

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

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

**ECOLE NATIONALE SUPERIEUR D'HYDRAULIQUE
ARBAOUI ABDALLAH**

DEPARTEMENT GENIE DE L'EAU

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

**EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
D'INGENIEUR D'ETAT EN HYDRAULIQUE**

Options : Conception des Systèmes d'Irrigation et de Drainage

THEME:

**CONTRIBUTION A L'ETUDE DE L'EVOLUTION DU
NIVEAU DES NITRATES DANS LES EAUX
SOUTERRAINES DE LA NAPPE DE LA MITIDJA OUEST**

Présenté par :

M^r KHOUMS Hicham

Promotrice :

M^{me} W.AZIEZ

Devant le jury composé de :

Président: M^r T.KHETTAL

Examineurs:

M^{me} S.LEULMI

M^{me} L. BAHBOUH

M^r M.DJELLAB

M^{lle} D.HADJ BACHIR

Octobre 2010

Dédicace

Je tien tout d'abord à dédier ce modeste travail à mes très chers parent M_r MADANI et M_{eme} NOURA pour leurs sacrifices et leurs soutiens moral et matériels dont ils ont fait preuve pour que je réussisse tous le long de ma vie et mes études.

Je le dédie également à

Mes trois frères HOUSSEM, BADROU, et SIF qui sont toujours là pour me soutenir.

A tous ma grand famille mes tontes, mes oncles et spécialement ma grand mère M_{me} MASSOUDA.

A tous mes amis d'hier et d'aujourd'hui avec qui j'ai passé les plus beaux moments de ma vie, et spécialement Taki, Farid, et Bilalet surtout Mohamed et Abdou et tous le groupe de ma petite ville, Samir Amico, Zinho, Khaled, El Otri, Youcef, Nacir et le groupe de l'ENSH.

*hachimi
octobre 2010*

Remerciements

Louange à Dieu, le miséricordieux, sans Lui rien de tout cela n'aurait pu être.

Je remercie le bon Dieu qui ma orientés au chemin du savoir et ma ouvert les portes de la science.

Je tiens aussi à exprimer mes vifs remerciements à ma promotrice M_{me} AZIEZ. W pour son orientation, ses conseils judicieux, ses riches enseignements et sa constante disponibilité dans le but que je réalise à bien ce projet de fin d'étude.

Je ne saurais oublier M_{me} Bahbouh, dont les conseils précieux m'ont éclairée. Quelle trouve ici l'expression de ma reconnaissance.

Mes remerciements s'adressent également à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation, sans oublier tout le personnel de l'ENSH.

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou loin à l'élaboration de ce travail.

Mon respect aux membres de jury qui me feront l'honneur d'évaluer mon travail

KHOUMS HICHAM

ملخص

تعتبر المياه الجوفية في الجزائر المورد الأساسي لسد الاحتياجات المائية غير أن التعمير السريع وارتفاع النشاطات الصناعية و الفلاحية في السنوات الأخيرة سبب تلوثاً و تدهوراً نوعياً في هذه الموارد المحدودة و قد تفاقمت هذه الحالة بسبب الجفاف المستمر.

لهذا لقد شرعنا في رسم خرائط تحدد مناطق التلوث للمياه الجوفية لسهل متيجة الغربية باستعمال نظام المعلوماتية الجغرافية لمعرفة أكثر لمشكلة التلوث كما قمنا بملاحظة تأثير مياه الأمطار ومستوى المياه الجوفية في تطور تركيز النترات.

Résumé

En Algérie ; les eaux souterraines sont la principale source de satisfaction de la demande en eau. Depuis des années, l'urbanisation rapide ainsi que l'augmentation des activités industrielles et les pratiques agricoles intensives ont entraîné une détérioration de la qualité de cette ressource ; déjà en quantité limitée. Cette situation s'est aggravée par une sécheresse persistante.

Par conséquent, Nous nous sommes engagés à ce sujet dans la cartographie des zones de pollution des eaux souterraines pour une utilisation facile du système Mitidja Ouest géo-informatique pour en savoir plus sur le problème de la pollution, comme nous le constatons l'impact des précipitations et le niveau des eaux souterraines dans l'évolution de la concentration en nitrates.

Summary

Groundwater is the main supplier of Algeria to meet the water needs, since many years, the rapid reconstruction and increased industrial and agricultural activities have led to , the cause of the contamination and degradation of these qualitative limited resources and have exacerbated this situation because of persistent drought.

We are committed to this subject in the mapping of polluted groundwater for easy use of the system of Mitidja West Geoinformatics to learn more about the pollution problem, as we see the impact of precipitation and the groundwater level in the evolution of nitrate

concentration.

Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre I : Pollution des nappes	
I.1 Introduction :.....	2
I.2 Pollution des sols et des nappes :.....	2
I.2.1 Différentes formes de la pollution :.....	3
I.2.1.1 Classification suivant la dispersion des polluants :.....	3
I.2.1.2 Classification en fonction de la nature et du nombre des polluants :.....	4
I.2.2 Diagnostic environnemental.....	4
I.2.2.1 Définition :	4
I.2.2.2 Objectifs :	5
I.2.3 Evaluation des dangers :.....	5
I.3 Caractéristiques des polluants.....	5
I.3.1 Solubilité aqueuse :.....	5
I.3.2 Tension de vapeur :.....	6
I.3.3 Adsorption :.....	7
I.3.4 Biodégradabilité :.....	8
I.4 Principaux types de polluants chimiques.....	8
I.4.1 Les micropolluants métalliques :.....	8
I.4.2 Les nitrates et autres composés azotés :.....	9
I.4.2.1 Différentes formes de l'azote :	9
I.4.2.2 Cycle de l'azote :.....	9
I.4.2.3 Présentation des processus intervenant dans le cycle des nitrates :	11
I.4.2.4 Pollution par les nitrates :	15
I.4.2.5 Causes de la pollution :.....	16

I.4.2.6 Eau et nitrates :.....	17
I.4.3 L'autre substance minérales :.....	19
I.4.4 Les détergents (tensioactifs) :.....	19
I.4.5 Les pesticides :.....	20
I.4.6 Les hydrocarbures :.....	20
I.4.7 Les solvants chlores :.....	20
I.4.8 La matière organique diffuse :.....	20
I.4.9 Les pollutions microbiologiques :.....	21
I.5 Principe du transfert de la pollution :.....	21
I.5.1 Transfert dans le sol :.....	22
I.5.2 Transfert dans la zone non saturée :.....	23
I.5.3 Evolution en milieu sature :.....	23
I.6 Vulnérabilité de zone non saturée :.....	25
I.6.1 Les alluvions :.....	25
I.6.2 Les terrains à perméabilité d'interstice :.....	25
I.6.3 Les terrains composés de couches perméables et moins perméable :.....	26
I.7 Conclusion :.....	26

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

II.1 Introduction :.....	27
II.2 Caractéristique de la plaine de Mitidja ouest :.....	27
II.3 Situation géographique :.....	29
II.4 Caractéristique climatique :.....	30
➤ Pluviométrie :.....	30
➤ Températures :	31
➤ Vent :.....	32
II.5 Classification du climat.....	33

II.5.1 Selon de Martonne :.....	33
II.5.2 Selon l'indice d'Emberger :.....	34
II.6 Etude agro-socio-économique.....	36
II.6.1 Par rapport à la surface :.....	36
II.6.2 Par rapport à l'agglomération :.....	39
II.6.3 Par rapport à l'industrie :.....	39
II.7 CONCLUSION :.....	39

Chapitre III : Etude hydrogéologique

III.1 Introduction :	40
III.2 Hydrogéologie :.....	41
a)Astien :	41
b) le réservoir quaternaire :	41
III.3 Ressource en eau	42
III.3.1 Eaux superficielles:	42
III.3.2 Eau souterraine :.....	44
III.4 Définition hydrogéologiques :.....	46
III.4.1 Le bassin hydrogéologique :	46
III.4.2 Un aquifère :.....	46
III.4.3 Une nappe :	46
III.4.4 Types de nappes	46
III.5 Alimentation et stockage de l'eau	50
III.5.1 Alimentation d'une nappe :	50
III.6 Ressources en eau souterraine :.....	51
III.7 Propriétés des eaux souterraines.....	51
III.8 Contamination des eaux souterraines :.....	53

III.9 Conclusion :.....	54
-------------------------	----

Chapitre IV : Etude hydrochimique

IV.1 Introduction :.....	55
IV.2 Paramètres physico-chimiques.....	55
IV.2.1 Paramètres physiques.....	55
Potentiel d'hydrogène PH :.....	55
Conductivité électrique :.....	55
IV.2.2 Les éléments chimiques.....	56
• Les Cations :	56
• Les Anions :	58
IV.3 Conclusion.....	65

Liste des tableaux

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

Tableau II.1 : Pluies de l'année 2008 (station d'Ahmer El Ain).....	31
Tableau II.2 : Températures de l'année 2009	31
Tableau II.3: vitesse moyenne mensuelle des vents de l'année 2009	32
Tableau II.4 : Limite des climats d'après l'indice climatique de Martonne	33
Tableau II.5 : Intervalles de classification du climat d'après Emberger	35

Chapitre III : Etude hydrogéologique

Tableau III.1 : comparaison entre les caractéristiques d'eau de surface et celle de l'eau souterraine	51
---	----

Chapitre IV : Etude hydrochimique

Tableau IV.1: Evolution des teneurs en (NO ₃) et de la piézométrie et de la précipitation annuelle de 2004-2009 pour le point d'eau W062-332.....	66
Tableau IV.2 : Evolution des teneurs en NO ₃ et de la piézométrie et de la précipitation annuelle de 2004-2009 pour le point d'eau W062-251:	69
Tableau IV.3 : Evolution de teneur en NO ₃ et de la piézométrie et de la précipitation annuelle de 2004-2009 pour le point d'eau W062-335:	72

Liste des figures :

Chapitre I : Pollution des nappes

- Figure I.2 : Schéma du cycle écologique de l'azote (source Laval-Mazliak, 1995). ... 11
- Figure I.3 : pollution par un produit plus léger que l'eau et qui atteint la nappe.....24
- Figure I.4 : pollution par un produit soluble n'atteignant pas la nappe25

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

- Figure II.1 : Localisation géographique de la plaine de la Mitidja.28
- Figure II.2 : Localisation du Périmètre Mitidja Ouest29
- Figure II.3 : Précipitations annuelles de la Mitidja-ouest (1967/2007).....30
- Figure II.4 : Graphe de l'évolution des températures.....32
- Figure II.5 : Diagramme ombrothermique de Gaussen pour la Mitidja-ouest (moyennes mensuelles des vingt dernières années).....36
- Figure II.6 : Répartition des exploitations agricole selon leurs superficies.37
- Figure II.7 : Répartition des cultures, dans la commune d'Ahmer el Ain.38

Chapitre III : Etude hydrogéologique

- Figure III.1 : carte géologique de la plaine de la Mitidja48
- Figure III.2 : Coupe interprétative de la Mitidja dans le bassin du Mazafran.....49

Chapitre IV : Etude hydrochimique

- Figure IV.1 : carte d'iso-teneuren chlorure des eaux la nappe ouest de la Mitidja
(campagne des hautes eaux 2009) 61
- Figure IV.2 : carte d'iso-teneur en chlorure des eaux la nappe ouest de la Mitidja
(campagne des basses eaux 2009) 62
- Figure IV.3 : carte d'iso-teneur en nitrate des eaux la nappe ouest de la Mitidja
(campagne des hautes eaux 2009) 63
- Figure IV.4 : carte d'iso-teneur en nitrate des eaux la nappe ouest de la Mitidja
(campagne des basses eaux 2009) 64
- Figure IV.5 : Evolution des teneures en NO₃ et de la précipitation annuelle de 2004-
2009 pour le point d'eau W062-332.....67
- Figure IV.6 : Evolution des teneures en NO₃ et de la piézométrie de 2004-2009 pour le
point d'eau W062-33268

Figure IV.7 : Evolution des teneures en NO3 et de la précipitation annuelle de 2004-2009 pour le point d'eau W062-251	70
Figure IV.8 : Evolution des teneures en NO3 et de la piézométrie de 2004-2009 pour le point d'eau W062-251	71
Figure IV.9 : Evolution de teneur en NO3 et de la précipitation annuelle de 2004-2009 pour le point d'eau W062-335	73
Figure IV.10 : Evolution de teneur en NO3 et de la piézométrie de 2004-2009 pour le point d'eau W062-335	74

Introduction générale :

L'eau est un facteur de production primordial mais ce n'est pas une ressource abondante et les différents utilisateurs sont vite en concurrence ainsi l'aménagement en culture irriguée pose souvent des problèmes d'arbitrage entre plusieurs utilisations possibles de l'eau; Cela implique le plus souvent la recherche de l'optimisation des consommations et la réduction des gaspillages.

L'Algérie comme les pays méditerranéens est confrontée de plus en plus au problème du manque d'eau. D'après la Banque Mondiale, l'Algérie se classe parmi les pays les plus pauvres en potentialités hydriques, soit en dessous du seuil théorique de rareté qu'elle a fixé à 1000 m³ par habitant et par an.

Les wilaya de Tipaza et Blida présentent des potentialités agricoles importantes, dont fait partie les périmètres irrigués de la Mitidja Ouest qui fait l'objet de notre étude.

Malheureusement cette zone souffre d'une pénurie d'eau surtout à cause des faibles précipitations, et de l'exploitation non rationnelle des ressources disponibles.

La nappe aquifère de la Mitidja se considère comme l'un des réservoirs souterrains les plus riches en Algérie, mais sur-exploitation pour des fins domestique et agricoles le rend très vulnérable à la pollution des eaux non conventionnelles pour l'agriculture irriguée.

De plus l'utilisation intensive des amendements chimiques et organiques peut sans doute être à l'origine de certaines pollutions des eaux souterraines.

Notre sujet d'être s'introduit dans cette problématique,

Introduction :

Dans les pays développés qui donnent une certaine importance à la protection de leur environnement car ils savent s'ils négligent ça il y aura péril dans la demeure et les répercussions négatives de ce problème peuvent provoquer des situations alarmantes, c'est pour cela que les responsables font des mains et des pieds pour :

Assurer aux humains un environnement propice à leur santé et leur existence ;

Protéger le sol, l'air et la végétation contre les effets néfastes de l'activité humaine ;

Réparer les dommages causés par l'activité humains.

Un des problèmes majeurs que fait face notre planète est la rareté de l'eau et surtout la mauvaise répartition de cette denrée sur notre planète. L'eau est le constituant terrestre le plus important et le moins disponible : elle a permis l'apparition de la vie et lui est indispensable ; c'est pourquoi normalement les hommes devraient la protéger et le respecter. Malheureusement, il en est tout autrement car les hommes de tous les pays ont été négligeant et imprévoyants.

Soit dans les pays industrialisés ou en voie de développement, l'eau est principalement polluée par les rejets d'usines, les engrais de l'agriculture intensive et par la pollution domestique. Et ce ne sont pas les origines de la pollution qui manquent !

I.2 Pollution des sols et des nappes :

La pollution est une modification défavorable du milieu naturel qui apparaît sous l'action humaine, au travers d'effets directs ou indirects altérant le milieu naturel et l'abondance des espèces vivantes. Ces modifications peuvent affecter l'homme directement ou au travers des ressources agricoles, en eau et autres produits biologiques.

Un site contaminé est en espace où se sont exercées ou s'exercent des activités de production, de transformation, de transport ...

Et qui du fait de négligence, de défaut de conception ou d'un manque de connaissance conduit à l'apparition de dommages et risque immédiats ou différés pour le milieu naturel et environnement.

L'un des constitutions le plus important de la terre qui subit le plus l'effet néfaste de la pollution est l'eau malgré les campagnes de sensibilisation de la part des organisations mondiales qui veulent faire éviter aux humains un véritable hécatombe qui se répercutera directement sur leur vie, ces tentatives n'ont pas trouvées d'échos malgré la prise de conscience qui doit se faire rapidement car on se dirige directement vers une catastrophe naturelle et ce n'est qu'à cet instant qu'on constatera les dégâts et ce sera malheureusement trop tard.

Ainsi, comme l'homme cherche toujours le moyen le plus facile pour s'acquérir d'un bien même s'il sait que en agissant de la sorte qu'il ne fait que s'auto détruire et au lieu de protéger ce bien qui est l'eau, l'homme à découvert une nouvelle vocation ou il excelle qui est celle de pollueur en cherchant que ces propres intérêts. Pour lutter contre ce phénomène les pays qui savent prévoir et pensent a ce qui les attend s'ils ne réagissent pas rapidement a ce problème ont développée le concept du pollueur-payeur.

I.2.1 Différentes formes de la pollution :

Pour bien comprendre le phénomène de pollution et tirer les conclusions, il faut d'abord élaborer une typologie des contaminés et cela en classant les sites pollués suivantes différents caractéristiques [5] :

I.2.1.1 Classification suivant la dispersion des polluants :

On distingue deux cas de figures

Les pollutions diffuses :

Elle résulte de l'activité sur le site, cette pollution ne répand en petites quantités mais de façon régulière, le plus souvent c'est des pollutions chroniques pour qui les effets peuvent apparaitre après un certain laps de temps.

Elles proviennent d'épandages de produits solides ou liquides à la surface du sol sur des superficies importantes : par exemple engrais, herbicides, pesticides...

Les pollutions accidentelles :

C'est une pollution brutale qui correspond à un rejet d'une grande quantité de polluant en un temps record.

Cette pollution peut être ponctuelle en un endroit bien précis et délimité dans l'espace, elle a le plus souvent pour origine des fuites sur des conduites ou des cuves.

I.2.1.2 Classification en fonction de la nature et du nombre des polluants :

On ne peut pas dissocier le nombre et la nature des polluants lors de sa classification car ils sont complémentaires et nous permettent de bien définir la nature du polluant en se basant sur les activités sur lesquelles on a découvert la pollution.

Pour ne rien laisser au hasard cette classification doit être complétée par :

Une classification selon que la pollution soit : organique, minérale, radioactive ou mixte ;

Une pollution mono ou poly-produite, mono pour la contamination du sous sol puis d'une nappe par un dépôt ou une infiltration et poly sur un site d'industrie chimique.

I.2.2 Diagnostic environnemental

I.2.2.1 Définition :

C'est la première démarche d'étude pollution-dépollution d'un site pollué afin de caractériser l'état environnemental d'un site, à un moment de son histoire et d'évaluer la qualité du milieu naturel que ce soit pour le sol, ou la nappe phréatique.[6]

Pour bien analyser le phénomène il faudrait suivre les étapes :

Identifier les polluants et les caractériser ;

Déterminer la source et la cause de la pollution ;

Caractériser les conditions physico-chimique et hydrogéologique du site afin de déterminer sa vulnérabilité.

I.2.2.2 Objectifs :

Choix de la méthode de décontamination ;

Juger de l'efficacité de ce moyen de réhabilitation ;

Elaborer un système de protection, de suivi et de contrôle des travaux.

I.2.3 Evaluation des dangers :

Afin d'évaluer les dangers potentiels d'une pollution on doit identifier trois importants facteurs qui sont [5]:

La source :

Nature des produits ;

Quantité exprimée en volume en tonnage ;

Caractéristiques physiques et chimiques du produit (densité, solubilité, dégradation...);

Ecotoxicité, toxicité pour l'homme.

Les vecteurs :

C'est-à-dire le milieu par lequel le polluant transite (infiltration dans le sol, propagation dans les eaux de surface, infiltration dans les eaux souterraines).

La cible de pollution :

C'est-à-dire les récepteurs de ce polluant, milieu physique ou biologique avec des effets immédiats et différés.

I.3 Caractéristiques des polluants

I.3.1 Solubilité aqueuse :

La solubilité est la quantité maximale dissoute d'un composé dans l'eau à une température donnée. Elle est influencée outre la température, par la pression, la fraction molaire de chaque composé dans le mélange de polluants et de la teneur en matières Organiques dissoutes. Les composés très solubles sont facilement transportés par l'eau (exemple des nitrates), car ils suivent son écoulement. Ils sont souvent peu adsorbés sur les sols, et plus facilement biodégradables. Cependant, certaines espèces solubles, de métaux par exemple, ne sont pas biodégradables.[6]

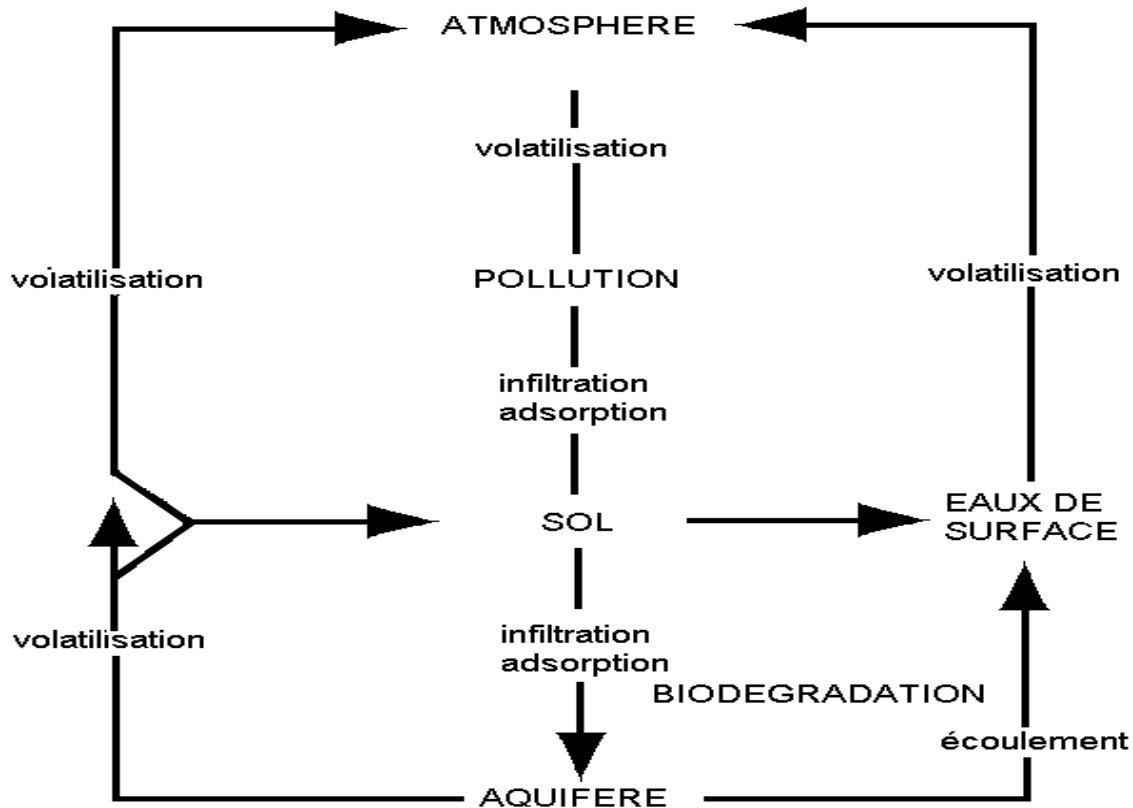


Figure I.1 : Comportement du polluant dans son environnement [6]

I.3.2 Tension de vapeur :

Ce paramètre sert à estimer la tendance d'un produit à se volatiliser et donc à passer dans l'atmosphère gazeuse à partir de la phase aqueuse du sol.

Les interactions entre la solubilité en milieu aqueux et la tension de vapeur conditionnent la volatilisation d'un produit donné à partir de la solution aqueuse. Par Exemple, un polluant très soluble dans l'eau mais présentant une tension de vapeur élevée se volatilise rapidement. De ce fait, il atteindra rarement l'aquifère lors de la pollution. Plus un produit sera volatil, moins grande sera son affinité pour le sol. Il sera éliminé dans l'atmosphère avant d'être bio dégradé.

Plus un produit sera volatil, moins grande sera son affinité pour le sol. Il sera éliminé dans l'atmosphère avant d'être biodégradé.

La loi de Henry décrit les équilibres phase liquide phase gazeuse.

$$H = \frac{C_g}{C_l} \quad (\text{II.1})$$

H = constante de Henry

C_g = concentration en phase gazeuse du constituant

C_l = concentration en phase liquide du constituant

I.3.3 Adsorption :

Ce paramètre représente le potentiel d'un composé à s'adsorber sur le sol, résultant des actions physico-chimique eau/roche. L'adsorption va de pair avec la surface spécifique des grains ou des fissures. Elle va se traduire par une diminution de la mobilité et de l'accessibilité du polluant.

La surface spécifique d'un milieu poreux ou fissuré est le rapport de la surface totale des grains ou des parois des fissures, rapporte a l'unité de masse (surface massique) ou à l'unité de volume (surface volumique) de l'échantillon .Elle s'exprime en cm²/cm³.La surface spécifique augmente lorsque le diamètre des grains ou la densité des fissures diminue.

L'adsorption dépend de la charge électrique des polluant .Les polluants charges électriquement ont tendance à se lier aux particules d'argile et autres minéraux, alors que ceux non chargés s'associeront préférentiellement à la matière organique .Les polluants peuvent être adsorbés par des interactions ioniques, polaires, hydrophobes ou hydrophiles.

Le coefficient de partition (K_{ow}) est le coefficient de partage d'un produit entre la phase organique (l'octanol) et la phase aqueuse. Les composés à K_{ow} élevé seront adsorbés en grande quantité dans le sol. Ils ne sont pas entraînés avec l'eau en profondeur. Ces propriétés physicochimiques donnent des indications sur la répartition probable du polluant dans l'eau et dans le sol.

L'adsorption dépend aussi des Caractères géologique du sol tels que la porosité, la perméabilité, la fraction de matière organiqueetc.

$$K_{ow}=C_0/C_w \quad (II.2)$$

C_0 =concentration du soluté dans l'octanol.

C_w =concentration du soluté dans l'eau.

I.3.4 Biodégradabilité :

La biodégradation des composés organiques se produit en condition aérobie ou anaérobie selon la structure moléculaire et les conditions environnementales. Le potentiel de biodégradation permet de classer les composés en trois catégories :

les composés dégradables

les composés persistants : ne changent pas d'état spontanément

les composés récalcitrants.

La position des substituant joue un rôle important : les positions méta- et ortho-confèrent une plus grande stabilité aux molécules aromatiques. Il en est de même pour les substitutions des carbones en alpha par rapport à celle en oméga. En général, plus une molécule est substituée (remplacement d'un groupe fonctionnel par un autre), plus elle est résistante à la biodégradation. Certaines biodégradations nécessitent l'action conjointe de microorganismes et non pas d'une souche unique [8].

I.4 Principaux types de polluants chimiques

I.4.1 Les micropolluants métalliques :

La pollution due à la présence de métaux dans les eaux souterraines est engendrées généralement par les activités industrielles, par rejets d'effluents et par lessivage de produits stockés sur un sol. Certains de ces métaux peuvent être toxiques (cadmium, chrome, mercure, plomb...).

D'autres éléments sont considérés comme indésirables et peuvent présenter des inconvénients au consommateur d'ordre organoleptique : saveur, coloration. C'est le cas pour le cuivre, le fer le manganèse, l'aluminium [8].

I.4.2 Les nitrates et autre composés azotes :

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

Les nitrates sont des sels très solubles qui sont facilement entraînés en profondeur par les eaux d'infiltration. Leur origine est principalement agricole, la pollution engendrée est diffuse.

I.4.2.1 Différents formes de l'azote :

L'azote existe sous trois formes principales:

Gazeuse, il constitue 71% de l'atmosphère;

Minérale, il peut être en liaison avec l'hydrogène pour former l'ammoniac, ou avec l'oxygène et donner les nitrites et nitrates (il s'agit respectivement d'azote ammoniacal, nitreux ou nitrique);

Organique, il entre dans la constitution des protéines présentes dans tous les tissus vivants.

