

**UNIVERSITE SAAD DAHLAB – BLIDA 1**

**Faculté de Technologie**

Département des Sciences de l'Eau et Environnement



## **MEMOIRE DE MASTER**

Filière: **Hydraulique**

Spécialité : **Ressources Hydrauliques**

Thème:

### **Etat de l'intrusion marine dans la baie d'Alger et moyens de lutte contre le phénomène**

Présenté par

**RAGUI Zakaria**

Devant le jury composé de :

M <sup>me</sup> BOUZDOUIDJA S.	M.A.A , USDBlida 1	Présidente
M KHOULI M.R.	M.A.A , USDBlida 1	Examineur
M <sup>me</sup> TAIBI-FEDDAL S.	M.C.B , USDBlida 1	Promotrice
M GUENDOUZ A.	Pr , USDBlida 1	Co-Promoteur

Promotion 2018/2019

# Remerciement

*Ce mémoire, ne pourrait exister sans l'aide et l'encouragement d'un certain*

*nombre de personne qui m'ont accompagné tout au long de mon parcours*

*Tout d'abord, je tiens à a remercie mes deux encadreur, Madame*

*TAIBI-FEDDAL Sabrina et Monsieur GUENDOUZ Abd-El-Hamid*

*pour avoir accepté de diriger ce travail, pour ces précieux conseils et sa*

*disponibilité et surtout pour son soutien tout le long de ce travail.*

*Je tiens à dresser mes vifs remerciements au membre de jury qui ont*

*accepté d'examiner mon travail de projet fin d'étude.*

*Je remercie aussi tout le personnel de l'ANRH pour la collecte des*

*données nécessaire à cette étude.*

*Je remercie l'ensemble des enseignants du département des Sciences de*

*l'Eau et Environnement. (Team H<sub>2</sub>O)*

## إهداء

الْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي بِنِعْمَتِهِ تَتِمُّ الصَّالِحَاتُ ..

أولاً و قبل كل شيء أودُّ أن أشكر الله على توفيقه لي فيما أردت، أما بعد ..

أهدي هذا العمل المتواضع،

لكل من أمي و أبي ، لكما كل الفضل على كل ما أنجزت ، فلولاكما لست ما أنا عليه اليوم.

حفظكما الله و رزقكما جنات النعيم ، ربي ارحمهما كما ربياني صغيرا ..

إلى إخوتي ، حمزة، عائشة و خديجة. و إلى أبنائهم، نور هان ، نسيم و قصي..

إلى كل شخص ساهم من أجلي و لو بكلمة معروف ، قريبا كان أم بعيد، أدعو الله أن يسخر

لك أناسا ليسهلوا لك ما أنت مدركه.

إلى كل صديق ، أخ و أخت .. لكل من أحب و من يحبني .. حفظكم و أحبكم الله الذي

أحبيتموني فيه.

إلى نفسي "صعبة الإرضاء" شكرا لأنك كذلك. لا تحزني لأن الله لا يكلف نفسا إلى وسعها.

بدون ذكر الأسماء ، أشكركم جميعا و بدون إستثناء.

و السلام عليكم و رحمة الله.

#آل-راقي\_كلام\_من\_القلب.

## ملخص

تعتبر المياه الجوفية أحد المصادر الرئيسية لتغذية الإنسان بالمياه العذبة من أجل مختلف نشاطاته، الفلاحية منها، الصناعية و الموجه للاستعمال المنزلي (المياه الصالحة للشرب). و نظرا للاستغلال المفرط لهاته للمياه، فإن منسوب هذه الأخيرة في انخفاض مستمر، مسببة ظاهرة تسمى بتسرب مياه البحر، تؤدي هذه الظاهرة إلى اختلاط المياه المالحة مع المياه العذبة الساحلية بسبب تغيير اتجاه التدفق مشكلة لنا خليط من المياه العذبة و المالحة التي يمكن أن تتقدم مئات الأمتار عن حالتها الطبيعية. كما هو الحال بالنسبة لخليج الجزائر. و في هذا السياق قمنا بهذا العمل الذي يتلخص في دراسة حالة تسرب مياه البحر نحو المياه الجوفية عبر دراسة العوامل الكيميائي ة و العوامل الهيدرودينامية لتحاليل العينات المأخوذة خلال ثلاث سنوات (2014-2015-2016) لمختلف نقاط المراقبة التي تقوم بها الوكالة الوطنية للموارد المائية. نتائج التحاليل أثبتت ملوحة المياه الجوفية مما يؤكد أن هذه الظاهرة لا تزال قائمة في المنطقة. مما يدل الوسائل المستعملة للحد من تقدم منسوب مياه البحر في المنطقة تبقى غير كافية. و بالتالي يستوجب التطرق لتقنيات أخرى تكون بدورها ملائمة للحد من هذه ظاهرة كما نوضحه في هذا العمل.

الكلمات المفتاحية :

المياه الجوفية ، الاستغلال المفرط ، تسرب مياه البحر ، سهل المتيجة، العوامل الكيميائي و الهيدرودينامية.

## Résumé

Les eaux souterraines constituent une des sources primordiales pour répondre aux besoins en eau domestiques, agricoles et industrielles. Toutefois leur surexploitation devient néfaste lorsque ces eaux sont mélangées aux eaux salées à cause de l'intrusion marine. C'est le cas de la baie d'Alger. C'est dans ce contexte que s'inscrit ce travail qui consiste à étudier l'évolution de l'intrusion marine dans la baie d'Alger par les approches chimiques et physiques utilisées pour l'analyse des mesures effectuées aux cours de trois années de campagnes (2014-2015-2016). Les résultats ont mis en évidence la présence d'un concentration considérable en sels ce qui montre la persistance du phénomène dans la région. Les mesures de lutte contre l'intrusion marine étant insuffisants, il convient de tenir compte d'éventuelles techniques et méthodes pour limiter la surexploitation de la nappe. A cet effet ce travail illustre un ensemble de moyens qui permettent d'atténuer ce phénomène.

mots-clé :

Surexploitation, Intrusion marine, Approches chimiques et physiques, Les eaux souterraines, la plain de Mitidja.

## **Abstract**

Groundwater represent the main source for human activities, domestic, agricultural and industrial uses. However, the over-exploitation of ground waters becomes harmful when they are mixed with salt water due to sea intrusion phenomenon. That's the case of the bay of Algiers. This work aim to study the evolution of sea intrusion in the bay of Algiers according to both chemical and physical approaches used for the analysis of the measurement made during three years (2014-2015-2016). Results shows that the ground waters are always salty, which highlights the persistence of the phenomenon in the study area. As measures to deal with sea intrusion are insufficient, we should find other methods to limit the over exploitation of water table. For this purpose, this work illustrates a set of means that can reduce the impact of this phenomenon.

keywords :

Over-exploitation, Groundwater, sea-intrusion, Chemical and physical approaches, The plain of Mitijda.

## Table des matières

ملخص

Résumé

Abstract

Table des matières

Liste des Figure

Liste de tableaux

Introduction générale

### Chapitre I: Présentation du phénomène de l'intrusion marine

Introduction.....	1
I.1. Mécanisme de l'intrusion marine.....	1
I.1.1.Description d'un aquifère côtier.....	1
I.1.2.Définition de l'intrusion marine.....	1
I.1.3Le biseau salé.....	2
I.2.Généralités sur les mécanismes de l'intrusion marine.....	2
I.3.La méthodologie.....	7
I.4.Les logiciels utilisés.....	8
I.5.Historique de l'intrusion marine.....	12
I.5.1.phénomène de l'intrusion marine dans le monde.....	12
I.5.2.Phénomène de l'intrusion marine en Algérie.....	13
Conclusion.....	13

### Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

Introduction.....	14
II.1.Situation géographique de la zone d'étude.....	14
II.2.Aspect hydrographique.....	15
II.3.Les paramètres géomorphologiques.....	16
II.4.Etude hydroclimatologique.....	17
II.5.Etude géologique.....	22
II.6.Etude hydrogéologique.....	26
II.6.1.Etude des caractéristiques hydrodynamiques.....	28
II.6.2.Les mécanismes d'alimentation et d'écoulement des nappes.....	29
II.6.3.Bilan entrant et sortant des aquifères.....	30
Conclusion.....	31

### **Chapitre III: Evolutions spatio-temporelle des paramètres physico-chimiques dans la baie d'Alger**

Introduction.....	32
III.1.Approche chimique.....	33
III.1.1.Le pH.....	33
III.1.2.Faciès chimiques.....	33
III.1.3.L'indice de saturation (Is).....	39
III.1.4.Les couples chimique.....	41
III.1.5.Cartes Iso-Teneur.....	47
III.2.Approche hydrodynamique.....	51
Conclusion.....	54

### **Chapitre IV: Lutte contre l'intrusion marine**

Introduction.....	56
IV.1.Les méthodes de lutte contre l'intrusion marine.....	56
IV.2.Les méthodes mises en place pour la lutte contre l'intrusion marine dans la baie d'Alger.....	61
IV.3.Propositions de méthodes de lutte contre l'intrusion marine dans la baie d'Alger.....	65
Conclusion.....	74
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>75</b>
<b>bibliographie.....</b>	<b>76</b>
<b>Annexes</b>	

## Liste des Figure

Figure 1: Schéma représentatif du biseau salé dans son état avancé ( phénomène de l'intrusion marine) .....	3
Figure 2: Schéma représentatif du biseau salé dans son état naturel. ....	4
Figure 3: La relation eau douce/salée dans un aquifère côtier .....	4
Figure 4: Schéma hydrodynamique d'un aquifère côtier à nappe libre.....	7
Figure 5: Interface du logiciel "DIAGRAMMES" .....	9
Figure 6: Interface du logiciel "Surfer" .....	9
Figure 7: Interface du logiciel "ArcMap" .....	10
Figure 8: Interface du logiciel "Google Earth Pro".....	10
Figure 9: Interface du logiciel "Global Mapper" .....	11
Figure 10: Interface du logiciel "Sketchup" .....	11
Figure 11: régions touchées par l'intrusion marine. ....	12
Figure 12: Situation géographique de la zone d'étude. ....	14
Figure 13: Répartition des sous bassins versants dans la plain de Mitidja Est et les principaux cours d'eau dans la région .....	15
Figure 14: Histogramme des précipitations moyennes mensuelles des stations de Mitidja Est. ....	18
Figure 15: Histogramme des précipitations moyennes annuelles des stations de Mitidja Est (Arbaa et D.E.B). ....	18
Figure 16: Histogramme des précipitations moyennes annuelles des stations de Mitidja Est ( El-Hamiz et Réghaïa).....	18
Figure 17: Carte morphogéologique du bassin de la Mitidja et ses environs. ....	22
Figure 18: Carte géologique de la Mitidja Est. ....	23
Figure 19: Coupes géologique au niveau de la Mitidja .....	24
Figure 20: Log-litho stratigraphique de la plaine de la Mitidja .....	25
Figure 21: Schéma du système aquifère de la Mitidja.....	26
Figure 22: Localisation des dunes côtières .....	27
Figure 23: Répartition des piézomètres pour l'analyse chimique sur la carte topographique de la baie d'Alger. ....	32
Figure 24: Diagramme de Piper. ....	33
Figure 25: Diagramme de Piper: hautes et basses eaux 2014. ....	34
Figure 26: Diagramme de Piper: hautes et basses eaux 2015. ....	35
Figure 27: Diagramme de Piper: hautes et basses eaux 2016. ....	36

Figure 28: Diagramme Schoeller-Berkaloff .....	37
Figure 29: Diagrammes de Schoeller-Berkaloff: hautes et basses eaux (2014-2015-2016).....	38
Figure 30: Indice de saturation 2014.....	39
Figure 31: Indice de saturation 2015.....	40
Figure 32: Indice de saturation 2016.....	40
Figure 33: Graphs Na-Cl (2014-2015-2016). .....	41
Figure 34: Graphs K-Cl (2014-2015-2016). .....	42
Figure 35: Graphs Ca-Cl (2014-2015-2016).....	43
Figure 36: Graphs TDS-Cl (2014-2015-2016).....	44
Figure 37: Graphs NO <sub>3</sub> -Cl (2014-2015-2016). .....	45
Figure 38: Graphs Ca-SO <sub>4</sub> (2014-2015-2016). .....	46
Figure 39: Cartes iso-teneur en chlorures (2014-2015-2016).....	47
Figure 40: Cartes iso-teneur en conductivité (2014-2015-2016).....	48
Figure 41: Cartes iso-teneur en salinité (2014-2015-2016). .....	49
Figure 42: Cartes iso-teneur en sodium (2014-2015-2016).....	50
Figure 43: Répartition des piézomètres sur la carte topographique de la baie d'Alger.....	51
Figure 44: La piézométrie de Mitidja Est (mai 2014).....	52
Figure 45: La piézométrie de Mitidja Est (octobre 2014).....	52
Figure 46: La piézométrie de Mitidja Est (mai 2015).....	53
Figure 47: La piézométrie de Mitidja Est (mai 2016).....	53
Figure 48: La piézométrie de Mitidja Est (novembre 2015).....	53
Figure 49: La piézométrie de Mitidja Est (octobre 2016).....	53
Figure 50: Localisation des cas recensés de recharge de nappe dans le monde. ....	55
Figure 51: Un retenue collinaire dans un espace vert. ....	56
Figure 52: Schéma simplifié de recharge par bassin d'infiltration.....	57
Figure 53: Aménagement d'oued dans le but d'augmenter la surface et le taux d'infiltration. ....	58
Figure 54: Méthode de recharge artificielle par puits. ....	58
Figure 55: Vue amont de la retenue en BIG-BAG.....	61
Figure 56: Système des grands bassins a l'amont de l'oued El-Harrach .....	61
Figure 57: Résultats du scénario de référence à l'horizon 2020.....	63
Figure 58: Résultats du scénario de la baisse des prélèvements de 30% sur le champ captant Hamiz à l'horizon 2020 .....	64
Figure 59: Résultats du scénario d'infiltration/injection en nappe à l'horizon 2020 .....	64
Figure 60: Sites appropriés à la mise en place des puits d'injection. ....	66

Figure 61: Les sites appropriés pour les puits d'injection dans la région El-Hamiz.....	67
Figure 62: Les sites appropriés pour les puits d'injection dans la région El-Harrach.....	67
Figure 63: Sites appropriés à la mise en place des bassins d'infiltration .....	68
Figure 64: Les sites appropriés pour les bassins d'infiltration dans la région El-Hamiz.....	69
Figure 65: Les sites appropriés pour les bassins d'infiltration dans la région El-Hamiz.....	69
Figure 66: Schéma: correction de la pente.....	70
Figure 67: Digue de 3 mètres dans l'oued.....	70
Figure 68: Gabions placés dans l'oued.....	70
Figure 69: Elargissement de la section mouillée du lit mineur au lit majeur.....	71
Figure 70: Retenue collinaire d'El Maâmria Tablat.....	71
Figure 71: Schéma représentative de paroi moulée .....	72
Figure 72: Les étapes de réalisation d'une paroi moulée .....	73
Figure 73: tracé du paroi moulée.....	74

## Liste de tableaux

Tableau 1: Paramètres géométriques, de forme et de relief des sous bassins versants (O. El-Hamiz et O. El-Harrach) (ANRH).....	16
Tableau 2: Caractéristiques des stations pluviométriques (ANRH).....	17
Tableau 3: Calcul de la lame précipitée de la période (1980-2017)méthode arithmétique .....	20
Tableau 4: Calcul de la lame précipitée par méthode Thiessen période (1980-2017).....	21
Tableau 5: Résultats des précipitations obtenus par les deux méthodes.....	21
Tableau 6: La transmissivité dans la Mitidja (ANRH).....	28
Tableau 7: Coefficient d'emmagasinement dans la Mitidja.....	28
Tableau 8: Coefficient d'emmagasinement Mac Donald et Partners, (Février 1992).....	28
Tableau 9: Bilan d'eau de la nappe de l'astien (Bennie, et al., 1983).....	30
Tableau 10: Bilan d'eau de la nappe de la Mitidja (Mac, et al., 1992).....	30
Tableau 11: Débits sortants de la nappe de Mitidja (Bennie, et al., 1983).....	31

# **INTRODUCTION GENERALE**

## Introduction générale

L'eau est l'élément essentiel pour la vie de l'être humain, la faune et la flore; L'être vivant dépend des ressources naturelles, ces dernières existent depuis toujours sous forme solide, liquide et vapeur. Ces trois types forment le cycle d'eau qui représente 72% de la surface de la terre. 97.2% correspond à l'eau salée et uniquement 2.8% correspond à l'eau douce. soit 25% de cette dernière est disponible sous forme de ressources surfaciques ou souterraines. D'après (Eurostat 2002) L'estimation de la ressource en eau mondiale est passée de 17000 m<sup>3</sup>/personne/an en 1950 à 7500 m<sup>3</sup>/personne/an en 1995, cette diminution est due à plusieurs facteurs, les plus essentiels sont le changement climatique et la croissance démographique.

La disponibilité des eaux superficielles a diminué sévèrement depuis la moitié du 20<sup>ème</sup> siècle, ce qui a poussé les gestionnaires des ressources en eau à utiliser les eaux souterraines pour compenser le déficit. En temps normal, l'exploitation des nappes génère un rabattement qui est récupéré par sa recharge naturelle, mais vu la situation actuelle de surexploitation de la nappe, il devient impossible d'équilibrer le système.

Au niveau des régions côtières, compte tenu des conditions climatiques (sécheresses) et afin de subvenir aux besoins en eau d'une forte population, l'exploitation intensive des aquifère sa engendré un rabattement critique qui a créé à son tour une différence de charge hydraulique entre les eaux douces et les eaux salées. Cette différence de chargea provoqué l'avancé des eaux de mer vers l'aquifère côtier, on assiste alors au phénomène dit « intrusion marine », c'est le cas de la baie d'Alger.

L'intrusion marine a touché de manière significative la nappe de la Mitidja au niveau de la baie d'Alger particulièrement dans sa partie orientale. Les études déjà menées ont montré à la fois une baisse critique du niveau de la nappe caractérisée par une forte concentration en sels, ce qui la rend impropre à la consommation. Cette situation a poussé les gestionnaires des ressources en eau à prendre les mesures nécessaires pour atténuer ce phénomène.

Toutes fois, ses mesures, ont-elles été suffisantes pour remédier à ce phénomène irréversible ? C'est dans ce contexte que s'inscrit notre travail qui vise à analyser l'évolution spatio-temporelle de l'intrusion marine à l'Est de la baie d'Alger et proposer à cet effet des mesures de lutte contre le phénomène.

Pour ce faire, notre travail s'organise comme suit :

- Le premier chapitre s'intéresse au phénomène de l'intrusion marine dans le monde, son mécanisme, ses causes, ainsi que la méthodologie adoptée pour étudier ce phénomène au niveau de la baie d'Alger.
- Le deuxième chapitre présente une description de la zone d'étude et ses caractéristiques hydroclimatologiques, hydrographiques, géomorphologiques, géologiques et hydrogéologiques nécessaires à la compréhension du fonctionnement du système hydrologique et hydrogéologique dans la baie d'Alger.
- Le troisième chapitre s'intéresse au traitement des données collectées par l'ANRH au sein de la zone d'étude au cours des campagnes de mesures des trois années (2014-2015-2016) en période des hautes eaux et basses eaux. Les approches chimiques et physiques sont utilisées pour analyser l'évolution spatio-temporelle de l'intrusion marine dans la zone d'étude.
- Le quatrième chapitre expose les différentes méthodes de la lutte contre l'intrusion marine, celles qui sont déjà adoptées pour le cas de la baie d'Alger ainsi que d'éventuelles techniques que nous proposons pour atténuer ce phénomène dans la zone d'étude.

**CHAPITRE I:**  
**PRESENTATION DU PHENOMENE**  
**DE L'INTRUSION MARINE**

# Chapitre I: Présentation du phénomène de l'intrusion marine

## Introduction

Ce chapitre décrit en premier lieu le phénomène de l'intrusion marine, ces mécanismes et ses causes et présente en deuxième lieu, la méthodologie adoptée ainsi que les logiciels utilisés pour étudier ce phénomène .

### I.1. Mécanisme de l'intrusion marine

#### I.1.1. Description d'un aquifère côtier

Un aquifère côtier est une formation géologique (poreux ou fissurée) qui est en contact généralement avec la mer, donc un aquifère côtier est l'ensemble aquifère/mer. Ce dernier est séparé par la différence de densité entre l'eau douce et l'eau salée, cette différence produit un équilibre hydrostatique traduit en un interface d'eau douce/salée dans le littoral où le niveau piézométrique de l'eau douce est en dessus de niveau de la mer (cote  $z = 0$  m) dans les conditions naturelles.

#### I.1.2. Définition de l'intrusion marine

le phénomène de l'intrusion marine est un processus actif qui correspond à un déséquilibre hydrodynamique entre l'eau douce et l'eau salée (eau de mer) par une différence de densité entre elles, car l'eau de mer est plus dense que l'eau douce (+35g/l de sels), et à cause du baissment de niveau statique de la nappe côtière par rapport au niveau de la mer, ce déséquilibre se traduit par une avancée de l'eau de mer vers l'aquifère côtier, par conséquent la contamination des eaux douces de la nappe.

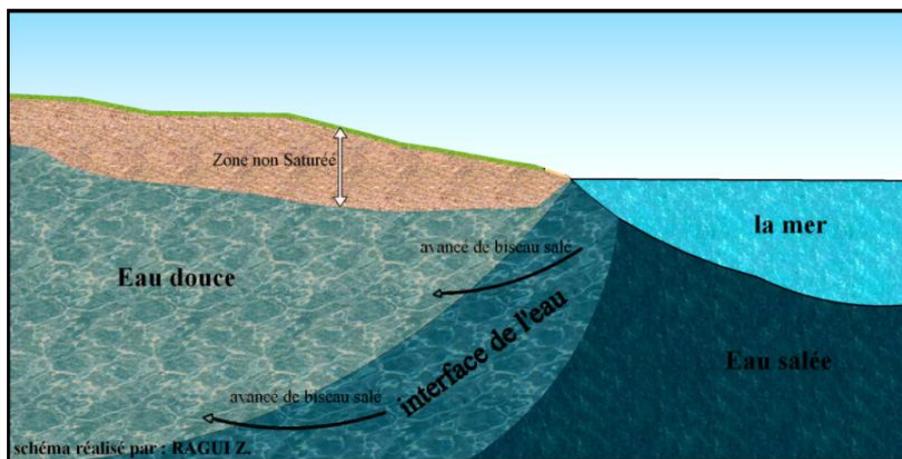


Figure 1: Schéma représentatif du biseau salé dans son état avancé ( phénomène de l'intrusion marine).

### I.1.3. Le biseau salé

Lorsque l'eau de mer se pénètre dans l'aquifère côtière à cause d'un déséquilibre hydrostatique, elle va se créer une masse d'eau saumâtre, cette masse d'eau est définie par un biseau salé (Figure 2), elle est donc l'interface d'eau douce/salée.

On peut avoir un biseau salé de quelques mètres dans les cas normales, comme il peut être un biseau salé de dizaine de mètres dans les cas critiques..

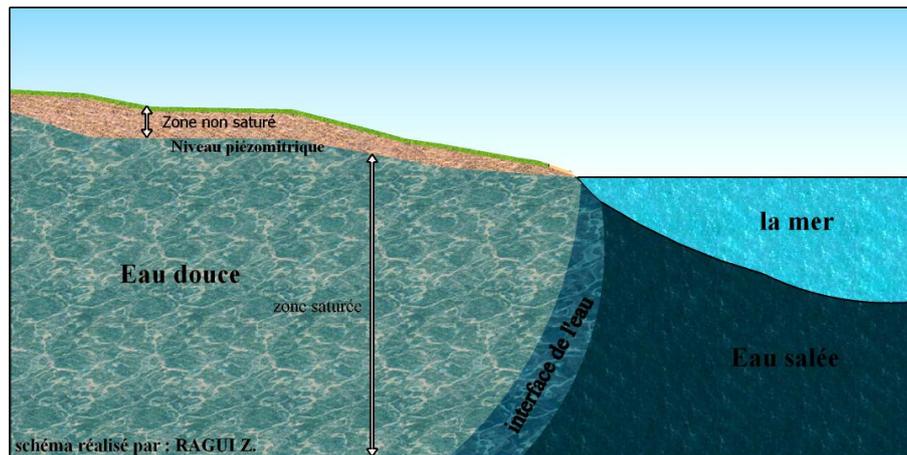


Figure 2: Schéma représentatif du biseau salé dans son état naturel.

### I.2. Généralités sur les mécanismes de l'intrusion marine (Achouri, 2016)

La transition entre l'eau douce et l'eau salée s'effectue relativement brusquement sur une certaine épaisseur ne dépassant pas quelques mètres. Les deux liquides miscibles se trouvent ainsi séparés par une zone qui est souvent assimilée à une interface abrupte limitant un biseau d'eau salée dont la pente est inclinée vers le continent (Figure 3).

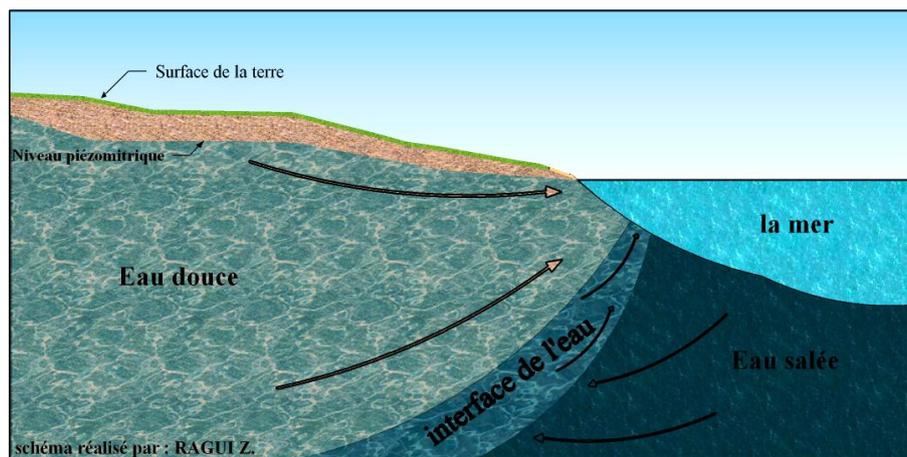


Figure 3: La relation eau douce/salée dans un aquifère côtier (Ledoux, 1986) (modifiée)

L'existence et l'évolution spatio-temporelle de la zone de transition dépendent à la fois des facteurs hydrodynamiques et géométriques suivants (Bonnet in, 2016) (Ledoux, 1986):

- Les fluctuations naturelles à la fois du niveau de la nappe (variations saisonnières) et du niveau marin (marées) qui provoquent un mélange des eaux douces et marines par déplacement de l'interface.
- La différence de densité entre les deux liquides qui tend à maintenir le sel en profondeur.
- La diffusion moléculaire du sel dans l'eau douce qui tend à diminuer les contrastes de la concentration ( $2.10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  pour les chlorures). Elle correspond à la dispersion physico-chimique.
- La dispersion (mécanique ou cinématique) due à l'écoulement le long de l'interface ; elle se traduit par la formation de zone de mélange de l'eau douce et de l'eau salée marine. Elle s'exprime quantitativement par les coefficients de dispersion intrinsèque (longitudinal et transversal) ;
- La porosité et la perméabilité de l'aquifère côtier ;
- La géométrie de l'aquifère ;
- Le débit de la nappe, lui-même fonction des facteurs précédents. L'envahissement progressif de l'aquifère par des venues d'eau marine dépend du débit d'écoulement de la nappe qui tend à entraîner un nettoyage permanent du système aquifère côtier.

### **I.2.1. Rôle des facteurs hydrodynamiques et de l'exploitation** (Achouri, 2016)

On doit à Ghyben-Herzberg (1901) l'explication du phénomène d'invasion marine des aquifères côtiers exprimée par la relation entre la charge d'eau douce ( $h$ ) au-dessus du niveau moyen de la mer et la profondeur ( $h_s$ ) de l'interface eau douce-eau salée sous le niveau de la mer (Figure IV.2).

L'équation de Ghyben-Herzberg s'écrit sous la forme suivante :

$$h_s = h \frac{\rho}{\rho_s - \rho}$$

où :

$\rho$  : la masse volumique de l'eau douce ( $1 \text{ g/cm}^3$ ) ;

$\rho_s$  : la masse volumique de l'eau salée (en moyenne  $1,025 \text{ g/cm}^3$ ).

$h_s$  : la profondeur du biseau sous le niveau marin

$h$  : la hauteur piézométrique mesurée à partir du niveau marin

Pour ces valeurs de densité , la profondeur de l'interface sous le niveau de la mer s'écrit sous la forme :  $h_s \approx 40 * h$

Cette expression montre qu'en fonction de la différence de densité des deux liquides, la position et la profondeur de l'interface est déterminée par la hauteur d'eau douce au-dessus du niveau moyen de la mer (hauteur piézométrique de la nappe).

Cependant, cette formule doit être utilisée avec précaution car elle suppose des conditions hydrostatiques et un régime permanent très rarement réunis dans la nature.

Il existe d'autres formulations pour étudier les phénomènes d'intrusion marine. On peut citer par exemple celle de Todd (1980) qui dérive de la loi de Darcy et s'écrit sous la forme :

$$Q = 0.5 * \left( \frac{\rho_s - \rho}{\rho} \right) * K * \frac{b}{L}$$

où :

Q : le débit d'eau douce s'écoulant vers la mer (m<sup>3</sup>/s) ;

K : la perméabilité de l'aquifère côtier (m/s) ;

b : l'épaisseur saturée de la nappe libre (m) ;

L : la longueur de l'intrusion marine dans l'aquifère côtier.

En d'autres termes, cette équation montre que la longueur de la pénétration du biseau salé vers les terres dépend fortement de la perméabilité des terrains aquifères en contact direct avec la mer et de la puissance de la zone saturée en eau. Elle est par contre inversement proportionnelle au débit de l'écoulement souterrain vers la mer.

Il en ressort que la longueur de l'invasion marine vers l'aquifère côtier est importante dans le cas où le débit de la nappe est faible et quand la perméabilité du secteur littoral est élevée.

Par contre, dans le cas d'un aquifère peu perméable avec un débit d'écoulement souterrain élevé c'est-à-dire avec des gradients hydrauliques importants ou une grande épaisseur saturée, la pénétration des eaux salées vers le continent est faible voire peu significative.

Les équations précédentes ont montré que la longueur de l'intrusion marine dépend du débit d'écoulement souterrain. En effet, toute exploitation intensive en zone littorale au-dessus des réserves souterraines, diminue le débit de la nappe vers la mer qui constitue son exutoire et provoque un déplacement de la zone de transition eau douce/eau marine vers l'intérieur des terres.

D'une manière générale, le débit d'exploitation d'un aquifère côtier doit être compatible avec le taux d'alimentation de la nappe.

Une remontée de la zone de transition peut apparaître même si la nappe n'est pas régionalement surexploitée. Ils s'agit d'une remontée locale de l'interface entre les deux liquides sous les puits de sorte que l'eau salée atteint les crépines des ouvrages : phénomène connu sous le nom "d'upconing" (Beer, 2011). Il en découle une pollution importante des eaux pompées par les sels marins.

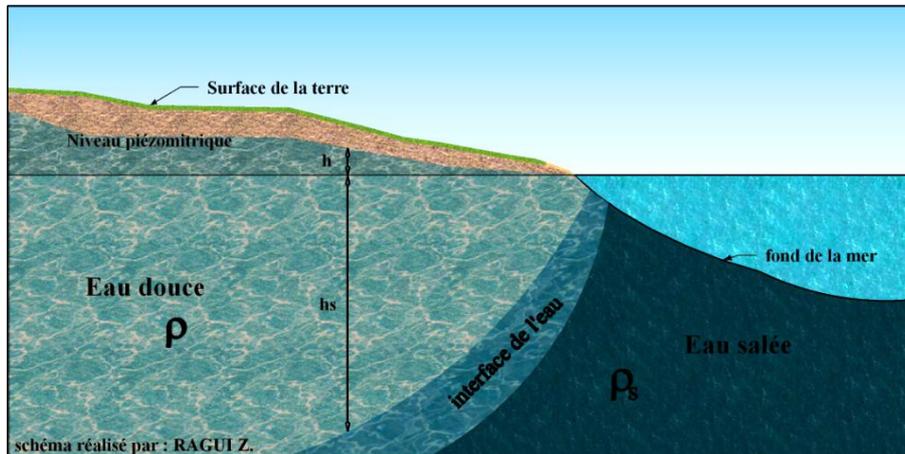


Figure 4: Schéma hydrodynamique d'un aquifère côtier à nappe libre selon la relation de Ghyben-Herzberg (modifiée)

### I.3. La méthodologie

La méthodologie adoptée dans notre travail consiste à :

- Tout d'abord, traiter et sélectionner une base de données qui contient les analyses des prélèvements faits par l'ANRH afin d'étudier le cas de l'intrusion marine.
- Etudier les facteurs hydrodynamiques qui peuvent influencer l'intrusion marine.
- Déterminer les propriétés géochimiques à travers une base de données de 3 années (2014-2015-2016) dans le but d'améliorer la connaissance sur l'origine de la salinisation ainsi que l'évolution spatio-temporelle de l'intrusion marine dans la baie d'Alger
- Elaborer des graphs (x,y) pour les relations binaires entre les éléments chimiques (les ions) qui existent dans l'eau de l'aquifère (eau douce) et faire une comparaison avec l'eau de mer.
- Déterminer la limite de l'interface d'eau douce/salée dans la zone d'étude ( la baie d'Alger).

pour se faire il est nécessaire de tenir compte de certains critères indispensables dans la réalisation de notre travail:

- **Condition géologique:**

La description de la zone géologiquement de côté lithologique et stratigraphique et aussi la délimitation de géologique de l'aquifère permettent d'identifier la situation de biseau salé et l'état de l'intrusion marine..

- **Condition hydrodynamique:**

La réalisation des cartes piézométriques nous permettent de définir le sens d'écoulement de la nappe ainsi que l'état de l'intrusion marine pour les différentes d'années.

- **Condition géophysique:**

L'étude géophysique est elle qui nous permet de déterminer la résistivité de milieu et donne une approximation de la zone touchée par l'invasion saline à l'aide de la géophysique on peut faire une comparaison de l'évolution de la salinité dans des puits, des forages ou des piézomètres d'observations entre les basses eaux et les hautes eaux pour les 3 années d'études (2014-2015-2016).

- **Condition hydrochimique:**

L'analyse des éléments chimiques (les anions et les cations) et faire l'étude de quel rapport et relation binaire entre les éléments majeurs..

L'étude des diagrammes de Piper et diagrammes de Schoeller-Berkaloff pour étudier les faciès chimiques des eaux, la variation de la qualité des eaux et l'origine des échantillons.

#### **I.4. Les logiciels utilisés**

Pour mener à bien notre travail, nous avons fait appel à un certain nombre de logiciels à savoir :

- **Logiciel Diagrammes:**

Diagrammes (Figure 5) est un logiciel réalisé par le Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon, son utilisation est dans le domaine d'hydrochimie et hydrogéochimie en général, donc il nous facilite le traitement et les calculs liés à la chimie des eaux et tous ses paramètres comme: la balance ionique, les concentrations des anions et des cations, l'indice de saturation et la conductivité..

le logiciel Diagrammes peut aussi traiter des données quelconque et faire des présentations graphiques :

- Les diagrammes: - Piper -Stiff - Schoeller-Berkalov - Binaire - Korjinski - Stabler.
- Les paramètres calculés: - balances ionique - teneurs en cations - dureté - teneurs en anions - indice de saturation (calcite, dolomite, aragonite, gypse)

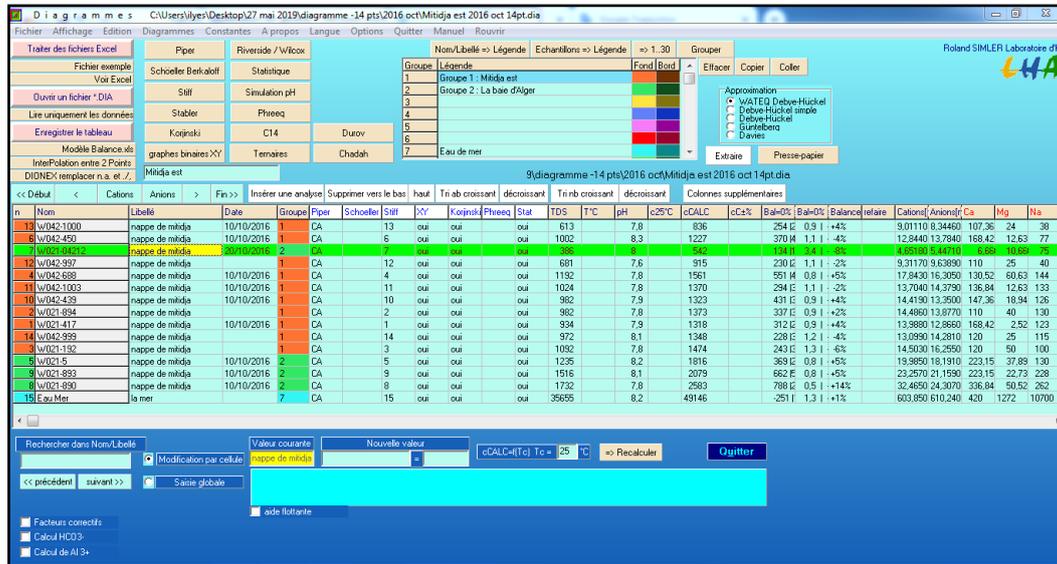


Figure 5: Interface du logiciel "DIAGRAMMES"

- Logiciel Surfer:

le logiciel Surfer (Figure 6), conçu par Golden Software, est spécialisé dans la réalisation des modèles numériques de terrain (MNT), il nous permet de créer des grilles, ensuite il faire l'interpolation des données pour la réalisation des plusieurs types de cartes par exemple : cartes d'iso-teneur, cartes piézométrique, le sens d'écoulement et plus de ça il peut modéliser les données en 3D.

