

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 souterraines de la plaine de la Mitidja au cours de la période (2003/2006) et l'influence de la variabilité piézométrique.

The paper document Shelf mark (الشفرة) : 6-0013-17

APA Citation (توثيق APA):

Mehdi, Nawel (2017). Etude de l'évolution de la qualité des eaux souterraines de la plaine de la Mitidja au cours de la période (2003/2006) et l'influence de la variabilité piézométrique [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Digital Repository of ENSH aims to limit scientific production, whether published or unpublished (theses, pedagogical publications, periodical articles, books...)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 بتقييم الإنتاج العلمي لأساتذة و باحثي المدرسة.

يهدف المستودع الرقمي للمدرسة إلى حصر الإنتاج العلمي سواء كان منشورا أو غير منشور (أطروحات، مطبوعات، مبداعات، مقالات، دوريات، 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
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

DEPARTEMENT HYDRAULIQUE URBAINE

MEMOIRE DE MASTER

Pour l'obtention du diplôme master en Hydraulique

OPTION : ASSAINISSEMENT

THEME :

**Etude de l'évolution de la qualité des eaux souterraines de la plaine
de la Mitidja au cours de la période (2003/2006) et l'influence de la
variabilité piézométrique**

Présentée par :

M^{lle} : MEHDI NAWEL.

DEVANT LES MEMBRES DU JURY

NometPrénom	Grade	Qualité
M ^r SALAH BOUALEM	Professeur	Président
M ^{me} MOKRANE WAHIBA	M.A.A	Membre
M ^{me} TAFAT LEILA	M.A.A	Membre
M ^r HACHEMI ABDELKADER	M.C.A	Membre
M ^r YAHIAOUI SAMIR	M.C.A	Promoteur

Avril 2017

Remerciements

Au terme de ce travail je remercie le bon dieu qui m'a donné la force et la sagesse de mener ce travail à son achèvement.

Mon respect au président et aux membres du jury qui me feront l'honneur d'apprécier et de corriger mon travail.

*A toutes les personnes qui m'ont aidé dans l'élaboration de ce mémoire,
Zaidi abderezek (pato), Mr achref Tidjani ,Mr rachid
Merci.*

Dédicace

Je dédie ce mémoire :

A mes très chers parents avec toute ma reconnaissance.

A ma chère maman qui n'a jamais cessé de ménager ses efforts pour que j'atteigne ce niveau. Ni sacrifices, ni privations ne l'ont empêché d'accomplir son devoir de mère soucieuse de l'avenir de ses enfants.

A mon cher papa qui a su se montrer patient, compréhensif et encourageant, sa chaleur paternelle a été et sera toujours pour moi d'un grand réconfort.

A toute la famille MEHDI et la famille ESSELMA

A mes adorables sœurs : Imene ,Assia ,Chaimae ;et la petite Kaouter .

A mon cher ami :Ali Tiaouinine pour son soutien moral et encouragement

A tous mes amis de l'ENSH surtout mes chers amies ;Ghozlane ,Lidia et Bouchra

A toute personne qui a contribué de près ou de loin a ma réussite

Nawel

Résumé

ملخص

إن الاستغلال المفرط للمياه الجوفية لسهل متيجة يعود سببه إلى الهجرة والاكتظاظ من جهة؛ وإلى التغيرات الطبيعية مثل الممارسات الزراعية والتقلبات المناخية، التي سجلت خلال السنوات القليلة و التي أدت إلى انخفاض في مستويات المياه الجوفية وتغيرات في بعض الخصائص الكيميائية للمياه هذه المنطقة من ناحية أخرى .

و هذا ما يقودنا إلى طرح أسئلة حول استخدام هذه المياه سواء بالنسبة للشرب أو للري .

إن كشف تحليل نوعية المياه الجوفية يبين أن لديها جودة متوسطة ،هذه المياه تنتمي إلى نوع واحد من الفاسياس الكيميائي

وبالتالي فإن التدهور في نوعية المياه الجوفية لسهل متيجة يعود سببه إلى أصول جيولوجية و بشرية

Résumé :

La surexploitation de la nappe aquifère de la Mitidja due à l'exode et à la surpopulation d'une part ; et aux changement environnements tels que les pratiques agricoles et les fluctuations dues au climat enregistrées au cours de ces dernières années d'une autre part ont induit à des baisses des niveaux de la nappe ainsi qu'à la modification de certaines propriétés chimiques des eaux au niveau de cette zone. Ce qui laisse à poser des questions quant à l'utilisation de ces eaux que ça soit pour la potabilité ou pour l'irrigation. L'analyse de la qualité globale des eaux a montré que celles ci ont une qualité moyenne et elles appartiennent en globalité à un seul faciès chimiques : un faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien.

De même, l'étude a révélé que la dégradation de la qualité des eaux souterraines de la nappe de la Mitidja est d'origine géologique et anthropique.

Abstract :

The over exploitation of the aquifer of the Mitidja due to the exodus and the over population on the one hand; And environmental changes such as agricultural practices and climate fluctuations in recent years have led to declines in ground water levels and changes in chemical properties of Level of that area.

This leaves questions about the use of these waters for potability or irrigation.

The analysis of the overall quality of the water showed that these have an average quality and they belong in whole to a single chemical facies: a chloride and sulphated calcium and magnesium facies.

Similarly, the study revealed that the dégradation of the ground water quality of the Mitidja aquifer is of géological and anthropogenic origin.

Tables des matières

Introduction général	02
<u>Chapitre I : Généralité des eaux souterraines</u>	
PARTIE I : Quelques Définitions	04
I-1 Différentes nappes d'eau souterraines	04
I-1-1 Les aquifères en domaine sédimentaire.....	04
I-1-2 Les nappes alluviales.....	04
I-2 Captage d'eau souterraine	05
I-3 Vulnérabilité des nappes a la pollution.....	06
I-3-1 Auto-épuration biologique des eaux souterraines.....	08
Partie II : Revue bibliographique sur les études similaires	08
I-4 détermination de la qualité des eaux souterraines des nappes de la province de taza (maroc).....	08
I-4-1 Les résultats de l'analyse	09
<u>Chapitre II : Aspect General Sur Le Secteur D'étude</u>	
II-1 Introduction.....	12
II-2 La plaine de la Mitidja	12
II-3 situation géographique.....	12
II-4 Aperçu climatologique	13
II-5 Hydrologie de surface	15
II-6 La végétation.....	16
II-7 Géologie	16
II-8 Hydrogéologie	18
II-8-1 Le Substratum	18
II-8-2 L'Aquifère Astien	19
II-8-3 La nappe alluviale.....	19
II-8-4 L'alimentation.....	19
II-9 Bilan de la nappe de la Mitidja	20
II-10 Aspect socio-économique.....	20
II-10-1 Besoins en eau.....	20
II-10-2 L'agriculture	21
II-10-3 L'industrie	21
II-11 Démographie.....	21

Tables des matières

II-12 Conclusion	21
<u>Chapitre III : Méthodes et Matériels</u>	
III-1 Introduction	23
III-2 Les méthodes utilisées pour la détermination de la qualité des eaux souterraines de la plaine Mitidja	23
III-2-1 analyse hydro chimique	23
III-3 Eau d'irrigation	27
III-4 Outils d'analyse des données	28
III-4-1 Présentation de logiciel ARCJIS	28
III-4-2 Logiciel d'Hydrochimie d'Avignon (L.H.A.)	30
III-5 Exécution des prélèvements	31
III-5-1 Stockage des échantillons	32
III-6 Qualité des données	32
III-7 Données d'analyse	33
III-7-1 Echantillonnage	34
II-5 Conclusion	40
<u>Chapitre IV : Résultats et Discussions</u>	
IV-1 Introduction	42
IV-1 -PARTIE I : étude de la piézométrie des années 2005 et 2006 (période hautes eaux et basses eaux)	42
IV- 1-1 la piézométrie de l'année 2005	44
IV- 1-2 la piézométrie de l'année 2006	45
IV -2 PARTIE II : Etude de la qualité des eaux souterraines de la plaine de la Mitidja et leur aptitude a l'irrigation et AEP pour les années 2003 , 2004 ,2005 ,2006	47
IV-3 Discussion (période des hautes eaux des années (2003 ,2005 ,2006)	88
IV-4 Discussion (période des basses eaux des années (2004 ,2005 ,2006)	89
IV-5 Conclusion	90

Liste des figures

Chapitre II : Aspect Général Sur Le Secteur D'étude

Figure II-1 : situation géographique de la plaine de la Mitidja (Source : synthèse des données à partir des cartes topographiques 1/25 000).....	13
Figure II-2 : Situation de la plaine et de ses sous bassins versants.....	16
Figure II-3 : géologie de la plaine de la Mitidja.....	19

chapitre III : Matériels et Méthodes

Figure III-1 : Représentation de l'interface du logiciel d'hydrochimie	30
Figure III-2 : les points hautes eaux de la période des basses eaux de l'année 2003.....	34
Figure III -3 : les points hautes eaux de la période des hautes eaux de l'année 2004.....	35
Figure III-4 : les points basses eaux de l'année 2005 de la nappe Mitidja.....	36
Figure III-5 : les points hautes eaux de l'année 2005 de la nappe Mitidja.....	37
Figure III-6 : les points basses eaux de l'année 2006 de la plaine Mitidja.....	38
Figure III-7 : les points hautes eaux de l'année 2006 de la plaine Mitidja	39

Chapitre IV : Résultats et Discussions

Figure IV-1 : la carte piézométrique de (période des basses eaux de l'année 2005).....	44
Figure IV-2 : la carte piézométrique (période des hautes eaux de l'année 2005).....	45
Figure IV-3 : la carte piézométrique (période des hautes eaux de l'année 2006).....	46
Figure IV-4 : la carte piézométrique (période des hautes eaux de l'année 2006).....	47
Figure IV-5 : Projection sur le diagramme de piper des résultats des analyses des eaux souterraines de la plaine de la Mitidja (période hautes eaux de l'année 2003).....	49
Figure IV-6 : Carte krigée de Calcium (Période des hautes eaux de l'année 2003).....	49
Figure VI-8 : carte krigée de nitrates (période des hautes eaux de l'année 2003).....	50
Figure IV-9 : variogramme de la carte nitrates (Période des hautes eaux de l'année 2003).....	50
Figure IV-10 : carte krigée de CE (Période des hautes eaux de l'année 2003).....	51
Figure IV-11 : variogramme de la carte de CE (période des hautes eaux de l'année 2003).....	51
Figure IV-12 : la carte krigée de SAR (périodes des hautes eaux de l'année 2003).....	52
Figure IV-13 : variogramme de la carte de SAR (période des hautes eaux de l'année 2003).....	52
Figure IV-14 : Projection sur le diagramme de piper des résultats des analyses des eaux souterraines de la plaine de la Mitidja (période basses eaux de l'année 2004).....	53
Figure IV-15 : la carte krigée de magnésium (périodes des basses eaux de l'année 2004).....	54
Figure IV-16 : variogramme de magnésium (période des basses eaux de l'année 2004).....	54
Figure VI-17 : carte krigée de nitrates (période des basses eaux de l'année 2004).....	

Liste des figures

Figure IV-18 : variogramme de la carte de nitrates (période des basses eaux de l'année 2004).....	55
Figure IV-19 : carte krigée de CE (Période des hautes eaux de l'année 2004).....	56
Figure IV-20 : variogramme de la carte de CE (période des basses eaux de l'année 2004).....	56
Figure IV-21 : la carte krigée de SAR (périodes des basses eaux de l'année 2004).....	57
Figure IV-22 : variogramme de la carte de SAR (période des basses eaux de l'année 2004)	57
Figure IV-23 : Projection sur le diagramme de piper des résultats des analyses des eaux souterraines de la plaine de la Mitidja (période des hautes eaux de l'année 2005).....	58
Figure IV-24 : Carte krigée de Calcium (Période des hautes eaux de l'année 2005).....	59
Figure IV-25 : variogramme de la carte de calcium (période des hautes eaux de l'année 2005).....	59
Figure IV-26 : Carte krigée de Magnésium (Période des hautes eaux de l'année 2005).....	60
Figure IV-27 : variogramme de la carte de magnésium (période des hautes eaux de l'année 2005).....	61
Figure IV-28 : Carte krigée de potassium (Période des hautes eaux de l'année 2005).....	62
Figure IV-29 : variogramme de la carte de potassium (période des hautes eaux de l'année 2005).....	62
Figure IV-30 : carte krigée de nitrates (Période des hautes eaux de l'année 2005).....	63
Figure IV-31 : variogramme de la carte des nitrates (période des hautes eaux de l'année 2005) ..	63
Figure IV-32 : carte krigée de sulfate (Période des hautes eaux de l'année 2005).....	64
Figure IV-33 : variogramme de la carte de sulfates (période des hautes eaux de l'année 2005).....	64
Figure IV-34 : carte krigée de CE (Période des hautes eaux de l'année 2005).....	65
Figure IV-35 : variogramme de la carte de CE (période des hautes eaux de l'année 2005)	65
Figure IV-36 : la carte krigée de SAR (périodes des hautes eaux de l'année 2005).....	66
Figure IV-37 : variogramme de la carte de SAR (période des hautes eaux de l'année 2005).....	66
Figure IV-38 : diagramme de Piper (période des basses eaux de l'année 2005).....	67
Figure IV-39 : carte krigée de calcium (période des basses eaux de l'année 2005).....	68
Figure IV-40 : variogramme de la carte de calcium (période des basses eaux de l'année 2005)..	69
Figure IV-41 : carte krigée de magnésium (période des basses eaux de l'année 2005).....	70
Figure IV-42 : variogramme de la carte de magnésium (période des basses eaux de l'année 2005).....	70
Figure IV-43 : carte krigée de nitrate (période des basses eaux de l'année 2005).....	71
Figure IV-44 : variogramme de la carte de nitrates (période des basses eaux de l'année 2005)	71
Figure IV-45 : carte krigée de CE (période des basses eaux de l'année 2005).....	72
Figure VI-46 : variogramme de la carte de CE (période des basses eaux de l'année 2005).....	72
Figure IV-47 : la carte krigée de SAR (période des basses eaux de l'année 2005).....	73

Liste des figures

Figure IV-49 : diagramme de Piper (période des hautes eaux de l'année 2006).....	74
Figure IV-50 : la carte krigée de calcium (période des hautes eaux de l'année 2006)	75
Figure IV-51 :variogramme de la carte de calcium (période des hautes eaux de l'année 2006)	75
Figure IV-52 : la carte krigée de magnésium (période des hautes eaux de l'année 2006).....	76
Figure IV-54 :la carte krigée de sodium (période des hautes eaux de l'année 2006).....	77
Figure IV-55 :variogramme de la carte de sodium (période des hautes eaux de l'année 2006).....	77
Figure IV-56 : carte krigée de nitrates (période des hautes eaux de l'année 2006).....	78
Figure IV-57 :variogramme de la carte de nitrates (période des hautes eaux de l'année 2006)...	78
Figure IV-58 : carte krigée de CE (Période des hautes eaux de l'année 2006).....	79
Figure IV-59 : variogramme de la carte de CE (période des hautes eaux de l'année 2006).....	80
Figure IV- 60 : la carte krigée de SAR (périodes des hautes eaux de l'année 2006).....	80
Figure IV-61 : variogramme de la carte de SAR (période des hautes eaux de l'année 2006)	81
Figure IV-62 :diagramme de Piper (période des basses eaux de l'année 2006).....	82
Figure IV-63 :Cartekrigée de Calcium (Période des basses eaux de l'année 2006).....	83
Figure IV-64 : variogramme de la carte de calcium (période des basses eaux de l'année 2006)	83
Figure IV-65 : carte krigée de magnésium (période des basses eaux de l'année 2006).....	84
Figure IV-67 : la carte krigée de sodium (période des basses eaux de l'année 2006).....	85
Figure IV- 68 :variogramme de la carte de sodium (période des basses eaux de l'année 2006).....	85
Figure IV-69 :cartekrigée de nitrates (période des basses eaux de l'année 2006).....	86
Figure IV-70 : variogramme de la carte de nitrates(période des basses eaux de l'année 2006) ...	86
Figure IV-71 : carte krigée de CE (Période des basses eaux de l'année 2006).....	87
Figure IV-72 :variogramme de la carte de CE(période des basses eaux de l'année 2006)	87
Figure IV-73 :la carte krigée de SAR (périodes des basses eaux de l'année 2005).....	88
Figure IV-74 :variogramme de la carte de SAR (période des basses eaux de l'année 2006)	88

Listes des tableaux

Chapitre II : Aspect Général Sur Le Secteur D'étude

Tableau II-1 : la moyenne des températures établie sur 25 ans 14

Tableau II-2 : Pluviométrie moyenne mensuelle sur une période de 18 ans (1988 à 2006) dans la station de Mouzaia..... 14

Tableau II-4 : Bilan de la nappe de la Mitidja établi par le modèle (Février2009)..... 21

Chapitre III : Méthodes et Matériels

Tableau III-1 : Limites de qualité des eaux destinées à la Consommation humaine... 28

Introduction générale

L'eau présente à l'échelle de la planète un élément vital pour la subsistance de tout être vivant. C'est aussi un facteur prépondérant pour toute activité socio-économique. Les dernières décennies sont caractérisées par une industrialisation galopante et par une sécheresse intense qui touche l'Algérie du Nord d'une manière générale. Cette situation rend le domaine de l'eau de plus en plus vital et les nappes aquifères de plus en plus vulnérables à la pollution.

Toutes les eaux de la nature ne sont pas bonnes à boire. Même une eau d'apparence limpide transporte en son sein toutes sortes de substances inertes et vivantes, dont certaines peuvent être nocives pour l'organisme humain. Ces substances proviennent soit du milieu physique dans lequel l'eau a évoluée, soit des rejets de certaines activités humaines dont l'eau est devenue le réceptacle. L'eau est ainsi le vecteur de transmission privilégiée de nombreuses maladies.

Pour pouvoir être consommée sans danger, l'eau doit donc être traitée et classifiée. Mais la pollution croissante des réserves rend cette opération de plus en plus délicate.

L'objectif de ce travail est d'évaluer la qualité des eaux de la nappe souterraines au niveau de la plaine Mitidja à travers l'évaluation des caractéristiques physico-chimiques des eaux et de plusieurs éléments : anions (NO_3^- , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-}) et cations (Ca^{2+} , Mg^+ , K^+ , Na^+).

Ceci est dans l'objectif de déterminer leurs origines et les différentes faciès chimiques qui les composent afin de faire la classification de ces eaux, connaître la structures des variables et quantifier les familles d'eau par les analyses des individus.

Une approche statistique multidimensionnelle qui est le krigeage sera utilisée pour classifier et juger l'aptitude de ces eaux à être utilisée dans l'A.E.P. et dans l'irrigation

Afin de bien mener cette étude nous l'avons axé sur 04 chapitres, dans les 3 premiers chapitres, on a identifié d'une façon détaillée la zone d'étude à savoir la partie géologie, les caractéristiques climatiques, l'étude quantitative et qualitative des ressources hydriques de la zone d'étude et ses caractéristiques hydrodynamiques. Dans le dernier chapitre, a porté sur les résultats obtenus et leurs interprétations.

Chapitre I : Généralité des eaux souterraines

PARTIE I : Quelques Définitions

I-1 Les différentes nappes d'eau souterraines

Certaines formations géologiques sont suffisamment poreuses ou fissurées pour contenir de l'eau. On parle alors de formations aquifères . Selon la nature géologique des terrains, on peut distinguer différents types aquifères :

I-1-1 Les aquifères en domaine sédimentaire : Ces systèmes sont caractéristiques des bassins sédimentaires, il s'agit de roches sédimentaires poreuses ou fracturées (sables, grès, calcaires, craie) jadis déposées en vastes couches. Ces aquifères peuvent être libres ou captifs selon qu'ils sont ou non recouverts par une couche imperméable. Dans un aquifère libre, la surface supérieure de l'eau fluctue sans contrainte et la pluie efficace peut les alimenter par toute la surface. Dans un aquifère captif, une couche géologique imperméable confine l'eau. L'eau est alors sous pression et peut jaillir dans des forages dits artésiens lorsque la configuration s'y prête. L'alimentation ne peut se faire que par des zones d'affleurement limitées ou par des communications souterraines. Les nappes captives sont souvent profondes (**JEAN RODIER -2001**).

- **Aquifère à nappe libre :** l'aquifère reposant sur une couche très peu perméable est surmontée d'une zone non saturée en eau.
- **Aquifère captif (ou nappe captive) :** dans une nappe captive, l'eau souterraine est confinée entre deux formations très peu perméables. Lorsqu'un forage atteint une nappe captive, l'eau remonte dans le forage.

I-1-2 Les nappes alluviales : Contenue dans les grands épandages de sables, graviers et galets des fleuves et des rivières, la nappe alluviale est le lieu privilégié des échanges avec les cours d'eau et les zones humides. Ce type de nappe peut être réalimenté par les crues et restituer à l'inverse de l'eau dans le cours d'eau en période de sécheresse.

Ces nappes fournissent 60% des eaux souterraines captées en France, en particulier grâce à leur facilité d'accès et leur bonne productivité. (**JEAN RODIER -2001**).

- **Les aquifères en domaine de socle :** Ils correspondent aux roches cristallines ou cristallophylliennes (granites, gneiss et autres roches métamorphiques...) bien représentées dans le massif central et certaines zones des Alpes, Pyrénées et Corse, l'eau est contenue et

circule dans les franges d'altération et les fissures et fracture de la roche. Il s'agit donc généralement de petits systèmes discontinus.

- **Les aquifères karstiques** : Les aquifères karstiques se rencontrent dans les formations calcaires (par exemple les plateaux de Bourgogne, du Languedoc, Jura, Préalpes...). Les eaux en dissolvant le calcaire à la faveur des fissures préexistantes constituent des vides dans lesquels peuvent s'écouler les eaux. Ces vides peuvent atteindre de grandes dimensions (gouffres, cavernes). Dans ces conduits les eaux peuvent cheminer rapidement et constituer des cours d'eau souterrains. Aux points de sortie les sources présentent des débit souvent variables dans le temps (leur valeur varie parfois de 1 à 100 au cours de l'année).
- **Les aquifères des dépôts glaciaires** : Ces dépôts à la structure sédimentologique complexe composés de matériaux de granulométrie très variée sont à l'origine de petits aquifères très compartimentés localisés dans les anciens ombilics glaciaires et cirques morainiques. Ils sont par conséquent, en général peu développés en superficie mais peuvent, par contre, être épais, tout particulièrement derrière les verrous glaciaires ou dans d'anciens sillons sous ou péri-glaciaires. (G.de MARSILY-2004)

I-2 Captages d'eau souterraine

Les ouvrages permettant de capter les eaux souterraines (points d'eau) sont généralement des forages, des puits ou des sources.

- Un **forage** : est un trou de grande profondeur (70 m en moyenne) et de petit diamètre (18 à 30 cm), qui donne accès à la nappe phréatique. Cette eau est une eau potable, non souillée, dont la présence est pérenne. Il nécessite un dispositif d'exhaure.
- Un **sondage** : est un ouvrage de reconnaissance géologique.

Les forages et sondages ont un petit diamètre et une grande profondeur

- Un **puits** : appelé aussi **puits traditionnel**, creusé à main d'homme, donne accès à la nappe superficielle, dont le renouvellement est aléatoire. L'eau y est rapidement souillée.
- Le **puits à grand diamètre, ou puits cuvelé**, est un trou de petite profondeur (30 m.) et de grand diamètre (1,80 m), qui accède également à la nappe superficielle. Sa paroi est cimentée par cuvelage ou busage. C'est un ouvrage de génie civil qui nécessite un forage de reconnaissance et de gros moyens (compresseur, dynamite, ciment, eau). Sa réalisation est

longue et coûteuse. Son avantage est que plusieurs personnes peuvent tirer en même temps, et qu'il convient bien à l'alimentation du bétail. Mais là encore l'eau est rapidement souillée.

- **Le piézomètre :** Un piézomètre est un puits ou un forage qui permet la mesure du niveau de l'eau souterraine en équilibre avec la pression atmosphérique. Ce niveau, appelé niveau piézométrique, se réfère aux points en face duquel l'ouvrage est crépiné (G.de MARSILY-2004)

Si la variation de pression hydrostatique avec la profondeur est normale (linéaire) dans toute la nappe, le piézomètre pourra être crépiné sur toute sa hauteur. C'est le cas d'une aquifère monocouche.

Si l'aquifère est constituée de deux ou plusieurs couches, celles-ci ont en général des niveaux piézométriques différents. Il faudra alors plusieurs piézomètres, chacun d'eux étant crépiné au niveau d'une seule couche, pour avoir une représentation complète de la piézométrie en ce point! Ces différents piézomètres, appelés alors plutôt tubes piézométriques, peuvent être contenus dans un seul ouvrage qu'on appelle piézomètre multiple.

Les mesures de niveau peuvent être effectuées manuellement, à l'aide d'une sonde (type flotteur ou à contact électrique) et cela donc de manière périodique. Le piézomètre peut également être équipé d'un dispositif de mesure en continu, soit un limnigraphe (flotteur ou niveau bulle à bulle), soit un capteur de pression avec enregistrement numérique. L'exploitation des mesures piézométriques se traduit principalement par la confection de cartes piézométriques et de courbes de variations piézométriques. (G.de MARSILY-2004)

I-3 Vulnérabilité des nappes à la pollution

La vulnérabilité à la pollution d'une nappe d'eau souterraine matérialise la facilité avec laquelle elle peut être atteinte par une pollution. Cette pollution peut être engendrée par une source ponctuelle (ex. décharge, cimetière, rejet d'eau usée brute domestique ou industrielle, etc.), ou diffuse (engrais chimiques, pesticides, herbicides).

La vulnérabilité d'une nappe à la pollution est une notion relative, non mesurable et sans dimension. La précision de son évaluation dépend essentiellement de la nature, de la quantité et de la fiabilité des données utilisées. Sa caractérisation est basée généralement sur l'estimation d'un certain nombre de paramètres plus ou moins importants, relatifs notamment à la couverture de la nappe (sol et zone non saturée) et à la zone saturée proprement dite.

La vulnérabilité dépend du type de nappe, libre ou captive, et du mode de circulation de l'eau dans l'aquifère. Les nappes libre sont les plus vulnérables: les polluants d'origine superficielle peuvent diffuser librement dans le sol et la zone non saturée jusqu'au niveau piézométrique; d'autre part, la fluctuation verticale saisonnière du niveau piézométrique aboutit à 'rincer' les particules de la zones non saturée et entraîner les substances qui y sont adsorbées. Les nappes captives en revanche sont mieux protégées par les couches imperméables qui les surmontent. Leur alimentation en eau superficielle est plus circonscrite, donc plus aisée à protéger. Leur pollution apparaît lorsque le niveau protecteur imperméable est percé par un ouvrage (ancien forage, fouille profonde...)

Enfin, la percolation de l'eau dans un milieu poreux peut produire une fixation des substances sur les particules et donc une épuration de l'eau. Ce phénomène n'existe pas dans les milieux fissurés où la circulation est bien plus rapide. Pour atteindre une nappe libre en milieux poreux, les polluants transportés par les eaux d'infiltration doivent franchir de nombreux obstacles:

* le sol

L'activité chimique et microbiologique est intense (oxydation, réduction...) De nombreux corps sont modifiés chimiquement, les polluants organiques peuvent être métabolisés et minéralisés.. Les complexes argilo-humiques peuvent fixer de nombreux corps minéraux et organiques par adsorption. Le sol constitue un puissant moyen d'épuration et de recyclage des eaux. Les argiles, les hydroxydes et la matière organique adsorbent les cations (Ca, Mg, K, Na, métaux lourds) et certaines molécules organiques. Le contenu microbiologique du sol peut épurer le sol de ses substances indésirables

* la zone non saturée

Comme le sol, elle joue un rôle dans la filtration et la rétention de certaines substances. Cette action est d'autant plus efficace que la granulométrie est plus faible.

* la zone saturée

La filtration se poursuit dans le milieu poreux de la nappe; le polluant est diluée dans la masse d'eau.

(MOHAMED EL WARTITI, AMINA MALAKI & NEZHA EL MAHMOUHI -1988)

I-3-1 Auto-épuration biologique des eaux souterraines

Les organismes vivants et non toxiques (bactéries, petits invertébrés) sont présents dans les eaux souterraines même à grande profondeur. Ils peuvent métaboliser les polluants introduits dans la nappe. Les polluants organiques toxiques comme les polychlorobiphénols (PCB) sont lentement transformés. Les nitrates sont détruits en milieu anaérobie (cas des nappes captives).

La protection de la nappe sera d'autant meilleure que le sol et la zone non saturée sont épais, que leur granulométrie est fine, que la vitesse de percolation de l'eau dans la nappe est faible. En revanche, ce type de nappe une fois contaminée par un polluant le reste longtemps. (*MOHAMED EL WARTITI, AMINA MALAKI & NEZHA EL MAHMOUHI -1988*)

Partie II : Revue bibliographique sur les études similaires

I-4 détermination de la qualité des eaux souterraines des nappes de la province de Taza (maroc) établie par :

-Laboratoire de Molécules Bioactives : Structure et Fonction, Faculté des Sciences et Techniques Fès 30000, Maroc,

-Laboratoire de Biotechnologie et valorisation des ressources naturelles, Faculté Polydisciplinaire de Taza, Boîte Postale 1223 Taza Gare, Maroc.

-Laboratoire de Géoressources et Environnement, Faculté des Sciences et Techniques Fès 30000, Maroc.

Au Maroc les eaux souterraines constituent une part importante du patrimoine hydraulique du pays ABHS (2007). Les nappes dans la Province de Taza sont les principales sources de satisfaction de la demande en eau, tel que les centres urbains avec un traitement simple de chloration (Oued Amlil, Tahla, Matmata, Zerardda, Ait Sghrouchene...) et les centres ruraux sans aucun traitement préalable (comme Ghiata Gharbia, Bouhlou, Ait Amir, ...), du fait de leur exploitation relativement facile. Cette région a connu durant ces dernières décennies la modernisation de l'agriculture et la croissance démographique qui ont entraîné un grand problème de détérioration de la qualité de cette source souterraine, déjà en quantité limitée. Cette dégradation en plus de la raréfaction, limite les possibilités de production d'une eau de bonne qualité (Cherry, 1987 ; UNESCO, 1986).

La pollution contribue à la réduction du bilan global des ressources hydriques et engendre un risque pour la santé humaine surtout lorsqu'il s'agit de la consommation des eaux souterraines (sources, puits) non protégés, conjuguée à l'insuffisance plutôt à l'absence des ouvrages d'assainissement et la méconnaissance des règles élémentaires d'hygiène dans le milieu rural ce qui le cas de ces nappes où la majorité de la population s'approvisionne directement de l'aquifère, les cours d'eau de la région étudiée reçoivent en permanence des rejets liquides (les eaux usées domestiques et industriels et en particulier les margines), et solides (les décharges publiques) chargés d'éléments chimique et organique, souvent toxiques, ces substances polluantes peuvent affecter de façon dangereuses la santé publique, si elles continuent à être déversées dans la nature sans aucun traitement préalable (El Haji et al., 2010) Comme toutes les régions du Maroc, la région d'étude est

équipée d'installations produisant de l'eau potable. Mais celles-ci n'approvisionnent pas tous les quartiers et les douars de la région notamment

ceux en milieu périurbain et le mètre cube d'eau devient cher en raison des conditions de distribution. C'est ainsi qu'une partie de la population en milieu périphérique ou même urbain utilise l'eau de puits, comme eau de boisson et/ou pour des activités domestiques, sans se préoccuper de la qualité de celle-ci. Vu son importance régionale comme ressource potentielle pour l'alimentation en eau de boisson des centres avoisinants de la ville de Taza et pour le développement agricole dans cette région préalable (El Haji et al., .2010) une étude hydrochimique et microbiologique s'avère utile et nécessaire pour déterminer l'état de la qualité des eaux et détecter les zones de contamination qui influence de façon négative la qualité d'eau de ces nappes.

I-4-1 Les résultats de l'analyse

La détermination de la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux souterraine de la Province de Taza, permis de conclure que 88.89% des eaux souterraine analysées ne sont pas propres à la consommation. Cette pollution se manifeste par des teneurs dépassant largement les normes marocaines de potabilité. En effet, les eaux analysées ont des propriétés physico-chimiques qui font qu'elles ne sont pas recommandées pour la consommation humaine notamment pour les paramètres suivants : NO₃⁻, la minéralisation, Cl⁻ et l'ammonium non-conformes respectivement dans 25%, 10%, 8 ,9% et 23,21% des eaux souterraines analysées. Les métaux lourds dosés ont montré une pollution métallique qui dépasse la la norme préconisée(NM 03.7.001) et surtout la concentration en plomb, en fer et en aluminium. Ces résultats confirment l'impact de l'intensification de l'agriculture, les rejets des eaux usées domestiques et industriels.

De plus, la pollution bactérienne est très élevée et presque permanente dans les eaux souterraines analysées pendant toute la durée de notre étude avec une contamination d'une densité plus au moins importante par les coliformes totaux, ce qui constitue sans doute une menace pour les habitants qui s'approvisionnent pour la totalité ou la majeure partie de leurs besoins à partir de l'eau de ces nappes souterraines.

Face à cette situation, il est important de mettre en place un plan d'action pour la réduction voir la suppression des impacts négatifs de la pollution de l'eau, afin de préserver la qualité des eaux souterraines qui restent une source importante pour l'alimentation en eau potable dans la région de Taza.

Suivant le même contexte, des études similaires ont été faites notamment en Algérie au Moyen-Chélif occidental par **BRADAI** Abdelkader en 2005, dans le but d'évaluer la qualité des eaux souterraines des nappes du Moyen-Chélif 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.

Dans son étude, les statistiques classiques ont révélé que les teneurs moyennes de certains éléments à savoir : Ca, Na, Cl, SO₄ et NO₃, présentent des taux qui excèdent la norme et présentent une forte variation. Il en est ressorti que les faciès chimiques dominants sont: chloruré magnésique, chloruré calcique et chloruré sodique respectivement.

La méthode de l'analyse en composantes principale, a donné un premier axe formé essentiellement de variables d'origine géologique (Mg, Ca, Na, Cl et SO₄). Les individus projetés sur le plan principal ont montré que les eaux de la région sont formées de trois (03) groupes le long de l'axe 1. Les teneurs des éléments formant ce dernier augmentent dans le sens croissant des groupes traduisant ainsi la dégradation de la qualité des eaux dans ce sens.

De sa part, l'estimation par krigeage ordinaire a été employée pour trois cations (Ca, Mg et Na) et trois anions (Cl, SO₄ et NO₃). D'une façon générale, les anions et les cations ont montré une forte variabilité locale est 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 vulnérable.

Chapitre II : Aspect Général Sur Le Secteur D'étude

II-1 Introduction

Après la chute de Grenade, de nombreux réfugiés fuyant l'Espagne pour regagner le nord de l'Afrique et se sont installés dans la région de Mitidja , où ils ont repeuplé Blida et fondé Koléa. Pendant la période ottomane, des cultures intensives ont été pratiquées, les chroniqueurs de cette époque ont cité la richesse de cette plaine notamment dans les banlieues des villes telles qu'Alger et Blida.

La plaine sera par la suite mise en valeur et connaîtra une multiplication des cultures, dont la vigne qui occupait la moitié des terres et dont la qualité du vin produit servira à rehausser la production du midi de la France métropolitaine. Elle sera considérée par la colonisation comme un de ses fleurons. La production sera orientée vers l'exportation en France métropolitaine. La main d'œuvre assurée par des centaines de milliers d'agriculteurs, venus des montagnes de l'Algérois : Atlas blidéen, Kabylie, Titteri et Dahra.

Après l'indépendance du pays, des périmètres irrigués ont été créés, une série de villages de création coloniale ou nés à partir des douars assurent à la plaine une très forte densité. La population actuelle ne dépend pas que de l'agriculture. Les cultures agricoles se sont diversifiées, la vigne est remplacée par les agrumes et les rosacées. Les quatre wilayas qui administrent la plaine, produisent plus de la moitié de la production algérienne en agrumes et 20 % des rosacées. La plaine abrite également 75 % des pépinières de plantes arboricoles et horticoles d'Algérie . (BINNIE et PARTNERS -1982)

II-2 La plaine de la Mitidja

La plaine de Mitidja a toujours été connue par les Algériens comme étant une terre fertile, produisant tous les biens imaginables que le sol puisse donner. Elle était particulièrement connue pour la production d'agrumes, orange, mandarine et citron qui jusqu'à quelques décennies après l'indépendance s'exportaient très bien.

Mitidja est une vaste plaine alluviale du Nord algérien qui s'étend sur une longueur de 90km et une largeur de 8 à 18 km, elle couvre une superficie de 150 000 ha.

II-3 situation géographique

La plaine de la Mitidja est Orientée suivant une direction SW-NE, elle s'étend sur quatre Wilayas

(Tipaza, Blida, Alger et Boumerdes), depuis Oued Djer, jusqu'à Reghaia. Elle est bordée au sud par l'Atlas blidéen, et au nord par les collines du Sahel. (Chino.A-1965)

La nappe de la Mitidja est constituée par deux horizons aquifères :

- Les grès astien, d'une épaisseur d'environ 100m, qui affleurent essentiellement sur les collines du Sahel,
- Les alluvions du Quaternaire, qui affleurent sur la majeure partie de la plaine. Leur épaisseur peut dépasser 200 m au centre du bassin.

D'une manière générale, la profondeur des forages varie entre 200 et 300 m, selon l'endroit et l'horizon capté.

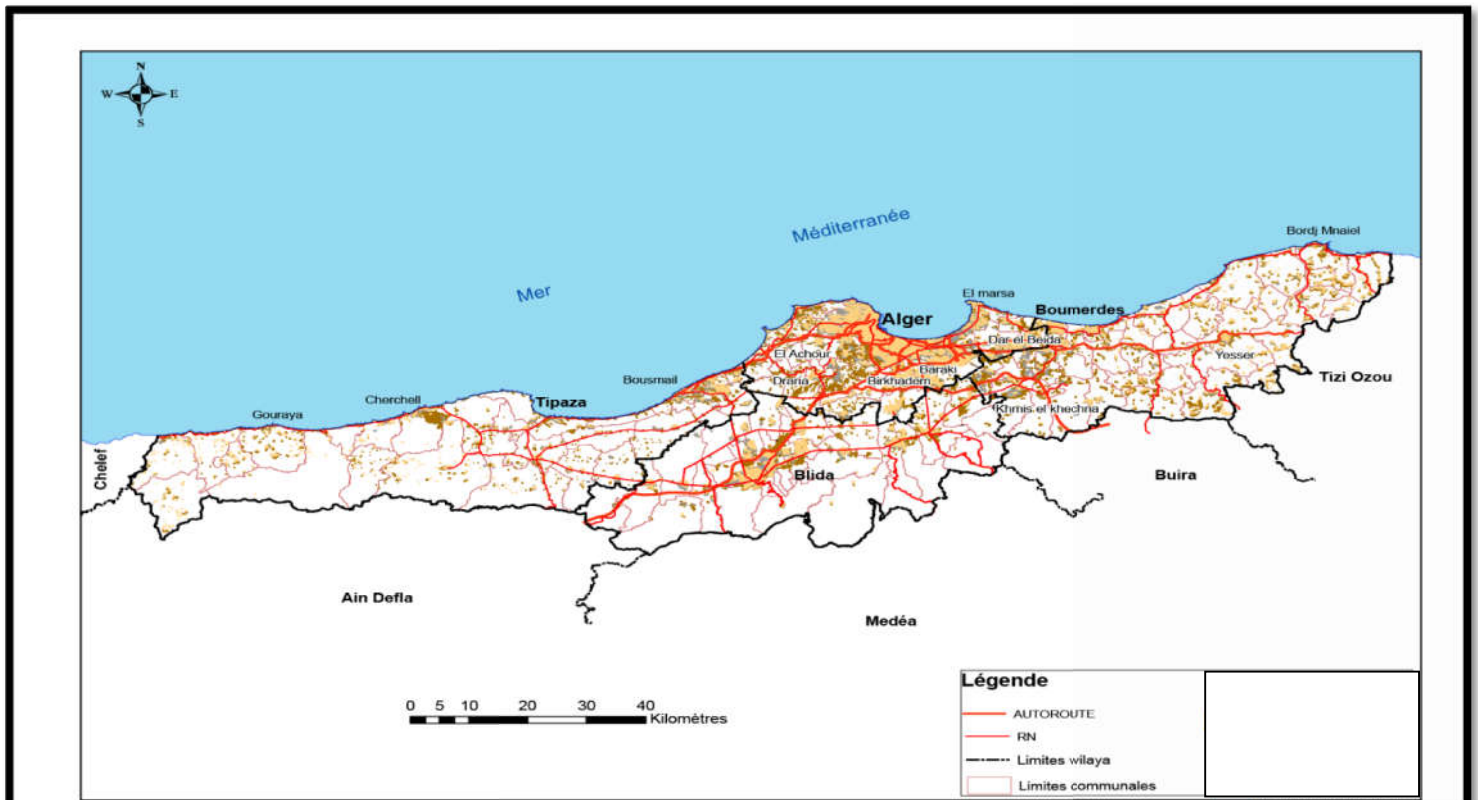


Figure II-1 : situation géographique de la plaine de la Mitidja (Source : synthèse des données à partir des cartes topographiques 1/25 000)

II-4 Aperçu climatologique

La plaine de la Mitidja est soumise à un climat de type méditerranéen à étage 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. Le climat est de type méditerranéen avec une pluviométrie moyenne de 660 mm/an et une ETP moyenne de l'ordre de 1 400 mm/an (ANRH, 1993).

➤ Températures

le tableau ci-après donne la moyenne des températures établie sur 25 ans par les services de l'ANRH

Tableau II-1 : la moyenne des températures établie sur 25 ans

Nom de la station	Moyenne annuelle °C	Minimum absolu °C	Maximum absolu °C
Cherchell (côté ouest)	17.8	-1.0	38.6
Bou-Ismaïl (côté ouest)	17.55	1.2	42.6
Bouzareah (400 m NGA)	16.45	-2.2	42.9
Alger –université	18.3	0.2	41.6
El Harrach ville	17.5	0.5	44.6
Rouïba (Mitidja EST)	17.25	2.0	46.2
Blida	18.3	0.0	45.0
Miliana	15.7	4.0	39.9
Médéa	14.5	-6.3	41.2
Berrouaghia (sud de l'atlas)	14.2	-13.0	42.3

➤ Les précipitations

Elles sont réparties dans le temps et dans l'espace, on s'intéresse surtout à leur intensité et leur régime.

➤ Pluviométrie moyenne

La moyenne pluviométrique dans la région varie entre 565 mm (Mouzaia); 625 mm

(Sidi Rached) et 667 mm (El-Afroun).

Le tableau(II- 2) montre la pluviométrie moyenne mensuelle observée sur une période de 18 ans (1988 à 2006) dans la station de Mouzaia.

Tableau II-2 : Pluviométrie moyenne mensuelle sur une période de 18 ans (1988 à 2006) dans la station de Mouzaia.

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	Moy mensuelle
P (mm)	23,18	37,86	69,4 6	70,7 6	80,4 7	54,9 1	39,4 5	57,9 2	37,08	2,37	3,07	4,52	40,09

Source : A.N.R.H, 2006

Les mois les plus arrosés sont novembre, décembre et janvier, les mois les plus secs sont juin, juillet et août.

➤ **Les vents.**

Les vents dominants dans le périmètre sont ceux qui soufflent de N.E et de l'ouest. Le maximum des forces de vents se situe au cours de l'hiver ; Le minimum se situe aux mois d'été. La vitesse moyenne annuelle des vents varie de 2,7 à 3 m/s, le maxima est de l'ordre de 4 m/s (station Mouzaia) .

II-5 Hydrologie de surface

La région qui encadre la plaine de la Mitidja est divisée en trois bassins versants principaux

-le bassin **CHELLIF** à l'ouest et au SUD.

-le bassin de l'oued **ISSER** à l'EST.

-le bassin de la **Mitidja** au centre.

a-bassin de Cheliff :

Il occupe la partie SUD-OUEST de la région, il est traversé d'Est en Ouest par le Chélif, fleuve le plus important d'Algérie . Ses principaux affluents sont **DEURDEUR** en rive gauche et oued **EI HARBIL** en rive droite.

b- le bassin de l'oued Isser :

Il est situé immédiatement à l'EST du bassin Cheliff ; les oueds **EL MALAH** drainent les régions d'EL Khemis et Beni slimane ,et se rejoignent a quelque kilomètre au sud de **TABLET** pour donner l'Oued Isser .

c-bassin de la Mitidja :

le **MAZAFRAN**, le oued le plus important de la Mitidja, dont le cours d'eau une quinzaine kilomètres, est formé par la réunion des oueds **DJER** ,**BOU ROUMI** et **CHIFFA** .

Plus à l'Est l'oued **EL HARACH** draine la partie centrale de la plaine de la Mitidja et se jette dans la baie d'Alger en son centre .L'oued **EL HAMIZ** quant à lui de moindre importance, descend du mont de Larbatache et se jette à l'Est de la baie.

Signalons également deux oueds assez importants prenant leur source de part et d'autre du massif du CHENOUA et se jetant à une cinquantaine kilomètre à l'Ouest d'Alger (Chino.A-1965).



Figure II-2 : Situation de la plaine et de ses sous bassins versants

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.

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 Géologie

Comme cela a été décrit dans de nombreux ouvrages traitant de la géologie, la Mitidja est un bassin

de subsidence qui a été comblé par les dépôts d'origine marine ou continentale au cours de l'ère Tertiaire et de l'ère Quaternaire. (Agrocomplect-Energoprojekt- 1977)

II-7-1 Stratigraphie

La succession lithologique rencontrée dans la plaine de la Mitidja se présente comme suit avec de bas en haut :

a-Le Pliocène marin : qui se présente sous forme de marnes grises ou gris bleu, comprenant une puissante couche de marnes bleues parfois sableuses attribuées au Plaisancien.

De marnes jaunes, de faciès gréseux, ou calcaire et de calcaire gréseux, ainsi que de la mollasse attribuée à l'Astien.

b-Le Quaternaire marin : localisé essentiellement sur le versant nord du sahel, notamment entre Alger et Bordj El Bahri.

