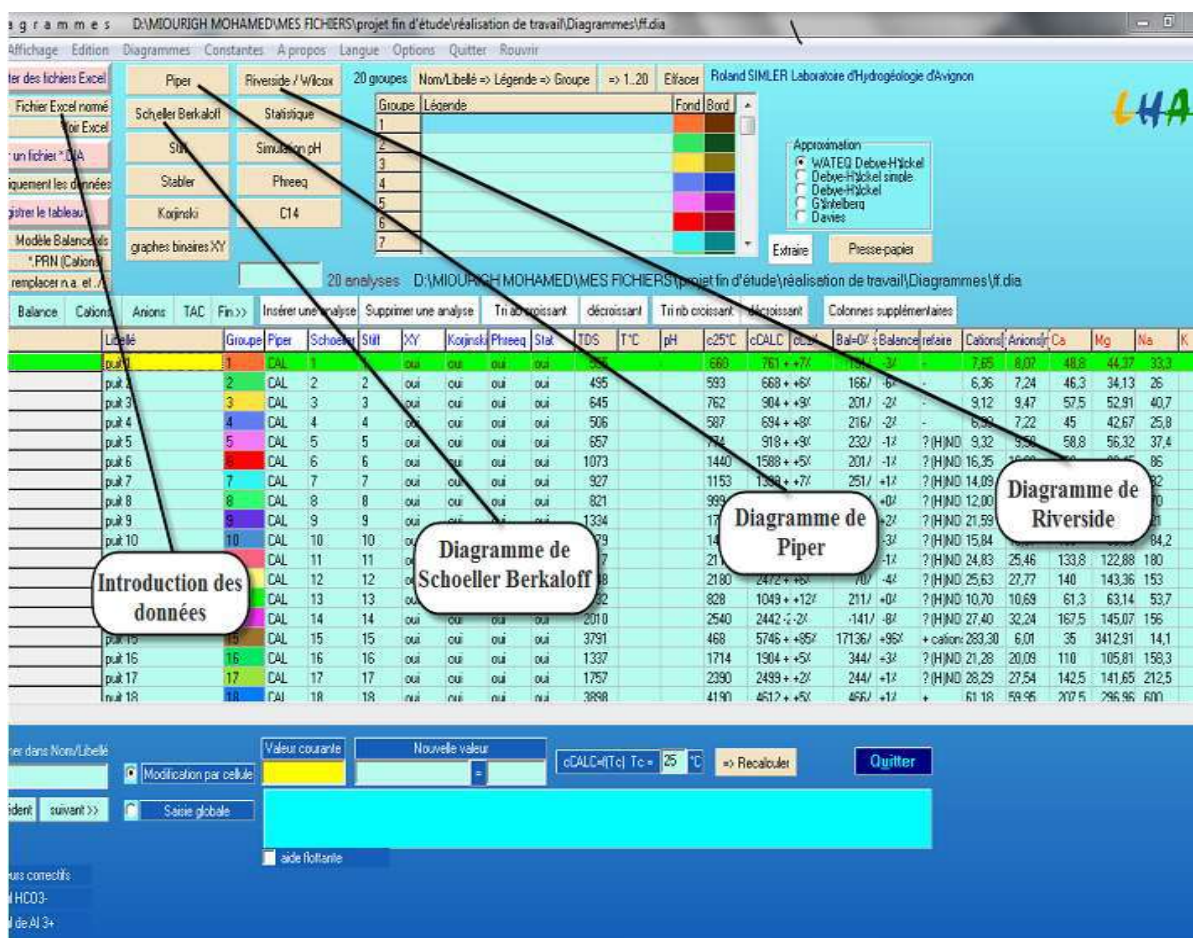
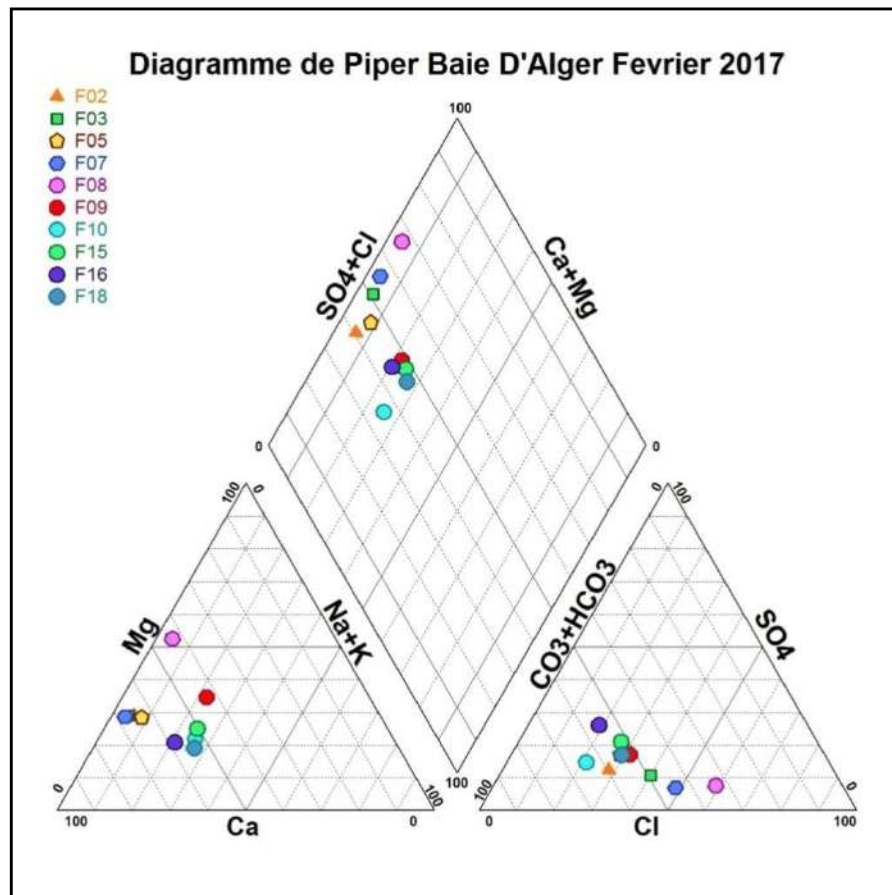


Figure 52: Représentation de l'interface du logiciel d'hydrochimie

### 3.3.2. Représentation graphique des faciès hydro chimiques:

Le diagramme de Piper est composé de deux triangles représentant la répartition des anions et celle des cations respectivement, et d'un losange représentant la répartition synthétique des ions majeurs. Les nuages de points concentrés dans un pôle représentent pour les différents échantillons la combinaison des éléments cationiques et anioniques (Figure 53).



**Fig.53 Diagramme de Piper des eaux de la baie d'Alger, Campagne de Février 2017**

La représentation des résultats chimiques des eaux prélevées de nappe souterraine de la Mitidja sur le diagramme de Piper montre que:

- Le chimisme des eaux analysées est caractérisé par le faciès Bicarbonatée Calcique avec une légère tendance de migration vers le chloruré calcique et le chloruré magnésien.
  - Bicarbonatée Calcique : 80% des échantillons.
  - Chlorurée Calcique et Chlorurée Magnésienne : 20% des échantillons.



### 3.4. Etudes des rapports caractéristiques

Le deuxième moyen d'interprétation utilisé dans cette étude est constitué par les diagrammes croisés des concentrations des différents ions, analysés en fonction des chlorures.

Nous savons que  $\text{Cl}^-$  est le meilleur indicateur de l'existence de l'eau de mer dans une nappe côtière puisqu'il est le moins perturbé par des réactions géochimiques et donc le plus mobile.

#### 3.4.1. Le couple Ca – Cl :

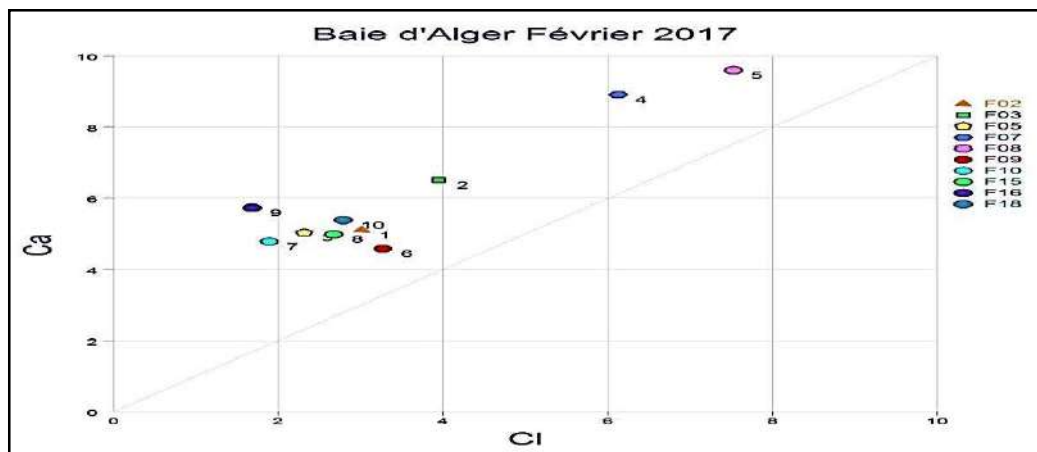


Fig.54 - Relation Ca – Cl.

Le graphique  $\text{Ca}^{++}$  en fonction de  $\text{Cl}^-$  montre que tous les points se trouvent au-dessus de la droite de pente, qui est expliqué par le phénomène d'échange ionique entre l'eau et l'aquifère et se traduisant par une adsorption de  $\text{Na}^+$  et une libération de  $\text{Ca}^{++}$ .

#### 3.4.2. Le Couple $\text{SO}_4$ – Cl :

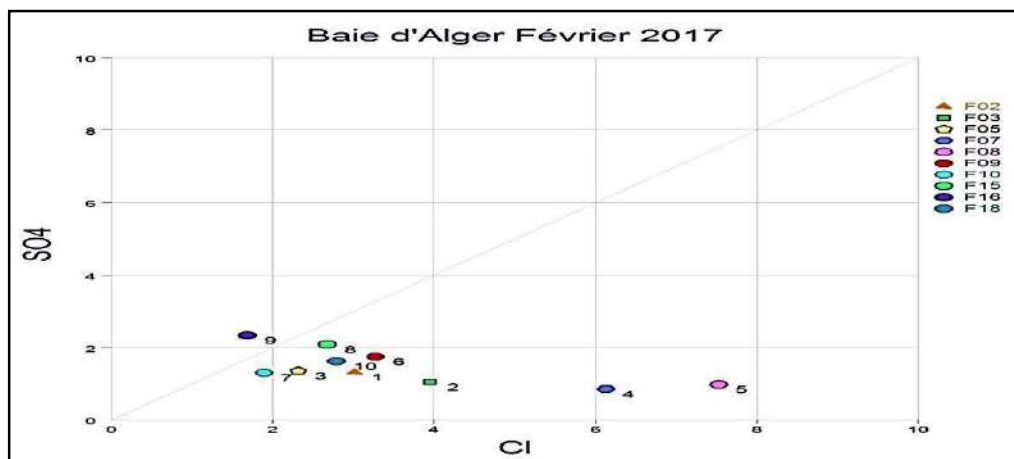
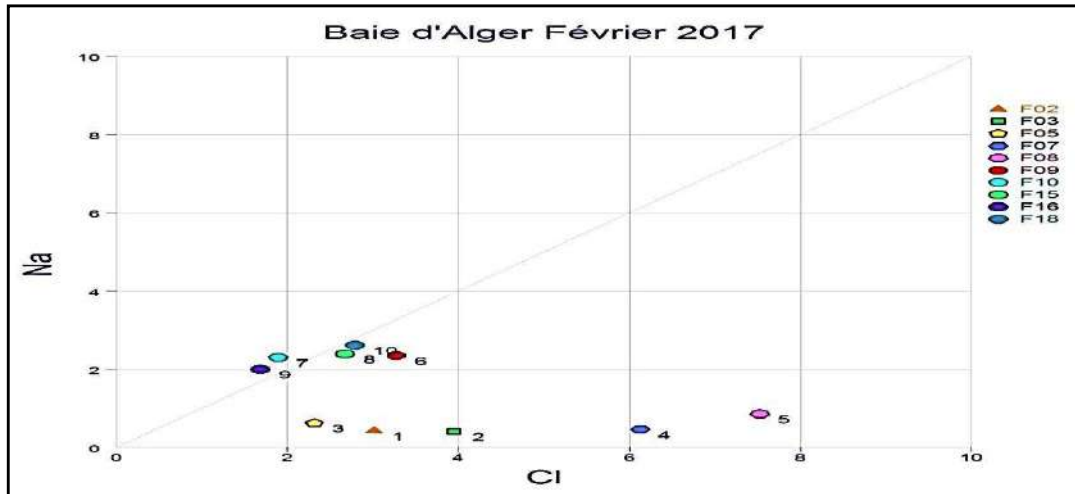


Fig.55 - Relation  $\text{SO}_4$ – Cl.

La relation entre les sulfates et les chlorures montre que la majorité des points se trouve en dessous de la droite de pente à l'exception de un seul point qui se trouve au-dessus de cette droite. L'enrichissement des points en sulfates est lié à la présence des évaporites dans les aquifères, ou due à une contamination d'origine agricole ; le reste des points se situe en dessous de la droite de pente 1. cet excès peut être due à une origine marine.

### 3.4.3. Le Couple Na – Cl :



**Fig.56**– Relation Na– Cl.

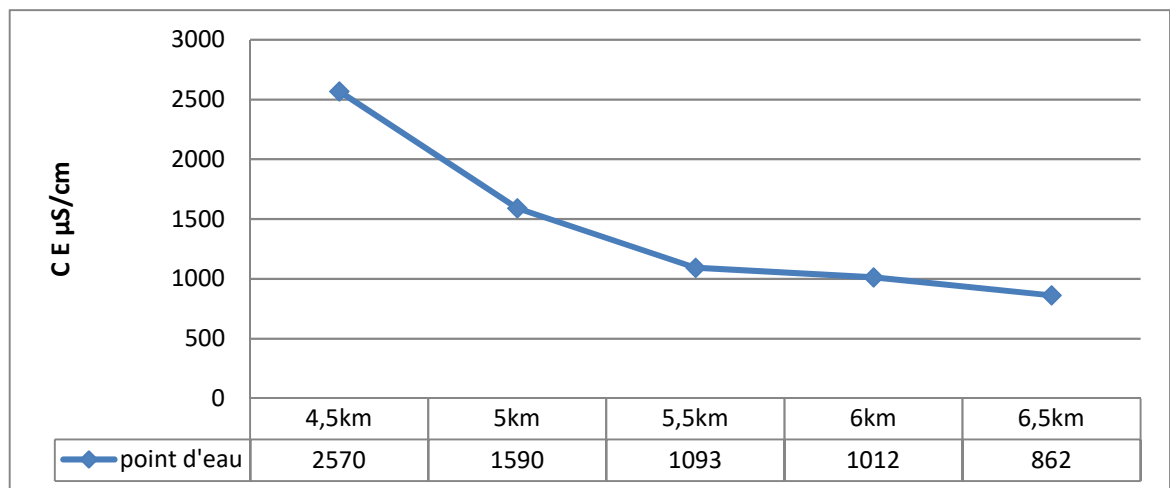
La relation entre  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  montre que la moitié points seulement se trouve sur la droite de mélange indiquant la présence du processus de mélange eau douce - eau salée sans réactions d'échanges ioniques. Les autres points se situent au-dessous de la droite de pente indiquant un appauvrissement en sodium. Ces eaux sont contrôlées surtout par des réactions d'échange cationique. Etant donné que la teneur en  $\text{Na}^+$  devrait équilibrer la teneur en  $\text{Cl}^-$ , le déficit en  $\text{Na}^+$  est expliqué par le phénomène d'échange ionique inverse entre l'eau et l'aquifère et se traduisant par une adsorption de  $\text{Na}^+$  et une libération de  $\text{Ca}^{2+}$ , cela est confirmé par les diagrammes  $\text{Ca}^{2+}$ - $\text{Cl}^-$  qui illustrent bien ceci en montrant que les points sont souvent au-dessus de la droite de pente .

### 3.5. Evolution spatiale des paramètres physicochimiques

Pour suivre l'évolution de quelques éléments en fonction de la distance à la mer, nous avons choisi les points d'eau suivant :

- F8 situé à 4.5 km de la mer
- F7 situé à 5 km de la mer
- F2 situé 5.5 km de la mer
- F3 situé à 6 km de la mer
- F5 situé à 6.5 km de la mer

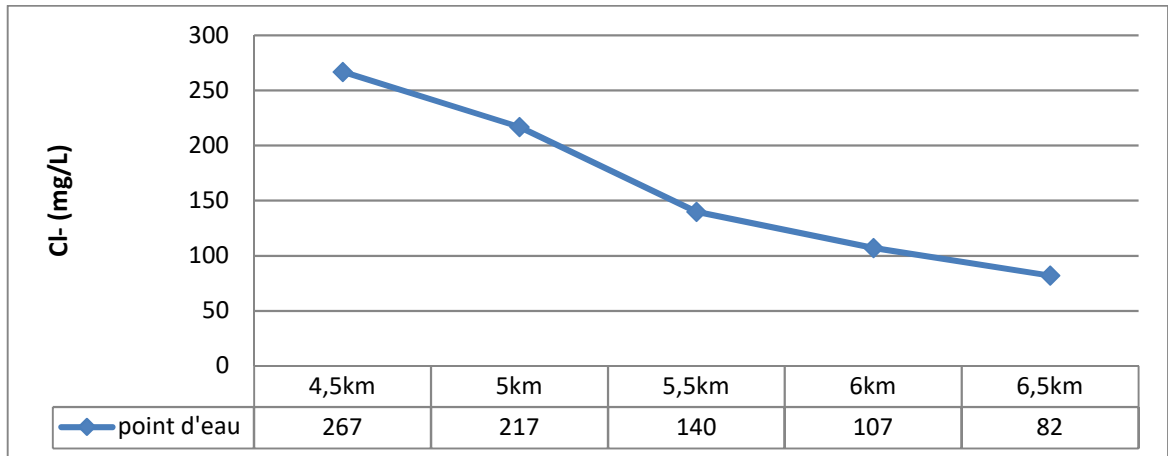
#### 3.5.1. Evolution spatiale de la conductivité



**Fig.57: Evolution de la conductivité en fonction de la distance à la mer.**

L'évolution de la conductivité électrique en fonction de la distance à la mer a montré une diminution générale au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la côte, à 4.5 Km de la ligne de rivage, la CE atteint les 2570 µS/cm quant à la faible valeur, elle a été observée à une distance de 6.5 Km vers l'amont ; elle est de 862 µS/cm. Ceci dénote une éventuelle intrusion marine vers les eaux de la nappe.

### 3.5.2. Evolution spatiale des teneurs en chlorures

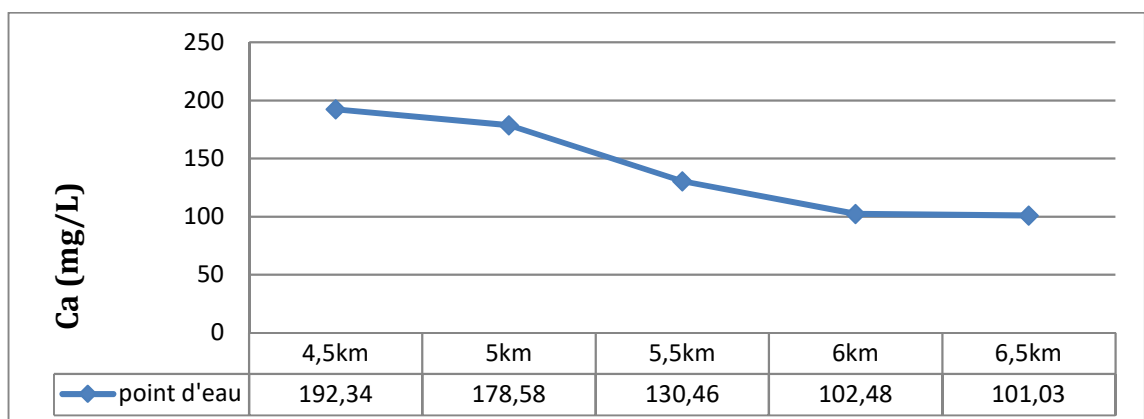


**Fig.58 : Evolution de la teneur en chlorures en fonction de la distance à la mer.**

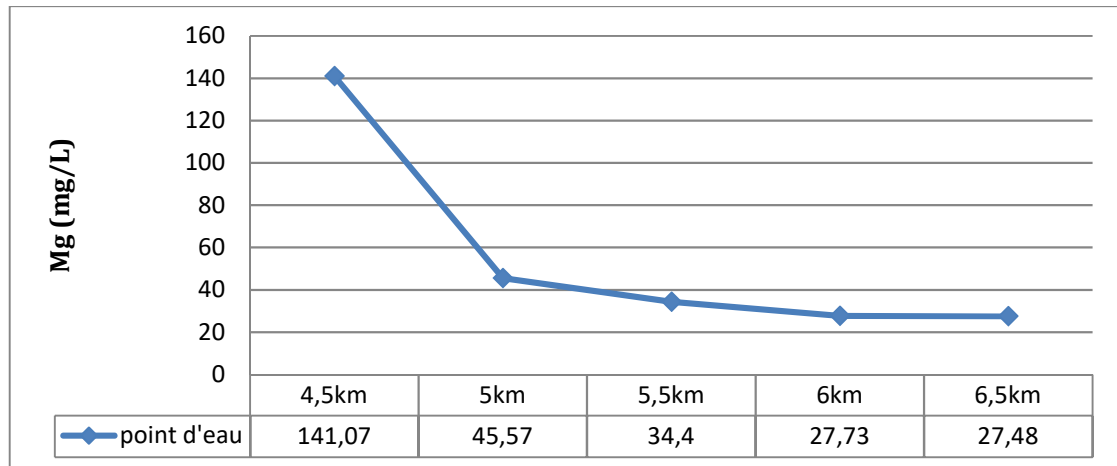
La courbe de la figure 58, montrent que les teneurs en chlorures augmentent de façon générale en se dirigeant vers la mer. A une distance de 4.5 km les concentrations atteignent 267 mg/l. Cette augmentation de la charge chlorurée des eaux en direction de la mer dénote une forte contribution des venues d'eau marine vers les nappes côtières sollicitées par des pompes intensifs pour l'irrigation et l'alimentation.

Les faibles teneurs sont observées en amont, à des distances importantes du rivage, elles oscillent autour de la teneur moyenne de 80 mg/l. cette évolution en profondeur des teneurs en chlorures est similaire à celle de la conductivité électrique, ce qui montre que celle-ci est déterminée essentiellement par les chlorures.

### 3.5.3. Evolution spatiale des teneurs en Calcium et en Magnésium



**Fig.59: Evolution de la teneur en calcium en fonction de la distance à la mer.**



**Fig.60: Evolution de la teneur en magnésium en fonction de la distance à la mer.**

Le calcium est un élément caractérisant les eaux douces ; il est lié généralement au lessivage des formations carbonatées. Dans la région étudiée, il provient de la dissolution des couches carbonatées (calcaire marneux et calcaire détritique). Par contre, le magnésium a pour origine principale le mélange des eaux salées marines riches en cet élément avec les eaux de la nappe.

L'examen des courbes des figures 59 et 60 montre que les concentrations du calcium varient de 192 mg/l à une distance de 4.5 km de la mer à 101 mg/l vers l'amont et que celles du magnésium augmente de 27.5 mg/l vers l'amont jusqu'à 140 mg/l vers la mer. Ceci montre bien que l'eau douce naturelle non polluée est riche en calcium et très pauvre en magnésium, l'inverse pour l'eau polluée par l'eau de mer.

### 3.6. Qualités des eaux pour l'alimentation en eau potable (AEP)

Rapport caractéristique de Todd  $rCl^- / rHCO_3^-$  : Une des méthodes les plus classiques pour déceler une contamination par l'eau de mer réside dans l'établissement du rapport  $RC = rCl^- / rHCO_3^-$ . Si :

**Tableau12 : (A) Le rapport caractéristique de Todd ( $rCl^- / rHCO_3^-$ ). (B) Les résultats du RC des eaux de la Mitidja**

Rapport	valeur	observation
<b>RC=</b>	$\leq 0.5$	l'eau est normale
	1.3	il y a une contamination légère par la mer
	2.2	il y a une contamination modérée
	6.6	la contamination est forte
	15.5	l'eau est très fortement contaminée
	20	c'est l'eau de mer contenant un peu d'eau douce

Points d'eau	RC	Observation
<b>F02</b>	0,27	Eau normale
<b>F03</b>	0,47	Eau normale
<b>F05</b>	0,31	Eau normale
<b>F07</b>	0,63	contamination légère
<b>F08</b>	1,03	contamination légère
<b>F09</b>	0,36	Eau normale
<b>F10</b>	0,19	Eau normale
<b>F15</b>	0,30	Eau normale
<b>F16</b>	0,20	Eau normale
<b>F18</b>	0,32	Eau normale

Le calcul du rapport du Todd pour l'ensemble des points d'eau montre :

- 8 échantillons dont les eaux sont normales.
- 2 échantillons dont les eaux sont légèrement contaminés.

## 4. Conclusion

L'intrusion saline dans la région d'étude a été prouvée par combinaison de plusieurs approches (géophysique, piézométrique, et hydrochimique).

L'étude géophysique en 2013 met en évidence une invasion marine vers la nappe côtière de la Mitidja Est, la zone contaminée s'étend depuis Bordj El Kiffan jusqu'à la rive droite de Oued El Hamiz, elle est caractérisée par une interface localisée à environ 3.5 Km vers l'intérieur.

L'étude piézométrique a montré une inversion de sens d'écoulement de la mer vers la nappe contrairement à l'état naturel de la nappe en 1983, due à la sécheresse et à la surexploitation des ressources souterraines par les forages de la SEAAL et les puits des paysans, on constate une baisse remarquable de niveau piézométrique ce qui fait appel à une intrusion marine vers la nappe côtière.

L'étude hydrogéochimique de la nappe de la Mitidja Est en Février 2017 montre la dominance des faciès bicarbonaté calcique avec une légère tendance de migration vers le chloruré calcique et le chloruré magnésien.

L'étude des rapports caractéristiques entre les éléments chimiques montre trois processus responsables de la salinisation des eaux de la nappe :

- l'intrusion d'eau marine dans la nappe le long de la partie littorale (biseau salé),
- la dissolution de la formation aquifère (carbonatée et évaporitiques),
- le retour des eaux d'irrigation chargées en sels dans les périmètres irrigués.

L'analyse de ces cartes, et les profils de la conductivité dans les points (PZ-B et F-17) confirme clairement que le front salé progresse dans une direction préférentielle et rejoint la trajectoire allant directement vers le champ de captage du Hamiz. Le rapport caractéristique de Todd souligne une légère contamination des forages (F7 et F8) par l'eau de mer.

Les résultats obtenus par ces méthodes ont permis de mettre en évidence cette intrusion marine. On peut estimer la limite de l'intrusion marine à une distance de 4 à 4,5 Km de la côte vers le champ de captage de Hamiz soit d'après les teneurs en chlorures dans la nappe côtière de la Mitidja Est.



***Conclusion générale  
et recommandations***

## **Conclusion générale**

La plaine de la Mitidja couvre une superficie de 1 450 km<sup>2</sup>. Cette plaine qui est située dans l'arrière-pays d'Alger. De l'ouest en est, la plaine traverse successivement les wilayas de Tipaza, de Blida, d'Alger, de Boumerdès et l'extrême nord-est de Médéa

La région d'étude présentée par la Mitidja orientale, fait partie du bassin versant de la Mitidja codé (02) par l'ANRH. La Mitidja Est, est Limitée par le Sahel au Nord l'Atlas Blidéen au Sud, Oued Reghaia à l'Est et El Harrach à l'Ouest. Leur climat est de type méditerranéen subhumide à deux saisons distinctes: une saison humide débutant au mois d'octobre qui se termine au mois de mai, et une saison sèche qui s'étale du mois de juin jusqu'au mois de septembre

Le système aquifère de la plaine de la Mitidja est constitué de deux aquifères séparés par la formation d'El Harrach, sauf dans la partie Est où ils sont en contact direct, ils s'agissent de :

- L'aquifère contenu dans les calcaires et grès de l'Astien.
- L'aquifère des alluvions du Quaternaire (Soltano-Tensiftien) qui reposent sur les marnes du Plaisancien formant la limite étanche de presque tout le bassin.

L'intrusion saline dans la région d'étude a été prouvée par combinaison de plusieurs approches (géophysique, piézométrique, et hydro chimique). Les résultats obtenus par ces méthodes ont permis de mettre en évidence cette intrusion marine.

L'interprétation des données des sondages électriques (2013), Indique que la zone affecté par l'intrusion marine est celle qui s'étend depuis Bordj El Kiffan jusqu'à la rive droite de Oued El Hamiz caractérisée par une interface localisée à environ 3.5 Km vers l'intérieur.

Dans le secteur côtier au niveau de la Baie d'Alger, la comparaison de l'état piézométrique récent (2014) avec celui de 1983 montre un recul important des isopièzes vers l'intérieur des terres, donc un abaissement du niveau de la nappe, avec inversement du sens d'écoulement, ce qui se traduit par l'avancé du front salé.

L'étude hydrogéochimique de la nappe de la Mitidja Est en Février 2017 montre la dominance de faciès bicarbonaté calcique dans 8 points et de faciès chloruré calcique et chloruré magnésien dans quelques points.

L'étude des rapports caractéristiques entre les éléments chimiques montre trois processus responsables de la salinisation des eaux de la nappe :

- l'intrusion d'eau marine dans la nappe le long de la partie littorale (biseau salé),
- la dissolution de la formation aquifère (carbonatée et évaporitiques),
- le retour des eaux d'irrigation chargées en sels dans les périmètres irrigués.

L'étude des courbes de l'évolution de CE, Cl<sup>-</sup>, Ca<sup>2+</sup> et Mg<sup>2+</sup> montrent que ces éléments accusent des valeurs importantes dans les eaux souterraines étudiées. L'évolution spatiale de ces éléments en direction de la mer, montre que les valeurs de CE, deviennent de plus en plus élevées. Ceci indique une potentielle invasion marine vers l'aquifère côtier. Ce phénomène est favorisé par les pompes intensives des nappes côtières surtout pendant ces périodes sèches.

Le rapport caractéristique de Todd souligne une légère contamination des forages (F7 et F8) par l'eau de mer. On peut estimer la limite de l'intrusion marine à une distance de 4 à 4,5 Km de la côte vers le champ de captage de Hamiz soit d'après la teneur en chlorures dans la nappe côtière de la Mitidja Est.

Le diagnostic actuel dans la région de la baie d'Alger, nous permet de conclure que l'intrusion marine est liée principalement à la surexploitation locale de la nappe ayant entraîné une augmentation de la salinité, notamment en direction du champ captant du Hamiz.

### **Recommandations**

L'intrusion marine est un phénomène irréversible pour cette raison on essaie de trouver des solutions afin de freiner ce phénomène. Les solutions sont multiples mais exigent des mesures à prendre avant d'envisager les solutions requises. Les solutions possibles de lutte contre l'intrusion marine, imposent des mesures à prendre tels que :

- Instaurer un suivi de l'évolution quantitative et qualitative à une échelle régionale par la mise en place d'un réseau de surveillance
- Faire une investigation complète des forages licites et illicites d'industrie et d'agriculture, les piquages d'eau d'AEP et leur quantification en mètre cube.
- Mise en place d'un plan de gestion de la ressource en eau souterraine qui pris en considération le bilan hydrogéologique de la nappe.
- Adopter de nouvelles techniques d'irrigation (la goutte à goutte par exemple) plus économiques de l'eau (pas de pertes par évaporation, fuites,...),
- Réduire la quantité d'eau qui ne sera pas prélevé dans la nappe dans le champ captant du Hamiz pour l'alimentation en eau potable, industrielle et d'irrigation.
- Assurer le volume d'eau suffisant et la ressource adéquate pour la recharge artificielle en nappe.
- Utilisation des ressources en eau non conventionnelles (eaux usées épurées et dessalement de l'eau de mer pour l'irrigation et la recharge.

# *Bibliographie*

## Bibliographie

- AIT OUALI, A.E.K. (2007).** Synthèse hydrogéologique et vulnérabilité à la pollution du système aquifère quaternaire de la Mitidja .Thèse Magistère. IST, USTHB. Algérie, 188 p.
- BELAIDI.M, D.MEKIDECHE, F.BERDJA (2010).** Note sur la lutte contre l'intrusion marine dans la baie d'Alger. Rapport ANRH.
- BELAIDI, M. RABHAOUI. H, (1995-2000).** Note sur l'évolution de la profondeur de la nappe de la Mitidja. Section surveillance des nappes. ANRH- Blida.
- BELAIDI, M. RABHAOUI. H, (2007).** Note sur l'évolution de la profondeur de la nappe et la qualité des eaux souterraines de la Mitidja. ANRH Blida.
- BELAIDI, M., RABHAOUI. H, (2005).** Annuaire de la nappe de la Mitidja. Rapport ANRH, Direction régionale centre, Blida, 14 p.
- BELAIDI. M., SALHI. H, (2005).** Le phénomène d'intrusion marine de la nappe de la Mitidja dans la baie d'Alger. Rapport ANRH.
- BELAIDI. M, SALHI. H, (2010).** Le phénomène d'intrusion marine de la nappe de la Mitidja dans la baie d'Alger. ANRH Blida. 19 p.
- BENNIE & PARTNERS, (1983).** Évaluation du système d'eau potable existant dans le grand Alger. ANRH d'Alger.
- BENZIADA, M, (1994).** Étude hydrogéologique et hydrologique de la plaine de la Mitidja Est : Application d'un modèle mathématique « ASM » au bassin côtier algérois .Algérie .Thèse doctorat en science de la terre. Université de Besançon.
- BEREGH, (2002).** Étude géophysique par les méthodes électriques et sismique réfraction dans la baie d'Alger. ANRH d'Alger.
- B. REMINI / LARHYSS JOURNAL, (2010),** la problématique de l'eau en Algérie du Nord. Département des Sciences de l'eau et de l'environnement, Faculté des sciences de l'ingénieur, université Saad Dahlab - Blida, Membre du laboratoire de recherche LARHYSS –Université de Biskra
- BOUTKHIL MORSLI, (2007).** Étude de l'intrusion marine et de ses répercussions sur la dégradation des sols : cas des zones côtières d'Alger Est
- CASTNAY, G, (1982).** Hydrogéologie : Principes et méthodes, Edition Dunod, Paris.
- DJEDIAT, Y, (1996).** Étude géologique et géotechnique de la Mitidja Nord oriental. Thèse de Magister, USTHB, Algérie, 106 p.
- DJOUJAR HALLAL, D, (2003).** Vulnérabilité et protection des régions côtières. Application aux alluvions de la Mitidja Orientale. Thèse de magistère, IST/USTHB/Alger.
- D. JAUFFRET, (2003).** Possibilités de recharge artificielle de la nappe alluviale de la Loire en Saône-et-Loire pour sécuriser l'alimentation en eau potable. , Mai 2003. Rapport final BRGM/RP- 53087-FR.
- FREDERIC BARREZ, (2006).** Essais de caractérisation hydro chimique verticale de la nappe de la Craie dans le secteur minier Carvin-Douai-Hénin Beaumont. Directeurs de thèse : **J. Mania et J.L. Mansy.** Université des Sciences et Technologies de Lille.
- GALIN, M., DELAUNAY, M. (1967).** Etude par prospection électrique de la plaine de la Mitidja, Compagnie Générale de Géophysique (C.G.G). Paris. Rapport. ANRH. Blida.

- GEOHYDROLIQUE, (1968-1972).** Etude hydrogéologique quantitative de la plaine de la Mitidja. Rapport de synthèse, 06 vol, DEMRH, Alger.
- GLANGEAUD, L, (1952).**Histoire géologique de la province d'Alger. IV congrès géologique international. Monographie région d'Alger. ANRH d'Alger. 148
- JO J.P. LABORDE, (2000).**Élément d'hydrogéologie de surface. Centre National de la Recherche Scientifique, Université de Nice - Sophia Antipolis
- KHADIJA KAID RASSOU, (2009).**Étude des interactions entre les eaux souterraines et les eaux de surface dans le bassin côtier d'oualidia, UNIVERSITÉ CADI AYYAD.
- MAKHLOUF N. (2011).**Cartographie et évolution de l'état actuel du biseau salé de la baie d'Alger et son impact sur l'AEP (champ de captage du Hamiz) et l'industrie (champ de captage de Rouiba).Thèse Magister l'Université USTHB Alger.
- MESBAH, M. (1989).**Contribution à l'étude hydrogéologique de la vallée de l'oued Nador. Région de Tipaza. Thèse doctorat 3<sup>eme</sup> Cycle. USTHB. Alger.
- MORSLI BOUTKHIL, (2007).**Étude de l'intrusion marine et de ses répercussions sur la dégradation des sols : cas des zones côtières d'Alger Est. BP. 88 Mansourah Tlemcen Algérie.
- BELAIDI. M, RABEHAOUI, H. (2007).** Note sur l'évolution de la profondeur de la nappe et la qualité des eaux souterraines de la Mitidja. ANRH Blida.
- SIR M MACDONALD & PARTNERS LIMITED, (1993).**Étude de l'aménagement hydro-agricole de la plaine de la Mitidja. Ministère de l'agriculture. ANRH d'Alger.
- SLIMANI.A, MAIZI.D, BELAIDI.M, ISSADI.A, (2013).** Etude géophysique du phénomène de l'intrusion marine dans la Mitidja Est (Baie d'Alger)
- TAKORABT. M, (2011).** Aquifère côtier en zone fortement urbanisée. Evolution du comportement hydrodynamique et hydro chimique : cas de la Mitidja orientale. Thèse Magister l'Université USTHB Alger.
- TREMOS, J-Y. (1961).**Contribution à l'étude hydrogéologique de la plaine de la Mitidja. Thèse doctorat 3<sup>eme</sup> Cycle, école des mines de Paris,
- TOUBAL A. C. DJOUDAR /HALLAL. D, (2009).**État actuel de l'invasion marine dans la baie d'Alger. École Nationale Supérieure de l'Hydraulique, B.P 31 09000 Blida, Algérie. 149
- TOUBAL A. C, (1998).** Apports de la géophysique à l'étude des problèmes d'hydrodynamique et d'invasion marine en milieu souterrain. Exemple des plaines d'Annaba, de la Mitidja et de la baie d'Alger. These de Doctorate - USTHB.