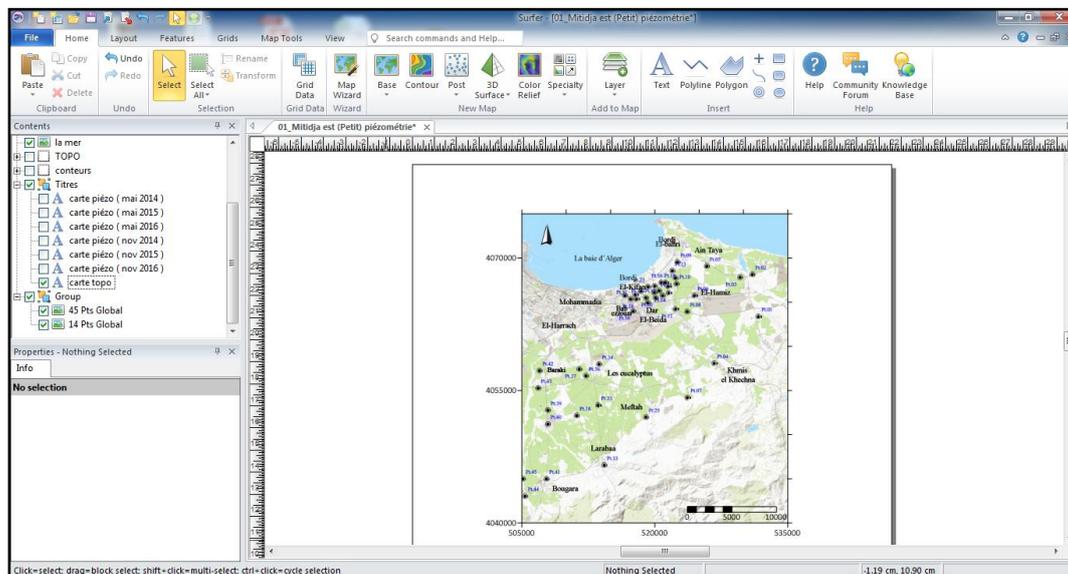


Figure 6: Interface du logiciel "Surfer"

- **ArcMap:**

ArcMap (Figure 7) est un logiciel de SIG, très puissant de la compagnie "Esri". Il offre des fonctionnalités de visualisation des données, d'analyse avancée et de maintenance des données officielles en 2D et en 3D. ArcGIS a plusieurs fonctions, il nous permet d'étudier les cartes et créer des couches pour notre propre travail et on peut aussi exporter ou importer des données online car il est lié à la plateforme ArcGIS.

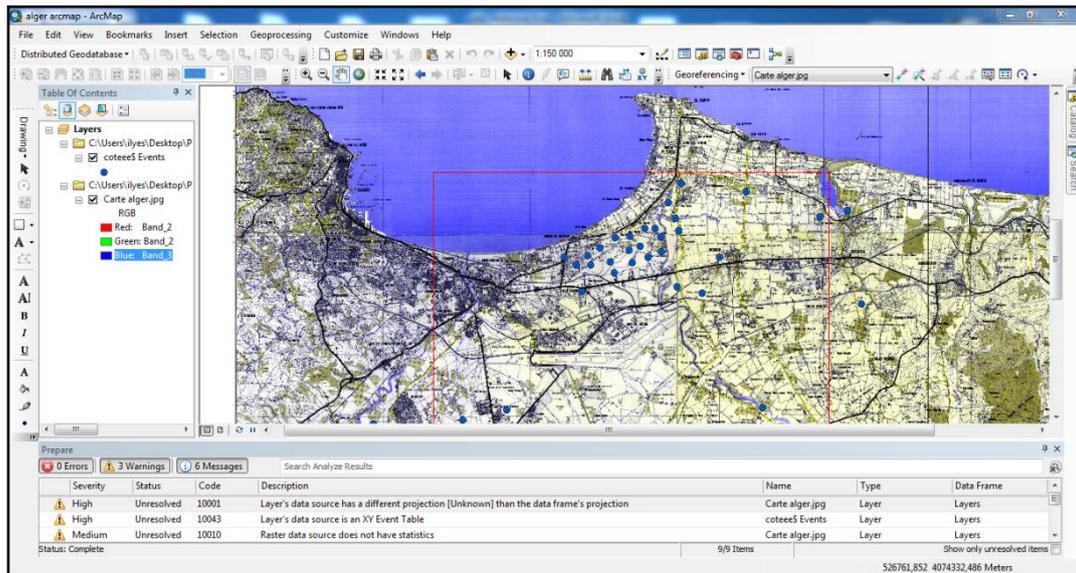


Figure 7: Interface du logiciel "ArcMap"

- **Google earth pro:**

Google earth pro (Figure 8) est une application de Google, c'est la principale source de l'image satellitaire. cette application permet de déterminer les coordonnées géographiques, la position et l'élévation des points ou des zones. il permet aussi d'importer et exporter des données SIG et faire des mesures des distances et des surfaces.

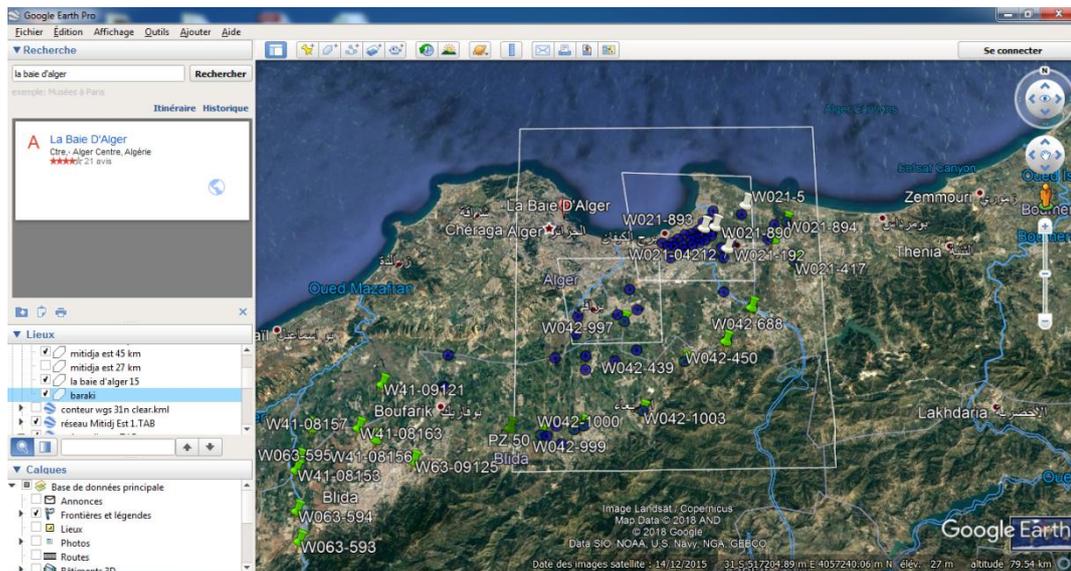
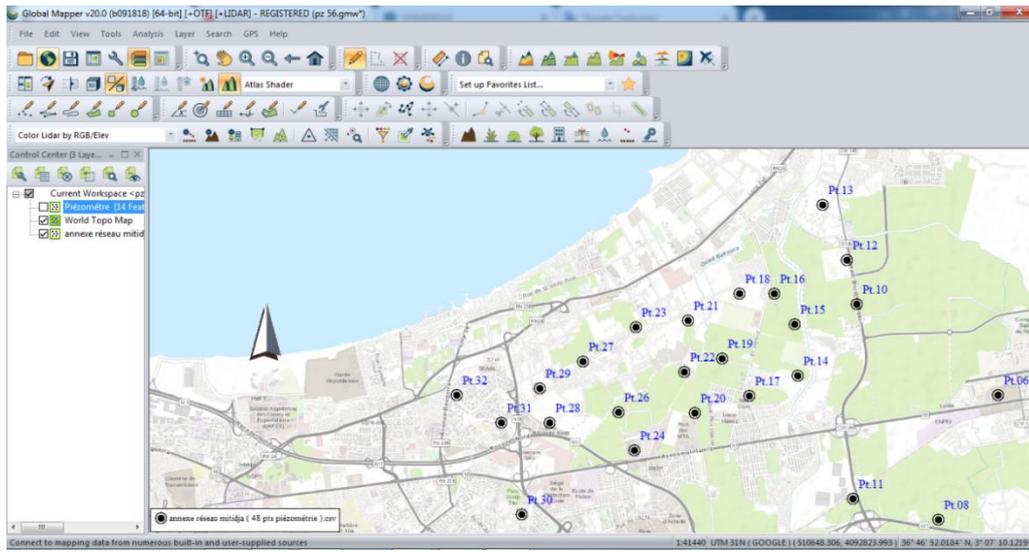


Figure 8: Interface du logiciel "Google Earth Pro".

**- Global Mapper:**

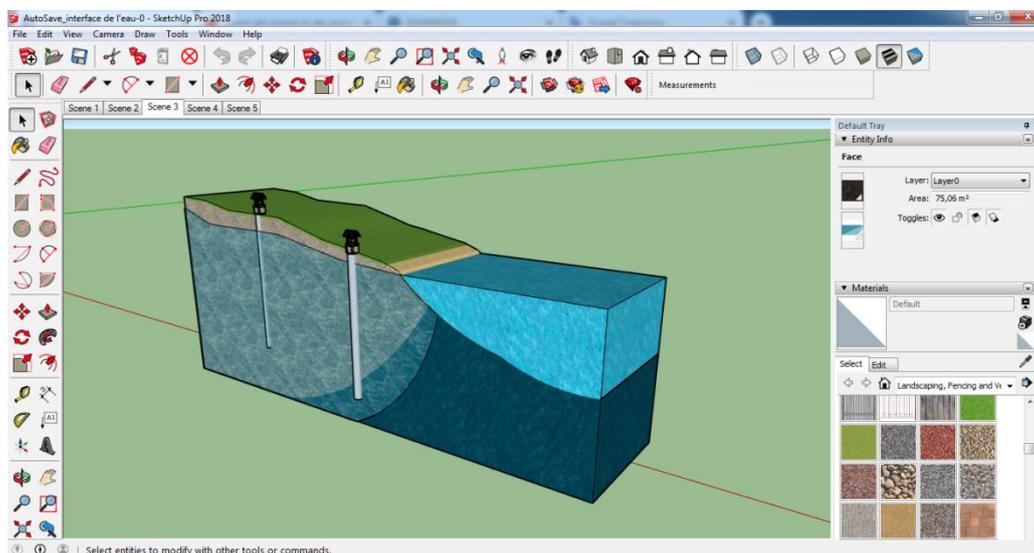
Global Mapper (Figure 9) est un logiciel de SIG, qui a plusieurs utilités, il met à disposition une série étendue d'outils d'analyse et de traitement de données (Analyse de Terrain et Traitement des données 3D, liste étendue des sources de données en ligne intégrées et des fenêtres). l'avantage de ce logiciel est de prendre en charge pratiquement tous les formats de fichiers spatiaux connus ainsi que l'accès direct à des bases de données spatiales communes.



**Figure 9: Interface du logiciel "Global Mapper"**

**- Sketchup:**

Sketchup (Figure 10) est un logiciel beaucoup plus utilisé en architecture, son avantage est de faciliter la réalisation des images, des schémas ou des modèles en 3D, donc son but dans notre travail est de modéliser et schématiser les hypothèses du phénomène ou tout simplement visualiser les idées.



**Figure 10: Interface du logiciel "Sketchup"**

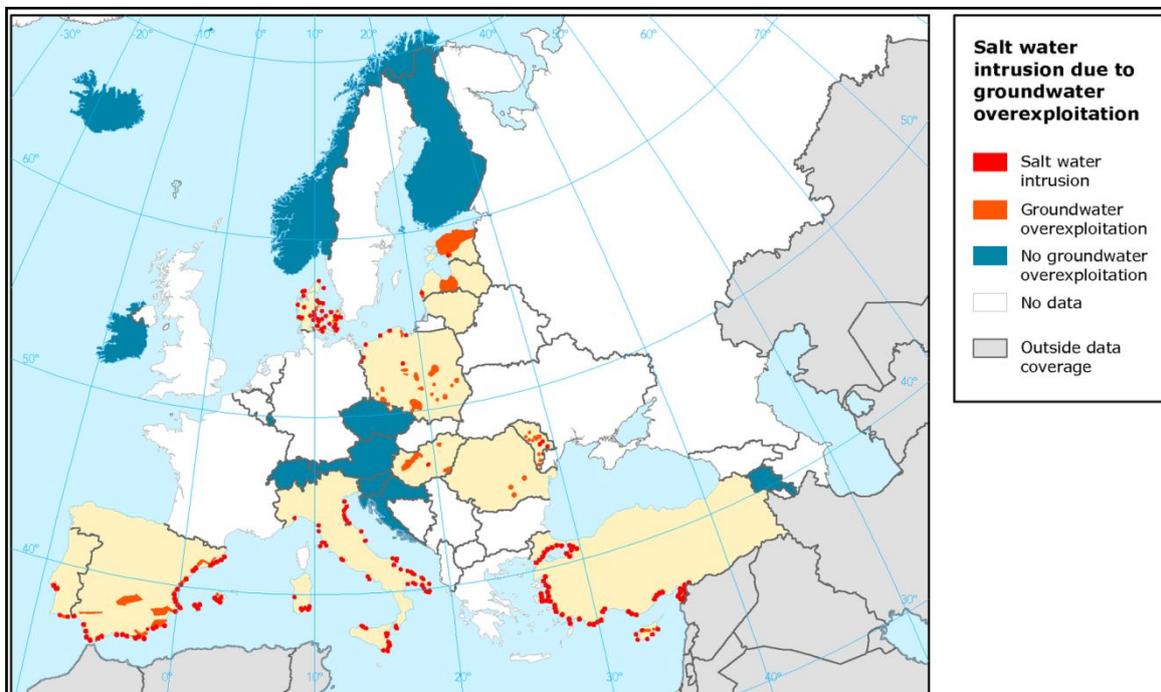
## I.5. Historique de l'intrusion marine

Le phénomène de l'intrusion marine touche généralement tous les aquifères côtiers qui subissent une surexploitation de leur réserve d'eau, donc souvent, le littoral est affecté par l'invasion marine à cause de la pression générée par l'homme (Agriculture, AEP, industries). voici quelques exemple sur l'intrusion marine dans le monde entier:

### I.5.1. Phénomène de l'intrusion marine dans le monde

l'intrusion marine est un phénomène qui existe partout dans le monde, sur tout dans les pays de grandes agglomérations qui dépendent des sources d'eau souterraine spécifiquement les aquifères côtiers.

la carte ci-après montre les régions touchées par l'intrusion marine dans les pays européens.



**Figure 11: régions touchées par l'intrusion marine.(EEA,2003)**

d'après la carte on constate que l'intrusion marine apparait dans les zones côtières des pays dont la nappe est en surexploitation. Tandis que les pays comme la Norvège, la Finlande et la Croatie ne sont pas touchés par ce phénomène du fait que la nappe n'est pas en surexploitation.

Il existe plusieurs cas de l'intrusion marine sur les bandes littorales des Etats-Unis et de l'Australie aussi.

En nord Africain , l'intrusion marine est connu, en Tunisie, il existe plusieurs cas parmi eux celle de la nappe côtière du Plio-Quaternaire de la région de Korba, et la nappe

nord du Sahel à Sfax. Au Maroc, cette situation est observée dans la partie occidentale, comme le cas de l'aquifère de Chaouia.

### **I.5.2. Phénomène de l'intrusion marine en Algérie**

L'Algérie est un des pays vulnérables à l'intrusion marine, vu la présence d'un littoral de 1600 km.

Plusieurs cas de ce phénomène ont été relevés en Algérie, on cite le cas de la vallée de l'oued Nador W-Tipaza, le cas de la nappe côtière de W-Skikda, cas de l'aquifère côtier de W-Annaba, et le cas de la Baie d'Alger.

La baie d'Alger, qui fait l'objet de notre travail a connu depuis la fin du 20<sup>ème</sup> siècle une avancée considérable du biseau salé provoquée par la surexploitation de l'aquifère côtier de la Mitidja pour répondre aux besoins de la population, au cours d'une période de sécheresse sévère et persistante particulièrement au cours des années 90 où les ouvrages de mobilisations des ressources en eaux étaient insuffisants.

## **Conclusion**

L'intrusion marine est un phénomène aquatique qui touche les aquifères côtiers dont la principale cause est la surexploitation de l'aquifère côtier.

le biseau salé existe depuis toujours mais son état varie en fonction de la profondeur et en fonction du niveau piézométrique de l'aquifère.

lorsque le biseau salé est en état avancé, il est irréversible.

## **Chapitre II**

# **PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE**

## Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

### Introduction

Ce chapitre présente la situation géographique de la zone d'étude, ainsi que les caractéristiques hydrologiques, géologiques et hydrogéologiques.

Ces paramètres sont nécessaires pour l'étude du phénomène de l'intrusion marine et leur connaissance permet de proposer les solutions adéquates pour la lutte contre ce phénomène.

### II.1. Situation géographique de la zone d'étude

La baie d'Alger (Figure 12) est située au Nord-centrale de la plaine de la Mitidja; ses coordonnées géographiques sont (36.77277°N ,3,147851°E). Elle occupe une superficie de 180 km<sup>2</sup>.

La baie d'Alger est de forme d'un demi-cercle, limitée par la mer méditerranée au nord, les piémonts de l'Atlas Blidéen au sud et confinée par le cap Matifou à l'Est et le cap Caxine à l'ouest.

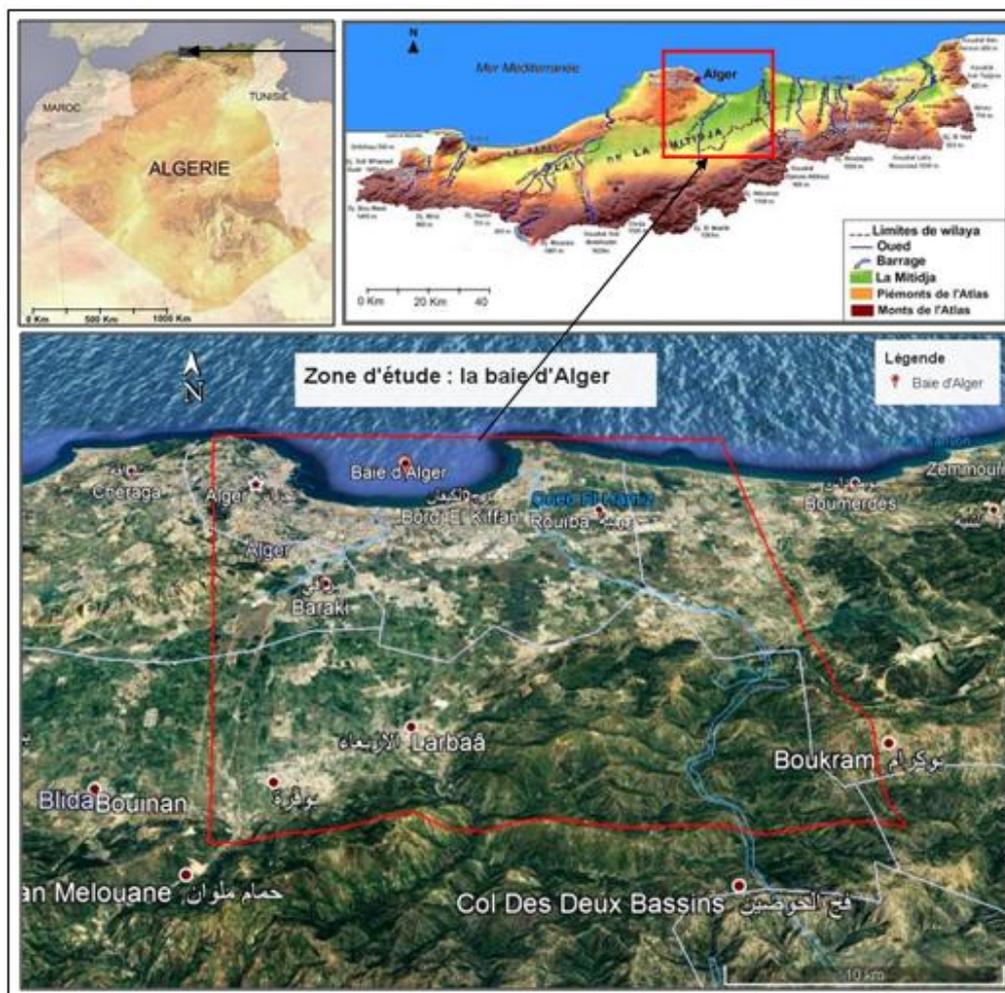


Figure 12: Situation géographique de la zone d'étude.

## II.2. Aspect hydrographique

La plaine de la Mitidja Est, est composée des sous bassins versants suivants (Figure 13)

### - Le sous bassin de l'oued El-Harrach

s'étale sur une superficie de 1260 km<sup>2</sup>. L'Oued El-Harrach, qui représente l'un des principaux oueds qui sillonnent la Mitidja, prend sa source au Nord de l'Atlas Blidéen et se jette en mer Méditerranée après un parcours de 67 km environ.

Il est formé par la confluence de deux principaux Oueds : l'Oued Okacha et l'Oued Mekka au Sud- Ouest de Hammam Melouane. Ces oueds sont en grande partie en liaison hydraulique avec la nappe de la Mitidja puisque leur eau peut s'infiltrer ou inversement drainer la nappe.

### - Le sous bassin de l'oued Hamiz

il est situé à l'Est de la plaine. Celui de Réghaïa, En raison de la faible superficie de ce dernier, est intégré dans le sous bassin du Hamiz qui a une surface de 283 Km<sup>2</sup>. le principal oued dans le sous-bassin est l'oued El-Hamiz qui a une longueur de 60km.

Les principaux exutoires de la plaine de Mitidja Est sont représentés par l'oued El-Harrach, El-Hamiz et Réghaïa. Les oueds alimentent la nappe dans la zone libre du piémont et la drainent vers l'aval au niveau de la zone de recharge.

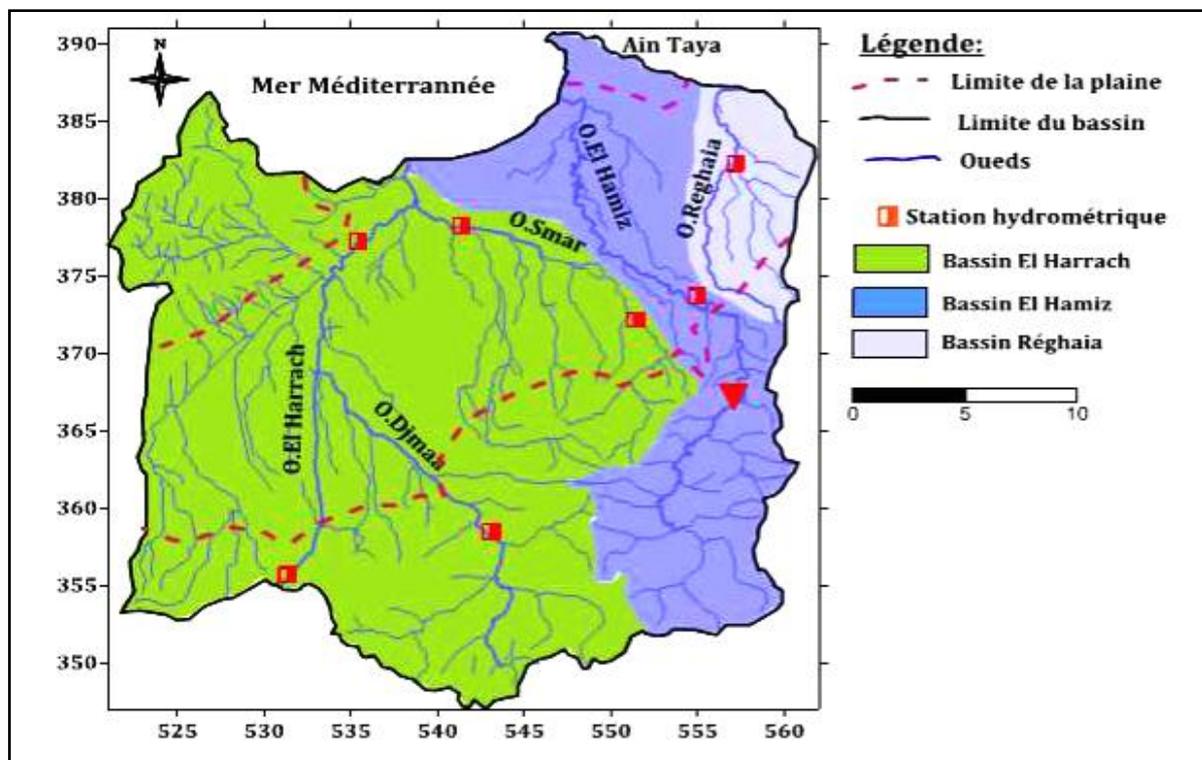


Figure 13: Répartition des sous bassins versants dans la plain de la Mitidja Est et les principaux cours d'eau dans la région (ANRH,2003)

La plaine de la Mitidja Est est traversée par trois oueds importants :

- Oued El-Harrach
- Oued Djemaa
- Oued El-Hamiz

### II.3. Les paramètres géomorphologiques

#### - La surface:

La surface topographique est le paramètre le plus important. il permet de contrôler l'intensité de plusieurs phénomènes hydrologiques (apport, volume de précipitations ou infiltration...)

Elle peut être déterminée en utilisant un planimètre sur les cartes topographiques.

#### - Le périmètre:

Le périmètre correspond à la limite extérieure du bassin. De la même façon que précédemment on calcule le périmètre, en utilisant un curvimètre.

#### - Paramètres de forme:

La forme du bassin versant influence fortement l'écoulement global et notamment le temps de Réponse du bassin versant. C'est la configuration géométrique projetée sur un plan horizontal. (LABORDE.2000)

Un bassin versant peut donc se présenter sous deux formes : allongée et ramassée.

#### - Paramètres de relief:

Le relief est défini comme étant la variation des altitudes; ces variations influent sur des facteurs comme l'écoulement, les précipitations, la végétation etc..

Les paramètres de forme et de relief des deux sous bassins versants (Oued El-Hamiz et Oued El-Harrach) sont indiqués dans le tableau suivant:

**Tableau 1: Paramètres géométriques, de forme et de relief des sous bassins versants (O. El-Hamiz et O. El-Harrach) (ANRH).**

Paramètres	Géométriques		Paramètre de forme			Paramètre de relief	
	Surface (Km <sup>2</sup> )	Périmètre ( Km)	Indice de compacité gravelius (Kc)	Longueur rectangle équivalent (Km)	Largeur rectangle équivalent (Km)	Altitude moyenne (m)	Indice de pente (Ig) (m/Km)
El-Hamiz	283,21	102,11	1,7	38,45	7,36	325,3	19,5
El-Harrach	1236,28	188,17	1,5	78,30	15,80	430	13,8

-L'indice de compacité (Kc) varie entre 1.7 et 1.5 ce qui traduit une allure allongée des bassins.  
 -Les valeurs des pentes globales montrent que les deux sous bassins versants ont un relief Faible, traduisant ainsi une infiltration favorable au dépend du ruissellement traduisant ainsi un temps de ruissellement long, ce qui indique une bonne possibilité d'infiltration des eaux Superficielles.(Tableau 1).

## II.4. Etude hydroclimatologique

Le climat se définit comme étant l'ensemble des phénomènes météorologiques qui Caractérisent l'état de l'atmosphère et de son évolution en un lieu donné.

Cette partie a pour but l'analyse des paramètres climatologiques : Pluie (P) , Température (T), Evapotranspiration potentiel (ETP) , lame Ruisselée et lame infiltrée intervenant dans l'établissement du bilan hydrologique.

### II.4.1. La pluviométrie

Trois stations sont prises en compte car bien réparties du sud vers le Nord (Figure 13), ceux sont:

- La station du Barrage Hamiz.
- La station de Dar El Beida (D.E.B).
- La station de Réghaïa.

**Tableau 2: Caractéristiques des stations pluviométriques (ANRH).**

Stations pluviométriques	coordonnées			Paramètre climatique	
	Code ANRH	Longitude	Latitude		
L'Arbaa	021403	3°09E	36°43N	100	P
Dar el Beida	020611	3°13'E	36°41'N	25	P
Hamiz Barrage	030602	3°21'E	36°36'N	130	P
Réghaïa	020632	3°20'E	36°44'N	20	P

Les précipitations moyennes mensuelles et annuelles observer a chaque station durant la période Allant de 1980 à 2017 (Annexe 1) sont présentées dans le tableau ci-après :

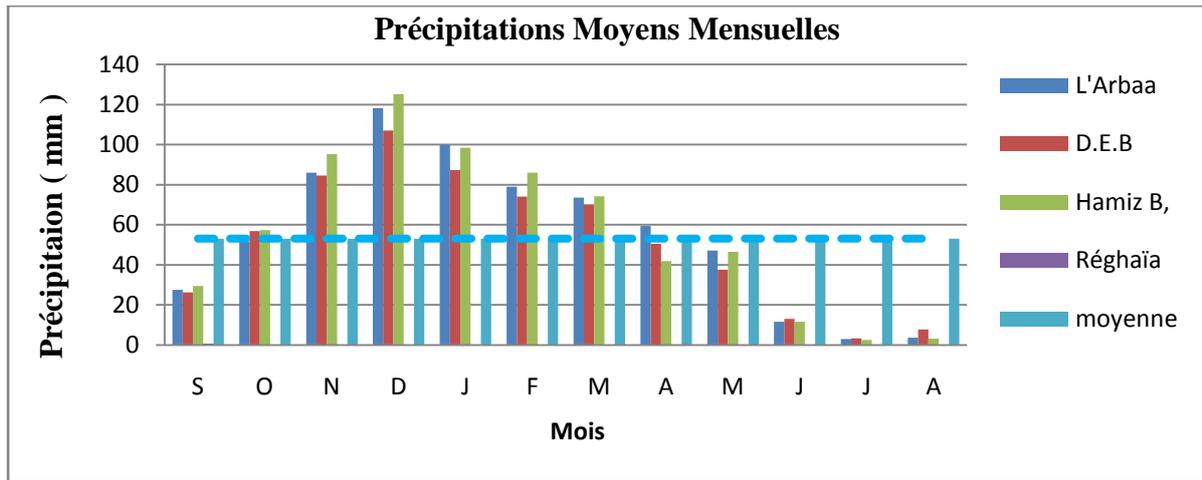


Figure 14: Histogramme des précipitations moyennes mensuelles des stations de Mitidja Est.

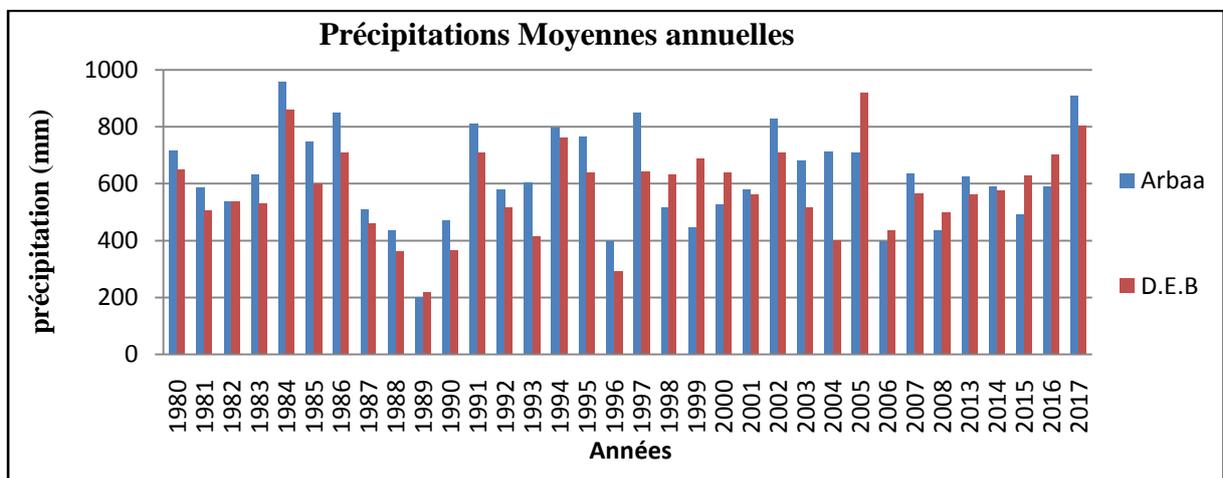


Figure 15: Histogramme des précipitations moyennes annuelles des stations de Mitidja Est (Arbaa et D.E.B).

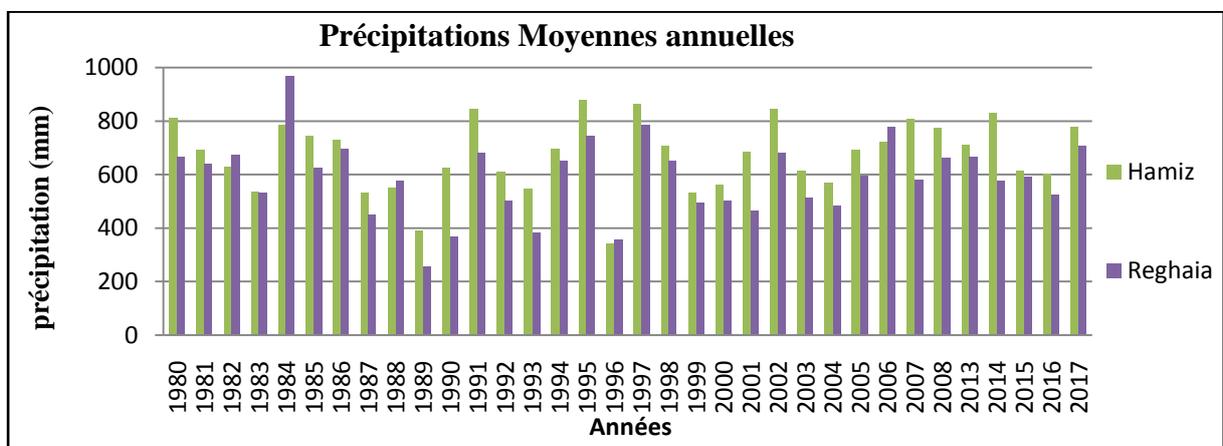


Figure 16: Histogramme des précipitations moyennes annuelles des stations de Mitidja Est ( El-Hamiz et Réghaïa).

L'analyse de la variabilité des précipitations des quatre stations peut se résumer comme suit :

**La station de l'Arbaa:**

- la précipitation moyenne annuelle (1980-2017) est de 622 mm/an.
- une année sèche est enregistré en 1989 avec une lame d'eau de 201,1 mm.
- une année pluvieuse est enregistré en 1984 avec une lame d'eau de 959,5 mm.
- la précipitation moyenne mensuelle est de 55 mm/mois
- le mois plus sec est juillet avec une lame d'eau de 3 mm.
- le mois plus pluvieux est décembre avec une lame d'eau de 118 mm

**La station de Dar el Beida:**

- la précipitation moyenne annuelle (1980-2017) est de 577,56 mm/an.
- une année sèche est enregistré en 1989 avec une lame d'eau de 219,4 mm.
- une année pluvieuse est enregistré en 2005 avec une lame d'eau de 921,2 mm.
- la précipitation moyenne mensuelle est de 52 mm/mois
- le mois plus sec est juillet avec une lame d'eau de 3 mm.
- mois plus pluvieux est décembre avec une lame d'eau de 107 mm

**La station de Hamiz barrage:**

- la précipitation moyenne annuelle (1980-2017) est de 671,07 mm/an.
- une année sèche est enregistré en 1996 avec une lame d'eau de 341,4 mm.
- une année pluvieuse est enregistré en 1995 avec une lame d'eau de 878,9 mm.
- la précipitation moyenne mensuelle est de 56 mm/mois
- le mois plus sec est juillet avec une lame d'eau de 2 mm.
- mois plus pluvieux est décembre avec une lame d'eau de 125 mm

**La station de Réghaïa:**

- la précipitation moyenne annuelle (1980-2017) est de 588,26 mm/an.
- une année sèche est enregistré en 1989 avec une lame d'eau de 256,5 mm.
- une année pluvieuse est enregistré en 1984 avec une lame d'eau de 967,8 mm.
- la précipitation moyenne mensuelle est de 49 mm/mois
- le mois plus sec est aout avec une lame d'eau de 1 mm.
- mois plus pluvieux est décembre avec une lame d'eau de 103 mm

L'évolution des précipitations dans le temps est caractéristique du climat méditerranéen. Le changement du taux des précipitations dans les différentes stations est dû aux paramètres altitude et distance à la mer (Castany, 1982).

Pour déterminer la lame d'eau précipitée à l'échelle du bassin, Nous nous sommes basés sur les méthodes :

- La méthode Arithmétique
- La méthode de Thiessen

### 1. La méthode arithmétique

la méthode la plus simple qui consiste à calculer la moyenne arithmétique des valeurs obtenues aux stations étudiées, s'applique uniquement si les stations sont bien réparties et si le relief du bassin est homogène. (Castany, 1982)

$$P = \sum Pi/n$$

Avec:

P : précipitations moyennes annuelles (mm)

Pi: précipitation moyenne annuelle de la station (mm)

n : nombre des stations considérées. ( dans notre cas n=4 )

Le calcul de la lame précipitée de la période (1978-2017) par la méthode arithmétique est donné dans le tableau ci-après:

**Tableau 3: Calcul de la lame précipitée de la période (1980-2017) par la méthode arithmétique**

Station	Précipitation (mm)
L'Arbaa	622
Dar El Beida	577,56
Hamiz Barrage	671,07
Réghaïa	588,26
	P = 614,72

### 2. La méthode des polygones de Thiessen

Elle est la plus utilisée car son application est simple et donne généralement de bons résultats, même quand le réseau pluviométrique n'est pas homogène spatialement. précipitation pondérée se calcule par la formule ci-dessous :

$$P = \sum Ai * Pi/A$$

Avec:

P : précipitations moyennes annuelles (mm)

P<sub>i</sub>: précipitations moyennes annuelles de la station située dans le polygone (mm)

A<sub>i</sub>: surface du polygone (Km<sup>2</sup>)

A : surface totale zone d'étude (Km<sup>2</sup>)

Les résultats du calcul apparaissent dans le tableau suivant :

**Tableau 4: Calcul de la lame précipitée par méthode Thiessen période (1980-2017).**

Station	Surface de polygone (Km <sup>2</sup> )	Précipitation (mm)	P <sub>i</sub> *A <sub>i</sub> : lame d'eau (m <sup>3</sup> )	P ( mm )
L'Arbaa	159	622	98898	600,72
Dar El Beida	196	577,56	113201,5	
Hamiz Barrage	32	671,07	21474,35	
Réghaïa	88	588,26	51766,93	
Totale :	475			

Donc : d'après la méthode de Thiessen la précipitation moyenne annuelle est : 600,72 mm.