Le Quaternaire continental comprend:

- ✓ Le Villafranchien supérieur : Constitué de gravier siliceux fluviatiles et graviers de grès avec de l'argile rouge d'origine créacé. Il est localisé essentiellement sur des glacis à des altitudes comprises entre 100 et 300 m d'altitudes formant les terrasses du Sahel.
- ✓ Le Quaternaire ancien : Compris entre 50 et 150 m, au-dessus des oueds caillouteux.
- ✓ Le Quaternaire moyen : constitué par des alluvions, il forme les terrasses qui s'étagent au-dessus des oueds et les piémonts de l'Atlas Blidéen. Ce sont des alluvions fluviatiles, enrobées dans une matrice argileuse rouge et brune. Les alluvions sont finement litées avec passées limoneuses alternant avec des galets.
- ✓ Le Quaternaire récent : (Rharbe) Ce sont des terrasses de 5 m d'épaisseur environ, constituées de limons d'argile noire ou blanc, de limons caillouteux et de cailloux grossiers. Ce sont les derniers matériaux qui ont participé au complément de la Mitidja.
- ✓ Le Quaternaire actuel : se limite aux lits mineurs et majeurs des oueds. Il est formé de dépôts fluviatiles constitué de galets rous et de plage de limons gris ocre .
(Agrocomplect-Energoprojekt- 1977)

II-7-2 Tectonique

La configuration actuelle de la Mitidja a débuté vers la fin du Pliocène. A cette époque les dépôts marins et lagunaires qui formaient une aire anticlinale, ont subi un affaissement (subsidence), dessinant en gros les contours de la Mitidja actuelle. Les reliefs du Sahel empêchaient toute transgression de la mer vers l'intérieur des terres.

Par la suite les matériaux résultants de l'érosion de l'Atlas, se sont déposés sous forme de dépôts fluvio-lacustres (type marnes jaunes de Maison Carrée).

Au Quaternaire moyen, la Mitidja est envahie par une épaisse couche d'alluvions, recouvrant ainsi les chenaux et les haut fonds marneux.

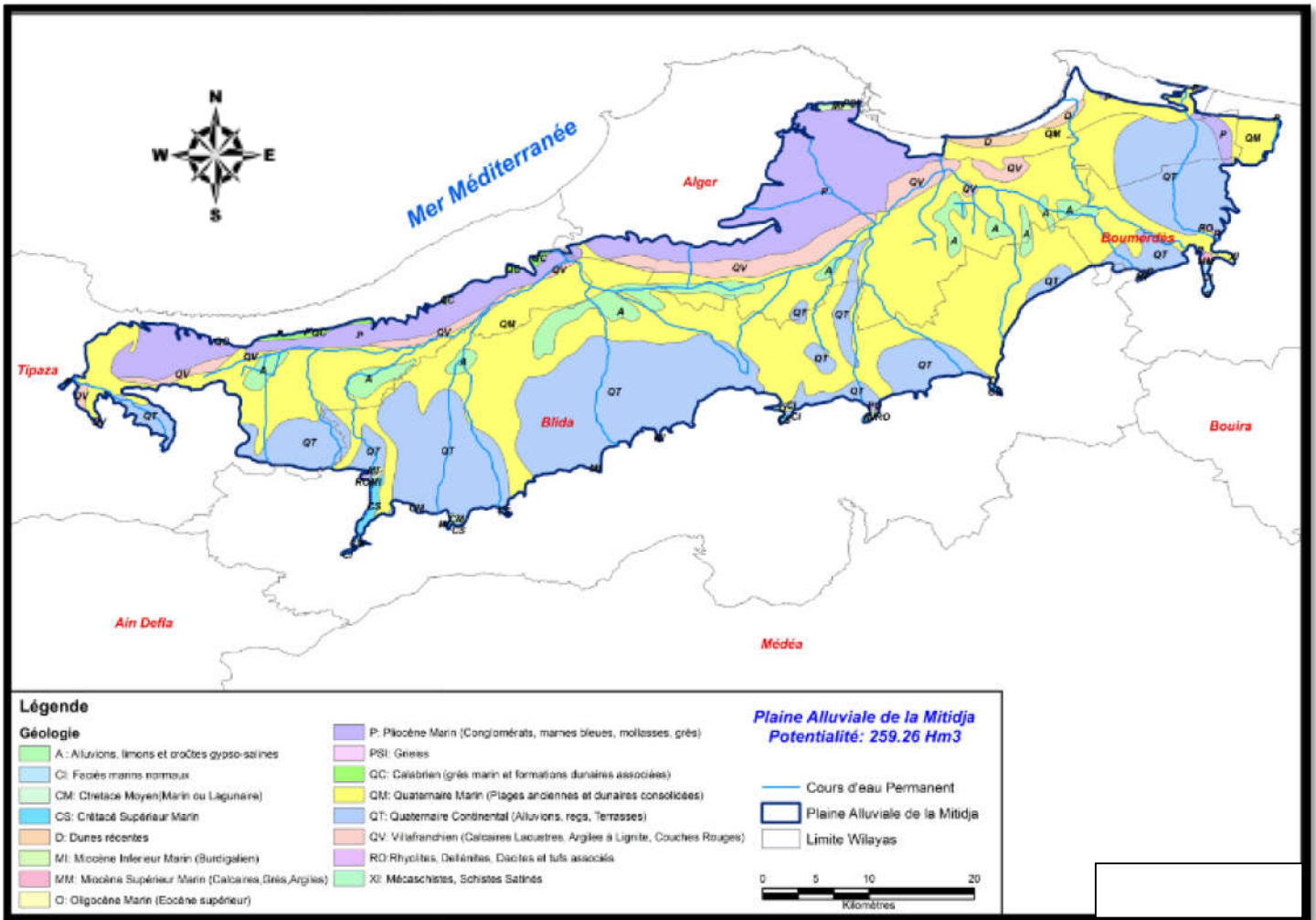


Figure II-3 : géologie de la plaine de la Mitidja

II-8 Hydrogéologie

L'hydrogéologie de la Mitidja est constituée par deux systèmes aquifères reposant sur un substratum, et constitués par :

- Les grès Astien
- Les Alluvions du Quaternaire.

II-8-1 Le Substratum

Il est constitué par les marnes bleues du Plaisancien qu'on peut observer à l'affleurement sur les collines Sahel, notamment à El Achour, Dely Brahim, Baba Hacene. Dans la plaine, les marnes bleues sont recouvertes par l'Astien et les alluvions du Quaternaire.

II-8-2 L'Aquifère Astien

Cet aquifère est constitué par des grès appelés grès Astien et qui reposent sur les marnes bleues du Plaisancien. Ils affleurent largement dans le Sahel notamment sur les collines comprises entre Birtouta, Birkhadem, El Biar en passant par Birmandreis. Les grès plongent ensuite vers le sud-est sous les alluvions du Quaternaire.

L'aquifère Astien est très peu sollicité, sauf dans les zones où les alluvions du Quaternaire sont absentes, ou représentées uniquement par d'importantes couches argileuses. La profondeur des forages captant l'Astien est comprise en 200 et 300 m, et les débits sont peu importants (entre 15 l/s à 20 l/s en moyenne).

Son épaisseur moyenne est de l'ordre de 100 m, mais à l'Est notamment vers Reghaia et Dergana, elle n'est que de 40 mètres. D'ailleurs, dans ces régions la nappe alluviale est inexistante et l'Astien qui a tendance à se redresser constitue la seule nappe en exploitation. (Agrocomplect-Energoprojekt-1977)

II-8-3 La nappe alluviale

Elle constitue la principale nappe aquifère de la Mitidja. Elle est constituée par des alluvions anciennes et récentes qui ont comblé le bassin subsident de la Mitidja. Dans la partie ouest de l'aquifère, les alluvions sont séparées de l'Astien par un niveau imperméable de marnes caillouteuses.

A l'est de l'oued El Harrach, elles sont en contact direct avec les grès de l'Astien. L'épaisseur des alluvions qui est de l'ordre de 200 m en moyenne diminue vers l'est avant de disparaître totalement, au môle de Reghaia.

II-8-4 L'alimentation

L'alimentation des nappes s'effectue par:

L'impluvium, représenté par les affleurements de l'Astien et des alluvions, surface offerte à l'infiltration est de l'ordre de 1600 km².

Les rivières notamment les oueds El Harrach, Chiffa, Mazafran, Hamiz. Le coefficient d'infiltration dans les alluvions est de 10% pour les alluvions récentes et de 15% pour les alluvions anciennes. Partant de ces valeurs GRENET et CHINO ont calculé les volumes annuels infiltrés. Ces derniers seraient de :

- 70 Hm³/an pour l'Astien et les alluvions anciennes soit un débit fictif continu de 2.2

m^3/s . $54 \text{ Hm}^3/\text{an}$ pour les alluvions récentes soit un débit fictif continu de $1.7m^3/s$.

- Les débits d'infiltrations cumulées seraient donc de l'ordre de $4 \text{ m}^3/s$

II-9 Bilan de la nappe de la Mitidja

Le bilan de la nappe de la Mitidja, établi par le modèle mathématique réalisé en 2009 par SOGREAH/ANRH, évalue la recharge de la nappe à $307.2 \text{ Hm}^3/\text{an}$.

Tableau II-4 : Bilan de la nappe de la Mitidja établi par le modèle (Février2009)

Eléments du bilan	Entrées(Hm^3/an)	Sorties(Hm^3/an)
Infiltration par précipitation	129,03	-
Les Oueds	74,30	25.92
Apports par l'Atlas	79,02	-
Apport latéral par Astien(Sahel)	3,28	-
Apport Astien par drainance	21,53	-
Prélèvements	-	279.22
Fuites vers la mer	-	10.40
Total	307,16	315.54

Le tableau montre que les prélèvements sont de l'ordre $280 \text{ Hm}^3/\text{an}$. L'inventaire de l'ANRH de 2002 évalue les prélèvements, à partir des 3 500 forages recensés, à $270 \text{ Hm}^3/\text{an}$.

On note une diminution des prélèvements par rapport à la décennie de 1980. Cela s'explique par les problèmes sécuritaires qu'a connus la région.

Si nous nous basons uniquement sur les résultats précédents concernant les prélèvements, on serait tenté de conclure que la nappe de la Mitidja dégage un excédent de ressources susceptibles d'être exploitées immédiatement, ou dans le futur. En fait ces résultats sont à prendre avec beaucoup de précautions, car de nombreux forages appartenant à des agriculteurs privés ne sont pas inventoriés.

II-10 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-10-1 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 Larbaa où les prélèvements d'eau sont très importants.

II-10-2 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 (Ecrement, 1971).

II-10-3 L'industrie

La majorité des activités industrielles sont regroupées au Centre et à l'Est de la plaine (l'Arbaa, Rouiba, 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-11 Démographie

La population totale dans la plaine était de 2 millions d'habitants en 1998 avec une densité de 60.hab / km². Les principaux pôles de concentration sont: Blida, Chiffa, Boufarik , Soummaa, El affroun, Dar El Baida et El Harrach .

II-12 Conclusion

La plaine de la Mitidja est une plaine des plus fertiles du bassin de l'Algérois présentant une diversité 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

Les eaux de la nappe aquifère de la Mitidja présentent des caractéristiques chimiques souvent non conformes aux normes de qualité requises pour les 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/ou 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 le rendement des parcelles agricoles et sur l'environnement en général.

C'est pour cela il est nécessaire de faire une analyse physico-chimique des paramètres constituants les eaux souterraines de la plaine de la Mitidja passant par des méthodes et étapes qui sont représentées dans ce chapitre.

III-2 Les méthodes utilisées pour la détermination de la qualité des eaux souterraines de la plaine Mitidja

Afin de remédier à cette situation délicate, ce projet vise à évaluer la qualité des eaux souterraines de la Mitidja ainsi que la possibilité de les utiliser pour des fins agricoles et consommation humaine.

III-2-1 analyse hydro chimique

L'eau, au contact des terrains qu'elle rencontre, se charge en divers éléments qui vont influencer sur sa qualité. Certains de ces éléments sont présents naturellement dans le sol, et vont définir la qualité « naturelle » de l'eau brute. Ainsi l'eau à l'état naturel peut contenir :

- des matières organiques,
- des matières dissoutes provenant des terrains traversés (calcium, magnésium, sodium, potassium, bicarbonates, sulfates, chlorures, métaux lourds, ...),
- des particules en suspension. D'autres éléments sont d'origine anthropique. La qualité des eaux continentales est dépendante d'un certain nombre de paramètres, dont la quantité en présence (concentration en éléments traces) va définir l'état de la qualité de l'eau.

III-2-1-1 Minéralisation des eaux souterraines

L'eau de pluie est légèrement acide du fait de sa teneur en CO₂ dissous. Au cours de son infiltration dans le sol et le sous-sol, elle se charge en ions et acquiert des propriétés physiques et chimiques qui caractérisent l'eau de la nappe qu'elle forme. Les eaux souterraines sont plus ou moins minéralisées en fonction:

- * de la nature des roches traversées et des minéraux rencontrés au cours de l'infiltration;
- * du temps de contact de l'eau avec les minéraux, donc de la vitesse de percolation de l'eau dans le sous-sol;
- * du temps de renouvellement de l'eau de la nappe par l'eau d'infiltration.

-On voit l'importance des minéraux solubles des roches et de la perméabilité de l'aquifère dans la minéralisation de l'eau.

- Dans les réservoirs calcaires, les eaux sont dures, moyennement à fortement minéralisées en sels de calcium et magnésium; elles entartrent les conduites.
- Au contact du gypse, l'eau se charge en sulfate de calcium et devient dure et impropre à la consommation.
- En bordure de mer, les aquifères peuvent être en contact avec l'eau de mer: échange au niveau du biseau salée, contamination de l'eau d'infiltration par les embruns salés. L'eau de la nappe devient plus ou moins saumâtre. L'invasion de la nappe d'eau douce par l'eau salée est accélérée par les pompages et le rabattement de la nappe (cas de la nappe de la plaine du Sous au Maroc).
- * L'eau des nappes alluviales a une qualité qui dépend de celle de la nappe qui l'approvisionne et de celle de la rivière. (MOHAMED EL WARTITI, AMINA MALAKI & NEZHA EL MAHMOUHI -1988)

III-2-1-2 Principaux paramètres de potabilité

La qualité d'une eau souterraine est caractérisée par un certain nombre de paramètres physiques et chimiques, déterminant à leur tour des caractères organoleptiques seuls immédiatement perceptibles pour l'utilisateur.

Les paramètres pris en compte sont:

- * la dureté de l'eau correspondant à sa teneur en calcium et magnésium
- * le pH qui dépend de la teneur en ions;
- * la teneur en gaz dissous issus de l'atmosphère (O_2 et CO_2);
- * la teneur en substances minérales dissoutes généralement sous forme ionique : anions (bicarbonates, chlorures, sulfates, nitrates, fluorures) et cations (calcium, magnésium, sodium, potassium, fer, manganèse, ammonium);
- * la turbidité, produite par des matières en suspension (argiles) dans les aquifères karstiques.

A ces paramètres physico-chimiques s'ajoutent des paramètres microbiologiques souvent déterminants dans les aquifères calcaires.

Une teneur trop élevée d'un ou plusieurs composants chimiques cause des désagréments au consommateur (saveur, risques sanitaires) et aux canalisations (corrosion, entartrage...) L'eau est alors jugée impropre à la consommation (et à sa distribution) à moins de subir au préalable un traitement approprié (cas des eaux chargées en nitrates).

Les paramètres qui déclassent une nappe pour l'eau potable ou impliquent un traitement correcteur pour sa potabilisation sont dans la pratique: la dureté, le pH, la teneur en sulfates, la turbidité, la teneur en Mn et en Fe.

➤ La dureté

La dureté totale d'une eau est produite par les sels de calcium et de magnésium qu'elle contient. La dureté est mesurée par le titre hydrotimétrique exprimé en °F (degré français); 1 °F correspond à 10 mg de carbonate de Ca dans 1 litre d'eau..

Des valeurs faibles correspondent à des eaux douces (titre hydrotimétrique compris entre 5 et 20 °F). Les eaux dures ont un titre compris entre 20 et 35 °F. Des valeurs supérieures indiquent des eaux très dures.

➤ Le pH

Le pH de l'eau conditionne les équilibres physico-chimiques, en particulier l'équilibre calco-carbonique et donc l'action de l'eau sur les carbonates (attaque ou dépôt). Le pH est acide dans les eaux des aquifères sableux ou granitique. Il est alcalin dans les calcaires. Le pH est corrigé selon le cas par élimination du CO₂ dissous en excès ou par correction de la dureté carbonatée.

➤ Le Fer

Le fer est un élément assez abondant dans les roches. Le fer est soluble à l'état d'ion Fe⁺⁺ (ion ferreux) mais insoluble à l'état Fe⁺⁺⁺ (ion ferrique). La présence de fer dans l'eau peut favoriser la prolifération de certaines souches de bactéries qui précipitent le fer où corrodent les canalisations. L'eau ferrugineuse nécessite un traitement spécifique.

La présence du fer dans l'eau provient principalement : du lessivage des sols, avec dissolution des roches et minerais, des rejets industriels, de la corrosion des canalisations métalliques

➤ Le Manganèse

Le manganèse accompagne généralement le fer dans les roches .Le manganèse est présent, en quantité moindre que le fer, dans les roches. Son origine dans l'eau provient essentiellement de la dissolution des roches, et d'éventuels rejets industriels.

La présence de manganèse est gênante car elle peut donner à l'eau une couleur noirâtre, provoquer des dépôts d'hydroxyde, lui conférer un goût métallique désagréable et tache le linge.

➤ Les sulfates

❖ Comment le sulfate se retrouve présent dans l'eau

Certains sols et certaines ROCHES contiennent des minéraux de sulfate. Comme l'eau souterraine se déplace à travers ceux-ci, certains sulfates sont dissous dans l'eau.

❖ Problèmes causés par le sulfate

Le sulfate donne un goût amer, un goût médical à l'eau s'il dépasse la concentration de 250 mg/L. Cela rend désagréable la consommation de l'eau.

D'importantes concentrations en sulfates peuvent mener à la corrosion des tuyauteries en particulier les tuyauteries en cuivre. Dans les endroits où l'on retrouve des teneurs importantes en sulfate, il est commun d'utiliser des matériaux résistants à la corrosion, comme des tuyaux en plastique. (Bassin du Lac Tchad :Gestion Durable des Ressources en Eaux- 2014).

III-2-1-3 les Normes de potabilité :

Tableau III-1 : Limites de qualité des eaux destinées à la Consommation humaine

GROUPE PARAMETRE	DE	Paramètres	Unités	Valeurs indicatives
Paramètres physico-chimiques en relation avec la structure naturelle des eaux		PH	Unité pH	≥ 6.5 et ≤ 9.5
		Conductivité	$\mu\text{S}/\text{cm}$ à 20°C	2800
		Température	°C	25
		Dureté	mg/l en CaCO ₃	200
		Alcalinité	mg/l en CaCO ₃	500
		Calcium	mg/l en CaCO ₃	200
		Chlorures	mg/l	500
		Potassium	mg/l	12
		Résidu sec	mg/l	1500
		Sodium	mg/l	200
		Sulfates	mg/l	400
Paramètres organoleptiques		Couleur	mg/l Platine	15
		Turbidité	NTU	5
		Odeur 12°C	Taux dilution	4
		Saveur 25°C	Taux dilution	4
Paramètres chimiques		Aluminium	mg/l	0,2
		Ammonium	mg/l	0,5
		Baryum	mg/l	0,7
		Bore	mg/l	1
		Fer total	mg/l	0,3
		Fluorures	mg/l	1,5
		Manganèse	$\mu\text{g}/\text{l}$	50
		Nitrates	mg/l	50
		Nitrites	mg/l	0,2
		Oxydabilité	mg/l O ₂	5
	Phosphore	mg/l	5	

	Acrylamide	µg/l	0,5
	Antimoine	µg/l	20
	Argent	µg/l	100
	Arsenic	µg/l	10
	Cadmium	µg/l	3
	Chrome total	µg/l	50
	Cuivre	mg/l	2
	Cyanure	µg/l	70
Groupe de paramètre	Paramètres	Unités	Valeurs indicatives
	Mercure	µg/l	6
	Nickel	µg/l	70
	Plomb	µg/l	10
	Sélénium	µg/l	10
	Zinc	mg/l	5
	Hydrocarbures polycycliques aromatique (H.P.A) totaux	µg/l	0,2
	Phénols	µg/l	0,5
	Pesticides (Totaux)	µg/l	0,5
	Bromates	µg/l	10
	Chlore	mg/l	5
	Chlorite	mg/l	0,07
	Trihalométhanes (THM) (Total)	µg/l	100
Radionucléides	Particules alpha	Picocurie/l	15
	Particules bêta	Millirems/an	4
	Tritium	Bequerel/l	100
	Uranium	µg/l	15
	Dose totale indicative (DTI)	(mSv/an)	0,1

Source (ministère des ressources en eau mars 2011)

III-3 Eau d'irrigation

La qualité de l'eau d'irrigation est déterminée par la concentration et la composition des sels dissous dans l'eau. Les principaux paramètres déterminants :

- la concentration totale du sel dissous dans l'eau;
- la concentration réelle de Na⁺ par rapport aux autres cations;

- la concentration des éléments toxiques;
- dans certains cas la concentration de HCO_3 par rapport au Ca et Mg. (AGID- Mott Mac Donald et Partners ltd et W.S Atkins International -1992)

a- En utilisant la conductivité (risque de salinité) :

La concentration des sels dans l'eau peut être déterminée en terme de conductivité électrique, donc l'eau d'irrigation peut être classée comme suit :

- Si la conductivité est inférieure à $250 \mu\text{s/cm}$ l'eau ne présente aucun risque;
- Si la conductivité varie entre 250 et $750 \mu\text{s/cm}$ l'eau peut être utilisée que s'il y a un bon drainage;
- Si la conductivité est supérieure à $2250 \mu\text{s/cm}$ l'eau est considérée impropre à l'irrigation. (T. Hartani (1987)

b- En utilisant la méthode de Richards :

Le SAR : est un indice qui évalue le danger que présente l'existence d'une teneur donnée en sodium; il est calculé par la formule su

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{(Ca^{2+}+Mg^{2+})/2}} \dots\dots\dots (III-1)$$

S: Sodium; A: Adsorption; R: Ratio.

Na^+ , Ca^{++} , et Mg^{++} représentent les concentrations en mg/l, les valeurs de SAR ont été calculées à partir des données des analyses chimiques.

La méthode de Richards est basée sur la combinaison des deux méthodes: du SAR et de la conductivité électrique.

III-4 Outils d'analyse des données

L'analyse des données et positionnement des points et les cartes de répartition spatiale de chaque élément chimique sont effectués par le logiciel ARC- GIS .

III-4-1 Présentation de logiciel ARC-GIS

Arc GIS est un système complet qui permet de collecter, organiser, gérer, analyser, communiquer et diffuser des informations géographiques. En tant que principale plateforme de développement et d'utilisation des systèmes d'informations géographiques (SIG) au monde, Arc GIS est utilisé par des personnes du monde entier pour mettre les connaissances géographiques au service du gouvernement, des entreprises, de la science, de l'éducation et des médias. Arc GIS permet la

publication des informations géographiques afin qu'elles puissent être accessibles et utilisables par quiconque. Le système est disponible partout au moyen de navigateurs Web, d'appareils mobiles tels que des smartphones et d'ordinateurs de bureau.

L'analyse spatiale des données est basée sur les statistiques par composante principale, en a utilisé la méthode de krigeage ordinaire .

III-4-1-1 analyse géostatistique

➤ L'interpolation

L'interpolation est la procédure qui consiste à estimer la valeur d'attribut pour des sites non échantillonnés situés à l'intérieur des limites définies par les positions de sites échantillonnés (Jacques Dubois Michel Diament -2003).

➤ L'analyse en composantes principales (ACP)

sert à mettre en évidence des similarités ou des oppositions entre variables et à repérer les variables les plus corrélées entre elles.

Ces variables sont par exemple des concentrations hebdomadaires ou bihebdomadaires mesurées pendant plusieurs périodes successives sur un ensemble de tubes. A ces concentrations peuvent s'ajouter des variables auxiliaires connues, migrées ou interpolée en ces même tubes. ((Jacques Dubois Michel Diament -2003).

❖ Principe de l'ACP

L'ACP consiste à remplacer une famille de variables par de nouvelles variables de variance maximale, non corrélées deux à deux et qui sont des combinaisons linéaires des variables d'origine. Ces nouvelles variables, appelées **composantes principales**, définissent des plans factoriels qui servent de base à une représentation graphique plane des variables initiales. L'interprétation des résultats se restreint généralement aux deux premiers plans factoriels, sous réserve que ceux-ci expliquent la majeure partie de la variance du nuage des variables initiales.

➤ Interpolation (méthode du krigeage)

Le krigeage est une méthode stochastique d'interpolation spatiale qui prévoit la valeur d'un phénomène naturel en des sites non échantillonnés par une combinaison linéaire sans biais et μ variance minimale des observations du phénomène en des sites voisins. Ce mémoire se consacre μ l'étude de cette méthode.(SOPHIE BAILLARGEON-2005)

il est calculé comme suit :

$$Z^*(X_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot Z(X_i) \dots \dots \dots (III-2)$$

III-4-1-2 Calcul du variogramme

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

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n [Z_i(x) - Z_i(x+h)]^2 \dots \dots \dots (III-3)$$

n : Le nombre de couples distant de h

[Z_i(x) - Z_i(x+h)] : Valeur de la VR, en (X_i) et (X_i+h) .(SOPHIE BAILLARGEON-2005)

III-4-2 Logiciel d'Hydrochimie d'Avignon (L.H.A.)

Nous avons utilisé le logiciel d'hydrochimie d'Avignon (version 4, 2008) , qui nous permet de classer les eaux en faciès chimique et en classe d'eau potable et d'irrigation, et de construire en particulier les diagrammes de Piper, de Schoeller-Berkaloff et de Riverside.

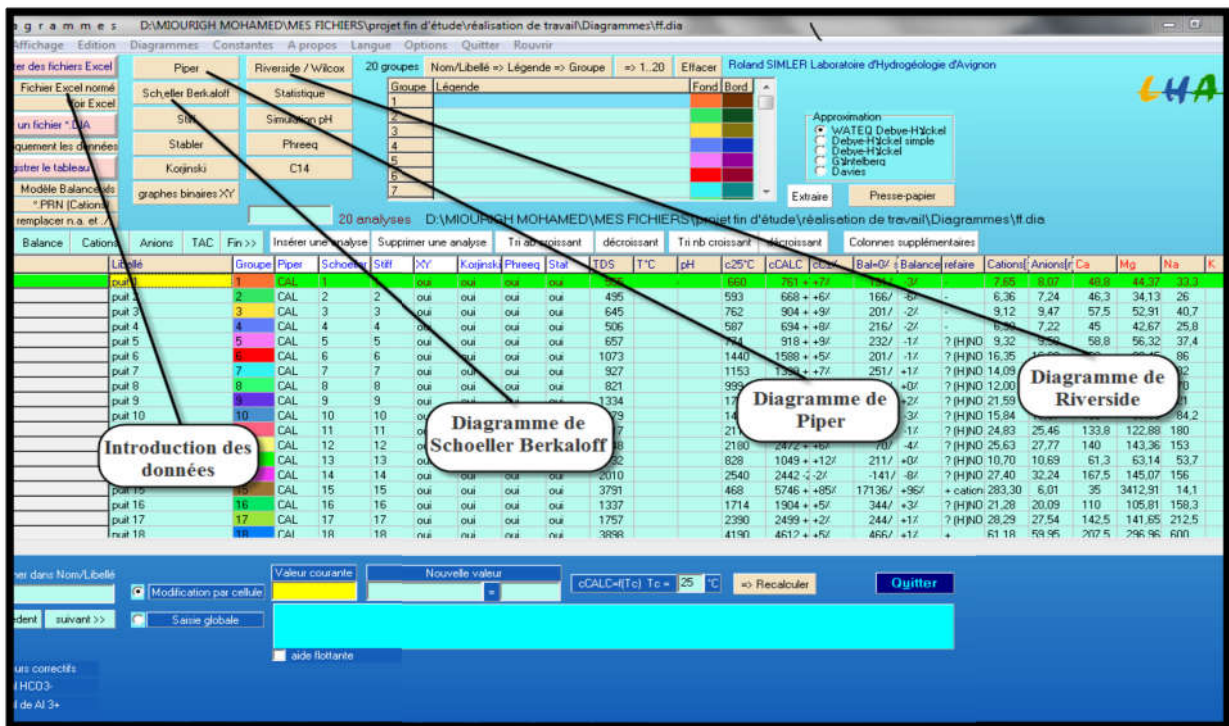


Figure III-1 : Représentation de l'interface du logiciel d'hydrochimie

❖ Signification des faciès chimiques

Les faciès chimiques sont couramment utilisés en hydrogéologie pour la description de la composition des eaux naturelles. La nécessité d'une comparaison aisée voire une classification des eaux naturelles nécessitent l'utilisation des représentations graphiques.

De ce fait, plusieurs représentations sont utilisées parmi lesquelles on peut citer :

- _ le diagramme de Piper,
- _ le diagramme semi-logarithmique de Schöeller-Berkaloff,
- _ le diagramme de Stiff,
- _ le diagramme à coordonnées rayonnantes...

Dans notre étude, seules deux représentations graphiques qui ont été retenues et utilisées : le diagramme semi-logarithmique de Schöeller-Berkaloff et le diagramme de Piper. (El Alaoui Abd El Hafid -Hajhouji Youssef)(2010-2011)

_ Le Diagramme de Piper :

Le Diagramme de Piper est l'une des représentations les plus classiques pour comparer les compositions chimiques des eaux naturelles. Il permet une représentation des cations étalions sur deux triangles spécifiques dont les côtés témoignent des teneurs relatives de chacun des ions majeurs par rapport au total des ions. La position relative d'un résultat analytique sur chacun de ces triangles permet de préciser en premier lieu la dominance cationique et anionique. A ces deux triangles, est associé un losange sur lequel est reportée l'intersection des deux lignes issues des points identifiés sur chaque triangle. Ce point d'intersection représente l'analyse globale de l'échantillon. Cette position permet de préciser le faciès de l'eau naturelle concernée. Le diagramme de Piper permet également :

- _ d'illustrer l'évolution chimique d'une eau dans un aquifère ainsi que les mélanges d'eaux de minéralisations différentes,
- _ d'avoir une idée sur la lithologie à partir des analyses chimiques,
- _ d'avoir une relation entre le chimisme de l'eau et la nature lithologique de l'encaissant,
- _ la projection de plusieurs échantillons en même temps :
 - Pour suivre leurs évolutions dans le temps et dans l'espace,
 - Pour les comparer,
 - Pour avoir une idée sur la notion de mélange,
- _ de suivre les propriétés physico-chimiques au cours de leur évolution spatiotemporelle. (El Alaoui Abd El Hafid -Hajhouji Youssef)(2010-2011)

III-5 Exécution des prélèvements

Après le choix des points de prélèvement, il est nécessaire d'ouvrir le robinet Suffisamment pour renouveler l'eau contenue dans le tubage jusqu'à ce qu'elle devienne représentative de la portion d'aquifère que l'on veut échantillonner.

Les échantillons d'eau doivent être prélevés dans des flacons propres, rincés avec l'eau distillée puis avec l'eau à analyser. Après la mise en flacon des échantillons, les flacons doivent être fermés hermétiquement sans laisser de bulles d'air dans le flacon.

Les flacons doivent être clairement identifiés à l'aide d'étiquettes indiquant le numéro de l'échantillon

III-5-1 Stockage des échantillons

Toutes les eaux sont susceptibles de se modifier plus ou moins rapidement par suite des réactions physiques, chimiques ou biologiques qui peuvent avoir lieu dans le flacon dans le laps de temps qui sépare le prélèvement de l'analyse.

Pour cela, il faut apporter les échantillons au laboratoire d'analyses dès que possible (délai inférieur à 24 heures). La température de l'échantillon ne doit jamais dépasser celle de l'eau souterraine prélevée. Les flacons doivent être stockés à l'abri de la lumière et au frais (glacière ou réfrigérateur). Au laboratoire, les échantillons doivent être conservés au réfrigérateur entre 3 et 5°C

Remarque : les résultats sont représentées dans l'annexe- 1-.

III-6 Qualité des données

Avant de traiter et d'interpréter les analyses des eaux prélevées au niveau des différentes stations (eaux souterraines et eaux de surfaces), il faut analyser la fiabilité des résultats de ces analyses. La méthode utilisée est la Balance Ionique (BI). Il faut rappeler qu'en théorie, une eau naturelle est électriquement neutre. De ce fait, la somme (en équivalents chimiques) des cations devrait être égale à celle des anions (en équivalents chimiques).

En réalité, cette égalité est rarement obtenue. De façon générale, la différence est attribuée aux incertitudes, à la présence de certains ions non dosés ou à d'éventuelles erreurs d'analyse. Ainsi, une certaine marge de déséquilibre entre anions et cations est admise. Elle est exprimée sous forme d'un écart relatif par la formule :

$$BI = \frac{\sum cations - \sum anions}{\sum cations + \sum anions} \times 100 \dots\dots\dots(III-3).$$

Le calcul de la balance ionique permet généralement de vérifier la fiabilité des résultats des analyses chimiques. Cependant, les incertitudes sur les résultats, variables selon les techniques d'analyse, peuvent expliquer les erreurs parfois élevées sur les balances ioniques, à cause de la présence éventuelle d'anions organiques non pris en compte dans les calculs. ((El Alaoui Abd El Hafid -Hajhouji Youssef)(2010-2011)

D'une manière générale, des analyses chimiques sont considérées :

_ Excellentes lorsque $BI < 5 \%$

_ Acceptable lorsque $5\% \leq BI < 10\%$,

_ Douteuse lorsque $BI \geq 10\%$

Le contrôle de la qualité des analyses par la balance ionique est systématiquement appliqué à toutes les analyses pour la chronique 2003-2006

les résultats de ce test nous montre que les valeurs sont acceptables dont les valeurs douteuse sont enlevé.

III-7 Données d'analyse

III-7-1 Echantillonnage

Les échantillons analysés sont prélevés des puits domestiques, forages, ainsi que des piézomètres . Ils sont localisés dans la nappe de la Mitidja.

Vu le nombre important de puits que compte la région d'étude, et étant confronté à l'impossibilité d'analyser les eaux de l'ensemble de ces forages, nous avons procédé à la sélection de plus de 100 échantillons , pour prélever l'eau de la nappe souterraine .

Afin de mener à bien notre étude, nous avons considéré trois années : (2003),(2004), (2005) et (2006).

Le positionnement des points sont représentés sur la carte suivante qui a été établi par le logiciel ARC JIS pour les trois années.

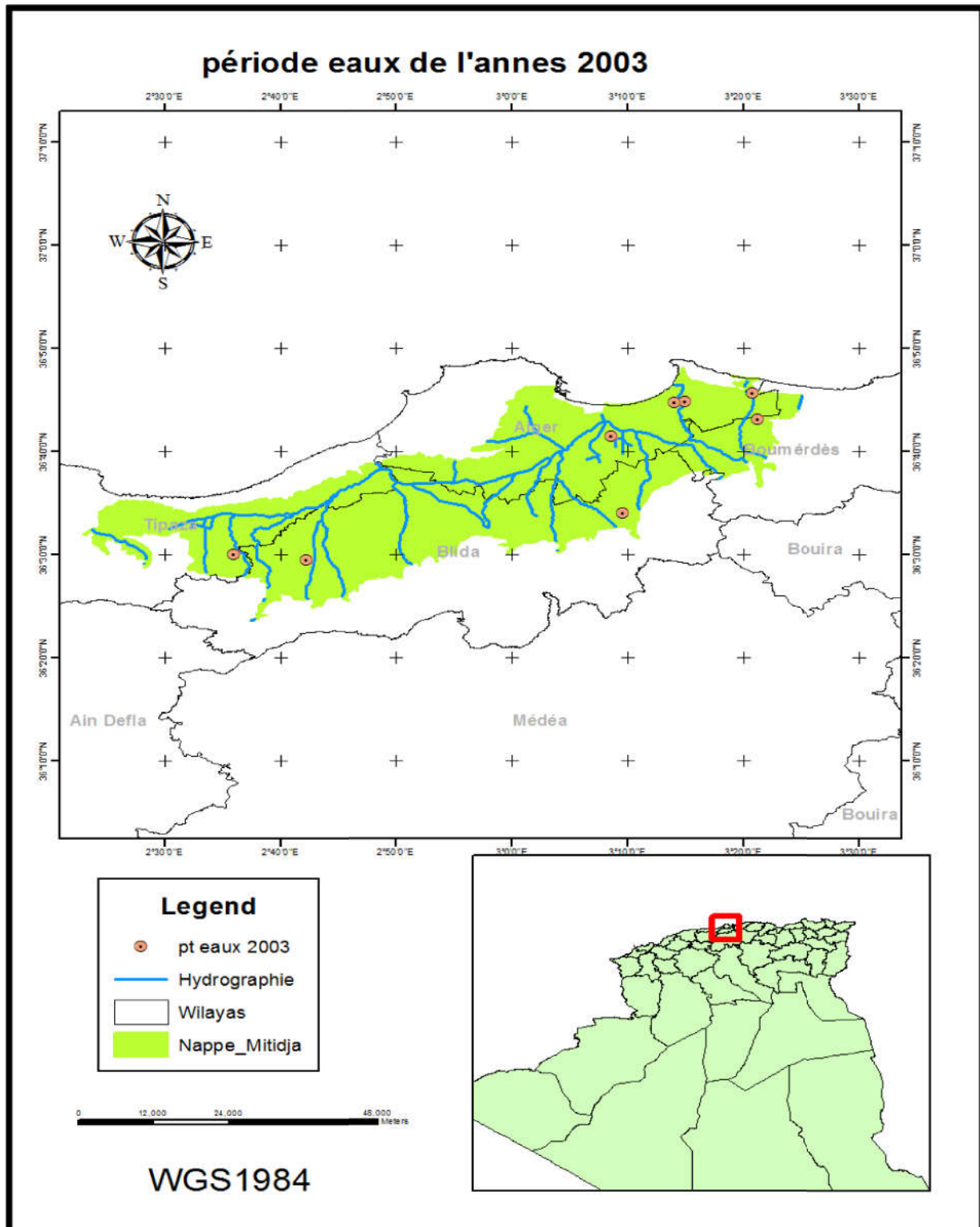


Figure III-2 : les points eaux de la période des hautes eaux de l'année 2003.

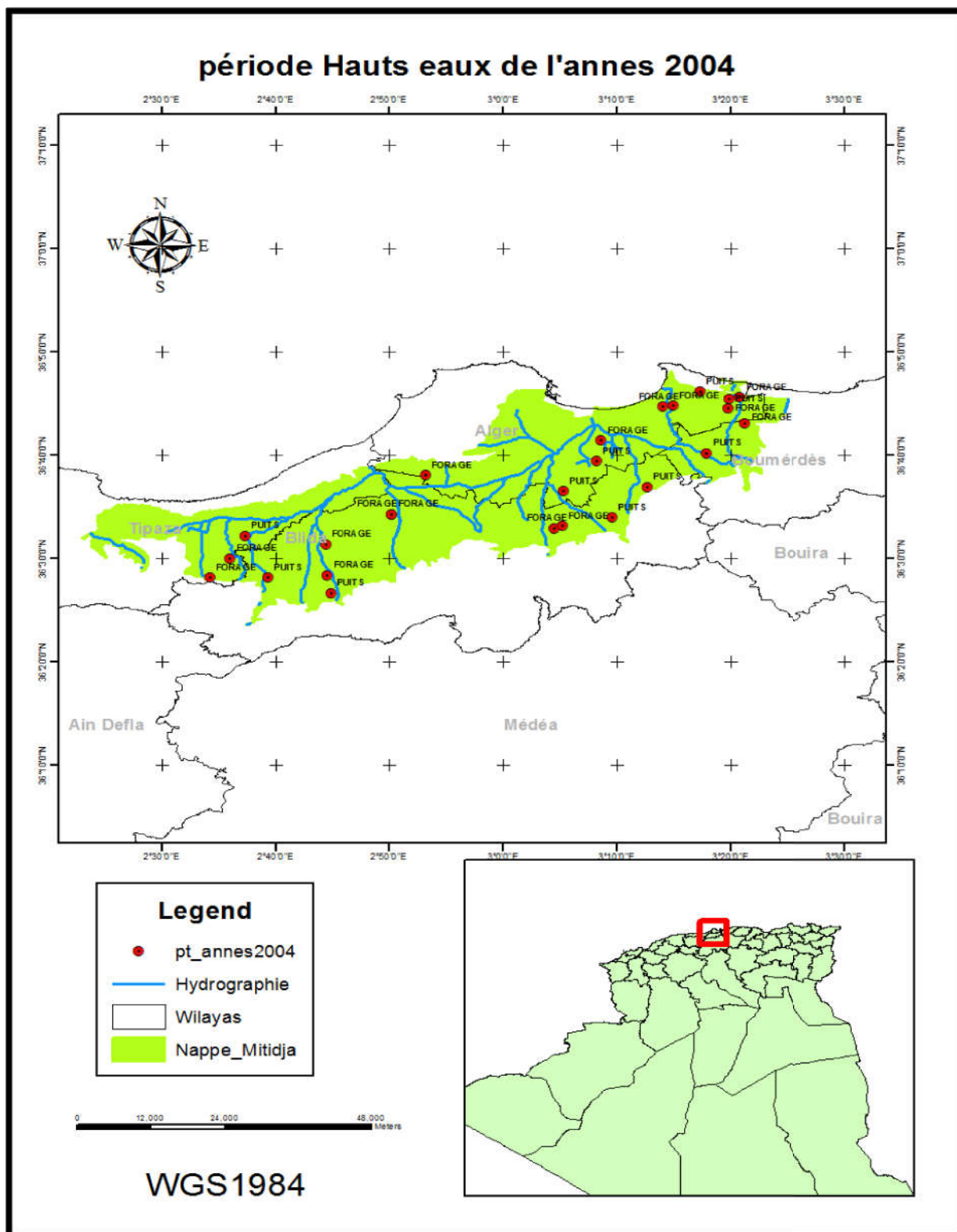


Figure III -3 : les points eaux de la période des basses eaux de l'année 2004.

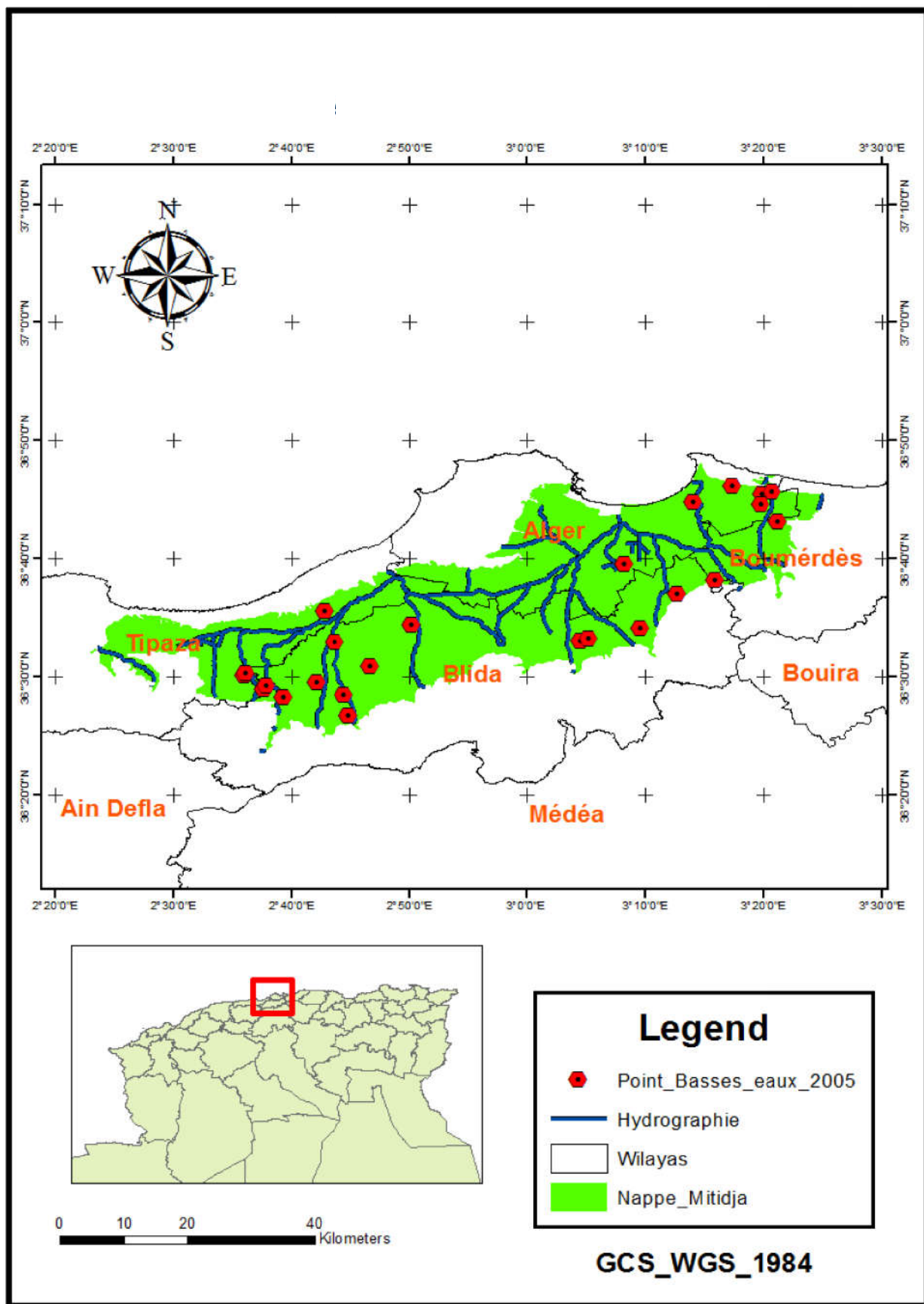


Figure III-4 : les points basses eaux de l'année 2005 de la nappe Mitidja .

