

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DE L'HYDRAULIQUE
«ARBAOUI Abdellah »**

DEPARTEMENT GENIE DE L'EAU

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

OPTION : Conception Des Systèmes d'Irrigation et de Drainage

THEME :

**ETUDE DU TRANSFERT DES ELEMENTS
FERTILISANTS ET PHYTOSANITAIRES VERS
LES EAUX SOUTERRAINES ET L'IMPACT D'UN
RESEAU DE DRAINAGE SUR LEURS
CIRCULATION (CAS DE LA MITIDJA CENTRE
ET OUEST)**

**Présenté par :
M^r : BENMESSAHEL Marouane**

**Promotrice :
M^{me} D.DJOU DAR**

Devant le jury composé de :

Président : M^r T. KHETTAL

Examineurs : M^{me} S. LEULMI

M^{me} L.S. BAHBOUH

M^{me} H. BOUCHAMA

M^r M. MESSAHEL

Octobre /2011

ملخص

تعتبر المياه الجوفية في الجزائر المورد الاساسى لسد الاحتياجات المائية. غير ان التعمير السريع وارتفاع النشاطات الصناعية والفلاحية في السنوات العشر الأخيرة سبب تلوثا وتدهورا في نوعية هذه الموارد ذات النوعية المحدودة, لهذا أصبح من الضروري حمايتها بطرق علمية فعالة تستوجب معرفة المحيط المستقبل. ولهذا وقع اختيارنا على هذا الأسلوب. أعداد الخرائط يتطلب دراسة هيدروولوجية مورفولوجية وهيدروولوجية مفصلة. إن الخرائط الناتجة عن هذه المنهجية تمثل وسيلة فعالة في تهيئة المحيط. الكلمات الرمزية: المياه الجوفية – علم الخرائط – التلوث – نوعية المياه

Résumé :

En Algérie les eaux souterraines sont la principale source de satisfaction de la demande en eau. Depuis des dizaines d'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 il est impératif d'agir dans le sens de sa protection et de sa préservation par l'adoption d'une approche préventive par la cartographie de la vulnérabilité. la cartographie ne peut donner de bons résultats sans une étude hydrologique, lithologique et hydrogéologique approfondie de la région d'étude. Les cartes résultantes cette méthode constitue des outils précieux pour la gestion et l'aménagement du territoire

Mots clés : eaux souterraines – cartographie – pollution – qualité des eaux.

Abstract :

In Algeria subterranean waters are the main source of satisfaction of the request in water. Since tens years, the fast urbanization as well as the extensive agricultural increase of the industrial activities and the practices entailed a deterioration of the quality of this resource, already in quantity limited. This situation aggravated by a persistent drought. Consequently it is imperative to act in the sense of its protection and its conservation by the adoption of a preventive approach by the mapping of the vulnerability. Therefore, our choice concerned to the methods the most used, the cartography cannot give good results without a hydrological study, lithologic and hydrogeologic detailed of the region of study. The resultant maps of this method constitute precious tools for the management.

Key words: souterrain waters – maps - pollution – waters quality.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissances et de respect :

- *A ma mère et mon père pour tous les sacrifices qu'ils ont consenti à mon égard;*
- *A mes frères et mes sœurs*
- *A toute la famille BENMESSAHEL*

- *A mes amis de El-Eulma et de l'ENSH et en particulier: Le groupe ZH (Bachir, Djahid , Imed, Brahim, Abdessalem, Med, Ibrahim, Big Sidali, Naas, et Abdelhadi), Moussa, Kamel, et Riad.*

Marouane

* Remerciements *

A l'issu de cette étude, je tiens à exprimer mes vifs remerciements à toutes les personnes qui m'ont aidé tout au long de mon travail.

Ma reconnaissance va plus particulièrement à :

Ma promotrice Mme D.DJOUJAR pour sa contribution à l'élaboration de ce mémoire.

M^{me} BAHBOUH pour ses appréciations et ses remarques.

L'ensemble des enseignants qui m'ont suivi durant mon cycle d'étude.

Je tiens à remercier aussi :

- * Les membres de jury pour avoir accepté d'évaluer mon travail*
- * Le corps enseignant et les étudiants de l'ENSH*
- * Tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de mon mémoire.*

SOMMAIRE

	page
INTRODUCTION GENERALE.....	1
<u>CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE.</u>	
I Présentation de la zone d'étude.....	2
I-1 Situation géographique de la plaine de la Mitidja	2
I-2 Limite de la zone d'étude.....	3
II- Etude géomorphologique de la région d'étude.....	3
II-1 Les contours de la plaine	3
II-2 Réseau hydrographique	4
II-3 Couvert végétal	5
III- Etude hydroclimatologique	5
III-1 Etude des précipitations	5
III-1-1 Le réseau pluviométrique.....	5
III-1-2 Evaluation de la lame d'eau moyenne précipitée	6
1) Méthode arithmétique :.....	6
2) Méthode de Thiessen :.....	6
3) Méthode des isohyètes :	7
III-2 Etude des températures	7
III-2-1 Températures extrêmes.....	8
III-2-2 La température moyenne annuelle:.....	8
III-3 Le vent	9
III-4- Classification du climat.....	10
1) Selon la méthode de Martonne.....	10
2) Selon le diagramme d'Emberger	10
III-5- Bilan hydrique.....	11
III-5-1 Etude de l'évapotranspiration.....	11
III-5-1-1 Étude de l'évapotranspiration potentiell.....	12
a) La formule de Thornthwaite :	12
b) La formule de Serra:	13
III-5-1-2 Etude de l'évapotranspiration réelle.....	14
1) Formule de TURC	14
2) Formule de COUTAGNE.....	15
3) Méthode de WUNDT:.....	16
III-5-2 Estimation du bilan hydrologique	16
2) Estimation de la lame infiltrée	17
3) Résultats du bilan hydrologique	18

CHAPITRE II : SYNTHÈSE GÉOLOGIQUE.

I- Synthèse géologique.....	19
I-1 Cadre régional et local	19
I-1-1 Formation et genèse de la Mitidja :	19
1) les plissements	20
a) Plissements Eocène (calcaire Nummulitique) :.....	20
b) Plissements Carteniens	21

c) Plissements Vindoboniens :.....	21
d) Plissements post-Astiens	21
2) Le remblaiement	22
3) Le déblaiement	22
I-1-2 Lithostratigraphie de la plaine de la Mitidja	23
I-1-2-1 Le socle primaire	23
I-1-2-2 Le Mésozoïque	23
I-1-2-3 Le Tertiaire	23
a) Le Miocène et roches plus anciennes	23
b) Les roches éruptives du Tertiaire	23
c) Plaisancien	24
d) L'Astien	24
I-1-2-4 Le Quaternaire	25
a) Formation d'El Harrach	25
b) Formation de la Mitidja	26
c) Formation du Mazafran et de Halloula	27
d) Les dépôts récents.....	27
II Contexte tectonique	29
II -1 Orogènesse Alpine	29
II -2 Tectonique post- nappes (Néotectonique)	29
II -3 Tectonique actuelle dans le contexte méditerranéen	29
II -4 Sismicité de l'Algérie	30
III Conclusion	31

CHAPITRE III : ETUDE HYDROGEOLOGIQUE.

I : Introduction	32
II : Principaux aquifères de la plaine de la Mitidja :.....	32
II-1 : Définition:.....	32
II-2 : Étude lithologique de l'ensemble aquifère :.....	32
II-3 : Identification des principaux aquifères de la Mitidja :.....	33
II-3-1) Formation de l'Astien :.....	33
a) Alimentation de l'aquifère de l'Astien :.....	33
b) Exutoire de l'aquifère de l'Astien :.....	33
II-3-2) Formation de La Mitidja:.....	33
a) Alimentation des alluvions du Quaternaire :	34
b) Exutoires de l'aquifère alluvial:.....	34
III : Caractéristiques hydrodynamiques des aquifères :.....	35
III-1 : La transmissivité –perméabilité :.....	35
III-1-1) l'aquifère Astien :.....	35
III-1-2) l'aquifère alluvial de la Mitidja :.....	35
III-2 : Le coefficient d'emmagasinement (S):.....	36
III-2-1) pour l'aquifère de l'Astien :.....	36
III-2-2) pour l'aquifère alluvial de la Mitidja :	36
IV : Piézométrie :	37
IV-1 : Interprétation de la carte piézométrique (période des hautes et des basses eaux)	37
IV-2 Chroniques piézométriques et interprétations des fluctuations piézométriques :.....	40
IV-3 Fluctuation de niveau piézométrique de la nappe alluviale de la Mitidja Centre et Ouest de l'année 2010 :.....	41
V- Conclusion	43

CHAPITRE IV : ETUDE HYDROCHIMIQUE.

I- Introduction.....	44
II- des paramètres physico-chimiques :	44
II-1 : Analyse des paramètres physiques :	44
II-1-1 : potentiel hydrogène pH :	44
II-1-2 : Minéralisation globale :	45
II-1-3 : Conductivité électrique :	45
II-2 : Analyse des paramètres chimiques :	48
II-2-1) Teneurs en éléments chimiques :	48
a) Les Cations :	48
Le Calcium (Ca^{++}) :	48
Le Magnésium (Mg^{++}) :	48
Teneur en Sodium (Na^{++}) :	48
Teneur en Potassium (K^{+}) :	48
b) Les Anions :	48
Les Chlorures (Cl^{-}) :	48
Les Sulfates (SO_4^{-}) :	49
Les Bicarbonates (HCO_3^{-})	49
Les Nitrates (NO_3^{-}) :	49
II-1-2-2) Rapport de Todd :	50
III- : Classification des eaux :	57
III-1 : Classification des eaux selon le diagramme de PIPER :	57
III-2 Représentation graphique des analyses :	60
III-3 : Aptitudes des eaux à l'irrigation :	61
III-3-1 : La classification de la FAO.....	63
III-3-2 : La classification américaine (USDA).....	63
A-Classification par rapport à la CE :	63
B- La classification par rapport au SAR :	63
C- L'utilisation du SAR et la CE pour évaluer les problèmes d'infiltration :	65
III-3-3 : Cartographie de la qualité des eaux.....	65
Etablissement des cartes.....	65
IV- :Conclusion :	68

CHAPITRE IV : Evaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines par la méthode PRAST.

I-Pollution des eaux souterraines et superficielles.....	69
I-1 : Critère de pollution d'une eau :	69
I-2 : Pollution directe ou indirecte :	69
I-3 : Nature de la pollution :	69
I-4 : Caractérisation de la pollution :	69
I-5 : Type de polluant	70
I-6 : Classification des polluants :	70
I-6-1 : En fonction de l'origine de la pollution	70
I-6-2 : En fonction de la répartition géographique	71
I-6-3 : En fonction de la répartition dans le temps	71
I-6-4 : En fonction de la nature des polluants	71
I-6-5 : En fonction de nombre de polluants	71
I-6-6 : En fonction du comportement du polluant dans l'eau	71
I-7 : Paramètre spécifique de pollution :	71

II- Méthodes d'évaluations de la vulnérabilité :.....	72
II-1 : Définition de vulnérabilité :	72
II-3 : Différentes méthodes d'estimation de la vulnérabilité :.....	73
II-3-1 : Méthodes orientées sur les systèmes de cotation numérique.....	73
II-3-1-1 : Méthode de SILKA (1978).....	74
II-3-1-2 : Méthode de THORHIL (DRASTIC) 1985.....	74
II-3-1-3 : Méthode GOD (Foster et Hirata, 1991).....	75
II-3-1-4 : Méthode PRAST.....	75
II-3-1-5 : Méthode du pouvoir épurateur du sol (Rehse, 1977).....	75
II-3-2 : Méthodes orientées sur des documents cartographiques.....	76
II-3-2-1 : Méthode d'Albinet et de Margat (1970).....	76
II-3-2-2 : Méthode wipp (1982).....	76
II-3-2-3 : Méthode anglaise NRA (National River Authority).....	76
II-3-3 : Méthodes générales ou mixtes.....	76
II-3-3-1 : Méthode de Vierhuff (1982).....	76
II-3-3-2 : Méthode de Villumsen et Sonderskov (1982)	77
II-3-3-3 : Méthode de Haerté (1983).....	77
III- Aspects théoriques et pratiques de la méthode PRAST.....	77
III-1 : Les paramètres PRAST :.....	78
III-1-1 : Recharge nette	78
III-1-2 : Nature du matériel aquifère	79
III-1-3 : Type de sol	79
III-1-4 : Topographie.....	80
III-1-5 : La méthode utilisée pour l'estimation du pouvoir épurateur :.....	80
III-2 : Construction de la carte de vulnérabilité (aller <i>et al</i> ,1987).....	82
III-3 : CARTOGRAPHIE ASSISTEE PAR ORDINATEUR :.....	83
III-3-1 : Réalisation des cartes thématiques et description des paramètres :.....	83
III-3-1-1 : Carte du paramètre « P », Pouvoir épurateur :.....	84
III-3-1-2 : Carte du paramètre « R », la recharge :.....	85
III-3-1-3 Carte du paramètre « A », nature du milieu aquifère :.....	85
III-3-1-4 : Carte du paramètre « S », nature du sol :.....	86
III-3-1-5 : Carte du paramètre « T », la topographie :.....	87
III-3-2 : Réalisation de la carte de vulnérabilité finale et hiérarchisation des unités hydrogéologiques:.....	94
Interprétation de l'indice PRAST.....	94

CHAPITRE IV : CALCUL DE L'ECARTEMENT DES DRAINES.

I- Introduction.....	96
II- : Besoin en eau du périmètre:.....	96
II -1 : Calcul des précipitations annuelles :.....	97
a)justement à la loi de Gauss:.....	97
b) Traitement des données:.....	98
c) Détermination de l'année de calcul :.....	99
II-2 : Méthode de PENMAN&MOTHEIT modifiée :.....	99
La pluie efficace:.....	101
Détermination des besoins en eau d'irrigation :	102
III Drainage agricole :.....	103
III-1 : Calcul du débit caractéristique du réseau « q _c » :.....	103
Définition :.....	103
III-1-1 : Cas où l'excès provient la pluie critique:.....	103
III-1-1-1 Détermination de la pluie critique :.....	103

Courbe hauteur –durée –fréquence :.....	104
III-1-1-2 En régime permanent :.....	106
Sans stockage :.....	106
En tenant compte du stockage :.....	107
III-1-1-3 En régime variable	108
III-1-2 Cas ou l'excès provient de l'irrigation :.....	109
a) Pour la maraichère :	109
b) pour l'arboriculture :	109
III-2 Calcul des écartements des drains "E" :.....	110
A) La formule de Hooghoutt : (régime permanent) :.....	110
B) La formule de Glover - Dum :(régime variable).....	111
IV Conclusion	113
CONCLUSION GENERALE.....	114
BIBLIOGRAPHIE.....	115

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I-1 : Caractéristiques générales des stations pluviométriques.....	06
Tableau I-2: Précipitations moyennes annuelles et mensuelles de la Mitidja Ouest et Centre.....	07
Tableau I-3 : Les températures moyennes mensuelles maximales, minimales et annuelles pour la station de SOUMAA. (Période 1993/2010).....	08
Tableau I-4: Fréquence des vents (Km/h) à Soumaa (1993-2010).....	09
Tableau I-5 : Limite des climats d'après l'indice climatique de Martonne.....	10
Tableau I-6 : calcul de l'ETP à la station de Soumaa (1993-2010) par la formule C.W.Thornthwaite.....	13
Tableau I-7 : Calcule de l'ETP à la station de Blida (76-06) par la formule de Serra.....	14
Tableau I-8 : l'évapotranspiration réelle E.T.R selon Turc	15
Tableau I-9: l'évapotranspiration réelle E.T.R selon Coutagne.....	16
Tableau I-10 : l'évapotranspiration réelle E.T.R selon WUNDT	16
Tableau I-11 : Résultats de l'E.T.R obtenu par les trois méthodes.....	16
Tableau I-12: Résultats d'évaluation de la lame ruisselée	17
Tableau I-13 : Résultats de calcul de la lame infiltrée.....	17
Tableau I-14 : Résultats d'évaluation du bilan hydrologique.....	18
Tableau II -1 : distribution générale des formations du remplissage de la Mitidja.(Sir M.MacDonald and Partners limited, 1992).....	28
Tableau IV-1 Principaux ions présents dans l'eau d'irrigation : (A. Phocaidès).....	62
Tableau IV-2 : classification mondiale de la FAO des eaux d'irrigation par rapport à la conductivité électrique :.....	63
Tableau IV-3: classification américaine (USDA) des eaux d'irrigation par rapport à la conductivité électrique.....	63
Tableau IV-4: problème potentiel d'infiltration du au sodium dans l'eau d'irrigation :.....	64
Tableau IV-5 : les valeurs Moyennes du SAR, CE et PH.....	65
Tableau V-1 : Pouvoir épurateur du sol dans la couverture (zone non saturée) Rhese1977.....	81
Tableau V-2 : Code international des couleurs pour les intervalles de l'indice PRAST (Aller et al ; 1987 modifié, in Touileb, 1997).....	83
Tableau V-3 : Unités et sous-unités hydrogéologiques et leurs indices de vulnérabilité PRAST....	94
Tableau VI-1 : tableau de représentation de la Répartition des cultures :.....	96
Tableau VI-2 : Les résultats de l'ajustement à loi log-Normale.....	98
Tableau VI-3 : Précipitation moyenne mensuelle de l'année de calcul :.....	99
Tableau VI-4 : Evapotranspiration de référence selon la méthode Penman&Monteith :.....	101
Tableau VI- 5: Les précipitations efficaces dans la zone d'étude :.....	101
Tableau VI-6: Besoins en eau des cultures en (mm) :	102
Tableau VI-7: ajustement des courbes H-D-F :	104
Tableau VI- 8 : paramètres usuelles des cultures.....	106
Tableau VI- 9 : pluie critique (mm).....	106
Tableau VI-10: la pluie critique finale en (mm).....	106
Tableau VI-9 : les coefficients (1-e) en fonctions du type de culture et du sol.....	107

Tableau VI-10: la porosité efficace en fonction de la texture du sol.....	108
Tableau VI-11: la hauteur optimale de la nappe en fonction de la culture.....	108
Tableau VI-12: le débit caractéristique en (l/s/ha) :.....	109

LISTE DES FIGURES

Figure I-1 : Situation de la plaine de la Mitidja.....	02
Figure I-2 : Limite de la zone d'étude.....	03
Figure I-3:Variation des températures au niveau de la station de Soumaa (1993-2010).....	08
Figure I-4: Fréquence des vents (K/h) à la station Soumaa (1993-2010).....	09
Figure II-1 : Formations géologiques de la plaine de la Mitidja (Bennie and Partners, 1983).....	20
Figure II-2 : Différents stades de l'évolution de la Mitidja pendant le plio_ quaternaires (L.Glangeaud, 1932).....	26
Figure II-3 : Carte sismotectonique du bassin de la Mitidja (Meghraoui et al, 2004).....	30
Figure III-1 : Coupe transversal illustrant les systèmes de fonctionnement des nappes de la Mitidja (M. Engalenc Géohydraulique 1971).....	34
Figure III-2 : la carte piézométrique de la nappe alluviale de la Mitidja Centre et Ouest (période des hautes eaux 2010).....	38
Figure III-3 : la carte piézométrique de la nappe alluviale de la Mitidja Centre et Ouest (période des basses eaux 2010).....	39
Figure III-4 : Evolution piézométrique dans le secteur du Blida durant la période de (2000-2010).....	40
Figure III-5 : Evolution piézométrique dans le secteur du Mazafran durant la période de (2000- 2010).....	40
Figure III-6 : Carte de fluctuation de niveau piézométrique de la nappe alluviale de la Mitidja Centre et Ouest (2010).....	42
Figure IV-1 : Domaine de variation du pH des échantillons analysés (Campagne Avril 2010).....	44
Figure IV-2 : Carte de la conductivité électrique des eaux de la nappe alluviale de la Mitidja centre et ouest (campagne des hautes eaux 2010).....	46
Figure IV-3 : Carte de la conductivité électrique des eaux de la nappe alluviale de la Mitidja centre et ouest (campagne des basses eaux 2010).....	47
Figure IV-4 : Carte d'iso-teneur en chlores des eaux de la nappe alluviale de la Mitidja centre et ouest (campagne des hautes eaux 2010).....	51
Figure IV-5 : Carte d'iso-teneur en chlores des eaux de la nappe alluviale de la Mitidja centre et ouest (campagne des basses eaux 2010).....	52
Figure IV-6 : Carte d'iso-teneur en nitrates des eaux de la nappe alluviale de la Mitidja centre et ouest (campagne des hautes eaux 2010).....	53
Figure IV-7 : Carte d'iso-teneur en nitrates des eaux de la nappe alluviale de la Mitidja centre et ouest (campagne des basses eaux 2010).....	54
Figure IV-8 : Carte d'equirapport du Todd (campagne des hautes eaux 2010).....	55
Figure IV-9 : Carte d'equirapport du Todd (campagne des basses eaux 2010).....	56
Figure IV-10: Diagramme de PIPER pour les eaux de la nappe alluviale de la Mitidja Centre et Ouest (Compagne hautes eaux 2010).....	58
Figure IV-11: Diagramme de PIPER pour les eaux de la nappe alluviale de la Mitidja Centre et Ouest (Compagne basses eaux 2010).....	59
Figure IV-12: représentation graphique des échantillons sur le diagramme de Scholler-Birkaloff (Compagne hautes eaux 2010).....	60

Figure IV-13: représentation graphique de 14 échantillons sur le diagramme de Scholler-Birkaloff (Compagne basses eaux 2010).....	61
Figure IV-14 : Carte de l'évolution du SAR des eaux de la nappe alluviale de la Mitidja centre et ouest (campagne des hautes eaux 2010).....	66
Figure IV-15 : Carte de l'évolution du SAR des eaux de la nappe alluviale de la Mitidja centre et ouest (campagne des basses eaux 2010).....	67
Figure V-1 : Représentation graphique de la variation de la cote en fonction des caractéristiques du milieu aquifère (Aller et al; 1987 in Touileb, 1997).....	79
Figure V-2: Carte du paramètre « P », Le Pouvoir épurateur.....	88
Figure V-3: Carte du paramètre « R », la recharge de la nappe.....	89
Figure V-4 : Carte du paramètre A, nature du matériau aquifère.....	90
Figure V-5: Carte du paramètre « S », type de sol.....	91
Figure V-6 : Carte du paramètre « T », nature de la topographie.....	92
Figure V-7 : Carte de vulnérabilité à la pollution du bassin de la Mitidja Centre et Ouest (Application de la méthode PRAST).....	93
Figure V-8 : Diagramme des classes de vulnérabilité selon la méthode PRAST (Touileb, 1997)...	94
Figure VI-1 : Ajustement de la station de Soumaa à la loi de Gauss.....	99
Figure VI-2 : courbe H-D-F premier trimestre.....	104
Figure VI-3 : courbe H-D-F Deuxième trimestre.....	105
Figure VI-4 : courbe H-D-F Troisième trimestre.....	105

Introduction générale :

En tant qu'élément de base indispensable à la vie, l'eau demeure dans son devenir et ses effets, un sujet de questionnement de première importance. Cette ressource vitale devient de plus en plus rare dans le monde entier. En effet, son inégale répartition, la croissance démographique, auxquelles s'ajoutent l'effet de pollution des ressources en eau et les graves sécheresses ont rendu le problème d'eau très crucial ces dernières décennies. Plusieurs pays se sont lancés dès lors à la recherche de prévenir la question. Pour palier à cette menace.

Et vue l'altération de l'environnement naturel, notamment le milieu aquifère, est devenue progressivement une préoccupation mondiale. En Algérie, la principale source de satisfaction de la demande en eau est l'eau souterraine, du fait de son exploitation relativement facile.

Actuellement, les eaux souterraines de la région étudiée reçoivent en permanence des rejets urbains et industriels, et surtout des eaux d'irrigation contenant des éléments chimiques et organiques et beaucoup plus des éléments fertilisants, souvent toxiques. Ces substances polluantes peuvent affecter de façon dangereuse la santé publique, si elles continuent à être déversées dans la nature sans traitement préalable. Le mécanisme de pollution des eaux souterraines est un processus évolutif dans l'espace et dans le temps, difficilement maîtrisable.

La protection et la préservation de ces ressources sont d'une nécessité de premier ordre, et dans ce cadre et dans le but de préserver notre zone d'étude (la Mitidja Ouest et centre), on a utilisé un outil efficace pour limiter et contrôler les risques de dégradation de la qualité de ces eaux, qui est la cartographie de la vulnérabilité environnementale, et pour faire nous avons utilisé la méthode PRAST ; méthode de vulnérabilité à la pollution de la nappe, basée sur les paramètres relatifs à la zone non saturée de l'aquifère en utilisant le paramètre <P> pouvoir épurateur et d'autre quatre paramètres basés sur la méthode DRASTIC.

On fait la cartographie de quelques éléments chimiques et le SAR et CE des eaux, aussi la qualité des eaux en utilisant deux méthodes (PIPER, SCHELLER BERKALOFF).

Finalement on a pu réaliser un calcul de base pour dimensionner un réseau de drainage afin d'évacuer l'excès d'eau provenant d'efficience des systèmes d'irrigation et le sur plus des précipitations.

I Présentation de la zone d'étude

I-1 Situation géographique de la plaine de la Mitidja

La plaine de la Mitidja est située juste au Sud d'Alger Figure I-1, Elle s'étend sur les territoires ; Wilaya d'Alger, Boumerdès, Tipaza et Blida. D'une orientation WSW – ENE et d'une altitude moyenne de 100 m, elle s'étend sur une superficie de 1300km² depuis l'oued Boudouaou à l'Est jusqu'au bassin de Menacer à l'Ouest, sur une longueur de 100 km avec une largeur qui varie de 8 à 18 km, elle est limitée :

- Au Sud par le piémont de l'Atlas.
- Au Nord par la ride du Sahel.

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

- Bassin occidental (O. Nador).
- Bassin du Mazafran.
- Bassin d'El Harrach.
- Bassin oriental (O. Hamiz et O. Réghaia).