**SITES INTERNET :**  
<http://www.google.fr>

## Résumé

La plaine de la Mitidja est située dans l'arrière-pays d'Alger et couvre une superficie de 1 450 km<sup>2</sup>. Son système aquifère est constitué des alluvions du quaternaire et des formations gréseuses ou grésocalcaire du pliocène. L'interprétation des résultats des sondages électriques (2013), Indique que la zone affecté par l'intrusion marine est celle qui s'étend depuis Bordj El Kiffan jusqu'à la rive droite d'Oued El Hamiz. La comparaison de la piézométrie de 2014 avec celle de 1983 montre un abaissement du niveau de la nappe, avec inversement du sens d'écoulement. L'étude de l'évolution du chimisme des eaux de cette nappe (2017), conduit à conclure que la minéralisation de l'eau s'accroît vers la mer .Ce qui indique une potentielle invasion marine vers l'aquifère côtier.

**Mots clés:** Mitidja, Aquifère côtier, intrusion marine, piézométrie, sondage électrique, chimisme des eaux.

## Abstract

The plain of Mitidja is located in the hinterland of Algiers and covers an area of 1,450 km<sup>2</sup>. Its aquifer system consists of the alluvium of the quaternary and of the sandstone or Greece-limestone formations of the pliocene. The interpretation of the geophysical data result's (2013) indicates that the area affected by the marine intrusion is that which extends from Bordj El Kiffan to the right bank of Oued El Hamiz. The comparison of the piezometry of 2014 with that of 1983 shows a lowering of the level of the aquifer, with a reversal of the flow direction. The study of the evolution of the water chemistry of this aquifer (2017) leads us to conclude that the mineralization of water is accentuated towards the sea .this indicates a potential marine invasion towards the aquifer coastal.

**Key words:** Mitidja, Coastal aquifer, marine intrusion, piezometry, geophysics, water chemistry.

## ملخص

يقع سهل المتيجة في المنطقة الساحلية الشرقية للجزائر العاصمة وتغطي مساحة 1450 كم<sup>2</sup>. يتكون نظام المياه الجوفية بها من تكوينات جيولوجية من الترسب الطيني للحقبة الرابعة وتكوينات من الحجر الرملي و الحجر الجيري البليوسيني. تحليل تسجيلات السبر الكهربائي لسنة 2013 تشير إلى أن المنطقة المتضررة من تسرب مياه البحر هي التي تمتد من برج الكيفان إلى الضفة اليمنى من واد الحمير. مقارنة الخريطة البيزومترية لسنة 1983 مع الخريطة البيزومترية لسنة 2014 تدل على انخفاض مستوى المياه الجوفية و تغير اتجاه التدفق و الذي نتج عنها اجتياح مياه البحر للخزان المائي في المناطق الساحلية. الدراسة الكيميائية للمياه الجوفية سنة 2017 , تؤدي الى استنتاج مفاده أن تراكيز العناصر الكيميائية ترتفع في اتجاه البحر, الذي يشير إلى وجود إمكانية تسرب مياه البحر إلى المياه الجوفية الساحلية.

**كلمات البحث :** المتيجة, المياه الجوفية الساحلية, تسرب مياه البحر, البيزومترية, السبر الكهربائي, كيمياء المياه .



**UNIVERSITE KASDI MERBAH - OUARGLA -**  
**FACULTE DES HYDROCARBURES ET DES ENERGIES**  
**RENOUVELABLE**  
**ET SCIENCES DE LA TERRE ET L'UNIVERS**  
**Département des Sciences de la Terre et de l'Univers.**



**MEMOIRE DE MASTER ACADEMIQUE**  
**Domaine : Sciences de la terre et de l'univers**  
**Filière : Géologie**  
**Spécialité : Hydrogéologie**

**THEME**

**Mise en évidence de l'intrusion marine vers les**  
**Aquifères côtiers : cas de la plaine de Mitidja**  
**Orientale**

*Soutenu publiquement par :*

- **KHOUALED Radja**
- **REMILI Safaa**

**Devant le jury :**

<b>Président :</b>	M <sup>er</sup> . BELKSEIR Mohammed Saleh	M.C.B Univ. Ouargla
<b>Promoteur :</b>	M <sup>er</sup> . BOUSELSAL Boualem	M.C.A Univ. Ouargla
<b>Examineur :</b>	M <sup>er</sup> . HOUARI Idir Menad	M.A.A Univ. Ouargla

**Année Universitaire : 2016/2017**

## *Remerciements*

*Ce mémoire, ne pourrait exister sans l'aide et l'engagement d'un certain nombre de personnes qui ont décidé de nous accompagner résolument dans notre parcours.*

*Que tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué par leurs conseils, leurs encouragements et leur assistance à l'aboutissement de ce travail, trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude.*

*Tout d'abord, nous tenons à remercier notre encadreur ; Monsieur BOUSELSAL Boualem pour les efforts qu'il n'a cessé de ménager pour nous aider et nous orienter, jusqu'à la finalisation de ce modeste travail. Qu'il trouve ici le témoignage de notre grande reconnaissance.*

*On voudrait exprimer nos vifs remerciements aux employés de l'ANRH LA D.R.E ET SEEAL D'ALGER .plus particulièrement M<sup>r</sup>. BELAIDI Mouloud, M<sup>r</sup>. RICHE Mourad, M<sup>me</sup> BERDJA Farida, M<sup>me</sup> MEKHLOUF Nouara*

*Nous tenons à adresser nos remerciements au personnel du  
Département de l'hydrogéologie*

*Nous tenons aussi à remercier Chacun des membres du jury ; M<sup>r</sup>. BELEKSAIR Mohamed Saleh et M<sup>r</sup>. HOUARI Idir Menad  
Pour nous avoir fait l'insigne honneur d'accepter d'examiner notre  
Travail.*

*Enfin, Par crainte d'avoir oublié quelqu'un, que tous ceux et  
Toutes celles dont nous sommes redevables se voient vivement  
Remerciés.*

## Résumé

La plaine de la Mitidja est située dans l'arrière-pays d'Alger et couvre une superficie de 1 450 km<sup>2</sup>. Son système aquifère est constitué des alluvions du quaternaire et des formations gréseuses ou gréso-calcaire du pliocène. L'interprétation des résultats des sondages électriques (2013), Indique que la zone affecté par l'intrusion marine est celle qui s'étend depuis Bordj El Kiffan jusqu'à la rive droite d'Oued El Hamiz. La comparaison de la piézométrie de 2014 avec celle de 1983 montre un abaissement du niveau de la nappe, avec inversement du sens d'écoulement. L'étude de l'évolution du chimisme des eaux de cette nappe (2017), conduit à conclure que la minéralisation de l'eau s'accroît vers la mer .Ce qui indique une potentielle invasion marine vers l'aquifère côtier.

**Mots clés : Mitidja, Aquifère côtier, l'intrusion marine, la piézométrie, les sondages électriques, chimisme des eaux.**

## Abstract

The plain of Mitidja is located in the hinterland of Algiers and covers an area of 1,450 km<sup>2</sup>. Its aquifer system consists of the alluvium of the quaternary and of the sandstone or Greece-limestone formations of the pliocene. The interpretation of the geophysical data result's (2013) indicates that the area affected by the marine intrusion is that which extends from Bordj El Kiffan to the right bank of Oued El Hamiz. The comparison of the piezometry of 2014 with that of 1983 shows a lowering of the level of the aquifer, with a reversal of the flow direction. The study of the evolution of the water chemistry of this aquifer (2017) leads us to conclude that the mineralization of water is accentuated towards the sea .this indicates a potential marine invasion towards the aquifer coastal.

**Key words: Mitidja, Coastal aquifer, marine intrusion, piezometry, geophysics, water chemistry.**

## ملخص

يقع سهل المتيجة في المنطقة الساحلية الشرقية للجزائر العاصمة وتغطي مساحة 1450 كم<sup>2</sup> . يتكون نظام المياه الجوفية بها من تكوينات جيولوجية من الترسب الطيني للحقبة الرابعة وتكوينات من الحجر الرملي و الحجر الجيري البليوسيني. تحليل تسجيلات السبر الكهربائي لسنة 2013 تشير إلى أن المنطقة المتضررة من تسرب مياه البحر هي التي تمتد من برج الكيفان إلى الضفة اليمنى من واد الحمير .مقارنة الخريطة البيزومترية لسنة 1983 مع الخريطة البيزومترية لسنة 2014 تدل على انخفاض مستوى المياه الجوفية و تغير اتجاه التدفق و الذي نتج عنها اجتياح مياه البحر للخزان المائي في المناطق الساحلية .الدراسة الكيميائية للمياه الجوفية سنة 2017 , تؤدي إلى استنتاج مفاده أن تراكيز العناصر الكيميائية ترتفع في اتجاه البحر , الذي يشير إلى وجود إمكانية تسرب مياه البحر إلى المياه الجوفية الساحلية.

**كلمات البحث : المتيجة, المياه الجوفية الساحلية, تسرب مياه البحر, البيزومترية, السبر الكهربائي, كيمياء المياه .**

## Table des matières

Résumé et abstract.....	1
Liste des figures et des tableaux.....	
Introduction générale .....	1

### Partie I:

#### Généralités sur la zone d'étude

1. Cadre géographique et géomorphologique .....	2
1.1. Situation géographique.....	2
1.2. Aspects socio-économiques de la Mitidja.....	3
1.2.1. Population :.....	3
1.3. Cadre géomorphologique .....	4
2.2. Caractéristiques morpho métriques.....	7
2.2.1. Paramètres géométriques.....	7
3 .Contexte Climatologique .....	10
3.1. La pluviométrie .....	10
3.2. Les températures .....	11
3.3. Diagramme Ombrothermique .....	12
3.4. Bilan hydrique.....	13
4.1 Stratigraphie .....	14
4.1.1 Le Quaternaire .....	15
4.1. 2. Le Tertiaire .....	17
4.2. Aperçu structurale .....	19
4.3. Aperçu paléogéographique.....	20
4.4. Tectonique.....	22
5. Etude hydrogéologique .....	24
5.1. Présentation de l'aquifère de Mitidja .....	24
5.2. Géométrie des systèmes aquifères .....	24
5.3. Caractéristiques hydrodynamique local de la baie d'Alger .....	26
5.4. La piézométrie.....	28
5.5. La production en AEP des champs de captage de la Mitidja Est.....	30
6. Conclusion .....	31

### Partie II:

#### Méthodologie

1. Mécanismes de l'intrusion marine .....	32
---	----

1.2. Cause de l'intrusion marine .....	34
1.3. Facteurs déterminants dans l'évolution de l'intrusion marine.....	34
2. Méthodes d'étude de l'intrusion marine .....	35
2.1. Etude géophysique du phénomène de l'intrusion marine dans la Mitidja Est .....	35
2.1.1 Méthodes de prospection électrique .....	35
2.1.2. Etalonnage du sondage électrique .....	38
2.1.3. Echelle des résistivités :.....	41
2.1.4. Présentation des données géo électriques.....	42
2.2. Etude de la piézométrie.....	42
2.3. Etude hydro chimique .....	43
3. Conclusion .....	44

### Partie III

#### Résultats et discussion

1. Mise en évidence de l'intrusion marine par la géophysique.....	45
1.1. Interprétation des Cartes des résistivités apparentes.....	45
1.1.1. Cartes des résistivités apparentes (AB=40 et AB=100) : .....	45
1.1.2. Cartes des résistivités apparentes (AB=300 et AB=400) : .....	47
1.2. Interprétation des Pseudo-sections et coupes géo électriques :.....	48
1.3. Interprétation de la Carte de la résistance transversale : .....	51
1.4. Interprétation Carte des isohypses du toit de substratum conducteur :.....	52
1.5. Cartographie de biseau salé :.....	53
2. Mise en évidence de l'intrusion marine par la cartographie piézométrique .....	54
2.1. Interprétation des cartes piézométriques de la période 1983-2014.....	54
1.2. Variation du niveau piézométrique :.....	57
3. Mise en évidence de l'intrusion marine par l'hydrochimie .....	59
3.1. Les paramètres physico-chimiques .....	59
3.2. Evolution de la conductivité électrique dans la baie d'Alger .....	59
3.3. Classification hydro chimique des eaux souterraines .....	62
3.3.1. Présentation du logiciel Diagrammes .....	62
3.3.2. Représentation graphique des faciès hydro chimiques:.....	63
3.4. Etudes des rapports caractéristiques.....	64
3.4.1. Le couple Ca – Cl :.....	64
3.4.2. Le Couple SO <sub>4</sub> – Cl :.....	64
3.4.3. Le Couple Na – Cl :.....	65

3.5. Evolution spatiale des paramètres physicochimiques .....	66
3.5.1. Evolution spatiale de la conductivité.....	66
3.5.2. Evolution spatiale des teneurs en chlorures.....	67
3.5.3. Evolution spatiale des teneurs en Calcium et en Magnésium .....	67
4. Conclusion .....	70
Conclusion générale.....	71
Bibliographie .....	73

## LISTE DES FIGURES

Figure 1:	Situation géographique générale de la plaine de la Mitidja.	2
Figure 2:	Situation géographique de la Mitidja Orientale.	3
Figure 3:	Les sous bassins versants de la Mitidja Est.	5
Figure 4:	Réseau hydrographique du bassin versant de la Mitidja Est.	6
Figure 5:	Carte des altitudes des deux bassins versants (Harrach et Hamiz).	8
Figure 6:	Courbe hypsométrique du bassin versant du Hamiz-Reghaia	9
Figure 7:	Histogramme des précipitations moyennes mensuelles, Période (1985-2015)	11
Figure 8:	Histogramme des précipitations moyennes annuelles (1985-2015)	11
Figure 9:	Histogramme des Variations de la température à la station de Dar El Beida	12
Figure 10:	Courbe pluvio-thermique de la zone d'étude.	12
Figure 11:	Carte géologique de la plaine de la Mitidja (D'après Mac Donald et Partners, 1992)	15
Figure 12:	Coupes géologiques dans la région d'El Harrach. 1-SE/NW.	17
Figure 13:	Coupes géologiques dans la partie Ouest du bassin Mitidja. 2- SE/NW	17
Figure 14:	Log litho stratigraphique de la plaine de la Mitidja.	19
Figure 15:	Coupes schématiques montrant l'histoire paléogéographique de la Mitidja(L. Glangeaud 1952)	21
Figure 16:	Activité sismo-tectonique de la Mitidja	23
Figure 17:	Coupe interprétative transversale de la Mitidja dans le bassin de Mazafran (Achie 1971).	24
Figure 18:	Schéma du système aquifère (M. Mac Donald & Partners, Février 1992)	25
Figure 19:	Localisation des dunes côtières (Ayme ,1962)	26
Figure 20:	Carte des iso-valeurs des transmissivités de la Baie d'Alger (m <sup>2</sup> /jour), (Binnie et Atkins, 1983)	27
Figure 21:	Carte des perméabilités de la nappe alluviale de la Mitidja Est.	27
Figure 22:	Piézométrie de l'aquifère de la Mitidja, juin 1968 (Géohydraulique, Sep1970).	28
Figure 23:	Carte piézométrique de la Baie d'Alger Avril (2011).	29
Figure 24:	La production des champs de captage de la Mitidja Est.	30
Figure 25:	Coupes schématiques d'un aquifère côtier en équilibre hydrostatique	33
Figure 26:	Impact d'un pompage sur l'interface eau douce/eau salée selon le principe de Ghyben-Herzberg	33
Figure 27:	Le dispositif quadripôle de Schlumberger	36
Figure 28:	Les matériels de sondages électriques	36
Figure 29:	Etalonnage du sondage électrique A1 à l'aide de logiciel Ipi2win	38
Figure 30:	Etalonnage du sondage électrique A2 à l'aide de logiciel Ipi2win	39
Figure 31:	Etalonnage du sondage électrique B4 à l'aide de logiciel Ipi2win	40
Figure 32:	Réseau de surveillance de la baie d'Alger et forages d'eau des champs de captage De la SEAL	43
Figure 33:	Carte des résistivités apparentes AB=40	46
Figure 34:	Carte des résistivités apparente AB=100	46
Figure 35:	Carte des résistivités apparentes AB=300	47
Figure 36:	Carte des résistivités apparentes AB=400	48
Figure 37:	Pseudo-section de profil (A)	49
Figure 38:	Coupe géo électrique de profil (A)	49
Figure 39:	Pseudo-section de profil (B)	50
Figure 40:	Coupe géo électrique de profil (B)	50



Figure 41:	Pseudo-section de profil (C)	50
Figure 42:	Coupe géo électrique de profil (C)	50
Figure 43:	Carte de la résistance transversale	51
Figure 44:	A) Carte synthétique du toit de substratum marneux, B) Profil de l'allure de substratum marneux	52
Figure 45:	Carte schématique de biseau salé dans la baie d'Alger 2013	53
Figure 46:	carte piézométrique de la Mitidja Est 1983	55
Figure 47:	Carte piézométrique de la Mitidja Est (Mai 2014)	56
Figure 48:	Variation du niveau piézométriquePZ2 (zone Hamiz)	58
Figure 49:	Carte d'isovaleur des conductivités des eaux souterraines de 1982 (J. Mania)	59
Figure 50:	Carte d'isovaleur des conductivités des eaux souterraines de 2009	60
Figure 51:	profils de conductivité à différentes profondeurs 2017	60
Figure 52:	Représentation de l'interface du logiciel d'hydrochimie	62
Figure 53:	Diagramme de Piper sur les analyses d'eau de la baie d'Alger, Campagne de Février 2017	63
Figure 54:	Relation Ca – Cl	64
Figure 55:	Relation SO4– Cl	64
Figure 56:	Relation Na– Cl	65
Figure 57:	Evolution de la conductivité en fonction de la distance à la mer	66
Figure 58:	Evolution de la teneur en chlorures en fonction de la distance à la mer	67
Figure 59:	Evolution de la teneur en calcium en fonction de la distance à la mer	67
Figure 60:	Evolution de la teneur en magnésium en fonction de la distance à la mer	68

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1:	Paramètres géométriques des sous bassins versants	7
Tableau 2:	Répartition altimétrique d'altitudes du bassin versant de l'oued El Hamiz	8
Tableau 3:	Les caractéristiques de relief de bassin versant du Hamiz-Reghaia	9
Tableau 4:	Caractéristiques des stations pluviométriques	10
Tableau 5:	Précipitations moyennes mensuelles de Mitidja Est (1985-2015)	10
Tableau 6:	Variation de la température à la station de Dar El Beida (1985-2015)	11
Tableau 7:	Calcul de bilan hydrique par la méthode de Thornthwaite (Hamiz 1985-2015)	13
Tableau 8:	Récapitulation des différents stades d'évolution de la Mitidja	22
Tableau 9:	Description de Sondage étalon A1	39
Tableau 10:	Description de sondage étalon A2	40
Tableau 11:	Description de sondage étalon B4	41
Tableau 12:	(A).Le rapport caractéristique de Todd (r Cl - / rHCO-3). (B) Les résultats du RC des eaux de la Mitidja	69

# *Introduction générale*

## **Introduction générale**

Les aquifères côtiers constituent des ressources en eau importantes dans les zones littorales, où l'on observe des fortes densités démographiques et une intense activité agricole. Cependant, l'exploitation de ces nappes pose des problèmes complexes car elle associe la notion des réserves des eaux souterraines à celle de leur qualité. Dans les conditions naturelles, sans perturbation, un état d'équilibre s'établit entre les deux fluides (eau de mer et eau douce), et la zone de contact sera stationnaire et située au sein de la nappe. Toute exploitation intensive, peut entraîner l'abaissement de la surface piézométrique qui pourrait atteindre des côtes inférieures au niveau de la mer, ce qui provoque une rupture de l'équilibre existant entre les deux fluides et engendre une intrusion saline à l'intérieur de la nappe. Cette intrusion peut se traduire par une avancée pouvant atteindre plusieurs kilomètres.

En effet, ce phénomène peut engendrer la formation de véritables langues d'eau salée en forme d'un biseau liée principalement à : la différence de la charge hydraulique, l'effet densitaire (eau salée, plus dense que l'eau douce), et la nature géologique de l'aquifère encaissant. En Algérie, le phénomène a pris de l'ampleur ces vingt dernières années à cause de la sécheresse qui a frappé le nord algérien, associé aux pompages excessifs et anarchiques. Aujourd'hui, toutes les régions du littoral algérien (1200 km) sont menacées par ce phénomène ; plusieurs lieux de contaminations des nappes ont été signalés le long du littoral.

Ce travail est une contribution à la compréhension du phénomène de l'intrusion marine vers les aquifères côtiers : cas de la plaine de Mitidja orientale en combinant plusieurs méthodes d'étude : la Piézométrie, la géophysique et l'hydrochimie.

Le travail proposé est structuré selon trois parties:

**Partie 1 : Généralités sur la zone d'étude** ; nous présentons des généralités sur la zone d'étude, relatives à la situation géographique, aux caractéristiques socio-économiques de la région, à la hydro-climatologie, la géologie et l'hydrogéologie.

**Partie 2 : Méthodologie** ; nous présentons les mécanismes de l'intrusion marine vers les aquifères côtiers et les travaux pratiques réalisés pour mettre en évidence les mécanismes de salinisation des eaux souterraines de la plaine de Mitidja orientale.

**Partie 3 : Résultats et discussions** ; nous présentons et nous interprétons les résultats obtenus pour mettre en évidence les mécanismes de salinisation des eaux souterraines.

A l'issue de ce travail nous présentons une **Conclusion générale et des Recommandations** faisant sortir les résultats de l'étude et à prendre en considération.

*Partie I*

*Généralités sur la zone*

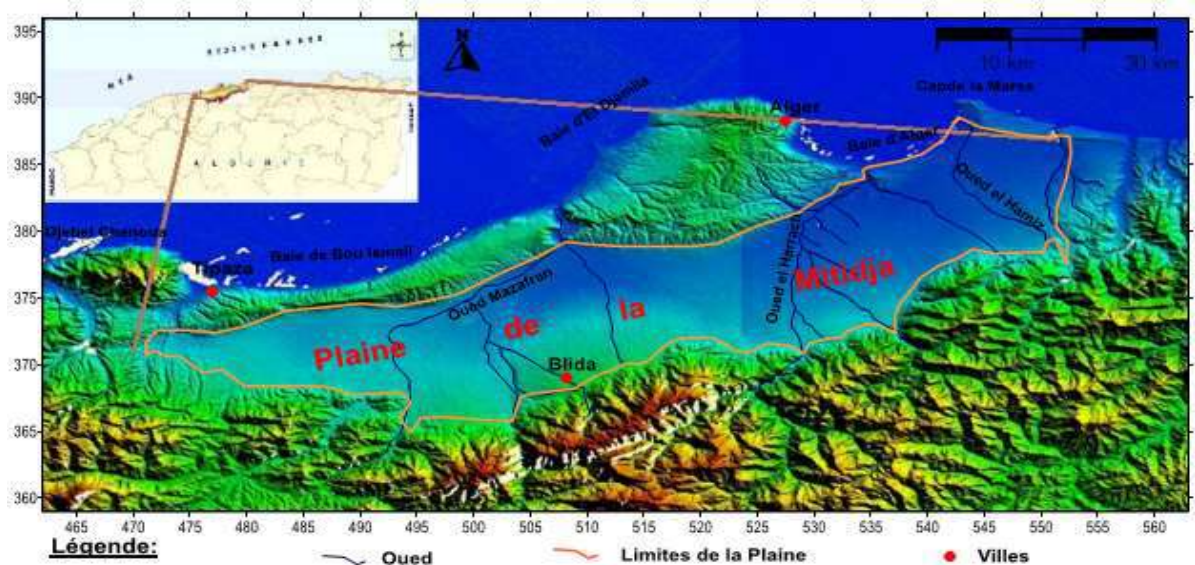
*d'étude*

## 1. Cadre géographique et géomorphologique

### 1.1. Situation géographique

La plaine de la Mitidja couvre une superficie de 1 450 km<sup>2</sup>. Cette plaine qui est située dans l'arrière-pays d'Alger, est une dépression allongée d'ouest en est, et s'incurve en direction ouest-sud-ouest, est-nord-est de Blida jusqu'à l'oued El Hamiz et la mer. Elle est orientée parallèlement au relief côtier, et de faible pente vers le Sahel et vers la mer, l'altitude moyenne est de 50 m.

Comme la présente la figure1, on peut définir quelques éléments délimitant la plaine de la Mitidja partant du Sud vers le Nord : L'Atlas Blidéen, culmine à 1 600 m, avec des pentes très fortes (supérieurs à 30%) qui sont sujettes à une érosion intense. Le Piémont de l'Atlas, avec une altitude qui varie entre 200 et 600 mètres, présente des conditions favorables pour un développement agricole. Elle est limitée à l'ouest par l'oued Nador et à l'est par l'oued Boudouaou, et par le sahel et la baie d'Alger au nord.



*Figure1: Situation géographique générale de la plaine de la Mitidja.*

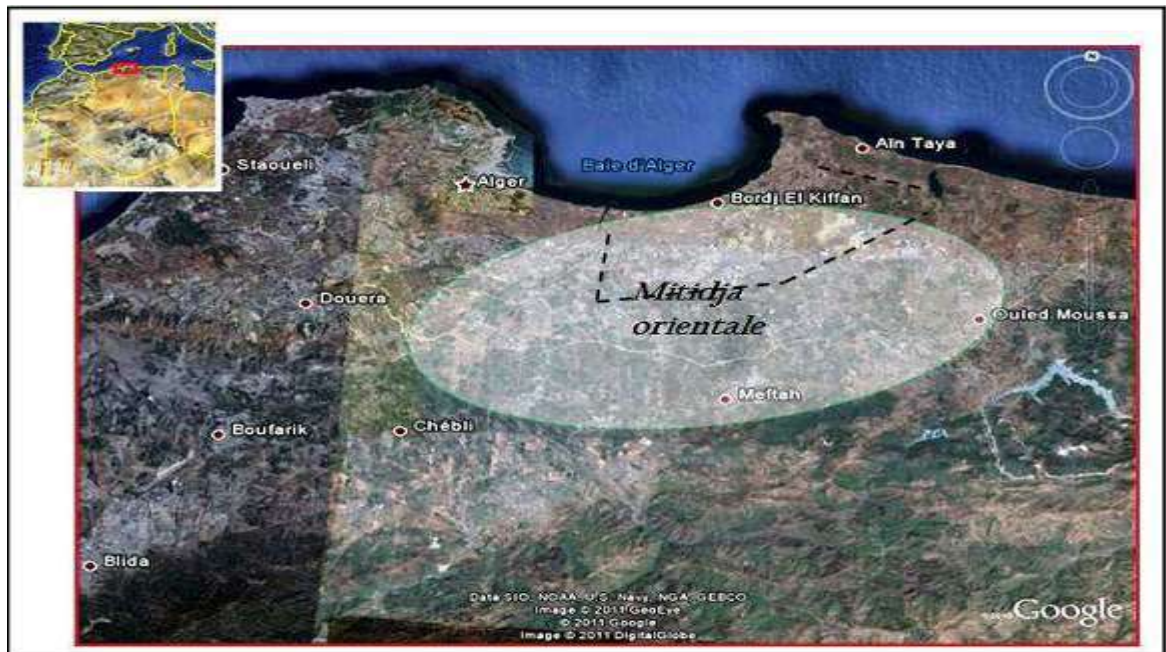
**La plaine de Mitidja est divisée en deux :**

- La Mitidja de l'Est ou basse Mitidja, qui est la zone qui fait l'objet de notre étude.
- La Mitidja de l'ouest ou haute Mitidja.

La Mitidja orientale est séparée de la Mitidja occidentale par la baie d'Alger qui divise le sahel en deux, la région d'étude présentée par la Mitidja orientale, fait partie du bassin versant de la Mitidja codé (02) par l'Agence Nationale des Ressources Hydriques. La Mitidja Est, est limitée par le Sahel au Nord l'Atlas Blidéen au Sud, Oued Reghaia à l'Est et El Harrach à l'Ouest (Fig.2).

### La Mitidja orientale :

S'étend depuis l'oued El Harrach à l'ouest jusqu'à l'oued Boudouaou à l'Est suivant un axe orienté OSO-ENE s'étale vers le sud sur une dizaine de kilomètres de la côte jusqu'au massif de Blida. Son unité physique est remarquable, elle est isolée de la mer par la ride du Sahel, qui s'estompe à l'est d'Alger et disparaît au droit de la cluse de Réghaïa. L'espace d'étude occupe la partie septentrionale de la plaine de la Mitidja Est qui est en contact direct avec la mer et qui la limite au Nord, tout comme l'oued El Harrach à l'ouest et l'oued de Réghaïa à l'est. Du point de vue topographique, la baie d'Alger est caractérisée par un relief relativement plat avec des altitudes comprises entre 0m et 20m dans la partie Nord et Nord Est, par contre la partie Sud-Ouest est caractérisée par un relief accidenté dont l'altitude maximale atteint environ 45m.



*Figure2: situation géographique de la Mitidja Orientale.*

## 1.2. Aspects socio-économiques de la Mitidja

### 1.2.1. Population :

D'ouest en Est, la plaine traverse successivement les wilayas de Tipaza, de Blida, d'Alger, de Boumerdès et l'extrême nord-est de Médéa. De nombreuses agglomérations occupent les lisières de la Mitidja, dont quatre importants centres urbains situés aux points cardinaux : Alger au nord, Blida au sud, Médéa au sud-est, Boumerdès à l'est et Tipaza à l'ouest, le centre de gravité étant occupé par Boufarik. Ces centres urbains sont nés dans leur majeure partie pendant la colonisation française pour le besoin d'encadrer les exploitations agricoles et d'assurer les biens et services.

**1.2.2. Végétation et agriculture :** La majorité de la zone est irriguée par pompage privé des eaux souterraines de la nappe quaternaire et les cultures les plus pratiquées sont de type maraîcher (tomate, pommes de terre, piment, carottes, navet...), ou les sols de cette région est parmi les plus fertiles en Algérie.

**1.2.3. Industrie :** La région est l'une des plus importants pôles industriels du l'Algérie (zone industrielle de Reghaia et Rouïba). L'image de cette région se caractérise par le poids des industries chimiques et agro-alimentaires (sucreries, unités laitière,...). En plus de ces branches, la région est connue aussi par ses industries de textile, de conserves de poissons, de plastique et produits pharmaceutiques.

### 1.3. Cadre géomorphologique

**1.3.1. Le relief :** La plaine de la Mitidja est une dépression longue d'environ 100 km sur 15 à 20 km de large resserrée entre l'Atlas blidéen au sud, et le sahel au Nord, elle est largement ouverte sur la mer, sur une trentaine de kilomètres. Dans sa partie ouest, les collines du sahel entrent au contact du massif montagneux de chenoua (905 m) et rejoignent, au plateau de fadjana, les premières hauteurs de l'Atlas (djebel thebarrarine au sud, 853 m).

La plaine de la Mitidja présente une pente douce du sud au nord, de l'Atlas vers les collines. Cinquante mètres seulement entre Ahmeur-el-Ain et le fond du lac halloula. De l'extrémité ouest d'Alger, sur 70 km, la plaine ne communique avec la mer que par l'intermédiaire d'oued Nador et 40 km plus loin par le mazafran.

**1.3.2. Les unités Géomorphologiques :** La plaine de la Mitidja offre sur le plan géomorphologique une assez grande homogénéité. Ce phénomène est lié à la nature subsidence de cette unité. Le paysage apparait ainsi sous différents aspects. Du Nord au Sud on peut définir les unités géomorphologiques suivantes :

**a. Le Sahel:** C'est une région littorale d'altitude moyenne de 200m représentée par un bombement anticlinal à faible pente.

**b. La plaine:** C'est une dépression en forme de carène dont l'altitude varie entre 10 et 100m d'Est en Ouest. Elle est coincée entre le sahel et l'Atlas Blidéen.

**c. L'Atlas Blidéen:** Il représente la case départ des cours d'eau qui traversent la plaine. Son altitude moyenne est de 1600m.



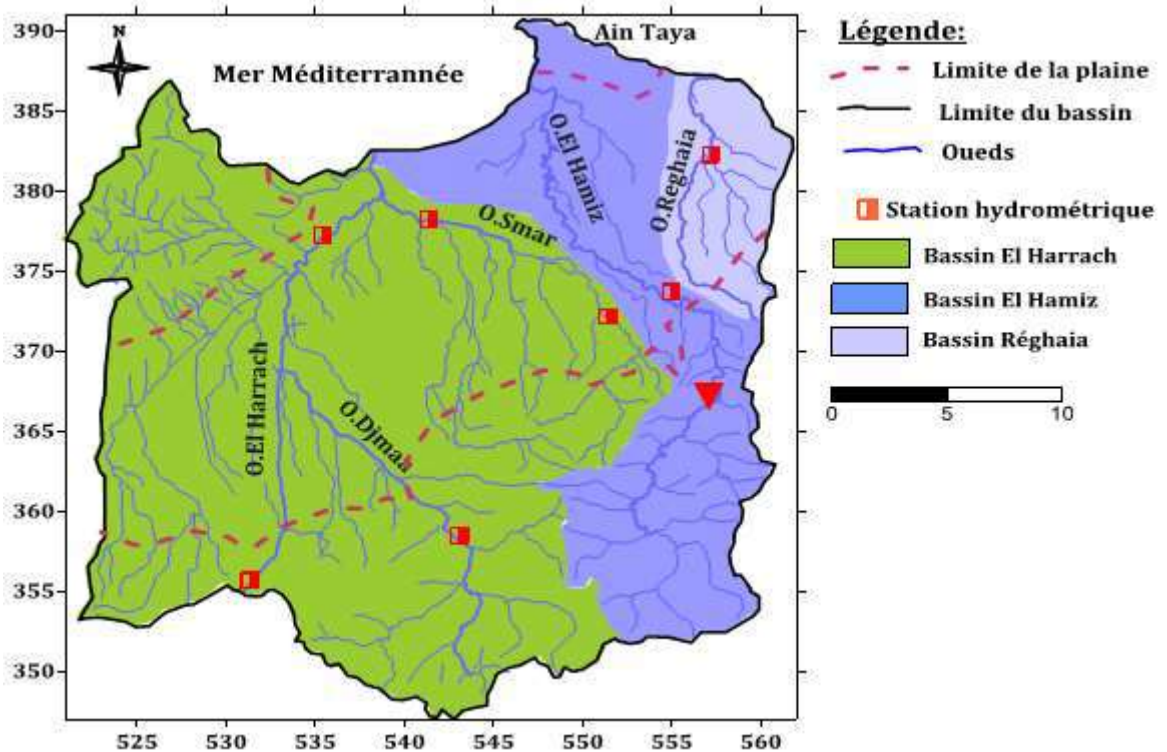
**1.3.3. Couvert végétal :** Elle joue un rôle important dans le comportement hydrologique du bassin. Elle a une influence mécanique sur le ruissellement superficiel, en plus du fait qu'elle conditionne l'évapotranspiration et donc le bilan hydrologique du bassin. La plaine de la Mitidja est une région agricole très intensive, en raison de sa topographie et de sa fertilité. Les activités agricoles les plus répandues sont l'arboriculture et les cultures maraîchères.

La végétation en tant que facteur de pédogénèse a été presque complètement détruite par une exploitation intensive, autant dire qu'aujourd'hui, elle n'existe presque plus. Cependant, les forêts de Reghaia et le bois de Boulogne au Sud de la ville de l'Arbaa sont parmi les seuls vestiges de cette végétation naturelle. Cette végétation est constituée, principalement, d'une association de chêne-vert et d'épais bosquets de maquis méditerranéen. Cette végétation naturelle exerçait un rôle prépondérant dans l'évolution des sols.

## 2. Hydrographie

### 2.1. Réseau hydrographique

Cinq oueds principaux drainent la plaine de la Mitidja (Fig.3). Ce sont d'Ouest à Est: Oued Nador (réunion des oueds Bou Ardoun, Meurad et Bourkika), Oued du Mazafran (résultant d'oued Djer grossi de Bou Roumi et la Chiffa avec l'oued Kébir), Oued El Harrach (reçoit sur sa rive droite l'oued Djemaâ et l'oued Smar) et Oued El Hamiz et Oued Réghaïa. Ces trois derniers oueds se jettent directement dans la mer sans rencontrer d'obstacles de relief.