L'azote est surtout employé à la synthèse des produits de base (ammoniac, acide nitrique, etc.) dans l'industrie d'engrais, des explosifs et des colorants.

I.4.2.2 Cycle de l'azote :

Les apports azotes dans le sol sont principalement issus de l'épandage d'engrais minéraux.

La fertilisation par les engrais minéraux est fonction du type de culture, du rendement souhaité et, dans une moindre mesure, de la localisation géographique.

L'utilisation de ces engrais peut également être fractionnée pour suivre le plus efficacement la croissance des plantes et ainsi optimiser les rendements, Cette pratique a l'avantage de minimiser les pertes en azote minéral par immobilisation ou par lessivage, Trois tonnes d'engrais sont utilisées: l'azote nitrique, l'azote ammoniacal et l'urée.

L'urée est très rapidement transformée en ammoniacale, L'azote ammoniacal en revanche doit être au préalable transformé en azote nitrique pour être absorbé par les plantes, L'azote nitrique a une action moins brutale et est progressivement absorbé par

les plantes, Nous comprenons donc ici que l'utilisation massive d'Engis ne sera pas forcément source de rendement élevé, En effet, une quantité trop importante d'engrais nitrique par exemple provoquera inmanquablement des pertes car les plantes n'auront pas le Pouvoir de tout absorber rapidement.

L'azote que l'on trouve dans le sol peut être sous deux formes différentes: azote inorganique (azote ammoniacal, nitreux et nitrique) et azotes organique (azote organique labile et azote organique stable),

Ce qui concerne ces deux formes d'azote organique, il est établi que l'azote labile est rapidement très vulnérable à l'activité enzymatique et que les matières organiques stables peuvent persister très longtemps dans le sol.

Nous donne une représentation du cycle de l'azote, sur lequel nous pouvons voir que les phases principales sont la minéralisation (transformation de l'azote organique en azote ammoniacal par ammonisation et nitrification), la transformation de l'azote minéral en azote organique (immobilisation) et la dénitrification, La plupart des transformations de l'azote dans le sol sont dues aux micro-organismes présents dans le sol. Les processus de minéralisation et d'immobilisation sont fortement influencés par les conditions environnementales (Stanford et al. 1973), La température et l'humidité du sol seront en l'occurrence les principaux facteurs influant sur les cinétiques de transformations,

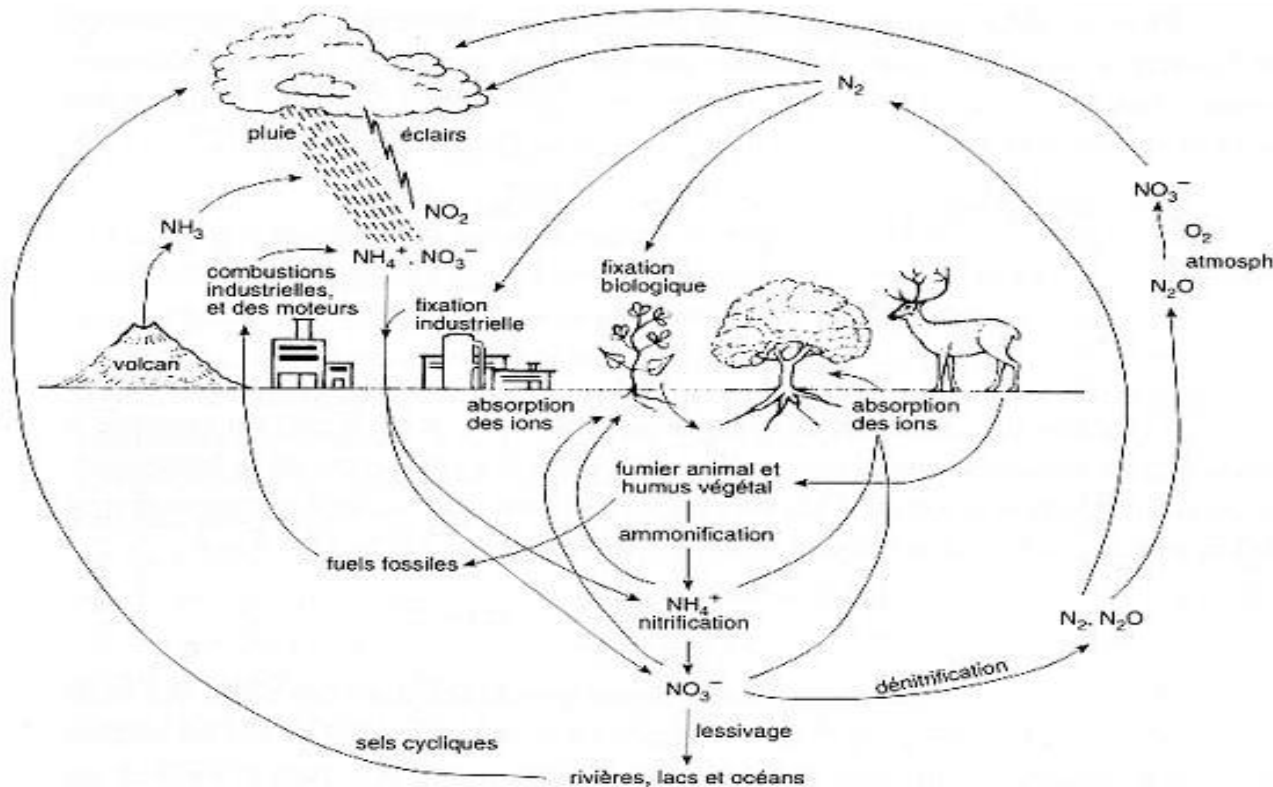


Figure I.2 : Schéma du cycle écologique de l'azote (source Laval-Mazliak, 1995).

I.4.2.3 Présentation des processus intervenant dans le cycle des nitrates :

Nous présentons ici les principaux processus du cycle de l'azote.

I.4.2.3.1 La minéralisation :

Une partie de l'énergie nécessaire aux diverses transformations et dégradations survenant dans le sol provient du phénomène de minéralisation.

En effet, lors de ce processus, les composés carbonés sont dégradés puis utilisés en tant que source d'énergie. Nous distinguons deux processus dans ce que nous notons génériquement la minéralisation: l'ammonification et la nitrification.

L'activité microbienne anaérobie (fréquente en milieu neutre ou alcalin) et la présence de moisissures sont les principaux facteurs de l'ammonification. La nitrification correspond à la transformation d'azote ammoniacal en azote nitrique.

L'ammoniaque est rapidement transformée en acide nitrique puis, par combinaison avec les bases du sol, notamment la chaux, produit des nitrates NO_3^- .

Nous voyons bien alors que les nitrites sont en fait un stade intermédiaire et sont rapidement oxydés en nitrates.

La nitrification n'est pas un processus très rapide (une à plusieurs semaines sont nécessaires). Cette réaction est fortement influencée par les conditions environnementales et notamment par l'acidité et la température.

Le rendement de la minéralisation des résidus végétaux dépend du rapport Carbone-Azote qui est caractéristique de la qualité des matériaux présents dans le sol. Lorsque ce rapport est élevé (>30) l'azote reste dans les micro-organismes qui dégradent le sol, alors que pour un rapport plus faible (<25), la libération de l'azote se produit plus rapidement. L'équilibre entre minéralisation et réorganisation se situe pour une valeur C/N de l'ordre de 25 (Muller et Mary, 1981).

L'hydrolyse de l'urée, l'application d'engrais contenant de l'ammonium et la minéralisation des tonnes organiques de l'azote (fumiers, humus ...) sont les principaux vecteurs de la formation de l'ammonium. Ce composé, bien que soluble dans l'eau, est bien retenu dans les sols du fait du pouvoir adsorbant des particules d'argile. Le processus d'adsorption est équilibré et est réversible, ce qui constitue alors une source éventuelle d'ammonium.

En sol limoneux par exemple, Bockman et al. (1990) notent qu'environ 20 Kg N.ha⁻¹ sont présents dans le sol au moment des récoltes céréalières.

I.4.2.3.2 L'immobilisation :

Il s'agit ici d'un phénomène se produisant plus volontiers lors des périodes froides. L'azote minéral est alors transformé par certains microbes présents dans le sol en azote organique. Ceci se fait aux dépens des nitrates du sol.

La présence de ces populations microbiennes sous-entend une dépense énergétique pour leur reproduction. Ceci ne peut donc s'effectuer qu'en présence de substances carbonées. L'immobilisation peut donc se produire en permanence lors de la période de croissance racinaire voire également lorsque les végétaux ont achevé leur croissance.

Tout comme la minéralisation de l'azote, l'immobilisation se produit quasiment exclusivement dans la couche labourée (Rémy et Hébert, 1977).

Ils estiment à 20 le rapport entre les quantités dans les 20 premiers centimètres du sol et dans les couches inférieures du sol.

I.4.2.3.3 La dénitrification :

La dénitrification est la réduction dissimulatrice de l'azote nitrique en azote gazeux (N_2 et N_2O), réalisée après la réduction séquentielle de différentes espèces (Firestone, 1982):

C'est un processus respiratoire qui se produit essentiellement en milieu anaérobie, et qui produit de l'énergie la réduction dissimilaire du nitrate en ammonium n'est pas considérée au sens strict comme de la dénitrification, La dénitrification hétérotrophe est réalisée par des bactéries hétérotrophes, c'est-à-dire dont le carbone cellulaire est d'origine organique, par opposition aux bactéries autotrophes, dont le carbone cellulaire est d'origine minérale.

La dénitrification est très influencée par les conditions du milieu (Firestone, 1982) tels que la température, l'humidité, la teneur en matière organique du sol (Addy *et al.*, 1999), la disponibilité en oxygène (Smith et Tiedje, 1979), la morphologie du sol, le pH (Stanford *et al.*, 1975) ou encore l'activité des micro-organismes (Firestone, 1982) et des plantes, En ce qui concerne l'influence des plantes sur la dénitrification, nous notons qu'elles favorisent ce phénomène grâce à leur production de matériaux carbonés, ce qui contribue à accroître l'activité microbienne, donc la production d'énergie, notamment dans la zone racinaire, mais aussi à créer par elle-même des zones anaérobies à forte teneur en eau, D'un autre côté, les plantes sens strict comme de la dénitrification.

D'un autre côté, les plantes inhibent quelque peu la dénitrification par leur action évidente de séchage des sols (absorption d'eau) et par le fait qu'elles assurent la réduction des nitrates disponibles à l'adsorption d'azote minéral nécessaire à leur croissance.

L'humidité du sol à une forte influence sur le taux de diffusion de l'oxygène dans le sol, aussi, nous comprenons aisément le rôle primordial qu'elle joue sur la dénitrification.

Le taux de délation de l'oxygène est par exemple 1000 fois plus élevé en sol sec qu'en sol saturé en eau.

I.4.2.3.4 L'absorption par les plantes et le lessivage :

Les plantes prélèvent dans le sol des composés azotés (ammonium et nitrates) solubles. Les nitrates constituent la principale source azotée des plantes. L'équilibre entre ces deux formes azotées dépend de la plante en question, mais les nitrates restent toujours la principale source d'azote des plantes. Les besoins en azote sont spécifiques à chaque espèce de plantes et dépendent des conditions environnementales (climat, humidité) et du développement de la plante (Haynes, 1986b).

De ce fait, les différents stades de la croissance de la plante, la densité des plantations ou encore la profondeur des racines auront des rôles très importants sur l'absorption d'azote par les plantes.

L'absorption des formes azotées par les plantes est calculée de manière classique par le modèle de Walts et Hanks (1978). Cette méthode nécessite au préalable l'estimation du potentiel d'absorption journalier.

L'azote qui est relevé dans les profils de sol se trouve sous deux types différents. L'azote des engrais se retrouve presque exclusivement dans la couche de surface, alors que l'azote du sol se situe plus volontiers dans la zone racinaire entière. Nous notons que l'azote du sol, qui provient du cycle de l'azote, et plus principalement de la minéralisation, est disponible pour les plantes tout au long de la période de croissance des plantes, contrairement à l'azote des engrais qui n'agit que sur une période bien spécifique.

Machet *et al.* (1987) notent que 40 à 60% de l'azote absorbé par les plantes provient de l'azote du sol.

L'urée, les nitrates et l'ammonium se déplacent dans le sol sous l'effet des flux d'eau.

L'urée, soluble dans l'eau tant qu'il n'a pas été hydrolysé, et les composés ammoniacaux,

L'urée, soluble dans l'eau tant qu'il n'a pas été hydrolysé, et les composés ammoniacaux, adsorbés sur les particules de sol, représentent de faibles quantités dans

le lessivage des sols, Comme nous l'avons déjà mentionné, la forme azotée la plus mobile dans le sol est constituée par les nitrates, Bélamie *et al.* (1984) note que 95% de l'azote lessivé est constitué par les nitrates, Les déplacements de nitrates dans le sol sont fonctions des flux et donc sont fortement influencés par la morphologie du sol et les puits ou sources éventuels en eau (précipitation, irrigation, évapotranspiration, ..), Les mécanismes de transport des nitrates sont la convection, la dilution et la dispersion mécanique , Dans les régions mobiles du sol (macrospores), l'eau et les nitrates se déplacent autant par convection que par diffusion. Par contre, dans les régions immobiles du sol (micropores), Sardin *et al.* (1997) ont montré qu'alors le transport de l'eau et des nitrates s'effectue principalement par dilution du fait des gradients de concentrations dans le sol. Nous notons, du point de vue du modélisateur, que dans ce cas, un modèle dilusifreprésentera correctement ces phénomènes, Pinheiro (1995) note que le lessivage est très variable d'une année à l'autre, ce que nous comprenons aisément du simple fait de la variation des conditions météorologiques.

I.4.2.4 Pollution par les nitrates :

En Algérie, on a connu une période où la pluviométrie a atteint des seuils minima critiques, plus particulièrement dans la région du Cheliff qui est connue pour être une région où les précipitations sont faibles et irrégulières comparativement aux autres régions du pays (surtout pour la région nord-est). Par manque d'eau, les plantes ont moins poussé que prévu et ont donc absorbé moins de nitrates. Mais, cela, les agriculteurs ne pouvaient pas le savoir quand ils ont épandu leurs engrais. Pour eux, le calcul est simple : il faut tant de kilogrammes d'azote pour faire tant de quintaux de récolte.

En outre, la température a atteint des sommets en automne et en été, ce qui a favorisé l'activité des micro-organismes qui transforment en nitrates l'azote des matières organiques enfouies dans le sol. Comme les malheurs ne viennent jamais seuls et comme nous l'avons déjà souligné la pluviométrie est devenue irrégulière et comme les cultures pratiquées dans la région permettent aux sols de rester nus après la récolte (surtout pour le blé et la pomme de terre les cultures les plus cultivées dans la région) et ce sont ces plantes qui normalement doivent assimiler ces nitrates « naturels » mais comme les sols sont nus et en plus comme ça ne suffisait pas la géologie de la région était favorable aussi

(malheureusement !), le lessivage des nitrates est devenu indétrônable . De ce fait, tous les éléments minéraux solubles, et en premier lieu les nitrates, ont été entraînés vers les nappes et les rivières.

Et pour mesurer l'ampleur de la pollution par les nitrates, pour les fertilisants azotés les agriculteurs parlent de kg d'azote répandu sur le sol mais ce qui vertigineux c'est que pour apporter 1 kg d'azote il faut rependre 4.43kg de nitrates, car les nitrates sont une combinaison d'azote et d'oxygène (NO₃). Les micro-organismes qui minéralisent les matières organiques et les transforment en engrais laissent dans le sol un reliquat d'au moins 20 kg d'azote par hectare, soit 88,6kg de nitrates. Si par exemple il tombe brutalement 300 millimètres de pluie et que le sol n'en absorbe que le tiers, ce sont 200 mm d'eau qui vont ruisseler ou s'infiltrer, soit, pour un hectare, 2 000 m³ ou encore 2 millions de litres, chaque litre drainant 44,3 mg de nitrates (88,6 kg divisés par 2000000). Si le reliquat est de 30 kg d'azote par hectare, la teneur en nitrates de chaque litre d'eau passe à 66,4 mg. Et cela n'est que le minimum car pour les grandes cultures comme celle pratiquées dans la région du haut Cheliff le reliquat d'azote peut atteindre des sommets et vous pouvez imaginer ce qu'on va atteindre comme teneurs en nitrates.

I.4.2.5 Causes de la pollution :

Commençons par la pollution provoquée par les cultures. La présence de nitrates excédentaires dans le sol a essentiellement deux origines :

- Une fertilisation supérieure aux besoins de la culture, ne tenant pas compte des réserves azotées du sol (le reliquat) et souvent apportée au mauvais moment ;
- Le manque de couverture végétale des terres pendant l'hiver.

Certains agriculteurs ne savent pas que toutes les plantes n'ont pas les mêmes besoins en azote. Si les prairies ont besoin de 250 à 300 kg par hectare, la plupart des cultures se contentent facilement de la moitié, et les légumineuses (luzerne, pois, soja, peuvent elles complètement s'en passer puisqu'elles fixent l'azote de l'air par l'intermédiaire de bactéries vivant en symbiose avec leurs racines. C'est le colza qui est le plus gourmand (plus de 200 kg par hectare), suivi par la pomme de terre, le blé, la betterave et le maïs.

Et un autre paramètre important à prendre très au sérieux est le reliquat laissé par les

plantes qui diffère d'une qualité à une autre et qui s'accumule au fil des années.

Ces apports élevés d'azote, s'ils sont absorbés par les cultures, ne présentent aucun danger pour les nappes phréatiques.

En revanche, quelques facteurs sont très dangereux et peuvent causer des problèmes et compromettre les récoltes :

- Des gelées persistantes ;
- Une sécheresse prolongée ;
- Des champignons pathogènes

La nature du sol joue un rôle important dans la pollution par des nitrates, par exemple pour les sols poreux qui gardent moins bien les nitrates, il faut donc augmenter les doses même l'irrigation des sols doit être prise en considération.

Il existe même des sols qui ont un pouvoir épurateur : ainsi, lorsque l'eau traverse des couches riches en pyrite (sulfure de fer), elle active des bactéries spécifiques du soufre (*Thiobacillus*) qui éliminent les nitrates.

L'autre cause de la pollution par les nitrates et qui est loin d'être négligé c'est les nitrates d'origine animale (lisiers, fientes, fumiers),

Qui sont répandus sur les sols soit par négligence soit par inconscience, et ce sont les bovins qui arrivent en première position des plus grands polluants suivis loin derrière par les volailles.

Et l'homme n'est pas exempt de toutes reproche car il est aussi responsable indirectement car les animaux sont élevés sur caillebotis et sans litière, rejettent un mélange nauséabond d'urine et de matières fécales, appelé lisier.

I.4.2.6 Eau et nitrates :

Une nappe souterraine est un mélange d'eaux infiltrées au cours des saisons d'eaux récentes (un ou deux *ans*), issues des zones surplombant immédiatement la nappe, et d'eaux anciennes (dix ans et plus) venues des confins du bassin versant.

La pénétration verticale des nitrates est elle-même plus ou moins rapide : selon la nature du sol, elle varie entre quelques dizaines de centimètres et quelques mètres par an. Bref, les teneurs en nitrates des eaux puisées aujourd'hui dans les nappes intègrent les apports

des six à quinze dernières années. On ne pourra alors avoir une élimination des nitrates des eaux qu'après avoir attendu que les nitrates présents dans le sol migrent après un certain temps (qui peut varier d'une année à une dizaine d'années) cela veut dire que même si les différentes sources de pollution des nitrates seront contrôlées, les effets néfastes des nitrates prendront du temps pour disparaître.

Pour lutter contre la pollution des eaux par les nitrates, les concernés (les agriculteurs pour ne pas les nommer) doivent comprendre que :

- Les plantes ont besoin de nitrates, mais pas n'importe quand (entre l'épi à 1 centimètre et la floraison pour le blé d'hiver ; après le stade 6-8 feuilles pour le maïs, etc.) ;
- Les apports d'engrais en dehors des périodes de besoin sont source de pollution
- Chaque culture laisse un reliquat d'azote derrière elle ; - l'ordre dans lequel se succèdent les cultures est important, car il permet de gérer ce reliquat (on en revient à la célèbre rotation triennale des anciens) ;
- Des sols laissés nus l'hiver perdent leur azote, qui va toucher les nappes souterraines.

Ce dernier paramètre peut être réglé d'une façon simple et on pourra toucher d'une pierre deux cibles c'est-à-dire retenir l'azote présent dans le sol et éliminer une certaine quantité et cela en utilisant des engrais verts.

Les engrais verts sont tous simplement des cultures destinées à couvrir le sol et à piéger les nitrates entre la récolte d'août -septembre et les nouveaux semis de mars - avril. Selon les terres et les climats, on fait pousser soit un ray-grass d'Italie, soit une céréale d'hiver, soit du colza fourrager. Par exemple l'utilisation de la phacélie, cette herbe qui fixe 100 kg d'azote à l'hectare et gèle autour de 7 °C, ce qui rend inutile l'emploi d'herbicide pour la faire mourir et laisser la place libre à la culture suivante. Car, en général, l'engrais vert n'est pas récolté. Tué par le froid ou détruit par un herbicide, il est enfoui entre décembre et mars, de manière à restituer lentement l'azote qu'il a absorbé.

A l'INRA de Colmar (ville française), lors d'une étude sur des cases **lysimétriques** (1), une culture cultivée sur sable argileux- limoneux a fait chuter la quantité de nitrates lessivés de 118kg à l'hectare (sur sol nu) à 10kg (soit une élimination de 90%), alors que pour un sol limoneux- argileux la quantité est passée de 60kg à 1kg (soit une élimination de 98%), ce qui rend cette technique très intéressante.

I.4.3 L'autre substance minérales :

Les chlorures, les sulfates, le fluor étant des constituants naturels des eaux et les éléments toxiques tels que le cyanure et l'arsenic sont des substances minérales issues de l'activité humaine et susceptibles de polluer les nappes de façon ponctuelle [8].

I.4.4 Les détergents (tensioactifs) :

Ce sont des substances utilisées pour les diverses opérations de nettoyages. Un détergent est un produit complexe contenant un ou plusieurs composés (carbonates, phosphates, poly phosphates, perborates), souvent associés à des matières organiques améliorantes (carboxyméthyl-cellulose, alcanolamides). Le détergent sont rares dans les eaux souterraines, sauf dans les zones suburbaines, en liaison avec les puisards recevant les eaux usées et dans certaines nappes alluviales en relation étroite avec un cours d'eau pollué. Ces Détergents sont peu toxiques mais ils facilitent par leur pouvoir mouillant la dispersion et le transfert d'autres polluants comme les pesticides [8].

(1) **Un lysimètre** est un dispositif qui isole un volume de sol d'un mètre de profondeur environ, et qui comporte à sa base un système de récupération des eaux qui percolent. Il permet de mesurer les pertes en eau et en minéraux.

I.4.5 Les pesticides :

Les produits phytosanitaires sont apportés dans l'environnement par les grandes cultures, par le maraichage agricole, par le traitement des forêts, par le traitement sur plans d'eau, par le traitement en zone urbaine (espace verts, jardins, trottoirs, rues), par certains rejets industriels de conditionnement ou de fabrication, par le traitement des routes et des voies de chemin de fer [8].

I.4.6 Les hydrocarbures :

Les hydrocarbures se rencontrent essentiellement dans le pétrole. Leur transfert à la nappe dépend en particulier de leur masse molaire, leur tension de vapeur, leur viscosité et leur légère solubilité dans l'eau.

Ces pollutions ponctuelles d'origine accidentelle (ruptures de cuves de stockage d'essence, de mazout, accidents de circulation routière,...) ont des effets variables selon la viscosité du produit renversé et la perméabilité des terrains traversés. Ces produits faiblement biodégradables peuvent polluer d'importants volumes d'eau par dissolution même à dose infinitésimale [8].

I.4.7 Les solvants chlorent :

Les solvant chlorés, ou hydrocarbures chlorés aliphatiques, sont utilisés comme solvant aussi bien pour nettoyage que pour l'extraction et la séparation de certains produits, ils sont également employés comme réfrigérants (chlorofluorocarbone ou CFC). Ils sont largement répandus. Leur présence dans les décharges de tous types constitue un risque de pollution des nappes phréatiques car ils ne sont pas retenus par les argiles. Après percolation dans le sol, les eaux souterraines, près de zones urbaines ou industrielles (décharges industrielles) peuvent être contaminées par ces polluants très volatils. Ils sont peu dégradables et ont tendance à se déposer dans la partie basse de la nappe [8].

I.4.8 La matière organique diffuse :

La matière organique résiduelle peut être rencontrée dans les aquifères fissurés (karst) et dans les aquifères alluviaux. Elle constitue un milieu nutritif favorable au développement des micro-organismes, notamment pathogène. Sa présence est un

indice de pollution généralement d'origine proche. Elle favorise l'apparition de mauvais goûts, notamment à la suite d'une chloration, et d'odeurs désagréables [8].

I.4.9 Les pollutions microbiologiques :

De nombreux microorganismes, virus, bactéries et protozoaires, voire des champignons et des algues sont présents dans l'eau. Les conditions anaérobies généralement rencontrées dans les eaux souterraines en limitent cependant la diversité.

Les bactéries, virus et autres agents pathogènes rencontrés dans les eaux souterraines proviennent de fosses septiques, des décharges, des épandages d'eaux usées, de cimetières, du rejet d'eaux superficielles. Ces Pollutions peuvent être aussi dues à des fuites de canalisations et d'égouts ou à l'infiltration d'eaux superficielles [8].

I.5 Principe du transfert de la pollution :

Dans le milieu souterrain, l'évolution des polluants est très lente, comparativement à ce qui se passe en surface. Il s'écoule des mois, des années, ou même des dizaines d'années, entre le début de la pollution et sa mise en évidence. Les volumes infiltrés peuvent donc être très importants. Le milieu souterrain intègre successivement tous les événements polluants, et les nuisances peuvent se maintenir très longtemps après le tarissement des sources de pollution. Les bactéries sont retenues dans les premiers centimètres du sol. Les virus sont en revanche plus mobiles et peuvent contaminer la nappe sous jacente.

Le temps de transfert d'un polluant chimique à la nappe varie de quelques jours à plusieurs années. Il dépend principalement: de:

- l'épaisseur de la zone non saturée, c'est à dire la profondeur de la surface piézométrique.
- la perméabilité du réservoir (fissuration) ou le pouvoir de filtration
- les caractères du polluant.

Les terrains à perméabilité d'interstices (sables, grès) connaissent un temps de transfert très court. Les roches à perméabilité de fissures (calcaires) connaissent un temps de transfert élevé.

Le soluté traverse la zone non saturée, et d'abord le sol, caractérisé par la présence d'oxygène, de minéraux argileux et matières organiques.... Les réactions

adsorption/désorption entraînent un retard dans le transfert du polluant. Ces deux phénomènes sont favorisés par la présence d'argiles, oxydes et hydroxydes, et par les constituants organiques. L'adsorption prédomine sur la désorption. Les métaux sous forme ionique sont retenus par échanges d'ions ou adsorption, par les argiles, acides humiques et hydroxydes. Par suite du phénomène de désorption, les cations sont libérés progressivement. La pollution persiste dans l'eau souterraine, longtemps après l'introduction du polluant. Cette rémanence peut durer des mois, voire des années. En zone saturée, la vitesse de propagation du soluté n'est pas identique à celle de l'eau souterraine. Elle dépend du type de polluant, en particulier de sa viscosité, et de Sa concentration (phénomène de diffusion). Le débit de la nappe et les fluctuations de la surface piézométrique jouent également un rôle [6].

