

Higher National School of Hydraulic

The Library

Digital Repository of ENSH



المدرسة الوطنية العليا للري

المكتبة

المستودع الرقمي للمدرسة العليا للري



The title (العنوان):

Etude de l'évolution de la qualité des eaux souterraine de la Mitidja au cours de la période (2006-2010) .

The paper document Shelf mark (الشفرة) : 6-0001-17

APA Citation ( APA توثيق ):

Mokrani, Lydia (2017). Etude de l'évolution de la qualité des eaux souterraine de la Mitidja au cours de la période (2006-2010)[Thèse de master, ENSH].

The digital repository of the Higher National School for Hydraulics "Digital Repository of ENSH" is a platform for valuing the scientific production of the school's teachers and researchers.

Digital Repository of ENSH aims to limit scientific production, whether published or unpublished (theses, pedagogical publications, periodical articles, books...) and broadcasting it online.

Digital Repository of ENSH is built on the open DSpace software platform and is managed by the Library of the National Higher School for Hydraulics. <http://dspace.ensh.dz/jspui/>

المستودع الرقمي للمدرسة الوطنية العليا للري هو منصة خاصة بنمّين الإنتاج العلمي لأساتذة و باحثي المدرسة.

يهدف المستودع الرقمي للمدرسة إلى حصر الإنتاج العلمي سواء كان منشورا أو غير منشور (أطروحات، مطبوعات بيداغوجية، مقالات الدوريات، كتب....) و بثه على الخط.

المستودع الرقمي للمدرسة مبني على المنصة المفتوحة DSpace و يتم إدارته من طرف مديرية المكتبة للمدرسة العليا للري.

كل الحقوق محفوظة للمدرسة الوطنية العليا للري.

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE  
-ARBAOUI Abdellah-**

**DEPARTEMENT GENIE DE L'EAU**

## **MEMOIRE DE MASTER**

**POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER EN HYDRAULIQUE**

**Option : assainissement.**

### **THEME :**

**Etude de l'évolution de la qualité des eaux souterraine de la  
Mitidja au cours de la période (2006-2010)**

**Présenté par :**

**M<sup>elle</sup> MOKRANI Lydia**

**DEVANT LES MEMBRES DU JURY**

<b>Nom et Prénom</b>	<b>Grade</b>	<b>Qualité</b>
<b>M<sup>r</sup> SALAH Boualem</b>	<b>Professeur</b>	<b>Président</b>
<b>M<sup>me</sup> MOKRANE Wahiba</b>	<b>M.A.A</b>	<b>Examinatrice</b>
<b>M<sup>me</sup> TAFAT Leila</b>	<b>M.A.A</b>	<b>Examinatrice</b>
<b>M<sup>r</sup> HACHEMI Abdelkader</b>	<b>M.A.A</b>	<b>Examineur</b>
<b>M<sup>r</sup> YAHIAOUI Samir</b>	<b>M.A.B</b>	<b>Promoteur</b>

**Avril 2017**



# Remerciement

*Avant tout et tout le monde, je remercie le grand et bon Dieu qui ma donné le courage, la patience et la force d'être arrivée jusqu'à ce point.*

*C'est avec un grand plaisir que j'exprime ma profonde gratitude et mes sincères remerciements à mon promoteur: Mr YAHIAOUI Samir . Je lui exprime ma reconnaissance pour ses précieux conseils qui m'ont permis de bénéficier de son expérience et d'acquérir de nombreuses connaissances tout le long de ce travail.*

*Permettez-moi de féliciter Mr.SALAH BOUALLEM pour sa mobilisation, sa mise à disposition de son savoir, sa documentation pour l'établissement de ce travail.*

*Je tiens à remercier l'ensemble des enseignants de l'E.N.S.H qui m'ont suivi durant mon cycle d'étude.*

*Par cette occasion, je remercie le président et les membres du jury qui vont me faire l'honneur de juger mon travail.*

*Lydia*



# Dédicace

*Je dédie ce modeste Travail*

*À Mes chers parents, mon cher père **Bouziâ**, pour son soutien indéfectible durant tout mon cursus qu'il soit moral ou matériel, ma chère mère **Zakia**, aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu n'as cessé de me donner depuis ma naissance.*

*Pour tous les sacrifices qu'ils ont consentis pour que je réussisse. Que dieu me les garde.*

*Mes chères sœurs :, **Ikrame** et mon petit frère **Ouassime**.*

*Je voudrais aussi dédier ce travail à toute ma famille grand mère, tantes, oncles, cousins et cousines, en particulier ma tante **Nadia**, je leurs souhaite la vie paisible et remplie de joie.*

*A mon ami **Abde rezak** qui a toujours été là pour m'encourager et m'aider.*

*Tous mes amis de l'ENSHvet particulièrement, **Bouchra**, **Nawel**, **Ghozlene** et **Chaïma**.*

*À toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de cet humble travail*

*Lydia*

## **LISTE DES TABLAUX**

**Tableau I-1:** Porosité efficace et perméabilité moyenne pour les principaux réservoirs.....5

**Tableau III-1:** Les échantillons analysés années au cours de la période (2006-2010) tenu compte de deux périodes, à savoir : les hautes et les basses eaux.....24

# Sommaire

Introduction générale.....	01
----------------------------	----

## Chapitre I : Généralités sur les nappes et les eaux souterraines

I.1. Introduction.....	02
I.2. Les systèmes aquifères.....	02
I.2.1. Définitions.....	02
I.2.2. Types de Nappes.....	03
I.3. Les paramètres caractérisant l'écoulement souterrain.....	05
I.4. Relations Fluides-Solides dans les milieux poreux .....	09
I.4.1. Milieux saturés en eau.....	09
I.4.2. Milieux non saturés.....	09
I.5. Conclusion.....	10

## Chapitre II : Présentation du secteur d'étude

II.1. Introduction.....	11
II.2. Situation géographique.....	11
II.3. Aperçu climatique.....	13
II.4. Géologie et Hydrogéologie.....	14
II.4.1. L'aquifère des alluvions de la Mitidja.....	15
II.4.2. État du réseau de surveillance des eaux souterraines de la nappe de la Mitidja année 2013.....	16
II.5. Réseau hydrographique.....	17
II.5. La végétation.....	18
II.7. Aspect socio-économique.....	18
II.7.1 Besoins en eau.....	18
II.7.2 L'agriculture.....	19
II.7.3 L'industrie.....	19
II.7.4 Démographie.....	19
II.7.5 Ressources en eau.....	19
II.8. Conclusion.....	20

## Chapitre III: Matériels et Méthodes

III.1. Introduction.....	21
III.2. Revue bibliographique sur les études similaires.....	21
III.3 Données d'analyse.....	24
III.3.1. Échantillonnage.....	24
III.4 Méthode d'évaluation de la qualité d'une eau.....	28
III.4.1 Eau de consommation.....	28
III.4.2 Eau d'irrigation.....	28
III.5 Analyse géostatistique.....	30
III.5.1 Calcul du variogramme.....	30
III.5.2 Le krigeage.....	31
III.6 Conclusion.....	32

## Chapitre III: Résultat Et Discussions

IV.1.Introduction.....	33
Etude de la qualité des eaux souterraines de la Mitidja pendant l'année 2006 par krigeage ordinaire	
IV.2. Période des basses eaux de l'année 2006.....	33
IV.2.1. Modélisation des variogrammes.....	33
IV.2.2. Estimation par krigeage.....	33
IV.2.3. Aptitude à l'irrigation.....	35
IV.3. Période des hautes eaux de l'année 2006.....	36
IV.3.1. Modélisation des variogrammes.....	36
IV.3.2. Estimation par krigeage.....	36
IV-3-3- Aptitude à l'irrigation.....	38
Etude de la qualité eaux souterraines de la Mitidja pendant l'année 2007 par krigeage ordinaire	
IV.4. Période des basses eaux de l'année 2007.....	39
IV.4.1 Modélisation des variogrammes.....	38
IV.4.2. Estimation par krigeage.....	39
IV.5. Période des hautes eaux de l'année 2007.....	41
IV.5.1. Modélisation des variogrammes.....	41
IV.5.2. Estimation par krigeage.....	41
Etude de la qualité eaux souterraines de la Mitidja par krigeage ordinaire pendant l'année 2008	
IV-6- Période des basses eaux (année 2008) .....	43
IV-6-1- Modélisation des variogrammes.....	43
IV-6-2- Krigeage.....	43
IV-6-3- Aptitude à l'irrigation.....	45
IV-7- Période des hautes eaux (l'année 2008).....	46
IV-7-1- Modélisation des variogrammes.....	46
IV-7-2- Krigeage.....	46
IV-7-3- Aptitude à l'irrigation.....	48
Etude de la qualité eaux souterraines de la Mitidja pendant l'année 2009 par krigeage ordinaire	
IV.8. Période des basses eaux de l'année 2009.....	49
IV.8.1 Modélisation des variogrammes.....	49
IV-8-2- Krigeage.....	49
IV-9- Période des hautes eaux (l'année 2009) .....	51
IV-9-1- Modélisation des variogrammes.....	51
IV-9-2- Krigeage.....	51
Etude de la qualité des eaux souterraines de la Mitidja pendant l'année 2010 par krigeage ordinaire	
IV.10. Période des basses eaux de l'année 2010.....	53
IV.10.1 Modélisation des variogrammes.....	53
IV.10.2. Estimation par krigeage.....	54
IV.11. Période des hautes eaux de l'année 2010.....	55
IV.11.1. Modélisation des variogrammes.....	55
IV.11.2. Estimation par krigeage.....	55
IV.13. Etude de la piézométrie pendant la période des basses eaux	58
IV.14. Conclusion.....	61
Conclusion générale	

# **Introduction Générale**

## INTRODUCTION

L'eau souterraine est l'eau qui existe dans les pores, les fissures des roches et dans les sédiments sous la terre. Elle est issue des précipitations ou de la neige et puis, infiltre les sols dans les systèmes d'eaux souterraines. Par la suite, elle peut éventuellement remonter à la surface, ou rejoindre des lacs ou des océans. Elle est naturellement alimentée par la surface, grâce aux précipitations, aux cours d'eau et aux infiltrations d'eaux provenant des rivières

Les eaux souterraines en Algérie constituent un capital essentiel en ce que concernent les réserves d'eau, parallèlement à leurs surexploitations en débit, la pollution des principes nappes d'eau souterraine de nord de pays atteint un seuil critique au point de devenir une source de périls. Pour la santé humaine ces pollutions définissent des risques de maladies.

Les eaux de la nappe aquifère de la Mitidja présentent des caractéristiques chimiques souvent non conformes aux normes de qualité des eaux d'irrigation. Ceci est dû, d'une part à la nature des formations géologiques de l'aquifère, et d'autre part à la pollution de surface caractérisée par l'infiltration de polluants issues des pratiques agricoles et industrielles dans les zones à degré de vulnérabilité élevé, ainsi que par le problème d'intrusion des eaux salées. Ce qui est d'impact assez dramatique sur l'environnement.

C'est pour cela que l'utilisation d'une eau telle qu'elle soit, doit prendre en considération ses propriétés physico-chimiques. Ces dernières varient d'un point à un autre dans l'espace. Donc leur simulation nécessite la prise en compte de leur variabilité spatiale

Ce travail s'inscrit dans ce contexte, il a pour but l'étude de la variabilité spatiale de certaines propriétés chimiques des eaux souterraines de la plaine de la Mitidja par une approche statistique classique qui est l'analyse en composantes principales, ainsi que par l'approche géostatistique (variographie et krigeage) afin de pouvoir évaluer la qualité de ces eaux et leur aptitude à l'irrigation.

# **CHAPITRE I :**

## **Généralités sur les nappes et les eaux souterraines**

**I.1. Introduction**

Les eaux souterraines, donc, sont désormais reconnues comme une ressource économique et un patrimoine écologique qu'il importe de gérer et de préserver, surtout pour un pays à climat semi-aride comme le notre qui soutire ses besoins en eau principalement des nappes souterraines.

En effet, dans tout le territoire national, on exploite les nappes souterraines pour l'alimentation en eau potable, pour l'irrigation et pour les besoins industriels. Un important pourcentage et dans certains cas 100 % des besoins proviennent du sous-sol.

**I.2. Les systèmes aquifères :**

**I.2.1. Définitions :**

Un aquifère est une formation géologique ou une roche, suffisamment poreuse et/ou fissurée (pour stocker de grandes quantités d'eau) tout en étant suffisamment perméable pour que l'eau puisse y circuler librement. Pour se représenter un aquifère, il faut imaginer un vaste réservoir naturel de stockage d'eau souterraine. L'aquifère est homogène quand il a une perméabilité d'interstices (sables, graviers); la vitesse de percolation y est lente. Il est hétérogène avec une perméabilité de fissures (granite, calcaire karstique); la vitesse de percolation est plus rapide.

Une nappe est l'ensemble des eaux comprises dans la zone saturée d'un aquifère, dont toutes les parties sont en liaison hydraulique.

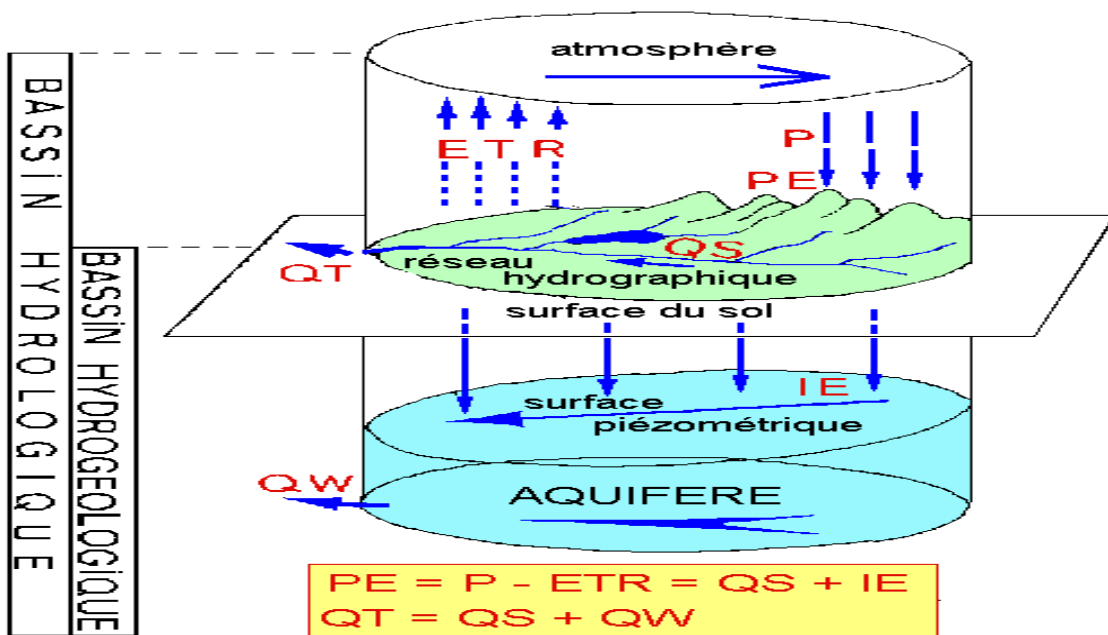


Figure I-1 : Bassin hydrologique, bassin hydrogéologique et aquifère.



### I.2.2. Types de Nappes : I.2.2.1. Nappes libres :

La surface piézométrique coïncide avec la surface libre de la nappe qui est surmontée par une zone non saturée. On a comme exemple :

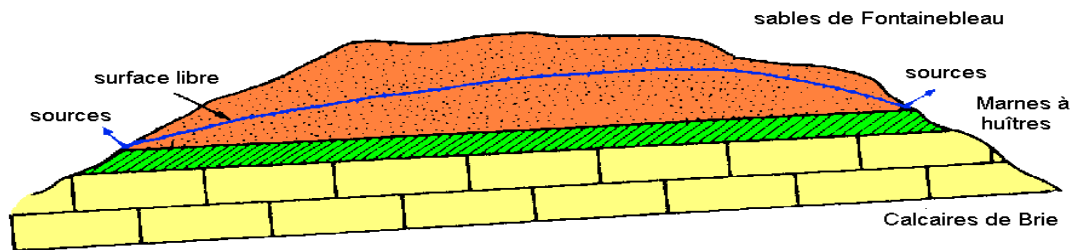


Figure I-2: *nappe libre.*

#### \* *Nappe alluviale*

L'aquifère est constitué par les alluvions d'une rivière. L'eau de la nappe est en équilibre avec celle de la rivière et les échanges se font dans les deux sens. Les alluvions sont très perméables; elles peuvent être très épaisses et constituer un réservoir très important qui sert à l'alimentation en eau des villes situées le long de la rivière.

En pays aride, la nappe alluviale est alimentée par les crues de la rivière qui est à sec en période d'étiage. Comme l'oued, les eaux de la nappe s'écoulent, souvent vers les dépressions endoréiques où elles s'évaporent.

#### \* *Nappe en pays karstique*

En pays calcaire, l'eau remplit et circule dans les cavités du karst dont certaines sont complètement ennoyées. Les vitesses de circulation sont grandes et les sources peuvent être temporaires et abondantes.

#### \* *Nappe en plaine littorale*

La nappe d'eau douce qui est située dans les alluvions est en équilibre hydrostatique avec la nappe salée issue de l'eau de mer. Ces deux nappes se mélangent peu, leur interface constitue un biseau salé. Tout rabattement de la nappe d'eau douce entraîne la rupture de l'équilibre et la progression du biseau salé vers l'intérieur des terres.

#### \* *Soutien d'une nappe*

Une nappe est limitée vers le bas par un niveau imperméable. Elle peut être alimentée, ou soutenue, par l'infiltration de l'eau d'une rivière. Une nappe est dite perchée si elle surmonte une autre nappe libre qu'elle peut alimenter par drainance.

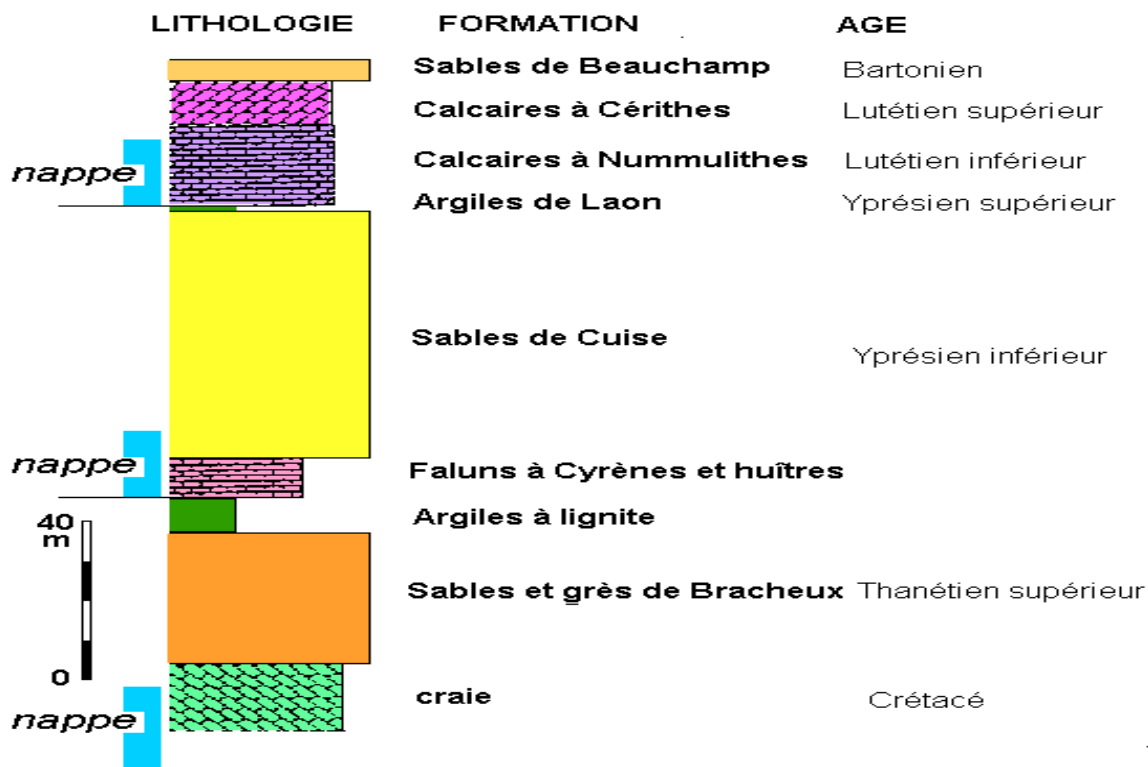


Figure I-3 : aquifères superposés.

I.2.2.2. Nappes captives :

La nappe est confinée car elle est surmontée par une formation peu ou pas perméable; l'eau est comprimée à une pression supérieure à la pression atmosphérique.

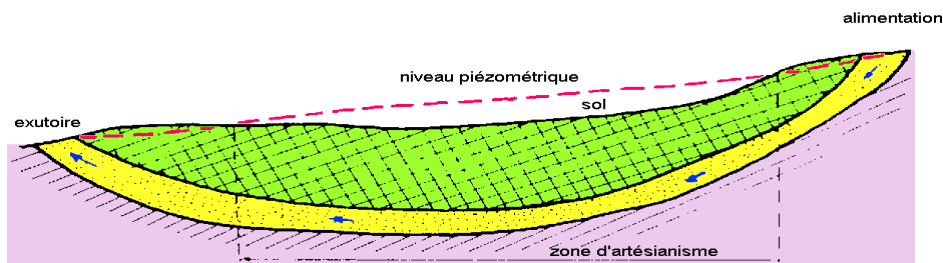


Figure I-4: nappe captive

**I.2.2.3. Nappes semi captives :**

Lorsque l'éponte supérieure de l'aquifère ne peut pas être considérée comme imperméable, bien que nettement moins perméable que l'aquifère lui-même, alors un échange peut avoir lieu entre cet aquifère et son éponte supérieure. Une telle nappe est dite semi captive. Si la charge hydraulique de cette nappe est supérieure à celle existante dans l'éponte, un écoulement vertical ascendant aura lieu, régi selon la loi de darcy par la conductivité hydraulique de l'éponte.

**I.2.2.4. Aquifère à nappe suspendue :**

Il existe encore un cas particulier de nappe qui se présente quand une formation imperméable apparaît entre la zone saturée et la surface du sol, donnant origine à la rétention des eaux des infiltrations au dessus de cette formation.

**I.3. Les paramètres caractérisant l'écoulement souterrain :**

\***Porosité** : C'est le rapport entre le volume des vides et le volume total :

$$n = \frac{V_v}{V_t} \dots\dots\dots(I.1)$$

\* **Porosité efficace** : La porosité efficace est le rapport du volume d'eau gravitaire au volume total de la roche saturée en eau: **Porosité efficace,  $n_e(\%) = \text{volume eau gravitaire} / \text{volume}$**

$$\text{total} = \frac{V_e}{V_t} \dots\dots\dots(I.2)$$

**Tableau I-1:** Porosité efficace et perméabilité moyenne pour les principaux réservoirs.

TYPES DE RESERVOIRS	POROSITE EFFICACE (%)	PERMEABILITE K (m/s)
graviers	25	$3. 10^{-1}$
sables	15	$6. 10^{-4}$
limons	2	$3. 10^{-8}$
vase argileuse	0.1	$5. 10^{-10}$
calcaires fissurés	2 à 10	
craie	2 à 5	
granite fissuré	0,1 à 2	
basalte fissuré	8 à 10	
schistes	0,1 à 2	

\* Coefficient d'emménagement :

Le coefficient d'emménagement d'un aquifère est déterminé à partir de la quantité d'eau libérée pour une perte de charge donnée. Dans un aquifère, la perte, ou le gain, d'une certaine quantité d'eau se traduit par une variation de la charge hydraulique. Celle-ci est mesurée à l'aide de piézomètres. Pour une nappe libre, c'est la gravité qui provoque l'écoulement de l'eau. Pour une nappe captive, l'expulsion d'une petite quantité d'eau provoque une grande variation de pression et donc une forte perte de charge. D'une façon générale, pour une même différence de charge, la quantité d'eau libérée est beaucoup plus grande dans une nappe libre.

$$S = S_s \cdot b \dots \dots \dots (I.3)$$

Avec :  $S_s$  est le coefficient d'emménagement spécifique du matériau aquifère et  $b$  étant son épaisseur.

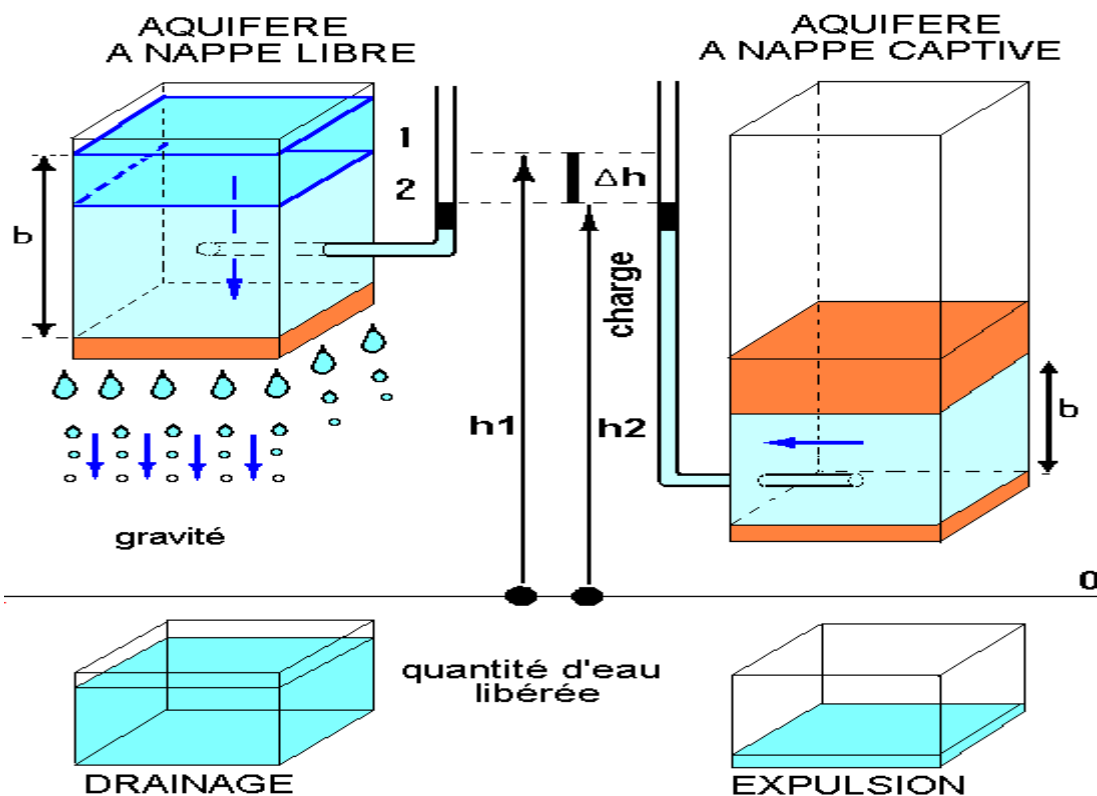


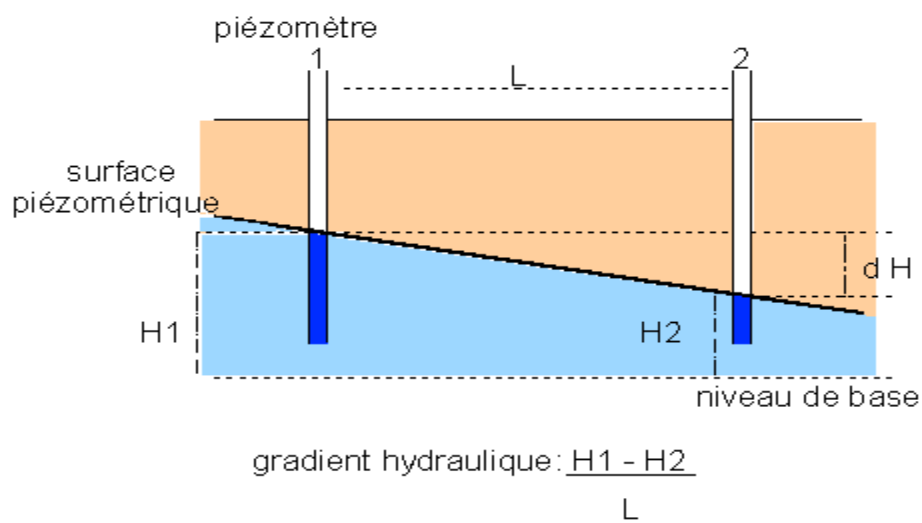
Figure I-5: variation de charge et volume d'eau libérée

Le coefficient d'emménagement  $S$  est défini comme le rapport du volume d'eau libérée par unité de surface sur la différence de charge hydraulique.

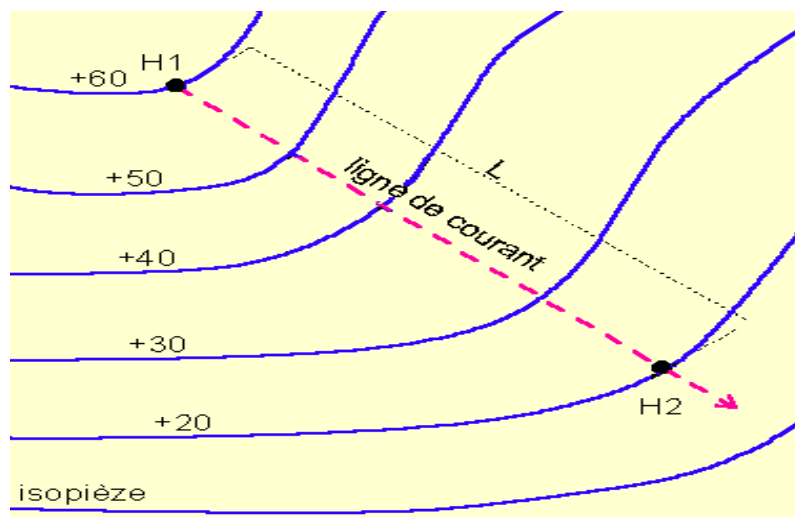
\* **Gradient hydraulique :**

On le calcule en plaçant deux piézomètres distants de **L** mètres. Le gradient est le rapport entre la différence de niveau **dh** des piézomètres et la distance **L**. On utilise également les cartes piézométriques en mesurant la distance entre deux courbes isopieacutriques en mesurant la distance entre deux courbes isopiézométriques (hydro isohypses) consécutives.

$$i = \frac{dh}{L} \dots\dots\dots(I.4)$$



**Figure I-6:** calcul du gradient hydraulique avec 2 piézomètres.



**Figure I-7:** calcul du gradient hydraulique à partir d'une carte piézométrique.

**\* La conductivité hydraulique et la perméabilité des milieux poreux :**

"La conductivité est l'aptitude d'un réservoir à se laisser traverser par l'eau sous l'effet d'un gradient hydraulique. Elle est mesurée notamment par le coefficient de perméabilité K défini par la loi de Darcy comme le volume d'eau gravitaire traversant une unité de section perpendiculaire à l'écoulement en 1 seconde sous l'effet d'une unité de gradient hydraulique. En prenant comme unités le m<sup>2</sup> et le m<sup>3</sup>, K est exprimé en m/s.

Le coefficient de perméabilité dépend à la fois des caractéristiques du réservoir (granulométrie, porosité efficace) et des caractéristiques du fluide (viscosité, donc température, et masse volumique). Il est grossièrement proportionnel au carré du diamètre des grains pour une nappe libre. Il varie de 10 m/s à 10<sup>-11</sup>m/s. Un matériaux est considéré comme imperméable au delà de 10<sup>-9</sup> m/s.

$$K = \frac{g}{\nu} \frac{d^2}{a} \dots\dots\dots(I.5)$$

Ou :

g : accélération de la pesanteur ;

d : diamètre caractéristique résultant de la forme des grains et de leur disposition ;

ν : Coefficient de viscosité cinématique ;

a : constante sans dimension égale à :

$$a = i \frac{2 \cdot g \cdot d}{\nu V} \dots\dots\dots(I.6)$$

i : gradient hydraulique :

V : vitesse de filtration apparente [m/s]

**\*la transmissivité :**

La transmissivité caractérise la productivité d'un captage. Elle est égale au produit du coefficient de perméabilité K par l'épaisseur de la zone saturée b. [13]

$$T \text{ (m}^2\text{/s)} = K \text{ (m/s)} \cdot b \text{ (m)} \dots\dots\dots(I.7)$$

**\* Débit d'une nappe**

C'est le volume d'eau traversant une section transversale de l'aquifère en une unité de temps. Son calcul est délicat; il faut connaître l'épaisseur de l'aquifère et l'écartement des courbes isopiézométriques. Pour les grandes nappes, on subdivise la section générale en sections élémentaires équipées de couples de piézomètres.

Le débit d'une nappe peut être évalué par la loi de Darcy:

$$Q = K \cdot A \cdot i \dots\dots\dots(I.8)$$

Q: débit en m<sup>3</sup>/s

K: coefficient de perméabilité en m/s

A: section de la nappe en m<sup>2</sup>

i: gradient hydraulique

**I.4.Relations Fluides-Solides dans les milieux poreux :****I.4.1. Milieux saturés en eau :**

Mis à part l'eau de constitution des minéraux de la roche, on distingue :

**a) Eau liée :**

Elle est attachée à la surface des grains par le jeu des forces d'attraction moléculaire. Ces forces décroissent avec la distance de la molécule d'eau au grain

**b) Eau libre :**

Comme on l'avait déjà définie, c'est celle qui est en dehors du champ d'attraction des particules solides, et qui est susceptible de se déplacer par opposition à l'eau liée sous l'effet de la gravité ou des gradients de pression.

**I.4.2. Milieux non saturés :**

Ce problème se complique du fait de l'existence d'une troisième phase : l'air, en plus de l'eau et du solide.

**a) Teneur en eau et saturation volumique**

On définit la teneur en eau  $\omega$  par le rapport :

$$\omega = \text{volume d'eau contenu} / \text{volume total} \dots \dots \dots (I.9)$$

Et la saturation volumique :

$$s = \text{volume d'eau contenu} / \text{volume total des pores} \dots \dots \dots (I.10)$$

**b) Pression capillaire**

Entre deux en contact, ou un fluide au contact d'un solide, il existe une énergie superficielle engendrée par la différence entre la force d'attraction des molécules vers l'intérieur dans chaque phase et la force d'attraction des molécules à travers la surface de contact. Cette énergie superficielle se manifeste par une tension superficielle  $\sigma_{ik}$ , définie par la quantité du travail nécessaire pour séparer l'unité de surface des substances i et k.

**I.4. Conclusion :**

Pour conclure, on peut dire qu'il existe deux grands types d'aquifère, aquifère à nappe libre et aquifère à nappe captive et que le mouvement de l'eau considéré sous l'action de la gravité, il est possible de distinguer encore deux grands types d'eau souterraine : l'eau gravitaire ou libre et l'eau de rétention. Seule l'eau libre participe à l'écoulement. Ce dernier peut être en régime permanent ou transitoire.



# **CHAPITRE II :**

## **Présentation du secteur d'étude**

## II.1. Introduction

Les eaux souterraines de la nappe de la Mitidja, alimentent en eau potable, de nombreuses localités de la capitale et plusieurs villes des quatre wilayas situées en grandes parties dans la plaine (Alger, Blida, Boumerdès, et Tipaza). Elles assurent aussi l'irrigation des dizaines de milliers d'hectares de terres agricoles et l'alimentation de presque toutes les unités industrielles. C'est pourquoi, un intérêt particulier en matière de suivi qualitatif et quantitatif est accordé à cette nappe qui a fait l'objet de nombreuses études hydrogéologiques.

Parallèlement à la surexploitation de la nappe, cette dernière est exposée à des risques de pollution dont certains ont provoqué la dégradation de la qualité des eaux souterraines.

## II.2. Situation géographique

La plaine de la Mitidja est située au Sud d'Alger. Elle s'étend sur les territoires d'Alger, Boumerdès, Tipaza et Blida. D'une orientation WSW – ENE et d'une altitude moyenne de 100 m, elle s'étend sur une superficie de 1300 km<sup>2</sup> depuis l'oued Boudouaou à l'Est jusqu'au bassin de Menacer à l'Ouest, sur une longueur de 100 km avec une largeur qui varie de 10 à 18 km, elle est limitée :

Au Sud par les piémonts de l'Atlas.

Au Nord par la ride du Sahel.

Elle est formée de la juxtaposition de sous bassins versants, se regroupant en quatre ensembles, drainés du Sud au Nord par le réseau hydrographique. Ces principaux bassins sont : Bassin occidental (O. Nador).

Bassin du Mazafran.

Bassin d'El Harrach.

Bassin oriental (O. Hamiz et O. Réghaia).