Elle est située entre les longitudes 2° 32'00 à 3°19'00 et les latitudes 36°24'17 à 36°47'40



Figure I-1 : Situation de la plaine de la Mitidja.

I -2 Limite de la zone d'étude

La région d'étude, représentée par la Mitidja centre et ouest, fait partie des sous bassins versants : du Mazafran et de Oued Chiffa.

Elle est limitée par le Sahel au nord, l'Atlas Blidéen au sud, Oued Bouroumi à l'ouest et Boufarik à l'Est Figure I-2.

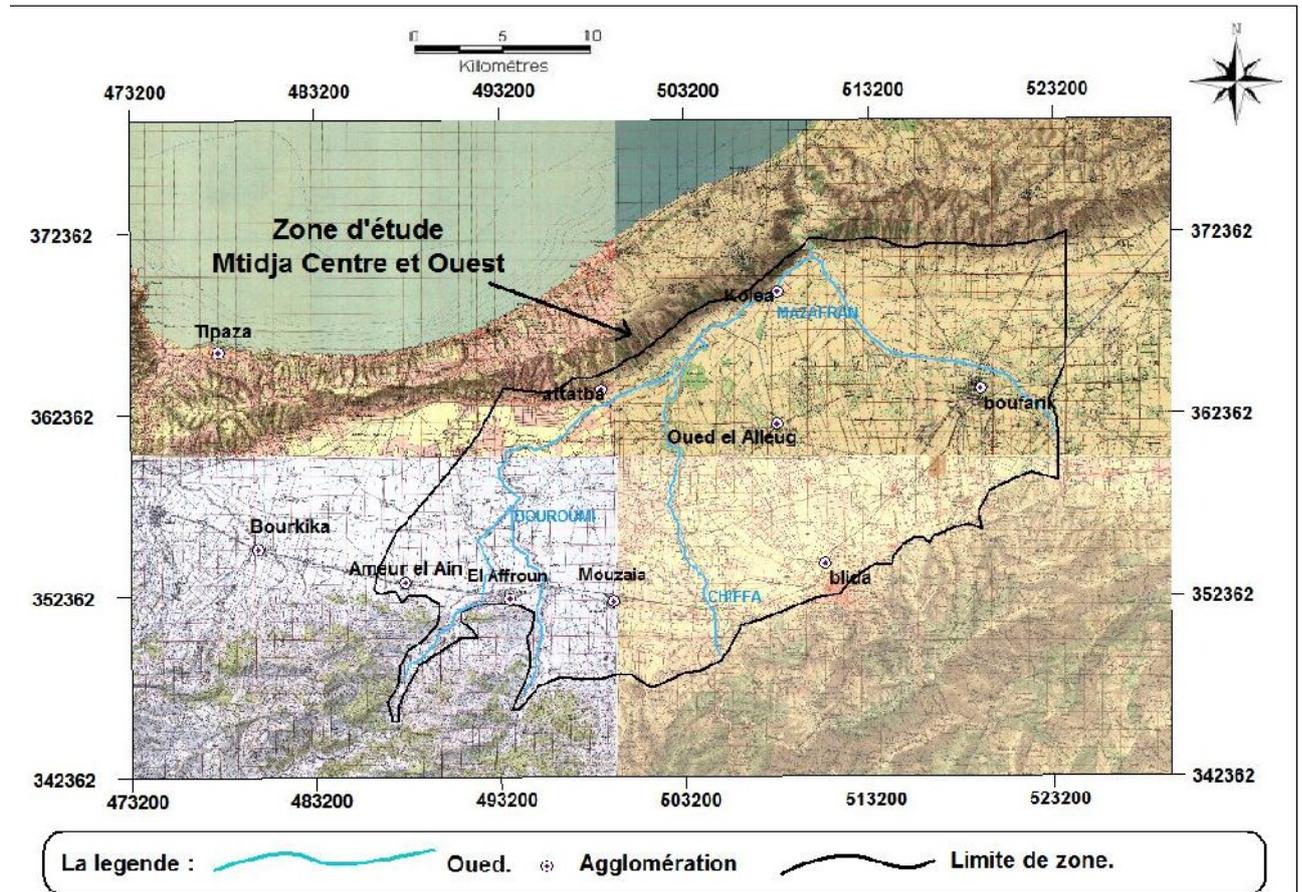


Figure I-2 : Limite de la zone d'étude

II- Etude géomorphologique de la région d'étude

II -1 Les contours de la plaine

- **Le Sahel :**

C'est la ride sahélienne d'altitude variant de 200m à 250m qui constitue une limite continue depuis El-Harrach jusqu'à l'oued Nador, excepté une cluse au niveau de l'oued Mazafran.

Le Sahel prend une forme anticlinale à pente faible et sépare la plaine de mer.

- **L'Atlas Blidéen:**

Ce dernier correspond à un relief qui se développe à partir de la bordure de la plaine pour atteindre une altitude moyenne qui évolue entre 1200 et 1600 m. Les sommets accusent une direction NE –SW.

La morphologie de cette chaîne montagneuse est caractérisée par une succession de crêtes rabotées par une érosion intense.

II -2 Réseau hydrographique

La plaine de la Mitidja est traversée d'Est en Ouest par Oued Réghaia, Oued Hamiz, Oued El Harrach, Oued Mazafran, Oued Nador. L'ensemble de ces affluents qui franchissent la plaine, prennent naissance dans l'Atlas avec un sens d'écoulement général (Sud Nord). Les débits les plus élevés sont enregistrés sur le Mazafran ; Ce dernier étant le plus important avec une longueur de 65km, la surface de son bassin versant est égale à 1900 km².

Il est formé de la réunion de trois oueds : Oued Djer, Oued BouRoumi et Oued Chiffa.

- **Oued Djer :**

Comme Oued Bourkika il hésitait entre deux directions opposées, l'une vers l'Ouest (vers le lac Halloula), l'autre vers l'Est (vers Oued Bou Roumi) ; en suivant le pied du Sahel la divagation exécutée le siècle dernier a mis fin à des divagations favorables à la formation de marais dans la basse plaine.

- **Oued Bou Roumi :**

Jusqu'à une époque récente, cet Oued occupait un lit qui pourrait être celui de l'actuel Oued Bouchouaou. Il contournait au plus près le cône de Mouzaia ville, Chiffa pour terminer près du point où la Chiffa prend le nom de Mazafran.

- **Oued Chiffa :**

Actuellement l'Oued traverse la plaine du Sud au Nord sans hésitation. Il se pourrait qu'il n'en ait pas été toujours ainsi. Un faible relief d'alluvions anciennes a pu obliger l'Oued Chiffa à s'infléchir en contournant la base du cône de déjection de Blida. L'oued poursuivait ainsi son cours par Haouch Kouch, la zone déprimée aujourd'hui par le canal de dessèchement pour terminer de ce fait dans la cluse du Mazafran.

Le bilan des écoulements de la période 1913 à 1956 des oueds qui parcourent la plaine de la Mitidja est le suivant :

- Mazafran 389 millions de m³.

- El Harrach 370 millions de m³.
- Hamiz 50 millions de m³.
- Réghaia 28 millions de m³. (d'après le mémoire de magister :Ait Ouali, 2005)

II -3 Couvert végétal

La zone d'étude est a vocation agricole avec une diversité bien distinguée, on y trouve des vignes, des agrumes, des cultures annuelles et saisonnière. Les prairies artificielles y viennent bien à condition que les pluies de printemps ne fassent pas défaut.

La végétation en tant que facteurs de pédogenèse a été presque complètement détruite par une exploitation intensive, autant dire qu'aujourd'hui, elle n'existe presque plus.

Cependant, les forets de Réghaia et le bois de Boulogne au Sud de la ville de l'Arbaa sont parmi les seuls vestiges de cette végétation naturelle. Cette dernière est constituée principalement, d'une association de chêne –vert et d'épais bosquets de maquis méditerranéens.

III- Etude hydroclimatologique

Dans la présente étude, nous analyserons les paramètres climatologiques. Les objectifs majeurs de notre étude étant de rechercher et d'évaluer l'ensemble des éléments climatologiques et aussi la manière dont les différents composants du climat se comportent l'un par rapport à l'autre.

Nous allons analyser deux paramètres essentiels climatologiques, à savoir la température et les précipitations relatives à la période 1970-2009.

III -1 Etude des précipitations

III -1 -1 Le réseau pluviométrique

La plaine de la Mitidja compte plusieurs postes d'observations pluviométriques. Leur période de fonctionnement varient selon les régions, on y trouve souvent des interruptions de plusieurs mois. Les données pluviométriques sont recueillies au niveau de 4 stations. Le **tableau I-1** ; illustre les caractéristiques de ces stations.

Tableau I-1 : Caractéristiques générales des stations pluviométriques

stations	code ANRH	X (km)	Y (km)	Z (m)	période de fonctionnement
O_ Alleug	02_12_10	508,500	361,750	55	1970_2009
Attatba	02_10_22	495,450	363,150	60	1970_2009
Boufarik	02_12_09	518,550	363,40	60	1970_2009
Soumaa	02_12_34	517,450	355,90	177	1990_2009

III-1 -2 Evaluation de la lame d'eau moyenne précipitée

Trois méthodes permettent l'évaluation de la lame d'eau précipitée en millimètres sur l'ensemble de la zone d'étude.

- Méthode arithmétique
- Méthode de Thiessen.
- Méthode des isohyète.

1) Méthode arithmétique :

Cette méthode est la plus simple, elle consiste à calculer la moyenne arithmétique des précipitations moyennes annuelles P_i , données par une période déterminée des stations existantes.

$$\text{Soit : } P = \sum P_i / N$$

N : nombre de stations

P_i : précipitation moyenne (mm).

Son efficacité est très importante pour les petits bassins versant où l'influence de l'altitude, de l'exposition et de la latitude sur les précipitations est partout identique.

2) Méthode de Thiessen :

C'est une méthode arithmétique qui est basée sur le découpage géométrique du bassin versant sous forme de polygone. ainsi on affecte à chaque poste une pluviométrie (P_i) et une zone d'influence (S_i).

La lame d'eau précipitée sur le bassin est estimée par la formule ci-dessous :

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n P_i S_i}{\sum_{i=1}^n S_i}$$

P_i : précipitation moyenne annuelle de la station à l'intérieur du polygone.

S_i : surfaces des polygones considérés.

3) Méthode des isohyètes :

C'est une méthode plus efficace, elle consiste à tracer des isohyètes d'un bassin versant à partir des pluies ponctuelles. Donc cette dernière tient compte d'une variation linéaire (horizontale) et verticale (suivant l'altitude).

En effet le principe consiste à tracer les courbes d'égale précipitation à l'échelle du BV et elles d'évaluer les surfaces comprises entre elles.

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n P_i S_i}{S_t}$$

Avec :
$$\beta_i = \frac{S_i}{\sum_{i=1}^n S_i}$$

D'où
$$P = \sum_{i=1}^n \beta_i P_i$$

P : lame précipité.

P_i : précipitations inter isohyètes en mm.

S_i : surface inter isohyète en km².

S_t : superficie totale du BV en km².

D'après la méthode arithmétique Résultats obtenus sont :

Tableau I-2: Précipitations moyennes annuelles et mensuelles de la Mitidja Ouest et Centre

Station pluvio	Sept 1	Oct. 2	Nov. 3	Déc. 4	Janv. 5	Fév. 6	Mars 7	Avr 8	Mai 9	Juin 10	Juil. 11	Août 12	Annuel
o_ Alleug	28,04	58,36	88,46	92,82	86,99	74,77	62,16	61,36	45,45	6,21	2,62	4,42	610,66
Boufarik	32,2	62,36	91,77	98,23	86,6	76,47	71,24	61,54	42,22	8,89	2,57	6,571	640,72
Attatba	32,8	56,94	88,88	94,96	82,54	77,77	65,21	53,20	37,73	7,49	2,64	6,13	606,30
Soumaa	35,1	65,14	92,71	92,84	106,6	77,76	60,64	66,13	53,25	4,11	2,07	7,38	618,46

La moyenne annuelle des précipitations enregistré sur notre bassin versant est de **619.04** mm.

III-2 Etude des températures

Le tableau ci-dessous, présente les températures moyennes mensuelles maximales et minimales, prélevées durant la période 1993/2010.

Tableau I-3 : Les températures moyennes mensuelles maximales, minimales et annuelles pour la station de SOUMAA. (Période 1993/2010).

Paramètres	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Tmoy (°C)	24.8	17.1	14.1	11.4	10.7	12.8	14.5	18.3	19.6	24.7	28.6	29.4
Tmin (°C)	18.5	11.0	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	10.5	14.0	17.0	21.5	23.0
Tmax (°C)	34.5	23.0	26.5	22.0	20.5	22.0	23.0	28.5	26.0	34.5	36.0	36.0

D'après les valeurs moyennes mensuelles des températures mentionnées dans le Tableau I-3 ou Figure (1-3) on constate que les mois de juin, juillet et août sont les plus chauds, par contre les mois de décembre et janvier sont les plus froids.

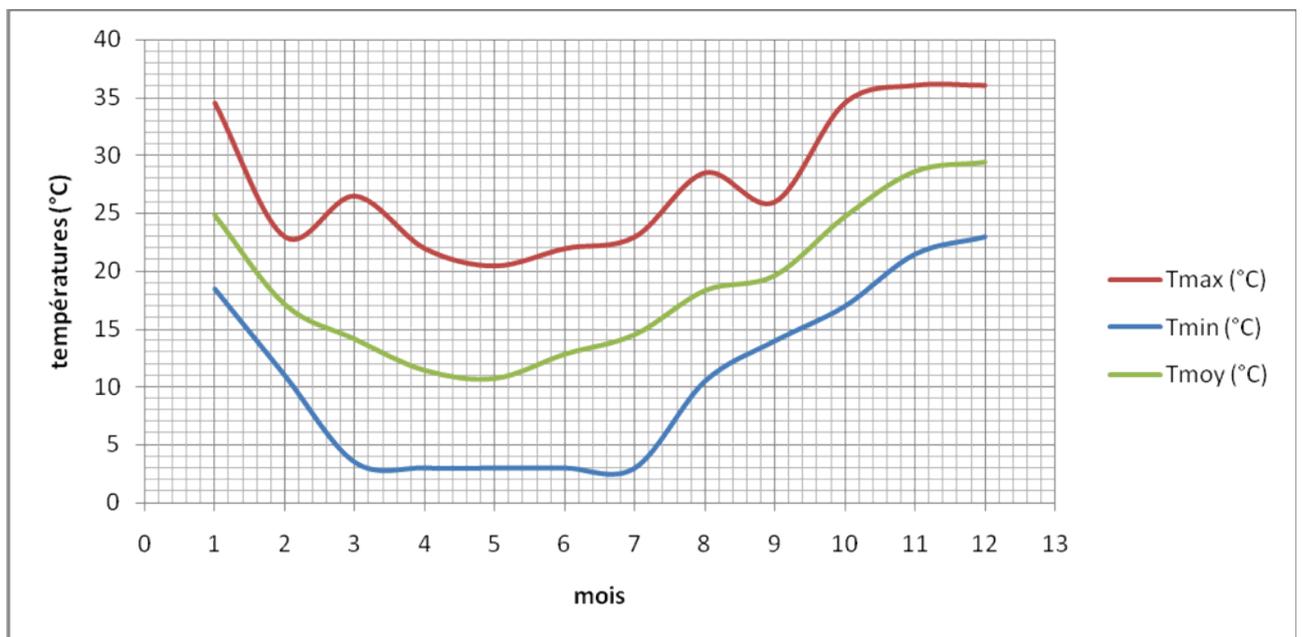


Figure I-3: Variation des températures au niveau de la station de Soumaa (1993-2010).

III-2 -1 Températures extrêmes

On constate d'après la représentation graphique des températures relevées au niveau de la station de Soumaa durant la période allant de 1993 à 2010, que le mois d'Août est le plus chaud avec une température de **29,4°C**, alors que le mois de Janvier est le plus froid avec une température de **10,7°C**.

III-2 -2 La température moyenne annuelle:

La moyenne arithmétique des températures moyenne mensuelle qui correspond à la période d'étude est de : **18.83°C**.

III-3 Le vent

L'étude des vents est indispensable pour la réalisation des ouvrages d'art et dans le domaine de l'irrigation, il convient de connaître leur répartition mensuelle, leur vitesse et leur fréquence sans pour autant négliger leur direction.

La vitesse moyenne annuelle des vents varie de 2,7 à 3 m/s le maximum est de l'ordre de 4 m/s

Le vent est généralement faible, d'orientation Nord à Nord Est avec en moyenne 18 jours de sirocco par an.

Le tableau I-4, présente les vitesses moyennes des vents pour une série de mesure des 17 dernières années au niveau de la station de Soumaa.

Tableau I-4: vitesse des vents (Km/h) à Soumaa (1993-2010)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou
Vent moy (Km/h)	2.0	2.1	2.4	3.0	2.2	3.7	4.0	2.8	3.15	4.25	3.75	3.61

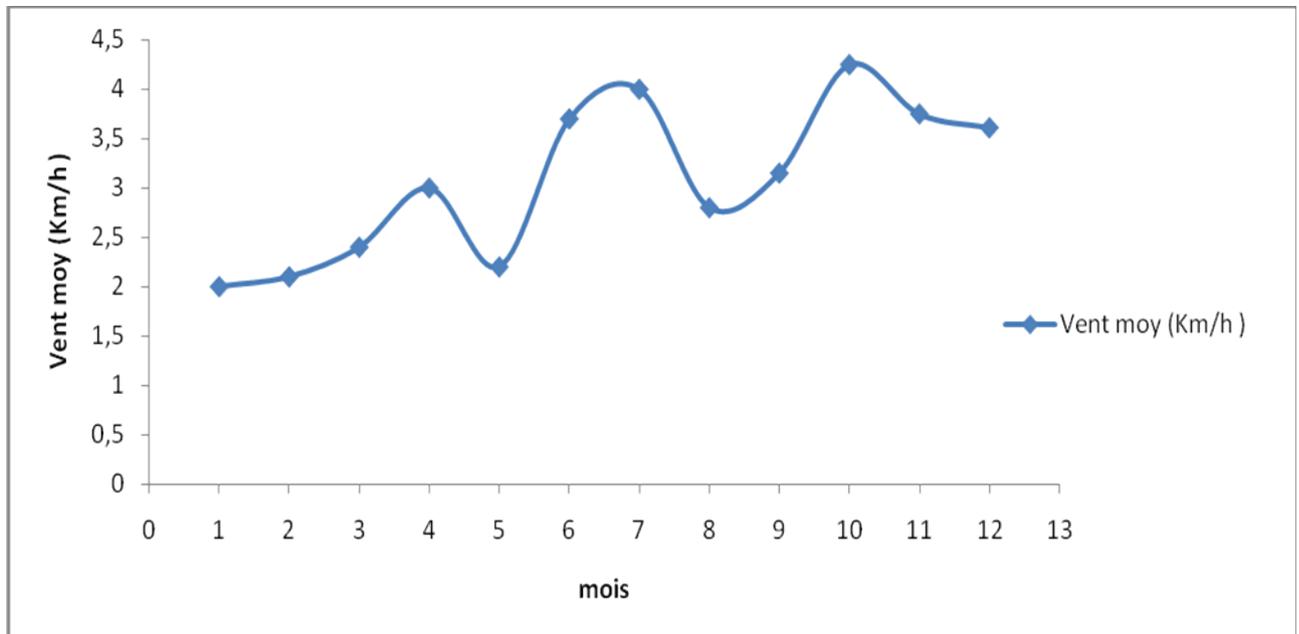


Figure I-4: Vitesse des vents (Km/h) à la station Soumaa (1993-2010).

III-4- Classification du climat

1) Selon la méthode de Martonne

Il permet de connaître le degré de sécheresse de la région

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

Avec :

I_A : indice climatique

P : précipitation moyenne annuelle (mm)

T : température moyenne annuelle (°C)

A.N:

$$I_A = \frac{619.04}{18.83+10} = 21,47$$

$$I_A = 21,47$$

Tableau I-5 : Limite des climats d'après l'indice climatique de Martonne

Valeur de I_A	Type de climat	Irrigation
$I_A \leq 5$	Désertique	Indispensable
$5 < I_A \leq 10$	Très sec	Indispensable
$10 < I_A \leq 20$	Sec	Souvent indispensable
$20 < I_A \leq 30$	Relativement humide	Parfois utile
$I_A > 30$	Humide	Inutile

$I_A = 21,47$ donc $20 < I_A \leq 30$ d'où notre climat est Relativement humide vers Sec.

2) Selon le diagramme d'Emberger

Ce dernier est basée sur l'étude de la végétation méditerranéenne et permet de faire correspondre a chaque région un étage bioclimatique, cela consiste à calculer le quotient d'Emberger qui s'exprime par la formule :

$$Q = 2000 \frac{P}{(M^2) - (m^2)}$$

Avec :

P : précipitation moyenne annuelle (mm)

M : moyenne des températures maximales (Kelvin)

m : moyenne des températures minimales (Kelvin)

$$M = 36 + 273 = 309 \text{ K}$$

$$m = 3 + 273 = 276 \text{ K}$$

$$Q = 2000 \frac{619,04}{(309)^2 - (276)^2} = 64,13$$

On reporte les valeurs du quotient pluviométrique (Q) en ordonnée et les minima du mois le plus froid en abscisses (**Annexe N°2**). On lit directement l'étage bioclimatique correspondant à la région. Pour la plaine de la Mitidja, nous avons trouvé un quotient : Q=64,13 pour (P= 619,04mm ; M=36 ; m= 3).

Le report de Q et de m sur le climato_gramme d'Emberger permet de caractériser la Mitidja par un climat Sub humide mais tend de plus en plus vers le semi aride.

III-5- Bilan hydrique

Connaître le bilan d'eau d'une région c'est évaluer la répartition des précipitations entre les différentes composantes du bilan hydrique à savoir l'écoulement, l'infiltration et l'évaporation.

Dans ces conditions le calcul de bilan hydrique passe par deux étapes :

- Calcul de l'évapotranspiration (ETR et ETP) ;
- Establishment du bilan hydrique.

III-5-1 Etude de l'évapotranspiration

C'est le terme le plus important du bilan hydrologique après les précipitations, mais elle est difficile à estimer car elle englobe l'ensemble des phénomènes d'évapotranspiration directs par retour dans l'atmosphère à partir des réservoirs de surface (lacs, mers,.....), et souterrains (aquifères) ainsi que par la transpiration des plantes. On a un nombre de facteurs qui sont essentiels pour l'évapotranspiration; tels que :

- La température.
- L'humidité de l'air.
- Le rayonnement solaire.
- Le vent.

- La pression atmosphérique.

L'absence de bac évaporométrique, nous amène à estimer ce paramètre à partir des formules empiriques.

En effet, on a deux types d'évapotranspirations.

- L'évapotranspiration potentielle.
- L'évapotranspiration réelle.

III-5-1 -1 Étude de l'évapotranspiration potentielle :

Elle correspond à la quantité d'eau maximale qui pourrait s'évaporer au niveau d'un sol, ce dernier est suffisamment approvisionné en eau et sous des conditions climatiques.

- La formule de Thornthwaite.
- La formule de Serra.

a) La formule de Thornthwaite :

Elle est très employée, car elle n'exige en dehors de la latitude de la station, que la température moyenne mensuelle.

$$\text{ETP} = 16 \left(\frac{10T}{I} \right)^a$$

Avec : $I = \sum_{i=1}^{12} i$ Où $i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1.514}$

Et $a = \frac{1.6}{100} I + 0.5$

Où I : Indice thermique annuel.

i : Indice thermique mensuel.

t : température moyenne mensuelle du mois considéré en °C.

K : coefficient d'ajustement mensuel en fonction du mois et de latitude.

Et $\text{ETP}_c = \text{ETP} \cdot K$

Tel que ETP_c : c'est l'ETP corrigée (mm)

Les résultats de l'E.T.P obtenus par la formule de Thornthwaite sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau I-6 : calcul de l'ETP à la station de Soumaa (1993-2010) par la formule C.W.Thornthwaite.

Paramètres	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Moy annuelle
Tmoy (°C)	24,8	17,1	14,1	11,4	10,7	12,8	14,5	18,3	19,6	24,7	28,6	29,4	18,83
K	1,03	0,97	0,86	0,84	0,87	0,85	1,03	1,10	1,21	1,22	1,24	1,16	
i	11,30	6,43	4,80	3,48	3,16	4,15	5,01	7,13	7,91	11,23	14,02	14,62	93,25
a	1,99	1,99	1,99	1,99	1,99	1,99	1,99	1,99	1,99	1,99	1,99	1,99	
l	93,25	93,25	93,25	93,25	93,25	93,25	93,25	93,25	93,25	93,25	93,25	93,25	
ETP (mm)	112,07	53,48	36,43	23,86	21,04	30,051	38,51	61,21	70,16	111,17	148,83	157,23	
ETC (mm)	115,43	51,87	31,33	20,05	18,30	25,54	39,67	67,37	84,90	135,63	184,55	182,38	956,98

La valeur de l'E.T.P annuelle trouvée est de **956,98** mm pour un indice thermique annuel I=93,25 et a=1.99.

D'après le tableau précédant, on remarque une augmentation des valeurs de l'ETP à partir du mois de Mai pour atteindre les plus fortes valeurs au mois d'Août, cela est dû à l'intensité du rayonnement solaire durant cette période de l'année. De plus on constate une diminution des mesures à partir du mois d'Octobre jusqu'à Janvier.

-Les valeurs de l'E.T.P sont largement supérieures aux précipitations.

b) La formule de Serra:

Ce dernier a repris la formule de Thornthwaite avec une approximation largement suffisante aux expressions.

$$ETP = 16 \left(\frac{10t}{I} \right)^a$$

Avec : $I = \sum_{i=1}^{12} i$ Où $i=0.09 t$ et $a = 1.6 \left(\frac{I}{100} \right) + 0.5$

Où : t : Température moyenne mensuelle (°C).

I : Indice thermique annuel.

i : Indice thermique mensuel.

Les valeurs de l'E.T.P sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau I-7 : Calcule de l'ETP à la station de Blida (76-06) par la formule de Serra.