*Figure3: Les sous bassins versants de la Mitidja Est.*

La plaine de la Mitidja orientale est d'une superficie de 510km<sup>2</sup>. Elle est partagée en deux bassins fluviaux principaux (Fig.4) qui sont :

- **Le bassin de l'oued El-Harrach** : Sa superficie est de 1236 km<sup>2</sup>.
- **Le bassin de l'oued Hamiz** : il occupe une superficie de 370 km<sup>2</sup>, situé à l'est de la plaine. Vu la faible superficie du bassin de Reghaia, il est regroupé dans le bassin du Hamiz. Le réseau hydrographique de la plaine de la Mitidja orientale est principalement représenté par trois oueds principaux : Oued El Harrach Oued Hamiz et Oued Réghaia. Ces derniers la traversent perpendiculairement selon des directions méridiennes, avec plusieurs plans d'eau naturels ou artificiels comme le lac Réghaia et le barrage de Hamiz.
- **Oued El Harrach** : il prend naissance dans les monts de Tablât. Cet oued est dévié plusieurs fois. Actuellement il traverse la plaine du sud au nord pour s'infléchir vers le N.E au pied du sahel jusqu'à la cluse d'El Harrach. Vers le milieu de la plaine, oued El Harrach reçoit sur sa rive droite oued Djemaa, qui conclue avec celui-ci avant de se jeter dans la mer. Les affluents de cet oued sont oued Djemââ, oued Smar et oued Boutrik.
- **Oued El Hamiz** : dont les affluents sont l'oued Arbattache, l'oued sekhine. Cet oued qui prend une direction N.O à partir de Fondouk jusqu'à Hamadi se redresse jusqu'au Sahel pour se jeter dans la mer au sud de cap Matifou (Bordj El Bahri).
- **Oued Reghaia** : cet oued est considéré comme un oued secondaire. Ces oueds côtiers présentent un certain nombre de caractéristiques communes : - Ils prennent tous naissance dans l'Atlas et sont tous de dimensions restreintes. - Tous présentent un profil longitudinal divisé en deux parties très distinctes. - Leur pente est très forte en montagne. - Dans un passé récent elles ont été constamment maintenues par le jeu tectonique.

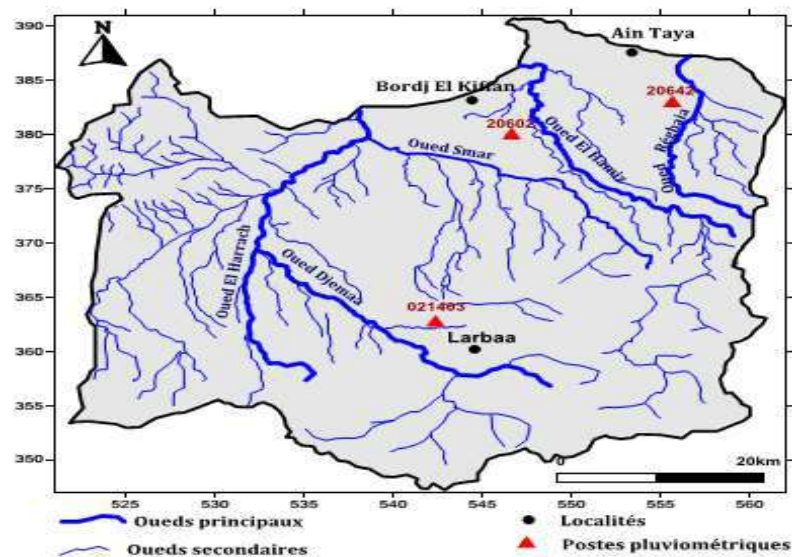


Figure4: Réseau hydrographique du bassin versant de la Mitidja Est.

## 2.2. Caractéristiques morpho métriques

### 2.2.1. Paramètres géométriques

Pour l'estimation de ces paramètres nous avons regroupé les deux sous bassins versants Hamiz et Réghaia sous un seul sous bassin versant dénommé **Hamiz-Réghaia** qui occupe 370 km<sup>2</sup> de la superficie de la Mitidja Est.

Les caractéristiques géométriques et morpho métriques du bassin du Hamiz sont représentées dans le tableau suivant :

**Tableau 1 : paramètres géométriques des sous bassins versants.**

Paramètres	Unité	Formule de calcul	Valeur
superficie (S)	km <sup>2</sup>		370,9
périmètre (P)	km		127,5
longueur du talweg principale (L)	km		
Indice de compacité de GRAVELIUS (K <sub>c</sub> )	%	$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$	1,7
Longeur du rectangle equivalent (L)	km	$L = \frac{K_c \sqrt{A}}{1,12} [1 + \sqrt{1 - (\frac{1,12}{K_c})^2}]$	53,91
Largeur du rectangle equivalent (l)	km	$l = \frac{K_c \sqrt{A}}{1,12} [1 - \sqrt{1 - (\frac{1,12}{K_c})^2}]$	7,62
Facteur de forme (Rf)		L <sup>2</sup> /S	7,83
Indice de conformité (Ic)		S/L	6,88
coefficient de compacité (C)		L/l	7,075

Avec un indice de compacité de l'ordre de 1.7 qui est supérieur à 1, notre bassin est de forme allongée qui traduit un temps de concentration et de ruissellement assez long, donnée confirmé par la forme du rectangle équivalent (L>2l).

**2.2.2. Paramètres de relief :** L'influence du relief sur l'écoulement se conçoit aisément, car de nombreux paramètres hydrométéorologiques varient avec l'altitude (précipitations, températures, etc.) et la morphologie du bassin. En outre, la pente influe sur la vitesse d'écoulement. Le relief se détermine lui aussi au moyen d'indices ou de caractéristiques suivants :

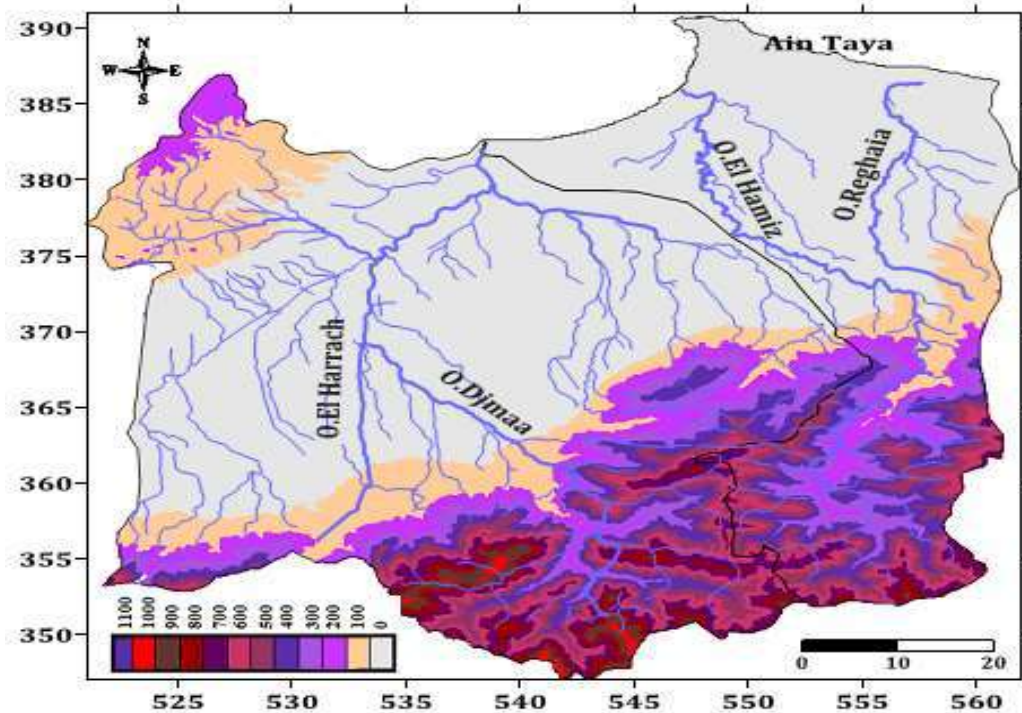


Figure 5 : Carte des altitudes des deux bassins versants (Harrach et Hamiz).

#### a. La courbe hypsométrique

La courbe hypsométrique fournit une vue synthétique de la pente du bassin, donc du relief. Cette courbe représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude. Elle porte en abscisse la surface (ou le pourcentage de surface) du bassin qui se trouve au-dessus (ou au-dessous) de l'altitude représentée en ordonnée. Elle exprime ainsi la superficie du bassin ou le pourcentage de superficie, au-delà d'une certaine altitude.

Tableau 2 : répartition altimétrique d'altitudes du bassin versant de l'oued ElHamiz

Tranche d'altitude (m)	Centre de classe (m)	surface Ai (km <sup>2</sup> )	%Ai	% Ai cumulé	Ai/Hi
0-200	100	175,14	42,79	100	17514
200-400	300	49,12	12	57,21	14736
400-600	500	85,5	20,89	45,2	42750
600-800	700	58,33	14,25	24,31	40831
800-1000	900	35,08	8,57	10,06	31572
1000-1200	1100	6,09	1,49	1,49	6699
		409,26			154102



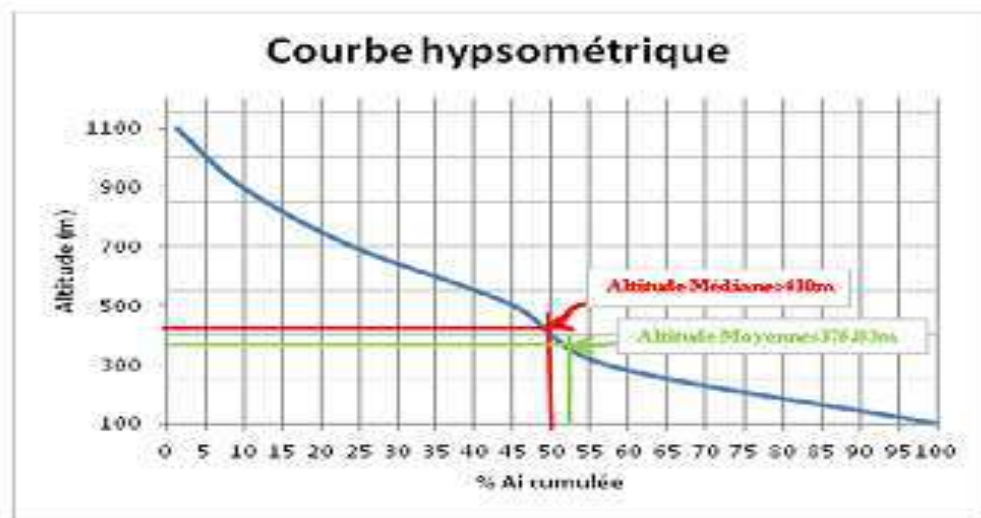


Figure 6: Courbe hypsométrique du bassin versant du Hamiz-Reghaia

La courbe hypsométrique du bassin de Hamiz-Reghaia (Fig.6), montre que plus de 50% de la surface du bassin correspond à des altitudes allant de 0 à 450 m, et que les altitudes supérieures à 300 m sont peu étendues.

**b. Les altitudes caractéristiques :** Le tableau ci-dessous résume les différentes altitudes et l'indice de pente globale.

Tableau 3 : Les caractéristiques de relief de bassin versant du Hamiz-Reghaia

Paramètres	Unité	Formule de calcul	Valeur
Altitude max ( $H_{\max}$ )	m		1100
Altitude min ( $H_{\min}$ )	m		28
Altitude médiane ( $H_{\text{med}}$ )	m		410
Altitude moyenne ( $H_{\text{moy}}$ )	m	$H_{\text{moy}} = \frac{1}{A} \sum H_i \cdot A_i$	375,03
La Dénivelée totale ( $D_t$ )	m	$H_{\max} - H_{\min}$	1072
Indice de pente globale ( $I_g$ )		$I_g = \frac{h_{5\%} - h_{95\%}}{L} = \frac{D}{L}$	19,88

L'indice de pente global montre que le sous bassin versant **Hamiz-Réghaia** a un relief relativement **faible**, traduisant ainsi une infiltration favorable optimale qui dépend du ruissellement.

### 3 .Contexte Climatologique

#### 3.1. La pluviométrie

Les données pluviométriques sont recueillies au niveau de 3 stations réparties de façon plus ou moins homogène sur l'ensemble des sous bassins versants de la plaine, couvrant une période de 30ans (1985-2015). Les stations et les postes choisis sont les suivants : Hamiz, Baraki et Reghaia. (Tab.4). Les différentes caractéristiques relatives à ces stations sont regroupées dans le tableau suivant :

**Tableau 4 : Caractéristiques des stations pluviométriques.**

Stations	Code ANRH	Coordonnées Lambert		Altitude (m)
		X	Y	
Baraki	021421	535.05	376.50	25
Hamiz Barrage	020602	558.60	367.40	130
Réghaïa	020632	557.80	382.20	20

La pluviométrie est le paramètre climatique qui joue un rôle majeur dans la recharge des nappes et le développement de réseau hydrographiques. Pour l'étude des précipitations, on exploitera les séries des chroniques disponibles des trois stations citées précédemment.

**3.1.1. Précipitations moyennes mensuelles et annuelles :** Les précipitations sont très irrégulières d'une année à l'autre. Leur répartition au cours de l'année n'est pas homogène, elle dépend de plusieurs facteurs qui sont la latitude et la continentalité.

La pluviométrie moyenne annuelle est de 590.73 mm ; 589.15mm et 702.16mm respectivement pour les stations Baraki, Reghaia et Hamiz. D'après le tableau 5 et figure 7; le mois le plus pluvieux est Novembre pour les stations de Bakari et Raghiaia, et le mois de décembre pour la station de Hamiz. Les plus faibles précipitations sont enregistrées au mois de Juillet et Août.

**Tableau 5: Précipitations moyennes mensuelles de Mitidja Est (1985-2015)**

	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout	annuel
BARAKI	30,1	50,15	98,26	93,7	80,43	72,83	55,2	54,7	34,15	9,5	4,61	7,03	590,73
REGHAIA	28,29	47,49	100,58	90	78,16	77,29	55,14	52,61	42,75	9,59	2,01	5,19	589,15
HAMIZ	32,57	57,95	102,74	103,91	93,53	94,55	72,61	75,47	51,18	9,5	2,41	5,68	702,16

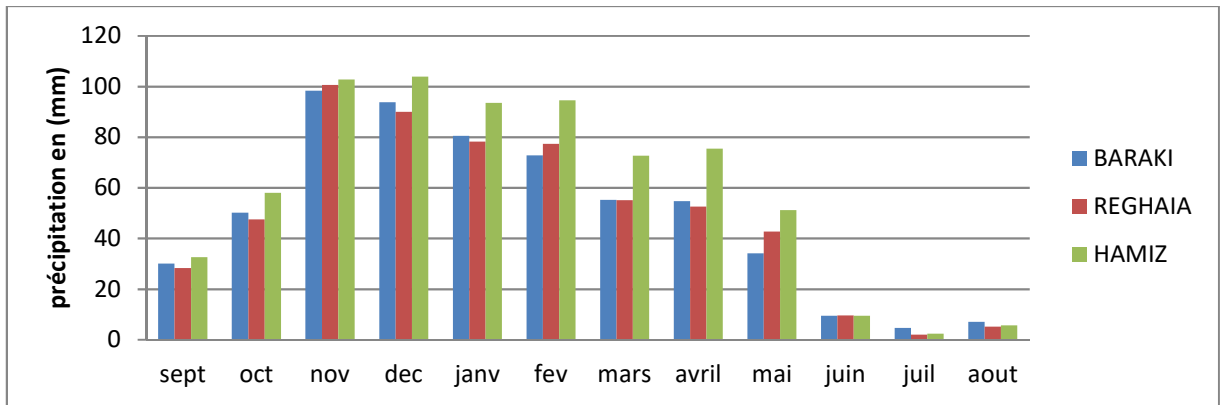


Figure 7: Histogramme des précipitations moyennes mensuelles, Période (1985-2015)

**3.1.2. Précipitations annuelles :** La plaine de la Mitidja montre une pluviosité qui varie dans l'espace et dans le temps. Cette pluviosité varie de 300 à 800 mm, et tombe en 95 jours en moyenne. La pluviosité moyenne annuelle aux différentes stations est d'environ 600 mm, avec une valeur minimale de 204 mm enregistrée en 2001 à la station de Larbaa, et un maximum de 1058 mm à la station de Hamiz barrage en 2002. A cette irrégularité annuelle, s'ajoute une irrégularité interannuelle, les années humides pouvant être deux fois plus arrosées que les années sèches (Fig.8)

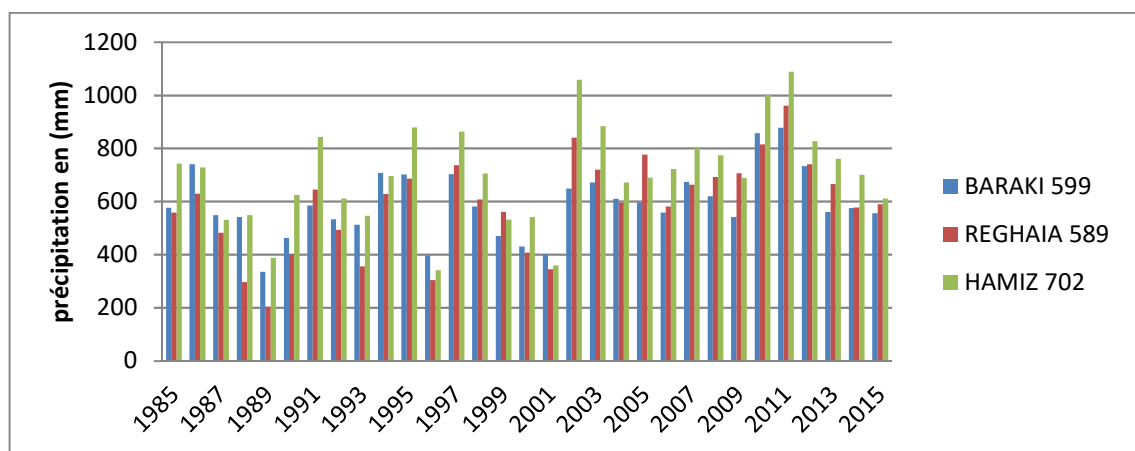


Figure 8: Histogramme des précipitations moyennes annuelles (1985-2015)

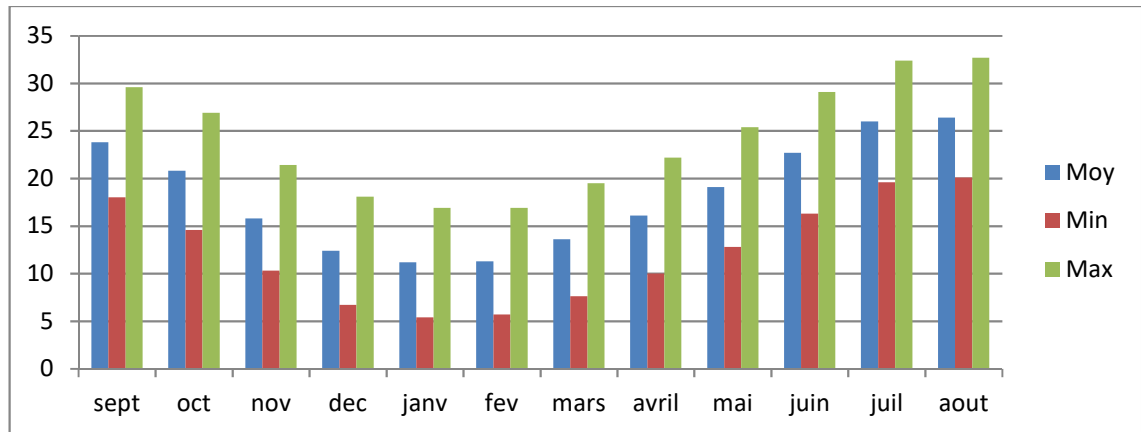
### 3.2. Les températures

Ce paramètre est un facteur très important dans l'évaluation du déficit d'écoulement, qui entre dans l'estimation du bilan hydrologique. Les relevés moyens mensuels des températures ont été enregistrés sur une période de 30 ans (1985 à 2015), par la station de Dar el Beida.

Tableau 6 : Variation de la température à la station de Dar El Beida (1985-2015)

	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout	ANNUEL
Moy	23,8	20,8	15,8	12,4	11,2	11,3	13,6	16,1	19,1	22,7	26	26,4	18,3
Min	18	14,6	10,3	6,7	5,4	5,7	7,6	10	12,8	16,3	19,6	20,1	12,3
Max	29,6	26,9	21,4	18,1	16,9	16,9	19,5	22,2	25,4	29,1	32,4	32,7	24,3





**Figure 9: Histogramme des Variations de la température à la station de Dar El Beida.**

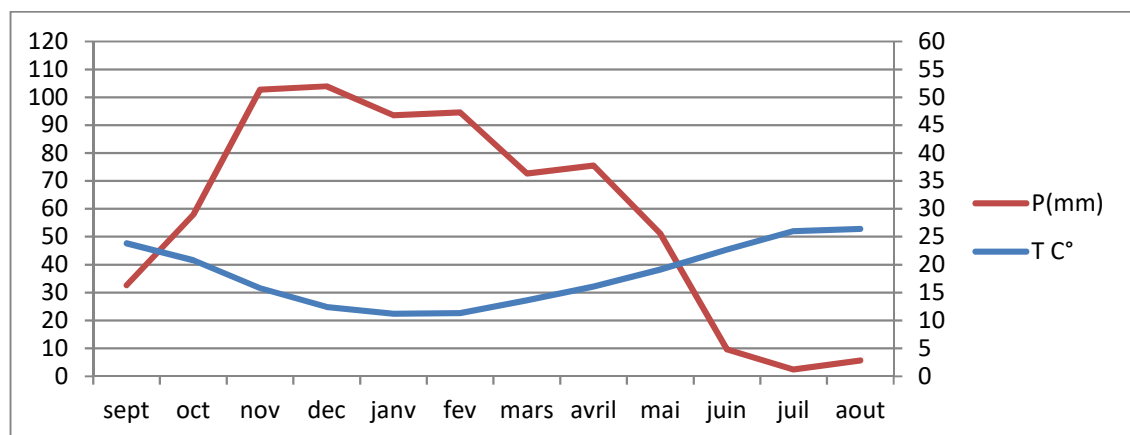
La température moyenne annuelle pour la période 1985 - 2015 est de 18.3°C. La saison hydrologique est subdivisée en deux périodes :

- Une période froide (saison humide) qui débute au mois de Novembre jusqu'au mois de Mai avec une température moyenne la plus basse enregistrée au mois de janvier à 11.2°C.
- Une période chaude (saison sèche) débute au mois de Juin jusqu'au mois d'Octobre, la température moyenne la plus élevée 26.4°C est observée au mois d'Aout.

L'amplitude thermique varie avec les mois et les saisons, mais cet écart reste toujours peu important, il en est de même pour l'amplitude thermique annuelle car la différence entre le mois le plus froid et le mois le plus chaud ne dépasse pas les 15°C.

### 3.3. Diagramme Ombrothermique

Un mois sec se définit, comme celui ayant un total pluviométrique (moyenne en millimètres) égal ou inférieur au double de la température ( $P = 2T^\circ$ ). Ainsi, on constate que la saison sèche est formée par plusieurs mois secs consécutifs. Le diagramme de Gaussen (Fig.10) permet de mettre en évidence une saison humide débutant au mois d'octobre qui se termine au mois de mai, et une saison sèche qui s'étale du mois de juin jusqu'au mois de septembre.



**Figure 10: Courbe pluvio-thermique de la zone d'étude.**

### 3.4. Bilan hydrique

Nous avons calculer le bilan hydrique (Tab.7) par la méthode de **Thornthwaite**. Cette méthode est basée sur la notion de réserve en eau facilement utilisable (notée par la suite RFU). On admet que le sol est capable de stocker une certaine quantité d'eau (la RFU) ; cette eau peut être reprise pour l'évaporation par l'intermédiaire des plantes. La quantité d'eau stockée dans la RFU est bornée par 0 (la RFU vide) et RFU max (capacité maximale de la RFU qui est de l'ordre de 0 à 200 mm suivant les sols et sous-sols considérés, avec une moyenne de l'ordre de 100 mm). On admet que la satisfaction de l'Etp a priorité sur l'écoulement, c'est-à-dire qu'avant qu'il n'y ait d'écoulement, il faut avoir satisfait le pouvoir évaporant (Etp = Etr). Par ailleurs, la complétion de la RFU est également prioritaire sur l'écoulement.

On établit ainsi un bilan à l'échelle mensuelle, à partir de la pluie du mois P, de l'Etp et de la RFU :

\*Si  $P > Etp$ , alors :

- $Etr = Etp$
- il reste un excédent ( $P - Etp$ ) qui est affecté en premier lieu à la RFU, et, si la RFU est complète, à l'écoulement Q

\*Si  $P < Etp$  :

- on évapore toute la pluie et on prend à la RFU (jusqu'à la vider) l'eau nécessaire pour satisfaire l'Etr soit :

- $Etr = P + \min(RFU, Etp - P)$

- $RFU = 0$  ou  $RFU + p - Etp$

\*Si  $RFU = 0$ , et  $P < Etp$  : dans ce cas  $P = Etr$ , la quantité ( $Da = Etp - Etr$ ) représente le déficit agricole, c'est-à-dire sensiblement la quantité d'eau qu'il faudrait apporter aux plantes pour qu'elles ne souffrent pas de la sécheresse.

**Tableau 7: Calcul de bilan hydrique par la méthode de Thornthwaite (Hamiz 1985-2015)**

	sep	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avr	mai	juin	juil	aout	Annuel
P	32,57	57,95	102,74	103,91	93,53	94,55	72,61	75,47	51,18	9,5	2,41	5,68	702,16
ETP	109,81	79,95	41,93	25,78	21,98	21,85	37,71	55,58	84,74	118,83	156,51	150,75	905,40
P-ETP	-77,24	-22,00	60,82	78,13	71,55	72,71	34,90	19,89	-33,56	-109,33	-154,10	-145,07	-203,24
RU	0	0	60,82	100	100	100	100	100	66,44	0	0	0	/
DEF	77,24	22	0	0	0	0	0	0	0	109,33	156,51	145,07	510,15
Exc	0	0	0	78,13	71,55	72,71	34,9	19,89	0	0	0	0	281,68
ETR	32,57	57,95	41,93	5,78	21,98	21,85	37,71	55,58	51,18	9,5	2,41	5,68	344,12

L'observation du bilan hydrologique nous amène à dire que l'ETP est importante du mois de mai jusqu'au mois d'octobre, avec des valeurs atteignant les 156.51 mm au mois de juillet, rendant ainsi nécessaire l'irrigation. A partir du mois de novembre, on assiste à une reconstitution du stock qui s'accompagne d'une augmentation de la RFU, qui atteint son maximum entre les mois de décembre et avril. Au-delà de cette période, on assiste à une baisse de la RFU, traduisant un épuisement du stock. (Tableau 4).

- Le déficit agricole est enregistré pendant 04 mois (de juin à septembre). Les sols agricoles demandent donc une irrigation.
- L'ETR ne couvre que 38% de l'ETP. Elle consomme 48,8% des précipitations. Ceci induit un faible excédent et par conséquent la recharge de la nappe est très limitée.
- La lame d'eau ruisselée est déterminée par la formule d'approximation de Tixeront-Berkaloff est de l'ordre de  $R = 208.51 \text{ mm}$ .
- La lame infiltrée représente les apports à la nappe à partir des précipitations efficaces, elle est déduite de l'équation du bilan hydrologique suivante :  $I = P + R + \text{ETR} + \Delta S$ . Elle est d'ordre de 74.71 mm qui représente 10 % des précipitations.

## 4. Géologie de la plaine de Mitidja

### 4.1 Stratigraphie

Le Primaire est représenté par des affleurements réduits isolés dans le massif d'Alger, dans les régions de Bordj-El-Bahri et Arbatach. Ces affleurements sont formés par des schistes, des calcaires plus ou moins métamorphisés, des micaschistes et des gneiss (Saadallah, 1985). On notera toutefois une lacune du secondaire dans toute la zone d'étude de la plaine de la Mitidja. Le Tertiaire discordant sur le primaire est représenté par le Miocène et le pliocène.

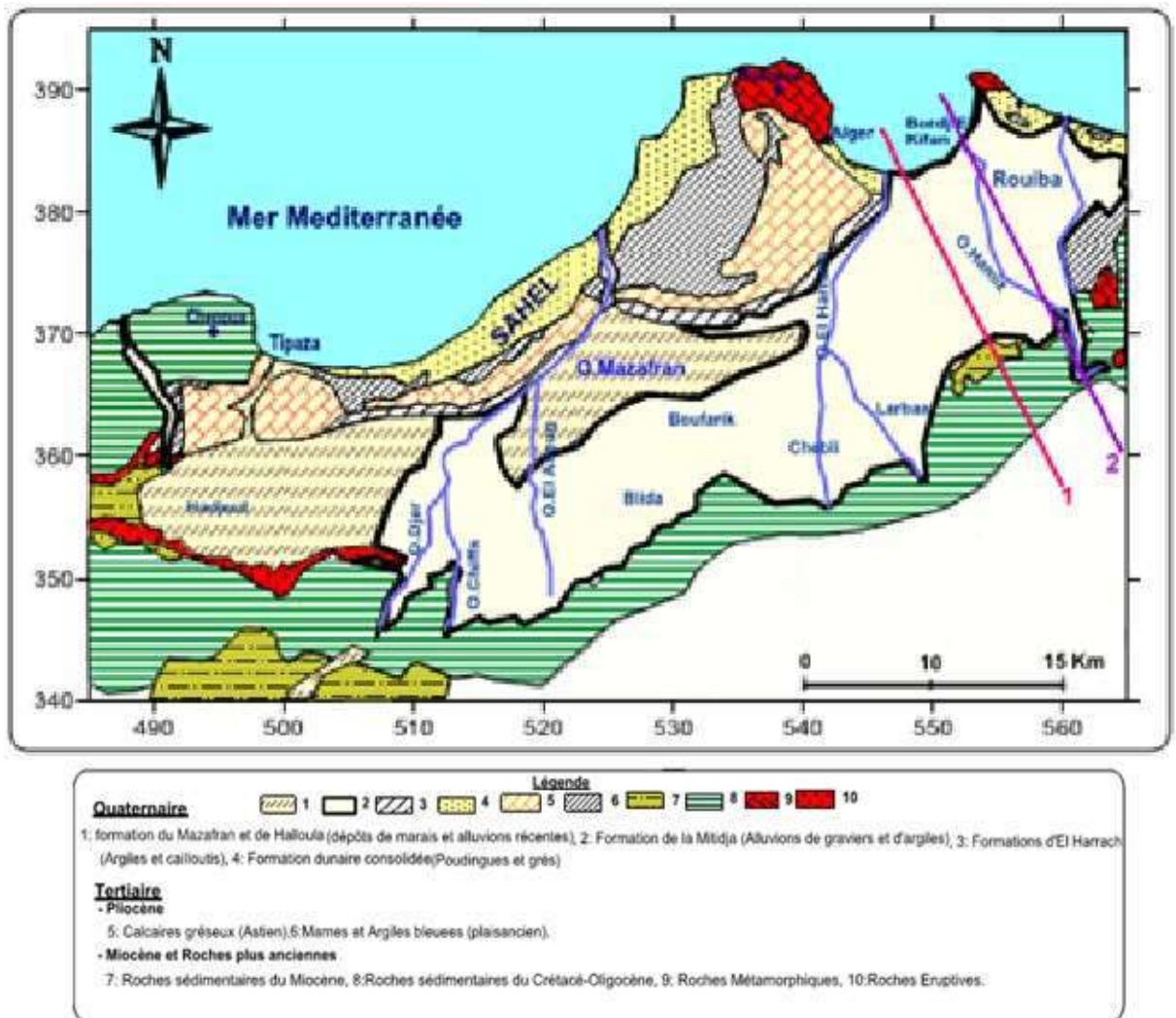
Le Miocène est présent sous la plaine de la Mitidja et dans le cœur de l'anticlinal du Sahel. Il affleure par endroits dans l'Atlas blidéen sur la bordure sud du bassin de la Mitidja (L. Glangeaud, 1952 ; A. Aymé, 1954).

Le Pliocène est bien développé à l'Est de Koléa, à la limite Sahel-Mitidja. Il apparaît en affleurements réduits sur la bordure Ouest du bassin à l'immédiat de Hadjout où il est masqué par les formations quaternaires. D'après L. Glangeaud (1952) ; le Pliocène dans le Sahel est représenté de bas en haut par :

- Argiles bleues d'âge indéterminé
- Niveaux fossilifères glauconieux
- Marnes jaunes et mollasses
- Grés rouges, poudingues et sables du pliocène supérieur ou Calabrien.

L'étude de la succession stratigraphique du remplissage a été effectuée par de nombreux auteurs (Glangeaud, 1935 ; Aymé, 1952 ; ingénieurs de Géohydraulique, 1972) ainsi que par l'interprétation de données récentes des forages (Binnie et Partners, 1981).

La synthèse des différents travaux, appuyée par de nombreux sondages hydrauliques montre en fonction de leur intérêt vis-à-vis de l'eau ; deux grands ensembles stratigraphiques (Fig.11) d'âge Quaternaire et Tertiaire (Pliocène).



*Figure 11: Carte géologique de la plaine de la Mitidja (D'après Mac Donald et Partners, 1992).*

#### 4.1.1 Le Quaternaire

Le Quaternaire est constitué de haut en bas par les formations suivantes:

**a. Les dépôts récents :** Ils comprennent des dépôts de lits d'oueds, de sables dunaires et de piémont de l'Atlas :

- Les dépôts de lits d'oueds sont des alluvions déposées principalement au cours des crues des oueds qui sillonnent la Mitidja. Elles sont constituées de cailloutis, de graviers, de sables graveleux et limoneux. L'épaisseur de ces alluvions est peu importante, inférieure à 10 mètres.
- Les dépôts de sables dunaires, épais de 20 à 40 mètres, sont composés de sables fins à moyens et des couches fossilifères consolidées. Ils occupent une partie de la baie d'Alger et la région de Réghaïa.
- Les dépôts de piémont de l'Atlas constituent le premier contact avec la plaine ; il s'agit des cônes de déjection de Blida et de Bougara, qui s'étendent respectivement du Sud de la rive gauche de l'Oued Chiffa jusqu'à Bouinan et de l'Oued El-Harrach jusqu'à la hauteur de Meftah. Ils sont constitués d'éléments grossiers hétérométriques ciés par une matrice limono-argileuse. Leurs épaisseurs varient de quelques mètres à quelques dizaines de mètres.

**b. Les formations du Mazafran et de Halloula :** Ces deux formations contenues dans la plaine sont séparées par les Oued Djer et Bou Roumi. A l'Ouest de l'Oued Djer, dans l'ancien lac Halloula, les dépôts sont limoneux et argilo limoneux de couleur généralement noire ou grise, et sont probablement des vases et/ou des argiles organiques, riches en matières organiques. Leur épaisseur est de 10m en moyenne.

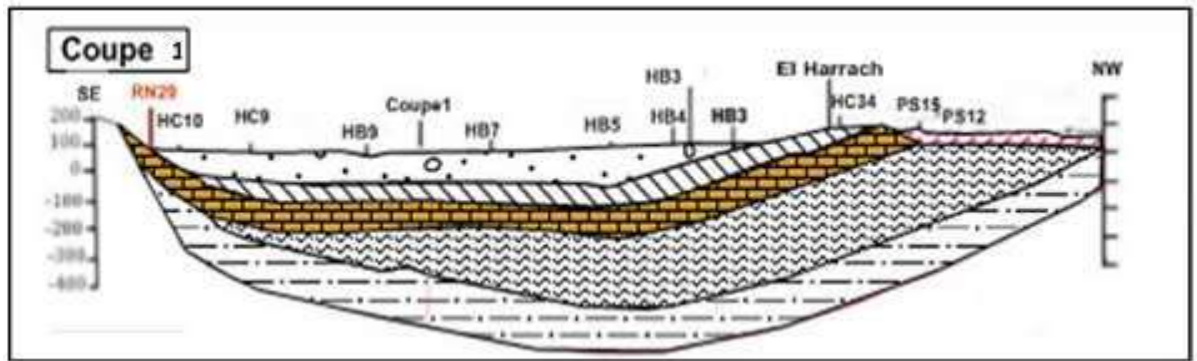
A l'Est de l'oued Djer, les limons de la formation du Mazafran se localisent le long de la cluse de l'Oued Mazafran. Selon M. Montouchet (1952), ces dépôts limoneux se sont déposés dans une zone basse marécageuse dite : «*marais des Ouleds Mendil*». L'épaisseur maximale de cette formation est de 60m.

**c. La formation de la Mitidja :** Les données de forages prises en compte dans cette étude montrent que la formation de la Mitidja est constituée essentiellement de matériaux alluvionnaires : sables, argiles sableuses, argiles graveleuses, graviers, galets, graviers et galets gréseux souvent argileux ou limoneux. Celle-ci est présente sur toute l'étendue de la plaine à l'exception de la partie occidentale où ces alluvions sont recouvertes par les marnes et argiles de la basse plaine du Mazafran et de Halloula.