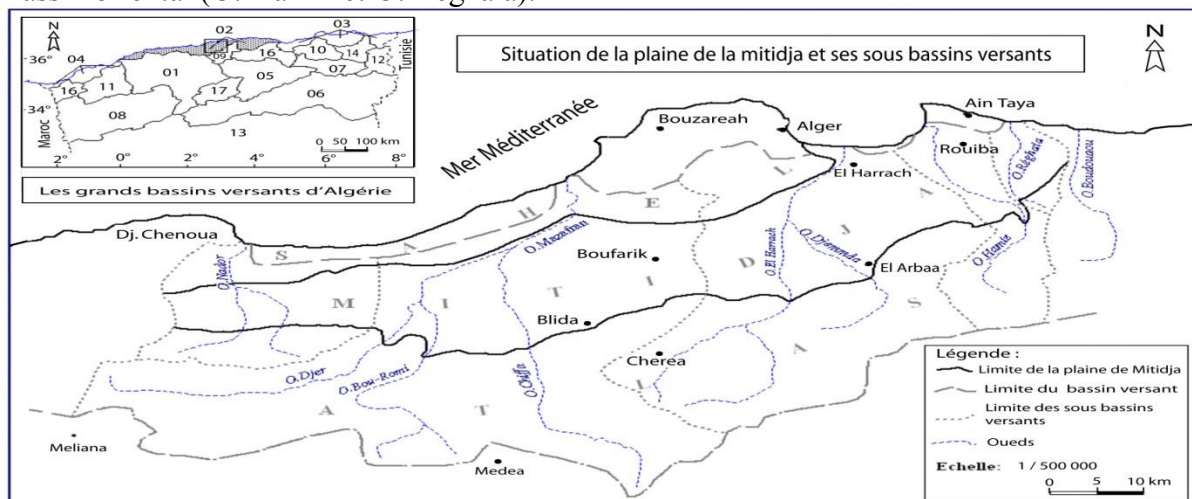


Figure II-1 : Situation de la plaine de la Mitidja

La nappe alluviale de la Mitidja est répartie sur 05 cinq cartes topographiques au 1/50.000 :

- Carte d'Alger n° 21
- Carte de Koléa n°41
- Carte de l'Arbaa n° 42
- Carte de Hadjout n° 62
- Carte de Blida n° 63

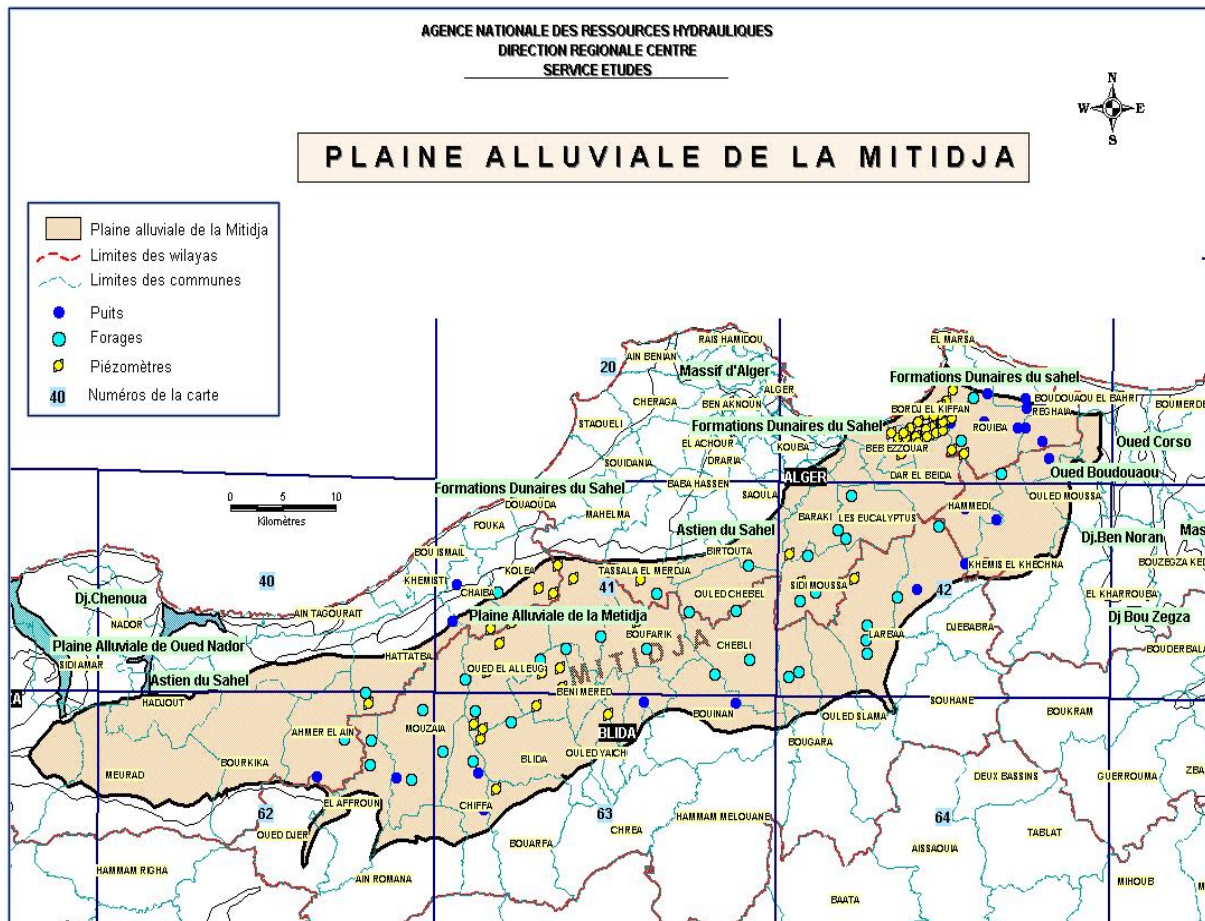


Figure II-2 : découpage cartographique au 1/50.000<sup>e</sup> de la plaine de la Mitidja

Sur chacune des cartes, l'ANRH a retenu des points de mesures constitués de puits, de piézomètres et de forages. Ces points d'observation forment le réseau piézométrique de la nappe alluviale de la Mitidja.

Ce réseau fait l'objet de deux campagnes de mesures par an (une campagne en période des basses eaux et une autre en période des hautes eaux).

II.3. Aperçu climatique

La plaine de la Mitidja se situe au Nord de l'Atlas Blidéen (1620, pic de Chréa), qui la protège de l'influence saharienne, elle se trouve par sa position géographique soumise à l'influence du régime climatique méditerranéen.

La plaine de la Mitidja est soumise à un climat régional subhumide littoral caractérisant l'ensemble des plaines côtières. Au fur et à mesure que l'on s'éloigne du littoral, le climat devient de plus en plus continental et l'on enregistre une baisse sensible des températures. Les valeurs des précipitations de la région varient de 284 mm à 951 mm, concentrées sur une période pluvieuse d'octobre en février. Les précipitations moyennes interannuelles dans la plaine de la Mitidja sont irrégulièrement réparties.

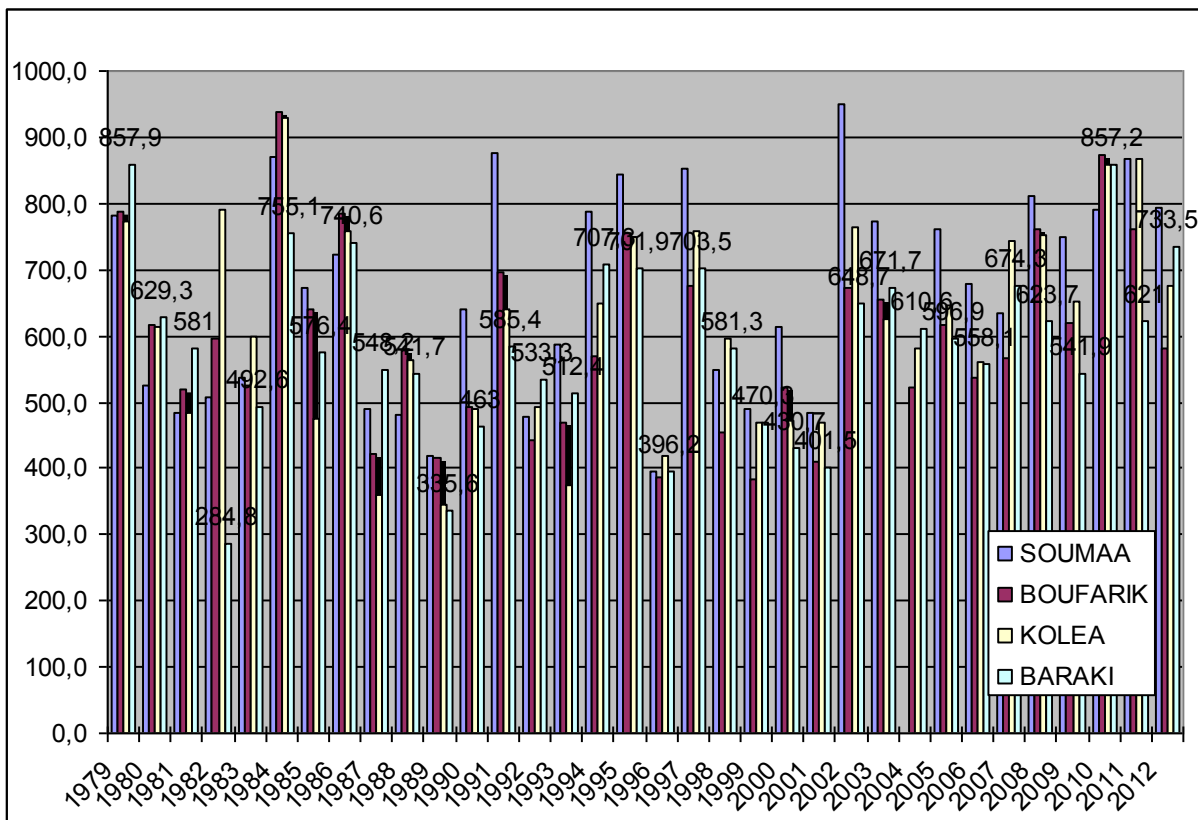


Figure II-3 : Pluviométrie moyenne interannuelle (Période 1979- 2012) (source ANRH)

L'évolution interannuelle des pluies enregistrées sur 33 années d'observations, entre 1979 jusqu'à 2012, a mis en évidence une phase de stabilité des précipitations qui avoisine les 524,6 mm, avec une tendance à la hausse de puis l'année 2009, avec un épisode pluvieux exceptionnel durant le mois de février 2012. (Voir graphe si dessous)

## II.4. Géologie et Hydrogéologie

La plaine de la Mitidja s'étend au sud d'Alger entre Hadjout et Réghaïa, selon une direction ouest sud-Ouest, est-nord-est. Elle est bordée au nord par les collines du Sahel et au sud par l'Atlas Tellien. Elle fait environ 90 Km de long et 15 Km de large.

La nappe de la Mitidja s'étend au Nord, jusqu'à la limite d'affleurement des alluvions Quaternaires et au Sud, jusqu'au contact entre les alluvions quaternaires et les formations plus anciennes de l'Atlas Blidéen. D'un point de vue administratif, elle concerne quatre wilayas (Alger, Blida, Boumerdès et Tipaza).

La plaine de la Mitidja est constituée de deux aquifères : la formation quaternaire de la Mitidja qui représente la principale ressource en eau souterraine et la formation de l'Astien qui est l'aquifère le plus profond.

La formation de la Mitidja est hétérogène, constituée de graviers et sables avec des intercalations de niveaux argileux. Les alluvions affleurent sur la majeure partie du bassin avec une épaisseur qui peut atteindre plus de 200 m au centre de la plaine. Localement, les alluvions peuvent être recouvertes par les formations limono-argileuses du Mazafran qui mettent en charge l'aquifère des alluvions de la Mitidja.

La formation de l'Astien est constituée principalement de sables et de grès plus ou moins calcaires qui reposent sur le substratum marneux du Plaisancien. Son épaisseur moyenne est de l'ordre de 100 m.

L'Astien est séparé de l'aquifère des alluvions par la formation argileuse d'El Harrach, hormis au Nord-est de la plaine où les deux formations perméables sont en contact direct.

Le cadre géologique local est caractérisé par la série lithostratigraphique représentée dans la figure suivante :

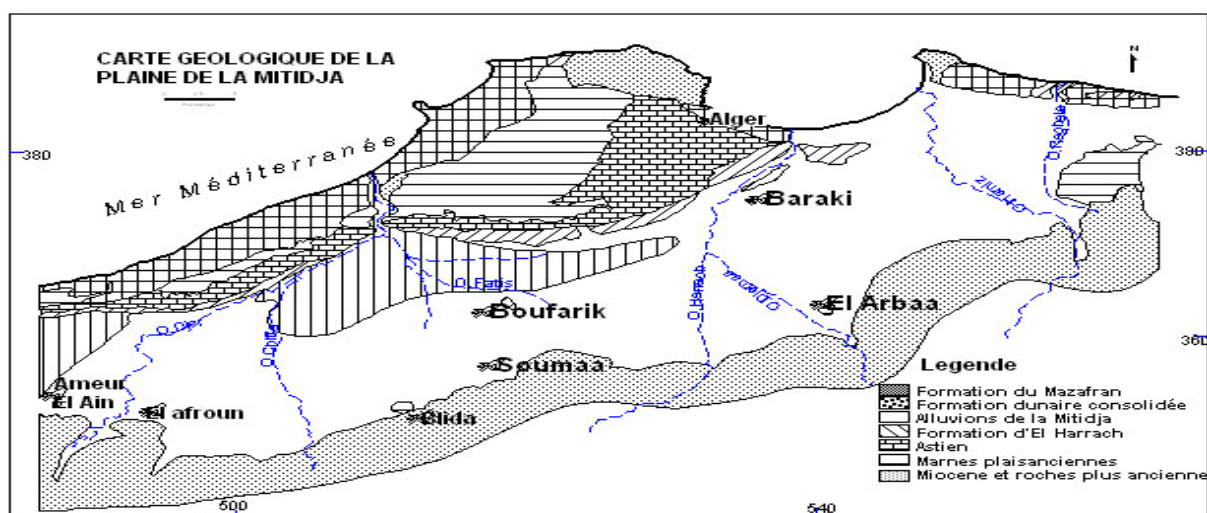
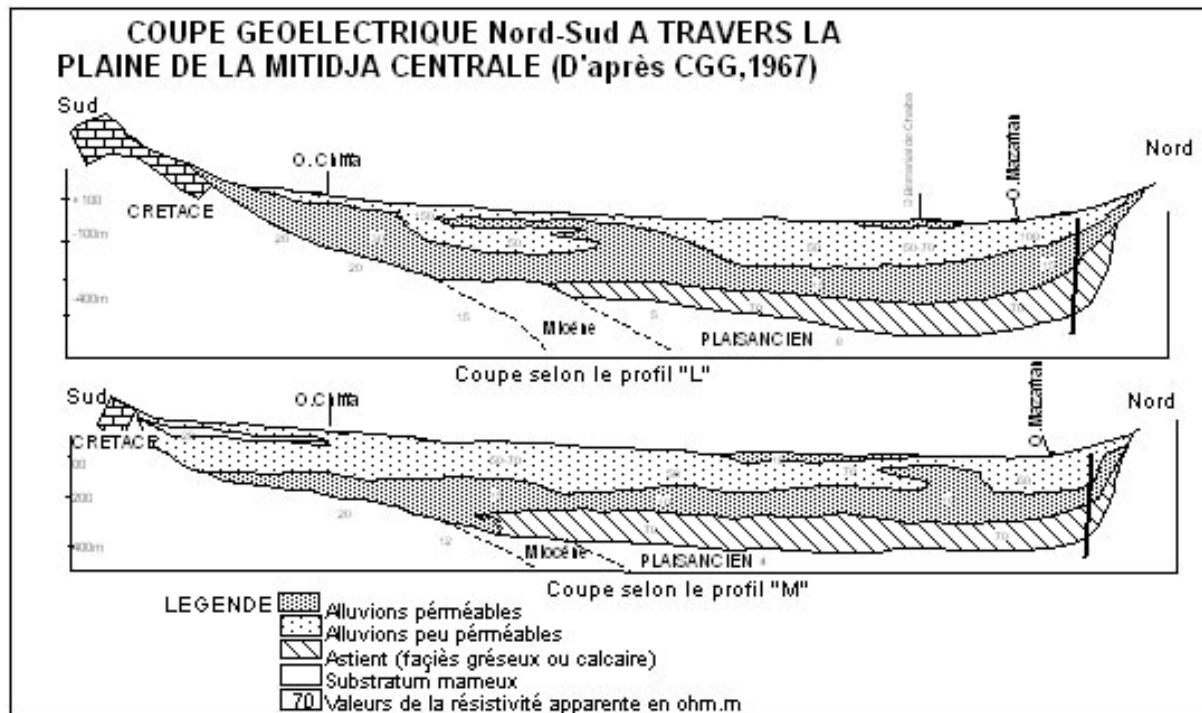


Figure II-4 : Carte géologique simplifiée de la plaine de la Mitidja



L'alimentation de cet aquifère se fait essentiellement par les infiltrations des eaux de pluie sur le Sahel où il affleure. Il est également alimenté par la nappe alluviale sus-jacente par drainance à travers les marnes jaunes peu épaisses et dont la perméabilité varie de  $10^{-7}$  à  $10^{-8}$  m/s.

Les caractéristiques hydrodynamiques de l'astien sont mal connues. Les estimations de la perméabilité donnent des valeurs qui varient dans de larges fourchettes avec une moyenne de l'ordre de 4,3 m/j et le coefficient d'emmagasinement entre  $5 \times 10^{-6}$  et  $5 \times 10^{-3}$ .



**Figure II-5 : Coupes géoélectriques Nord-Sud à travers la plaine de la Mitidja  
(source ANRH)**

#### II.4.1. L'aquifère des alluvions de la Mitidja

Les sédiments clastiques de la formation de la Mitidja et les sédiments fluviaux récents constituent l'aquifère le plus important de la plaine de la Mitidja.

Cet aquifère, composé de graviers et de galets alternant avec des limons et argiles, occupe toute l'étendue la plaine. Sa limite inférieure est constituée par les marnes de la formation d'El-Harrach et sa limite supérieure est libre sauf dans la zone du Mazafran où la nappe est captive sous les limons du Rharbien. Les coupes géo-électriques (**Figure II-5**) montrent que l'aquifère se développe sur une épaisseur de 100 à 200m en moyenne et va en s'amincissant vers le sud pour atteindre l'Atlas.

La nappe alluviale de la Mitidja est alimentée par :

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

Les exhaures sont assurées par :

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

### II.4.2. État du réseau de surveillance des eaux souterraines de la nappe de la Mitidja année 2013

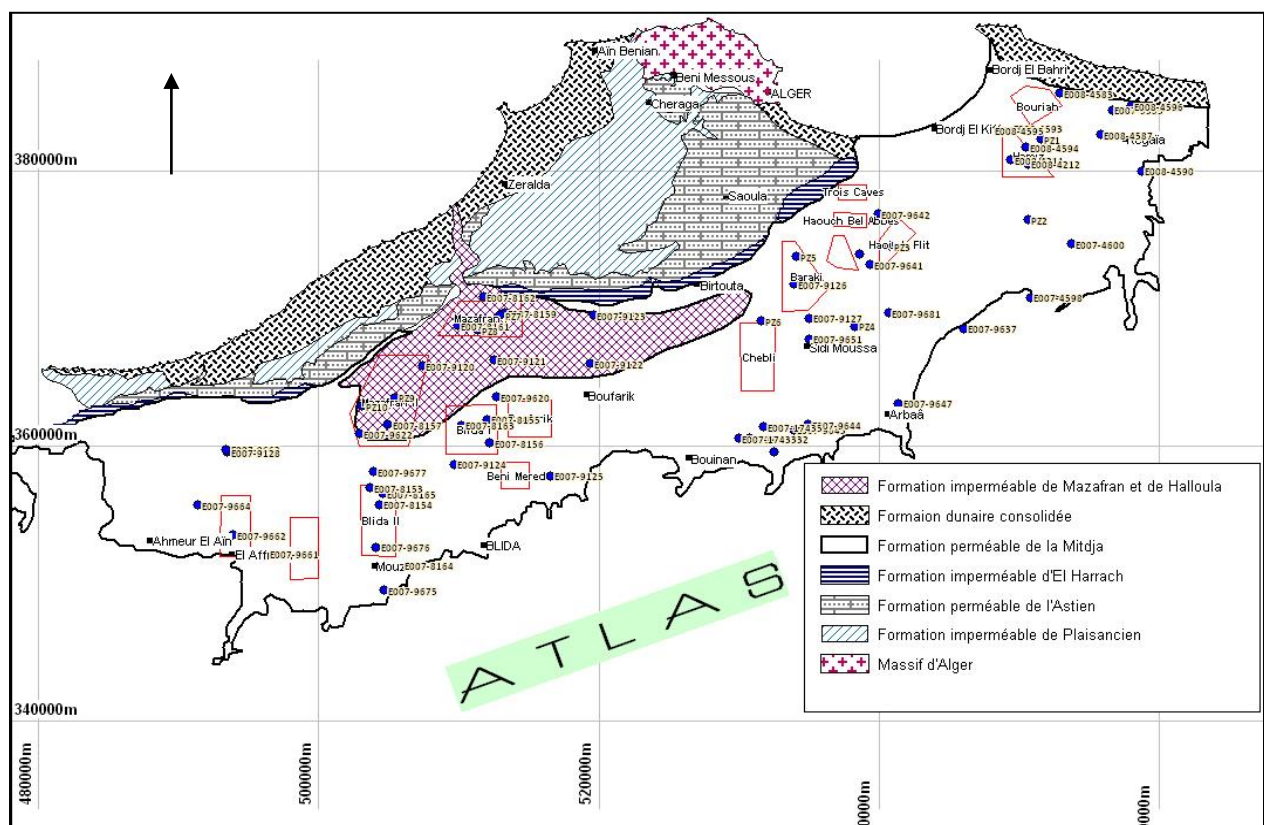


Figure II-6: localisation des points du réseau piézométrique de la plaine de la Mitidja

Le reseau actuel de la mitidja est composé de 89 points de mesures , 11 puits, 19 forages et 37 piézometres,dont 22 piézomètres spécifiques au suivi de l'intrusion marine au niveau de la Baie d'Alger.

Dans l'optique de combler les lacunes de prise de mesures d'une part et l'étouffement du réseau de surveillance des eaux souterraines de la nappe de la Mitidja d'autre part, on tient à rappeler ce qui suit :

- les 10 (dix) piézomètres récemment réalisés par la SEAAL ont été intégrés dans ce réseau depuis la "campagne haute eaux 2010".
- suite à l'assèchement de plusieurs puits, et de certains forages qui composaient le réseau de surveillance, une fiche technique a été proposée en **2009** pour la réalisation de 16 piézomètres. 02 piézomètres ont été retenus, il s'agit du piézomètre PZ15 et PZ 16 situés dans la wilaya de Boumerdes.

## **II.5 Réseau hydrographique**

Cinq oueds principaux drainent la plaine de la Mitidja : Oued Nador, Oued Mazafran, Oued El Harrach, Oued Hamiz et Oued Reghaia. Ces cours d'eaux, nés dans l'Atlas, traversent la plaine du Sud au Nord aussi directement que possible et franchissent le Sahel par des cluses. Ceci n'exclut pas certaines divagations dues surtout au fait que ces Oueds, au débouché dans la plaine, ont édifiés des cônes de déjections (cône de Blida et Rovigo) parfois très importants.

### **1- Oued El Harrach**

Cet oued est dévié plusieurs fois. Actuellement, il traverse la plaine du sud au nord pour s'infléchir vers le N.E. au pied du Sahel jusqu'à la cluse d'El Harrach. Vers le milieu de la plaine l'oued El Harrach reçoit sur sa rive droite l'oued Djemaa.

### **2- Oued El Hamiz**

Cet oued qui prend une direction N.O à partir de Fondouk jusqu'à Hamadi se redresse jusqu'au Sahel pour se jeter dans la mer au sud de cap Matifou (Bordj El Bahri).

Précédemment, l'oued El Hamiz se jetait dans la mer par la cluse de l'oued Reghaia.

Un affluent de l'oued Smar aurait opéré la capture de l'oued El Hamiz par érosion régressive. Dès lors le Hamiz suivant l'oued Smar aurait coulé vers l'Harrach.

### **3- Oued Reghaia**

L'Oued Reghaia privé de l'Oued El Hamiz parvient mal à s'écouler au fond de l'immense cluse dont elle avait hérité, ce qui pourrait la persistance du marais.

On note l'absence d'un grand fleuve, cela malgré la structure synclinale de la plaine.

Les débits les plus élevés sont enregistrés sur le Mazafran, ce dernier étant le plus important avec une longueur de 65 km, la surface de son bassin versant étant égale à 1900 km<sup>2</sup>.



Le bilan des écoulements période 1956 à 1983 des oueds qui parcourent la Mitidja est le suivant:

- Mazafran            389 millions de m<sup>3</sup>.
- El Harrach        370 million de m<sup>3</sup>.
- Hamiz              50 millions de m<sup>3</sup>.
- Nador              28 millions de m<sup>3</sup>.

## **II.6. La végétation**

La couverture végétale joue un rôle important dans le comportement hydrologique du bassin de la Mitidja. Elle a une influence mécanique sur le ruissellement superficiel, en plus du fait qu'elle conditionne l'évapotranspiration et donc le bilan hydrologique du bassin.

La plaine de la Mitidja est une région agricole très intensive de l'Algérie, en raison de sa topographie et de sa fertilité. Les activités agricoles les plus répandues sont l'arboriculture et les cultures maraîchères. (**Source ANRH**)

Dans la région de la Mitidja la végétation est dominée par des cultures annuelles. On y trouve des terres agricoles où prédominent l'arboriculture fruitière, la vigne, les maraîchages, les céréales, les légumes, les amandes, du caroubier, etc.

Au Sahel, on y trouve plusieurs forêts.

## **II.7. Aspect socio-économique**

L'objectif principal de cette partie est de donner un aperçu sur la demande en eau (Agricole, industrielle, urbaine ...), ainsi que sur le nombre d'habitants et leur densité dans les grands pôles urbains de la plaine.

### **II.7.1 Besoins en eau**

La ressource en eau souterraine devient de plus en plus insuffisante pour répondre aux besoins actuels; cela est dû à la forte croissance des centres urbains.

En effet, plus de la moitié des terres irriguées sont alimentées par la nappe quaternaire, les niveaux piézométriques ont chuté avec des valeurs alarmantes (plus de 20 m) surtout dans la région du Mazafran et l'Arbaa où les prélèvements d'eau sont très importants.

### **II.7.2 L'agriculture**

Le relief plat et les conditions climatiques très favorables en font une excellente région agricole d'une superficie de 129000 ha. Cette dernière est considérée comme l'une des régions les plus fertiles d'Algérie, les sols sont homogènes et hautement fertiles.

**II.7.3 L'industrie**

La majorité des activités industrielles sont regroupées au Centre et à l'Est de la plaine (l'Arbaa, Rouïba, Blida, El-Harrach , Boufarik, ... ) avec des pôles industriels de Rouiba et de Réghaia.

Les industries rencontrées dans la plaine sont:

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

**II.7.4 Démographie**

La population totale dans la plaine était de 2 millions d'habitants en 1998 avec une densité de 60.hab / km<sup>2</sup>. Les principaux pôles de concentration sont: Blida, Chiffa, Boufarik, Soummaa, El affroun, Dar El Baida et El Harrach.

**II.7.5 Ressources en eau**

Selon l'ABH (Agence de Bassin Hydrographique, 2000) de l'Algérois, la ressource en eau souterraine de la Mitidja est de **328** Hm<sup>3</sup>, dont les principaux champs captant sont

- \_ Mazafran 1 et II,
- \_ Chebli,
- \_ Barraki,
- \_ Haouchfêlit,
- \_ Hamiz.

Les eaux de surface sont emmagasinées dans les barrages existant dans la plaine:

- Barrage du Hamiz 15.6 hm<sup>3</sup>
- Barrage Boukhordène 90 hm<sup>3</sup>
- Barrage de Bou Roumi 200 hm<sup>3</sup>

L'augmentation de la population et la présence de vastes superficies fertiles irrigables dans leurs majeures parties engendrent une demande en eau croissante qui a entraîné une surexploitation des eaux souterraines.

**II.8. Conclusion**

La plaine de la Mitidja est une plaine des plus fertiles du bassin de l'Algérois présentant des diversités de reliefs et de végétation, Elle est partagée entre quatre wilayas : Alger, Blida, Tipaza et Boumerdes, bien que la seconde wilaya en a la part la plus importante. Limitée par l'Atlas Blidéen au Sud et le Sahel au Nord, c'est une dépression allongée d'Ouest (l'Oued Nador) en Est (l'Oued Boudouaou), Cette dépression est principalement comblée de limons gris, argiles noires ou bleues, alluvions grossières et marnes jaunes. Ce sont des apports de sédiments alluvions et colluvions. Elle est traversée par quatre principaux Oueds constituant une source plus ou moins importante d'alimentation de la formation aquifère qui est considérée de ce fait comme étant le plus important aquifère de la région d'Alger

# **CHAPITRE III :**

## **Matériels et Méthodes**

**III.1. Introduction**

La Mitidja est une plaine du nord de l'Algérie, au sud de la ville d'Alger. C'est une riche plaine agricole (agrumes, vignobles, arbres fruitiers et fourrage).

Ces dernières années la plaine connaît un développement important, notamment Blida et Boufarik, touchées par une très importante croissance démographique ; de nouveaux centres urbains se sont créés autour des anciens douars et fermes coloniales. Cette expansion urbaine s'est faite au détriment des meilleures terres agricoles de la plaine.

Afin de remédier à cette situation délicate, ce projet vise à évaluer la qualité des eaux souterraines de la Mitidja et l'étude de son évolution à travers une période d'observation de 04 ans. On abordera également la possibilité de les utiliser pour des fins agricoles.

En effet, il a pour objet l'étude de la variabilité spatiale de certaines propriétés chimiques des eaux souterraines de cette plaine par une approche géostatistique (variographie et krigeage) afin de pouvoir évaluer la qualité de ces eaux et leur aptitude à l'irrigation en étudiant les analyses faites pour ces eaux durant les années suivantes : 2006 ,2007 ,2008 ,2009 et 2010.

**III.2. Revue bibliographique sur les études similaires**

Suivant le même contexte, des études similaires ont été faites notamment en Algérie au Moyen-Chéouli occidental par BRADAI Abdelkader en 2005, dans le but d'évaluer la qualité des eaux souterraines des nappes du Moyen-Chéouli occidental pour la consommation humaine. Ceci en étudiant la variabilité spatiale de certaines propriétés chimiques, ainsi que l'organisation et l'estimation spatiale de ces paramètres. Pour répondre à cet objectif, Bradai a utilisé comme outil, la géostatistique qui permet de connaître la structure de la variable et son estimation par krigeage.

L'estimation par krigeage ordinaire a été employée pour trois cations (Ca, Mg et Na) et trois anions (Cl, SO<sub>4</sub> et NO<sub>3</sub>). D'une façon générale, les anions et les cations ont montré une forte variabilité locale et régionale. La répartition géographique de ces éléments est presque semblable sauf pour les nitrates.

Enfin, il s'avère d'après l'étude de BRADAI que c'est la partie nord-ouest de la plaine qui est la plus vulnérable. La nappe du pliocène au nord, la partie sud de la ville de Boukadir et la plaine de Mouafkia présentent des eaux moins vulnérables.

Une autre étude semblable est celle de SANCHEZ-MARTOS Francisco en 2001 qui a travaillé sur l'aquifère détritique de l'Andarax inférieur (Almeria, Espagne). Il a présenté en effet une étude de cas pour l'application de méthodes géostatistiques au problème de l'estimation des variables de qualité des eaux souterraines, cette méthodologie a été appliquée à l'étude de l'aquifère détritique de l'Andarax inférieur situé à Almeria en Espagne.

Les variables concernées comportent des ions majeurs ainsi que plusieurs grandeurs physico- chimiques.

Sanchez-Martos a utilisé l'analyse de la distribution spatiale de ces variables qui a été réalisée par le calcul des variogrammes expérimentaux et théoriques. Ces derniers ont servi comme éléments d'entrée pour la réalisation de l'estimation géostatistique par la méthode du krigeage ordinaire par blocs.

Cette analyse a permis à son tour d'obtenir une représentation probabiliste de l'information par la cartographie des trois variables en question le long de l'aquifère dans chaque prélèvement.

Une autre étude dans le même contexte a été menée par OUANDAOGO YAMEOGO Suzanne en Afrique de l'Ouest en 2008 au centre urbain d'Ouagadougou au Burkina Faso.

Cette étude s'est proposé d'étudier le fonctionnement hydrique et hydrochimique d'un aquifère fracturé sur socle et en milieu urbain avec une pression polluante domestique importante.

Son objectif était de contribuer à la caractérisation géométrique de l'aquifère fissuré du socle de Ouagadougou, et à l'évaluation de la qualité des eaux souterraines de la région par la connaissance hydrodynamique des nappes, la connaissance des mécanismes de l'acquisition du chimisme des eaux et du taux de renouvellement des nappes et enfin par la prévention du risque de pollution par la forte pression anthropique.

La démarche adoptée a reposé, dans un premier temps, sur la collecte, le traitement et l'analyse des nombreuses données accumulées lors de la mise en œuvre des projets d'hydraulique urbaine et qui concerne la lithologie, l'hydrodynamisme et l'hydrochimie de ces aquifères. Les données existantes ont été, dans un second temps, complétées par les

travaux de terrain et de laboratoire en ce qui concerne particulièrement la géologie, la caractérisation géométrique de l'aquifère, la piézométrie et l'hydrochimie.

Dans sa démarche OUANDAOGO YAMEOGO a utilisé des moyens statistiques multivariés, à savoir l'analyse en composantes principales, dans la caractérisation hydrochimique des eaux souterraines de la zone en question, afin d'évaluer la qualité de ces dernières et de pouvoir diviser la zone et de la classer en des secteurs pollués et non pollués

Cette analyse a permis dans un premier temps de mettre en évidence deux axes importants :

- axe F1 marqueur de l'augmentation de la pollution ;
- axe F2 marqueur du temps de séjour, et du phénomène de stratification ;

Dans un deuxième temps, cette analyse a permis de montrer l'évolution de la minéralisation en fonction de :

- l'hydrolyse des silicates, phénomène prédominant dans le processus de minéralisation des eaux de notre zone d'étude ;
- la pollution anthropique.

Les eaux de la nappe des altérites sont très chargées en ions en comparaison avec celles de la nappe profonde des fissures. Ce phénomène est bien spécifique à Ouagadougou car c'est l'origine superficielle de la minéralisation donc la pollution qui en est la cause.

Des études similaires ont été également faites, notamment en Egypte par Soltan M. E en 1990 et en 1998 sur la région de Dakhla Oasis, et en Inde par Srinivasamoorthy K et al en 2008 dans la région de Salem District au Tamil Nadu.

Une autre étude a été également faite au Tamil Nadu mais cette fois-ci dans la région de Kancheepuram District en 2003 par Elango L et al. Dans le même contexte, on note l'étude faite par Janardhan Raju, N en 2007 dans la région de Cuddapah District en Andhra Pradesh au sud de l'Inde.

Il vient aussi d'aborder les études faites aux états unies d'Amérique par Haan, C. T en 1977 et en Australie par Herczeg, J et al en 1997 dans la région de New South Wales.

### III.3. Données d'analyse

#### III.3.1. Echantillonnage

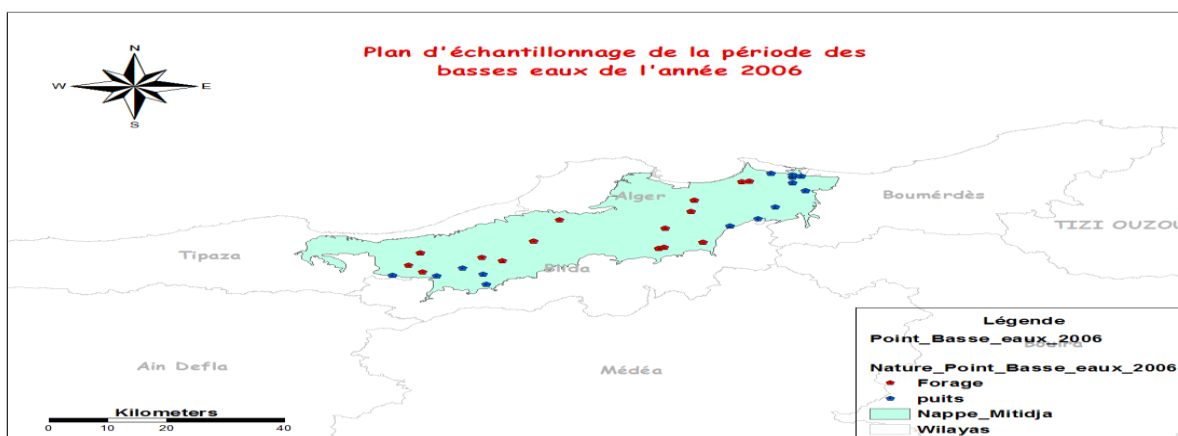
Les échantillons analysés sont prélevés des puits domestiques, forages, ainsi que des piézomètres dont la profondeur moyenne est de 63 m. Ils sont localisés dans la nappe aquifère de la Mitidja.

Afin de mener à bien notre étude, nous avons considéré cinq années au cours de la période (2006-2010), ainsi pour chacune des deux années nous avons tenu compte de deux périodes, à savoir : les hautes et les basses eaux.

Donc un traitement préliminaire de la base de données était nécessaire pour identifier les points d'eau où il y a eu des prélèvements continus lors de cette période.

**Tableau III-1:** Les échantillons analysés années au cours de la période (2006-2010) tenu compte de deux périodes, à savoir : les hautes et les basses eaux.

Période	Nombre d'échantillons	Forage	piézomètre	Puits
<b>Basses eaux 2006</b>	47	24	-	23
<b>Hautes eaux 2006</b>	29	13	-	16
<b>Basses eaux 2007</b>	22	11	-	11
<b>Hautes eaux 2007</b>	23	10	-	13
<b>Basses eaux 2008</b>	55	13	29	13
<b>Hautes eaux 2008</b>	48	14	21	13
<b>Basses eaux 2009</b>	25	10	3	12
<b>Hautes eaux 2009</b>	25	10	3	12
<b>Basses eaux 2010</b>	37	14	11	12
<b>Hautes eaux 2010</b>	31	14	5	12



**Figure III-1 :** Plan d'échantillonnage de la période des basses eaux de l'année 2006.



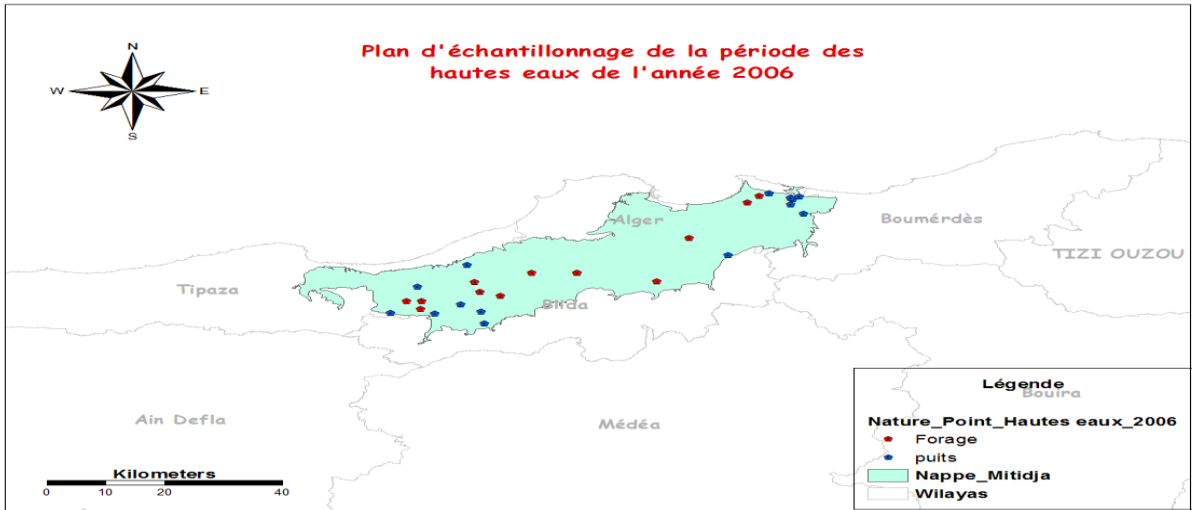


Figure III-2 : Plan d'échantillonnage de la période des hautes eaux de l'année 2006.