	Sept	Oct.	Nov.	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Moy annuelle
t (°C)	24,8	17,1	14,1	11,4	10,7	12,8	14,5	18,3	19,6	24,7	28,6	29,4	18,83
E.T.P (mm)	127,5	93,66	79,81	66,9	63,47	73,65	81,68	99,09	104,9	127,1	143,5	146,9	1208,18
K	1,03	0,97	0,86	0,84	0,87	0,85	1,03	1,10	1,21	1,22	1,24	1,16	-
ETPc (mm)	131,3	90,85	68,63	56,19	55,22	62,60	84,13	108,1	126,9	155,0	177,1	170,4	1288,31

K : représente un facteur de correction, il est fonction du Mois et de la latitude du point considéré.

Nous obtenons ainsi une évapotranspiration potentielle E.T.P =1288,31mm pour un indice thermique annuel I =20.34.

D'après les tableaux N°6 et N°7 on remarque que :

- Les valeurs de l'E.T.P sont largement supérieures aux précipitations.
- Des valeurs importantes de l'E.T.P mensuelles de juin à septembre, les mois de décembre et de janvier sont représentés par des valeurs relativement faibles.

III-5 -1 -2 Etude de l'évapotranspiration réelle

L'évapotranspiration réelle correspond à la quantité d'eau effectivement évaporée et transpirée par l'action biologique. Elle est calculée à partir des formules empiriques qui utilisent les données de températures et de précipitations dont nous disposons.

La détermination du paramètre ETR s'est basée sur trois méthodes, à savoir :

- La méthode de Turc.
- la méthode de Coutagne.
- la méthode de WUNDT.

1) Formule de TURC

Selon Turc, l'E.T.R est fonction de la précipitation moyenne annuelle (P) du bassin versant et d'un paramètre L, lui-même fonction de la température moyenne annuelle (t) du bassin versant.

Avec :

$$E.T.R \leq P$$

La formule de Turc est applicable à tous les climats, elle s'écrit sous la forme :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

Avec : P : Pluviométrie moyenne annuelle en mm.

t : température moyenne annuelle (°C).

$$L=300+25t+0.005t^3$$

E.T.R : évapotranspiration réelle (mm/an).

Tableau I-8 : l'évapotranspiration réelle E.T.R selon Turc

paramètres	t (°C)	L	P (mm)	E.T.R
Région				mm
Mitidja Centre_ Ouest	18,83	804,13	619,04	506,69

2) Formule de COUTAGNE

Cette formule donne l'évapotranspiration réelle du bassin versant en fonction de la précipitation moyenne P (m) et de la température moyenne annuelle t (c°).

Avec : $ETR = P - \lambda P^2$ tel que : $\lambda = \frac{1}{0.8 + 0.14T}$

Cette formule n'est appliquée à une région donnée que si :

Pour notre cas nous avons :

$$\left\{ \begin{array}{l} t=18,83^\circ\text{C} \\ \lambda =0.29 \\ P=0.61904 \text{ m} \end{array} \right.$$

Cette formule n'est applicable que si la condition suivante est satisfaite :

$$\frac{1}{8\lambda} < P < \frac{1}{2\lambda}$$

« P » étant compris entre 0.43 et 1.72, la formule de Coutagne s'applique parfaitement à notre Bassin versant.

Tableau I-9: l'évapotranspiration réelle E.T.R selon Coutagne.

Paramètre Région	t (°C)	λ	P (mm)	E.T.R (mm)
Mitidja Centre Ouest	18,83	0,29	619,04	507,91

3) Méthode de WUNDT:

Elle est fonction de la température. Son illustration se fait graphiquement en utilisant l'abaque de Wundt (**Annexe N°1**). Nous obtenons ainsi une ETR égale à 500 mm.

Tableau I-10 : l'évapotranspiration réelle E.T.R selon WUNDT

Paramètre Région	t (°C)	P (mm)	E.T.R (mm)
Mitidja Centre - Ouest	18,83	619,04	500

▪ Discussion des résultats de l'évapotranspiration réelle ETR :

Les résultats obtenus de l'évapotranspiration réelle (E.T.R) par les trois méthodes sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau I-11 : Résultats de l'E.T.R obtenu par les trois méthodes

Méthode	TURC	COUAGNE	WUNDT	Moyenne
ETR (mm)	506,69	507,91	500	504,87

Nous constatons que les valeurs de l'ETR obtenues par les différentes méthodes, citées ci-dessus, sont assez proches, Nous retenons pour le calcul du bilan hydrologique, la méthode de Turc qui s'applique à tous les climats avec E.T.R= 506,69 mm (proche de la moyenne), les deux autres méthodes s'appliquent généralement pour des climats humides.

III-5-2 Estimation du bilan hydrologique

1) Estimation de la lame ruisselée :

Le ruissellement est estimé à partir des débits journaliers récupérés au niveau des stations hydrométriques, mais, la mauvaise qualité des données et l'arrêt complet de certaines stations hydrométriques nous contraint à utiliser la formule ci-dessous qui permet d'évaluer la lame ruisselée à partir de la lame précipitée P (mm) et l'ETP, (Tixeront Berkaloff).

R: lame ruisselée (mm).

P: lame précipité (mm)

ETP: Evapotranspiration (mm)

$$R = \frac{P^3}{3.(ETP)^2}$$

Tableau I-12: Résultats d'évaluation de la lame ruisselée

La région d'étude	P moy (mm)	ETP moy (mm)	R (mm)
Mitidja Centre Ouest	619,04	956,98	86,35

$$R=86,35(\text{mm})$$

2) Estimation de la lame infiltrée

L'infiltration est évaluée à partir de l'équation du bilan ci-dessous;

$$P = E.T.R + R + I \pm \Delta S$$

Où : P : Précipitation moyenne annuelle (mm),

ETR : Evapotranspiration réelle (mm),

R : Ruissellement moyen annuel (mm),

I : Infiltration moyenne annuelle (mm).

ΔS : La variation des réserves.

Ainsi, nous pouvons déduire la valeur de l'infiltration (I) à partir de l'équation du bilan hydrologique;

$$\text{Tel que : } I = P - E.T.R - R$$

Tableau I-13 : Résultats de calcul de la lame infiltrée.

La région d'étude	P moy (mm)	ETR moy (mm)	R (mm)	Lame infiltrée
Mitidja Centre - Ouest	619,04	506,69	86,35	26

3) Résultats du bilan hydrologique

Tableau I-14 : Résultats d'évaluation du bilan hydrologique.

Apports (mm)		Exhaures (mm)				Ecart apport exhaure (mm)
Précipitations	Total des apports	E.T.R	R	I	Total des Exhaures	
619,04	619,04	506,69	86,35	26	619,04	0

En effet, les résultats du bilan hydrologique établit montrent que plus de 82% des précipitations, retournent à l'atmosphère sous forme d'évapotranspiration, la lame ruisselée est évaluée à environ 13% des apports totaux et la lame infiltrée ne dépasse pas les 4 % des précipitations.

I- Synthèse géologique

Par définition, *la géologie* est la science qui étudie l'écorce terrestre, ses constituants, son histoire et sa genèse.

Considérant la terre en tant que réalité minérale, elle utilise et comprend : la pétrographie, la minéralogie, la géophysique, la tectoniqueEtc.

Elle a recourt à la méthode de datation absolue (par le carbone 14) et de chronologie relative (par la stratigraphie) ; les temps géologiques sont divisés en ères, (primaire, secondaire, tertiaire, quaternaire) elles même divisées en systèmes, en série puis en étages.

Dans ce chapitre nous allons donner un aperçu géologique sur la région de la Mitidja, à partir des études et travaux antérieurs des géologues Glangeaud (1952), Aymé (1964), Muttin (1977) et Bennie and Partner (1983).

I-1 Cadre régional et local

I-1-1 Formation et genèse de la Mitidja :

A la fin du pliocène, la Mitidja était une plaine alluviale qui s'étendait du pied de l'Atlas jusqu'au delà de la cote actuelle. Pendant la quaternaire, les cours d'eau qui parcouraient la plaine alluviale l'ont déblayé par suite de l'abaissement du niveau de la mer, de plus de 100 mètres au dessous du niveau actuel. les apports venant de l'Atlas par les torrents et les cours d'eau remplissent de cailloutis le synclinal Mitidjien. La vitesse d'alluvionnement étant sensiblement plus considérable que la vitesse de descente de fond, les produits détriques pouvant se déposer en certains points, du Sahel. Ainsi s'est formé dans le Sahel des méplats couverts d'alluvions, (Figure II-1).

La genèse de la formation de la Mitidja d'après Glangeaud peut s'expliquer par trois facteurs :

- **Plissement** : qui s'étend jusqu'à la fin de l'Eocène et durant lequel, il y aurait eu la naissance d'une zone graduellement déprimée et les terrains qui forment le substratum du bassin.
- **Remblaiement** : Cette phase est caractérisée par la transgression du Miocène et les cycles du Pliocène qui vont combler la dépression.

- **Déblaiement** : Cette troisième phase est constituée par des matériaux Néogènes. Influencé par le poids des dépôts, le bassin continu à se creuser en prenant une forme de cuvette (forme actuelle) c'est le phénomène de la subsidence.

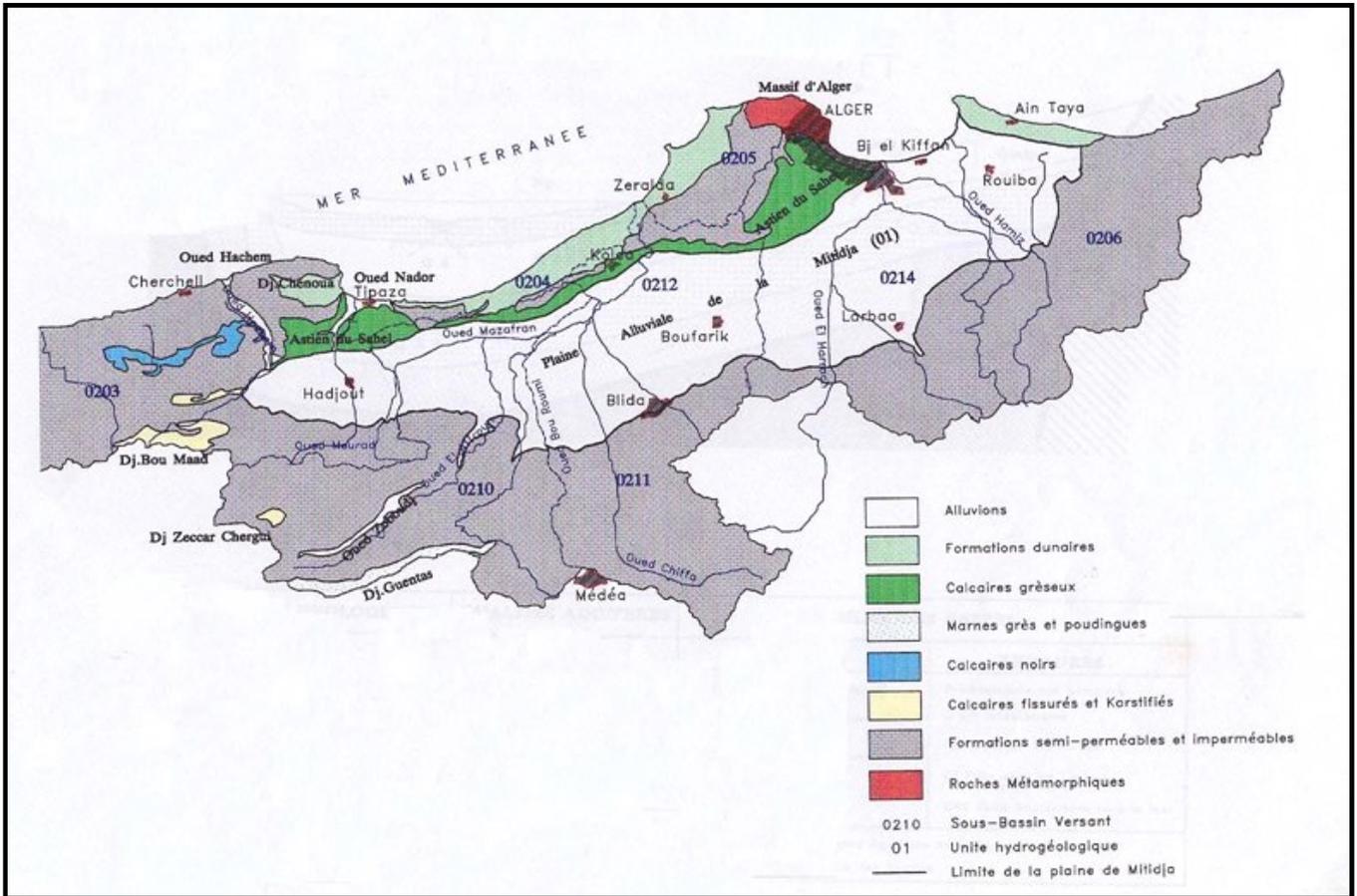


Figure II-1 : Formations géologiques de la plaine de la Mitidja (Bennie and Partners, 1983)

Ces événements géologiques ont cependant contribué à l'évolution paléogéographique et tectonique de la Mitidja.

1) les plissements

a) Plissements Eocène (calcaire Nummulitique) :

Ce sont des plissements qui ont engendré l'édification des chaînes calcaires à l'instar de Djurdjura, le Chenoua-Bouzegea. Ces plissements passent dans la Mitidja à proximité de l'oued El-Alléug.

b) Plissements Carteniens

A la fin du Nummulitique et au seuil du Cartennien (relative à la première phase orogénique du Miocène), on assiste à une série d'effondrements et de distorsions qui pourraient être la cause de l'apparition de roches éruptives.

c) Plissements Vindoboniens :

Au cours de cette phase, on assiste également à quelques émissions de roches éruptives. La mer qui occupait la Mitidja au Cartennien s'est déplacée vers le Sud jusqu'à atteindre le flanc de l'Atlas. Par ailleurs au Nord, on ne trouve aucun dépôt de cette mer Vindobonienne.

A la fin du Vindobonien, la mer continue à se retirer, tandis que le renversement des couches du Miocène s'est opéré vers le Nord (visible dans la région de Blida), disparaissant à l'Ouest et réapparaissant au Sud de "Bougarra" ex-Rovigo.

d) Plissements post-Astiens

Ils se sont fait sentir entre l'Astien et le Quaternaire moyen. Ils ont affecté les dépôts Villafranchien (grès, poudingues et cailloutis) et Calabrien.

Au début du Pliocène, la mer est revenue, néanmoins sans atteindre le pied de l'Atlas et a recouvert le Nord de la Mitidja et le futur emplacement du Sahel.

Tout au long de cette période, le fossé formé a reçu des dépôts argileux qui ont constitué plus tard la couche marno argileuse bleue formant le substratum du Sahel et la sédimentation s'est poursuivie jusqu'à l'Astien.

Au cours de l'Astien, il y a eu abaissement du niveau de la mer (régression), les argiles se sont mêlées aux sables plus au moins riches en glauconie et en coquilles variées. C'est le premier niveau imperméable que l'on rencontre au-dessous des marnes bleues puis suivent des faciès marneux très calcaires plus au moins sableux et gréseux. De nouveau, la mer s'est étalée jusqu'au pied de l'Atlas en perdant en conséquence de la profondeur.

Vers la fin de l'Astien, on assiste à un plissement qui surélève l'Atlas et à la formation de galets qui se stratifient sur l'emplacement du Sahel en banc de poudingues marins.

L'altitude s'accroît d'avantage, le synclinal se plisse et le Sahel se bombe en un anticlinal. La mer est alors refoulée par les cônes de déjections au-delà de ses rives actuelles. C'est le commencement du remblaiement (Villafranchien Pliocène).

2) Le remblaiement

Le Sahel continue à se bomber, mais reste toujours enfouis sous les dépôts atlasiques. Par ailleurs, l'Atlas continue à s'élever et les produits de son érosion entraînés par les oueds viennent se

déposer dans les gouttières de la Mitidja dont la forme synclinale continue à s'accroître. Le fond s'enfoncé alors de plus en plus.

Durant cette période le phénomène de subsidence, avec les poussées tangentielles, accentue le plissement général de la région. C'est dans cette époque que se sont déposées les marnes et cailloutis d'El Harrach (ex-Maison carrée).

A la fin de cette phase, la plaine de la Mitidja se propageait depuis le pied de l'Atlas jusqu'à la mer par-dessous le Sahel (plaine de piémonts typiques).

La fin de la période post-astienne marque l'arrêt du remblaiement à laquelle a succédé la phase de déblaiement qui a engendré le Sahel pour aboutir au stade actuel.

3) Le déblaiement

C'est la période des mouvements eustatiques. Le déblaiement est suscité par les mouvements relatifs de la mer par rapport au continent. Une élévation du continent a été suivie par les effets des cours d'eaux (vallée) en creusant les éléments du Villafranchien pour établir le profil d'équilibre.

A chaque fluctuation, le niveau de base se situe plus bas qu'à la fin de la fluctuation précédente et à chaque remontée le niveau restait inférieur à celui de la précédente d'où un abaissement.

La régression post-tyrrhénienne, ayant abaissé le niveau jusqu'à la côte (-60m), a ainsi provoqué le creusement profond des oueds et le déblaiement des alluvions de la plaine encore mal consolidées.

La ride du Sahel à carapace Astienne a été progressivement exondée. Les oueds (Nador, Mazafran, et El Harrach) se sont alors surimposés et ont amorcé les cluses dans lesquelles ils allaient s'écouler.

Le déblaiement alterné avec le remblaiement à chaque transgression marine se poursuit, néanmoins à chaque fois la mer envahit moins la plaine. Le creusement des oueds et l'érosion reprennent, entraînant une nouvelle tranche d'alluvions anciennes.

Enfin lors de la transgression flandrienne, la mer est remontée jusqu'à dépasser 5 à 6 mètres le niveau actuel.

II -1 -2 Lithostratigraphie de la plaine de la Mitidja

Dans cette étude on s'attachera essentiellement à préciser les caractéristiques lithostratigraphiques des différentes formations géologiques dans le but de préciser leurs superpositions. L'éventail des séries stratigraphiques s'étend du Primaire au Quaternaire.

II-1 -2 -1 Le socle primaire

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

II -1 -2 -2 Le Mésozoïque

On distingue :

- Les calcaires de l'Oued Sidi El Kebir ; calcaire massif cristallin d'âge Jurassique.
- Les calcaires et grès de la Chiffa d'âge Néocomien et aptien.
- Les flyschs (marnes et calcaires) d'âge albien supérieur à Sénonien.

II-1 -2 -3 Le Tertiaire

a) Le Miocène et roches plus anciennes

Ils existent dans le bassin de la Mitidja et affleurent par endroits dans l'Atlas, particulièrement au Sud Est de Khémis El khechna et à Djebel Zerouala. Au Sud Est de Khémis El khechna, le Miocène est représenté par des marnes épaisses de 50 m du Vindobonien, comprenant des lentilles de calcaires à Mélobésiées au djebel Zerouala.

Dans l'Atlas, ce sont les roches les plus dures du Crétacé et de l'Oligocène qui affleurent.

Les terrains les plus communément rencontrés sont les roches argileuses parmi lesquelles des schistes argileux et des argiles (Glangeaud ,1952).

b) Les roches éruptives du Tertiaire

Ces dernières affleurent sur tout le pourtour SW de la Mitidja, où elles se trouvent en contact avec les alluvions récentes du bassin de la Mitidja.

Sur les bordures méridionales et occidentales du bassin, l'existence d'un volcanisme calco-alcalin daté de 11 à 16 Ma, atteste de l'ouverture par effondrement EW du bassin durant le Miocène (Bellon, 1975; Lepvier, 1975 et 1981 ; Ait Hammou ,1981).

D'autres affleurements de roches volcaniques se rencontrent dans la région de Khémis El khechna et Thenia (Rhyolites - Andésites).

c) Plaisancien

Il repose en discordance sur les formations du Miocène (Glangeaud ,1952). Il s'agit d'une formation constituée de niveau fossilifère glauconieux, de marnes jaunes et grises parfois sableuses.

En effet, cela correspond aux sédiments de milieu profond qui se sont déposés sur une surface d'érosion avec une épaisseur moyenne de 200 m. Les affleurements du Plaisancien en surface se rencontrent uniquement dans les collines du Sahel, Au cœur d'un plissement anticlinal et dans la zone de Khémis El Khechna, Réghaia où ils constituent la fermeture Est du bassin (Rivoirard, 1952).

d) L'Astien

La formation de l'Astien comporte plusieurs faciès séparés par un niveau repère glauconieux de 4m à quelques centimètres d'épaisseur.

Le faciès marno sableux jaunâtre à blanchâtre est plus répandu avec un nombre important de fossiles, associés à une sédimentation marine de haut fond (Rivoirard, 1952). Les descriptions lithologiques les plus rencontrées de l'Astien se réfèrent aux séries rencontrées dans les forages du Sahel qui l'ont atteint.

Les lithologies les plus fréquemment rencontrée sont:

- les calcaires ou calcaires sableux ;
- les grès ;
- les argiles calcaires jaunes ;
- les calcaires à faciès récifal.

L'Astien dont l'épaisseur moyenne varie entre 100 à 130 m (Bennie and Partners ,1981), il se situe généralement à des profondeurs allant de 250 à 300 m au-dessous de la surface du sol de la Mitidja.

Dans la région de Rouïba il se trouve à de faibles profondeurs car l'érosion a été très importante (Glangeaud et Aymé, 1935). Les affleurements de l'astien se rencontrent sur le côté Sud du Sahel et dans les faubourgs Sud d'Alger.

II-1-2-4 Le Quaternaire

a) Formation d'El Harrach

Cette formation, connue sous le nom «formation de Maison Carrée », constitue une séquence relativement uniforme, d'argiles plastiques jaunâtres et grises à la base.

On y rencontre de minces niveaux lenticulaires de graviers et de sable. En raison de la présence de gravier, cette formation a été confondue avec les formations alluviales sus-jacentes qui sont essentiellement caillouteuses. Elle affleure dans les régions suivantes : El Harrach, le long du versant sud du Sahel et à l'ouest de Hadjout.

La formation d'El Harrach atteint son épaisseur maximale de 200m dans la partie occidentale du bassin, tandis que l'érosion a fait disparaître cette dernière dans le secteur Est, région de Reghaia et de Rouiba entraînant un passage direct vers la formation de la Mitidja (Soltano - Tensiftien) au Pliocène supérieur.

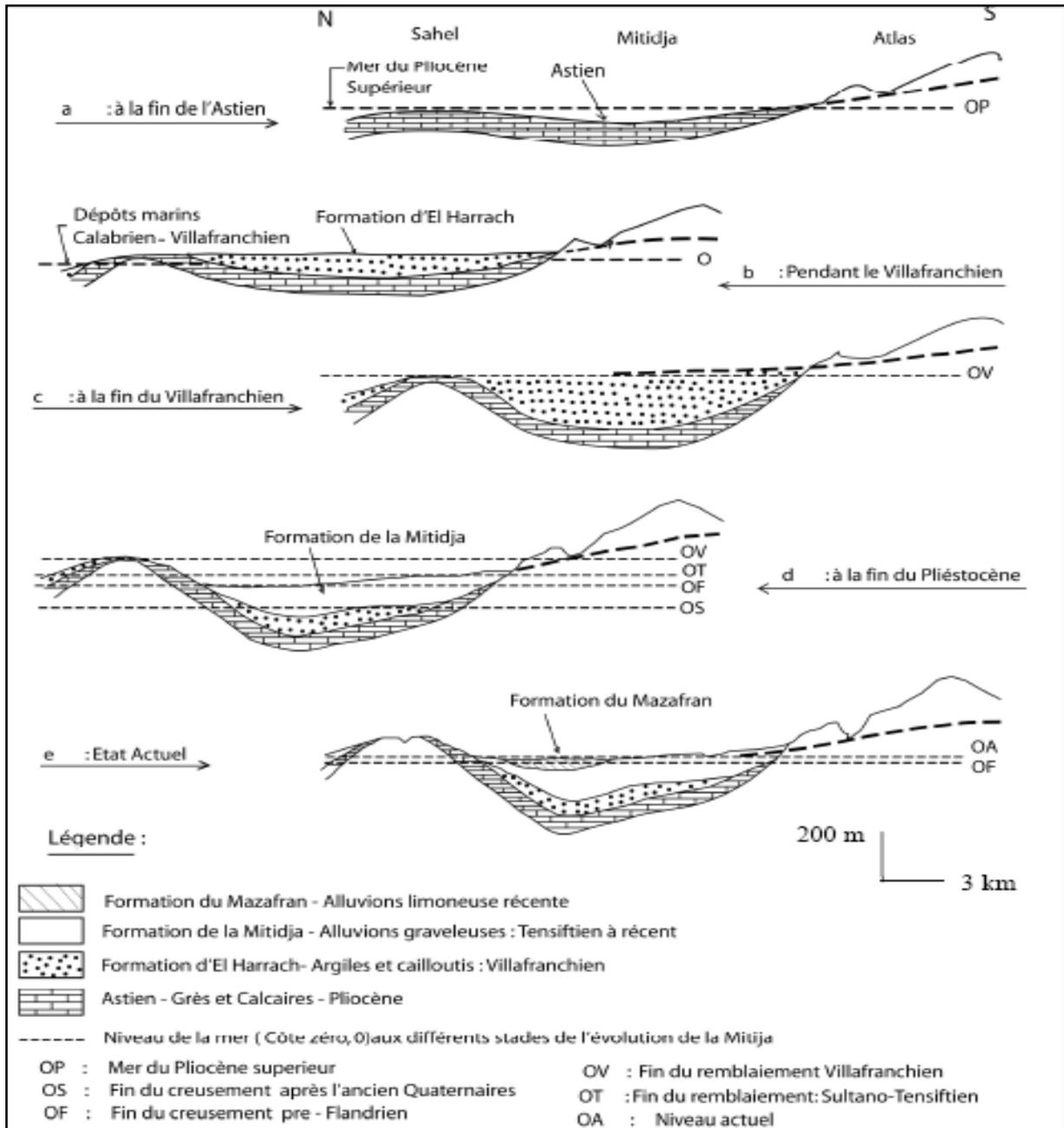


Figure II-2 : Différents stades de l'évolution de la Mitidja pendant le plio-quaternaires (L.Glangeaud, 1932)

b) Formation de la Mitidja

La formation de la Mitidja se compose principalement de matériaux alluviaux grossiers.