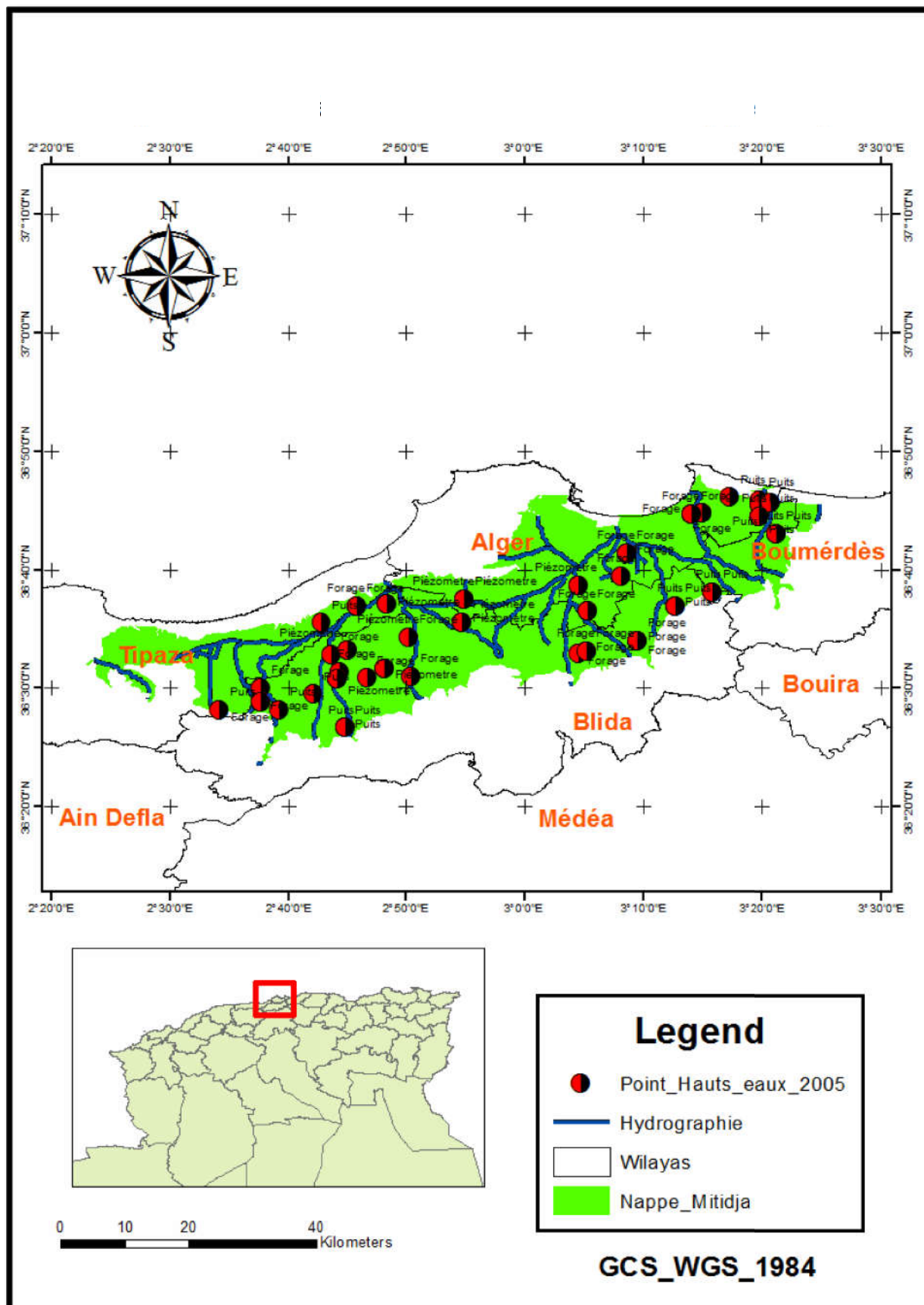


Figure III-5 : les points hauts eaux de l'année 2005 de la nappe Mitidja .

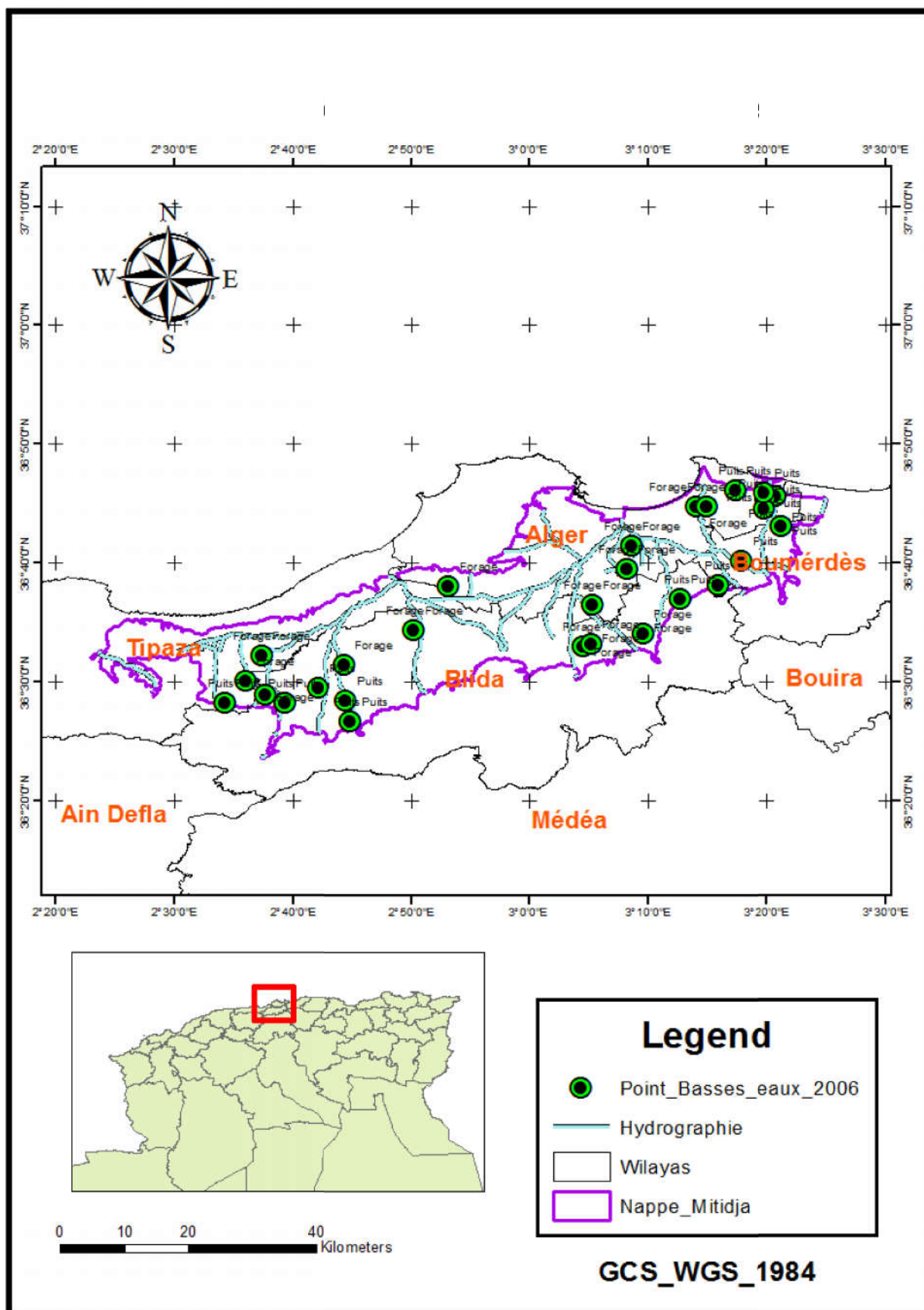


Figure III-6 : les points basses eaux de l'année 2006 de la plaine Mitidja

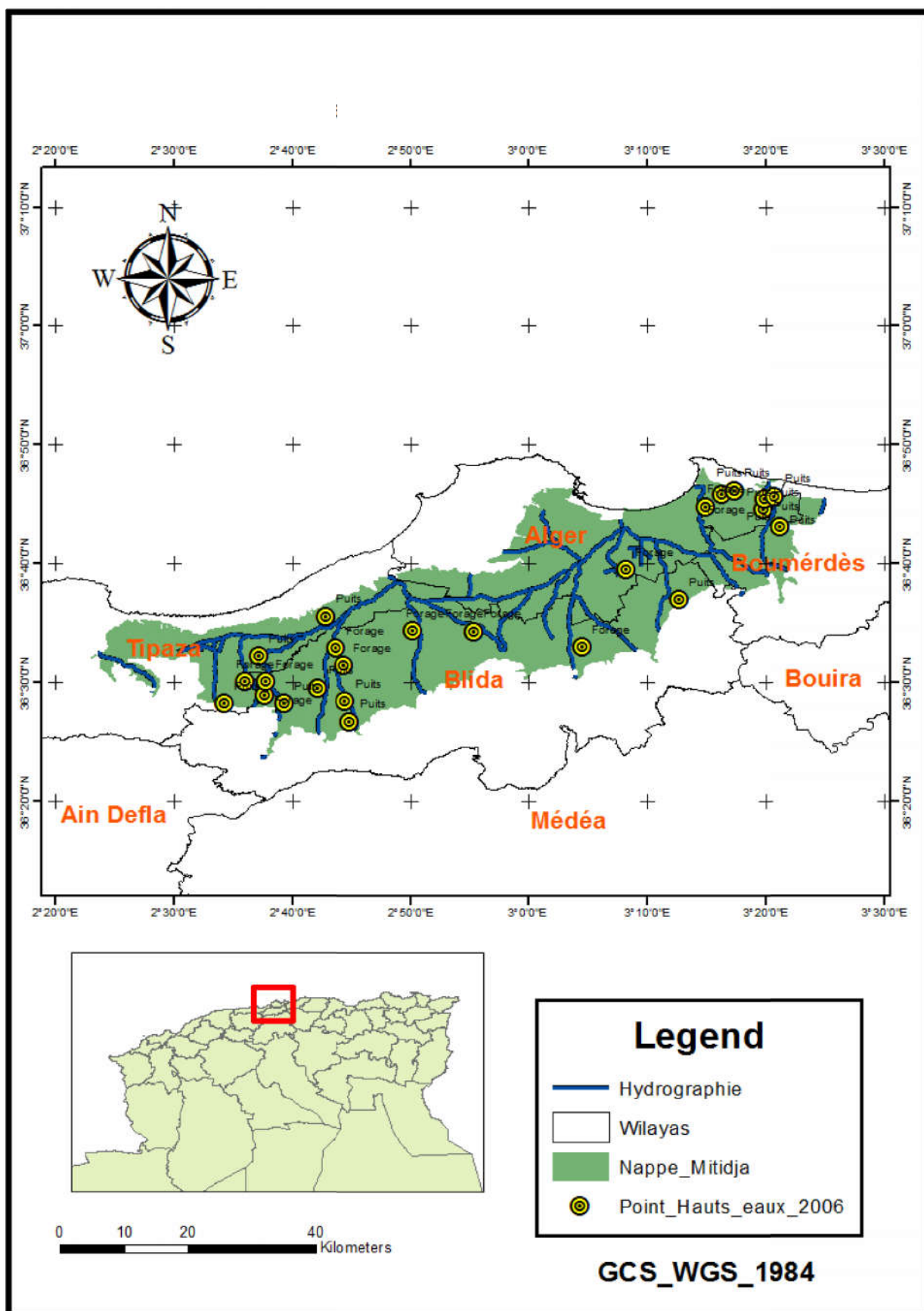


Figure III-7 : les points hauts eaux de l'année 2006 de la plaine Mitidja

II-5 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 IIIème 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 et l'eau potable.

Chapitre IV : Résultats et Discussions

IV-1 Introduction

Ce chapitre sera consacré à l'interprétation des analyses physico-chimiques des échantillons d'eau prélevés au niveau de la nappe souterraine de la Mitidja. Ces prélèvements sont effectués des forages et des puits durant deux périodes: hautes et basses eaux. Les paramètres physico-chimiques mesurés sont la conductivité électrique, la température et quelques éléments chimiques caractérisés essentiellement par les cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ et K^+) et les anions (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_3^-).

Le but de cette étude hydro-chimique est de déterminer les caractéristiques physico-chimiques des eaux et des éléments dissous afin de déterminer leurs origines, définir les faciès chimiques des eaux souterraines. De les comparer et de suivre leur évolution dans l'espace. La qualité des eaux souterraines sera également étudiée.

Pour cela, un certain nombre de cartes et de diagrammes ont été élaborés et qui serviront de base pour l'interprétation générale des résultats de mesures des paramètres physico-chimiques et d'analyses chimiques.

IV-1 -PARTIE I : étude de la piézométrie des années 2005 et 2006 (période hautes eaux et basses eaux).

➤ Quelques notions sur la piézométrie :

Afin de connaître l'état de la ressource en eau en termes de quantité, il est indispensable de surveiller la profondeur du niveau piézométrique des nappes.

Elle peut être mesurée ponctuellement par une sonde manuelle, ou régulièrement à l'aide d'enregistreur automatique, avec données télétransmises pour le plus perfectionné. Les mesures sont réalisées dans des forages, puits ou piézomètres.

La piézométrie est la mesure de profondeur de la surface de la nappe d'eau souterraine. Elle est exprimée soit par rapport au sol en m, soit par rapport à l'altitude zéro du niveau de la mer en m NGF (Nivellement Général Français).

La surface de la nappe correspond au niveau piézométrique. En cas de pompage de l'eau d'un forage, le niveau de la nappe s'abaisse en formant un cône de rabattement. La retranscription cartographique de la surface de la nappe d'eau souterraine se lit comme une carte topographique. Les courbes de niveau ou isopièzes donnent des indications sur le sens des écoulements et leur vitesse. L'analyse des

fluctuations des niveaux piézométriques permet de déterminer des cycles de recharge et de vidange de la nappe, hautes eaux et basses eaux, à des échelles de temps annuelles ou pluri-annuelles. (G.DE MARCILY-2004)

La piézométrie est indispensable à la compréhension du comportement d'un aquifère, à sa caractérisation, à l'évaluation de ses capacités... Elle permet également de déceler des interactions entre exploitation de différents ouvrages. Des piézométries peuvent être mesurées à différentes échelles : d'un ouvrage à plusieurs nappes, suivant les objectifs poursuivis.

Le suivi des niveaux piézométriques est un outil important pour la gestion et la protection des nappes. Pour les nappes alluviales en relation avec un cours d'eau, ce suivi s'accompagnera de l'enregistrement et du suivi parallèle des niveaux du cours d'eau.

La comparaison de l'évolution des niveaux dans le cours d'eau et dans la nappe permettra de préciser la connexion hydraulique entre ces deux composants du système, et en particulier le degré de colmatage éventuel des berges et du fond du cours d'eau. (SOGREAH 2009)

Le choix de l'implantation des piézomètres est très important. Ils devront être situés dans les zones les plus représentatives et les plus significatives. Cela implique évidemment un état minimal de connaissance de la géométrie de la nappe et de son régime d'alimentation.

De manière générale, il sera intéressant de disposer de piézomètres au voisinage du cours d'eau, au voisinage des versants (coteaux), de même qu'au moins un piézomètre central dont les variations de niveau seront corrélées à l'enregistrement des pluies. (G.DE MARCILY-2004)

IV- 1-1 la piézométrie de l'année 2005 :

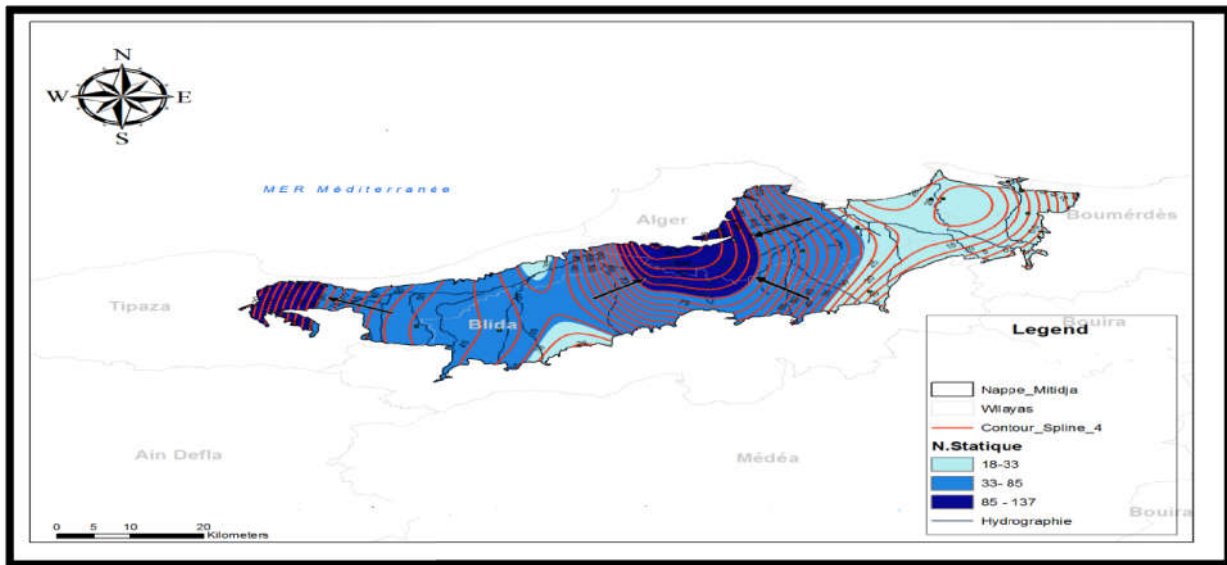


Figure IV-1 : la carte piézométrique (période des basses eaux de l'année 2005).

A-Interprétation de la carte piézométrique :

On distingue deux grandes parties :

Partie Ouest :

- La carte des basses eaux montre une surface piézométrique à courbes régulières et parallèles dans la partie Ouest où le niveau piézométrique varie entre 85 m et 137 m
- Le sens d'écoulement Est- Ouest dirigé vers la région de Hadjout .

Partie Est et Centre :

- Tandis que dans le reste de la plaine on distingue clairement deux zones caractéristiques :
- La zone de Reghaia jusqu'à Khemis El Khechna où les niveaux sont proches de la surface variant entre (18-33)m
- Et la zone du côté de Boufarik où les niveaux sont les plus profonds (allant jusqu'à : 137 m)

Par conséquent l'écoulement est dirigé vers la région du côté de Boufarik .

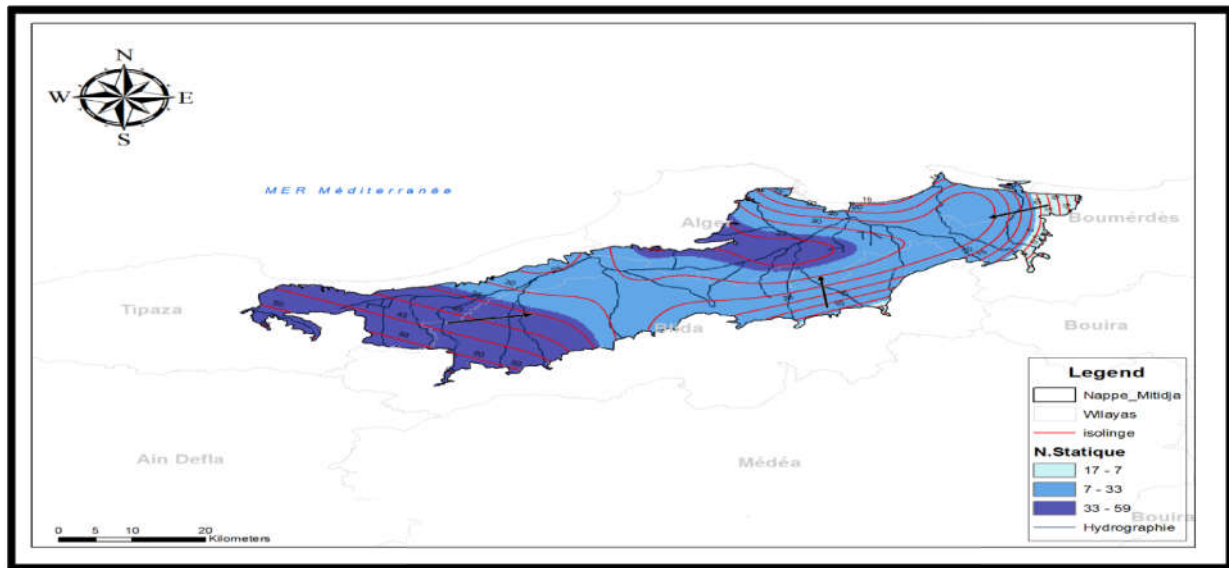


Figure IV-2 : la carte piézométrique (période des hautes eaux de l'année 2005)

B-Interprétation de la carte piézométrique :

On distingue deux grandes parties :

Partie Ouest :

- La carte des basses eaux montre une surface piézométrique à courbes régulières dans la partie Ouest où le niveau piézométrique varie entre 30 m et 59 m
- Le sens d'écoulement Est-Sud Ouest dirigé vers la région de Ahmar El- Ain.

Partie Est et Centre :

- Tandis que dans le reste de la plaine on distingue clairement deux zones caractéristiques :
- La zone de Reghaia jusqu'à Khemis El Khechna où les niveaux sont proches de la surface variant entre (7-17) m
- Et la zone du côté de Birtouta où les niveaux sont les plus profonds (allant jusqu'à : 60 m)
- Par conséquent l'écoulement est dirigé vers la région de Birtouta.

IV- 1-2 la piézométrie de l'année 2006 :

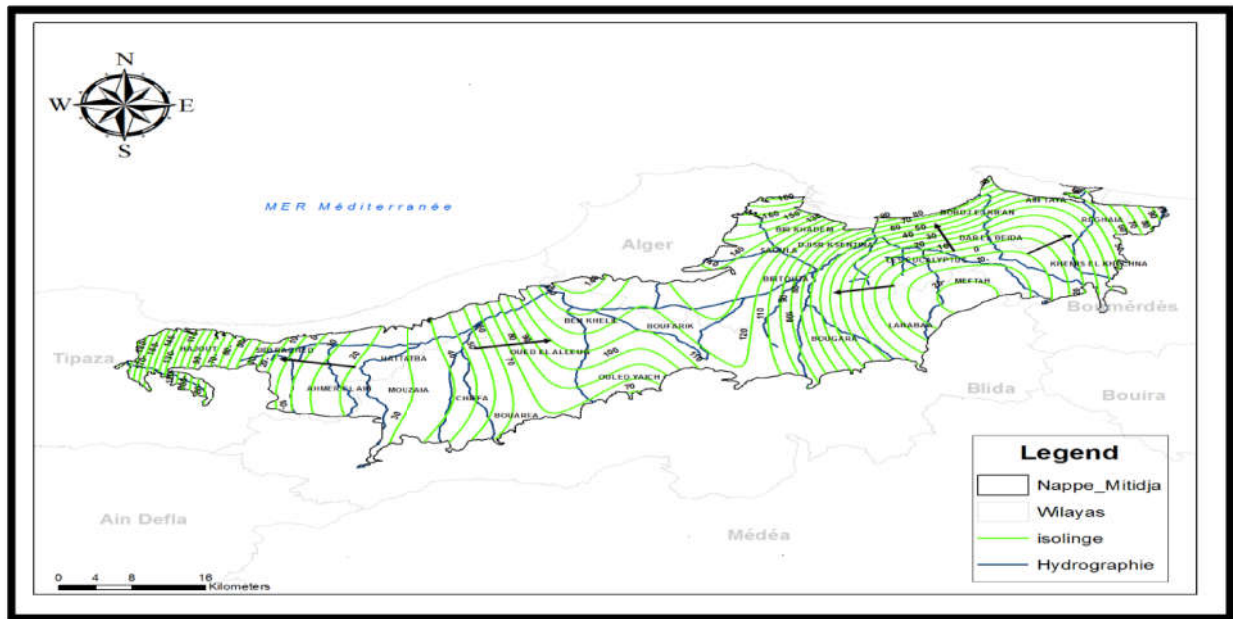


Figure IV-3 : la carte piézométrique (période des basses eaux de l'année 2006)

A-Interprétation de la carte piézométrique :

On distingue deux grandes parties :

Partie Ouest :

- La carte des basses eaux montre une surface piézométrique à courbes régulières et parallèles dans la partie Ouest où le niveau piézométrique varie entre 20 m et 70 m
- Le sens d'écoulement Est- Ouest dirigé vers la région de Hadjout .

Partie Est et Centre :

- Tandis que dans le reste de la plaine on distingue clairement deux zones caractéristique :
- Un écoulement Est- Ouest dirigé vers la région de Boufarik ou les niveaux sont profonds égale a 100 m .
- Un écoulement Ouest-Est a partir de la région de Chiffa jusqu'à Hattatba dirigé vers la région de Boufarik ou les niveaux sont profonds égale a 100 m .

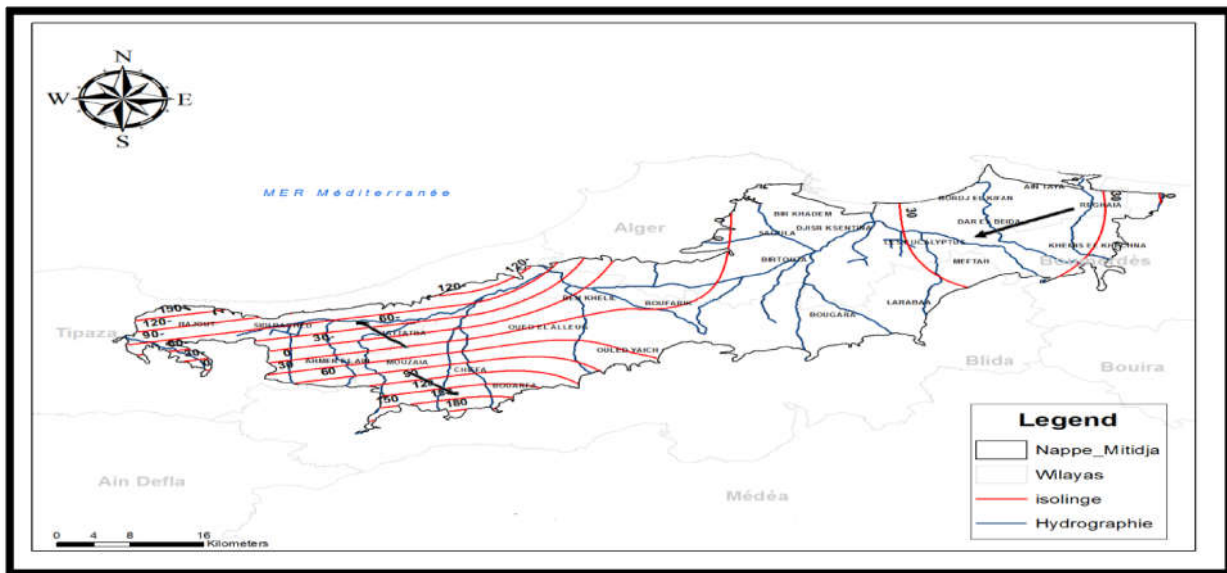


Figure IV-4 : la carte piézométrique (période des hautes eaux de l'année 2006).

B- interprétation de la carte piézométrique :

On distingue deux grandes parties :

Partie Ouest :

- La carte des basses eaux montre une surface piézométrique à courbes régulières et parallèles dans la partie Est où le niveau piézométrique proche de la surface de la terre (égale à 30 m).
- Le sens d'écoulement Est dirigé vers la ligne des partages des eaux ou se trouve au niveau des régions (Boufarik ,Oued Alleug et Ahmer El Ain) .

Partie Est :

- Tandis que dans le reste de la plaine on distingue une ligne qui partage les eaux revenant de la partie Est dirigé vers :
- La région de Bouarfa (sud)où les niveaux sont proches de la surface variant entre (90-180)m
- Et la zone du côté de Hataiba où les niveaux varient entre (30-120)

IV -2 PARTIE II : Etude de la qualité des eaux souterraines de la plaine de la Mitidja et leur aptitude à l'irrigation et AEP pour les années 2003 , 2004 ,2005 ,2006 .

IV-2-1 Caractérisation hydro chimique des eaux souterraines de la plaine de la Mitidja en période des hautes eaux de l'année 2003:

A- Classification chimiques des eaux souterraines

A-1 Classification des eaux souterraines selon Piper :

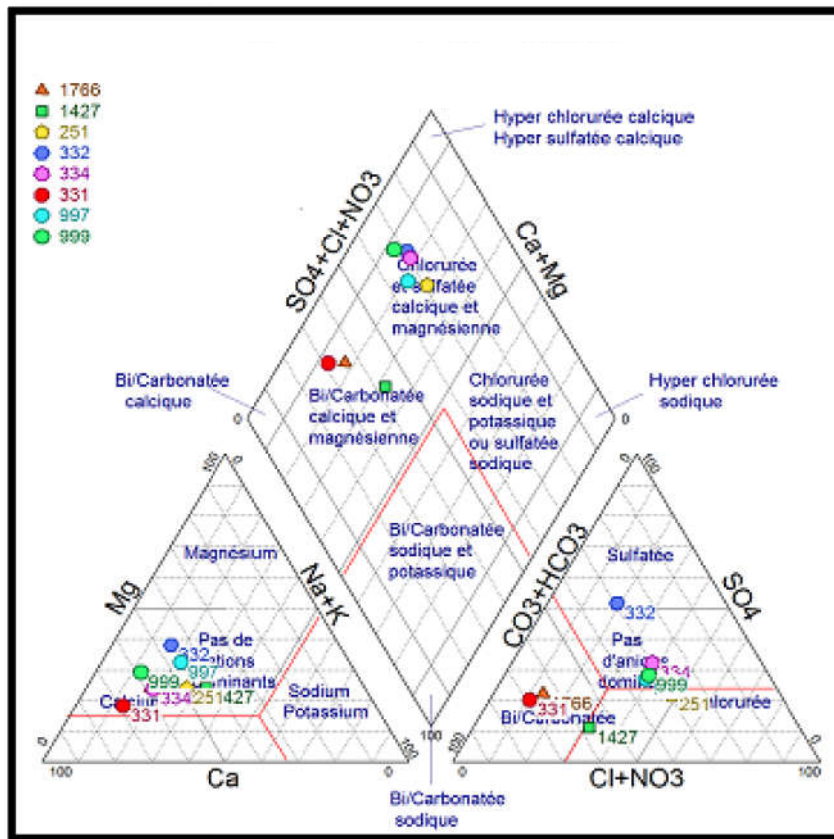


Figure IV-5 : Projection sur le diagramme de piper des résultats des analyses des eaux souterraines de la plaine de la Mitidja (période hautes eaux de l'année 2003).

-interprétation du diagramme :

-Le chimisme des eaux analysées est caractérisé par le faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien au niveau du centre de la plaine de la Mitidja .il ya une légère migration vers le faciès bicarbonaté et calcique magnésienne.

-Il n'ya pas des cations dominants, il ya une légère migration vers le cation de calcium au niveau de la partie Sud- Est de la plaine.

-Il n'ya pas d'anion dominant sauf quelques échantillons au niveau de la partie Ouest qui ont le faciès bicarbonaté .

B-Interprétation des cartes krigées par ARC GIS :

Les analyses faites pour quatre cations et quatre anions tel que :

Les cations sont : Na^+ ; Ca^{2+} ; k^+ ; Mg^{2+} .

Les anions sont : Cl^- ; NO_3^- ; SO_4^- ; HCO_3^- .

- Calcium Ca^{2+} (période des hautes eaux de l'année 2003):

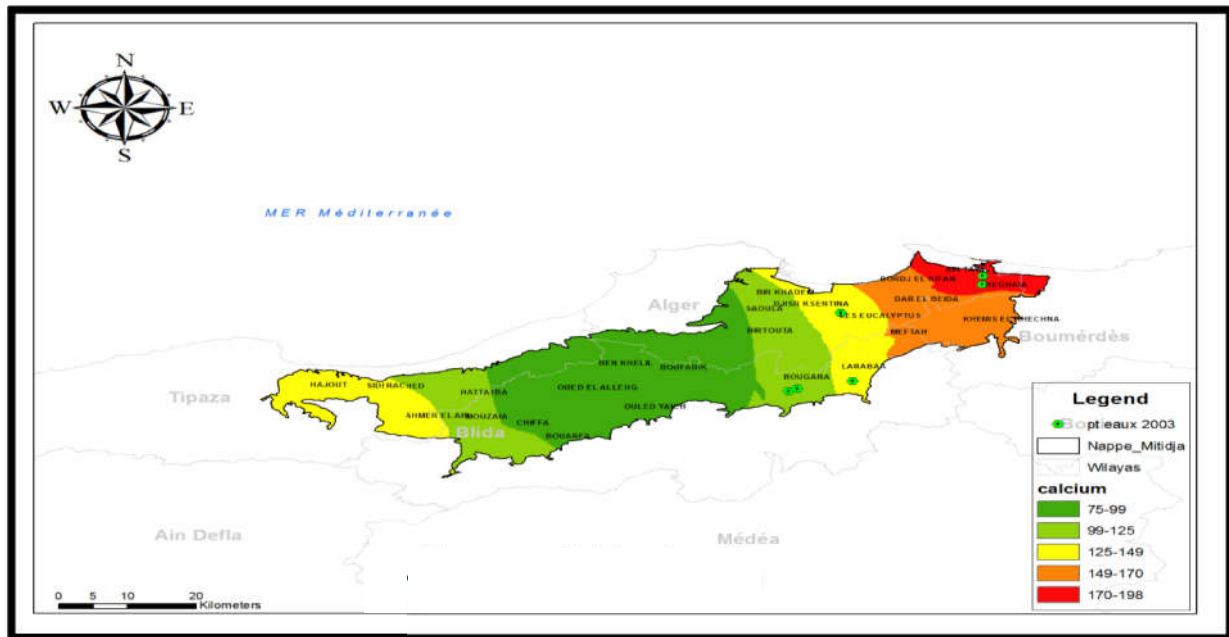


Figure IV-6 : Carte krigée de Calcium (Période des hautes eaux de l'année 2003).

a-Variogramme correspondant :

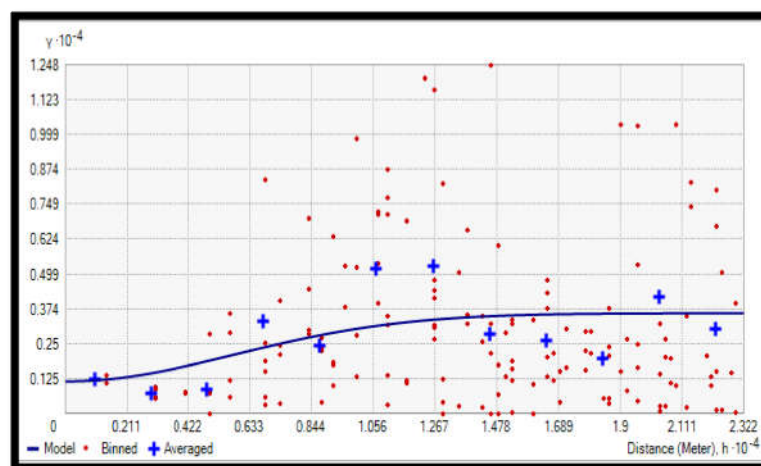


Figure IV-7 : variogramme de la carte de calcium (Période des hautes eaux de l'année 2003).

b- Interprétation de la carte krigée de calcium :

-Pour AEP : d'après la carte krigée du calcium, on remarque que celle ci renferme des valeurs inférieures aux normes algériennes (200 mg/l).

-Pour l'irrigation : la carte krigée de calcium montre que toutes les teneurs sont inférieures aux normes fixées par la FAO (400 mg/l).

Remarque : Il faut signaler que les cartes krigées de tous les autres éléments (Cations et Anions) au cours de cette période présentent le même comportement que pour celle du Calcium ; c'est-à-dire que

les valeurs sont dans les normes que ça soit pour l'AEP ou pour l'Irrigation **excepté le cas des nitrates**.

➤ **Nitrates NO₃⁻** (période des hautes eaux de l'année 2003):

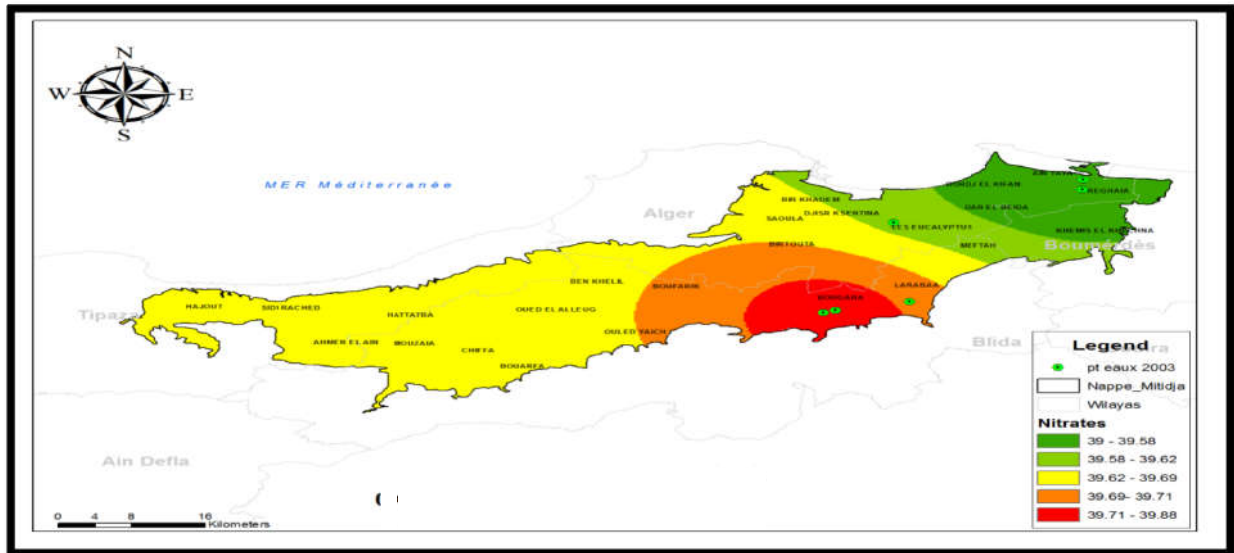


Figure VI-8 : carte krigée de nitrates (période des hautes eaux de l'année 2003).

a-variogramme correspondant :

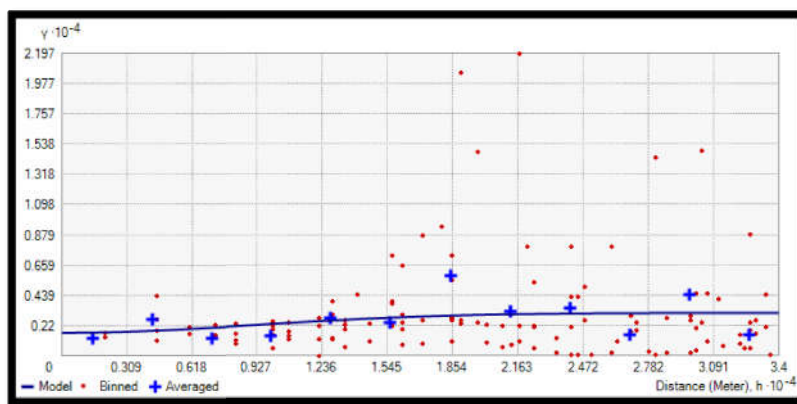


Figure IV-9 : variogramme de la carte nitrates (Période des hautes eaux de l'année 2003).

b-Interprétation de la carte krigée de NO₃⁻

- ✓ **pour AEP** : d'après la carte krigée de nitrates, on note que toutes les valeurs sont inférieures aux normes algériennes, donc, sont des eaux potables .
- ✓ **pour l'irrigation** : la carte krigée de nitrates montre que toutes les concentrations sont élevées par rapport aux normes fixées par la FAO, ce qui cause **un risque pour les plantes** .

B-1-La détermination de la qualité des eaux de l'irrigation par la méthode de la conductivité électrique (risque de salinité) :

➤ CE (période des hautes eaux de l'année 2003):

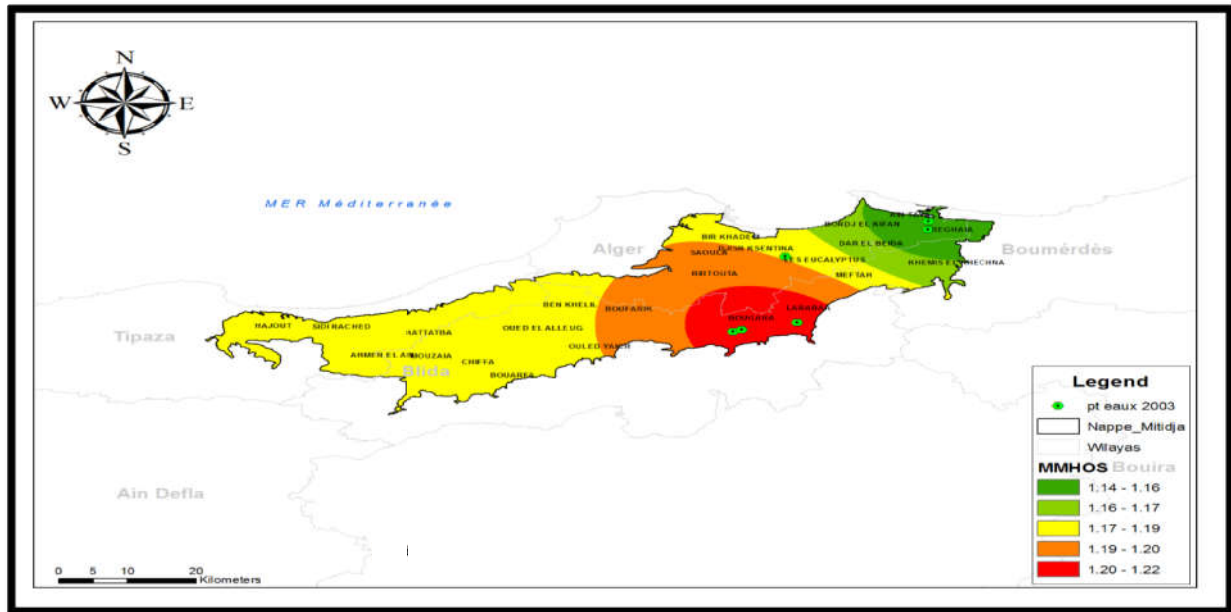


Figure IV-10 : carte krigée de CE (Période des hautes eaux de l'année 2003).

a-variogramme correspondant :

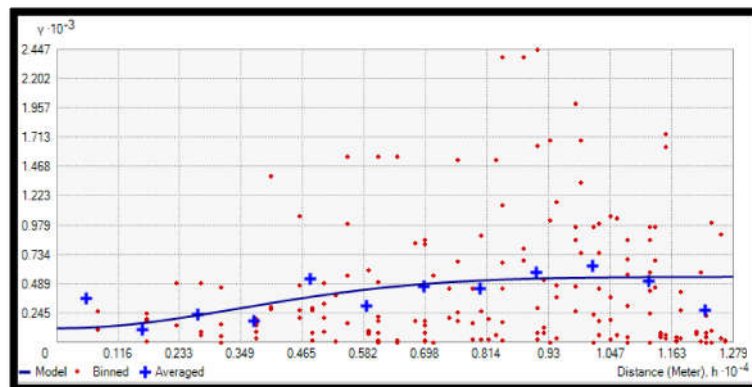


Figure IV-11 : variogramme de la carte de CE (période des hautes eaux de l'année 2003).

b-Interprétation de la carte krigée de la CE : d'après la carte krigée de CE ,on note que les valeurs sont classées d'après l'annexe -2- en C3 : Eau à forte salinité, utilisée pour les sols à drainage restreint, même avec un bon drainage ,surtout au niveau de la région Bougara et Larbaa.

➤ SAR (période des hautes eaux de l'année 2003) :

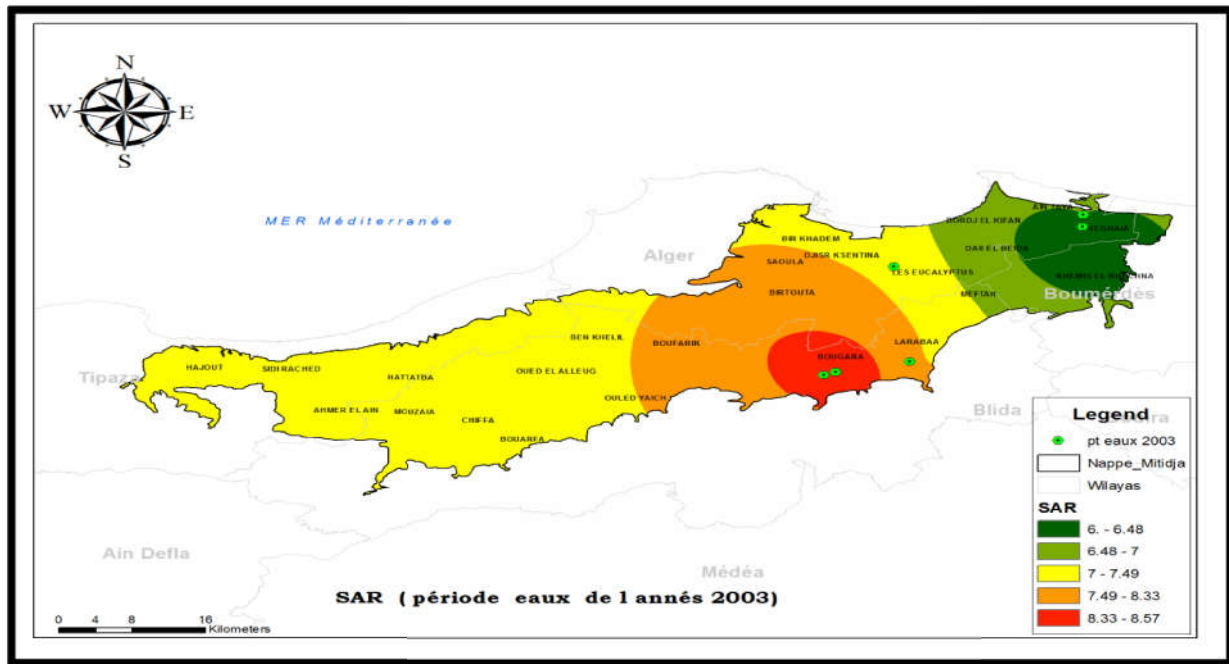


Figure IV-12 : la carte krigée de SAR (périodes des hautes eaux de l'année 2003).

a-variogramme correspondant :

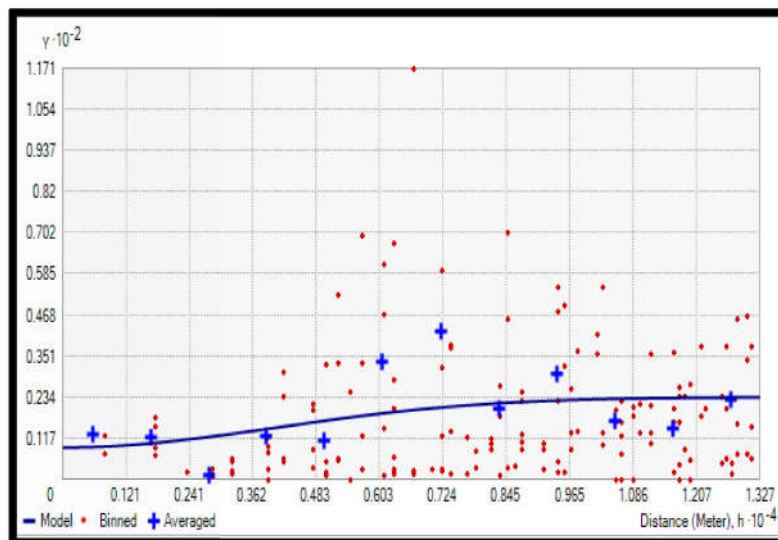


Figure IV-13 : variogramme de la carte de SAR (période des hautes eaux de l'année 2003).

b-Interprétation de la carte krigée de SAR : d'après la carte krigée de SAR, on note que toutes les valeurs sont classées d'après l'annexe -3- en S1 : Eaux utilisables pour l'irrigation. Danger d'alcalinisation réduit, bien que certaines cultures sensibles au sodium puissent être gênées .