**Tableau 5: Résultats des précipitations obtenus par les deux méthodes.**

Méthode	Arithmétique	Thiessen	Moyenne (mm)
Moyenne	614,72	600,72	612,48

#### II.4.2. Les températures

Le climat de la région est méditerranéen caractérisé par un été chaud-sec et un hiver doux-pluvieux. la température moyenne annuelle est d'environ 17°C (données de D.E.B ) avec des températures moyennes autour de 11°C en hiver ( décembre-février ) et d'environ 24°C en été (juillet-août) la moyenne des maxima varie entre 17°C environ en hiver et 31°C en été, alors que la moyenne minima varie entre 6°C environ en hiver et 18°C en été.

La moyenne annuelle : 17,8° (Annexe 2).

#### II.4.3. L'évapotranspiration

L'évapotranspiration potentielle est la quantité d'eau maximale susceptible de s'évaporer au niveau d'un sol.

la méthode de Thornthwaite a mis en évidence une évapotranspiration de l'ordre de 879,3 mm/an. (Benaïche, 2011) (Annexe 3).

## II.5. Etude géologique

### II.5.1. cadre général

la Mitidja est une plaine côtière d'orientation OSO-ENE. Elle présente une structure synclinale, siège d'une sédimentation provenant de la transgression des mers et de l'érosion.

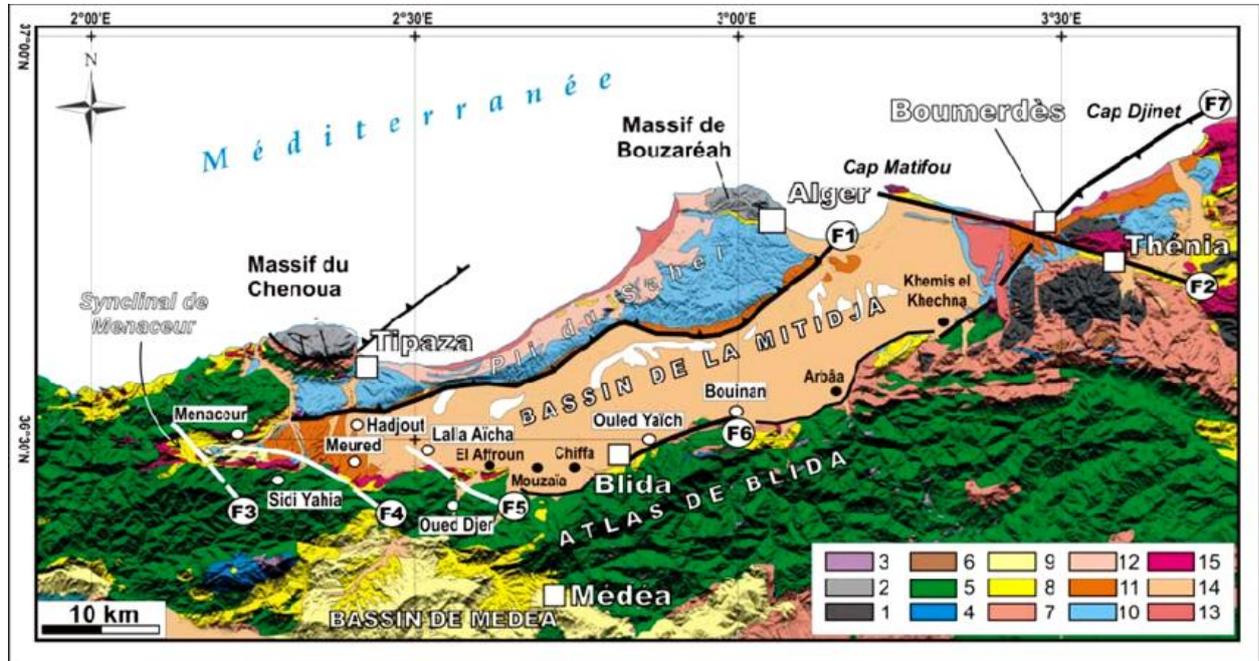


Figure 17: Carte morphogéologique du bassin de la Mitidja et ses environs, (Guemache, 2010).

#### Légende:

- |                             |                         |                               |
|-----------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| 1. Terrains métamorphiques. | 6. Eocène               | 11. Villafranchien.           |
| 2. Socle primaire.          | 7. Oligocène.           | 12. Calabrien.                |
| 3. Trias.                   | 8. Miocène anti-nappes. | 13. Quaternaire marin.        |
| 4. Jurassique.              | 9. Miocène post-nappes. | 14. Quaternaire continental.  |
| 5. Crétacé.                 | 10. Pliocène.           | 15. Magmatisme indifférencié. |

**Remarque:** Seuls les terrains géologiques sont mentionnés, les failles majeures n'étant pas représentées.

la plaine de Mitidja est comprise entre deux blocs :

Au Nord l'anticlinal du Sahel d'altitude moyenne de 270 m qui isole la plaine de la Mitidja de la mer, interrompue par la cluse de Mazafran. Le Sahel se raccorde à l'Ouest de l'oued Nador au massif de Chenoua, et à l'est au massif de Bouzaréah. (Glangeaud, 1952)

Au sud l'Atlas Blidéen qui est un vaste massif montagneux, caractérisé par des séries épaisses de Crétacé.

### II.5.2. Stratigraphie et litho-stratigraphie

La configuration et la structure des réservoirs sont imposées par les formations limostratigraphiques, lesquelles déterminent les formations et les structures hydrogéologiques. Celles-ci sont la base de l'identification géologique des aquifères (Benaïche, 2011).

Une formation lithostratigraphique est constituée par un corps de terrain de nature pétrographique homogène : sable, calcaire, grès, gravier, argile, gypse.. Elle est désignée par le nom de la région (ou de la localité) où elle a été observée et décrite ou par un terme d'étage.

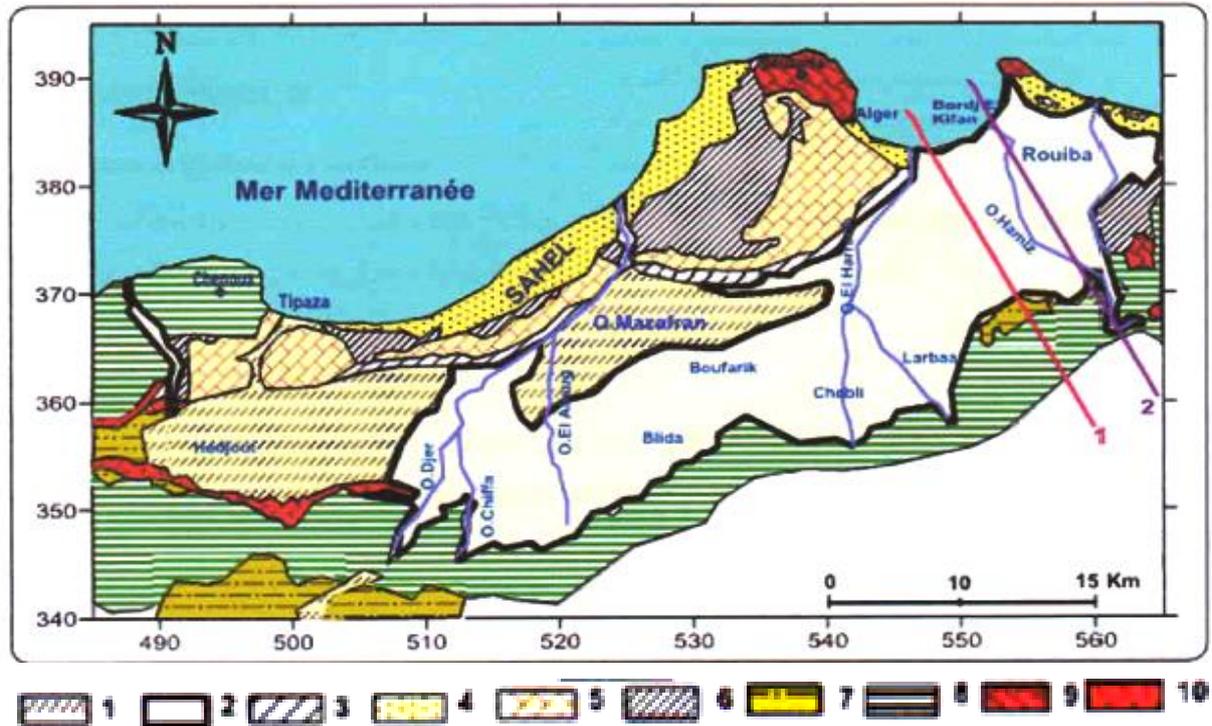


Figure 18: Carte géologique de la Mitidja Est (ANRH,1986).

#### Légende:

##### Quaternaire:

1. Formation de Mazafran et de Halloula (dépôt des marais et des alluvions récentes)
2. Formation de la Mitidja (Alluvions de graviers et d'argiles)
3. Formation d'El-Harrach (argiles et cailloutis)
4. Formation dunaire consolidée (poudingues et grés)

##### Tertiaire:

##### Pliocène:

5. calcaire gréseux (astien)
6. marnes et argiles bleues Plaisancien

##### Miocène et roches plus anciennes:

7. roches sédimentaires du miocène
8. roches sédimentaire du crétacé-oligocène
9. roches métamorphiques
10. roches éruptives

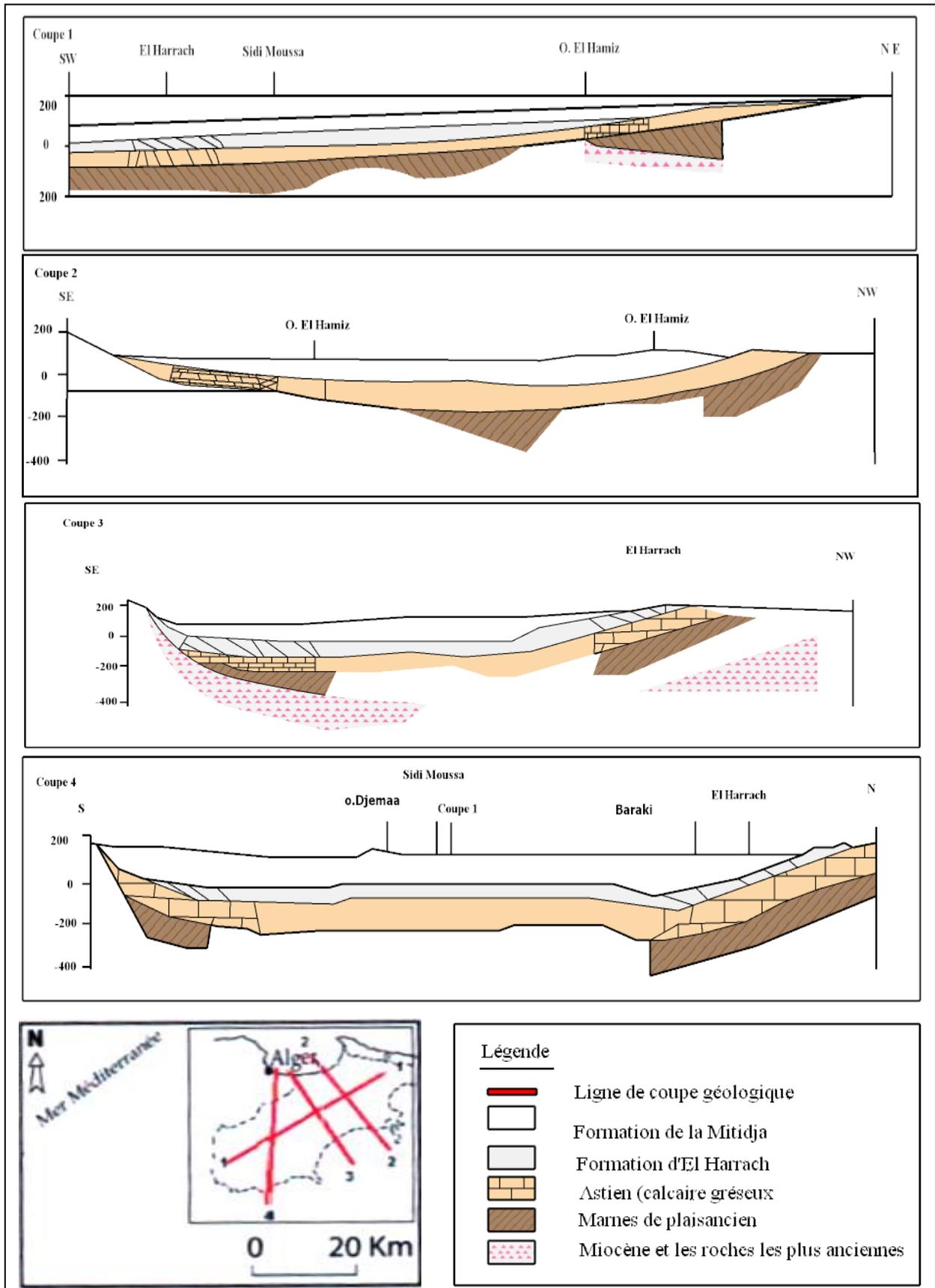


Figure 19: Coupes géologique au niveau de la Mitidja (Bennie, et al., 1983)(modifié).

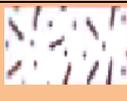
Système	étage	Lithologie	Figure	Epaisseur (m)	
QUATERNAIRE	Holocène	Actuel récent		20	
	PLEISTOCIENE	Flandrien / Rharibien	Limons, argiles limoneuses		30
			Sables consolidés à lumachelles		30
		Soltanien/ Tensiftien	Alternance de graviers et d'argiles		150
		Calabrien / villafranchien	Argiles et cailloutis		100
TERTIAIRE	Pliocène	Astien	Grés, sables et calcaires		120
		plaisancien	Marnes et argiles bleues		200
	Miocène	vindobonien	Marnes à lentilles de calcaire		50
		Burdigalien	Marnes à lentilles de grés		?

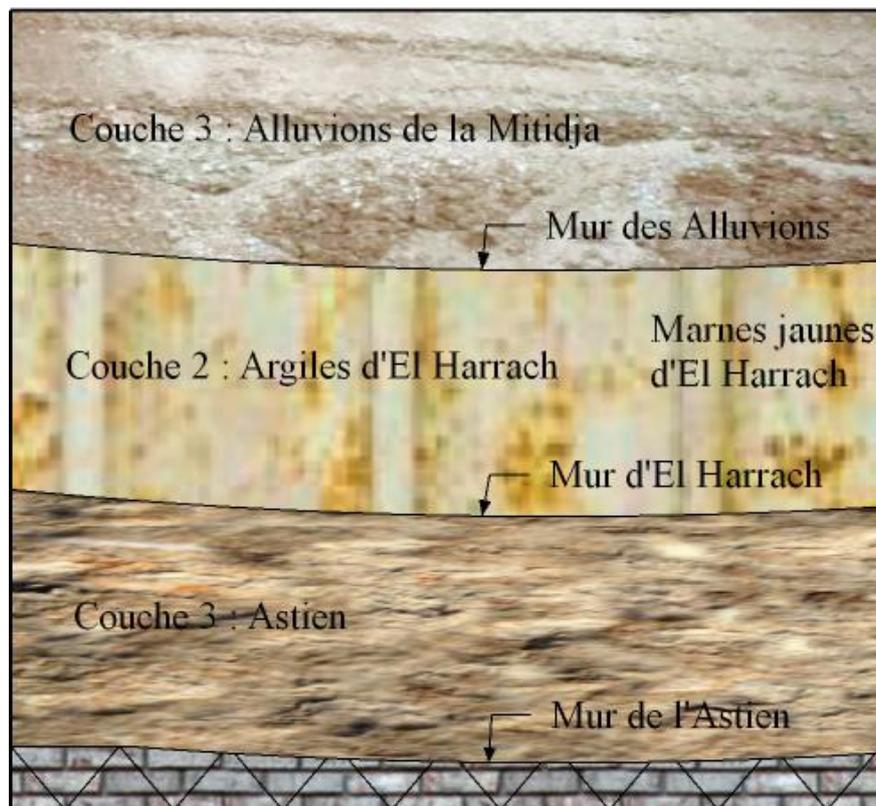
Figure 20: Log-litho stratigraphique de la Mitidja (Macdonald,1992, in Morceli,2013) .

## II.6. Etude hydrogéologique

L'objectif principal de l'étude hydrogéologique la plaine de la Mitidja Est, est d'identifier et de décrire les unités géologiques ayant une importance du point de vue ressources en eau.

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

- Les alluvions du quaternaire (formation de la Mitidja)
- Les formations gréseuses ou grisou-calcaire de l'astien.



**Figure 21: Schéma du système aquifère de la Mitidja (Macdonald in, 2013).(modifiée)**

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 Ain. 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 mateuses d'El-Harrach, à l'exception de la partie orientale où c'est l'Astien qui forme cette limite inférieure. (Morceli, 2013)

### II.6.1. Contexte hydrogéologique local de la baie d'Alger

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 attient un grand épaisseur; dans cette zone, le mur de l'aquifère correspond au toit du substratum marneux du Plaisancien, située 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 trouvent des champs captant, des forages d'irrigation et des forages d'industrie qui ont pour conséquence le rabattement de la nappe, la modification des 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, semblent indiquer 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.

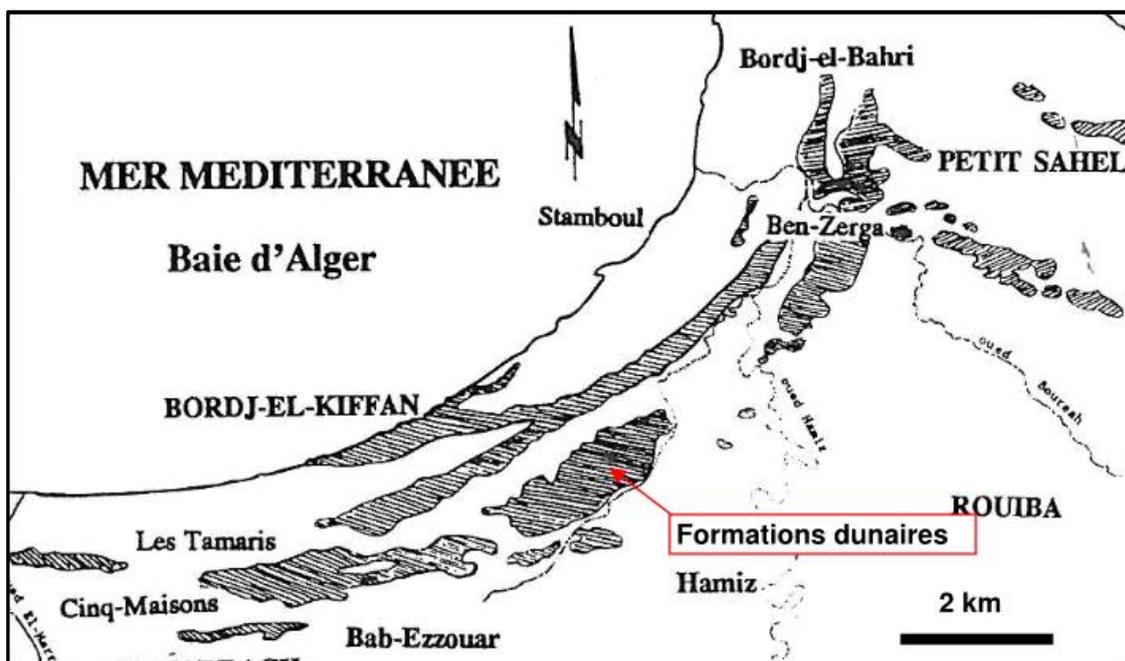


Figure 22: Localisation des dunes côtières (Aymé in, Benaïche, 2011).

## II.6.2. Etude des caractéristiques hydrodynamiques

### II.6.2.1. La transmissivité

La transmissivité représente le produit de la perméabilité par L'épaisseur productive de l'aquifère, elle caractérise la facilité avec laquelle l'eau souterrain peut se déplacer. Pour la Mitidja un série d'études a été réalisée, la synthèse apparait dans le tableau suivant :

**Tableau 6: La transmissivité dans la Mitidja (ANRH)**

Aquifère	Transmissivité (m <sup>2</sup> /s)	Auteur
Astien	$10^{-2} - 2,3*10^{-2}$	Bennie & Partners (1971)
	$1,1*10^{-3} - 2,2*10^{-3}$	Mac Donald et Partners, (Février 1992 )
	$1,7*10^{-2} - 3*10^{-2}$	Toubal,1998

### II.6.2.2. Le coefficient d'emmagasinement

Ce paramètre permet de distinguer les zones à nappe libre et les zones a nappe captive. Il caractérise la capacité de l'aquifère à libérer une certaine quantité d'eau sous l'action d'une certaine variation de charge hydraulique.

Les études qui ont été faites pour définir ce paramètre, sont représentées dans le tableau suivant :

**Tableau 7: Coefficient d'emmagasinement dans la Mitidja (ANRH)**

Aquifère	Coefficient d'emmagasinement	Auteur
Astien	$5*10^{-6} - 5*10^{-3}$	Bennie & Partners (1980-1981)
Quaternaire	$7*10^{-3}$	Bennie & Partners (1971)

Mac Donald (1992) donne une fourchette de valeurs cite dans le Tableau suivant:

**Tableau 8: Coefficient d'emmagasinement Mac Donald et Partners, (Février 1992).**

Formation	Condition	Valeurs
astien	Libre	0,03-0,05
	Captive	$5*10^{-3} - 5*10^{-6}$
Mitidja	Libre	0,02-0,07
	Captive	$3*10^{-3} - 1,6*10^{-4}$

### II.6.2.3. Perméabilité Verticale (Benaiche, 2011).

Ce paramètre caractérise l'écoulement vertical entre les deux nappes.

Pour le système aquifère de la Mitidja, aucun mesure de la perméabilité verticale n'a été faite sur le terrain, toutes les estimations proposées ne sont que des hypothèses. Parmi elles, la perméabilité verticale des marnes jaunes de la formation d'EI Harrach estimée par (Macdonald in, 2013) a une valeur comprise entre  $10^{-7}$  et  $10^{-8}$  m/s.

### **II.6.3. Les mécanismes d'alimentation et d'écoulement des nappes**

#### **II.6.3.1. L'aquifère Astien**

Il est limité à la base et sur les bords par les formations peu perméables (marnes et argiles du plaisancien), par conséquent les eaux qu'il reçoit sont celles arrivant par le dessus. Il est principalement alimenté par :

- L'infiltration des précipitations sur le Sahel où il est affleurant.
- Réalimentation due à la nappe de la Mitidja sus-jacente.

Dans les piémonts de l'Atlas, l'Astien est alimentée par la nappe de la Mitidja par drainante à travers les marnes jaunes de la formation d'El-Harrach peu épaisse (aux endroits où il y a des passées caillouteuses et absence de marnes).

#### **II.6.3.2. Ecoulement de la nappe de I 'Astien**

Les exutoires de cette nappe sont constitués par:

- les fuites latérales de l'Astien le long de la limite Sud du Sahel, bien qu'il soit limité sur les cotés par des formations peu perméables; un débit important sort à travers ces limites.
- La réalimentation par les écoulements verticaux de I 'Astien vers la nappe de la Mitidja.
- La réalimentation par les écoulements des eaux souterraines de l'Atlas : ces écoulements d'eau souterraine ont été mis en évidence par des analyses chimiques des eaux
- La réalimentation par distribution en eau potable et par les eaux usées.
- La réalimentation par les petits flux à travers les limites de l'aquifère : elle comprend les flux provenant du bassin versant du cours d'eau supérieur de l'oued Réghaïa et les petits flux arrivant des formations de Halloula et d'El-Harrach.

### **II.6.4. Bilan entrant et sortant des aquifères**

#### **II.6.4.1. Bilan d'eau de la nappe de I 'Astien**

Le bilan de la nappe de I 'Astien n'est pas parfaitement connu, vu que les prélèvements et la réalimentation ne sont pas bien estimés. Les éléments connus du bilan d'eau sont donnés dans le tableau suivant:

**Tableau 9: Bilan d'eau de la nappe de l'astien (Bennie, et al., 1983)**

Désignation	Débits entrants		Débits sortants	
	m <sup>3</sup> /jour	hm <sup>3</sup> /an	m <sup>3</sup> /jour	hm <sup>3</sup> /an
Echange avec l'aquifère de la Mitidja	35000	12,8	57000	20,8
Débits sortants le long de la limite sud du sahel	-	-	41000	15,8
Réalimentation direct par les eaux de pluie	2500	9,1	-	-
Fuites des réseaux de distribution d'eau potable (Alger)	37000	13,5	-	-
Total :	97000	35,4	98000	35,8

La concentration nette de L'aquifère des ressources de le plain est approximativement de 62000m<sup>3</sup>/jour, soit 23 hm<sup>3</sup>/an.

#### II.6.4.2. Bilan d'eau de la nappe de la Mitidja

Dans les conditions climatiques moyennes, la réalimentation de la nappe est inférieure aux débits sortant de la nappe. Cette situation existe depuis la concentration des prélèvements par le champ captant de Mazafran réalisé la fin de 1970. Par conséquent, la nappe n'est pas en équilibre hydraulique et entre 1970 et 1981, les niveaux piézométriques ont baissé de 10 m et Plus dans certains secteurs.

La réalimentation totale pour l'année hydrologique 1979/1980 dans les conditions climatiques moyennes étant de 900000 m<sup>3</sup>/ jour, soit 328,5 hm<sup>3</sup>/an ; ce chiffre se décompose de la manière suivante (Bennie, et al., 1983).

**Tableau 10: Bilan d'eau de la nappe de la Mitidja (Macdonald in, 2013)**

Désignation	Débits entrants		
	m <sup>3</sup> /jour	hm <sup>3</sup> /an	% Total
Apports souterrains d'autres formation surtout l'astien et les formation de l'atlas.	172000	63	19,1
Réalimentation directe par les précipitations	211000	77	23,4
Réalimentation par les oueds et bassins versants périphériques	374000	136	41,5
Infiltration des eaux d'irrigation excédentaires	69000	25	7,7
Fuites des réseaux de distribution en eau potable et des EU	59000	22	6,6
Réalimentation depuis les limons de Mazafran	15000	5	1,7
Total	900000	328	100

Le total des débits sortants de la nappe de 1979/1980 était de 916000 m<sup>3</sup>/jour soit 335 Hm<sup>3</sup>/an. Ce chiffre se décompose de la manière suivante :

**Tableau 11: Débits sortants de la nappe de Mitidja (Bennie, et al., 1983)**

Désignation	Débits sortants		
Débits souterrains sortant vers l'astien et vers la mer	4600	17	5
Drainage vers les oueds et vers la nappe des limons de la formation de Mazafran	65000	24	7,1
<u>Prélèvement:</u>			
Eau potable	388000	142	42,4
Eau agricole	345000	126	37,7
Eau industrielle	57000	21	6,2
Autres	15000	5	1,6
Total	916000	335	100

## Conclusion

Ce chapitre a permis de caractériser la zone d'étude des points de vue climatologique, géologique et hydrogéologique.

La baie d'Alger est caractérisée par un climat méditerranéen avec une pluie moyenne annuelle de 600 mm et une température moyenne de 18°C qui varie entre 11°C en hiver et 24°C en été.

L'évapotranspiration potentielle estimée par la méthode de C.W Thornthwaite, est de l'ordre de 879,3 mm/an. Tandis que,

La plaine de la Mitidja comporte deux aquifères principaux : celui de l'Astien et celui de la Mitidja, séparés par la formation d'El Harrach, sauf dans la partie Est où ils sont en contact direct.

L'aquifère de la Mitidja contient une nappe d'eau libre, sauf dans le bas Mazafran où elle est captive. Les transmissivités sont importantes, surtout dans la partie où il est en contact avec l'aquifère de l'Astien.

La nappe de la Mitidja est plus importante que celle de l'Astien par l'épaisseur de son réservoir, les caractéristiques hydrodynamiques des formations le constituant et les apports qu'elle reçoit.

Presque la totalité des puits et des forages captent la nappe de la Mitidja et de ce fait depuis la fin des années 70, la nappe a perdu son équilibre hydraulique, les débits sortants sont supérieurs aux débits entrants et les niveaux piézométriques baissent constamment.

## **Chapitre III**

# **EVOLUTIONS SPATIO- TEMPORELLE DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DANS LA BAIE D'ALGER**

## Chapitre III: Evolutions spatio-temporelle des paramètres physico-chimiques dans la baie d'Alger

### Introduction

Ce chapitre est consacré à l'analyse de l'ensemble des données collectées au sein de la zone d'étude afin de dresser les différentes hypothèses concernant l'évolution de l'intrusion marine dans la baie d'Alger. Pour ce faire deux approches sont utilisées : l'approche chimique et l'approche hydrodynamique.

Les paramètres physico-chimiques essentiels à étudier sont le pH, les faciès chimiques, les couples des éléments chimiques (les anions et les cations) et les courbes d'isoteneur.

La carte suivante (Figure 23) représente la répartition des piézomètres où les prélèvements ont été effectués par l'ANRH en période de basses eaux et hautes eaux (Annexe 4).

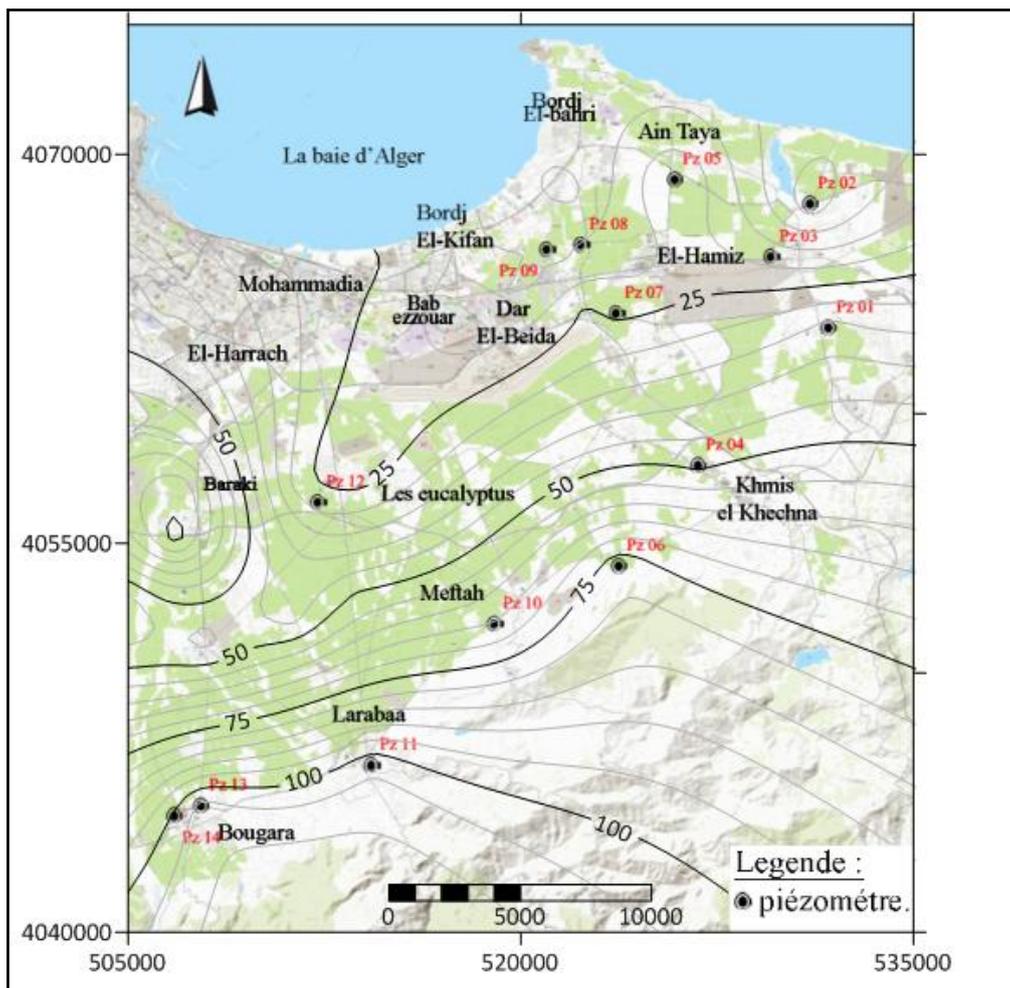


Figure 23: Répartition des piézomètres pour l'analyse chimique sur la carte topographique de la baie d'Alger.

### III.1. Approche chimique

#### III.1.1. Le pH

Le pH de la région de la Mitidja Est pour les campagnes 2014-2015-2016 (Annexe 4) varie entre 7,3 et 8,3 avec une moyenne de 7,9. Donc, le milieu est faiblement basique.

#### III.1.2. Faciès chimiques:

##### III.1.2.1. Diagramme de Piper

Le diagramme de Piper (Figure 24) permet de représenter le faciès chimique d'un ensemble d'échantillons d'eau. Il est composé de deux triangles permettant de représenter le faciès cationique et anionique des échantillons. La projection des points dans un triangle en haut permet d'identifier la qualité, le type, l'origine et l'évolution de ces échantillons.

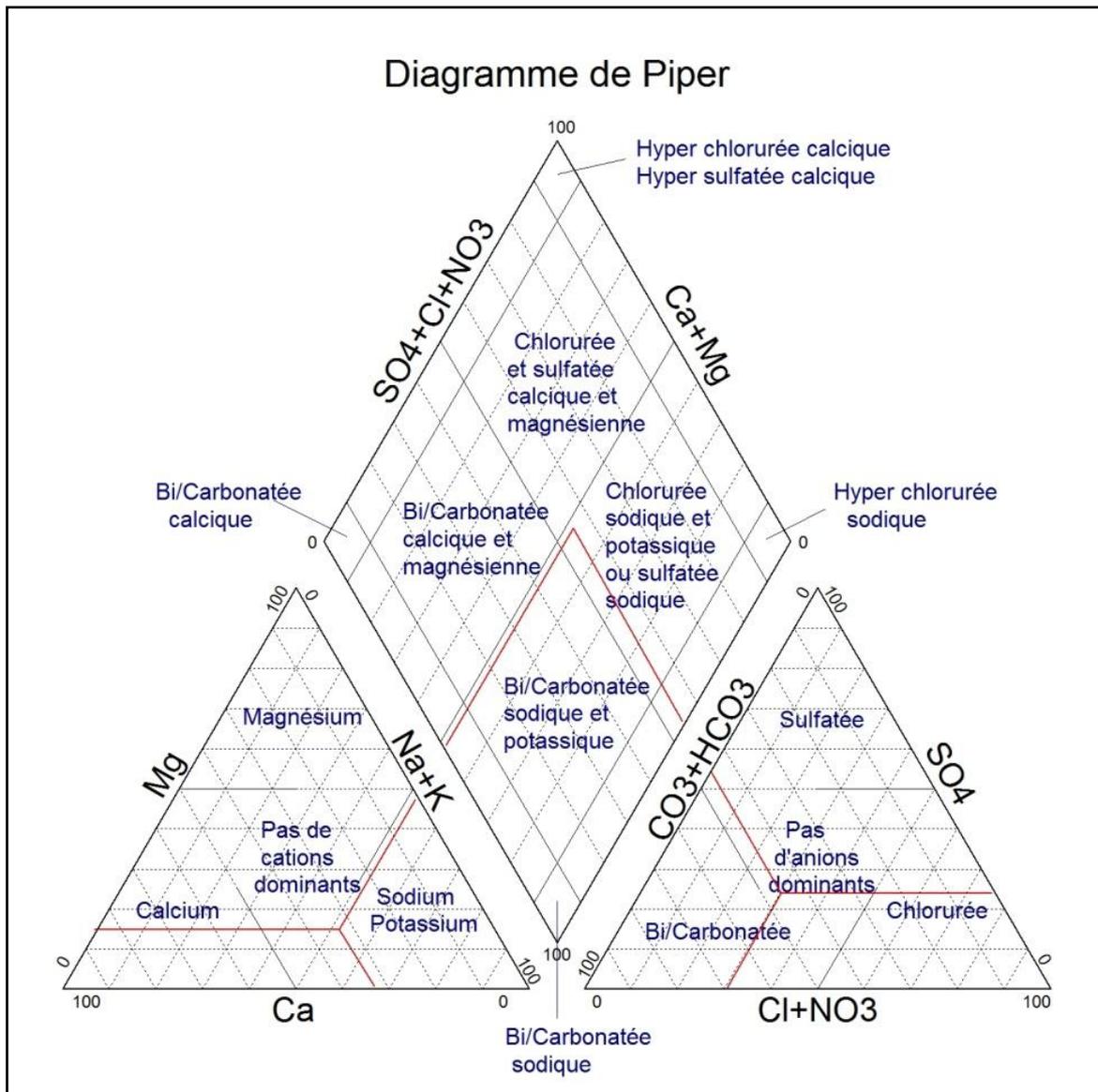


Figure 24: Diagramme de Piper.