I.5.1 Transfert dans le sol :

Les argiles et la matière organique peuvent aider à retenir des composés organiques dans le sol (humus). Les interactions chimiques entre les solides peuvent être très complexes. Plus la molécule est grosse, mieux elle sera adsorbée sur les argiles et la matière organique. Les composés constitués de carbone, d'hydrogène, de brome, de chlore ou d'iode sont hydrophobes. Ceux composés d'azote, de soufre, d'oxygène ou de phosphore sont hydrophiles. L'hydrophobicité d'une molécule favorise son accumulation dans le sol. Son caractère hydrophile favorise sa lixiviation et donc son transfert à la nappe.

Grâce à ses propriétés d'adsorption et d'échange, dues à la présence de colloïdes minéraux et organiques, le sol peut retenir un grand nombre de substances très diverses. Les polluants peuvent être piégés dans les pores du sol, trop étroits pour que les bactéries puissent y pénétrer. Ils deviennent inaccessibles aux microorganismes et s'accumulent. Les phosphates sont fortement retenus par le calcium ou sur les bords des feuillets argileux. Certains herbicides, comme l'atrazine, sont très fortement retenus dans les sols. Les polluants peuvent être piégés dans des structures argileuses, ou complexés avec des polymères organiques résistants à la biotransformation (lignines, composés humiques). Certaines molécules sont résistantes, sur de très longues périodes, à toute action de dégradation. L'accumulation peut être due

également à des conditions non favorables au développement des microorganismes (manque de nutriment par exemple). Les polluants et leurs produits de dégradation peuvent aussi être piégés temporairement par les animaux ou les végétaux. C'est le phénomène de bioaccumulation.

Le sol joue donc un rôle fondamental dans la fixation des micropolluants. Il fait également fonction de stockage et de tampon en ce qui concerne la pollution aux nitrates de la nappe.

I.5.2 Transfert dans la zone non saturée :

Le fluide polluant migre d'abord verticalement dans le milieu non saturé entre la surface du sol et la nappe, laissant dans son sillage des terrains imprégnés à une concentration proche de la saturation [6].

Les teneurs des fractions solubles du produit polluant avec le temps et la distance à la source en fonction :

De l'effet de la dilution

De la convection (entraînement directe par l'eau) ;

De la dispersion due à la tortuosité des écoulements entre les grains du terrain ;

Des phénomènes de fixation ou de dégradation : transformations chimiques de type oxydoréduction, précipitation, hydrolyse.

I.5.3 Evolution en milieu sature :

Une fois la surface piézométrique franchie, la propagation du polluant ne rencontre pratiquement plus d'obstacles. Dans l'aquifère, en raison de la rareté ou de l'absence d'oxygène, de matières organiques et de microorganismes, le rôle épurateur est réduit, comparativement à la zone non saturée [6].

La dispersion du soluté se fait à la verticale du foyer de contamination (zone non saturée), puis selon un étalement latéral dans le sens de l'écoulement de l'eau souterraine (zone saturée).

Dans la nappe, l'extension du panache de pollution dépend essentiellement de la direction et de la vitesse d'écoulement de l'eau, mais aussi des caractéristiques du polluant :

- la viscosité d'un polluant non miscible,
- l'adsorption et la désorption sur les particules de la matrice argilo-humique,
- l'évolution chimique du polluant (dérivabilité).

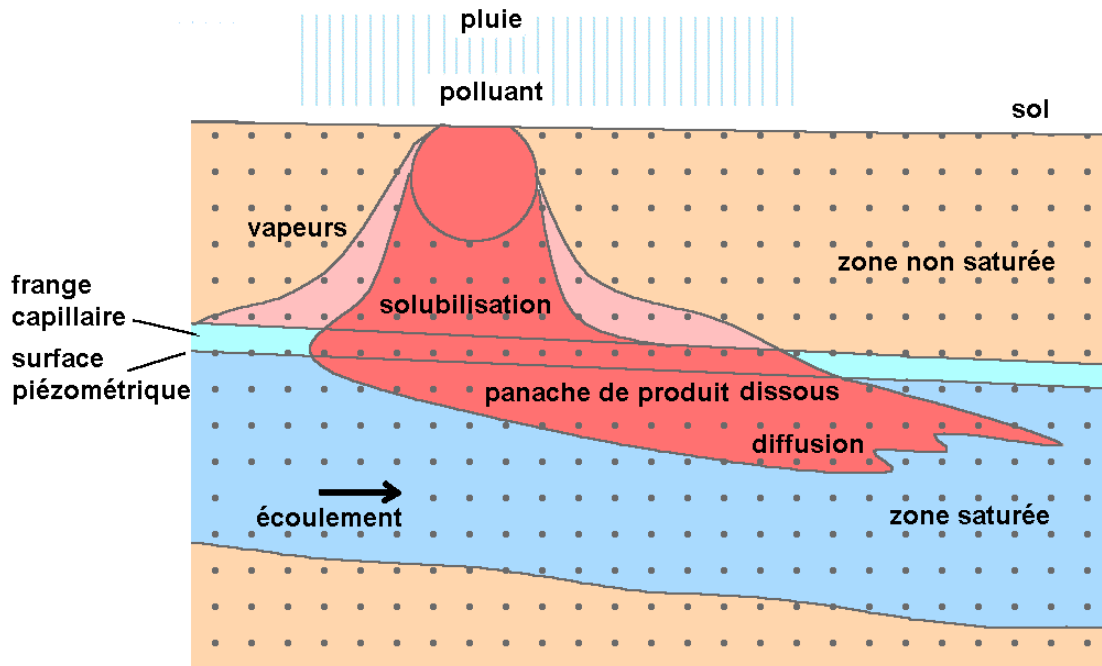


Figure I.3 : pollution par un produit plus léger que l'eau et qui atteint la nappe [4]

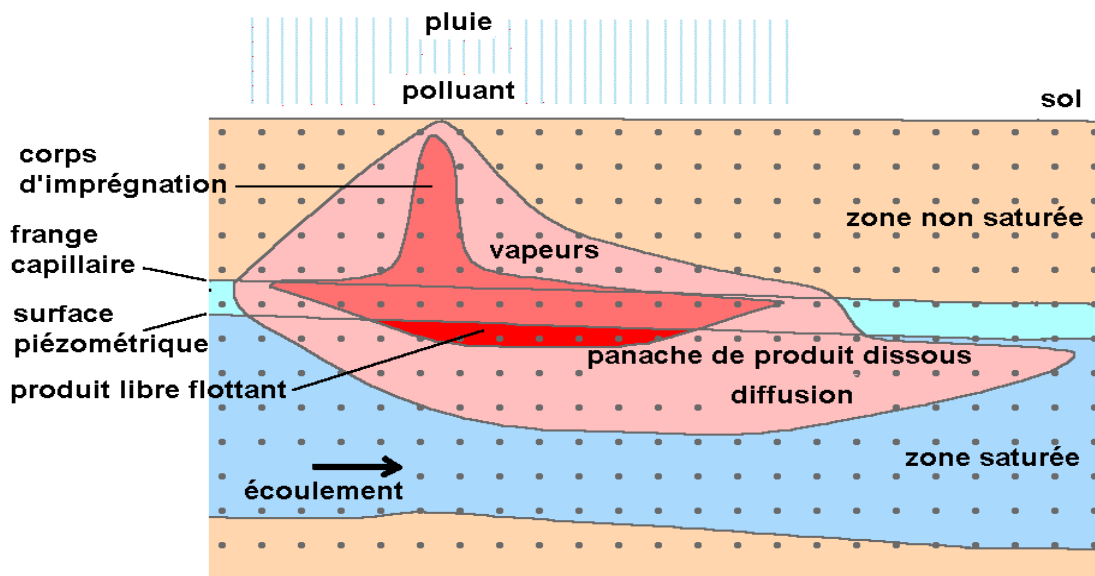


Figure I.4 : pollution par un produit soluble n'atteignant pas la nappe [4]

I.6 Vulnérabilité de zone non saturée :

On distingue plusieurs types de terrains selon leur aptitude à laisser traverser par un polluant.

I.6.1 Les alluvions :

En raison des faibles profondeurs dans lesquelles se trouvent le niveau piézométrique et l'épaisseur souvent très faible de la zone non saturée, le polluant qui se trouve à la surface du sol peut migrer rapidement vers la nappe

Et affecter ainsi la totalité de l'aquifère

I.6.2 Les terrains à perméabilité d'interstice :

Par exemple pour les terrains (argileux), le temps de transfert des polluants est relativement lent, ainsi la percolation des polluants est limitée surtout pour des grandes distances.

I.6.3 Les terrains composés de couches perméables et moins perméable :

Pour des terrains marneux, la pollution des nappes peut être sans grand effet et limitée et cela a cause de la percolation lente des eaux à travers cette zone non saturée et même la condition physico chimique (comme Une humidité Elevée) peut ralentir la pollution et avantager la dénitrification.

Conclusion :

En est jamais à l'abri d'une pollution des eaux souterraines c'est pour quoi en doit prendre nous disposition bien avant que le phénomène ce produit pour pouvoir lui

tenir face après, d'où cette surveillance rapprochée de la qualité des eaux souterraines
ces analyse qui devons nous inciter après interprétation sur les cause ensuite les
solutions de ce problèmes.

II.1 Introduction :

La plaine de la Mitidja a fait l'objet de plusieurs études et projets d'amélioration ce au grand rôle qu'elle joue sur le plan économique et agricole. Cette place qu'occupe cette région est due à :

- La fertilité de son sol ;
- Sa situation stratégique : sa proximité de la capitale, son accessibilité, et la facilité de transport de la marchandise au réseau routier qui l'entoure ;
- Son climat favorable avec une précipitation moyenne de 600 mm ;
- La diversité des cultures appliquées (arboriculture, cultures maraîchères).

II.2 Caractéristique de la plaine de Mitidja ouest :

La Mitidja est une dépression longue d'environ 100 km sur 15 à 20 km de large, resserrée entre l'Atlas Tellien au sud, et une chaîne de collines au nord, le Sahel.

A l'extrême est, elle est largement ouverte sur la mer, sur une trentaine de kilomètres. Dans sa partie ouest, les collines du Sahel entrent au contact du massif montagneux du Chenoua (905 m) et rejoignent, au plateau de Fadjana les premières hauteurs de l'Atlas (Djebel Thiberrarine au sud, 853 m). C'est à cette extrémité ouest de la plaine que se situe Marengo.

L'Atlas tombe assez abruptement sur la plaine. Dans sa partie occidentale jusqu'à El-Affroun, il est bordé d'une série de sommets de roches éruptives (andésite) en dos de chameau. En bordure de cette zone éruptive seront ouvertes des carrières. La Mitidja est située dans la zone d'activité sismique qui va du Maroc à la Sicile en passant par la plaine du Chélif.

La plaine descend en pente douce du sud au nord, de l'Atlas vers les collines. 50 mètres seulement entre Ahmer-el-Aïn et le fond du lac Halloula. Les cours d'eau qui viennent de l'Atlas ont déposé leurs alluvions, grossières et perméables dans la partie sud, fines et imperméables dans la partie nord. Des sondages à plus de 100 m de profondeur n'ont pas atteint les couches anciennes.

Cette plaine présente de réelles potentialités hydro-agricoles elle est composée de vastes terres agricoles très fertiles, et d'un relief peu accidenté à faible pente.

La Mitidja possède de grands atouts et possibilités en matière agricole dont les principales productions sont les agrumes, l'arboriculture fruitière et les céréales.

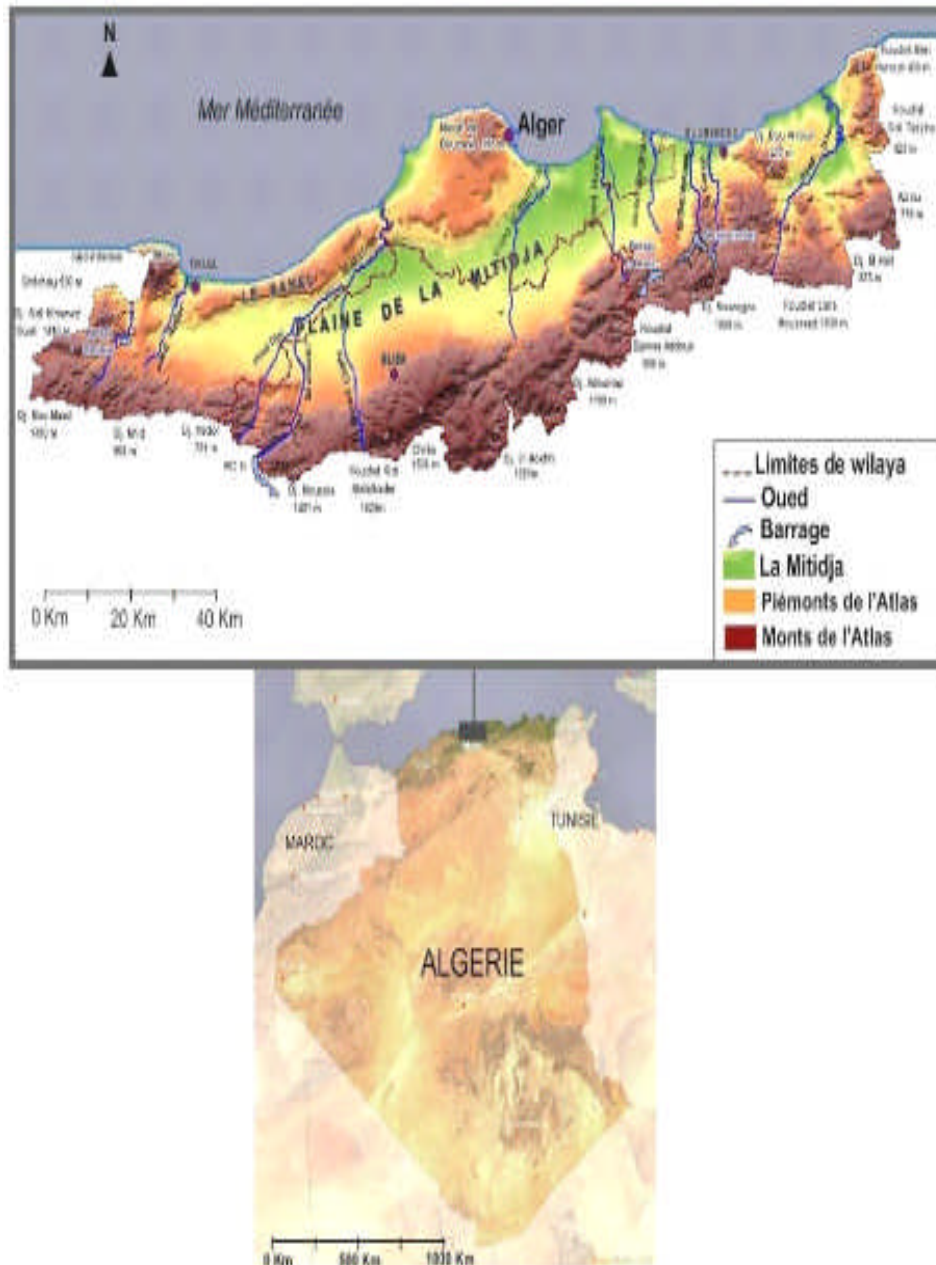


Figure II.1 : Localisation géographique de la plaine de la Mitidja.

II.3 Situation géographique :

Le périmètre irrigué de la Mitidja ouest est situé dans la partie ouest de la plaine de Mitidja. Il est compris entre la barrière du Sahel au Nord, les piémonts de la chaîne montagneuse de l'atlas de Blida, Oued chiffa à l'Est et Oued bouroumi à l'Ouest

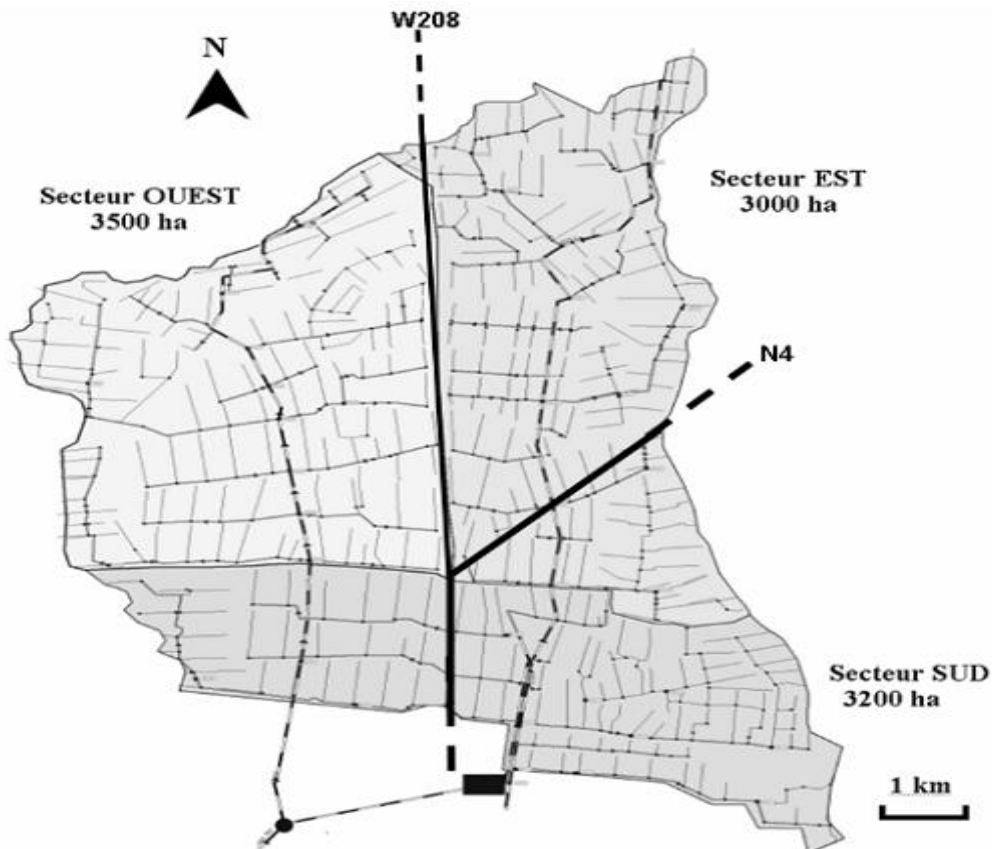


Figure II.2 : Localisation du Périmètre Mitidja Ouest

Et pour la ville d'Ahmer el Aïn, nous avons les coordonnées géographiques de cette zone d'après le satellite

Original Nom : Ahmer el' Ain

Location Géographique : Tipaza, Algérie, Afrique

Cordonnées géographique : 36° 28' 35" Nord, 2° 33' 48" Est.

II.4 Caractéristique climatique :

Le climat est méditerranéen avec une influence continentale (le sirocco en été), des hivers pluvieux et doux, et des étés chauds et secs. Le plaine de Mitidja se rapproche de type continental et bénéficie de mois d'effets de l mer avec quelque jour de gelée.

➤ Pluviométrie :

La répartition des pluies durant les années 1967 à 2007 est présentée dans la figure 2.

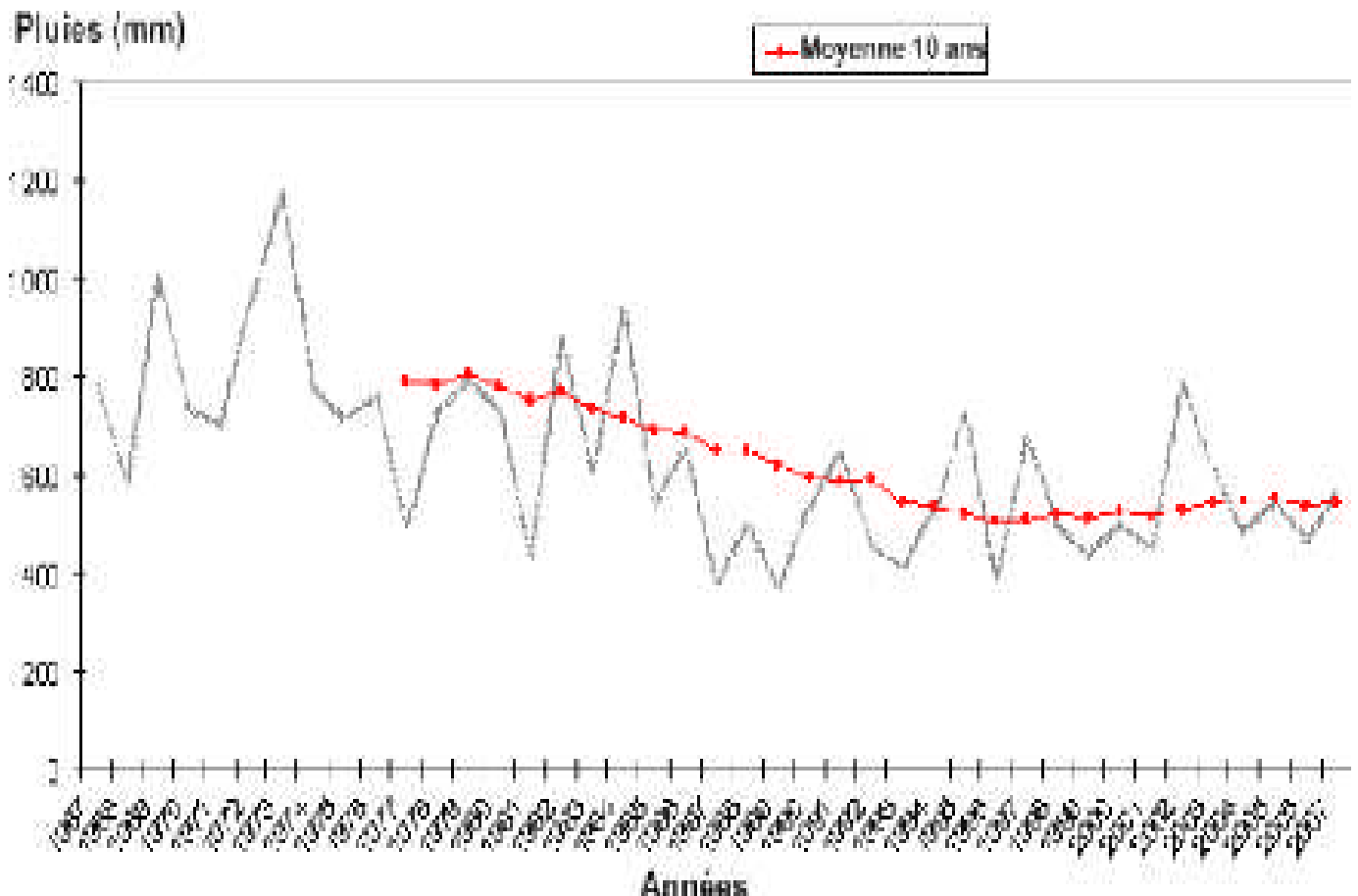


Figure II.3 : Précipitations annuelles de la Mitidja-ouest (1967/2007).

Source : Station météorologique d'Ahmer El Ain et l'ANRH (Blida).

A partir de ce graphe, on dit que les précipitations sont en baisse, en comparant la moyenne des pluies de 10 ans de 1997 à 2007 où la moyenne est de 540 mm à celle de 1967 à 1977 où la moyenne des pluies est de 790 mm.

La pluie indiquée par la station d'Ahmer El Ain en 2008 est présentée dans le tableau

Tableau II.1 : Pluies de l'année 2008 (station d'Ahmer El Ain)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Total
Pluies (mm)	18.4	30.0	78.5	103.6	98.5	62.2	65.4	62.2	38.6	6.6	3.6	1.7	582.1

Source : Station météorologique d'Ahmer El Ain et l'ANRH (Blida) 2009

➤ **Températures :**

Les températures jouent un grand rôle dans la détermination de la période de l'irrigation tout à fait comme les précipitations, les paramètres climatiques de l'année 2009 de la station d'Ahmer El Ain sont présentés dans les tableaux suivants

Tableau II.2 : Températures de l'année 2008

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	moyenne
$T_{max} \text{ } ^\circ\text{C}$	19	19.5	25	26	38.5	41.5	39.5	35	35.5	34.5	29.5	26.5	30.8
$T_{min} \text{ } ^\circ\text{C}$	3	2.5	6	9	13.5	19.5	23	22.5	17	13	10	6	12.1
$T_{moy} \text{ } ^\circ\text{C}$	10.9	11	14	15.3	22.9	26.9	29.8	28.4	24	21.2	17.8	13.8	19.7

Source : ANRH 2009

A partir du tableau ci-dessus nous traçons les courbes des températures suivantes :

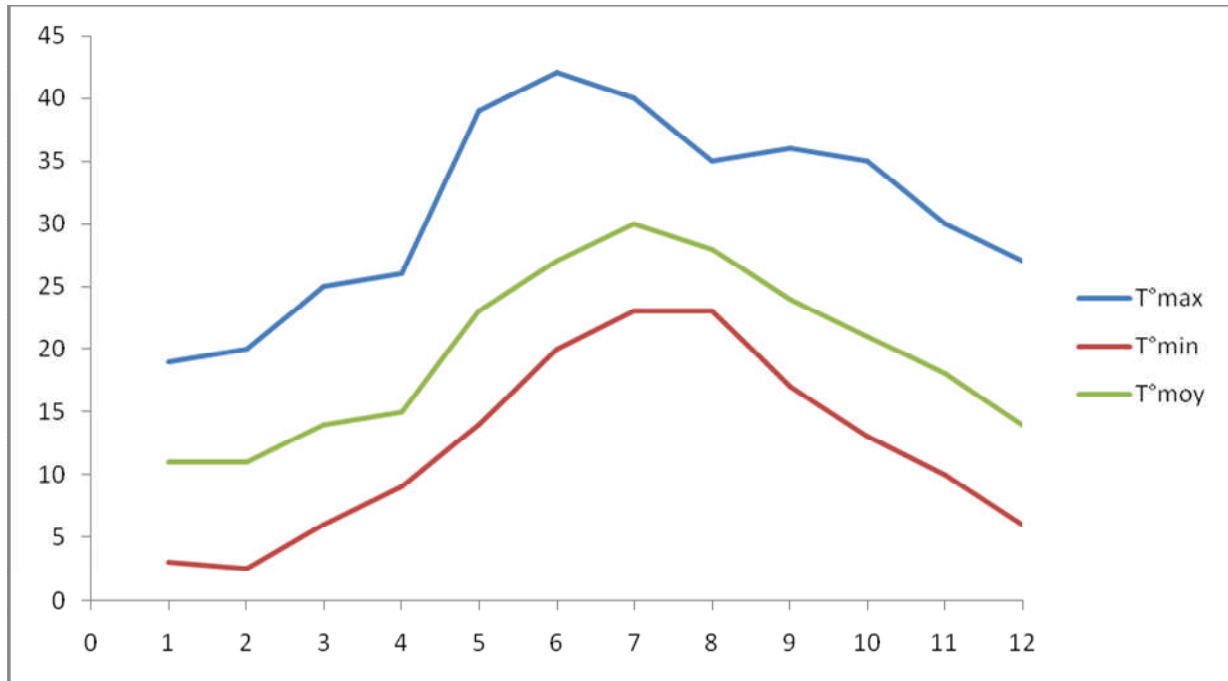


Figure II.4 : Graphe de l'évolution des températures

➤ **Vent :**

Et pour l'étude des vents à Mitidja fait ressortir que près de 30% de l'année est sans vent et 70% avec vents, provenant des directions suivantes :

- Les vents de composante Nord atteignent 31.5 %
- Les vents de composante Sud atteignent 14.9 %
- les vents de composantes Est atteignent 22.8 %
- les vents de composantes Ouest atteignant 34.7 %

Le tableau suivant présente les vitesses moyennes des vents pour l'année 2009 au niveau de la station d'ahmer el aïn

Tableau II.3: vitesse moyenne mensuelle des vents de l'année 2008

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Vent _{moy} (Km/h)	4.6	4.3	3.3	3	3	2.9	3	2.4	3.2	2.6	2.4	4.3

Source :(A.N.R.H) 2009

II.5 Classification du climat

Les principales classifications utilisées ont été définies empiriquement à partir du constat que le climat conditionne la disponibilité en eau (Budyko), les formes d'écoulement (de Martonne), les formations végétales. En 1918, *Kppen* a proposé une classification bioclimatique en cinq grands climats selon les températures (A : toujours chauds, B : chauds à torrides, C : doux, D : frais à froids, E : glacés).