IV-2-2Caractérisation hydro chimique des eaux souterraines de la plaine de la Mitidja en période des basses eaux de l'année 2004 :

A- Classification chimiques des eaux souterraines

A-1 Classification des eaux souterraines selon Piper :

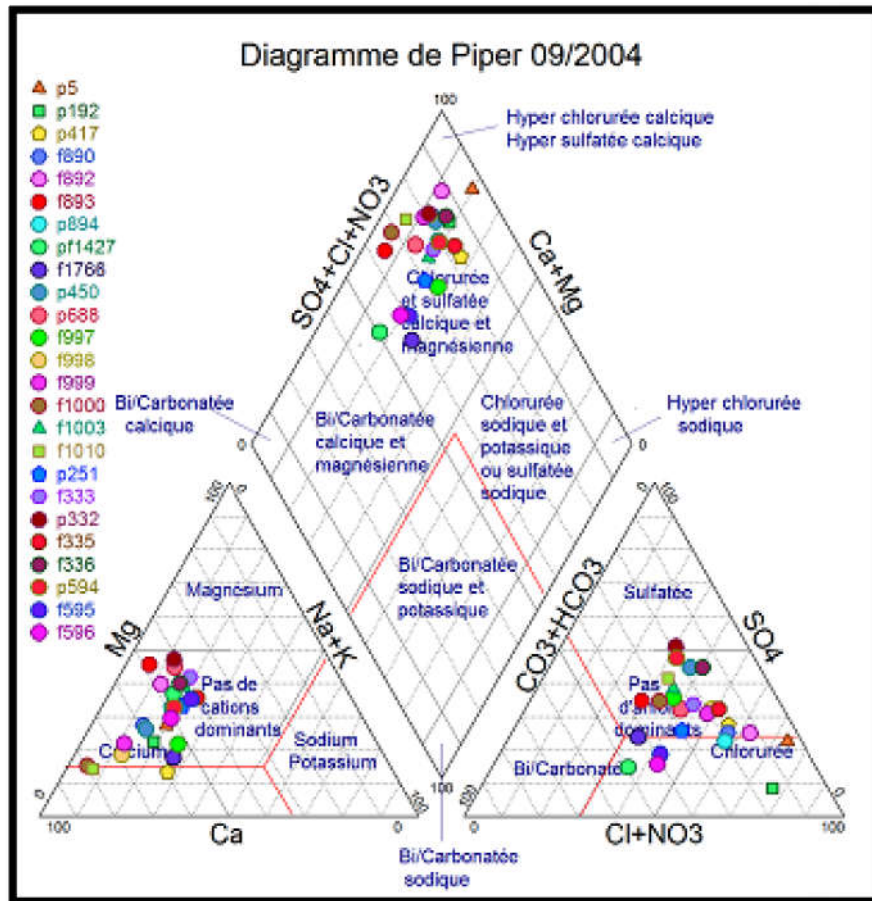


Figure IV-14:Projection sur le diagramme de piper des résultats des analyses des eaux souterraines de la plaine de la Mitidja (période basses eaux de l'année 2004).

-Interprétation de diagramme :

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

-Le chimisme des eaux analysées est caractérisé par le faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien au niveau du centre de la plaine de la Mitidja .

-Il n'y a pas des cations dominants, il y a une légère migration vers le cation de calcium au niveau de la partie Est de la plaine environs 80%.

-Il n'y a pas d'anion dominant sauf quelques échantillons au niveau de la partie Est qui ont le faciès chloruré .

B-Interprétation des cartes krigées par ARC GIS :

Remarque : Il faut signaler que les cartes krigées de tous les éléments (Cations et Anions) au cours de cette période présentent le même comportement que pour celle du Calcium (période des hautes eaux de l'année 2003) ; c'est-à-dire que les valeurs sont dans les normes que ça soit pour l'AEP ou pour l'Irrigation **excepté le cas de magnésium et de nitrates.**

➤ **Magnésium Mg⁺⁺** (période des basses eaux de l'année 2004) :

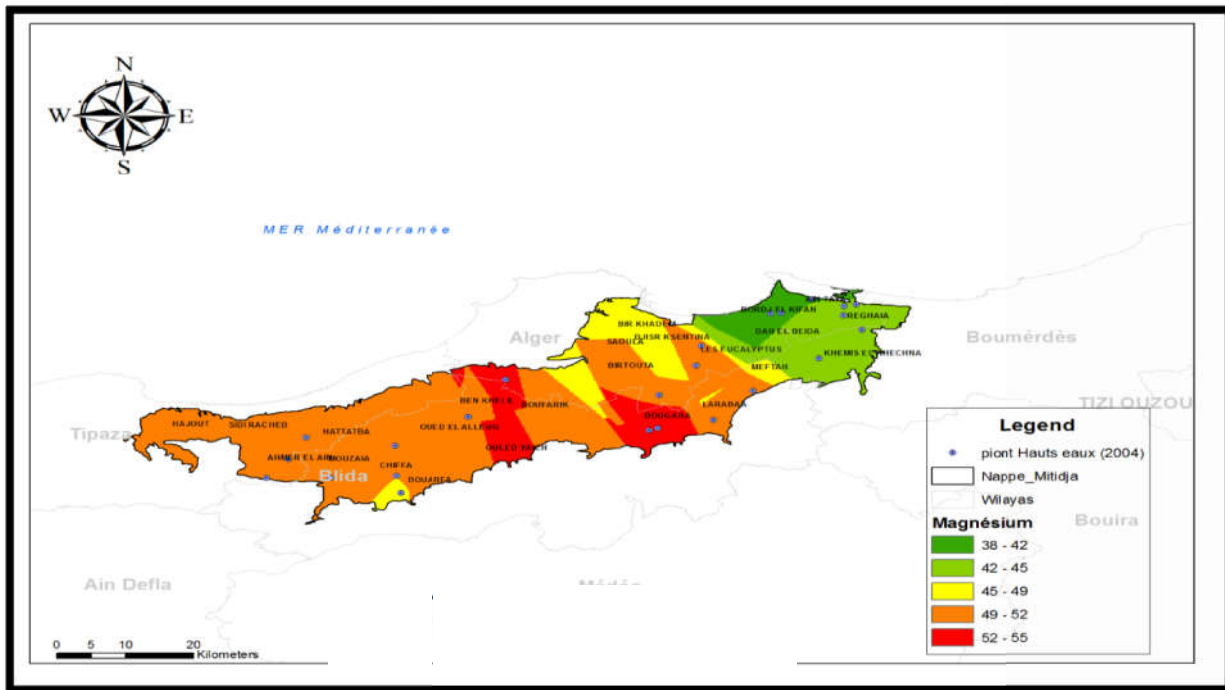


Figure IV-15 : carte krigée de magnésium (période des basses eaux de l'année 2004)

a- Variogramme correspondant :

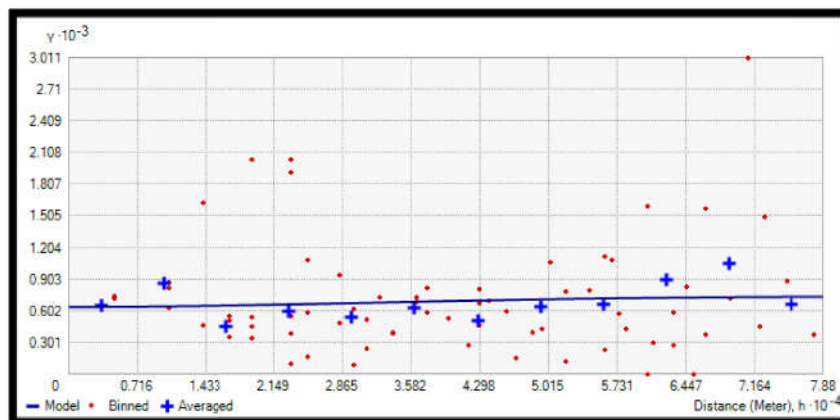


Figure IV-16 :variogramme de magnésium (période des basses eaux de l'année 2004)

b-Interprétation de la carte krigée de Magnésium :

-**Pour AEP :** d’après la carte krigée de magnésium ,on note que quelques zones au centre de la plaine, les environs de Bougara ,Benkhilil ,Boufarik renferment des valeurs des concentration supérieures à la norme fixé par OMS (50 mg/l) à cause de la présence des roches éruptives, .les valeurs ont tendance à diminuer en se rapprochant vert l’Est .

-**Pour l’irrigation :** d’après la carte krigée de magnésium, on note que toutes les concentrations sont inférieures aux normes fixées par le FAO .

➤ **Nitrates NO₃- (période des basses eaux de l’année 2004):**

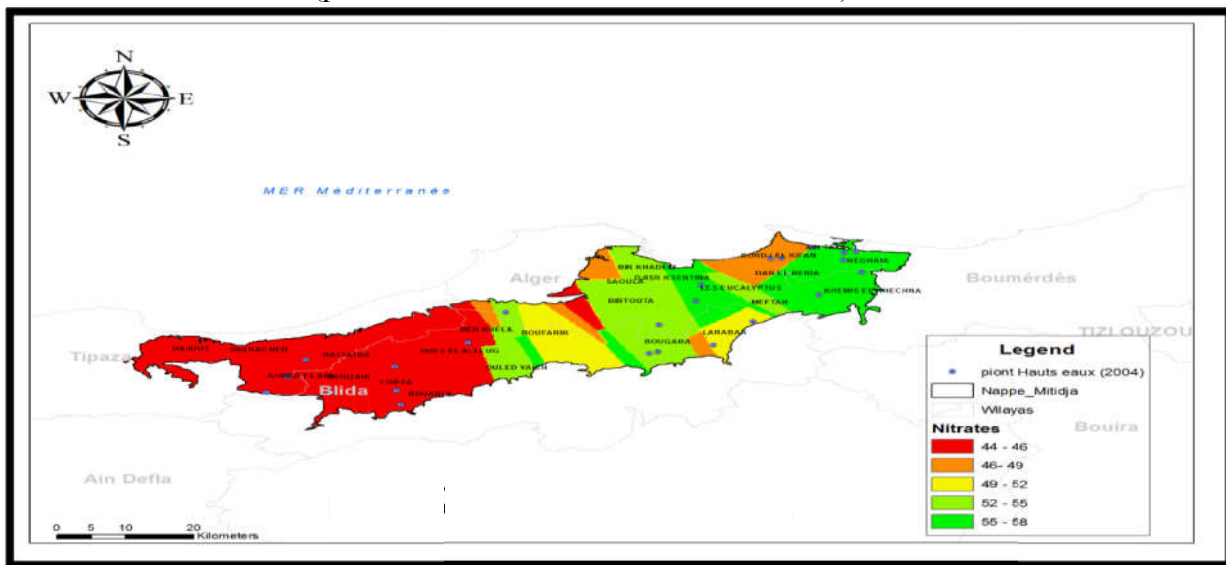


Figure VI-17 :carte krigée de nitrates (période des basses eaux de l’année 2004).

a-variogramme correspondant :

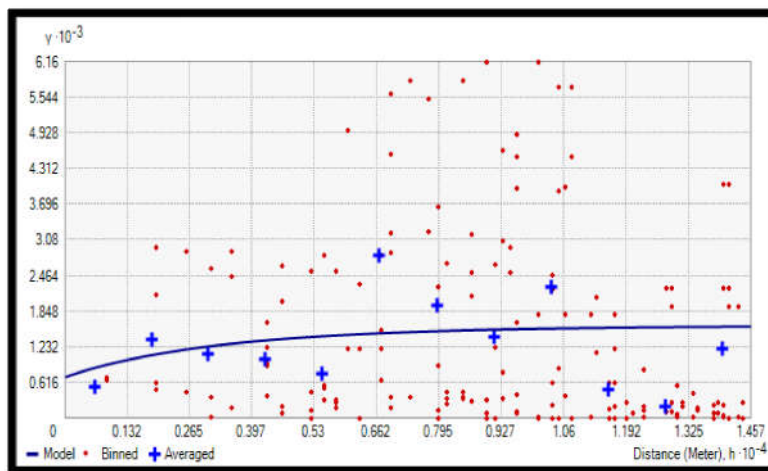


Figure IV-18 : variogramme de la carte de nitrates (période des basses eaux de l’année 2004).

b-Interprétation de la carte krigée de NO_3^-

-**Pour AEP** : la carte krigée de nitrates montre que la zone située à partir du centre de la Mitidja, jusqu'à l'Est renferment des valeurs de concentrations supérieures aux normes algériennes, a cause de la présence des rejets des pesticides agricole .

-**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 apport au norme de FAO .

B-1- La détermination de la qualité des eaux de l'irrigation par la méthode de la conductivité électrique (risque de salinité) :

➤ CE (période des basses eaux de l'année 2004):

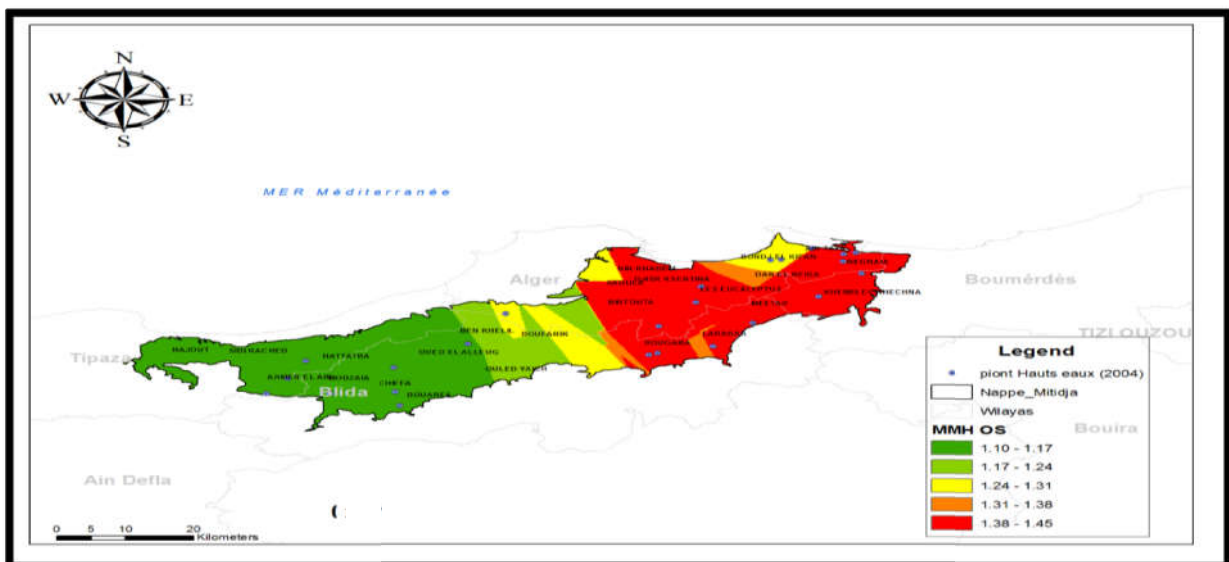


Figure IV-19 : carte krigée de CE (Période des hautes eaux de l'année 2004).

a-variogramme correspondant :

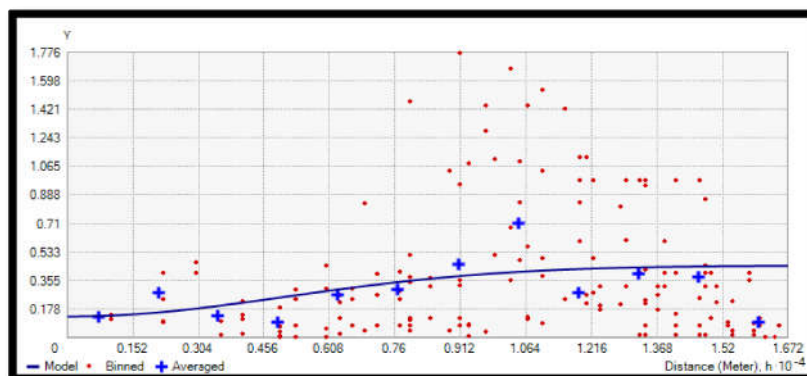


Figure IV-20 :variogramme de la carte de CE (période des basses eaux de l'année 2004)

b-Interprétation de la carte krigée de la CE : d'après la carte krigée de la CE ,on note que toutes les valeurs de la plaine sont classées d'après l'annexe -2- en 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 la mer surtout au niveau de la partie Nord -Est .

➤ SAR (période des basses eaux de l'année 2004):

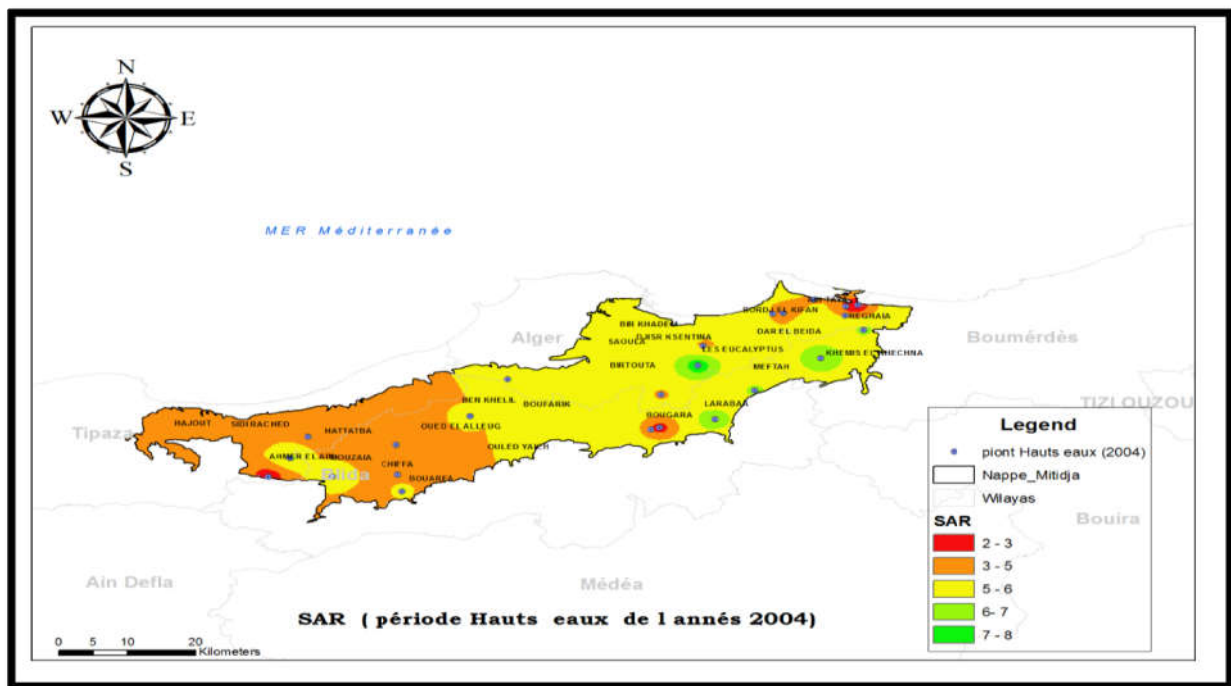


Figure IV-21 :la carte krigée de SAR (périodes des basses eaux de l'année 2004) .

a-variogramme correspondant :

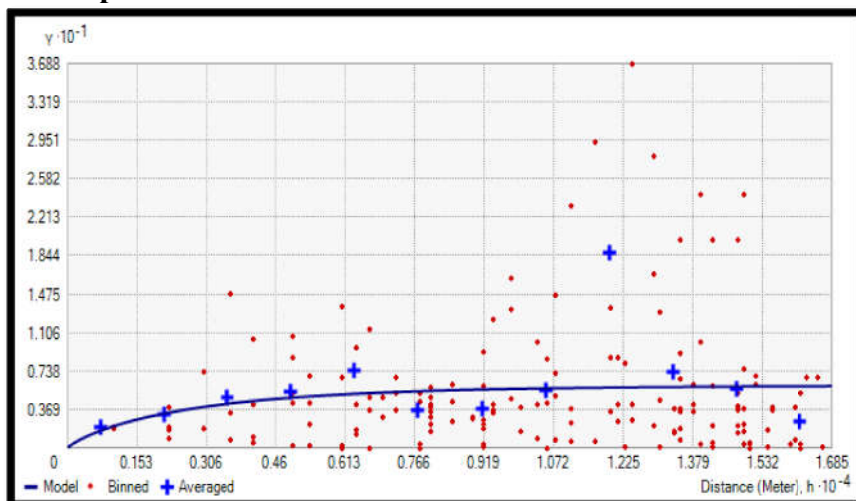


Figure IV-22 :variogramme de la carte de SAR(période des basses eaux de l'année 2004) .

b-Interprétation de la carte krigée de SAR : d'après la carte krigée de SAR, on remarque que toute la plaine, renferme des valeurs qui sont classées d'après l'annexe -3- en S1 : Eaux utilisables pour l'irrigation . Danger d'alcalinisation réduit, bien que certaines cultures sensibles au sodium puissent être gênées.

IV-2-3 Caractérisation hydro chimique des eaux souterraines de la plaine de la Mitidja en période des hautes eaux de l'année 2005 :

A- Classification chimiques des eaux souterraines :

A-1 Classification des eaux souterraines selon Piper :

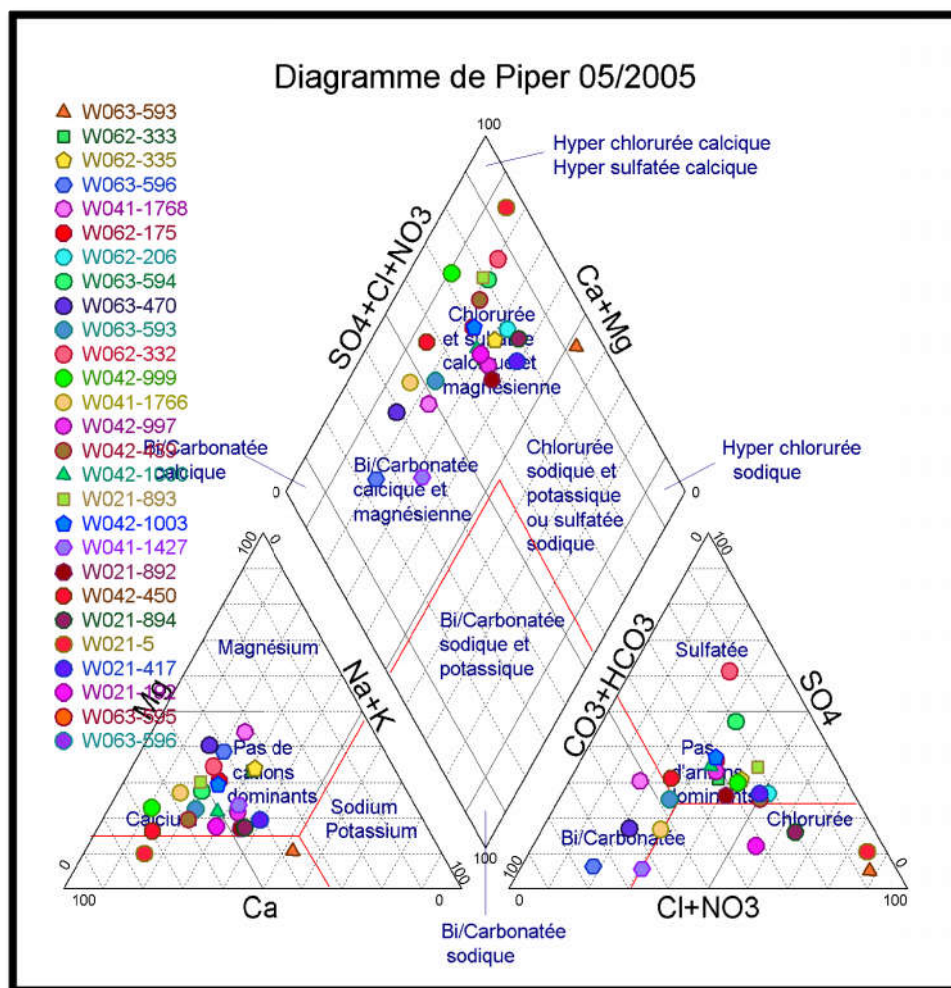


Figure IV-23 : Projection sur le diagramme de piper des résultats des analyses des eaux souterraines de la plaine de la Mitidja (période des hautes eaux de l'année 2005).

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

-Les eaux du faciès chloruré sulfaté calcique et magnésien sont moyennement concentrés au niveau de la partie ouest et centre de la plaine de la Mitidja .Il y'a une légère migration vers le faciès bicarbonaté calcique et magnésienne .

-Il n'ya pas un cation dominant pour la plupart des échantillons sauf quelques unes , au niveau de la partie Sud -Ouest des environs de Blida. 70% des échantillons du calcium est le cation dominant .

Il n'ya pas un anion dominant sauf 30 % des échantillons au niveau de Attatba et Boufarik. le bicarbonate est l'anion dominant .

B-interprétation des cartekrigée par ARC GIS :

- Ca ++ (période des hautes eaux de l'année 2005) :

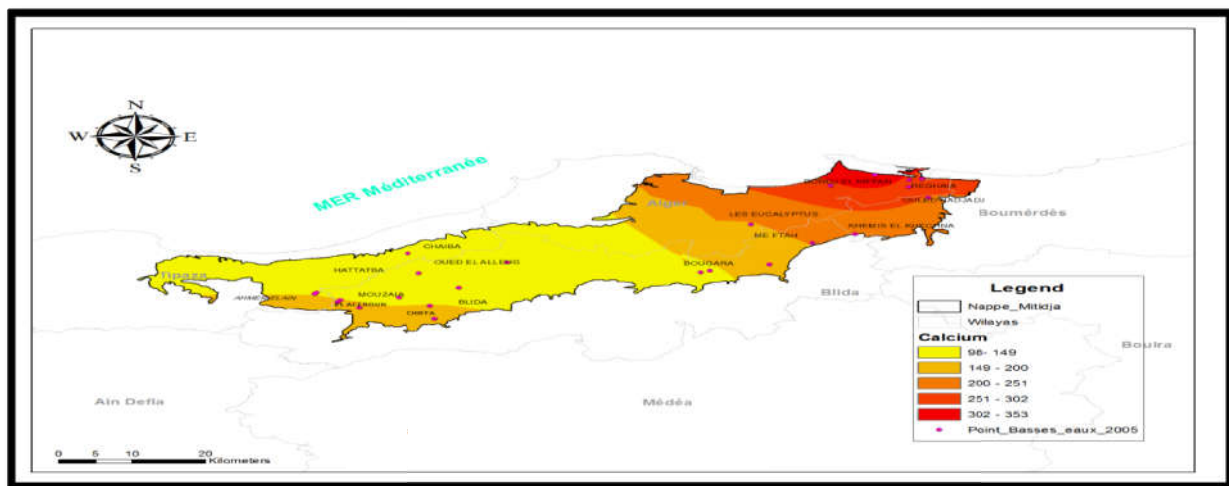


Figure IV-24 :Carte krigée de Calcium (Période des hautes eaux de l'année 2005).

a-variogramme correspondant :

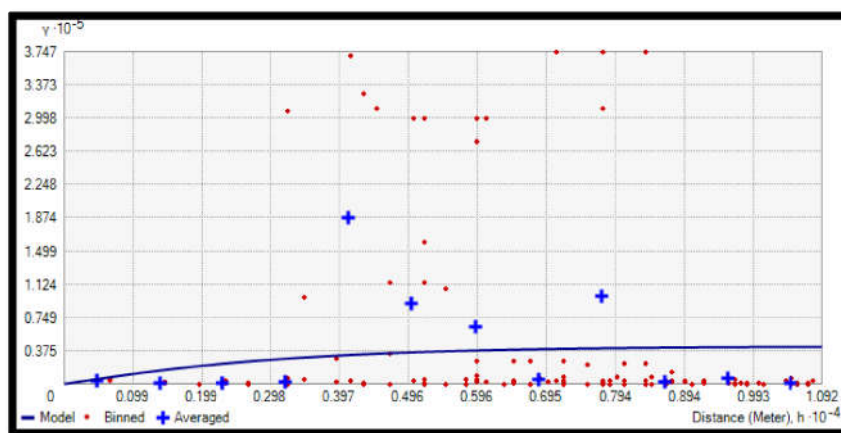


Figure IV-25 :variogramme de la carte de calcium (période des hautes eaux de l'année 2005).

b-Interprétation de la carte krigée de calcium :

-**Pour AEP** : selon les normes algériennes ; la teneur en calcium est fixé à **200mg/l** ,d'après la carte krigée on remarque que ,Les teneurs sont élevées a cote de Rouiba à 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 l'irrigation** :d'après Les normes des eaux d'irrigation fixées par la FAO , la valeur maximale admissible pour le calcium est fixé à 400mg/l ,La carte krigée de Ca^{+} montre que toutes les concentrations de la zone Mitidja sont inferieures 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. Dans la zone littorale du côté de Rouiba, les eaux présentent une meilleure qualité.

➤ **Magnésium Mg^{++}** (période des hautes eaux de l'année 2005):

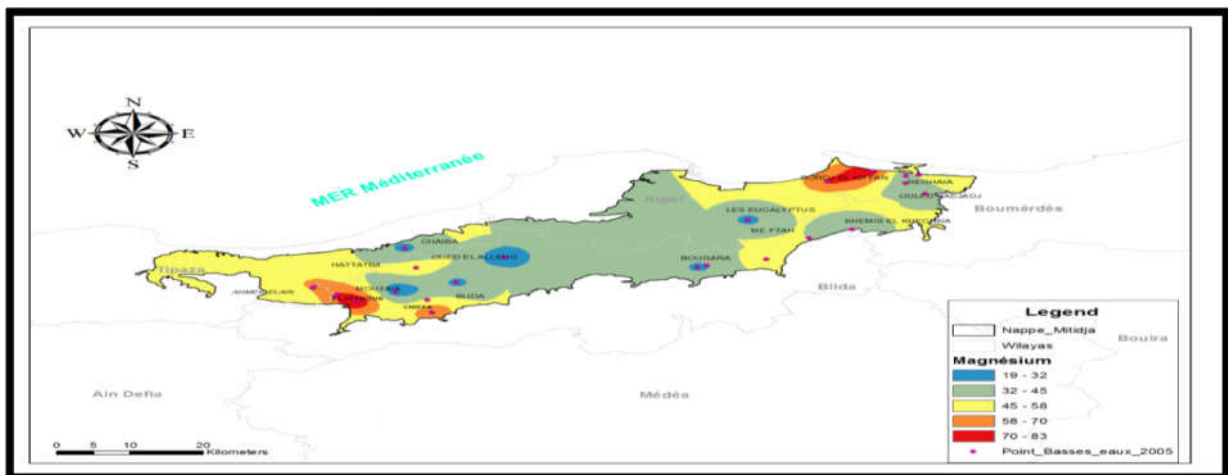


Figure IV-26 : Carte krigée de Magnésium (Période des hautes eaux de l'année 2005)

a-variogramme correspondant :

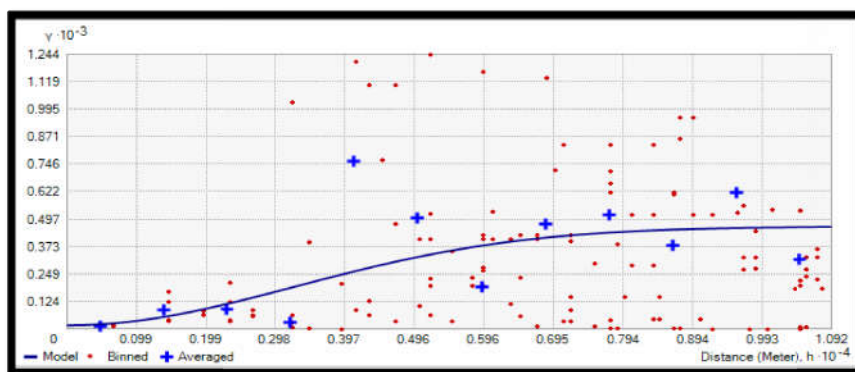


Figure IV-27 :variogramme de la carte de magnésium (période des hautes eaux de l'année 2005).

b-Interprétation de la carte krigée de Magnésium :

-Pour AEP : d’après la carte krigée de magnésium on remarque que la partie Nord-Est des environ de Bordj El kiffan et au Sud- Ouest d’EL Affroun renferme des valeurs de concentration supérieures aux normes fixé par OMS. cela est due à la présence des roches magmatique qui contiennent du magnésium .

-Pour l’irrigation : On peut voir sur la carte krigée de Mg^{2+} que les zones situées au NE de la plaine à coté de la zone littorale de Rouiba, et au SO de la plaine du coté de Ahmar El Ain renferment des valeurs de concentration les plus adéquates ou ils disposent une bonne qualité d’eau pour l’irrigation. juste à côté de ces zones il y’a des concentrations qui dépassent la norme internationale fixée par la FAO (61 mg/l). Cela peut s’expliquer par la présence éventuelle des eaux de mer dans la zone littorale. mais aussi par la formation lithologique de la zone SO formée par des marnes et des argiles.

➤ **Potassium K^+** (période des hautes eaux de l’année 2005) :

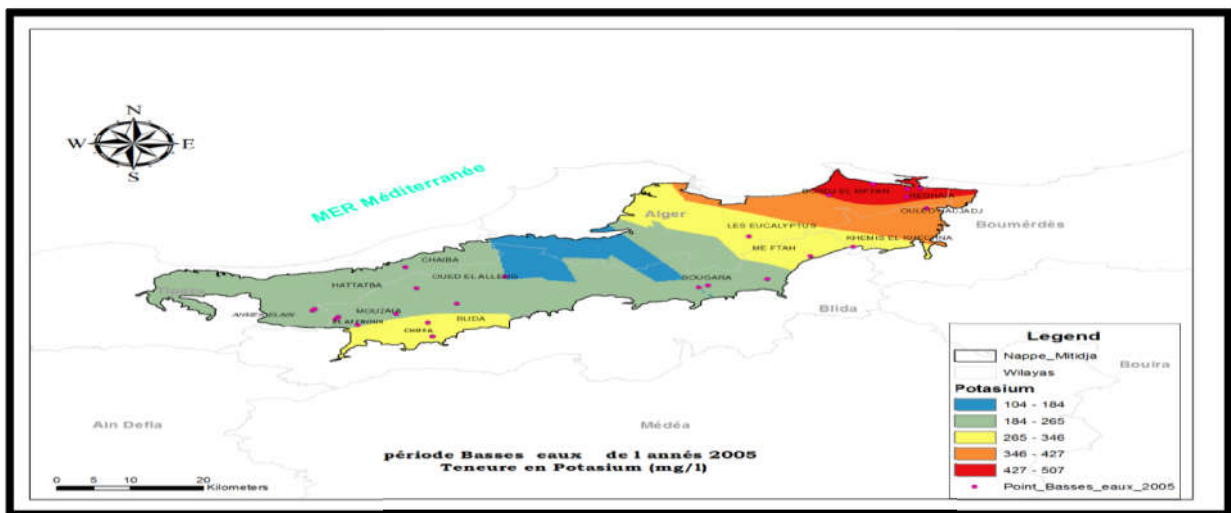


Figure IV-28 : Carte krigée de potassium (Période des hautes eaux de l’année 2005).

a-variogramme correspondant :

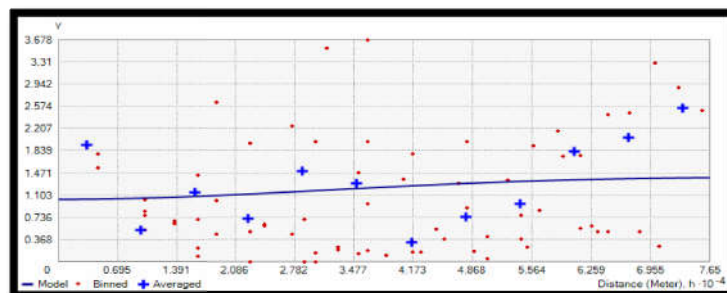


Figure IV-29 : variogramme de la carte de potassium (période des hautes eaux de l’année 2005).

b-Interprétation de la carte krigée de potassium :

-**Pour AEP** : d'après la carte on remarque que toute la zone d'étude renferme des valeurs de concentration très élevées surtout au niveau de la partie SE à coté de bordj El kifane et Reghaia, à cause de la présence des limons et des argiles en quantité variables qui contient du potassium .

-**Pour l'irrigation** : d'après la carte krigée de potassium ,on voit nettement que la teneur en potassium dépasse énormément la norme fixé par le FAO qui est à l'ordre de 2 mg/l . la partie SE renferme quant à elle, les concentrations les plus élevées .cela s'explique par la présence des marnes et des argiles au niveau de toute la plaine en quantité variable.

➤ **Nitrates NO₃-** (période des hautes eaux de l'année 2005):

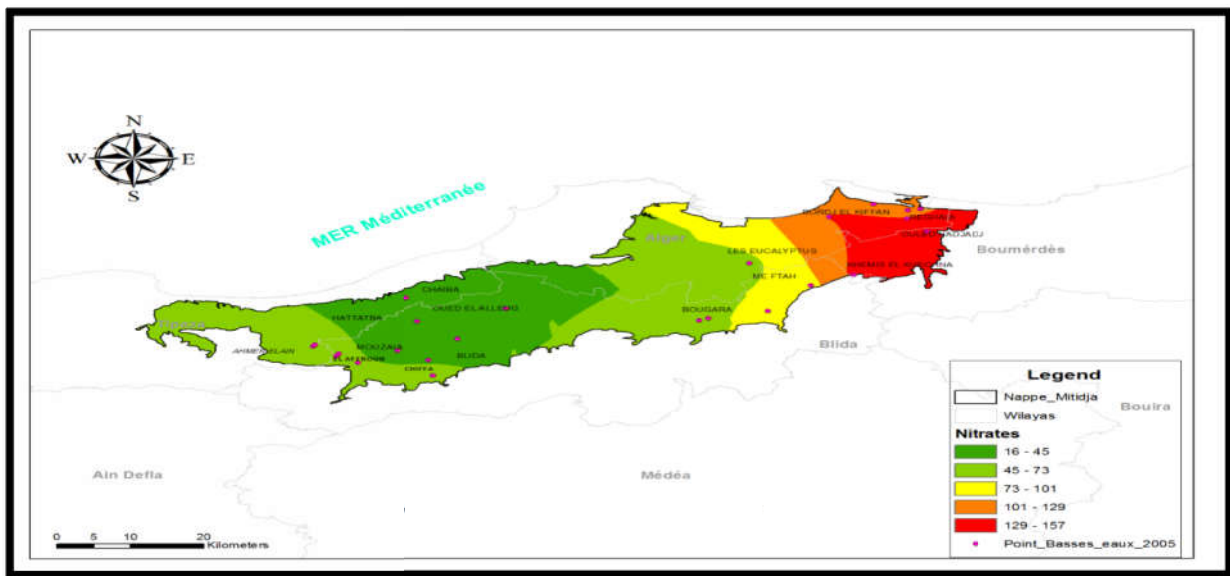


Figure IV-30 :carte krigée de nitrates (Période des hautes eaux de l'année 2005).

a-vaiogramme correspondant :

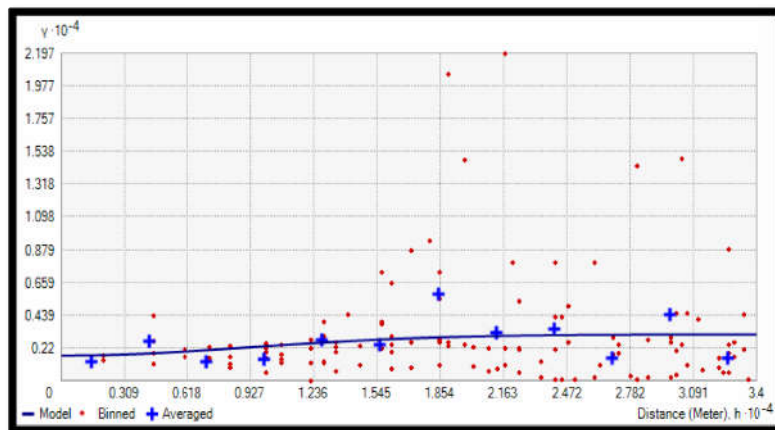


Figure IV-31 : variogramme de la carte des nitrates (période des hautes eaux de l'année 2005) .

b-Interprétation de la carte krigée de NO₃-

-**Pour AEP** : d'après les normes algérienne, la teneur en nitrates ne doit pas dépasser 50mg/l . La partie Est possède des valeurs trop élevées ,cela s'explique par l'exploitation intensive des pesticides et les rejets des usines surtout au niveau de la Baie d'alger .

-**Pour l'irrigation** : La carte krigée de NO₃⁻ permet de distinguer que les valeurs de concentration les plus élevées sont localisées à l'Est du coté de Khemis El Khechna et au NE de la plaine du coté 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.

➤ **Sulfate SO₄-** (période des hautes eaux de l'année 2005):

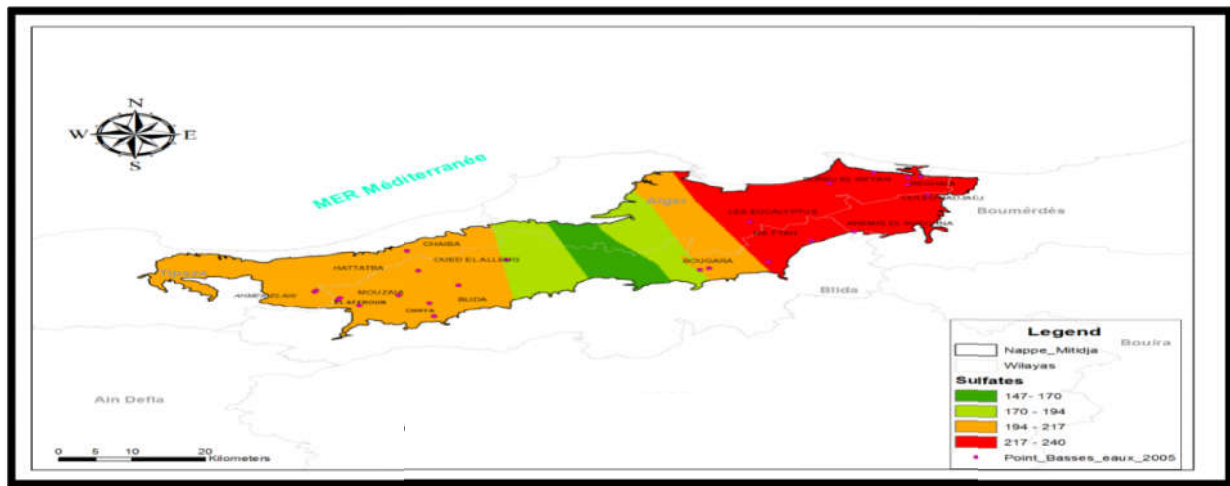


Figure IV-32 : carte krigée de sulfate (Période des hautes eaux de l'année 2005).

a-variogramme correspondant :

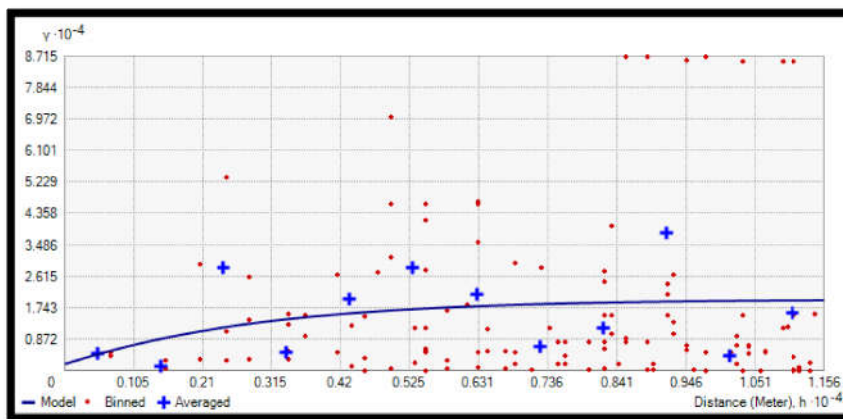


Figure IV-33 : variogramme de la carte de sulfates (période des hautes eaux de l'année 2005).

b-Interprétation de la carte krigée de SO₄⁻ :

- ✓ **Pour AEP :** a partir de la carte, on remarque que toutes les concentrations sont inférieures aux normes algériennes (400mg/l) .
- ✓ **Pour l'irrigation :** On peut distinguer sur la carte krigée de SO₄⁻ que les valeurs de concentration sont inférieures a la norme fixée par le FAO qui est évalué a 960 mg/l .

Remarque : Il faut signaler que les cartes krigées des autres éléments (**sodium, bicarbonates, chlorures**) au cours de cette période présentent le même comportement que pour celle du sulfates ; c'est-à-dire que les valeurs sont dans les normes que ça soit pour l'AEP ou pour l'Irrigation .