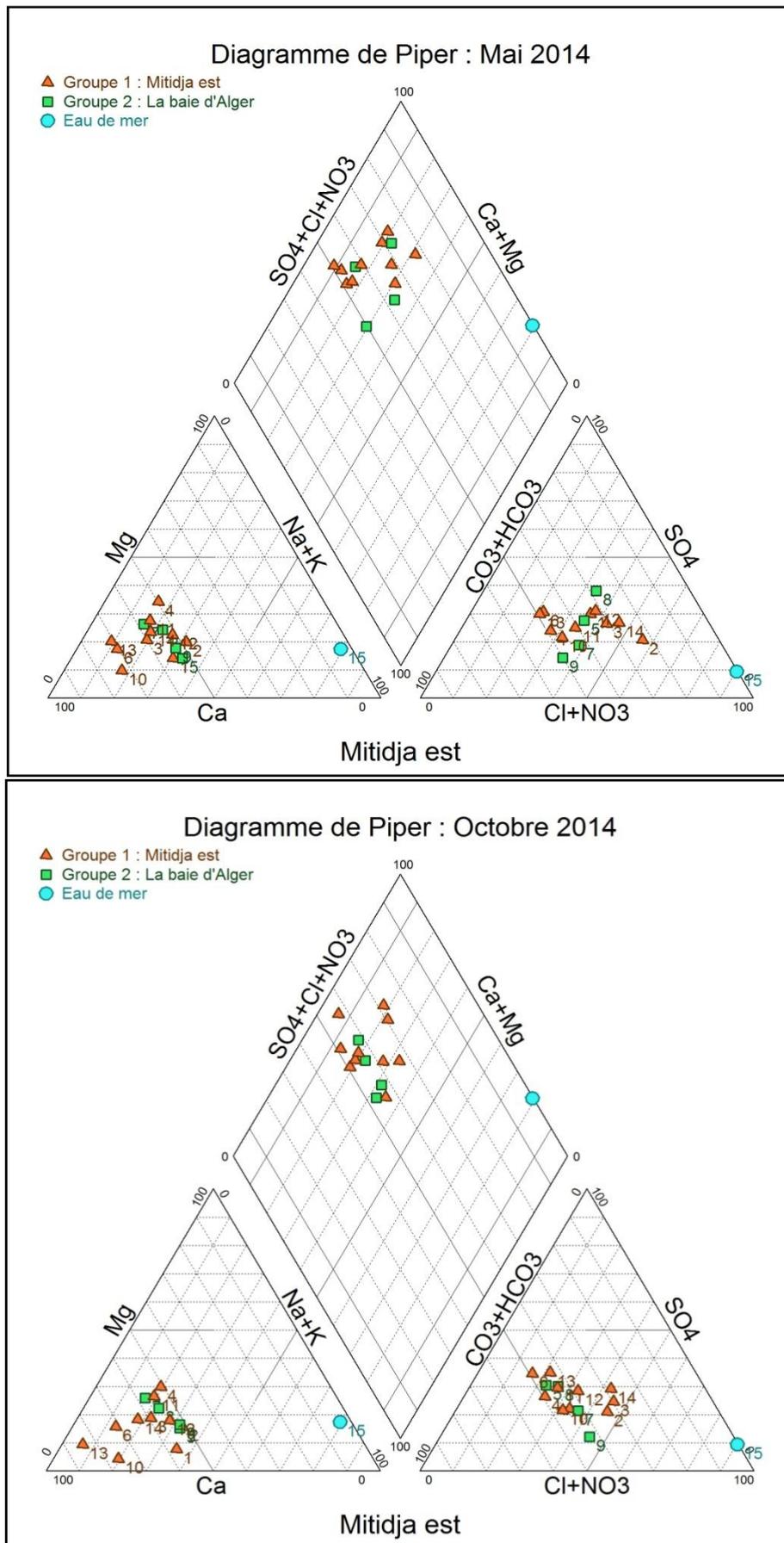


Figure 25: Diagramme de Piper: hautes et basses eaux 2014.



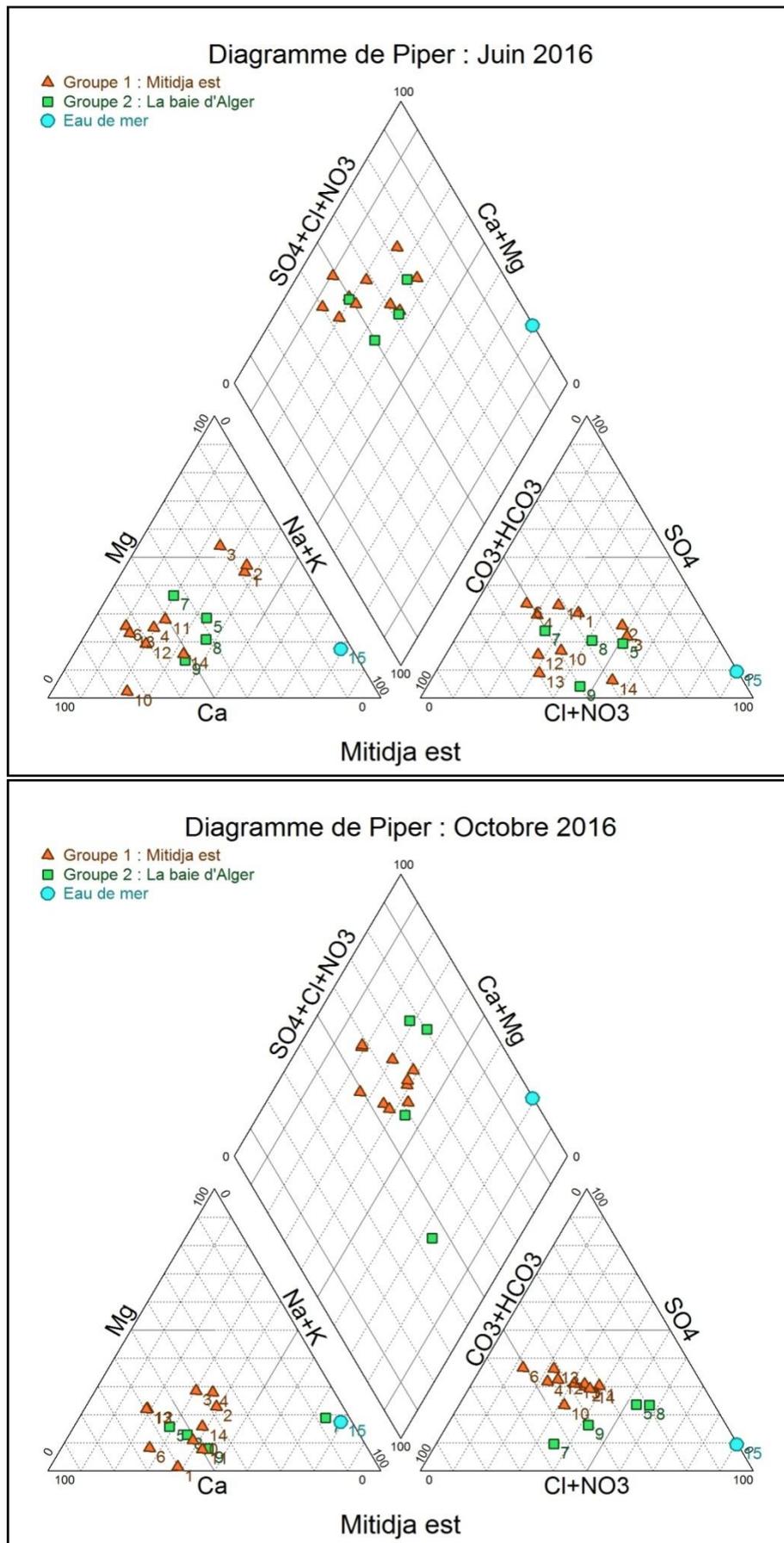


Figure 27: Diagramme de Piper: hautes et basses eaux 2016.

La représentation des échantillons dans le diagramme de Piper pour les compagnes 2014-2015-2016 montrent dans l'ensemble un faciès **Chloruré et sulfatée calcique et magnésien**.

On note aussi une augmentation des sels dans le temps qui s'explique par l'intrusion marine dans la zone d'étude.

### III.1.2.2. Diagramme de Schoeller-Berkaloff

Le diagramme de Schoeller-Berkaloff (Figure 28) permet de présenter le faciès chimique de plusieurs échantillons d'eaux en un seul graph. Chaque échantillon est représenté par une ligne.

La concentration de chaque élément chimique est figurée par une ligne verticale en échelle logarithmique. Un groupe d'eau de minéralisation variable mais dont les proportions sont les mêmes pour les éléments dissous, donnera une famille de lignes brisées parallèles entre elles. Lorsque les lignes se croisent, un changement de faciès chimique est mis en évidence.

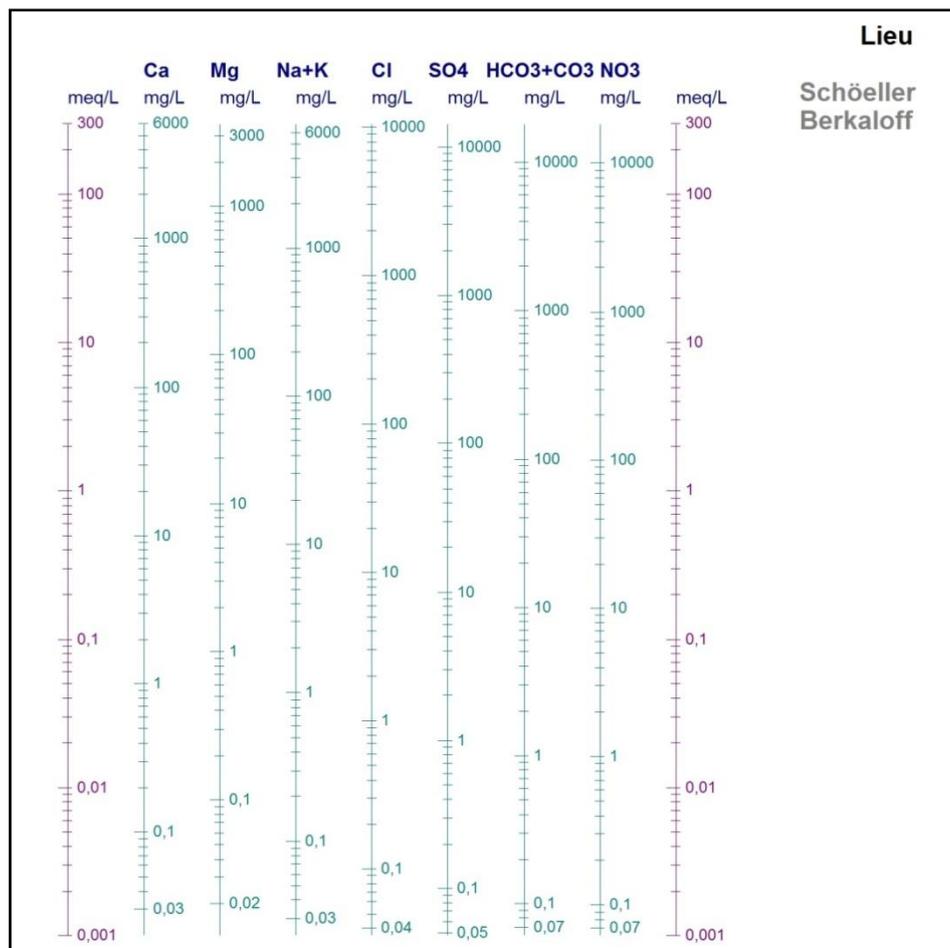


Figure 28: Diagramme Schoeller-Berkaloff

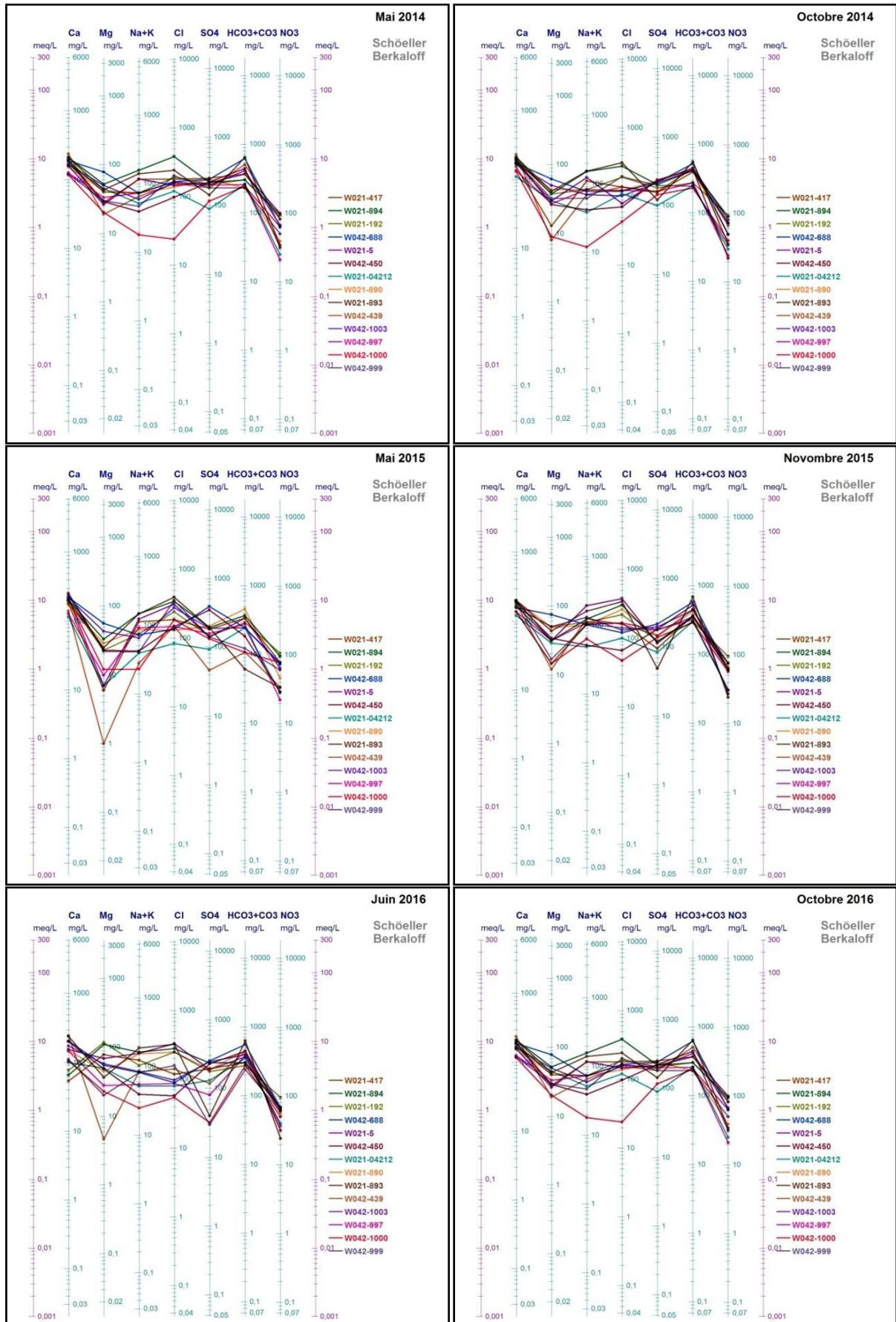


Figure 29: Diagrammes de Schoeller-Berkaloff: hautes et basses eaux (2014-2015-2016).

Les diagrammes de Schoeller-Berkaloff pour les 3 campagnes de mesure (Figure 29) montrent que le réseau étudié est de la même qualité dans ces paramètres chimiques ce qui suggère que ces eaux appartiennent au même aquifère.

### III.1.3. L'indice de saturation (Is)

L'indice de saturation permet d'étudier l'évolution chimique de l'eau en fonction de son état d'équilibre ou de déséquilibre par rapport aux minéraux primaires et néoformés de la roche. Nous étudierons ici les indices de saturation de l'eau par rapport aux calcite, dolomite et gypse.

Le calcul de l'indice de saturation des minéraux dissous dans l'eau a été mené en utilisant la loi de Debye et Hückel (1923) avec la formule suivante et à l'aide du logiciel diagrammes :

$$Is = \frac{\log PAI}{\log Ks}$$

avec :

-PAI : Produit d'Activité Ionique.

-Ks : constante d'équilibre.

Les graphes représentatifs de l'indice de saturation (Figure 30, Figure 31, Figure 32) montrent que les eaux de la nappe du quaternaire sont sursaturées en calcite et dolomite et sous-saturées en gypse ce qui veut dire que l'eau peut encore dissoudre la roche de gypse.

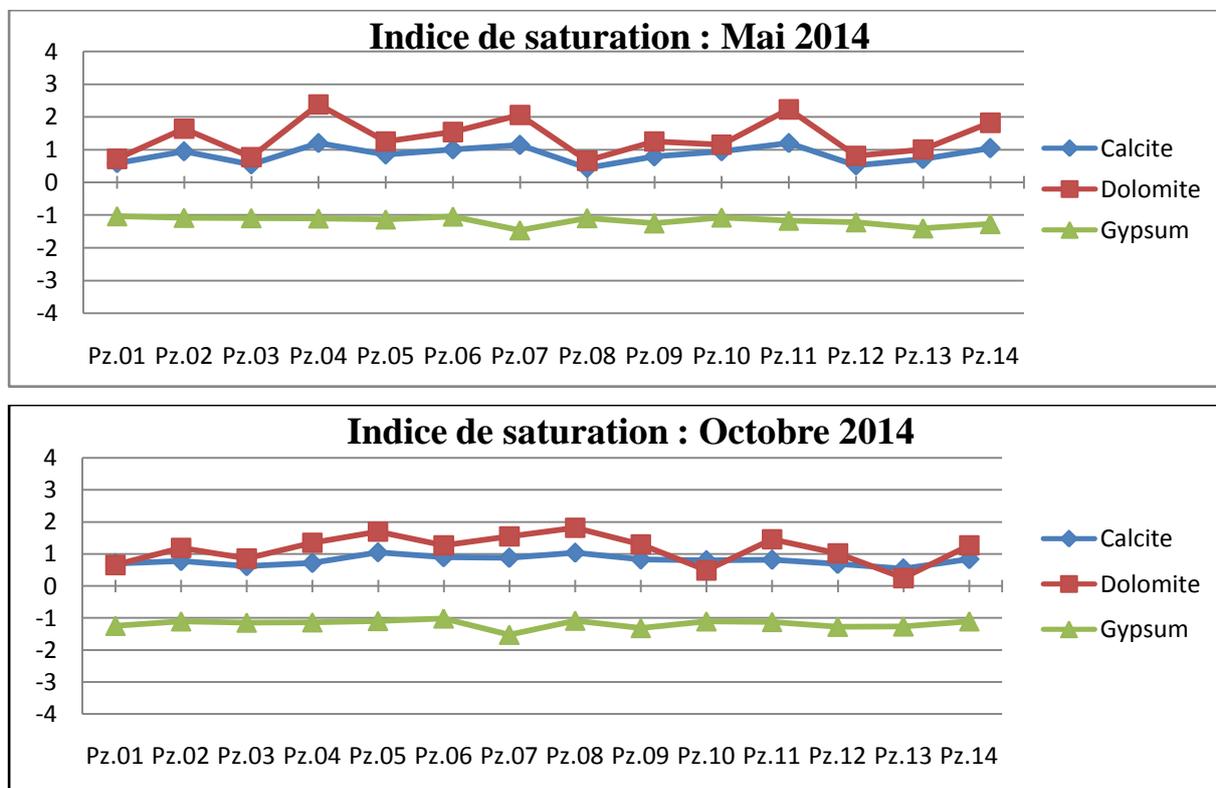


Figure 30: Indice de saturation 2014.

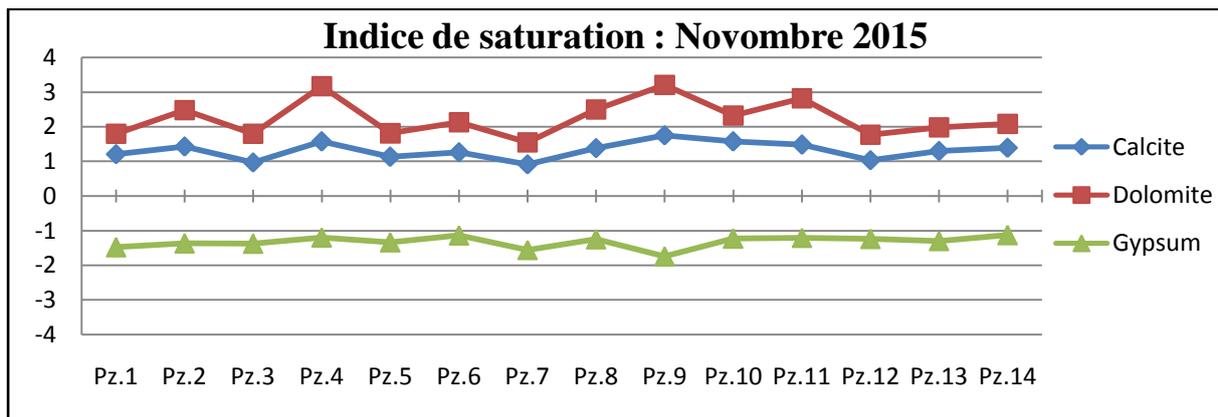
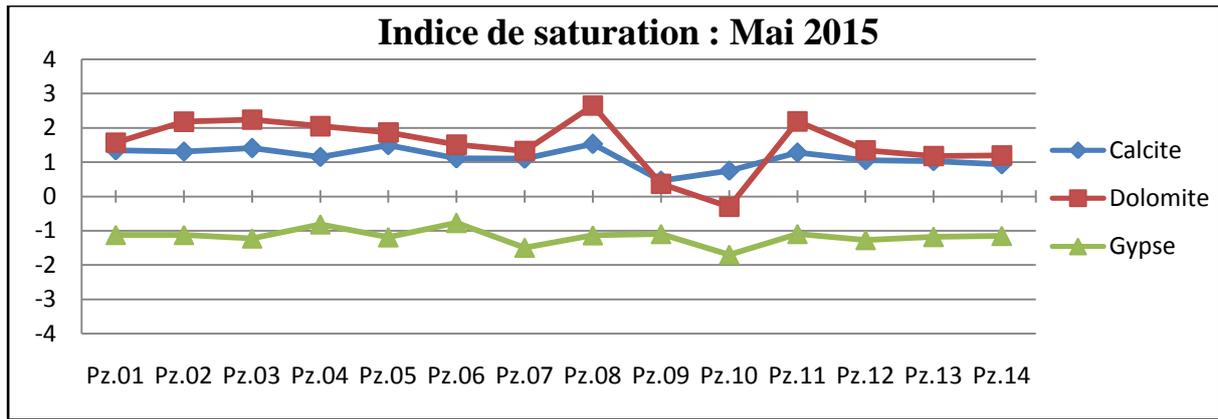


Figure 31: Indice de saturation 2015.

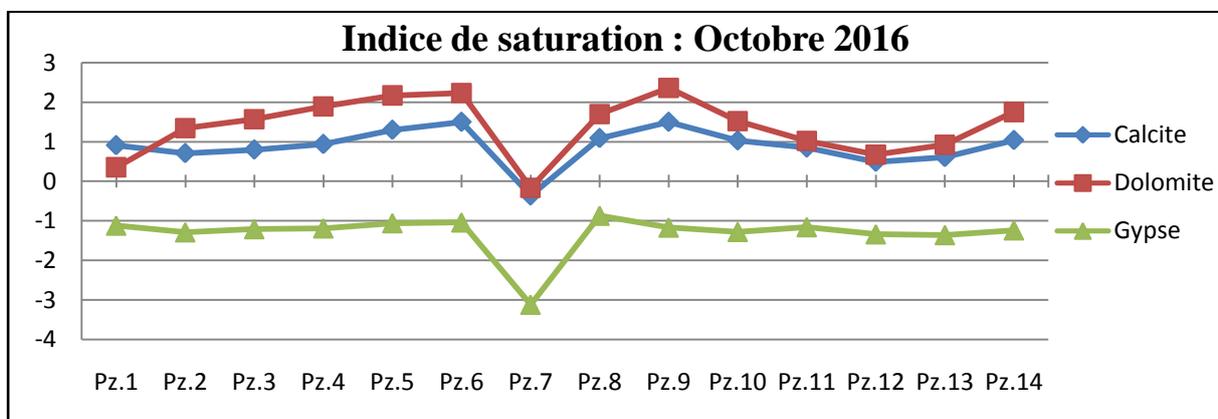
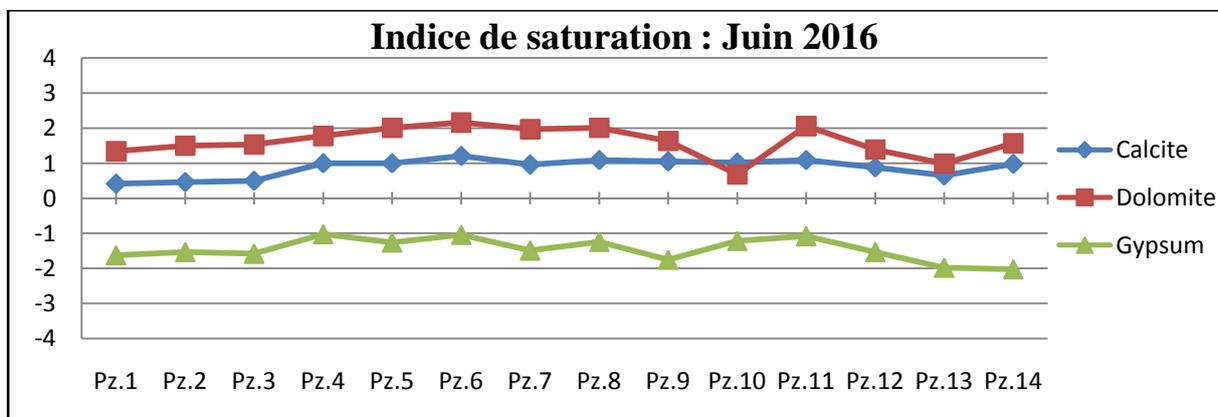


Figure 32: Indice de saturation 2016.

### III.1.4. Les couples chimique

#### III.1.4.1. Couples Na-Cl

Les graphs de Na-Cl (Figure 33) montrent que les points représentatifs des piézomètres de la Mitidja Est sont réparties le long d'une demi-droite parallèle à celle de la droite de la dissolution de la halite (Na-Cl) et se prolonge vers l'eau de mer, ce qui suggère une origine mixte de ces deux éléments chimiques due à la dissolution dans la matrice aquifère et l'avancé du biseau salé.

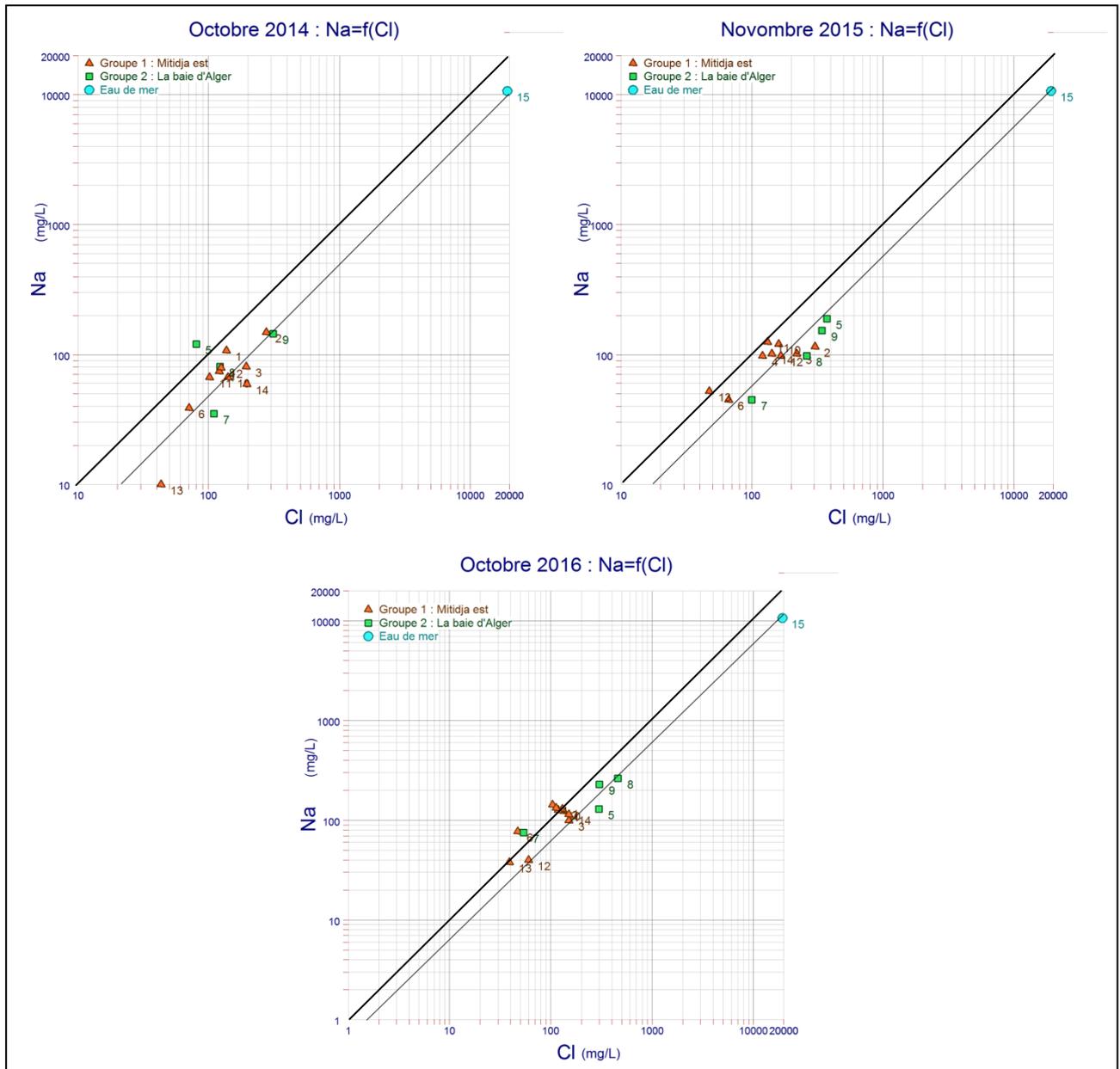


Figure 33: Graphs Na-Cl (2014-2015-2016).

III.1.4.2. Couples K-Cl

La répartition des points K-Cl (Figure 34) suggère un apport des sels évaporitiques à la minéralisation totale des eaux.

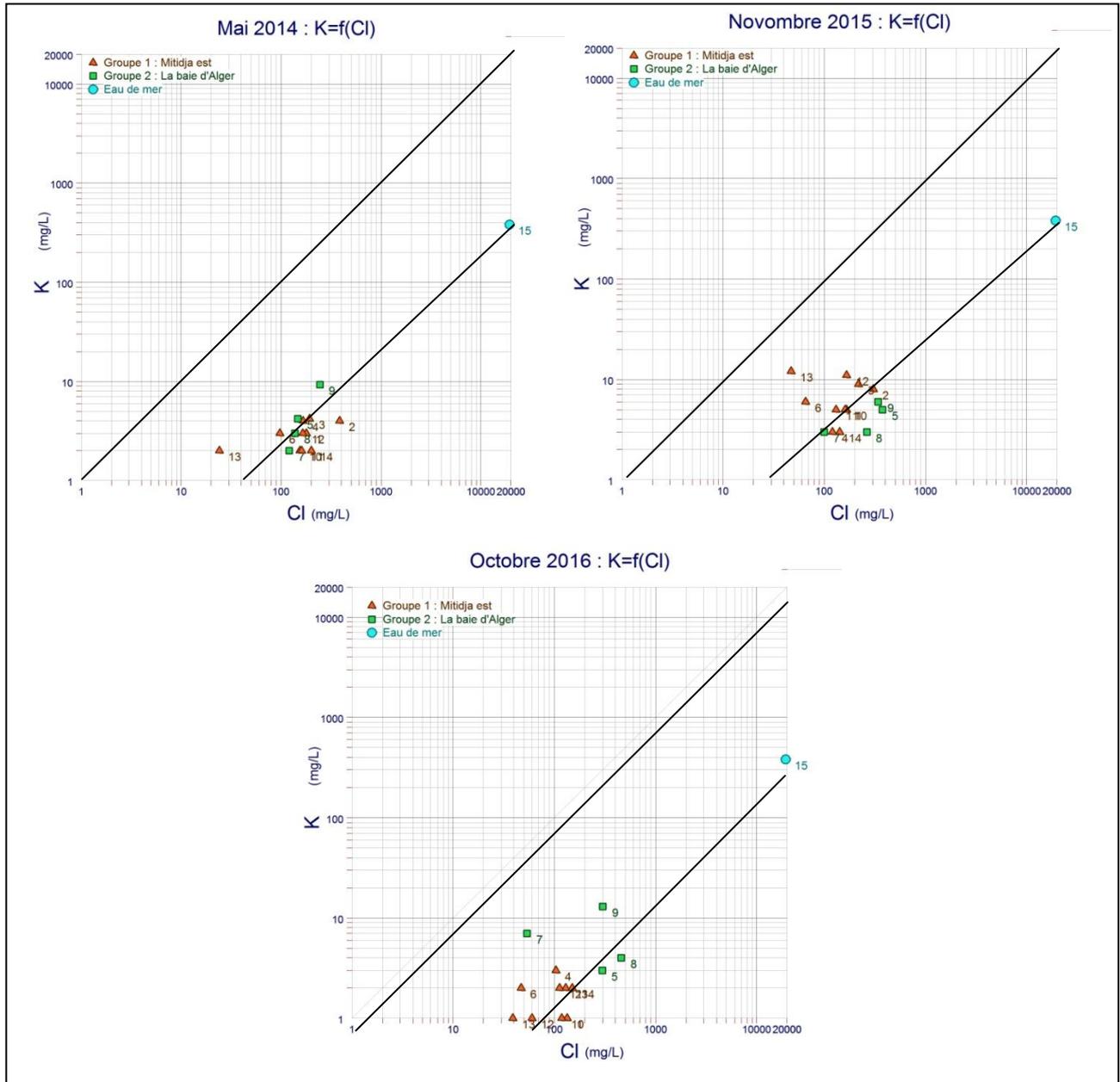


Figure 34: Graphs K-Cl (2014-2015-2016).

### III.1.4.3. Couples Ca-Cl

D'après les graphes, on observe que les points se répartissent le long de la droite de mélange des eaux de l'aquifère avec l'eau de mer.

Les concentrations des chlorures et des calciums augmentent en fonction du temps, ce qui confirme qu'il y a une avancée du biseau salé.

La relation K-Cl (Figure 34) montre une répartition des points qui suggèrent un apport des sels évaporitiques à la minéralisation total.

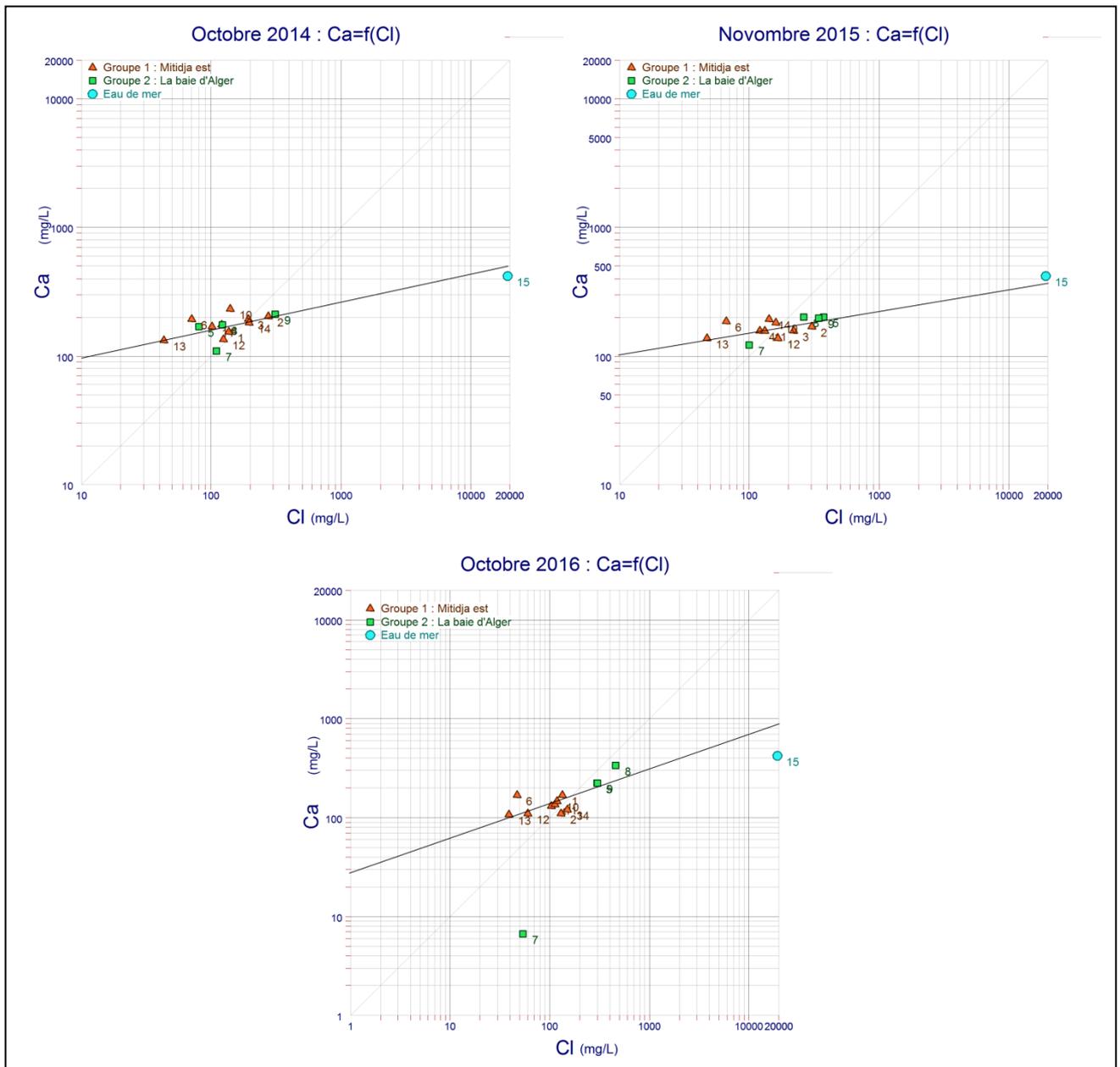


Figure 35: Graphs Ca-Cl (2014-2015-2016).

III.1.4.4. Couples TDS-Cl

La relation entre les sels totaux dissous (TDS) et les ions chlorures (Figure 36) montrent une bonne corrélation qui suggère que la minéralisation des eaux est liée à l'apport des éléments chimiques dans les eaux.

Ces relations confirme que les TDS dans l'eau de l'aquifère et le même avec l'eau de mer mais avec une légère concentration par rapport à l'eau de mer car il y'a un mélange des eaux de qualité différente l'une d'origine de l'aquifère et l'autre de la mer.