**d. La formation d'El Harrach :** C'est une formation (dénommée par L. Glangeaud «argiles de *Maison carrée*») constituée par des argiles plastiques jaunâtres dont la base est grise. On y rencontre des niveaux lenticulaires de graviers, de sables et de lits tourbeux de deux à six mètres d'épaisseur (Géohydraulique, 1972).

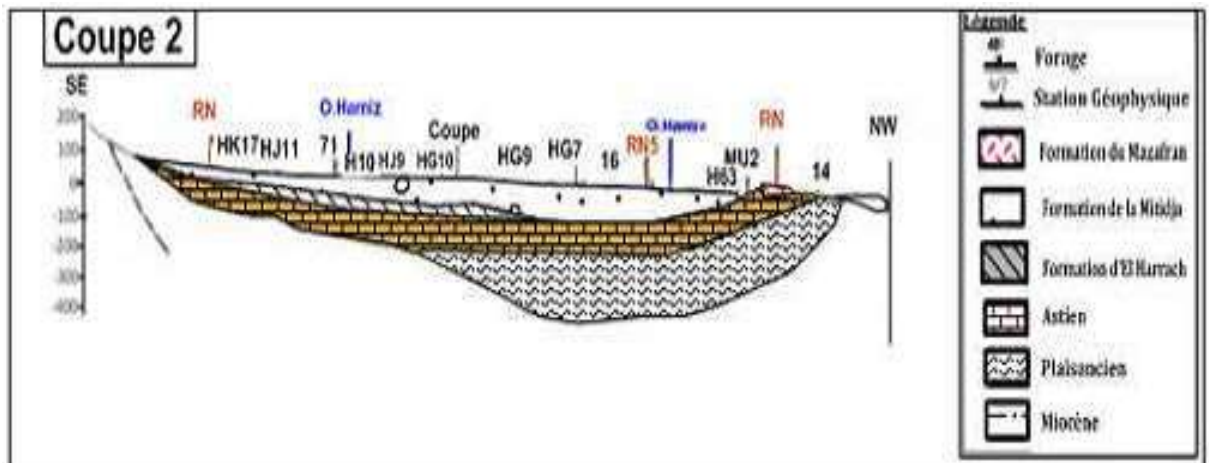
Nous la retrouvons visible, en surface, dans la région d'El-Harrach, le long du versant Sud du Sahel et à l'Ouest de Hadjout. Sa présence au-dessous de la formation de la Mitidja a été mise en évidence par **L. Glangeaud** (1932) et confirmée peu après par l'étude des forages.

Les forages situés dans les régions de Rouiba et Réghaïa ne montrent pas l'existence de cette formation, mais un passage direct de la formation de la Mitidja (Soltano-Tensiftien) au pliocène supérieur (Fig.12).



*Figure 12: Coupes géologiques dans la région d'El Harrach. 1-SE/NW.  
(Bennie and partners, 1983)*

L'étude par sondages électriques réalisée par Géohydraulique (1972) et Bennie & Partners (1981) montre que cette formation atteint son épaisseur maximale (200m) dans la partie Ouest du bassin. Son épaisseur moyenne au centre du bassin est d'environ 100m.



*Figure 13 : Coupes géologiques dans la partie Ouest du bassin Mitidja. 2- SE/NW.  
(Bennie and partners, 1983)*

#### 4.1. 2. Le Tertiaire

**a. Le Miocène et roches plus anciennes :** Ces formations sont présentes sous le bassin de la Mitidja dans le cœur de l'anticlinal du Sahel et affleurent par endroits dans l'Atlas, sur la bordure Sud du bassin. (Aymé et Al, 1954 ; Glangeaud, 1952).

- **Les formations plus anciennes** : elles sont constituées par les roches éruptives du tertiaire (rhyolites et andésites) sont visibles sur le pourtour SW de la Mitidja.
- **Le Miocène** : affleure le long de l'Atlas entre Meftah et Khemis El Khechna, et à l'Est de oued Réghaïa. Il est représenté par des marnes de 50 m d'épaisseur du Vindobonien contenant des lentilles de calcaires, et aussi des lentilles de grès d'épaisseur variable du Burdigalien.

**b. Le Pliocène** : Il est formé par des dépôts astiens et plais anciens bien distincts. Il est bien développé à l'Est de Koléa, à la limite 'Sahel Mitidja' et apparaît très peu sur la bordure Sud près de Hadjout. Sur cette bordure méridionale le Pliocène est masqué par les formations quaternaires qui viennent recouvrir les formations du paléocène. Le Pliocène comprend :

- **L'Astien** : L'Astien montre une lithologie variée composée de calcaires ou de calcaires sableux, grès, argiles calcaires de couleur jaune et des calcaires à faciès récifal ou sub-récifal. L'épaisseur moyenne de cette série est située entre 100 et 130 m. La formation de l'Astien est bien développée sur le côté Sud de la Mitidja. Elle se trouve à des profondeurs allant de 250 à 300 m. On la rencontre particulièrement à l'est de Rouïba à de faibles profondeurs
- **Le Plaisancien** : Il est constitué de marnes qui forment l'essentiel du bourrelet sahélien et une partie du remplissage de la Mitidja, et localement de bancs de grès faiblement glauconieux. Les affleurements du plaisancien sont visibles sur le Sahel en dessous de l'Astien et dans la région de Khemis-El-Khechna où ils viennent reposer en discordance sur les formations miocènes (Rivoirard, 1952).

**3.1.3. Le secondaire** : On distingue : - Les calcaires de l'Oued Sidi El Kebir ; calcaire massif cristallin d'âge Jurassique. - Les calcaires et les grès de la Chiffa d'âge Néocomien et Aptien. - Les flyschs (marnes et calcaires) d'âge Albien supérieur à Sénonien.

**3.1.4. Le socle primaire** : Il affleure principalement à Alger et au Chenoua. Il est constitué d'un socle gneissique fortement métamorphique (gneiss ocellé, gneiss fin), surmonté par une série de schistes satinés faiblement métamorphiques (séricitoschistes et chloritoschistes).

La litho stratigraphie de la plaine de la Mitidja est sommairement résumée dans la figure 14.



SYSTEME		ETAGE	LITOLOGIE	Epaisseur (m)
<b>QUATERNAIRE</b>	Holocène	Actuel récent		20
	<b>PLEISTOCENE</b>	Flandrien/ Rharibien	Limons, Argiles limoneuses Sables consolidés à lumachelles	30
		Soltanien/ Tensiftien	Alternance de graviers et d'argiles	150
		Calabrien/ Villafranchien	Argiles et cailloutis	100
		Astien	Grès, Sables et calcaires	120
	<b>TERTIAIRE</b>	<b>PLIOCENE</b>	Plaisancien	Marnes et Argiles bleues
Vindobonien			Marnes à lentilles de calcaire	50
<b>MIOCENE</b>		Burdigalien	Marnes à lentilles de grès	?

Figure 14: Log litho stratigraphique de la plaine de la Mitidja.

#### 4.2. Aperçu structurale

La plaine de la Mitidja est une plaine quaternaire née d'une tectonique distensive qui a induit :

- Un effondrement central.
- Une subsidence active suivant un axe ENE-WSW sur un substratum morcelé par une tectonique cassante.

L'alimentation en détritique est assurée par l'érosion des reliefs de l'Atlas Blidéen (Glangeaud, 1952). Dans cet ensemble, les formations miocènes et même antérieures occupent une faible place. L'astien affleure plus au Nord dans le Sahel en structure anticlinale. Son flanc Sud disparaît sous la plaine de la Mitidja pour réapparaître en reliefs isolés sur les piémonts de l'Atlas. Selon L. Glangeaud (1932, 1935) et G. Mutin (1977), la plaine de la Mitidja se trouve en contact structural avec l'Atlas, notamment avec:

- Des flexures et cassures locales à l'ouest d'El Affroun ;
- Des failles à l'Est de l'oued El-Harrach.

Toutefois, en plusieurs endroits, le suivi de ce contact ne peut être confirmé en raison de la présence de nombreux et épais cônes de déjection qui le masquent.

### 4.3. Aperçu paléogéographique

La Mitidja constituait une zone d'effondrement dont l'évolution remonte à l'Eocène, tandis que son individualisation en unité structurale s'esquisse dès la fin de l'Astien. Selon Glangeaud, l'évolution du Sahel et de la Mitidja (Fig.15 et Tab.8) est liée à la combinaison de trois facteurs : un plissement, un remblaiement et un déblaiement.

L'histoire géologique du bassin de la Mitidja a fait l'objet de plusieurs interprétations. Pour de nombreux auteurs (Général De Lamothe, 1911 ; M.E-F.Gautier, 1922 ; Glangeaud, 1932 ; Dalloni, 1953), il s'agit d'un bassin à valeur synclinale individualisé dès le Miocène inférieur où une sédimentation essentiellement marneuse se poursuit jusqu'au Plaisancien. A l'Astien, les mouvements de surrection de l'Atlas entraînent une phase active de l'érosion accompagnée de dépôts calcaro-gréseux. La transgression sicilienne a débuté par une intense érosion provoquant la diminution de l'épaisseur de la formation astienne et la disparition des argiles villafranchiennes dans la partie orientale du bassin. Au Tyrrhénien, les mouvements de surrection s'accroissent et d'importants matériaux fluviaux et torrentiels viennent recouvrir le Villafranchien argileux (formation d'ElHarrach). Ces dépôts correspondent à la formation dite : «*Alluvions de la Mitidja*». Au Pléistocène, les oscillations du niveau de la mer se traduisent par un abaissement jusqu'à 60m du niveau marin actuel.

Les oueds creusent alors leurs lits et le Sahel est dégagé de ses alluvions. La morphologie actuelle du bassin correspond à l'aire d'extension du cycle tyrrhénien et du cycle flandrien. Durant le Flandrien (Rharbien) des sédiments fins se déposent dans les lits des oueds et le bassin acquiert son aspect actuel avec des cônes de déjection adossés à l'Atlas et aux régions basses marécageuses occupées par des limons et des argiles, notamment à l'Ouest (Lac Halloula et le Bas-Mazafran).

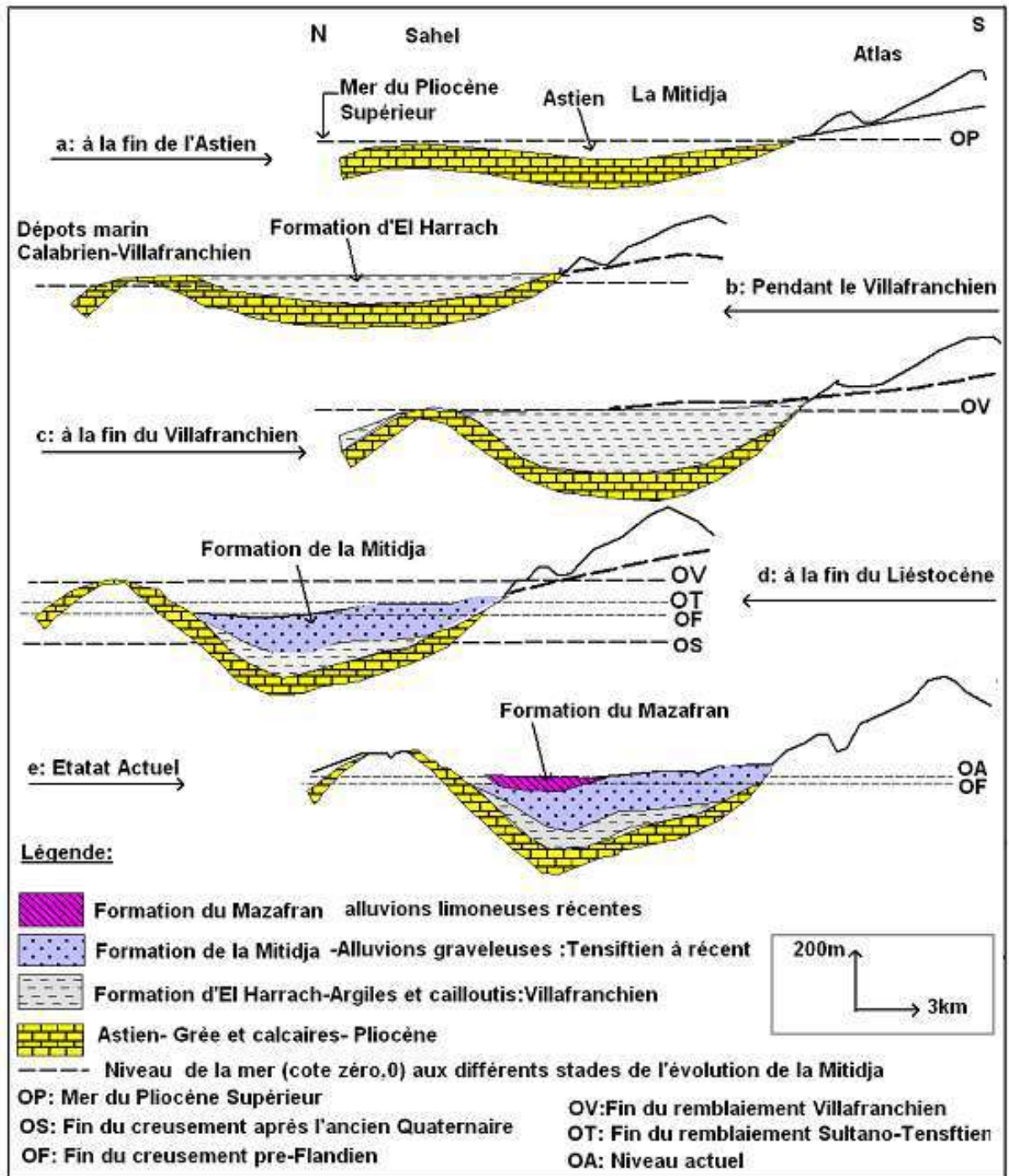


Figure 15: Coupes schématiques montrant l'histoire paléogéographique de la Mitidja.  
(L. Glangeaud 1952).

Tableau 8: récapitulation des différents stades d'évolution de la Mitidja.

Système géologique, série, âge	Niveaux de la mer	Evénements géologiques
Récent/Actuel	0 m	Dépôts de dunes sableuses et de sédiments marins autour de la baie d'Alger. Creusement des oueds et des lits actuels.
Rharbien	- 5 m	Remblaiement du bassin par des graviers fluviaux et avancement des cônes de déjection dans le piémont de l'Atlas. Evaluation du niveau marin insuffisamment rapide pour donner lieu à une transgression marine. La baisse du niveau marin provoque l'érosion et l'enlèvement de quelques 30 m de gravier ; les oueds Mazafran et El Harrach adopte leur tracé actuel.
Soltanien	- 10 à - 15 m ( ? ) - 20 m	Drainage médiocre, remblaiement des cluses par des fins sédiments, formation de marécages et dépôts de limons et d'argiles dans les lacs peu profonds
-Tensiftien	- 30 à - 35 m - 60 m ( ? )	Rajeunissement de l'Atlas entraînant Une sédimentation rapide et le remblaiement du bassin par colluvions et des alluvions caillouteuses d'origine continentale. Erosion des graviers et affouillement de la cluse de Mazafran.
<b>Quaternaire :</b> -Pléistocène-Villafranchien  -Arminien et Sallinien	- 100 m - 150 m ( ? )  Fluctuations du niveau marin mais baisse progressive jusqu'à - 50 m A la fin de cette période.	-Développement du bassin isolé de la mer par l'anticlinal du Sahel. -Dépôts d'épaisses couches d'argiles et de limons avec des couches minces de graviers en milieu fluvio-lacustre. -Période d'érosion intense et continue avec enlèvement jusqu'à 300 m de sédiment du Villafranchien. -Mise à nu de l'anticlinal du Sahel et creusement de cluses dans celui-ci, l'oued El Harrach devient un affluent de l'oued Mazafran. -Exposition et érosion des matériaux de l'Astien à l'Est.
-Astien -Plaisancien -Pliocène	Baisse du niveau marin ( ? ) Evolution du niveau marin ( ? )	-Dépôts de couches épaisses de marnes en mer profonde sur la surface d'érosion antérieure au miocène. -Dépôts de grès et de calcaires en mer peu profonde. -Léger plissement continu des sédiments.
<b>Tertiaire :</b> Miocène et Miocène supérieur	Baisse importante du niveau marin	Isolement de la Mitidja en tant qu'une unité structurale à la fin de la phase principale de l'orogénèse alpine, qui a amorcé un affaissement; apparition de roches volcaniques en bordure du bassin.

#### 4.4. Tectonique

La plaine de la Mitidja se présente comme un vaste synclinorium limité par deux flexures au Nord et au Sud plus ou moins visibles. La bordure septentrionale essentiellement constituée par l'Astien à pendage faible (10° Sud) mais tectonisé localement ce qui permet l'affleurement des marnes bleues plus anciennes (Sidi Rached). La bordure méridionale se caractérise par des affleurements isolés de l'Astien sous forme de petits lambeaux entre El Affroun et Hadjout. Les formations anté-astiennes constituent quant à elles l'essentiel des formations de bordure de la plaine. L'évolution du bassin de la Mitidja a été contrôlée par l'affaissement continu du socle rigide.

L'activité tectonique de la zone d'étude est le résultat des mouvements de convergence entre les plaques ; Africaine et Eurasienne (Mackenzie, 1977). Le résultat s'est traduit par des plissements, des failles qui affectent les niveaux du Miocène post-nappes, du Pliocène et du Quaternaire. Ces déformations continuent jusqu'à l'heure actuelle et se traduisent par l'activité sismique de la région (Boudiaf, 1996).

Les études effectuées dans le bassin montrent que la tectonique active se manifeste le long de ses bordures Nord et Sud par de nombreuses failles et plis failles à jeu inverse de direction NE-SW (pli faille du Sahel), recoupés par des accidents conjugués de direction NW-SE.

La région sud-algéroise est marquée par le chapelet de failles qui bordent la zone de contact entre le bassin de la Mitidja et le massif de Blida. Cette bordure montre des indices de déformations tectoniques affectant les niveaux plio-quaternaires. Ces déformations correspondent à des décrochements dextres ou à des chevauchements vers le nord, des niveaux créacés sur les niveaux plus récents du Miocène et du Plio- Quaternaire. Les failles actives de cette région sont observées dans la région de Ménaceur et au sud de la Mitidja (failles F3 et F4). Elles sont associées à la sismicité historique importante de cette région (séismes de 1716 et de 1825). La bordure sud de la Mitidja constitue ainsi l'une des principales sources sismogènes de la région d'Alger.

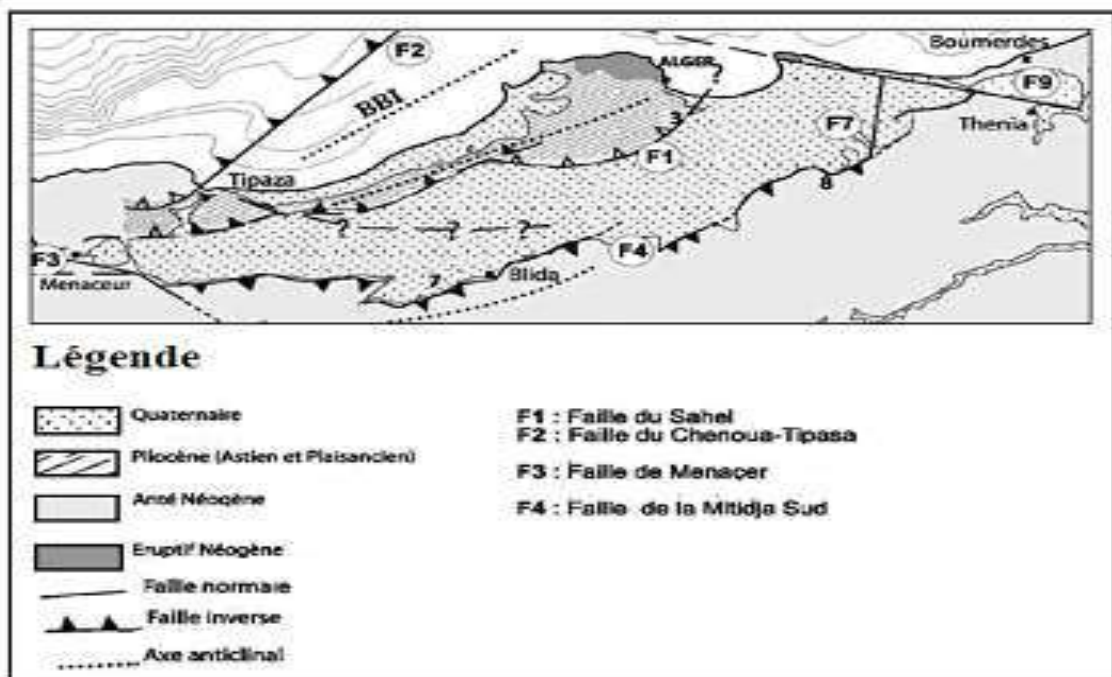


Figure 16: Activité sismo-tectonique de la Mitidja

## 5. Etude hydrogéologique

### 5.1. Présentation de l'aquifère de Mitidja

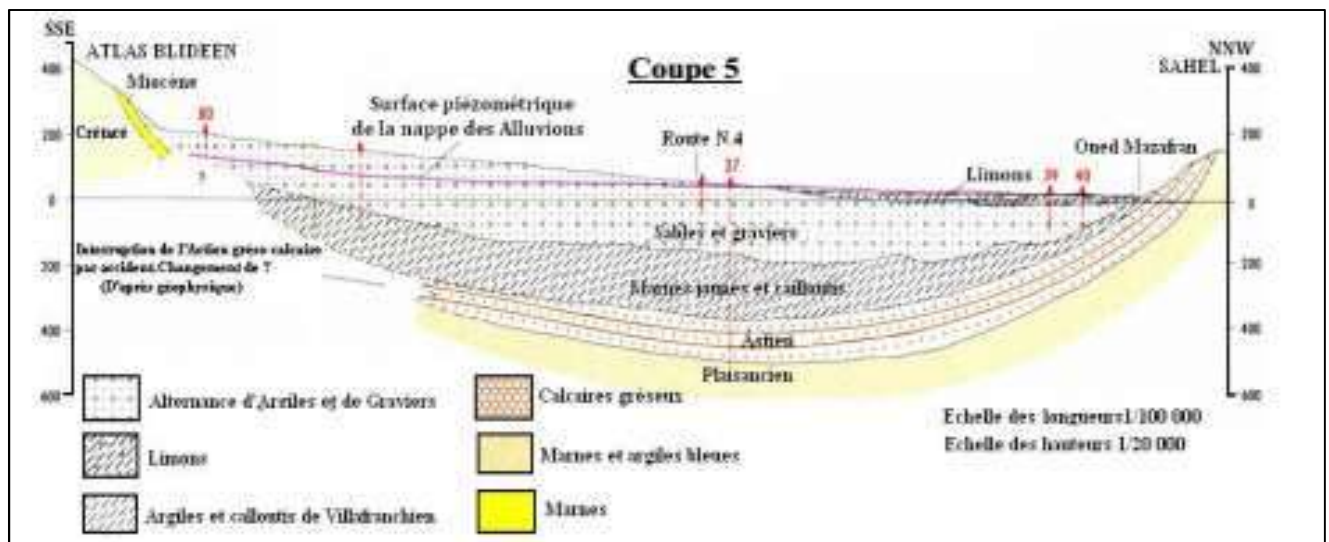
Le système aquifère de la plaine de la Mitidja est encaissé dans un bassin de subsidence, d'âge Plio-Quaternaire, et dont la structure lithologique est très variée. Cette structure est caractérisée par une superposition de bas en haut (Fig.17) :

- Une série marneuse formant le substratum qui peut être considéré comme imperméable.
- Un ensemble calcaire-sablo-gréseux correspondant à l'Astien.
- Un ensemble argileux contenant par endroit de sables et de graviers correspondant à la formation dite « formation d'El Harrach ».
- Un ensemble gravelo-sableux dit « Alluvions de la Mitidja ».

Deux types de nappes peuvent être distingués selon la nature des roches magasins, et selon la nature du toit et du mur qui les limitent.

- L'aquifère des alluvions du quaternaire (Soltano-Tensiftien).
- L'aquifère contenu dans les calcaires et grès de l'Astien, qui repose sur les marnes du Plaisancien formant la limite étanche de presque tout le bassin.

Ces deux aquifères sont séparés par la formation semi perméable du villafranchien, appelée marne d'El Harrach.



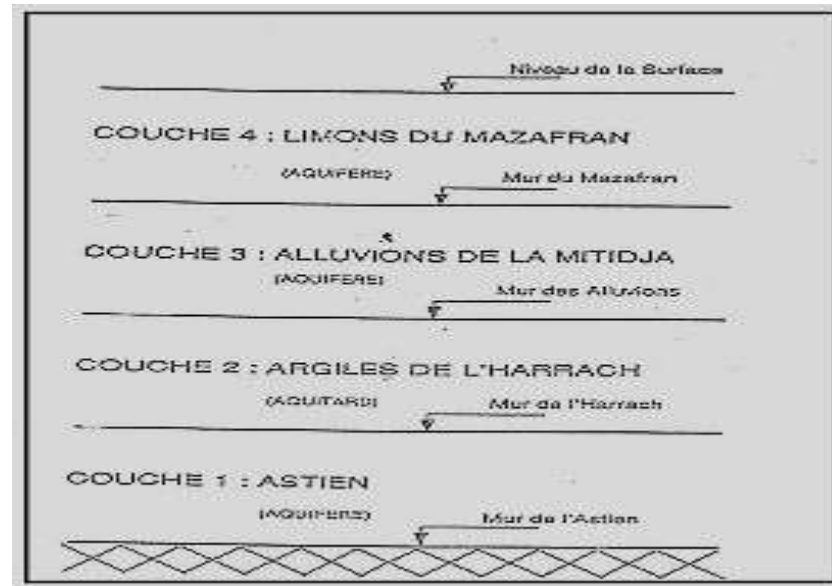
*Figure 17: Coupe interprétative transversale de la Mitidja dans le bassin de Mazafran (Achie 1971).*

### 5.2. Géométrie des systèmes aquifères

Dans la plaine de la Mitidja Est on distingue deux réservoirs aquifères :

- Les alluvions du quaternaire (formation de la Mitidja)
- Les formations gréseuses ou grésocalcaire de l'Astien





**Figure 18: Schéma du système aquifère (M. Mac Donald & Partners, Février 1992)**

- L'aquifère Astien s'étend sous la majeure partie du bassin alluvial et affleure principalement dans le Sahel. Il est situé entre un substratum marneux Plaisancien et la couverture épaisse de marnes jaunes d'El Harrach, à l'exception de la partie orientale de la plaine où il est en contact direct avec l'aquifère alluvial.
- L'aquifère alluvial qui nous intéresse ici s'étend sur toute la superficie du bassin, sauf dans les secteurs occidentaux au-delà de Ameer El Aïn. Dans certaines zones localisées en bordure du bassin, il est essentiellement constitué par la superposition des alluvions du Quaternaire moyen et les alluvions récents parfois très argileux. Son substratum est constitué par les formations marneuses d'El Harrach, à l'exception de la partie orientale où c'est l'Astien qui forme cette limite inférieure.

Localement, au niveau de la baie d'Alger, la formation des marnes d'El Harrach a été érodée. Les deux aquifères composent ainsi une seule nappe "Quaternaire-Astien". Sur de la baie d'Alger, cet aquifère unique formé par les grès de l'Astien et les alluvions de la Mitidja atteint une grande épaisseur ; dans cette zone, le mur de l'aquifère correspond au toit du substratum marneux du Plaisancien, situé à environ 180 mètres de profondeur. Globalement l'aquifère est en équilibre de pression hydrostatique avec la mer. Les directions naturelles d'écoulement des eaux souterraines vont globalement du sud vers le nord, du continent vers la mer. Cependant, l'exploitation intensive de la ressource au nord de la baie d'Alger là où se retrouve des champs captant, des forages d'irrigation et des forages d'industrie qui ont pour conséquence de rabattre la nappe, de modifier les directions d'écoulement des eaux souterraines et l'appel inévitable de l'intrusion marine.



Dans les années 1980 (Mania, 1985), on note la présence de dômes piézométriques au droit des dunes côtières (Fig.19), semblant indiquées une zone préférentielle d'alimentation au niveau de ce secteur. Ces « dômes piézométriques » pouvaient alors, à l'époque, jouer le rôle de « barrière hydraulique » définie comme une zone d'apport hydraulique.

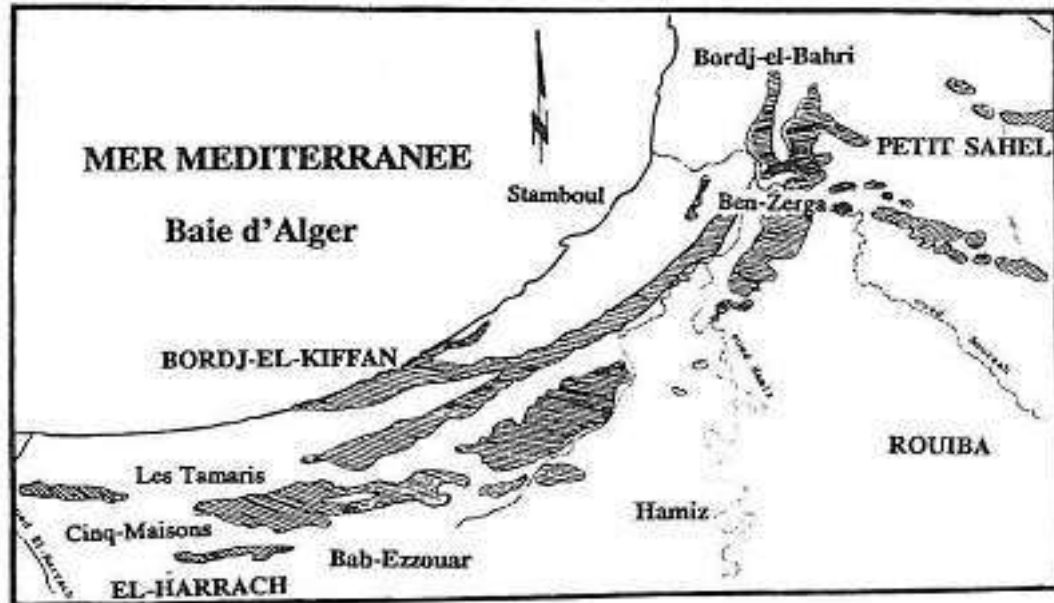


Figure 19: Localisation des dunes côtières (Ayme ,1962)

### 5.3. Caractéristiques hydrodynamique local de la baie d'Alger

**5.3.1. La transmissivité (T) et Coefficient d'emmagasinement :** Les transmissivités élaborées par Binnie et Atkins en 1983 (Fig.20), fournissent des valeurs cohérentes avec la composition de l'aquifère. Les terrains sont relativement perméables de l'ordre de  $10^{-4}$  m/s au niveau du champ captant du Hamiz et un coefficient d'emmagasinement de l'ordre de 3 à 10 % dans le bassin El Harrach- Hamiz, caractérisant ainsi une nappe libre. Les transmissivités les plus importantes se retrouvent au niveau du champ captant du Hamizet celui de Rouiba et sont de l'ordre de 2000 à 3000 m<sup>2</sup>/jour, soit environ  $2.10^{-2}$  à  $3.10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s. Les faibles transmissivités s'observent dans les piémonts de l'Atlas où les valeurs varient de  $5.10^{-3}$  à  $10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s.

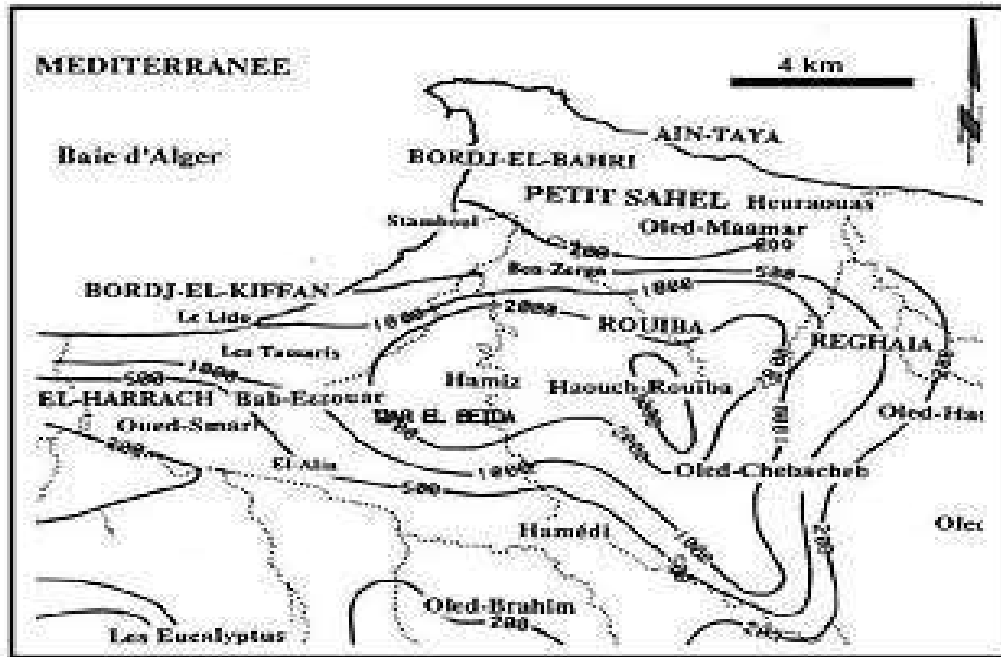


Figure 20: Carte des iso-valeurs des transmissivités de la Baie d'Alger ( $m^2/jour$ ), (Binnie et Atkins, 1983).

b. **Perméabilité** : La carte de la perméabilité (Fig.21) montre les terrains sont relativement perméables de l'ordre de  $10^{-4}$  m/s au niveau du champ captant du Hamiz et dans le bassin El Harrach-Hamiz (J. Mania 1985), caractéristiques d'une nappe libre. Ces zones correspondent aux matériaux grossiers relativement résistants déposés par les grands oueds.

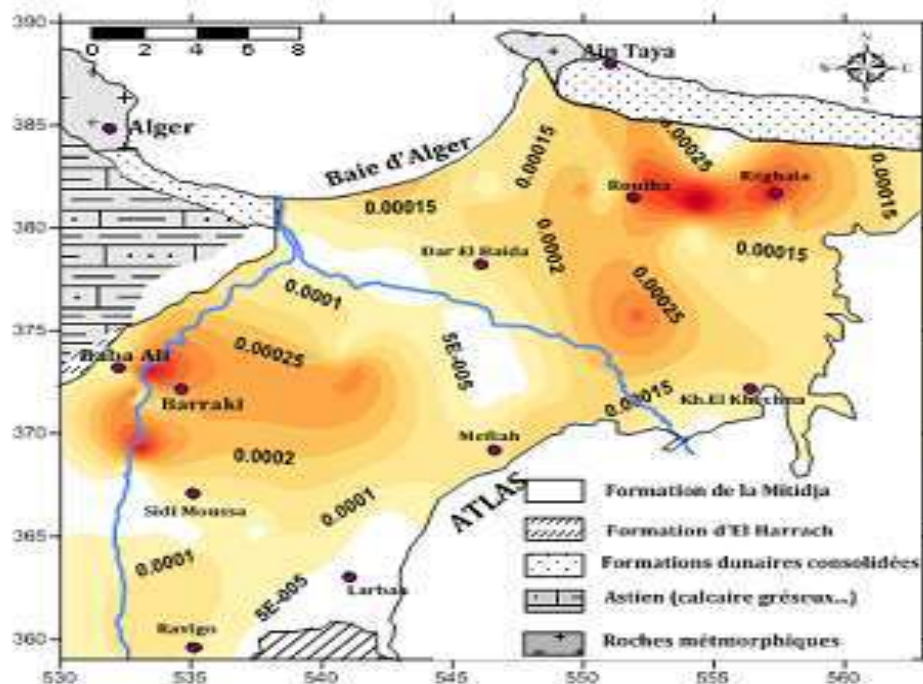
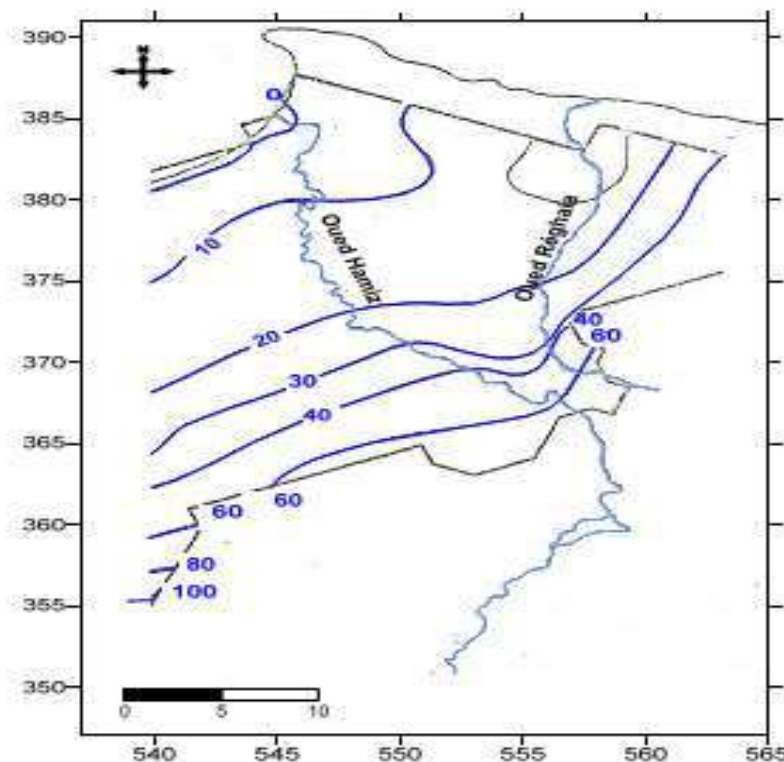


Figure 21: Carte des perméabilités de la nappe alluviale de la Mitidja Est.