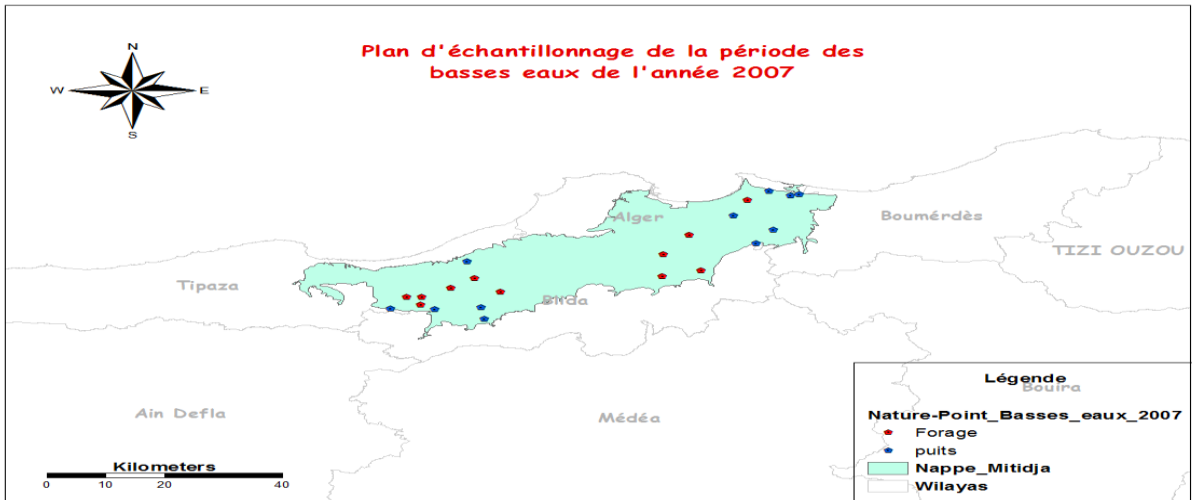


Figure III-3 : Plan d'échantillonnage de la période des basses eaux de l'année 2007.

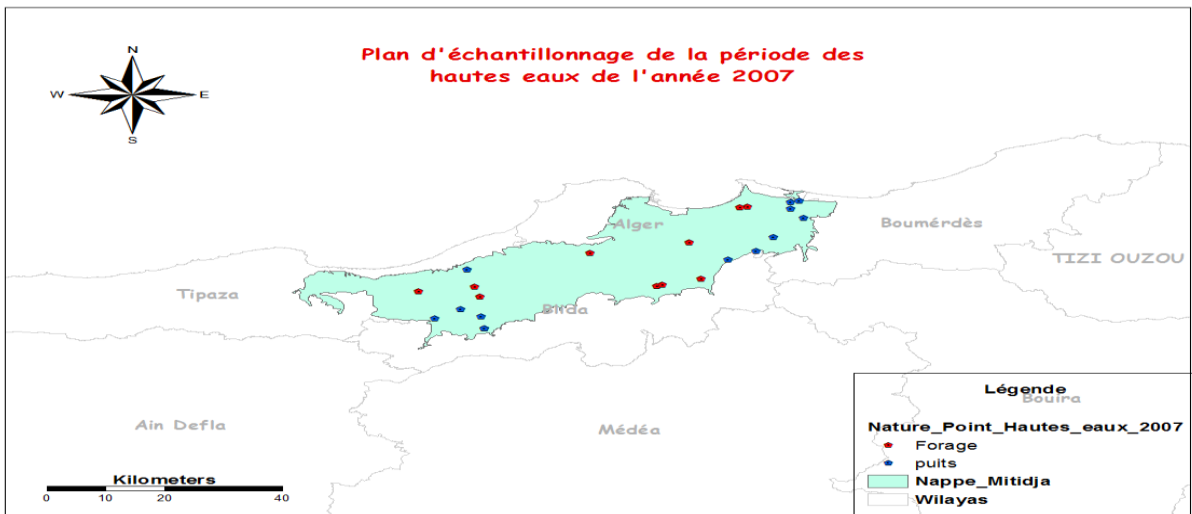


Figure III-4 : Plan d'échantillonnage de la période des hautes eaux de l'année 2007.

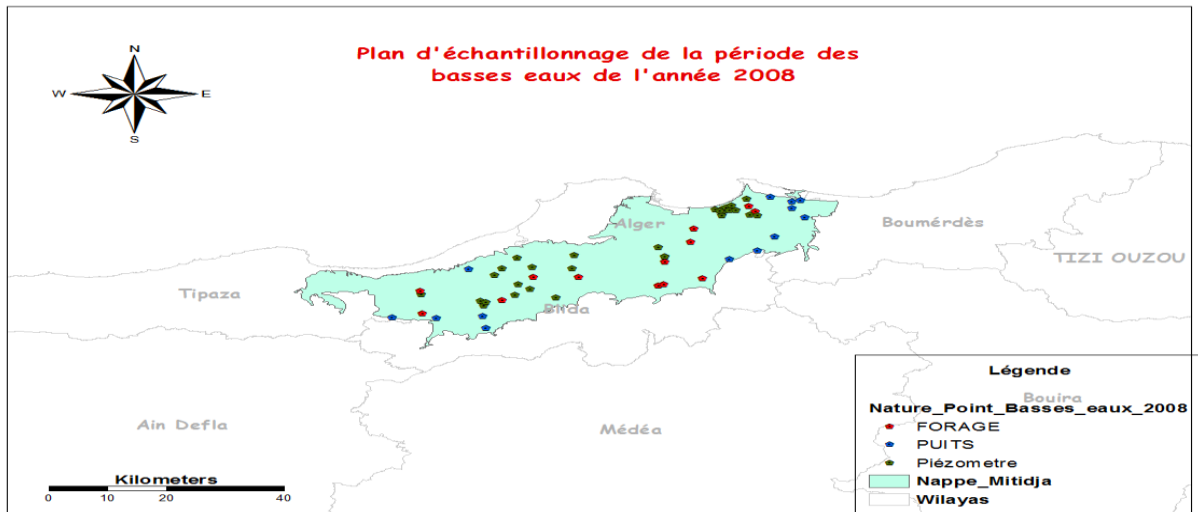


Figure III-5 : Plan d'échantillonnage de la période des basses eaux de l'année 2008.

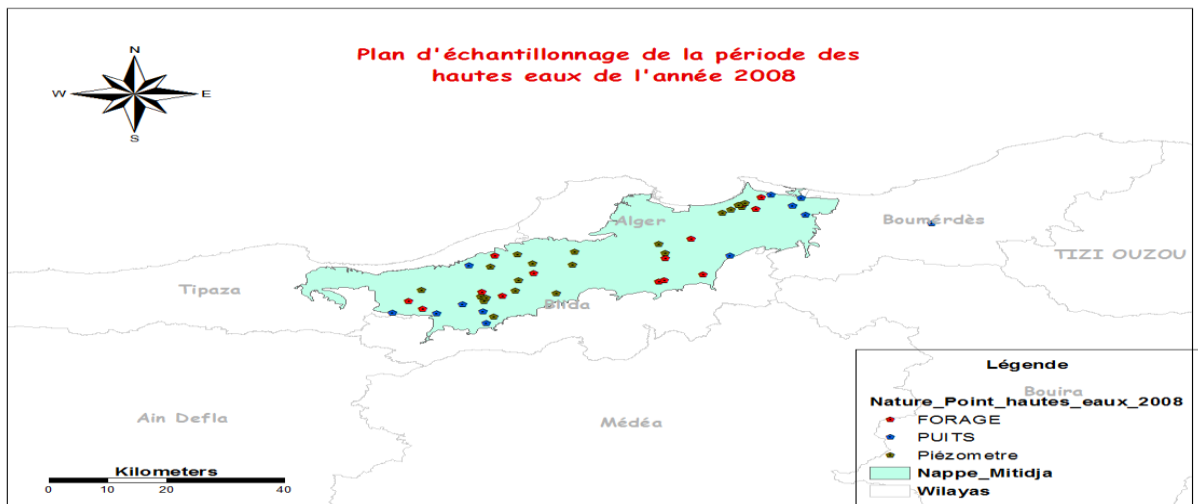


Figure III-6 : Plan d'échantillonnage de la période des hautes eaux de l'année 2008

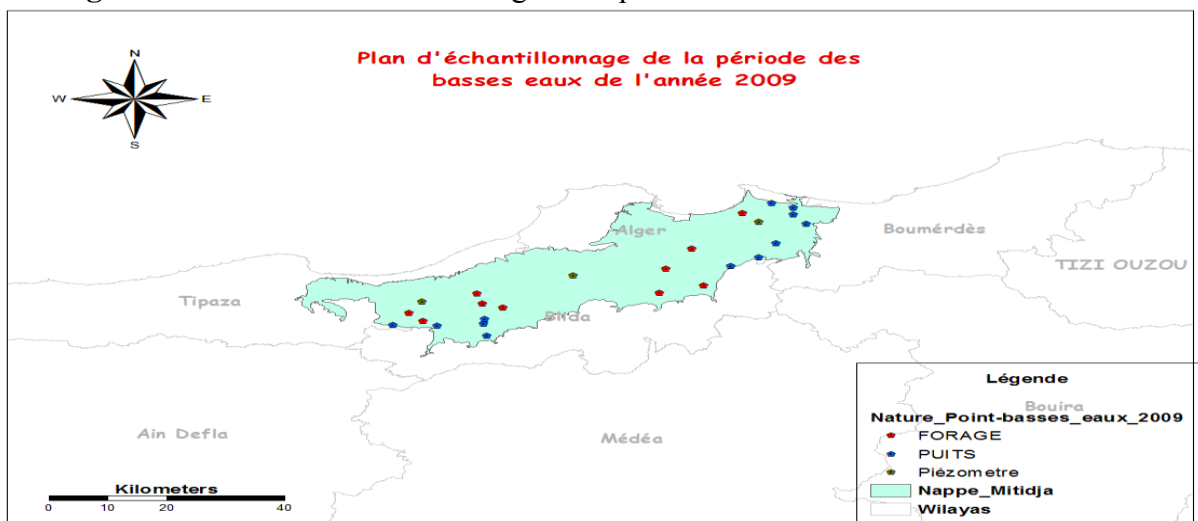


Figure III-7 : Plan d'échantillonnage de la période des Basses eaux de l'année 2009

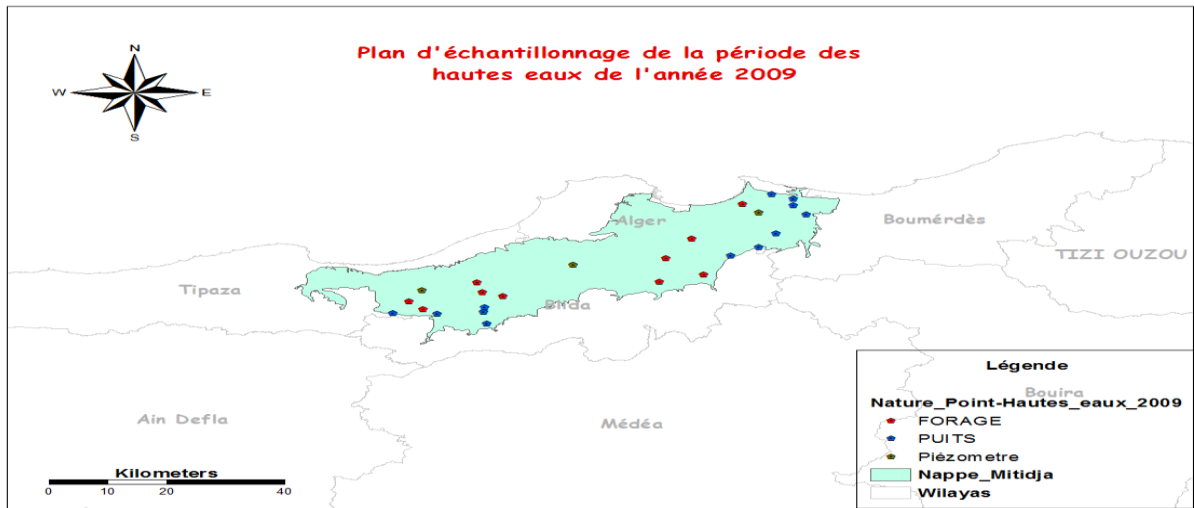


Figure III-8 : Plan d'échantillonnage de la période des hautes eaux de l'année 2009

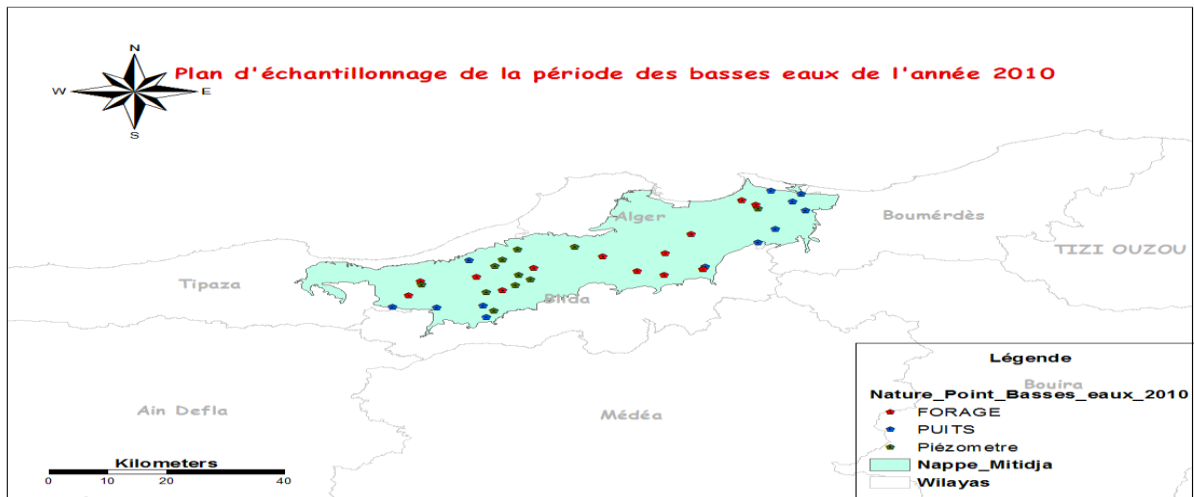


Figure III-9 : Plan d'échantillonnage de la période des basses eaux de l'année 2010

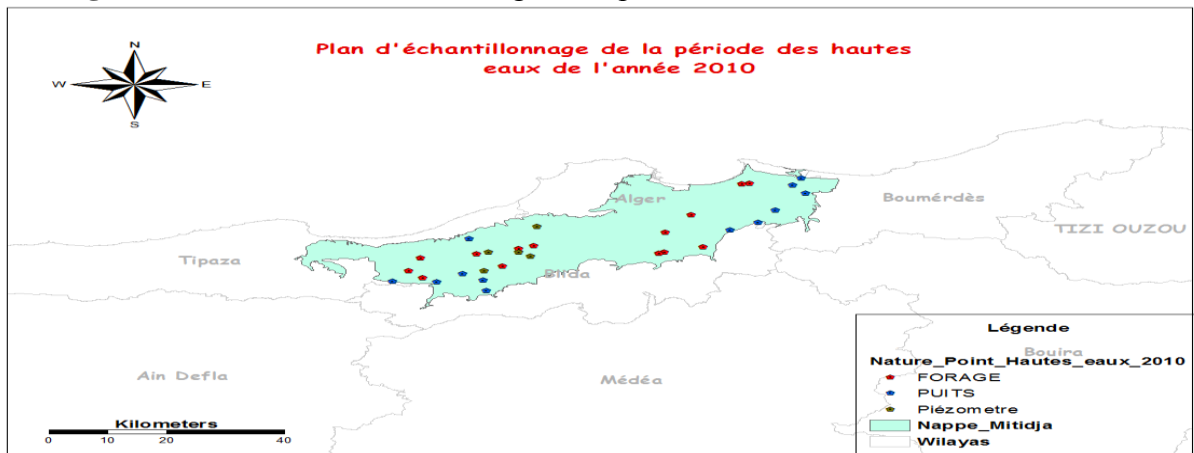


Figure III-10 : Plan d'échantillonnage de la période des hautes eaux de l'année 2010

Ces échantillons ont été prélevés et analysés par les services de l'ANRH.

Les analyses ont porté sur les ions les plus réponsus et les plus abondants dans les eaux souterraines. Il s'agit de trois cations ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ) et trois anions ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^-$ ) ainsi que la conductivité électrique (CE).

### **III.4 Méthode d'évaluation de la qualité d'une eau**

#### **III.4.1 Eau de consommation**

L'eau souterraine, en général, renferme une teneur de substances minérales d'origine géologique ; c'est le bruit de fond (Castany, 1982). Les normes de qualité de l'eau de consommation sont fixées par l'organisation mondiale de la santé (OMS) (annexe II). Le degré de pollution d'une eau est apprécié par l'écart entre la teneur de cette dernière en substance minérale et la norme fixée par l'OMS.

#### **III.4.2 Eau d'irrigation**

Le volet le plus essentiel dans notre étude consiste à évaluer la qualité des eaux souterraines de la Mitidja pour des fins agricoles.

Les qualités d'une eau en vue de son utilisation pour des fins d'irrigation, sont examinées en fonction des critères suivants :

- Salinité
- Toxicité
- Incidence sur propriétés physiques des sols
- Exigences particulières de certaines cultures. On examine habituellement les éléments suivants :
  - la salinité totale exprimée en termes de conductivité électrique ou en termes de sels dissous ;
  - la teneur en principaux ions ;
  - éventuellement, la teneur en certains éléments (bore, nitrates, lithium etc.) ;
  - la salinité de l'eau qui influence directement la salinité de la solution du sol et les réactions des plantes ;
  - certains ions qui ont un effet spécifique sur la toxicité (bore, cadmium, sodium, chlore etc.)

la teneur trop élevée en nitrates qui peut aboutir à une croissance végétative excessive et à une maturation retardée ;

- de même, la teneur trop élevée en bicarbonates qui peut aboutir à des dépôts sur les fruits et les feuilles en cas d'aspersion.

En fonction de toutes ces remarques, nous avons recours à des classifications des eaux d'irrigation qui tentent à prédire l'incidence de l'emploi de l'eau sur les conditions de croissance notamment :

- Sur la toxicité des sols
- Sur des problèmes d'imperméabilisation associés au sodium
- Sur certaines toxicités spécifiques.

En guise d'exemple, nous retrouvons les classifications suivantes :

- La classification de l'U. S. D. A (1954)
- La classification d'Ayers (1977)
- La classification de Christiansen et al (1977)
- La classification de Rijtema (1981)

Pour notre étude, nous avons préféré utiliser deux classifications différentes, une qui rigoureuse et l'autre qui est plus au moins allégée. Et ceci dans le but de situer au mieux la qualité des eaux à traiter et d'avoir des points de vue différents de celles-ci afin de porter un meilleur jugement quant à la qualité de cette eau en question.

Nous retiendrons en effet :

#### **A- La classification d'U. S. D. A (1954)**

Elle a été, probablement la plus utilisée aux USA où elle a fait l'objet de nombreuses vérifications dans les états de l'Ouest. Elle se base sur trois critères :

- La conductivité électrique (CE), c'est-à-dire la teneur en sels
- Le SAR (Sodium Absorption Ratio) est calculé par la formule de Gapon (1933) comme suit:

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+}) / 2}}$$

- La concentration de  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$  et  $Mg^{2+}$  est exprimée en milliéquivalent par litre.

- Cette classification des eaux d'irrigation est donnée par le diagramme établi par le laboratoire RIVERSID en combinant entre la CE et le SAR (voir annexe III)

### B- La classification d'Ayers (1977)

Cette classification est proposée par un groupe de chercheurs américains de l'université de Californie.

Elle indique un degré de restriction à l'usage agricole de l'eau en question (voir l'annexe II) en fonction des critères suivants :

- La salinité
- Le SAR
- La toxicité spécifique

Celle-ci est considérée comme étant un peu plus rigoureuse concernant l'évaluation de la qualité de l'eau d'irrigation par rapport à la classification USDA.

Tandis que pour les interprétations, nous allons utiliser les normes données par la FAO (voir annexe II).

## III.5 Analyse géostatistique

### III.5.1 Calcul du variogramme

Le variogramme qui est l'outil principal de l'analyse structurale de la variable régionalisée, est estimée par la relation suivante :

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n [Z_i(x) - Z_i(x + M)]^2$$

**n** : Le nombre de couples distant de h

$[Z_i(x) - Z_i(x + M)]$  : Valeur de la VR, en  $(X_i)$  et  $(X_{i+h})$

Voltz (1986) admet que le variogramme n'est étudié que sur des distances inférieures à la moitié de la plus grande longueur de la surface d'échantillonnage de la VR, au-delà de seuil, l'estimation de  $\gamma(h)$  diverge fortement par rapport au variogramme théorique.

Le calcul se fait par point de la façon suivante :

- On choisit un pas de calcul pour former un certain nombre de classes.

- On fait la répartition des couples  $((X_i), (X_{i+h}))$  dans les classes formées en fonction de la distance qui sépare les couples.
- Enfin, on calcule le variogramme pour chaque classe par la formule  $\gamma(h)$ .

De plus, il est bon d'indiquer le nombre  $N$  de couples ayant servi à l'estimation des points expérimentaux :

$$N = \frac{n(n-1)}{2}$$

Avec  $N$  : nombre de points expérimentaux.

### III.5.2 Le krigeage

Le krigeage est la seconde étape de l'analyse géostatistique, et dans notre travail nous allons utiliser le krigeage ordinaire qui permet l'estimation d'une propriété  $Z$  en un point de coordonnées géographiques données selon une combinaison linéaire des observations faites en des points voisins, il est calculé comme suit : (équation n°25, chap.)

$n$  : est le nombre de points expérimentaux pris en compte dans l'estimation

$\lambda_i$  : est le poids affecté au point expérimental  $X_i$

Les paramètres de la structure spatiale de la variable krigée sont déterminés à partir de l'ajustement du variogramme à un modèle théorique (Gaussien, Sphérique, exponentiel, etc.)

### III.6 Conclusion

Nous avons exposé au cours de ce chapitre le problème auquel sont confrontées les ressources souterraines de la région d'étude, et nous avons par conséquent énuméré les objectifs de ce travail.

Nous avons également introduit les différentes méthodes d'évaluation de la qualité des eaux d'irrigation ainsi que les bases géostatistiques essentielles que l'on va utiliser au cours du IVème chapitre, afin de mener notre étude qui est l'évaluation de la qualité des eaux souterraines de la plaine de la Mitidja et leur aptitude à l'irrigation.

# **CHAPITRE IV :**

## **Résultat Et Discussions**



## CHAPITRE IV : RESULTAT ET DISCUSSIONS

### IV.1. Introduction

La variographie est une des techniques très révolutionnaires; utilisée dans de divers domaines, elle permet d'avoir des informations précieuses, d'une précision assez conséquente dans un espace géographique dépourvu de mesures.

Cette étude est basée sur l'établissement de ce qu'on appelle variogrammes expérimentaux. Ceux-ci doivent être établis pour chaque élément en tenant compte de la distance de calcul qui reste inférieure à la moitié de la distance entre les deux points les plus éloignés de la zone d'étude, il faut caler un modèle théorique de variogramme qui lui convient le mieux.

Une fois le variogramme ressorti, l'étude par krigeage ordinaire deviendra possible et les résultats de l'étude s'avéreront plus exploitables en faisant appel bien sur à la cartographie des éléments.

Dans ce qui suit, nous allons exploiter les données de la qualité des eaux de la plaine sur une période s'étalant 2006 à 2010 en évoquant les deux épisodes : hautes et basses eaux de chaque année où nous allons traiter pour chaque épisode les analyses de quatre cations ( $\text{Na}^+$ ;  $\text{Ca}^{2+}$ ;  $\text{k}^+$ ;  $\text{Mg}^{2+}$ ) et quatre anions ( $\text{Cl}^-$ ;  $\text{NO}_3^-$ ;  $\text{SO}_4^-$ ;  $\text{HCO}_3^-$ ) ainsi que la Conductivité électrique et le SAR afin de statuer sur leur usage dans le domaine agricole.

Ceci en faisant des simulations par krigeage de chaque épisode afin de concevoir des cartes de qualité exploitables et interprétables.

### IV.2. Période des basses eaux de l'année 2006

#### IV.2.1 Modélisation des variogrammes

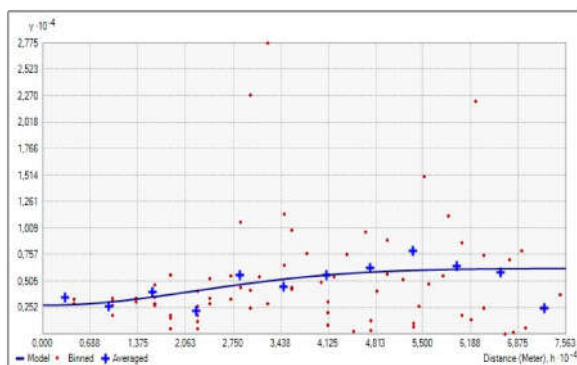


Figure IV-1 : Variogramme ajusté de Ca

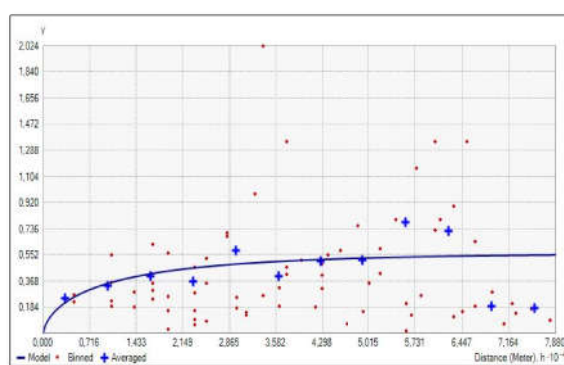


Figure IV-2 : Variogramme ajusté de CE

#### IV.2.2. Estimation par krigeage

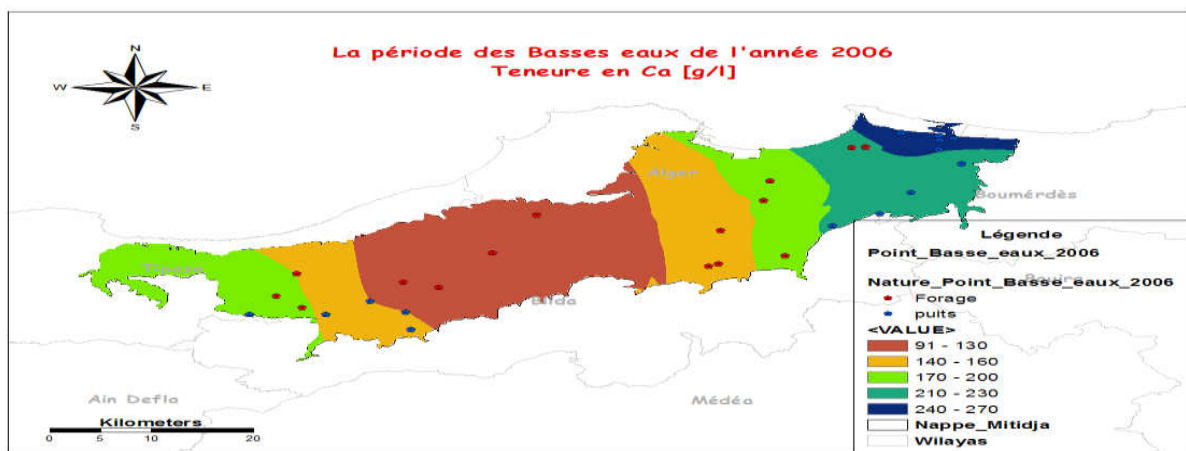
##### A- Interprétation de la carte krigée de Ca

La carte krigée de Ca (figure IV-3) permet de distinguer que la zone située au NE de la plaine renferme les valeurs de concentration les plus élevées en Ca. Dans la zone

littorale du côté de Rouiba et la zone sud vers Khmis El Khechna jusqu'à Larbaa ainsi qu'au SW du côté de Hadjout, on note des concentrations moyennes qui ont tendance à diminuer en se rapprochant vers la zone centrale de la plaine du côté de Boufarik et Oued El Alleug.

- **Pour AEP** : Dans la norme algérienne les eaux potables de bonne qualité renferment les valeurs de 100 à 140 mg/L de calcium et les eaux qui dépassent 200 mg/L présentent de sérieux inconvénients pour les usages domestiques. Par conséquent dans notre cas seule la partie centrale répond à cette norme sinon toutes les autres parties sont atteintes.

-**Pour l'irrigation** : toutes les teneurs sont inférieures a la norme internationale fixée par la FAO est 400 mg/l



**Figure IV-3** : Carte Krigée de Ca pour la période des basses eaux de l'année 2006

### Remarque

Pour les autres paramètres de qualité, on n'a observé aucune anomalie à travers la zone d'étude d'après les cartes présentées en Annexes II.

### B- Interprétation de la carte krigée de la CE

La carte krigée de la CE (Figure IV-4) permet de distinguer une zone très conductrice, située au NE du côté de la baie d'Alger et au SW de la plaine du côté de Hadjout. On note que ces concentrations ont tendance à diminuer en se rapprochant vers la zone centrale de la plaine.

- Les valeurs sont supérieures à 2 mmhos/cm dans le front de mer des valeurs proche à la norme internationale de la FAO (3,00 mmhos/cm). Ce qui s'explique par l'avancement de l'eau de mer vers la nappe.

- la zone centrale de la plaine à vocation agricole qui renferme les eaux de meilleure qualité on peut dire que les valeurs de la CE suivent l'évolution de la concentration des sels majeurs.

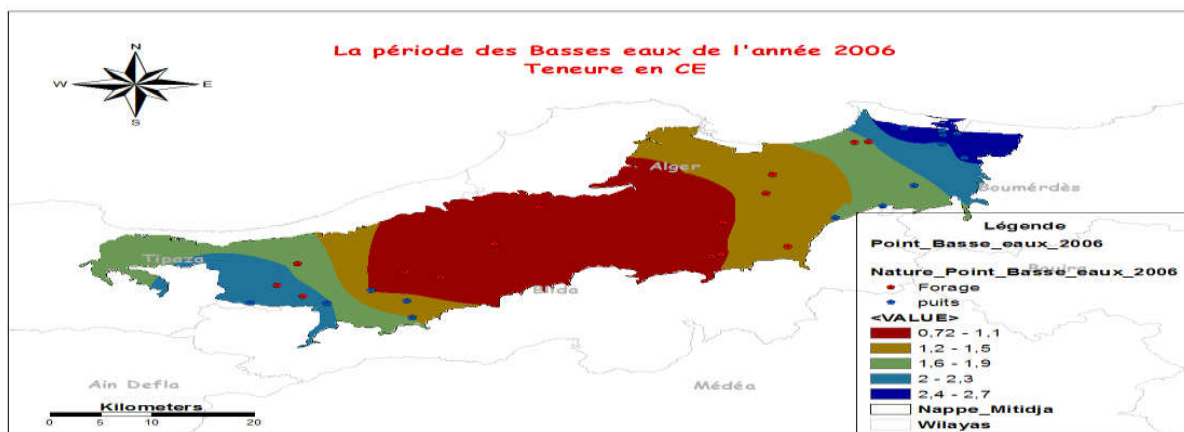


Figure IV-4: Carte Krigée de CE pour la période des basses eaux de l'année 2006

### C- Interprétation de la carte krigée de SAR

On peut voir sur la carte krigée de SAR (Figure IV-5) que la zone située au NE de la plaine renferme les valeurs les plus élevées.

Tandis qu'à l'extrême SW du côté de Hadjout et Ahmar El Ain on note des valeurs légèrement élevées ce qui est logique en tenant compte de la distribution des concentrations des cations.

Celles-ci ont tendance à diminuer en se rapprochant vers a zone centrale de la plaine du côté de Boufarik et Bouinan.

- Les valeurs de SAR ne dépassent pas la norme internationale fixée par la FAO (15).
- La zone NE présente un grand risque de salinité.

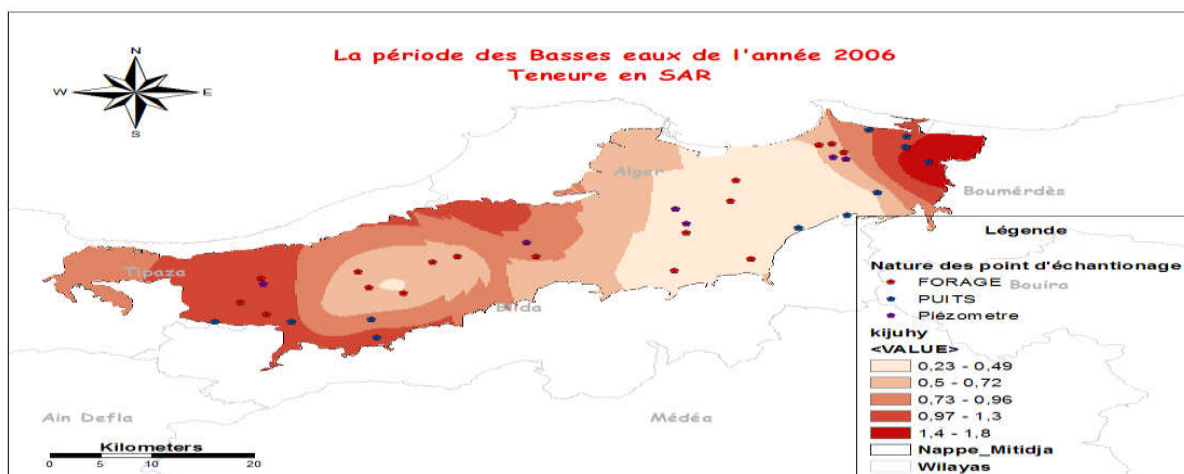


Figure IV-5: Carte Krigée de SAR pour la période des basses eaux de l'année 2006

### IV.2.3. Aptitude à l'irrigation

Afin de pouvoir juger au mieux l'aptitude à l'irrigation des eaux souterraines de la plaine de la Mitidja pendant cette période, nous avons pu établir les cartes krigées du SAR et de la Conductivité électrique en s'inspirant des normes de classification des eaux d'irrigation USDA et Ayers décrites dans le chapitre III.

### A- Classification Ayers

Cette classification (Figure IV-4, Figure IV-5) estime que :

- La zone centrale de la plaine située entre Blida, Boufarik et Oued El Alleug abrite des eaux à degrés de restriction à l'usage modérée jusqu'à sévère.
- Tandis que les zones situées au NE entre Larbaa, Baraki, Khmis El Khechna, et Rouiba et les régions situées à l'extrême NE et à l'extrême SE du côté de Hadjout, abritent des eaux dont leur usage est estimé à degré de restriction modérée.

### B- Classification USDA

Selon cette classification on peut voir d'après les deux cartes krigées (Figure IV-4, Figure IV-5) du SAR et de la CE que :

- La zone centrale de la plaine située entre Blida, Boufarik et Oued El Alleug contient une eau de classe C2S1 qui est à une salinité moyenne et contenant une faible quantité de Sodium. Celle-ci peut être utilisée s'il se produit un lessivage modéré pour l'irrigation de la plupart des sols sans qu'il y ait un risque d'alcalinisation.
- Alors que les zones situées à l'extrême SW du côté de Hadjout et Ahmar El Ain, ainsi que les régions situées à l'Est de Khmis El Khechna et Rouiba, contiennent des eaux de classe C3S2 qui est à forte salinité et qui contient une quantité de Sodium moyenne. Cette eau ne peut être utilisée que sur des sols bien drainés.
- Pour écarter le risque d'alcalinisation, cette eau doit servir à irriguer des sols à textures grossières ou des sols organiques qui absorbent bien l'eau.

## IV.3. Période des hautes eaux de l'année 2006

### IV.3.1. Modélisation des variogrammes

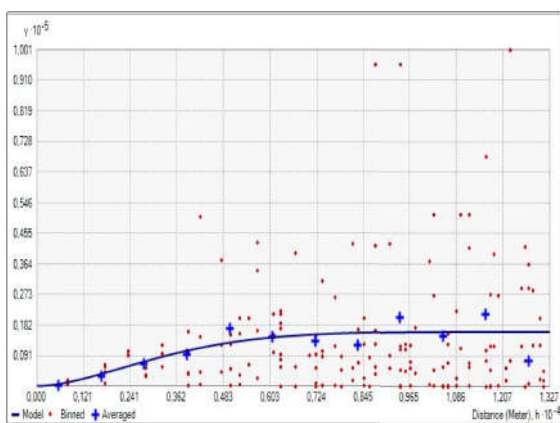


Figure IV-6 : Variogramme ajusté de SO4

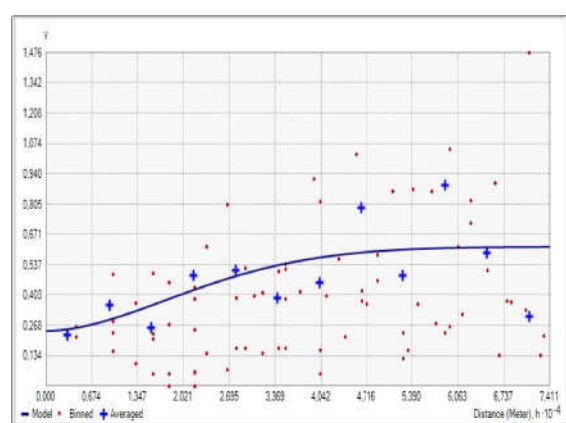


Figure IV-7 : Variogramme ajusté de CE

### IV.3.2. Estimation par krigeage

### A- Interprétation de la carte krigée de SO<sub>4</sub> :

On peut distinguer sur la carte krigée de SO<sub>4</sub> (Figure IV-8) que les valeurs de concentration les plus élevées sont localisées dans les zones situées au NE de la plaine du côté de Rouiba, la zone un peu plus au Sud au niveau de Larbaa, et pour la région située au SW du côté de Ahmar El Ain. On note que ces concentrations ont tendance à diminuer en se rapprochant vers la zone centrale de la plaine qui renferme les eaux de meilleure qualité.

➤ **Pour AEP :** D'après la carte krigée de sulfates on note que toutes les valeurs sont inférieures à la norme algérienne qui est de 400 mg/l.

➤ **Pour l'irrigation :** la même chose pour l'irrigation, les valeurs sont inférieures à la norme fixée par l'AFO 960 mg/l.