II.5.1 Selon de Martonne :

Il permet de connaître le degré de sécheresse de la région

$$I_A = \frac{P}{T + 10}$$

Avec :

I_A : Indice climatique en (mm/°C)

P : le cumul annuel des précipitations (mm)

T : température moyenne annuelle (°C)

A.N :

$$I_A = \frac{540}{19.7 + 10} = 18.18$$

$$I_A = 18.18$$

Tableau II.4 : Limite des climats d'après l'indice climatique de Martonne

Valeur de I_A	Type de climat	Irrigation
$I_A \leq 5$	Hyperaride (Désertique)	Indispensable
$5 < I_A \leq 10$	Aride	Indispensable
$10 < I_A \leq 20$	Semi-aride	Souvent indispensable
$20 < I_A \leq 30$	Semi-humide	Parfois utile
$30 < I_A \leq 55$	Humide	Inutile

$I_A = 18.18$ Donc $10 < I_A \leq 20$ d'où notre climat est semi-aride, c'est-à-dire que notre irrigation est souvent indispensable.

II.5.2 Selon l'indice d'Emberger :

L'indice climatique d'EMBERGER qui n'est autre qu'un indice écologique en ce sens qu'il intègre la pluviométrie et l'amplitude thermique ; cet indice est un indicateur puissant pour la localisation théorique des plants pour peu que leurs besoins en pluviométrie et les extrêmes de températures soient connus.

L'indice est calculé selon la formule de base suivante : $I = P/T$.

Dans cette formule, P et T sont respectivement la pluviométrie et la température moyennes.

Mais pour mieux caractériser les climats cette formule a été améliorée par EMBERGER pour tenir compte des besoins écologiques des plantes notamment :

- de la moyenne pluviométrique annuelle P
- de la moyenne des températures extrêmes T_x et T_n
- de l'amplitude thermique ($T_x - T_n$) des mêmes moyennes

Ainsi la formule améliorée devient :

$$I = 1000 \times \frac{P}{\left(\frac{T_x + T_n}{2}\right) \times (T_x - T_n)} \quad \text{Soit } I = 2000 \times \frac{P}{(T_x)^2 - (T_n)^2}$$

Dans cette formule

1000 = coefficient multiplicateur

P = Moyenne pluviométrique en mm sur 25 années d'observations

T_x = Moyenne sur une année d'observations des températures maximales en K du mois le plus chaud

T_n = Moyenne sur la même période des températures minimales en K° du mois le plus froid

$$\frac{T_x + T_n}{2} = \text{Moyenne des extrêmes ci dessus cites}$$

Pour la classification des zones climatiques tropicales, les intervalles de classes ci - après ont été définis:

Tableau II.5 : Intervalles de classification du climat d'après Emberger

Valeur de I	Type de climat
00 – 10	Saharien
10 – 35	Aride ou désertique
35 – 65	Semi-aride ou sahélien
65 – 130	Sud humide ou soudanien
130 - 200	Humide ou soudano-Guinéen

A.N :

$$T_x = 41.5 + 273 = 314.5 K$$

$$T_n = 2.5 + 273 = 275.5 K$$

$$I = 2000 \times \frac{540}{(314.5)^2 - (275.5)^2} = 46.94$$

I=46.94 donc nous avons un climat semi-aride ou sahélien

A la fin on conclut que le résultat est identique dans les deux méthodes

On détermine maintenant la saison sèche et la saison humide

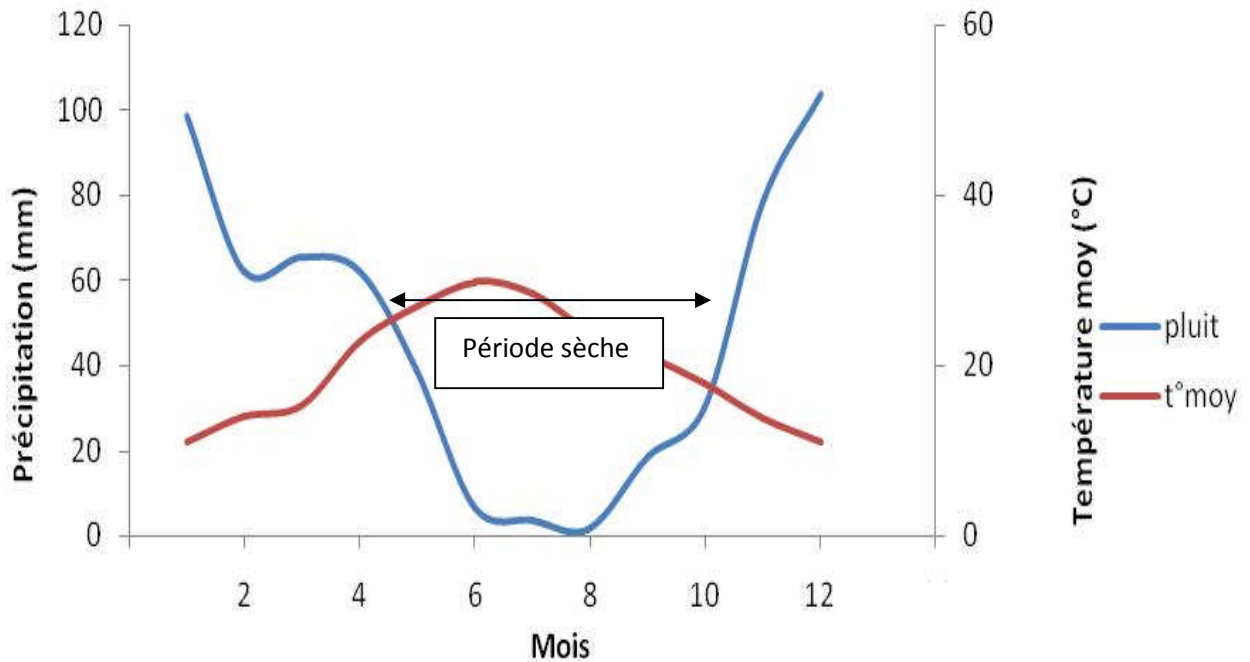


Figure II.5 : Diagramme ombrothermique de Gaussen pour la Mitidja-ouest (moyennes mensuelles des vingt dernières années). Source : Station météorologique d'Ahmer El Ain.

II.6 Etude agro-socio-économique

II.6.1 Par rapport à la surface :

La commune d'Ahmer el Ain compte 301 exploitations agricoles réparties sur trois statuts: les exploitations agricoles collectives (EAC), qui comptent entre trois et vingt agriculteurs, les exploitations agricoles individuelles (EAI) et les exploitations agricoles privées (EP). Les terres des EAC et des EAI demeurent la propriété de l'Etat et sont majoritaires dans la Mitidja-ouest, seuls 5% des terres appartiennent à des agriculteurs privés.

Cette répartition n'est pas représentative de la répartition nationale où les terres privées représentent plus de 65% des terres agricoles. Plus de 80% des exploitations agricoles d'Ahmer el Ain sont des EAC, qui regroupent plus de 95% des agriculteurs de la commune. Le nombre d'agriculteurs dans les EAC est en moyenne de 7 ; il varie entre 3 et 20 membres à raison de 3 ha par attributaire, tel qu'il a été défini par la loi d'orientation foncière n°87-19 (1987) par le Ministère de l'agriculture (cf. annexe 1).

Cette même loi inclut des exploitations agricoles individuelles (EAI) pour les terres marginales, enclavées ou éloignées ne pouvant pas être exploitées collectivement, qui sont donc attribuées à titre exceptionnel à un seul bénéficiaire. Leurs superficies varient entre 02 et 05 ha. Les exploitants privés, quant à eux, travaillent en moyenne 9 ha individuellement. La superficie des exploitations varie de 2 à 100 ha avec une moyenne distribuée de 20ha.

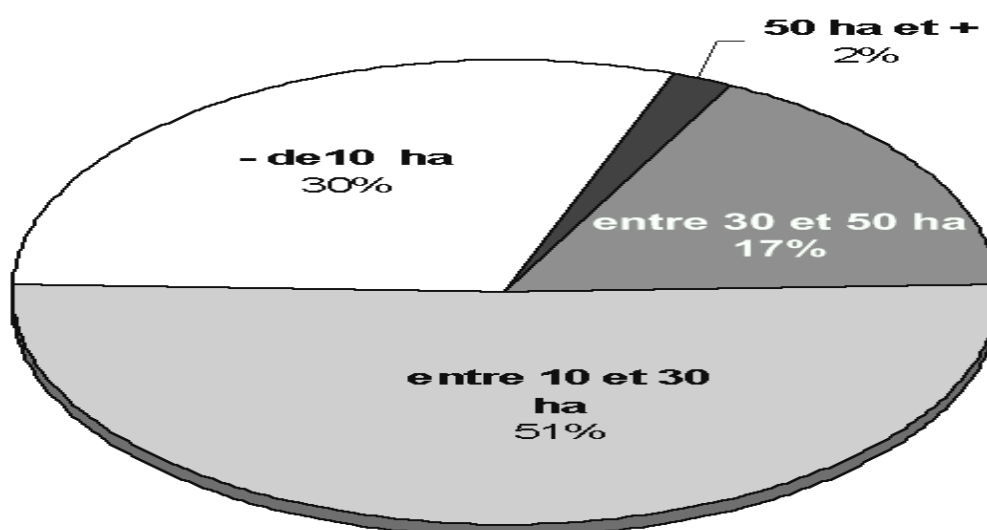


Figure II.6 : Répartition des exploitations agricole selon leurs superficies.

Source : Subdivision agricole d'Ahmer el Ain.

Plus de la moitié des exploitations agricoles de la commune ont une superficie comprise entre 10 et 30 ha. Seuls 2% des exploitations ont plus de 50 ha. Cette répartition a été définie en 1987 lors de la création des EAC issues des anciens domaines (Figure 5), où les collectifs d'agriculteurs se sont formés selon les affinités, avec un minimum de trois agriculteurs.

Les cultures dominantes dans la commune d'Ahmer el Ain, qui correspondent à l'ensemble de la région de la Mitidja-ouest, sont les agrumes, les céréales et l'arboriculture fruitière (Figure 15).

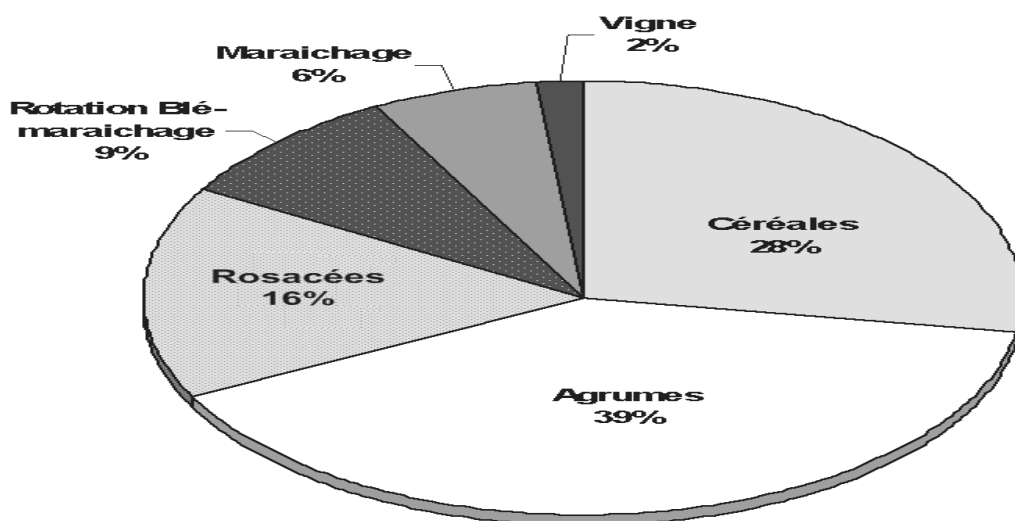


Figure II.7 : Répartition des cultures, dans la commune d'Ahmer el Ain.

L'essentiel des superficies d'agrumes date de l'époque coloniale, offrant à la Mitidja-ouest une identité et une vocation agrumicole. Les superficies d'agrumes dans toute la Mitidja sont passées de 8000 ha en 1950 à 12000 ha en 1959. Depuis 2000, et pour soutenir cette vocation à produire des agrumes, une politique d'encouragement de plantation, particulièrement de la variété d'orange Thomson, a été lancée par les collons Français.

Près de 70% de la surface totale cultivée dans la commune d'Ahmer el Ain est irriguée annuellement, seules les céréales et la vigne sont conduites en pluvial. La Figure 15 illustre la part de l'arboriculture fruitière dans la région qui représente 55% des superficies cultivées. La partie majeure de ces plantations existait avant la création des EAC en 1987.

Aujourd'hui, les EAC divisées représentent 73% des EAC totales d'Ahmer el Ain. Les EAC unies où les attributaires travaillent collectivement représentent moins d'un tiers des EAC. Un des facteurs qui pourrait expliquer cette union pour une partie des EAC, est la présence historique des agrumes et des arbres fruitiers dans les EAC.

En effet, les agrumes et l'arboriculture fruitière représentent plus des deux tiers de l'assolement des EAC unies. Cela permet d'émettre l'hypothèse que les agrumes hérités des DAS constituent un facteur favorisant le travail collectif du fait que les décisions stratégiques d'assolement annuel, qui sont souvent à l'origine des conflits

dans les EAC divisées, ne pèsent pas dans ce cas. Ainsi annuellement, de nouvelles décisions stratégiques sont prises au sein des EAC divisées, notamment concernant les assolements.

En plus de l'âge de ces vergers, qui produisent de moins en moins, un autre problème freine leur développement : c'est la taille. En effet, les tailleurs de vergers étaient essentiellement des ouvriers spécialisés dans les anciens domaines. Ils sont pour la plupart aujourd'hui âgés et la relève n'a pas été préparée.

Les locataires, qui occupent près de 10% de la superficie des EAC divisées, cultivent essentiellement du maraîchage sous serre, notamment le poivron. La plupart de ces locataires sont extérieurs à la commune d'Ahmer el Ain. Ils viennent des régions voisines et se déplacent dans toute la Mitidja-ouest (Tipaza, Hadjout, Oued Alleug,...). La location de la terre est souvent conditionnée par l'accès à l'eau.

II.6.2 Par rapport à l'agglomération :

La population qui représente la totalité des habitants de l'agglomération est estimée actuellement à 15600 âmes elle s'emploie pour une grande part, dans les tâches [que procure] essentiellement agricole que procure la région.

II.6.3 Par rapport à l'industrie :

Contrairement à l'activité agricole, relativement disponible, l'industrie souffre d'une carence flagrante due à l'absence totale de complexes industriels. En conséquence, la main d'œuvre s'oriente exclusivement vers l'exploitation des sols et des cultures.

II.7 CONCLUSION :

La région de la Mitidja est une région aux grandes potentialités, sa situation géographique lui permet d'être le futur pôle de développement de l'Algérie, ces ressources hydraulique ainsi que sont emplacement géographique et ces caractéristique climatiques lui permet d'être le plus important et le plus vaste périmètre irrigué en Algérie. C'est pour cette raison la protection et la surveillance de ces ressource hydraulique, que ce sois souterraine où superficielle, contre la pollution dépend de l'avenir et de la survit de la région.

III.1 Introduction :

La nappe de la Mitidja est composée de deux ensembles de réservoirs aquifères : les alluvions du quaternaire qui constituent la principale ressource pour les forages agricoles, et l'Astien qui est une nappe plus profonde exploitée pour l'AEP.

L'épaisseur de ces aquifères varie entre 100 et 200 m en moyenne et va en s'amincissant vers le sud pour atteindre l'Atlas.

L'alimentation de la nappe de la Mitidja se fait annuellement avec l'infiltration des eaux de pluies (ruissellement dans les oueds) et les flux latéraux des sources de l'Atlas Blidéen. Les écoulements souterrains se font en général du Sud vers le Nord, mais les pompages excessifs s'effectuant au niveau des champs captant influencent considérablement les écoulements.

En effet, l'exploitation des aquifères côtiers à Alger entraîne un problème d'intrusion saline qui diminue la qualité de l'eau en fonction de la baisse du niveau piézométrique. Alger est actuellement alimentée en grande partie par un parc de 165 forages situé sur la partie est de la nappe de la Mitidja, près de la côte (Banque mondiale, 2001).

Selon Loucif (2002), cette nappe offre un volume d'eau disponible de 500 millions de m³, alors que l'agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH) estime ce volume au double. Par ailleurs, sous l'influence à la fois des pluies hivernales et des pompages pour l'AEP, la nappe présente des fluctuations saisonnières importantes à l'est.

Dans la partie ouest (Ahmer El Ain), ces fluctuations sont moins marquées du fait de l'éloignement des forages profonds de l'AEP.

III.2 Hydrogéologie :

Etant donné que notre zone d'étude fait partie de la plaine de la Mitidja ouest, on donne un aperçu bref de la formation géologique de la plaine.

La Mitidja est formé de deux principaux réservoirs aquifères :

a)Astien :

Gréseux ou gréso-calcaire, il est bien délimité entre un substratum argileux (marne bleu plus ancien) et la couverture épaisse des marnes, de maison carrée, L'Astien s'enfonce à l'amont d'une ligne SO-NE passant de Boufarik à El Affroun. L'aquifère Astien est principalement alimenté par l'infiltration des pluies sur le sahel ou les affluents dans les piedmonts de l'Atlas. Il est également alimenté par la nappe alluviale sous-jacente par drainage à travers les marnes jaunes peu épaisses.

b) le réservoir quaternaire :

Il est essentiellement constitué par les superpositions des alluvions du quaternaire ancien et la base des alluvions récentes.

L'aquifère alluvial est alimenté comme suit :

.Dans la plaine par infiltration des précipitations.

.Dans les piedmonts de l'Atlas par infiltration des cours d'eau.

.Le long du sahel par écoulement souterrain de l'Astien vers la nappe alluviale à travers une épaisseur de marne jaune.

Il est alimenté uniquement par les eaux de pluies au niveau des affluents.

Sur la plus grande partie de la plaine, ces deux aquifères superposés sont séparés par un complexe argileux d'épaisseur variable.

Les deux nappes sont en communication hydraulique directe.

Cependant, la nappe des alluvions anciennes est presque partout en charge par rapport à la nappe superficielle.

Par contre dans les zones de pompage intensif et prolongé la dépression créée dans la nappe profonde peu inversé le sens d'écoulement : la nappe souterraine fournit alors une part non négligeable de l'eau souterraine.

III.3 Ressource en eau

III.3.1 Eaux superficielles:

D'après l'étude préliminaire du périmètre irrigué de la Mitidja Ouest fournie par l'Office du périmètre irrigué d'Ahmer El Aïn, le périmètre est traversé par trois principaux oueds qui alimentent le barrage Bouroumi et dont les caractéristiques hydrauliques sont différentes :

➤ **Oued Chiffa :**

Long de 16 km, le cours de la Chiffa est formé de deux tronçons dont les caractéristiques hydrauliques sont très différentes ;

Le tronçon aval : du confluent avec le Mazafran jusqu'au pont de la rive droite, soit sur 7 km, le lit mineur est étroit et le lit majeur envahi par la végétation, la capacité de transit est de l'ordre de 200 m³/s.

Le tronçon amont : beaucoup plus rectiligne que le précédent, ce tronçon n'a pratiquement pas de lit mineur, mais le lit majeur est très obstrué par la végétation, la capacité de transit est de l'ordre de 700 m³/s.

➤ **Oued Bouroumi :**

Du confluent avec le Mazafran jusqu'au pied de l'atlas, l'Oued Bouroumi s'étire sur une longueur moyenne de 36 km et se décompose en deux tronçons :

Le tronçon aval : ce long de cette zone de 21 km, le Bouroumi présente un lit mineur d'une longueur de 300 m pour une pente de 1,8 m/km .La valeur de la capacité de transit est de l'ordre de 575 m³/s, les débordements les plus importants se produisent dans la zone la plus en aval.

Le tronçon amont : les principales différences avec la zone aval concernent la pente qui est plus importante (moyenne de 6 m/km) avec des valeurs plus fortes dans les zones les plus en amont. Le lit majeur dont certains atteignent plus de 300 m. La capacité d'écoulement est légèrement supérieure à 450 m³/s le débit de l'Oued Bouroumi en considérant les modifications apportées par le barrage s'élève à 190 m³/s.

➤ **Oued Djer :**

Le seul tronçon du Djer examiné ci-après sera celui situé en amont de la dérivation vers le barrage de Bouroumi, sur cette partie le seul lit existant est le lit mineur d'une largeur de 30 m pour une pente moyenne de 4m/km. La capacité de transit est supérieure à 500 m³/s. Le périmètre comprend également des oueds moins importants dans le bassin versant de l'Oued Chiffa, dont :

- Oued Khoucha
- Oued Bouchouaou
- Oued El-Had
- Oued Bou-Aroua.

➤ **Barrage de Bouroumi : (Situation et objectif)**

Le barrage de Bouroumi est la principale ressource en eau du périmètre. Il se trouve à 8 km à l'Est du village de Bou-Medfaa dans la wilaya de Blida et a 15 km au sud d'El Affroun .Il est implanté dans le défilé rocheux que traverse l'Oued Bouroumi avant de rejoindre la plaine de la Mitidja .il offre une capacité totale de retenue de 188 millions de m³(selon Agence nationale des barrages), permettant ainsi la régulation des eaux de son propre bassin versant augmentée par celle de trois autres oueds principaux de la région : Chiffa, Harbil, Djer .il permet d'assurer l'irrigation de Mitidja Ouest et accessoirement l'alimentation en eau potable .

➤ **Le réseau de distribution d'eau :**

Le projet Mitidja Ouest se compose d'une série d'ouvrages qui ont pour but de capter et de conduire l'eau nécessaire pour la tranche 1.

A la tête des ouvrages, on trouve le barrage de prise sur l'Oued Bouroumi d'une longueur total de 115m et d'une hauteur de 7,5 m ayant pour but de capter l'eau lâchée du barrage de Bouroumi. La tranche I est alimentée par le canal rive droite qui dessert 3 secteurs :

- Le secteur Sud alimenté par la station de pompage d'Ahmer El Aïn et par le biais de L'adducteur n°2;
- Le secteur Est alimenté gravitairement par la prise gravitaire n°1 du canal rive

droite par le biais de l'adducteur n°3;

- Le secteur Ouest alimenté gravitairement par la prise gravitaire n°2 du canal rive droite par le biais de l'adducteur n°1.

- La distribution d'eau pour l'irrigation du périmètre se présente comme suit :

- Trois adducteurs de diamètres 1100 à 1500 mm en tête, chacun alimente un secteur.

- Chaque adducteur alimente plusieurs branches de diamètre 200 à 700 mm.

- Les départs des antennes se font à partir des branches avec un équipement des bornes.

- Chaque antenne est équipée en prises hydrants pour l'irrigation d'un îlot type d'une surface moyenne de 18 hectares.

- La fonction de l'ensemble de l'équipement d'assainissement est l'évacuation rapide des eaux de pluie et des apports venant des bassins versant extérieurs au périmètre.

III.3.2 Eau souterraine :

Les ressources en eau souterraine du périmètre proviennent de la nappe de la Mitidja à travers les forages et les puits. Du fait que le barrage n'arrive pas à satisfaire la demande d'eau souscrite par les usagers, ces derniers se rabattent sur la nappe au moment de forage.

➤ Alimentation de la nappe de la Mitidja :

L'alimentation de la nappe de la Mitidja est assurée essentiellement par les eaux de ruissellement ou les eaux de surface, et latéralement par les sources de l'Atlas blidéen et du Sahel ainsi que certains réservoirs locaux.

La pluviométrie étant très irrégulière, l'alimentation est dans la plupart des cas inférieure à ce qui est soutiré de la nappe (déficit entre les entrées et les sorties), surtout lors des deux dernières décennies de sécheresse.

➤ Etat actuel de la nappe de la Mitidja :

La comparaison entre les deux campagnes de l'ANRH de 2009, a mis en évidence l'abaissement du niveau de la profondeur de la nappe de la Mitidja.

Chapitre III : Etude hydrogéologique

- Cette baisse de la surface piézométrique est la conséquence de plusieurs facteurs à savoir :
- Longue période de sécheresse (deux dernières décennies) combinée à une importante prolifération de forages.
- Le commencement précoce de l'irrigation dû à cette sécheresse.
- Importance des surfaces irrigables.
- La déperdition des eaux par ruissellement.

Celles ci sont dûes :

- à pompage continu, et d'une façon intensive au niveau des principaux champs de captage.

- à la prolifération de forages illicites dans les périmètres de protection des champs de captage.

➤ **Exploitation de la nappe :**

D'après l'inventaire effectué par la direction régionale centre de l'ANRH en 1997 puis complété en 2001/2002, le nombre de forages inventoriés a pratiquement triplé puisqu'il a atteint 4193 ouvrages, par rapport à l'inventaire de 1970 où le nombre des ouvrages hydrauliques était de 1462.

➤ **Problèmes de gestion de la nappe :**

Les problèmes de gestion de la nappe de la Mitidja sont nombreux, nous citerons les plus importants (ANRH 2004) :

La nappe de la Mitidja est partagée entre 4 wilayas et chacune d'elle planifie et réalise son propre programme de forages sans se soucier des disponibilités de la ressource et ce en plus des forages réalisés par les APC.

L'urbanisation accélérée des grands centres urbains au détriment des terres agricoles et sans tenir compte de la disponibilité de la ressource. La prolifération des forages illicites aux abords des champs de captage et même à l'intérieur. L'absence d'un modèle numérique de gestion se fait de plus en plus sentir pour bien gérer la ressource en eau souterraine.

III.4 Définition hydrogéologiques :

III.4.1 Le bassin hydrogéologique :

Le bassin hydrologique est délimité par les lignes de crêtes topographiques isolant le bassin versant d'un cours d'eau et de ses affluents.

Il correspond en surface au bassin hydrographique.

III.4.2 Un aquifère :

Un aquifère est un corps (couche, massif) de roches perméables comportant une zone saturée suffisamment conductrice d'eau souterraine pour permettre l'écoulement significatif d'une nappe souterraine et le captage de quantité d'eau appréciable. L'aquifère est homogène quand il a une perméabilité d'interstice (sable, graviers); la vitesse de percolation y est lente.

Il est hétérogène avec une perméabilité de fissures (granite, calcaire karstique) ; la vitesse de percolation est plus rapide.

Les formations peu perméables (dites semi-perméables), comme les sables argileux, peuvent stocker de l'eau mais la vitesse de transit est faible; Ces formations peuvent assurer la communication entre aquifères superposés par le phénomène de drainance.

III.4.3 Une nappe :

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

III.4.4 Types de nappes

❖ Nappes libres :

La surface piézométrique coïncide avec la surface libre de la nappe qui est surmontée par une zone non saturée.

✓ Nappes phréatique :

Ce type de nappe est la première directement atteinte par les puits : c'est la nappe phréatique.

Lorsque le sol est uniformément poreux et perméable, l'eau de pluie s'infiltré jusqu'à un certain niveau appelé surface libre de la nappe .Dans la nappe, l'eau circule jusqu'à des exutoires qui sont dans les points bas de la topographie : sources, rivières.

Chapitre III : Etude hydrogéologique

Les courbes iso piézométriques indiquent la pente de la surface libre et le sens d'écoulement de la nappe. Les lignes de crête correspondent aux zones de divergence des courants. L'eau circule dans toute des l'épaisseur de l'aquifère, plus ou moins parallèlement à la surface libre sauf au niveau des exutoires et des lignes de crête ; les vitesses sont plus élevées vers la surface .quand l'exutoire n'est pas localisé, on parle de (surface de suintement).