#### 5.4. La piézométrie

La piézométrie initiale de l'aquifère de la Mitidja est basée sur une reconnaissance effectuée par Géohydraulique en septembre 1970, comme le montre la figure 22. Cette piézométrie a été considérée comme la meilleure approximation disponible du régime permanent puisqu'elle représente les valeurs observées à la fin de la saison sèche et avant l'accroissement des prélèvements pour l'AEP effectués à partir des nouveaux champs de captage établis au cours des années 1970. Le sens d'écoulement des eaux est de sud vers le nord, la nappe se décharge directement dans la mer.



*Figure 22 : Piézométrie de l'aquifère de la Mitidja, juin 1968 (Géohydraulique, Sep1970).*

En 2011 la configuration de la surface piézométrique (Fig.23) a complètement changée. Le niveau piézométrique est à plusieurs mètres sous le niveau de la mer impliquant un déséquilibre hydrodynamique responsable du phénomène d'intrusion marine.

- On remarque l'existence d'un dôme piézométrique au niveau de la Rassauta, lié à la présence de cordons dunaires. Le gradient hydraulique est d'une façon générale inférieur à 0,1% sauf à l'aplomb des dénivellations dunaires où il atteint 5%.
- La dépression du champ de captage du Hamiz, est bien tracée par la courbe en isovaleur - 11 m faisant un appel non évitable à l'intrusion saline.

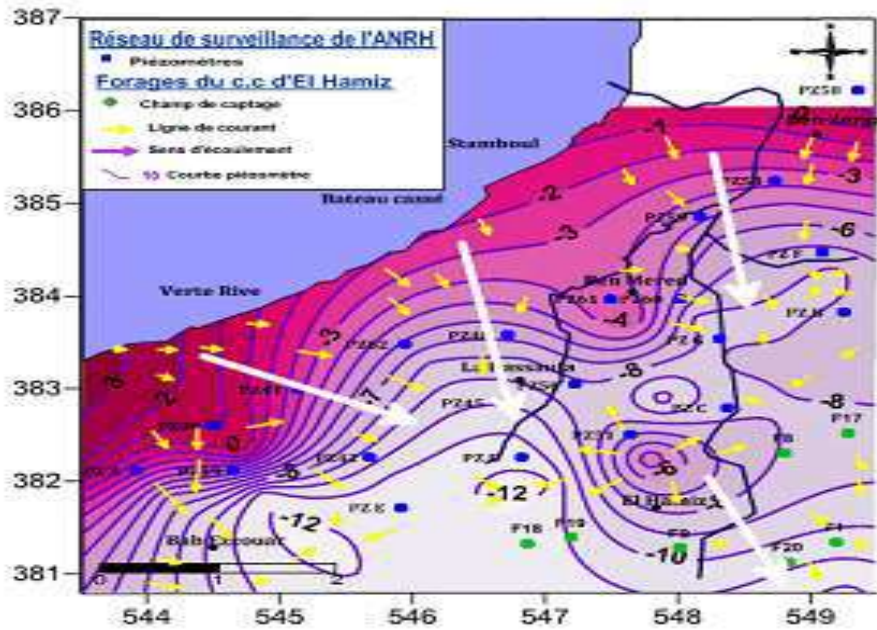


Figure 23: Carte piézométrique de la Baie d'Alger Avril (2011).

La nappe alluviale de la Mitidja est alimentée par :

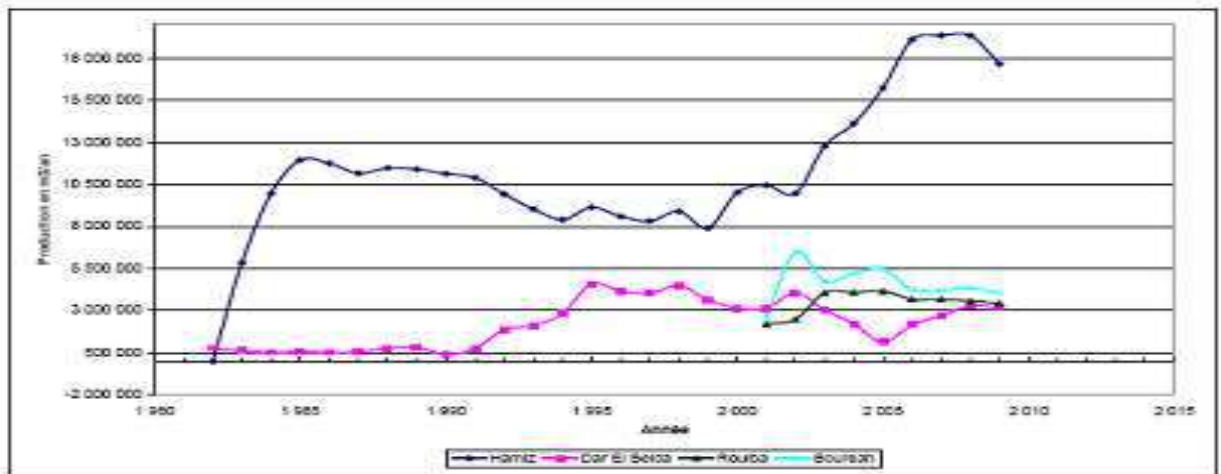
- Infiltration des précipitations sur la plaine,
- Infiltration à partir des cours d'eau et du ruissellement sur les piémonts de l'Atlas,
- Écoulement souterrain de l'Atlas,
- Fuites des réseaux de distribution en eau,
- Infiltrations des eaux d'irrigation excédentaires.

Les exhaures sont assurées par :

- Pompage dans les points et forages de la plaine
- Drainage des Oueds dans leur cours aval,
- Fuites souterraines vers la mer,
- Écoulement vers les limons de la formation du Mazafran par drainance.

### 5.5. La production en AEP des champs de captage de la Mitidja Est

La production moyenne annuelle des forages d'eau des champs de captage a été fournie par les données de la SEAAL (Fig.24).



*Figure 24: La production des champs de captage de la Mitidja Est.*

On constate qu'entre la mise en exploitation (1983) et la fin des années 1990, la production du champ captant du Hamiz a été relativement stable, autour de 10 Mm<sup>3</sup>/an. Par contre, depuis 2000, la production aurait presque doublé pour atteindre 19 Mm<sup>3</sup>/an en 2007. Mais à partir de 2009, elle semble baisser. La production du champ captant de Dar El Beida a fortement augmenté dans les années 1990 et est restée stable jusqu'à la mise en exploitation des champs captant de Rouiba et Bouréah. Une chute de production est à noter en 2005. Concernant les champs captant de Bouréah et de Rouiba, depuis leur mise en exploitation en 2001, la production est relativement stable et s'établit respectivement pour Bouréah et pour Rouiba autour de 4,5 Mm<sup>3</sup>/an et 3,5 Mm<sup>3</sup>/an avec un pic de production à 6,5 Mm<sup>3</sup>/an en 2002 sur le champ captant de Bouréah.

## 6. Conclusion

La plaine de la Mitidja couvre une superficie de 1 450 km<sup>2</sup>. Cette plaine qui est située dans l'arrière-pays d'Alger. De l'ouest en est, la plaine traverse successivement les wilayas de Tipaza, de Blida, d'Alger, de Boumerdès et l'extrême nord-est de Médéa.

La région d'étude présentée par la Mitidja orientale, fait partie du bassin versant de la Mitidja codé (02) par l'Agence Nationale des Ressources Hydriques. La Mitidja Est, est Limitée par le Sahel au Nord l'Atlas Blidéen au Sud, Oued Reghaia à l'Est et El Harrach à l'Ouest.

Le climat de la Mitidja est de type méditerranéen subhumide à deux saisons distinctes: une saison humide débutant au mois d'octobre qui se termine au mois de mai, et une saison sèche qui s'étale du mois de juin jusqu'au mois de septembre.

Le système aquifère de la plaine de la Mitidja est constitué de deux aquifères ce sont l'aquifère Astien et l'aquifère alluvial, dans la partie orientale de la plaine ses deux aquifères sont en contact.

La piézométrie initiale de l'aquifère de la Mitidja est basée sur une reconnaissance effectuée par Géohydraulique en septembre 1970, montre que l'écoulement des eaux se fait de sud vers le nord, la nappe se décharge directement dans la mer.

En 2011 la configuration de la surface piézométrique a complètement changée. Le niveau piézométrique est à plusieurs mètres sous le niveau de la mer, impliquant un déséquilibre hydrodynamique responsable du phénomène d'intrusion marine.

*Partie II*

*Méthodologie*



## 1. Mécanismes de l'intrusion marine

Il est évident que les systèmes aquifères littoraux se déversent vers la mer comme il est connu dans le cycle de l'eau. Le niveau piézométrique de ces nappes d'eau douce se retrouve au-dessus de celui de la mer et le lieu de rencontre de ces deux liquides est défini par une zone limite au niveau de laquelle se produit un équilibre hydrostatique. Toute exploitation intensive des nappes côtières déprime la surface piézométrique à des côtes inférieures au niveau de la mer et rompt la zone limite eau douce-eau salée en provoquant ainsi le phénomène d'invasion marine vers les régions côtières tributaires des eaux souterraines pour leur approvisionnement en eau et qui a pour effet la dégradation de la qualité des eaux.

En effet, l'eau salée plus dense ( $\rho_s=1025$  g/l) que l'eau douce ( $\rho_f=1000$  g/l) a tendance à « se glisser » sous celle-ci formant ainsi un « biseau salé ». En raison du contraste de densité, le niveau de l'eau douce (niveau piézométrique) doit être supérieur au niveau de la mer pour maintenir l'eau salée en profondeur et l'empêcher de remonter.

Pour un aquifère alluvial comme celui qui nous préoccupe ici, la loi de **Ghyben-Herzberg** définit la position du contact entre les deux milieux à l'équilibre par l'équation suivante :

$$\rho_f \cdot (h_2 + h_1) = \rho_s \cdot h_2$$

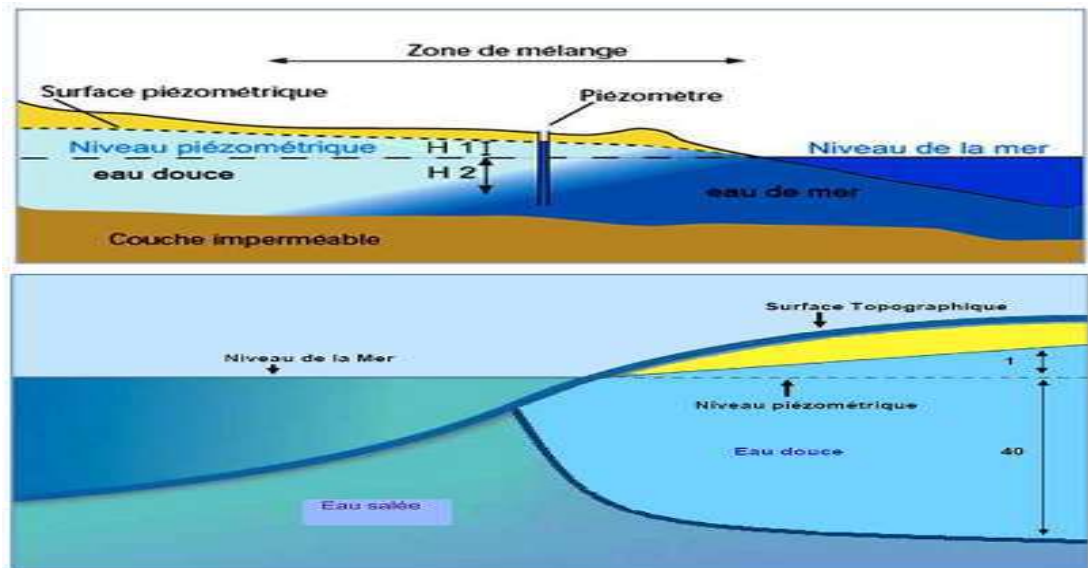
Soit approximativement  $h_2 = 40 \cdot h_1$ , avec :

$h_2$ : la profondeur de l'interface,

$h_1$ : la charge hydraulique (ou niveau piézométrique) par rapport au niveau de base,

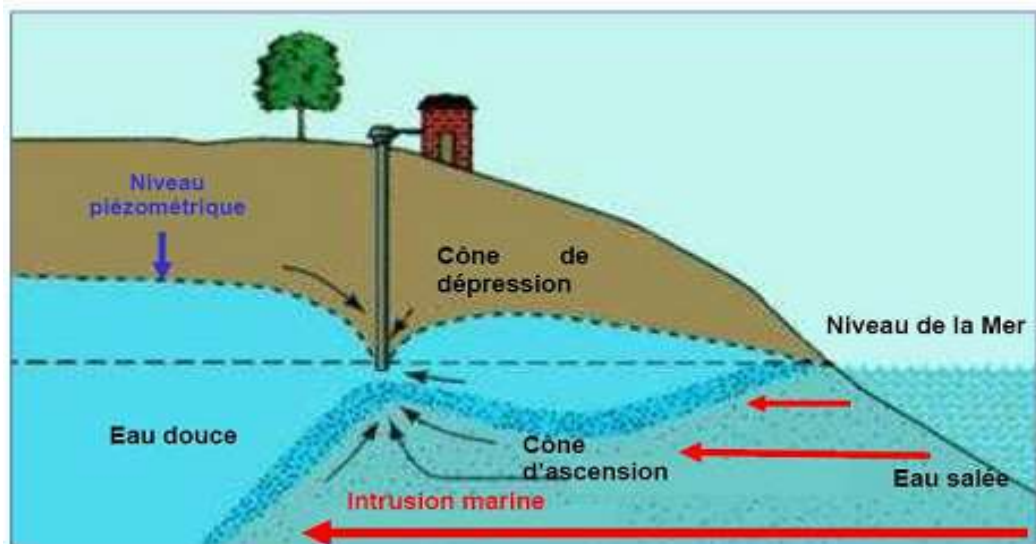
$\rho_f$ : densité de l'eau douce,

$\rho_s$  : densité de l'eau de mer.



*Fig.25 : Coupes schématiques d'un aquifère côtier en équilibre hydrostatique.*

Cet équilibre hydrostatique peut être modifié dans le temps. Une baisse de niveau piézométrique entraîne en effet une intrusion d'eau de mer dans l'aquifère et une salinisation difficilement réversible.



*Fig.26 : Impact d'un pompage sur l'interface eau douce/eau salée selon le principe de Ghyben-Herzberg.*

## 1.2. Cause de l'intrusion marine

On peut distinguer deux facteurs principaux ayant pu causer une intrusion marine :

- Un facteur naturel : une insuffisance d'Apports ou un fort déficit pluviométrique peut provoquer une baisse généralisée du niveau piézométrique et une avancée de l'intrusion marine.
- Un facteur anthropique : l'excès d'Exores par rapport à l'Apports est une des raisons les plus communes de l'apparition de ce phénomène qui explique la surexploitation des aquifères côtiers, exacerbée par la population toujours croissante de ces zones.

## 1.3. Facteurs déterminants dans l'évolution de l'intrusion marine

La forme et l'épaisseur de cette interface ainsi que de son étalement vers les terres, dépendent de plusieurs facteurs dont :

- a. Profondeur de la nappe : Les nappes d'eaux souterraines dans les zones côtières circulent à des profondeurs généralement faibles, Ce qui fait de ces secteurs, des zones considérées à priori comme les plus vulnérables au phénomène de l'intrusion marine.
- b. Débit de la nappe : Toute surexploitation de la nappe côtière entraîne un déséquilibre hydrodynamique de l'interface «eau douce-eau salée marine». Cela se traduit par une diminution des débits souterrains et un abaissement du niveau de la nappe. Celui-ci va devenir inférieur à celui de la mer, ce qui va provoquer un écoulement des eaux marines vers l'aquifère côtier.
- c. Perméabilité : Dans les terrains à perméabilité d'interstice tels que les sables et les argiles, la pollution ne se transmet qu'à une très faible vitesse. Dans les terrains à perméabilité de fissures (terrains cristallins et carbonatés), la vitesse de propagation des solutés est relativement plus rapide.
- d. Géométrie de l'aquifère et topographie du substratum : L'étalement du biseau salé à l'intérieur de la plaine côtière est régi par la topographie du substratum. En règle générale, plus ce dernier est incliné vers la mer, plus il y aurait une avancée rapide des eaux de mer vers l'aquifère côtier.

## 2. Méthodes d'étude de l'intrusion marine

La délimitation de l'interface eau douce-eau salée est très compliquée à déterminer, ce qui rend la lutte contre ce problème délicat, difficile et Nécessite une approche pluridisciplinaire. Plusieurs auteurs ont étudié le phénomène pour localiser la position de l'interface « eau douce - eau salée » par différentes méthodes tels que :

- La géophysique: (le changement des valeurs de résistivité) peut indiquer une intrusion marine.
- La Piézométrie: Le contrôle du sens de l'écoulement nous renseigne sur le sens de déplacement de l'eau;
- La chimie des eaux, l'étude de la répartition dans l'espace, et l'évolution dans le temps des concentrations en ions majeurs constitue un atout important pour la mise en évidence du biseau salé.

### 2.1. Etude géophysique du phénomène de l'intrusion marine dans la Mitidja Est

La géophysique est un outil complémentaire indispensable à une étude hydrogéologique, elle complète les données d'un forage quand la zone d'étude est vaste et complexe. Les irrégularités sont généralement détectées de même que pour la puissance, l'allure et la structure de la formation étudiée.

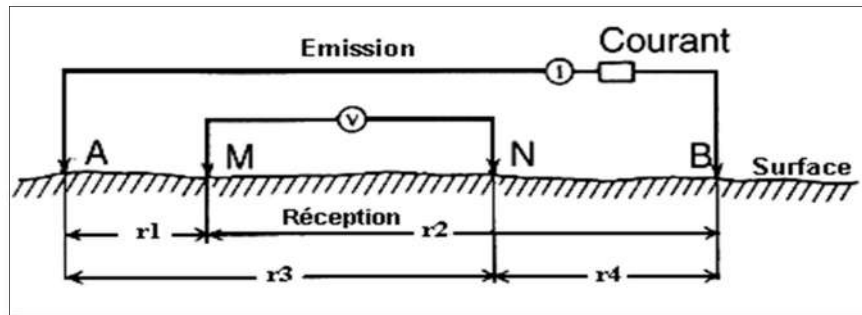
#### 2.1.1 Méthodes de prospection électrique

Afin de cartographier l'avancé de l'intrusion des eaux de mer dans l'aquifère cotier de la Mitidja Est on a fait appel a une méthode géophysique qui est le sondage électrique vertical, La mesure de la résistivité électrique s'effectue généralement à l'aide du quadripôle de Schlumberger (Fig.27), .son principe consiste à envoyer à partir de la surface un courant électrique d'intensité I, crée par un générateur (piles accumulateur) à l'aide de deux électrodes A et B. les électrodes de réception M et N permettent de mesurer la différence de potentiel  $\Delta V$  provoquée par le passage courant (Fig.28). On obtient la résistivité apparente grâce à la formule suivante :

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I}$$

Où :  $K$  = est coefficient qui ne dépend que de la géométrie du dispositif, pour le dispositif de Schlumberger ( $K = \pi AM.AN / MN$  pour un quadripôle symétrique).

$\Delta V$  et  $I$  sont mesurés respectivement à l'aide d'un voltmètre et d'un ampèremètre. La profondeur d'investigation d'un tel dispositif est fonction de l'écartement des électrodes d'émission A et B, ainsi que des épaisseurs et des résistivités des formations sont approximativement et empiriquement de l'ordre de  $(1/4 \text{ à } 1/10) \cdot AB$ .



**Figure 27: Le dispositif quadripôle de Schlumberger**



**Figure 28: Les matériels de sondages électriques.**

Lorsque les filets de courant circulent entièrement dans un même niveau homogène, la résistivité mesurée correspond à la résistivité vraie de terrain, c'est le cas notamment des mesures test ou paramétriques effectuées sur des formations sub-affleurantes, d'épaisseurs et d'extensions suffisamment importantes par rapport à l'écartement de la ligne d'émission (AB). Généralement les filets de courant traversent plusieurs horizons différents, dans ce cas, la résistivité est fonction des résistivités de différentes couches et de leurs épaisseurs. Les résistivités mesurées sont dites résistivités apparentes, grâce à ces valeurs que nous essayons de déterminer les résistivités vraies  $\rho_i$  et les épaisseurs  $h_i$  caractérisant chaque niveau.

La présence d'une structure dans le sol se manifeste par une anomalie de la résistivité apparente  $\rho_a$  dépendant de nombreux paramètres (dimension et profondeur de la structure, dimensions du dispositif, contraste électrique entre la structure et le milieu environnement. Afin de déduire des informations concernant les causes des anomalies observées sur le terrain, il est nécessaire de connaître la relation qui existe entre une structure et son anomalie. Pour cela deux techniques sont employées, le traîné et le sondage électrique vertical, en effet ces deux méthodes sont complémentaires.

Si le sous-sol est homogène et isotrope, avec un dispositif de ce type on obtiendra la résistivité vraie, Si par contre, le sous-sol est hétérogène, on mesurera la résistivité apparente, qui est fonction de la nature du sous-sol et de la dimension du dispositif utilisé (le Schlumberger: La distance MN est petite par rapport à AB. En général  $MN < AB/5$ ).

#### **a. Le traîné électrique.**

Dans la technique du traîné le dispositif AMNB est déplacé à travers champs. Selon des profils plus au moins parallèles, tout en gardant constant l'espacement AB. La mesure ainsi obtenue correspond au centre. Les horizons géologiques explorés par cette méthode correspondent à une profondeur à peu près constante. Les résultats de résistivité apparente sont reportés sur des cartes et permettent de déduire les niveaux de même résistivité électrique et de délimiter leurs extensions. Ces cartes constituent un document qui complète l'interprétation géologique et permettent de faire un choix sur les emplacements éventuels de sondages électriques.

#### **b. Le sondage électrique vertical.**

Dans la méthode du sondage électrique on recueille des informations géologiques à la verticale d'un point donné, en poussant l'investigation toujours plus profondément. Pour cela, on effectue une série de mesures en agrandissement à chaque fois la longueur de la ligne d'émission AB, tout en gardant fixe le centre du dispositif.

En reportant, sur un graphe bi-logarithmique, les valeurs des résistivités apparentes mesurées en fonction de la longueur de ligne AB ; on obtient une courbe du sondage électrique dont l'interprétation va servir à déterminer graphiquement les résistivités  $\rho_i$  et les épaisseurs  $h_i$  des différents niveaux lithologiques.

### 2.1.2. Etalonnage du sondage électrique

Pour l'établissement d'une échelle des résistivités qui sera utilisée lors de l'interprétation des sondages électriques et en raison de la particularité géologique et hydro chimique (présence d'eau salée) dans les secteurs étudiés, nous nous sommes basés sur les sondages étalons réalisés à proximité des forages et les données des travaux antérieurs réalisés dans la région d'études (ENAGEO1978, TOUBAL 1992).

#### a. Etalonnage du sondage électrique A1 à l'aide de forage E7-7395 :

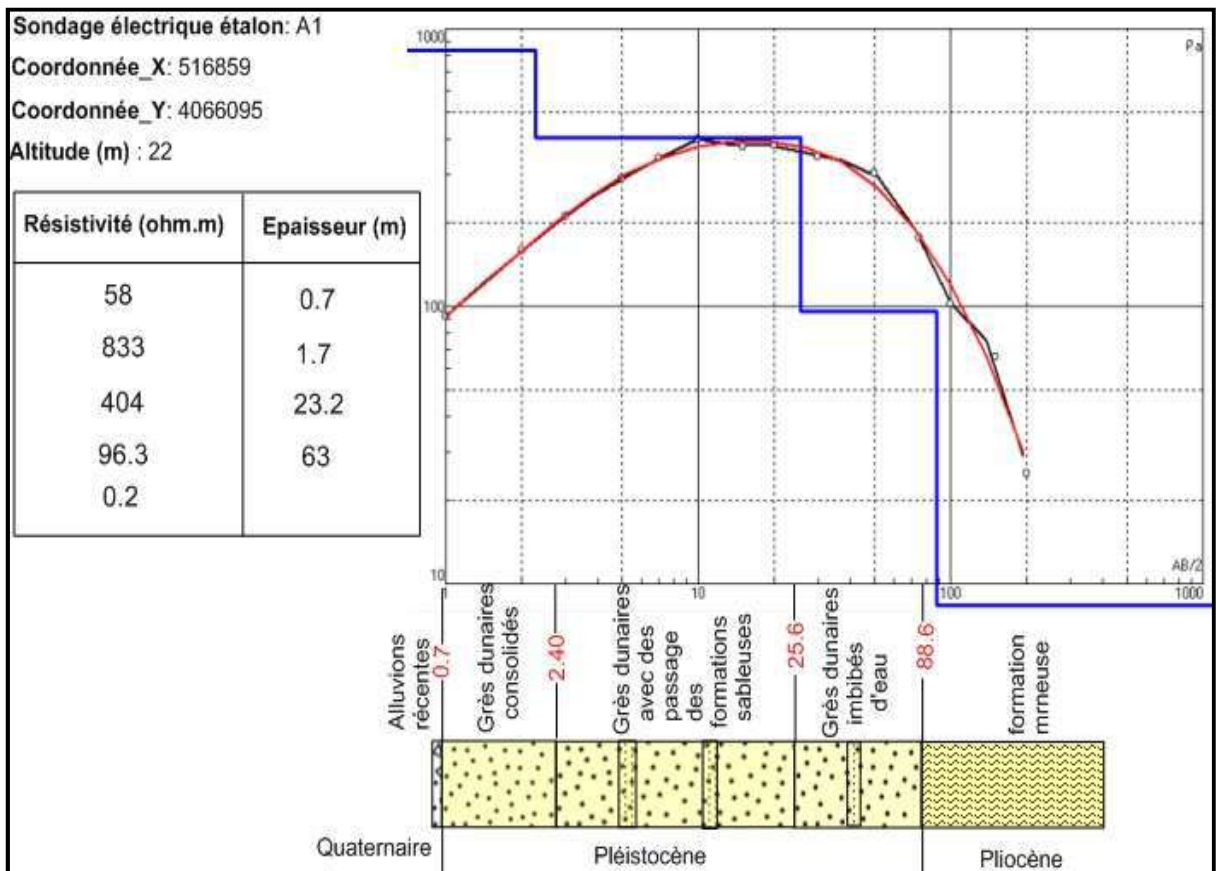


Fig.29: Etalonnage du sondage électrique A1 à l'aide de logiciel Ipi2win



Tableau9 : Description de Sondage étalon A1

Terrain	Description
1	Une formation alluvionnaire constituée d'argiles et de sables présente une résistivité de 58Ω.m et une épaisseur de 0.7m contribué au quaternaire récent
2	Terrain très résistant constitué de grès dunaires consolidés de Pléistocène d'une épaisseur de 1.7m et une résistivité de 833Ω.m
3	Terrain très résistant constitué de grès dunaires avec une intercalation de formations sableuses ou la résistivité enregistrée est de 404Ω.m avec une épaisseur de 23m représente le pléistocène
4	Terrain constitué de grès dunaires imbibés d'eau douce d'une épaisseur de 63m et une résistivité de 96.3Ω.m
5	Substratum marneux d'une résistivité de 0.2 Ω.m contribué au pliocène

## b. Etalonnage du sondage électrique A2 à l'aide de Piézomètre PZ 39 :

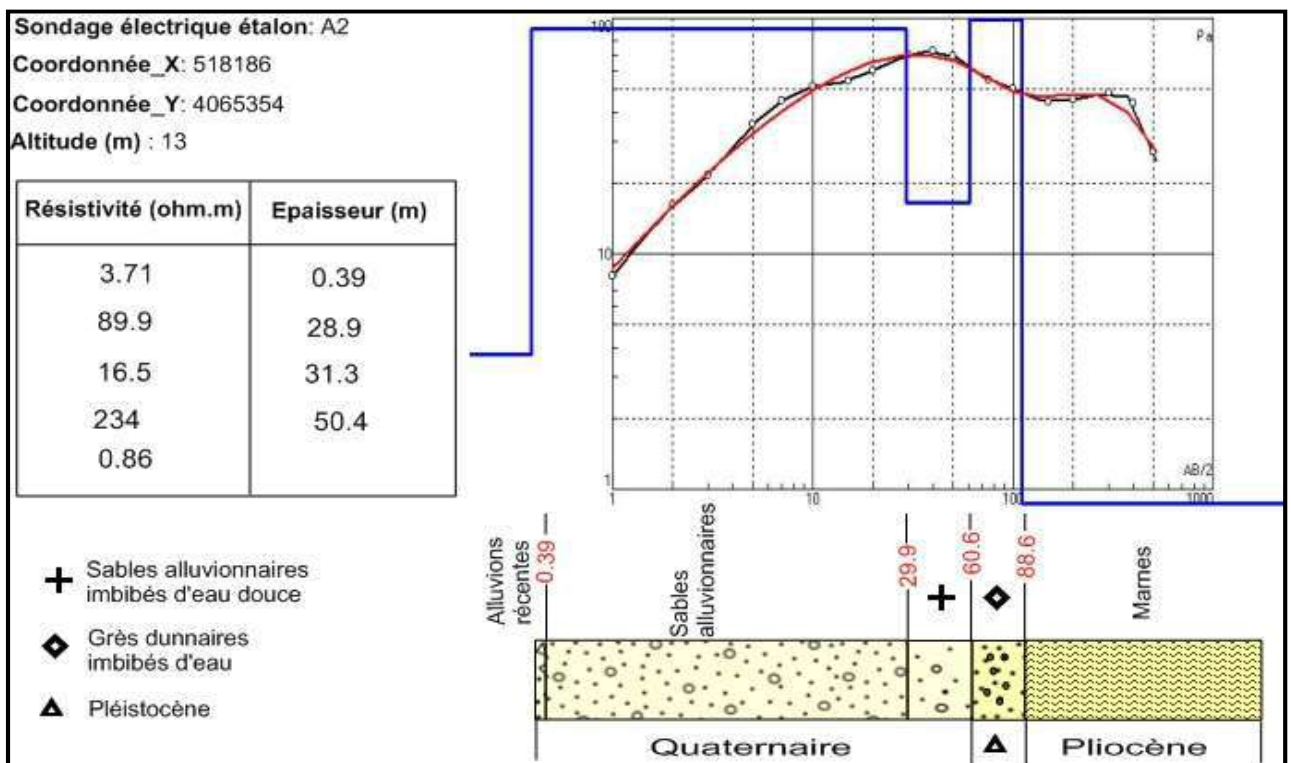


Fig.30: Etalonnage du sondage électrique A2 à l'aide de logiciel Ipi2win

Tableau 10 : Description de sondage étalon A2

Terrain	Description
1	Terrain conducteur d'une résistivité de 3.71 $\Omega$ .m et une épaisseur de 0.39m. attribué au quaternaire, constitué d'alluvions récente essentiellement argileux.
2	Terrain résistant constitué de sables alluvionnaires de quaternaire d'une épaisseur de 28.9m et une résistivité de 89.9 $\Omega$ .m
3	Terrain conducteur d'une résistivité 16.5 $\Omega$ .m avec une épaisseur de 31.3m constitué de sables alluvionnaires imbibés d'eau.
4	Terrain très résistant de Pléistocène d'une résistivité de 234 $\Omega$ .m et une épaisseur de 50.4m constitué de grès dunaires imbibés d'eau
5	Substratum marneux très conducteur de pliocène d'une résistivité de 0.86 $\Omega$ .m

## c. Etalonnage du sondage électrique B4 à l'aide de forage F2 HZ :

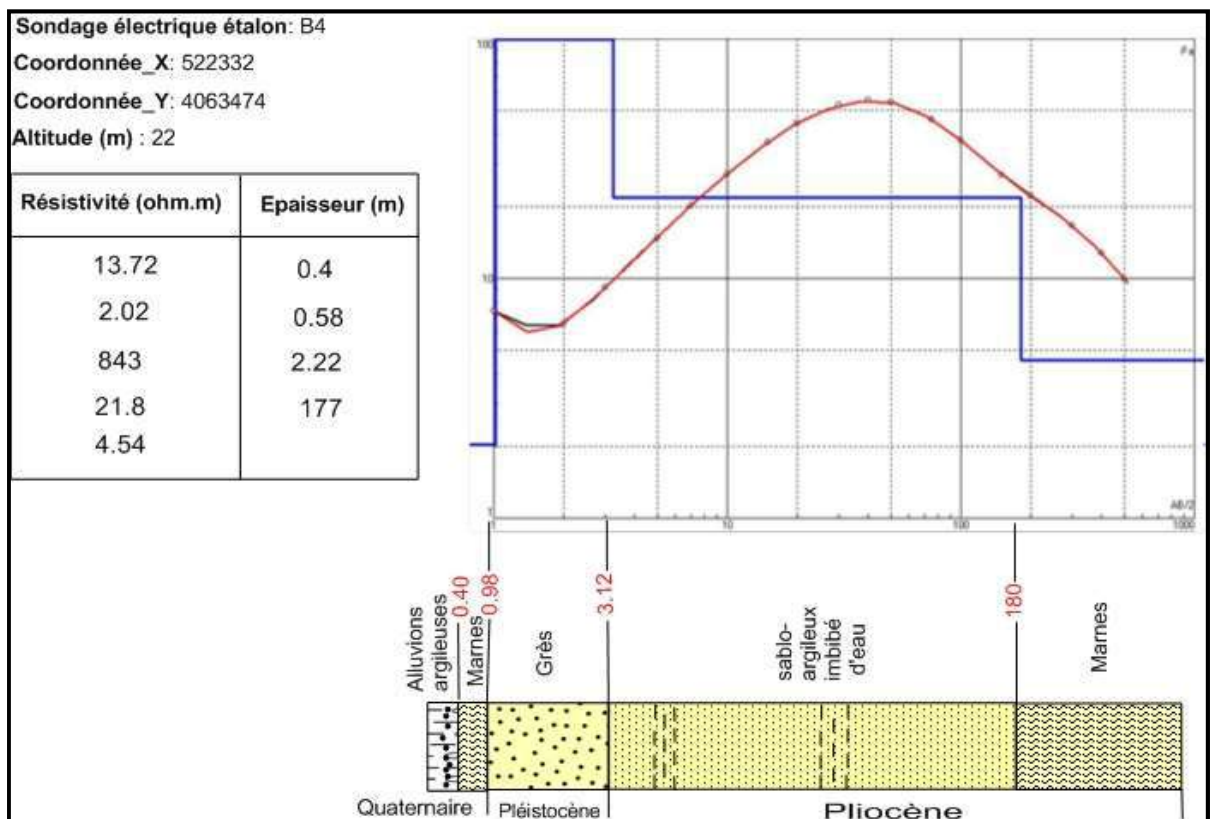


Fig.31: Etalonnage du sondage électrique B4 à l'aide de logiciel Ipi2win

Tableau 11: Description de sondage étalon B4

Terrain	Description
1	Terrain conducteur d'une résistivité de 13.72 $\Omega$ .m et une épaisseur de 0.4m. attribué au quaternaire, constitué d'argile alluvionnaire.
2	Niveau très conducteur d'une résistivité de 2.02 $\Omega$ .m et une épaisseur de 0.58m ; c'est une formation marneuse.
3	Niveau très résistant d'une résistivité de 843 $\Omega$ .m et une épaisseur de 2.22m constitué de grès de Pléistocène.
4	Terrain conducteur constitué par des formations sablo-argileux d'une résistivité de 21.8 $\Omega$ .m et une épaisseur de 177m contribué au pliocène.
5	Substratum marneux très conducteur d'une résistivité de 4.54 $\Omega$ .m

### 2.1.3. Echelle des résistivités :

Echelle des résistivités adoptée d'après la description des sondages étalons est la suivante :

Age	Lithologie	Résistivité ( $\Omega$ .m)	
Quaternaire	Alluvions	Argilo-sableuses	10-58
		Argileuses	3-15
		Graviers argileuses	10-96
	Marnes	Formations marneuses, argilo-marneuses	2-5
Pléistocène	Grès	Grès dunaires sains	830
		Grès dunaires avec de passages des sables	200-400
Pliocène	Sablo-argileux		20-40
	Argilo-marneux		10-20
	Marnes		<5

#### 2.1.4. Présentation des données géo électriques

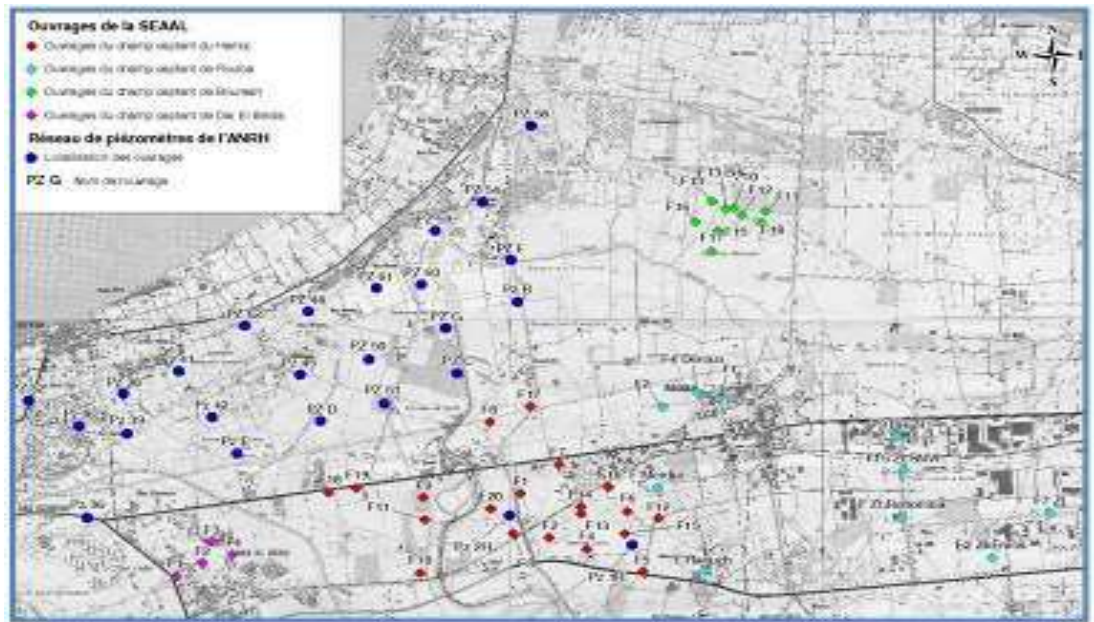
Les résultats des sondages électriques verticaux sont représentés; à l'aide de logiciel Surfer 12, et Ip2Win sous forme des diagrammes où l'on porte en abscisse la demi longueur de AB, et en ordonnée la valeur de la résistivité apparente correspondante, avec une échelle bi-logarithmique. Elles sont représentées également sous la forme de cartes de résistivité apparente pour des longueurs de ligne d'émission AB choisis (AB= 40 m, 100m, 300m, 400m) ainsi qu'une carte de résistances transversale. En fin, des coupes géo électriques sont réalisées pour délimiter la longue de biseau salé.