- Des graviers
- Des galets.

- Des limons ou argiles en quantités variables.

Des éléments à grains fins sont présentés en quantité relativement importante dans la partie supérieure de la formation. On remarque des variations de granulométrie considérables qui se produisent dans le sens horizontal et dans le sens vertical qui sont liées aux sources de matériaux. En effet les principales sources de matériaux sont:

- Les dépôts des oueds les plus importants.
- Les cônes de déjections des piémonts de l'Atlas.

Cette formation est présentée sur toute l'étendue de la plaine à l'exception de la partie occidentale où ces matériaux passent en dessous des marnes et argile de la basse plaine du Mazafran. La formation perd de son épaisseur en traversant les piémonts en direction de son contact avec l'Atlas et vers le Nord, dans la baie d'Alger où elle se retrouve reliée à la mer en traversant les dépôts dunaires et marins.

c) Formation du Mazafran et de Halloula

Elle est constituée de limons et d'argiles limoneuses de couleur généralement grise à jaunâtre et contenant parfois un peu de graviers.

Les limons de la formation du Mazafran s'étendent le long de la cluse du Mazafran, ils atteignent leur épaisseur maximale à proximité de l'extrémité de la cluse, soit 60 m.

La formation de Halloula se situe à l'Ouest des oueds (Djer et Bou Roumi) où elle occupe la zone de l'ancien lac de Halloula.

d) Les dépôts récents

Ces derniers comprennent :

- ◆ Des dépôts de sable dunaire.
- ◆ Des sables et des graviers.
- ◆ Des dépôts de piémont de l'Atlas.

Leur mise en place constitue une partie relativement peu importante par rapport aux dépôts du Mazafran, Halloula et du remplissage de la Mitidja.

Au niveau de la baie d'Alger et de la région de Réghaia, ils sont représentés par des sables

dunaires.

Au niveau du piémont de l'Atlas, on trouve de gros éléments anguleux dans une matrice de limons argileux provenant des cônes de déjections.

Ils sont également localisés dans les lits d'oueds et se composent de sables fins gris et de graviers.

Tableau II -1 : distribution générale des formations du remplissage de la Mitidja.
(Sir M.MacDonald and Partners limited, 1992)

		Age	Formation	Lithologie	Epaisseur	Aquifère existants
Quaternaire		Actuel / récent	Alluvions des oueds, dunes, piémont de l'Atlas	Sable / Gravier, Sables éoliens, limons argileux	< 10 m 10 à 20 m	
		Pléistocène	Rharbien	Formation du Mazafran Formation de Hallola Formations dunaires	Limons et argiles limoneuses Sables consolidés	
	Soltanien Tensiftien		Formation de la Mitidja	Altérence de graviers , de sables et d'argiles	100 à 200 m	Aquifère de la Mitidja
	Amirien Saltinien		Non identifié dans la plaine de la Mitidja	—	—	
	Villafran- chien	Formation d'El Harrach	Argiles et cailloutis	0 à 200 m moyenne 100 m		
Tertiaire	Pliocène	Astien		Grès, sables, calcaires	100 à 130 m	Aquifère de l'astien
		Plaisancien		Marnes et argiles bleues	200 m	
	Miocène et roches plus anciennes	Roches sédimentaires, métamorphiques et éruptives.	Diverses mais peu significatives dans l'évolution du bassin sédimentaire	—		

II Contexte tectonique

II -1 Orogènesse Alpine

La région Ibéro maghrébine appartient à l'Orogène Alpin périméditerranéen, au niveau de la zone occidentale. Ce dernier est représenté par des cordillères bétiques en Espagne et les Mghrébides qui forment la chaîne littorale allongée sur plus de 2000km, allant du Rif au Maroc jusqu'au Tell (Algérie et Tunisie), Il se poursuit a l'Est jusqu'aux Apennins, formant l'arc Calabro-Sicilien.

II -2 Tectonique post- nappes (Néotectonique)

Dans le Maghreb la néotectonique se définit comme l'étude des déformations tectoniques observées dans les niveaux du Néogène et du Quaternaire. La période de mise en place des nappes a été suivie d'une distension N-S généralisée dans l'ensemble de la région maghrébine .Elle s'est poursuivie jusqu'au Villafranchien supérieur.

La fin du Villafranchien est marquée par un changement brusque de contraintes qui passe d'un régime distensif à un régime compressif. Cette phase de compression continue jusqu'à l'heure actuelle.

En Algérie, le Burdigalien supérieur – Langhien correspond à une distension généralisée N-S marquée par l'ouverture de plusieurs bassins d'effondrement (Mitidja, Cheliff, Hodna) ; accompagnée par un volcanisme calcoalcalin qui se poursuit jusqu'au Miocène supérieur.

La fin du Villafranchien est marquée par un serrage N-S évoluant en NNE-SSW à l'heure actuelle. Ce serrage se traduit par une reprise en compression de toutes structures géologiques formées durant la distension post-nappes.

II -3 Tectonique actuelle dans le contexte méditerranéen

L'activité tectonique est le résultat des mouvements de convergence des plaques africaine et eurasiennne. Cette dernière s'est traduite par des plissements, des failles qui affectent notamment les niveaux du Miocène post-nappes, du Pliocène et du Quaternaire .Ces déformations continuent jusqu'à l'heure actuelle comme en témoigne l'activité sismique, *Figure II-3*.

Les déplacements peuvent s'exprimer par des déformations de couvertures sédimentaires, ils peuvent s'exprimer de façon lente et asismique, mais il peut également se produire une résistance à la déformation et une accumulation d'énergie, cette dernière sera libérée brutalement, ce qui provoque de violents séismes (Boumerdès ,21/05/2003).

II -4 Sismicité de l'Algérie

L'Algérie du Nord a connu plusieurs séismes historiques, dont certains ont été désastreux (Alger 1716, Oran 1790, Blida 1825, Orléans ville 1954, El Asnam 1980, Boumerdès 2003). Le plus ancien séisme, correspond à celui d'Alger en janvier 1365, il aurait détruit la ville par un raz de marée. Antérieurement à cette date, la sismicité n'est pas connue faute de disposition de documentation et archives relatives aux époques médiévales et antique de notre pays.

De part les informations fournies par la sismicité historique, par les études de sismotectonique, de sismologie, de pleosismologie, d'aléa sismique nous possédant aujourd'hui des indications importantes sur l'activité sismique en Algérie du Nord.

Nous pouvons ainsi dire que cette activité se concentre essentiellement dans la région Nord du pays. Le zonage effectué indique que les régions d'El Asnam, Oran et Alger sont les régions les plus menacées. Il faut noter que l'activité sismique dans cette région est continue, tel qu'une cinquantaine de micro secousses se produisent par mois.

De ce fait les déformations issues des confrontations des plaques tectoniques en mouvements, génèrent l'existence de nombreuses failles actives. (Colloque international sur les risques majeurs et aménagement du territoire, Mars, 2004)

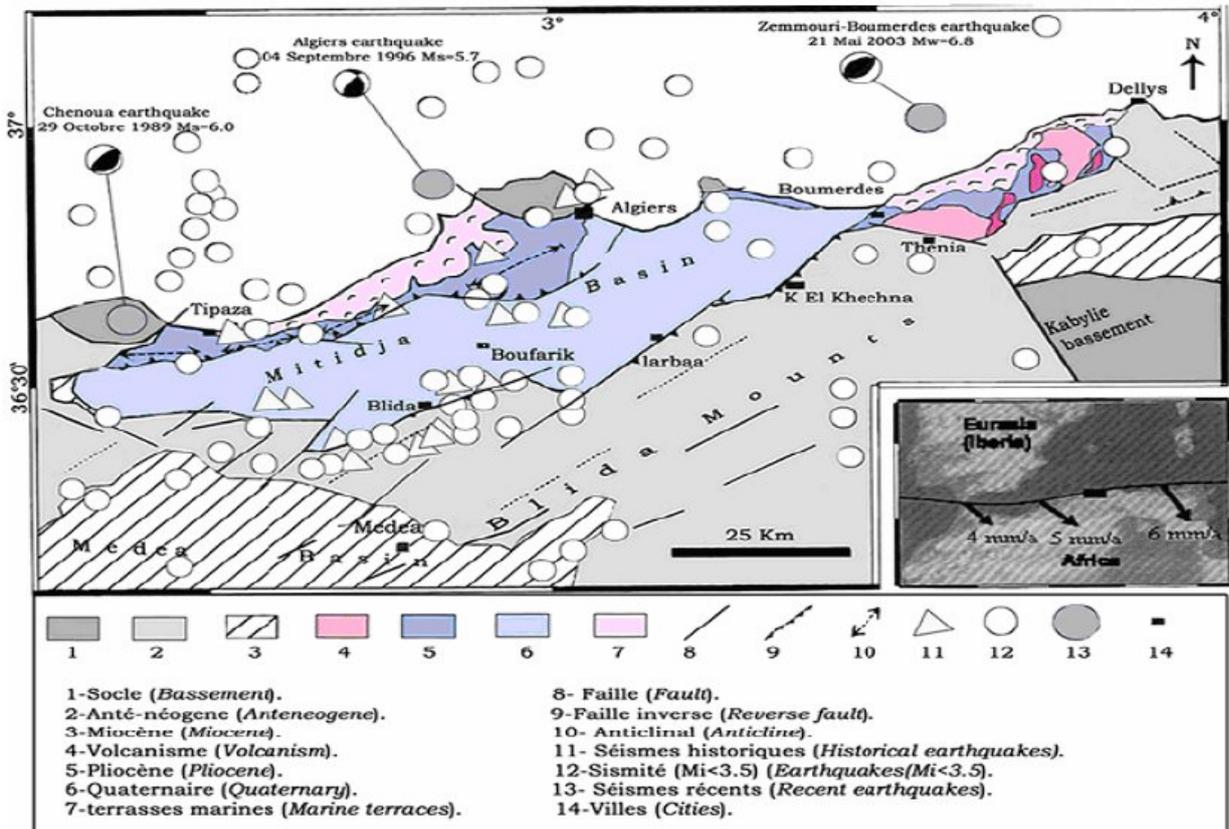


Figure I-3 : Carte sismotectonique du bassin de la Mitidja (Meghraoui et al, 2004)

III-Conclusion

La Mitidja se subdivise en trois grands ensembles géologiques :

- L'Atlas Blidéen qui correspond à un vaste massif montagneux composé des séries épaisses du Crétacé.
- Le piémont Sud du Sahel.
- Le bassin mio-plio-quaternaire qui constitue la plaine de la Mitidja et dans laquelle se situe notre secteur d'étude ; elle correspond à une zone de subsidence à remplissage de dépôts d'âge Pliocène jusqu'à l'actuel, qui ont contribué à la formation de deux aquifères principaux :
 - Aquifère Astien.
 - Nappe alluviale de la Mitidja.

Ils sont séparés par des Argiles de la formation d'El Harrach.

I- Introduction

L'hydrogéologie, dont la base fondamentale est la géologie, a pour but l'étude du bassin hydrogéologique, qui est la fraction de l'espace du bassin hydrologique située sous la surface du sol. C'est donc le domaine de l'eau souterraine.

Les eaux souterraines proviennent de l'infiltration des eaux de pluie dans le sol. Celles-ci s'insinuent par gravité dans les pores, les microfissures et les fissures des roches, humidifiant des couches de plus en plus profondes, jusqu'à rencontrer une couche imperméable. Là, elles s'accumulent, remplissant le moindre vide, saturant d'humidité le sous-sol, formant ainsi un réservoir d'eau souterraine appelé **aquifère**. La **nappe** chemine en sous-sol sur la couche imperméable, en suivant les pentes, parfois pendant des dizaines voire des centaines de kilomètres, avant de ressortir à l'air libre, alimentant une source ou un cours d'eau.

L'objectif de cette étude hydrogéologique est d'identifier et de décrire les unités géologiques ayant une importance du point de vue ressources en eau souterraine dans la région Centre et Ouest de la plaine de la Mitidja.

II- : Principaux aquifères de la plaine de la Mitidja :

II-1 : Définition:

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. Un aquifère peut comporter une zone non saturée (définition de Margat et Castany).

II-2 : Étude lithologique de l'ensemble aquifère :

L'analyse du remplissage du bassin de la Mitidja permet de distinguer de bas en haut quatre ensembles lithologiques :

Une série marneuse formant le substratum que l'on peut considérer comme imperméable.

Un ensemble calcaire-sablo-greux correspondant à l'Astien.

Un ensemble argileux contenant par endroit du sable et du gravier correspondant à la formation dite « formation d'El Harrach ».

Un ensemble gravelo-sableux dit « Alluvions de la Mitidja ».

II-3 : Identification des principaux aquifères de la Mitidja :

La plaine de la Mitidja est constituée de deux aquifères : la formation de l'Astien qui est l'aquifère le plus profond et la formation Quaternaire de la Mitidja qui représente le principal réservoir d'eau souterraine.

II-3-1) Formation de l'Astien :

Il subsiste sous les alluvions de la Mitidja et affleure sur les collines du Sahel et à des endroits peu nombreux le long du piémont de l'Atlas par où il est alimenté.

La formation de l'Astien généralement captive, est constituée principalement de sables et de grès plus ou moins calcaires qui reposent sur le substratum marneux du Plaisancien. Son épaisseur moyenne est de l'ordre de 100 m. le toit de l'Astien se trouvant généralement à une profondeur de 250m à 300m, est constitué principalement par les argiles jaunes du Villafranchien (formation d'El Harrach) qui le sépare de l'aquifère de la Mitidja hormis au Nord-Est de la plaine où les 2 formations perméables sont en contact direct.

a) Alimentation de l'aquifère de l'Astien :

Son alimentation se fait principalement par l'infiltration des pluies sur le Sahel et sur le piémont de l'Atlas où il affleure, elle est de l'ordre de 25000m³/jour. (Bennie & Partners)

Il est également alimenté par les nappes alluviales sus-jacentes, par drainance à travers la formation d'El Harrach.

b) Exutoire de l'aquifère de l'Astien :

Les seuls exutoires de l'aquifère sont constitués par un flux de drainance ascendant vers la nappe alluviale à travers les passées caillouteuses de la formation d'El Harrach ou la différence de charge atteint les 10m. (ANRH Blida, 2005)

Il est aussi à noter que certains puits et forages captent l'aquifère Astien et y est soutirent de l'eau avec des débits considérables.

II-3-2) Formation de La Mitidja:

La formation de la Mitidja est hétérogène, constituée de graviers et sables avec des intercalations de niveaux argileux d'âge quaternaire (Soltano-Tensiftien-inferieur) reposant sur les marnes et argiles bleus de Maison carrée (formation d'El Harrach) dont la morphologie du toit impose une inégale répartition des masses alluviales , (Glangeaud,1952).

Cette formation occupe toute l'étendue de la plaine et sa limite supérieure est libre sauf dans la zone du bas Mazafran où la nappe est captive sous les limons à faible perméabilité du Rharbien.

L'épaisseur moyenne de la nappe est de l'ordre de 100m à 200m sur la majeure partie de la plaine, et va en s'amincissant vers le sud, pour atteindre l'Atlas, (Mac Donald, 1992).

a) Alimentation des alluvions du Quaternaire :

L'alimentation de l'aquifère de la Mitidja se fait essentiellement par :

L'infiltration des précipitations qui a été estimée par Bennie & Partners à 21100 m³/jour (1978-1980).

Les infiltrations à travers les oueds (Djer, Chiffa et Bouroumi).

Les écoulements souterrains de l'Astien à travers la formation d'El Harrach où la différence de charge atteint les 10m. (Ait Ouali, 2007)

b) Exutoires de l'aquifère alluvial:

Ces derniers sont plus importants comparativement à l'aquifères de l'Astien, ils sont assurés par :
Le drainage des oueds dans leur cours aval.

Les fuites souterraines vers la mer (dans la partie Est).

Pompage dans les puits et forages de la plaine. (Ait Ouali, 2007)

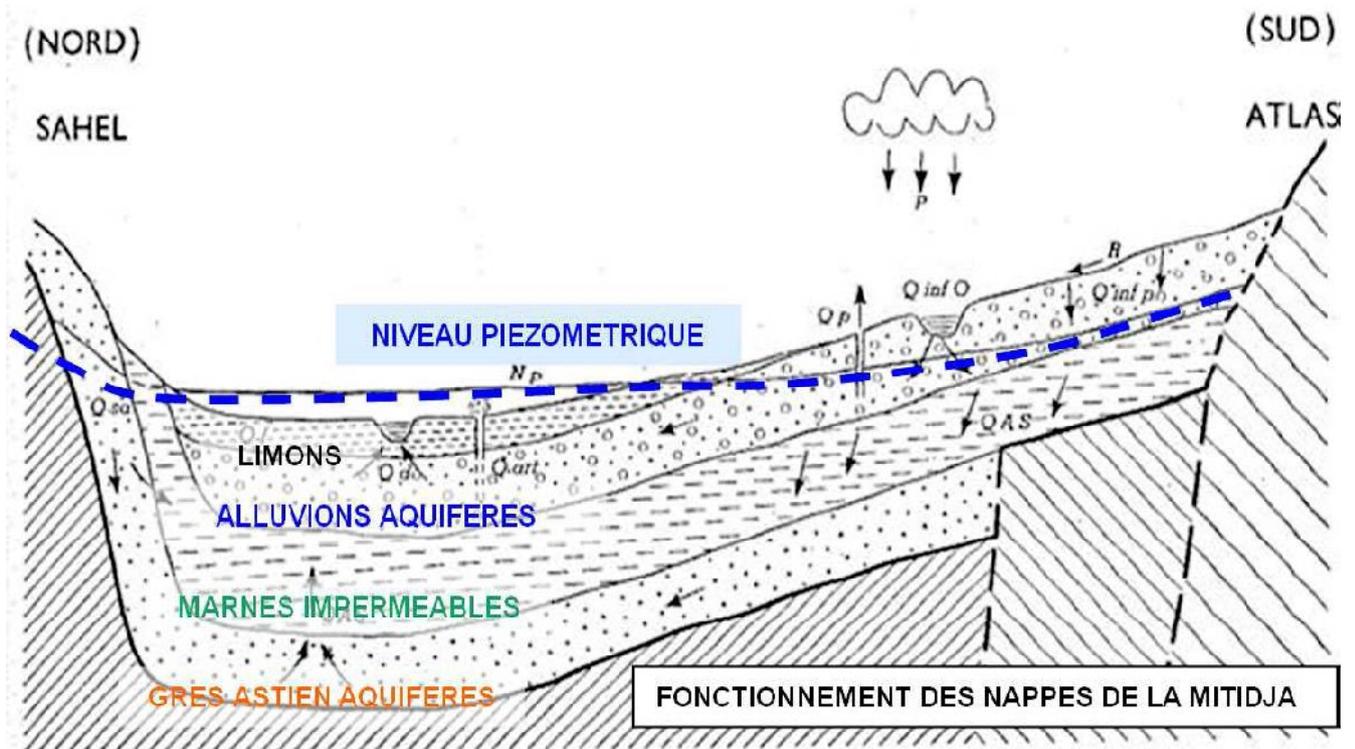


Figure III-1 : Coupe transversale illustrant les systèmes de fonctionnement des nappes de la Mitidja (M. Engalenc Géohydraulique 1971).

III : Caractéristiques hydrodynamiques des aquifères :

Les caractéristiques hydrodynamiques des terrains permettent d'évaluer d'une part, leur 'facilité' à laisser l'eau circuler lorsqu'ils sont soumis à un gradient de charge hydraulique, et d'autre part, leur capacité d'emménagement de l'eau. Les paramètres qui décrivent ces caractéristiques sont respectivement la perméabilité et le coefficient d'emménagement.

III-1 : La transmissivité –perméabilité :

« La *perméabilité* » est l'aptitude d'un réservoir à se laisser traverser par l'eau sous l'effet d'un gradient hydraulique » (G. CASTANY, 1982). Elle est mesurée notamment par le coefficient de perméabilité K. ce dernier dépend à la fois des caractéristiques du réservoir (granulométrie, porosité efficace) et des caractéristique du fluide (viscosité, donc température, et masse volumique). Il est grossièrement proportionnel au carré du diamètre des grains pour une nappe libre.

La *transmissivité* caractérise la productivité d'un captage. C'est le produit du coefficient de perméabilité K par l'épaisseur de la zone saturée h.

III-1-1) l'aquifère Astien :

Concernant l'aquifère de l'Astien, Les valeurs de transmissivité s'échelonnent entre $0,8 \cdot 10^{-4}$ et $2,9 \cdot 10^{-3}$ m²/s, soit des perméabilités comprises entre $4 \cdot 10^{-6}$ et $1,6 \cdot 10^{-4}$ m/s. (SOGREAH ,2008)

Il comporte néanmoins des chenaux de bonne transmissivité avec des valeurs allant de 10^4 à $30 \cdot 10^{-3}$ m²/s, coïncidant le plus souvent avec les chenaux transmissifs de l'aquifère alluvial. (Géohydraulique, 1970 in Berdous.F et Bennani .K, 1997).

III-1-2) l'aquifère alluvial de la Mitidja :

Cette aquifère présente des perméabilités verticales inférieures aux perméabilités horizontales, du fait des grandes variations de granulométrie et de stratification.

D'après les valeurs acquises depuis 1968, la transmissivité de l'aquifère est comprise entre $1 \cdot 10^{-4}$ et $2 \cdot 10^{-2}$ m²/s. (SOGREAH ,2008)

Transmissivités (BRGM, 1973 in Berdous.F, 1997) et sur les mesures ponctuelles recueillies dans les études antérieures, ou calculées à partir d'essais de pompage et des débits spécifiques disponibles.

D'après la carte Krigée des transmissivité (Toubal, 1998) on observe trois zones d'intérêt hydrogéologique :

La première zone : se localise au niveau du Hamiz avec des transmissivités qui varient entre $1,7 \cdot 10^{-2}$ et $2,3 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$.

La deuxième zone : se situe au niveau du bassin d'El Harrach avec des transmissivité qui varient entre $0,4 \cdot 10^{-2}$ et $3 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$.

La troisième zone : se trouve au niveau du Mazafran avec des transmissivité de l'ordre de $1,5 \cdot 10^{-2}$ et $2 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$.

Les faibles valeurs se répartissent dans les fonds peu perméables (l'axe de Mouzaia Attatba, de Boufarik _ oued El Alleug et dans la région de Meftah).

Ainsi que dans les piémonts de l'Atlas où les valeurs de la transmissivité varient entre 10^{-3} et $5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

Ces zones de faibles transmissivité correspondent aux endroits où le toit des marnes est topographiquement relevé.

III-2 : Le coefficient d'emménagement (S):

Le *coefficient d'emménagement* d'un aquifère est déterminé à partir de la quantité d'eau libérée pour une perte de charge donnée, c'est à dire une baisse de pression.

Pour une nappe libre, c'est la gravité qui provoque l'écoulement de l'eau. Pour une nappe captive, l'expulsion d'une petite quantité d'eau provoque une grande variation de pression et donc une forte perte de charge.

III-2-1) pour l'aquifère de l'Astien :

Cet aquifère est considéré comme captif, hormis les zones de contact avec l'aquifère des alluvions la Mitidja. Le coefficient d'emménagement sera défini à partir des valeurs de Mac Donald (1992) comprises entre $5 \cdot 10^{-3}$ à $5 \cdot 10^{-6}$ en zone captive et 0.03 à 0.05 en zone libre. (SOGREAH ,2008)

III-2-2) pour l'aquifère alluvial de la Mitidja :

En ce qui concerne la formation de la Mitidja, il faudra distinguer la zone captive de l'aquifère dans le secteur de Mazafran et les zones libres.

Les valeurs répertoriées dans l'étude de (Bennie& Partners, 1983) et de (Mac Donald ,1992) pourront être exploitées pour la nappe libre et donnent un coefficient d'emmagasinement de d'ordre de 3% à l'Ouest et de 15% à l'Est avec une valeur moyenne de 6 à 7% sur l'ensemble de la plaine.

D'après la synthèse de données, les valeurs d'emmagasinement s'échelonnent de 10^{-3} pour la nappe captive à 0,15 pour la nappe libre. (SOGREAH ,2008)

IV : Piézométrie :

Notre zone d'étude se répartie sur 4 cartes à l'échelle 1/50000 de l'ancien découpage ; la carte de Hadjout N°62, la carte de Blida N°63, la carte de Koléa N°41 et enfin la carte de l'Tipasa.

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

Ce réseau fait l'objet de deux campagnes de mesures par an (une campagne en période des basses eaux et une autre en période des hautes eaux). Cela permet d'assurer un suivi des fluctuations de la surface piézométrique de la nappe de la Mitidja.

IV-1 : Interprétation de la carte piézométrique (période des hautes et des basses eaux) :

La carte piézométrique réalisée (Figure III-2 et Figure III-3) d'après la campagne d'Avril et octobre ,2010 voir (Annexe N°6), montre que les eaux de l'aquifère alluvial s'écoulent du Sud vers le Nord .les gradient hydrauliques diminuent en aval.

On remarque, dans la partie Sud que les isopiézes sont parallèles à l'Atlas. Ce qui suggère une zone de contact hydraulique (zone d'apport). Vers la partie Nord, ces isopiézes s'incurvent pour mettre en évidence la convergence des écoulements vers le principal exutoire de l'aquifère : la cluse du Mazafran.

On signale aussi un resserrement des courbes vers la partie Sud (piémont de l'Atlas. A ce niveau la nappe s'enfonce jusqu'à 80 m.

Dans la partie Nord de la zone d'étude, les courbes sont très influencées par les effets de pompage dans les stations ; (Mazafran I et II).