✓ **Nappe alluviale :**

L'aquifère est constitué par les alluvions d'une rivière .L'eau de la nappe est en équilibre avec celle de la rivière et les échanges se font dans les deux sens .Les alluvions sont très perméables; elles peuvent être très épaisses (une centaine de mètres) et constituer un réservoir très important qui sert à l'alimentation en eau des villes situées le long de la rivière : ces nappes, soutenues par l'apport de la rivière (ou un lac), sont très vulnérables à l pollution.

En pays aride, la nappe alluviale est alimentée par les crues de la rivière (Oued) qui est à sec en période d'étiage.

✓ **Nappe Karstique :**

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

❖ **Nappe captive :**

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

A la suite d'un forage au travers du toit imperméable, l'eau remonte et peut jaillir : la nappe est artésienne. Le jaillissement peut disparaître par la suite si la nappe est exploitée au point de diminuer sa pression.

Chapitre III : Etude hydrogéologique

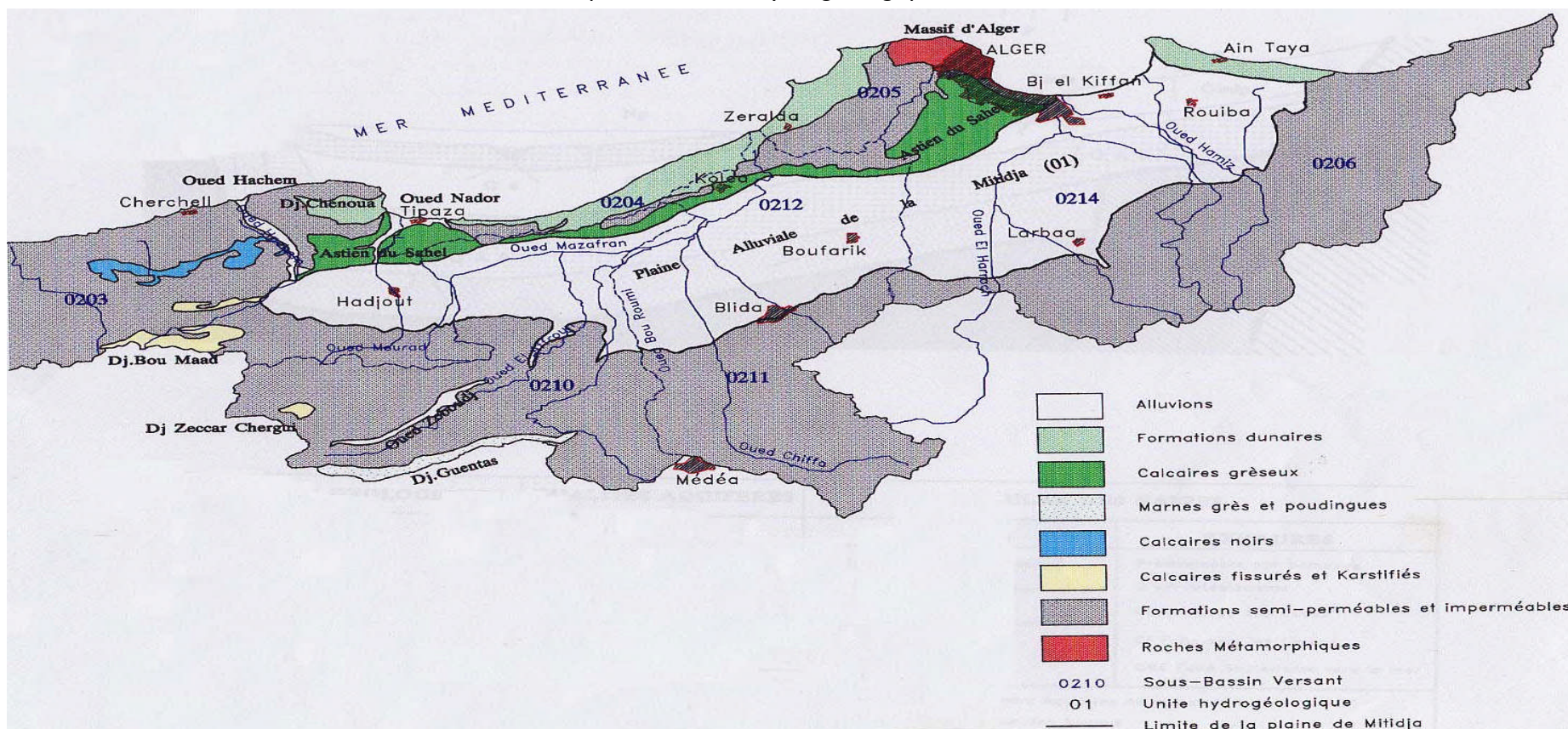


Figure III.1 : carte géologique de la plaine de la Mitidja

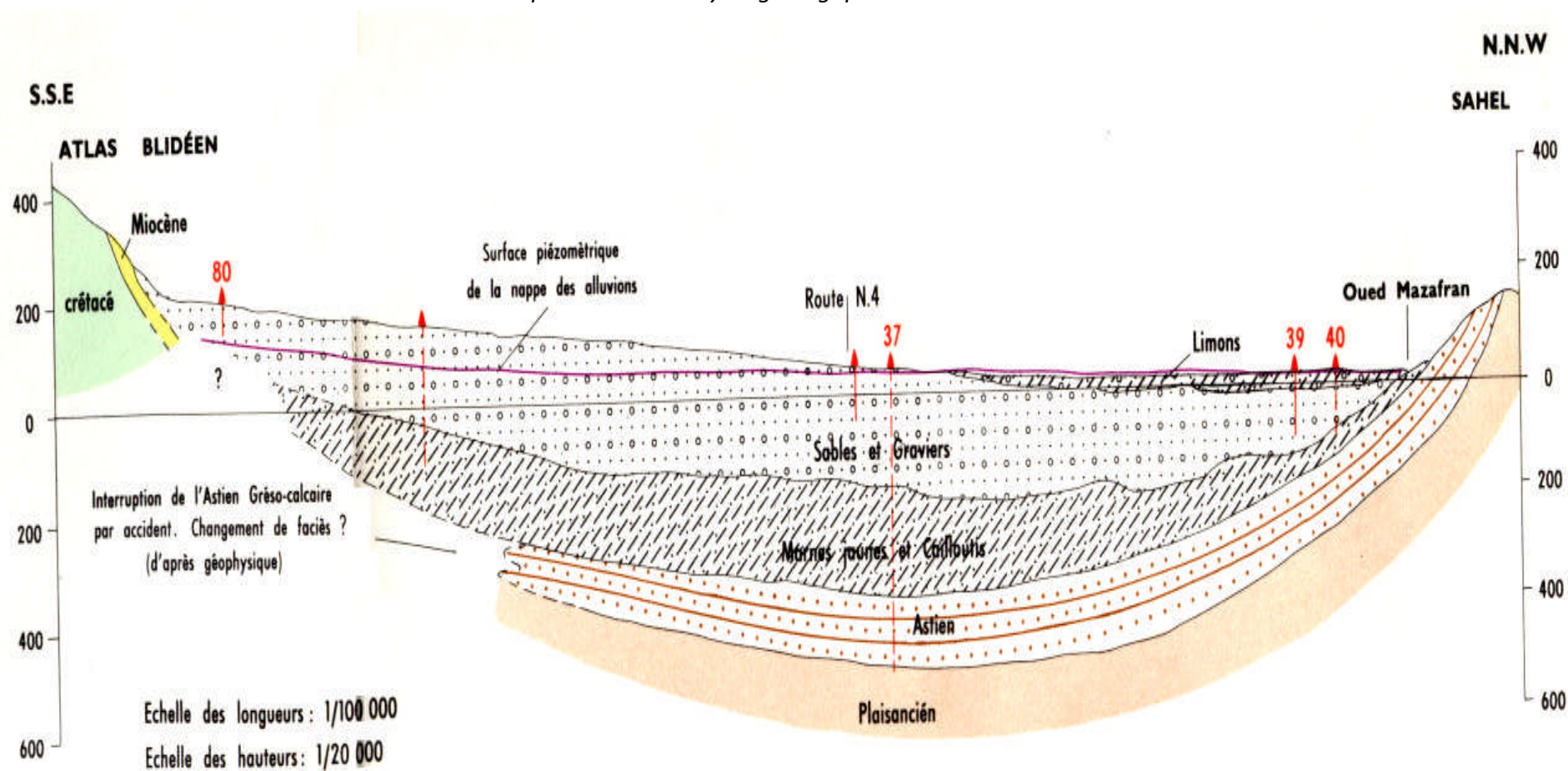


Figure III.2 : Coupe interprétative de la Mitidja dans le bassin du Mazafran

III.5 Alimentation et stockage de l'eau

III.5.1 Alimentation d'une nappe :

Les eaux souterraines proviennent essentiellement de l'infiltration des eaux superficielles: on parle d'eaux vadoses. Les eaux dites juvéniles sont d'origine profonde. Les eaux fossiles sont des eaux d'infiltration anciennes. Les eaux cannées sont des eaux salées datant de l'époque du dépôt des sédiments. Les eaux géothermales sont généralement des eaux vadoses réchauffées en profondeur.

La source d'alimentation en eau d'un bassin hydrologique est donc fournie par les précipitations efficaces, c'est à dire par le volume d'eau qui reste disponible à la surface du sol après soustraction des pertes par évapotranspiration réelle. L'eau se répartit en deux fractions:

- ✓ le ruissellement qui alimente l'écoulement de surface collecté par le réseau hydrographique;
- ✓ l'infiltration qui alimente le stock d'eau souterrain.

La hauteur d'infiltration est la quantité d'eau infiltrée à travers le sol pendant une durée déterminée. Le taux d'infiltration est le rapport entre la hauteur d'infiltration et la hauteur de précipitation efficace.

Les parts respectives du ruissellement et de l'infiltration sont régies par de nombreux facteurs:

- ✓ La géomorphologie du bassin: pente topographique, réseau hydrographique;
- ✓ La lithologie du sous-sol; le sol: nature, humidité, couverture végétale;
- ✓ La profondeur de la surface piézométrique;
- ✓ L'aménagement des eaux et des sols: barrages, dérivation des cours d'eau, rectification de lit, drainage des zones humides, imperméabilisation des surfaces (zones urbaines, voies de communication), pratiques agricoles...

L'infiltration efficace est la quantité d'eau qui parvient effectivement à la nappe: en effet il se produit de l'évapotranspiration pendant la migration de l'eau vers la profondeur.

III.6 Ressources en eau souterraine :

Les potentialités hydrogéologiques de la Mitidja dégagent une nappe importante dont les ressources disponibles sont estimées à 500 hm³. Cette nappe est constituée de deux ensembles de réservoirs aquifères: l'Astien et les alluvions du quaternaire. Le second réservoir, de loin le plus important, représente un apport de 295 hm³ par an, soit 60 % du volume global (Loucif, 2003).

Les ressources en eau souterraine du périmètre proviennent de la nappe de la Mitidja à travers les forages et les puits. Du fait que le barrage n'arrive pas à satisfaire la demande d'eau souscrite par les usagers ; ces derniers se rabattent sur la nappe au moyen de forages (autorisé ou non).

III.7 Propriétés des eaux souterraines

o Composition:

La nature géologique du sol détermine la composition chimique des eaux souterraines. L'eau est constamment en contact avec la terre sur laquelle elle stagne ou circule, ainsi l'équilibre se développe entre la composition du sol et celle de l'eau: c.-à-d. une eau qui circule dans un substratum sableux ou granitique est acide et possède quelques minerais. Une eau qui circule dans les calcaires contient l'alcalinité des bicarbonates. Le tableau suivant est un comparatif entre les caractéristiques de l'eau de surface et celles de l'eau souterraine en se basant sur les paramètres principaux d'analyse

Tableau III.1 : comparaison entre les caractéristiques d'eau de surface et celle de l'eau souterraine

Caractéristique	Eau de surface	Eau souterraine
Température	variable suivant les saisons	relativement constant
Turbidité, Solide en Suspension (SS)	niveaux variables, parfois élevé	faible ou nul (excepté dans les sols calcaires)

Suite et Fin du tableau III.1

Couleur	Due principalement à la SS (argiles, algues) excepté dans les eaux très douces ou acides (acide humique)	Due surtout aux solides dissouts
Teneur en minéraux	Varie avec les sols, les précipitations, les effluents, etc.	Constante, généralement plus élevée que pour l'eau de surface.
Fer divalent et Mn en solution	Souvent nul, excepté dans le fond des lacs et des étangs en cours d'eutrophication	Souvent présent
CO ₂ Agressif	Souvent nul	Souvent présent
O ₂ Dissout	Souvent près du niveau de saturation, absent dans l'eau très polluée	Souvent nul
H ₂ S	Souvent nul	Souvent présent
NH ₄	Trouvé seulement dans les eaux polluées	Souvent détecté
Nitrates	niveau généralement faible	niveau parfois élevé
Silice	proportions modérés	niveau souvent élevé
Micropolluants minéraux et organiques	Peut être présent mais disparaît rapidement une fois que la source est détecté	Habituellement aucun mais une pollution accidentelle peut rester à très long terme
Organismes vivants	Bactéries, virus, plancton	Bactéries de fer fréquemment trouvées
Solvant Chlorés	Rarement	Souvent présent
Nature eutrophique	Souvent. Augmente avec la température	Nul

Les principales caractéristiques des eaux souterraines sont : une turbidité faible, une température et une composition chimique constantes, et absence presque totale d'oxygène. Les eaux souterraines de circulation peuvent avoir de grandes variations de composition avec l'apparition de polluants et de divers contaminants. En outre, les eaux souterraines sont souvent très pures, microbiologiquement parlant.

III.8 Contamination des eaux souterraines :

Les eaux souterraines, dans la plupart des conditions, sont plus sûres et plus fiables que l'eau de surface.

Une des raisons est que l'eau de surface est plus facilement exposée aux polluants (des usines par exemple) que les eaux souterraines. Ceci ne veut pas dire que les eaux souterraines sont invulnérables à la contamination. Bien qu'il ne soit pas aussi vulnérable que l'eau de surface, les contaminants peuvent atteindre toujours des puits. Tous les produits chimiques qui sont facilement solubles et pénètrent le sol sont les principaux polluants des eaux souterraines.

Un polluant peut encore accéder à des puits éloignés grâce aux courants souterrains de l'eau. Par exemple, un produit chimique qui se renverse d'une usine industrielle située à grande distance, pourrait infiltrer la terre et, par la suite, infecter le système de couche aquifère qu'une communauté entière utilise pour leurs puits privés. Cette situation peut avoir des effets dévastateurs : une fois que des eaux souterraines sont souillées, il devient extrêmement coûteux d'enlever la contamination.

Si nous comparons un polluant organique d'une eau souterraine à un polluant organique d'une eau de surface, l'eau souterraine a moins de microbe pour absorber les polluants organiques, elle a aussi moins d'oxygène et moins de soleil que l'eau de surface pour permettre une évaporation des polluants organiques. Spécialement dans des eaux souterraines lentes, les polluants peuvent persister indéfiniment.

III.9 Conclusion :

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

- L'aquifère de l'Astien (calcaire-gréseux) se trouve en charge sous la formation d'El Harrach. Ses caractéristiques hydrodynamiques sont mal connues.
- L'aquifère de la Mitidja est représenté par une nappe libre sauf dans le bas Mazafran où elle captive.

Les transmissivités sont assez bonnes, mais parfois variables en raison de la diversité de la nature lithologique et de la géométrie de l'aquifère.

La sécheresse qui a frappé la région durant les deux dernières décennies a conduit les utilisateurs à surexploiter l'eau de l'aquifère alluviale. En effet l'historique de piézométrie montre que depuis la fin des années 1970, les débits sortant de l'aquifère sont supérieurs aux apports, ce qui a engendré une baisse brutale des niveaux piézométrique qui ont atteint les 45m dans la partie Ouest de la plaine.

IV.1 Introduction :

L'objectif de cette étude hydrochimique est de dresser un bilan des connaissances actuelles sur la qualité et les concentrations des eaux souterraines en divers éléments chimiques. Cette expertise est basé sur l'analyse de 25 échantillons d'eaux prélevés au cours de l'année 2009 dans différent ouvrages (forages et puits domestiques).

Les analyses chimiques des eaux effectuées au laboratoire de l'ANRH de Soumaa ont porté, en plus des paramètres physico-chimiques (PH, conductivité...) sur les éléments suivants :

- Anions : , , ,
- Cations : , , ,

L'hydrochimie est l'étude des caractéristiques physiques et chimiques de l'eau. Elle permet :

- de donner une idée de la qualité chimique de l'eau,
- de visualiser à l'aide de cartes en iso-teneurs, la répartition et l'évolution géographique des concentrations en éléments chimiques dissous,
- de disposer d'outils pour l'établissement de cartes de vulnérabilité et de risque de pollution.

IV.2 Paramètres physico-chimiques

IV.2.1 Paramètres physiques

Potentiel d'hydrogène PH :

Il détermine l'acidité ou l'alcalinité de l'eau qui correspond a l'activité des ions contenus dans l'eau. Seulement 16% des échantillons prélevés dans partie Ouest présentent un $PH < 7$, ce qui reflète l'alcalinité des eaux de la nappe.

Conductivité électrique :

La conductivité permet d'évaluer globalement la teneur de l'eau en sel dissous.

Elle est donnée en mmhos/cm. Les valeurs de conductivité varient entre 0.41 et 2.43 mmhos/cm.

IV.2.2 Les éléments chimiques

- **Les Cations :**

Les cations analysés sont le calcium, le magnésium, le sodium et le potassium.

- ✓ **Le Calcium (Ca^{2+}) :**

Sa présence résulte principalement de l'infiltration des eaux météoriques à travers des formations carbonatées. La dissolution qui s'en suit est favorisée par le gaz carbonique provenant de l'atmosphère et du sol.



Carte de la période des hautes eaux (mai2009) :

La carte de répartition du calcium de la période des hautes eaux (Figure IV.3) montre que les valeurs des concentrations en calcium varient entre 40 et 170 mg/l. Les fortes concentrations sont observées dans la région de Hattatba, Ahmer El Ain, Mouzaïa et El Affroun

Carte de la période des basses eaux (octobre 2009) :

Cette carte de répartition du calcium de la période des basses eaux (Figure IV.4) montre que les valeurs varient entre 10 et 180 mg/l. Les fortes concentrations sont observées dans les puits implantés dans les régions suivent Ahmer El Ain et Affroun (valeurs dépassent 250 mg/l). Les valeurs minimales enregistrées dans la partie est (région de Boufarik).

✓ **Le Magnésium (Mg^{2+}) :**

Second élément intervenant dans la dureté totale des eaux, le magnésium est moins abondant que le calcium et le sodium. En effet, la majorité des puits de la plaine de Mitidja Ouest présentent des teneurs inférieures à la norme admissible de 50 mg/l, fixée par l'OMS.

Il peut avoir deux origines :

- Les calcaires dolomitiques qui libèrent le magnésium par dissolution, en présence du gaz carbonique.
- La dissolution du $Mg SO_4$ des terrains gypseux.

Carte de la période des hautes eaux (mai 2009) :

La carte de répartition du magnésium de la période des hautes eaux (Figure IV.5) montre que les valeurs des concentrations en magnésium varient entre 15 et 85 mg/l. Les fortes concentrations sont observées dans la région d'Ahmer El Ain, Mouzaïa et El Affroun

Carte de la période des basses eaux (octobre 2009) :

Cette carte de répartition du calcium de la période des basses eaux (Figure IV.6) montre que les valeurs varient entre 15 et 80 mg/l. Les fortes concentrations sont observées dans les puits implantés dans les régions suivantes Mouzaïa et Affroun.

✓ **Le sodium et potassium (Na^+ et K^+) :**

Les teneurs en sodium admises par l'O.M.S. sont de l'ordre de 100 mg/l tandis que celles du potassium, très souvent en très faibles quantités dans les eaux, ne présentant pas d'inconvénient majeur.

Mis à part la dissolution de couches salifères, le sodium dans les eaux peut provenir :

- du lessivage des formations riches en (argiles- marnes),
- des eaux usées d'origine industrielle et domestique,
- de l'invasion d'eau marine.

Carte de la période des hautes eaux (mai2009) :

Les teneurs observées dans les eaux de la nappe de Mitidja Ouest s'échelonnent entre 30 à 150 mg/l pour le sodium (Figure IV.7) et entre 2.6 et 5.6 mg/l pour le potassium (Figure IV.9). Cartes de répartition du sodium et potassium révèlent que les fortes concentrations s'observer au niveau des forages qui jouxtent l'oued Bouroumi.

Carte de la période des basses eaux (octobre 2009) :

L'interprétation des cartes de répartition du sodium et potassium respectivement (Figure IV.8 et IV.10) pour la période des basses eaux montre presque la même allure que les eaux de la période des hautes eaux avec des valeurs variant entre 10 et 170 mg/l pour le sodium et entre 1.2 et 3.8 mg/l pour le potassium.

• **Les Anions :**

Les anions analysés sont les chlorures, les sulfates et les bicarbonates.

✓ **Les Chlorures (Cl⁻) :**

On les trouve en grandes quantités dans les eaux souterraines de la nappe étudiée.

Carte de la période des hautes eaux (mai2009) :

L'analyse de la carte de répartition des chlorures (Figure IV.11), permet de voir que tout les valeurs sont faibles (< 200 mg/l) ; sauf les régions suivantes : d'Ahmer El Ain, Mouzaïa et El Affroun (>200 mg/l) jusqu'au 260 mg/l.

Carte de la période des basses eaux (octobre 2009) :

L'interprétation la carte de répartition des chlorures (Figure IV.12), montre que les fortes valeurs se trouvent sur la rive gauche de l'oued Bouroumi. Nous constatons des valeurs supérieures dans la nappe, sauf dans la partie Est de l'oued de Bouroumi où les concentrations sont inférieures à 250 mg/l.

✓ **Les Sulfates () :**

Les sulfates sont présents dans l'eau en quantités variables. Leur présence résulte :

- de la solubilité des formations gypseuses en amont du bassin versant ou du lessivage des niveaux argileux et marneux constituant la nappe,

Chapitre IV : Etude hydrochimique

- des rejets d'eaux usées et industrielles contenant de l'acide sulfurique (H₂SO₄),
- l'utilisation d'engrais chimiques.

Carte de la période des hautes eaux (mai 2009) :

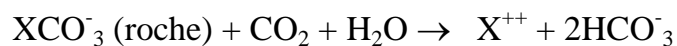
Pour la période des hautes eaux, les teneurs en sulfates varient de 35 à 500 mg/l (Figure IV.13). Les fortes concentrations (> 300 mg/l) se trouvent dans la région sud ouest de la nappe.

Carte de la période des basses eaux (octobre 2009) :

L'interprétation des cartes de répartition du sulfate (Figure IV.14) pour la période des basses eaux montre presque la même allure que les eaux de la période des hautes eaux avec des valeurs variant entre 35 et 350 mg/l.

✓ **Les Bicarbonates (HCO⁻³) :**

Les bicarbonates sont le résultat de l'équilibre physico-chimique entre la roche, l'eau et le gaz carbonique, selon l'équation générale suivante :



La concentration des bicarbonates dans l'eau est fonction des paramètres suivants :

- température de l'eau,
- tension du CO₂ dissous,
- concentration de l'eau en sels et nature lithologique des terrains traversés.

Carte de la période des hautes eaux (mai 2009) :

Pour la période des hautes eaux, les teneurs en bicarbonates sont comprises entre 190 et 390 mg/l (Figure IV.15).

Les fortes concentrations (> 300 mg/l) se trouvent dans la région sud ouest de la nappe.

Carte de la période des basses eaux (octobre 2009) :

La carte d'iso-teneurs en bicarbonates de la période des basses eaux (Figure IV.16) met en évidence deux zones à forte concentration, l'une s'observe au niveau des forages qui jouxtent l'oued Bouroumi.

L'autre s'observe au niveau des forages qui jouxtent l'oued Chiffa.

✓ **Les Nitrates (NO_3^-) :**

Les nitrates (NO_3^-) sont les polluants les plus fréquents dans les eaux souterraines peu profondes du fait de la multiplicité des sources ponctuelles de contamination (rejets d'eaux usées, fosses septiques) et diffuses (agriculture). Des concentrations élevées en nitrates dans l'eau potable entraînent des problèmes de santé tels que la méthémoglobinémie chez les enfants et les nourrissons et le cancer de l'estomac chez les adultes. Les valeurs limites de concentration admissible en nitrates dans l'eau potable ont été fixées par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) à 50 mg/l.

Carte de la période des hautes eaux (mai2009) :

Pour la période des hautes eaux, les teneurs en nitrate varient de 35 à 120 mg/l (Figure IV.17). Les fortes concentrations (> 50 mg/l) se trouvent dans la région sud ouest de la nappe.

Carte de la période des basses eaux (octobre 2009) :

L'interprétation des cartes de répartition du nitrate (Figure IV.18) pour la période des basses eaux montre presque la même allure que les eaux de la période des hautes eaux avec des valeurs variant entre 28 et 68 mg/l.

Remarque : pour le reste des cartes iso-teneur, voir l'annexe

IV.3 Conclusion :

Les résultats de l'analyse chimique effectuée sur les eaux souterraines de la nappe alluviale du Haut Cheliff montrent :

- ✓ Un pH variant, entre 7.1 et 8.1, ce qui correspond aux normes de potabilité
- ✓ Une Famille des eaux chlorurées et sulfatées calciques et magnésiennes, qui englobe la majorité des points d'eau analysés
- ✓ La zone la plus chargée en nitrates se situe à l'extrémité Sud-ouest de la plaine (entre les villes Ahmer El Ain, Affroun, Mouzaïa) avec des valeurs supérieures à 120 mg/l.