#### 2.2. Etude de la piézométrie

La mesure du niveau des eaux souterraines est d'une importance fondamentale dans l'hydrogéologie. Ce niveau peut être utilisé pour plusieurs raisons, y compris l'établissement d'une carte piézométrique, dont le but est de représenter à une date donnée, la distribution spatiale des charges et potentiels hydrauliques ; cette carte est nécessaire afin de connaître l'extension de l'aquifère, la direction et la vitesse de l'écoulement des eaux souterraines, ainsi que leur zones d'accumulation. Elle traduit le comportement hydraulique de la nappe (zones d'alimentation, d'exutoire et de surexploitation) et son évolution dans le temps. L'interprétation des enregistrements piézométriques effectués selon des pas de temps réguliers ou variables, montre l'évolution piézométrique ponctuelle de la nappe suite à son alimentation ou à son exploitation locale. L'information piézométrique ne peut pas alors, être ponctuelle (Margat, 1972). C'est ce qui fait que cette dernière, est parfaitement explicite de l'état quantitatif de la ressource en eau souterraine, en n'importe quel point localisé dans l'espace ou dans le temps (Compte, 1994).

La première carte piézométrique de la Mitidja réalisé est celle de Géo Hydraulique à la fin des années 60. Cette carte a été établie à partir d'un grand nombre de points (plus de 600). Le premier inventaire partiel des points d'eau a été réalisé en 1974 par l'agence nationale des ressources hydraulique (ANRH). Cet inventaire a été complété en 1991. Depuis juin 1993, un réseau piézométrique a été sélectionné pour le suivi de la nappe. Ce réseau fait l'objet de deux campagnes de mesure du niveau statique durant la période 1993- 1994. Depuis, le suivi de cette nappe a été interrompu pour des raisons sécuritaires pour être repris en 2003.

Dans le cadre de la surveillance de la fluctuation des eaux souterraines, l'ANRH a retenu des points de mesures constitués de puits, de piézomètres et de forages non exploités. (Figure32). Ces points d'observation forment le réseau piézométrique de la nappe alluviale de la Mitidja.



**Fig. 32: Réseau de surveillance de la baie d'Alger et forages d'eau des champs de captage De la SEAAL.**

### 2.3. Etude hydro chimique

Cette étude est basée sur l'analyse des échantillons d'eau prélevés en avril 2017 au niveau de 10 points répartis sur l'ensemble de la zone d'étude. 5 échantillons sont analysés au laboratoire de la SEAAL et 5 échantillons au niveau de laboratoire d'ANRH de Blida.

La Fig32montre la localisation des points de prélèvements.

Les paramètres physico-chimiques (pH, température et conductivité) ont été déterminés in situ, grâce à un multi paramètres portatif. Les échantillons devant être analysés au laboratoire ont été prélevés dans des flacons en polyéthylène après été filtrés et acidifiés pour les cations. Le calcium, magnésium et chlore ont été dosés par titrimétrie. Le sulfate par photo colorimétrie, le sodium et potassium au moyen d'une spectrométrie d'absorption atomique à flamme.

Cette étude hydro chimique consiste à :

- Déterminer la répartition quantitative des différents éléments chimiques majeurs : anions ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) et cations ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$ ) dissous dans les eaux de la nappe et de suivre leur évolution spatiale.
- Déterminer le faciès chimique des eaux ainsi que leurs qualités.
- Evolution des teneurs en ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) en fonction de la distance de la mer.
- Evolution de la conductivité électrique des eaux souterraine en fonction de la distance de la Mer.

### **3. Conclusion**

Le phénomène d'intrusion saline est un processus actif qui correspond à une rupture de l'équilibre hydrodynamique entre l'eau douce et l'eau de mer par une baisse importante de la charge et des flux d'eau douce et/ou une augmentation de la charge d'eau de mer.

On peut distinguer deux facteurs principaux ayant pu causer une intrusion marine : un facteur naturel : une insuffisance d'Apports et un facteur anthropique : excès d'Exores.

L'intrusion saline au sein des aquifères littoraux peut être caractérisée en ayant recours à différents outils utilisés en hydrogéologie tels que :

- La géophysique
- La piézométrie
- L'hydrochimie

## *Partie III*

### *Résultats et discussion*



## 1. Mise en évidence de l'intrusion marine par la géophysique

L'utilisation de la prospection géophysique pour la détection et la caractérisation des aquifères a connu un essor important ces dernières années. Dans le cas de la salinisation (problème de l'intrusion marine, salinisation continentale des nappes etc....), le paramètre physique qui permet de la caractériser est la résistivité électrique, exprimé en  $\Omega\text{m}$ ; représente la capacité de matériau à s'opposer au passage d'un courant électrique, elle représente l'inverse de la conductivité électrique, exprimée en S/m.

Cette présente étude concerne la partie Est de la plaine de la Mitidja qui a pour objectif de faire, un diagnostic sur l'état des eaux souterraines et de cartographier par conséquent l'avancé du biseau salé dans l'aquifère côtiers de cette plaine.

### 1.1. Interprétation des Cartes des résistivités apparentes

#### 1.1.1. Cartes des résistivités apparentes (AB=40 et AB=100) :

Les cartes de résistivités apparentes de longueur AB=40 et AB=100 montre bien que la résistivité apparente augmente en allant de la plaine vers la côte avec des valeurs qui varie entre 60 et 220  $\Omega\text{m}$ . Ces fortes valeurs enregistrées près de rivage reproduisent la structure morphologique et les formations géologiques de terrain qui présente des bombements dunaires secs très résistant au niveau de Bordj El Kifan et la Rassauta.

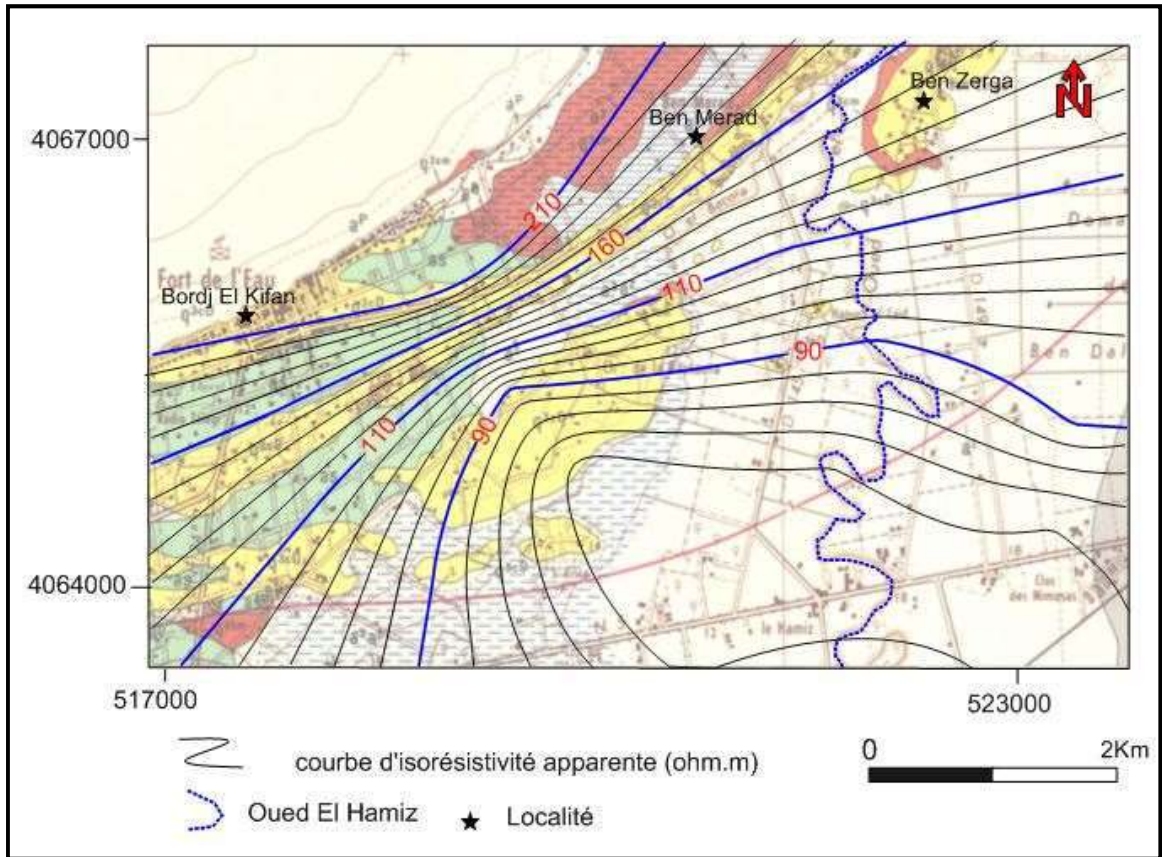


Fig.33: Carte des résistivités apparentes AB=40

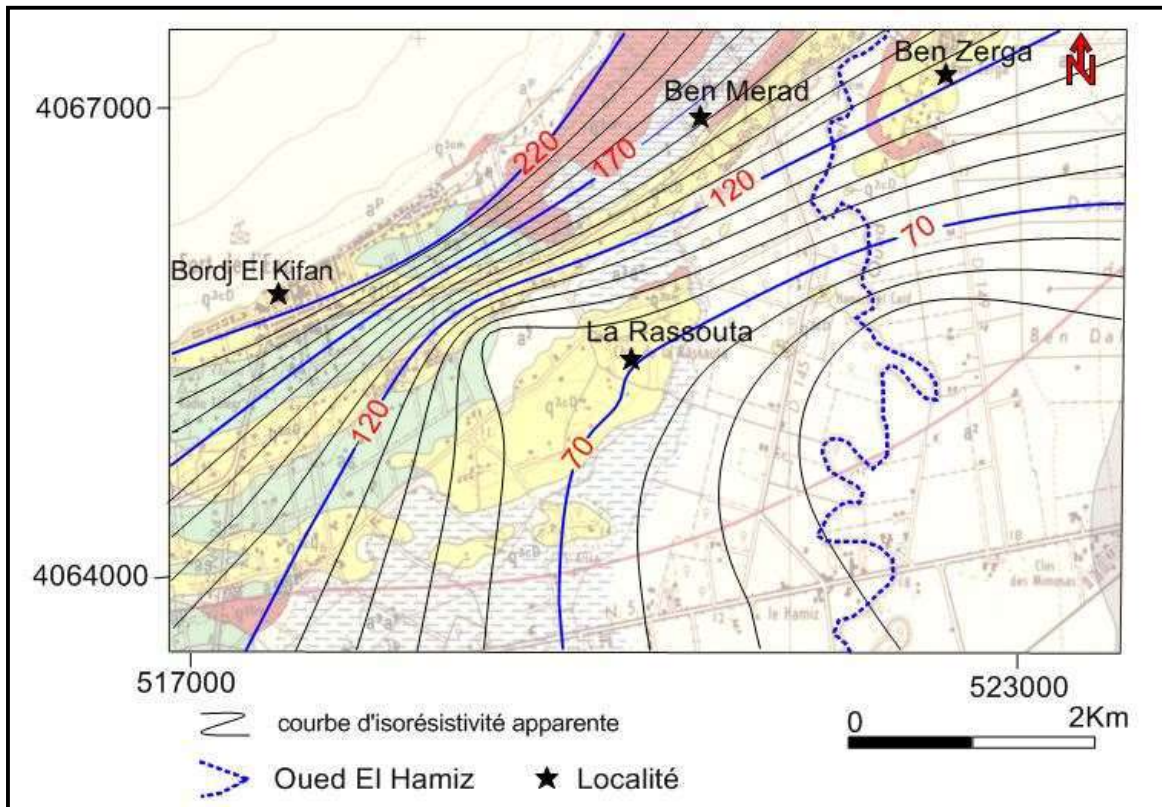


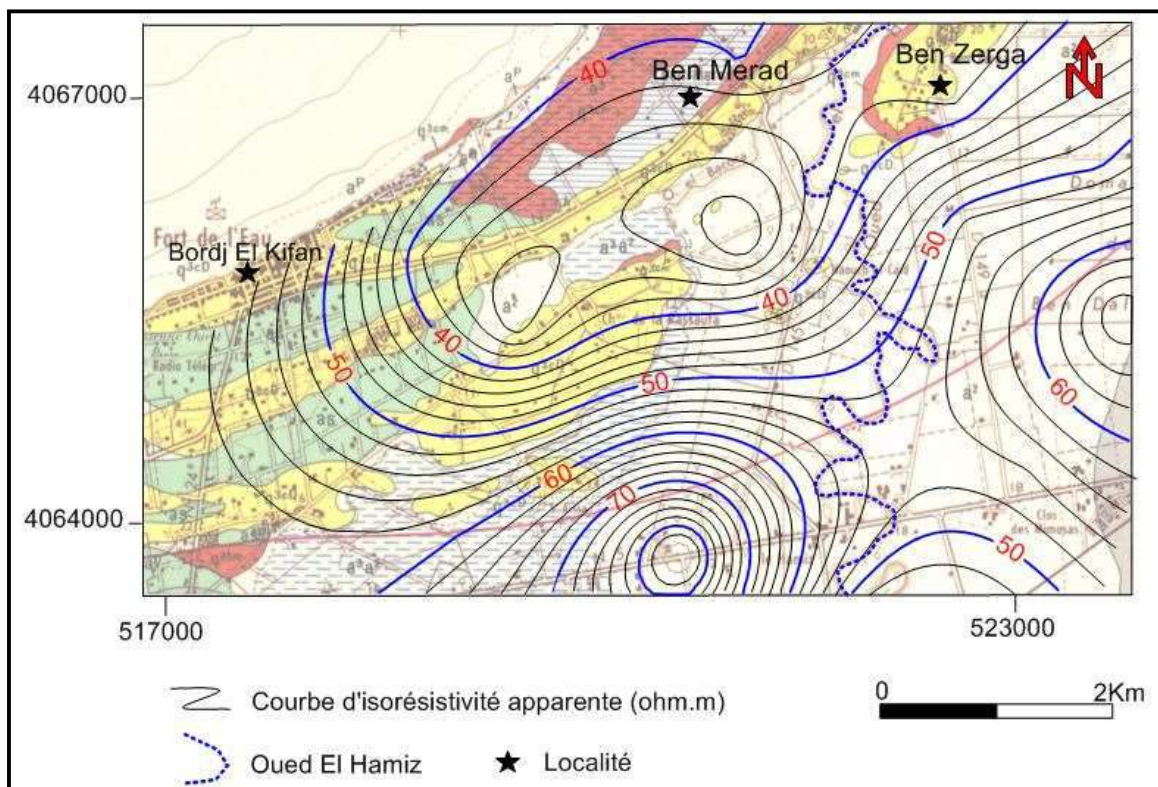
Fig.34: Carte des résistivités apparente AB=100

### 1.1.2. Cartes des résistivités apparentes (AB=300 et AB=400) :

Contrairement aux cartes précédentes ; les cartes des résistivités apparentes de la longueur AB=300 et AB=400 montre bien que les valeurs des courbes iso résistivités diminues en allant du Sud de la plaine vers le Nord (littoral), ce qui signifie que la couche superficielle résistante est complètement disparue et l'intrusion des eaux de mer vers la plaine est généré.

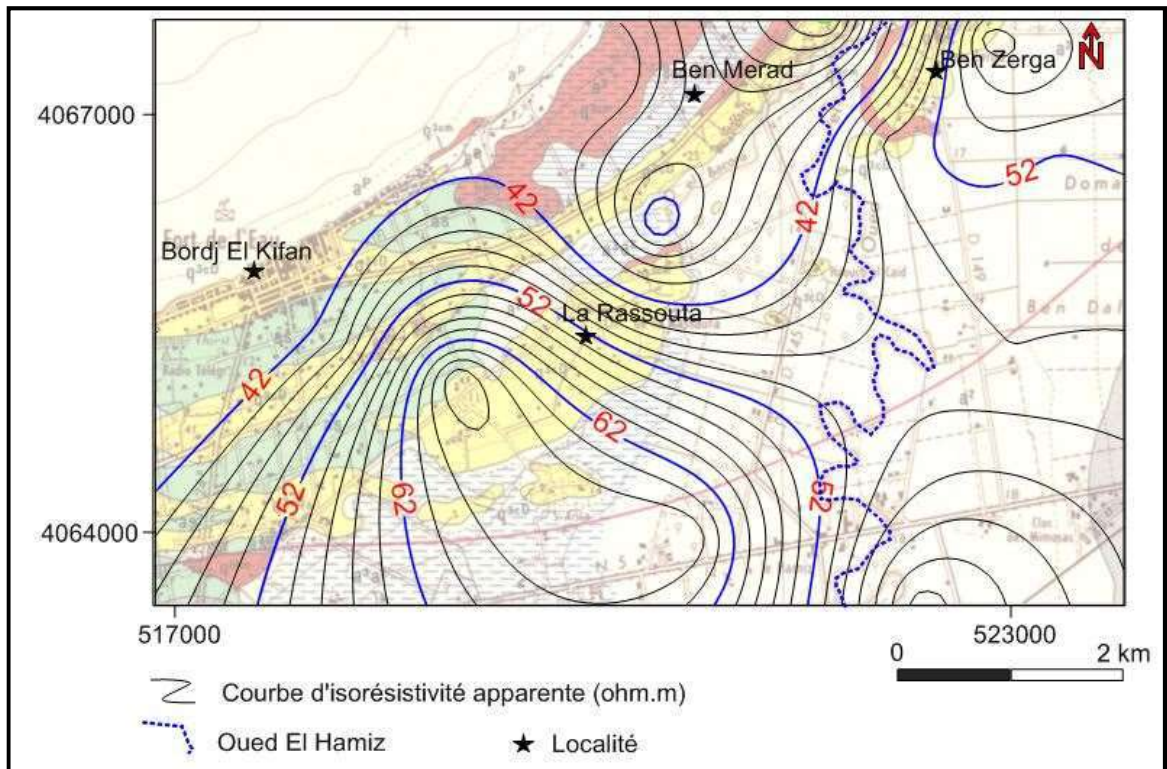
La faible résistivité enregistrée (40  $\Omega$ .m) au Sud de Ben Merad et au nord-est de la Rassauta (fig.35), est due probablement aux apports des métaux lourds d'Oued El Bacora qui provient de la nouvelle zone industrielle de Bab Ezzouar ou aux formations alluvionnaires récentes et aux faciès argileux (d'après la coupe géoélectrique ; Toubal 1992) qui présente des résistivités de 10 à 50  $\Omega$ .m.

Une courbe d'isorésistivité de 70  $\Omega$ .m est enregistrée au nord-ouest de la Rassauta au sud de Bordj El Kifan pourrait coïncider avec la remonté du toit de substratum marneux de l'aquifère.



*Fig.35: Carte des résistivités apparentes AB=300*





**Fig.36: Carte des résistivités apparentes AB=400**

### 1.2. Interprétation des Pseudo-sections et coupes géo électriques :

L'établissement des Pseudo-sections a pour but la mise en évidence de la variation de la résistivité verticale des différentes couches et l'extension horizontale de ces dernières.

Les coupes géoélectriques d'orientation Nord-Sud d'une part et Nord Nord-Ouest Sud Sud Est d'autre part, montrent généralement trois formations distinctes ; le quaternaire, le pléistocène et le pliocène.

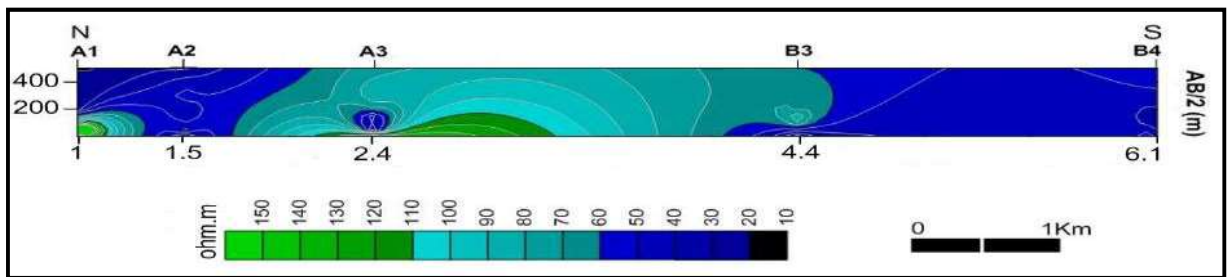
On notera dans ces coupes géoélectriques, que les dépôts du Quaternaire sont représentés par deux à trois niveaux, dont on trouve de haut en bas:

Un niveau résistant, se compose essentiellement d'Alluvions grossières hétérogènes marquées par une résistivité qui peut atteindre 500  $\Omega.m$  ou l'épaisseur ne dépasse pas les 8 m. Les formations conductrices concernent les dépôts du Quaternaire récents représentés par les argiles ou sablo-argileux et quelques passages marneux où une résistivité varie de 4 à 80  $\Omega.m$  dont l'épaisseur varié entre 10 et 150m. des grès et poudings sont présents, aussi, se forme des lentilles minces mais avec des résistivités importantes (400  $\Omega.m$ ). Les dépôts du Quaternaire sont présents dans toute la zone. Vu cette hétérogénéité, une même résistivité est apparait pour différentes couches.

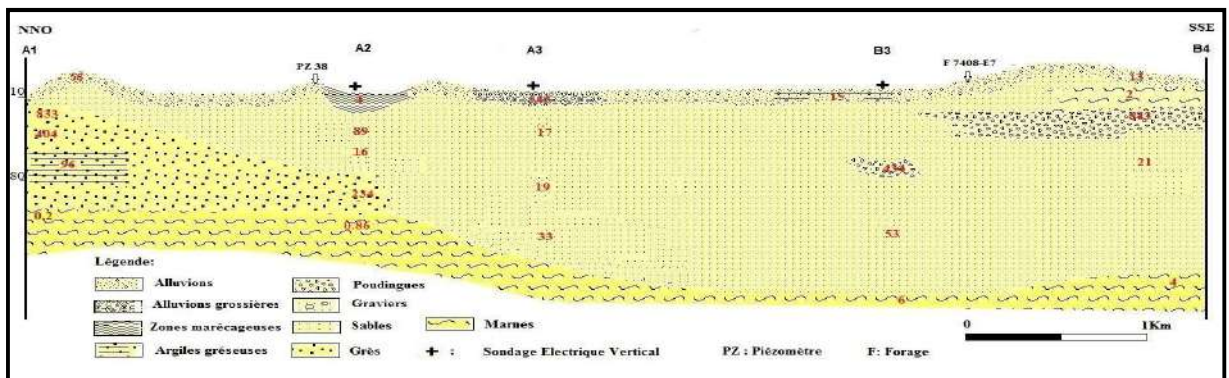
Un autre niveau très résistant de pléistocène d'une épaisseur aller de 10 à 100m où sa résistivité dépasse les 800  $\Omega.m$ , cette résistivité diminue considérablement dans le cas où ces grès sont imbibés d'eau ou bien lorsqu'il y aura une intercalation de sables et d'argiles pour atteindre une valeur aller de 200 à 400  $\Omega.m$ .

Et enfin un substratum conducteur formé par des marnes compactes et parfois marneux argileux de faible résistivité ; 0.08 à 13  $\Omega.m$ .

Les chutes des résistivités enregistrées au niveau des Sondages Électriques Verticaux (B1, B2, C1, C2 et D1) dans les formations sont essentiellement sableuses dues à la présence d'eau salé proviens de l'intrusion des eaux marines vers le continent sur un axe préférentiel N-S ou NNW-SSE allant de la région comprise entre Verte rive et Stamboul vers le champ de captage Hamiz sur une distance d'environ 3.5 Km.



*Fig.37: Pseudo-section de profil (A)*



*Fig.38: Coupe géo électrique de profil (A)*

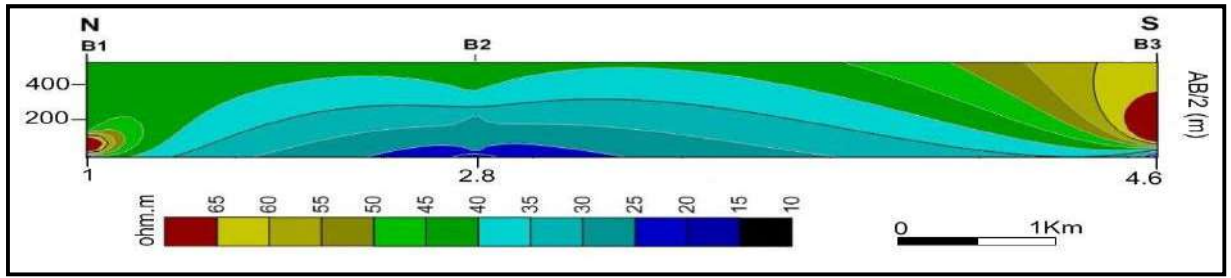


Fig.39: Pseudo-section de profil (B)

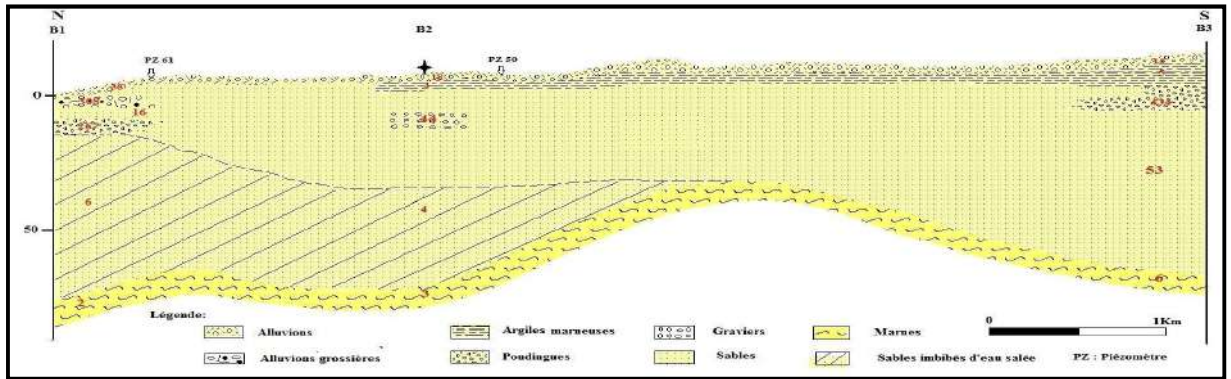


Fig.40: Coupe géo électrique de profil (B)

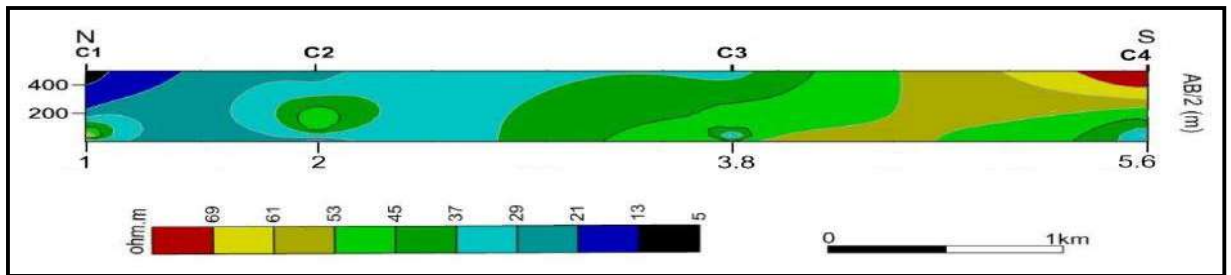


Fig.41: Pseudo-section de profil (C)

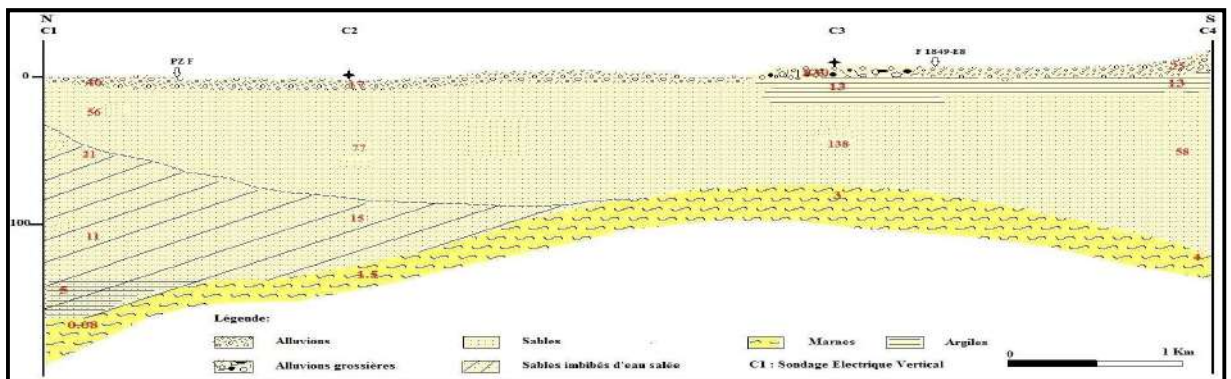


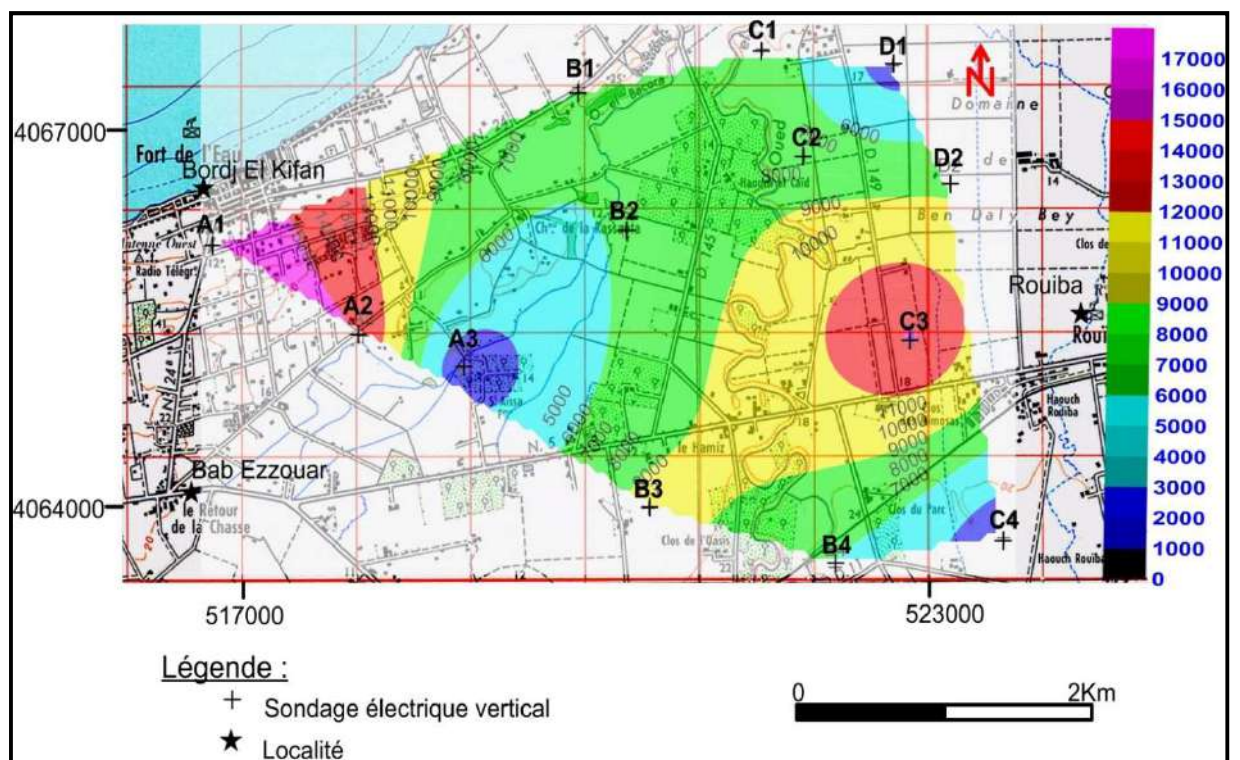
Fig.42: Coupe géo électrique de profil (C)



### 1.3. Interprétation de la Carte de la résistance transversale :

Les fortes valeurs des résistances transversales enregistrées au niveau des sondages électriques verticaux (SEV A1, SEV A2) sont expliquées par la présence des formations dunaires très résistantes, et celle de (SEV C3) est due aux formations alluvionnaires grossières en surface et aux formations sableuses résistantes en profondeur.

Les faibles valeurs enregistrées au niveau des SEV (B1, B2, C1, C2 et D1) témoignent la contamination de la nappe par les eaux de mer. Par contre la faible valeur de la résistance transversale marquée par le SEV A3 est due à la formation sableuse conductrice de l'aquifère.



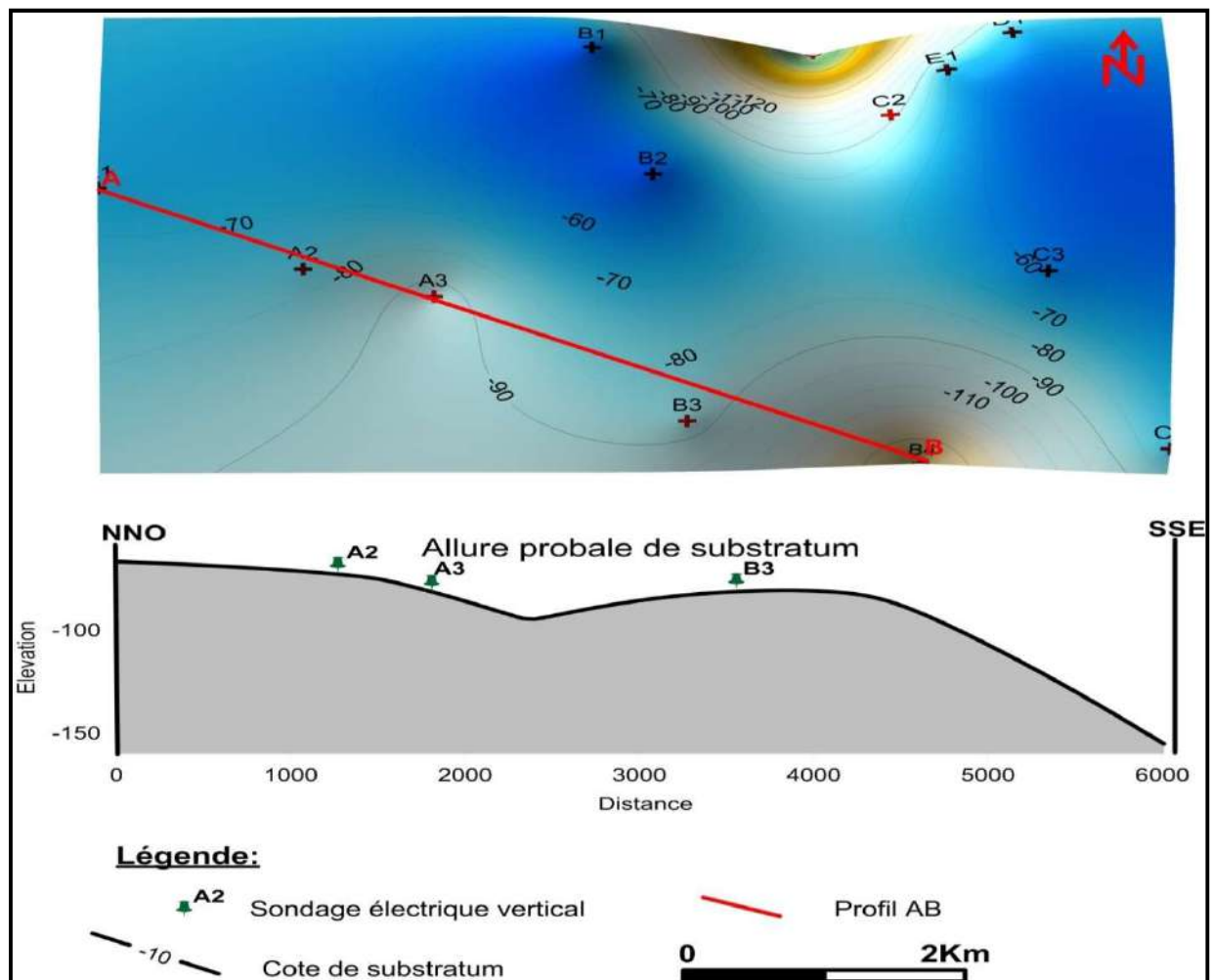
*Fig.43: Carte de la résistance transversale*



#### 1.4. Interprétation Carte des isohypses du toit de substratum conducteur :

Cette carte de synthèse (fig.44) a été réalisée en utilisant le logiciel Surfer 12, les côtes du toit de substratum conducteur sont interpolées spatialement en utilisant la méthode du krigéage. D'une manière générale la carte des isohypses fait ressortir que le substratum conducteur de Pliocène plonge du nord vers le sud avec un aspect sinusoïdale.