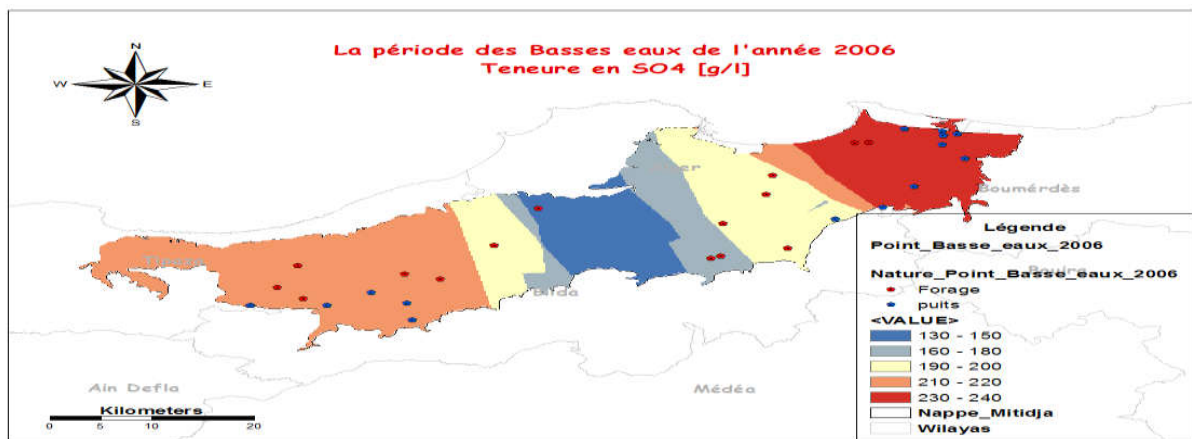


Figure IV-8: Carte Krigée de SO<sub>4</sub> pour la période des hautes eaux de l'année 2006

### Remarque

Pour les autres paramètres de qualité, on n'a observé aucune anomalie à travers la zone d'étude d'après les cartes présentées en Annexes II.

### B. Interprétation de la carte krigée de la CE

On peut voir sur la carte krigée de la CE (Figure IV-9) que la distribution des valeurs n'a pas vraiment changé par rapport à la période précédente sur l'ensemble de la plaine, sauf que la conductivité électrique au niveau de la Baie d'Alger a diminuée sensiblement.

- Les valeurs situent dans les normes prescrites par la FAO.

-On peut se justifier que la diminuée de CE à cause de la dilution produite éventuellement pendant la période en cours.

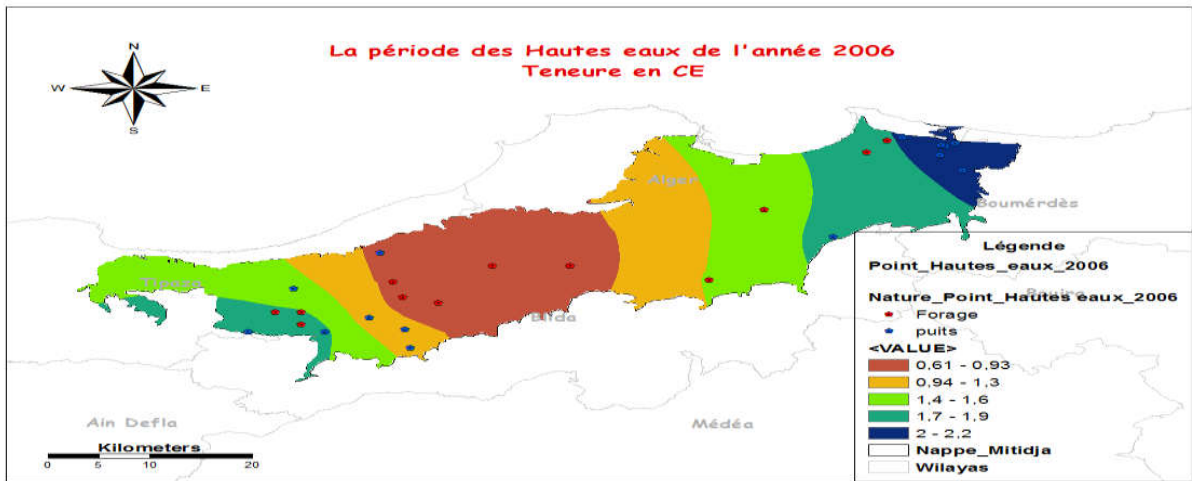


Figure IV-9: Carte Krigée de CE pour la période des hautes eaux de l'année 2006

C. Interprétation de la carte krigée de SAR

On peut voir sur la carte krigée de la SAR (Figure IV-10) que la distribution des valeurs n'a pas vraiment changé par rapport à la période précédente sur l'ensemble de plaine

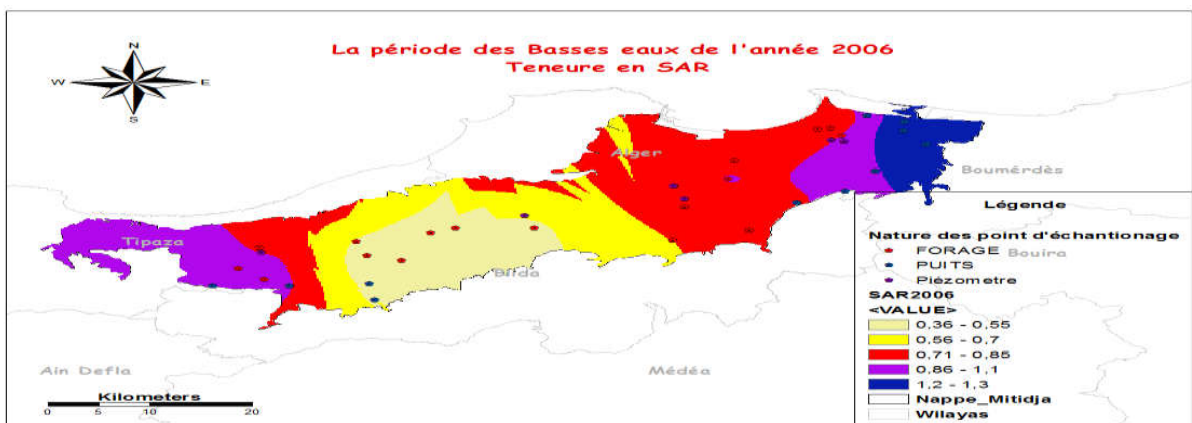


Figure IV-10: Carte Krigée de SAR pour la période des hautes eaux de l'année 2006

IV-3-3- Aptitude à l'irrigation

A- Classification USDA

Selon cette classification on peut voir d'après les deux cartes krigées du SAR (Figure IV-9, Figure IV-10) et de la CE que la zone centrale de la plaine située entre Blida, Boufarik et Oued El Alleug contient une eau de qualité inchangée par rapport à la période des basses eaux à savoir de classe C2S1.

Alors que les zones situées entre Ahmar El Ain, Blida et Chiffa, ainsi que les régions situées allant de Bouinan et Boufarik jusqu'à Khmis El Khechna et Rouiba, contiennent des eaux de classe C3S1 qui sont à forte salinité et qui contiennent une quantité de Sodium moyenne. Celles-ci peuvent être utilisées s'il se produit un lessivage modéré pour l'irrigation de la plupart des sols sans qu'il y ait un risque d'alcalinisation.



Ces eaux ne peuvent être utilisées que sur des sols bien drainés. Pour écarter le risque d'alcalinisation, ces eaux doivent servir à irriguer des sols à textures grossières ou des sols organiques qui absorbent bien l'eau.

**B- Classification Ayers**

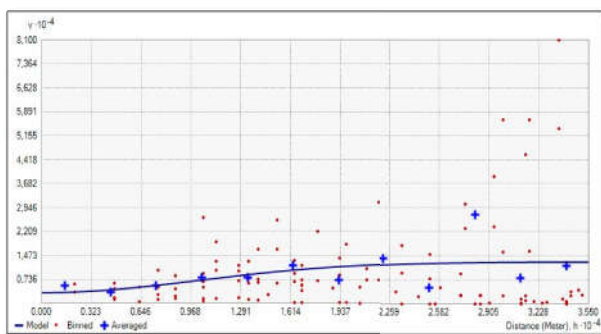
Cette classification (Figure IV-9, Figure IV-10) estime que la zone située au NE de la plaine du côté de Rouiba abrite des eaux d'aucun degrés de restriction.

Tandis que toutes les autres zones situées sur l'étendue de la plaine, abritent des eaux estimées à restriction modérée.

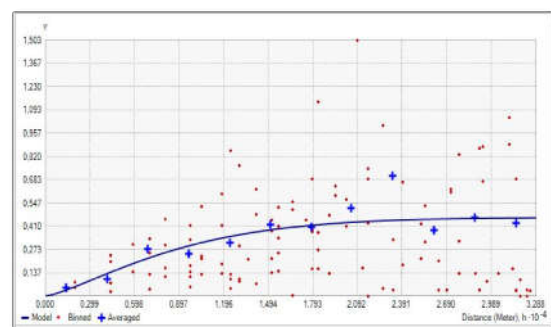
**Etude de la qualité eaux souterraines de la Mitidja pendant l'année 2007 par krigeage ordinaire**

**IV.4. Période des basses eaux de l'année 2007**

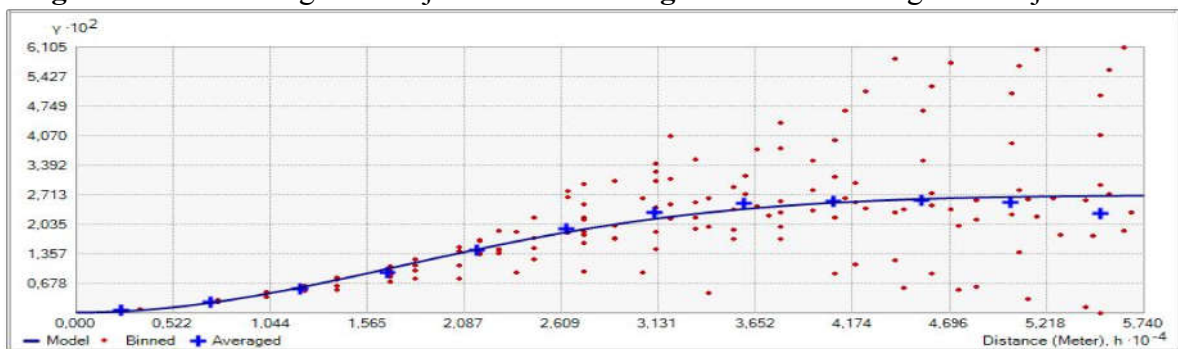
**IV.4.1 Modélisation des variogrammes**



**Figure IV-11 : Variogramme ajusté de Cl**



**Figure IV-12 : Variogramme ajusté de CE**



**Figure IV-13 : Variogramme ajusté de SAR pour la période des basses eaux de l'année 2007**

**IV.4.2. Estimation par krigeage**

**A- Interprétation de la carte krigée de Cl**

On peut voir sur la carte krigée de Cl (Figure IV-14) que les zones situées au NE de la plaine du côté de Rouiba et la région du côté de Ahmar El Ain renferment les valeurs de concentration les plus élevées en Cl.

Tandis qu'un peu plus au Sud au niveau de Larbaa et à l'Ouest du coté de Hadjout et Ahmar El Ain, on note faibles concentrations et aussi du coté de Khmis El Khechna.

➤ **Pour AEP :** Au niveau de la Baie d'Alger on observe des valeurs élevées de Cl, sans doute à cause de la présence des eaux salées mais aussi par la hausse des activités industrielles. Mais on note que toutes les valeurs des concentrations sont inférieures aux algériennes 500 mg/l.

➤ **Pour l'irrigation :** Les valeurs de Cl ne dépassent pas la norme internationale de la FAO (1065 mg/l).

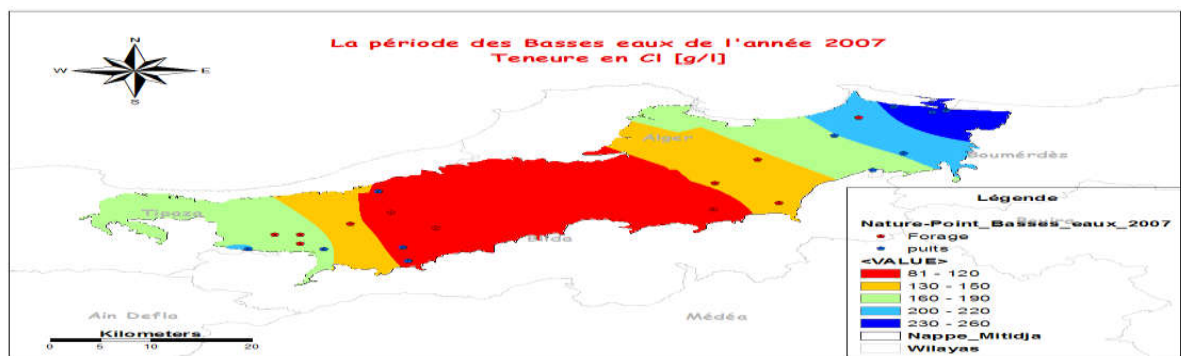


Figure IV-14 : Carte Krigée de Cl pour la période des basses eaux de l'année 2007

**B- Interprétation de la carte krigée de la CE**

La carte krigée de la CE (Figure IV-15) permet de distinguer une zone très conductrice, située au NE du coté de la baie d'Alger et Rouiba.

On note que ces concentrations ont tendance à diminuer en se rapprochant vers la zone SW vocation agricole qui renferme les eaux de meilleure.

➤ Ce qui s'explique par l'avancement de l'eau de mer vers la nappe.

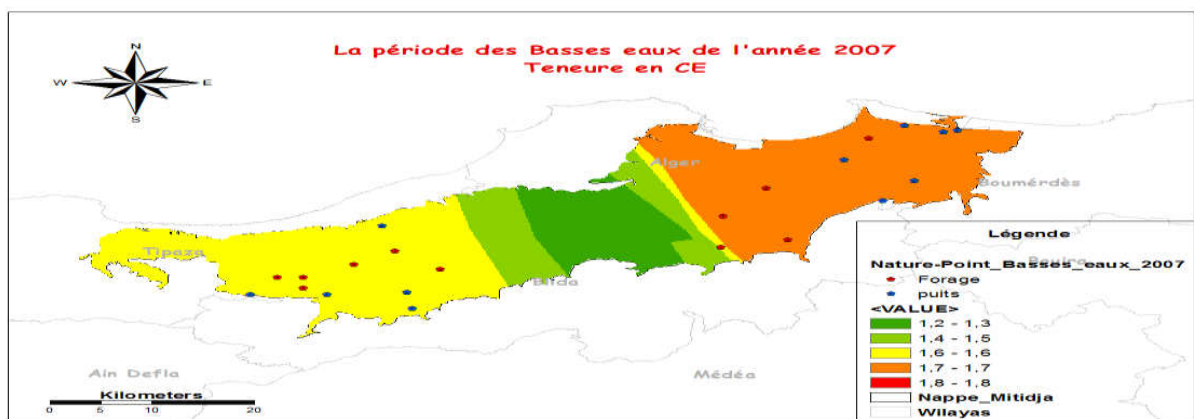


Figure IV-15 : Carte Krigée de CE pour la période des basses eaux de l'année 2007

**C- Interprétation de la carte krigée de SAR**

On peut voir sur la carte krigée de SAR (Figure IV-16) que la zone située au NE et SW de la plaine renferme les valeurs les plus élevées



Tandis qu'à l'extrême SW du coté de Hadjout et Ahmar El Ain on note des valeurs légèrement élevées ce qui est logique en tenant compte de la distribution des concentrations des cations. Celles-ci ont tendance à diminuer en se rapprochant vers a zone centrale de la plaine.

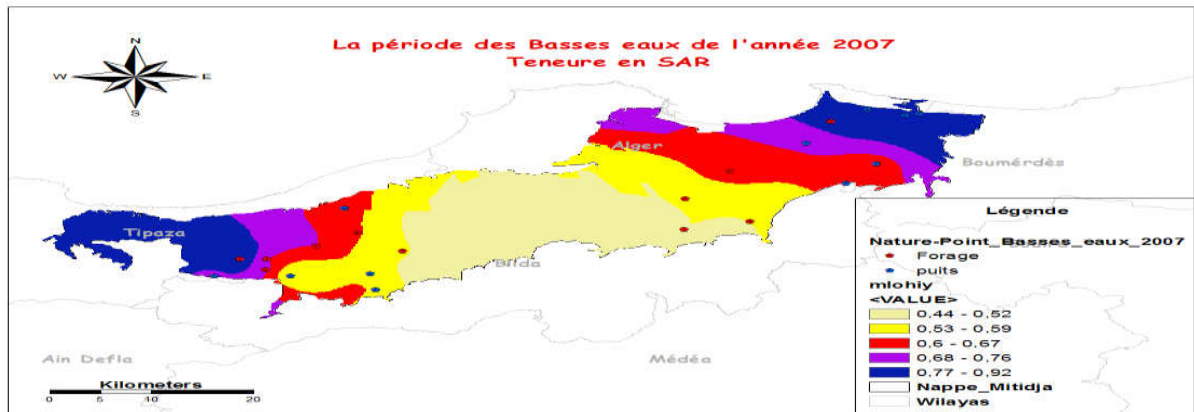


Figure IV-16 : Carte Krigée de SAR pour la période des basses eaux de l'année 2007

### IV.5. Période des hautes eaux de l'année 2007

#### IV.5.1. Modélisation des variogrammes

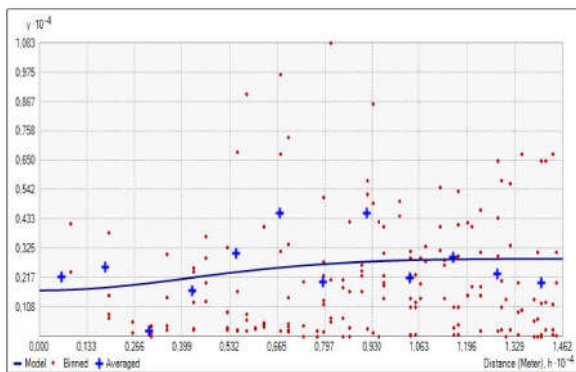


Figure IV-17 : Variogramme ajusté de Na

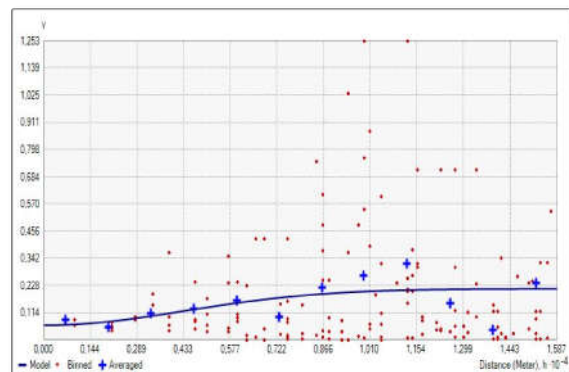


Figure IV-18 : Variogramme ajusté de CE

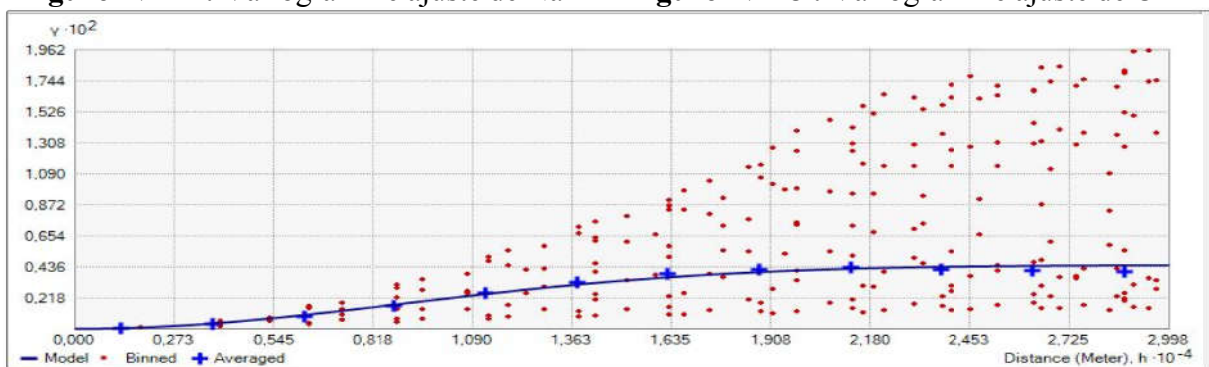


Figure IV-19 : Variogramme ajusté de SAR pour la période des basses eaux de l'année 2007

#### IV.5.2. Estimation par krigeage

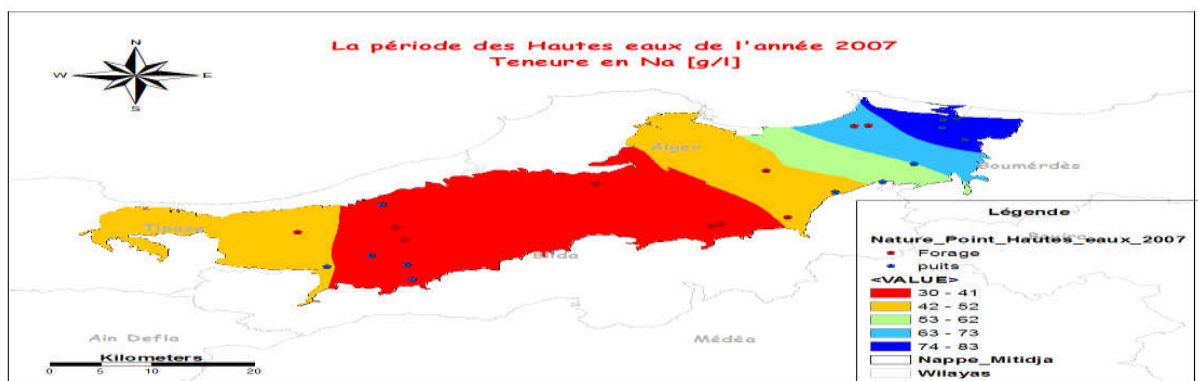
##### A-Interprétation de la carte krigée de Na

La carte krigée de Na (Figure IV-20) permet de distinguer que la zone située au NE de la plaine renferme les valeurs de concentration les plus élevées en Na et la région SW du côté de Hadjout renferme des concentrations faibles en Na.

Ces concentrations ont tendance à diminuer en se rapprochant vers la zone centrale de la plaine.

➤ **Pour AEP :** La carte krigée de sodium montre que la teneur en sodium est inférieure aux normes algériennes 200 mg/l.

➤ **Pour l'irrigation :** les valeurs situent dans les normes prescrites par la FAO qui est égale à 920 mg/l.

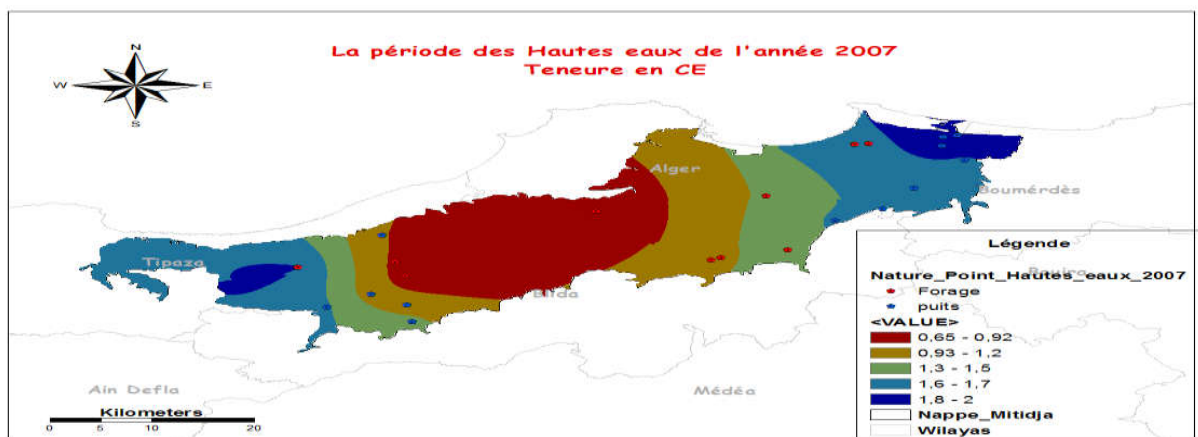


**Figure IV-20:** Carte Krigée de Na pour la période des hautes eaux de l'année 2007

## B. Interprétation de la carte krigée de la CE

La carte krigée de CE (figure IV-21) permet de distinguer que la zone située au NE de la plaine et la zone SW de la plaine du côté de Hadjout renferme les valeurs de concentration les plus élevées en CE avec une valeur proche de 2 donc c'est une eau à une salinité excessive.

Tandis qu'un peu plus au sud vers Khemis El Khechna jusqu'à Larbaa note des concentrations moyennes qui ont tendance à diminuer en se rapprochant vers la zone centrale de la plaine du côté de Boufarik et Oued El Alleug.



**Figure IV-21:** Carte Krigée de CE pour la période des hautes eaux de l'année 2007

**C. Interprétation de la carte krigée de SAR**

On peut voir sur la carte krigée de la SAR (Figure IV-22) permet de distinguer que la zone située au Nord de la plaine renferme les valeurs les plus élevées en SAR et la zone Sud de la plaine renferme des valeurs moyennes de concentrations en SAR.

➤ Les valeurs observé sont inférieur à 10 donc sont des eaux utilisable pour l’irrigation de presque tous les sols. Danger d’alcalisation réduit. Bien que certaines cultures sensibles au sodium puissent être gênées.

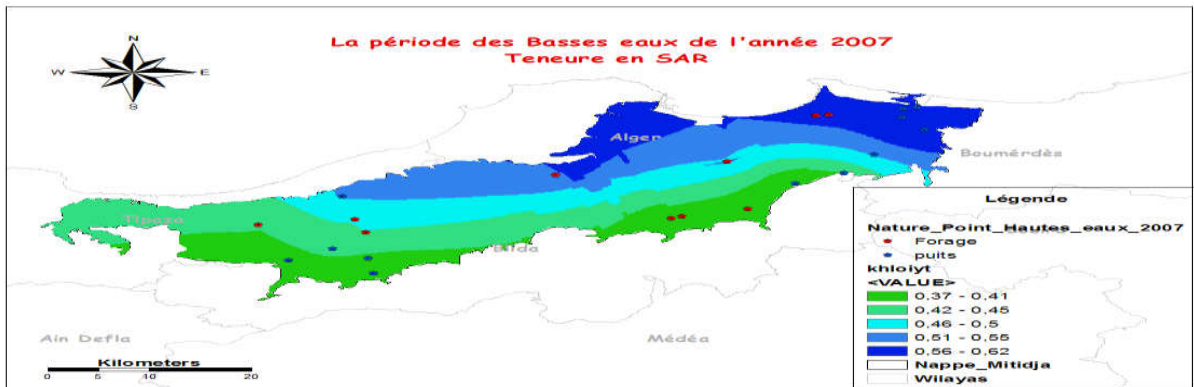


Figure IV-22: Carte Krigée de SAR pour la période des hautes eaux de l’année 2007

**Etude de la qualité eaux souterraines de la Mitidja par krigeage ordinaire pendant l’année 2008**

**IV-6- Période des basses eaux (année 2008)**

**IV-6-1- Modélisation des variogrammes**

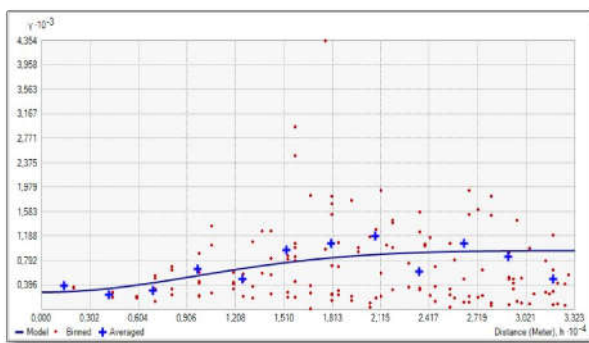


Figure IV-23 : Variogramme ajusté de Mg

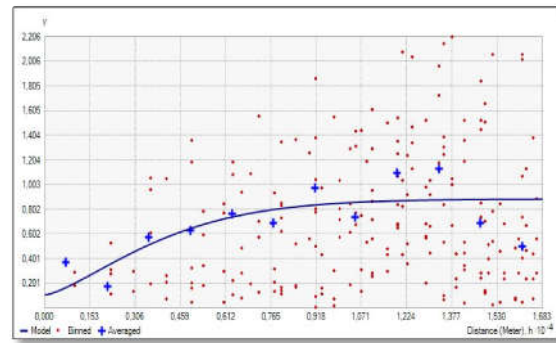


Figure IV-24 : Variogramme ajusté de CE

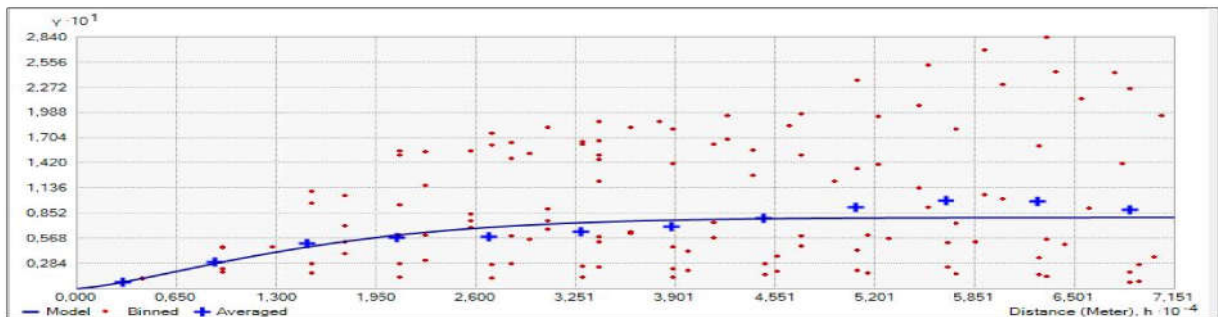


Figure IV-25 : Variogramme ajusté de SAR pour la période des basses eaux de l’année 2008

## IV-6-2- Krigeage

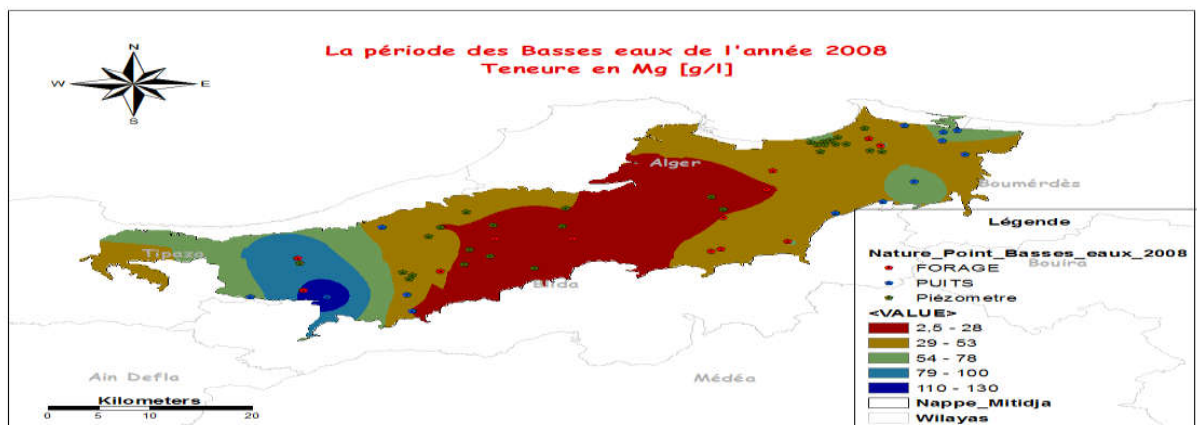
### A- Interprétation de la carte krigée de Mg

On peut voir sur la carte krigée de Mg (Figure IV-26) que la zone située au SW de la plaine du côté de Hadjout et Ahmar El Ain renferme les valeurs de concentration les plus élevées en Mg.

Tandis que la zone située au NE du côté de Rouiba auparavant polluée, et plus au sud à Larbaa, on note des concentrations moyennes qui diminuent en se rapprochant vers la zone centrale de la plaine du côté de Boufarik, Bouinan et Blida.

➤ **Pour AEP :** on note que quelques la zones SW renferment des valeurs des concentrations supérieures à la norme algérienne (50 mg/l).

➤ **Pour l'irrigation :** La zone SW concentration les plus élevées en Mg qui dépassent la norme internationale fixée par la FAO (61 mg/l).



**Figure IV-26:** Carte Krigée de Mg pour la période des basses eaux de l'année 2008

### B- Interprétation de la carte krigée de la CE

La carte krigée de CE (Figure IV-27) permet de distinguer une zone relativement conductrice, située au NE du côté de la baie d'Alger et SW de la plaine du côté de Hadjout et à cause du problème d'intrusion des eaux salées.

Alors que la conductivité est jugée moyenne au aux environs de Khmis El Khechna. Ces concentrations ont tendance à diminuer en se rapprochant vers la zone centrale de la plaine au niveau de Blida et Boufarik.

On signale également que les zones déclarées auparavant comme extrêmement conductrices et qui présentent un grand risque de salinité surtout au niveau de la région littorale, présentent une conductivité électrique de moins en moins conséquente.



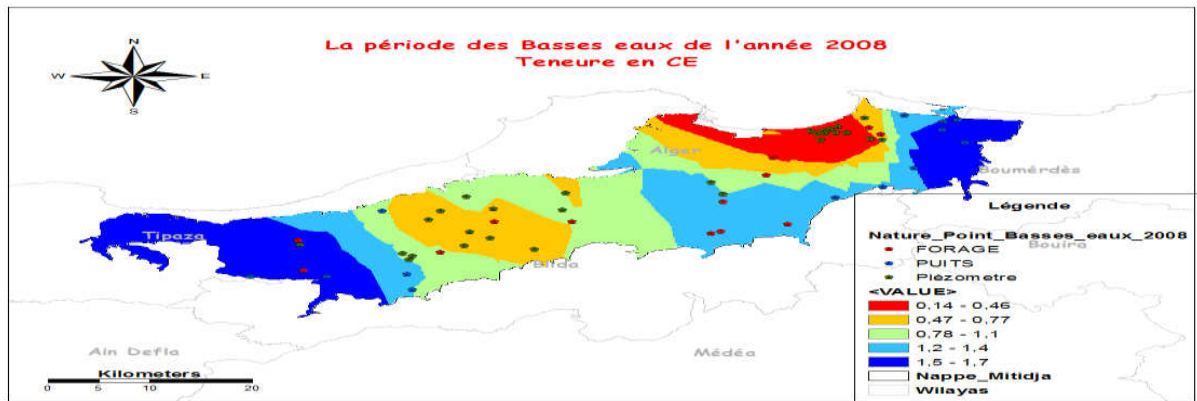


Figure IV-27: Carte Krigée de CE pour la période des basses eaux de l'année 2008

### C- Interprétation de la carte krigée de SAR

On peut distinguer sur la carte krigée de SAR (Figure IV-28) que les zones situées au NE de la plaine à la Baie d'Alger et Baraki, et à l'extrême SW du côté de Hadjout renferme les valeurs les plus élevées.

Tandis qu'on note des valeurs moyennes du côté de Larbaa et Ahmar El Ain qui ont tendance à diminuer en se rapprochant vers la zone centrale de la plaine.

- les valeurs du SAR suivent l'évolution de la concentration des sels majeurs à savoir Ca, Mg et Na.
- On remarque également que le risque d'alcalinisation a sensiblement diminué par rapport à la situation de 2007 dans les régions concernées.

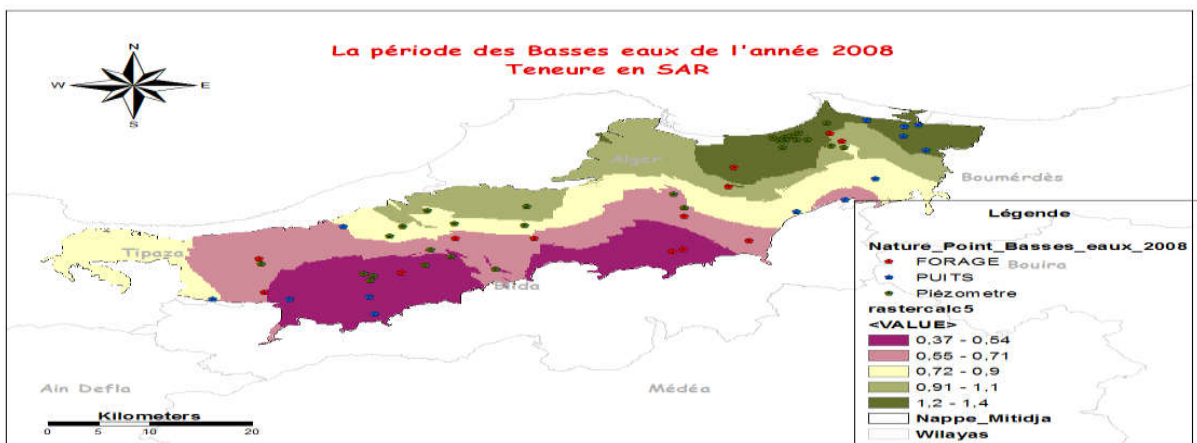


Figure IV-28: Carte Krigée de SAR pour la période des basses eaux de l'année 2008

## IV-6-3- Aptitude à l'irrigation

### A- Classification USDA

Selon cette classification on peut voir d'après les deux cartes krigées du SAR et de la CE (Figure IV-27, Figure IV-28) que la zone centrale de la plaine située entre Blida, Boufarik et Oued El Alleug contient une eau de classe C1S1 qui est à faible salinité et qui

peut être utilisée pour irriguer la plupart des cultures sur la plupart des sols sans risque d'alcalinisation.

Alors que les zones situées à l'Est de Rouiba et Khmis El Khechna abritent des eaux de classe C3S2 décrite auparavant. Toute la région restante contient des eaux de classe C3S1 qui sont aussi décrite au cours des interprétations précédentes.

**B- Classification Ayers**

La classification Ayers (Figure IV-27, Figure IV-28) estime que les zones situées au NE de la plaine du côté de Rouiba et la région sise au NE de Baraki, ainsi que celles aux environs de Ahmar El Ain au SW de la plaine abritent des eaux d'aucun degrés de restriction.

Tandis que toutes les autres zones situées sur l'étendue de la plaine, abritent des eaux estimées à restriction modérée.