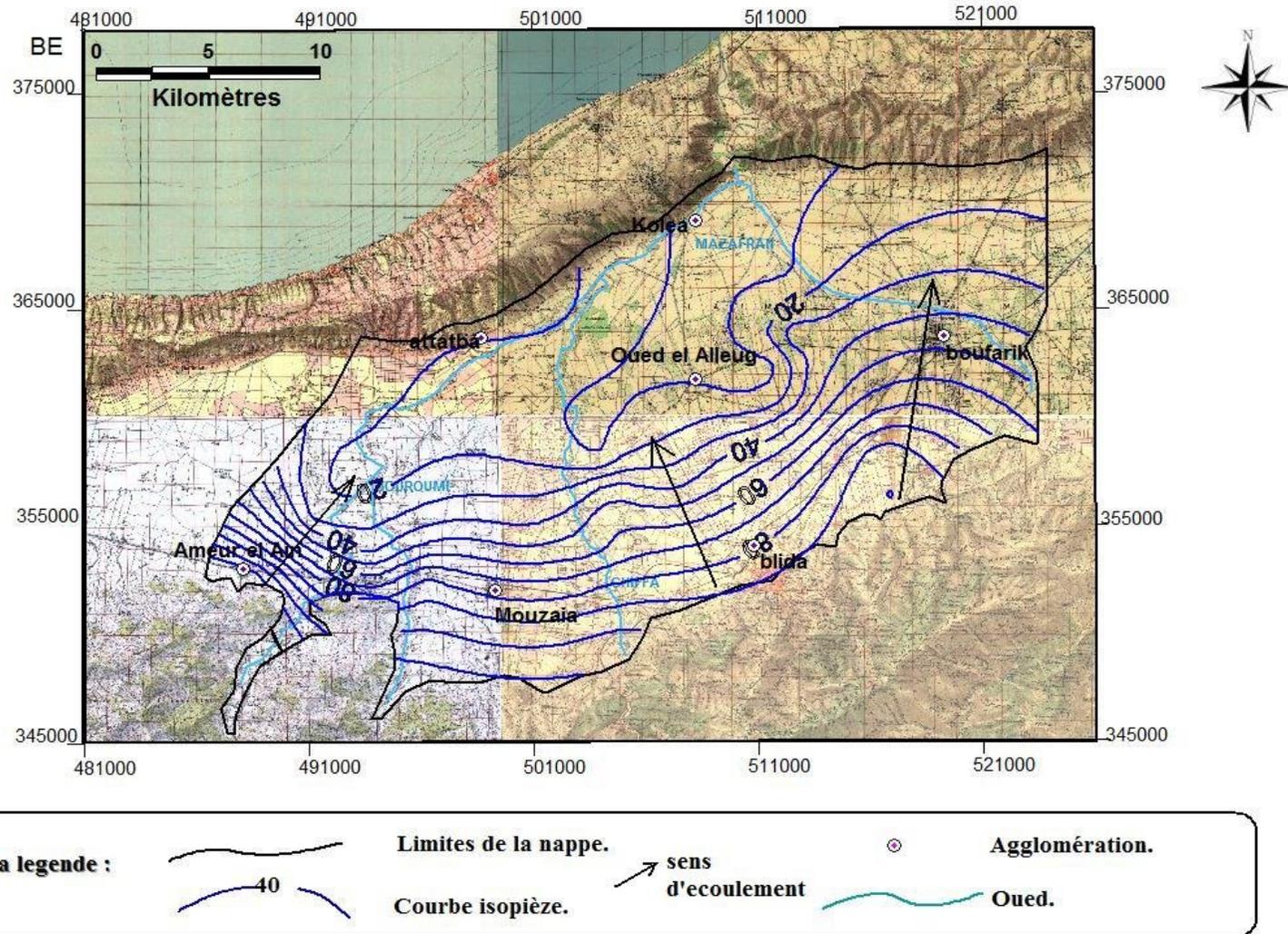


Figure III-2 : la carte piézométrique de la nappe alluviale de la Mitidja Centre et Ouest (période des hautes eaux 2010).

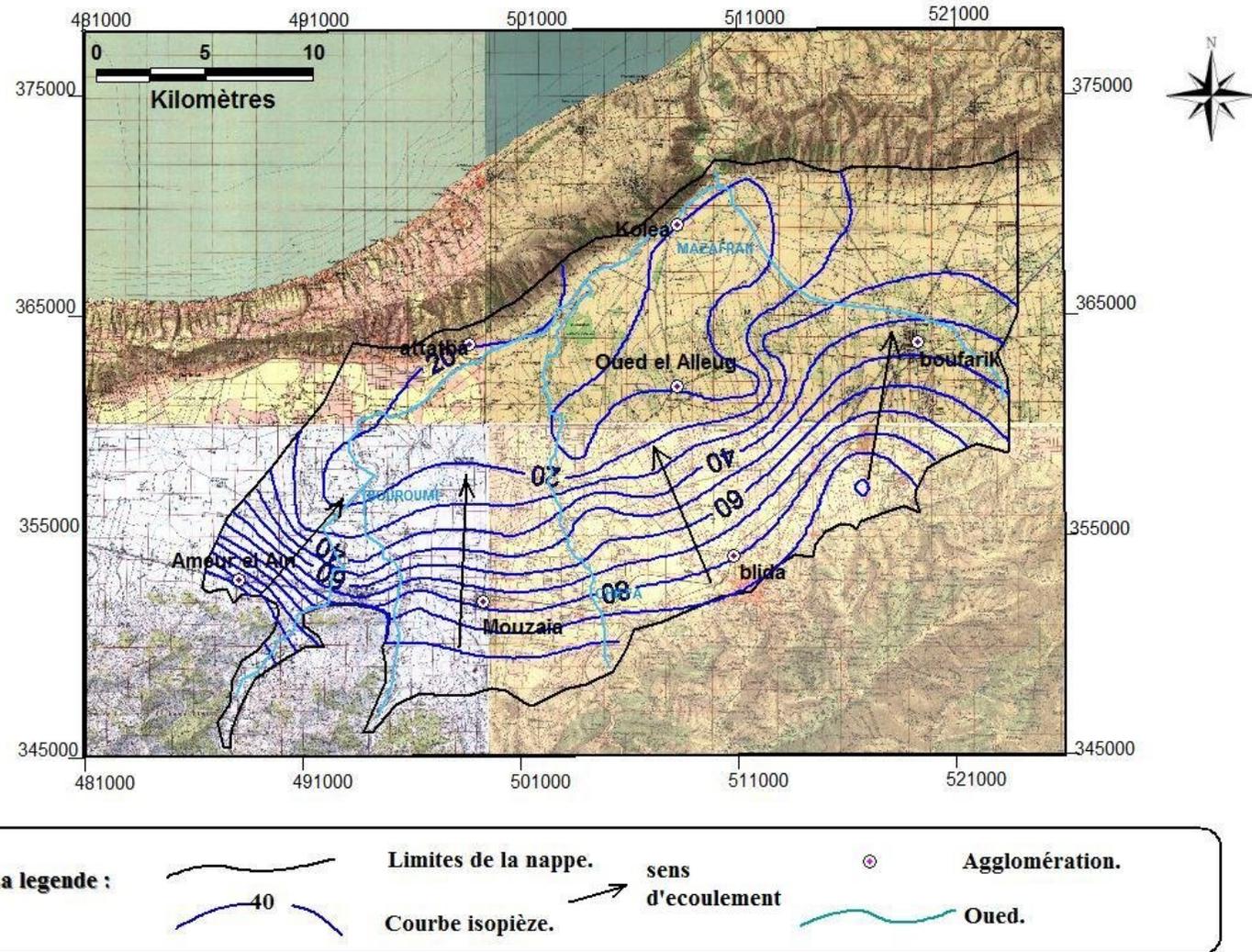


Figure III-3 : la carte piézométrique de la nappe alluviale de la Mitidja Centre et Ouest (période des basses eaux 2010).

IV-2 Chroniques piézométriques et interprétations des fluctuations piézométriques :

Le niveau de la nappe alluviale de la Mitidja pendant la période (2000 – 2010) a varié de 2m à 30m selon les endroits (Figure III-4, III-5). Les plus importantes chutes du niveau piézométrique sont enregistrées en mars 1999, avril 2003 et 2004. Une chute de 11.5 m a été enregistré dans le piézomètre 23 du Mazafran durant la même année piézométrique.

Le secteur du Mazafran est le plus affecté par cette fluctuation.

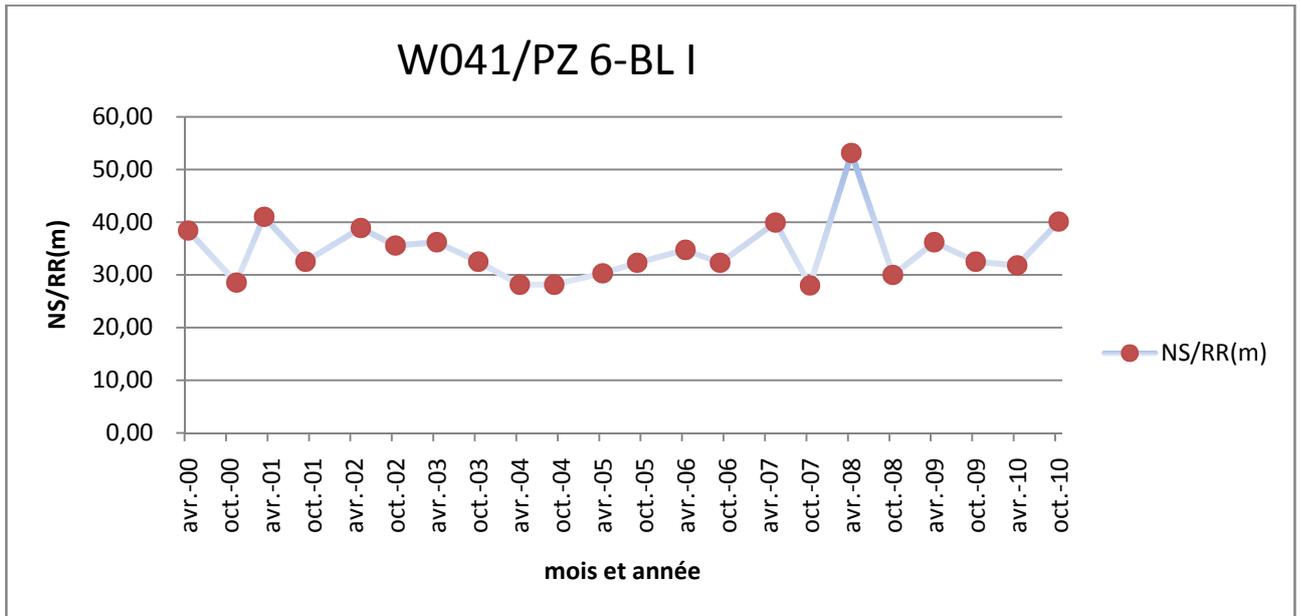


Figure III-4 : Evolution piézométrique dans le secteur du Blida durant la période de (2000-2010).

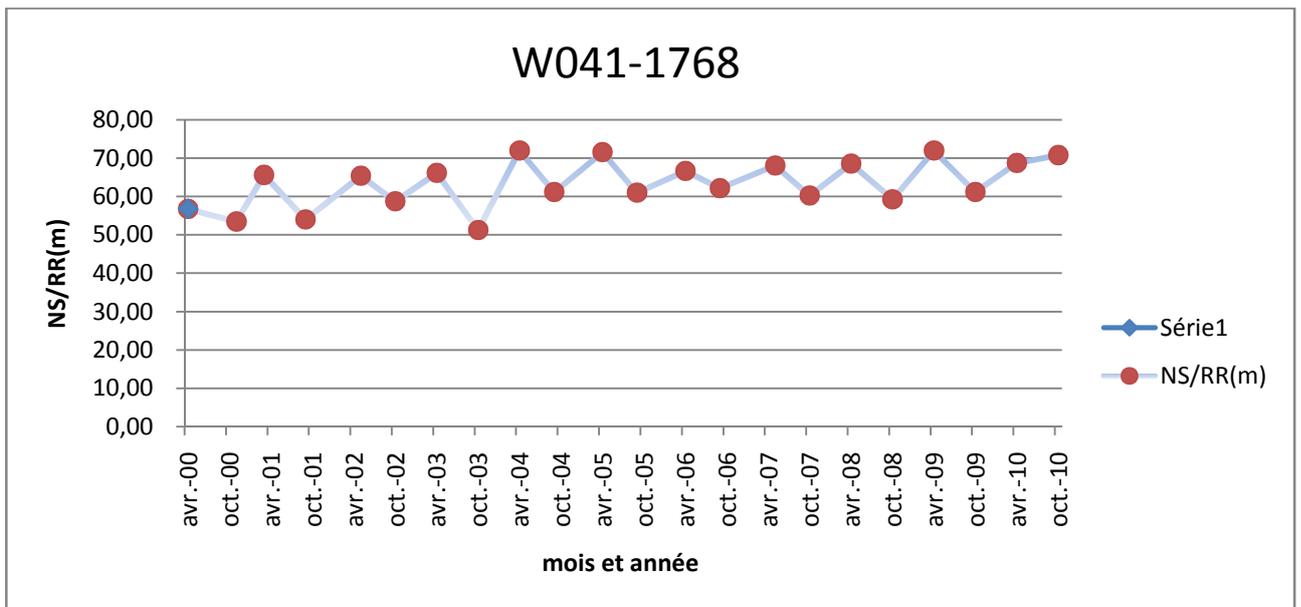


Figure III-5 : Evolution piézométrique dans le secteur du Mazafran durant la période de (2000-2010).

IV-3 Fluctuation de niveau piézométrique de la nappe alluviale de la Mitidja Centre et Ouest de l'année 2010 :

Suite a notre calcule schématique des mesures piézométriques effectuées dans la Mitidja centre et ouest en périodes de hautes et basses eaux.(figure III-6).

La plaine de oued el Alleug : on constate que:

Une baisse de niveau piézométrique de 4 à 0 mètres, elle atteint -4 m au niveau du piézomètre (W041-1765) Le niveau piézométrique atteint des valeurs négatives

- Cette baisse du niveau est due à l'intense exploitation de la nappe durant la période d'étiage pour satisfaire le drainage hydraulique.
- une remontée de la nappe au niveau du piézomètre (W041-1765) avec une valeur de 8m.

La plaine de chiffa:

Les valeurs de battement et les courbes d'hydro isohypse montrent une diminution importante de niveau de la nappe.

- Une diminution du niveau piézométrique.
- on ne remarque aucune fluctuation piézométrique cela du à la profondeur des nappes élevées.

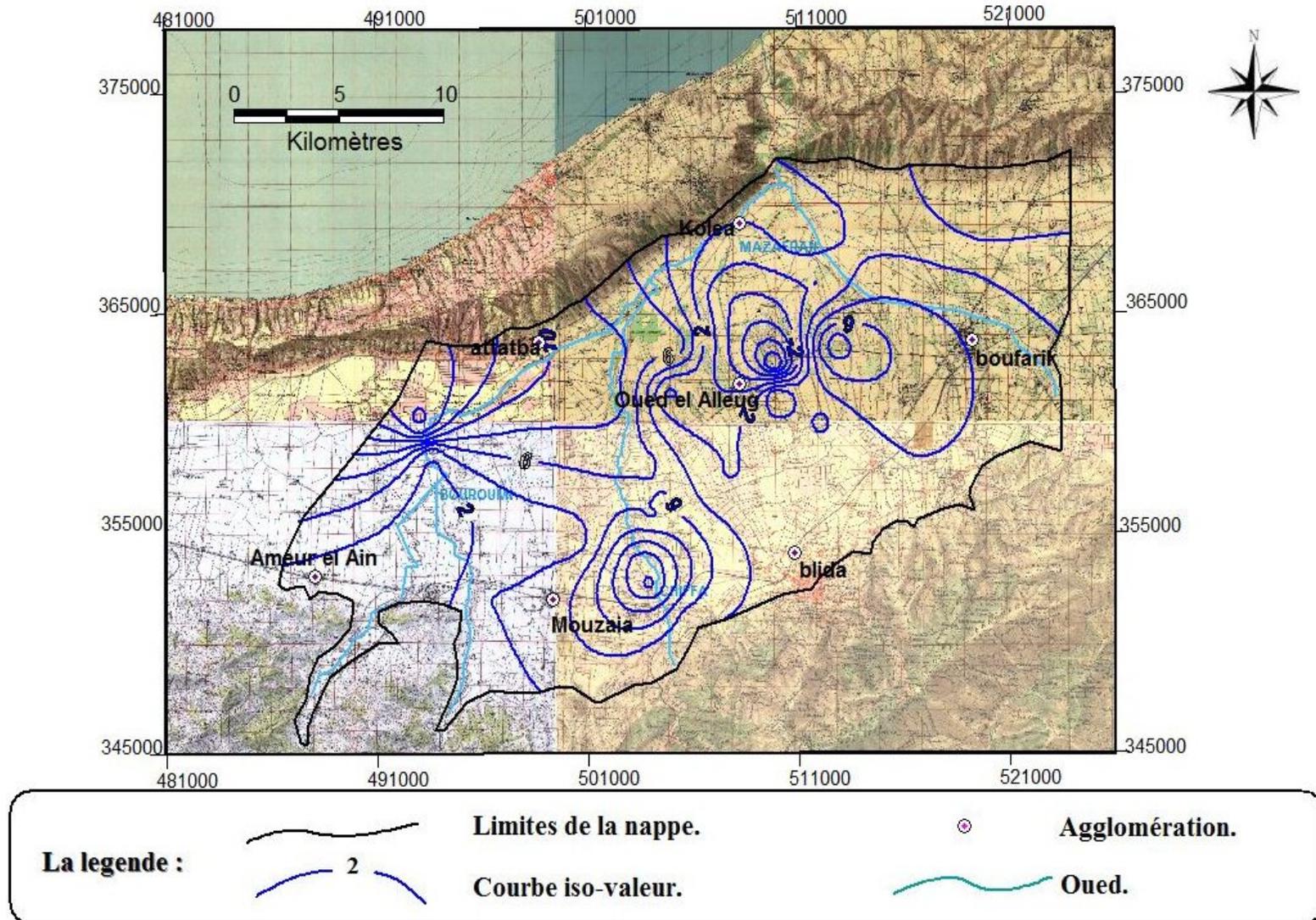


Figure III-6 : Carte de fluctuation de niveau piézométrique de la nappe alluviale de la Mitidja Centre et Ouest (2010)

V- 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 est captive.

I- Introduction

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.

Cette étude hydrochimique a été faite grâce à la constitution d'un dossier analytique concernant tous les points d'eau ayant servi à la piézométrie. A cet effet, deux campagnes d'échantillonnage de 21 points d'eau, réalisées au mois de Mai 2010 (période des hautes eaux) et au mois de novembre 2010 (périodes des basses eaux). Le choix des sites des prélèvements tient compte aussi d'une bonne répartition spatiale des points d'eau, de manière à couvrir de façon équitable, l'ensemble de la nappe. La connaissance détaillée de la chimie des eaux de la nappe permettra également de mieux les utiliser en particulier pour l'irrigation et l'AEP.

Les résultats de ces analyses sont donnés dans l'annexe N°4.

II- : Analyse des paramètres physico-chimiques :

II-1 : Analyse des paramètres physiques :

II-1-1 : potentiel hydrogène pH :

Il détermine l'acidité ou l'alcalinité de l'eau qui correspond à l'activité des ions H^+ contenus dans l'eau. Tous les échantillons prélevés dans partie Centre et Ouest présentent un $pH > 7$, ce qui reflète l'alcalinité des eaux de la nappe.

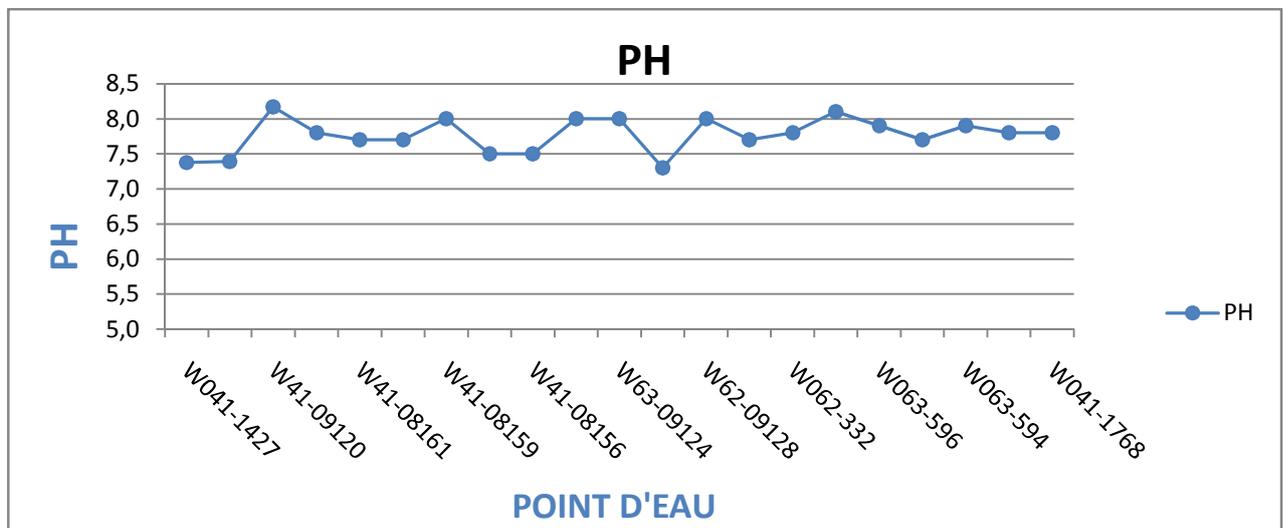


Figure IV-1 : Domaine de variation du pH des échantillons analysés (Campagne Avril 2010).

II-1-2 : Minéralisation globale :

La minéralisation globale correspond à la teneur totale en sels dissous dans l'eau. Elle est en relation directe avec la conductivité électrique de la solution.

Dans le cas de la zone étudiée, les valeurs de la minéralisation se situent généralement entre 350 et 1500 mg/l. pour les deux périodes hautes et basses eaux.

II-1-3 : Conductivité électrique :

La conductivité d'une eau dépend de la quantité des sels dissous (minéralisation). Elle est donnée en mmhos/cm.

L'OMS a fixée (2000 $\mu\text{s/cm}$) comme valeur limite de la conductivité admissible dans l'eau de boisson.

La carte d'iso valeur en conductivité (Figure II-8 et II-9) Pour les deux périodes hautes et basses eaux permet de relever :

Une augmentation progressive des valeurs du Sud vers le Nord.

Les valeurs de faible conductivité ($<1.5 \text{ mS/cm}$) sont localisées dans l'axe Boufarik Oued el Alleug.

Les valeurs les plus élevées ($> 1.5 \text{ mS/cm}$) se trouvent entre El Affroun et Amer El Ain. Ces anomalies s'expliquent par une probable contamination de la nappe ou bien l'existence d'une pollution permanente.

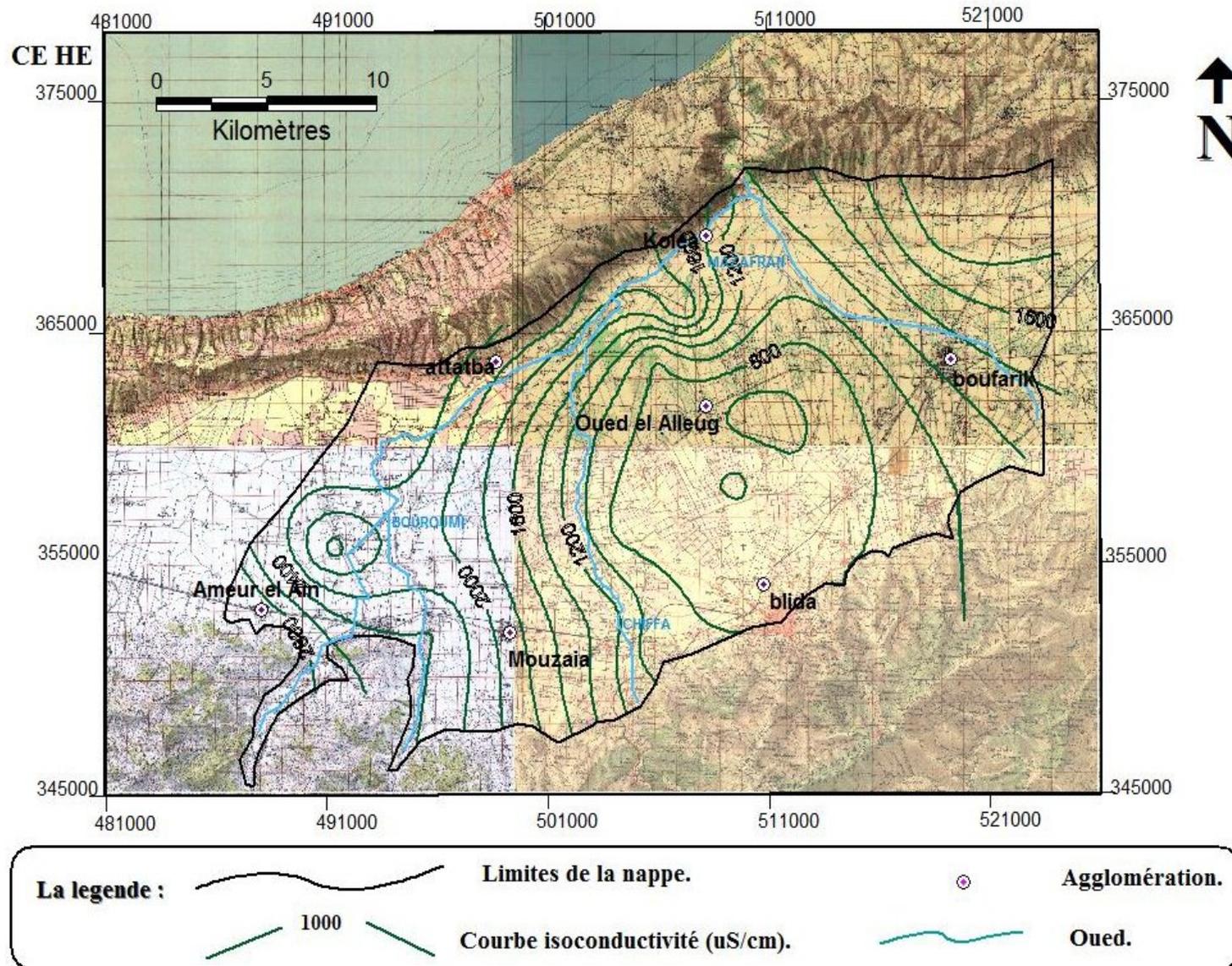


Figure IV-2 : Carte de la conductivité électrique des eaux de la nappe alluviale de la Mitidja centre et ouest (campagne des hautes eaux 2010).