B-1- La détermination de la qualité des eaux de l'irrigation par la méthode de la conductivité électrique (risque de salinité) :

- **CE (période des hautes eaux de l'année 2005) :**

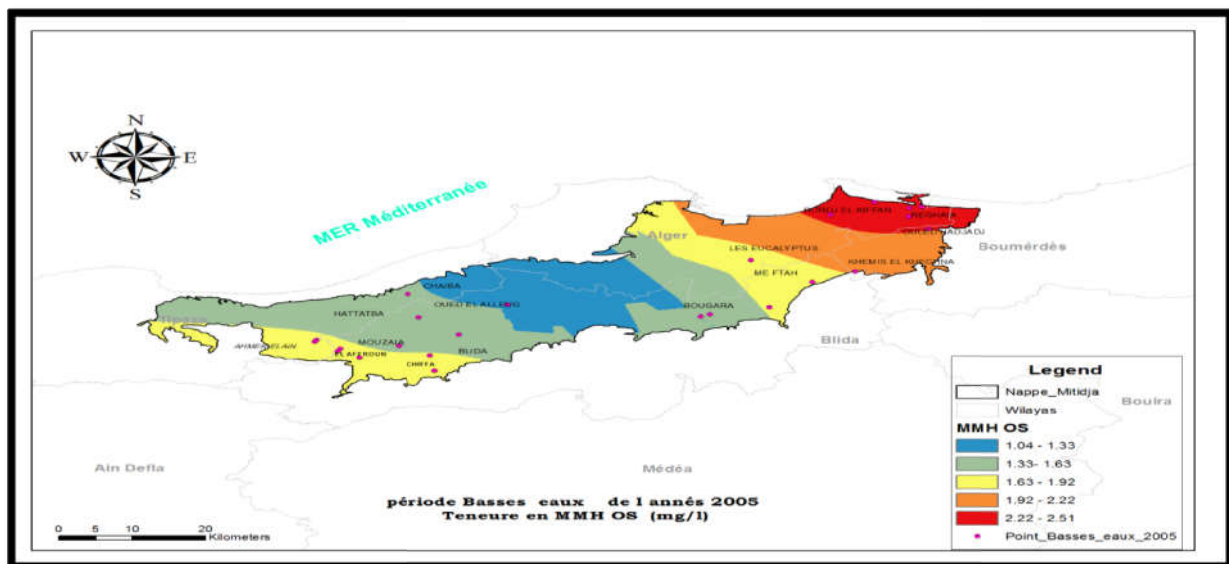


Figure IV-34 : carte krigée de CE (Période des hautes eaux de l'année 2005).

a-variogramme correspondant :

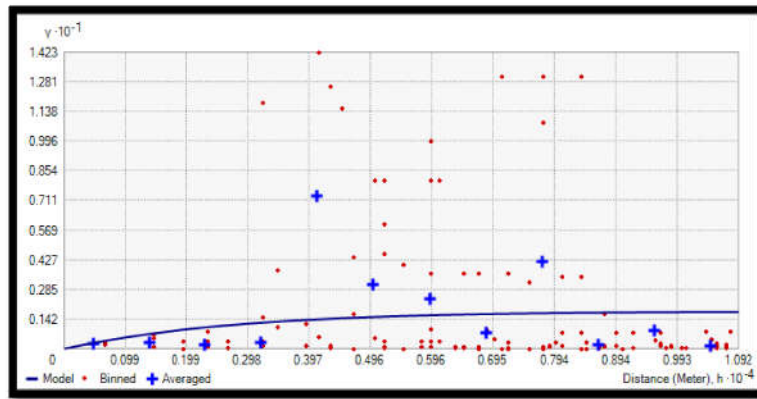


Figure IV-35 : variogramme de la carte de CE (période des hautes eaux de l'année 2005) .

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 supérieurs à 2 mmhos/cm sont classées d'après le tableau (annexe -2-) en C 4 :Eau à très forte salinité inutilisable pour l'irrigation, cela s'explique par l'intrusion marine .

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 .

➤ SAR (période des hautes eaux de l'année 2005) :

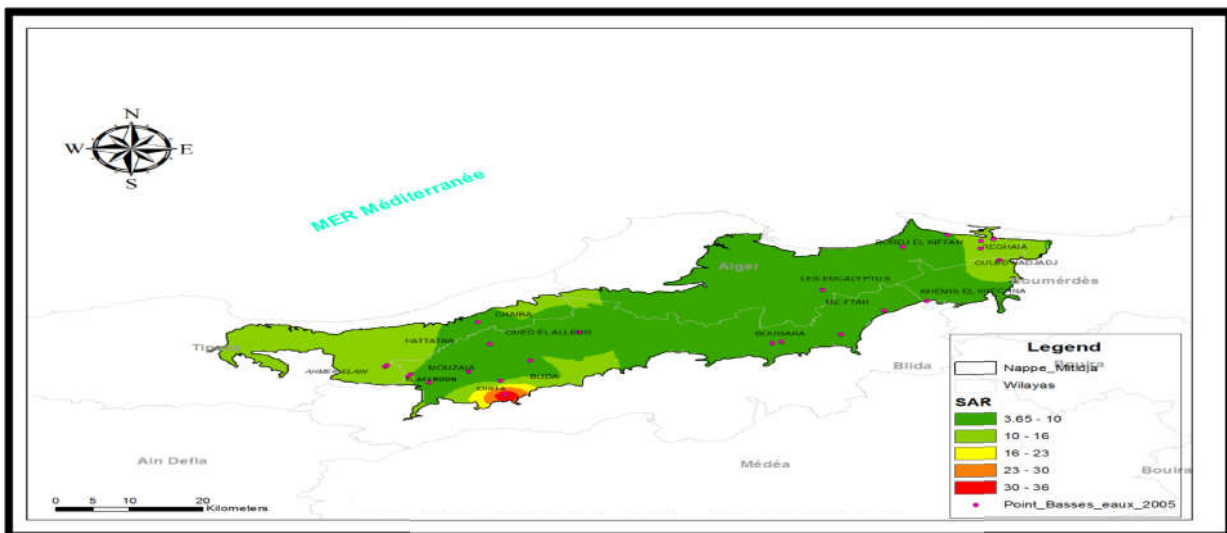


Figure IV-36 : la carte krigée de SAR (périodes des hautes eaux de l'année 2005) .

a-variogramme correspondant :

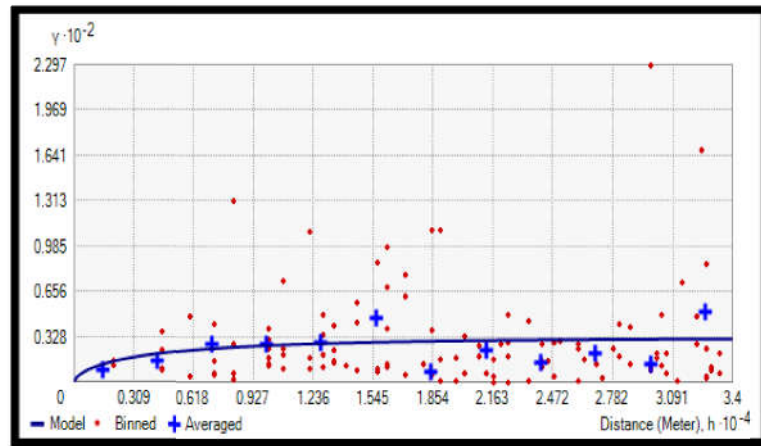


Figure IV-37 : variogramme de la carte de SAR (période des hautes eaux de l'année 2005).

b-Interprétation de la carte krigée de SAR : la carte krigée nous montre que les zones situées au sud des environs de Chiffa, renferment des valeurs trop élevées sont classées d'après l'annexe -3- en **S4** : 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.

Juste à côté de Chiffa, les teneurs sont classées au **S3** : 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 lessivage.

IV-2-4 Caractérisation hydro-chimique des eaux souterraines de la plaine de la Mitidja en période des basses eaux de l'année 2005 :

A- Classification chimiques des eaux souterraines

A-1 Classification des eaux souterraines selon Piper :

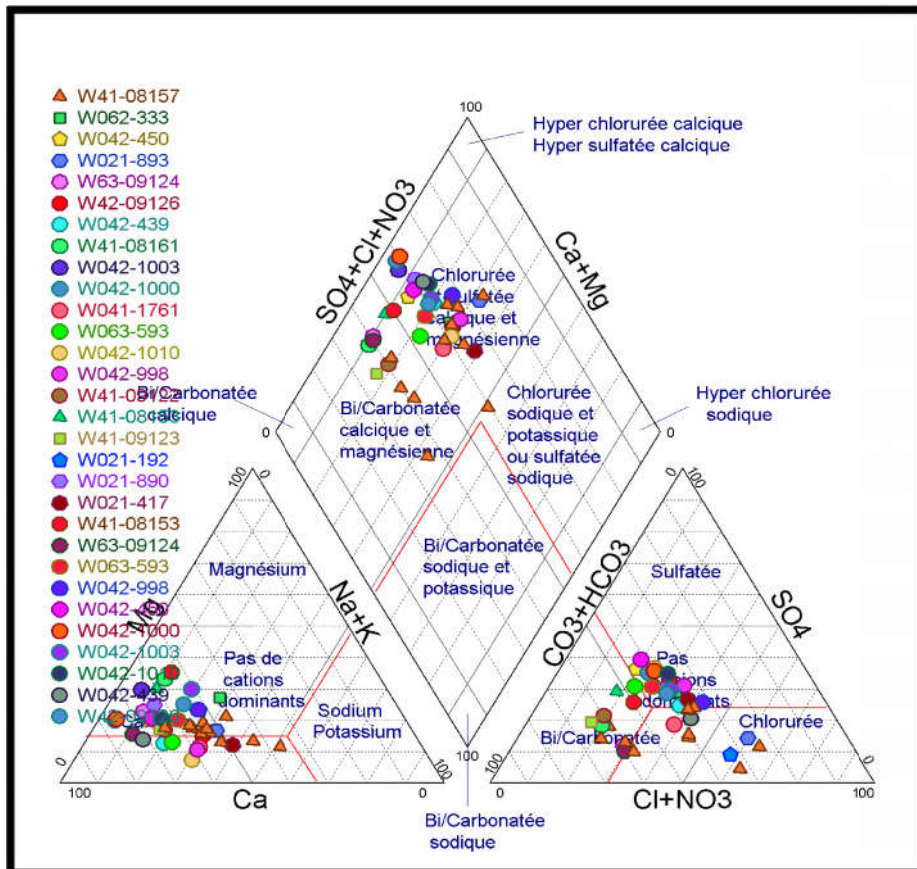


Figure IV-38 :diagramme de Piper (période des basses eaux de l'année 2005).

-Interprétation de diagramme :

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

- Les eaux du faciès chloruré sulfaté calcique et magnésien sont concentrées au niveau de la partie Sud Ouest de la plaine et au niveau des environs et la ville de Blida .
- Les eaux présentent aussi des teneurs relativement élevées en calcium, tel que 70% des échantillons au niveau de la partie Est de la plaine, le calcium est le cation dominant.
- pas d'anion dominant sauf au niveau de quelques zones dans la partie Ouest de la plaine de la Mitidja ,ou le bicarbonate est l'anion dominant .

B-interprétation des cartes krigée par ARC GIS :

Remarque : Il faut signaler que les cartes krigées des éléments (**sodium ,potassium ,sulfates ,bicarbonates, chlorures**) au cours de cette période présentent le même comportement que pour celle du sulfates ; c'est-à-dire que les valeurs sont dans les normes que ça soit pour l'AEP ou pour l'Irrigation excepté les éléments de :

➤ calcium Ca^{++} (période des basses eaux de l'année 2005) :

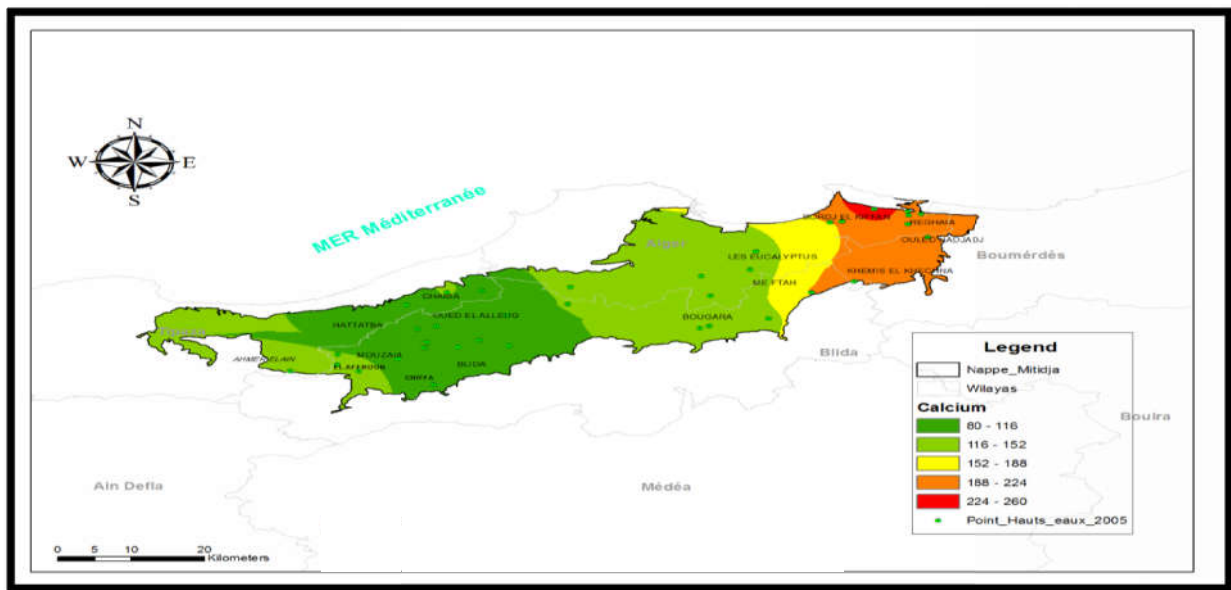


Figure IV-39 :carte krigée de calcium (période des basses eaux de l'année 2005).

a-variogramme correspondant :

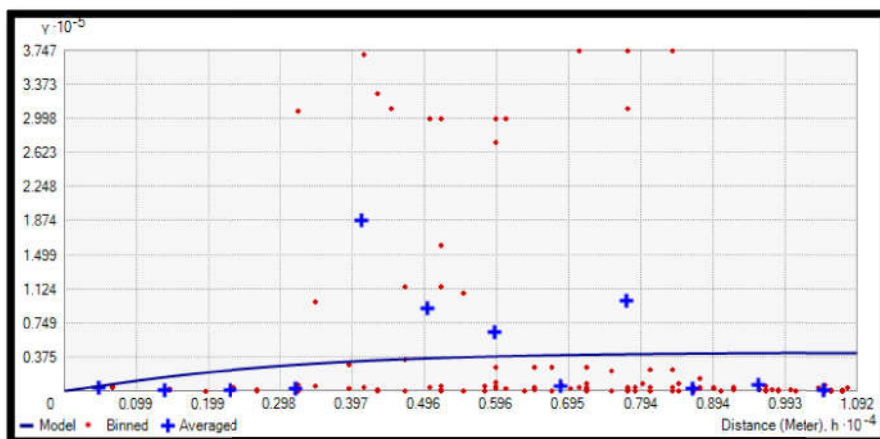


Figure IV-40 : variogramme de la carte de calcium (période des basses eaux de l'année 2005) .

b-interprétation de la carte krigée de calcium :

-**Pour AEP** : d'après la carte krigée de calcium ,on remarque que la zone situé a coté de Rouïba et Bordj El kifane ,renferment des valeurs de concentrations très élevées qui dépassent les normes algérienne de ministère des eaux (même explication avec la teneur en calcium dans la période des basses eaux).

-**Pour l'irrigation** : La carte krigée de Ca^{2+} permet de distinguer que les zones situées au NE de la plaine du coté de Rouiba renferment des valeurs de concentration les plus élevées en Ca^{2+} . Tandis

qu'un peu plus au Sud jusqu'à Larbaa, on note des concentrations moyennes qui ont tendance à diminuer en allant au SO de Htatba ,Oued Alleug , Ahmer El Ain et Blida .

➤ **Magnésium Mg^{++}** (période des basses eaux de l'année 2005) :

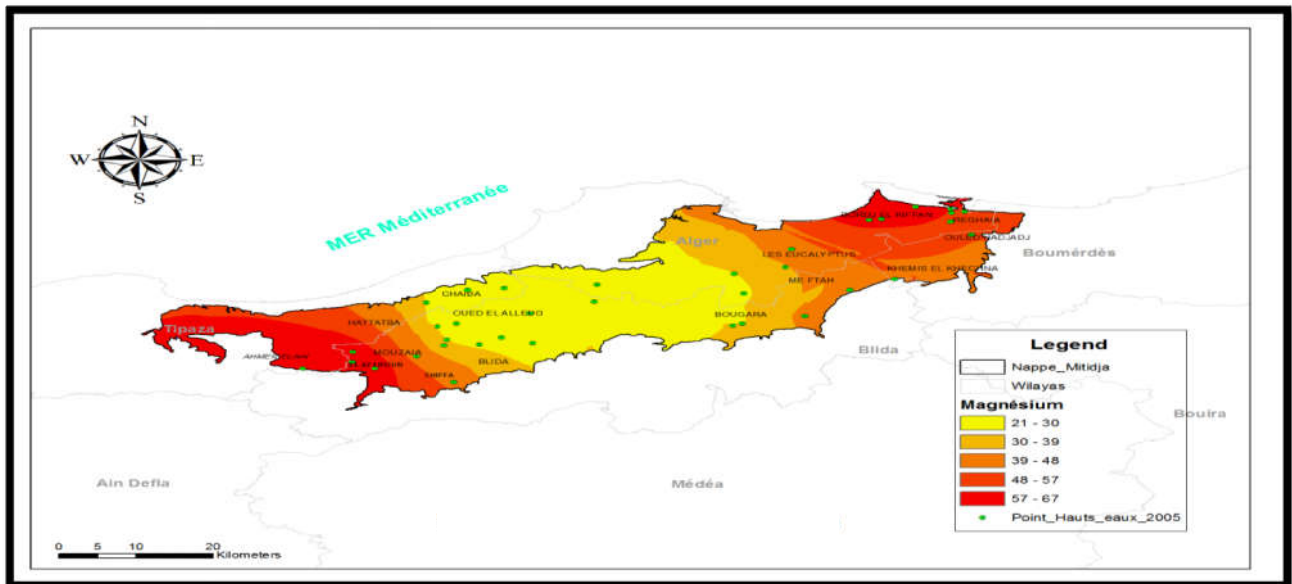


Figure IV-41 : carte krigée de magnésium (période des basses eaux de l'année 2005).

a-variogramme correspondant :

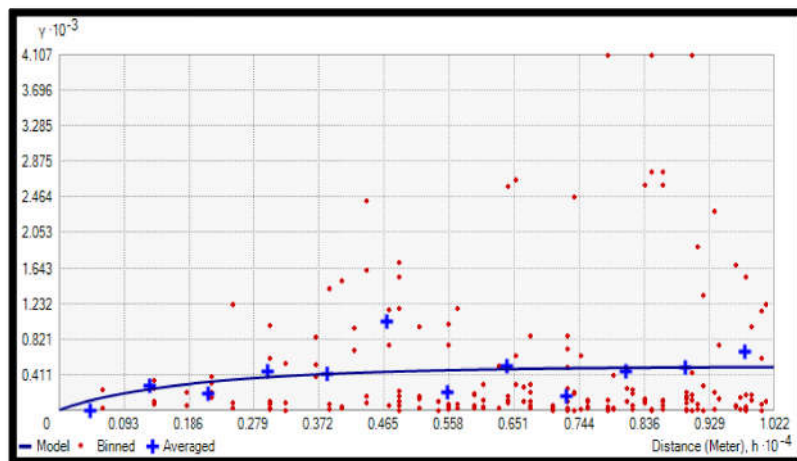


Figure IV-42 : variogramme de la carte de magnésium (période des basses eaux de l'année 2005)

b-Interprétation de la carte krigée de Magnésium :

-Pour AEP : d'après la carte krigée on note que les valeurs sont élevées au niveau de la partie Nord - Est et Sud -Ouest, à cause de la présence des argiles et des marnes .les valeurs ont tendance à diminuer en se rapprochant vers le centre de la plaine.

-Pour l'irrigation : d'après la carte krigée de Mg^{2+} , on peut voir que les zones situées au NE de la plaine, et au NO du coté de Tipaza ; et Ahmar El Ain renferment des valeurs de concentration meilleurs en Mg^{2+} qui suivent la norme internationale fixée par la FAO (61mg/l).

➤ Nitrates NO_3^- (période des basses eaux de l'année 2005):

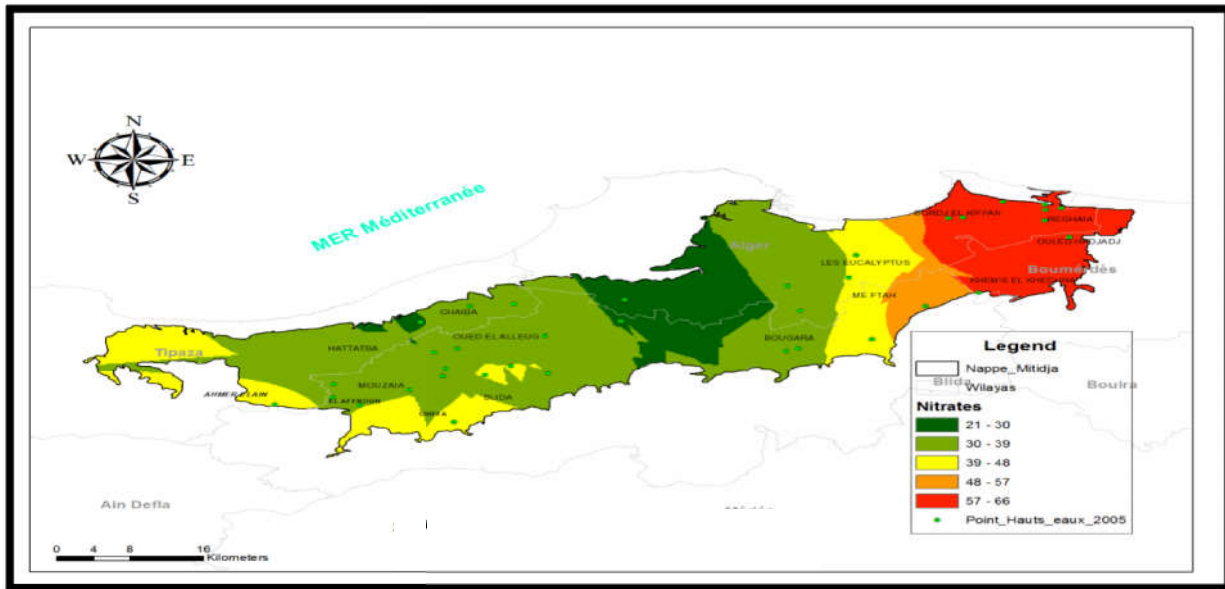


Figure IV-43 : carte krigée de nitrate (période des basses eaux de l'année 2005)

a-variogramme correspondant :

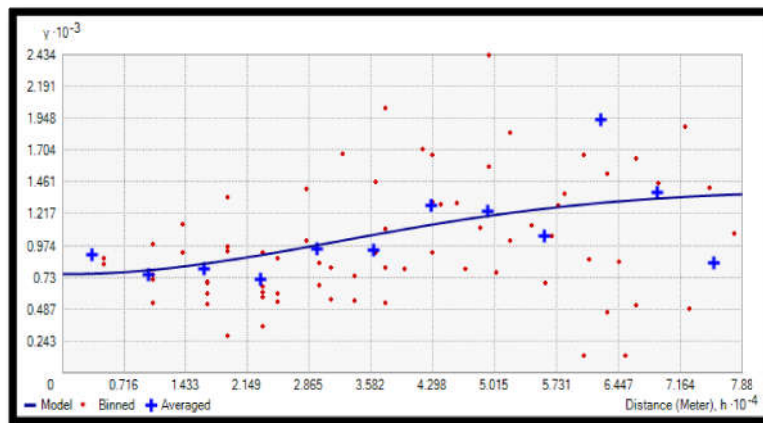


Figure IV-44 : variogramme de la carte de nitrates (période des basses eaux de l'année 2005) .

b-Interprétation de la carte krigée de nitrates :

-Pour AEP : d'après la carte, on remarque que la partie NE (Rghaia ,khemis El khechna ,Ouled Hadjaj) ont des teneurs élevées par apport a la norme .vue la présence des zones industrielles .

-Pour l'irrigation : a partir de la carte krigée ,les valeurs sont très élevées a la norme au niveau de toute la plaine surtout la partie Est .

B-1- La détermination de la qualité des eaux de l'irrigation par la méthode de la conductivité électrique (risque de salinité) :

➤ CE (période des basses eaux de l'année 2005) :

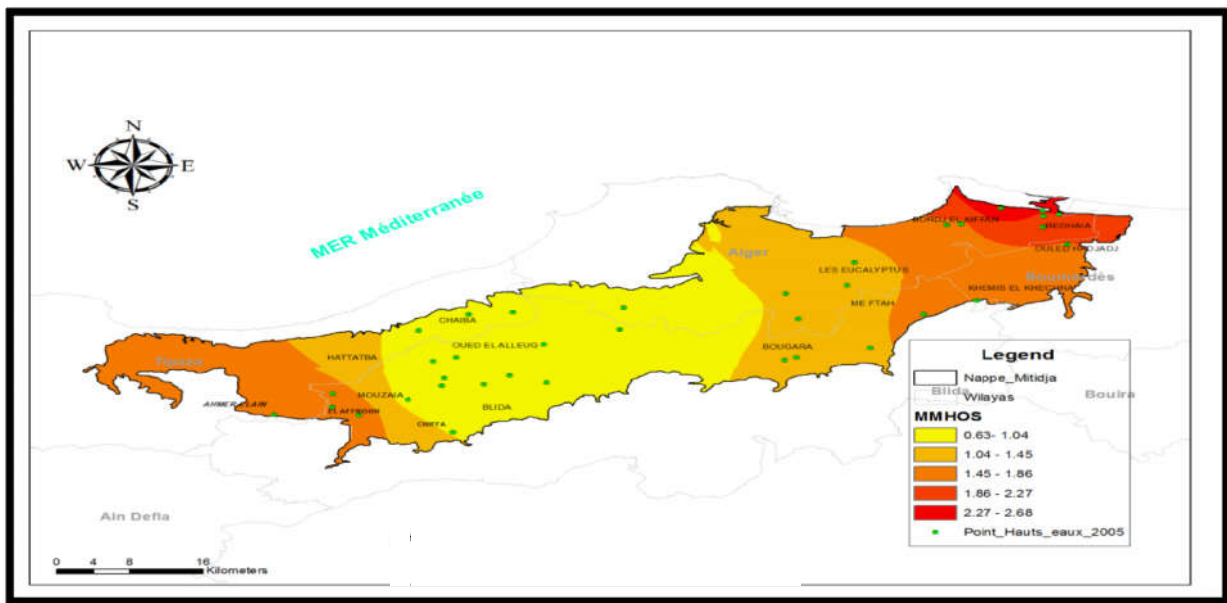


Figure IV-45 : carte krigée de CE (période des basses eaux de l'année 2005) .

a-variogramme correspondant :

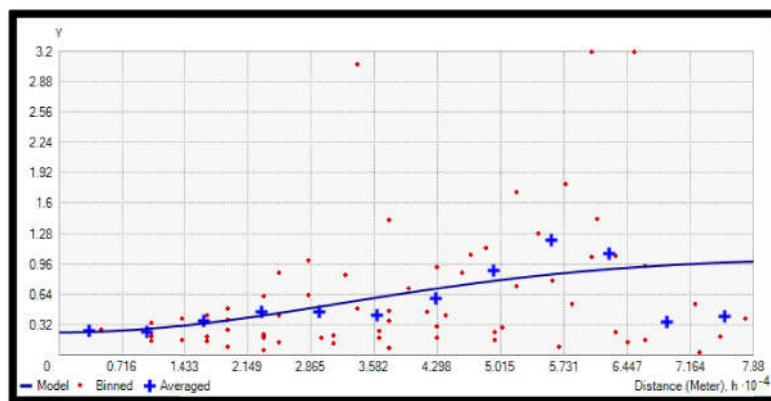


Figure VI-46 : variogramme de la carte de CE (période des basses eaux de l'année 2005).

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 -2- 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.

➤ SAR (période des basses eaux de l'année 2005):

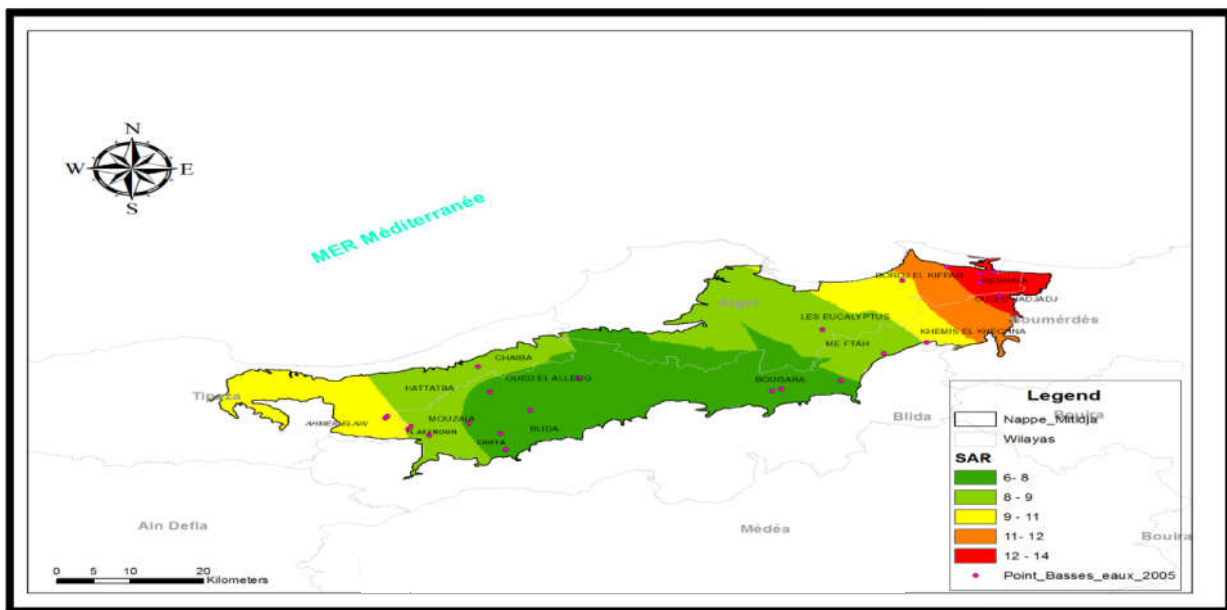


Figure IV-47 : la carte krigée de SAR (période des basses eaux de l'année 2005).

a-variogramme correspondant :

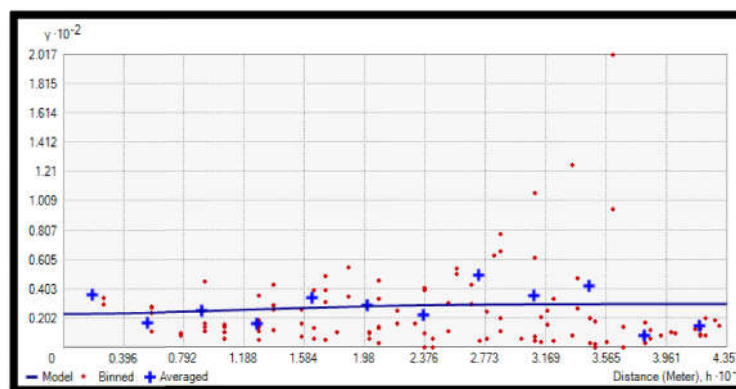


Figure IV-48 : variogramme de la carte de SAR (période des basses eaux de l'année 2005).

b-Interprétation de la carte krigée de SAR :

D'après la carte on note que la partie Est les environs de Reghaia ,khemiss El khechna ,Bordj El kiffan,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.

En se rapprochant vers l'Ouest l'eau utilisable pour l'irrigation de presque tous les sols. Danger d'alcalinisation réduit, bien que certaines cultures sensibles au sodium puissent être gênées.

IV-2-5 Caractérisation hydro chimique des eaux souterraines de la plaine de la Mitidja en période des hautes eaux de l'année 2006 :

A- Classification chimiques des eaux souterraines

A-1 Classification des eaux souterraines selon Piper :

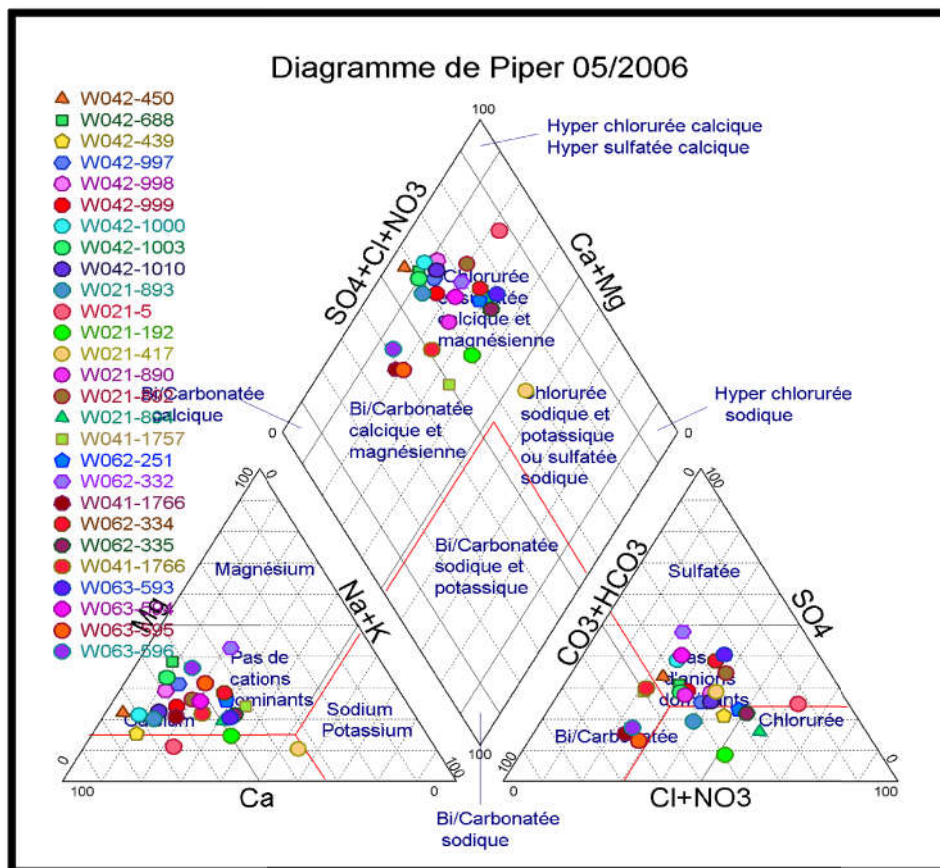


Figure IV-49 : diagramme de Piper (période des hautes eaux de l'année 2006).

-Interprétation de diagramme :

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

-Les eaux du faciès chloruré sulfaté calcique et magnésien sont concentrées au niveau du centre de la plaine .

-environ les 80% des échantillons au niveau de la partie Sud -Ouest le cation dominant est le calcium

-il n'ya pas d'anion dominant sauf quelques échantillons au niveau de la partie Est qui possèdent un facies bicarbonaté.

B-Interprétation des cartes krigées par ARC GIS :

- Calcium Ca⁺⁺(période des hautes eaux de l'année 2006) :

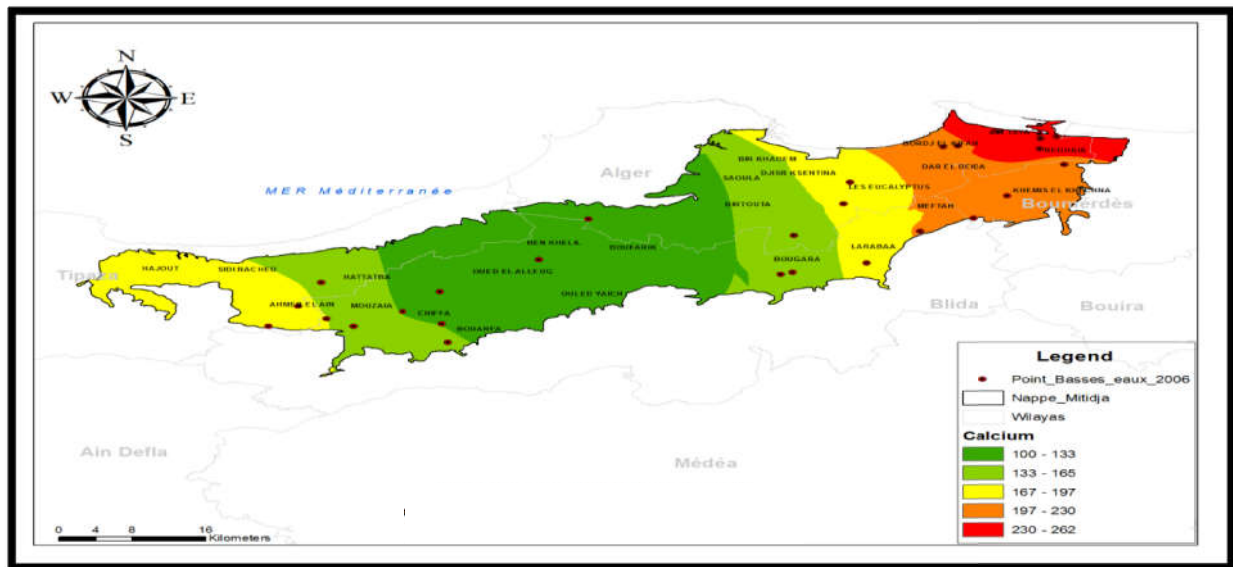


Figure IV-50: la carte krigée de calcium (période des hautes eaux de l'année 2006) .

a-variogramme correspondant :

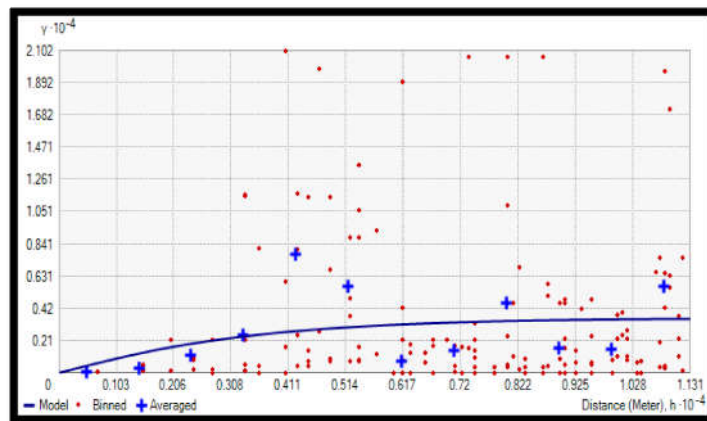


Figure IV-51 :variogramme de la carte de calcium (période des hautes eaux de l'année 2006) .

b-Interprétation de la carte krigée de calcium :

-**Pour AEP** : d'après la carte krigée ,on remarque que la zone Est et surtout la partie Nord- Est renferme des valeurs supérieures aux normes.

-**Pour l'irrigation** : la carte krigée montre que toutes les valeurs sont inférieures aux normes fixées par le FAO.

➤ Magnésium Mg^{++} (période des hautes eaux de l'année 2006):

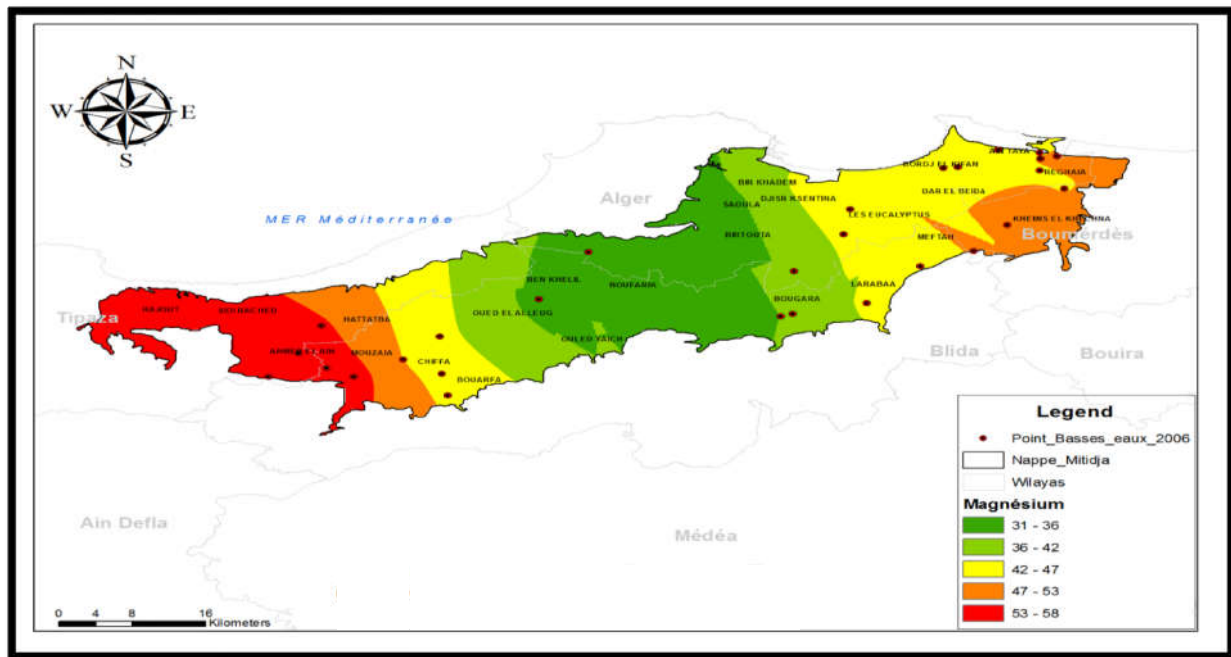


Figure IV-52: la carte krigée de magnésium (période des hautes eaux de l'année 2006).

c-variogramme correspondant :

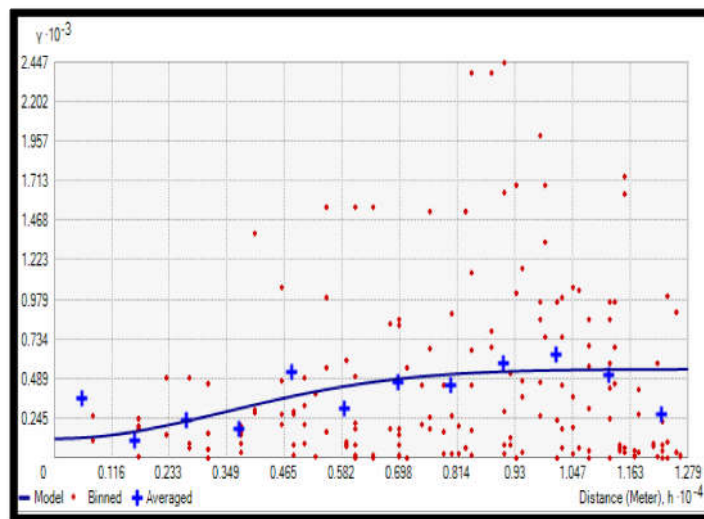


Figure IV- 53: variogramme de la carte de magnésium (période des hautes eaux de l'année 2006).

d-Interprétation de la carte krigée de Magnésium :

-Pour AEP : d'après la carte krigée de Mg^{2+} , on note que les teneurs en magnésium situées a la partie Ouest les environs de Hadjout Ahmer El Ain sont élevées par apport aux normes fixées par OMS (50 mg/l).

-Pour l'irrigation : d'après la carte krigée de Mg^{2+} on note que toutes les valeurs sont inférieures aux normes.

➤ Sodium Na^+ (période des hautes eaux de l'année 2006):

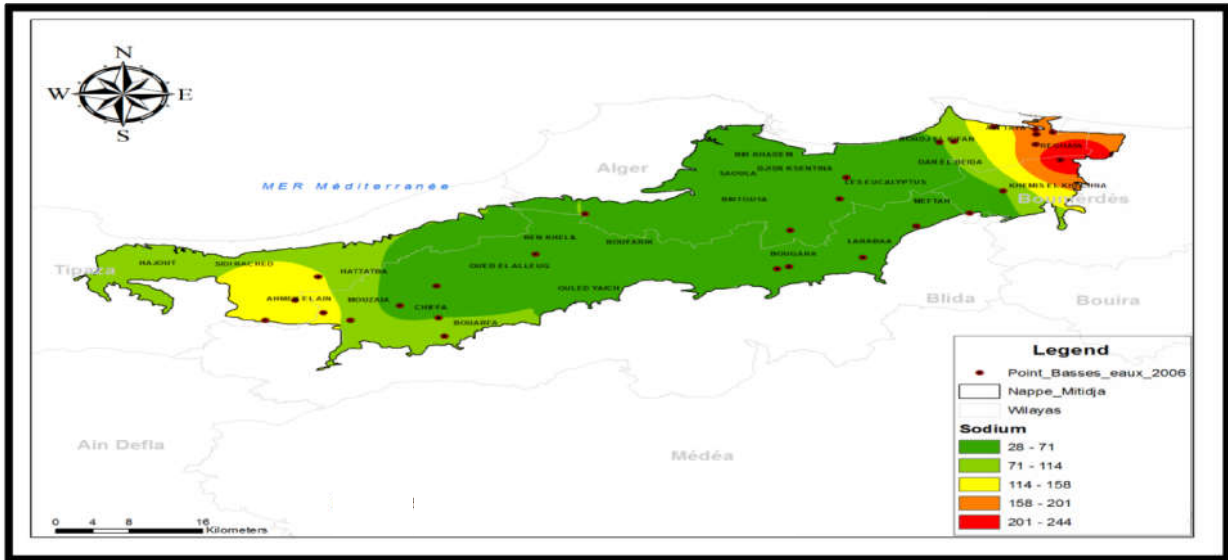


Figure IV-54 :la carte krigée de sodium (période des hautes eaux de l'année 2006).

a-variogramme correspondant :

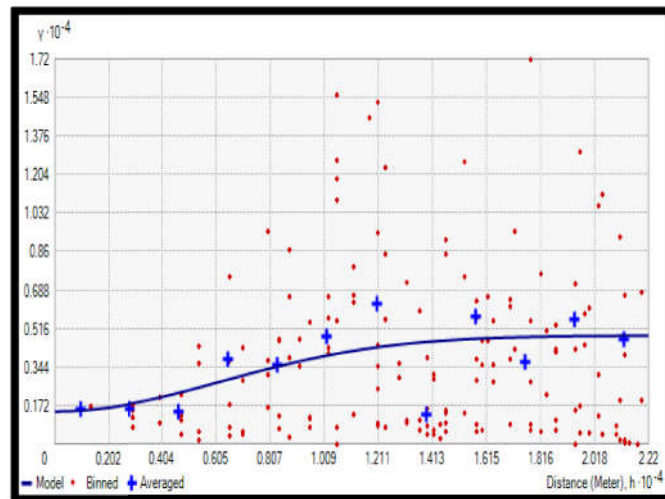


Figure IV-55 :variogramme de la carte de sodium (période des hautes eaux de l'année 2006).

b-Interprétation de la carte krigée de sodium :

-Pour AEP : d'après la carte krigée de sodium, les teneurs en sodium sont élevées au niveau de Reghaia .

-Pour l'irrigation : la carte krigée de sodium ,montre que toutes les valeurs des concentrations sont inférieures aux normes fixées par le FAO .