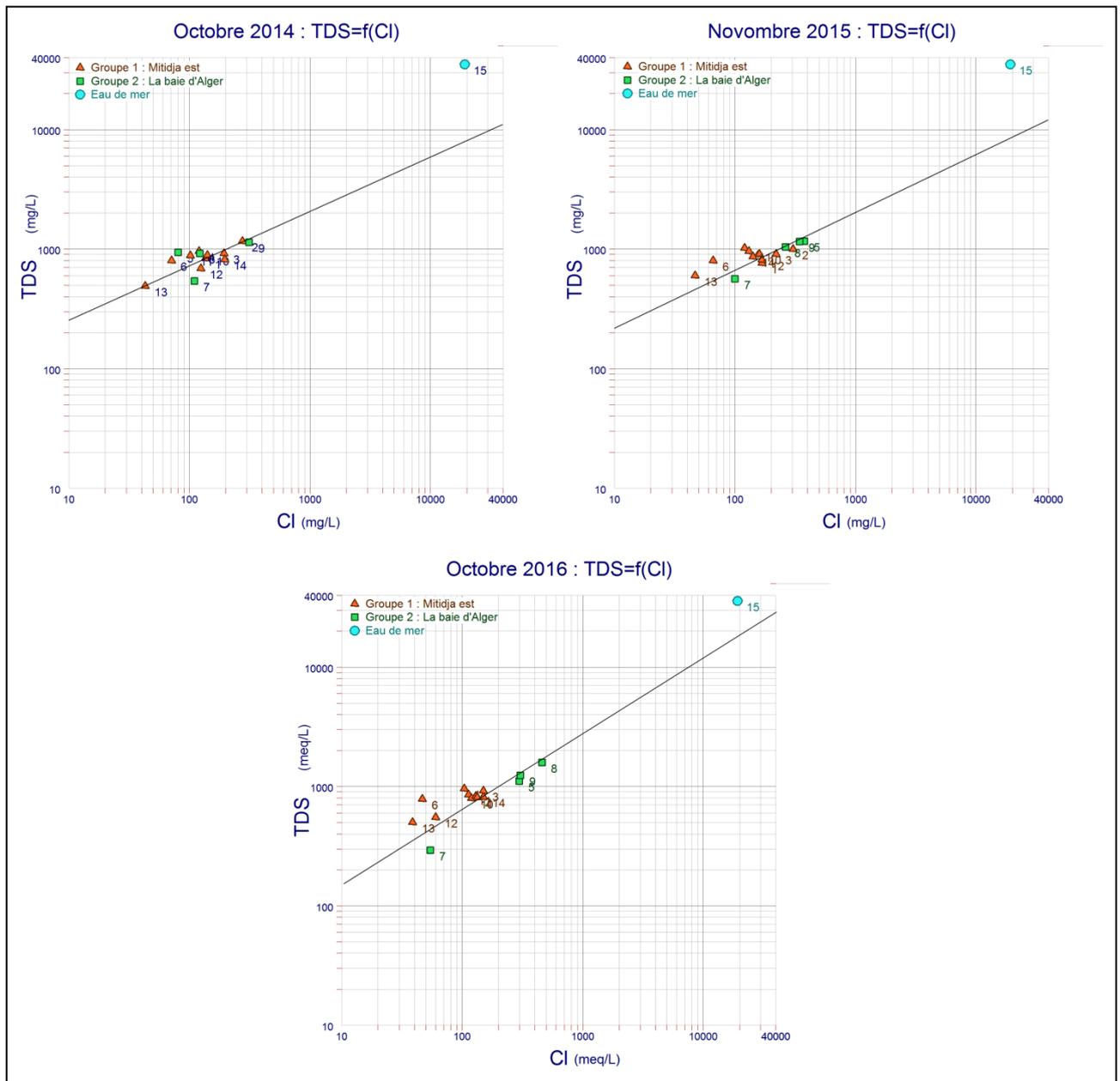


Figure 36: Graphs TDS-Cl (2014-2015-2016).

III.1.4.5. Couples NO<sub>3</sub>-Cl

L'évolution de la relation des nitrates et les chlorures (Figure 37) montre que les eaux sont chargées en nitrates, mais ne montrent aucune relation avec l'ion chlorure ce qui est en accord avec ce qui est admis actuellement sur la nappe de la Mitidja. Les nitrates ont une origine autre que celle de l'intrusion marine.

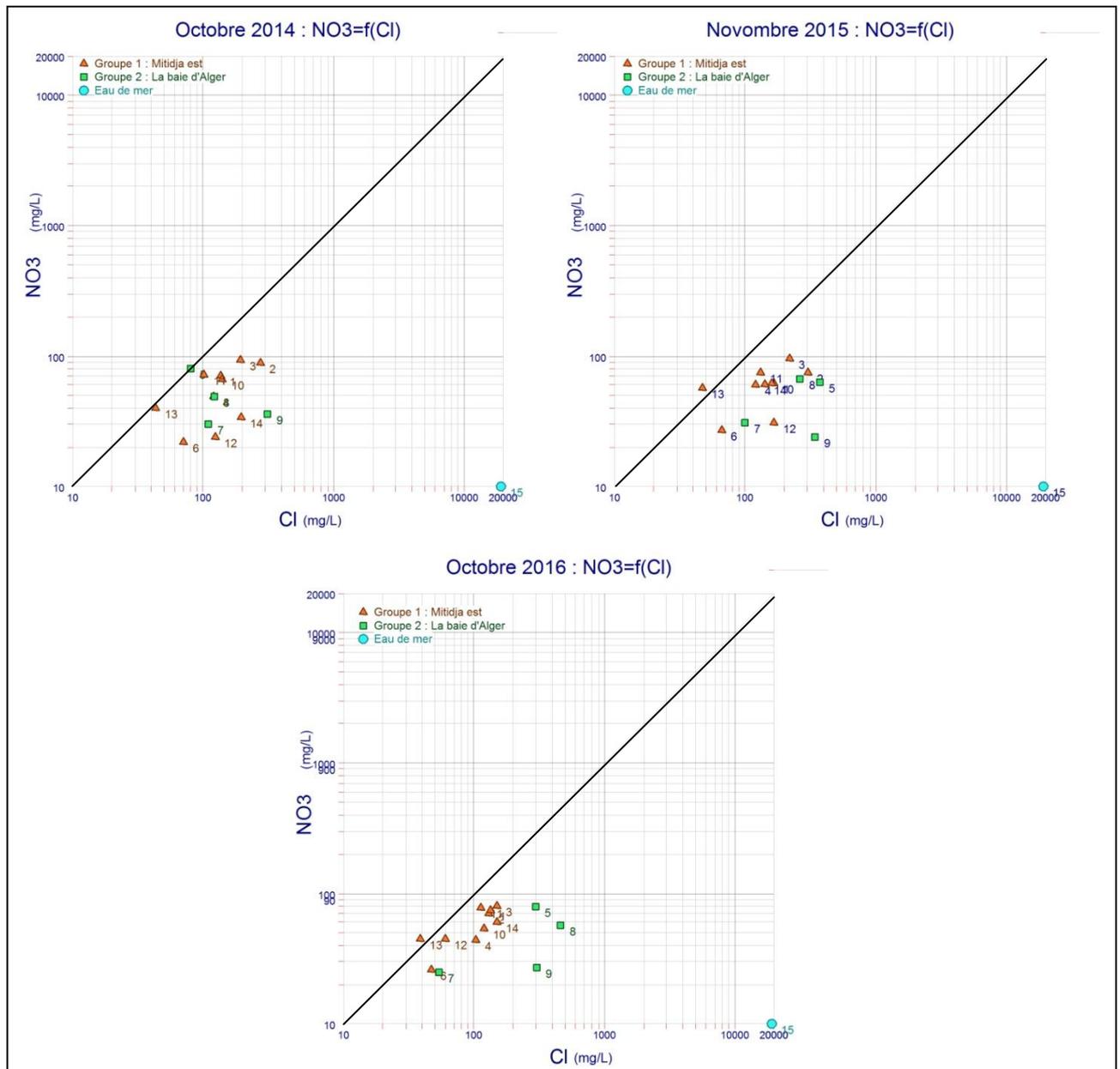


Figure 37: Graphs NO<sub>3</sub>-Cl (2014-2015-2016).

III.1.4.6. Couples Ca-SO<sub>4</sub>

La plupart des points sont répartis de droite unité pour les trois années. Ceci est du à la dissolution de gypse en niveau de l'aquifère. Alors que, l'augmentation de concentration de calcium pour certains points est du à l'échange de base avec le milieu extérieur.

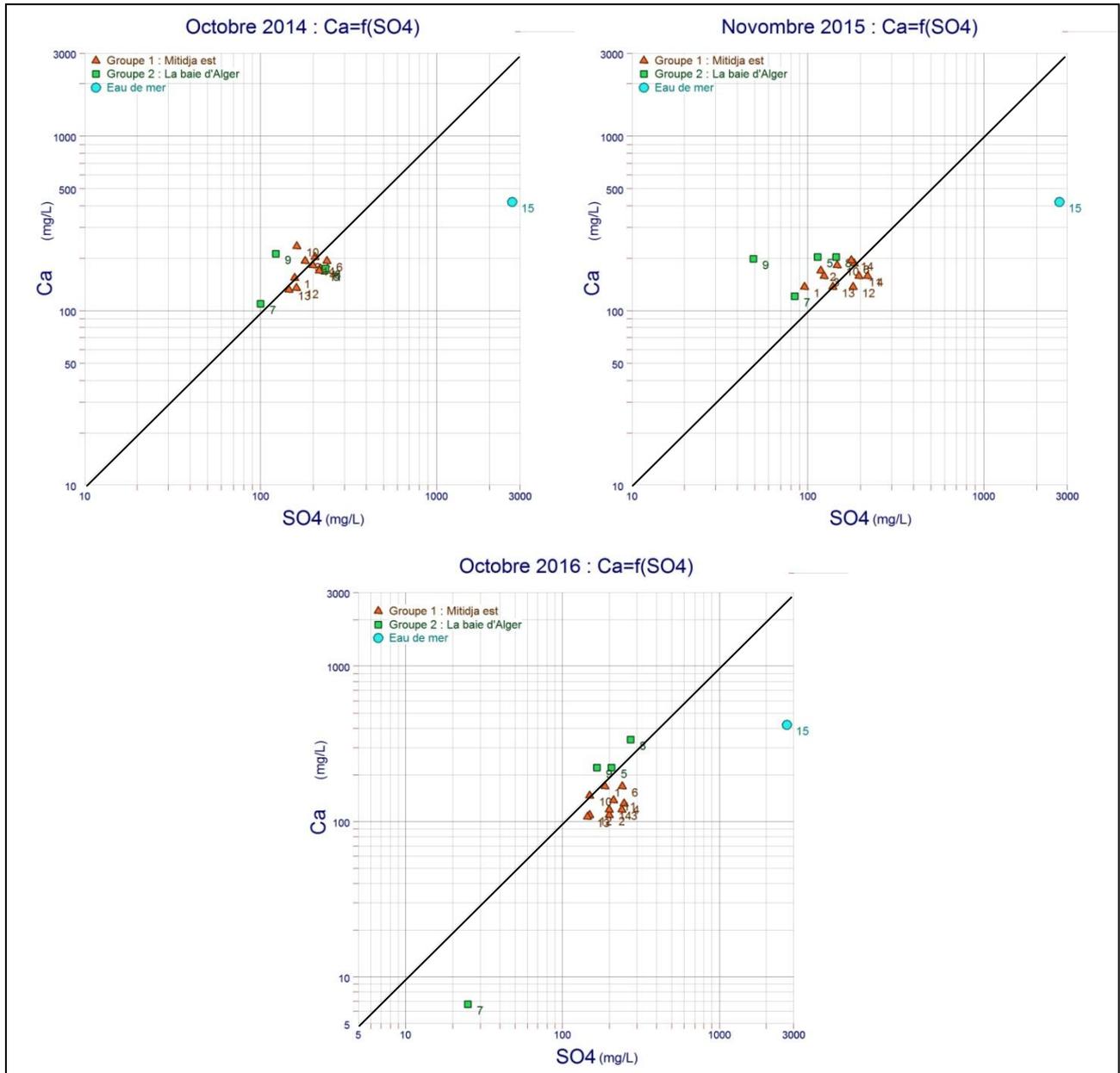


Figure 38: Graphs Ca-SO<sub>4</sub> (2014-2015-2016).

### III.1.5. Cartes Iso-Teneur

Les cartes iso-teneur permettent d'analyser la variabilité spatiale des concentrations des éléments chimiques dans la zone d'étude et prévoir l'état de l'évolution du biseau salé afin de lutter contre le phénomène de l'intrusion marine.

#### III.1.5.1. Cartes iso-teneur en chlorures

La carte des iso-teneur en chlorures (Figure 39) montre une augmentation des concentrations des chlorures au nord (Pz:03, 07,08, 09) et un diminution au sud (le piémonts de l'Atlas: Pz: 04,06, 10, 11, 12, 13, 14) . Les teneurs en chlorures sont relativement très élevés dans les environs du triangle d'El-Hamiz-Borj El Kifan-Borj El Bahri.

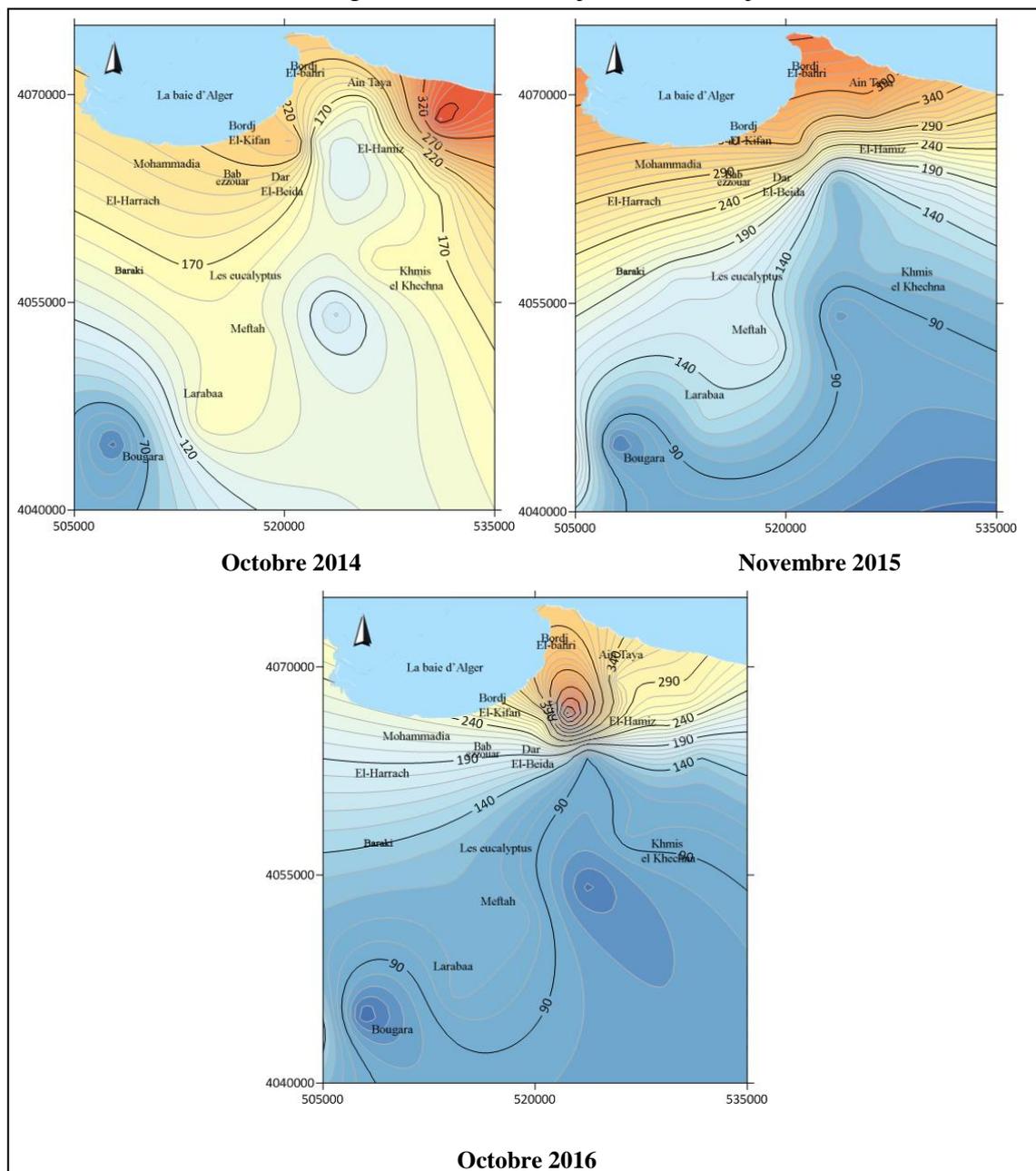


Figure 39: Cartes iso-teneur en chlorures (2014-2015-2016).

### III.1.5.2. Cartes iso-teneur en conductivité

Les cartes d'iso-teneur en conductivité (Figure 40) montrent une évolution de 1750-2100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  à 2000-2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  au niveau du triangle d'El-Hamiz-Borj El Kifan-Borj El Bahri et une conductivité qui varie entre 1200 et 1600  $\mu\text{S}/\text{cm}$  pour tout le reste de la zone de la baie d'Alger.

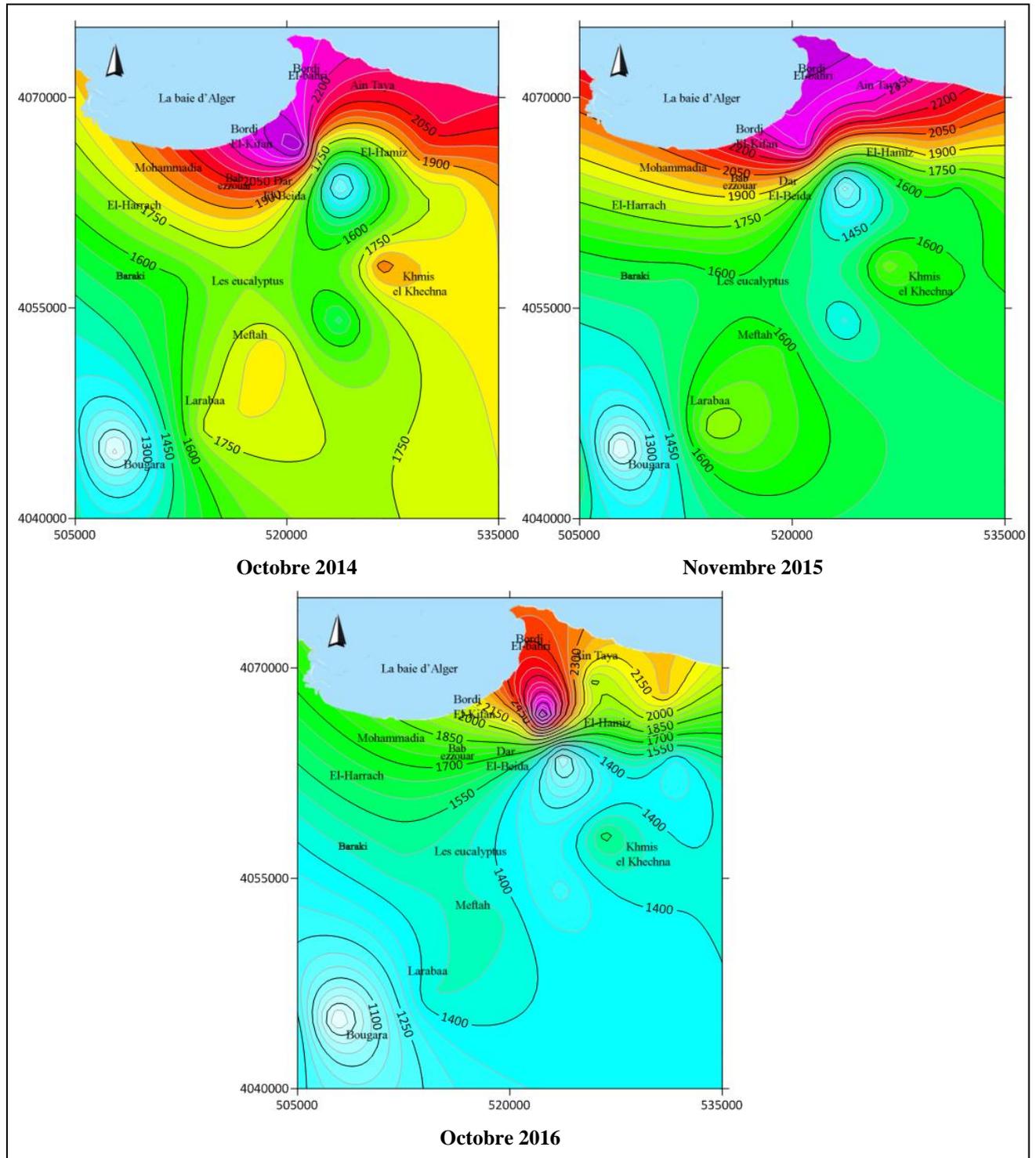


Figure 40: Cartes iso-teneur en conductivité (2014-2015-2016).

III.1.5.3. Cartes iso-teneur en salinité

Les cartes d'iso-teneur en salinité (Figure 41) montrent une variation de 600-800 mg/l à 850-1400 au niveau du triangle d'El-Hamiz-Borj El Kifan-Borj El Bahri, tandis que la salinité varie entre 500 et 600 mg/l pour tout le reste de la zone d'étude.

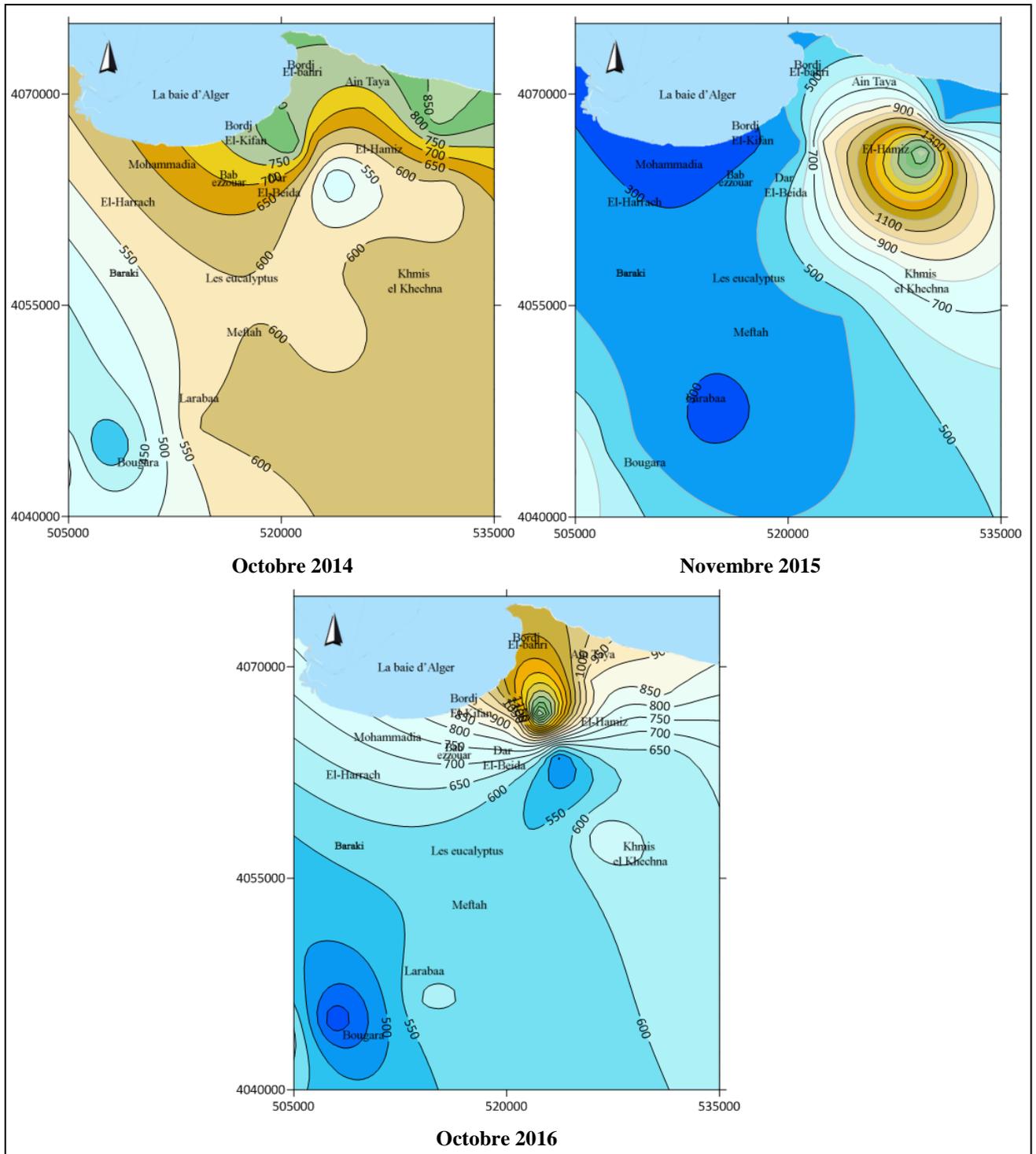
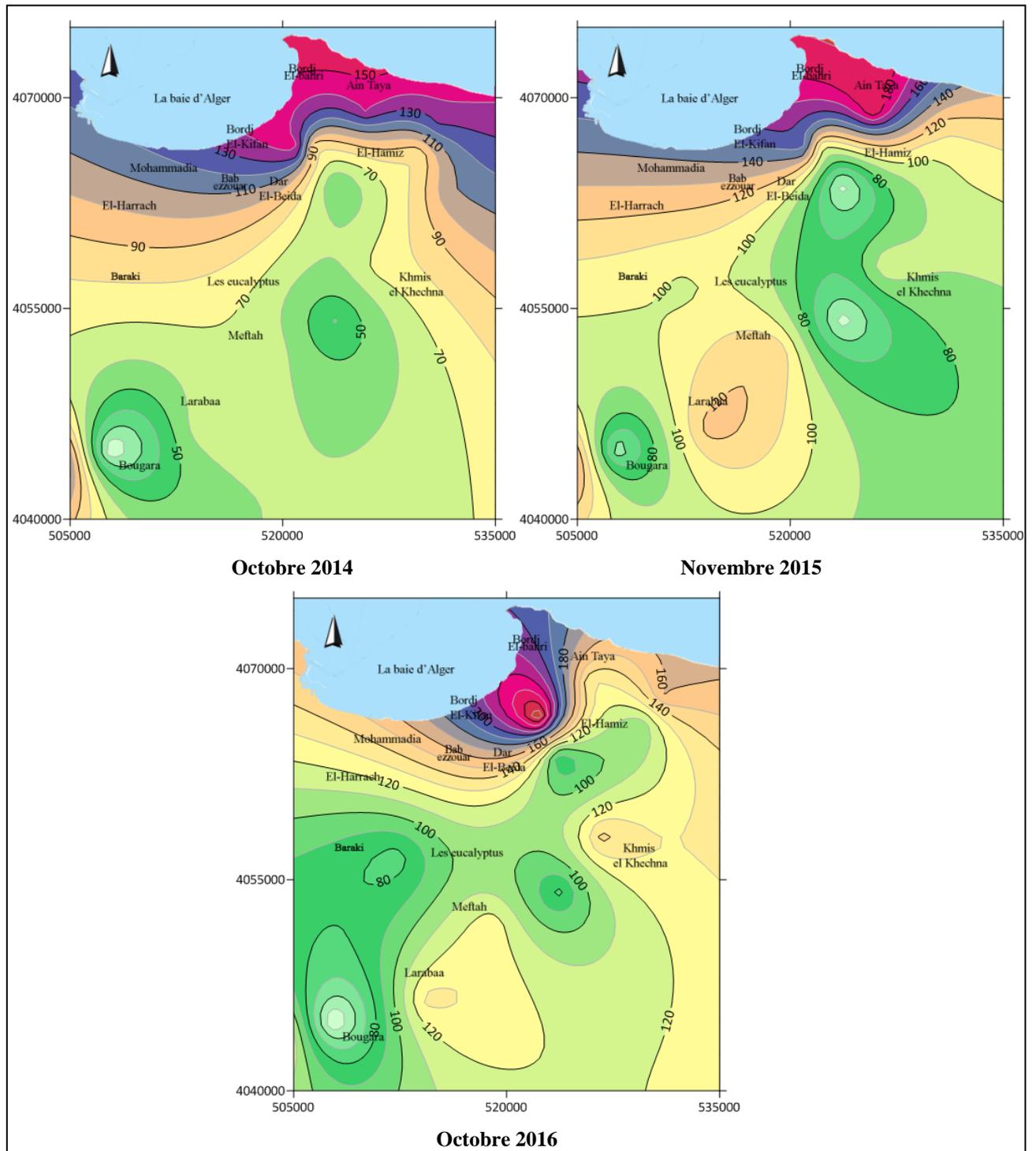


Figure 41: Cartes iso-teneur en salinité (2014-2015-2016).

**III.1.5.4. Carte iso-teneur en sodium**

Les cartes d'iso-teneur en sodium (Figure 42) montrent une augmentation des concentration en sodium au nord (Pz:03, 07, 08, 09) et une diminution au sud (le piémonts de l'Atlas Pz: 04, 06, 10, 11, 12, 13, 14).

Les teneur en sodium sont relativement très élevés dans les environs du triangle d'El-Hamiz-Borj El Kifan-Borj El Bahri.



**Figure 42: Cartes iso-teneur en sodium (2014-2015-2016).**

## III.2. Approche hydrodynamique

### III.2.1. Cartes piézométriques de la Mitidja Est

Le suivi piézométrique au niveau de la baie d'Alger se fait d'une manière régulière par le service de l'ANRH en période des hautes eaux et des basses eaux (Annexe 5).

Les cartes piézométriques de la Mitidja Est nous permettent de connaître l'évolution de la piézométrie de la zone d'étude pour les campagnes 2014-2015-2016 et aussi de comparer la différence entre les hautes eaux et les basses eaux dans la région pour la même année.

Le réseau de mesure piézométrique dont nous disposons est représenté par 44 piézomètres répartis sur l'ensemble de la zone d'étude (Figure 43).

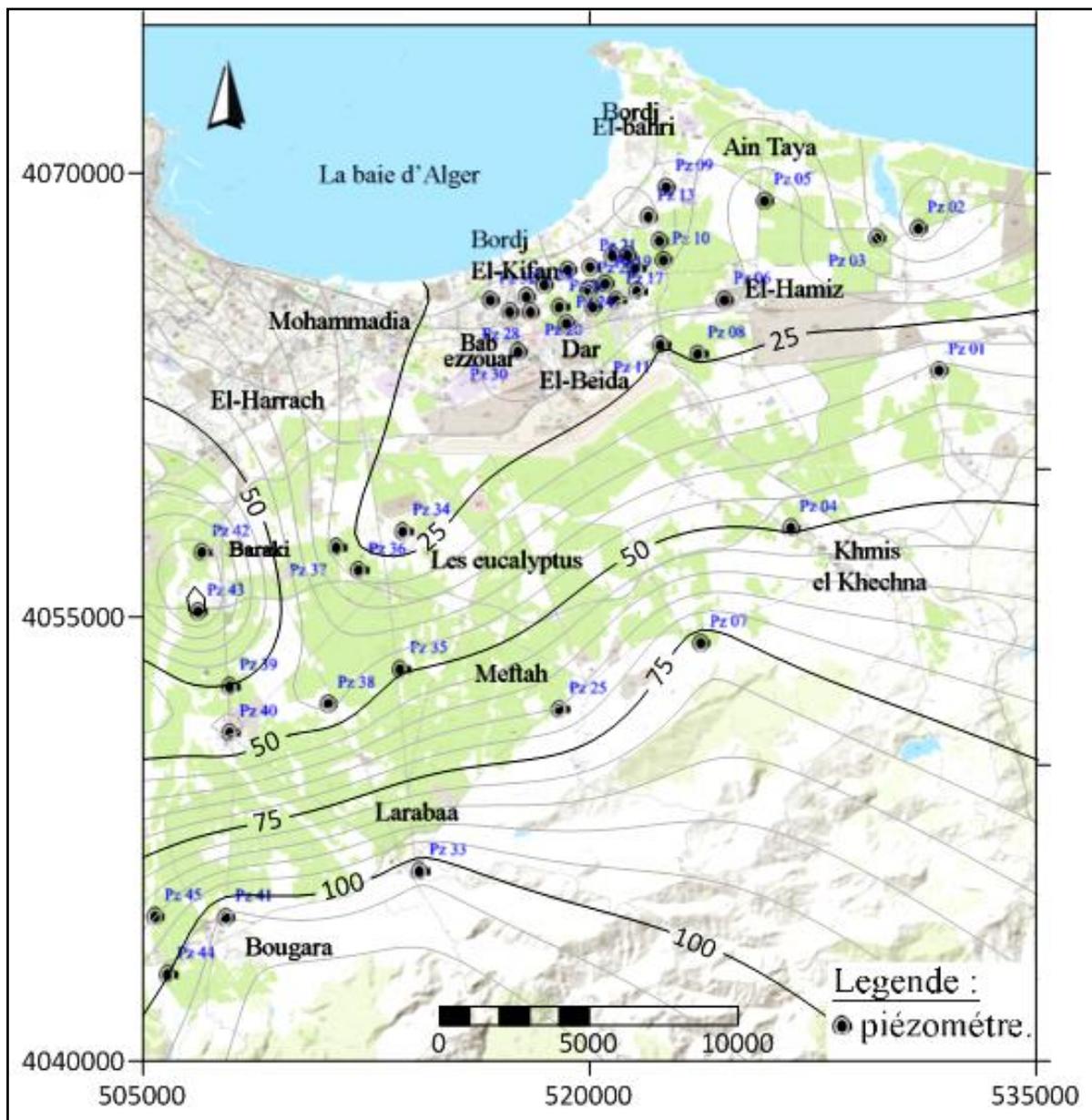


Figure 43: Répartition des piézomètres sur la carte topographique de la baie d'Alger.

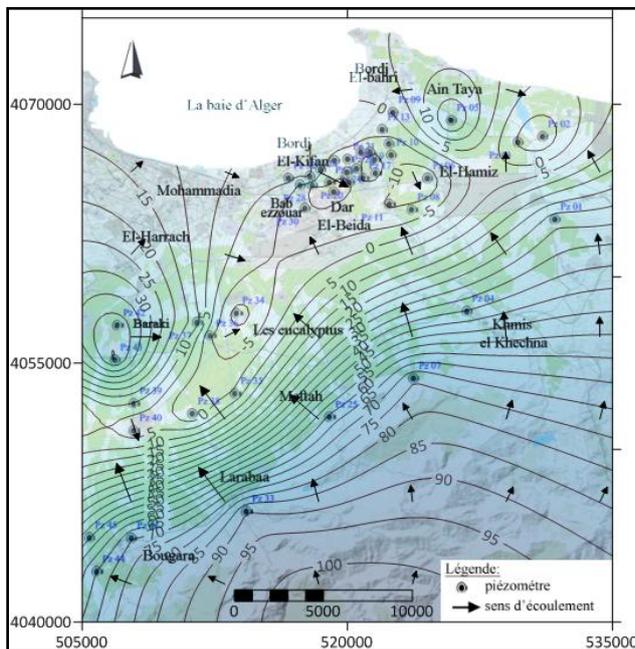
Les cartes piézométriques en période des hautes eaux (Figure 44, Figure 46, Figure 47) montrent que:

- l'écoulement de la nappe se fait de l'Atlas Blidéen vers le nord jusqu'à la bande de Dar El-Beida, où les niveaux piézométriques sont à la côte  $Z=0$  m NGA.
- les cotes piézométriques varient entre 0 et 10 m NGA au-dessous du niveau de la mer dans le nord de la Mitidja Est (région El-Hamiz et Borj El-Kifan).

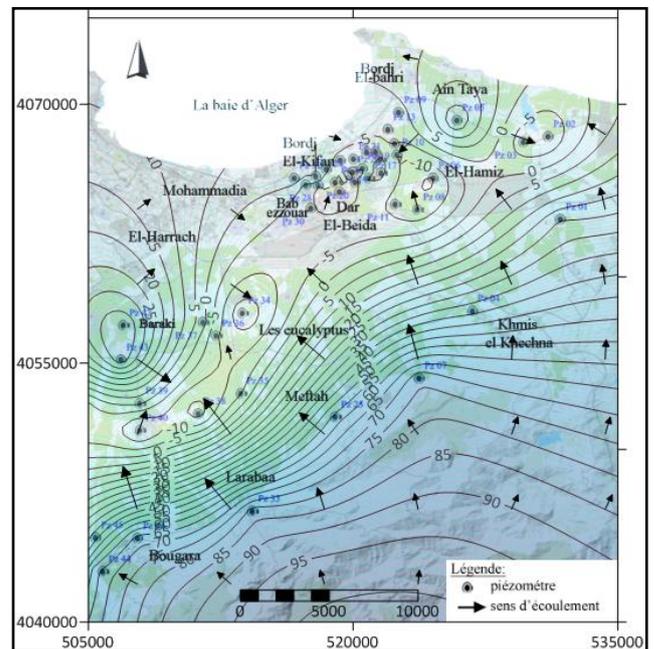
Les cartes piézométriques des basses eaux (Figure 45, Figure 48, Figure 49) montrent que:

- l'écoulement de la nappe se fait de l'Atlas Blidéen vers le nord avant d'arriver à Dar El-Beida on attend le niveau piézométrique  $Z=0$  m NGA.
- les cotes piézométriques varient entre -5 et -15 m NGA donc la piézométrie est au-dessous du niveau de la mer (0 m NGA) dans la région de Dar El-Beida, Borj El-Kifan et El-Hamiz.

L'ensemble des cartes montre aussi que le niveau piézométrique, que ce soit en période de basses eaux ou hautes eaux, diminue surtout au Nord-Est de la baie d'Alger. Cette diminution est due à la surexploitation de la nappe dans les champs de captages de Baraki, Bouréah et surtout El-Hamiz.