**IV-7- Période des hautes eaux (l'année 2008)**

**IV-7-1- Modélisation des variogrammes**

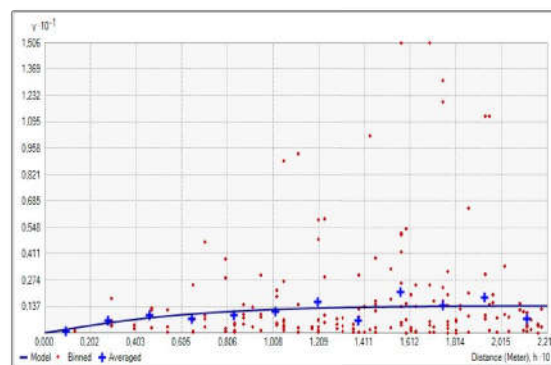
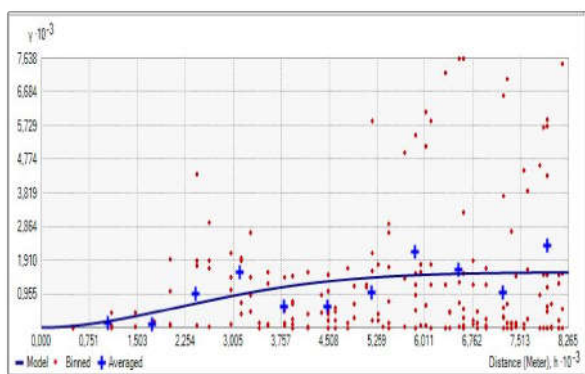


Figure IV-29 : Variogramme ajusté de NO3

Figure IV-30: Variogramme ajusté de CE

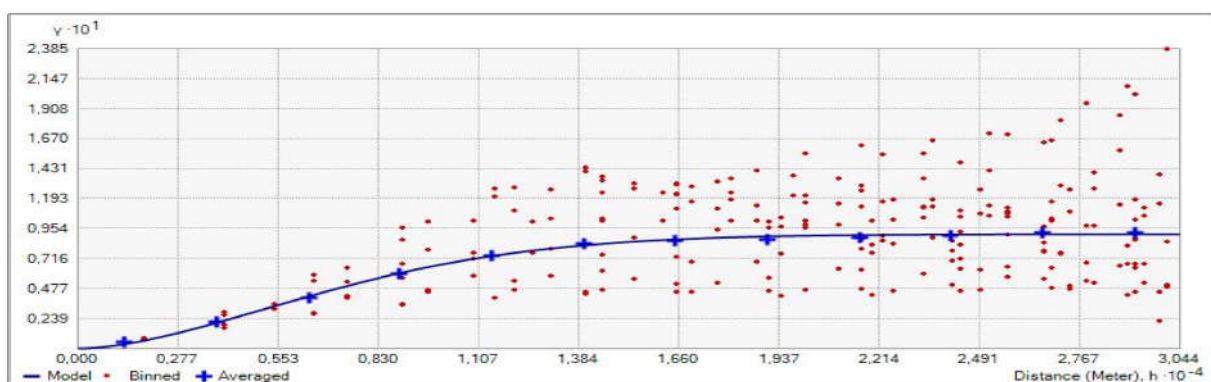


Figure IV-31: Variogramme ajusté de SAR pour la période des hautes eaux de l'année 2008

**IV-7-2- Krigeage**

**A- Interprétation de la carte krigée de NO3**

La carte krigée de NO<sub>3</sub> (Figure IV-32) permet de voir :

➤ Il n'y a pas eu d'évolution par rapport à la situation des basses eaux. On tient tout de même à signaler que les surfaces non polluées diminuent et se localisent au Nord de Oued El Alleug près du Sahel.

➤ **Pour AEP** : La zone située NE de la Mitidja, jusqu'à l'Est renferment des valeurs de concentrations supérieures aux normes algériennes.

➤ **Pour l'irrigation** : d'après la carte krigée de nitrates, on remarque qu'au niveau de toute la zone les valeurs sont trop élevées par rapport à la norme de FAO 10 mg/l.

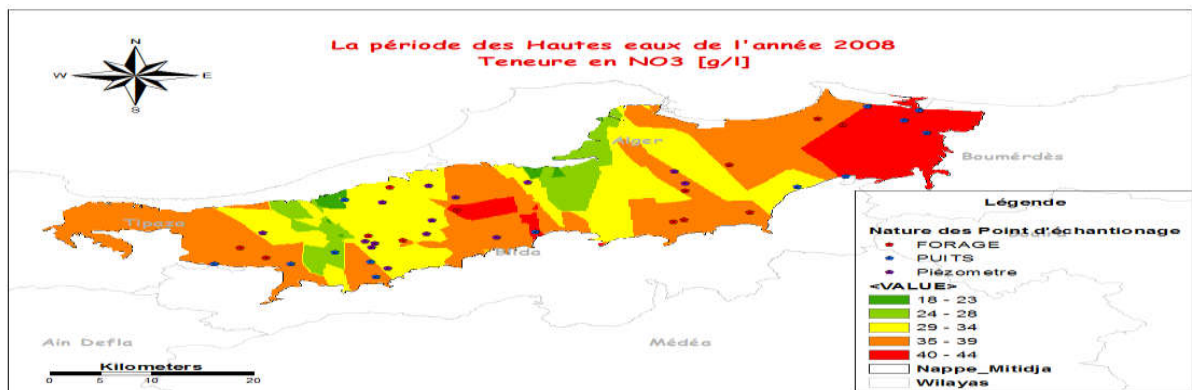


Figure IV-32: Carte Krigée de NO3 pour la période des hautes eaux de l'année 2008

### B- Interprétation de la carte krigée de la CE

La également, on peut voir sur la carte krigée de la CE (Figure IV-33) que la distribution des valeurs n'a pas vraiment changée par rapport à la période des basses eaux sur l'ensemble de l'étendue de la plaine. Mais on note une légère diminution au niveau de la région de la Baie d'Alger à cause de la dilution pendant cette période en cours.

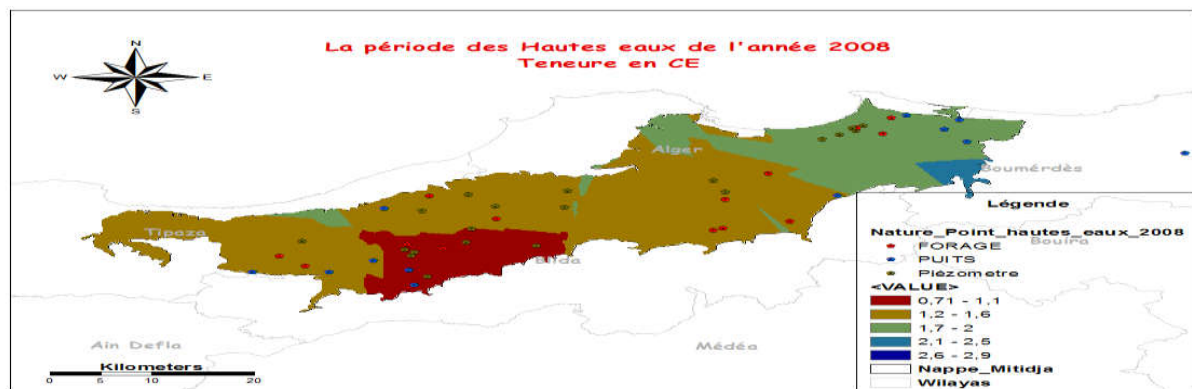


Figure IV-33: Carte Krigée de CE pour la période des hautes eaux de l'année 2008

### C- Interprétation de la carte krigée de SAR

On remarque d'après la carte krigée de SAR (Figure IV-34) que :

➤ Le risque de salinité a augmenté par rapport à la période des basses eaux.

➤ Dans ces zones surtout au NE de la plaine du côté du littoral allant jusqu'à Khmis El Khechna et Baraki, ainsi que sur une petite zone située au Nord-est de Oued El Alleug près du Sahel les valeurs du SAR dépassent la norme.

➤ Et là également, les valeurs du SAR suivent l'évolution de la concentration des sels majeurs.

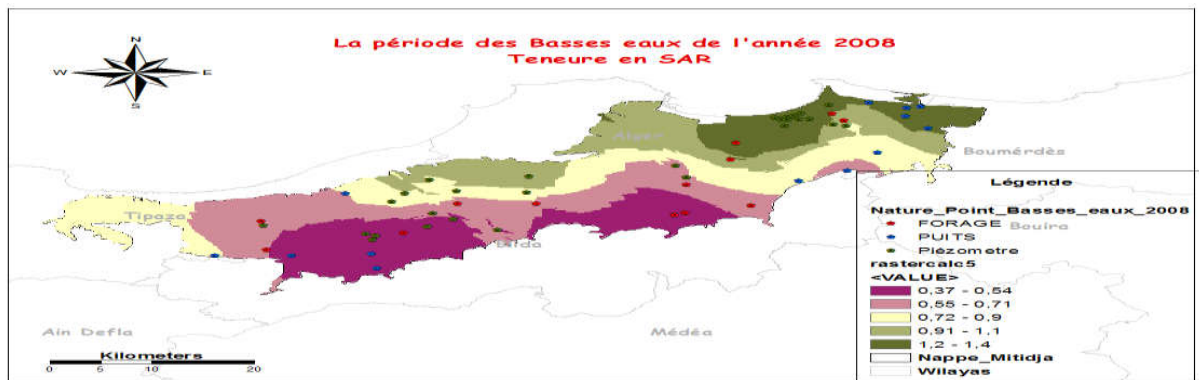


Figure IV-34: Carte Krigée de SAR pour la période des hautes eaux de l'année 2008

### IV-7-3- Aptitude à l'irrigation

#### A- Classification USDA

Selon cette classification on peut voir d'après les deux cartes krigées du SAR et de la CE (Figure IV-33, Figure IV-34) que la zone centrale de la plaine située entre Blida, Boufarik et Oued El Alleug contient une eau de classe C2S1 qui est à salinité moyenne et qui peut être utilisée s'il se produit un lessivage modéré sans risque d'alcalinisation.

Alors que les autres zones situées en allant de Bouinan et Boufarik vers le NE jusqu'à la limite de la Baie d'Alger abritent des eaux de classe C3S2 décrite auparavant.

Les régions se situant à l'extrême SW du côté de Hadjout et à la Baie d'Alger contiennent des eaux de classe C4S2 qui est de très forte salinité. Elle ne convient pas à l'irrigation dans des conditions ordinaires, les sols doivent être perméables et le drainage doit être suffisant.

#### B- Classification Ayers

La classification Ayers (Figure IV-33, Figure IV-34) estime que les zones situées au centre de la plaine du côté de Blida et Oued El Alleug abritent des eaux d'un degré de restriction à l'usage modéré jusqu'à sévère.

Tandis que toutes les autres zones situées sur l'étendue de la plaine, abritent des eaux estimées à restriction modérée



## Etude de la qualité eaux souterraines de la Mitidja pendant l'année 2009 par krigeage ordinaire

### IV.8. Période des basses eaux de l'année 2009

#### IV.8.1 Modélisation des variogrammes

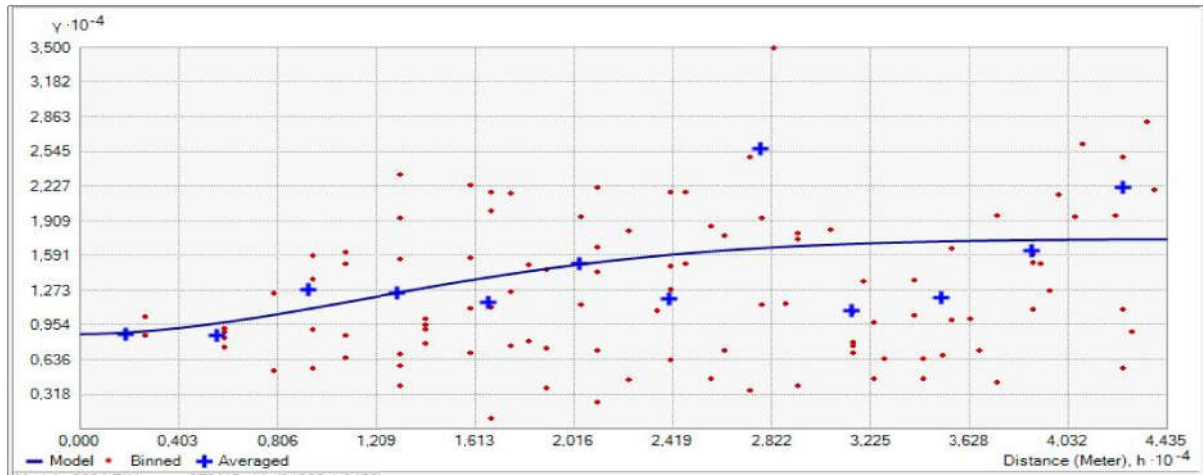


Figure IV-35 : Variogramme ajusté de SO4 pour la période des basses eaux de l'année 2009

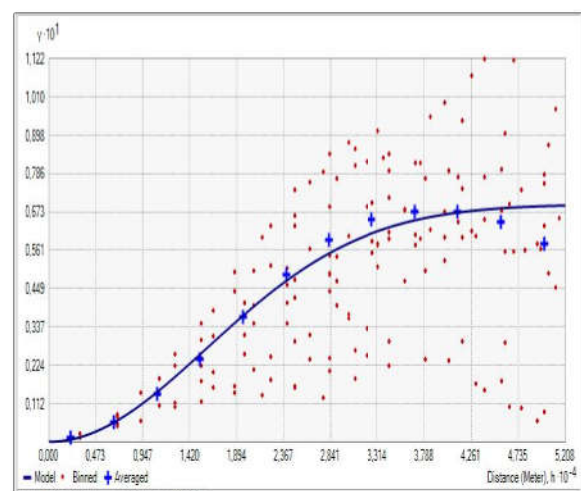
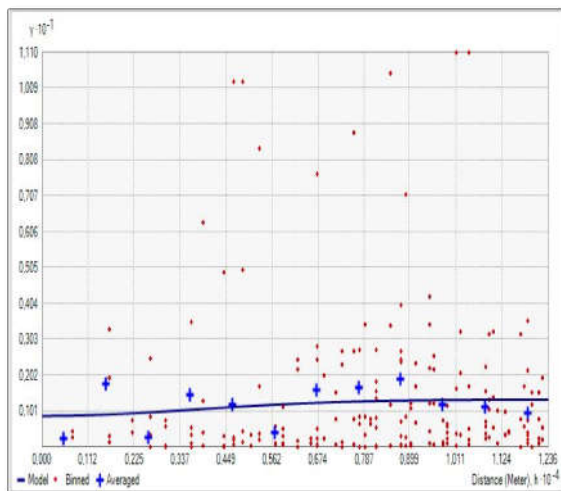


Figure IV-36: Variogramme ajusté de CE      Figure IV-37: Variogramme ajusté de SAR

#### IV-8-2- Krigeage

##### A-Interprétation de la carte krigée de SO4

L'OMS recommande comme valeur limite 250 mg/L, on peut distinguer sur la carte krigée de SO4 (Figure IV-38) que les valeurs de concentration les plus élevées sont localisées dans les zones situées au SW du côté de Ahmar El Ain et Al Affroun.

✓ **Pour AEP :** D'après la carte krigée de sulfates on note que toutes les valeurs sont inférieures aux normes algériennes 400 mg/l.

✓ **Pour l'irrigation :** la même chose pour l'irrigation, les valeurs sont inférieures aux normes 960 mg/l.

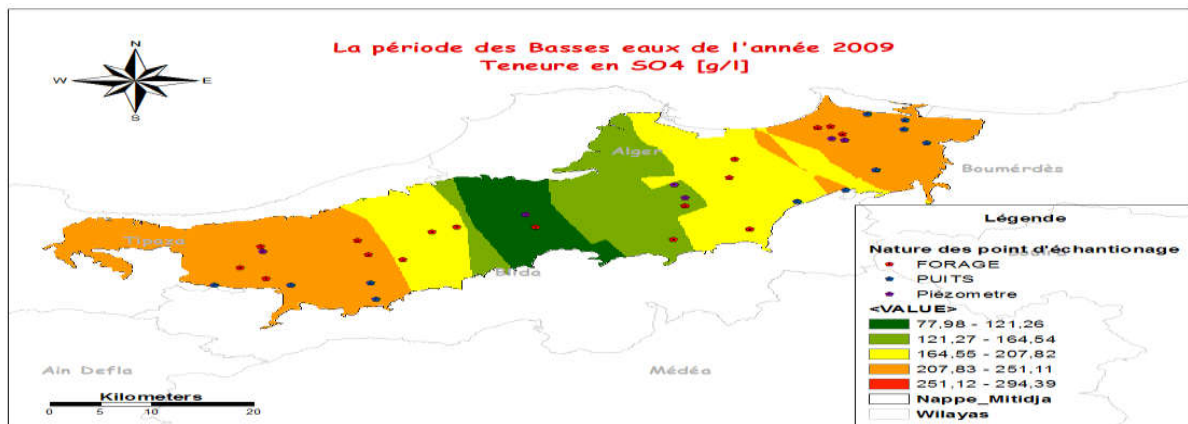


Figure IV-38: Carte Krigée de SO4 pour la période des basses eaux de l'année 2009

**B- Interprétation de la carte krigée de la CE**

La carte krigée de la CE (Figure IV-39) permet de distinguer une zone relativement conductrice, située au NE du côté de la baie d'Alger et SW de la plaine du côté de Hadjout et à cause du problème d'intrusion des eaux salées.

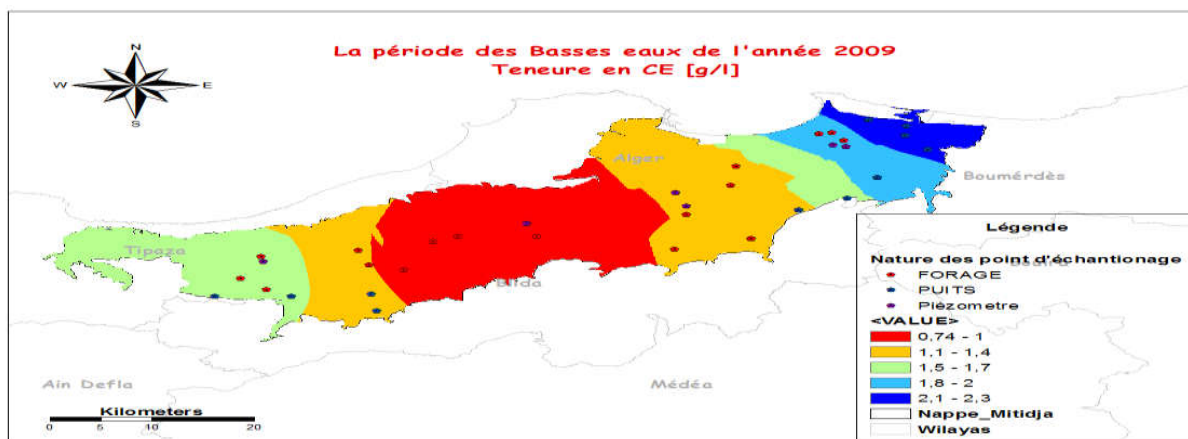


Figure IV-39 : Carte Krigée de CE pour la période des basses eaux de l'année 2009

**C- Interprétation de la carte krigée de SAR**

On peut distinguer sur la carte krigée de SAR (Figure IV-40) que les zones situées au NE de la plaine à la Baie d'Alger et Baraki, et à l'extrême SW du côté de Hadjout renferme les valeurs les plus élevées.

Tandis qu'on note des valeurs moyennes du côté de Larbaa et Ahmar El Ain qui ont tendance à diminuer en se rapprochant vers la zone centrale de la plaine

➤ Les valeurs du SAR suivent l'évolution de la concentration des sels majeurs à savoir Ca, Mg et Na.

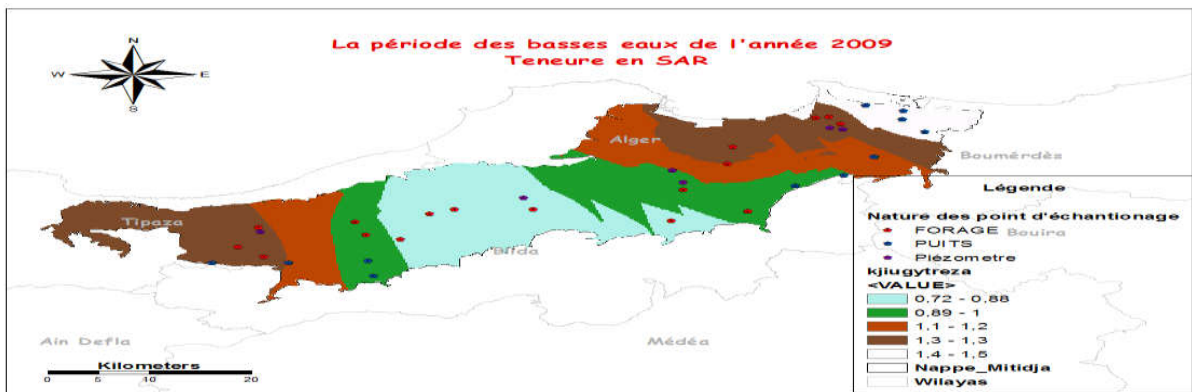


Figure IV-40: Carte Krigée de SAR pour la période des basses eaux de l'année 2009

### IV-9- Période des hautes eaux (l'année 2009)

#### IV-9-1- Modélisation des variogrammes

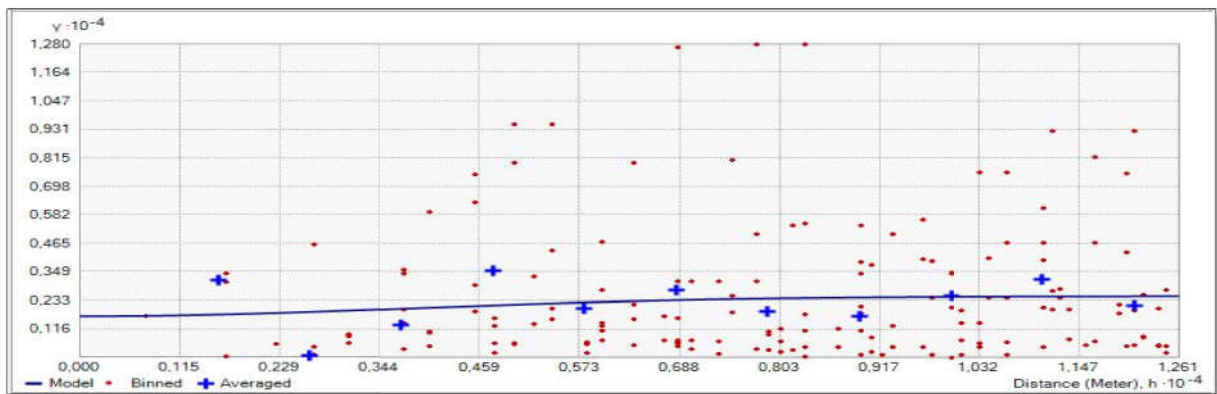


Figure IV-41: Variogramme ajusté de Ca pour la période des hautes eaux de l'année 2009

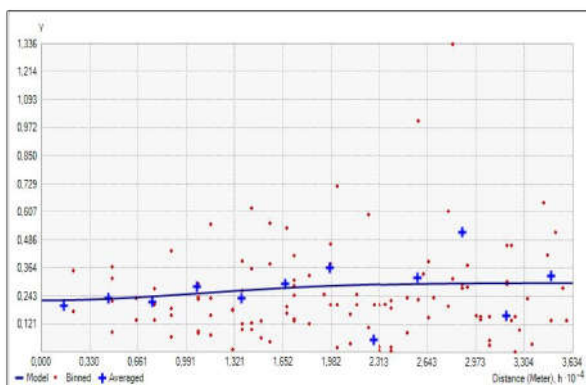


Figure IV-42: Variogramme ajusté de CE

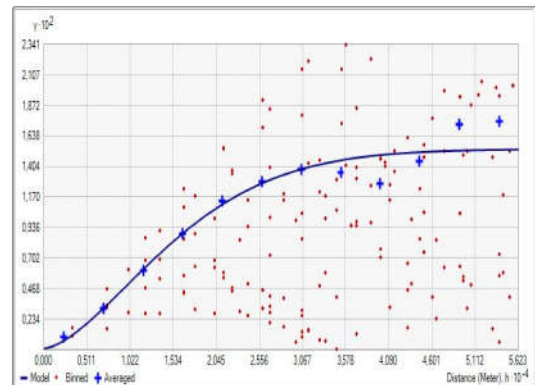


Figure IV-43: Variogramme ajusté de SAR

### IV-9-2- Krigeage

#### A- Interprétation de la carte krigée de Ca

D'après la carte krigée on remarque que les zones qui renferment une bonne qualité se situe au Sud Est et Nord Est de la plaine, qui englobe les régions de khemiss el khechna, larbaa et berraki .

Les teneurs sont élevées à cote de Rouibaà cause de la présence de l’argile au niveau de cette zone et aussi les grès qui contient le calcium qui vont s’infiltrés .tandis que du côté de Hadjout, Chiffa on note des concentrations moyennes qui ont tendance à diminuer en se rapprochant vers la zone centrale de la plaine du coté de Boufarik et Oued El Alleug.

✓ **Pour AEP** : selon les normes algériennes ; la teneur en calcium ne dépasse pas les norme fixé à 200mg/l.

✓ **Pour l’irrigation** : On remarque que toutes les concentrations de la zone Mitidja sont inférieures a 400mg/l tel que la zone située au NE de la plaine. Cette zone renferme des valeurs de concentration les plus élevées en Ca.

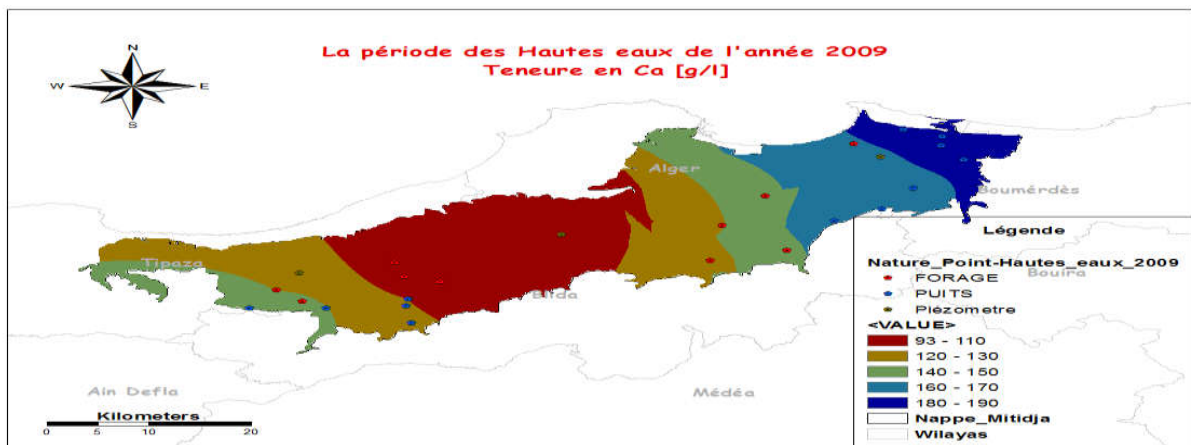


Figure IV-44: Carte Krigée de Ca pour la période des hautes eaux de l’année 2009

**B- Interprétation de la carte krigée de la CE**

La également, on peut voir sur la carte krigée de la CE (Figure IV-46) :

- La distribution des valeurs n’a pas vraiment changée par rapport à la période des basses eaux sur l’ensemble de l’étendue de la plaine.
- On note une légère diminution au niveau de la région de la Baie d’Alger à cause de la dilution pendant cette période en cours.

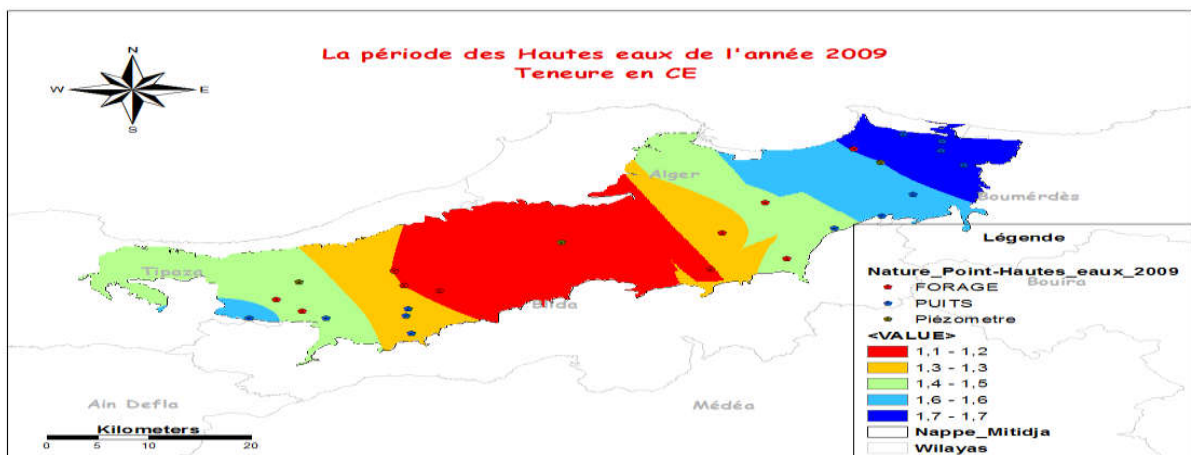


Figure IV-46: Carte Krigée de CE pour la période des hautes eaux de l’année 2009



**C- Interprétation de la carte krigée de SAR**

On remarque d’après la carte krigée de SAR (Figure IV-47) que le risque de salinité a augmenté par rapport à la période des basses eaux, surtout au NE de la plaine du coté du littoral allant jusqu’à Khmis El Khechna et Baraki, ainsi que sur une petite zone située au Nord-est de Oued El Alleug près du Sahel. Dans ces zones les valeurs du SAR dépassent la norme.

Et là également, les valeurs du SAR suivent l’évolution de la concentration des sels majeurs.

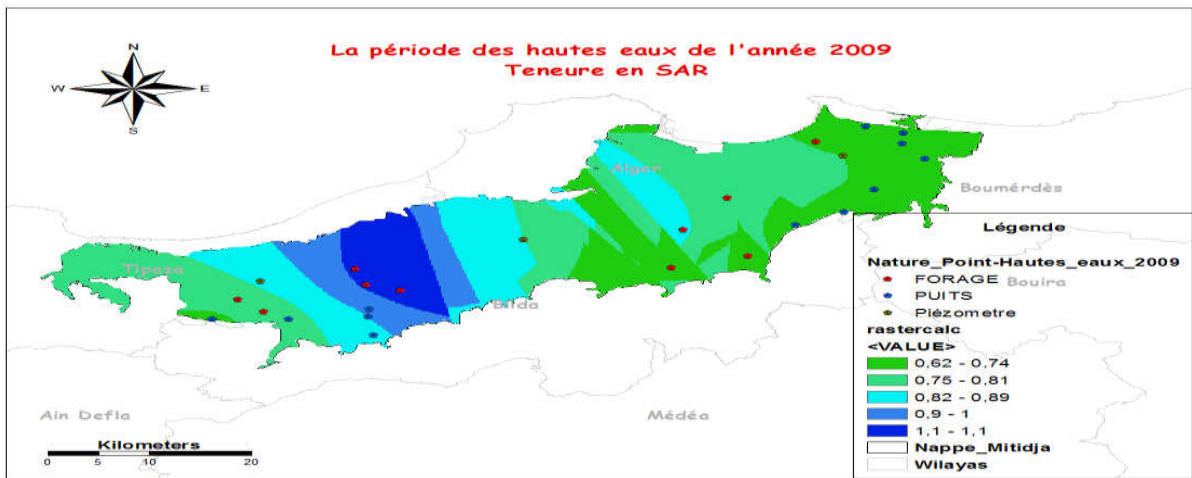


Figure IV-47: Carte Krigée de SAR pour la période des hautes eaux de l’année 2009

**Etude de la qualité des eaux souterraines de la Mitidja pendant l’année 2010 par krigeage ordinaire**

**IV.10. Période des basses eaux de l’année 2010**

**IV.10.1 Modélisation des variogrammes**

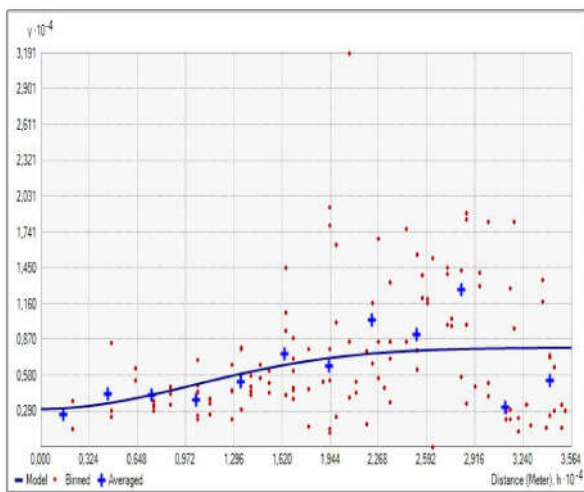


Figure IV-48 : Variogramme ajusté de Na

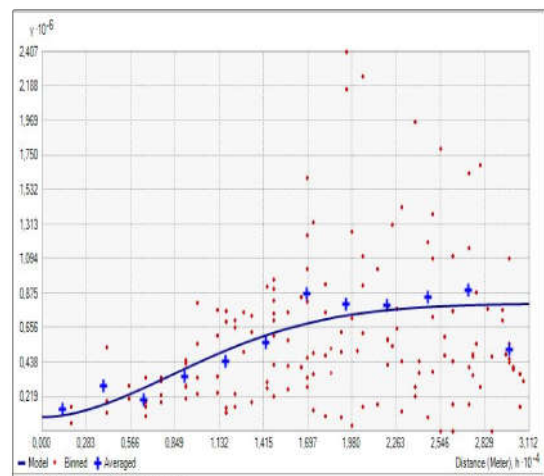


Figure IV-49: Variogramme ajusté de CE

### IV.10.2. Estimation par krigeage

#### A-Interprétation de la carte krigée de $\text{NO}_3$

✓ **Pour AEP** : d'après la carte krigée on remarque que les zones qui renferment des valeurs de la teneur en sodium qui dépasse la norme algérien fixé a 200 mg/l sont la zone localisé a NE et la région de Boufarik.

✓ **Pour l'irrigation** : d'après la carte on remarque que toutes les concentrations sont inférieures à la norme de FAO (920 mg/l).

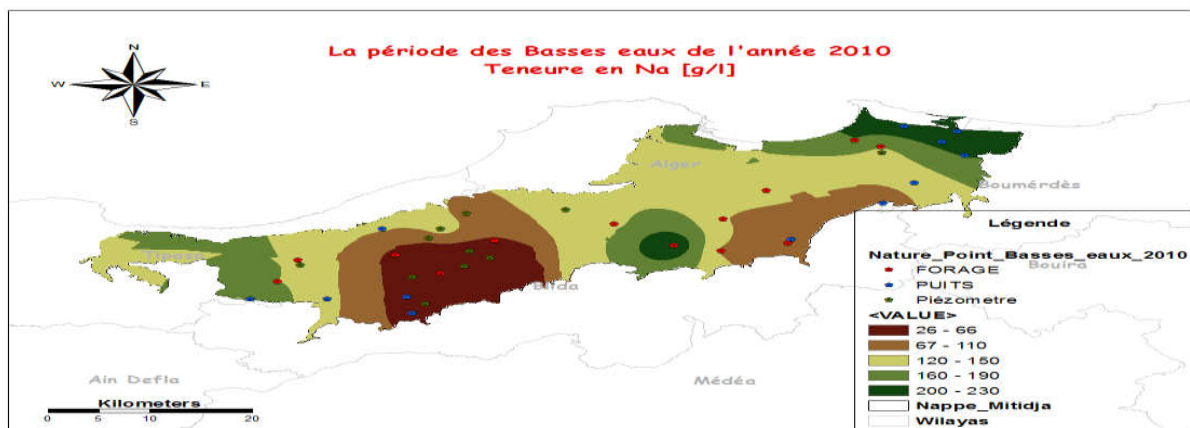


Figure IV-50: Carte Krigée de Na pour la période des basses eaux de l'année 2010

#### B-Interprétation de la carte krigée de la CE :

La carte krigée de la CE permet de distinguer une zone très conductrice, située au NE du côté de la baie d'Alger, Les valeurs sont supérieures à 2 mmhos/cm sont classées d'après le tableau (annexe 1) C 3 : Eau à très forte salinité inutilisable pour l'irrigation.

On note que ces concentrations ont tendance à diminuer en se rapprochant vers la zone centrale de la plaine à vocation agricole mais sont toujours classer au C3 (les valeurs de la CE suivent l'évolution de la concentration des sels majeurs), cela est expliqué par l'intrusion marine qui engendre une salinité très importante.

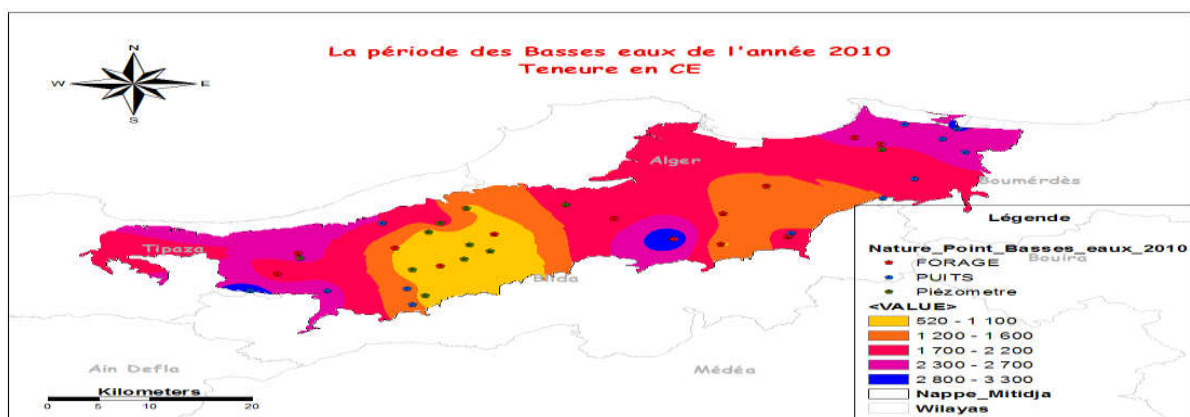


Figure IV-51: Carte Krigée de CE pour la période des basses eaux de l'année 2010

## IV.11. Période des hautes eaux de l'année 2010

### IV.11.1. Modélisation des variogrammes :

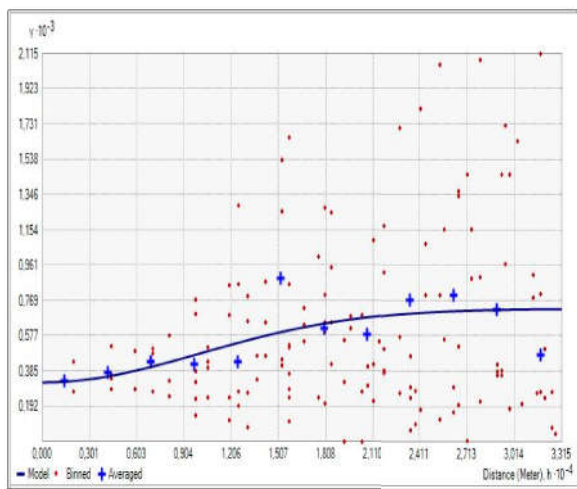


Figure IV-52 : Variogramme ajusté de NO<sub>3</sub>

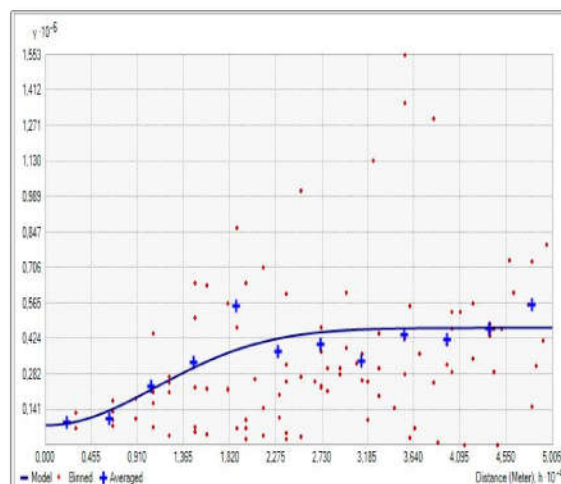


Figure IV-53: Variogramme ajusté de CE

### IV.11.2. Estimation par krigeage

#### A-Interprétation de la carte krigée de NO<sub>3</sub>-

La carte krigée de NO<sub>3</sub> (Figure IV-54) permet de distinguer que tout la superficie de la Mitidja renferme a des valeurs de concentration en dessous de la norme internationale fixée par la FAO (10 mg/l). Tandis que les valeurs de concentration les plus élevées sont localisées à l'Est du côté de Khmis El Khechna et au NE de la plaine du côté de la Baie d'Alger.