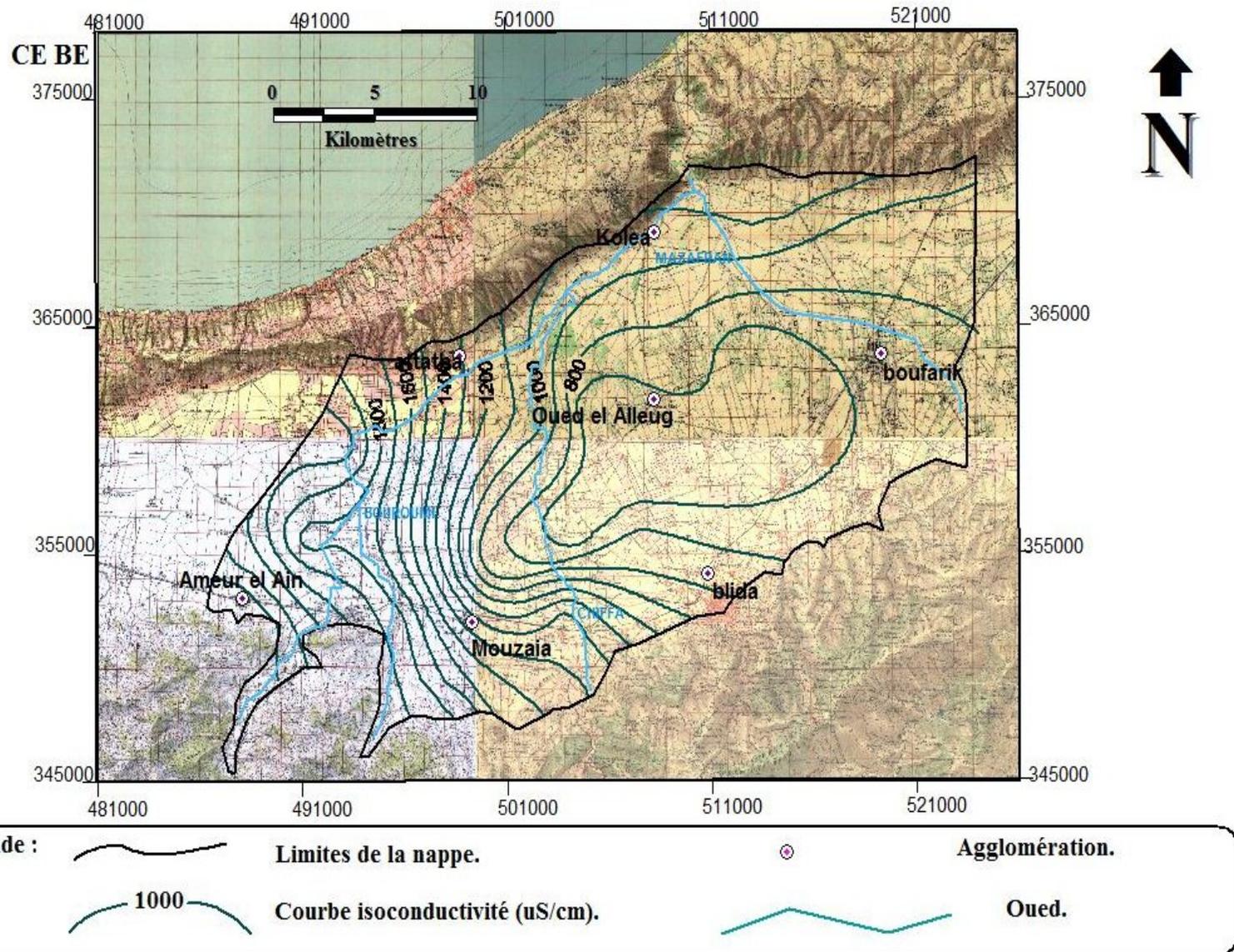


Figure IV-3 : Carte de la conductivité électrique des eaux de la nappe alluviale de la Mitidja centre et ouest (campagne des basses eaux 2010).

II-2 : Analyse des paramètres chimiques :

II-2-1) Teneurs en éléments chimiques :

a) **Les Cations** : les cations analysés sont le calcium, le magnésium, le sodium et le potassium.

- **Le Calcium (Ca^{++})** : Les teneurs en Calcium varient de 42 à 250 mg/l. les plus fortes concentrations s'observent au niveau des puits : W062-251, W041-1760, W062-334 excepté ces points la totalité des analyses présentent des concentrations inférieurs à la valeur maximale admissible qui est de l'ordre de 200mg/l.

- **Le Magnésium (Mg^{++})** : Les teneurs en Magnésium varient entre 8 et 106 mg/l, avec une prédominance inférieure à 100 mg/l. Ces concentrations sont compatibles aux normes maximales admissibles (150mg/l),

Le Magnésium provient essentiellement du lessivage des formations argileuses.

- **Teneur en Sodium (Na^{++})** : Pour ce qui est du Sodium (Na^{++}), plus de 95% des échantillons présentent des concentrations inférieurs aux normes (150mg/l), cela mis à part les points suivants : W41-09120, W41-09123, W062-251.

- **Teneur en Potassium (K^+)** : Pour le potassium, toutes les mesures donnent des valeurs inférieures à la norme admissible (10mg/l).

b) **Les Anions** : les anions analysés sont les chlorures, les sulfates et les bicarbonates.

- **Les Chlorures (Cl)** : Les valeurs s'échelonnent entre 33 et 303 mg/l, ces concentrations sont inférieures aux normes maximales admissibles (600 mg/l).

Les plus fortes concentrations s'observent au Sud de la ville de Koléa dans la région Nord du Mazafran ainsi que dans l'extrême Ouest du secteur d'étude d'Attatba à Amer El Ain de la période des hautes eaux.

- Carte de la période des hautes eaux (mai 2010)

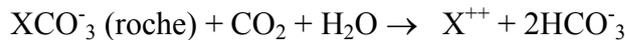
L'analyse de la carte de répartition des chlorures (**Figure IV-4**), permet de voir les faibles valeurs (< 200 mg/l). Les concentrations sont élevées dans la région Nord du Mazafran ainsi que dans l'extrême Ouest du secteur d'étude de Attatba à Amer El Ain, et Attatba à Koléa.

- Carte de la période des basses eaux (novembre 2010)

L'interprétation la carte de répartition des chlorures (**Figure IV-5**), montre que les fortes valeurs se trouvent dans l'extrême Ouest du secteur d'étude d'Attatba à Amer El Ain. Nous constatons des valeurs supérieures à dans la majorité des eaux de la nappe, sauf dans la partie centre (nord de la ville de Blida) où les concentrations sont inférieures à 250 mg/l.

- **Les Sulfates (SO_4^{2-}) :** Les teneurs s'échelonnent entre 15 et 450 mg/l ; on remarque que la plus forte teneur est observée dans l'extrême Ouest de la zone d'étude (W062-332) (une valeur de 450 mg/l Pour la période des hautes eaux) dépasse la norme maximale admissible qui est de 400 mg/l ; cela est dû au lessivage des engrais des terrains agricoles et ainsi qu'aux rejets des eaux usées d'origine industrielle.

- **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 CO_2 dissous,
- concentration de l'eau en sels et nature lithologique des terrains traversés.

Les teneurs varient entre 195 et 638 mg/l. les Bicarbonates proviennent du lessivage des formations du Djebel Zarouala.

- **Les Nitrates (NO_3^-) :** Selon les normes établies par l'O.M.S (organisation mondiale de la santé), le taux de nitrate (NO_3) ne doit pas excéder à 50 mg/l pour une eau potable.

En général les concentrations en Nitrates sont inférieures à cette norme à l'exception des échantillons suivants : W041-1427, W041-1760, W63-09124, W062-251 tous relevés dans la région Sud -Ouest. L'origine de cette pollution peut être multiple (rejets industriels, rejets agricoles et activités humaines).

- Cartes de la période des hautes eaux (mai 2010) et des basses eaux (novembre 2010)

La variation spatiale de la concentration en nitrates pour les deux périodes présente la même allure. La représentation des analyses des deux campagnes permet de différencier trois zones de concentrations (**Figure IV-6** et **Figure IV-7**) :

La zone chargée en nitrates se situe à l'ouest de la plaine (région d'Attatba) avec des valeurs supérieures à 50 mg/l.

Cela est dû à l'activité agricole et à la bonne perméabilité du terrain de sub-surface dans tous la plaine généralement moins exposée à la pollution, montre néanmoins des concentrations en nitrates qui atteignent 20 à 45 mg/l.

II-1-2-2) Rapport de Todd : $r_{Cl^-}/r_{HCO_3^-} + r_{CO_3^{2-}}$: (Figure II-8 ; Figure II-9) :

Représente la salinité de l'eau de la nappe de la Mitidja centre et ouest.

Les plus grandes valeurs du rapport de Todd sont enregistrées dans le nord et l'ouest de la région d'étude dans le secteur Koléa – Attatba et Attatba –Ameur el Ain et diminue au sud jusque la valeur de 0,5.

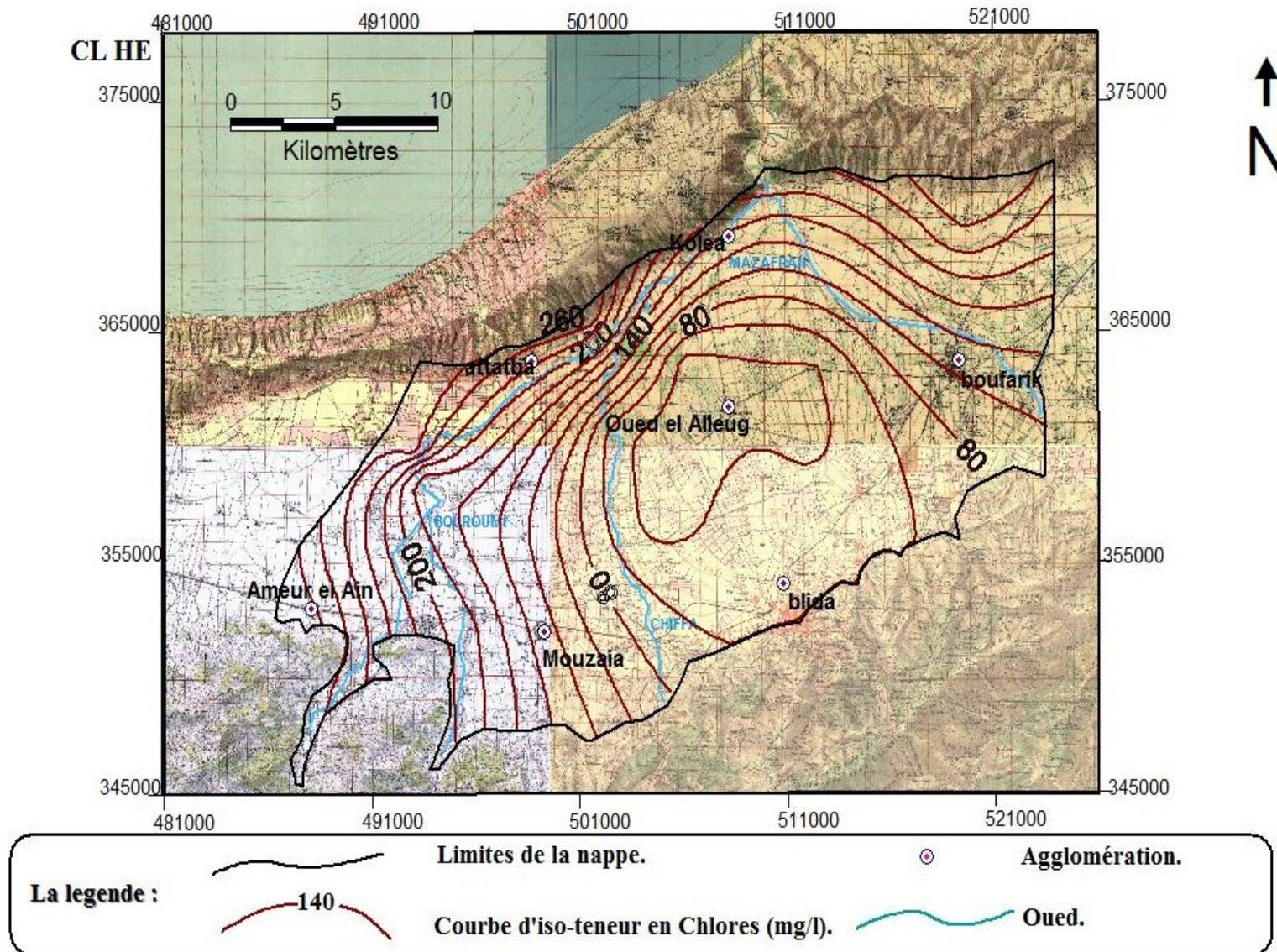


Figure IV-4 : Carte d'iso-teneur en chlores des eaux de la nappe alluviale de la Mitidja centre et ouest (campagne des hautes eaux 2010).

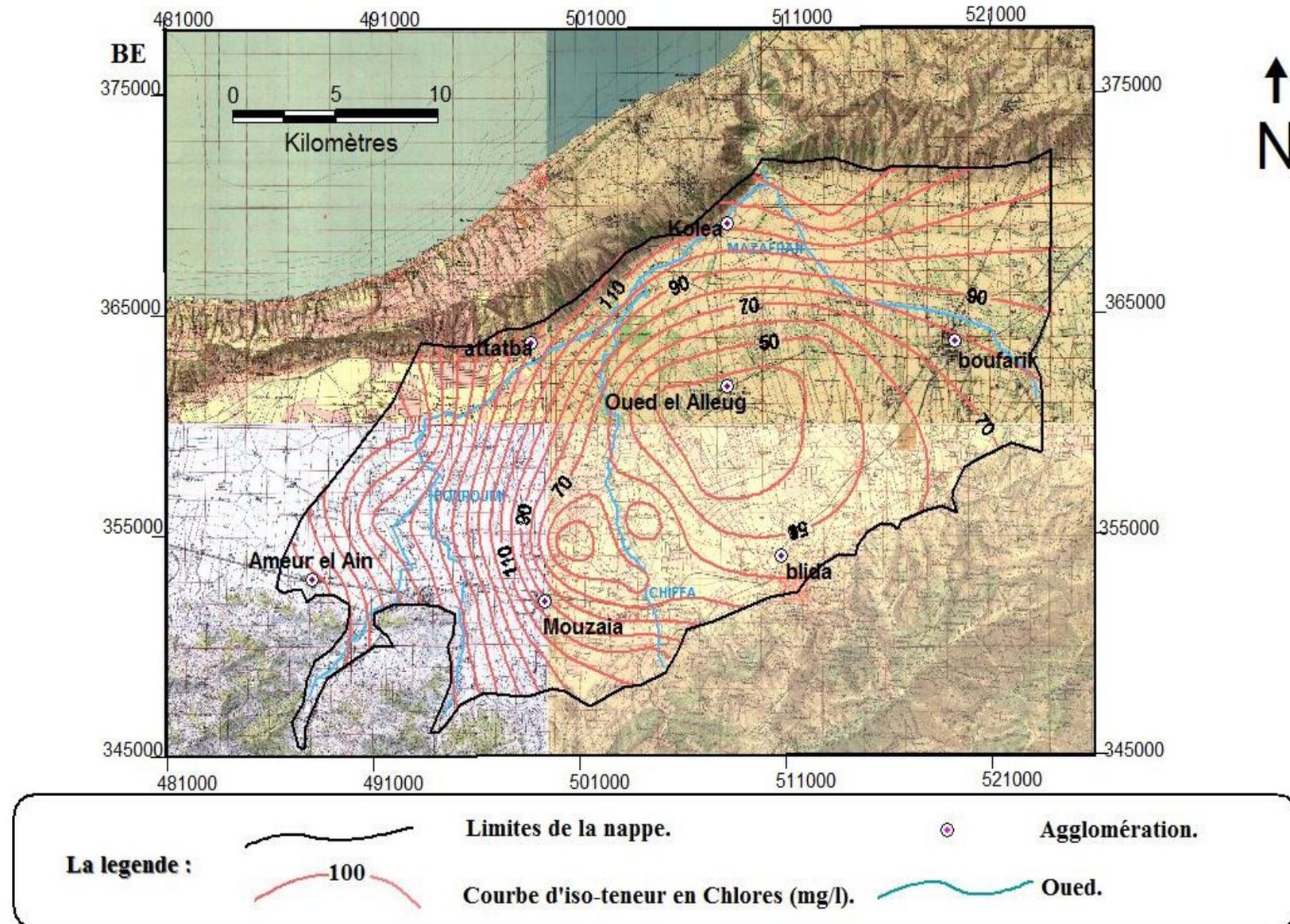


Figure IV-5 : Carte d'iso-teneur en chlores des eaux de la nappe alluviale de la Mitidja centre et ouest (campagne des basses eaux 2010).

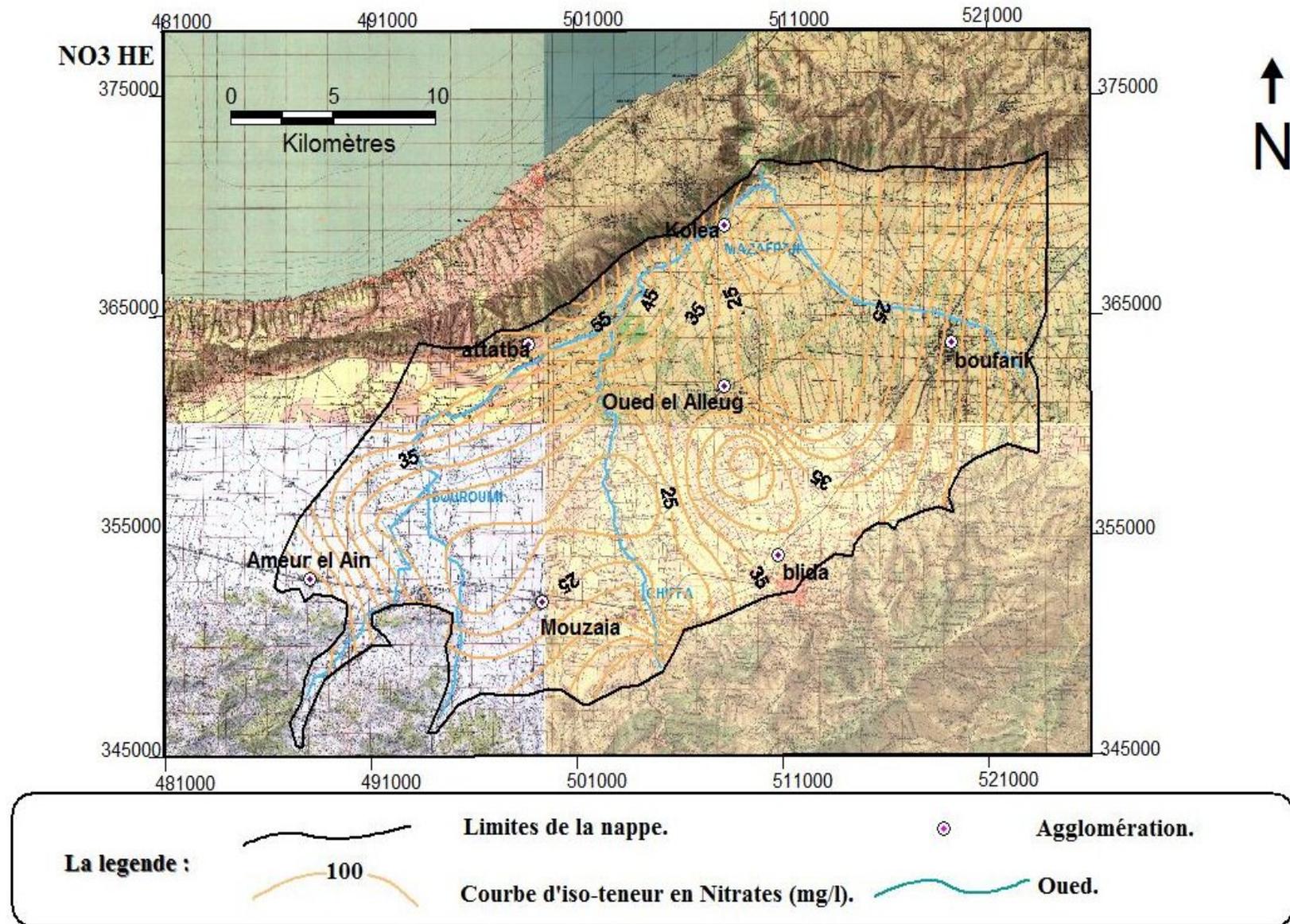


Figure IV-6 : Carte d'iso-teneur en nitrates des eaux de la nappe alluviale de la Mitidja centre et ouest (campagne des hautes eaux 2010).

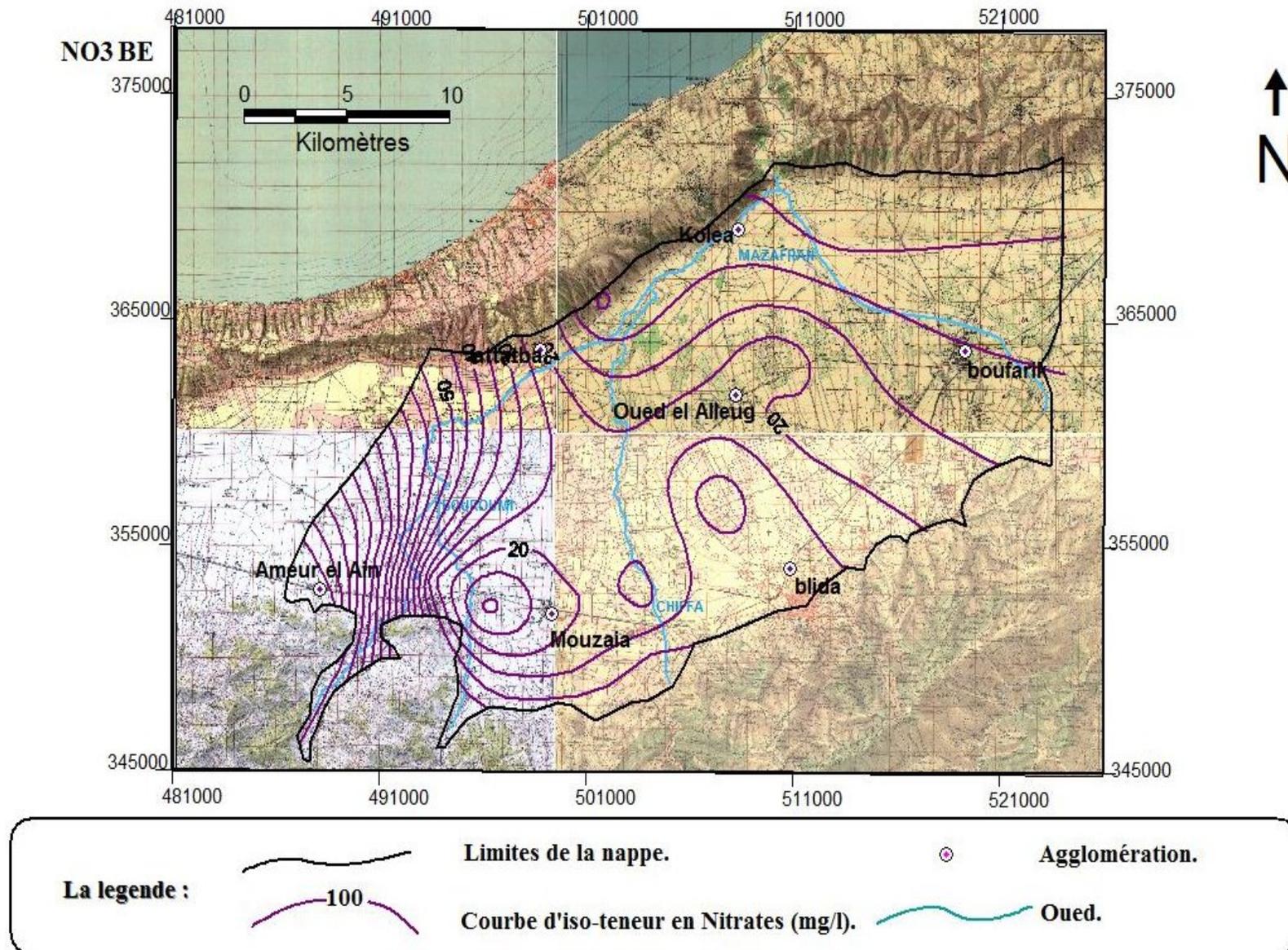


Figure IV-7 : Carte d'iso-teneur en nitrates des eaux de la nappe alluviale de la Mitidja centre et ouest (campagne des basses eaux 2010).