**Figure 44: La piézométrie de Mitidja Est (mai 2014).**



**Figure 45: La piézométrie de Mitidja Est (octobre 2014).**

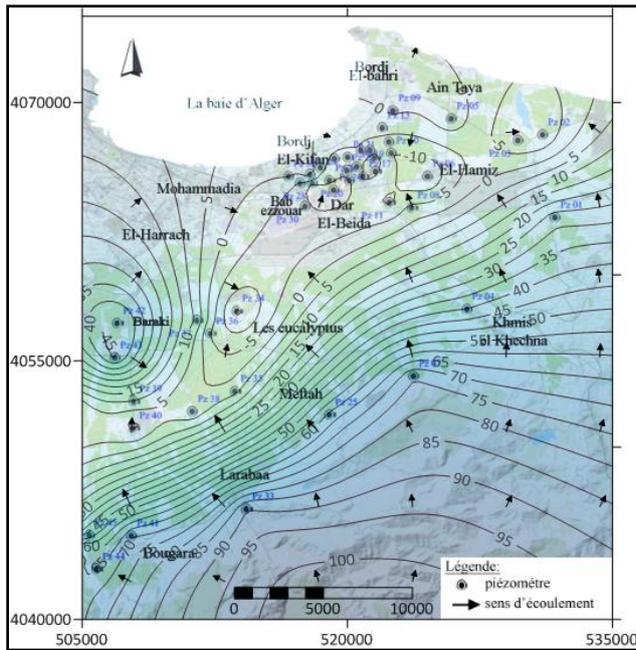


Figure 46: La piézométrie de Mitidja Est (mai 2015).

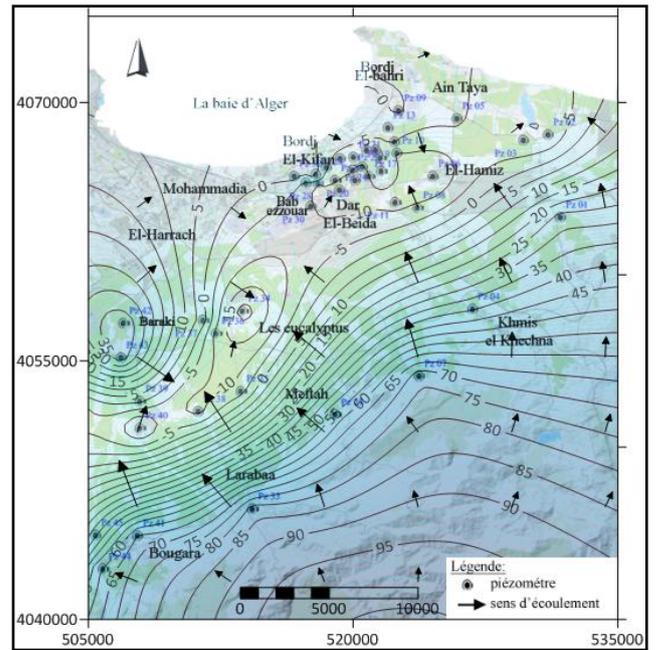


Figure 48: La piézométrie de Mitidja Est (novembre 2015).

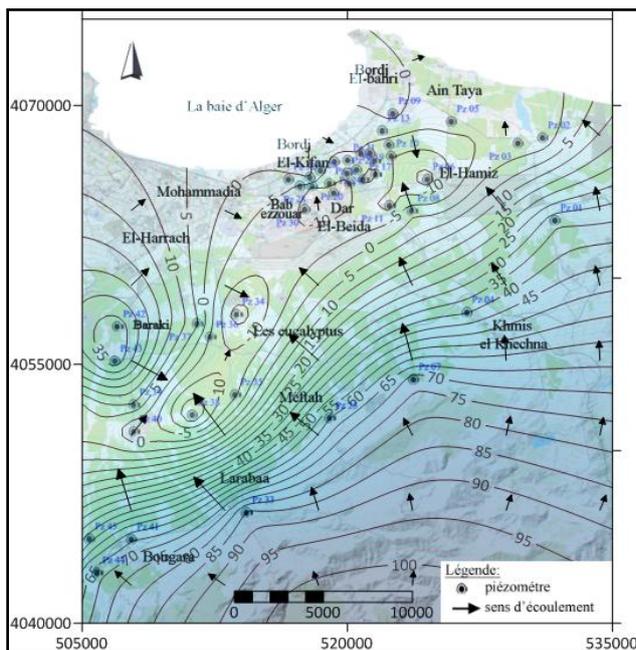


Figure 47: La piézométrie de Mitidja Est (mai 2016).

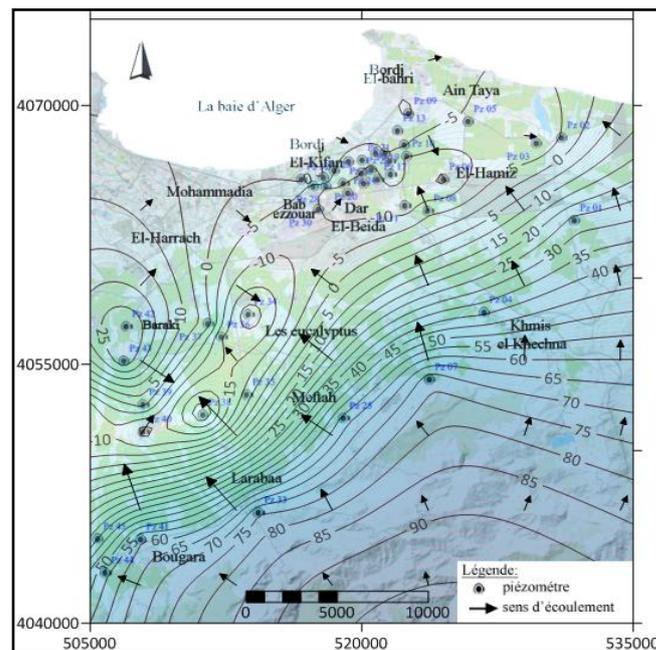


Figure 49: La piézométrie de Mitidja Est (octobre 2016).

## Conclusion

L'étude des caractéristiques physico-chimiques de la zone d'étude a montré que le milieu est caractérisé par la présence des sels au niveau d'El-Hamiz et ses environs, avec des concentrations supérieures aux normes dont l'eau de mer étant l'origine. Ceci montre la persistance du phénomène de l'intrusion marine dans la baie d'Alger due à la surexploitation de la nappe, compte tenu de la baisse du niveau piézométrique enregistrée dans la région.

## **Chapitre IV**

# **LUTTE CONTRE L'INTRUSION MARINE**

## Chapitre IV: Lutte contre l'intrusion marine

### Introduction

Ce chapitre expose les méthodes les plus connues pour la lutte contre l'intrusion marine, celles qui sont déjà adoptées au niveau de la baie d'Alger ainsi que d'éventuelles méthodes que nous proposons pour atténuer ce phénomène dans la zone d'étude.

#### IV.1. Les méthodes de lutte contre l'intrusion marine

Il existe plusieurs méthodes qui sont adoptées pour lutter contre le phénomène de l'intrusion marine à l'échelle internationale (Figure 50), mais les plus utilisées et connues sont:

- La recharge artificielle (RAN)
- La réduction des prélèvements

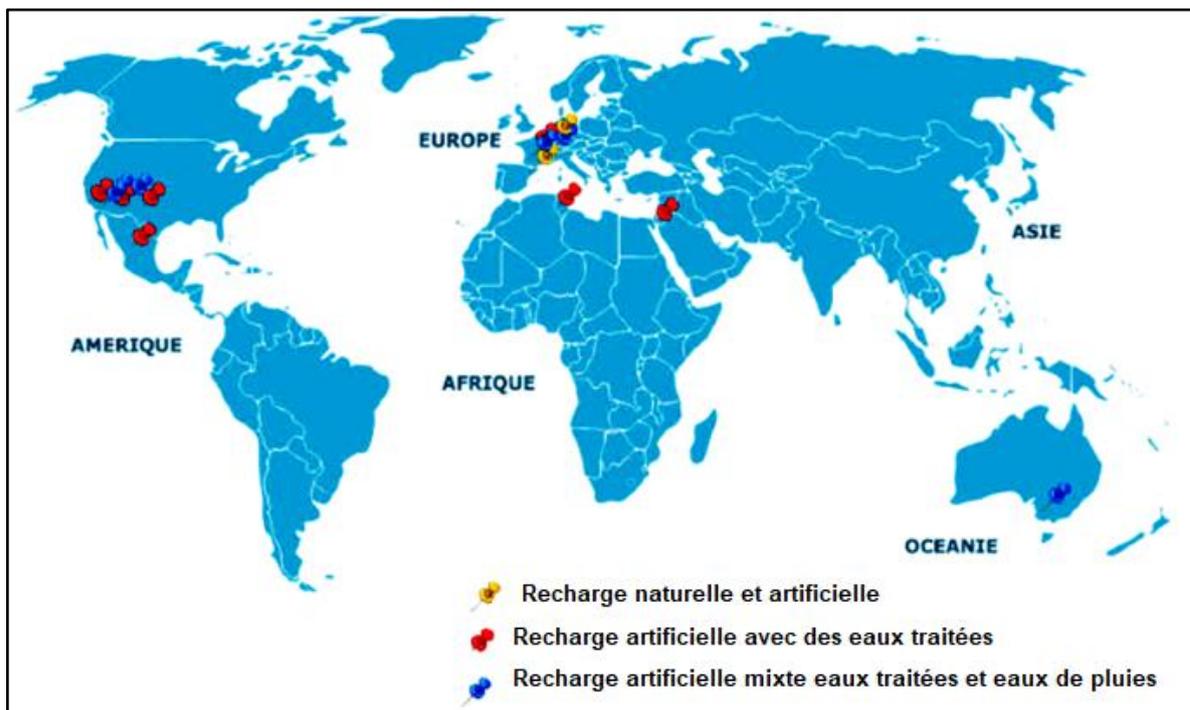


Figure 50: Localisation des cas recensés de recharge de nappe dans le monde.

##### IV.1.1. La recharge artificielle de la nappe (RAN)

La recharge artificielle de la nappe est une pratique qui vise à augmenter les volumes d'eau souterraine disponibles en favorisant, par des moyens artificiels, son infiltration jusqu'à l'aquifère. La recharge artificielle a pour objectif le soutien de la nappe souterraine

surexploitée, ainsi que l'amélioration de la qualité des nappes qui présentent une baisse significative des concentrations en certains éléments chimiques par dilution. (J. Casanova, 2013).

La recharge de l'aquifère par l'eau douce peut se faire à l'aide de puits d'injection ou des bassins d'infiltration implantés tout au long ou parallèlement à la côte ce qui va créer une haute charge hydraulique d'eau douce appelée barrière hydraulique qui a pour effet la protection des Forages situés à l'intérieur des terres de l'intrusion saline. Cette technique de RAN a été également utilisée pour protéger les forages d'eau potable dans les nappes alluviales des effets de pollutions accidentelles à court terme qui affectent des cours d'eau reliés hydrauliquement à ces nappes.

La recharge artificielle de la nappe consiste à infiltrer l'eau de surface dans le sol par l'intermédiaire des plusieurs éléments à savoir:

- les bassins filtrants.
- les barrages ou les retenues collinaires filtrants.
- les oueds.
- les puits d'injection.

- **Les bassins d'infiltrations**

Cette méthode regroupe les techniques tels que les barrages et retenues collinaires filtrants (Figure 51) ainsi que les divers aménagements et installations réalisés pour la gestion des eaux pluviales (ou de ruissellement) ou l'assainissement autonome.

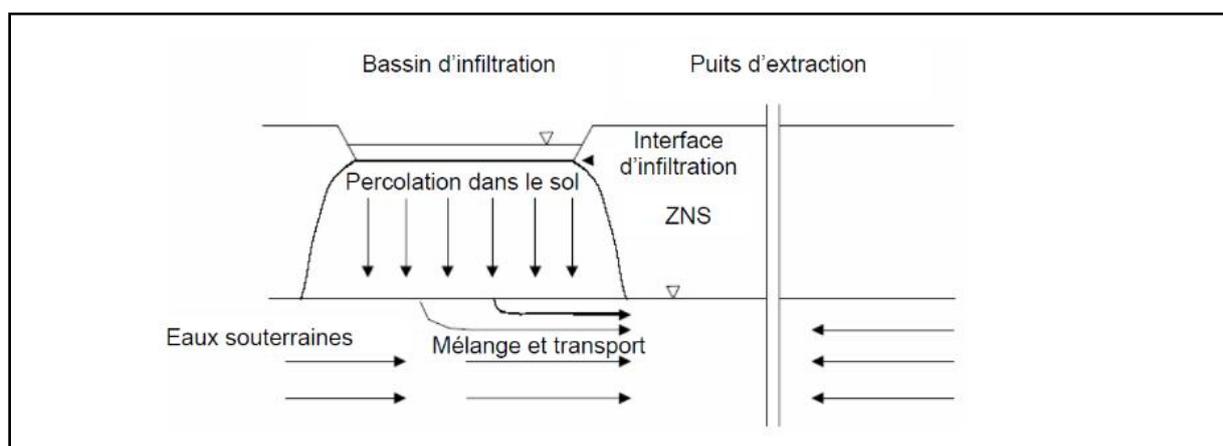


**Figure 51: Un retenue collinaire dans un espace vert.**

Les petits barrages en terre utilisés comme bassins filtrants, ne dépassent souvent pas 3 mètres de haut et 100 m de long. Le coût est donc faible et dépend de la configuration et de la nature des emplacements. Tandis que, les grands barrages en terre nécessitent le plus souvent des équipements puissants de terrassement et des investissements considérables.

Pour l'ensemble de ces techniques, l'eau traverse la zone non saturée lors de son transfert vers l'aquifère (Figure 52). L'eau peut ainsi être potentiellement épurée par son contact avec le sol qui permet l'élimination de certains agents pathogènes.

La mise en place de la méthode par bassin d'infiltration nécessite l'analyse des propriétés physico-chimiques de la zone non saturée pour évaluer les impacts d'une telle installation sur les propriétés physico-chimiques de cette zone tels que la diminution de la perméabilité, la mobilisation de contaminants.

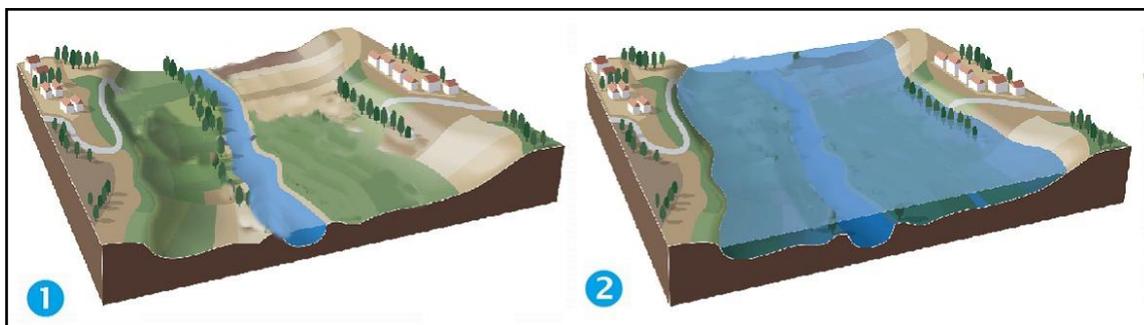


**Figure 52: Schéma simplifié de recharge par bassin d'infiltration (d'après Pettenati, 2007).**

- **Les oueds**

L'utilisation du lit majeur des cours d'eau est un moyen préférable et rentable pour la recharge artificielle, car généralement on rencontre là des matériaux hautement perméables. L'opération consiste à aménager le lit du cours d'eau en l'élargissant (Figure 53). On peut également y construire des bassins ou, plus simplement, des digues peu élevées temporaires ou permanentes, en gabions par exemple afin de diminuer la vitesse d'écoulement de l'oued. Des ouvrages plus sophistiqués tels que des digues en caoutchouc gonflable ou en acier (en Italie, plaques de 1 x 1,5 mètres et 5 millimètres d'épaisseurs) peuvent être mises en place. Ces ouvrages peuvent être disposés en série tout au long du cours d'eau. Ils serviront à augmenter la superficie et le temps de contact entre l'eau et le milieu perméable.

Cette méthode convient particulièrement lorsque les débits de surface sont très concentrés dans le temps: cas des oueds sahariens et autres cours d'eau intermittents des zones semi-arides. Elle est facile à appliquer et peu coûteuse.



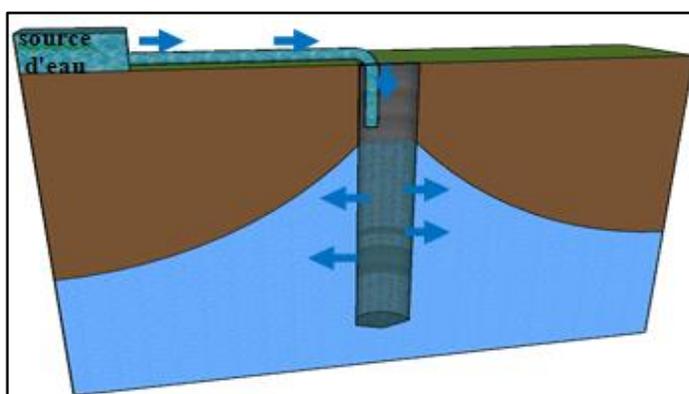
**Figure 53: Aménagement d'oued dans le but d'augmenter la surface et le taux d'infiltration.**

- **RAN par puits d'injection**

La méthode d'injection directe à travers des forages (Figure 54) est la plus utilisée dans le monde. Elle permet de recharger la nappe captive et de créer des barrières hydrauliques afin de repousser certaines contaminations d'aquifères (comme le biseau salé) destinées à la consommation.

Ce type d'injection offre plusieurs avantages. Seuls ces ouvrages permettent de recharger des nappes captives lorsqu'il n'est pas possible de le faire dans leurs zones d'alimentation naturelle. Des surfaces étendues ne sont pas nécessaires et l'injection sous pression est possible, enfin la perméabilité horizontale des terrains est plus grande que la verticale mais, ceci compensant cela, le colmatage se produit souvent et les débits d'injection ne sont pas faciles à maintenir. Ces ouvrages sont donc souvent d'efficacité modérée et en outre coutent très cher.

Le fonctionnement des forages et puits d'injection est à l'inverse des forages d'exploitation, donc leur construction nécessite souvent l'isolement par cimentation de la zone absorbante et la pose d'un massif de gravier qui favorise l'injection et prolonge la durée de l'ouvrage.



**Figure 54: Méthode de recharge artificielle par puits.**

### ❖ Conditions générales de la recharge artificielle

L'emplacement des ouvrages d'infiltration doit être bien choisi, pour cela plusieurs paramètres doivent être respectés, les plus importants sont :

- **les caractéristiques des eaux à injecter d'une part.**
- **les caractéristiques des eaux du milieu récepteur (l'aquifère).**

Dans tout projet de recharge, il y aura donc lieu de considérer les conditions suivants pour assurer la réalisation de la recharge artificielle (Bourbua, 2011):

- Hydrologiques ;
- Hydrodynamiques ;
- Géologiques et hydrogéologiques ;
- Les aspects économiques et juridiques de l'opération.

#### • Facteurs hydrologiques

Il s'agit tout d'abord d'analyser toutes les sources en eau possibles pour la recharge et de définir leur répartition en débit dans le temps et dans l'espace ainsi que le meilleur moyen de les diriger efficacement sur le site. Par conséquent, s'assurer des disponibilités adéquates en quantité et qualité au moment voulu. Un projet de recharge comprendra donc une étude des ressources en eau de surface locales et appréciera les possibilités d'importation. En effet, il est souhaitable que les eaux à injecter proviennent de cours d'eau proches du site.

#### • Facteurs hydrodynamiques

Dans un projet de recharge il est nécessaire d'évaluer **la perméabilité, la transmissivité, la porosité et le coefficient d'emmagasinement** ainsi que les variations de ces paramètres.

La gamme des coefficients de Darcy des formations utilisables pour l'alimentation artificielle se situe entre  $10^{-2}$  et  $10^{-5}$  m/s. (Benziada, 2003)

#### • Facteurs géologiques et hydrogéologiques

Outre une étude géologique générale, une analyse détaillée sera nécessaire afin de reconnaître et délimiter les réservoirs les plus adaptés à l'opération; géophysique et sondages en seront l'un des moyens.

L'analyse aura pour but de déterminer l'origine, la nature et l'extension des sédiments ainsi que leur aptitude à la recharge. Il s'agit de définir le réservoir, ses profondeurs, sa lithologie, ses limites horizontales et verticales et la profondeur jusqu'au niveau de l'eau.

l'étude hydrogéologique permet d'établir la piézométrie, chiffrer le gradient hydraulique, apprécier le sens d'écoulement des eaux, définir les limites alimentaires et les exutoires, le

réseau d'exploitation, la chimie de l'eau, le bilan hydrologique et chimique. Il faudra également évaluer l'impact de la recharge sur ce réservoir ainsi que les zones qui en profiteront.

#### **Les inconvénients de la recharge artificielle des nappes :**

Même si la recharge artificielle présente un grand avantage particulièrement pour la lutte contre le biseau salé, il reste à signaler qu'elle provoque certains problèmes, à savoir : (pemaxa in, 2015) :

- drainage d'une nappe phréatique par injection dans des couches profondes.
- réduction du débit d'une rivière.
- régulation thermique d'une ressource en eau.
- le stockage souterrain des résidus liquides peut provoquer des risques sur le sous-sol en raison de la nature physico-chimiques de ces résidus liquides comme la détérioration de gisements minéraux et la dégradation d'eaux souterraines.
- Problème du colmatage: le colmatage est lié à l'apport, par l'eau infiltrée, de fines particules qui colmatent les pores du sol.

#### **IV.1.2.la réduction des prélèvements**

Cette méthode rentre dans le cadre de la gestion des ressources en eau. La surexploitation de la nappe est la cause principale de l'intrusion marine, du fait du déséquilibre qui existe entre les inputs et les outputs. Pour subvenir à ce problème, il est préférable de réduire les prélèvements pour maintenir un certain équilibre entre les eaux qui alimentent l'aquifère et les eaux exploitées.

Cette solution émane d'une volonté politique de la part des gestionnaires et des décideurs du secteur de l'eau qui doivent à la fois répondre à une demande accrue en eau de la part des usagers et veiller sur la pérennité de l'aquifère que ce soit du point de vue quantitatif et qualitatif.

## IV.2. Les méthodes mises en place pour la lutte contre l'intrusion marine dans la baie d'Alger

Depuis déjà une vingtaines d'années que l'Algérie emploie des moyens pour lutter contre l'intrusion marine et l'abaissement du niveau de la nappe dans la baie d'Alger.

L'historique d'adoption des méthodes de recharge est le suivant:

**En 1998:** système de lâchers des barrages: Barrage de Boukourdane (1998): Ce barrage Participe à la recharge de la nappe alluviale de l'oued El-Hachem.

**En 2002:** système BIGBAG (Figure 55): Il s'agit barrière constituée de grands Sacs remplis de tout venant D'oued ou de terres pour stopper une partie des eaux afin d'augmenter le taux de recharge de la nappe dans Les oueds et pour permettre aux agriculteurs de la région de bénéficier de ces eaux pour l'irrigation de leurs terres au lieu d'utiliser les eaux de la nappe.



**Figure 55: Vue amont de la retenue en BIG-BAG**

**En 2003:** système des grands bassins (Figure 56): ce sont des bassins de grandes dimensions (50 à 100 m d'angle) qui peuvent recevoir environ 600 l/s au niveau de bassin d'infiltration de Chebli. (ANRH, 2017).



**Figure 56: Système des grands bassins a l'amont de l'oued El-Harrach**

**En 2010:** Les études menées sur les moyens de lutte contre l'intrusion marine dans la zone de la baie d'Alger sont résumées dans le rapport final de SOGREAH (SOGREAH, et al., 2010). Ce rapport est le fruit de la collaboration Algero-Belge dans un cadre du marché conclu entre l'ANRH et SOGREAH. L'objectif de l'étude est de proposer des solutions pour lutter contre ce phénomène afin de tester les scénarios étudiés et adopter les meilleures solutions en fonction de leur faisabilité.

Les solutions proposées dans ce rapport sont comme suit :

***a. La recharge artificielle de la nappe, par l'intermédiaire de bassins d'infiltration ou de forages d'injection***

L'étude de SOGREAH propose de mettre en place des bassins d'infiltrations d'eau et des forages d'injection d'eau dans la nappe en vue de stopper l'évolution de l'intrusion marine.

La recharge par les bassins ou les forages d'injection peuvent être alimentés par plusieurs sources, à savoir :

- les eaux transférées depuis les barrages.
- les eaux usées épurées.
- les eaux des principaux oueds à l'amont de la région.

L'ANRH et la DRE ont déjà expérimenté avec succès ce type de solution en infiltrant dans la Mitidja l'eau captée dans l'oued El-Harrach (Figure 56) au pied de l'atlas Blidéen. Cette recharge artificielle était alors réalisée à l'aide de bassins d'infiltration situés au niveau du lieu-dit TABAINETTE dans la commune de CHEBLI en 2007.

La solution par bassin d'infiltration ou par injection en nappe consiste à créer des zones de recharge artificielle et ainsi favoriser la remontée de la piézométrie, contribuant ainsi à créer une barrière hydraulique et limiter l'avancée du biseau salé.

Cette solution fait appel à des ressources en eaux difficilement disponibles au niveau de la baie d'Alger. Si cette solution était envisagée, il conviendrait donc de récupérer une partie des eaux transférées depuis les barrages ou les usines de dessalement pour la recharge de la nappe.

***b. La baisse des prélèvements d'eau dans les principaux champs captant influençant directement l'avancé du biseau salé***

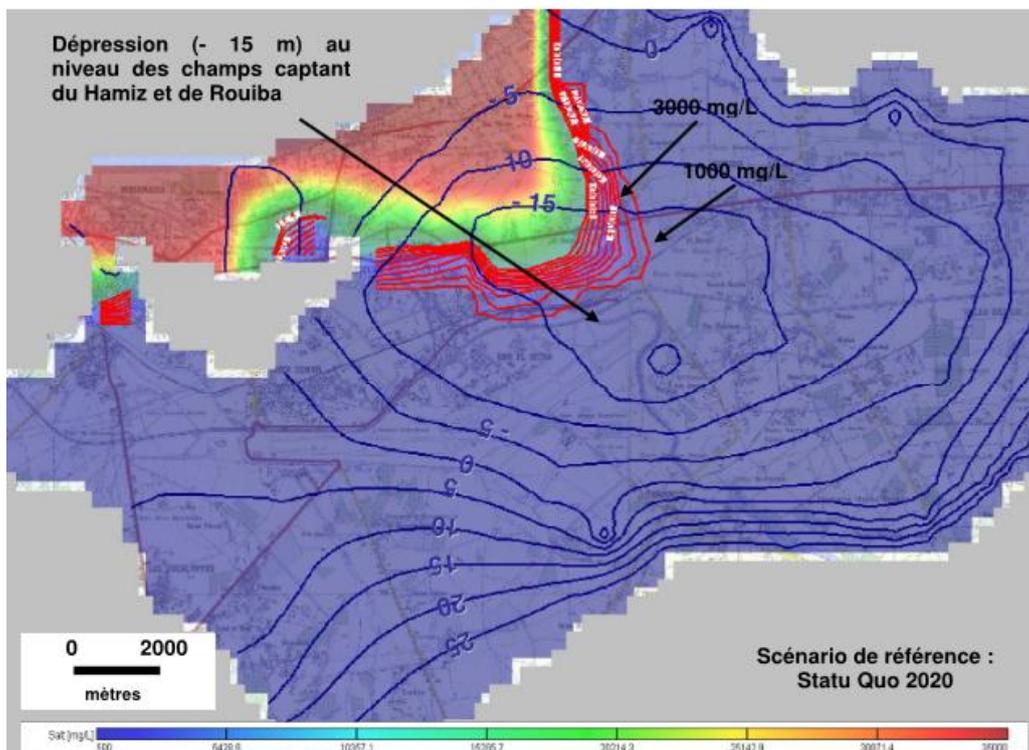
Le champ captant du Hamiz est exploité depuis 1983 et représente à lui seul près de 18 millions de m<sup>3</sup> en 2009. C'est l'un des champs captant les plus exploités de la baie d'Alger.

Depuis les années 1980, la baisse piézométrique au niveau de ce champ captant atteint près de 25 m et s'établit en 2010 à 15 m au-dessous du niveau de la mer.

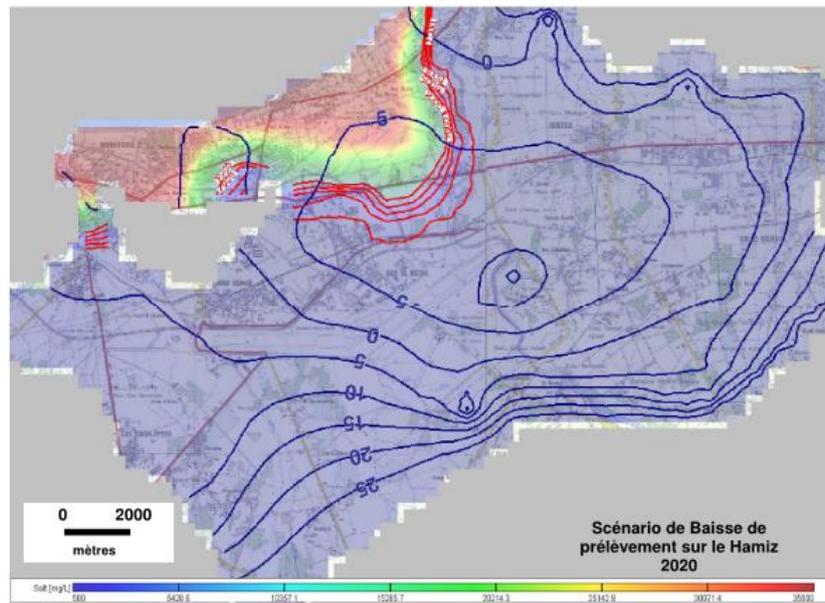
Une des solutions potentiellement envisageables pour la lutte contre l'intrusion marine serait de diminuer les prélèvements en nappe, notamment au droit du champ captant du Hamiz afin de tendre vers la reconstitution de la piézométrie initiale.

*c. L'élaboration d'un modèle hydrogéologique de SOGREAH*

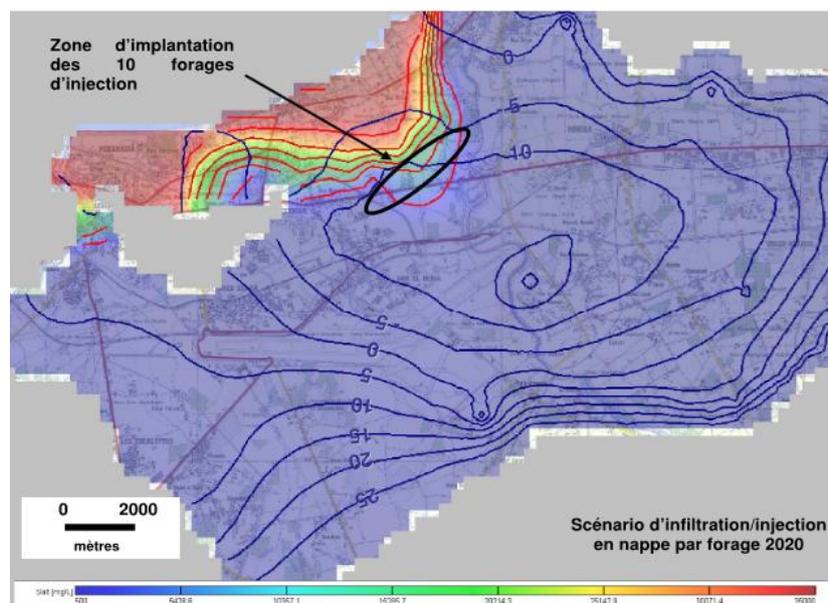
Afin de tester les solutions techniques élaborées par les ingénieurs de l'ANRH et ceux de SOGREAH, un modèle hydrogéologique a été construit. Une comparaison a été faite entre les scénarios proposés de la part de SOGREAH concernant la recharge naturelle de la nappe et la recharge artificielle. Les résultats des scénarios élaborés à l'horizon 2020 sur l'évolution du biseau salé par rapport au rythme naturel(scénario de référence), (Figure 57) et par rapport aux solutions proposées (recharge artificielle par bassin de recharge et forages d'injection et réduction des prélèvements), (Figure 59) sont présentés dans les figures ci-après.



**Figure 57: Résultats du scénario de référence à l'horizon 2020.(model de SOGREAH 2010)**



**Figure 58: Résultats du scénario de la baisse des prélèvements de 30% sur le champ captant Hamiz à l'horizon 2020. (model de SOGREAH 2010)**



**Figure 59: Résultats du scénario d'infiltration/injection en nappe à l'horizon 2020. (model de SOGREAH 2010)**

D'après les scénarios, on constate que:

- Si aucune solution ni envisagée, le niveau piézométrique de la nappe chuterai à environ -15 m NGA dans la zone d'EL-Hamiz pour le régime de référence.
- l'état du biseau salé recule dans les scénarios de recharge artificielle et la baisse des prélèvements à l'horizon 2020.

L'étude technico-économique a permis d'adopter les solutions qui sont à la fois efficaces et pas coûteuses, il s'agit de :

- la baisse des prélèvements au niveau du champ captant d'El-Hamiz pour faire remonter la piézométrie de l'ordre de 5 mètres de plus.
- LA recharge artificielle par les bassins d'infiltration situés au niveau de « Tabainette » dans la commune de Chebli. Ce site a été choisi uniquement pour compenser une partie des eaux transférées depuis les barrages ou les usines de dessalement et de participer à la remontée du niveau piézométrique.

### IV.3. Propositions de méthodes de lutte contre l'intrusion marine dans la baie d'Alger

En dépit des mesures déjà entreprises pour la lutte contre l'intrusion marine par la recharge artificielle de l'aquifère et la baisse des prélèvements dans le champ captant d'El-Hamiz, notre étude a montré que l'état du biseau salé reste critique dans la région d'El-Hamiz et le risque de son avancé persiste toujours du fait que la nappe subit constamment une surexploitation importante par rapport à ce qu'elle reçoit.

C'est dans ce sens et afin d'atténuer le phénomène de l'intrusion marine que nous proposons certaines solutions et recommandations qui viennent renforcer les méthodes déjà existantes.

Les solutions que nous proposons ont été étudiées en fonction de la composition lithologique de l'aquifère quaternaire (Annexe 6) qui montre la présence d'alluvions grossières très perméables sur la majorité de la plaine.

La réalisation de nos propositions nécessite :

- **Une source d'alimentation:** il faut assurer une source d'eau pérenne, dans notre cas nous avons l'oued d'El-Harrach et l'oued d'El-Hamiz.
- **Une perméabilité favorable :** la perméabilité est calculée par la division de la transmissivité par l'épaisseur de la zone saturée de l'aquifère. Les zones les plus favorables sont localisées à Baraki avec une transmissivité de 1,5 à  $5,5 \cdot 10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s et à Rouïba où elle varie de 5 à  $7 \cdot 10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s. La valeur du coefficient d'emménagement (S) optée sur l'ensemble du Bassin de Mitidja Est est égale à 0,1. (Benziada, 2003)

### Proposition 1: forages d'injection (RAN)

Nous proposons des puits d'injection dans le but de stopper le biseau salé par une barrière hydraulique à court terme, et de le reculer vers son état initiale (au niveau de la mer) à long terme. on peut maintenir le débit de recharge proposé par SOGREAH, 28 l/s/forage correspond environ à 24000m<sup>3</sup>/j d'eaux infiltrées dans le sol.

sachant que le débit annuel moyen de l'oued El-Hamiz est de 51,6 millions de m<sup>3</sup>, nous proposons alors la réalisation d'une batterie de recharge de 30 puits avec un débit d'injection de 30 l/s/forage ce qui permet de mobiliser environ 75000 m<sup>3</sup>/j dans l'aquifère.

les sites sont choisis en considérant, la lithologie de la zone d'implantation, l'existence des terrains verts, l'état d'avancement de biseau salé et présence de source d'alimentation.

la carte géologique de la Mitidja montre que l'oued El-Harrach à son embouchure est constitué principalement d'alluvions (perméables) tandis qu'on retrouve une couche des marnes de part et d'autre de l'oued. c'est pour cette raison que l'intrusion marine passe uniquement par cette partie.

a cette effet, nous proposons d'implanter des forages d'injection dans la région d'El-Harrach et ses environs.

La figure ci-dessous montre les sites favorables à la mise en place des forages d'injection.

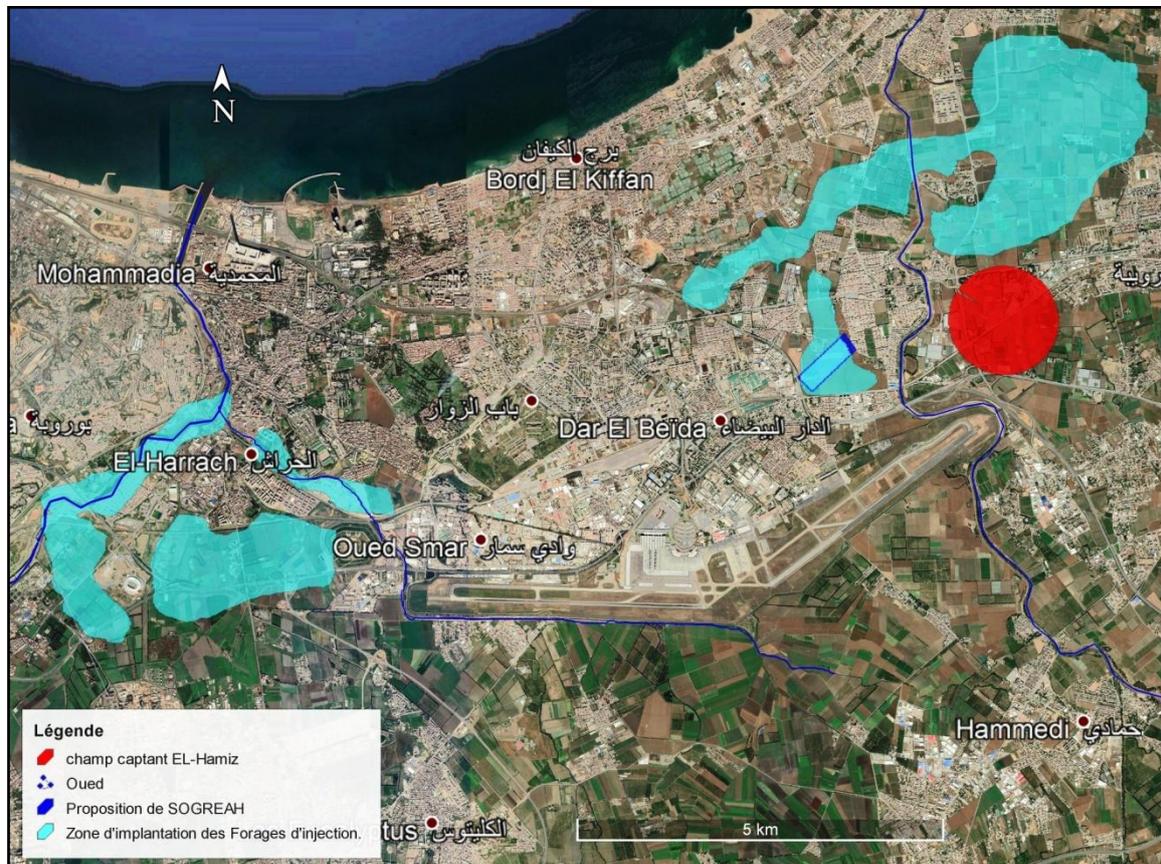


Figure 60: Sites appropriés à la mise en place des puits d'injection.