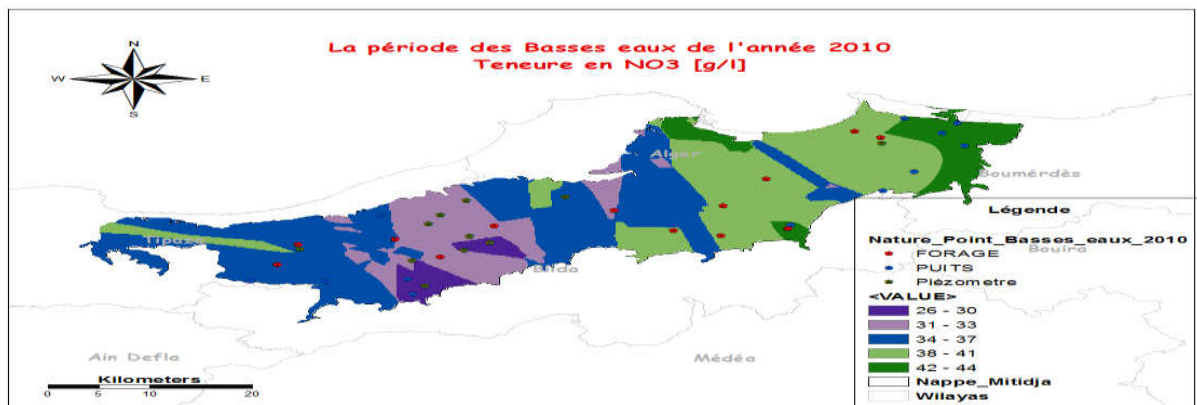
Cela peut s'expliquer par une éventuelle contamination du fait que les zones concernées sont en majorité à vocation agricole.

➤ **Pour AEP :** La carte krigée de NO<sub>3</sub> (Figure IV-54) permet de distinguer que tout la superficie de la Mitidja renferme a des valeurs de concentration en dessous de la norme algérienne

Tandis que la partie EST possède des valeurs trop élevées cela s'explique par rejet pesticide et les rejets des usines surtout au niveau de la Baie d'Alger.

➤ **Pour l'irrigation :** La carte krigée de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> permet de distinguer que dépasse la norme internationale fixée par la FAO (10 mg/l).

Cela peut s'expliquer par une éventuelle contamination du fait que les zones concernées sont en majorité à vocation agricole.

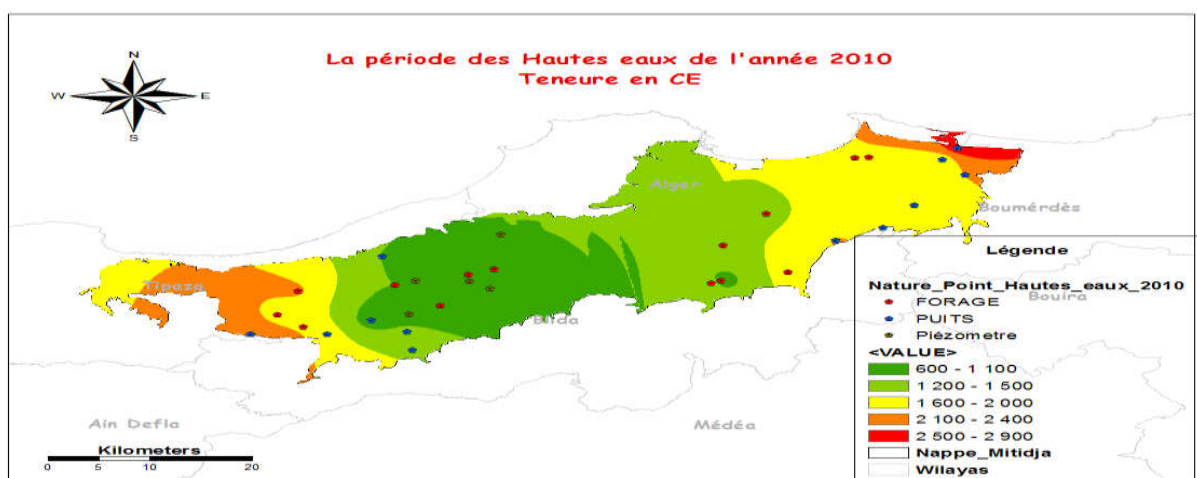


**Figure IV-54:** Carte Krigée de NO<sub>3</sub> pour la période des hautes eaux de l'année 2010

#### b-Interprétation de la carte krigée de CE :

➤ D'après la carte krigée on remarque que la partie Est et Ouest de la plaine renferment des valeurs de concentration les plus élevées, d'après l'annexe 1 ces zones sont classées au C3 : Eau à forte salinité, utilisée pour les sols à drainage restreint, même avec un bon drainage. Cela s'explique par l'intrusion des eaux de mer.

➤ En se rapprochant vers le centre de la plaine Mitidja l'eau devient à salinité moyenne, utilisée avec un léger lessivage.



**Figure IV-55:** Carte Krigée de CE pour la période des hautes eaux de l'année 2010

#### IV.12. Discussion :

Les variables qui interviennent le plus dans la dégradation de la qualité des eaux de la nappe aquifère de la Mitidja d'après cette analyse sont :

La carte krigée des nitrates nous rend compte du danger imminent de la pollution à travers presque toute l'étendue de la plaine au cours des différentes périodes avec une légère diminution observée dans le teneur en nitrate au cours de la période des hautes eaux, se qui peut se justifier par la dilution



Les concentrations en cet élément restent toujours supérieures à la norme fixée par la FAO (10 mg/l) de 2006 jusqu'à 2010. On peut synthétiser que les valeurs les plus élevées (>200mg/l) sont observées au cours de l'année 2006 et 2009.

Le problème des nitrates revient généralement aux engrais et aux amendements azotés utilisés en agriculture par ce que la plaine de la Mitidja a une vocation agricole.

D'après les cartes krigées de CE et SAR on peut synthétiser qu'il y a un problème de salinité sur toute la plaine surtout la région littorale située dans la Baie d'Alger au nord-est de la plaine qui court un réel danger de salinité à cause de l'intrusion des eaux salées sur un rayon de 3 Km environs depuis le littoral. Cette région en question renferme une eau de classe C2S1 d'une salinité moyennement élevée dans la période des basses eaux.

La salinité a tendance à diminuer au niveau de la zone Nord-est du secteur d'étude par rapport à la période des basses eaux, qui s'accompagne d'une diminution apparente des valeurs de concentrations des cations. Cela peut s'expliquer par la dilution produite au cours de cette période en cours.

La également, il ressort qu'il y'a pas un grand changement des valeurs de SAR et CE au cours des années d'étude 2006 jusqu'à 2010. Il apparaît d'après les cartes que les eaux d'irrigation de meilleure qualité se localisent du côté de la région centrale de la plaine, tandis que les eaux de qualité la plus médiocre se situent aux environs de la Baie d'Alger sur la bande littorale du côté de Rouiba.

La carte krigée de la CE montre plutôt une diminution de la conductivité électrique dans la zone nord-est, considérée auparavant comme étant la plus conductrice. Ce qui est dû au fait que pendant les hautes eaux, la charge des eaux douces augmente comparée à celle des eaux de mer, et freine ainsi par différence de charge, l'intrusion des eaux salées dans la nappe aquifère toujours par rapport à la période précédente.

Les résultats des analyses faites pour quatre cations et quatre anions sont les valeurs les plus importantes ou parfois celles qui dépassent les normes internationales données par la FAO sont localisées surtout dans la partie nord-est de la région d'étude du côté de la baie d'Alger, ajoutons à cela la région située dans la partie sud-ouest du côté de Hadjout et Ahmar El Ain qui renferment des valeurs de concentration assez conséquentes pour divers éléments.

On remarque de même une tendance globale semblable pour tous les éléments estimés, on retient que la distribution spatiale des concentrations des éléments n'a pas beaucoup évolué durant les cinq années d'étude.

IV.13. Etude de la piézométrie pendant la période des basses eaux

L'apport de cette partie, outre l'exploitation des mesures récentes, réside dans l'exploitation de mesures anciennes interprétées, afin d'étudier l'évolution du comportement hydrodynamique de notre nappe, qui est soumise à une surexploitation.

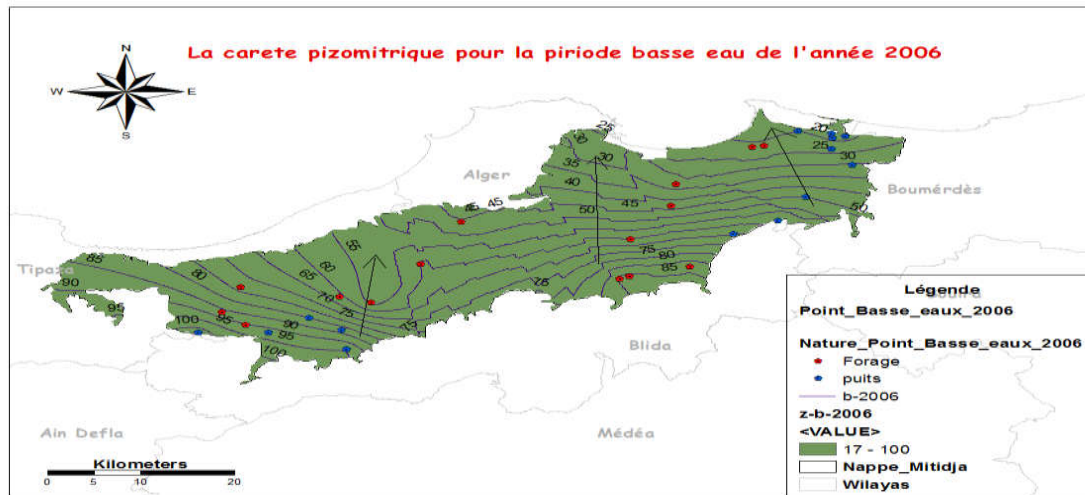


Figure IV-56 : la carte piézométrique de la période des basses eaux de l'année 2006

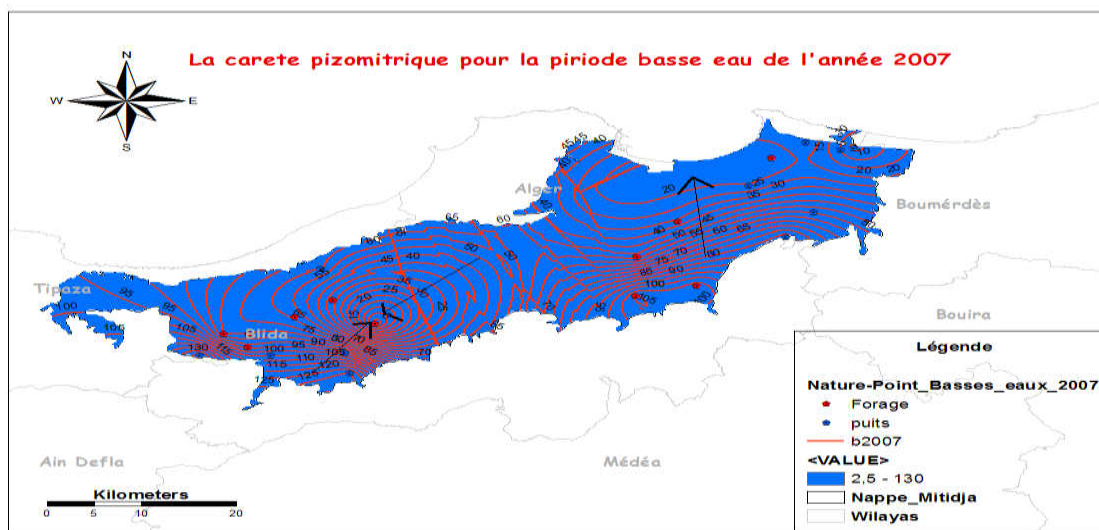


Figure IV-57 : la carte piézométrique de la période des basses eaux de l'année 2007

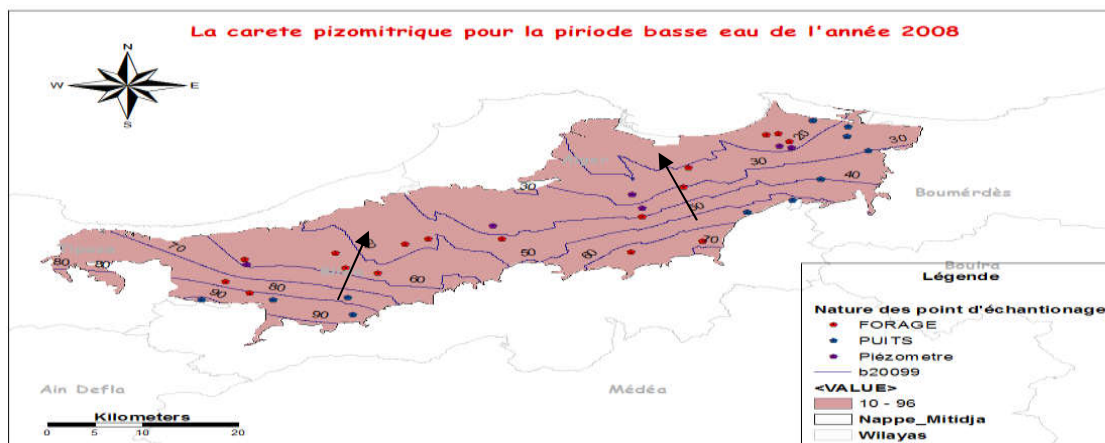


Figure IV-58 : la carte piézométrique de la période des basses eaux de l'année 2008

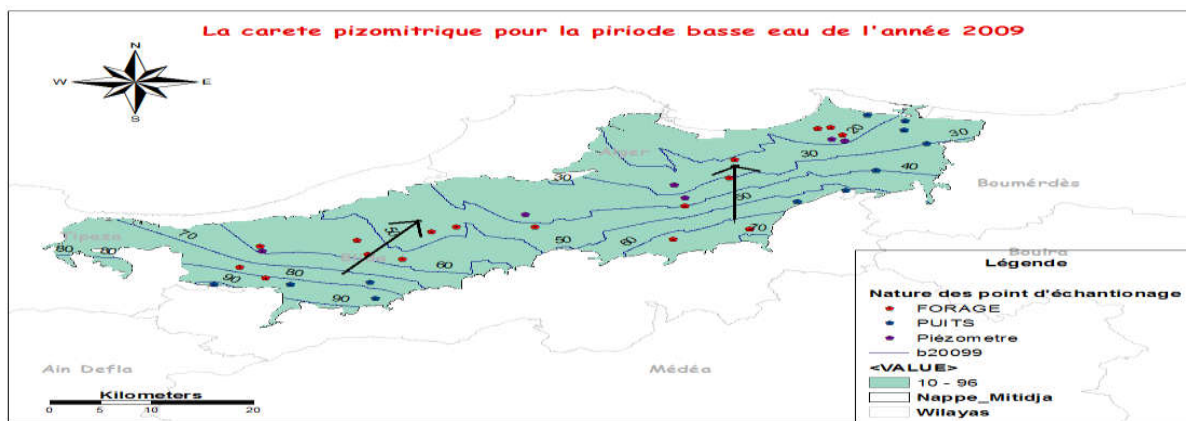


Figure IV-59 : la carte piézométrique de la période des basses eaux de l'année 2009

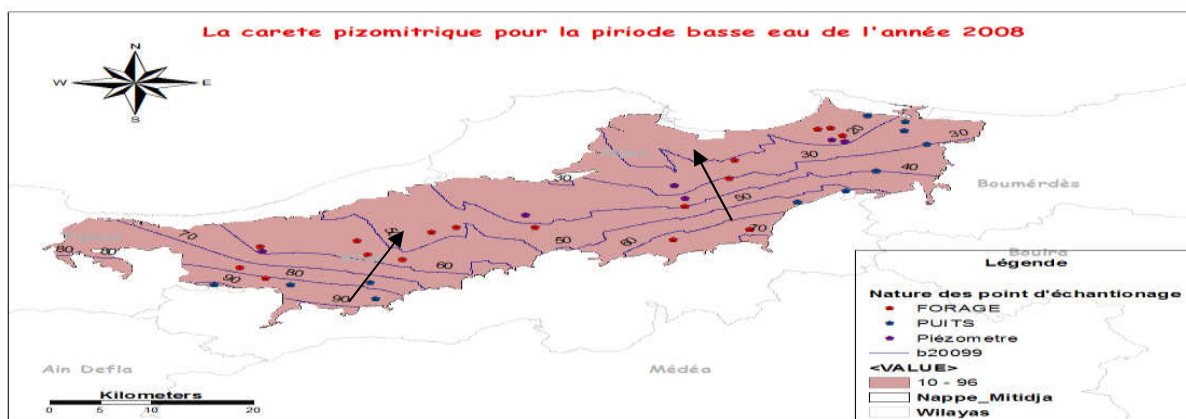


Figure IV-60 : la carte piézométrique de la période des basses eaux de l'année 2010

**A- Interprétation des cartes piézométriques :**

- Le niveau piézométrique pendant les périodes des basses eaux vari de 10 m au bord à 100 m sur tout le flanc sud de la zone d'étude.
- Le sens de l'écoulement observé pour toutes les cartes est du Sud vers le Nord excepté celle de 2007 où on remarque deux comportements :

Le même qu'auparavant pour ce qui est de la partie Est.

Un écoulement de tous les cotés qui tend vers la région du coté de Ahmar El-Ain.

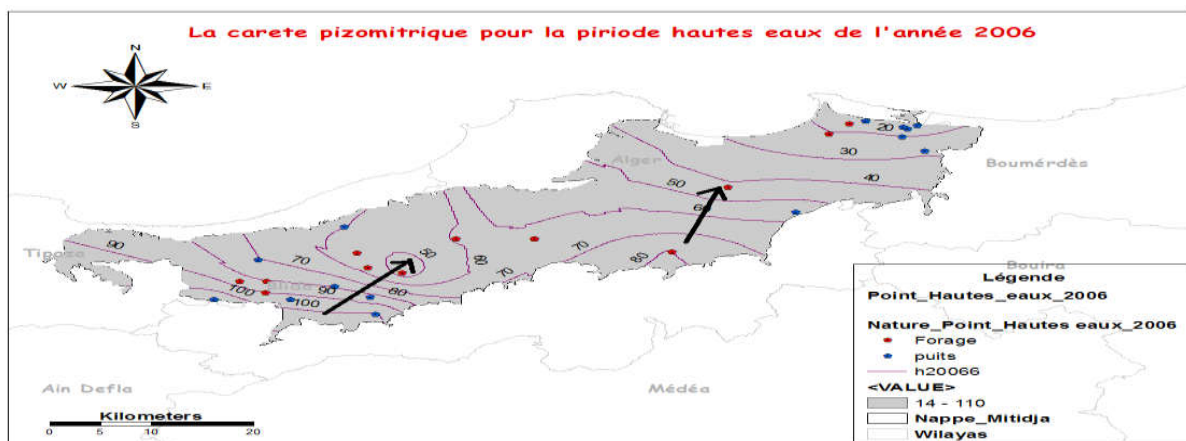


Figure IV-61 : la carte piézométrique de la période des hautes eaux de l'année 2006



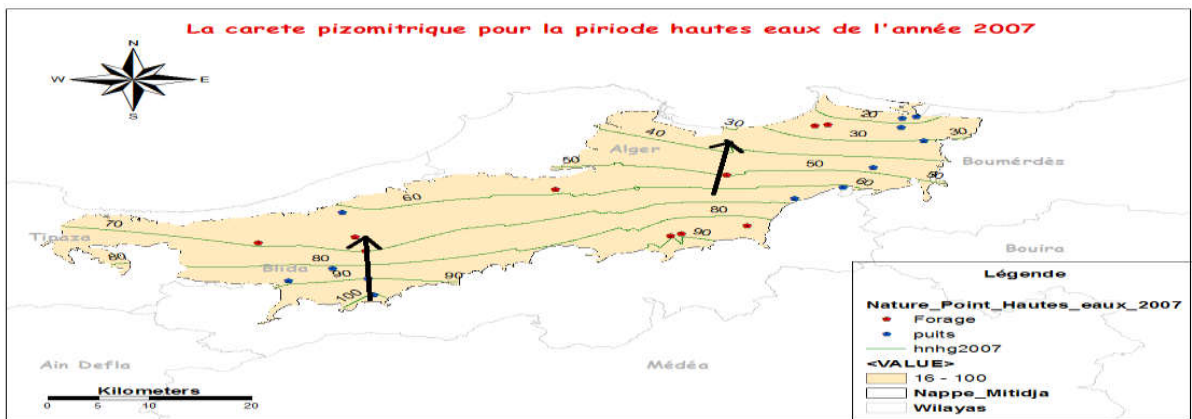


Figure IV-62 : la carte piézométrique de la période des hautes eaux de l'année 2007

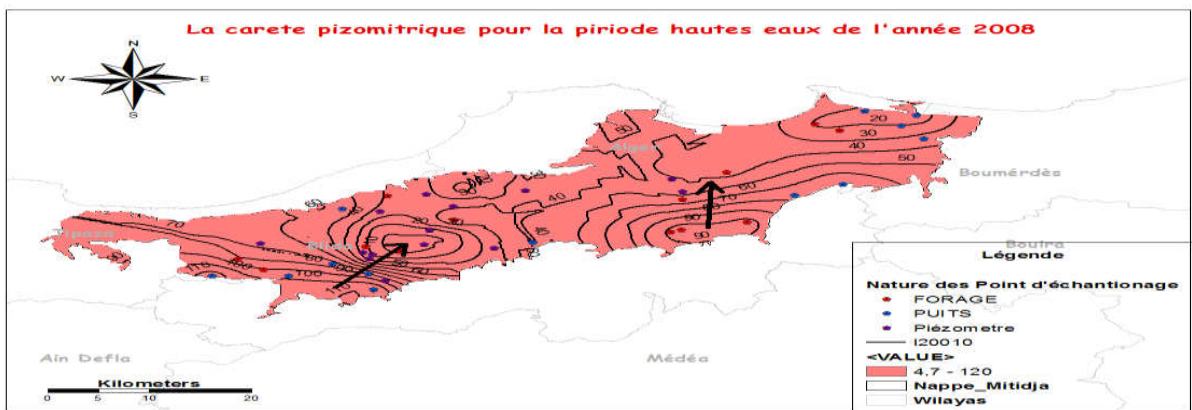


Figure IV-63 : la carte piézométrique de la période des hautes eaux de l'année 2008



Figure IV-69 : la carte piézométrique de la période des hautes eaux de l'année 2009

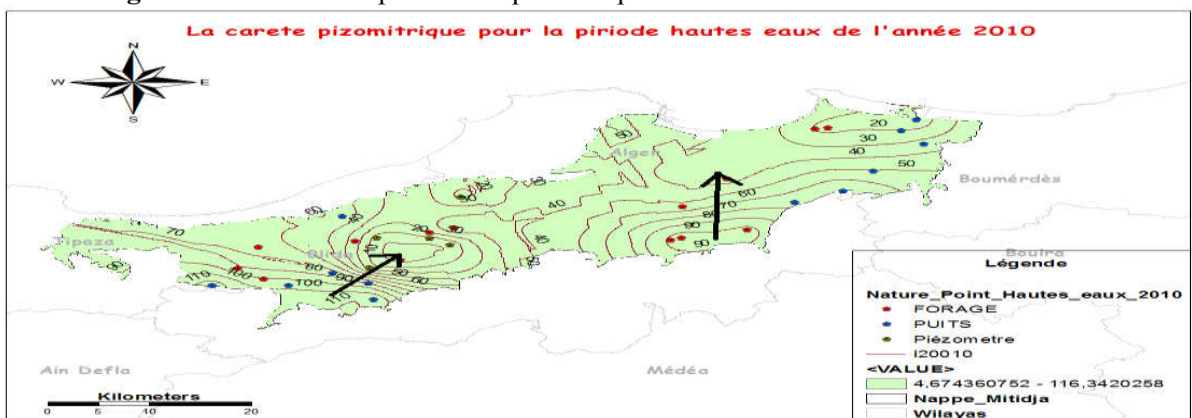


Figure IV-70 : la carte piézométrique de la période des hautes eaux de l'année 2010

**B- Interprétation de la carte piézométrique :**

- Le niveau piézométrique pendant les périodes des basses eaux vari de 5 m au bord à 120 m sur tout le flanc sud de la zone d'étude. Ce qui s'explique par les apports superficiels et ce qui exprime également le degré de transmissivité dans la zone conformément à ce qui a été dit dans la partie géologie.

- Le sens de l'écoulement observé pour toutes les cartes est comme suit :

Du Sud vers le Nord dans la partie Est de la zone

Un écoulement qui tend vers la région du côté de Ahmar El-Ain enregistré dans la partie Ouest.

Excepté la carte de 2007 où nous avons un écoulement du Sud vers le Nord à travers toute la zone.

**IV.14. Conclusion :**

Le principe majeur de la cartographie est la représentation de données sur un support réduit représentant un espace généralement tenu pour réel. L'objectif de la carte, c'est une représentation concise et efficace, la simplification de phénomènes complexes.

Dans notre cas la cartographie avec la procédure multiparamétrique par l'utilisation de la géostatistique nous a permis de mieux décrire et répertorier la qualité des eaux souterraines de la Mitidja ainsi que leur aptitude à l'irrigation.

Au terme de cette étude géostatistique, il vient à conclure que les éléments ayant une influence sur la dégradation de la qualité des eaux souterraines de la Mitidja sont :

Les Nitrates dont la teneur au fil des années nous rend compte du danger imminent de la pollution à travers presque toute l'étendue de la plaine. Ce problème est peut être du aux apports abusifs en engrais et pesticides dans les régions à caractère agricole ; ou bien à d'éventuels rejets non contrôlés que ça soit dans des zones agglomérées ou à caractère industriel.

D'après les carte krigées de CE et SAR on peut synthétiser qu'il y a un problème de salinité sur toute la plaine surtout la région littorale située dans la Baie d'Alger au nord-est de la plaine présente un réel danger de salinité a cause de l'intrusion des eaux salées.

On remarque une certaine diminution des valeurs de concentration en quelques éléments dans certaines régions les plus contaminées (la région NE de la zone), pendant la période des hautes eaux.

# **Conclusion Générale**

## Conclusion générale

Le travail présenté a eu pour fin l'évaluation de la qualité des eaux souterraines de la Mitidja et leur aptitude à être utilisée que ça soit pour la potabilité ou pour l'irrigation ; et ce durant une période d'observation s'étalant sur cinq (05) ans : de 2006 à 2010 portant chacune sur deux épisodes : hautes et Basses eaux.

Cette présente étude est fondée sur l'analyse de la variabilité spatiale de huit (08) éléments majeurs (quatre anions et quatre cations) rajouté à cela que le SAR et la conductivité électrique, ainsi que la distribution et l'estimation spatiale de ces paramètres.

Pour parvenir à cette fin, nous avons utilisé la géostatistique comme un moyen qui permet d'avoir une idée fixe sur la structure des variables en question, et bien entendu de pouvoir les visualiser et les interpréter par Krigeage.

L'étude a montré aussi que le faciès prédominant au cours des deux années est le faciès chloruré calcique, mais on signale la présence du faciès sulfaté également.

D'après les carte krigées de CE et SAR on peut synthétiser qu'il y a un problème de salinité sur toute la plaine surtout la région littorale située dans la Baie d'Alger au nord-est de la plaine présente un réel danger de salinité a cause de l'intrusion des eaux salées.

D'une façon générale les anions et les cations ont montré une forte variabilité, et la répartition géographique de ces éléments est presque semblable à l'exception des nitrates dont la teneur au fil des années nous rend compte du danger imminent de la pollution à travers presque toute l'étendue de la plaine. Ce problème est peut être du aux apports abusifs en engrais et pesticides dans les régions à caractère agricole ; ou bien à d'éventuels rejets non contrôlés que ça soit dans des zones agglomérées ou à caractère industriel.

La partie Nord-est de la Mitidja s'avère la plus vulnérable à la salinité du fait que les teneurs de quelques éléments dépassent largement la norme internationale donnée par la FAO.

On remarque aussi, d'après l'analyse de ces cartes, qu'il n'ya pas eu d'évolution franche au cours des années sauf pour quelques éléments (Nitrates, Magnésium, CE et SAR) où nous avons enregistré une légère hausse au cours des périodes de basses eaux des deux années 2006 et 2009, ce qui est du à la diminution des précipitations durant les mêmes périodes.

Enfin, il vient de conclure que l'application de la cartographie multiparamétrique a donné des résultats acceptables car cette combinaison a permis de caractériser l'évolution de la qualité des eaux de la Mitidja pendant cinq années et dix périodes.

Ainsi ce projet constituera un outil d'aide de prise de décision concernant l'exploitation de la ressource du point de vue qualité et risque de contamination, que ça soit pour la santé humaine ou l'utilisation de celle-ci pour des fins agricoles.



# Annexes

## Annexe I

**Tableau 01** : Classe de salinité de l'eau.

Classe	Description
<b>C1</b> : $CE \leq 0,25$ dS/m	Eau non saline, utilisée pour l'irrigation de la plupart des cultures et sur différents sols.
<b>C2</b> : $0,25 < CE \leq 0,75$ dS/m	Eau à salinité moyenne, utilisée avec un léger lessivage
<b>C3</b> : $0,75 < CE \leq 2,25$ dS/m	Eau à forte salinité, utilisée pour les sols à drainage restreint, même avec un bon drainage
<b>C4</b> : $2,25 < CE \leq 5,00$ dS/m	Eau à très forte salinité inutilisable pour l'irrigation.
<b>C5</b> : $5,00 < CE \leq 20,0$ dS/m	Eaux à salinité excessive.

(Source : Durant, 1983)

**Tableau 02** : Classement de la qualité de l'eau en fonction du danger d'alcalinisation.

(Classification USDA)

Classe	Interprétation
<b>S1</b> : $0 < SAR \leq 10$	Eaux utilisables pour l'irrigation de presque tous les sols. Danger d'alcalinisation réduit, bien que certaines cultures sensibles au sodium puissent être gênées.
<b>S2</b> : $10 < SAR \leq 18$	Le danger d'alcalinisation des sols est appréciable dans les sols à textures fine et à forte capacité d'échange, surtout dans la condition de faible lessivage. Eau utilisable sur les sols de texture grossière, ou sur les sols organiques ayant une bonne perméabilité.
<b>S3</b> : $18 < SAR \leq 26$	Eaux pouvant provoquer l'apparition d'une alcalinité dangereuse dans la plupart des sols, à l'exception des sols pauvres en argile. Emploi exigeant la mise en œuvre d'un aménagement spécial assurant un bon drainage et fort lessivage. L'addition de matière organique, d'amendements chimiques est souvent nécessaire.
<b>S4</b> : $SAR > 26$	Eaux souvent inutilisables pour l'irrigation, présentant un fort danger d'alcalinisation. Ces eaux sont utilisées pour l'irrigation, seulement si leur salinité permet l'addition de calcium ou si le sol en contient suffisamment.

(Source : Durant, 1983)

## Annexe I

**Tableau 03:** interprétation des classes issus de la projection sur le diagramme de RIVERSID, modifiée par Durant et Gefli (1974). (Classification USDA)

Classes	Interprétation
C1S1	Eau présentant une bonne qualité pour l'irrigation, utilisable avec précautions pour les plantes sensibles.
C1S2, C2S1	Eau de qualité bonne à moyenne a utilisé avec précaution pour les sols mal drainés et pour les plantes sensibles
C1S3, C2S2, C3S1	Qualité moyenne à médiocre a utilisé avec précaution ; nécessite un drainage avec des doses de lessivage et/ou apport de gypse.
C1S4, C2S3, C3S2, C4S1	Eau de qualité médiocre à mauvaise, utilisée avec précaution pour les sols lourds et les plantes sensibles, l'emploi pour les sols légers et bien drainés nécessite une dose de lessivage et/ou apport de gypse.
C2S4, C4S2, C3S3	Eau de qualité très mauvaise utilisée que pour les sols légers et bien drainés et pour les plantes résistantes avec nécessité de doses de lessivages et/ou apport de gypse.
C3S4, C4S3	Qualité très mauvaise a n'utilisé que pour les circonstances exceptionnelles.
C4S4	Eau déconseillée pour l'irrigation.