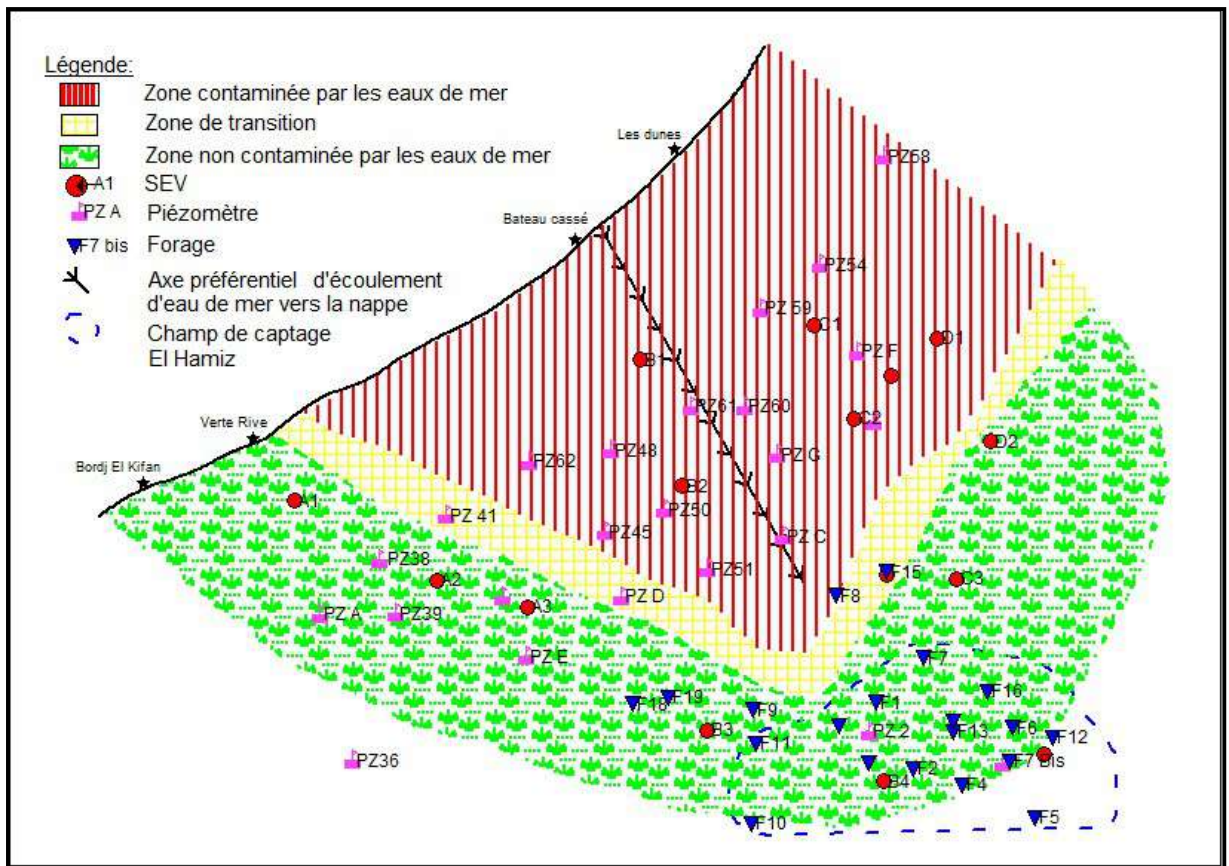
Vu la difficulté de différencier entre les marnes conductrices de pliocène et les formations imbibées d'eaux de mer, un profil (AB) d'une direction NNO-SSE a été réalisé afin d'éclairer mieux l'allure de toit de substratum marneux, ou il ressort une zone très profonde au niveau de Haouch El Kaid sur la rive gauche de Oued El Hamiz au sud de Bateau cassé ce qui constitue un couloir favorisant l'invasion saline.



*Fig.44 : A) Carte synthétique du toit de substratum marneux, B) Profil de l'allure de substratum marneux*

### 1.5. Cartographie de biseau salé :

A partir de l'interprétation qualitative et quantitative des données de la campagne géophysique réalisée, on a pu cartographier probablement la limite de l'intrusion marine vers l'aquifère de la Mitidja Est et son axe préférentiel d'écoulement qui s'étend de Bateau Cassé jusqu'au champ de captage de Hamiz sur une distance de 3.5 km.



**Fig.45 : Carte schématique de biseau salé dans la baie d'Alger 2013**

L'interprétation des données des sondages électriques paraît délicate en raison de la confusion entre les résistivités des formations imbibées d'eau salée et celles des formations marneuses à argileux marneuses voir même les différentes résistivités qui peuvent avoir une même origine (formation sableuse présente des différentes résistivités qui varie entre 20 et 130 Ohm.m).

L'analyse des cartes des résistivités apparentes montre qu'il existe deux niveaux, le premier en surface avec des résistivités élevées et un autre en profondeur avec des faibles résistivités.

Les coupes géoélectriques établies montrent une avancée importante de biseau salé comparativement aux travaux réalisés par Mr Toubal, 1992. Malgré les difficultés d'interprétation liées aux principes de suppression et d'équivalence, et l'anisotropie de l'aquifère ainsi qu'à l'existence d'une gamme de résistivité parfois pu différencier, la méthode s'est distinguée par sa capacité de résolution.

La carte de la résistance transversale confirme l'axe de l'intrusion marine par la présence d'une zone subsidente de substratum marneux de la nappe au sud de la région comprise entre Bateau cassé et Stamboul en direction de champ de captage El Hamiz.

La carte de toit de substratum marneux montre une irrégularité de la forme de substratum.

En fin, on peut dire que l'étude géophysique nous a permis de mettre en évidence l'invasion marine vers la nappe côtière de la Mitidja Est et de cerner la zone contaminée.

## **2. Mise en évidence de l'intrusion marine par la cartographie piézométrique**

L'étude de la piézométrie et de ses variations à court ou long terme permet de caractériser le fonctionnement hydrogéologique d'un aquifère. Dans le cas des aquifères côtiers, l'étude de l'équilibre des charges entre l'aquifère et la mer est primordiale pour comprendre et prévoir l'évolution de la salinité.

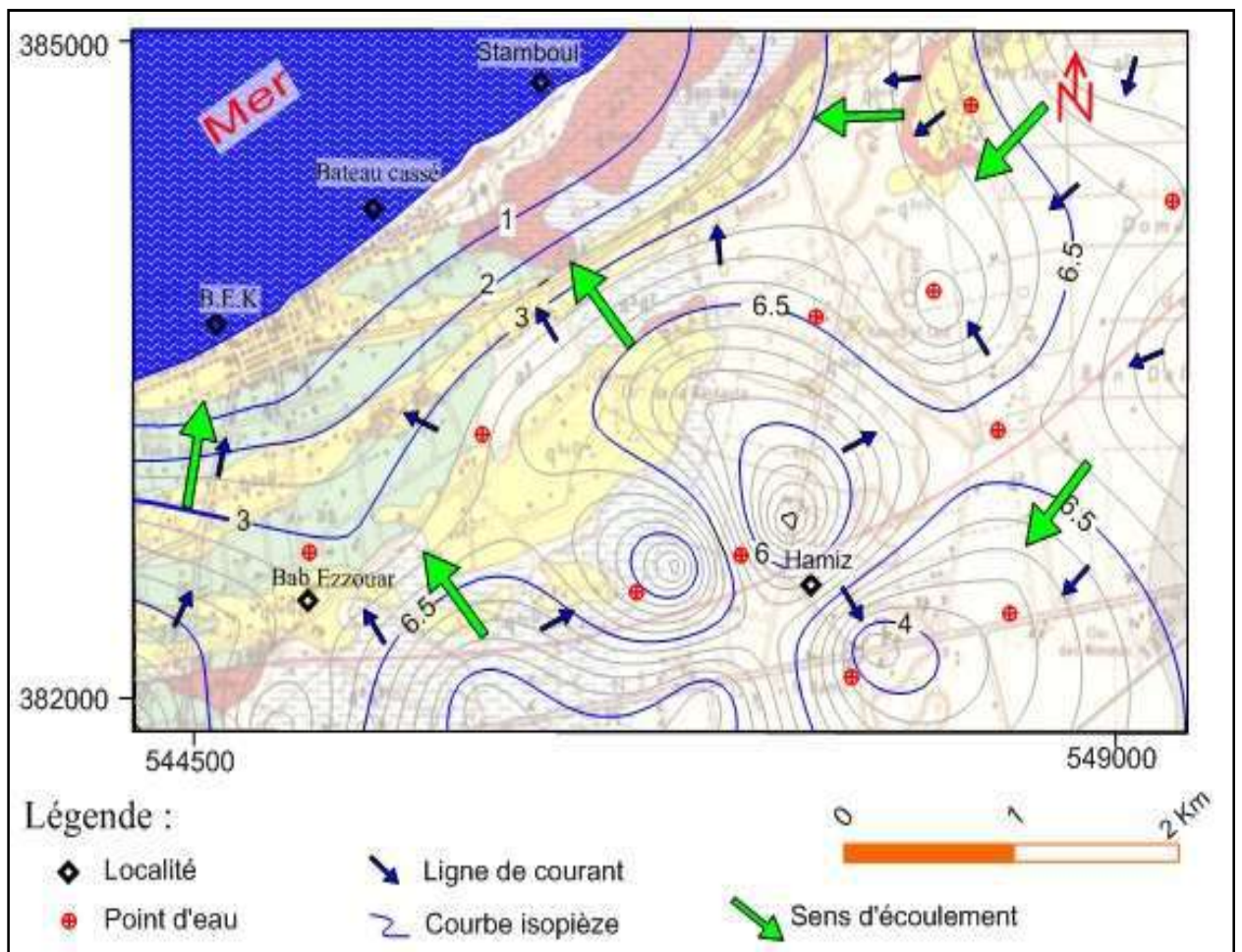
Le suivi de la piézométrie dans la baie d'Alger, l'Agence Nationale des Ressources Hydriques direction régionale centre/SOUMAA et dans le cadre de son plan d'action a établi un réseau de surveillance où pas moins de 20 piézomètres ont été installés plus les deux piézomètres de la SEAAL au niveau de champ de captage de Hamiz dans le but la suivi du niveau piézométrique et échantillonnage d'eau.

### **2.1. Interprétation des cartes piézométriques de la période 1983-2014**

Les campagnes piézométriques réalisées en 1983 et en 2014 au niveau de la baie d'Alger, ont permis d'établir les cartes piézométriques suivantes :

➤ **Cartes piézométriques 1983 :**

Compte tenu du nombre réduit de niveaux piézométriques disponibles et des incertitudes des données récupérées, la réalisation d'une carte piézométrique reste sujette à caution. Néanmoins, on peut proposer la carte simplifiée suivante (figure 46) ; nous permettrons de caractériser les directions et les sens d'écoulement de la nappe ainsi que les zones de drainage et l'évolution du gradient hydraulique de la nappe. En effet, l'écoulement général de la nappe se fait du Sud vers le Nord, vers la mer qui constitue son seul exutoire naturel et à cet écoulement naturel se superpose un autre écoulement vers les forages des champs de captages.



**Fig.46 : carte piézométrique de la Mitidja Est 1983(A.N.R.H)**

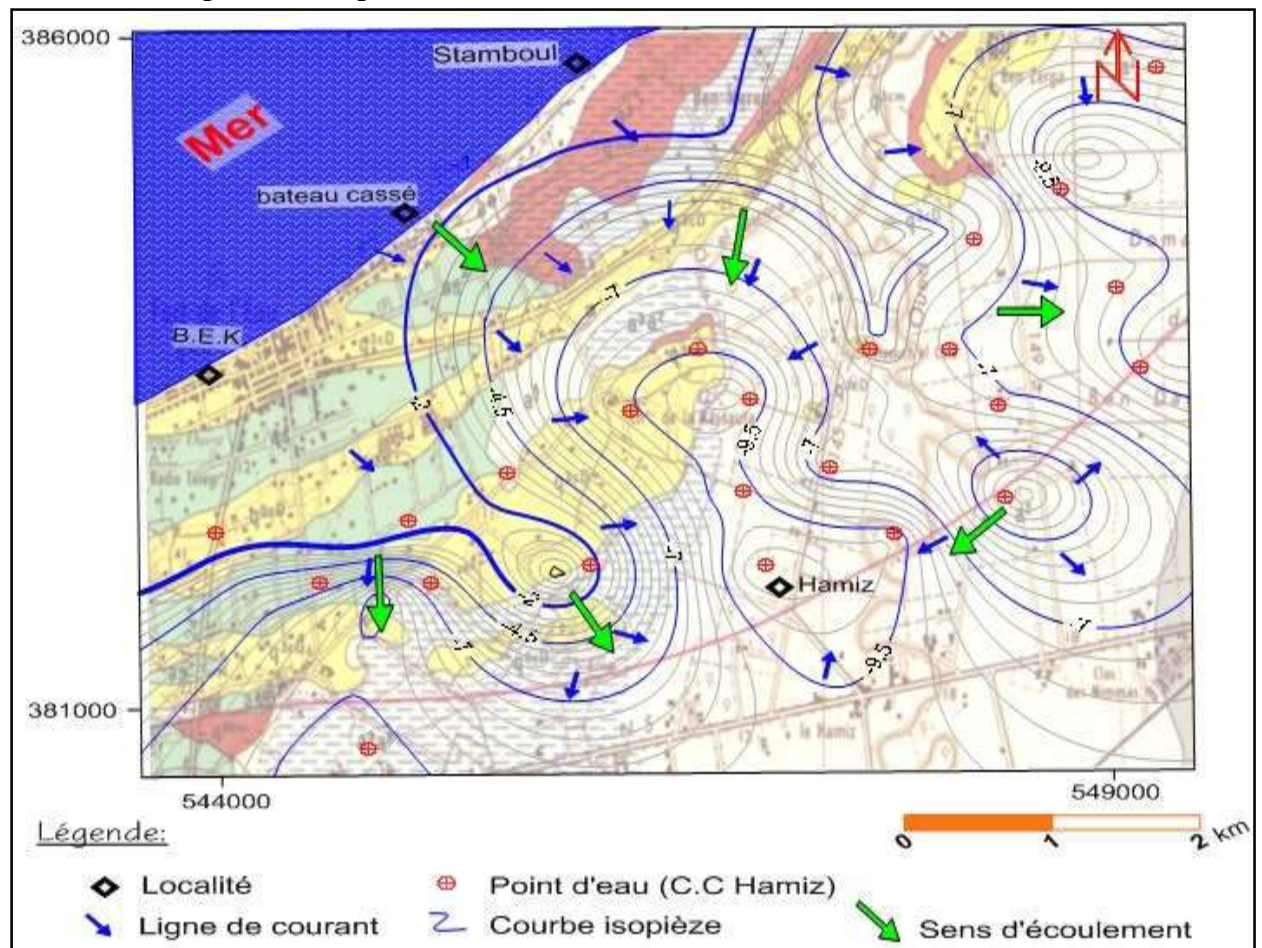


Cet état piézométrique montre l'existence de deux zones :

-Une zone où les isopièzes sont espacées qui correspond à l'aval de la nappe et qui est caractérisé par un gradient hydraulique faible de l'aquifère remarquant ça dans la région de Stamboul et Bordj El Kiffan où la côte piézométrique est presque égale ou légèrement supérieur à celle de la mer à certains endroits, ce qui empêche l'eau de mer de pénétrer à l'intérieur des terres, selon les règles hydrodynamiques.

-Une zone des dépressions piézométriques (cône de dépression) où les isopièzes sont resserrées et le gradient hydraulique est élevé dû probablement à l'exploitation de la nappe par les laboureurs de cette région comme on remarque aussi l'existence d'une crête piézométrique lié à la géologie de cette zone (présence d'un cordon dunaire).

#### ➤ Cartes piézométriques 2014



*Fig.47 : Carte piézométrique de la Mitidja Est (Mai 2014). (A.N.R.H)*

L'examen de la carte piézométrique de la Mitidja Est en période de hautes eaux (Mai 2014) permis de tirer les remarques suivantes :

- un écoulement se fait de la mer vers la plaine de fait que les côtes piézométriques sont inférieurs au niveau de la mer (-9 à -10m), favorable à la contamination de la nappe dû à l'influence du champ de captage de Hamiz et la surexploitation dans cette zone.
- apparition des cônes de dépression au niveau des champs de captage de Bouréah, Dar El Beida, Rouïba et Hamiz conséquent par un intense pompage.
- le cordon dunaire et le léger bombement du substratum semble freiné l'extension de l'invasion marine à l'Ouest jouant ainsi le rôle de barrière hydraulique.

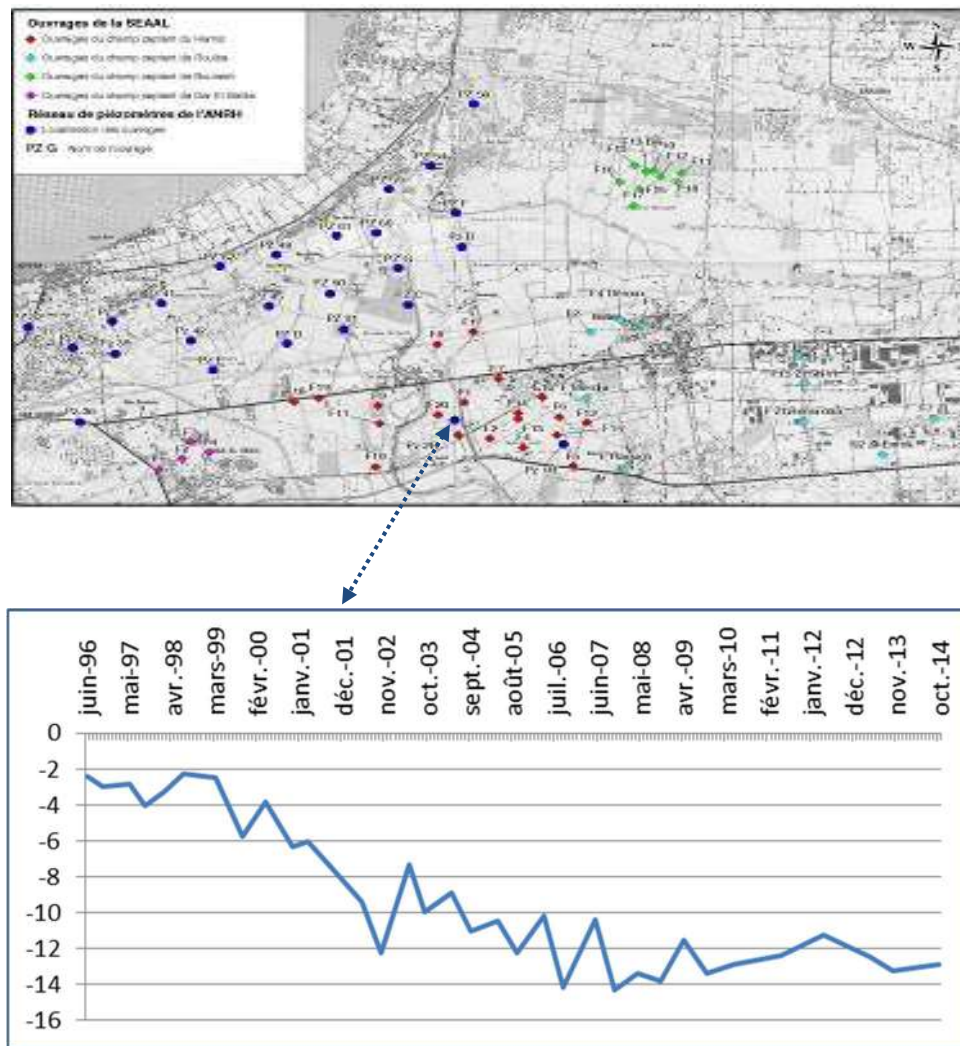
La comparaison entre ces deux cartes piézométriques montre clairement l'inversion du sens d'écoulement des eaux souterraines, qui se faisait du continent vers la mer en 1983, synonyme d'une invasion marine.

## **1.2. Variation du niveau piézométrique :**

Le point de mesure sélectionnée correspond au piézomètre (PZ2) situé dans le champ de captage de Hamiz.

L'observation du graphique établi sur le piézomètre PZ2 Hamiz situé à l'intérieur du périmètre de protection du champ de captage du Hamiz (figure 48), montre bien l'abaissement continu du niveau d'eau de la nappe qui varie de -2.5m en Janvier 1996 à -13.7m en Janvier 2014. Cet abaissement est dû en partie à la longue période de sécheresse et à la forte exploitation de la nappe sollicitée par des forages licites et illicites à différents usages.





**Fig.48 : Variation du niveau piézométrique PZ2 (zone Hamiz)**

L'étude piézométrique a montré une inversion de sens d'écoulement de la mer vers la nappe contrairement à l'état naturel de la nappe en 1983 où elle est soumise à la loi d'hydrodynamisme ; due à la sécheresse de ces trois dernières décennies premièrement et à une surexploitation de la ressource souterraine par les forages de la SEAAL et les puits des paysans engendré par une baisse remarquable des niveaux piézométriques ce qui fait appel à une intrusion marine vers la nappe côtière

### 3. Mise en évidence de l'intrusion marine par l'hydrochimie

#### 3.1. Les paramètres physico-chimiques

**3.1.1. Le Potentiel Hydrogène :** La plage des valeurs de pH est comprise entre 6.2 et 7.8 avec une moyenne de 7.3. Les variations de pH sont assez homogènes (coefficients de variation inférieurs à 0,5). Les eaux de la nappe des alluvions de la Mitidja sont neutres.

**3.1.2. Température :** La température des eaux varie entre 20°C et 23.5°C avec une moyenne de 21.2°C. Ces températures sont dans l'ensemble assez proches de la température de l'air qui est de 21°C, liées principalement à la profondeur relativement faible des forages.

**3.1.3. Conductivité électrique :** La conductivité électrique des eaux souterraines varie entre 833 et 3800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , avec une valeur moyenne de 1858  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Ces valeurs indiquent une minéralisation moyenne à forte car elles sont toutes globalement supérieures à 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et dépassent les normes OMS, 2000 (soit 1500mg/l). En effet, la minéralisation correspond à la totalité des sels dissous contenus dans l'eau.

#### 3.2. Evolution de la conductivité électrique dans la baie d'Alger

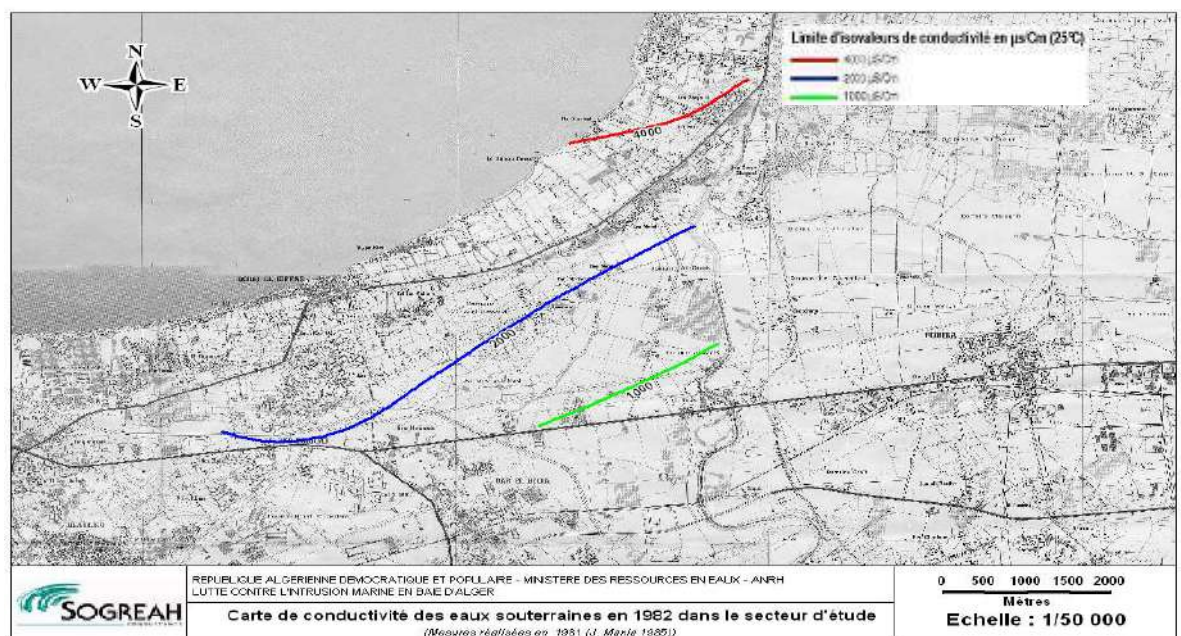


Figure 49 : Carte d'isovaleur des conductivités des eaux souterraines de 1982 (J. Mania)

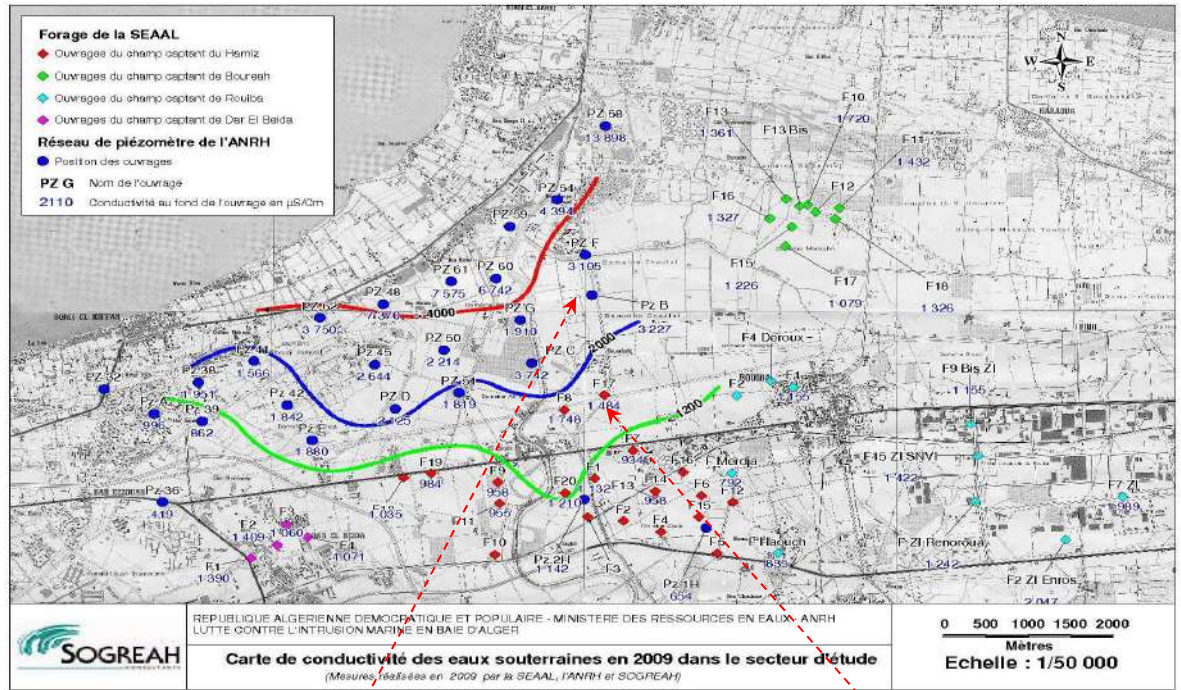


Figure 50 : Carte d'isovaleur des conductivités des eaux souterraines de 2009

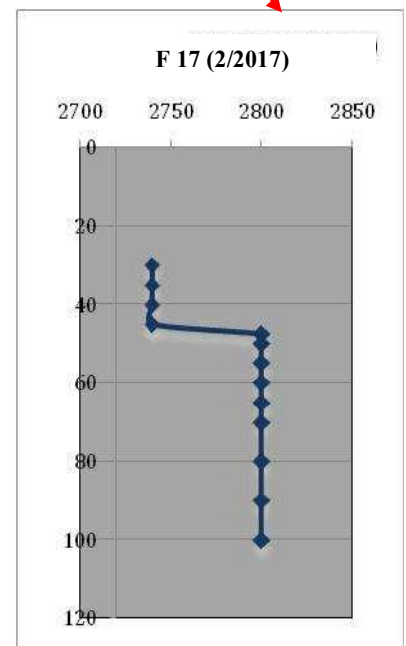
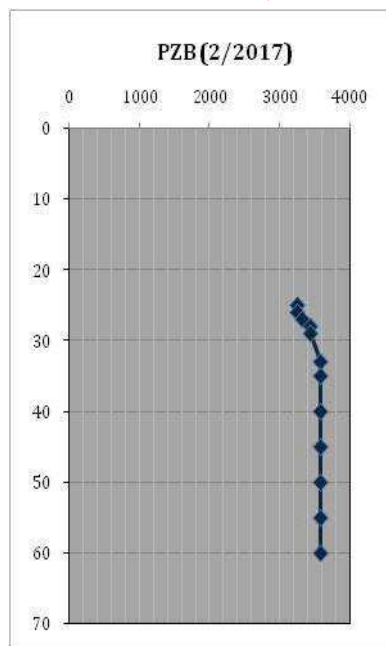


Figure 51 : Profils de conductivité à différentes profondeurs 2017

Des profils de conductivité à différentes profondeurs ont été réalisés sur les piézomètres de surveillance, ce qui a permis de réaliser les cartes d'iso-valeurs de conductivités de l'année 2009.

Les cartes ci-dessus, ont été établies dans le but de suivre l'évolution dans le temps et dans l'espace de l'avancée du front salé.

La comparaison entre les cartes d'iso-conductivités, établie en 1982 (J. Mania) et, celle réalisées durant la période 2009, ont mis en évidence cette évolution progressive du front salé depuis la côte,

Par ailleurs, l'examen des enregistrements des graphes (figure 51) recueillis des sondes multi-paramètres, installées au niveau du piézomètre **PZ B** et du forage **F17** du champ de captage du Hamiz, nous ont permis de déduire ce qui suit :

Que la conductivité enregistrée au niveau du forage F17, est passée de **1490  $\mu\text{S/cm}$**  en 2009, à **2800  $\mu\text{S/cm}$**  en 2017, et en moyenne de **3100  $\mu\text{S/cm}$**  à **3800  $\mu\text{S/cm}$** , au niveau du PZ B, situé à un kilomètre au nord de ce champ de captage.

Le front salé est actuellement situé à environ 5 km par rapport à la côte soit à moins de 0.5 km par rapport à la limite nord-ouest du champ de captage

Une telle situation, nous incite à tirer encore une fois l'alarme du risque inévitable de l'avancement de cette invasion marine, et le risque inévitable d'affectation du champ de captage du Hamiz, si la cadence des prélèvements reste telle qu'elle est pratiquée actuellement, et la dégradation des terres agricoles situées dans la zone.



### 3.3. Classification hydro chimique des eaux souterraines

#### 3.3.1. Présentation du logiciel Diagrammes

Dans le but de bien identifier les faciès hydro chimiques et d'avoir une indication sur l'aspect qualitatif des eaux souterraines, la représentation graphique des résultats d'analyses s'avère un outil inévitable. Pour atteindre cet objectif, on a eu recours au diagramme de Piper. La réalisation de ce diagramme a été faite en utilisant le logiciel **Diagrammes** (figure 52), conçu par Roland Simler (Laboratoire d'hydrogéologie, Université d'Avignon, 2004).

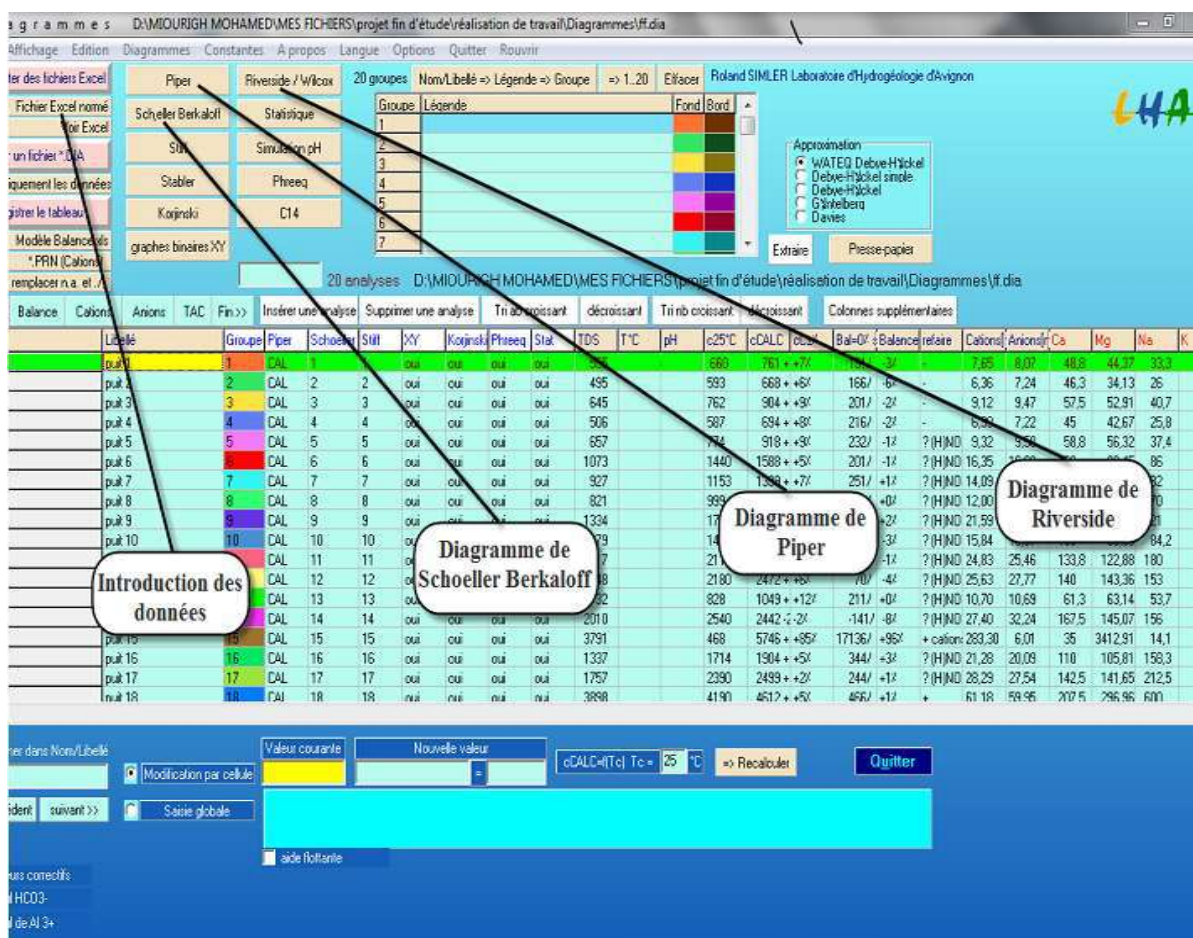
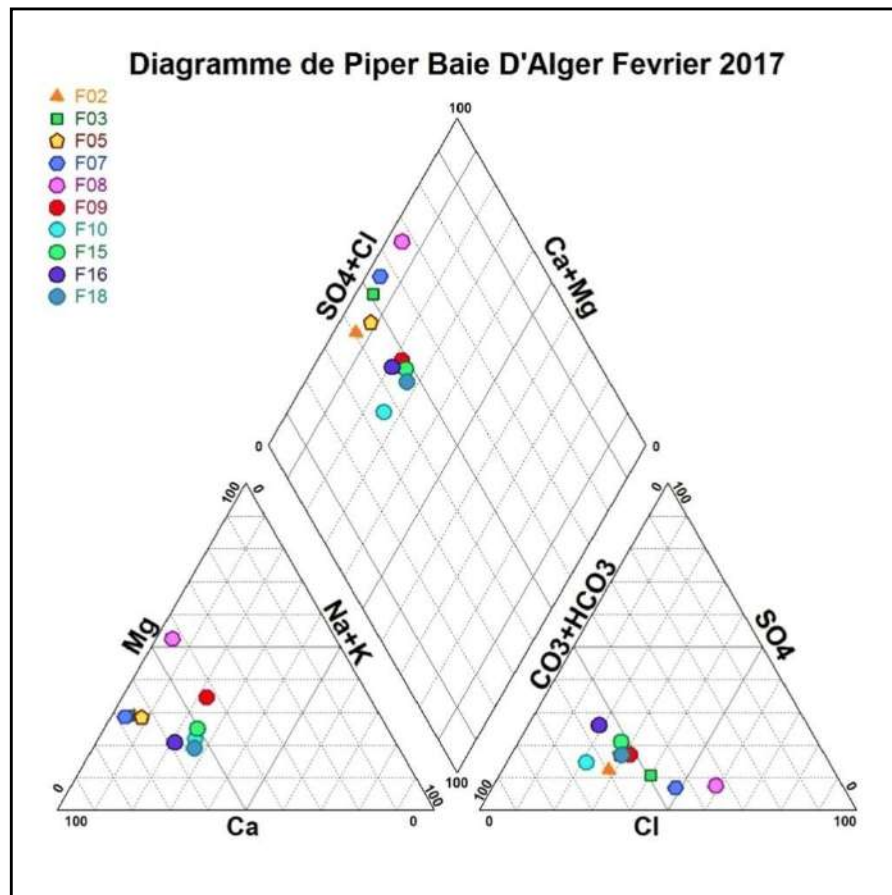


Figure 52: Représentation de l'interface du logiciel d'hydrochimie

### 3.3.2. Représentation graphique des faciès hydro chimiques:

Le diagramme de Piper est composé de deux triangles représentant la répartition des anions et celle des cations respectivement, et d'un losange représentant la répartition synthétique des ions majeurs. Les nuages de points concentrés dans un pôle représentent pour les différents échantillons la combinaison des éléments cationiques et anioniques (Figure 53).