IV.4 Relation entre la variation des teneurs des polluants et niveau statique de la nappe :

Tableau IV.1: Evolution des teneurs en (NO₃) et de la piézométrie et de la précipitation annuelle de 2004-2009 pour le point d'eau W062-332 :

Mois-Année	Teneurs en NO₃ [mg/l]	Piézométrie[m]	Précipitation annuelle [mm]
mai-04	35	29.15	442.5
octobre-04	54	33.6	
mai-05	41.0	39.8	396.2
octobre -05	39.0	63.5	
mai-06	42.0	38.4	619.1
octobre -06	48.2	34.73	
mai-07	92.9	28	543.6
octobre -07	53.5	48.2	
mai-08	64.3	30	548.4
octobre -08	49	53.1	
mai-09	87.2	30	620.4
octobre -09	52	60	

Source : ANRH

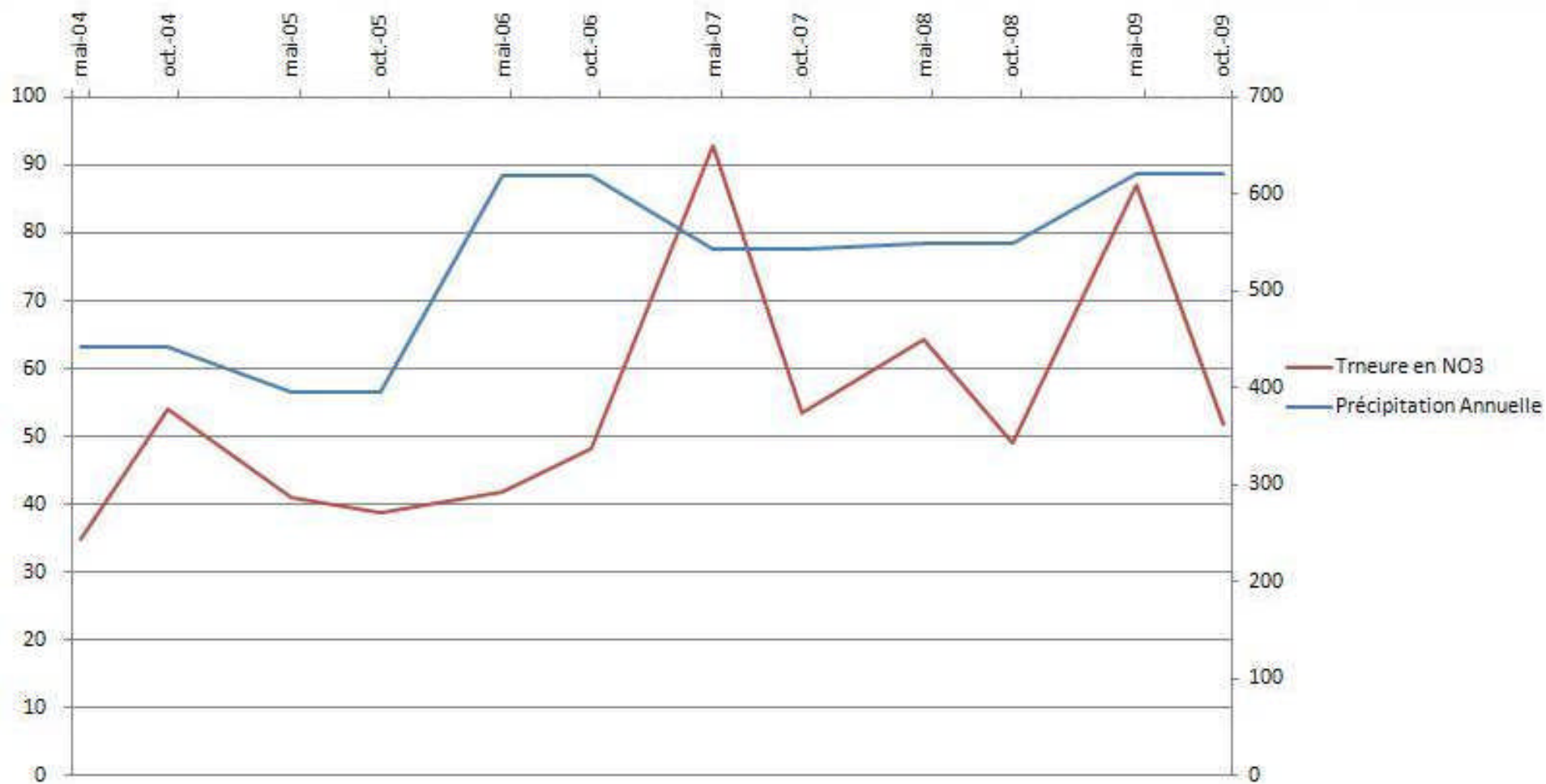


Figure IV.5 : Evolution des teneures en NO3 et de la précipitation annuelle de 2004-2009 pour le point d'eau W062-332

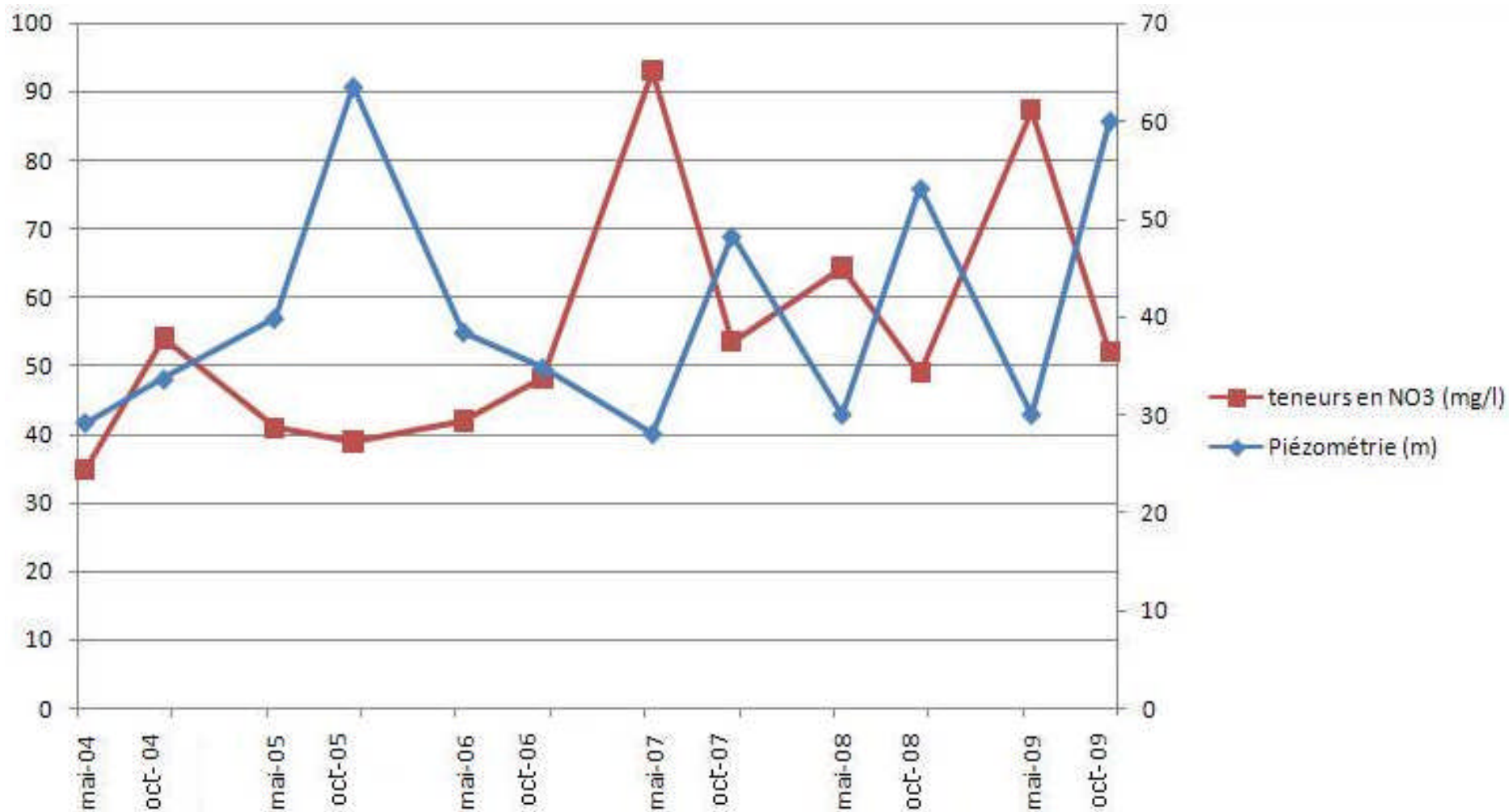


Figure IV.6 : Evolution des teneurs en NO₃ et de la piézométrie de 2004-2009 pour le point d'eau W062-332

Tableau IV.2 : Evolution des teneurs en NO₃ et de la piézométrie et de la précipitation annuelle de 2004-2009 pour le point d'eau W062-251:

Mois-Année	Teneurs en NO₃ [mg/l]	Piézométrie[m]	Précipitation annuelle [mm]
mai-04	43	15.00	329.5
octobre -04	48	11.40	
mai-05	52.1	10.00	404.2
octobre -05	59.3	12.24	
mai-06	44.1	10.80	491.3
octobre -06	52.1	12.57	
mai-07	33.1	10.95	417.9
octobre -07	72.2	16.40	
mai-08	42.8	12.00	425.3
octobre-08	82.8	16.40	
mai-09	51.2	14.30	472.4
octobre-09	72.3	18.20	

Source : ANRH

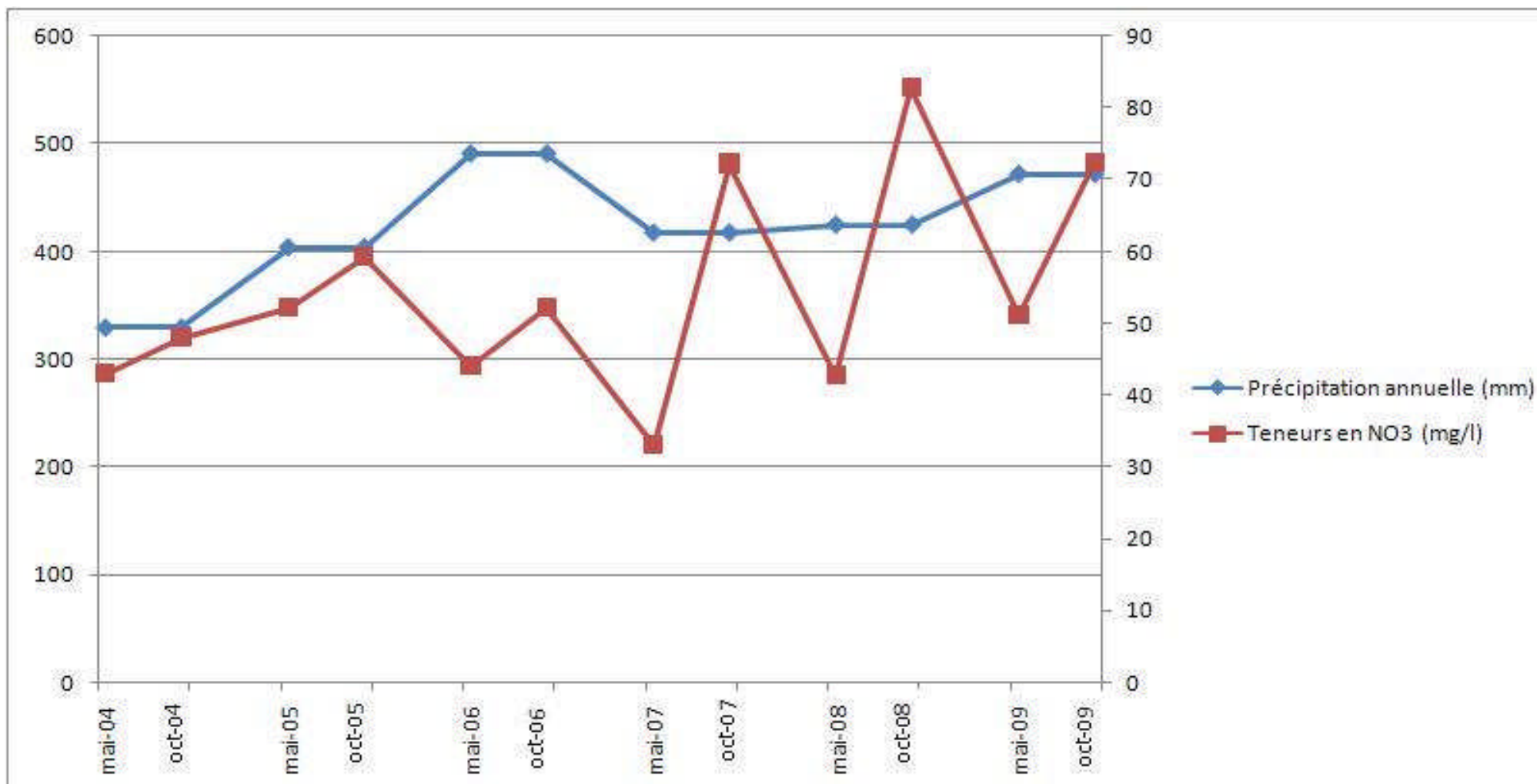


Figure IV.7 : Evolution des teneurs en NO3 et de la précipitation annuelle de 2004-2009 pour le point d'eau W062-251

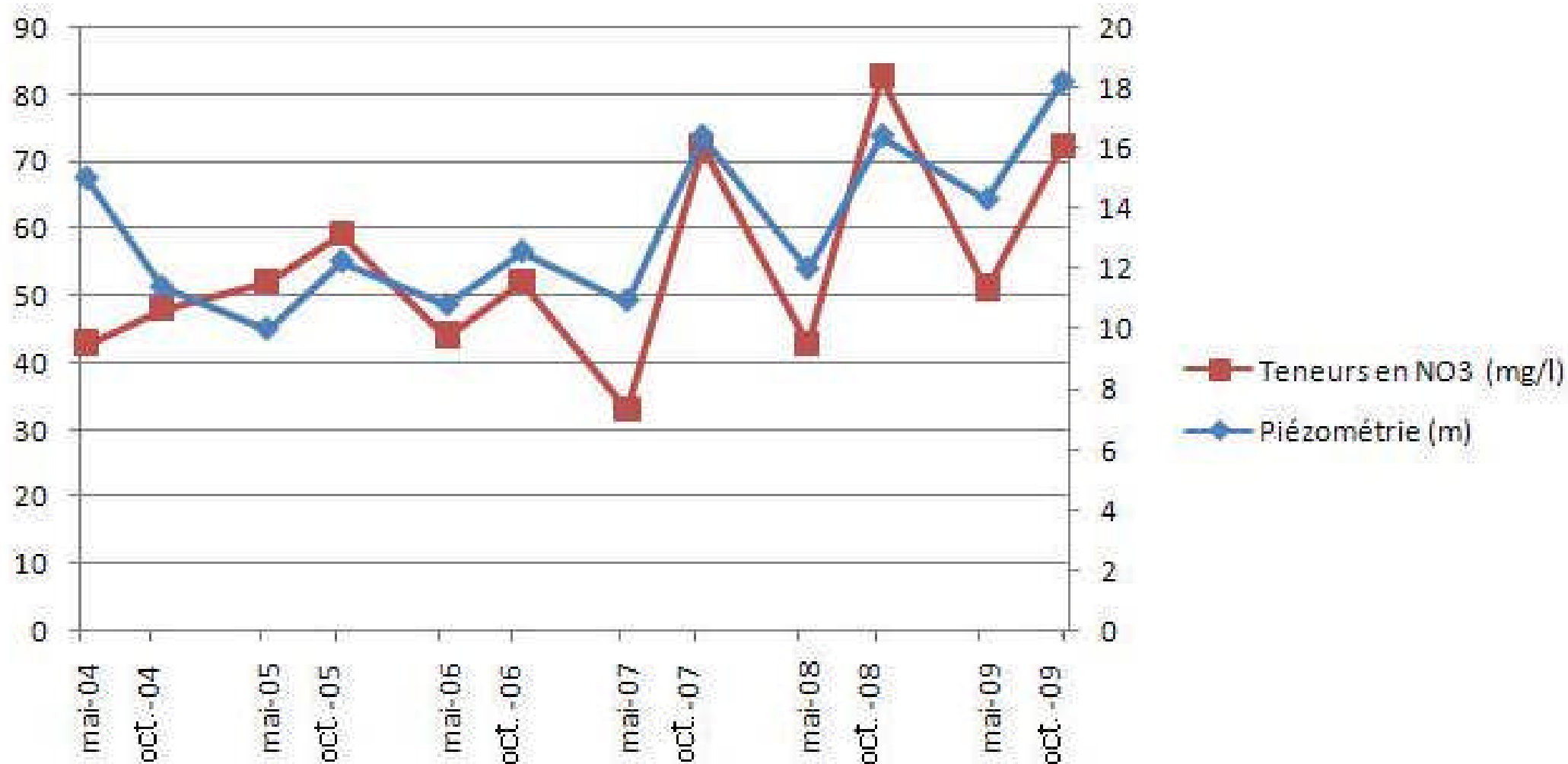


Figure IV.8 : Evolution des teneurs en NO₃ et de la piézométrie de 2004-2009 pour le point d'eau W062-251

Tableau IV.3 : Evolution de teneur en NO₃ et de la piézométrie et de la précipitation annuelle de 2004-2009 pour le point d'eau W062-335:

Mois-Année	Teneurs en NO₃ [mg/l]	Piézométrie[m]	Précipitation annuelle [mm]
mai-04	35	46.80	269.3
octobre -04	54	48.50	
mai-05	42	42.20	512.6
octobre -05	70.6	43.20	
mai-06	29.2	32.00	404.6
octobre -06	51.2	43.23	
mai-07	47.6	32.93	505.3
octobre -07	72.3	54.30	
mai-08	48.0	32.30	425.6
octobre-08	82.6	50.10	
mai-09	39.2	36.20	512.3
octobre-09	59.3	55.20	

Source : ANRH



Figure IV.9 : Evolution de teneur en NO₃ et de la précipitation annuelle de 2004-2009 pour le point d'eau W062-

335

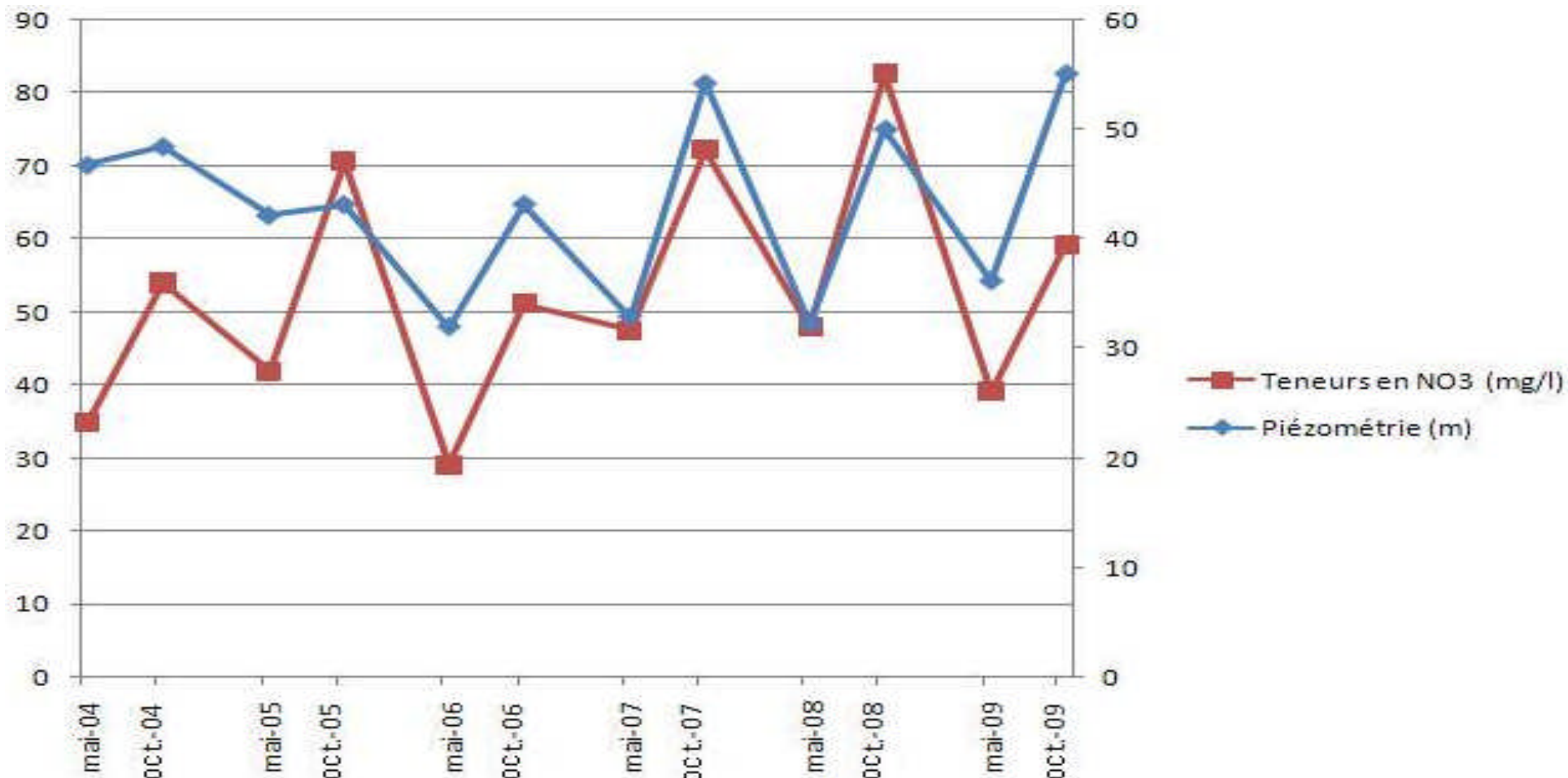


Figure IV.10 : Evolution de teneur en NO₃ et de la piézométrie de 2004-2009 pour le point d'eau W062-335

IV.5 Interprétation:

D'après les cartes d'iso-teneures en nitrate représentées sur les figures : IV.17 et IV.18, on constate que les concentrations maximales en nitrate sont détectées dans la région se situant entre Ahmer El Ain, Affroun, et Mouzaïa et d'après la coupe géologique représentée sur la figure (III.2), on remarque que le sens d'orientation de l'écoulement souterrain est le suivant : N.E → S.O car la géologie du site forme une espèce de cuvette dont le centre se situe dans la région désignée.

De ce fait, on peut dire l'origine de la pollution azotée ne peut être que l'infiltration des nitrates après lessivage des sols renfermant des parcelles riches en engrais, et vu le cheminement d'écoulement souterrain préférentiel quelles empreintes, elles débouchent vers le centre de la cuvette (la région citée) venant des différentes parcelles situées plus à l'Est et au Nord-Est.

D'autant plus que les apports en engrais dans la région en question sont beaucoup plus intensifiés car elle renferme des parcelles abritant des cultures marichaires, agrumes..., contrairement aux parcelles des régions plus à l'Est et Nord-Est qui sont caractérisées par l'arboriculture.

IV.6 Conclusion :

A partir de tous ce travail, nous remarquons que les zones touchées par la pollution (Ahmer El Ain, Affroun ...) changent durant la période 2003-2009 pour les deux campagnes de mai et d'octobre. Nous savons que la pollution par les nitrates est une pollution permanente et non accidentel et le meilleur exemple qui est présent en force à travers toute la région de la Mitidja Ouest c'est sûrement à cause de l'excès d'engrais sachant que cette région est réputée pour son activité agricole.

Conclusion générale

Conclusion générale :

En guise de conclusion, notre étude a porté sur la pollution de la nappe de la Mitidja ouest située entre l'Atlas Tellien au sud, et une chaîne de collines au nord, le Sahel à l'extrême est, elle est largement ouverte sur la mer, sur une trentaine de kilomètres

Au cours de cette étude nous avons constaté qu'il existe des problèmes de pollution azotée et d'autres éléments. Au sein des régions Mouzaïa, Ahmer El Ain, et Affroun. Ces problèmes sont dus à la sur-exploitation de la nappe, ajoutons à cela l'utilisation intense des amendements chimiques et organiques qui s'infiltrent avec les eaux pluviales. Ainsi la structure géologique de la région favorise le transport des polluants aux régions citées-à-dessus.

De plus, la structure géologique et pédologique de la région Ahmer El Ain forme une sorte d'obstacle ou de barrage souterrain permettant la concentration des eaux transportées contenant les polluants qui vont avec.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] : Nathalie Ray, cours de géologie, site internet.
- [2] : Génie alimentaire, Wanadoo.fr, Site Internet.
- [3] : AISSA HANANE.2009 : Analyse de la sensibilité des bassins versant de la Mitidja centre et ouest .Mémoire d'ingénieur. Ecole nationale supérieure de l'hydraulique.
- [4] : Lemiere.B et Guern.C, « Guide sur les comportements des polluants dans les sols et les nappes », édition presses internationales polytechniques, 1999.
- [5] : Mimouni, O, Gaid.A, Chibane.B, Akli.A, 1989-Pollution par les nitrates des eaux souterraines de la plaine de la Mitidja.Rev « Eaux et sols d'Algérie »N° 3, ANRH, Alger.
- [6] : Organisation Mondiale de la Santé, extrait des normes Européenne applicable à l'eau de boisson, Genève 1962.
- [7] : Enviro Services France, Site Internet.
- [8] : Ministère de l'agriculture, de l'alimentation et des affaires rurales Français. Document technique FNDAE, Hors série N° 4.
- [9] : Rémy et Hébert, 1977.
- [10] : Banque mondiale, 2001.
- [11] : Loucif (2002).