(Source : Durant, 1983)

**Tableau 04 :** Les normes des eaux d'irrigation fixée par la FAO (Bulletin N°24)

Paramètre de l'eau	Symbole	Unité	Valeur maximale admissible
Conductivité électrique	CE	dS/m	3
Total des sels dissous	TDS	mg/l	2000
Calcium	Ca <sup>++</sup>	mg/l	400
Magnésium	Mg <sup>++</sup>	mg/l	60,75
Sodium	Na <sup>+</sup>	mg/l	920
Carbonates	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	3
Bicarbonates	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	610
Chlore	Cl	mg/l	1065
Sulfates	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	mg/l	960
Nitrates	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	10
Ammonium	NH/	mg/l	5
Phosphate	PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	mg/l	2
Potassium	K	mg/l	2
Acidité	pH		6- 8,5
Coefficient d'absorption du sodium	SAR		15
Bor	B	mg/l	2

*Annexe I*

**Tableau 05** : Classification proposée par un groupe de chercheurs américains (AYERS, ASCE 1977, IR 2 pp. 135-154) Université de Californie

Problème d'irrigation	Unité	Degré de restriction à l'usage		
		aucune	modérée	sévère
<b>Salinité</b>				
<b>Ec<sub>w</sub></b>	<b>ds/m</b>	<b>0.7</b>	<b>0.7-3.0</b>	<b>&gt; 3</b>
<b>TDS</b>	<b>mg/l</b>	<b>&lt; 450</b>	<b>450-2000</b>	<b>&gt; 2000</b>
<b>Infiltration'</b>				
<b>SAR 0 à 3</b>	<b>et l'Ec</b>	<b>&gt; 0.7</b>	<b>0.7-0.2</b>	<b>&lt; 0.2</b>
<b>3 à 6</b>		<b>&gt;1.2</b>	<b>1.2-0.3</b>	<b>&lt; 0.3</b>
<b>6 à 12</b>		<b>&gt; 1.9</b>	<b>1.9-0.5</b>	<b>&lt; 0.5</b>
<b>12 a 20</b>		<b>&gt; 2.9</b>	<b>2.9-1.3</b>	<b>&lt; 1.3</b>
<b>20 à 40</b>		<b>&gt; 5.0</b>	<b>5.0-2.9</b>	<b>&lt; 2.9</b>
<b>Toxicité spécifique</b>				
<i>\Par absorption racinaire</i>				
<b>irrigation de surface</b>				
<b>Sodium (évaluer par SAR)</b>	<b>SAR</b>	<b>&lt; 3.0</b>	<b>3.0-9.0</b>	<b>&gt; 9.0</b>
<b>Chlorure (Cl)</b>	<b>mg/l</b>	<b>&lt; 142</b>	<b>142-355</b>	<b>&gt; 355</b>
	<b>méq/l</b>	<b>&lt; 4.0</b>	<b>4.0-10.0</b>	<b>&gt; 10.0</b>
<i>Par absorption foliaire</i>				
<b>- Irrigation par aspersion</b>				
<b>Sodium (évaluer par SAR)</b>	<b>SAR</b>	<b>&lt; 3</b>	<b>&gt; 3</b>	
<b>Chlorure (Cl)</b>	<b>mg/l</b>	<b>&lt; 100</b>	<b>&gt;100</b>	
	<b>méq/l</b>	<b>&lt; 3.0</b>	<b>&gt;3.0</b>	
<b>Bore (B)</b>	<b>méq/l</b>	<b>&lt; 0.7</b>	<b>0.7-3.0</b>	<b>&gt; 3</b>
<b>Autres effets</b>				
<b>Azote (NO3-N)</b>	<b>mg/l</b>	<b>&lt; 5</b>	<b>5.0-30</b>	<b>&gt; 30</b>
<b>Bicarbonates (uniquement</b>	<b>mg/l</b>	<b>&lt; 90</b>	<b>90-520</b>	<b>&gt; 520</b>
<b>irrigation par aspersion au</b>	<b>méq/l</b>		<b>1.5-8.5</b>	<b>&gt; 8.5</b>
<b>dessus des frondaisons)</b>				
<b>PH</b>		<b>Gamme normale 6.5 -8.4</b>		