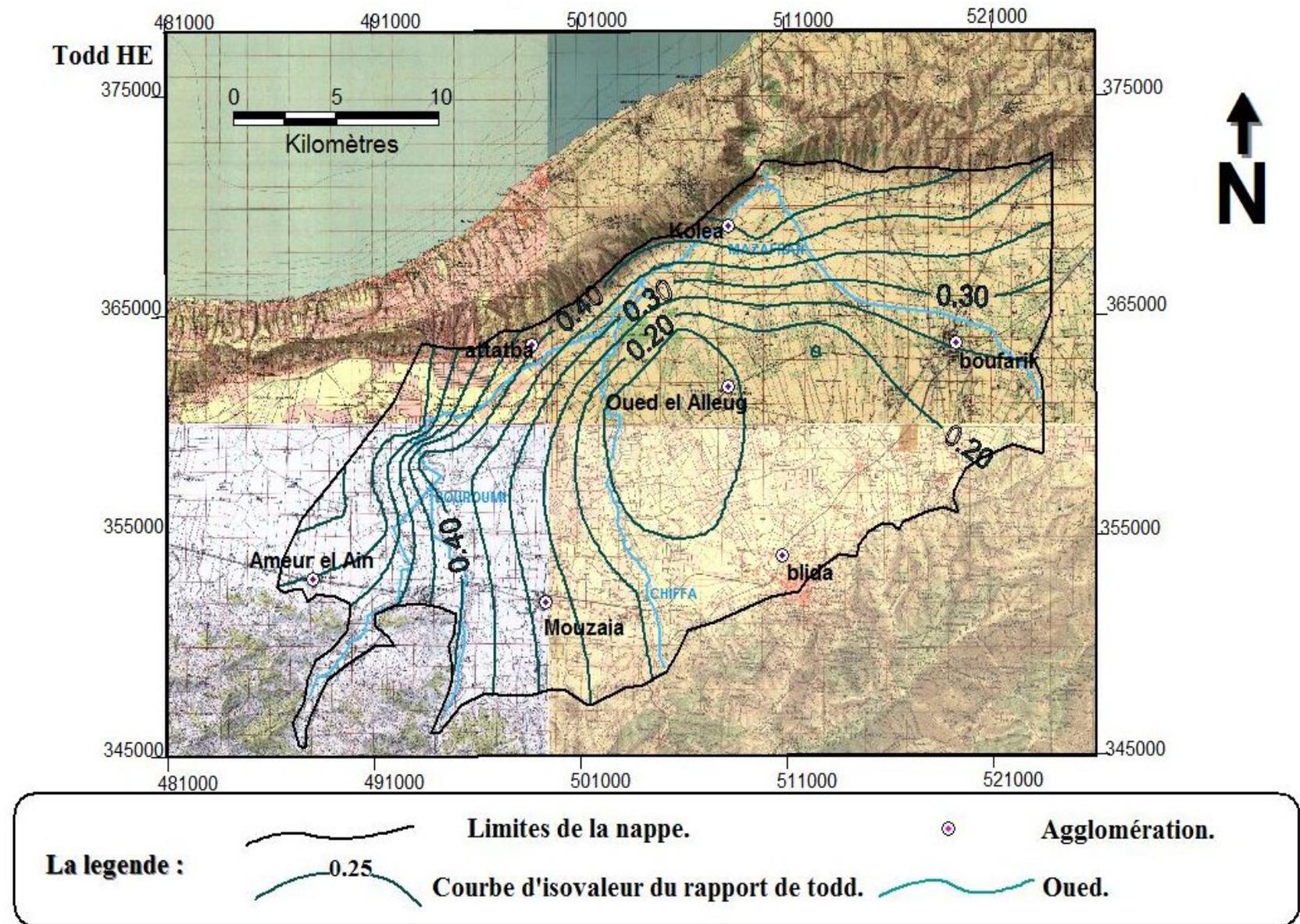


Figure IV-8 : Carte d'équirapport du Todd (campagne des hautes eaux 2010).

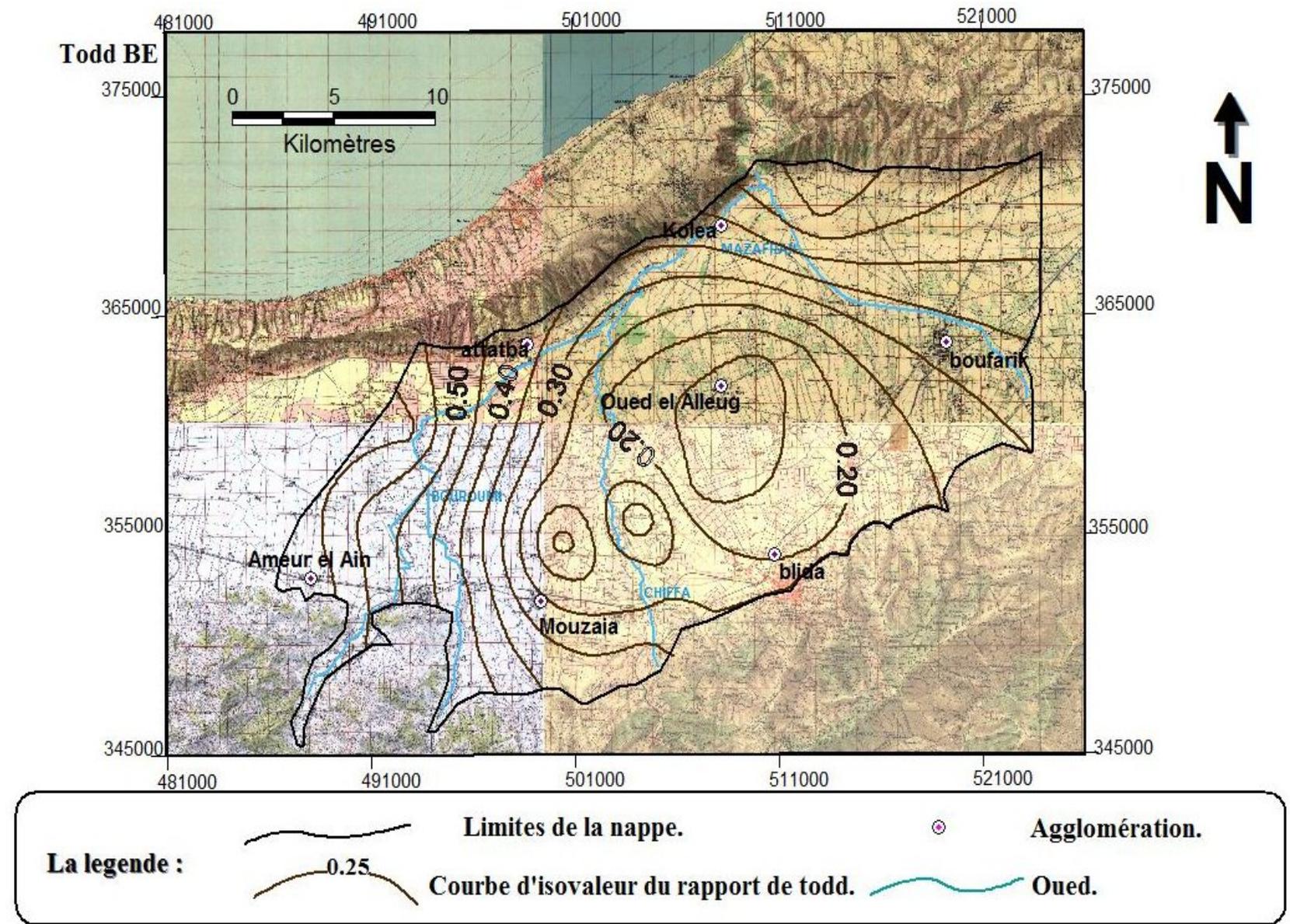


Figure IV-9 : Carte d'équirapport du Todd (campagne des basses eaux 2010).

III- : Classification des eaux :

III-1 : Classification des eaux selon le diagramme de PIPER : (Figure IV-10 et IV-11)

Cette représentation chimique nous permet d'évaluer globalement la composition en éléments majeurs des eaux souterraines.

L'examen des représentations graphiques obtenues, permet de déduire les interprétations suivantes :

- dans le triangle des cations, le calcium sont dominants.
- dans le triangle des anions, ce sont les bicarbonates et les sulfates qui sont les plus abondants.

Ainsi, dans le digramme losangique, l'évolution chimique est alors marquée par un positionnement vers le pôle bicarbonaté calcique et magnésien et vers le pôle chloruré et sulfaté.

- Période des hautes eaux (mai2010) (Figure IV-10)

Le diagramme pour la période des hautes eaux, fait ressortir trois familles de faciès chimiques :

- Famille des eaux chlorurées et sulfatées calciques et magnésiennes, qui englobe la majorité des points d'eau analysés (52,38%),
- Famille des eaux Bicarbonatées calciques et magnésiennes s, représentée par (38,09%).
- Famille des eaux chlorurées sodiques et potassiques, représentée par (4,76%).

- Période des basses eaux (novembre2011) (Figure IV-11)

Le diagramme pour la période des basses eaux, fait ressortir deux familles de faciès chimiques :

- Famille des eaux chlorurées et sulfatées calciques et magnésiennes, qui englobe la majorité des points d'eau analysés (44,44%),
- Famille des eaux Bicarbonatées calciques et magnésiennes s, représentée par (55,55%).

Diagramme de Piper

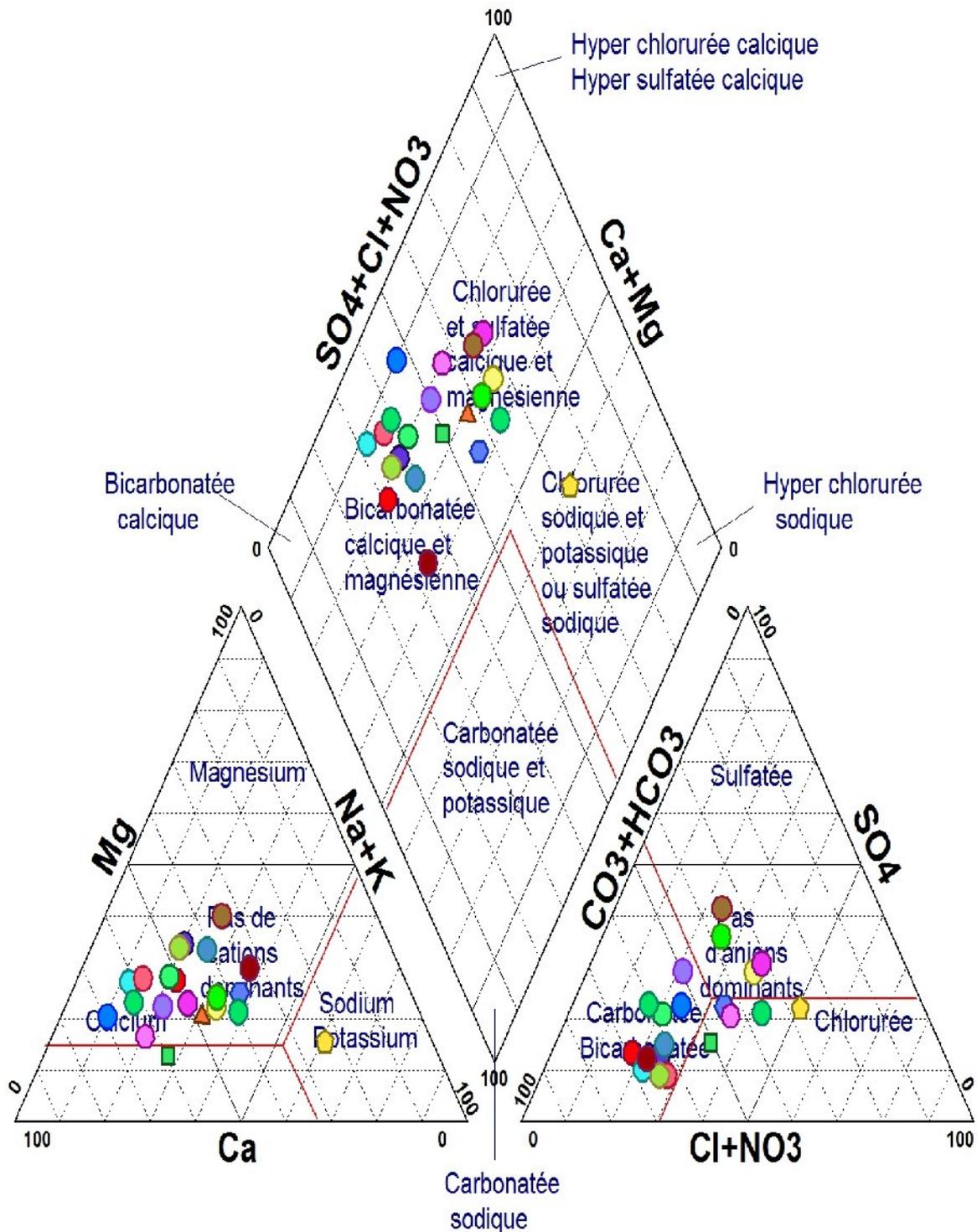


Figure IV-10: Diagramme de PIPER pour les eaux de la nappe alluviale de la Mitidja Centre et Ouest (Compagne hautes eaux 2010).

Diagramme de Piper BE

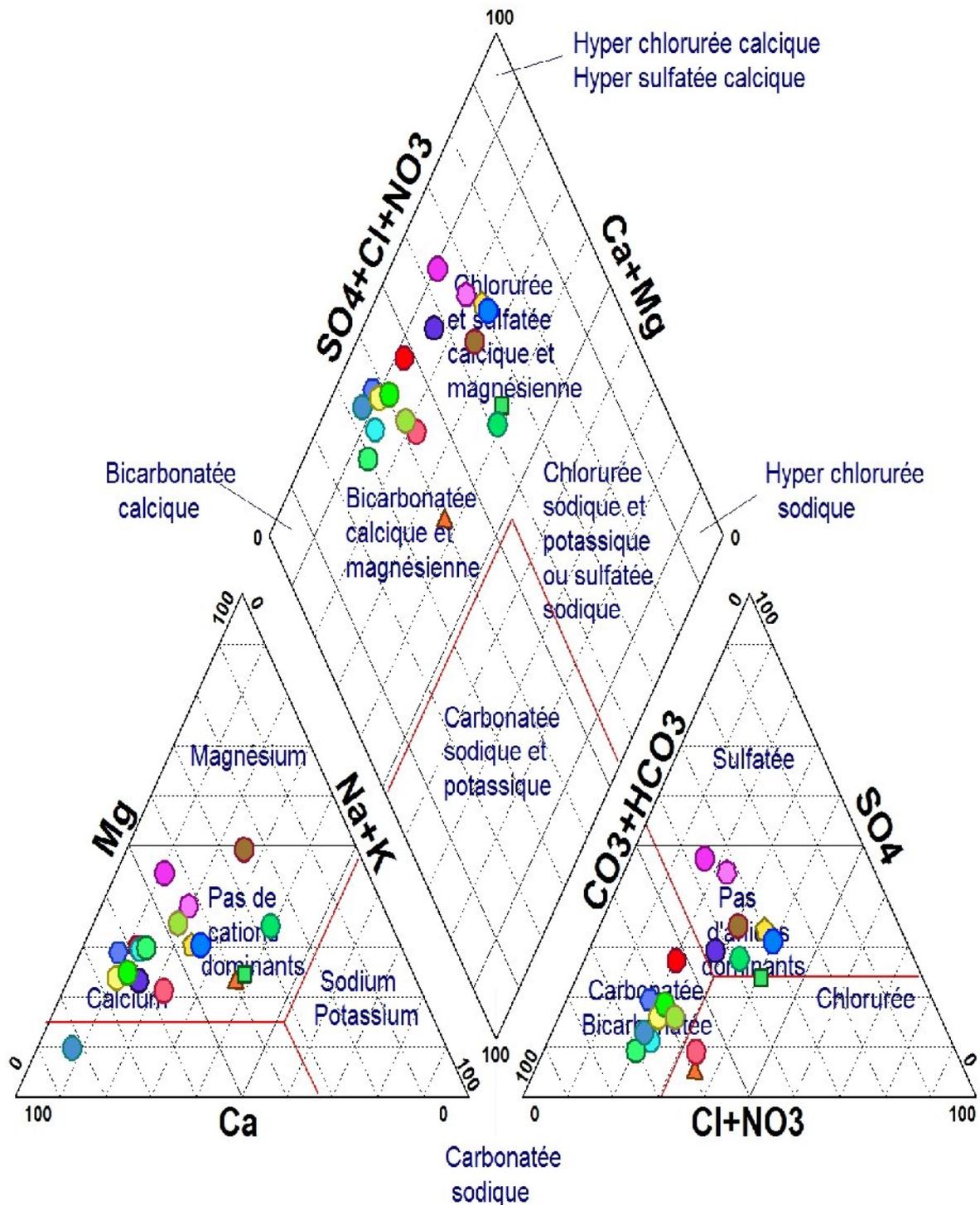


Figure IV-11: Diagramme de PIPER pour les eaux de la nappe alluviale de la Mitidja Centre et Ouest (Compagne basses eaux 2010)

III-2 Représentation graphique des analyses : (Figure IV-12 et Figure IV-13)

La représentation des analyses sur le diagramme semi logarithmique de Scholler- Berkaloff permet de connaître la potabilité des eaux.

Généralement les eaux de la nappe de notre région d'étude sont d'une potabilité bonne à passable, sauf dans le forage W062-251 au niveau duquel on observe plusieurs valeurs excentrées, cela est sûrement due a une éventuelle contamination de la nappe.

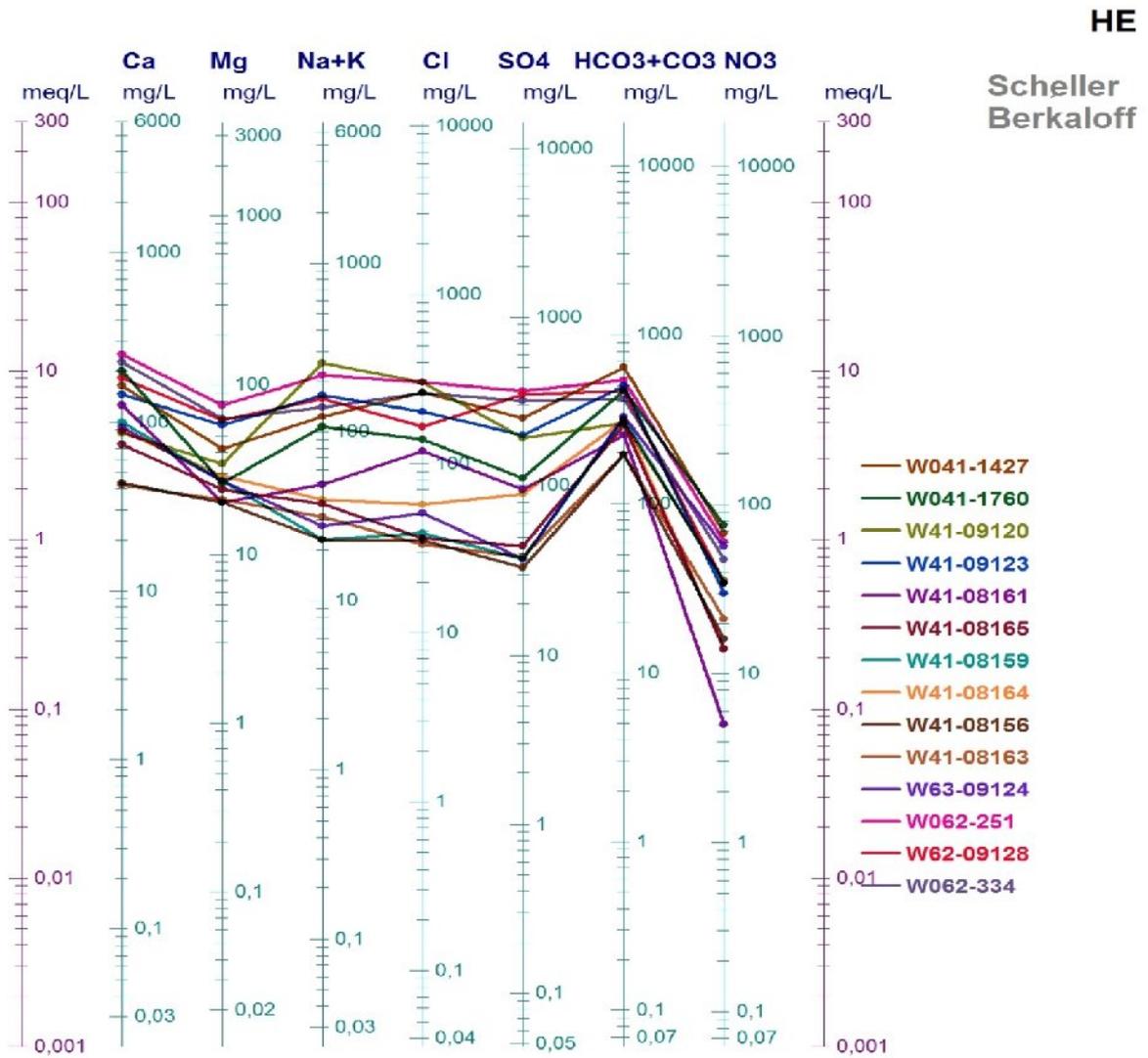


Figure IV-12: représentation graphique des échantillons sur le diagramme de Scholler- Birkaloff (Compagne hautes eaux 2010).

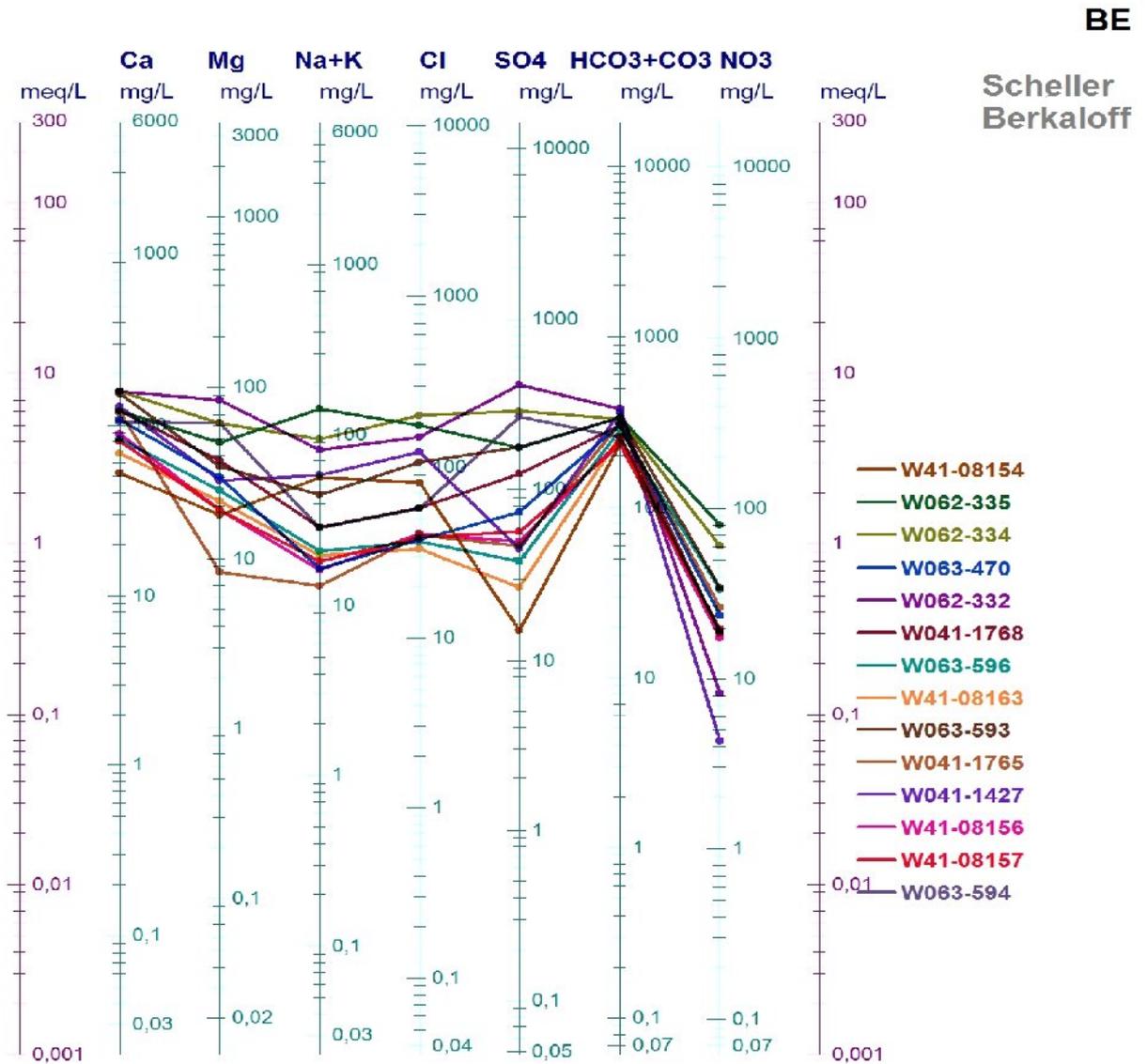


Figure IV-13: représentation graphique de 14 échantillons sur le diagramme de Scholler-Birkaloff (Compagne basses eaux 2010).

III-3 : Aptitudes des eaux à l'irrigation :

La qualité de l'eau utilisée pour l'irrigation est essentielle pour le rendement et la quantité des récoltes, pour l'entretien de la productivité des sols et pour la protection de l'environnement.

Les propriétés physiques et mécaniques du sol, en particulier sa structure (stabilité des agrégats) et sa perméabilité, sont très sensibles aux types d'ions échangeables présents dans les eaux d'irrigation. En effet la qualité de l'eau d'irrigation peut être mieux déterminée par une analyse chimique faite au laboratoire. Le facteur le plus important pour déterminer la convenance d'une eau pour l'irrigation est sa salinité.

Toutes les eaux provenant des sources, des rivières ou pompées à partir de puits contenant d'appréciables quantités de substances chimiques provenant de la dissolution des formations géologiques en place.

Dans les zones à activité agricole intense, la fertilisation est la cause majeure de salinisation des aquifères.

La composition des sels dans l'eau varie selon la source et les propriétés des composés chimiques constituants.

Les principaux ions de l'eau d'irrigation et leurs caractéristiques sont présentés dans le Tableau IV-1 :

Tableau IV-1 Principaux ions présents dans l'eau d'irrigation : (A. Phocaides)

Ions	Symbole chimique	Poids équivalent
Anions (ions acides)		
Chlorure	Cl ⁻	35,5
Sulfate	SO ₄ ²⁻	48
Carbonate	CO ₃ ²⁻	30
Bicarbonate	HCO ₃ ⁻	61
Nitrate	NO ₃ ⁻	62
Cations (ions basiques)		
Sodium	Na ⁺	23
Potassium	K ⁺	39,1
Calcium	Ca ²⁺	20
Magnésium	Mg ²⁺	12,2

Tous les ions sont exprimés en milligrammes par litre (mg/l) et milliéquivalents par litre (meq/l). Cette dernière unité est préférable car les critères de qualité de l'eau impliquent des calculs en milliéquivalents par litre (meq/l).