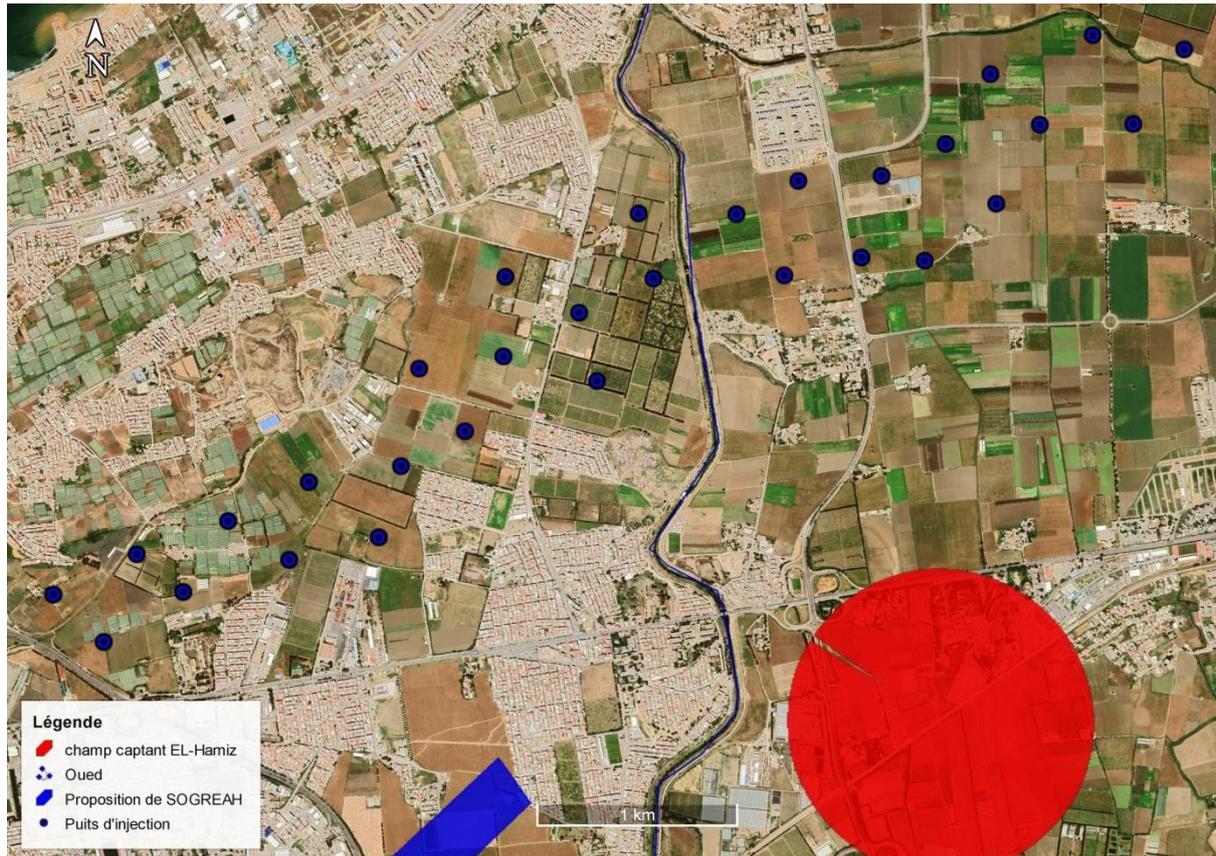


Figure 61: Les sites appropriés pour les puits d'injection dans la région El-Hamiz.



Figure 62: Les sites appropriés pour les puits d'injection dans la région El-Harrach.

### Proposition 2: les bassins de recharge (RAN)

Les bassins d'infiltrations jouent un rôle important dans la recharge artificielle dans la zone de la Mitidja, compte tenu de la lithologie de la plaine qui est occupée par les alluvions et d'autres types de sol considérés comme très perméables.

Les bassins d'infiltrations doivent être situés à proximité de la limite d'interface du biseau salé pour plus d'efficacité.

D'après la technique de recharge par bassin dans les piémont de l'Atlas, le débit moyen infiltré dans les bassin varie entre 40-70 l/s dans un petit bassin (15m\*30m), et jusqu'à 306 l/s dans le grand bassin (20m\*30m) (Mousselmal, 2015). En 2017, l'ANRH est arrivée à un débit d'infiltration de l'ordre de 600 l/s (ANRH, 2017) dans d'autres bassins (50\*30 m).

Pour obtenir l'eau, nous avons deux principales sources dans la région, à l'ouest oued El-Hamiz avec un débit moyen journalier de  $140.10^3 \text{ m}^3/\text{j}$ , et à l'EST oued El-Harrach qui a un débit moyen journalier de  $740.10^3 \text{ m}^3/\text{j}$  qui s'écoule vers la mer. (ANRH, 2017).

Pour stocker le maximum de ses eaux, il faut construire plusieurs bassins dans la région. un nombre de dix bassins d'infiltration d'une dimension (50\*30m) permet de mobiliser  $430.10^3 \text{ m}^3/\text{j}$  pour un débit journalier de 500 l/s. ce qui permet de profiter de 60% du volume d'eau qui s'écoule de l'oued El-Harrach vers la mer.

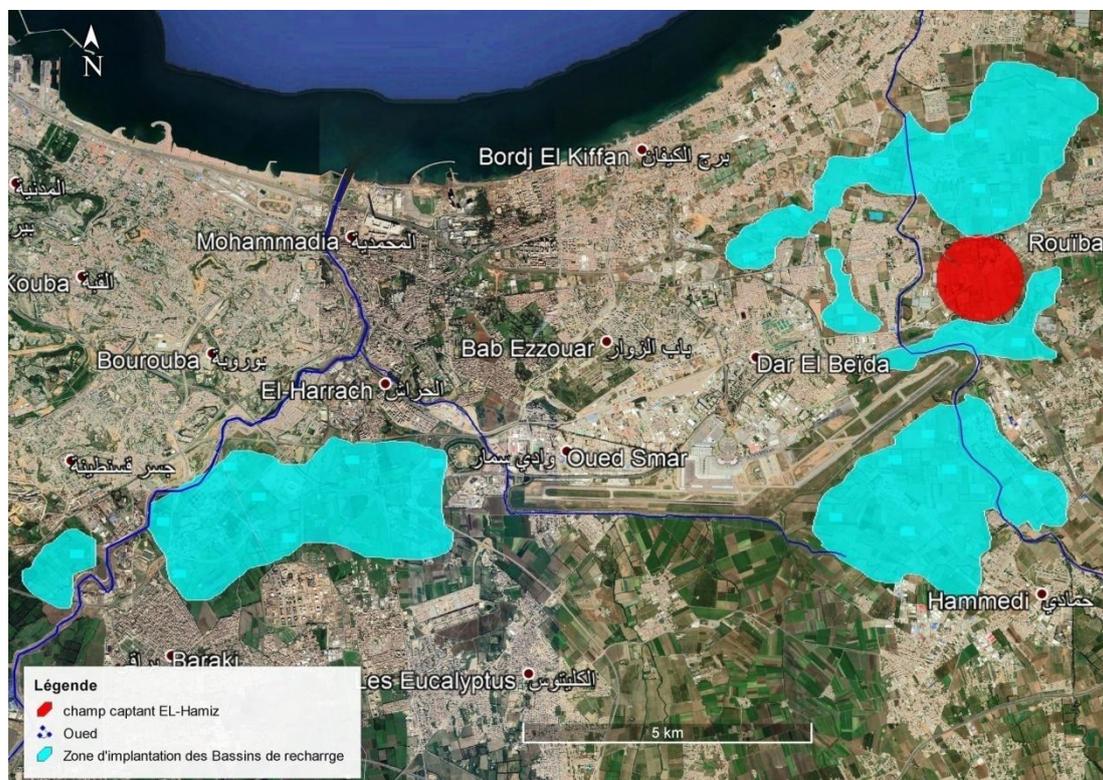


Figure 63: Sites appropriés à la mise en place des bassins d'infiltration

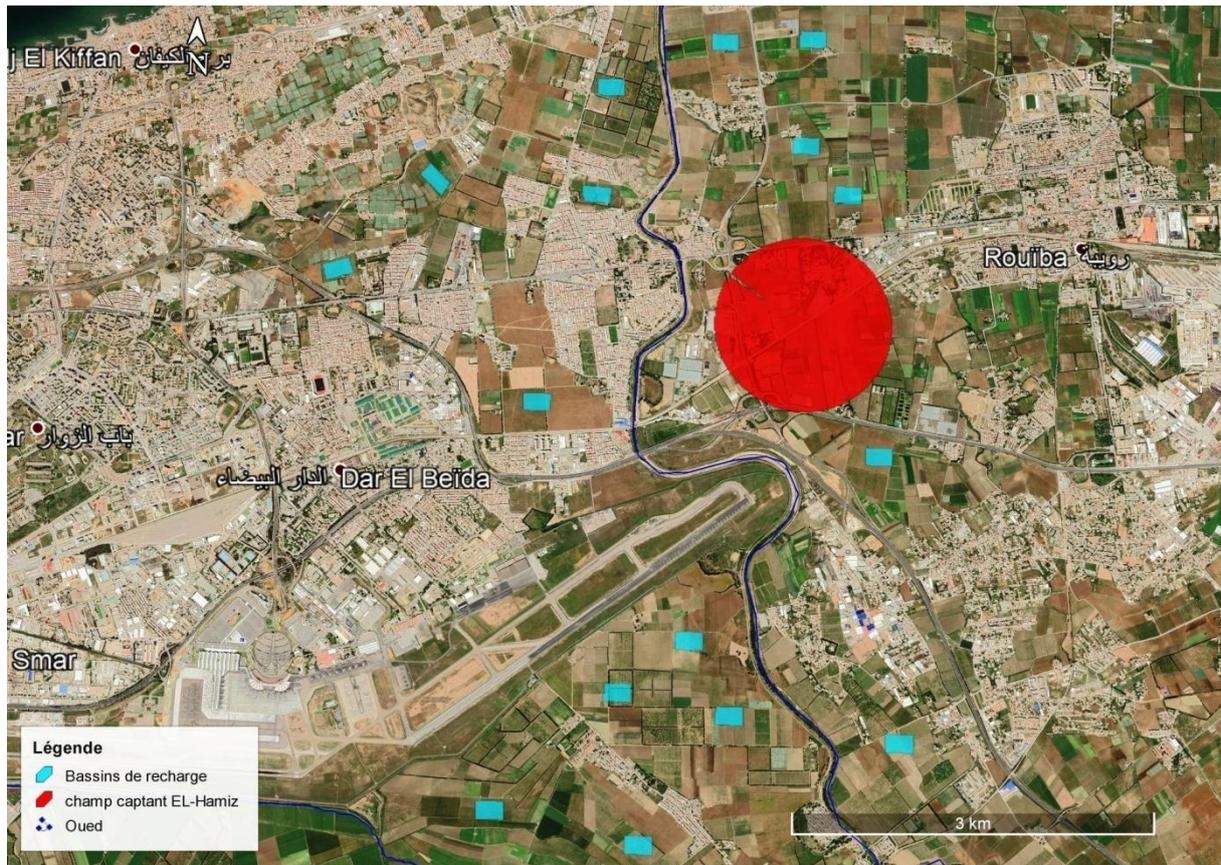


Figure 64: Les sites appropriés pour les bassins d'infiltration dans la région El-Hamiz.

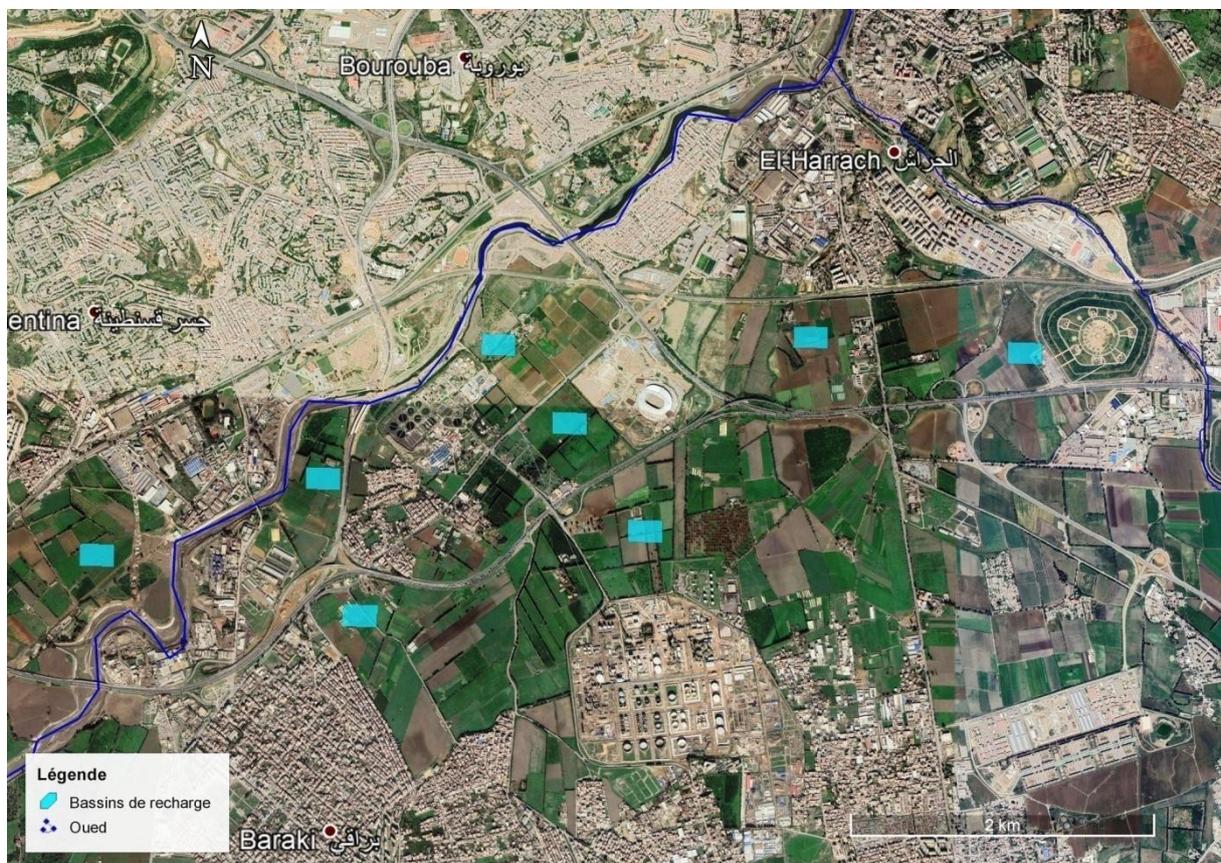


Figure 65: Les sites appropriés pour les bassins d'infiltration dans la région El-Hamiz.

### Proposition 3: l'aménagement hydraulique des oueds (RAN)

l'aménagement hydraulique des oueds est une technique qu'on peut utiliser afin de profiter des eaux d'oueds avant d'être exécuter vers la mer, le principe de la technique est de réduire la vitesse d'écoulement pour pouvoir augmenter le taux d'infiltration. Cette méthode peut être utilisée à travers plusieurs techniques:

- **La correction de la pente :** la correction de la pente (Figure 66) est une technique simple est utile, le principe est de diminuer la pente de la canalisation pour réduire la vitesse d'écoulement selon la formule de Manning-Strickler :  $V = k \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2}$  avec: K: coef d'écoulement -R(m): rayon hydraulique -I (m/m): pente de la canalisation.

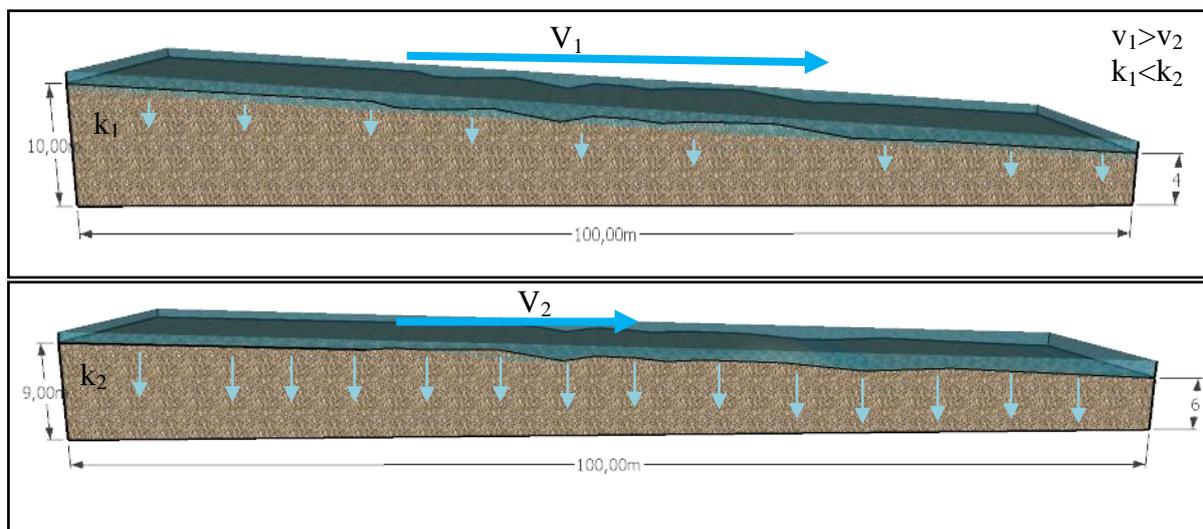


Figure 66: Schéma : correction de la pente

- **L'obstruction des eaux :** dans ce cas la diminution de la vitesse d'écoulement, ce fait par l'implantation d'obstacles au niveau de l'oued (comme une digue) (Figure 67) de 3 mètre de hauteur au maximum ou plusieurs volumes en gabion réparties en série au niveau de l'oued (Figure 68).

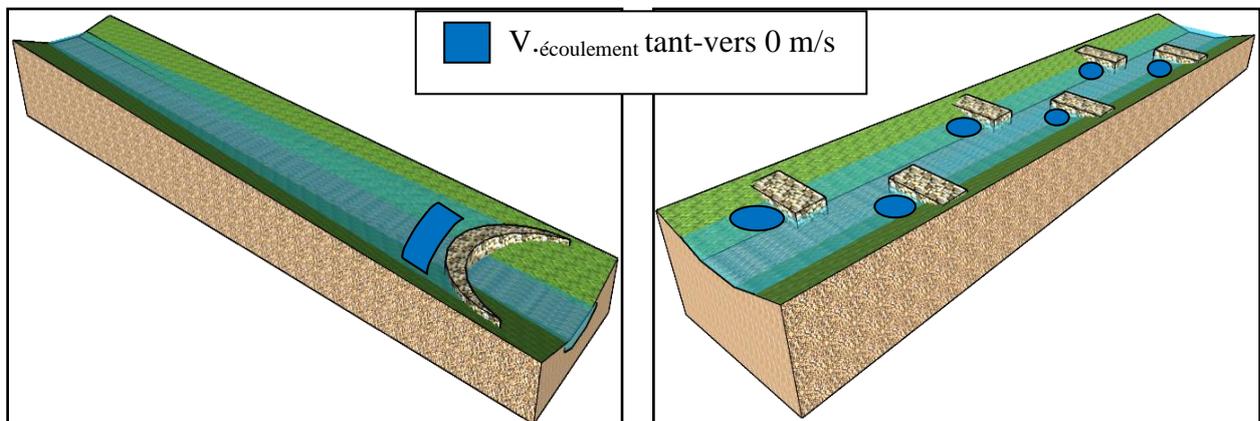
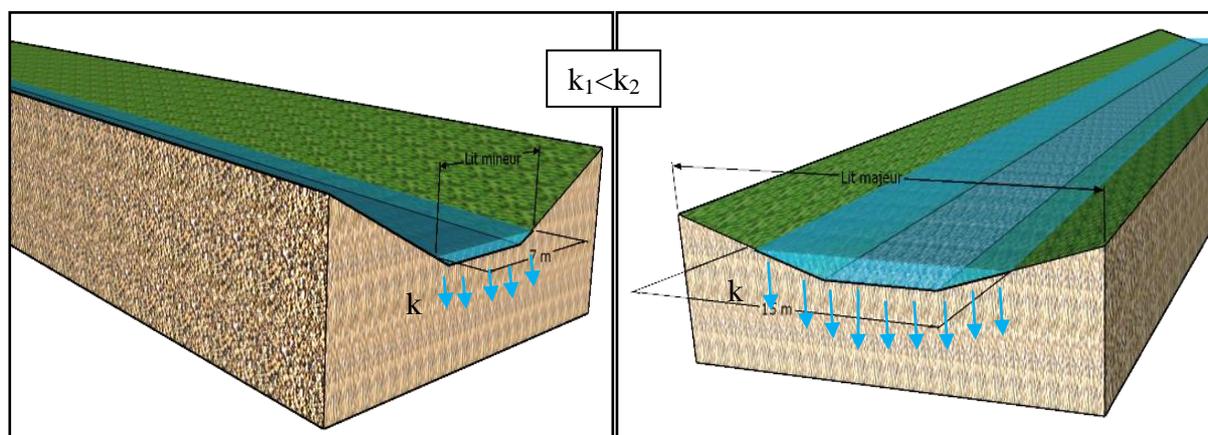


Figure 67: Digue de 3 mètres dans l'oued.

Figure 68: Gabions placés dans l'oued

- **L'élargissement de la section mouillée** (Figure 69): le débit égale au rapport de la vitesse d'écoulement par la section mouillée. avec un débit constant, si on augmente la section, la vitesse diminue.



**Figure 69: Elargissement de la section mouillée du lit mineur au lit majeur**

#### **Proposition 4: gestion des eaux de surface perdues dans la mer**

Afin de soulager la nappe de sa surexploitation particulièrement quand les eaux sont destinées à l'agriculture, secteur qui consomme plus de 60% de l'eau disponible, nous proposons de mettre en place des retenues ou des bassins de stockage dont l'eau mobilisée sera destinée que pour l'agriculture. ces eaux proviendront des oueds dont les écoulements vont directement vers la mer. ces eaux ne nécessitent pas de traitement car leur qualité est favorable pour l'utilisation agricole.

Pour stocker les eaux des oueds perdus vers la mer, il suffit de réaliser des points de stockage tels que les réservoirs de stockage (Figure 70) ou les retenues collinaires (Figure 51) qui sont plus favorables pour notre cas, grâce à cette méthode, des millions de mètres cubes d'eau à l'aide des bassins de 5 à 10 mètres de profondeur.

Les sites favorables pour l'implantation de ces ouvrages sont ceux qui sont à la fois à proximité des terrains agricoles et d'une source d'alimentation.

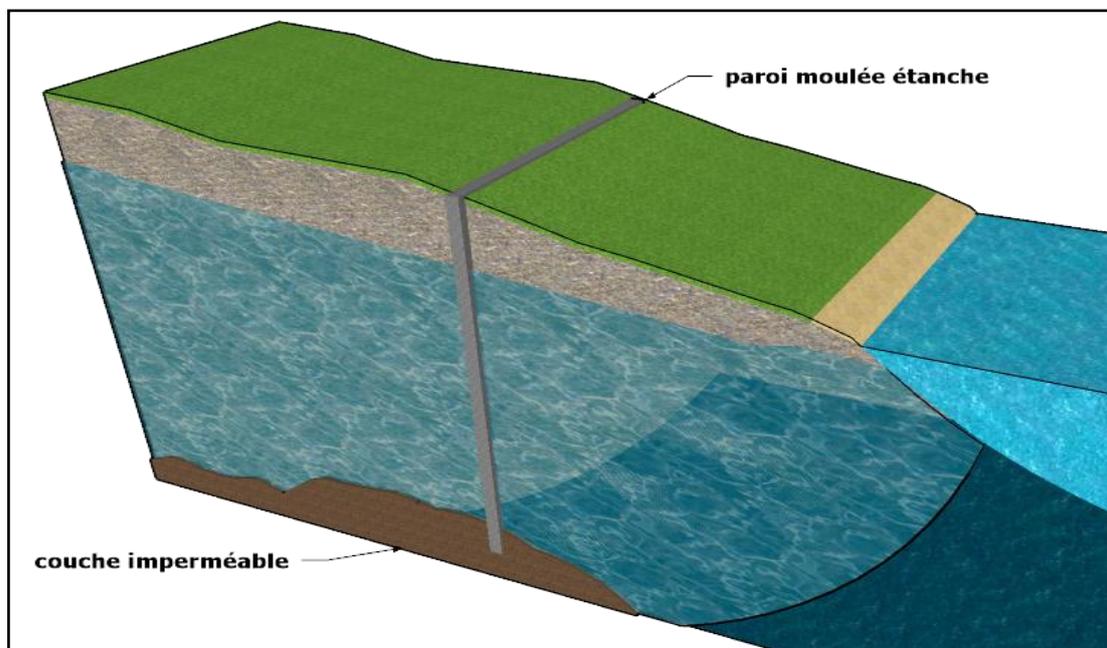
Dans notre région, on peut également évoquer l'apport de la STEP de Barraki pour la réutilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation, sachant qu'environ 100000 m<sup>3</sup>/j d'eaux usées traitées sont évacuées dans l'oued d'El-Harrach.



**Figure 70: Retenue collinaire d'El Maâmria Tablat.**

**Proposition 5: La Paroi Moulée d'étanchéité**

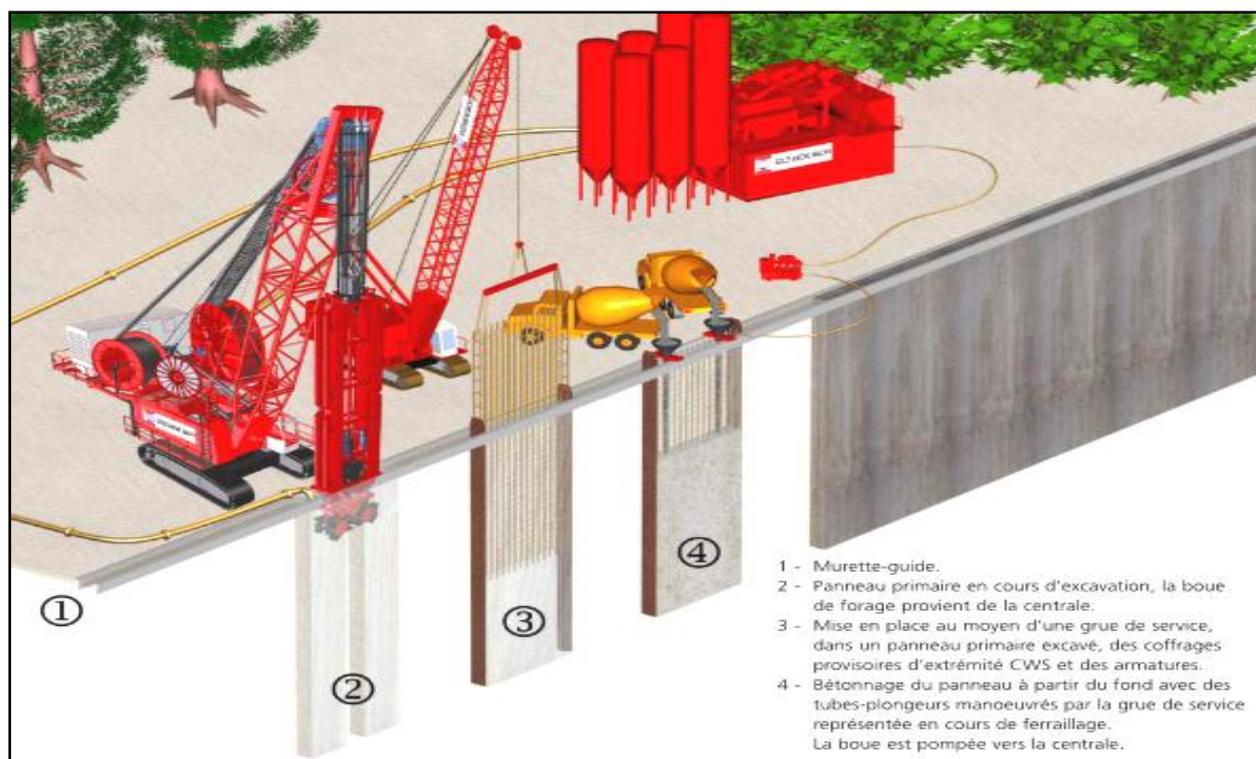
**Définition:** la paroi moulée (Figure 71) est une technique de soutènement multi usage, utilisée principalement pour construire des enceintes souterraines relativement étanches: type parking, fosse, bassin de stockage.. qui sont situées sous le niveau de la nappe phréatique. (Soletanch, 2014)



**Figure 71: Schéma représentative de paroi moulée**

**Principe de fonctionnement:** La méthode de la paroi moulée consiste à réaliser des panneaux de grande hauteur (Figure 72) en béton armé coulé dans le sol, le maintien de l'excavation étant assuré durant le forage, par la bentonite. Le forage de ces panneaux, dont l'épaisseur varie couramment de 52 à 152 cm s'effectue par extraction du terrain, par l'intermédiaire de deux types de machines:

- **Les bennes à câble ou hydraulique:** avec ces machines, les terrains durs ou les obstacles sont fracturés au moyen d'un trépan lourd suspendu à l'un des deux câbles de forage. Les déblais sont ensuite versés dans des camions, puis transportés jusqu'à une fosse de décantation. Le forage progresse par séquences, au cours desquelles l'outil est alternativement descendu puis remonté.
- **Des machines à roues dentées:** dans ce cas, le terrain est découpé et broyé, puis aspiré, en continu. Les cuttings sont mélangés à la boue au moyen des pompes situées à la base des outils. Le mélange résultant est ensuite refoulé vers une unité de recyclage. Sa fonction est de régénérer la boue chargée, en éliminant de celle-ci les particules de terrain et les fines.



**Figure 72: Les étapes de réalisation d'une paroi moulée**

**les limites de la technique:** les caractéristiques géologiques du sous-sol constituent la première limite de cette technique qui peut-être mise en œuvre dans la plupart des cas.

- La présence d'obstacles ou de vestiges ponctuels, Ils engendrent des risques de déviation.
- L'épaisseur, elle, n'est pas vraiment une limite. cette technique peut fréquemment réalisé des parois de 1,50 m.
- la profondeur : il est techniquement possible d'envisager des parois de **200 m de profondeur**, voire au-delà, des modifications de la machine devant alors être envisagées.

La paroi moulée peut-être une technique très utile pour la lutte contre l'intrusion marine. l'objectif est de placer "un substratum" artificiel verticalement dans l'aquifère pour le séparer le biseau salé des eaux douce de la nappe .

l'objectif est de placer la paroi moulée de manière a d'attendre les marnes dans l'aquifère. Les cartes géologiques permettent de déterminer l'emplacement de cette paroi sachant que la profondeur des couches marneuses ne dépassent pas les 100m au environs d'El-Hamiz (Khoualed, et al., 2017).

la carte ci-après montre la zone favorable pour la mise en place de la paroi moulée.

il s'agit de faire un mur à partir des marnes de Bab-Ezzouar vers les marnes de Haouch Bendali. afin de protéger complètement l'aquifère.

Cette paroi s'étale sur une distance de 9 km avec une épaisseur qui ne dépasse pas les 50 cm et une profondeur moyenne de 100 m. Toutefois cet investissement reste très coûteux compte tenu la complexité de la technique.

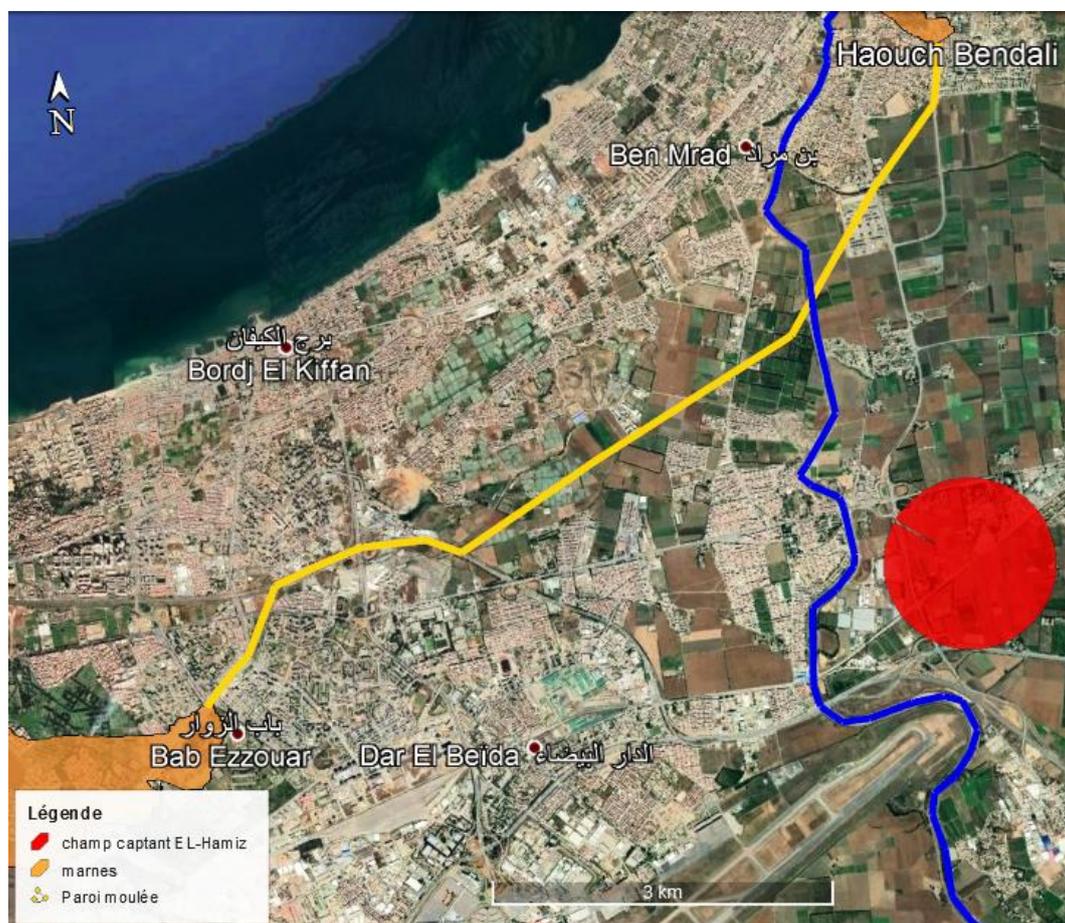


Figure 73: tracé du paroi moulée.

## Conclusion

Cette partie a mis en évidence les différents moyens de lutte qui existe pour faire face à l'intrusion marine. Les mesures adoptées par les gestionnaires des ressources en eaux restent insuffisantes. C'est pour cette raison que nous nous proposons de renforcer ces mesures par différents moyens à savoir : les bassins d'infiltrations, les puits d'injection, la réutilisation des eaux usées épurées, la récupération des eaux perdues vers la mer pour la recharge de la nappe. Une autre solution radicale qui permet de stopper le biseau salé est la réalisation d'une barrière en béton « Paroi moulée ». Toutefois, cette dernière reste très coûteuse et dépend d'une volonté politique.

# **CONCLUSION GENERALE**

## Conclusion générale

L'exploitation anarchique de l'aquifère côtier de la Mitidja a provoqué une baisse importante du niveau piézométrique, ce qui a engendré le phénomène de l'intrusion marine qui a affecté le mécanisme hydrogéologique, l'environnement et l'agriculture.

L'objectif principal de notre travail était d'étudier l'évolution de ce phénomène au niveau de la baie d'Alger aux cours des trois années de campagnes (2014-2015-2016) et proposer à cet effet les moyens de lutte appropriés pour atténuer ce phénomène.

L'étude des caractéristiques physico-chimiques de la zone d'étude a révélé que le milieu est caractérisé par la présence des sels au niveau d'El-Hamiz et ses environs, avec des concentrations supérieures aux normes. L'origine de cette salinité étant l'eau de mer ce qui montre la persistance du phénomène de l'intrusion marine dans la baie d'Alger causée par la surexploitation de la nappe.

Les mesures de lutte déjà prises par les décideurs restent donc insuffisantes. Ce constat nous a mené à proposer d'éventuelles techniques et méthodes pour remédier à cette situation ou du moins l'atténuer. Nos propositions sont principalement basées sur la géologie de la zone d'étude pour déterminer les sites appropriés à l'implémentation des bassins d'infiltration et qui présentent une perméabilité favorable ainsi que la présence d'une source d'alimentation pour le stockage et la mobilisation des eaux. Il s'agit principalement de récupérer les eaux perdues vers la mer à travers l'Oued El Harrach. D'autres méthodes restent envisageables pour la lutte contre l'intrusion marine telle que la réutilisation des eaux usées épurées. Dans notre cas, nous pouvons citer la station de Baraki qui est munie d'un traitement tertiaire ce qui permet de mobiliser 100 000m<sup>3</sup>/jour d'eaux traitées destinées à l'irrigation.

Une autre solution radicale qui permet de stopper le biseau salé est la réalisation d'une barrière en béton appelée « Paroi moulée ». Toutefois, cette dernière reste très coûteuse et dépend d'une volonté politique.