# Annexes 2

# 1. Période des basses eaux de l'année 2006

## 1.1. Modélisation des variogrammes

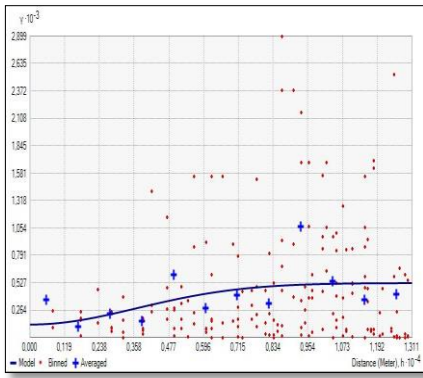


Figure 1 : Variogramme ajusté de Mg

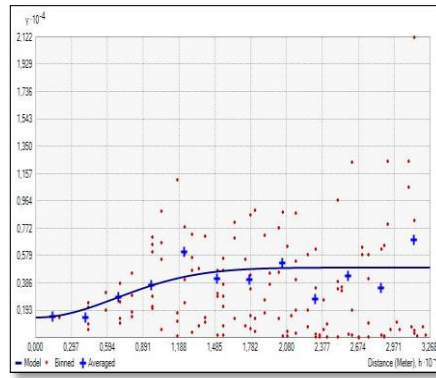


Figure 2 : Variogramme ajusté de Na

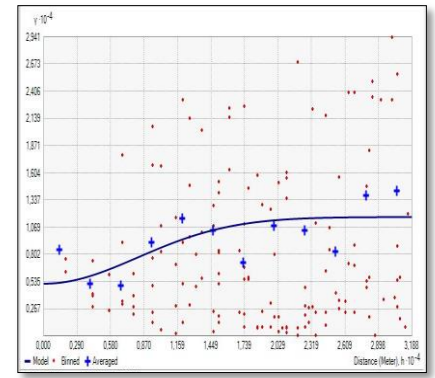


Figure 3 : Variogramme ajusté de Cl

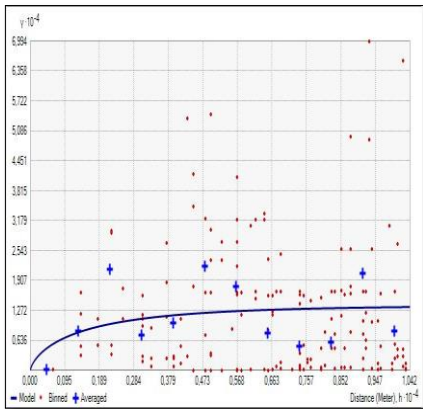


Figure 4 : Variogramme ajusté de SO4

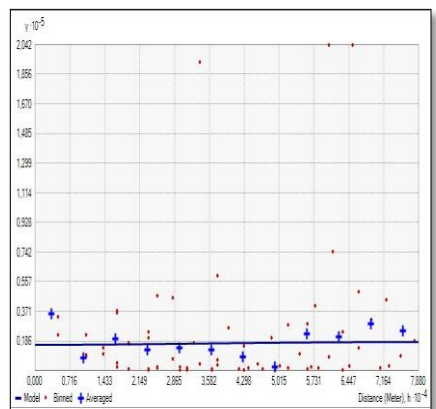


Figure 5 : Variogramme ajusté de NO3

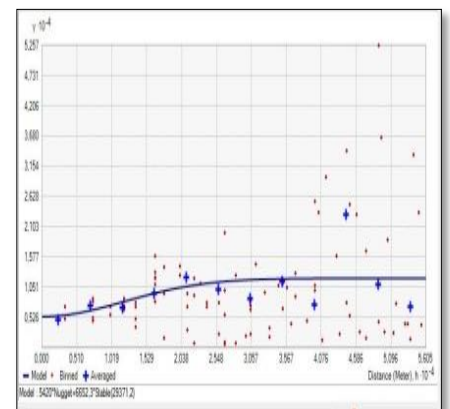


Figure 6 : Variogramme ajusté de HCO3

## 1.2. Estimation par krigeage

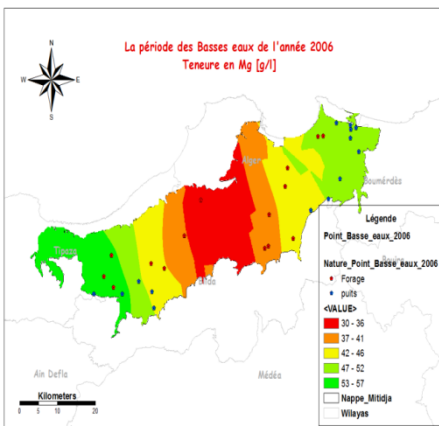


Figure 6 : Carte Krigée de Mg

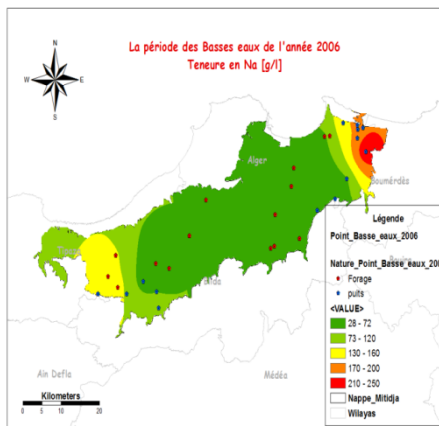


Figure 7 : Carte Krigée de Na

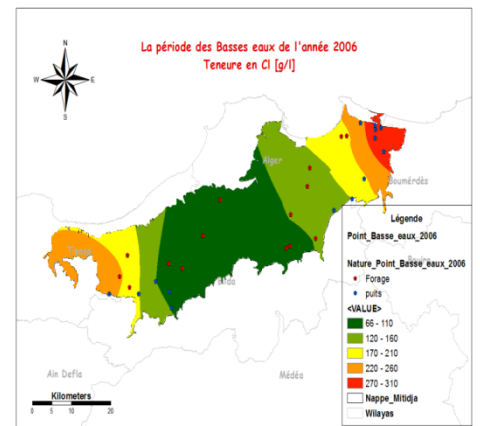


Figure 8 : Carte Krigée de Cl

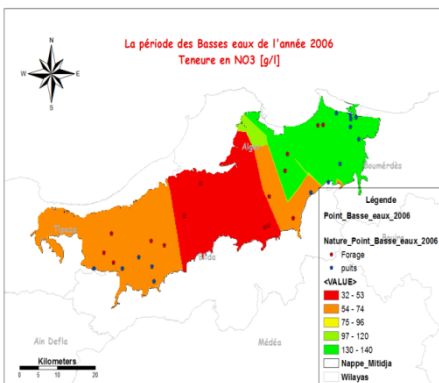


Figure 9 : Carte Krigée de NO3

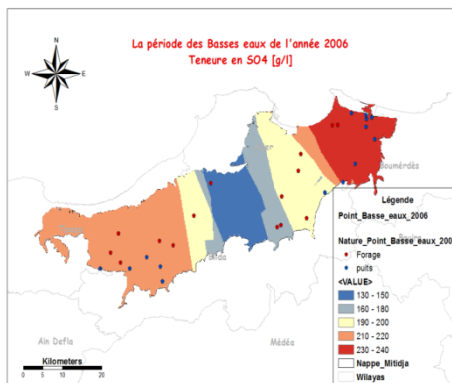


Figure 10 : Carte Krigée de SO4

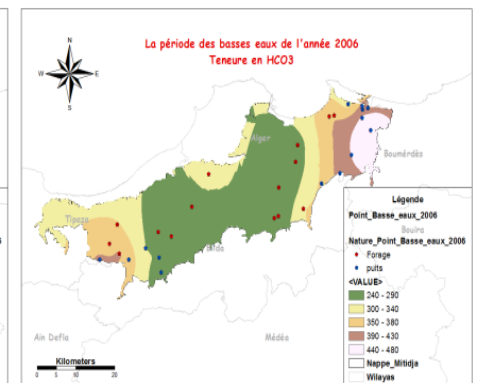


Figure 11 : Carte Krigée de HCO3

## 2. Période des hautes eaux de l'année 2006

### 2.1. Modélisation des variogrammes

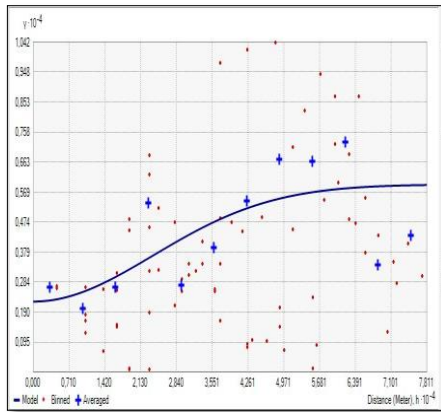


Figure 12: Variogramme ajusté de Ca

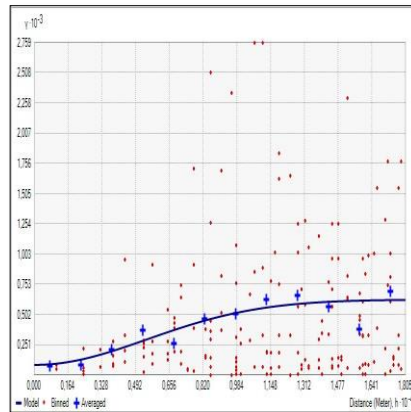


Figure 13 :Variogramme ajusté de Mg

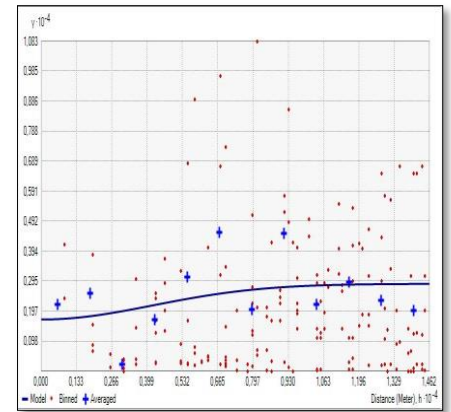


Figure 14 :Variogramme ajusté de Na

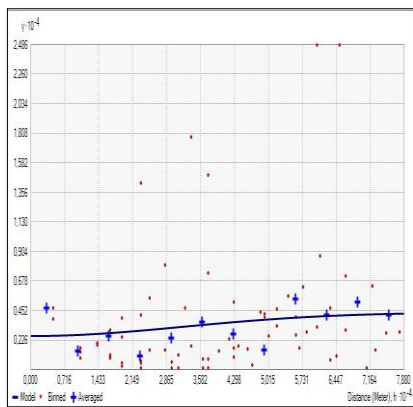


Figure 15 : Variogramme ajusté de NO3

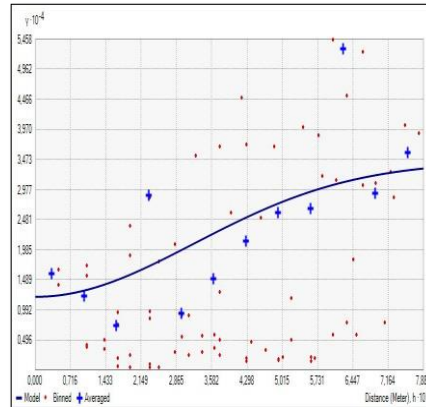


Figure 16: Variogramme ajusté de Cl

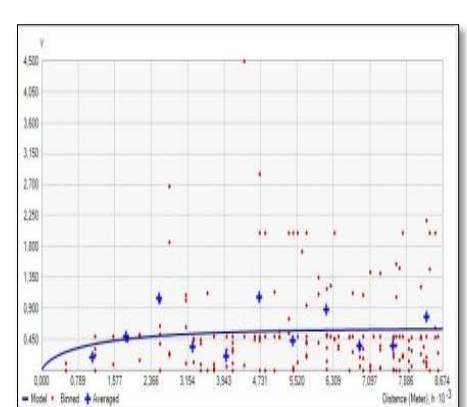


Figure 17 : Variogramme ajusté de K

### 2.2. Estimation par krigeage

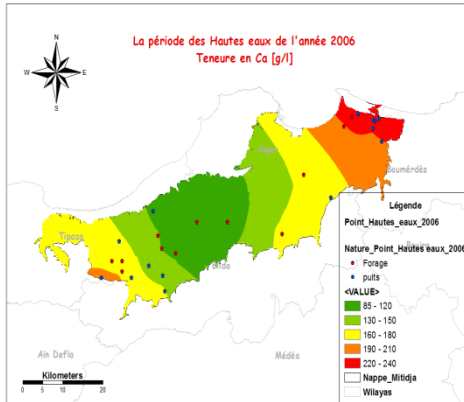


Figure 18: Carte Krigée de Ca

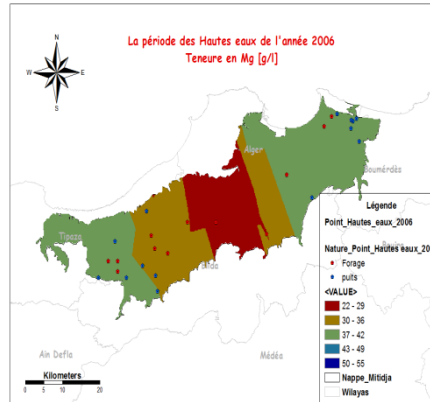


Figure 19: Carte Krigée de Mg

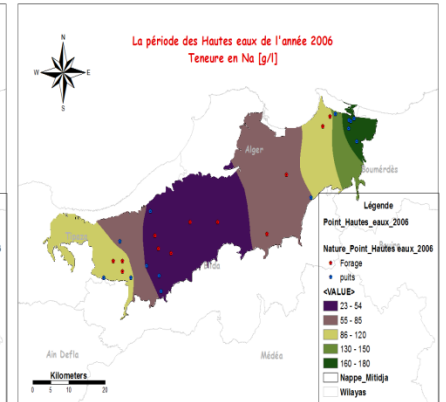


Figure 20: Carte Krigée de Na

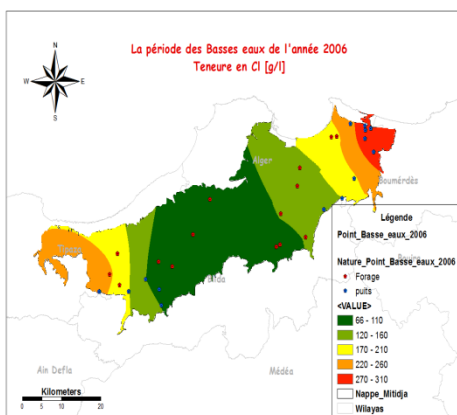


Figure 21: Carte Krigée de Cl

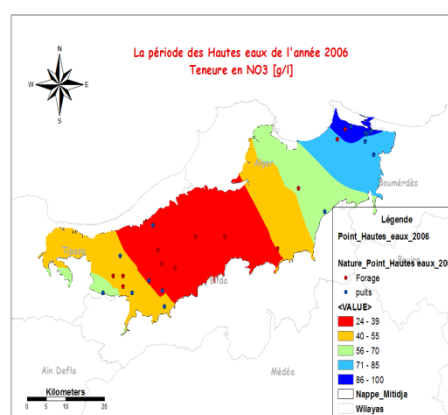


Figure 22: Carte Krigée de NO3

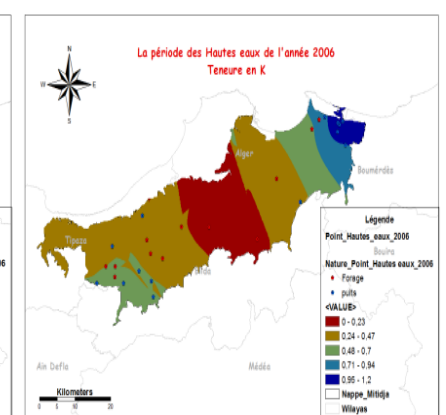


Figure 23 : Carte Krigée de K



### 3. Période des basses eaux de l'année 2007

#### 3.1 Modélisation des variogrammes

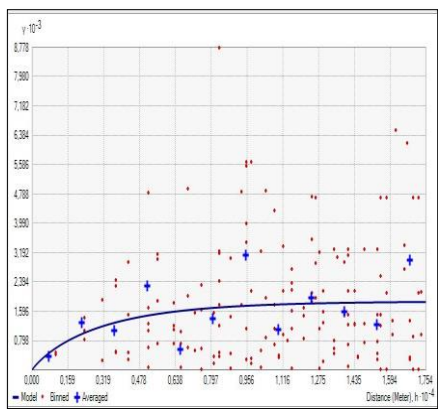


Figure 23 : Variogramme ajusté de Ca

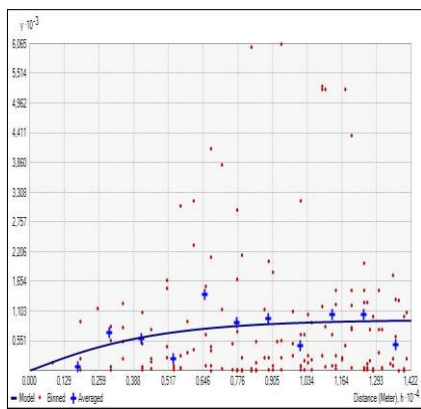


Figure 24 : Variogramme ajusté de Mg

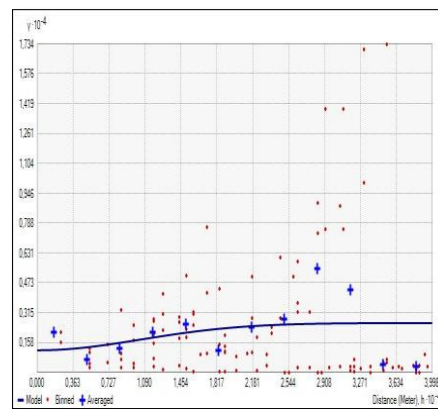


Figure 25 : Variogramme ajusté de Na

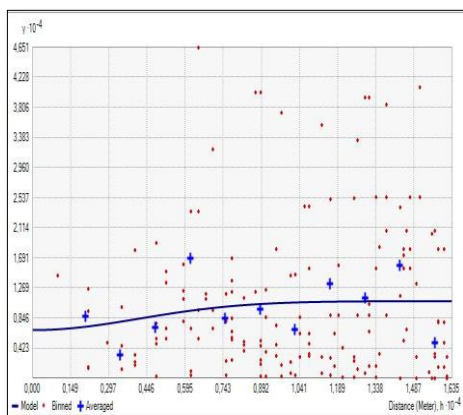


Figure 26 : Variogramme ajusté de SO4

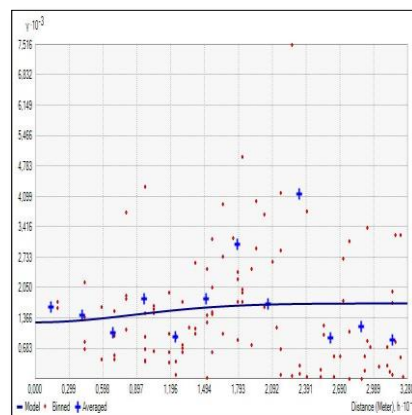


Figure 27 : Variogramme ajusté de NO3

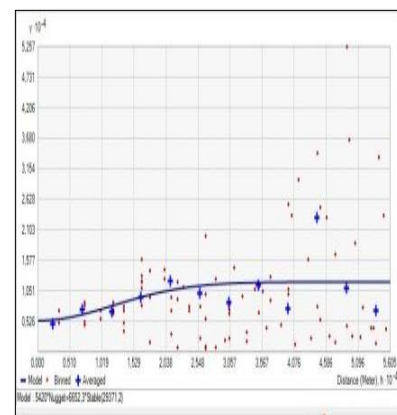


Figure 28: Variogramme ajusté de HCO3

#### 3.2. Estimation par krigeage

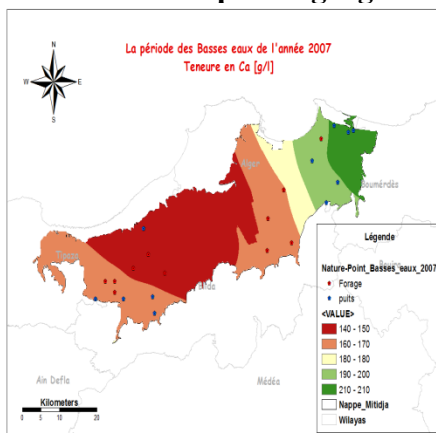


Figure 29 : Carte Krigée de Ca

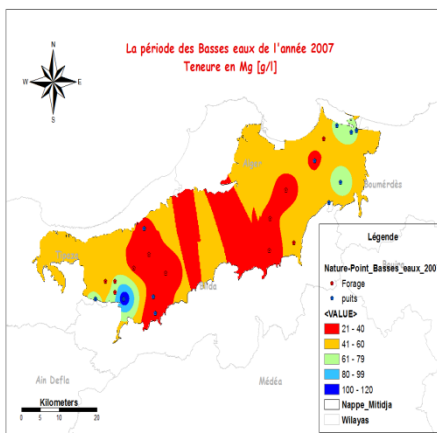


Figure 30 : Carte Krigée de Mg

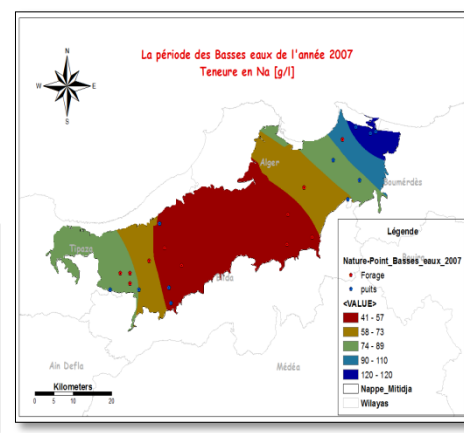


Figure 31: Carte Krigée de Na

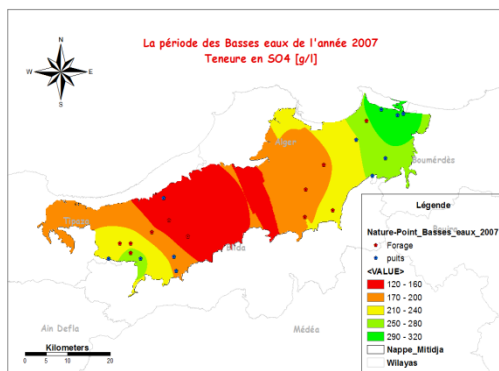


Figure 32 : Carte Krigée de SO4

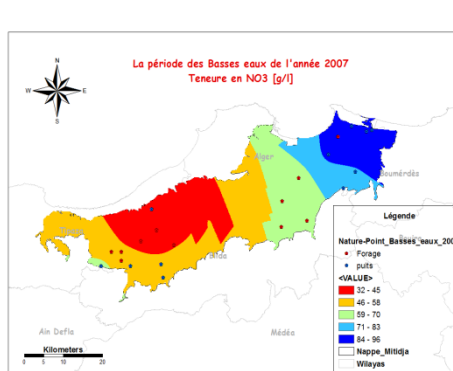


Figure 33 : Carte Krigée de NO3

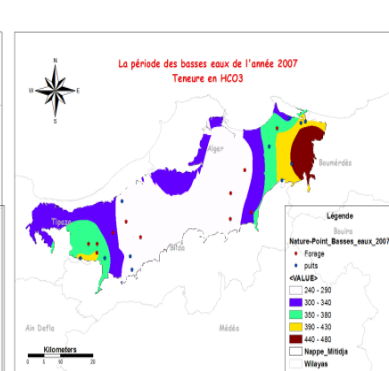


Figure 34 : Carte Krigée de HCO3

## 4. Période des hautes eaux de l'année 2007

### 4.1. Modélisation des variogrammes

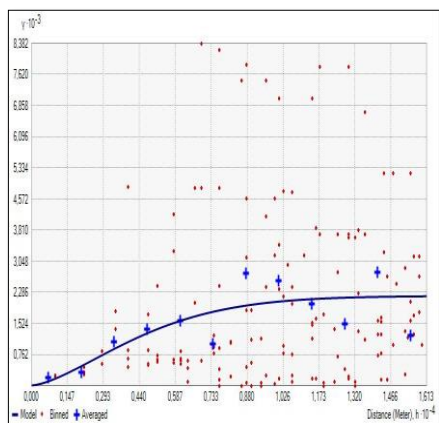


Figure 35 : Variogramme ajusté de Ca

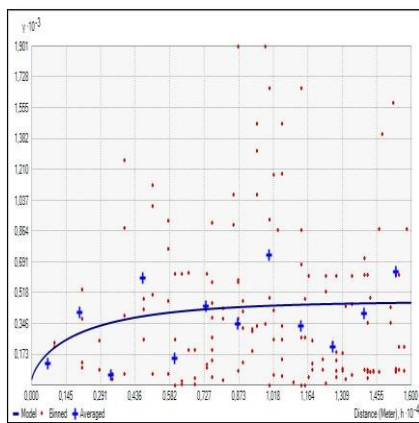


Figure 36 : Variogramme ajusté de Mg

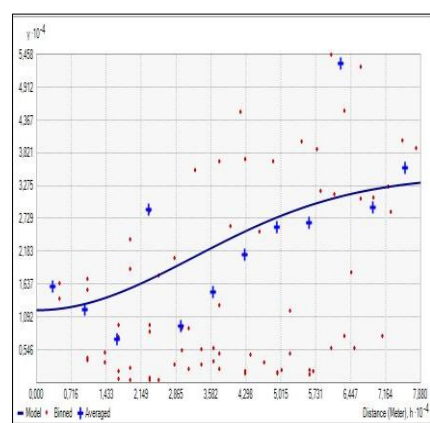


Figure 37 : Variogramme ajusté de Cl

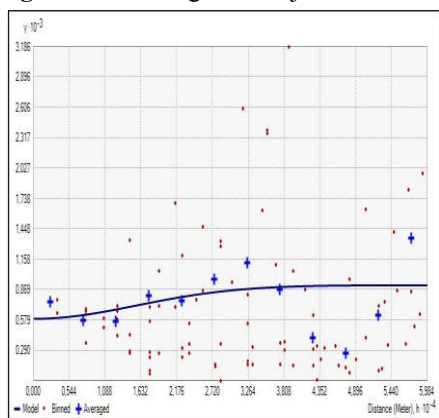


Figure 38 : Variogramme ajusté de Cl

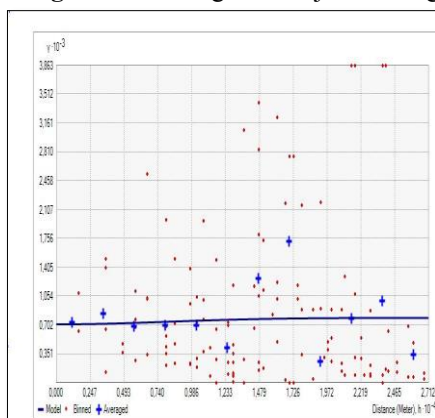


Figure 39: Variogramme ajusté de SO4

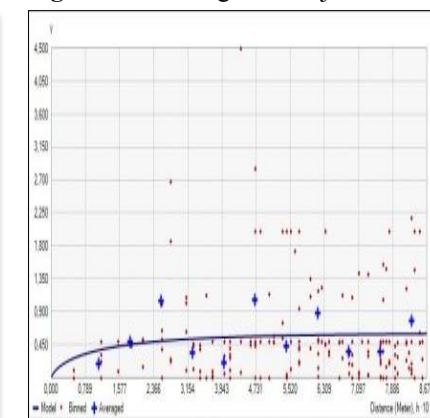


Figure 40 : Variogramme ajusté de K

### 4.2. Estimation par krigeage

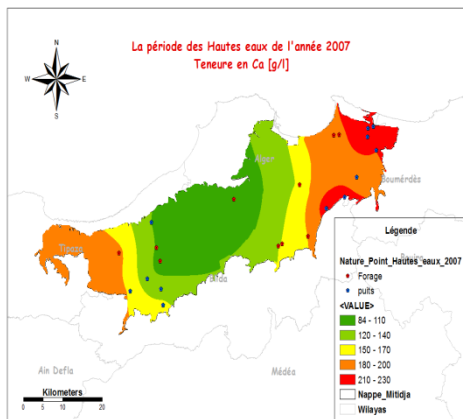


Figure 42: Carte Krigée de Ca

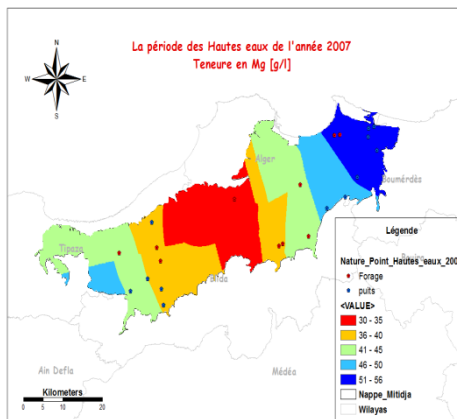


Figure 43: Carte Krigée de Mg

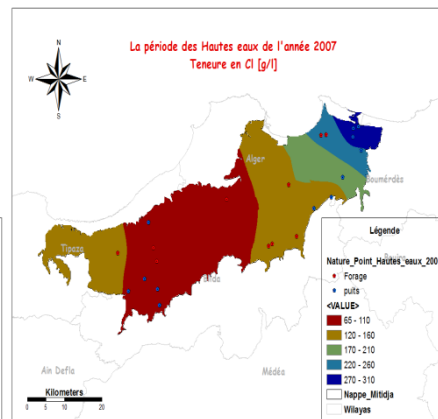


Figure 44: Carte Krigée de Cl

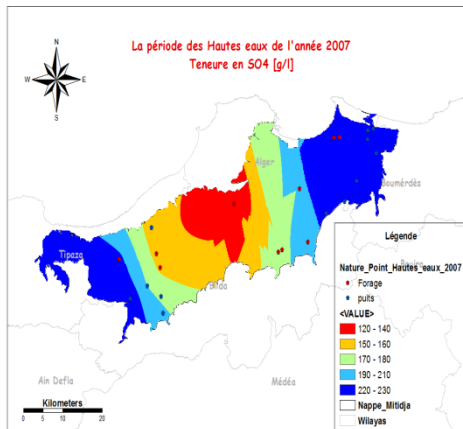


Figure 45: Carte Krigée de SO4

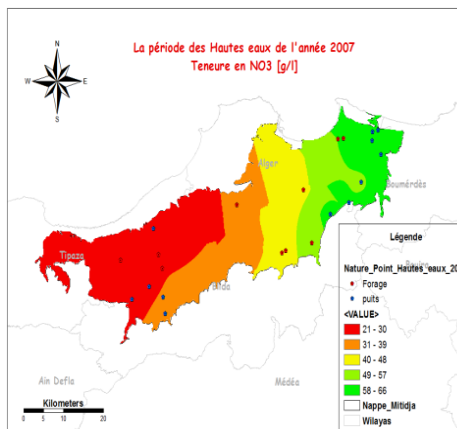


Figure 46: Carte Krigée de NO3

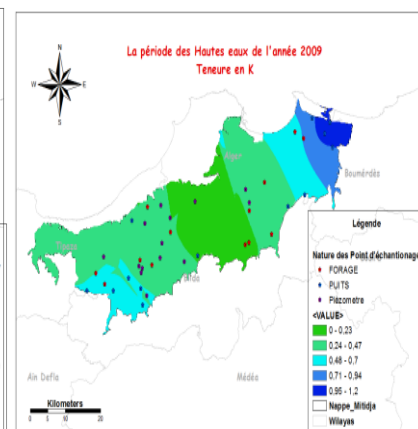


Figure 47 : Carte Krigée de K

## 5. Période des basses eaux de l'année 2008

### 5.1. Modélisation des variogrammes

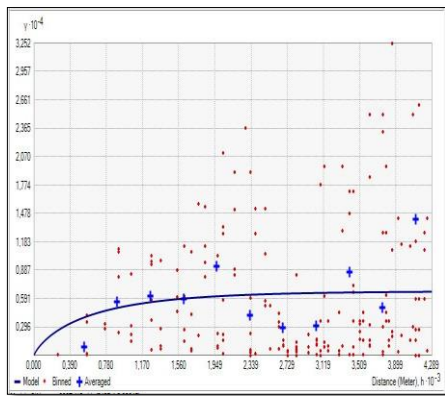


Figure 47 : Variogramme ajusté de Ca

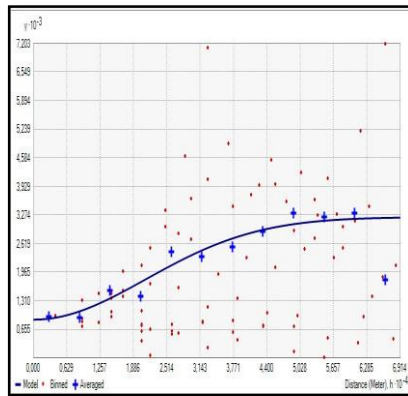


Figure 48 : Variogramme ajusté de Na

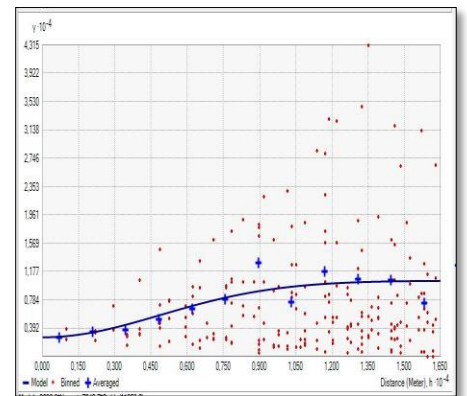


Figure 49: Variogramme ajusté de Cl

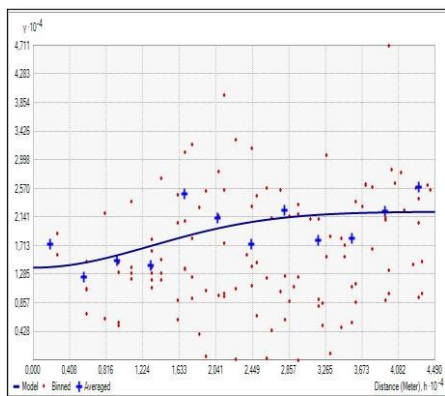


Figure 50 : Variogramme ajusté de SO4

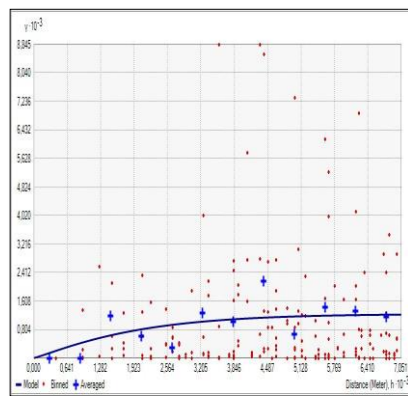


Figure 51 : Variogramme ajusté de NO3

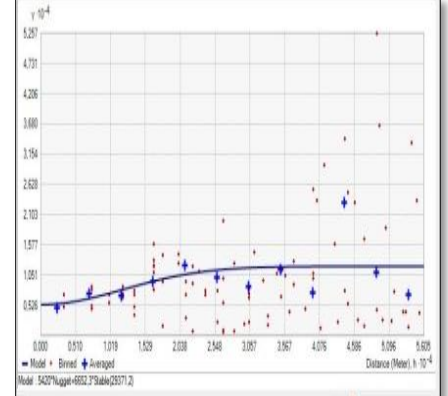


Figure 52: Variogramme ajusté de HCO3

### 5.2. Estimation par krigeage

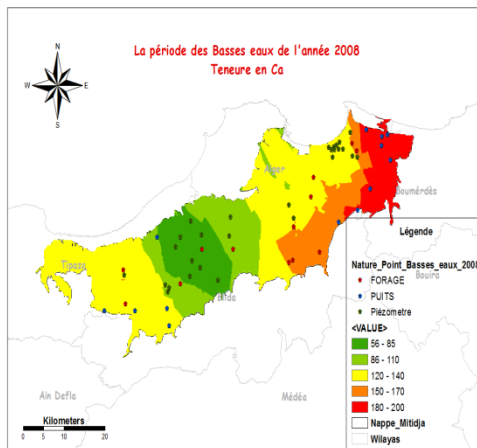


Figure 53: Carte Krigée de Ca

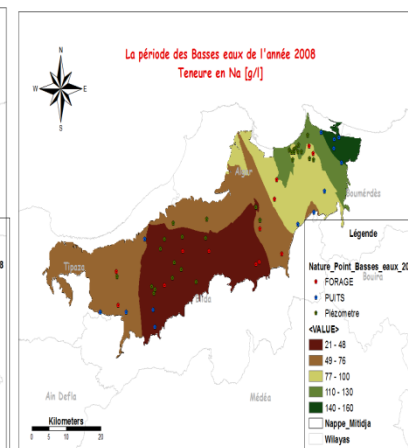


Figure 54: Carte Krigée de Na

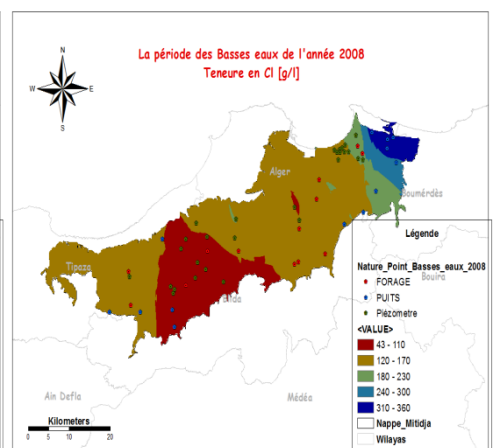


Figure 56: Carte Krigée de Cl

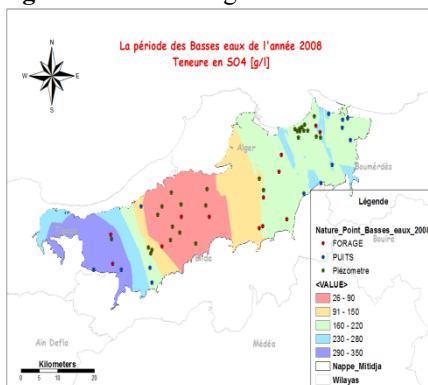


Figure 57: Carte Krigée de SO4

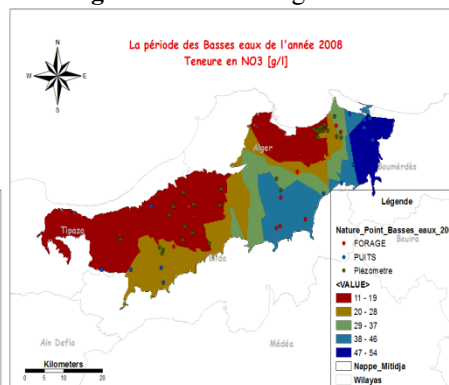


Figure 58: Carte Krigée de NO3

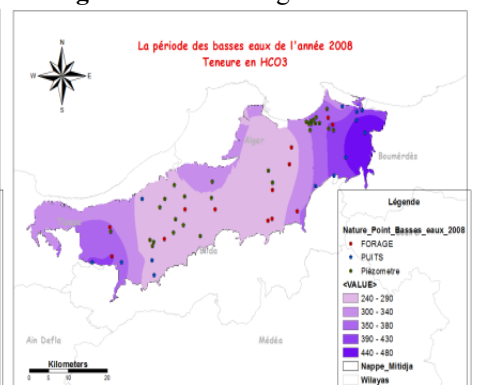


Figure 59: Carte Krigée de HCO3



## 6. Période des hautes eaux de l'année 2008

### 6.1 Modélisation des variogrammes

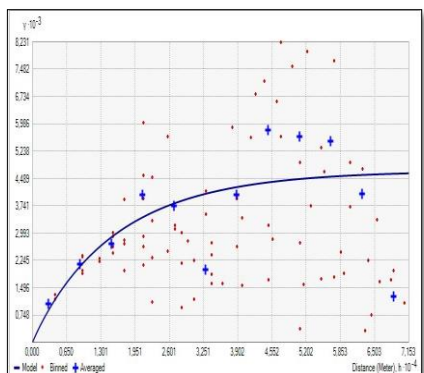


Figure 60 : Variogramme ajusté de Ca

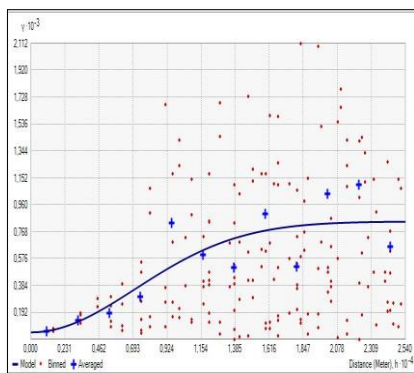


Figure 61 : Variogramme ajusté de Mg

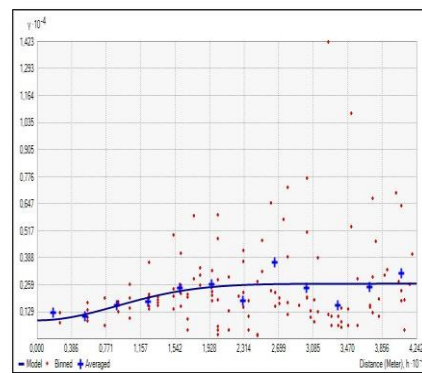


Figure 62 : Variogramme ajusté de Na

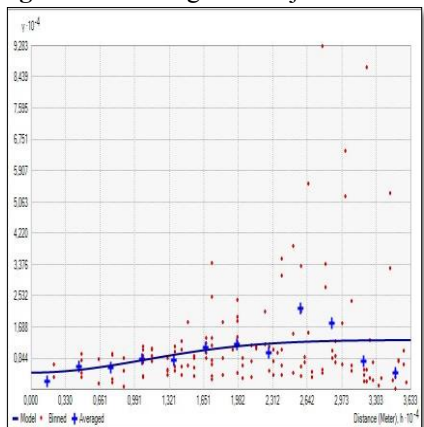


Figure 63 : Variogramme ajusté de Cl

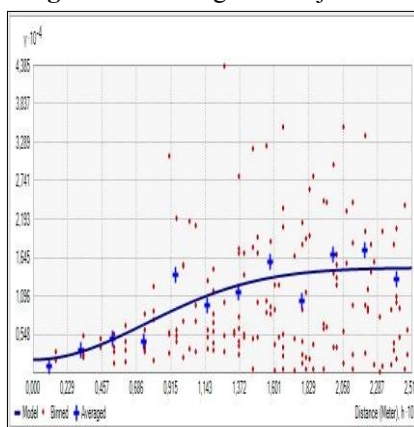


Figure 64 : Variogramme ajusté de SO4

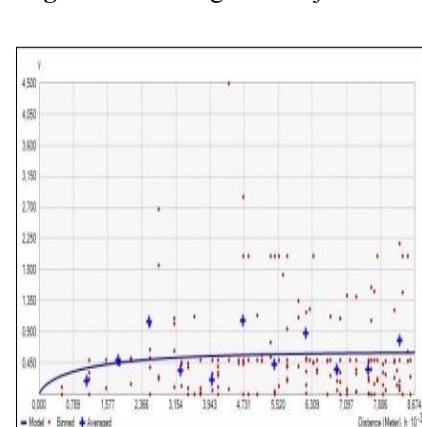


Figure 65 : Variogramme ajusté de K

### 6.2. Estimation par krigeage

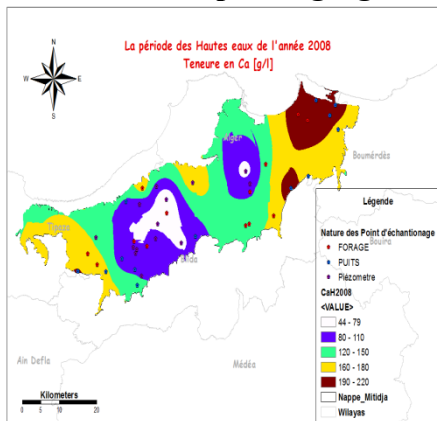


Figure 66: Carte Krigée de Ca

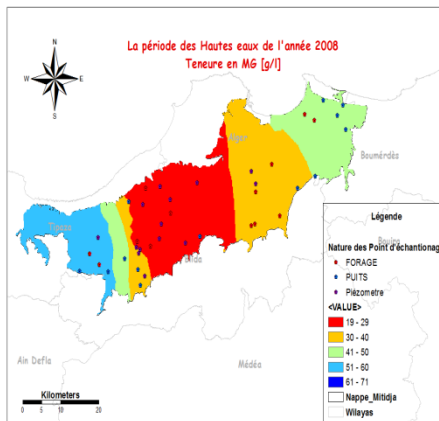


Figure 67: Carte Krigée de Mg

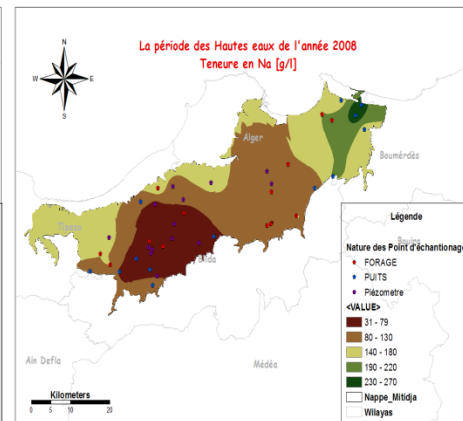


Figure 68: Carte Krigée de Na

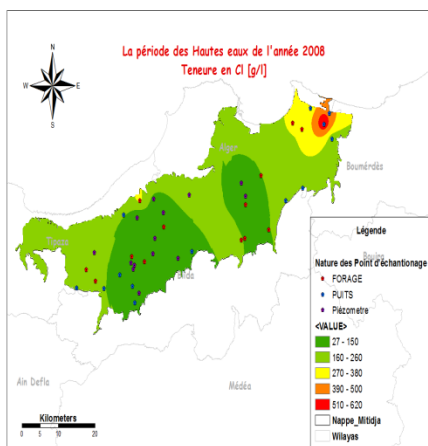


Figure 69: Carte Krigée de Cl

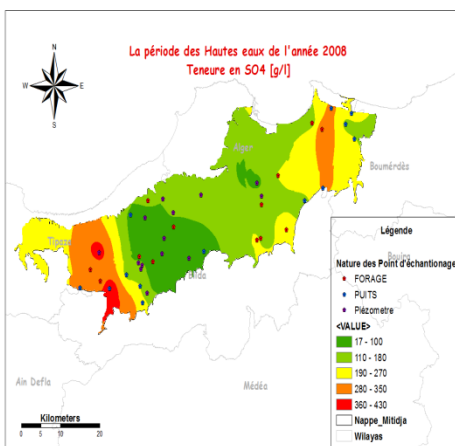


Figure 70: Carte Krigée de SO4

## 7. Période des basses eaux de l'année 2009

### 7.1 Modélisation des variogrammes

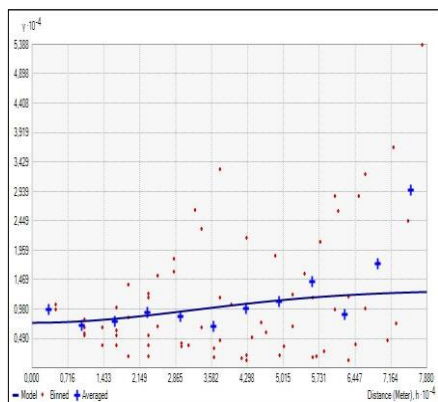


Figure 71 : Variogramme ajusté de Ca

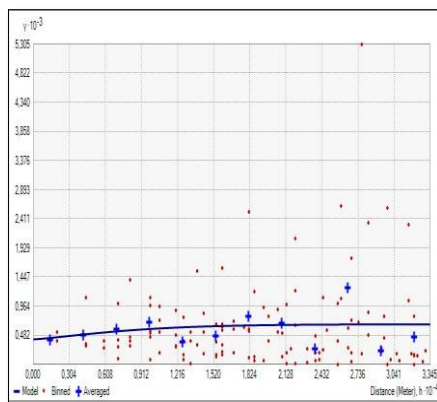


Figure 12 : Variogramme ajusté de Mg

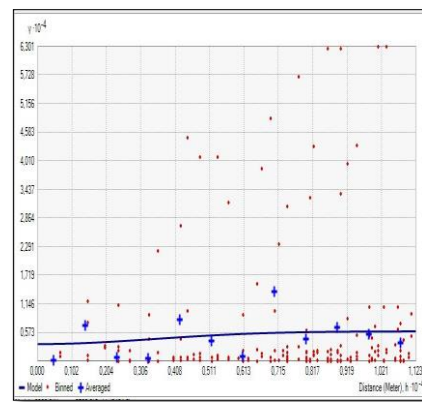


Figure 73: Variogramme ajusté de Na

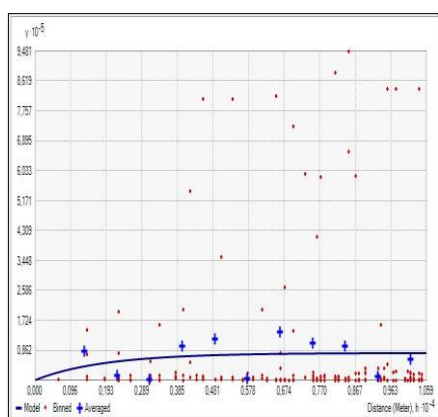


Figure 74 : Variogramme ajusté de Cl

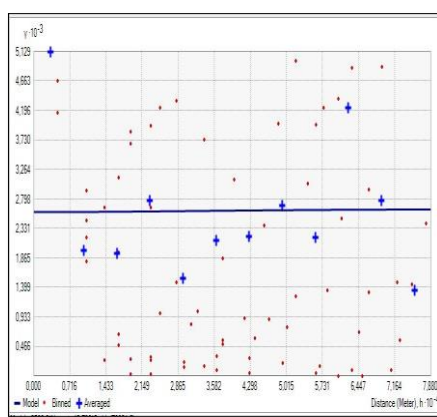


Figure 75 : Variogramme ajusté de NO3

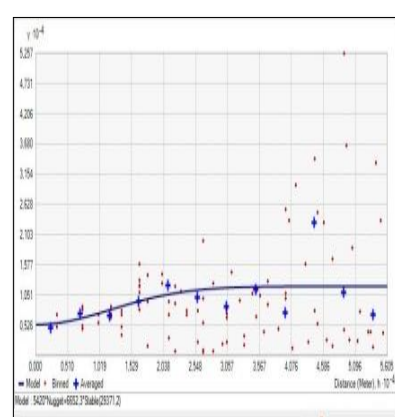


Figure 76: Variogramme ajusté de HCO3

### 7.2. Estimation par krigeage

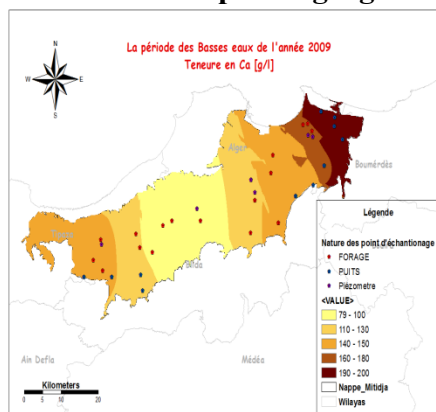


Figure 78: Carte Krigée de Ca

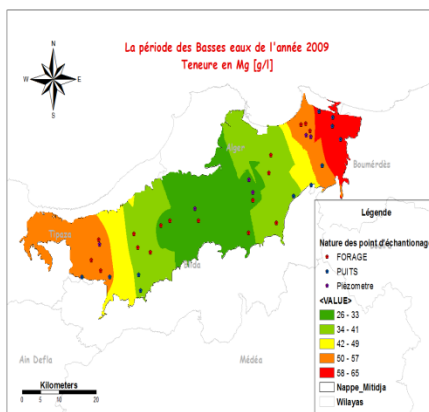


Figure 79: Carte Krigée de Mg

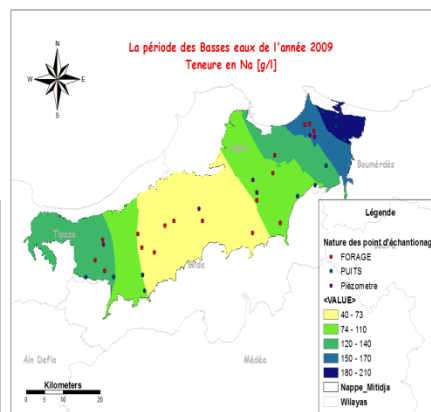


Figure 80: Carte Krigée de Na

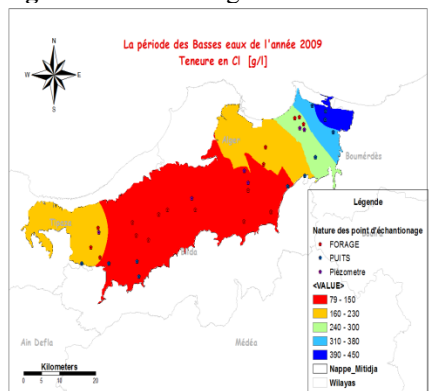


Figure 81: Carte Krigée de Cl

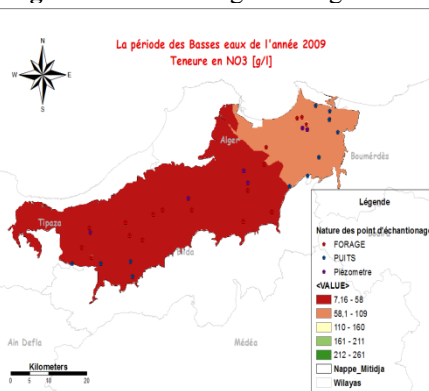


Figure 82: Carte Krigée de NO3

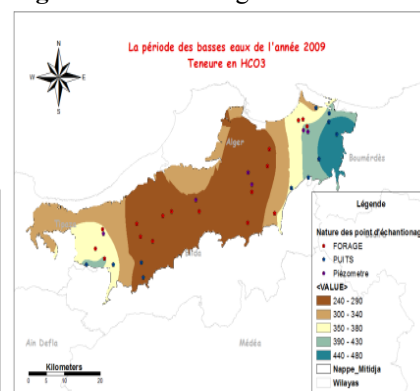


Figure 83: Carte Krigée de HCO3

## 8. Période des hautes eaux de l'année 2009

### 8.1. Modélisation des variogrammes

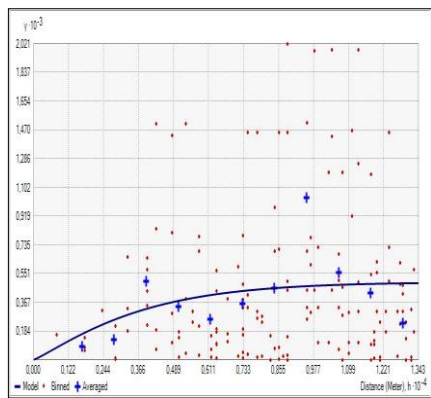


Figure 84 : Variogramme ajusté de Mg

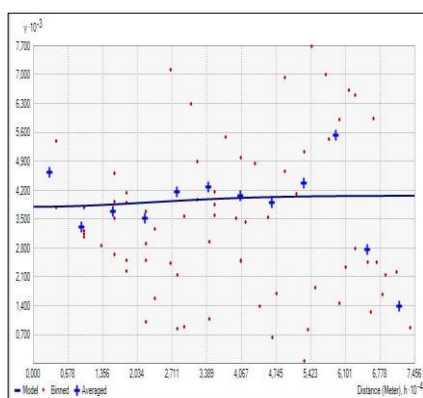


Figure 85 Variogramme ajusté de Na

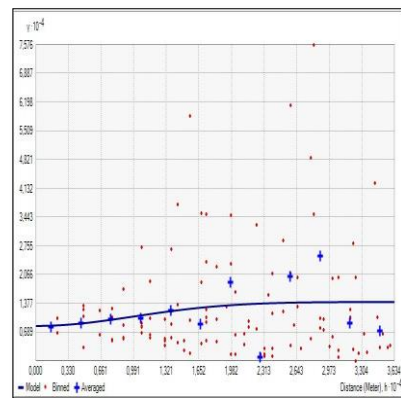


Figure 86 : Variogramme ajusté de Cl

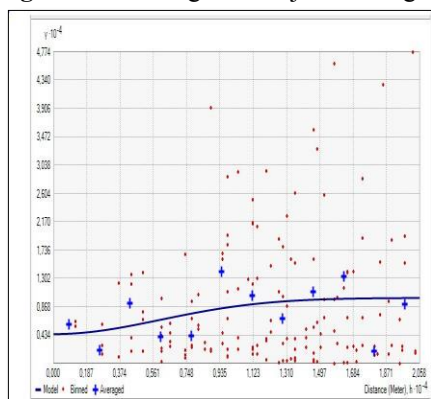


Figure 87 : Variogramme ajusté de SO4

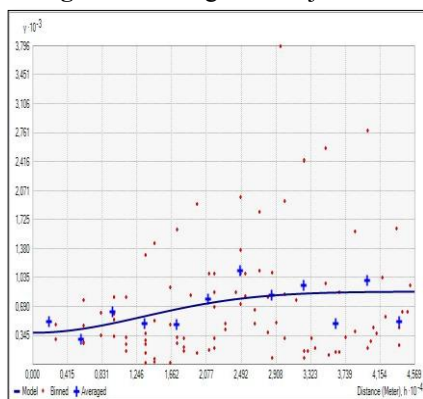


Figure 88 : Variogramme ajusté de NO3

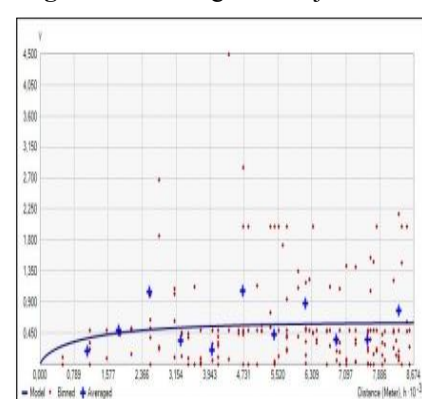


Figure 89 : Variogramme ajusté de K

### 8.2. Krigage

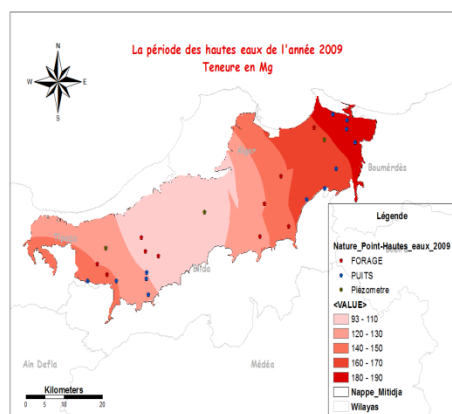


Figure 90: Carte Krigée de Mg

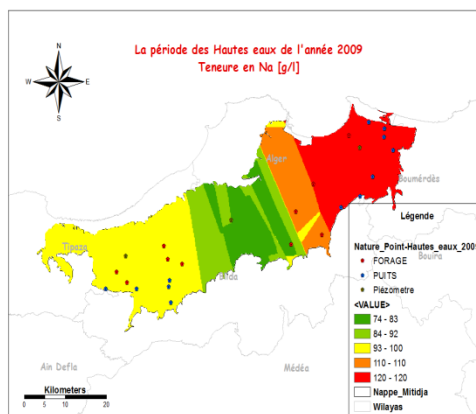


Figure 91: Carte Krigée de Na

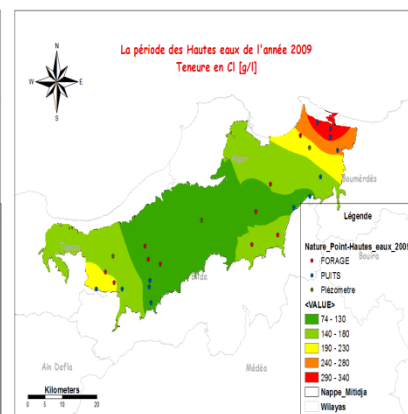


Figure 92: Carte Krigée de Cl

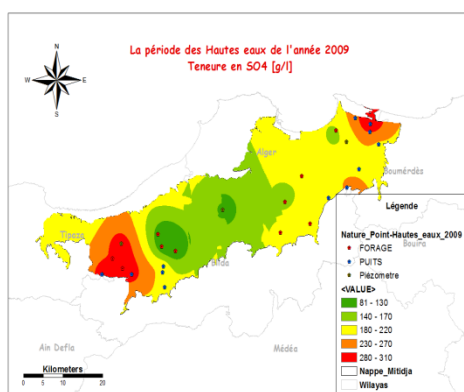


Figure 93: Carte Krigée de SO4

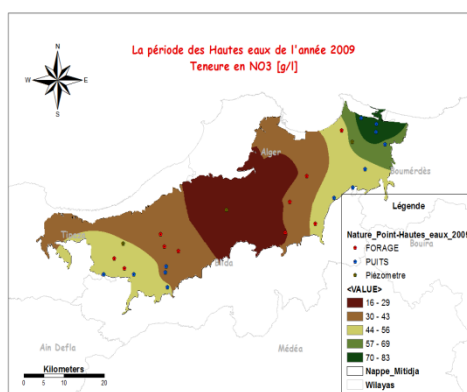


Figure 94: Carte Krigée de NO3

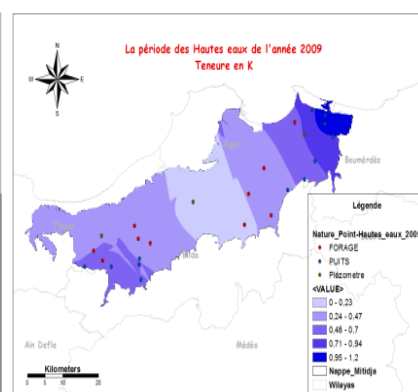


Figure 95 : Carte Krigée de K



## 9. Période des basses eaux de l'année 2010

### 9.1 Modélisation des variogrammes

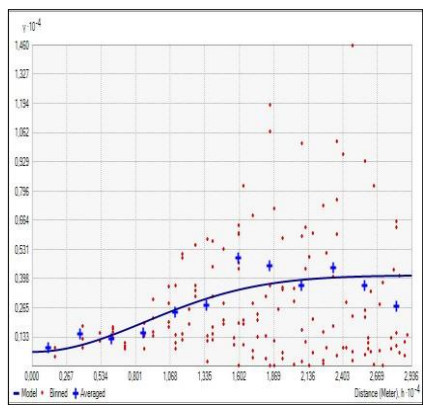


Figure 96 : Variogramme ajusté de Ca

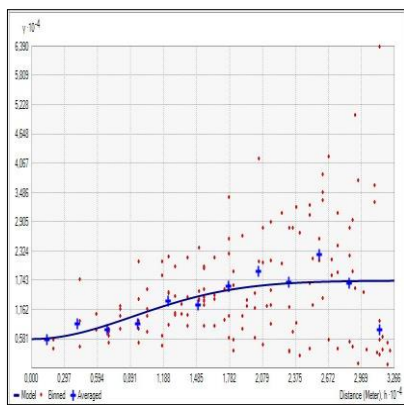


Figure 97 : Variogramme ajusté de Mg

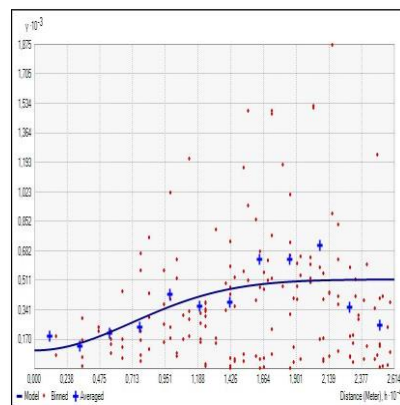


Figure 98 : Variogramme ajusté de Cl

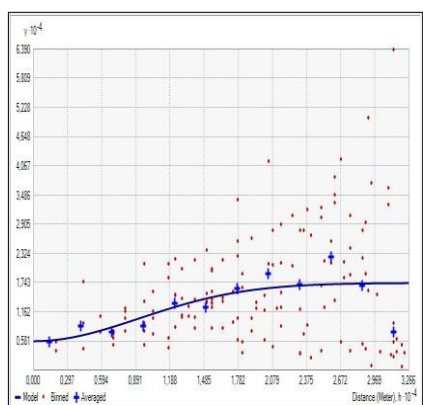


Figure 99 : Variogramme ajusté de SO4

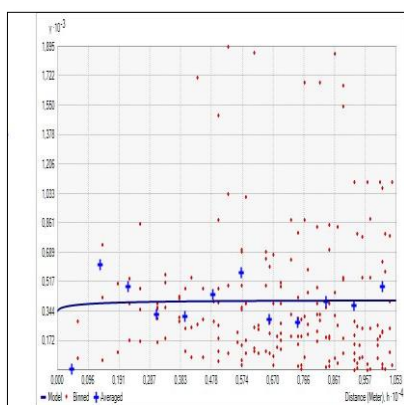


Figure 100 : Variogramme ajusté de NO3

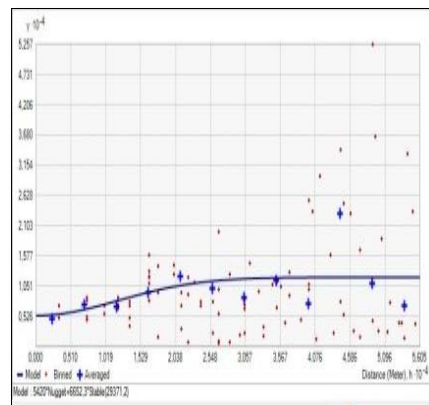


Figure 101 : Variogramme ajusté de HCO3

### 9.2. Estimation par krigeage

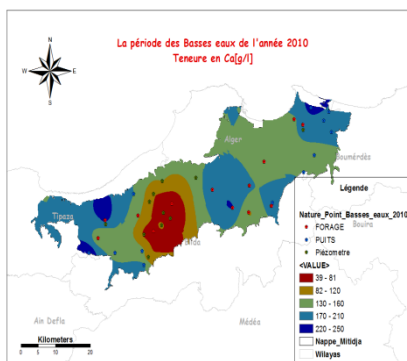


Figure 102 : Carte Krigée de Ca

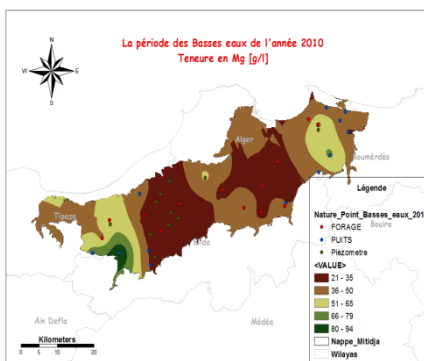


Figure 103 : Carte Krigée de Mg

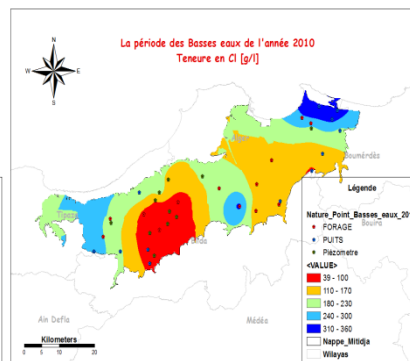


Figure 104 : Carte Krigée de Cl

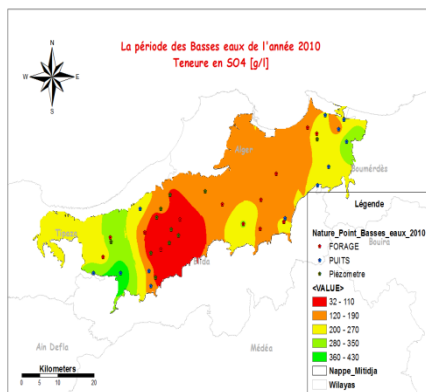


Figure 105: Carte Krigée de SO4

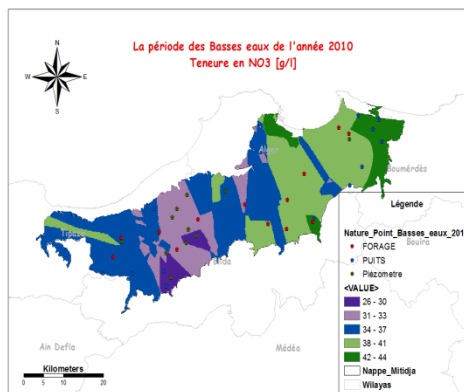


Figure 106: Carte Krigée de NO3

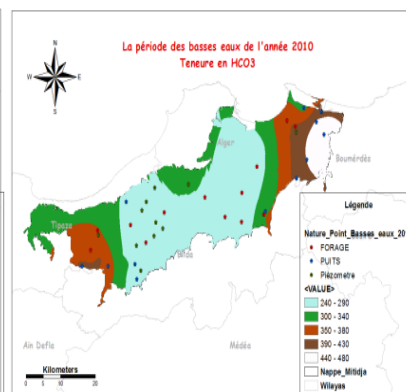


Figure 107 : Carte Krigée de HCO3



## 10. Période des hautes eaux de l'année 2010

### 10.1. Modélisation des variogrammes

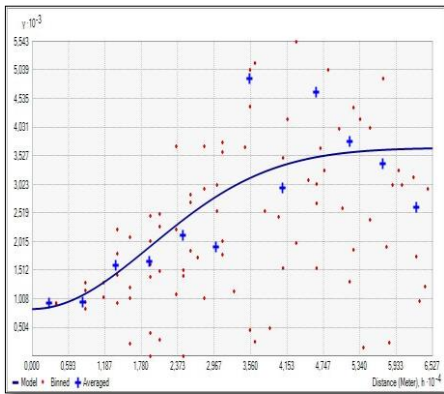


Figure 108 : Variogramme ajusté de Ca

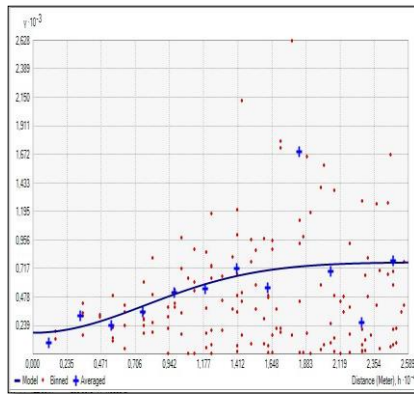


Figure 109 : Variogramme ajusté de Mg

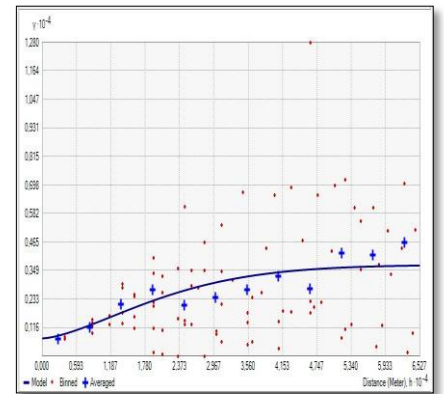


Figure 110 : Variogramme ajusté de Na

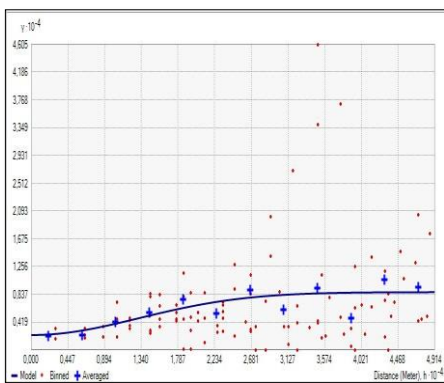


Figure 111 : Variogramme ajusté de Cl

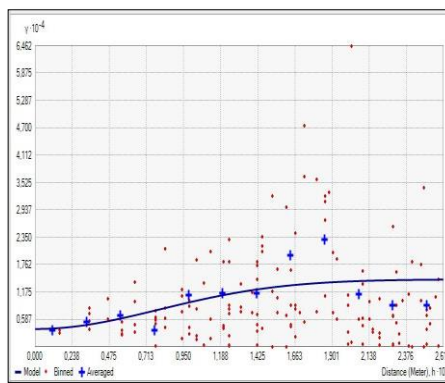


Figure 112 : Variogramme ajusté de SO4

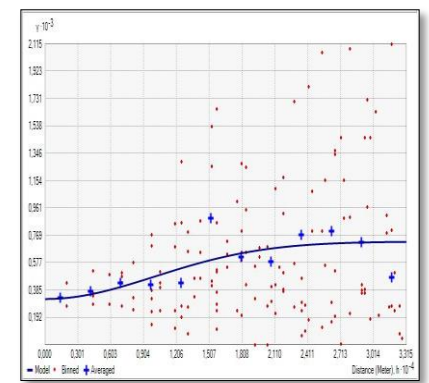


Figure 113: Variogramme ajusté de NO3

### 10.2. Estimation par krigeage

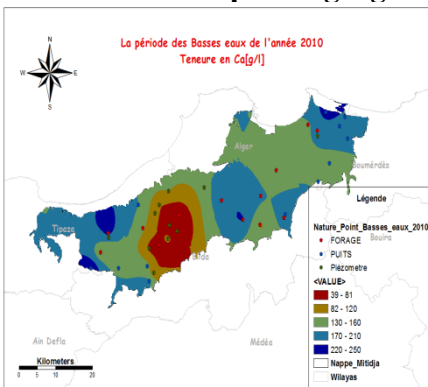


Figure 114 : Carte Krigée de Ca

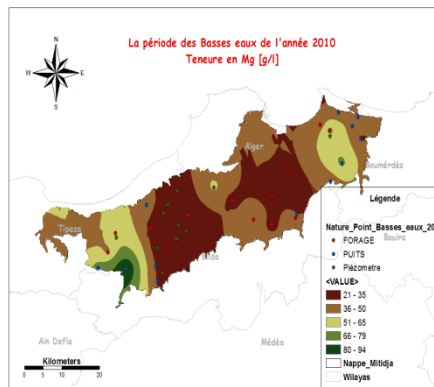


Figure 115 : Carte Krigée de Mg

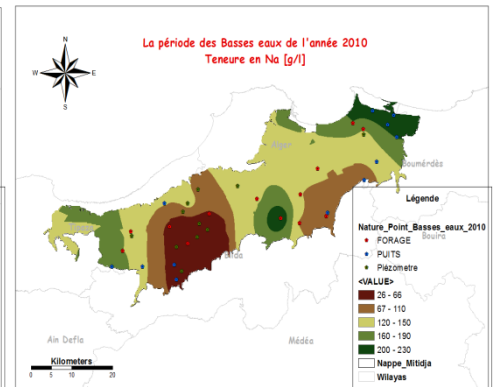


Figure 116: Carte Krigée de Na

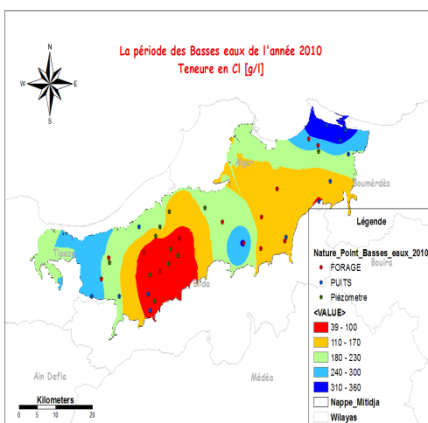


Figure 117 : Carte Krigée de Cl

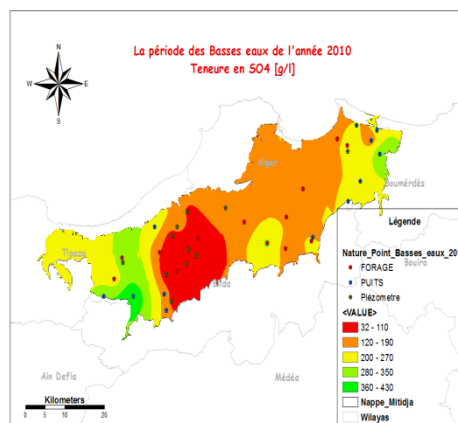


Figure 118: Carte Krigée de SO4

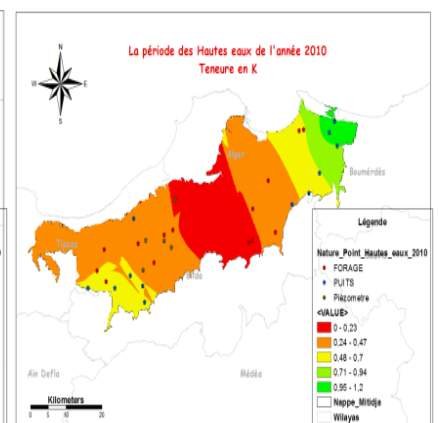


Figure 119 : Carte Krigée de K

## REFERENC BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] : ALBINET, M ; MARGAT, J ; (1971). Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines. Moscou. Symposium on groundwater pollution. Journal of Hydrology, 115, 225-245.
- [2]: AYME, A ; (1956). Contribution à l'étude de la plaine de la Mitidja occidentale et de sa bordure Atlasique. Bul .Serv .cartes. géol. D'Algérie. N° 347-362.
- [3] : BRADAI, A ; (2005). Evaluation de la qualité des eaux souterraines de la plaine du moyen Chellif Occidental-Application de la géostatistique. Mémoire de magistère Centre Univ Khemis Miliana PP.80-120.
- [4] : BELAIDI, M ; RABEHAOUI, H ; (1995-2000). Polycopie. Note sur l'évolution de la profondeur de la nappe de la Mitidja. Section surveillance des nappes. ANRH- Blida.
- [5] : DOUAOUI, A ; (2005). Variabilité spatiale de la salinité en relation avec certaines caractéristiques des sols de la plaine du Bas-Chélif Apport de la géostatistique et de la télédétection. Thèse de Doctorat.INA - Alger. PP 115 – 142.
- [6] : DURANT, J ; (1983). Les sols irrigables, Ed. ACCT – Paris, PP 70 – 95.
- [7] : Khoch, P.Les réseaux d'égout, dunod.paris, 1967.
- [8]: ELANGO, L; KANNAN, R; SENTHIL KUMAR, M; (2003). Major ion chemistry and identification of hydrogeochemical processes of groundwater in a part of Kancheepuram district, Tamil Nadu. Environmental Geosciences, 4, 157-166.
- [9]: JANARDHAN RAJU, N; (2007). Hydrogeochemical parameters for assessment of groundwater quality in the upper Gunjanaeru River basin, Cuddapah District, Andhra Pradesh, South India. Environmental Geology, 52, 1067-1074. doi: 10.1007/s00254-006-0546-0, 1993.
- [10]: J. PAGES, B ; ESCOFIER ; (1995). Analyses factorielles simples et multiples : Objectifs, méthodes et interprétation. Ed DUNOD. Paris, 220P.
- [11]: LEBART, L ; MORINEAU, A ; PIRON, M ; (2006). Statistique exploratoire multidimensionnelle. 4ème édition, DUMOND. Paris, 350P.
- [12]: MANCIOPPI LIONEL ; (2006). Impact à long terme d'irrigation sur la teneur en métaux lourds dans les sols, les récoltes, et les eaux souterraines. Agriculture, Ecosystem and Environement 76, 205-220.