➤ Nitrates NO₃⁻ (période des hautes eaux de l'année 2006) :

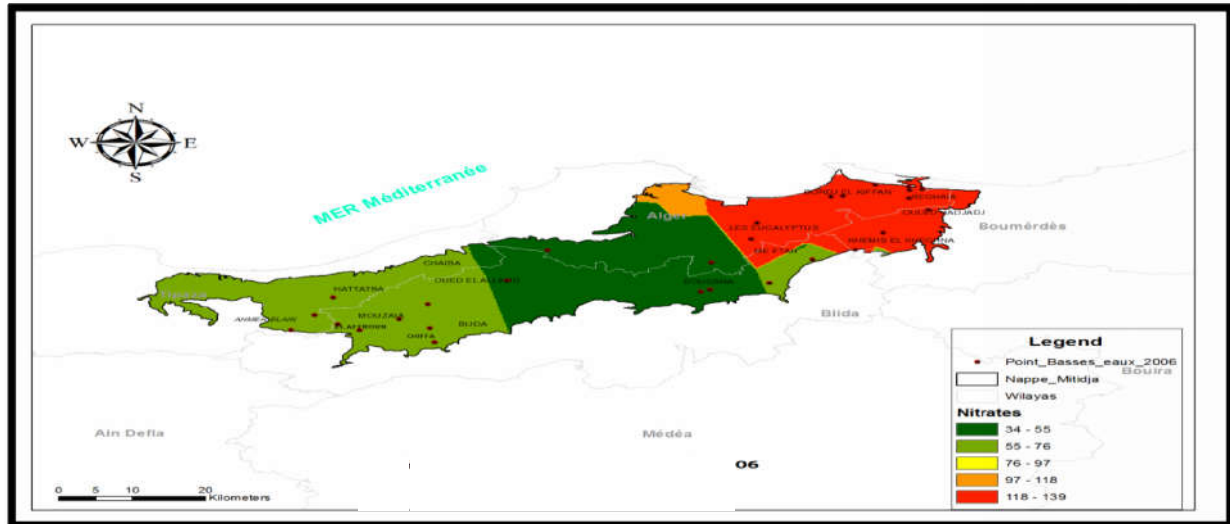


Figure IV-56: carte krigée de nitrates (période des hautes eaux de l'année 2006).

a-variogramme correspondant :

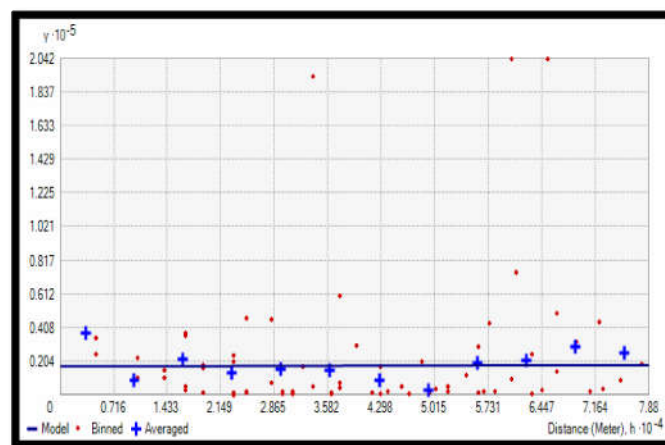


Figure IV-57 :variogramme de la carte de nitrates (période des hautes eaux de l'année 2006).

b-Interprétation de la carte krigée de NO₃⁻

-Pour AEP : d'après la carte krigée de nitrates , on remarque que presque au niveau de toute la plaine les valeurs sont supérieures aux normes algériennes.ces teneurs élevées sont d'origine agricole en raison du recours aux engrais azotés.

-**Pour l'irrigation** : la carte krigée de nitrates nous montre qu' au niveau de toute la plaine les concentrations sont supérieures a la norme (10mg/l) ,surtout au niveau de la partie Est de la Mitidja (même explication).

Remarque : Il faut signaler que les cartes krigées des autres éléments (**sulfates, bicarbonates, chlorures**) au cours de cette période présentent le même comportement que pour celle du sulfates (période des hautes eaux de l'année 2005) ; c'est-à-dire que les valeurs sont dans les normes que ça soit pour l'AEP ou pour l'Irrigation .

B-1-La détermination de la qualité des eaux de l'irrigation par la méthode de la conductivité électrique (risque de salinité) :

- CE (période des hautes eaux de l'année 2006) :

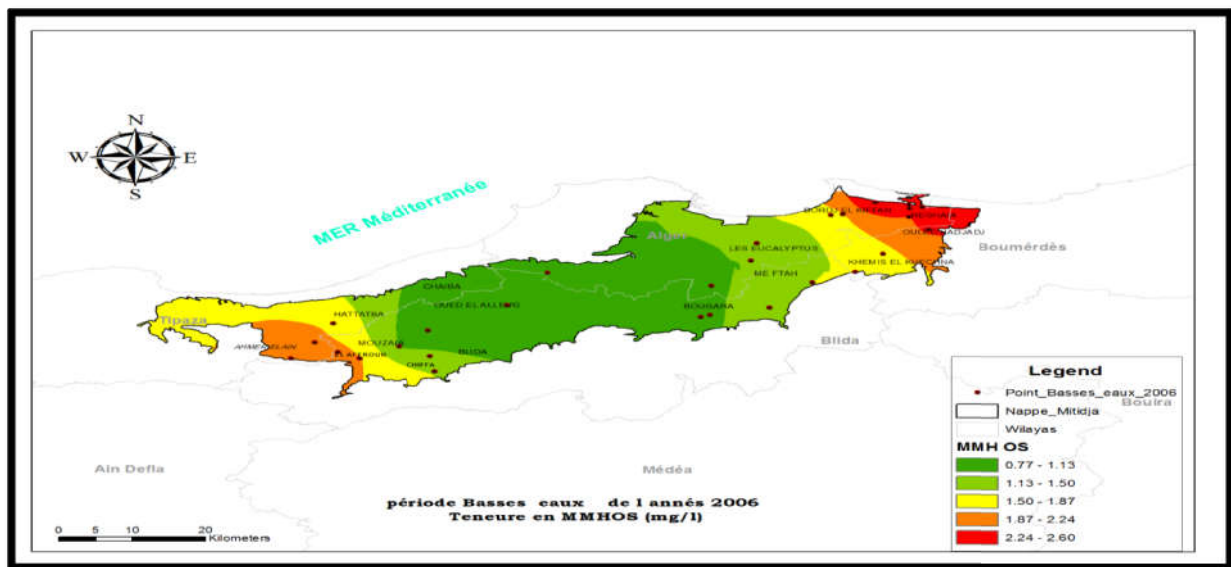


Figure IV-58 : carte krigée de CE (Période des hautes eaux de l'année 2006).

a-variogramme correspondant :

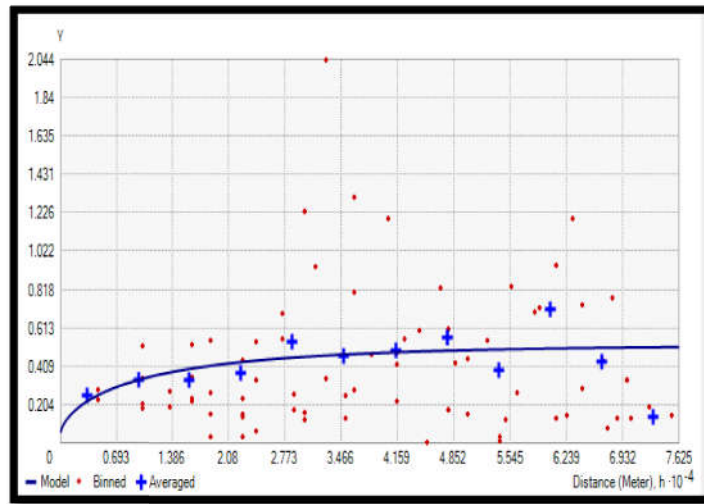


Figure IV-59 : variogramme de la carte de CE (période des hautes eaux de l'année 2006).

b-Interprétation de la carte krigée de la CE : même comportement que celle de l'année 2005 (période des hautes eaux).

➤ SAR (période des hautes eaux de l'année 2006):

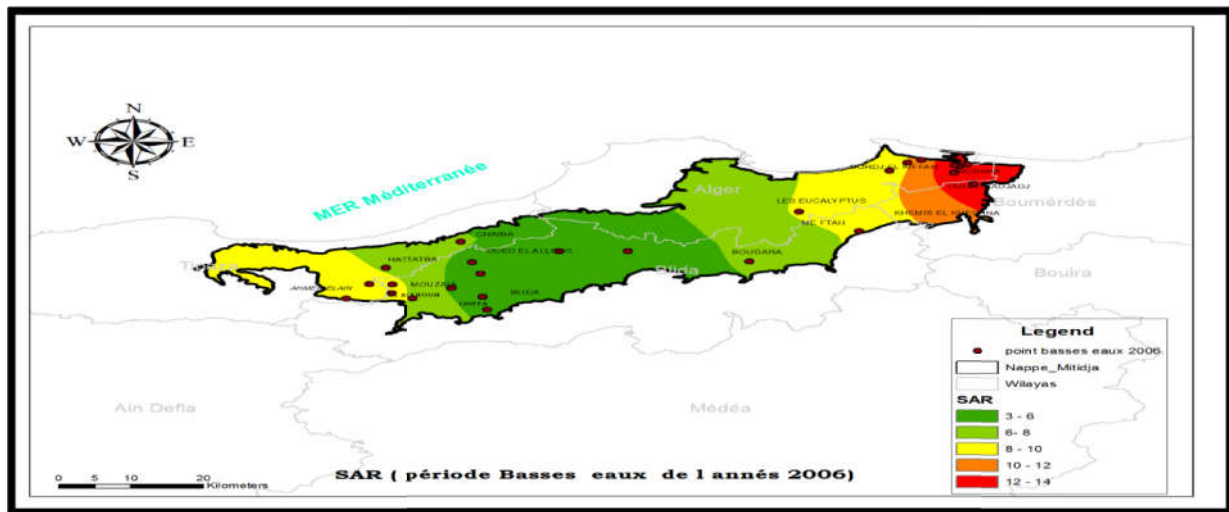


Figure IV- 60 : la carte krigée de SAR (périodes des hautes eaux de l'année 2006).

a-variogramme correspondant :

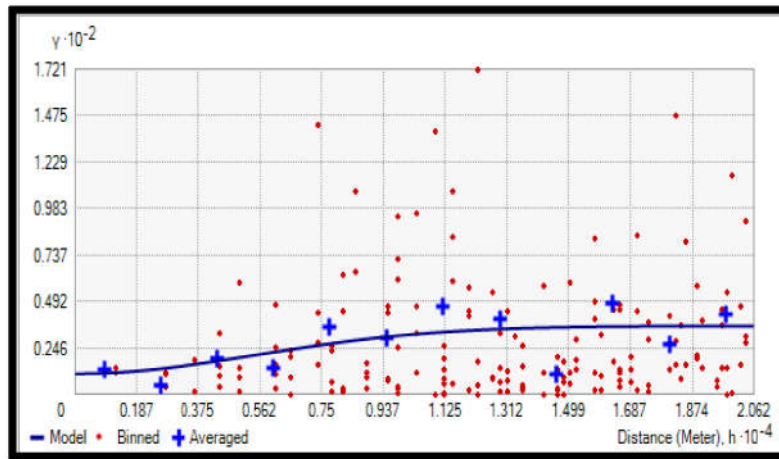


Figure IV-61 : variogramme de la carte de SAR (période des hautes eaux de l'année 2006) .

b-Interprétation de la carte krigée de SAR : la carte krigée de SAR, montre que la partie Est qui englobe Khemiss El Khechna, Reghaia et Bordj El kiffane ,Le danger d'alcalinisation des sols est appréciable dans les sols à texture 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. En se rapprochant vers le centre l'eau utilisable pour l'irrigation de presque tous les sols. Danger d'alcalinisation réduit, bien que certaines cultures sensibles au sodium puissent être gênées.

IV-2-6 Caractérisation hydro chimique des eaux souterraines de la plaine de la Mitidja en période des basses eaux de l'année 2006 :

A- Classification chimiques des eaux souterraines

A-1 Classification des eaux souterraines selon Piper :

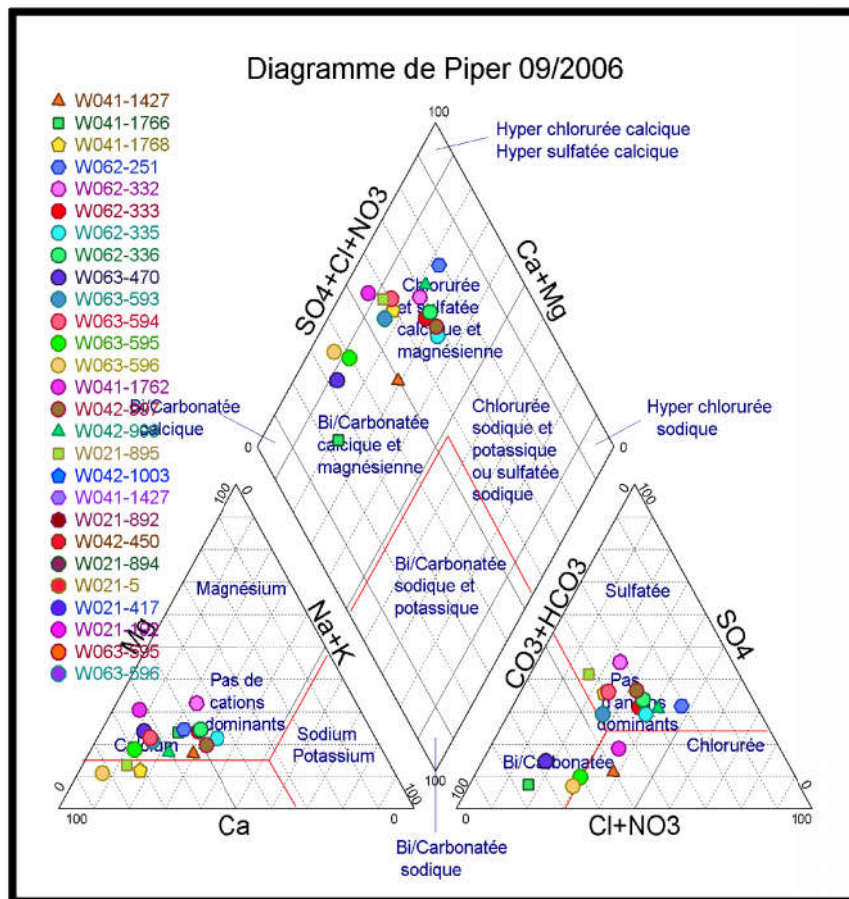


Figure IV-62:diagramme de Piper (période des basses eaux de l’année 2006).

-Interprétation de diagramme :

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

- Les eaux du faciès chloruré sulfaté calcique et magnésien sont moyennement concentrées au niveau du centre de la plaine .
- 80 % des échantillons au niveau de la partie Nord-Est, le cation dominant est le calcium .
- pas d’anion dominant sauf quelques échantillons au niveau de la baie Alger l’anion dominant est les bicarbonates, environ les 30 %.

B-interprétation des cartes krigées par ARC GIS :

- Calcium Ca^{2+} (période des basses eaux de l’année 2006):

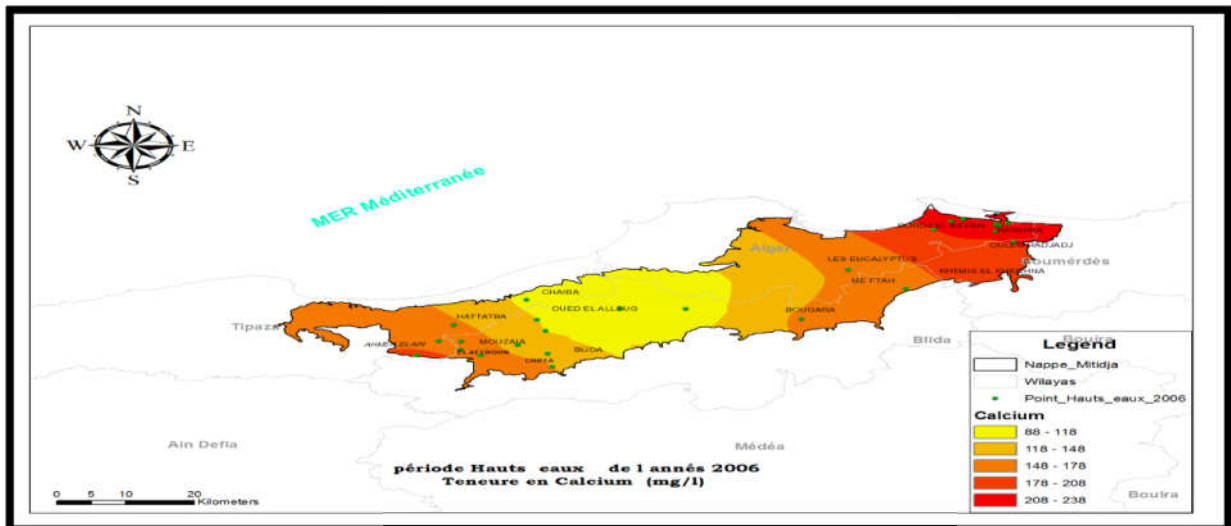


Figure IV-63 :Cartekrigée de Calcium (Période des basses eaux de l’année 2006)

a-variogramme correspondant :

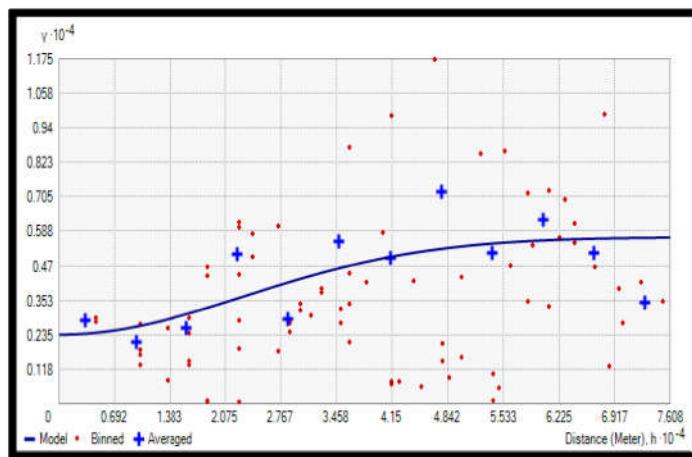


Figure IV-64: variogramme de la carte de calcium (période des basses eaux de l’année 2006) .

b-Interprétation de la carte krigée de calcium :

-**Pour AEP** : d’après la carte krigée de calcium, on remarque que les valeurs sont élevées au niveau de la partie Est de la plaine qui englobe Bordj El kiffane ,Reghaia et khemiss el khechna. cela s’explique par la présence des argiles et des marnes , ces valeurs ont tendance a diminuer en se rapprochant vers le centre .

-**Pour l’irrigation** : d’après la carte krigée de calcium on remarque que toutes les valeurs au niveau de la plaine sont inférieures à la norme fixée par le FAO (400 mg/l).

➤ Magnésium Mg^{2+} (période des basses eaux de l'année 2006) :

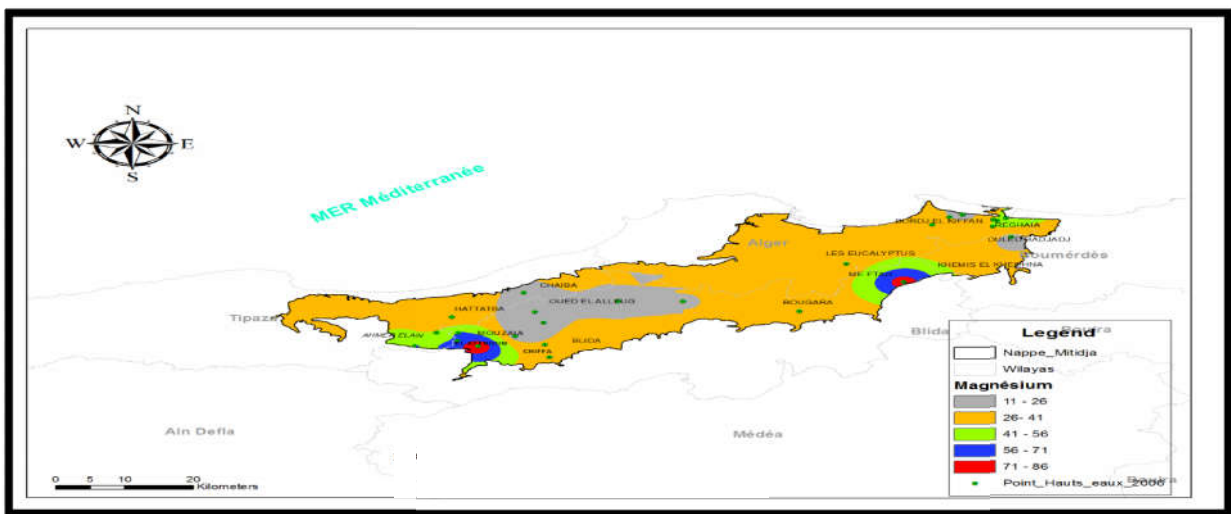


Figure IV-65: carte krigée de magnésium (période des basses eaux de l'année 2006).

a-variogramme correspondant :

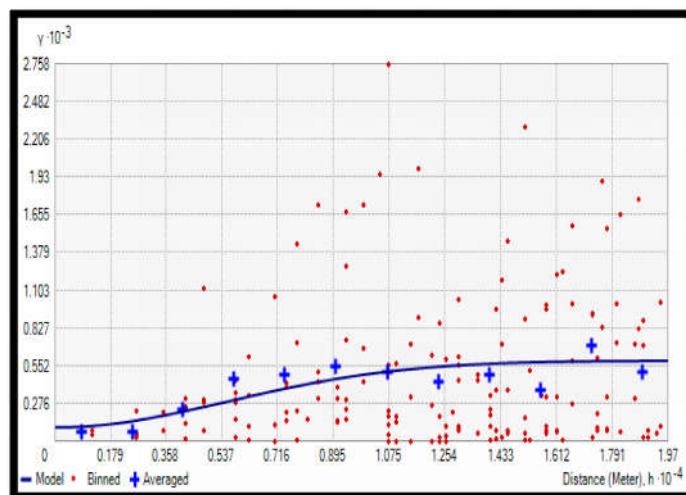


Figure IV- 66 : variogramme de la carte de magnésium (période des basses eaux de l'année 2006).

b-Interprétation de la carte krigée de Magnésium :

-**Pour AEP** : d'après la carte krigée de magnésium, on remarque que les zones situées des environs de Meftah et El Affroun renferment des valeurs trop élevés par rapport a la norme fixée par OMS 50mg/l .cela s'explique par la présence des roches éruptives au niveaux de ces zones (magmatiques) qui contiennent du magnésium.

-**Pour l'irrigation** : d'après la carte krigée de Mg^{2+} on note qu' il ya quelques zones au niveau d'El Affroun et de Meftah qui dépassent les normes(même explication avec AEP)

➤ Sodium Na+(période des basses eaux de l'année 2006) :

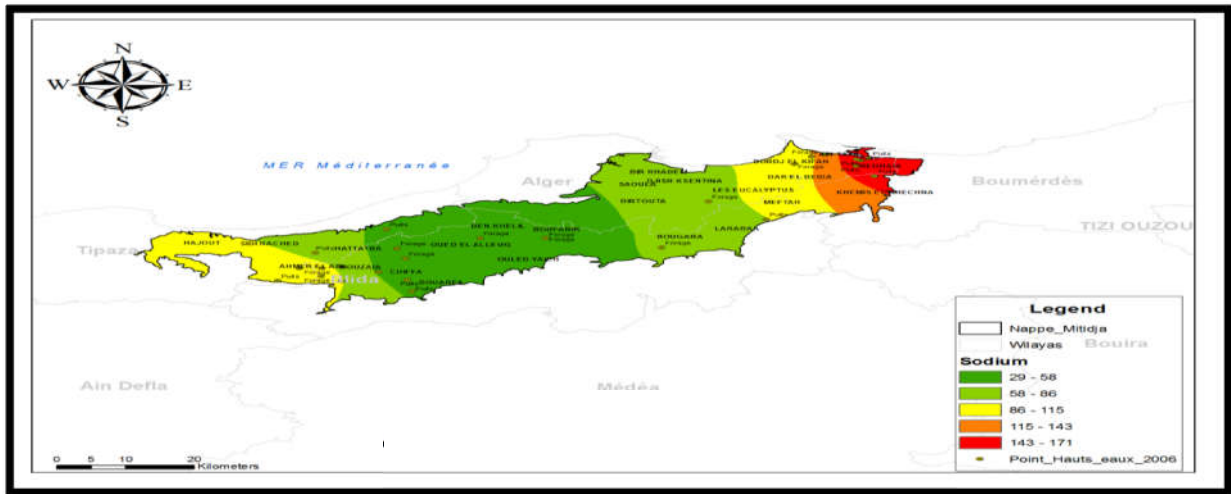


Figure IV-67 : la carte krigée de sodium (période des basses eaux de l'année 2006).

g-variogramme correspondant :

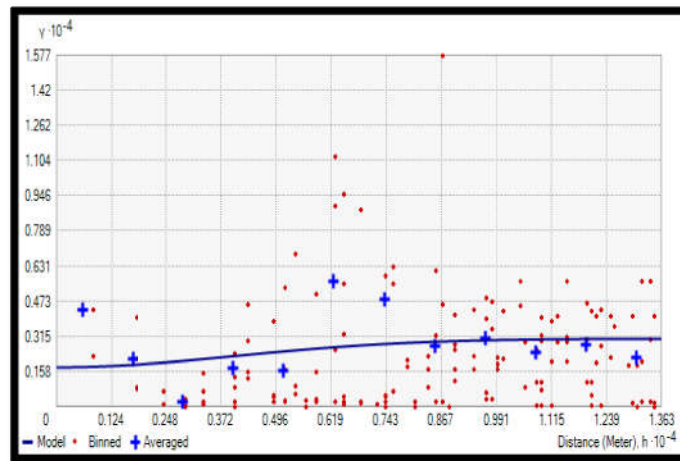


Figure IV- 68 :variogramme de la carte de sodium (période des basses eaux de l'année 2006).

➤ Nitrates NO₃-(période des basses eaux de l'année 2006) :

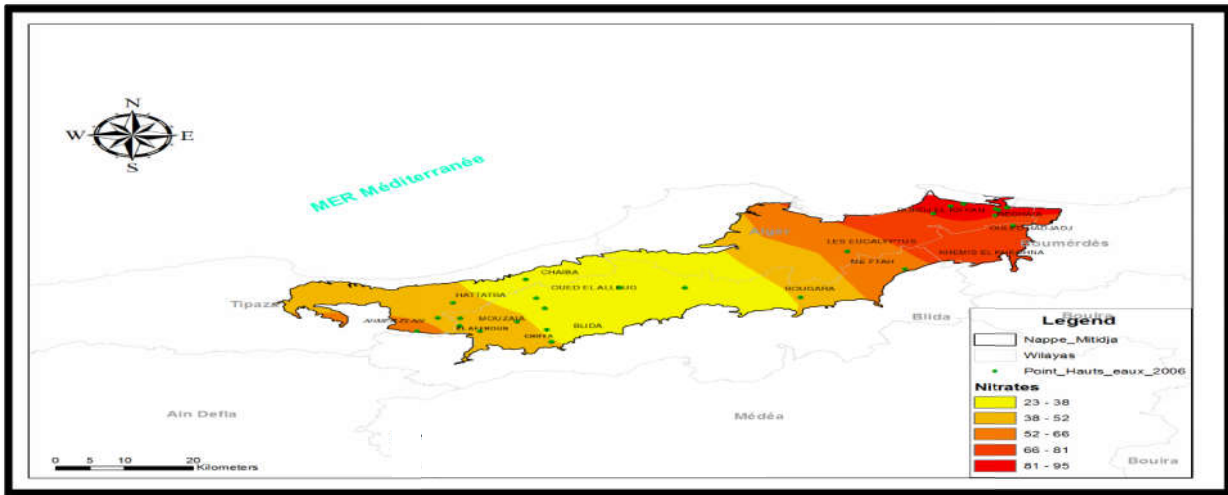


Figure IV-69 :carte krigée de nitrates (période des basses eaux de l'année 2006).

a-variogramme correspondant :

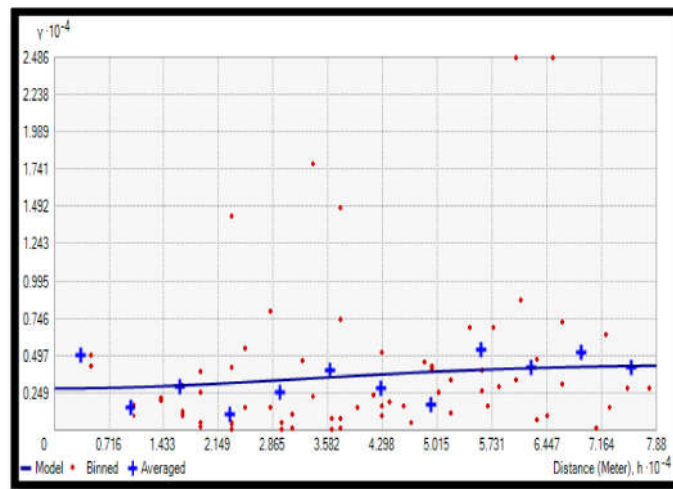


Figure IV-70 : variogramme de la carte de nitrates(période des basses eaux de l'année 2006) .

b-Interprétation de la carte krigée de NO_3^- :

-**Pour AEP :** d'après la carte krigée de nitrates , on remarque que la zone situé au niveau de la partie Est renferme des valeurs de concentrations les plus élevées par rapport a la norme (50 mg/l) ,cela est due par les rejets des usines et aussi les rejets agricoles .tandis qu'on trouve les eaux de bonne qualité au niveau du centre de la plaine .

-**Pour l'irrigation :** la carte krigée de nitrates , montre qu'au niveau de toute la plaine les teneurs en nitrates sont supérieures aux normes (10mg/l) surtout au niveau de la partie Est de la Mitidja a cause de l'utilisation énormes des pesticides au niveau générale .

Remarque : Il faut signaler que les cartes krigées des autres éléments (**potassium ,sulfates, bicarbonates ,chlorures**) au cours de cette période présentent le même comportement que pour celle du sulfates (période des basses eaux de l'année 2005),c'est-à-dire que les valeurs sont dans les normes que ça soit pour l'AEP ou pour l'Irrigation.

B-1- La détermination de la qualité des eaux de l'irrigation par la méthode de la conductivité électrique (risque de salinité) :

➤ CE (période des basses eaux de l'année 2006) :

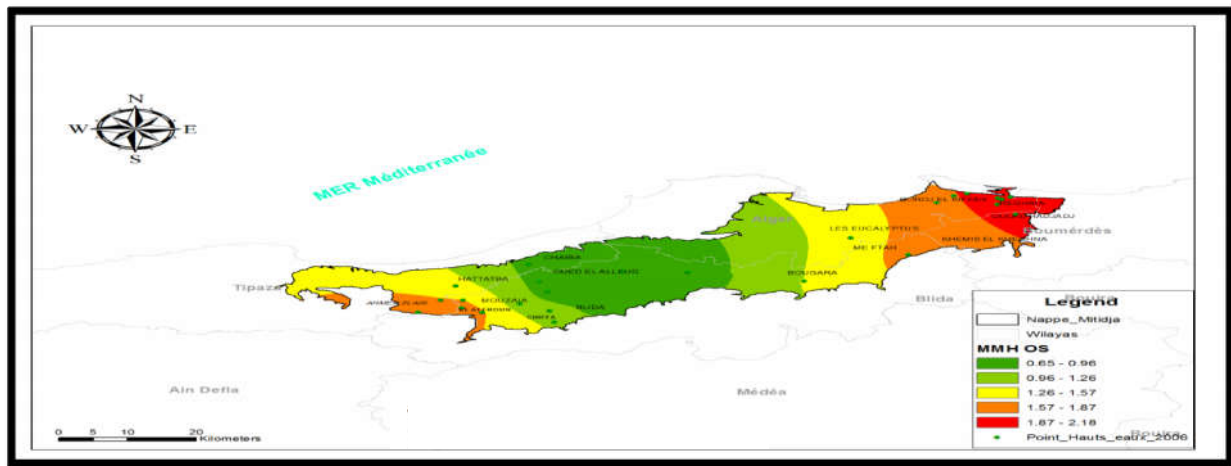


Figure IV-71 : carte krigée de CE (Période des basses eaux de l'année 2006).

a-variogramme correspondant :

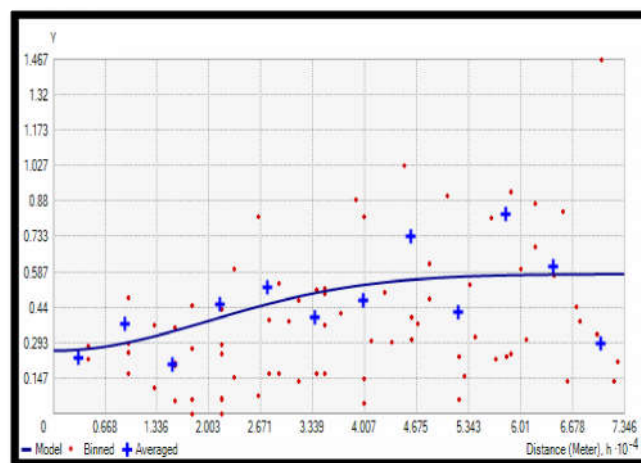


Figure IV-72 : variogramme de la carte de CE(période des basses eaux de l'année 2006) .

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 à coté de la baie d'Alger, Les valeurs sont supérieures à 2

mmhos/cm sont classées d'après le tableau (annexe -2-) 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 ,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 .

➤ SAR (période des basses eaux de l'année 2006):

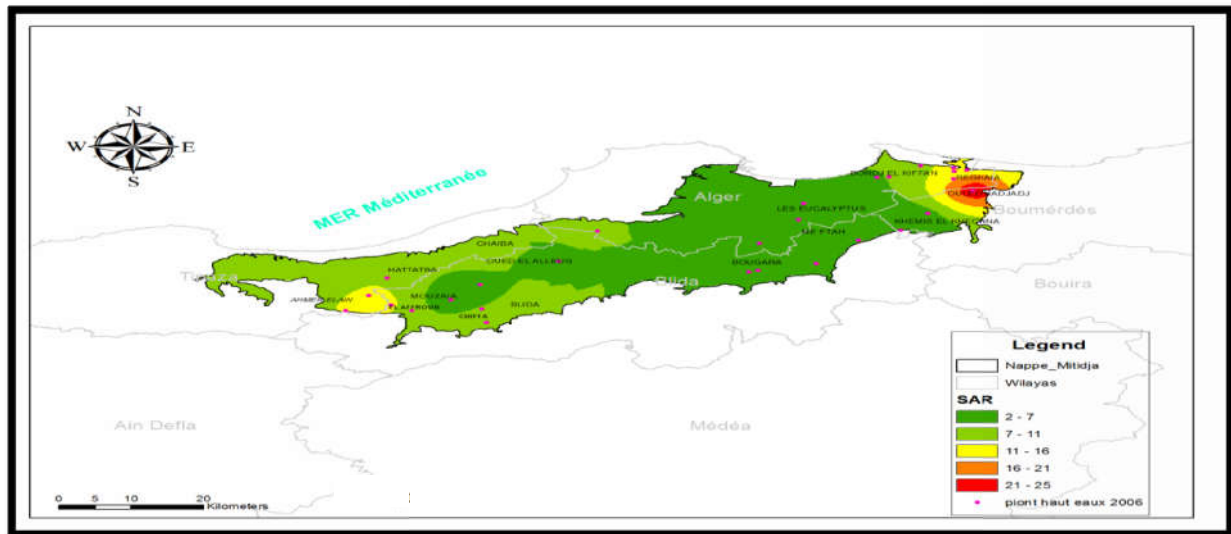


Figure IV-73 :la carte krigée de SAR (périodes des basses eaux de l'année 2005).

a-variogramme correspondant :

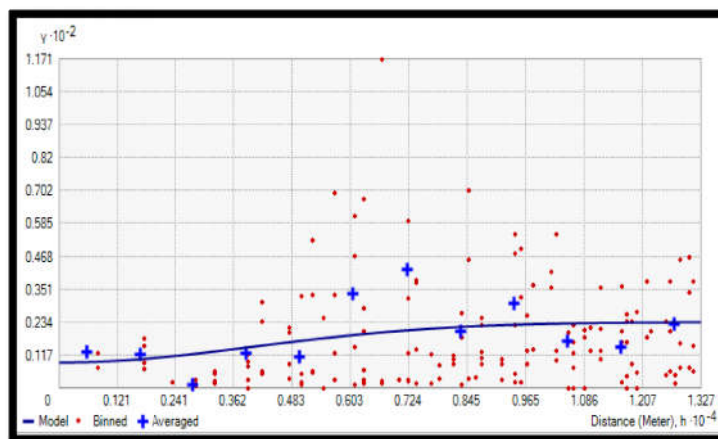


Figure IV-74 :variogramme de la carte de SAR (période des basses eaux de l'année 2006) .

d-Interprétation de la carte krigée de SAR : d'après la carte krigée de SAR on remarque que la partie Sud-Est qui englobe Oued Lhadjaj et Reghaia possède des valeurs de salinités très élevées, elle est classée au S3 d'après le tableau (annexe -3-) : Eaux pouvant provoquer l'apparition d'une alcalinité dangereuse dans la plupart des sols, à l'exception des sols pauvres en argile. Emploi exigent la mise en œuvre d'un aménagement spécial assurant un bon drainage et fort lessivage. Cela s'explique par la dominance de sodium par rapport au magnésium et calcium.

IV-3 Discussion (période des hautes eaux des années (2003 ,2005 ,2006) :

D'après les cartes krigées des éléments étudiés ,on peut conclure l'évolution de chaque élément au cours des trois années de la période des hautes eaux tel que :

-Calcium (Ca^{2+}) : d'après les cartes krigées de calcium ,on remarque que la partie Nord -Est a coté de Reghaia ,Bordj El Kiffan et Rouiba ,renferme les teneurs les plus élevées en calcium, a cause de la présence des roches calcaires et les rejets des industries au niveau de ces zones ,ces valeurs atteignent une valeur maximale au cours de l'année 2005 (353 mg/l) ,les valeurs diminuent au cours de l'année 2006 mais restent toujours trop élevée par rapport aux normes fixées ,

-Magnésium (Mg^{2+}) : d'après les cartes krigées de magnésium ,on remarque que les l'évolution de cette élément varie a l'échelle spatiale ,tel que la zone qui renferme des concentrations les plus élevées se situe a la partie Nord-Est (l'année 2005) ,tandis que les valeurs les plus élevées de l'année 2006 se situe a la partie Nord-Ouest a coté de Hadjout ,Ahmer El Ain ,cela est due au sens d'écoulement qui se dirige de cette zone vers le centre et le Nord- Ouest.

-Sodium Na^+ :d'après les cartes krigées de sodium ,on remarque que les teneurs les plus élevées sont enregistrés au cours de l'année 2006 au niveau de la région de Reghaia .

-Potassium (K^+) :d'après les cartes krigées de potassium ,on remarque que les teneurs les plus élevées en potassium sont enregistrés au cours de l'année 2005 sur l'étendue de toutes la plaine de la Mitidja -

-Nitrates (NO_3^-) :d'après les cartes krigées de nitrates, on voit nettement que les concentrations sont trop levées par rapport aux normes au cours des trois années 2003,2005et 2006 ,la partie la plus touchées est la zone Est ou les concentrations ont tendance a augmenter au cours des années .

-sulfates (SO_4^-) :d'après les cartes krigées de sulfates, on remarque que les valeurs sont dans les normes que ça soit pour l'AEP ou pour l'Irrigation pour toutes les années.

-**chlorures (Cl⁻)**: même comportement que pour celle du sulfates ;

-**Bicarbonates (HCO₃⁻)**: même comportement que pour celle du sulfates ;

-**CE** : d'après les cartes krigées de CE ,on note qu'au cours des trois années ,la conductivité électrique évolue ,on remarque que la classe de salinité augmente de **C3** (au cours de l'année 2003) jusqu'à **C4** pour 2005 et 2006 surtout au niveau de la partie NE , a cause de l'intrusion des eaux marines .

-**SAR** : d'après les cartes krigée de SAR ,on note qu'il ya une évolution au cours les trois années ,tel que les eaux sont classées d'après l'annexe -3- en **S1** sur l'étendue de toute la plaine ,le même comportement avec l'année 2006 ;dont les eaux sont utilisées pour l'irrigation ,tandis qu'au cours de l'année 2005 ,les eaux des environs de Chiffa sont classées en **S4** ,c'est-à-dire la salinité est trop élevées dont les eaux sont pas utilisées pour l'irrigation .

IV-4 Discussion (période des basses eaux des années (2004 ,2005 ,2006) :

D'après les cartes krigées des éléments étudiés ,on peut conclure l'évolution de chaque élément au cours des trois années de la période des basses eaux tel que :

-**Calcium (Ca²⁺)**: d'après les cartes krigées de calcium ,on remarque que les teneurs les plus élevées sont enregistrées au cours de l'année 2005 et 2006 surtout au niveau de la partie Nord Est ou les concentrations sont trop élevées .

-**Magnésium (Mg²⁺)**: d'après les cartes krigées de magnésium ,on remarque qu'il ya une évolution spatiale au cours des années étudiés ,tel que au cours de l'année 2004 ,les teneurs sont élevées au niveau du centre de la plaine des environs de Bougara ,Benkhilil,Boufarik ,tandis que les valeurs sont élevées au niveau de la partie NE et SO pour l'année 2005 et 2006.

-**Potassium (K⁺)** : d'après les cartes krigées de potassium , on remarque que les valeurs sont dans les normes que ça soit pour l'AEP ou pour l'Irrigation pour toutes les années.

-**Sodium (Na⁺)** : même comportement que celle de potassium ,cela peut être expliqué par les échanges des roches aquifères –l'eau entre sodium et calcium .

-**Nitrates (NO₃⁻)** : d'après les cartes krigées de nitrates ,on remarque qu'au cours les trois années ,lez zones les plus touchées situent a partir du centre jusqu'à l'EST. Cette hausse de concentration au centre est peut être due à la baisse des niveaux durant cette période

-**sulfates (SO₄)** : même comportement que celle de potassium .

- **chlorures (Cl⁻)**: même comportement que celle de potassium .

-**Bicarbonates (HCO₃⁻)** : même comportement que celle de potassium .

-**CE** : d'après les cartes krigées de CE ,on remarque que les concentrations au cours des trois années ,sont classées d'après l'annexe -2- en **C3** , au niveau de toutes la plaine mais surtout au niveau de la partie Est Nord- Est a cause de l'intrusion des eaux marins .

-**SAR** : d'après les cartes krigées de SAR ,on remarque qu'au cours de l'année 2004 les eaux sont classées d'après l'annexe -3- en **S1** ,c'est-à-dire il n'ya pas un risque de salinité ,tandis qu' a partir de l'année 2005 jusqu'à 2006 les eaux sont devenus dans la classe **S3** , donc la salinité augmente au cours des années surtout dans la partie Est .

IV-5 Conclusion :

Cette étude a permis une évaluation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines de la nappe Mitidja. L'analyse des résultats a révélé que les eaux des points contrôlés sont affectées par une pollution d'origine géologique et anthropique. En amont de la zone d'étude la dégradation de la qualité des eaux est due essentiellement à la présence des nitrates qui semblent être liés aux eaux usées rejetées sans traitement et à l'utilisation des engrais. Les eaux de la partie aval de la nappe sont caractérisées par des valeurs élevées de la conductivité électrique . Ces eaux appartiennent à deux faciès chimiques : un faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien, un faciès bicarbonaté calcique et magnésien .

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale :

Ce travail entrepris dans la plaine de la Mitidja a porté principalement sur la caractérisation et l'évaluation hydro chimique de cette nappe souterraine.

Pour répondre aux objectifs fixés nous avons utilisé un ensemble méthodes de classification, d'évaluation et d'analyse statistique.

L'utilisation de différentes méthodes de classifications des eaux souterraines de la nappe de la Mitidja telles que les classifications de Piper montrent l'existence d'un faciès chimique dominant qui est le faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien. Il n'y a pas de cation dominant dans la majorité des eaux analysées ,sauf quelques échantillons au niveau de la partie Est ou le calcium est le cation dominant .

L'examen des cartes piézométriques montre que le sens d'écoulement général des eaux souterraines est (Est vers Ouest) dans la zone allant de Ahamar El-Ain jusqu'à Hadjout et (Nord-Est),et (Sud-ouest) vers le centre du coté de Birtouta dans le reste de la plaine.

L'évaluation hydrochimique des eaux souterraines de la nappe de la Mitidja a révélé que la salinité de certains éléments a augmenté au fil des années à l'image du Ca^{2+} , Mg^{+} ; et Na.

Et remarquons également qu'il ya un réel danger d'intrusion marine dans la partie NE de la zone du coté de la baie d'Alger et cela à travers toute la période d'observation à cause de la surexploitation des batteries de forages dans cette zone sensible.

Il s'avère également qu'il ya un risque évolutif de contamination par les nitrates touchant la partie allant du centre vers l'Est cela à cause de l'usage excessif des engrais et des pesticides en agriculture ainsi qu'éventuellement l'effet des rejets non traités.

Enfin, il est souhaitable de poursuivre ce travail en projetant la même étude sur des périodes antérieurs et postérieures de la zone d'étude, afin de mieux comprendre la variabilité spatiale de la salinité et des autres paramètres des eaux de la nappe souterraine de la plaine de la Mitidja afin de mieux gérer cette ressource et ressortir avec un plan d'action fiable et efficace.

Ce travail, va ainsi servir comme outil d'aide de prise de décision dans la gestion et l'exploitation de la nappe en question.