**Fig.53 Diagramme de Piper des eaux de la baie d'Alger, Campagne de Février 2017**

La représentation des résultats chimiques des eaux prélevées de nappe souterraine de la Mitidja sur le diagramme de Piper montre que:

- Le chimisme des eaux analysées est caractérisé par le faciès Bicarbonatée Calcique avec une légère tendance de migration vers le chloruré calcique et le chloruré magnésien.
  - Bicarbonatée Calcique : 80% des échantillons.
  - Chlorurée Calcique et Chlorurée Magnésienne : 20% des échantillons.



### 3.4. Etudes des rapports caractéristiques

Le deuxième moyen d'interprétation utilisé dans cette étude est constitué par les diagrammes croisés des concentrations des différents ions, analysés en fonction des chlorures.

Nous savons que  $\text{Cl}^-$  est le meilleur indicateur de l'existence de l'eau de mer dans une nappe côtière puisqu'il est le moins perturbé par des réactions géochimiques et donc le plus mobile.

#### 3.4.1. Le couple Ca – Cl :

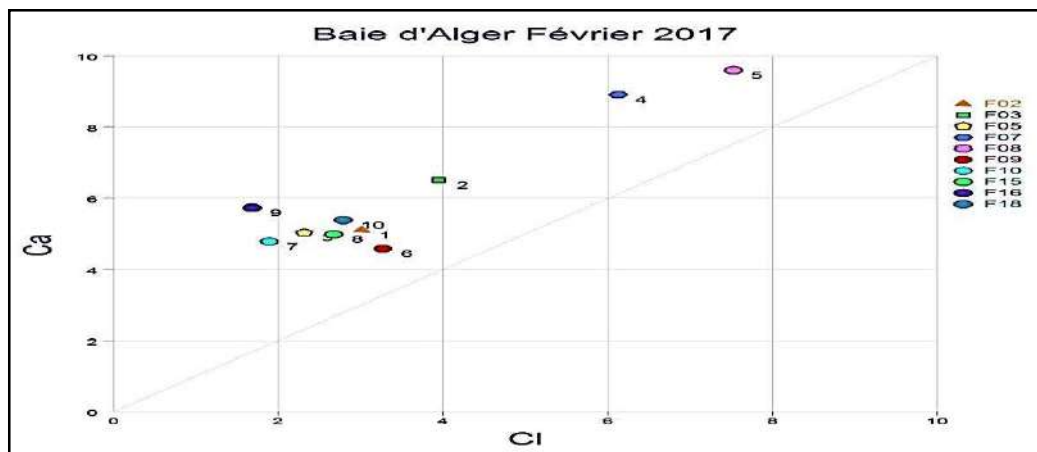


Fig.54 - Relation Ca – Cl.

Le graphique  $\text{Ca}^{++}$  en fonction de  $\text{Cl}^-$  montre que tous les points se trouvent au-dessus de la droite de pente, qui est expliqué par le phénomène d'échange ionique entre l'eau et l'aquifère et se traduisant par une adsorption de  $\text{Na}^+$  et une libération de  $\text{Ca}^{++}$ .

#### 3.4.2. Le Couple $\text{SO}_4$ – Cl :

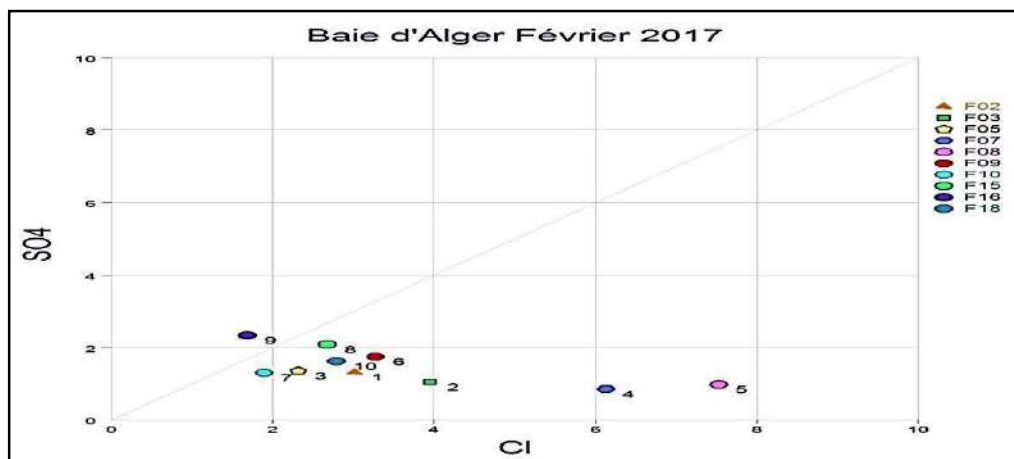
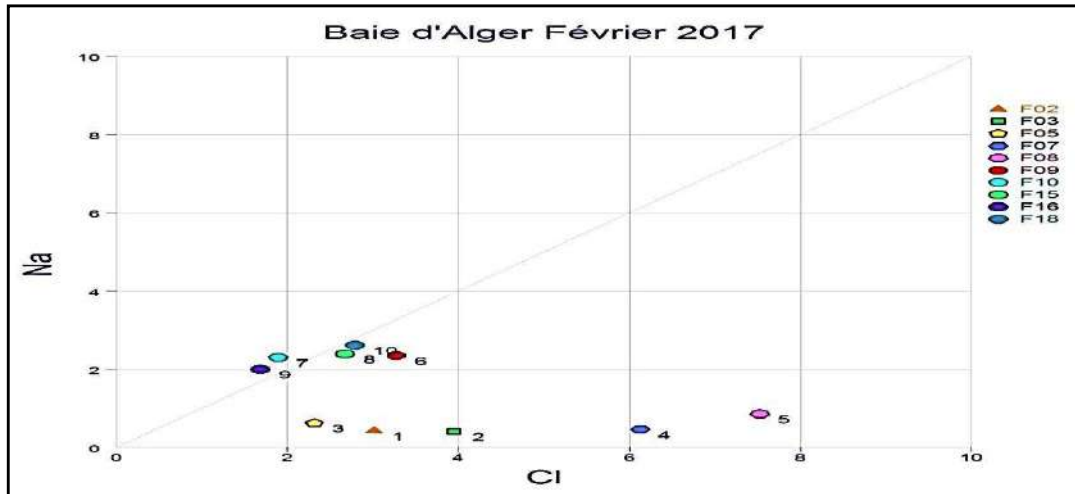


Fig.55 - Relation  $\text{SO}_4$ – Cl.

La relation entre les sulfates et les chlorures montre que la majorité des points se trouve en dessous de la droite de pente à l'exception de un seul point qui se trouve au-dessus de cette droite. L'enrichissement des points en sulfates est lié à la présence des évaporites dans les aquifères, ou due à une contamination d'origine agricole ; le reste des points se situe en dessous de la droite de pente 1. cet excès peut être due à une origine marine.

### 3.4.3. Le Couple Na – Cl :



**Fig.56**– Relation Na– Cl.

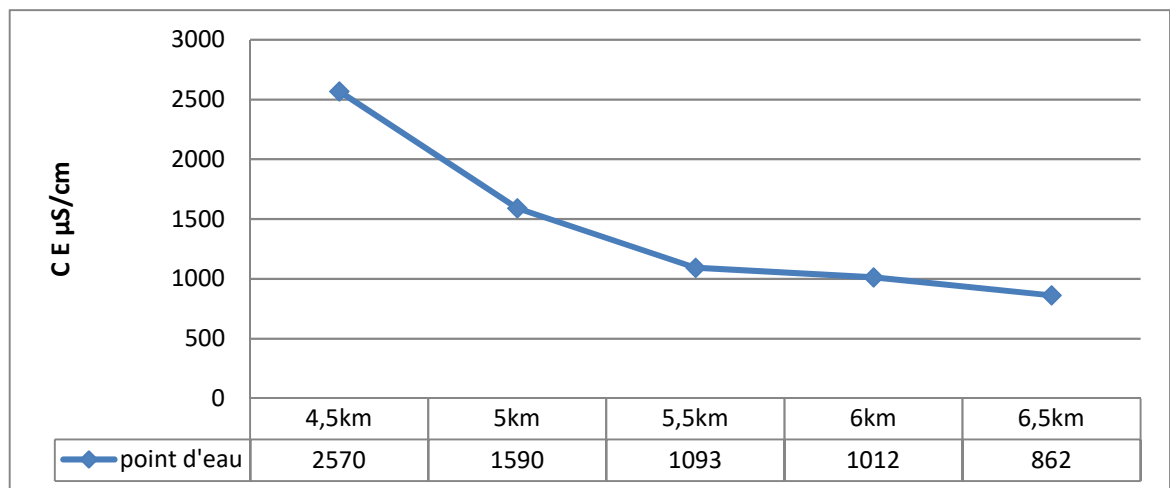
La relation entre  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  montre que la moitié points seulement se trouve sur la droite de mélange indiquant la présence du processus de mélange eau douce - eau salée sans réactions d'échanges ioniques. Les autres points se situent au-dessous de la droite de pente indiquant un appauvrissement en sodium. Ces eaux sont contrôlées surtout par des réactions d'échange cationique. Etant donné que la teneur en  $\text{Na}^+$  devrait équilibrer la teneur en  $\text{Cl}^-$ , le déficit en  $\text{Na}^+$  est expliqué par le phénomène d'échange ionique inverse entre l'eau et l'aquifère et se traduisant par une adsorption de  $\text{Na}^+$  et une libération de  $\text{Ca}^{2+}$ , cela est confirmé par les diagrammes  $\text{Ca}^{2+}$ - $\text{Cl}^-$  qui illustrent bien ceci en montrant que les points sont souvent au-dessus de la droite de pente .

### 3.5. Evolution spatiale des paramètres physicochimiques

Pour suivre l'évolution de quelques éléments en fonction de la distance à la mer, nous avons choisi les points d'eau suivant :

- F8 situé à 4.5 km de la mer
- F7 situé à 5 km de la mer
- F2 situé 5.5 km de la mer
- F3 situé à 6 km de la mer
- F5 situé à 6.5 km de la mer

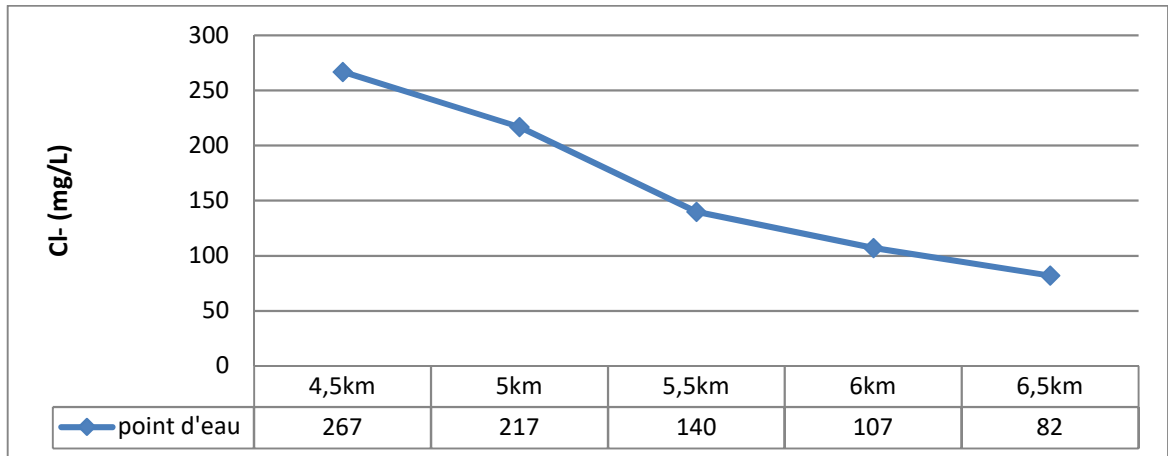
#### 3.5.1. Evolution spatiale de la conductivité



**Fig.57: Evolution de la conductivité en fonction de la distance à la mer.**

L'évolution de la conductivité électrique en fonction de la distance à la mer a montré une diminution générale au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la côte, à 4.5 Km de la ligne de rivage, la CE atteint les 2570 µS/cm quant à la faible valeur, elle a été observée à une distance de 6.5 Km vers l'amont ; elle est de 862 µS/cm. Ceci dénote une éventuelle intrusion marine vers les eaux de la nappe.

### 3.5.2. Evolution spatiale des teneurs en chlorures

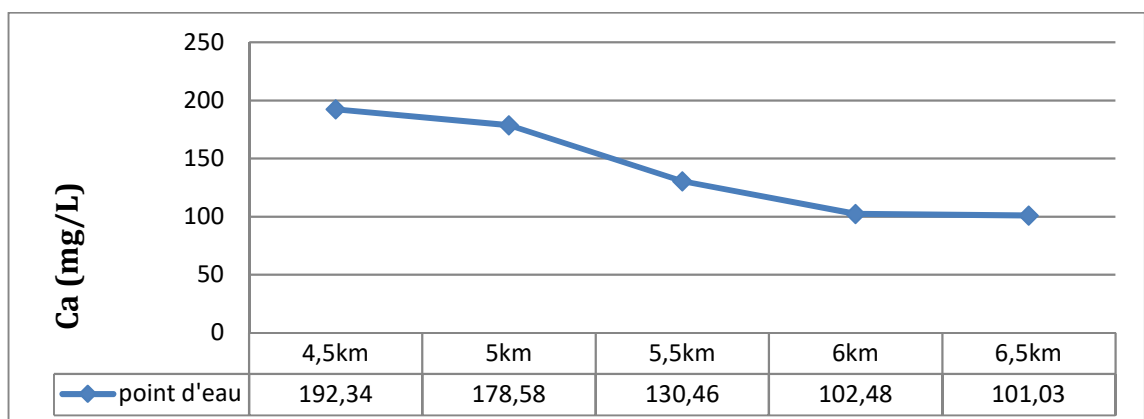


**Fig.58 : Evolution de la teneur en chlorures en fonction de la distance à la mer.**

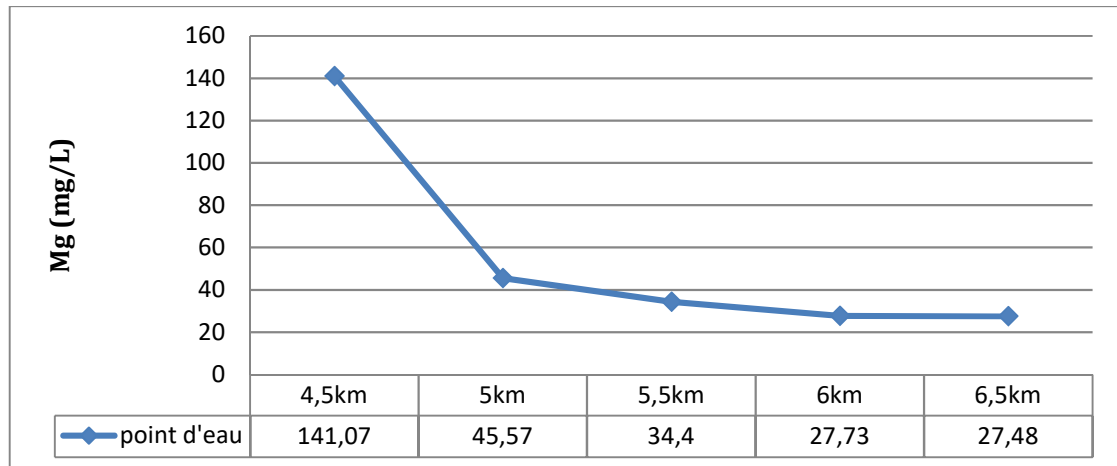
La courbe de la figure 58, montrent que les teneurs en chlorures augmentent de façon générale en se dirigeant vers la mer. A une distance de 4.5 km les concentrations atteignent 267 mg/l. Cette augmentation de la charge chlorurée des eaux en direction de la mer dénote une forte contribution des venues d'eau marine vers les nappes côtières sollicitées par des pompes intensifs pour l'irrigation et l'alimentation.

Les faibles teneurs sont observées en amont, à des distances importantes du rivage, elles oscillent autour de la teneur moyenne de 80 mg/l. cette évolution en profondeur des teneurs en chlorures est similaire à celle de la conductivité électrique, ce qui montre que celle-ci est déterminée essentiellement par les chlorures.

### 3.5.3. Evolution spatiale des teneurs en Calcium et en Magnésium



**Fig.59: Evolution de la teneur en calcium en fonction de la distance à la mer.**



**Fig.60: Evolution de la teneur en magnésium en fonction de la distance à la mer.**

Le calcium est un élément caractérisant les eaux douces ; il est lié généralement au lessivage des formations carbonatées. Dans la région étudiée, il provient de la dissolution des couches carbonatées (calcaire marneux et calcaire détritique). Par contre, le magnésium a pour origine principale le mélange des eaux salées marines riches en cet élément avec les eaux de la nappe.

L'examen des courbes des figures 59 et 60 montre que les concentrations du calcium varient de 192 mg/l à une distance de 4.5 km de la mer à 101 mg/l vers l'amont et que celles du magnésium augmente de 27.5 mg/l vers l'amont jusqu'à 140 mg/l vers la mer. Ceci montre bien que l'eau douce naturelle non polluée est riche en calcium et très pauvre en magnésium, l'inverse pour l'eau polluée par l'eau de mer.

### 3.6. Qualités des eaux pour l'alimentation en eau potable (AEP)

Rapport caractéristique de Todd  $rCl^- / rHCO_3^-$  : Une des méthodes les plus classiques pour déceler une contamination par l'eau de mer réside dans l'établissement du rapport  $RC = rCl^- / rHCO_3^-$ . Si :

**Tableau12 : (A) Le rapport caractéristique de Todd ( $rCl^- / rHCO_3^-$ ). (B) Les résultats du RC des eaux de la Mitidja**

Rapport	valeur	observation
<b>RC=</b>	$\leq 0.5$	l'eau est normale
	1.3	il y a une contamination légère par la mer
	2.2	il y a une contamination modérée
	6.6	la contamination est forte
	15.5	l'eau est très fortement contaminée
	20	c'est l'eau de mer contenant un peu d'eau douce

Points d'eau	RC	Observation
<b>F02</b>	0,27	Eau normale
<b>F03</b>	0,47	Eau normale
<b>F05</b>	0,31	Eau normale
<b>F07</b>	0,63	contamination légère
<b>F08</b>	1,03	contamination légère
<b>F09</b>	0,36	Eau normale
<b>F10</b>	0,19	Eau normale
<b>F15</b>	0,30	Eau normale
<b>F16</b>	0,20	Eau normale
<b>F18</b>	0,32	Eau normale

Le calcul du rapport du Todd pour l'ensemble des points d'eau montre :

- 8 échantillons dont les eaux sont normales.
- 2 échantillons dont les eaux sont légèrement contaminés.



## 4. Conclusion

L'intrusion saline dans la région d'étude a été prouvée par combinaison de plusieurs approches (géophysique, piézométrique, et hydrochimique).

L'étude géophysique en 2013 met en évidence une invasion marine vers la nappe côtière de la Mitidja Est, la zone contaminée s'étend depuis Bordj El Kiffan jusqu'à la rive droite de Oued El Hamiz, elle est caractérisée par une interface localisée à environ 3.5 Km vers l'intérieur.

L'étude piézométrique a montré une inversion de sens d'écoulement de la mer vers la nappe contrairement à l'état naturel de la nappe en 1983, due à la sécheresse et à la surexploitation des ressources souterraines par les forages de la SEAAL et les puits des paysans, on constate une baisse remarquable de niveau piézométrique ce qui fait appel à une intrusion marine vers la nappe côtière.

L'étude hydrogéochimique de la nappe de la Mitidja Est en Février 2017 montre la dominance des faciès bicarbonaté calcique avec une légère tendance de migration vers le chloruré calcique et le chloruré magnésien.

L'étude des rapports caractéristiques entre les éléments chimiques montre trois processus responsables de la salinisation des eaux de la nappe :

- l'intrusion d'eau marine dans la nappe le long de la partie littorale (biseau salé),
- la dissolution de la formation aquifère (carbonatée et évaporitiques),
- le retour des eaux d'irrigation chargées en sels dans les périmètres irrigués.

L'analyse de ces cartes, et les profils de la conductivité dans les points (PZ-B et F-17) confirme clairement que le front salé progresse dans une direction préférentielle et rejoint la trajectoire allant directement vers le champ de captage du Hamiz. Le rapport caractéristique de Todd souligne une légère contamination des forages (F7 et F8) par l'eau de mer.

Les résultats obtenus par ces méthodes ont permis de mettre en évidence cette intrusion marine. On peut estimer la limite de l'intrusion marine à une distance de 4 à 4,5 Km de la côte vers le champ de captage de Hamiz soit d'après les teneurs en chlorures dans la nappe côtière de la Mitidja Est.

***Conclusion générale  
et recommandations***

## **Conclusion générale**

La plaine de la Mitidja couvre une superficie de 1 450 km<sup>2</sup>. Cette plaine qui est située dans l'arrière-pays d'Alger. De l'ouest en est, la plaine traverse successivement les wilayas de Tipaza, de Blida, d'Alger, de Boumerdès et l'extrême nord-est de Médéa

La région d'étude présentée par la Mitidja orientale, fait partie du bassin versant de la Mitidja codé (02) par l'ANRH. La Mitidja Est, est Limitée par le Sahel au Nord l'Atlas Blidéen au Sud, Oued Reghaia à l'Est et El Harrach à l'Ouest. Leur climat est de type méditerranéen subhumide à deux saisons distinctes: une saison humide débutant au mois d'octobre qui se termine au mois de mai, et une saison sèche qui s'étale du mois de juin jusqu'au mois de septembre

Le système aquifère de la plaine de la Mitidja est constitué de deux aquifères séparés par la formation d'El Harrach, sauf dans la partie Est où ils sont en contact direct, ils s'agissent de :

- L'aquifère contenu dans les calcaires et grès de l'Astien.
- L'aquifère des alluvions du Quaternaire (Soltano-Tensiftien) qui reposent sur les marnes du Plaisancien formant la limite étanche de presque tout le bassin.

L'intrusion saline dans la région d'étude a été prouvée par combinaison de plusieurs approches (géophysique, piézométrique, et hydro chimique). Les résultats obtenus par ces méthodes ont permis de mettre en évidence cette intrusion marine.

L'interprétation des données des sondages électriques (2013), Indique que la zone affecté par l'intrusion marine est celle qui s'étend depuis Bordj El Kiffan jusqu'à la rive droite de Oued El Hamiz caractérisée par une interface localisée à environ 3.5 Km vers l'intérieur.

Dans le secteur côtier au niveau de la Baie d'Alger, la comparaison de l'état piézométrique récent (2014) avec celui de 1983 montre un recul important des isopièzes vers l'intérieur des terres, donc un abaissement du niveau de la nappe, avec inversement du sens d'écoulement, ce qui se traduit par l'avancé du front salé.

L'étude hydrogéochimique de la nappe de la Mitidja Est en Février 2017 montre la dominance de faciès bicarbonaté calcique dans 8 points et de faciès chloruré calcique et chloruré magnésien dans quelques points.

L'étude des rapports caractéristiques entre les éléments chimiques montre trois processus responsables de la salinisation des eaux de la nappe :

- l'intrusion d'eau marine dans la nappe le long de la partie littorale (biseau salé),
- la dissolution de la formation aquifère (carbonatée et évaporitiques),
- le retour des eaux d'irrigation chargées en sels dans les périmètres irrigués.

L'étude des courbes de l'évolution de CE, Cl<sup>-</sup>, Ca<sup>2+</sup> et Mg<sup>2+</sup> montrent que ces éléments accusent des valeurs importantes dans les eaux souterraines étudiées. L'évolution spatiale de ces éléments en direction de la mer, montre que les valeurs de CE, deviennent de plus en plus élevées. Ceci indique une potentielle invasion marine vers l'aquifère côtier. Ce phénomène est favorisé par les pompes intensives des nappes côtières surtout pendant ces périodes sèches.

Le rapport caractéristique de Todd souligne une légère contamination des forages (F7 et F8) par l'eau de mer. On peut estimer la limite de l'intrusion marine à une distance de 4 à 4,5 Km de la côte vers le champ de captage de Hamiz soit d'après la teneur en chlorures dans la nappe côtière de la Mitidja Est.

Le diagnostic actuel dans la région de la baie d'Alger, nous permet de conclure que l'intrusion marine est liée principalement à la surexploitation locale de la nappe ayant entraîné une augmentation de la salinité, notamment en direction du champ captant du Hamiz.

### **Recommandations**

L'intrusion marine est un phénomène irréversible pour cette raison on essaie de trouver des solutions afin de freiner ce phénomène. Les solutions sont multiples mais exigent des mesures à prendre avant d'envisager les solutions requises. Les solutions possibles de lutte contre l'intrusion marine, imposent des mesures à prendre tels que :

- Instaurer un suivi de l'évolution quantitative et qualitative à une échelle régionale par la mise en place d'un réseau de surveillance
- Faire une investigation complète des forages licites et illicites d'industrie et d'agriculture, les piquages d'eau d'AEP et leur quantification en mètre cube.
- Mise en place d'un plan de gestion de la ressource en eau souterraine qui pris en considération le bilan hydrogéologique de la nappe.
- Adopter de nouvelles techniques d'irrigation (la goutte à goutte par exemple) plus économiques de l'eau (pas de pertes par évaporation, fuites,...),
- Réduire la quantité d'eau qui ne sera pas prélevé dans la nappe dans le champ captant du Hamiz pour l'alimentation en eau potable, industrielle et d'irrigation.
- Assurer le volume d'eau suffisant et la ressource adéquate pour la recharge artificielle en nappe.
- Utilisation des ressources en eau non conventionnelles (eaux usées épurées et dessalement de l'eau de mer pour l'irrigation et la recharge.

# *Bibliographie*

## Bibliographie

- AIT OUALI, A.E.K. (2007).** Synthèse hydrogéologique et vulnérabilité à la pollution du système aquifère quaternaire de la Mitidja .Thèse Magistère. IST, USTHB. Algérie, 188 p.
- BELAIDI.M, D.MEKIDECHE, F.BERDJA (2010).** Note sur la lutte contre l'intrusion marine dans la baie d'Alger. Rapport ANRH.
- BELAIDI, M. RABHAOUI. H, (1995-2000).** Note sur l'évolution de la profondeur de la nappe de la Mitidja. Section surveillance des nappes. ANRH- Blida.
- BELAIDI, M. RABHAOUI. H, (2007).** Note sur l'évolution de la profondeur de la nappe et la qualité des eaux souterraines de la Mitidja. ANRH Blida.
- BELAIDI, M., RABHAOUI. H, (2005).** Annuaire de la nappe de la Mitidja. Rapport ANRH, Direction régionale centre, Blida, 14 p.
- BELAIDI. M., SALHI. H, (2005).** Le phénomène d'intrusion marine de la nappe de la Mitidja dans la baie d'Alger. Rapport ANRH.
- BELAIDI. M, SALHI. H, (2010).** Le phénomène d'intrusion marine de la nappe de la Mitidja dans la baie d'Alger. ANRH Blida. 19 p.
- BENNIE & PARTNERS, (1983).** Évaluation du système d'eau potable existant dans le grand Alger. ANRH d'Alger.
- BENZIADA, M, (1994).** Étude hydrogéologique et hydrologique de la plaine de la Mitidja Est : Application d'un modèle mathématique « ASM » au bassin côtier algérois .Algérie .Thèse doctorat en science de la terre. Université de Besançon.
- BEREGH, (2002).** Étude géophysique par les méthodes électriques et sismique réfraction dans la baie d'Alger. ANRH d'Alger.
- B. REMINI / LARHYSS JOURNAL, (2010),** la problématique de l'eau en Algérie du Nord. Département des Sciences de l'eau et de l'environnement, Faculté des sciences de l'ingénieur, université Saad Dahlab - Blida, Membre du laboratoire de recherche LARHYSS –Université de Biskra
- BOUTKHIL MORSLI, (2007).** Étude de l'intrusion marine et de ses répercussions sur la dégradation des sols : cas des zones côtières d'Alger Est
- CASTNAY, G, (1982).** Hydrogéologie : Principes et méthodes, Edition Dunod, Paris.
- DJEDIAT, Y, (1996).** Étude géologique et géotechnique de la Mitidja Nord oriental. Thèse de Magister, USTHB, Algérie, 106 p.
- DJOUJAR HALLAL, D, (2003).** Vulnérabilité et protection des régions côtières. Application aux alluvions de la Mitidja Orientale. Thèse de magistère, IST/USTHB/Alger.
- D. JAUFFRET, (2003).** Possibilités de recharge artificielle de la nappe alluviale de la Loire en Saône-et-Loire pour sécuriser l'alimentation en eau potable. , Mai 2003. Rapport final BRGM/RP- 53087-FR.
- FREDERIC BARREZ, (2006).** Essais de caractérisation hydro chimique verticale de la nappe de la Craie dans le secteur minier Carvin-Douai-Hénin Beaumont. Directeurs de thèse : **J. Mania et J.L. Mansy.** Université des Sciences et Technologies de Lille.
- GALIN, M., DELAUNAY, M. (1967).** Etude par prospection électrique de la plaine de la Mitidja, Compagnie Générale de Géophysique (C.G.G). Paris. Rapport. ANRH. Blida.



- GEOHYDROLIQUE, (1968-1972).** Etude hydrogéologique quantitative de la plaine de la Mitidja. Rapport de synthèse, 06 vol, DEMRH, Alger.
- GLANGEAUD, L, (1952).**Histoire géologique de la province d'Alger. IV congrès géologique international. Monographie région d'Alger. ANRH d'Alger. 148
- JO J.P. LABORDE, (2000).**Élément d'hydrogéologie de surface. Centre National de la Recherche Scientifique, Université de Nice - Sophia Antipolis
- KHADIJA KAID RASSOU, (2009).**Étude des interactions entre les eaux souterraines et les eaux de surface dans le bassin côtier d'oualidia, UNIVERSITÉ CADI AYYAD.
- MAKHLOUF N. (2011).**Cartographie et évolution de l'état actuel du biseau salé de la baie d'Alger et son impact sur l'AEP (champ de captage du Hamiz) et l'industrie (champ de captage de Rouiba).Thèse Magister l'Université USTHB Alger.
- MESBAH, M. (1989).**Contribution à l'étude hydrogéologique de la vallée de l'oued Nador. Région de Tipaza. Thèse doctorat 3<sup>eme</sup> Cycle. USTHB. Alger.
- MORSLI BOUTKHIL, (2007).**Étude de l'intrusion marine et de ses répercussions sur la dégradation des sols : cas des zones côtières d'Alger Est. BP. 88 Mansourah Tlemcen Algérie.
- BELAIDI. M, RABEHAOUI, H. (2007).** Note sur l'évolution de la profondeur de la nappe et la qualité des eaux souterraines de la Mitidja. ANRH Blida.
- SIR M MACDONALD & PARTNERS LIMITED, (1993).**Étude de l'aménagement hydro-agricole de la plaine de la Mitidja. Ministère de l'agriculture. ANRH d'Alger.
- SLIMANI.A, MAIZI.D, BELAIDI.M, ISSADI.A, (2013).** Etude géophysique du phénomène de l'intrusion marine dans la Mitidja Est (Baie d'Alger)
- TAKORABT. M, (2011).** Aquifère côtier en zone fortement urbanisée. Evolution du comportement hydrodynamique et hydro chimique : cas de la Mitidja orientale. Thèse Magister l'Université USTHB Alger.
- TREMOS, J-Y. (1961).**Contribution à l'étude hydrogéologique de la plaine de la Mitidja. Thèse doctorat 3<sup>eme</sup> Cycle, école des mines de Paris,
- TOUBAL A. C. DJOUDAR /HALLAL. D, (2009).**État actuel de l'invasion marine dans la baie d'Alger. École Nationale Supérieure de l'Hydraulique, B.P 31 09000 Blida, Algérie. 149
- TOUBAL A. C, (1998).** Apports de la géophysique à l'étude des problèmes d'hydrodynamique et d'invasion marine en milieu souterrain. Exemple des plaines d'Annaba, de la Mitidja et de la baie d'Alger. These de Doctorate - USTHB.

**SITES INTERNET :**  
<http://www.google.fr>

## Résumé

La plaine de la Mitidja est située dans l'arrière-pays d'Alger et couvre une superficie de 1 450 km<sup>2</sup>. Son système aquifère est constitué des alluvions du quaternaire et des formations gréseuses ou grésocalcaire du pliocène. L'interprétation des résultats des sondages électriques (2013), Indique que la zone affecté par l'intrusion marine est celle qui s'étend depuis Bordj El Kiffan jusqu'à la rive droite d'Oued El Hamiz. La comparaison de la piézométrie de 2014 avec celle de 1983 montre un abaissement du niveau de la nappe, avec inversement du sens d'écoulement. L'étude de l'évolution du chimisme des eaux de cette nappe (2017), conduit à conclure que la minéralisation de l'eau s'accroît vers la mer .Ce qui indique une potentielle invasion marine vers l'aquifère côtier.

**Mots clés:** Mitidja, Aquifère côtier, intrusion marine, piézométrie, sondage électrique, chimisme des eaux.

## Abstract

The plain of Mitidja is located in the hinterland of Algiers and covers an area of 1,450 km<sup>2</sup>. Its aquifer system consists of the alluvium of the quaternary and of the sandstone or Greece-limestone formations of the pliocene. The interpretation of the geophysical data result's (2013) indicates that the area affected by the marine intrusion is that which extends from Bordj El Kiffan to the right bank of Oued El Hamiz. The comparison of the piezometry of 2014 with that of 1983 shows a lowering of the level of the aquifer, with a reversal of the flow direction. The study of the evolution of the water chemistry of this aquifer (2017) leads us to conclude that the mineralization of water is accentuated towards the sea .this indicates a potential marine invasion towards the aquifer coastal.

**Key words:** Mitidja, Coastal aquifer, marine intrusion, piezometry, geophysics, water chemistry.

## ملخص

يقع سهل المتيجة في المنطقة الساحلية الشرقية للجزائر العاصمة وتغطي مساحة 1450 كم<sup>2</sup>. يتكون نظام المياه الجوفية بها من تكوينات جيولوجية من الترسب الطيني للحقبة الرابعة وتكوينات من الحجر الرملي و الحجر الجيري البليوسيني. تحليل تسجيلات السبر الكهربائي لسنة 2013 تشير إلى أن المنطقة المتضررة من تسرب مياه البحر هي التي تمتد من برج الكيفان إلى الضفة اليمنى من واد الحمير. مقارنة الخريطة البيزومترية لسنة 1983 مع الخريطة البيزومترية لسنة 2014 تدل على انخفاض مستوى المياه الجوفية و تغير اتجاه التدفق و الذي نتج عنها اجتياح مياه البحر للخزان المائي في المناطق الساحلية. الدراسة الكيميائية للمياه الجوفية سنة 2017 , تؤدي الى استنتاج مفاده أن تراكيز العناصر الكيميائية ترتفع في اتجاه البحر, الذي يشير إلى وجود إمكانية تسرب مياه البحر إلى المياه الجوفية الساحلية.

**كلمات البحث :** المتيجة, المياه الجوفية الساحلية, تسرب مياه البحر, البيزومترية, السبر الكهربائي, كيمياء المياه .