ANNEXE

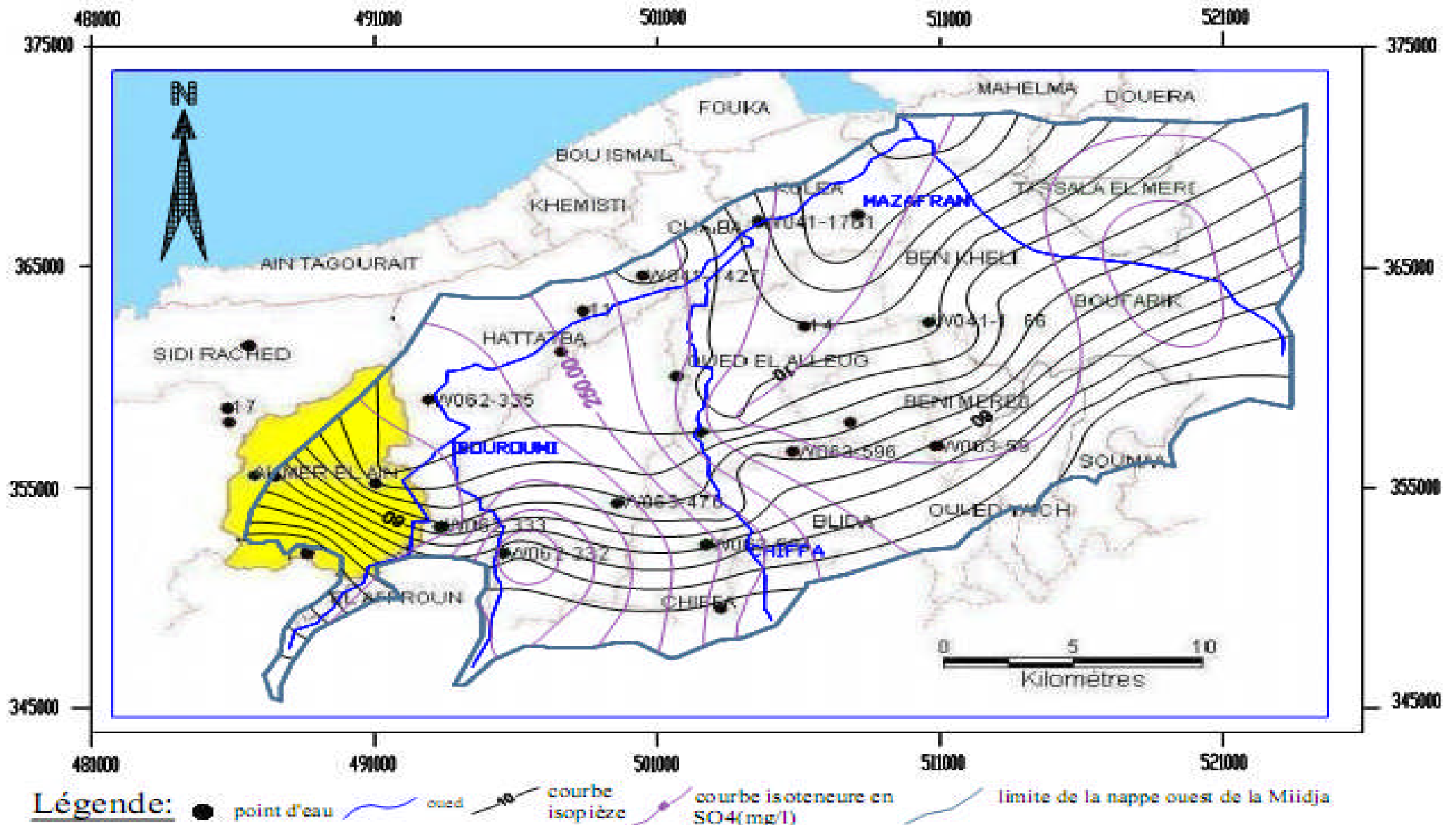


Figure IV.13 : Carte d'iso-teneur en Sulfate des eaux de la nappe Ouest de la Mitidja (campagne des Hautes eaux 2009)

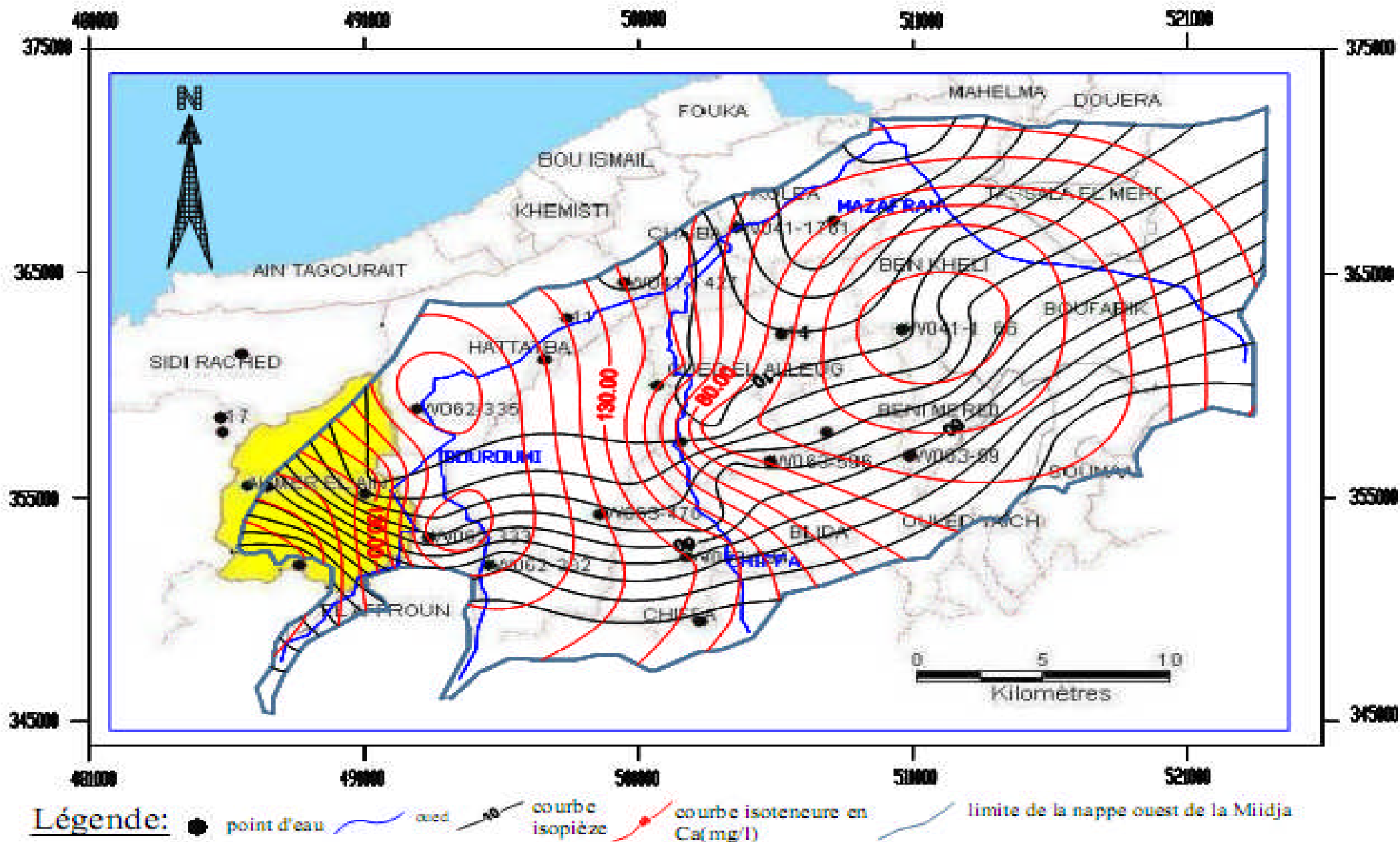


Figure IV.3 : Carte d'iso-teneur en Calcium des eaux de la nappe Ouest de la Mitidja (campagne des hautes eaux 2009)

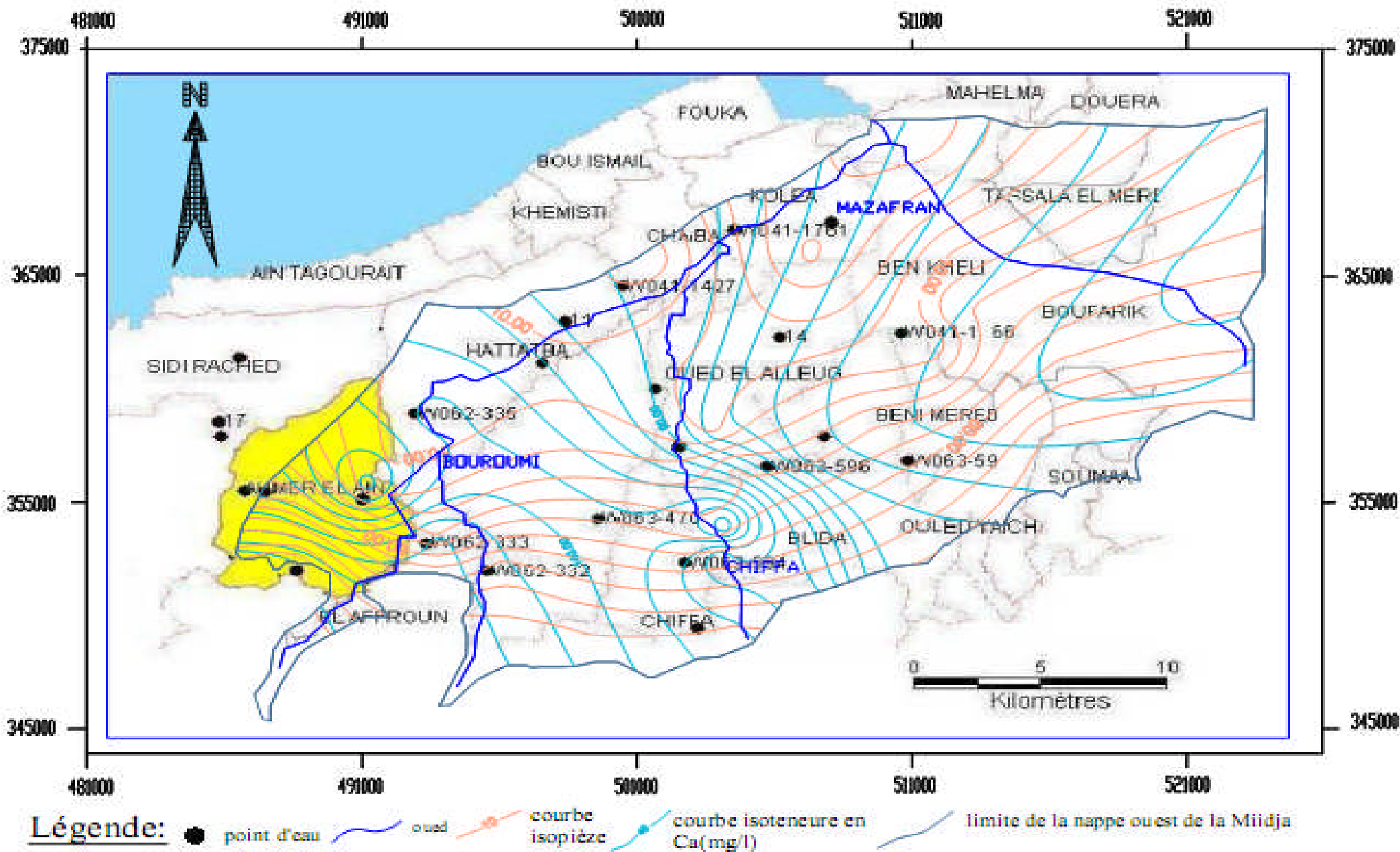


Figure IV.3 : Carte d'iso-teneur en Calcium des eaux de la nappe Ouest de la Mitidja (campagne des basses eaux 2009)

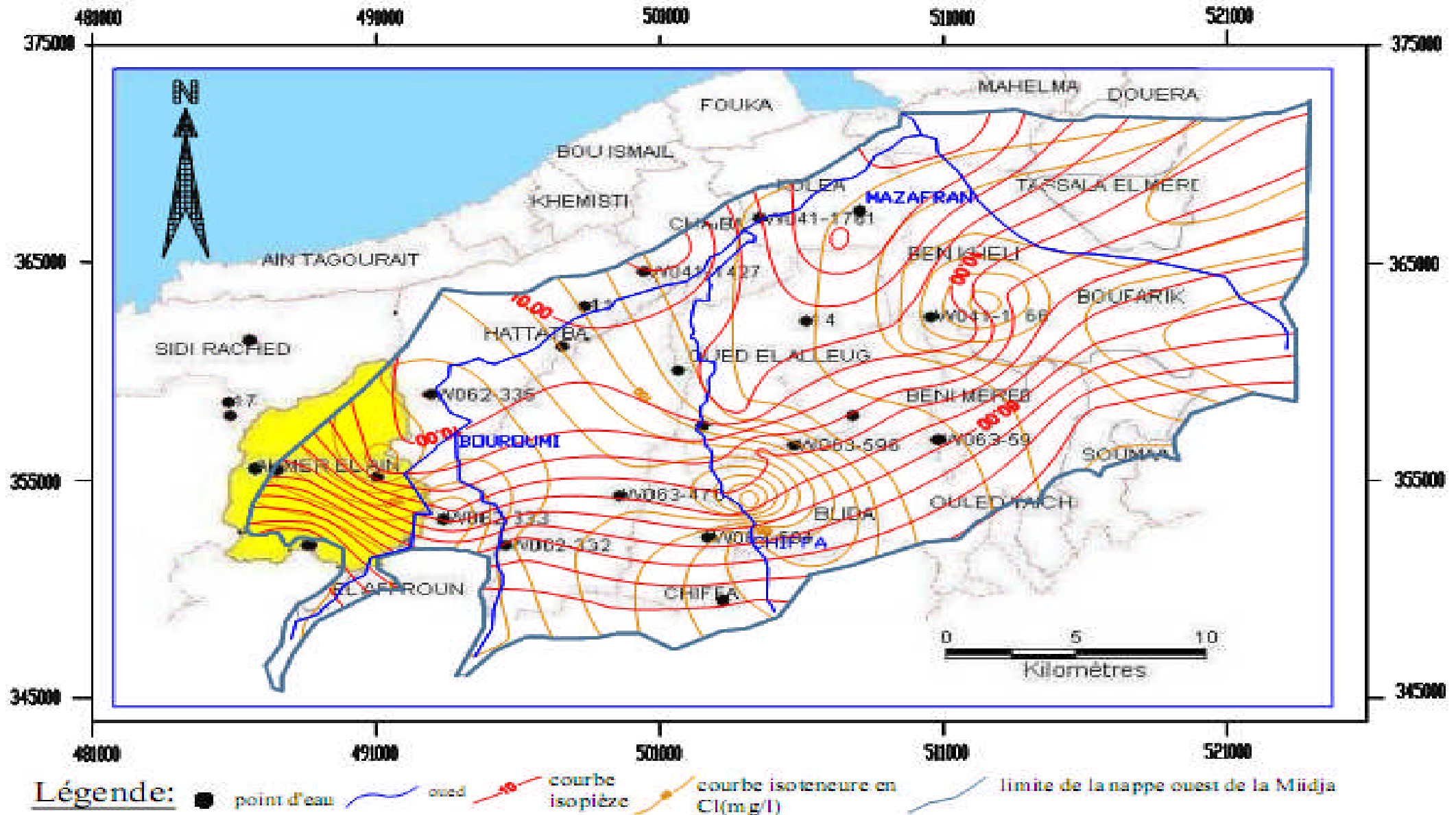


Figure IV.12 : Carte d'iso-teneur en Chlorure des eaux de la nappe Ouest de la Mitidja (campagne des basses eaux 2009)

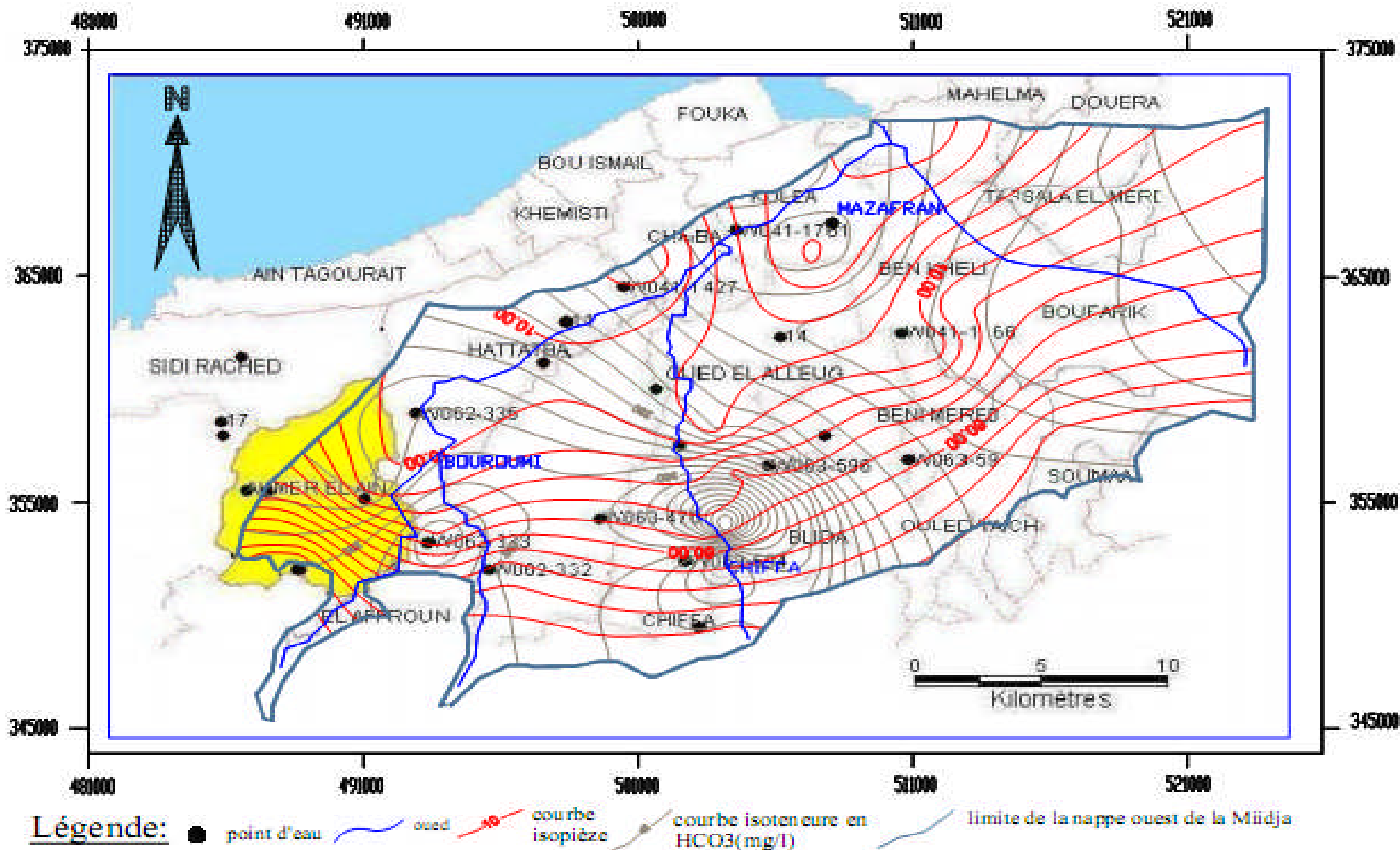


Figure IV.16 : Carte d'iso-teneur en Bicarbonate des eaux de la nappe Ouest de la Mitidja (campagne des Basses eaux 2009)

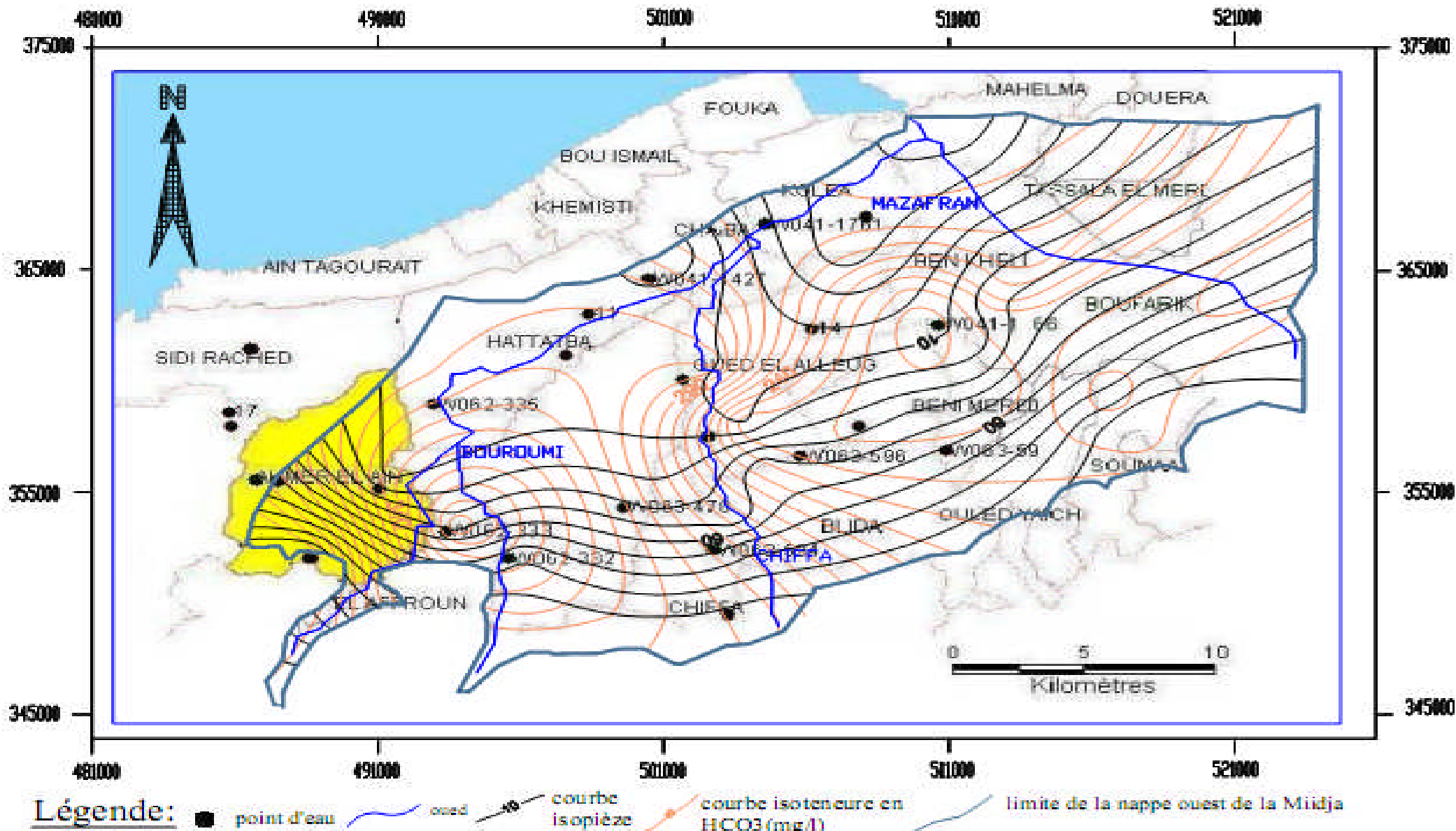


Figure IV.15 : Carte d'iso-teneur en Bicarbonate des eaux de la nappe Ouest de la Mitidja (campagne des Hautes eaux 2009)

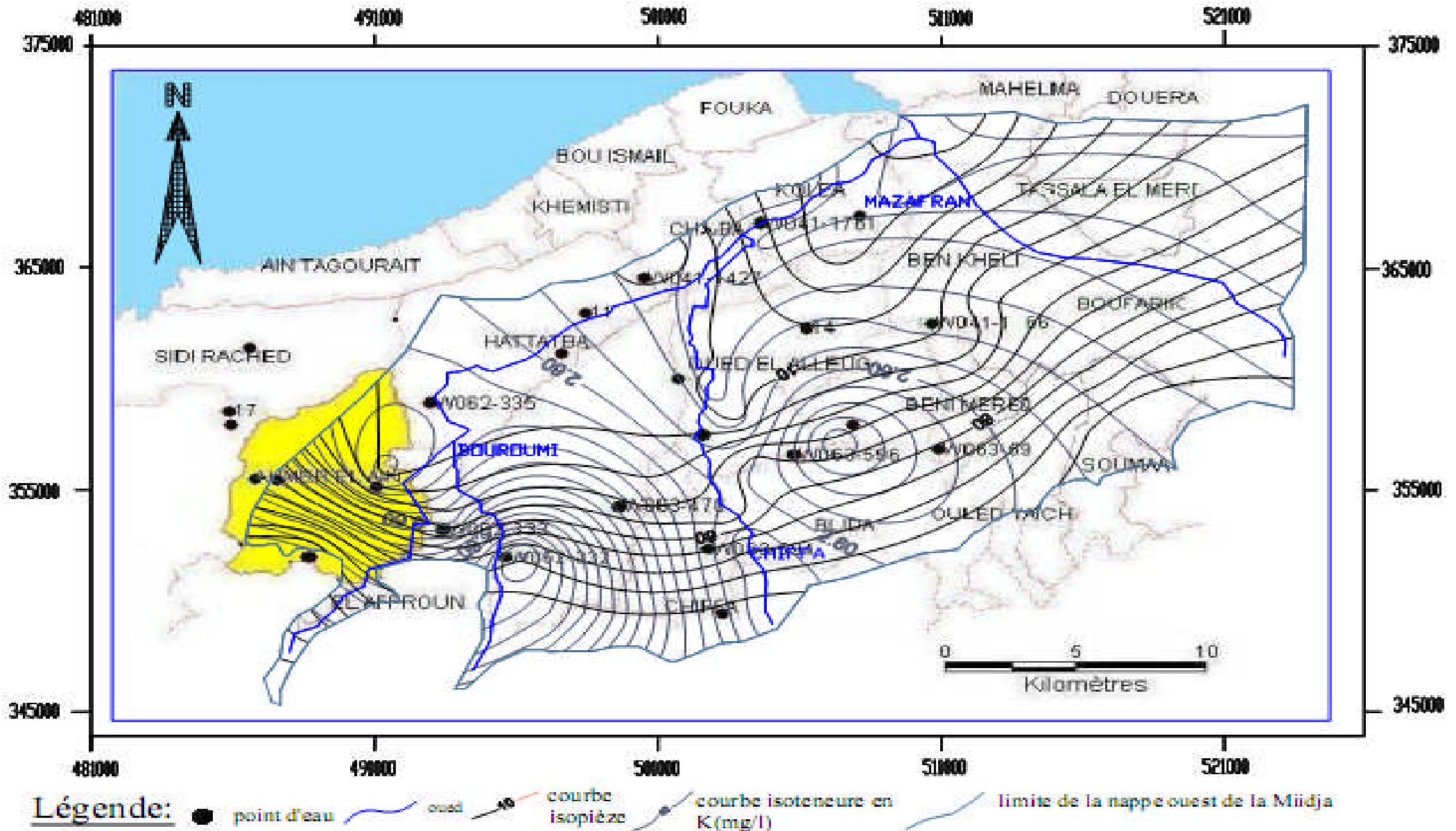


Figure IV.9 : Carte d'iso-teneur en Potassium des eaux de la nappe Ouest de la Mitidja (campagne des Hautes eaux 2009)

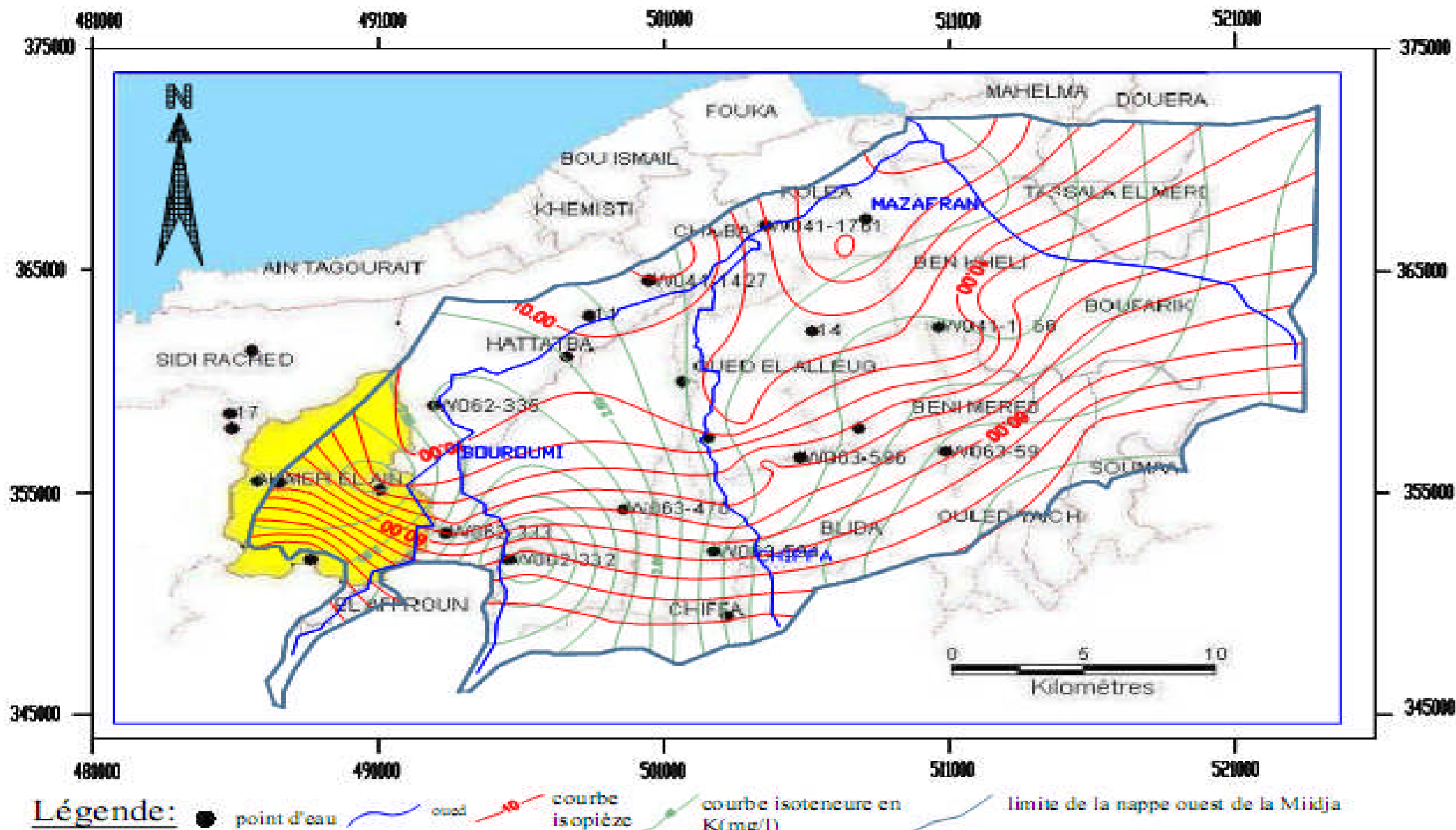
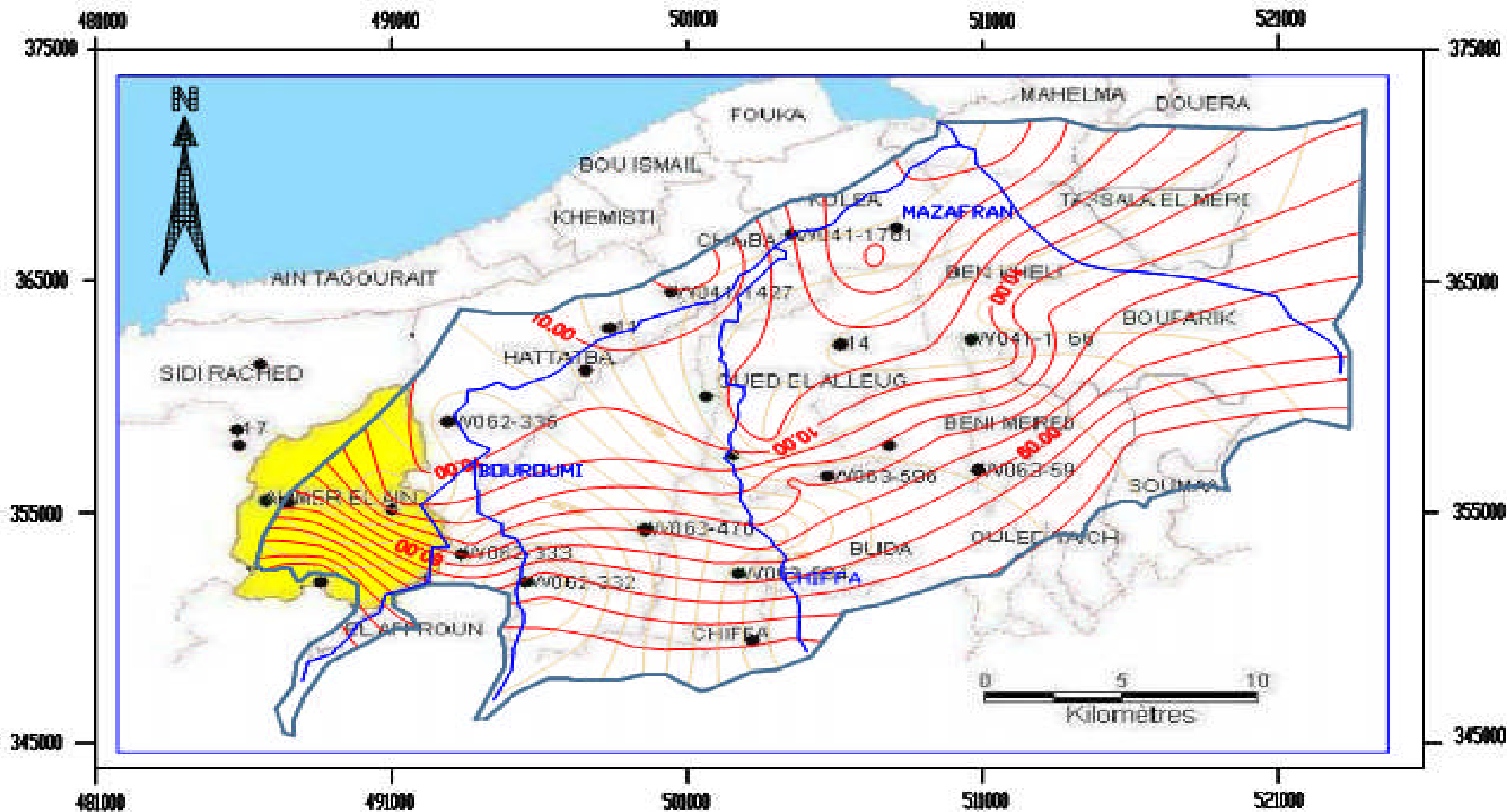