Références bibliographique

- Etude d'aménagement hydro-agricole de la plaine de la Mitidja (AGID- Mott Mac Donald et Partner ltd et W.S Atkins International) (1992).
- Études de la qualité des eaux souterraines dans la plaine d'inondation du Logone inférieur en avril – mai 2013(Bassin du Lac Tchad : Gestion Durable des Ressources en Eaux) (mars 2014).
- Modèle mathématique de la nappe de la Mitidja_ Ressources en eau souterraines et leur exploitation jusqu'en 1987- (BINNIE et PARTNERS) (1982)
- Etude de la qualité des eaux souterraines de la wilaya de Sétif (Bentouati Latifa, Bouzidi Abdelouahab) (2012).
- Etude Hydrogéologique de la plaine de la Mitidja- étude Stratigraphique (Chino.A)(1965)
- L'hydrochimie et qualité des eaux de surfaces et souterraines du Haouz (Maroc) (El Alaoui Abd El Hafid -Hajhouji Youssef)(2010-2011)
- Schéma général de l'aménagement hydraulique de la Mitidja- Volume IV- Etude géologique et hydrogéologique- Agro complet-Energo proje kt Mai 1977.
- Cours d-hydrogéologie (G.de MARSILY)(septembre 2004).
- Etude Hydrogéologique quantitative de la plaine de la Mitidja – Géo hydraulique (1971-1972)
- l'analyse de l'eau -9^{ème} édition ;(JEAN RODIER) (2001).
- Géophysique (Cours et exercices corrigés) Jacques Dubois Michel Diament (2003)
- hydrogéochimie des écosystèmes aquatiques (licence professionnelle gamu fi promotion 2010) (Mme BENZHA F).
- Hydrochimie et Vulnérabilité des aquifères souterrains (MOHAMED EL WARTITI, AMINA MALAKI & NEZHA EL MAHMOUHI) (1988)
- Protection d'aire d'alimentation de captage en eau potable contre les pollutions liées à l'utilisation de fertilisants et de pesticides (Ministère de l'agriculture, de agro-alimentaire et foret –France) (2003).
- Prospection géophysique de la plaine de la Mitidja- CGG (1967) Modèle Mathématique de la plaine de la Mitidja-Mission4-SOGREAH (2009) .
- Le krigeage : revue de la théorie et application µa l'interpolation spatiale de données de précipitations (SOPHIE BAILLARGEON) (2005)
- La réutilisation des eaux usées en irrigation : cas de la Mitidja en Algérie T. Hartani (1987)

Références bibliographique

ANNEXES

Annexe -I -: représentation des résultats des analyses effectuées par ANRH(Alger)

N° lab	nature	LNA (x)	LNA (y)	LNA (z)	date de pré	Calcium	Magnésium	Sodium	Potassium	Chlorures	Sulfates	Bicarbonates	Nitrates
1766	PUITS	512,500	363,550	74,720	03/05/2003	69	17	23	1	24	60	220	5,0
251	PUITS	488,600	352,230	87,701	03/05/2003	205	62	130	4	275	230	390	175,0
332	PUITS	496,120	352,200	100,000	03/05/2003	156	78	60	5	110	463	337	28,0
334	FORAGE	493,250	359,700	59,420	03/05/2003	184	46	65	3	220	267	310	21,0
331	FORAGE	498,750	358,200	63,680	04/05/2003	98	16	20	2	17	70	303	19,0
997	FORAGE	539,200	373,150	30,700	05/05/2003	113	48	60	1	165	160	255	10,0
999	FORAGE	533,750	361,100	95,780	05/05/2003	150	45	35	2	151	175	257	50,0
p5	PUITS	519,200	365,950	36,849	28/09/2004	258	81	110	0	625	290	61	125,0
p192	PUITS	556,440	382,630	20,540	28/09/2004	209	49	77	0	480	73	162	21,0
p417	PUITS	558,620	379,920	37,030	27/09/2004	221	31	115	0	340	241	188	35,0
f890	FORAGE	549,200	383,070	14,880	28/09/2004	192	54	50	0	325	216	199	63,0
f892	FORAGE	556,500	384,350	10,040	27/09/2004	138	69	40	0	280	160	98	22,0
f893	FORAGE	547,900	382,900	14,040	28/09/2004	102	59	15	0	82	183	239	55,0
p894	PUITS	557,900	384,670	2,320	28/09/2004	195	80	85	0	300	200	229	130,0
pf1427	PUITS	501,480	365,760	58,744	28/09/2004	72	34	30	0	100	58	244	3,0
f1766	FORAGE	512,500	363,550	74,720	28/09/2004	51	10	28	0	38	48	109	22,0
p450	PUITS	550,650	370,750	78,480	27/09/2004	137	37	40	0	105	255	131	90,0
p688	PUITS	553,650	374,620	48,880	27/09/2004	145	94	52	0	220	295	313	95,0
f997	FORAGE	539,200	373,150	30,700	27/09/2004	91	23	51	0	111	158	154	19,0
f998	FORAGE	539,800	376,820	16,510	28/09/2004	143	23	30	0	175	163	121	14,0
f999	FORAGE	533,750	361,100	95,780	26/09/2004	141	28	28	0	165	150	128	18,0
f1000	FORAGE	534,770	361,500	106,530	27/09/2004	132	15	10	0	65	140	162	65,0
f1003	FORAGE	541,270	363,070	103,460	27/09/2004	105	58	53	0	127	233	197	59,0
f1010	FORAGE	534,900	367,700	45,910	27/09/2004	148	16	15	0	100	188	148	18,0
p251	PUITS	488,600	352,230	87,701	26/09/2004	133	58	70	0	210	200	292	75,0

ANNEXES

N° lab	nature	LNA (x)	LNA (y)	LNA (z)	date de pré	Calcium	Magnésium	Sodium	Potassium	Chlorures	Sulfates	Bicarbonates	Nitrates
f333	FORAGE	493,720	353,500	86,950	26/09/2004	111	71	60	0	185	245	214	82,0
p332	PUITS	496,120	352,200	100,000	26/09/2004	148	104	50	0	188	495	232	48,0
f335	FORAGE	491,200	355,640	72,850	26/09/2004	95	51	63	0	210	192	129	26,0
f336	FORAGE	493,800	355,600	75,290	26/09/2004	118	66	53	0	197	313	131	21,0
p594	PUITS	503,950	352,600	93,210	26/09/2004	96	40	44	0	95	248	135	49,0
f595	FORAGE	503,750	358,120	56,190	27/09/2004	50	25	30	0	55	48	127	43,0
f596	FORAGE	507,200	357,150	102,919	27/09/2004	66	23	30	0	63	45	152	49,0
368	PUITS	504 500.000	349 450.000	126.480	25/04/2005	68	625	2	1 475	118	206	206	88.5
474	FORAGE	493 720.000	353 500.000	86.950	07/05/2005	69	121	1	158	235	309	309	89.1
475	FORAGE	491 200.000	355 640.000	72.860	07/05/2005	59	103	0	203	217	237	237	38.1
477	FORAGE	502 750.000	360 850.000	41.840	08/05/2005	52	52	0	64	148	321	321	0.0
478	FORAGE	494 060.000	354 050.000	83.040	07/05/2005	72	106	0	211	323	339	339	24.0
479	PUITS	491 400.000	356 010.000	74.250	07/05/2005	66	188	0	393	327	336	336	125.0
480	PUITS	503 950.000	352 600.000	93.210	08/05/2005	48	69	0	146	323	171	171	41.6
481	PUITS	500 470.000	354 670.000	82.570	08/05/2008	23	18	0	30	43	196	196	18.3
482	PUITS	504 500.000	349 450.000	126.480	08/05/2005	37	68	0	106	172	407	407	58.2
483	PUITS	496 120.000	352 200.000	100.000	07/05/2005	85	95	0	148	563	166	166	35.1
561	FORAGE	533 750.000	361 100.000	95.780	09/05/2005	29	26	0	106	155	182	182	96.5
562	FORAGE	512 500.000	363 550.000	74.720	10/05/2005	19	21	0	39	48	196	196	42.9
563	FORAGE	539 200.000	373 150.000	30.700	08/05/2005	27	80	0	123	168	204	204	19.6
564	PUITS	545 950.000	368 500.000	65.030	08/05/2005	45	94	0	310	228	282	282	52.0
565	FORAGE	534 770.000	361 500.000	106.530	09/05/2005	32	78	0	130	210	247	247	33.8
566	FORAGE	547 900.000	382 900.000	14.040	07/05/2005	74	90	0	233	337	257	257	168.7
567	FORAGE	541 270.000	363 070.000	103.460	08/05/2005	53	82	0	134	288	295	295	103.1
568	PUITS	501 480.000	365 760.000	66.000	11/05/2005	28	71	2	99	25	358	358	1.1
569	PUITS	556 500.000	384 350.000	10.040	07/05/2005	30	118	5	175	192	305	305	84.3

ANNEXES

N° lab	nature	LNA (x)	LNA (y)	LNA (z)	date de pré	Calcium	Magnésium	Sodium	Potassium	Chlorures	Sulfates	Bicarbonates	Nitrates
570	PUITS	550 650.000	370 750.000	78.480	08/05/2005	33	54	0	41	245	436	436	182.5
571	PUITS	557 900.000	384 670.000	2.320	07/05/2005	51	207	0	530	198	317	317	94.0
572	PUITS	552 750.000	385 600.000	25.470	07/05/2005	80	232	0	2 025	353	210	210	125.0
573	PUITS	558 620.000	379 920.000	37.030	07/05/2005	39	148	0	175	225	255	255	229.2
574	PUITS	556 440.000	382 630.000	20.540	07/05/2005	40	126	0	334	118	397	397	119.9
1093	PUITS	545950	368500	65.03	25/09/2005	38	94	0	257	195	244	244	150.0
1094	FORAGE	539200	373150	30.7	25/09/2005	26	95	0	147	184	197	197	21.0
1095	FORAGE	539800	376820	16.51	25/09/058	51	91	0	200	175	186	186	14.0
1096	FORAGE	533750	361100	95.78	26/09/2005	47	76	0	224	171	214	214	16.0
1097	FORAGE	534770	361500	106.53	26/09/2005	4	18	0	28	159	224	224	41.0
1098	FORAGE	541270	363070	103.46	25/09/2005	73	86	0	175	247	259	259	54.0
1099	PUITS	552750	385600	25.47	24/09/2005	116	173	0	833	344	180	180	63.0
1100	PUITS	556440	382630	20.54	24/09/2005	59	136	1	489	95	349	349	33.0
1101	PUITS	556412	385180	23.08	24/09/2005	47	300	0	358	355	403	403	69.0
1102	FORAGE	549200	383070	14.88	24/09/2005	40	59	0	138	205	138	138	70.0
1103	PUITS	556500	384350	10.04	24/09/2005	44	104	0	281	155	170	170	41.0
1104	FORAGE	547900	382900	14.04	24/09/2005	87	70	1	255	340	226	226	55.0
1105	PUITS	557900	384670	2.32	24/09/2005	68	243	0	653	110	168	168	145.0
1107	PUITS	501480	365760	66	28/09/2005	32	64	0	113	60	183	183	4.0
1108	FORAGE	512500	363550	74.72	27/09/2005	16	41	0	34	59	183	183	20.0
1109	FORAGE	502750	360850	41.84	27/09/2005	30	31	0	54	107	214	214	39.0
1110	PUITS	488600	352230	133.38	24/09/2005	68	155	0	300	233	183	183	71.0
1111	PUITS	496120	352200	100	24/09/2005	106	88	0	263	445	299	299	8.0
1112	FORAGE	493720	353500	86.95	24/09/2005	70	161	0	274	246	260	260	57.0
1113	FORAGE	493800	355600	75.29	24/09/2005	93	92	0	313	286	131	131	27.0

ANNEXES

N° lab	nature	LNA (x)	LNA (y)	LNA (z)	date de pré	Calcium	Magnésium	Sodium	Potassium	Chlorures	Sulfates	Bicarbonates	Nitrates
1114	PUITS	500470	354670	82.57	24/09/2005	20	18	0	30	48	138	138	23.0
1115	PUITS	504500	349450	126.48	25/09/2005	50	53	3	97	187	148	148	66.0
1116	FORAGE	503750	358120	56.19	25/09/2005	16	26	5	42	64	136	136	39.0
1291	FORAGE	493720	353500	86.95	28/11/2005	66	128	2	178	259	422	422	80.0
1292	PUITS	550650	370750	78.48	29/11/2005	42	52	0	87	283	434	434	47.0
1293	FORAGE	547900	382900	14.04	30/11/2005	53	195	2	490	176	409	409	93.0
1296	PUITS	545950	368500	65.03	29/11/2005	31	96	0	189	220	436	436	96.0
1298	FORAGE	541270	363070	103.46	29/11/2005	51	20	1	106	210	367	367	55.0
1299	FORAGE	534770	361500	106.53	28/11/2005	25	10	0	30	159	238	238	85.0
1300	FORAGE	505900	368420	35.46	29/11/2005	23	115	0	165	136	397	397	72.0
1301	PUITS	504500	349450	126.48	28/11/2005	21	68	0	85	181	352	352	20.0
1302	FORAGE	534900	367700	45.91	28/11/2005	10	80	0	92	190	258	258	4.0
1303	FORAGE	539800	376820	16.51	28/11/2005	17	92	0	155	192	268	268	11.0
1307	PUITS	556440	382630	20.54	30/11/2005	66	128	7	426	93	430	430	20.0
1308	FORAGE	549200	383070	14.88	30/11/2005	48	44	1	146	230	381	381	46.0
1309	PUITS	558620	379920	37.03	30/11/2005	27	162	0	204	213	359	359	36.0
1384	PUITS	504500	349450	126.48	25/12/2005	33	63	0	91	188	332	332	53.0
1387	FORAGE	539800	376820	16.51	26/12/2005	38	74	0	194	169	269	269	20.0
1388	PUITS	550650	370750	78.48	26/12/2005	42	52	0	85	304	407	407	47.0
1389	FORAGE	534770	361500	106.53	26/12/2005	24	10	0	45	153	217	217	59.0
1390	FORAGE	541270	363070	103.46	26/12/2005	58	71	0	141	215	352	352	54.0
1391	FORAGE	534900	367700	45.91	26/12/2005	28	44	0	102	189	251	251	24.0
1392	PUITS	545950	368500	65.03	26/12/2005	30	60	0	198	173	404	404	113.0
1399	FORAGE	549200	383070	14.88	28/12/2005	42	107	0	199	200	368	368	90.0
1400	FORAGE	547900	382900	14.04		69	197	3	543	153	407	407	139.0

ANNEXES

N° lab	nature	LNA (x)	LNA (y)	LNA (z)	date de pré	Calcium	Magnésium	Sodium	Potassium	Chlorures	Sulfates	Bicarbonates	Nitrates
1401	PUITS	556440	382630	20.54	28/12/2005	53	142	5	470	46	429	429	10.0
1402	PUITS	558620	379920	37.03	28/12/2005	24	125	0	193	169	343	343	37.0
1405	FORAGE	493720	353500	86.95	28/12/2005	32	110	2	215	202	404	404	64.0
1406	FORAGE	505900	368420	35.46	28/12/2005	35	115	0	201	107	391	391	74.0
435	PUITS	550650	370750	78.48	02/05/2006	43	16	0	96	252	409	409	61.2
436	PUITS	553650	374620	48.88	02/05/2006	86	37	0	152	268	436	436	57.3
437	PUITS	545950	368500	65.03	02/05/2006	34	46	0	188	169	345	345	143.1
438	FORAGE	539200	373150	30.7	02/05/2006	42	35	0	132	128	237	237	12.7
439	FORAGE	539800	376820	16.51	02/05/2006	47	35	0	154	168	250	250	24.6
440	FORAGE	533750	361100	95.78	02/05/2006	31	41	0	95	154	261	261	55.2
441	FORAGE	534770	361500	106.53	02/05/2006	27	21	0	52	178	215	215	55.0
442	FORAGE	541270	363070	103.46	02/05/2006	62	35	0	111	196	355	355	73.6
443	FORAGE	534900	367700	45.91	02/05/2006	32	36	0	135	133	231	231	30.6
444	FORAGE	547900	382900	14.04	30/04/2006	35	40	6	184	141	396	396	44.5
445	PUITS	552750	385600	25.47	30/04/2006	44	165	0	206	364	241	241	820.0
446	PUITS	556440	382630	20.54	30/04/2006	35	163	1	352	79	474	474	12.7
447	PUITS	558620	379920	37.03	30/04/2006	34	340	0	337	365	514	514	59.8
448	FORAGE	549200	383070	14.88	30/04/2006	45	95	0	132	212	397	397	91.0
449	PUITS	556500	384350	10.04	30/04/2006	78	110	0	277	385	372	372	79.0
450	PUITS	557900	384670	2.32	30/04/2006	59	178	0	473	186	400	400	26.0
461	FORAGE	516850	370500	32.2	07/05/2006	31	83	0	84	155	343	343	0.0
462	PUITS	488600	352230	133.38	06/05/2006	80	168	0	263	259	414	414	235.7
463	PUITS	496120	352200	100	06/05/2006	108	100	2	143	458	371	371	16.6
464	FORAGE	512500	363550	74.72	07/05/2006	16	27	0	35	43	217	217	22.6
465	FORAGE	493250	359700	59.42	06/05/2006	74	132	0	245	389	345	345	21.7

ANNEXES

N° lab	nature	LNA (x)	LNA (y)	LNA (z)	date de pré	Calcium	Magnésium	Sodium	Potassium	Chlorures	Sulfates	Bicarbonates	Nitrates
466	FORAGE	491200	355640	72.86	06/05/2006	46	134	0	310	198	318	318	51.2
467	FORAGE	512500	363550	74.72	06/05/2006	30	65	0	70	150	313	313	15.6
468	PUITS	504500	349450	126.48	07/05/2006	37	111	0	125	270	200	200	87.0
469	PUITS	503950	352600	93.21	06/05/2006	48	79	0	110	295	322	322	45.4
470	FORAGE	503750	358120	56.19	06/05/2006	25	31	0	38	41	238	238	46.3
782	FORAGE	539800	376820	16.51	16/07/2006	29	81	0	191	236	256	256	16.0
783	FORAGE	534900	367700	45.91	16/07/2006	24	66	0	125	207	275	275	26.0
784	FORAGE	533750	361100	95.78	16/07/2006	21	52	0	160	216	259	259	50.0
785	FORAGE	534770	361500	106.53	16/07/2006	21	19	0	35	165	232	232	60.0
786	FORAGE	541270	363070	103.46	16/07/2006	51	106	0	195	313	348	348	54.0
787	FORAGE	539200	373150	30.7	16/07/2006	17	106	0	165	193	261	261	16.0
788	PUITS	545950	368500	65.03	16/07/2006	19	89	0	195	217	479	479	24.0
791	PUITS	557900	384670	2.32	17/07/2006	51	225	0	505	249	408	408	125.0
792	PUITS	558620	379920	37.03	17/07/2006	27	176	5	258	239	360	360	45.0
793	PUITS	556500	384350	10.04	17/07/2006	33	144	1	248	216	424	424	38.0
794	PUITS	552750	385600	25.47	17/07/2006	40	155	0	198	435	285	285	600.0
795	FORAGE	549200	383070	14.88	17/07/2006	39	82	1	149	285	321	321	83.3
796	PUITS	556440	382630	20.54	17/07/2006	40	156	1	349	60	462	462	4.0
797	PUITS	556412	385180	23.08	17/07/2006	29	221	70	280	322	435	435	200.0
802	PUITS	488600	352230	133.38	18/07/2006	64	164	1	263	281	422	422	165.0
803	PUITS	504500	349450	126.48	18/07/2006	27	52	0	80	178	348	348	55.0
804	PUITS	496120	352200	100	18/07/2006	95	108	3	155	445	370	370	16.0
805	FORAGE	493720	353500	86.95	18/07/2006	67	158	1	221	261	425	425	100.0
806	FORAGE	493250	359700	59.42	18/07/2006	69	114	0	219	441	339	339	21.0
807	PUITS	500470	354670	82.57	18/07/2006	13	17	0	25	41	267	267	21.0

ANNEXES

N° lab	nature	LNA (x)	LNA (y)	LNA (z)	date de pré	Calcium	Magnésium	Sodium	Potassium	Chlorures	Sulfates	Bicarbonates	Nitrates
962	PUITS	501480	365760	66	18/09/2006	20	63	1	120	48	271	271	1.0
963	FORAGE	512500	363550	74.72	17/09/2006	18	31	0	27	23	305	305	19.9
964	FORAGE	502750	360850	41.84	17/09/2006	13	36	0	58	148	216	216	25.1
965	PUITS	488600	352230	133.38	16/09/2006	58	103	0	239	282	239	239	126.5
966	PUITS	496120	352200	100	16/09/2006	87	112	3	169	468	412	412	16.0
967	FORAGE	493720	353500	86.95	16/09/2006	58	126	1	200	303	407	407	94.4
968	FORAGE	491200	355640	72.86	16/09/2006	43	126	0	177	208	294	294	46.6
969	FORAGE	493800	355600	75.29	16/09/2006	58	124	0	211	290	336	336	23.6
970	PUITS	500470	354670	82.57	16/09/2006	17	16	0	25	39	226	226	16.6
971	PUITS	504500	349450	126.48	17/09/2006	33	47	1	89	178	346	346	53.3
972	PUITS	503950	352600	93.21	17/09/2006	32	41	0	80	205	285	285	40.7
973	FORAGE	503750	358120	56.19	16/09/2006	16	20	0	40	30	238	238	50.1
1039	FORAGE	520150	363520	56.78	23/09/2006	21	10	0	50	48	149	149	34.9
1040	FORAGE	539200	373150	30.7	25/09/2006	32	97	0	135	221	241	241	19.3
1041	FORAGE	533750	361100	95.78	23/09/2006	32	77	0	190	206	235	235	20.0
1042	FORAGE	551200	385000	14.27	25/09/2006	27	48	0	75	330	425	425	37.9
1051	PUITS	552750	385600	25.47	27/09/2006	21	151	0	185	368	277	277	313.7
1052	PUITS	556920	384070	18.07	27/09/2006	54	221	2	485	182	435	435	127.0
1053	PUITS	556440	382630	20.54	27/09/2006	42	181	1	410	48	248	248	5.9
1054	PUITS	558620	379920	37.03	27/09/2006	21	153	0	249	230	347	347	40.1
1055	PUITS	556500	384350	10.04	27/09/2006	35	141	6	253	155	320	320	33.4
1246	FORAGE	520150	363520	56.78	18/11/2006	34	17	0	59	49	305	305	24.0
1256	PUITS	493010	359620	60.31	19/11/2006	29	45	0	123	176	261	261	21.0
1277	PUITS	545950	368500	65.03	27/11/2006	83	65	0	177	178	461	461	93.7
1278	FORAGE	549200	383070	14.88	27/11/2006	39	53	0	160	228	286	286	55.7

ANNEXES

N° lab	nature	LNA (x)	LNA (y)	LNA (z)	date de pré	Calcium	Magnésium	Sodium	Potassium	Chlorures	Sulfates	Bicarbonates	Nitrates
1279	PUITS	556500	384350	10.04	27/11/2006	40	114	5	236	163	458	458	30.7
1280	PUITS	552750	385600	25.47	27/11/2006	25	147	0	209	355	300	300	238.9
1281	PUITS	557900	384670	2.32	27/11/2006	51	232	0	660	217	439	439	119.9

ANNEXES

Annexe –2- : Classe de salinité de l'eau.

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

Annexe –3- : Classement de la qualité de l'eau en fonction du danger d'alcalinisation.

(Classification USDA)

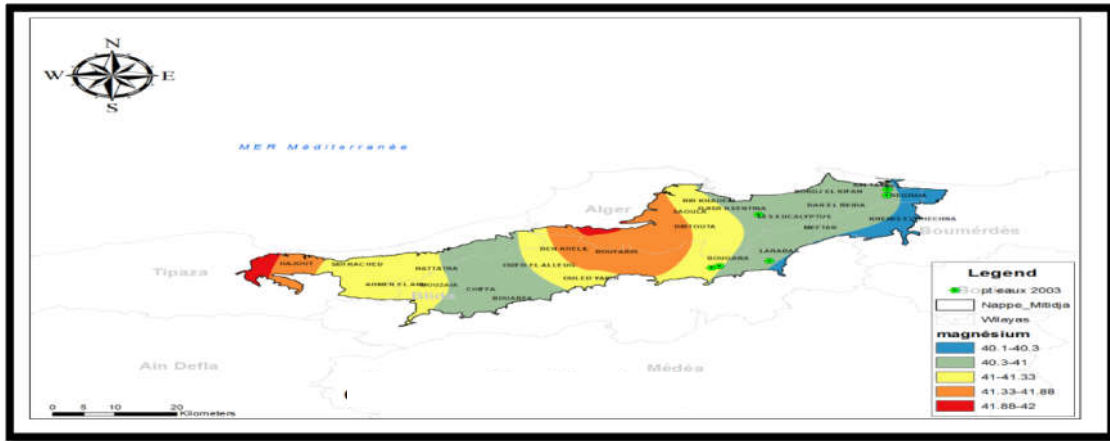
Classe	Interprétation
S1 : $0 < SAR \leq 10$	Eaux utilisables pour l'irrigation de presque tous les sols. Danger d'alcalinisation réduit, bien que certaines cultures sensibles au sodium puissent être gênées.
S2 : $10 < SAR \leq 18$	Le danger d'alcalinisation des sols est appréciable dans les sols à textures 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.
S3 : $18 < SAR \leq 26$	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.
S4 : $SAR > 26$	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.

ANNEXES

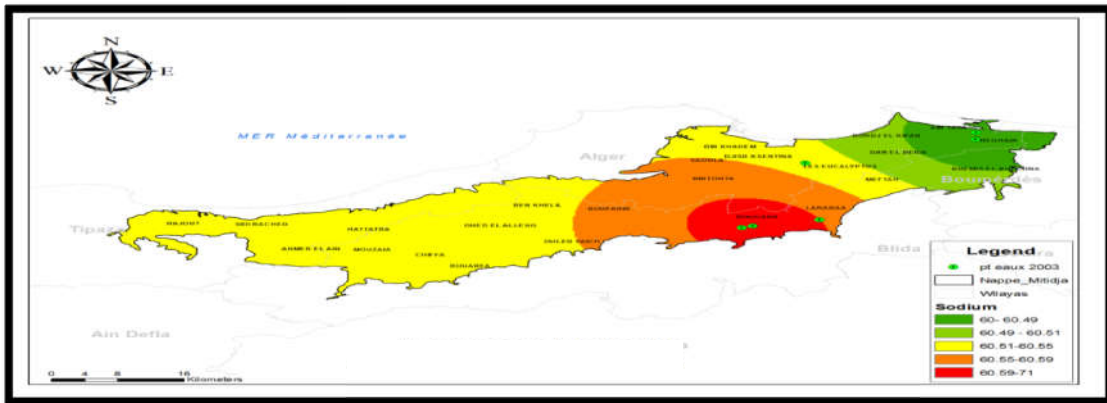
Annexe -4- : Les normes des eaux d'irrigation fixée par la FAO (Bulletin N°24)

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 ⁺⁺	mg/l	400
Magnésium	Mg ⁺⁺	mg/l	60,75
Sodium	Na ⁺	mg/l	920
Carbonates	CO ₃ ⁻	mg/l	3
Bicarbonates	HCO ₃ ⁻	mg/l	610
Chlore	Cl	mg/l	1065
Sulfates	SO ₄ ⁻	mg/l	960
Nitrates	NO ₃ ⁻	mg/l	10
Ammonium	NH ₄ ⁺	mg/l	5
Phosphate	PO ₄ ⁻	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

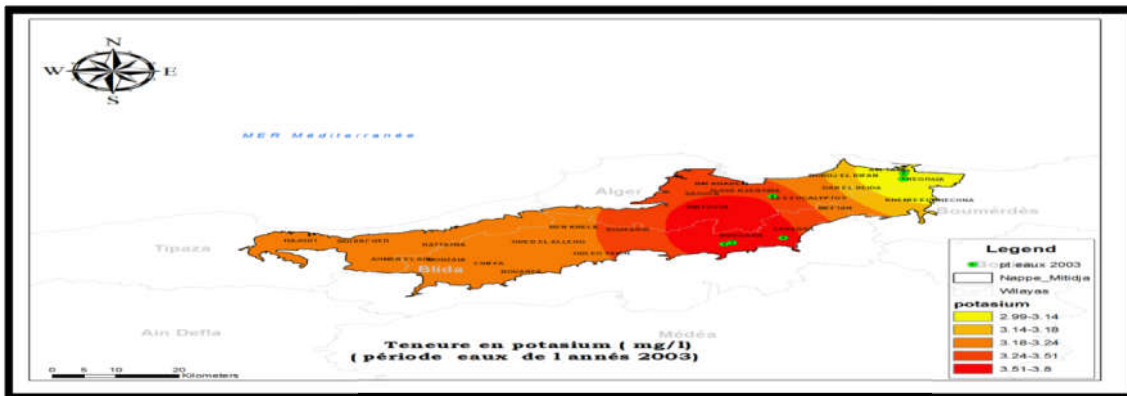
ANNEXES



Annexe -5-: carte krigée de magnésium (période des hautes eaux de l'année 2003).

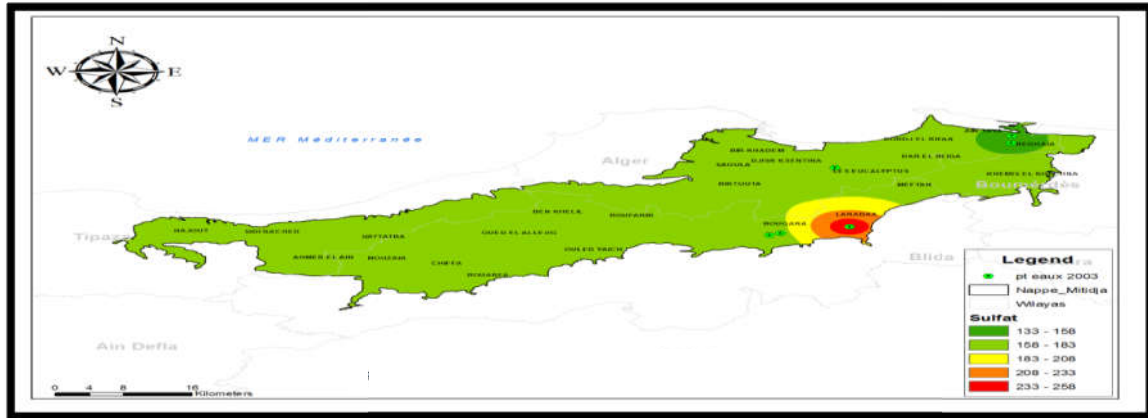


Annexe-6-: la carte krigée du sodium (période des hautes eaux de l'année 2003).

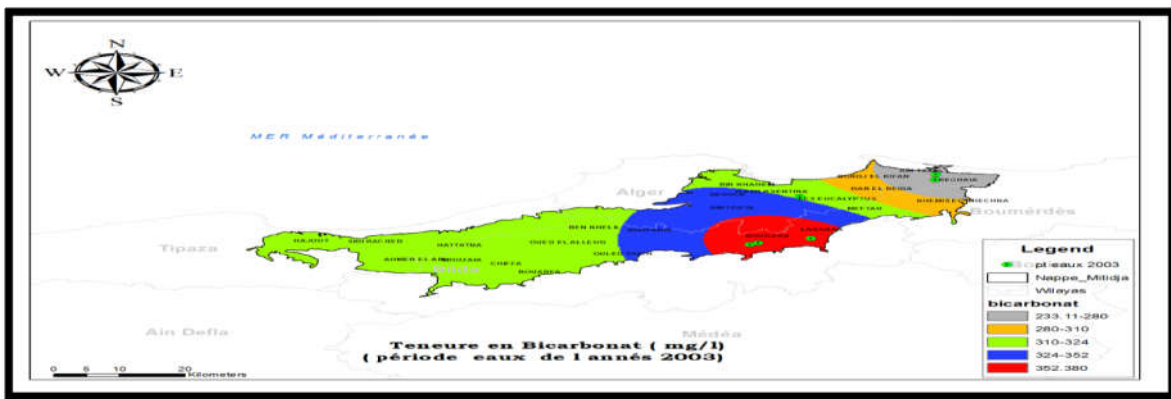


annexe -7- : carte krigée de potassium (période des hautes eaux de l'année 2003).

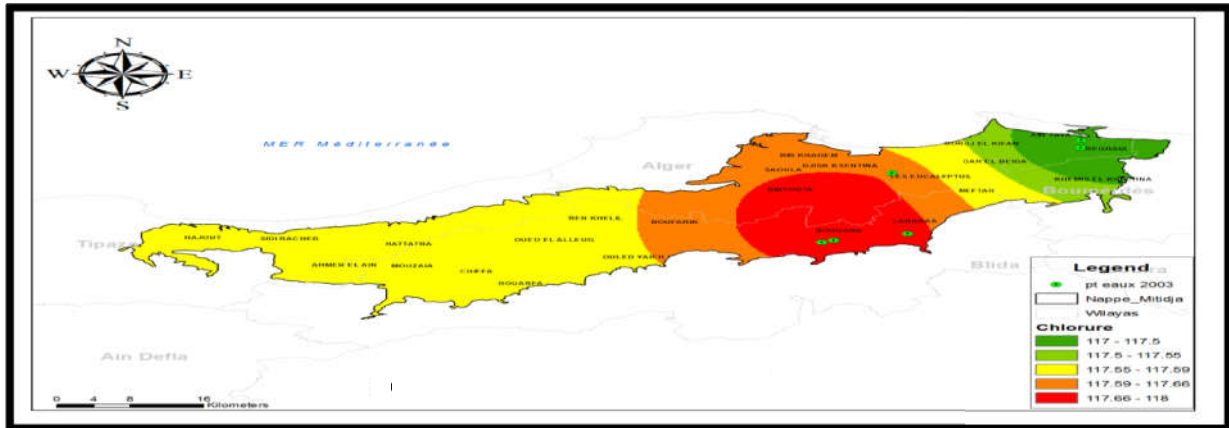
ANNEXES



Annexe-8- : la carte krigée de sulfates (période des hautes eaux de l'année 2003).

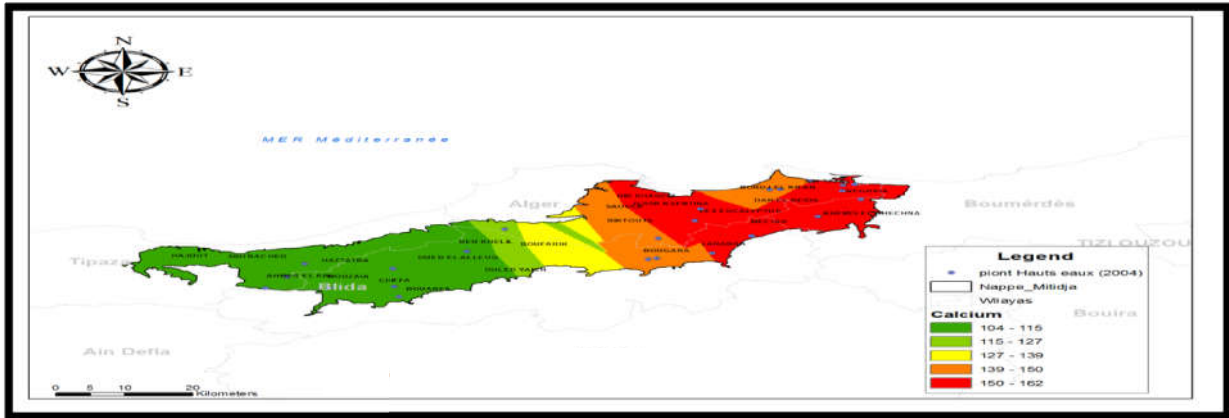


Annexe-9-: carte krigée de bicarbonates (Période des hautes eaux de l'année 2003).

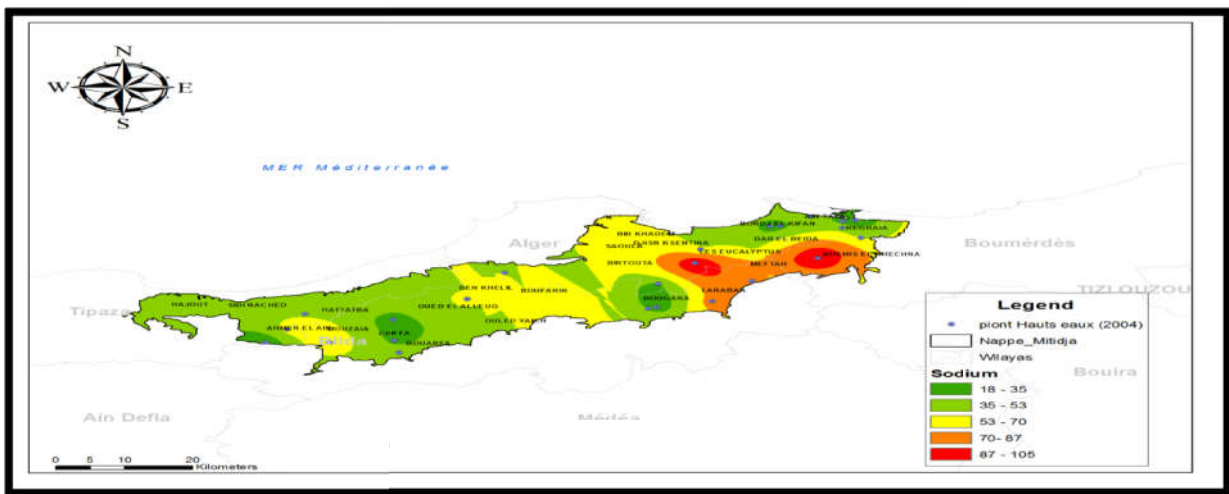


Annexe-10- :carte krigée de chlorure (période des hautes eaux de l'année 2003).

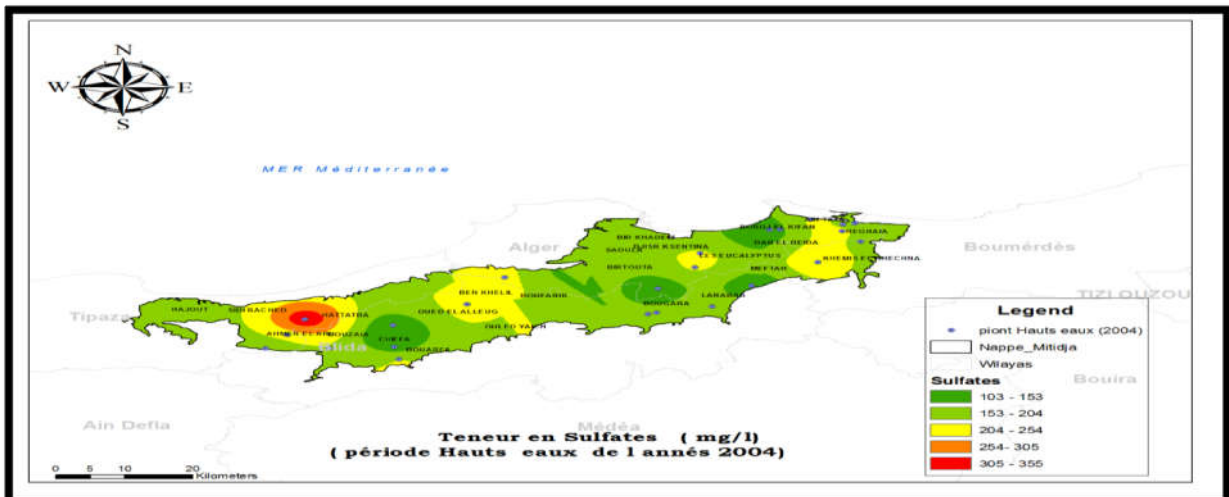
ANNEXES



Annexe-11- : Carte krigée de Calcium (Période des basses eaux de l'année 2004).

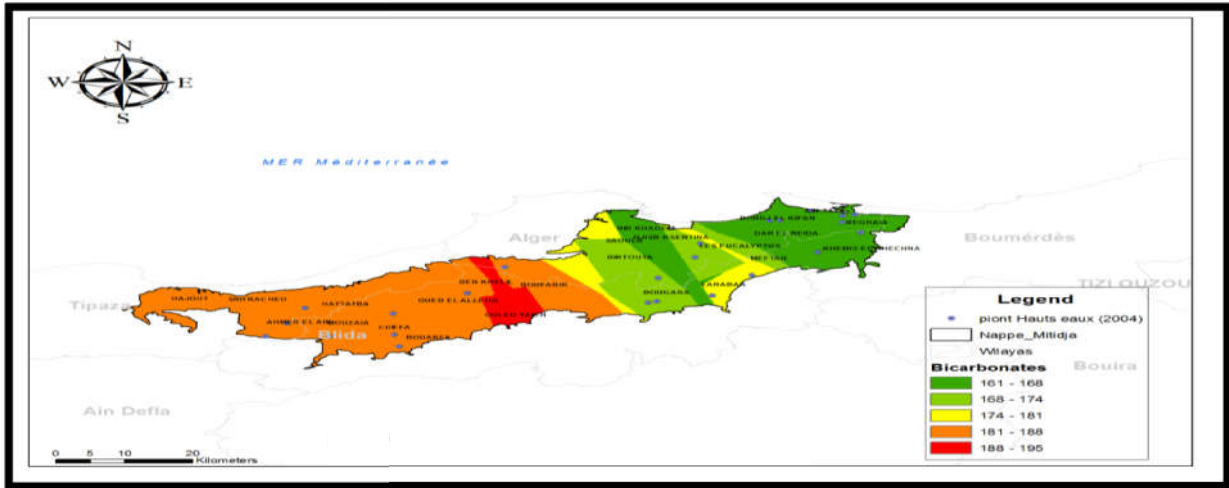


Annexe-12- : la carte krigée de sodium (période des basses eaux de l'année 2004).

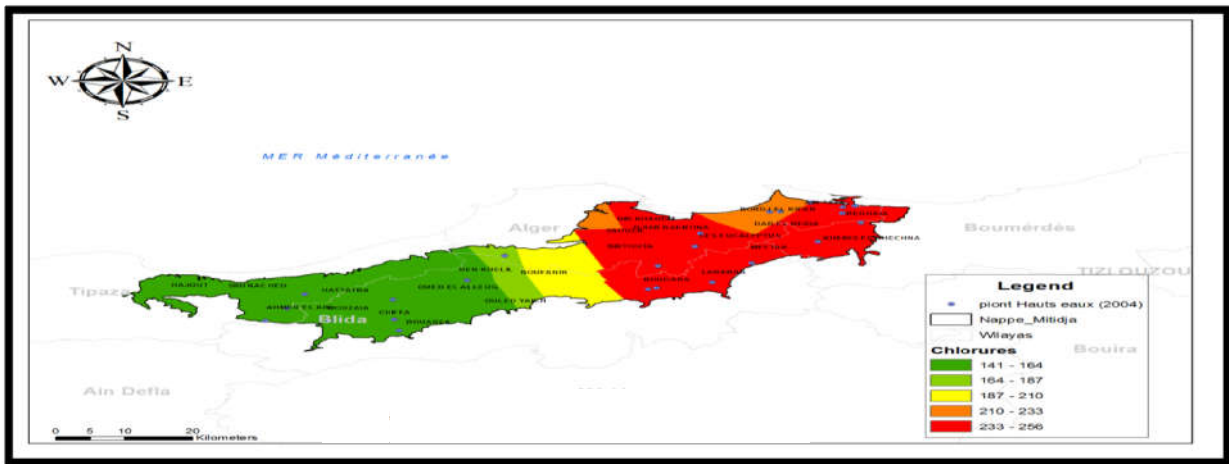


Annexe -13- :la carte krigée de sulfates (période des basses eaux de l'année 2004).

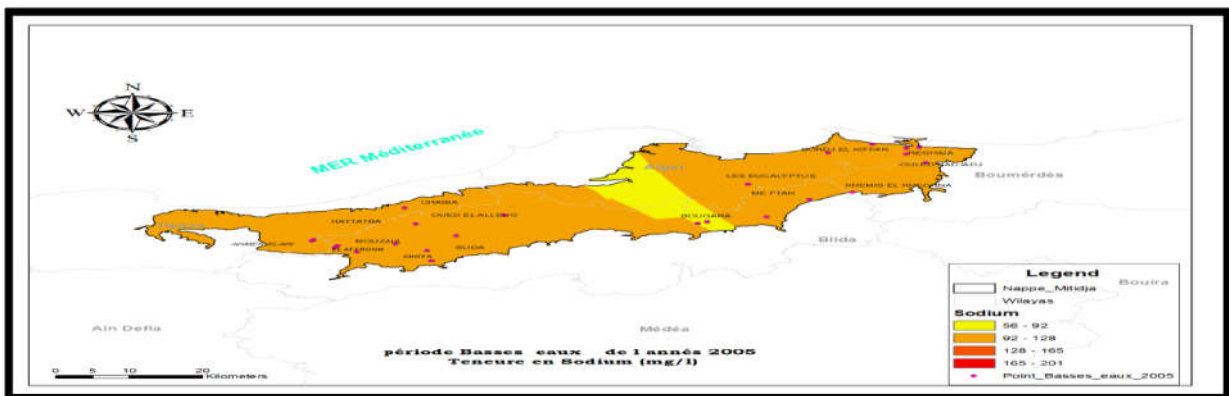
ANNEXES



Annexe-14- : carte krigée de bicarbonates(Période des basses eaux de l'année 2004).

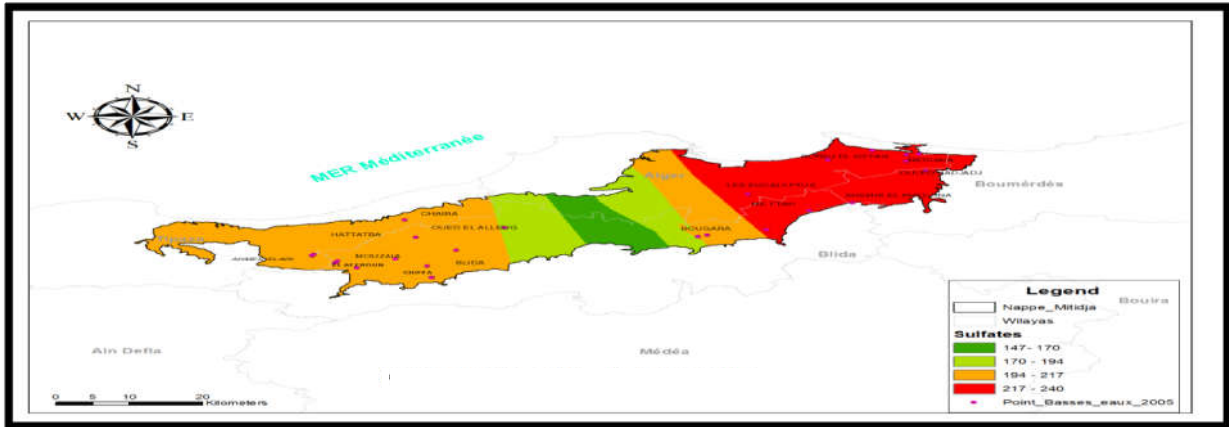


Annexe-15-:carte krigée de chlorure (période des basses eaux de l'année 2004).