En termes de gestion des ressources en eau souterraine, un réseau de surveillance reste primordial pour contrôler le niveau piézométrique de la nappe à l'aide d'indicateurs ou des seuils de piézométrie en-dessous des quels le renouvellement de la nappe s'avère compliquer à respecter pour tirer la sonnette d'alarme et interdire -s'il le faut- les prélèvements.

# **BIBLIOGRAPHIE**

## **Bibliographie**

**Achouri, I. 2016.** Modélisation de l'intrusion marine dans l'aquifère côtier d'Annaba. Apport des analyses salinométriques. Annaba : Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar, 2016.

**ANRH. 2017.** Note sur le mecanisme de recharge de la nappe de la Mitidja dans par bassins d'infiltration. Blida : Rapport, ENSH, 2017.

**Aymé in benaiche, B. 2011.** état de l'intrusion marine dans la baie d'Alger. cas des champs de captage de Boureah et Hamiz. Blida : Memoire de Master, Université Saad Dahleb, 2011.

**Beer, et al., in benaiche. 2011.** état de l'intrusion marine dans la baie d'Alger. cas des champs de captage de Boureah et Hamiz. Blida : Memoire de Master, Université Saad Dahleb Blida, 2011.

**Benaiche, B. 2011.** état de l'intrusion marine dans la baie d'Alger. cas des champs de captage de Boureah et Hamiz. Blida : Memoire de Master, Université Saad Dahleb, 2011.

**Bennie et al. 1983.** Schéma d'aménagement des ressources en eau dans la région d'Alger-Sebaou. s.l. : synthèse,40 p, 1983.

**Benziada, M. 2003.** hydrogéologie de la plaine de la Mitidja orientale. Alger : Bulletin des science géographique, 2003. p 43-52.

**Bonnet in, Achouri. 2016.** Modélisation de l'intrusion marine dans l'aquifère côtier d'Annaba. Apport des analyses salinométriques. Annaba : Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar, 2016. .

**Bourbua, H. 2011.** Faisabilité de l'implantation de bassins d'alimentation d'un aquifère.cas du massif dunaire de Bouteldja. Annaba : Memoire de Magister, Université Badji Mokhtar, 2011.

**Castany, G. 1982.** Hydrogéologie, Principes et méthodes. Paris : Dunod, 1982.

**Glangeaud, L. 1952.** étude géolique de la rigion littorale de la province d'Alger. Paris : Thèse de doctorat : Sciences naturelles : Muséum d'histoire naturelle, 1952.

- J. Casanova, M. Cagnimel, N. Devau, M. Pettenati, P. Stollsteine. 2013.** Recharge artificielle des eaux souterraines: état de l'art et perspectives. France : ONEMA, BRGM, 227 p, 2013.
- Khoualed, R et Remilli, S. 2017.** Mise en évidence de l'intrusion marine vers les Aquifères côtiers : cas de la plaine de Mitidja. Ouargla : Memoire de Master, Université Kasdi Merbah, 2017.
- Ledoux, E. 1986.** Modèles mathématiques en hydrogéologie. Paris : Centre d'informatique géologique. Ecole Nat. Mines, 1986. .
- Macdonald in, Morceli. 2013.** Apport des méthodes hydrochimiques et hydrodynamiques à l'étude de l'intrusion marine.cas de la baie d'Alger. Blida : Memoire de Master, université Saad Dahleb Blida, 2013.
- Morceli, M. 2013.** Apport des méthodes hydrochimiques et hydrodynamiques à l'étude de l'intrusion marine.cas de la baie d'Alger. Blida : Memoire de Master, Université Saad Dahleb, 2013.
- Mousselmal. 2015.** Contribution a l'etude de la recharge des nappes par procedes artificielles. blida : Memoire de Master, ENSH, 2015.
- pemaxa in, Mousselmal. 2015.** Contribution a l'etude de la recharge des nappes par procedes artificielles. Blida : Memoire de Master, ENSH, 2015.
- SOGREAH et ANRH. 2010.** Rapport final de SOGREAH: "lutte contre l'intrusion marine en baie d'Alger". Blida : ANRH, 2010. .
- Soletanch, Bachy. 2014.** Les cahiers techniques du bâtiment n° 329. N°329. Suisse, 2014. .

# **LES ANNEXES**

## Annexe 1

### Précipitations moyennes annuelles (mm)

Station	Hamiz	Dar el Beida	Réghaïa	l'Arbaa
1980	811,5	650,5	665,5	718,6
1981	691,3	504,9	640,8	586,3
1982	626,1	539,5	672,8	538,5
1983	534,8	532,2	531	632,6
1984	784,3	862,1	967,8	959,5
1985	742,2	601,2	622,2	749
1986	728,3	708,8	696,1	850,6
1987	530,8	459,5	450	508,1
1988	548,6	362,7	576,3	437,7
1989	388,8	219,4	256,5	201,1
1990	624,5	364,1	366	471,4
1991	842,7	710,2	679,3	810,2
1992	611,2	516,8	500	580,3
1993	546,5	416,2	383	605,5
1994	695,2	760,6	648,4	797,8
1995	878,9	640,3	743,3	766,1
1996	341,4	293,3	355,6	397,9
1997	862,7	643,2	783,7	851,3
1998	705,7	634,2	650,7	516,9
1999	531,3	687,9	494,8	447,6
2000	561,5	640,3	502,36	528,6
2001	684,5	562,1	465,2	581,4
2002	842,8	710,2	679,1	830,4
2003	612,5	516,8	510	680,3
2004	566,3	402,2	483	715,2
2005	689,7	921,2	595,5	711,7
2006	722,5	435,1	777	396,3
2007	805,4	566,5	580,7	635,5
2008	774,3	499,1	663,5	435,1
2013	708,4	561	665,5	625,2
2014	828,7	575,7	577	588,6
2015	611,5	630,7	590,2	492,1
2016	604,2	703,1	522,3	589,9
2017	777,4	805,4	705,7	910,9

## Annexe 2

### Variation de température moyenne, maximale et minimale de D.E.B (1978-2010).

	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Année
Min	17.6	14.2	10	6.9	5.6	5.1	7.1	9.4	13	16.5	19	20.1	12.4
Max	29.54	26.04	20.88	18.1	16.66	18.2	19.4	20.7	23.66	28	31.4	32.12	23.72
moy	23.57	20.12	15.44	12.5	11.13	11.65	13.25	15.05	18.33	22.25	25.2	26.11	17.88

## Annexe 3

### Détermination de l'ETP par la méthode de Thornthwaite.

T° moy	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
mensuel	24,9	21,4	16,2	13	11,7	12,1	13,6	16	19,7	23,7	25,4	27,8
i	10,54	8,28	5,59	3,95	3,29	3,52	4,59	5,38	6,83	9,1	11,64	12,06
ETP	107,4	79,9	49,5	32,4	25,9	28,2	38,9	47,2	63,2	89,64	121,1	126,5
K	1,03	0,97	0,86	0,84	0,87	0,85	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16
ETPc	110,6	77,5	42,6	27,2	22,6	23,9	40,1	51,9	76,5	109,4	150,2	146,8

## Annexe 4

### Mitidja Est : la Chimie (Mai-2014)

Pz	Nom	Libellé	date	Grp	X (UTM)	Y (UTM)	pH	Ca	Mg	Na	K	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl	SO4	NO <sub>3</sub>	TAC	CE µ/cm	R. Sec	TH
1	W021-417	nappe de Mitidja	25/05/14	1	531687,385	4063304,780	7,4	181	28	113	3	366	180	253	82,0	30	1 600	1 200	57
2	W021-894	nappe de Mitidja	25/05/14	1	530981,773	4068056,478	7,8	210	52	154	4	305	384	218	94,0	25	2 100	1 678	74
3	W021-192	nappe de Mitidja	25/05/14	1	529515,772	4066021,090	7,4	191	40	69	4	305	192	206	95,0	25	1 600	1 028	64
4	W042-688	nappe de Mitidja	19/05/14	1	526701,822	4058020,280	7,8	189	79	68	4	625	167	241	64,0	51	2 000	1 272	80
5	W021-5	nappe de Mitidja	25/05/14	2	525835,132	4069001,921	7,7	159	26	114	4	366	146	214	100,0	30	1 510	942	51
6	W042-450	nappe de Mitidja	19/05/14	1	523690,342	4054159,708	7,7	193	29	36	3	442	98	222	32,0	36	1 600	1 001	60
7	W021-04212	nappe de Mitidja	04/05/14	2	523619,776	4063859,122	8,1	165	45	50	2	260	120	90	25,0	20	1 100	550	25
8	W021-890	nappe de Mitidja	25/05/14	2	522277,857	4066482,942	7,5	153	42	71	3	229	138	243	39,0	19	1 320	714	56
9	W021-893	nappe de Mitidja	25/05/14	2	520977,481	4066316,903	7,3	211	43	131	9	641	245	143	34,0	53	1 850	1 239	71
10	W042-439	nappe de Mitidja	19/05/14	1	518983,887	4051924,185	7,5	235	19	63	2	503	154	182	82,0	41	1 800	984	67
11	W042-1003	nappe de Mitidja	19/05/14	1	514287,688	4046508,885	8,0	166	50	57	2	412	161	198	67,0	34	1 700	932	62
12	W042-997	nappe de Mitidja	22/05/14	1	512248,657	4056594,370	7,6	125	33	71	3	259	165	199	21,0	21	1 400	761	45
13	W042-1000	nappe de Mitidja	19/05/14	1	507783,367	4044958,895	7,8	117	20	16	2	244	24	117	63,0	20	861	513	38
14	W042-999	nappe de Mitidja	20/05/14	1	506762,216	4044562,053	8,2	120	30	45	2	230	200	180	50,0	20	1 200	950	60

### Mitidja Est : la Chimie (Octobre-2014)

Pz	Nom	Libellé	date	Grp	X (UTM)	Y (UTM)	pH	Ca	Mg	Na	K	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl	SO4	NO <sub>3</sub>	TAC	CE µ/cm	R. Sec	TH
1	W021-417	nappe de Mitidja	21/10/14	1	531687,385	4063304,780	7,5	155	13	108	2	397	137	157	71,0	33	1 763	1 171	44
2	W021-894	nappe de Mitidja	23/10/14	1	530981,773	4068056,478	7,5	203	38	148	3	412	276	204	89,0	34	2 200	1 636	67
3	W021-192	nappe de Mitidja	22/10/14	1	529515,772	4066021,090	7,5	193	37	81	2	275	193	180	93,0	23	1 956	1 125	64
4	W042-688	nappe de Mitidja	20/10/14	1	526701,822	4058020,280	7,4	174	62	74	3	519	121	219	49,0	43	1 940	1 134	69
5	W021-5	nappe de Mitidja	25/10/14	2	525835,132	4069001,921	7,8	170	30	120	2	450	80	230	80,0	30	1 500	1 300	60
6	W042-450	nappe de Mitidja	20/10/14	1	523690,342	4054159,708	7,6	193	26	39	3	427	71	238	22,0	35	1 480	955	59
7	W021-04212	nappe de Mitidja	04/10/14	2	523619,776	4063859,122	8,0	110	30	35	3	250	110	100	30,0	20	1 100	700	60
8	W021-890	nappe de Mitidja	22/10/14	2	522277,857	4066482,942	7,8	175	43	81	2	427	122	233	49,0	35	1 797	1 253	62
9	W021-893	nappe de Mitidja	22/10/14	2	520977,481	4066316,903	7,4	212	41	145	8	549	312	122	36,0	45	2 480	1 423	70
10	W042-439	nappe de Mitidja	20/10/14	1	518983,887	4051924,185	7,4	233	8	67	2	442	140	161	66,0	36	1 850	1 124	62
11	W042-1003	nappe de Mitidja	20/10/14	1	514287,688	4046508,885	7,6	169	50	67	2	412	102	216	72,0	34	1 780	999	63
12	W042-997	nappe de Mitidja	23/10/14	1	512248,657	4056594,370	7,7	135	27	79	2	275	124	160	24,0	23	1 575	995	45
13	W042-1000	nappe de Mitidja	20/10/14	1	507783,367	4044958,895	7,6	132	9	10	2	229	43	145	40,0	19	1 010	613	37
14	W042-999	nappe de Mitidja	20/10/14	1	506762,216	4044562,053	7,8	182	32	59	2	244	195	198	34,0	20	1 760	1 005	59

## Mitidja Est : la Chimie (Mai-2015)

Pz	Nom	Libellé	date	Grp	X (UTM)	Y (UTM)	pH	Ca	Mg	Na	K	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl	SO4	NO <sub>3</sub>	TAC	CE µ/cm	R. Sec	TH
1	W021-417	nappe de Mitidja	05/05/15	1	531687,385	4063304,780	8,2	182	6	110	2	336	188	184	78,0	28	1 900	1 239	48
2	W021-894	nappe de Mitidja	03/05/15	1	530981,773	4068056,478	8,1	205	33	144	3	366	345	194	95,0	30	2 500	1 552	65
3	W021-192	nappe de Mitidja	04/05/15	1	529515,772	4066021,090	8,3	194	23	73	2	290	244	144	106,0	24	1 820	1 192	58
4	W042-688	nappe de Mitidja	10/05/15	1	526701,822	4058020,280	8,1	223	56	68	5	244	135	391	73,0	20	1 780	1 109	79
5	W021-5	nappe de Mitidja	04/05/15	2	525835,132	4069001,921	8,3	214	7	121	2	336	312	141	64,0	28	2 200	1 352	56
6	W042-450	nappe de Mitidja	10/05/15	1	523690,342	4054159,708	8,1	256	23	37	5	183	148	348	29,0	15	1 550	976	74
7	W021-04212	nappe de Mitidja	04/05/15	2	523619,776	4063859,122	8,2	115	7	36	3	244	84	93	28,0	20	1 130	736	32
8	W021-890	nappe de Mitidja	04/05/15	2	522277,857	4066482,942	8,3	172	29	84	2	458	130	204	46,0	38	1 660	1 011	55
9	W021-893	nappe de Mitidja	03/05/15	2	520977,481	4066316,903	8,0	202	25	138	9	61	395	195	33,0	5	2 100	1 235	61
10	W042-439	nappe de Mitidja	10/05/15	1	518983,887	4051924,185	8,1	139	1	24	4	107	149	46	34,0	9	900	577	35
11	W042-1003	nappe de Mitidja	10/05/15	1	514287,688	4046508,885	8,2	220	43	61	4	244	278	188	75,0	20	1 700	1 004	73
12	W042-997	nappe de Mitidja	05/05/15	1	512248,657	4056594,370	8,1	128	10	90	2	275	148	159	22,0	23	1 490	914	36
13	W042-1000	nappe de Mitidja	10/05/15	1	507783,367	4044958,895	8,3	204	12	19	4	107	185	133	77,0	9	1 200	711	56
14	W042-999	nappe de Mitidja	10/05/15	1	506762,216	4044562,053	8,1	240	22	37	4	122	355	140	61,0	10	1 600	911	69

## Mitidja Est : la Chimie (Novembre-2015)

Pz	Nom	Libellé	date	Grp	X (UTM)	Y (UTM)	pH	Ca	Mg	Na	K	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl	SO4	NO <sub>3</sub>	TAC	CE µ/cm	R. Sec	TH
1	W021-417	nappe de Mitidja	18/11/15	1	531687,385	4063304,780	8,1	137	15	98	5	366	167	96	62,0	30	1 570	1 242	40
2	W021-894	nappe de Mitidja	18/11/15	1	530981,773	4068056,478	8,3	170	32	115	8	351	304	119	75,0	29	2 100	1 253	56
3	W021-192	nappe de Mitidja	18/11/15	1	529515,772	4066021,090	7,9	158	51	102	9	305	219	124	96,0	25	1 920	1 154	61
4	W042-688	nappe de Mitidja	10/11/15	1	526701,822	4058020,280	8,3	158	75	98	3	580	120	219	60,0	48	1 735	1 124	71
5	W021-5	nappe de Mitidja	18/11/15	2	525835,132	4069001,921	7,9	202	32	189	5	366	375	114	63,0	30	2 300	1 472	64
6	W042-450	nappe de Mitidja	10/11/15	1	523690,342	4054159,708	7,9	186	34	45	6	519	66	184	27,0	43	1 386	1 011	61
7	W021-04212	nappe de Mitidja	18/11/15	2	523619,776	4063859,122	7,9	121	29	45	3	305	100	84	31,0	25	1 150	672	42
8	W021-890	nappe de Mitidja	18/11/15	2	522277,857	4066482,942	8,1	202	48	98	3	427	263	145	67,0	35	2 100	1 215	71
9	W021-893	nappe de Mitidja	18/11/15	2	520977,481	4066316,903	8,3	198	44	153	6	686	342	49	24,0	56	2 400	1 498	68
10	W042-439	nappe de Mitidja	10/11/15	1	518983,887	4051924,185	8,3	182	12	120	5	458	160	147	62,0	38	1 663	1 029	51
11	W042-1003	nappe de Mitidja	10/11/15	1	514287,688	4046508,885	8,3	158	51	125	5	442	131	196	75,0	36	1 800	1 312	61
12	W042-997	nappe de Mitidja	16/11/15	1	512248,657	4056594,370	8,0	137	32	98	11	320	167	181	31,0	26	1 530	985	47
13	W042-1000	nappe de Mitidja	10/11/15	1	507783,367	4044958,895	8,3	137	15	52	12	290	47	139	57,0	24	1 012	652	40
14	W042-999	nappe de Mitidja	10/11/15	1	506762,216	4044562,053	8,2	194	17	102	3	351	141	177	61,0	29	1 468	922	56

## Mitidja Est : la Chimie (Juin-2016)

Pz	Nom	Libellé	date	Grp	X (UTM)	Y (UTM)	pH	Ca	Mg	Na	K	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	TAC	CE µ/cm	R. Sec	TH
1	W021-417	nappe de Mitidja	05/06/16	1	531687,385	4063304,780	7,8	54	78	122	1	305	118	194	63,0	25	1 682	1 104	46
2	W021-894	nappe de Mitidja	05/06/16	1	530981,773	4068056,478	7,8	65	111	160	3	305	283	234	65,0	25	2 210	1 382	63
3	W021-192	nappe de Mitidja	05/06/16	1	529515,772	4066021,090	7,8	77	118	102	1	275	249	176	95,0	23	1 971	1 464	68
4	W042-688	nappe de Mitidja	12/06/16	1	526701,822	4058020,280	7,6	204	55	80	2	549	90	253	68,0	45	1 871	1 107	74
5	W021-5	nappe de Mitidja	07/06/16	2	525835,132	4069001,921	7,9	154	69	154	2	366	331	188	65,0	30	2 330	1 487	67
6	W042-450	nappe de Mitidja	12/06/16	1	523690,342	4054159,708	7,9	200	48	38	1	445	58	229	32,0	37	1 519	979	70
7	W021-04212	nappe de Mitidja	12/06/16	2	523619,776	4063859,122	8,0	100	50	50	2	350	80	130	40,0	25	1 000	700	40
8	W021-890	nappe de Mitidja	05/06/16	2	522277,857	4066482,942	7,9	150	45	150	3	450	250	190	55,0	30	2 000	1200	60
9	W021-893	nappe de Mitidja	05/06/16	2	520977,481	4066316,903	7,5	238	37	176	10	634	324	40	24,0	52	2 530	1 557	75
10	W042-439	nappe de Mitidja	12/06/16	1	518983,887	4051924,185	7,6	242	5	83	1	442	141	118	62,0	36	1 805	1 175	63
11	W042-1003	nappe de Mitidja	12/06/16	1	514287,688	4046508,885	7,9	173	58	83	1	397	98	245	69,0	33	1 740	1 100	67
12	W042-997	nappe de Mitidja	09/06/16	1	512248,657	4056594,370	7,7	146	28	54	1	381	87	81	37,0	31	1 422	825	48
13	W042-1000	nappe de Mitidja	12/06/16	1	507783,367	4044958,895	7,7	106	23	24	1	275	55	32	50,0	23	800	636	36
14	W042-999	nappe de Mitidja	12/06/16	1	506762,216	4044562,053	8,1	110	20	80	1	240	160	30	60,0	20	1 400	850	55

## Mitidja Est : la Chimie (Octobre-2016)

Pz	Nom	Libellé	date	Grp	X (UTM)	Y (UTM)	pH	Ca	Mg	Na	K	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	TAC	CE µ/cm	R. Sec	TH
1	W021-417	nappe de Mitidja	10/10/16	1	531687,385	4063304,780	7,9	168	3	123	1	244	134	187	74,0	20	1 312	831	43
2	W021-894	nappe de Mitidja	11/10/16	1	530981,773	4068056,478	7,8	110	40	130	2	300	130	200	70,0	30	2 250	1 600	70
3	W021-192	nappe de Mitidja	12/10/16	1	529515,772	4066021,090	7,8	120	50	100	2	350	150	240	80,0	25	2 000	1 150	60
4	W042-688	nappe de Mitidja	13/10/16	1	526701,822	4058020,280	7,8	131	61	144	3	458	104	248	44,0	38	1 580	1 208	58
5	W021-5	nappe de Mitidja	14/10/16	2	525835,132	4069001,921	8,2	223	38	130	3	259	297	206	79,0	21	1 983	1 140	72
6	W042-450	nappe de Mitidja	15/10/16	1	523690,342	4054159,708	8,3	168	13	77	2	427	47	242	26,0	35	1 275	881	47
7	W021-04212	nappe de Mitidja	16/10/16	2	523619,776	4063859,122	8,0	7	11	75	7	183	54	25	25,0	15	530	302	6
8	W021-890	nappe de Mitidja	17/10/16	2	522277,857	4066482,942	7,8	337	51	262	4	290	460	272	57,0	24	3 245	1 949	105
9	W021-893	nappe de Mitidja	18/10/16	2	520977,481	4066316,903	8,1	223	23	228	13	534	302	166	27,0	44	2 230	1 485	65
10	W042-439	nappe de Mitidja	19/10/16	1	518983,887	4051924,185	7,9	147	19	126	1	366	119	150	54,0	30	1 472	849	45
11	W042-1003	nappe de Mitidja	20/10/16	1	514287,688	4046508,885	7,8	137	13	133	2	336	113	213	78,0	28	1 450	949	39
12	W042-997	nappe de Mitidja	21/10/16	1	512248,657	4056594,370	7,6	110	25	40	1	250	60	150	45,0	20	1 500	900	40
13	W042-1000	nappe de Mitidja	22/10/16	1	507783,367	4044958,895	7,8	107	24	38	1	214	39	145	45,0	18	824	590	37
14	W042-999	nappe de Mitidja	23/10/16	1	506762,216	4044562,053	8,1	120	25	115	2	300	150	200	60,0	18	1 000	950	60

## Annexe 5

### La piézométrie de la Mitidja est : niveau statique / la cote du terrain

Pz	N°BIRH	NATURE	X (UTM)	Y (UTM)	Z / rr (m)	cote	Région	Nov 14	Nov 15	Oct 16	Mai 14	Mai 15	Mai 16
1	W021-P 417	Puits	531687,3850	4063304,7800	37,03	37,03	Mitidja Est	11,93	9,75	9,85	8,75	9,15	3,4
2	W021-P 894	Puits	530981,7730	4068056,4780	<b>2,32</b>	2,32	Mitidja Est	12	12,15	7,00	11,6	11,79	6,1
3	W021-P 892	Puits	529580,9550	4067740,7320	10,04	10,04	Mitidja Est	18	18,9	19,60	15,42	18,2	13,2
4	W042-P 688	Puits	526701,8220	4058020,2800	48,88	48,88	Mitidja Est	10,35	9,50	10,00	8,70	8,90	9,45
5	W021-P 5	Puits	525835,1320	4069001,9210	25,47	25,47	Mitidja Est	5,10	29,40	31,2	4,00	22,00	28,50
6	W021-Pz 1 Rouïba	Pz	524482,1950	4065674,3400	21,00	19,00	Mitidja Est	34,96	34,30	35,15	33,90	34,19	36,60
7	W042-P 450	Puits	523690,3420	4054159,7080	78,48	78,48	Mitidja Est	4,90	5,40	5,40	4,40	4,42	5,85
8	W021-4212-Pz 1 H.	Pz	523619,7760	4063859,1220	26,00	24,00	Mitidja Est	37,90	32,70	30,00	32,20	27,00	25,00
9	W021-Pz 58 BA	Pz	522536,8610	4069461,8570	13,72	11,72	BA	15,00	11,10	11,20	12	11,05	10,45
10	W021-Pz B BA	Pz	522429,4480	4067012,4300	16,38	14,38	BA	25,10	25,35	25,32	24,5	24,40	24,35
11	W021-4211-Pz 2 H.	Pz	522370,8120	4064162,8810	27,35	25,35	Mitidja Est	36,85	37,10	38,05	36,09	36,30	37,05
12	W021-Pz F BA	Pz	522281,4350	4067662,8150	15,07	13,07	BA	17,80	17,45	17	20,5	20,15	19,98
13	W021-Pz 54 BA	Pz	521933,8980	4068463,7870	10,69	8,69	BA	12,95	12,80	12,72	12,4	12,30	12,12
14	W021-Pz C BA	Pz	521576,3550	4065965,1200	16,50	14,50	BA	18,25	19,5	20,70	18	18,65	19,00
15	W021-Pz G BA	Pz	521528,6350	4066715,1920	16,43	14,43	BA	16,90	18,70	20,50	15	16,70	19,70
16	W021-Pz 60 BA	Pz	521230,0330	4067166,0530	15,11	13,11	BA	20,72	20,90	18,01	20	20,00	20,30
17	W021-Pz 51 BA	Pz	520875,5190	4065667,2760	17,00	15,00	BA	19,70	25,25	26,75	19,5	19,25	19,00
18	W021-Pz 61 BA	Pz	520730,0870	4067167,5700	14,28	12,28	BA	17,90	18,50	19,80	17,45	17,35	17,25
19	W021-Pz 50 BA	Pz	520477,2310	4066218,4320	16,01	14,01	BA	25,70	26	26,40	21,3	21,60	21,90
20	W021-Pz D BA	Pz	520074,8450	4065419,7310	15,00	13,00	BA	24,50	24,52	24,65	23,8	23,90	24,00
21	W021-Pz 48 BA	Pz	519978,9550	4066769,8900	14,20	12,20	BA	19,45	19,50	19,60	19	18,90	18,98
22	W021-Pz 45 BA	Pz	519926,6830	4066020,1230	17,82	15,82	BA	25,30	25,50	25,7	25	24,90	24,85
23	W021-Pz 62 BA	Pz	519228,7330	4066672,1790	15,10	13,10	BA	20,40	20,60	20,62	20	20,00	20,10
24	W021-Pz E BA	Pz	519198,2660	4064872,4480	16,77	14,77	BA	25,00	25,50	25,92	24,8	25,50	25,69
25	W042-P 439	Puits	518983,8870	4051924,1850	65,03	65,03	Mitidja Est	8,40	9,00	8,50	3,83	3,85	5,15
26	W021-Pz 42 BA	Pz	518974,9620	4065423,0730	23,67	21,67	BA	31,80	31,85	31,93	32	31,60	31,50
27	W021-Pz 41 BA	Pz	518452,2970	4066174,5880	19,38	17,38	BA	21,70	22,00	22,25	21,5	20,00	20,35
28	W021-Pz 39 BA	Pz	517974,6120	4065276,1290	18,00	16,00	BA	25,96	26,00	26,17	26,5	27,00	27,00
29	W021-Pz 38 BA	Pz	517826,1490	4065776,5320	19,65	17,65	BA	16,80	14,75	16,25	16	15,15	16,40
30	W021-Pz 36 BA	Pz	517570,5480	4063927,4880	18,07	16,07	BA	25,45	25,60	25,68	25	25,10	27,00

31	W021-Pz A BA	Pz	517274,6870	4065278,2580	19,00	17,00	BA	23,90	24,10	24,5	23	23,20	23,50
32	W021-Pz 32 BA	Pz	516625,9740	4065680,1940	27,01	25,01	BA	22,00	23,50	24,55	23,5	25,00	26,40
33	W042-F 1003	F	514287,6880	4046508,8850	103,46	103,46	Mitidja Est	21,50	21,75	29,55	13,90	14,00	18,05
34	W042-Pz 3 H. Felit	Pz	513726,5540	4057910,7450	23,00	21,00	Mitidja Est	40,50	43,70	45,00	33,60	37,23	39,00
35	W042-Pz 4 Ecalyptus	Pz	513638,4520	4053290,3870	51,20	49,20	Mitidja Est	54,85	56,60	57,00	48,32	46,25	55,70
36	W042-F 997	Forage	512248,6570	4056594,3700	28,00	28,00	Mitidja Est	37,30	40,20	43	32,90	33,55	34,00
37	W042-Pz 4 Rais	Pz	511215,0430	4052114,8840	45,00	43,00	Mitidja Est	61,22	55,00	73,55	48,50	42,60	63,90
38	W042-Pz 10 S.Moussa	Pz	507937,1090	4052707,8750	50,00	50,00	Mitidja Est	48,70	48,50	48	40,20	40,03	40
39	W042-Pz 5 PC Baraki	Pz	507007,9340	4057194,3590	75,00	73,00	Mitidja Est	33,40	33,95	42,80	29,23	25,20	34,85
40	W042-Pz 9 Baraki	Pz	506844,8680	4055211,0240	79,25	77,25	Mitidja Est	38,50	38,75	48,20	31,00	31,20	38,10
41	W042-Pz 7 Tabainet	Pz	505382,5600	4043016,3850	99,49	97,49	Mitidja Est	34,20	40,50	47,30	35,43	35,50	31,60
42	W042-Pz 51	Pz	504763,5920	4044968,1610	87,70	85,70	Mitidja Est	49,70	54,48	57,70	42,22	45,70	43,75
43	W041-Pz 6 Baba Ali	Pz	504497,7720	4052511,4400	40,00	38,00	Mitidja Est	48,15	44,10	54,20	38,10	37,80	37,10
44	W041-Pz 49	Pz	503760,2880	4043871,3130	89,98	87,98	Mitidja Est	62,40	63,20	63,20	46,12	52,00	53,15
45	W041-Pz 50	Pz	503110,7960	4044023,2990	86,73	84,73	Mitidja Est	61,50	64,45	65,20	56,95	64,75	56,80

**La piézométrie de la Mitidja est : niveau statique / le niveau de la mer ( z = 0 )**

Pz	N°BIRH	NATURE	X (UTM)	Y (UTM)	Z / rr (m)	cote	Région	Nov 14	Nov 15	Oct 16	Mai 14	Mai 15	Mai 16
1	W021-P 417	Puits	531687,3850	4063304,7800	37,03	37,03	Mitidja Est	28,28	27,88	33,63	25,10	27,28	27,18
2	W021-P 894	Puits	530981,7730	4068056,4780	<b>2,32</b>	2,32	Mitidja Est	-9,28	-9,47	-3,78	-9,68	-9,83	-4,68
3	W021-P 892	Puits	529580,9550	4067740,7320	10,04	10,04	Mitidja Est	-5,38	-8,16	-3,16	-7,96	-8,86	-9,56
4	W042-P 688	Puits	526701,8220	4058020,2800	48,88	48,88	Mitidja Est	40,18	39,98	39,43	38,53	39,38	38,88
5	W021-P 5	Puits	525835,1320	4069001,9210	25,47	25,47	Mitidja Est	21,47	3,47	-3,03	20,37	-3,93	-5,73
6	W021-Pz 1 Rouïba	Pz	524482,1950	4065674,3400	21,00	19,00	Mitidja Est	-14,90	-15,19	-17,60	-15,96	-15,30	-16,15
7	W042-P 450	Puits	523690,3420	4054159,7080	78,48	78,48	Mitidja Est	74,08	74,06	72,63	73,58	73,08	73,08
8	W021-4212-Pz 1 H.	Pz	523619,7760	4063859,1220	26,00	24,00	Mitidja Est	-8,20	-3,00	-1,00	-13,90	-8,70	-6,00
9	W021-Pz 58 BA	Pz	522536,8610	4069461,8570	13,72	11,72	BA	-0,28	0,67	1,27	-3,28	0,62	0,52
10	W021-Pz B BA	Pz	522429,4480	4067012,4300	16,38	14,38	BA	-10,12	-10,02	-9,97	-10,72	-10,97	-10,94
11	W021-4211-Pz 2 H.	Pz	522370,8120	4064162,8810	27,35	25,35	Mitidja Est	-10,74	-10,95	-11,70	-11,50	-11,75	-12,70
12	W021-Pz F BA	Pz	522281,4350	4067662,8150	15,07	13,07	BA	-7,43	-7,08	-6,91	-4,73	-4,38	-3,93
13	W021-Pz 54 BA	Pz	521933,8980	4068463,7870	10,69	8,69	BA	-3,71	-3,61	-3,43	-4,26	-4,11	-4,03
14	W021-Pz C BA	Pz	521576,3550	4065965,1200	16,50	14,50	BA	-3,50	-4,15	-4,50	-3,75	-5,00	-6,20
15	W021-Pz G BA	Pz	521528,6350	4066715,1920	16,43	14,43	BA	-0,57	-2,27	-5,27	-2,47	-4,27	-6,07
16	W021-Pz 60 BA	Pz	521230,0330	4067166,0530	15,11	13,11	BA	-6,89	-6,89	-7,19	-7,61	-7,79	-4,90
17	W021-Pz 51 BA	Pz	520875,5190	4065667,2760	17,00	15,00	BA	-4,50	-4,25	-4,00	-4,70	-10,25	-11,75

18	W021-Pz 61 BA	Pz	520730,0870	4067167,5700	14,28	12,28	BA	-5,17	-5,07	-4,97	-5,62	-6,22	-7,52
19	W021-Pz 50 BA	Pz	520477,2310	4066218,4320	16,01	14,01	BA	-7,29	-7,59	-7,89	-11,69	-11,99	-12,39
20	W021-Pz D BA	Pz	520074,8450	4065419,7310	15,00	13,00	BA	-10,80	-10,90	-11,00	-11,50	-11,52	-11,65
21	W021-Pz 48 BA	Pz	519978,9550	4066769,8900	14,20	12,20	BA	-6,80	-6,70	-6,78	-7,25	-7,30	-7,40
22	W021-Pz 45 BA	Pz	519926,6830	4066020,1230	17,82	15,82	BA	-9,18	-9,08	-9,03	-9,48	-9,68	-9,88
23	W021-Pz 62 BA	Pz	519228,7330	4066672,1790	15,10	13,10	BA	-6,90	-6,90	-7,00	-7,30	-7,50	-7,52
24	W021-Pz E BA	Pz	519198,2660	4064872,4480	16,77	14,77	BA	-10,03	-10,73	-10,92	-10,23	-10,73	-11,15
25	W042-P 439	Puits	518983,8870	4051924,1850	65,03	65,03	Mitidja Est	61,20	61,18	59,88	56,63	56,03	56,53
26	W021-Pz 42 BA	Pz	518974,9620	4065423,0730	23,67	21,67	BA	-10,33	-9,93	-9,83	-10,13	-10,18	-10,26
27	W021-Pz 41 BA	Pz	518452,2970	4066174,5880	19,38	17,38	BA	-4,12	-2,62	-2,97	-4,32	-4,62	-4,87
28	W021-Pz 39 BA	Pz	517974,6120	4065276,1290	18,00	16,00	BA	-10,50	-11,00	-11,00	-9,96	-10,00	-10,17
29	W021-Pz 38 BA	Pz	517826,1490	4065776,5320	19,65	17,65	BA	1,65	2,50	1,25	0,85	2,90	1,40
30	W021-Pz 36 BA	Pz	517570,5480	4063927,4880	18,07	16,07	BA	-8,93	-9,03	-10,93	-9,38	-9,53	-9,61
31	W021-Pz A BA	Pz	517274,6870	4065278,2580	19,00	17,00	BA	-6,00	-6,20	-6,50	-6,90	-7,10	-7,50
32	W021-Pz 32 BA	Pz	516625,9740	4065680,1940	27,01	25,01	BA	1,51	0,01	-1,39	3,01	1,51	0,46
33	W042-F 1003	F	514287,6880	4046508,8850	103,46	103,46	Mitidja Est	89,56	89,46	85,41	81,96	81,71	73,91
34	W042-Pz 3 H. Felit	Pz	513726,5540	4057910,7450	23,00	21,00	Mitidja Est	-12,60	-16,23	-18,00	-19,50	-22,70	-24,00
35	W042-Pz 4 Ecalyptus	Pz	513638,4520	4053290,3870	51,20	49,20	Mitidja Est	0,88	2,95	-6,50	-5,65	-7,40	-7,80
36	W042-F 997	Forage	512248,6570	4056594,3700	28,00	28,00	Mitidja Est	-4,90	-5,55	-6,00	-9,30	-12,20	-15,00
37	W042-Pz 4 Rais	Pz	511215,0430	4052114,8840	45,00	43,00	Mitidja Est	-5,50	0,40	-20,90	-18,22	-12,00	-30,55
38	W042-Pz 10 S.Moussa	Pz	507937,1090	4052707,8750	50,00	50,00	Mitidja Est	9,80	9,97	10,00	1,30	1,50	2,00
39	W042-Pz 5 PC Baraki	Pz	507007,9340	4057194,3590	75,00	73,00	Mitidja Est	43,77	47,80	38,15	39,60	39,05	30,20
40	W042-Pz 9 Baraki	Pz	506844,8680	4055211,0240	79,25	77,25	Mitidja Est	46,25	46,05	39,15	38,75	38,50	29,05
41	W042-Pz 7 Tabainet	Pz	505382,5600	4043016,3850	99,49	97,49	Mitidja Est	62,06	61,99	65,89	63,29	56,99	50,19
42	W042-Pz 51	Pz	504763,5920	4044968,1610	87,70	85,70	Mitidja Est	43,48	40,00	41,95	36,00	31,22	28,00
43	W041-Pz 6 Baba Ali	Pz	504497,7720	4052511,4400	40,00	38,00	Mitidja Est	-0,10	0,20	0,90	-10,15	-6,10	-16,20
44	W041-Pz 49	Pz	503760,2880	4043871,3130	89,98	87,98	Mitidja Est	41,86	35,98	34,83	25,58	24,78	24,78
45	W041-Pz 50	Pz	503110,7960	4044023,2990	86,73	84,73	Mitidja Est	27,78	19,98	27,93	23,23	20,28	19,53