Figure IV.10 : Carte d'iso-teneur en Potassium des eaux de la nappe Ouest de la Mitidja (campagne des basses eaux 2009)



Légende: ● point d'eau oued courbe isopièze courbe isoteneur en Mg(mg/l) limite de la nappe ouest de la Mitidja

Figure IV.6 : Carte d'iso-teneur en Magnésium des eaux de la nappe Ouest de la Mitidja (campagne des basses eaux 2009)

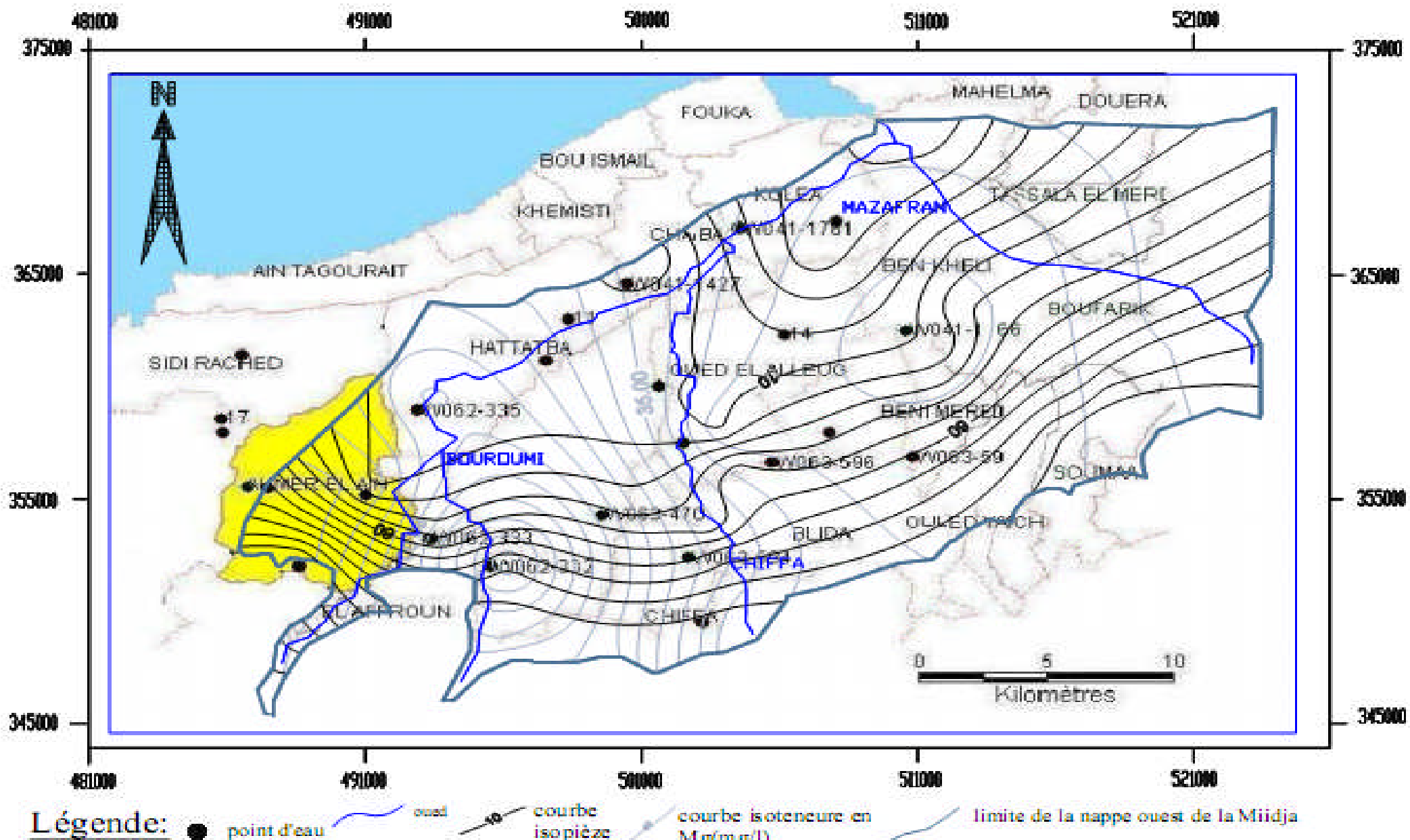
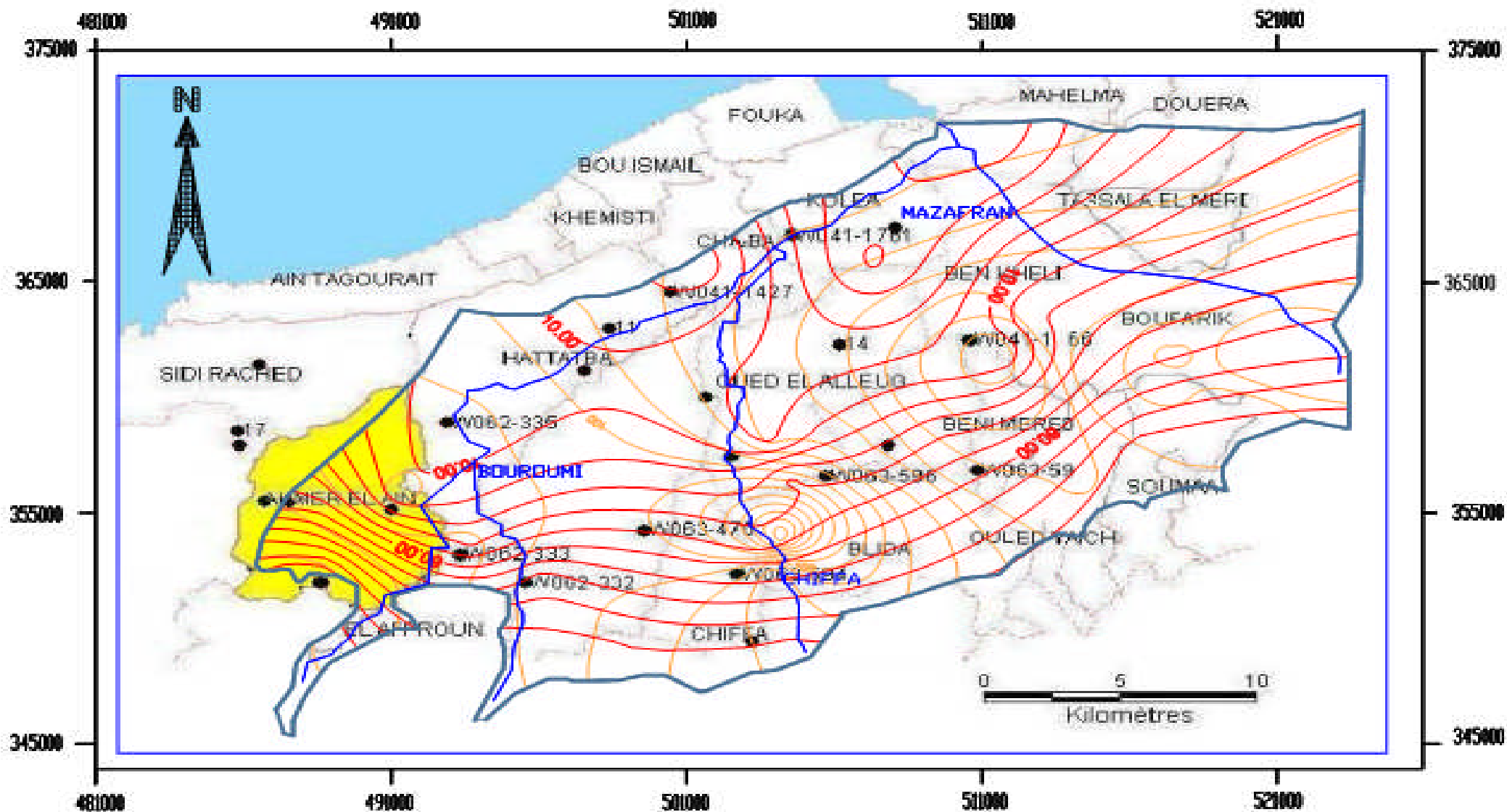
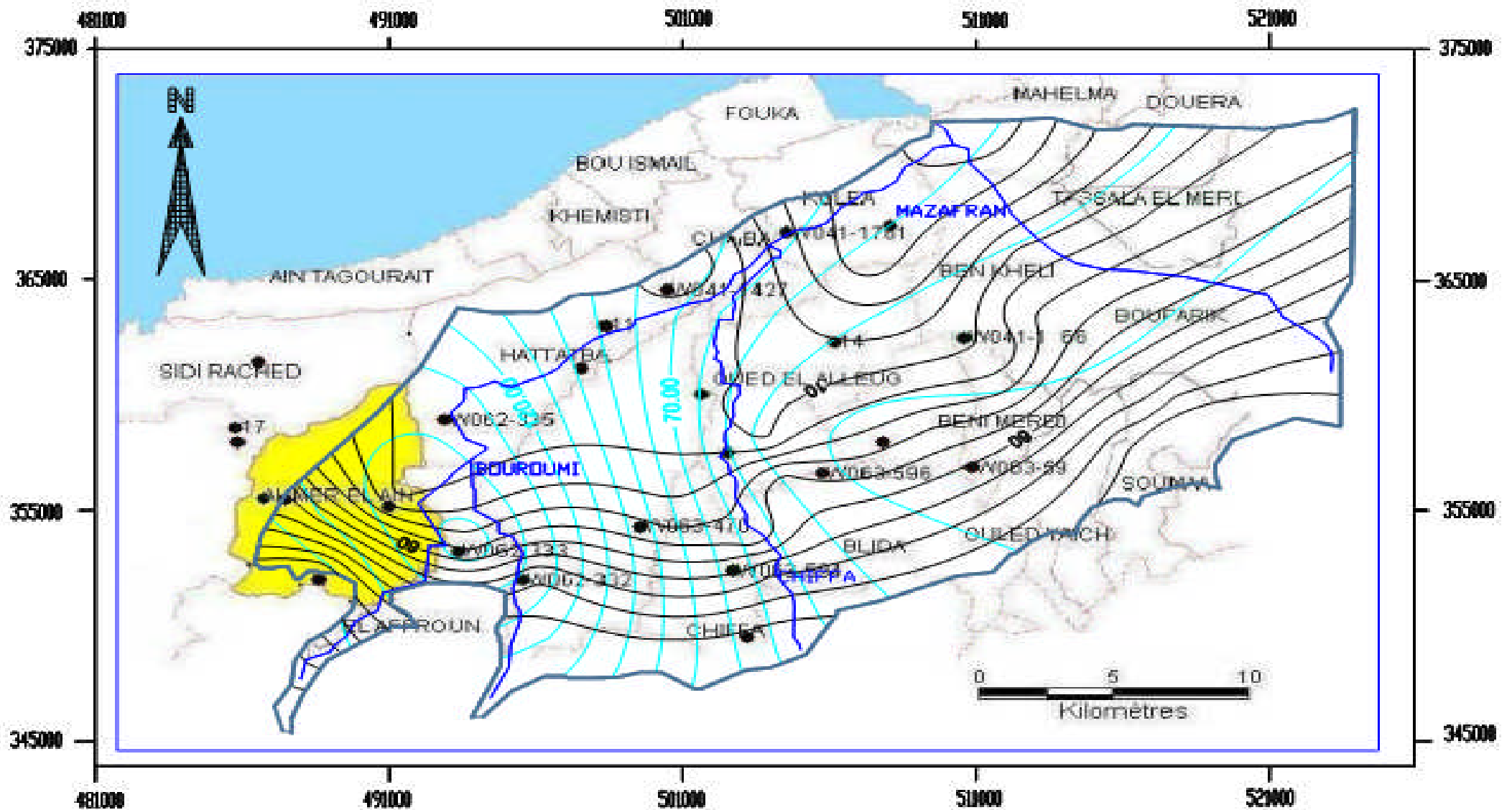


Figure IV.5 : Carte d'iso-teneur en Magnésium des eaux de la nappe Ouest de la Mitidja (campagne des Hautes eaux 2009)



Légende: ● point d'eau oued courbe isopièze courbe isoteneure en Na(mg/l) limite de la nappe ouest de la Mitidja

Figure IV.8 : Carte d'iso-teneur en Sodium des eaux de la nappe Ouest de la Mitidja (campagne des basses eaux 2009)



Légende: ● point d'eau oued courbe isopièze courbe isoteneure en Na(mg/l) limite de la nappe ouest de la Mitidja

Figure IV.7 : Carte d'iso-teneur en Sodium des eaux de la nappe Ouest de la Mitidja (campagne des Hautes eaux 2009)

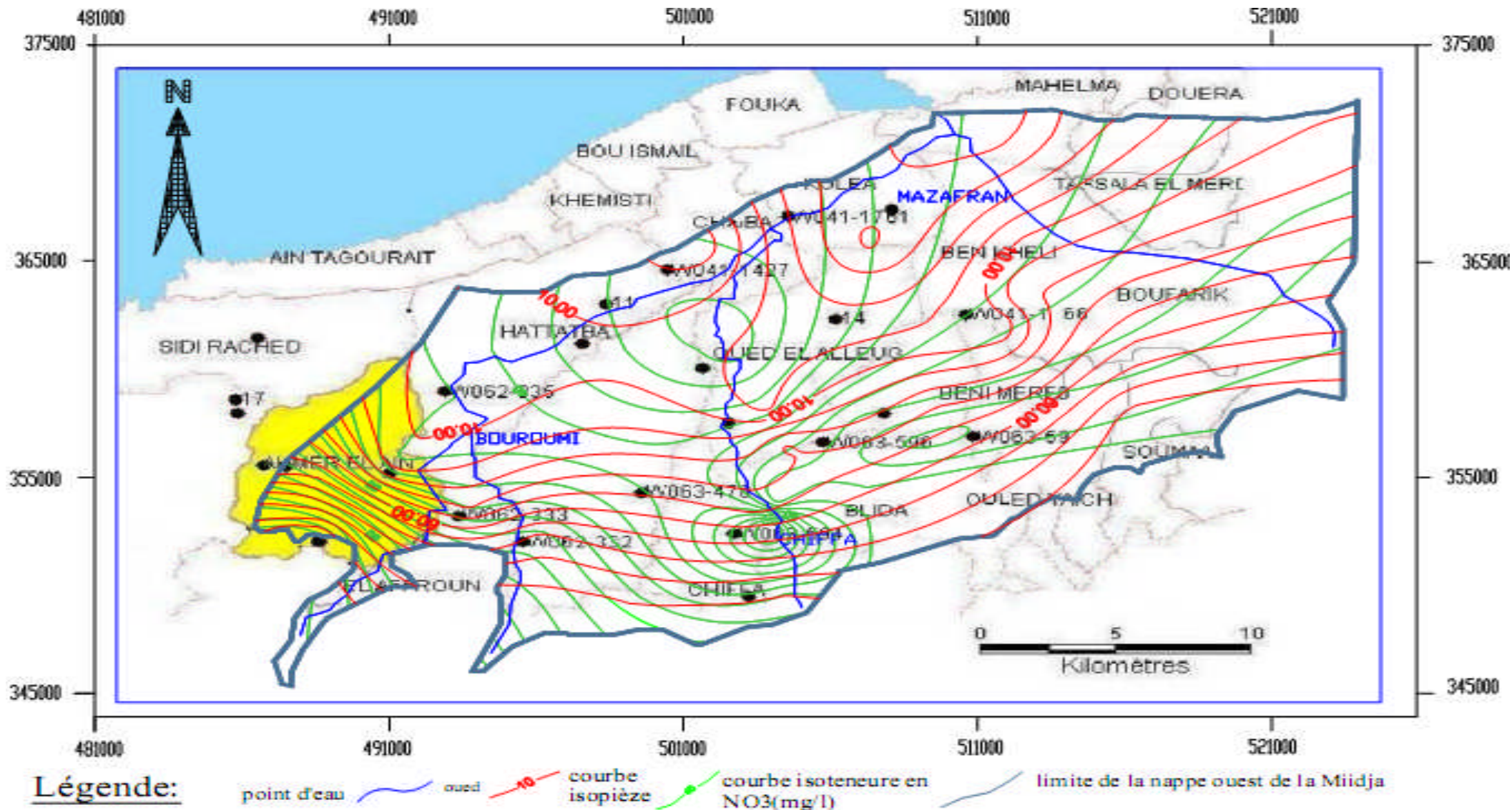


Figure IV.18 : Carte d'iso-teneur en Nitrate des eaux de la nappe Ouest de la Mitidja (campagne des basses eaux 2009)

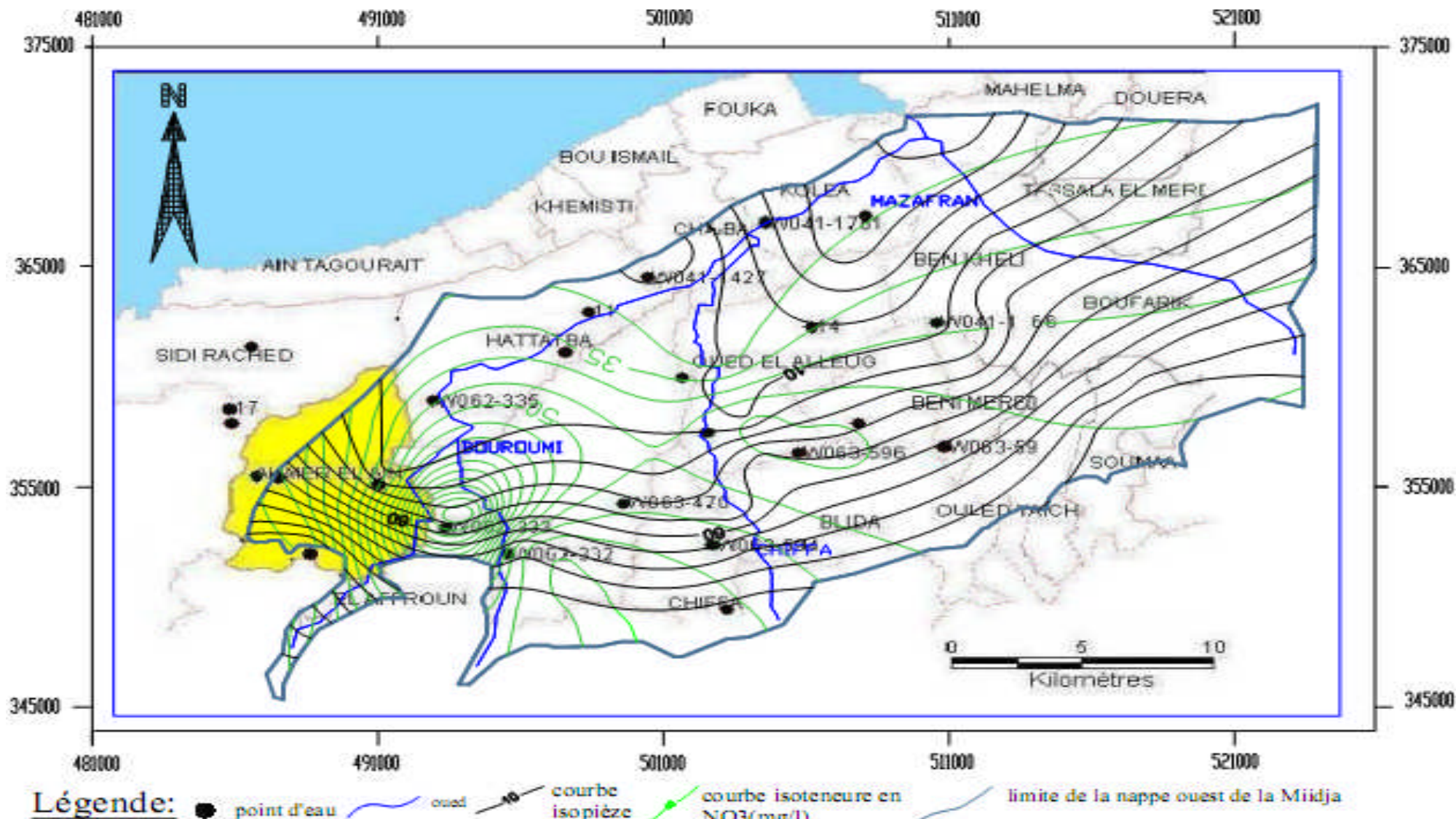
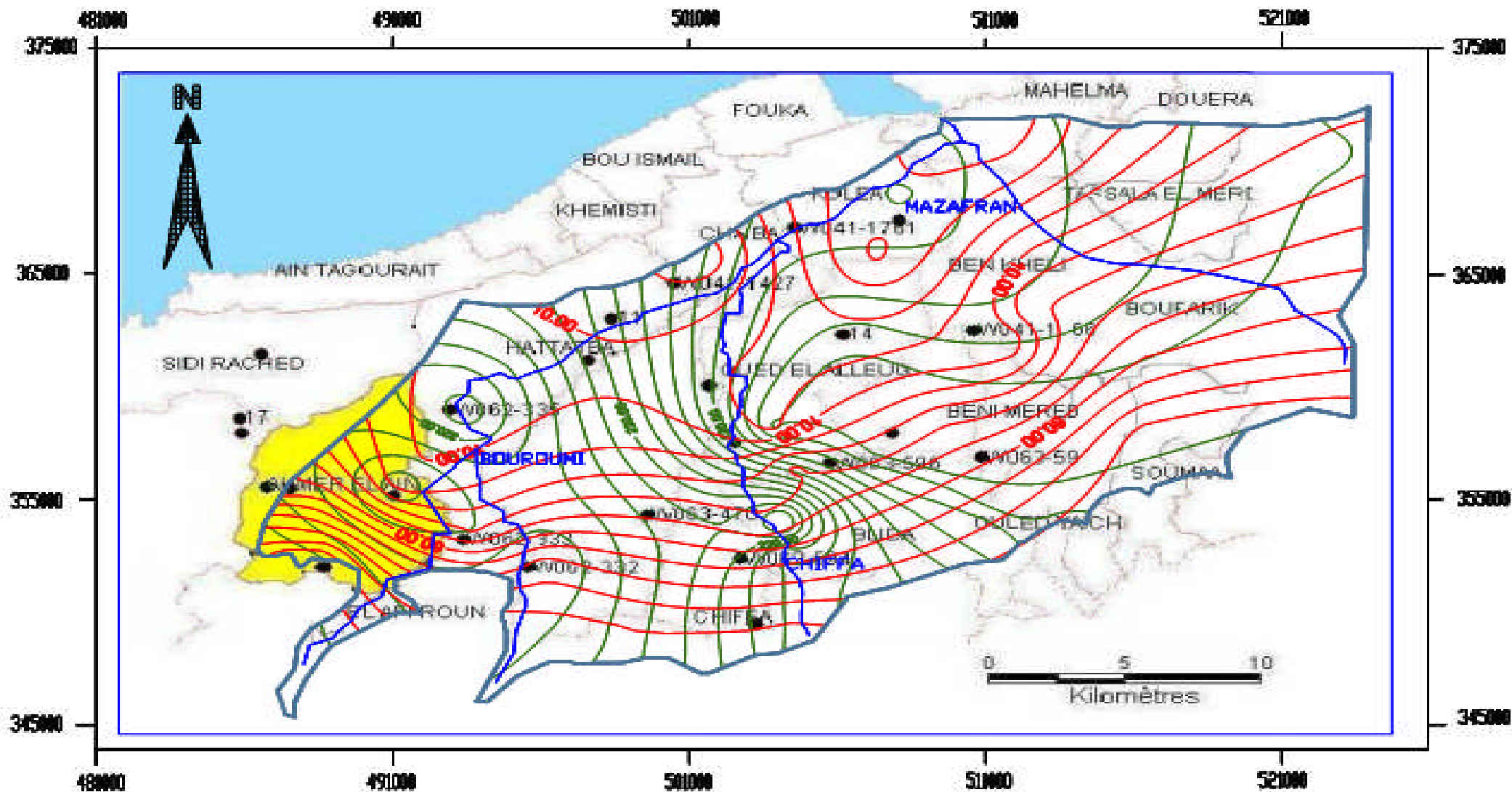


Figure IV.17 : Carte d'iso-teneur en Nitrate des eaux de la nappe Ouest de la Mitidja (campagne des Hautes eaux 2009)



Légende: ● point d'eau oued courbe isopièze courbe iso-teneur en SO₄(mg/l) limite de la nappe ouest de la Mitidja

Figure IV.14 : Carte d'iso-teneur en Sulfate des eaux de la nappe Ouest de la Mitidja (campagne des basses eaux 2009)