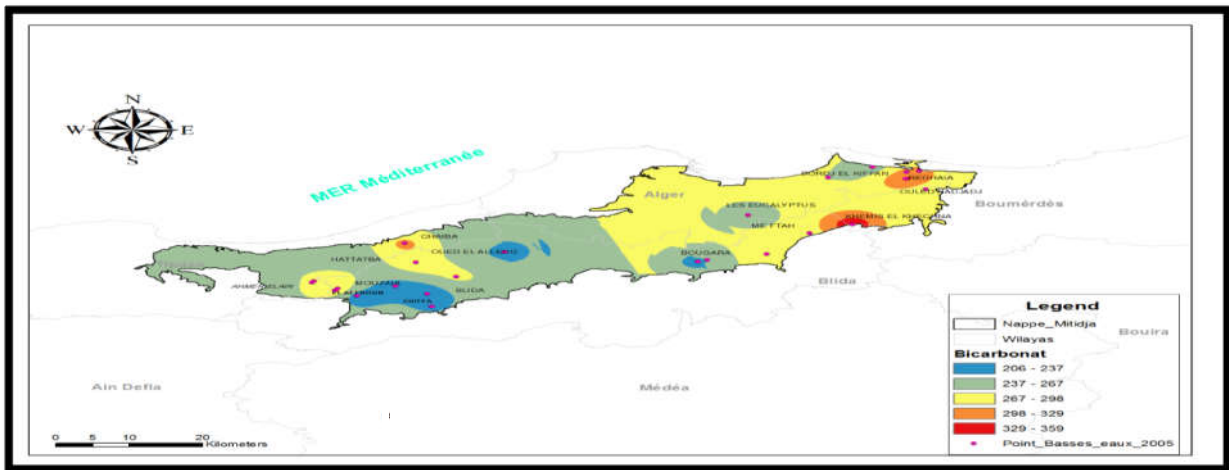


Annexe-16-: la carte krigée de sodium (période des hautes eaux de l'année 2005).

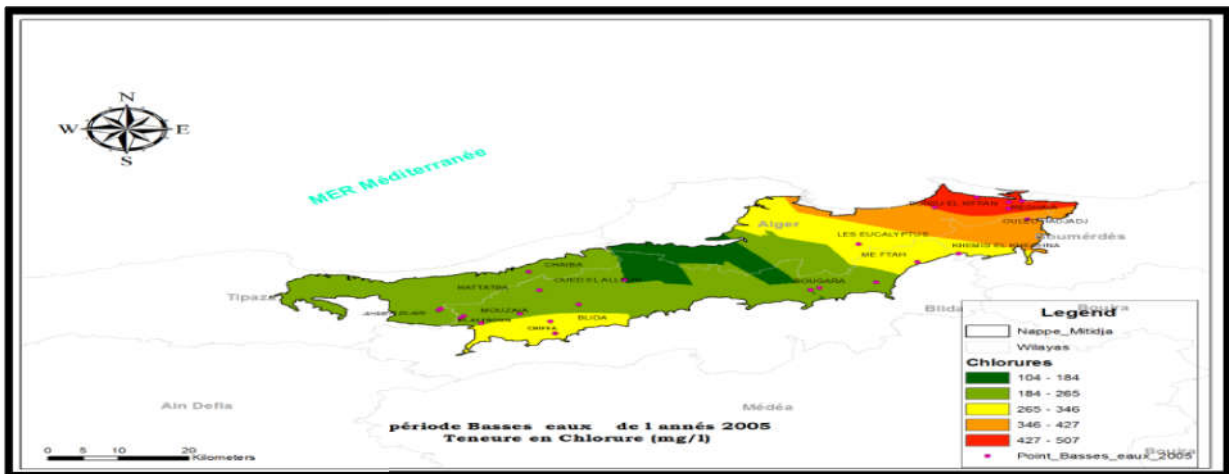
ANNEXES



Annexe-17- : carte krigée de sulfate (Période des hautes eaux de l'année 2005).

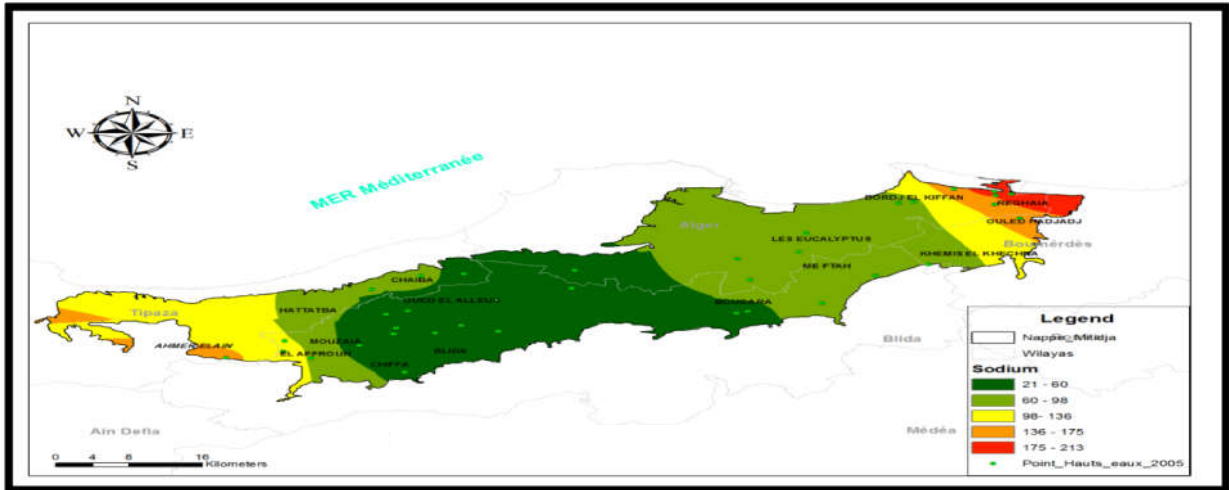


Annexe -18- :carte krigée de bicarbonates(Période des hautes eaux de l'année 2005)

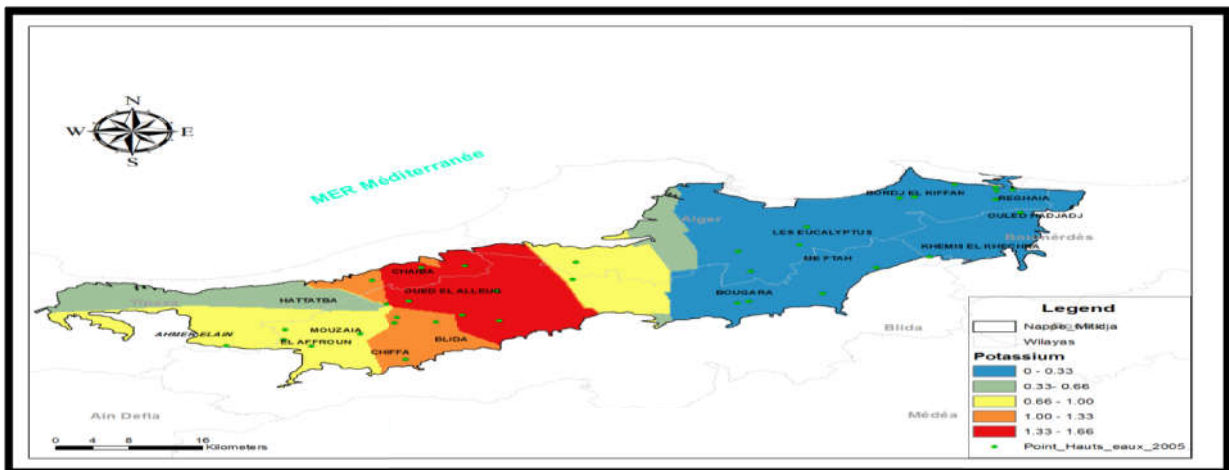


Annexe-19- :carte krigée de chlorures (période des hautes eaux de l'année 2005).

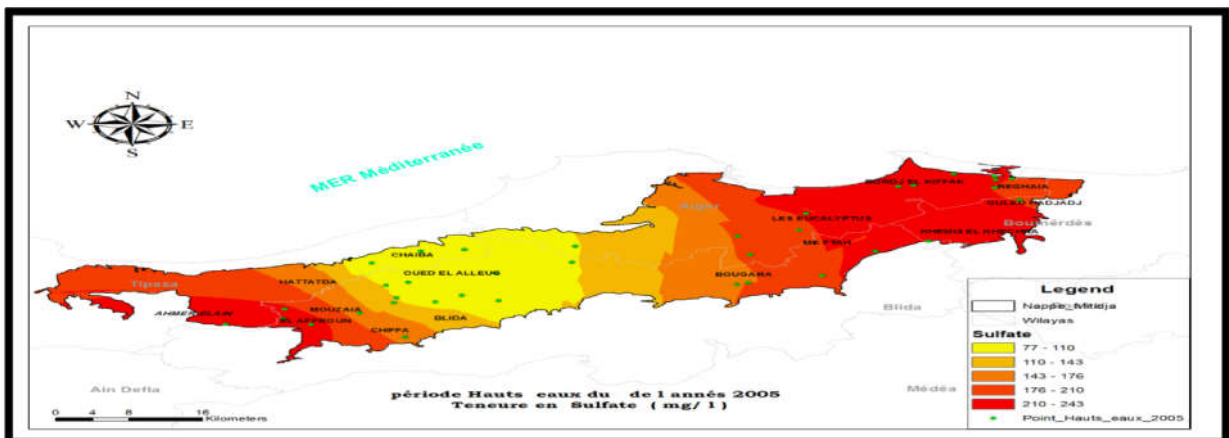
ANNEXES



Annexe-20:-carte krigée de sodium (période des basses eaux de l'année 2005)

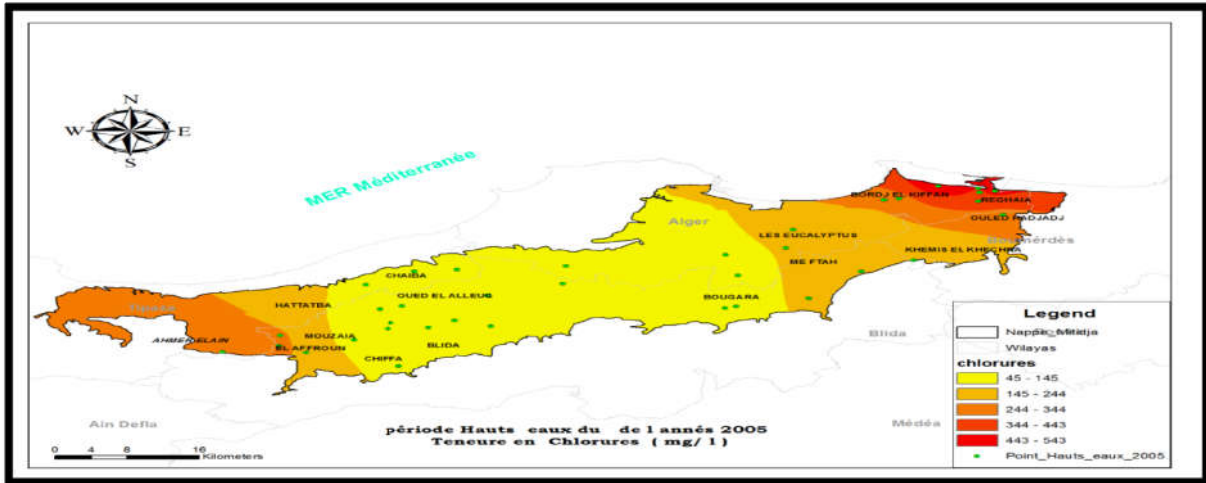


Annexe-21- :carte krigée de potassium (période des basses eaux de l'année 2005).

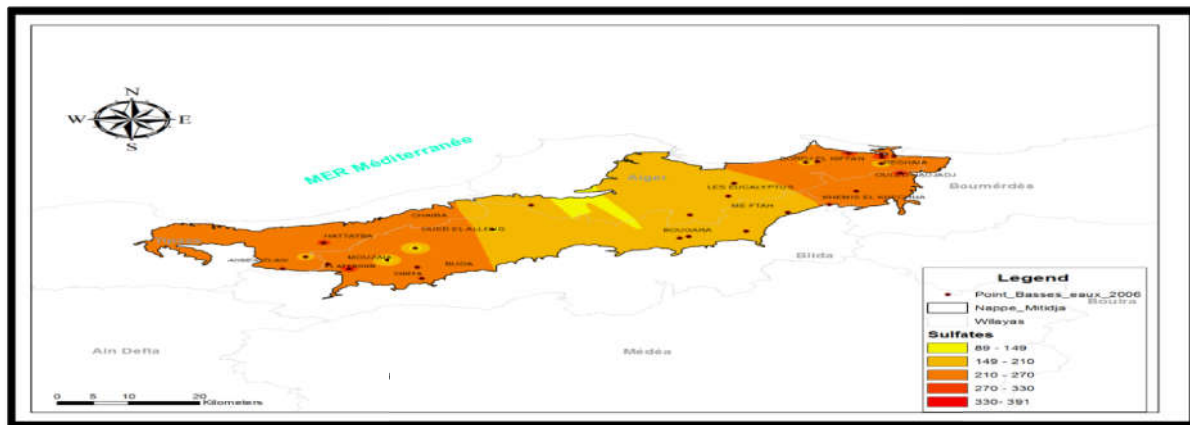


Annexe-22- :carte krigée de sulfates (période basses eaux de l'année 2005) .

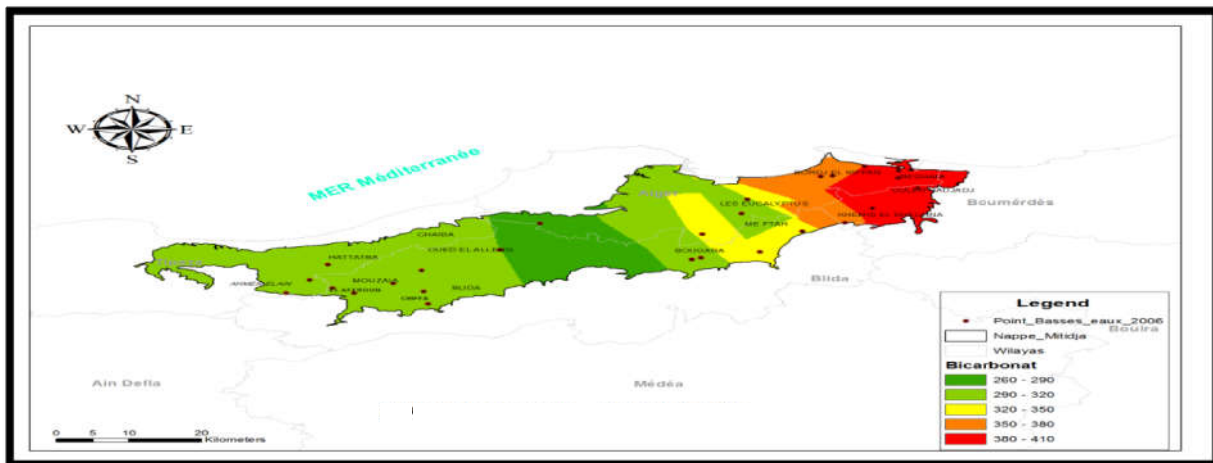
ANNEXES



annexe-23- :carte krigée de chlorure (période des hautes eaux de l'année 2005)

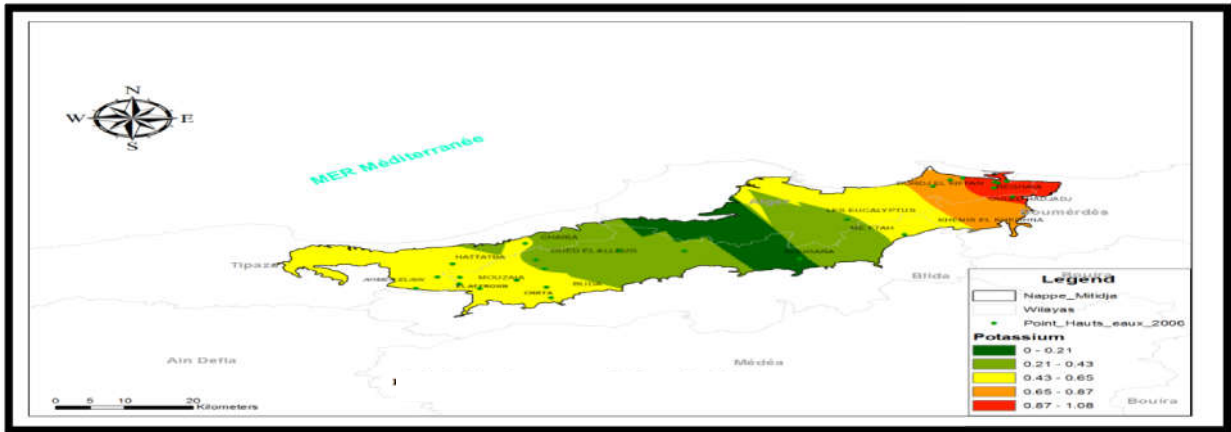


annexe -24- :la carte krigée de sulfates (période des hautes eaux de l'année 2006).



annexe-25- : carte krigée de bicarbonates(Période des hautes eaux de l'année 2006).

ANNEXES



annexe-26- : la carte krigée de potassium (période des basses eaux de l'année 2006).

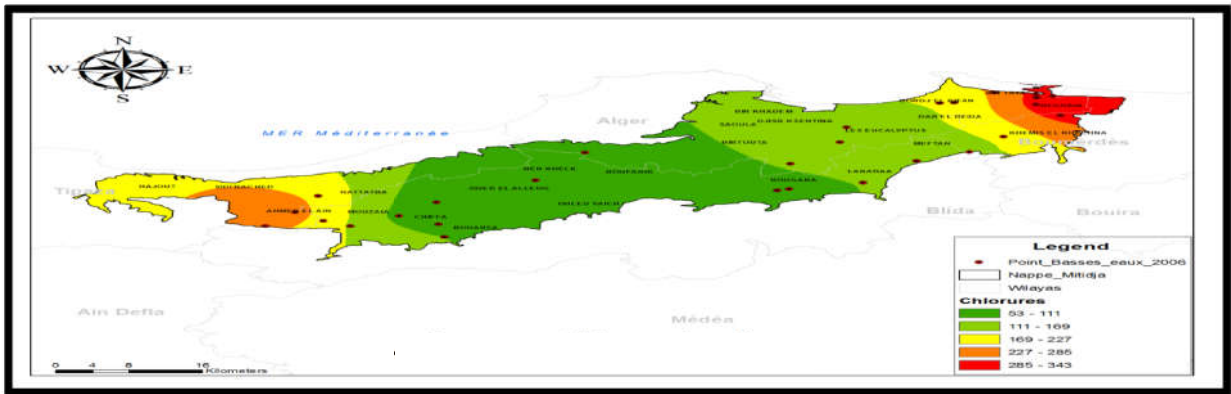


Figure IV- 27 :la carte krigée de chlorures (période des hautes eaux de l'année 2006).

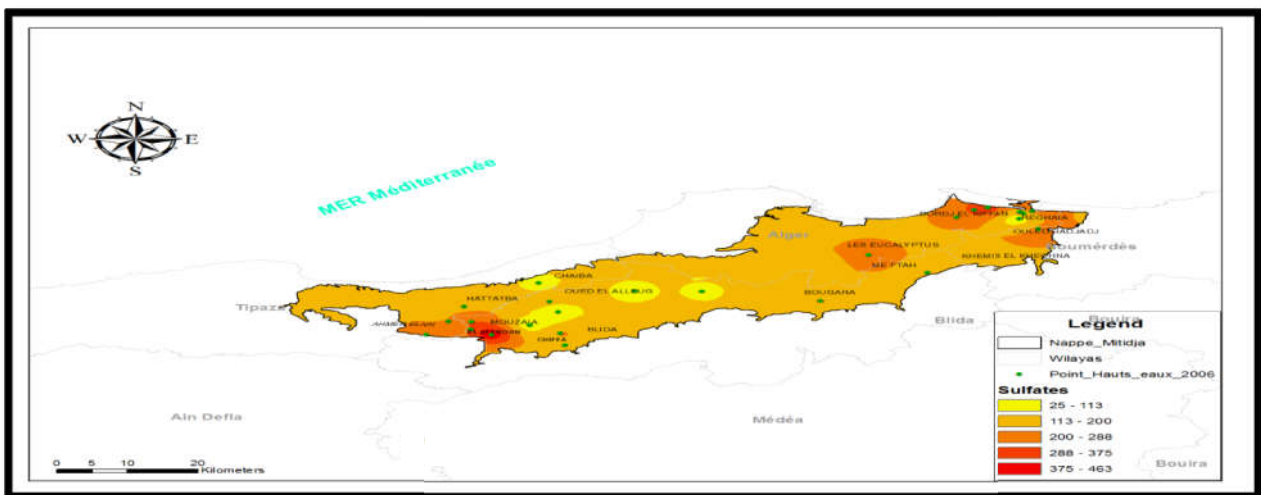
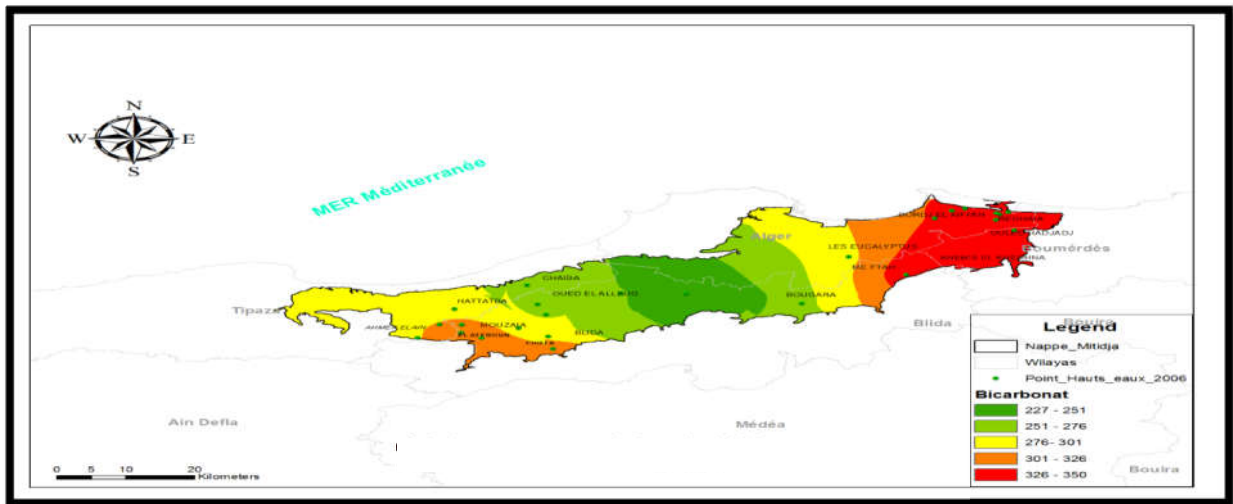
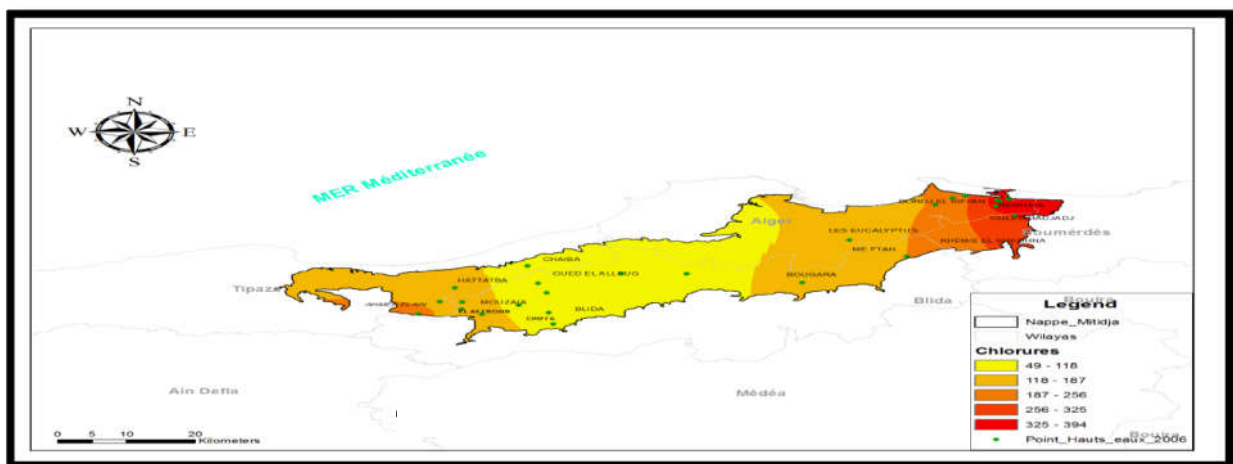


Figure IV- 28: la carte krigée de sulfates (période des basses eaux de l'année 2006).

ANNEXES

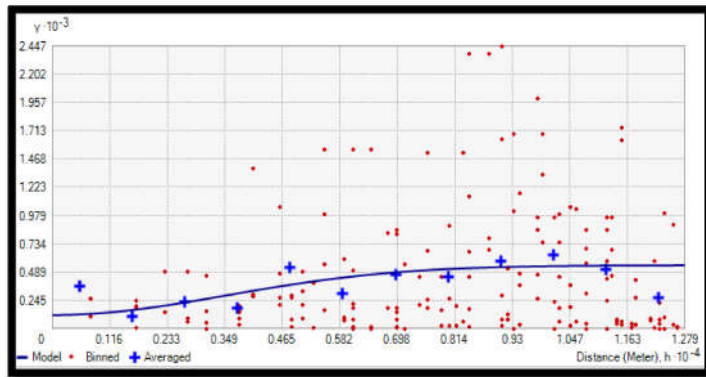


Annexe-29 : carte krigée de bicarbonates(Période des basses eaux de l'année 2006).

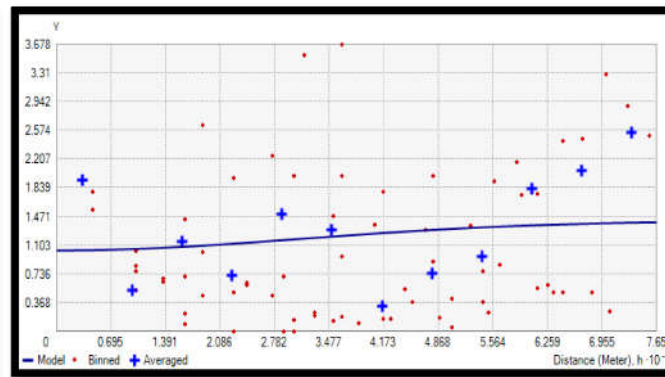


Annexe-30:-carte krigée de chlorure (période des basses eaux de l'année 2006).

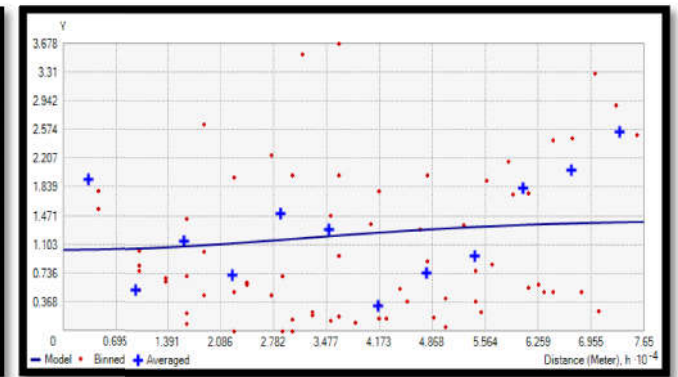
ANNEXES



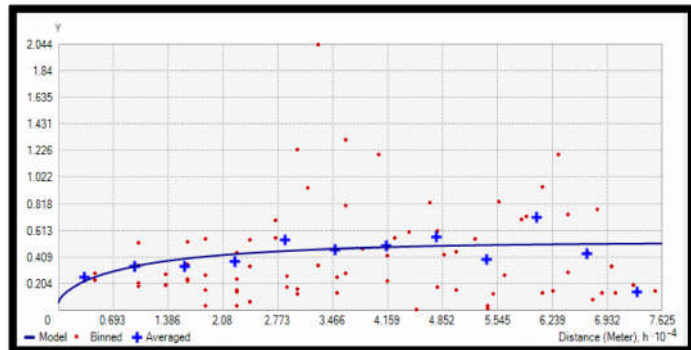
Annexe -31- : variogramme de Mg^{2+} (période hautes eaux -2003-)



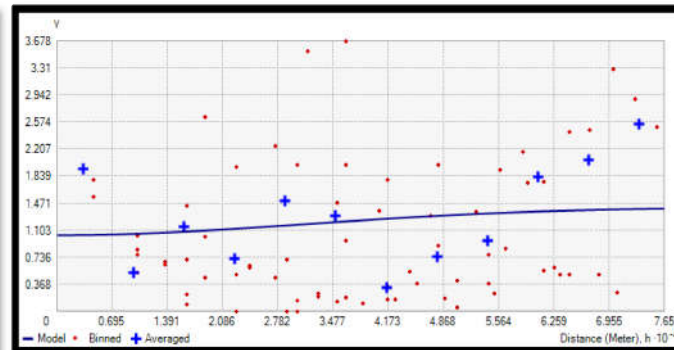
Annexe-32- :variogramme de Ca^{2+} (période hautes eaux -2003-)



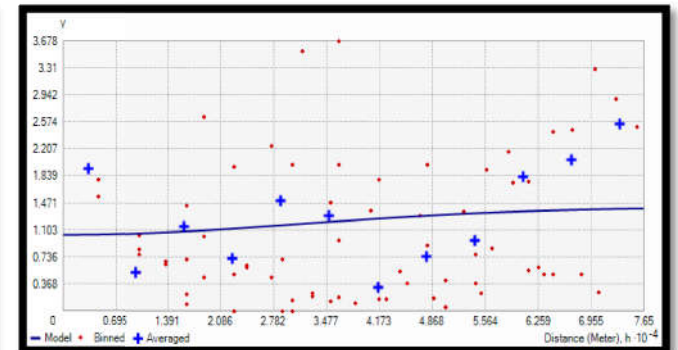
Annexe -33- :variogramme de Na^{+} (période hautes eaux -2003-)



Annexe -34- : variogramme de K^{+} (période hautes eaux -2003-)

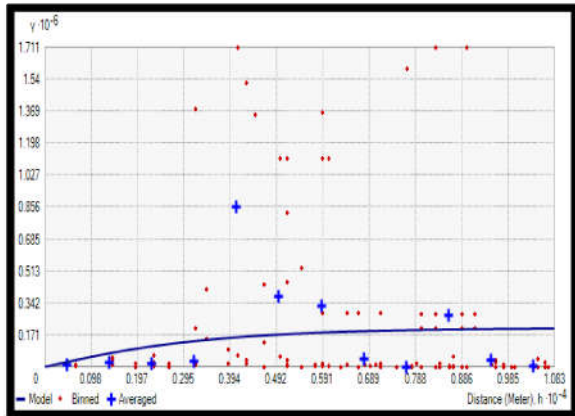


Annexe-35- :variogramme de SO_4^{-} ((période hautes eaux -2003-)

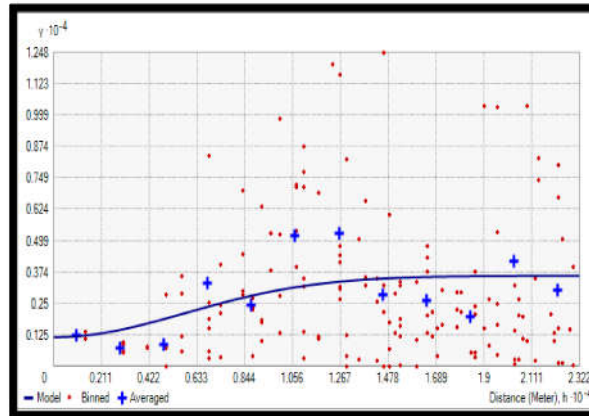


Annexe -36- :variogramme de HCO_3^{-} (période hautes eaux -2003-)

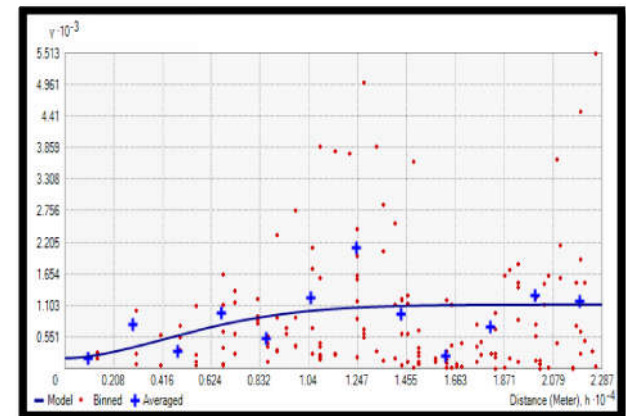
ANNEXES



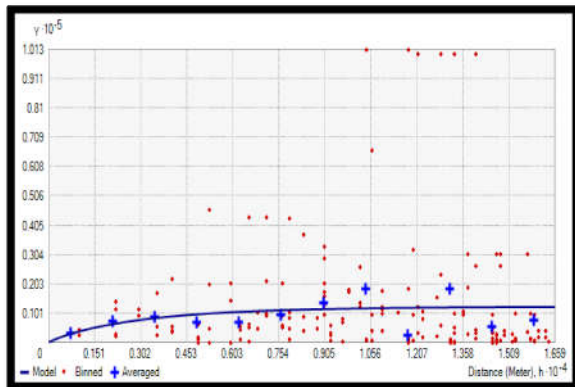
Annexe-37- : variogramme de Cl⁻ (période hautes eaux -2004-)



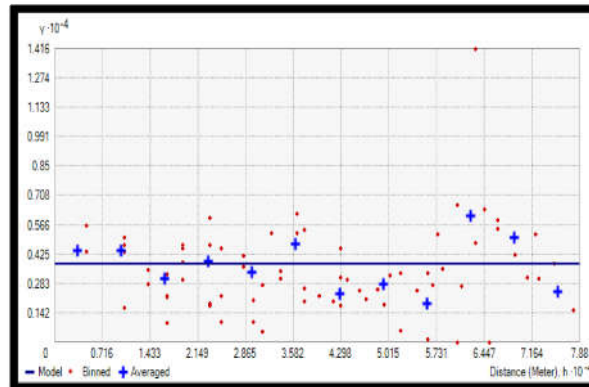
Annexe-38- :variogramme de Ca²⁺ ((période hautes eaux -2004-)



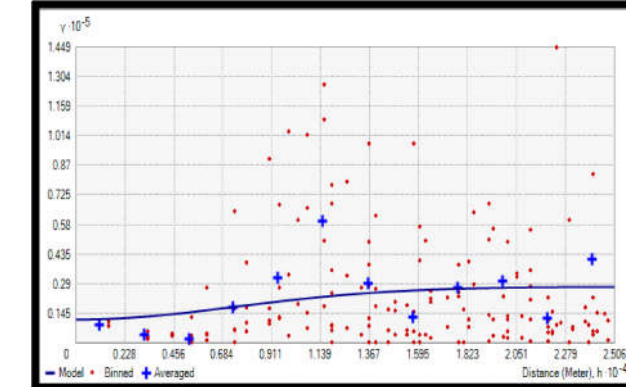
Annexe-39- :variogramme de Na⁺(période hautes eaux - 2004)



Annexe -40- : variogramme de SO₄⁻ (période hautes eaux -2004-)

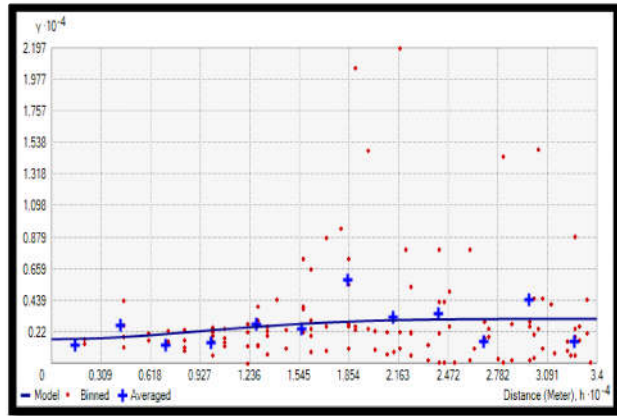


Annexe-41- :variogramme de HCO₃⁻ ((période hautes eaux -2004-)

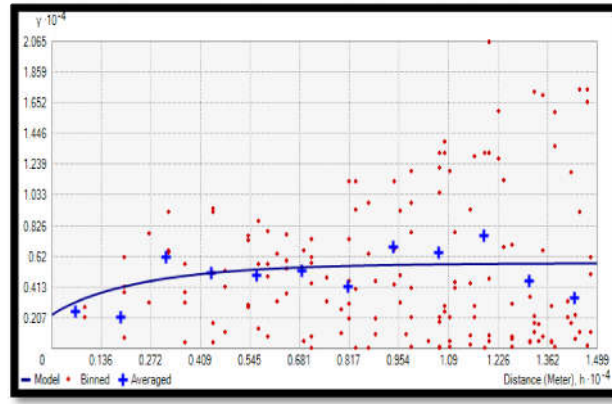


Annexe -42- :variogramme de Cl⁻(période hautes eaux - 2004)

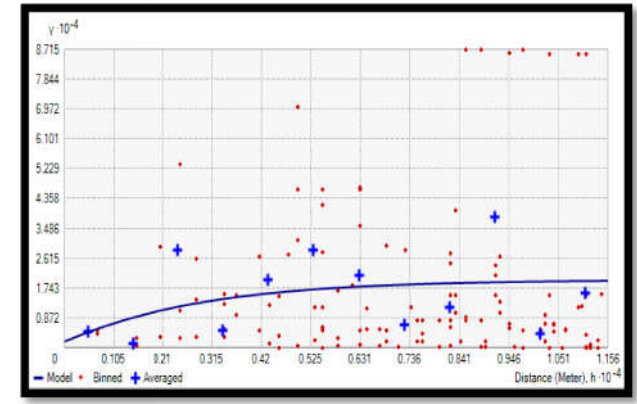
ANNEXES



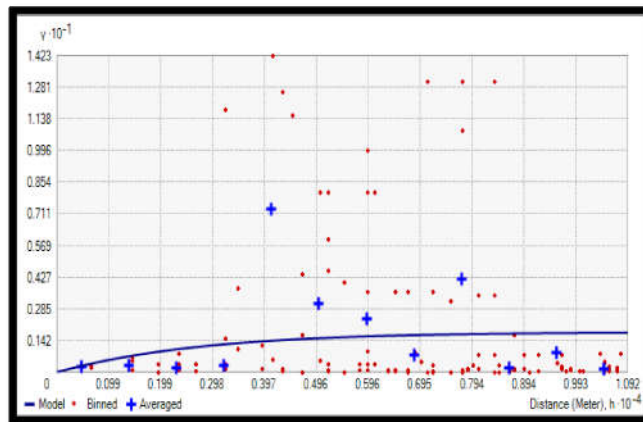
Annexe -43- : variogramme de SO_4^{2-} (période hautes eaux -2005-)



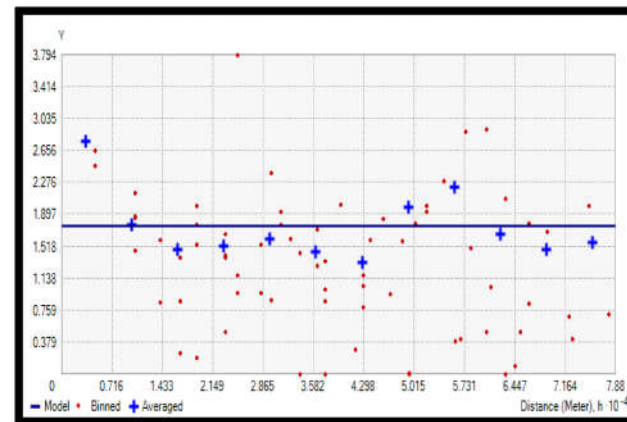
Annexe-44- :variogramme de Na^+ ((période hautes eaux -2005-)



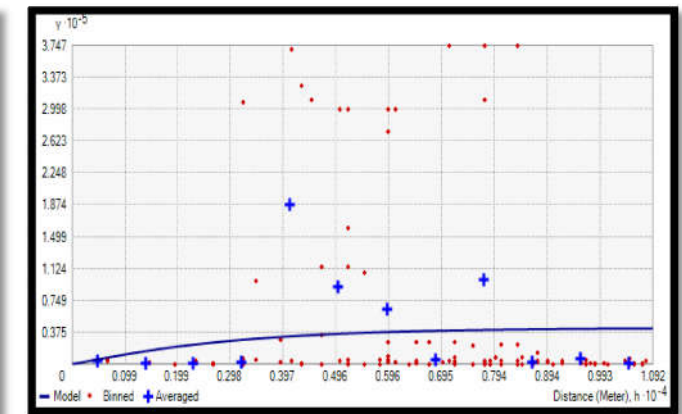
Annexe -45- :variogramme de Cl^- (période hautes eaux -2005-)



Annexe -46- : variogramme de HCO_3^- (période hautes eaux -2005-)

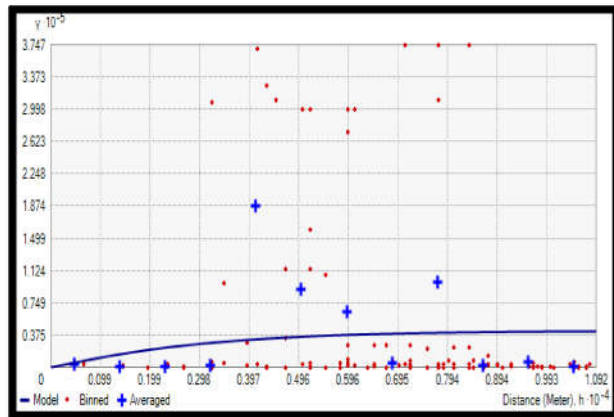


Annexe-47- :variogramme de Na^+ (période basses eaux -2005-)

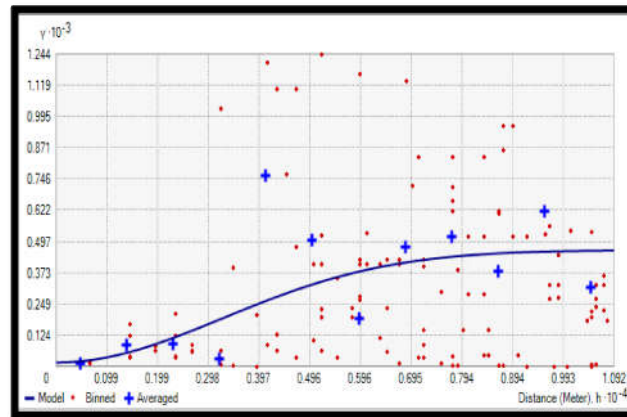


Annexe -48- :variogramme de K^+ (période basses eaux -2005)

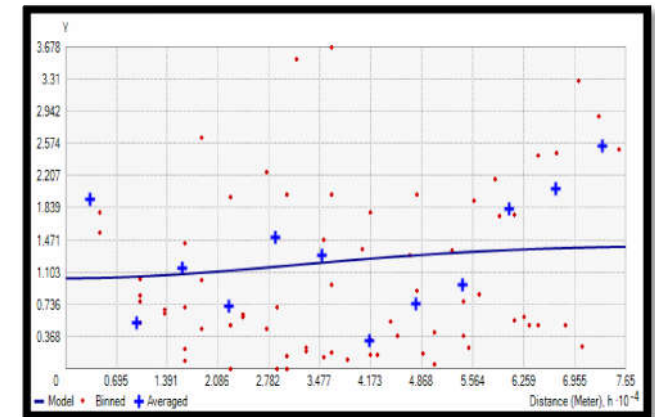
ANNEXES



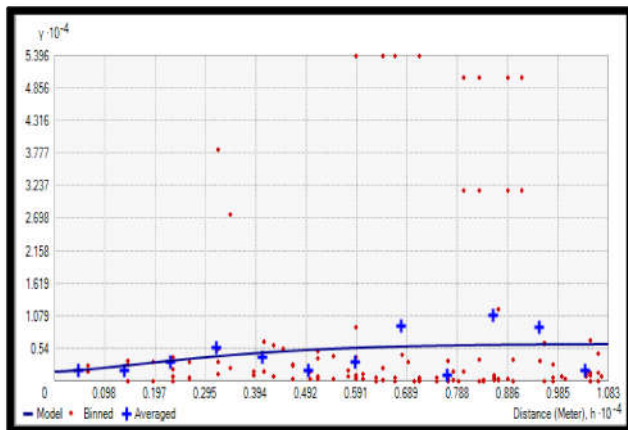
Annexe -49- : variogramme de SO_4^{2-} (période basses eaux -2005-)



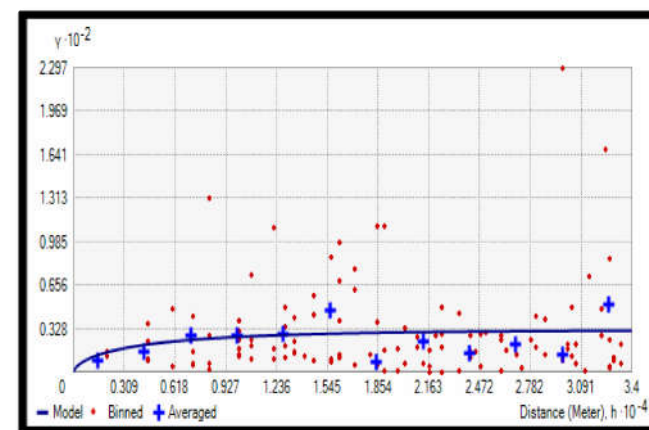
Annexe-50- :variogramme de Cl^- (période basses eaux -2005-)



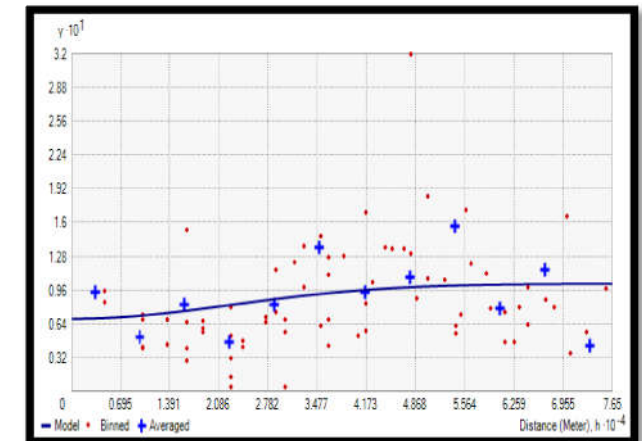
Annexe -51- :variogramme de SO_4^{2-} (période hautes eaux - 2006)



Annexe -52- : variogramme de HCO_3^- (période hautes eaux -2006-)



Annexe-53- :variogramme de K^+ (période basses eaux -2006-)



Annexe -54- :variogramme de HCO_3^- (période basses eaux - 2006-)