La formule de conversion est:

$$meq/litre = \frac{mg/litre}{poids\acute{e}quivalent}$$

III-3-1 : La classification de la FAO

La FAO propose cinq classes qui seront résumées sous forme de Tableau IV-2

Tableau IV-2 : classification mondiale de la FAO des eaux d’irrigation par rapport à la conductivité électrique :

Classe	CE (g/l)	appréciation
1	0-1	Bonne pour l’irrigation
2	1-3	Faiblement salée
3	3-5	Salinité moyenne
4	5-10	Fortement salée
5	>10	Salinité extrême

III-3-2 : La classification américaine (USDA)

Elle se base sur la conductivité électrique et le SAR

A- Classification par rapport à la CE : les Américains proposent quatre classes de salinité regroupées dans le tableau suivant.

Tableau II-3: classification américaine (USDA) des eaux d’irrigation par rapport à la conductivité électrique.

Classe	CE (μ mho/cm)	Degré
C1	<250	Propre pour l’irrigation
C2	250 à 750	Propre + lessivage
C3	750 à 2250	Peut être utilisée avec drainage
C4	>2250	Impropres pour l’irrigation

B- La classification par rapport au SAR :

La qualité d’une eau destinée pour l’agriculture, est en étroite relation avec son degré d’alcalinité. En effet, la dispersion de la phase colloïdale du sol, la stabilité des agrégats, la structure du sol et la perméabilité à l’eau sont toutes très sensibles aux types d’ions échangeables que contient l’eau d’irrigation.

L’augmentation de l’alcalinité du sol, qui peut se produire avec une eau concentrée en sodium, réduit la perméabilité particulièrement en surface. Ce phénomène est dû à la dispersion et au gonflement des argiles lorsque la quantité en Na échangeable augmente. Toute fois, pour une certaine valeur du rapport d’adsorption du sodium (SAR), la vitesse d’infiltration augmente ou diminue en fonction du niveau de salinité.

Par conséquent, le SAR et la CE doivent être employés en association pour évaluer les problèmes potentiels éventuels.

Le problème du sodium est diminué si la quantité de calcium plus magnésium est élevée par rapport à la quantité de sodium. Cette relation est nommée taux d'adsorption du sodium (SAR), une valeur calculée par la formule:

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{[Mg^{++}] + [Ca^{++}]}{2}}}$$

C'est le rapport du Sodium par rapport aux autres cations.

Ce terme est très utilisé et exprime le niveau d'alcalinité de l'eau selon les conditions suivantes :

- Si le SAR < 6

L'eau n'est pas alcaline

- Si 6 < SAR < 9

L'eau est alcaline et peut avoir un effet important sur la structure du sol (réduction importante de l'infiltration), et ce phénomène est d'autant plus important si le sol est argileux.

- Les risques liés au sodium

Le taux d'adsorption du sodium est couramment utilisé comme indice des risques liés au sodium dans les eaux et les sols, et comme un substitut du sodium échangeable du sol. Le taux d'adsorption du sodium (SAR) d'une eau donnée définit, dans une certaine mesure, la quantité relative de sodium susceptible d'être adsorbée par le sol.

L'effet des ions de sodium dans l'eau d'irrigation sur la réduction du taux d'infiltration et de la perméabilité du sol est fonction de la concentration totale en sels, comme le montre le Tableau IV-4.

Tableau IV-4: problème potentiel d'infiltration du au sodium dans l'eau d'irrigation :

Niveaux de salinité de l'eau d'irrigation (dS/m)	Réductions			
	Aucune	Légère	Moyenne	Sévère
ECw = 0,7	SAR < 1	SAR 1-5	SAR 5-11	SAR > 11
ECw = 0,7-3,0	< 10	10-15	15-23	> 23
ECw = 3,0-6,0	< 25	> 25	Pas d'effet	Pas d'effet
ECw = 6,0-14,0	< 35	> 35	Pas d'effet	Pas d'effet
ECw > 14	Pas d'effet	Pas d'effet	Pas d'effet	Pas d'effet

Source: extrait de Rhoades, Oster et Schroer.

C- L'utilisation du SAR et la CE pour évaluer les problèmes d'infiltration :

À un SAR donné, le taux d'infiltration augmente en fonction de certaines conditions (la salinité par exemple). Donc le SAR et la CE devraient être utilisés en combinaison pour évaluer les problèmes potentiels.

Tableau IV-5 : les valeurs Moyennes du SAR, CE et PH

	Basses eaux 2010	Haute eaux 2010	Moyenne
SAR	6,12	9,23	7,675
CE mmhos/cm	1,168	1,431	1,3
PH	8	8	8

Généralement, le **CE** varie de 0,515 à 3,05 (annexe N°5), la valeur moyenne est de 1,3 mmhos/cm, Le **SAR** varie de 1,51 à 32,02 (annexe N°5), la valeur moyenne est de 7,675.

Interprétation des résultats

D'après les résultats obtenus, et d'après le diagramme pour la classification de l'eau d'irrigation (Hand book 60) ;(Annexe N°6) nous avons constaté que notre eau est classée C3-S2.

Cette classe présente une salinité élevée et une alcalinité moyenne, cette eau est utiliser avec précautions qu'aux sols légers et bien drainés et des plantes tolérantes à la salinité, le lessivage est important.

III-3-3 : Cartographie de la qualité des eaux

La cartographie constitue le moyen le plus adapté pour une bonne représentation spatiale. L'outil SIG s'avère être très approprié pour cartographier un phénomène naturel pour mettre en évidence la variation spatiale unidimensionnelle.

- **Etablissement des cartes**

Une fois la structure spatiale de la variable étudiée par la méthode de triangulation est réalisée. Les cartes de CE et du SAR sont représentées dans les figures (**figure IV-2, IV-3 et figure IV-14, figure IV-15**).

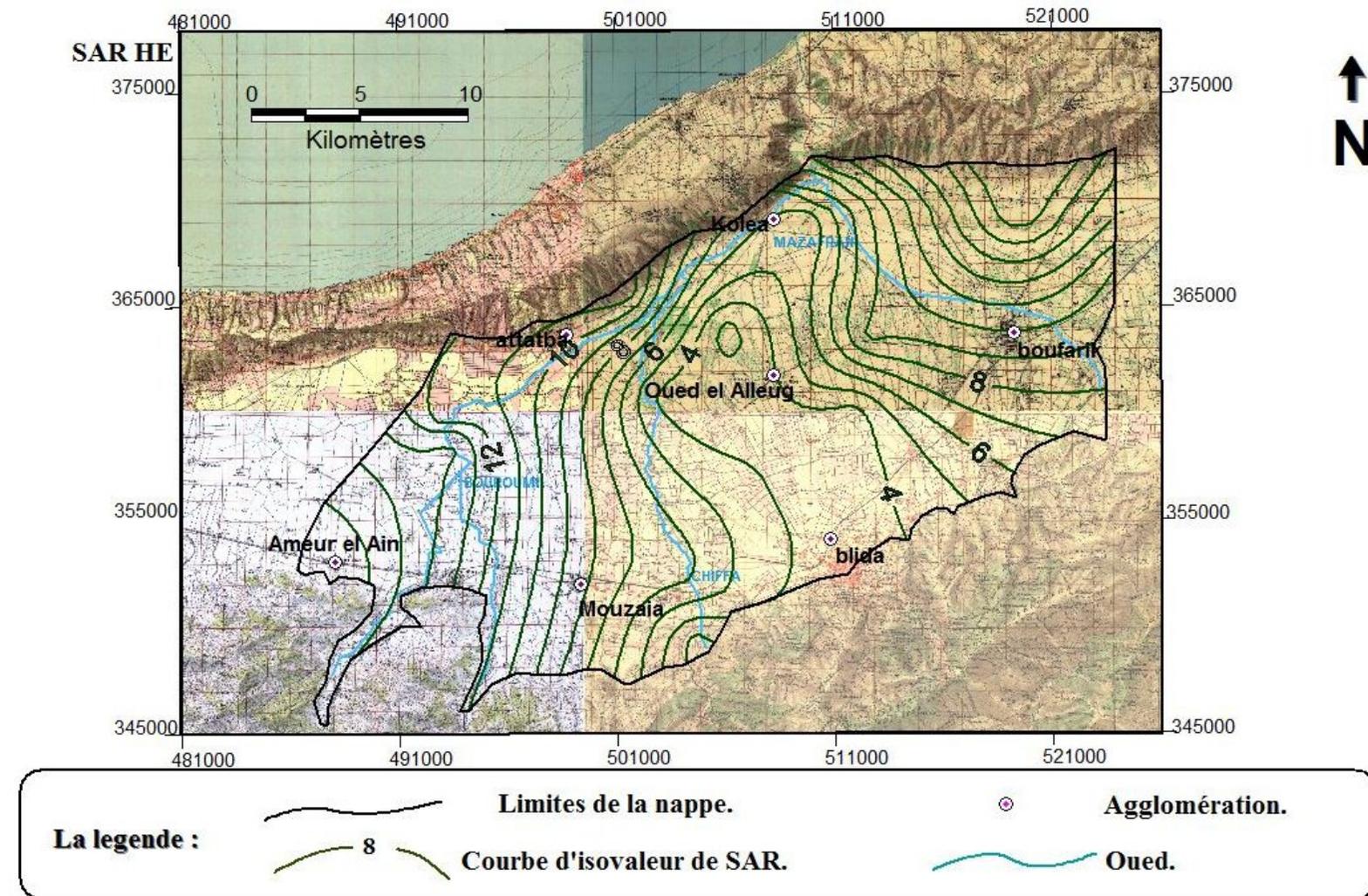


Figure IV-14 : Carte de l'évolution du SAR des eaux de la nappe alluviale de la Mitidja centre et ouest (campagne des hautes eaux 2010).

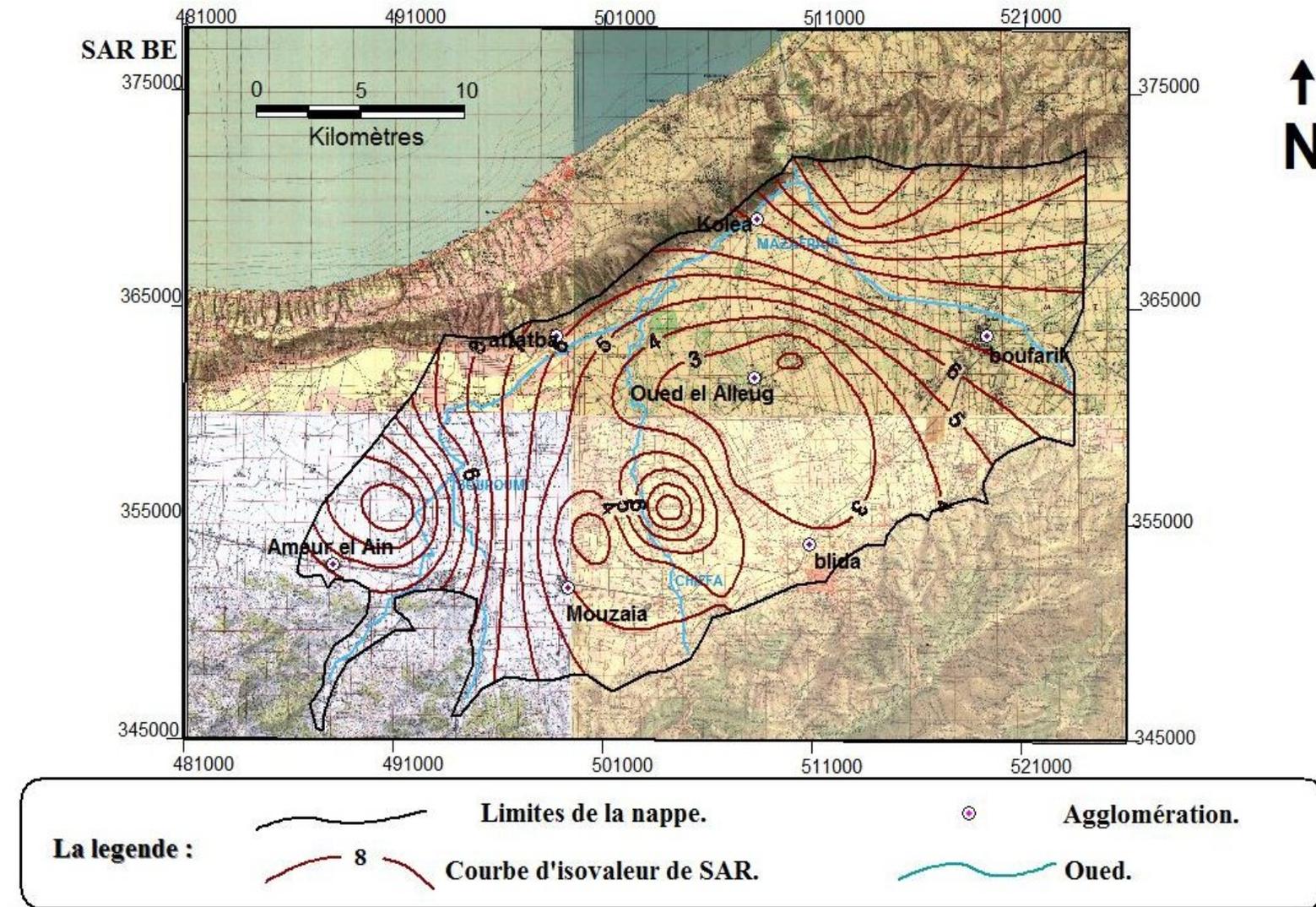


Figure II-15 : Carte de l'évolution du SAR des eaux de la nappe alluviale de la Mitidja centre et ouest (campagne des basses eaux 2010).

D'après les cartes de la conductivité électrique des eaux de la nappe alluviale de la Mitidja centre et ouest (basses et hautes eaux) (Figure IV-2 et II-3), les valeurs de cette dernière augmentent au l'extrême Ouest, au sud de la ville de Attatba.

Les cartes du SAR (Figure IV-14 et IV-15), montre les fortes valeurs se trouvent dans l'extrême Ouest et une légère augmentation des valeurs vers l'Est de la plaine.

Conclusion :

L'étude hydrochimique des eaux de la nappe alluviale de la Mitidja centre et ouest permet de dire que :

- Les eaux sont caractérisées par une forte salinité et par la présence de deux faciès dominants, qui sont le Bicarbonaté calcique et Chloruré calcique.
- Pour l'irrigation présentée une salinité élevée et une alcalinité moyenne, cette eau est utilisable avec précautions qu'aux sols légers et bien drainés et des plantes tolérantes à la salinité, le lessivage est important.
- Sur la totalité des échantillons analysés, on peut dire que les eaux de la plaine sont de bonne qualité minéralogique ; à l'exception de certains points d'eau exposés à une éventuelle pollution.

I- Pollution des eaux souterraines et superficielles

Un polluant est un facteur physique, chimique ou bactériologique résultant de l'activité humaine et provoquant sous une intensité ou une concentration anormale, une altération de la qualité de l'eau naturelle (Billault .C ,1989).

La qualité de l'eau peut être altérée par plusieurs polluants avec l'homme comme facteur principal de la pollution.

I-1 : Critère de pollution d'une eau :

L'eau souterraine est dite polluée lorsqu'elle contient des substances non liées à la structure naturelle des terrains ou elle a séjourné, c'est-à-dire des substances introduites de façon direct ou indirect par l'activité humaine et en particulier lorsque les concentrations des constituants en suspension dépassent les concentrations maximales admissibles fixées par les normes nationales ou internationales.

I-2 : Pollution directe ou indirecte :

La pollution générée par l'homme est directe lorsqu'elle a lieu sur le toit de la nappe souterraine. C'est le cas par exemple d'un rejet de produit organique dans un puits. La pollution est indirecte lorsqu'elle se fait en direction des eaux souterraines, à travers les autres eaux du cycle, d'autres eaux souterraines, ou à travers l'environnement inerte. Le déversement sur le sol d'un pesticide est une pollution indirecte sur les eaux souterraine car pour que le contaminant parvienne à la nappe, il traversera le sol et la zone non saturée de l'aquifère.

I-3 : Nature de la pollution :

La pollution pourra être :

Quantitative : accroissement ou diminution du flux d'eau ou de flux de chaleur qui pourra être cause par la perméabilité de sol, le colmatage des berges ...etc

Qualitative : bactérienne, chimique, radioactivité et thermique.

I-4 : Caractérisation de la pollution :

La pollution est caractérisée par le « **DEFI** » c'est-à-dire sa durée, son étendue, sa fréquence et son intensité. (Parascandola ,1980)

- **Durée** : la durée de l'émission polluante est très variable en fonction de son origine, des moyens de détection et de lutte pour son atténuation.
- **Etendue** : l'étendue de la propagation d'un polluant dépend de sa source, du volume du polluant, des possibilités de détection et des moyens utilisés pour la stopper.
- **Fréquence** : la fréquence d'un phénomène de pollution est directement liée à l'activité humaine à laquelle elle se rapporte, aux mesures prises dans le sens de diminution des actes volontaires ou involontaires de pollution et à l'existence d'infrastructure.
- **Intensité** : est fonction de la toxicité des contaminants et de leurs concentrations. L'intensité maximale peut être estimée par le produit de la concentration maximale et de la toxicité.

I-5 : Type de polluant

Les principaux types de polluants sont :

- Les polluants physiques
- Les polluants chimiques
- Les polluants organiques
- Les polluants microbiologiques

Ces polluants n'ont pas la même toxicité ainsi leur introduction dans l'eau, à des concentrations plus ou moins élevées, pourra entraîner des conséquences allant d'une légère altération jusqu'à la rendre impropre à la consommation.

I-6 : Classification des polluants :

Les polluants peuvent être classés suivant différents critères :

I-6-1 : En fonction de l'origine de la pollution

- La pollution urbaine, elle comprend :
 - les eaux usées domestique trop chargées
 - les eaux usées pluviales ou eaux de ruissellement
- La pollution industrielle

Les rejets industriels sont très variables en nature, ils sont plus ou moins chargés en fonction du type d'industrie et les volumes d'eau rejetée.

- La pollution agricole

Elle résulte de l'utilisation des pesticides, des produits phytosanitaires, des eaux d'infiltration de drainage et de ruissellement sous aires cultivées, de la pratique de l'élevage ... etc

I-6-2 : En fonction de la répartition géographique

- La pollution diffuse : Le polluant se répand dans le milieu par petite quantité mais de façon régulière et parfois sur de très longues périodes.
- La pollution ponctuelle : La pollution est introduite à un endroit bien précis et restreint dans l'espace et le temps.

I-6-3 : En fonction de la répartition dans le temps

- La pollution permanente ou chronique
- La pollution accidentelle
- La pollution saisonnière (sels de déneigement, utilisation des engrais azotés dans certaine culture saisonnière)

I-6-4 : En fonction de la nature des polluants

- La pollution physique (chaleur, radioactivité, matières en suspension)
- La pollution chimique (sels minéraux, détergent, pesticide, solvants, métaux lourds, hydrocarbures)
- La pollution microbiologique (micro-organisme, virus, bactérie)
- La pollution mixte

I-6-5 : En fonction de nombre de polluants

- La pollution *poly-produite* (industrie chimique)
- La pollution *mono-produite* (dépôt d'essence)

I-6-6 : En fonction du comportement du polluant dans l'eau

- La pollution miscible (sels minéraux, métaux)
- La pollution non miscible (huiles, hydrocarbure)

I-7 : Paramètre spécifique de pollution :

Selon les possibilités de pollution, on distingue :

- Les éléments insolubles séparable physiquement (décantation, filtration, flottation)

- Les éléments séparable par voie chimique (précipitation, adsorption ...)
- Les éléments oxydables chimiquement (mesure de DCO)
- Les éléments biodégradable (mesure de DBO)
- Les éléments toxiques (les micropolluants tels que le zinc, le cuivre, le mercure ...)
- Les colorants

II- Méthodes d'évaluations de la vulnérabilité :

La vulnérabilité des nappes d'eau souterraines est une donnée locale qui peut servir à la protection de la ressource en eau, à la planification rationnelle de l'utilisation du Territoire et à la prévention de l'environnement. L'accroissement de la population et le développement économique entraîne une augmentation des volumes d'eau consommés et plus encore une détérioration de sa qualité. Les eaux souterraines, de même que pour les eaux de surface, sont susceptibles d'être contaminées par les activités humaines.

Les phénomènes de filtration et les réactions qui se produisent dans les sols, offrent cependant un certain niveau de protections des nappes contre les polluants déversés à la surface du sol. Cette protection varie en fonction de la nature des matériaux constituant le sol et des conditions hydrogéologiques locales. Dans ce sens, de nombreux pays européens et américains ont conçu une ou plusieurs méthodologies d'évaluation et de cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution.

Plusieurs méthodes ont été développées : française, anglaise, allemande et américaine.

II-1 : Définition de la vulnérabilité :

La vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraine est une notion complexe par le nombre de facteurs qu'elle fait intervenir et par l'importance variable qui peut être attribuée à chacun. Dans la littérature, nous pouvons rencontrer plusieurs définitions de la vulnérabilité des nappes à la pollution bien que convergeant vers le même sens.

* En 1968, J. MARGAT indiquait qu'on pouvait la définir « comme le fait pour une nappe souterraine d'être plus ou moins exposée par les conditions naturelles à un risque donné d'être polluée ».

* En 1970, M. ALBINET, reprend cette définition sous la forme suivante « la vulnérabilité des nappes correspond aux possibilités de pénétration et de propagation des polluants dans les

terrains rencontrés en surface et pour les réservoirs dans lesquels sont contenus la première nappe d'eau souterraine généralement libre ».

* En 1980, Melle M.F PARASCANDOLA précisait que « définir le degré de vulnérabilité suppose que l'on ait su caractériser les agressions et les défenses, que l'on ait su convoler les fonctions d'agressions et de défenses, que l'on ait défini une fonction de vulnérabilité que l'on ait fixé une échelle de vulnérabilité ».

* En 1982, G.CASTANY écrivait « la vulnérabilité des nappes à la pollution est leur sensibilité aux différents facteurs physiques stables, déterminant la mesure où elles sont, dans des conditions naturelles, plus ou moins exposées à la pollution à partir de la surface du sol. Elle étudie les possibilités de propagation dans l'espace souterrain. Celle-ci est, en premier lieu, liée à l'autoépuration naturelle du sol, donc à la présence de conditions indispensables à son action. En second lieu, elle est favorisée par la circulation de l'eau. »

II-3 : Différentes méthodes d'estimation de la vulnérabilité :

Les premières cartes de vulnérabilité à la pollution sont apparues dans les années soixante dix (Albinet et Margat, 1970). Ces dernières constituent des synthèses de quelques grandeurs et peuvent être rangées en trois (03) groupes fondamentaux selon les méthodes utilisées :

- Méthodes orientées sur un système de cotation numérique.
- Méthodes orientées sur les documents cartographiques.
- Méthodes générales ou mixtes.

II-3-1 : Méthodes orientées sur les systèmes de cotation numérique

L'intérêt de ces méthodes consiste à donner une approche synthétique et interprétative lors de l'évaluation de la vulnérabilité. L'intégration des paramètres physiques de l'aquifère est très importante pour une bonne estimation du domaine souterrain.

II-3-1-1 : Méthode de SILKA (1978)

Celle-ci est plus facile à réaliser et économique en temps. Elle tient compte de la qualité du polluant. Ses différents paramètres sont répartis comme suit :

- Une description de la zone non saturée (une côte de 1 à 10).
- Une caractérisation de l'extension de l'aquifère (une côte de 1 à 5).
- Une caractérisation physico-chimique de l'eau (une côte de 1 à 5).

Dans le cas de la présence de pesticides, une côte variable de 5 à 8 est mise en place selon cinq critères : La toxicité, la mobilité, la persistance, le volume et la concentration du produit.

Pour désigner la distance d'une région vulnérable localisée à proximité d'un point d'eau, on affecte une côte de 9. L'évaluation du degré de confiance est réalisée par l'introduction d'une lettre d'appréciation (exemple A : bonne estimation).

Cette méthode n'envisage aucune représentation cartographique, l'index de vulnérabilité permet la classification des régions selon leur degré de vulnérabilité

II-3-1-2 : Méthode de THORHIL (DRASTIC) 1985

La méthode a été développée par la NWIA'A (National Water ;Veil Association), son intérêt est d'évaluer les risques de dégradation de la qualité des eaux souterraines. C'est une méthode empirique fondée sur trois (03) axes :

- Son domaine d'application à l'échelle régionale.
- La source initiale de pollution se répand dans le milieu à partir de la surface du sol par l'infiltration.
- La qualité du contaminant n'intervient pas sur le degré de vulnérabilité.

Le terme DRASTIC est l'abrégié des sept (07) paramètres de la méthode. Des côtes sont attribuées pour chaque valeur des paramètres sous forme de tableau. Ensuite, on élabore l'indice DRASTIC qui est égal à la somme des poids par cotes :

$$\text{Indice DRASTIC général} = (\text{Dc.Dp})+(\text{Rc.Rp})+(\text{Ac.Ap})+(\text{Sc.Sp})+(\text{Tc.Tp})+(\text{Ic.Ip})+(\text{Cc.Cp})$$

L'indice permet d'estimer le risque de contamination d'une formation aquifère, ce risque augmente avec la valeur de cet indice

II-3-1-3 : Méthode GOD (Foster et Hirata, 1991)

Dans cette méthode, la vulnérabilité est réalisée suivant l'inaccessibilité dans la zone non saturée au sens de l'identification du polluant, cette dernière est basée sur trois (03) éléments -

- Identification de la nature de l'aquifère selon son degré de confiance (C_i)
- La profondeur de la nappe (C_p).
- La particularité de la zone non saturée (porosité, perméabilité, contenu en eau), (C_a).

Dans cette méthode, l'indice de vulnérabilité est le suivant ($IGOD = C_i * C_p * C_a$)

II-3-1-4 : Méthode PRAST

Dans cette méthode, on voit l'apparition d'un nouvel élément (P pouvoir épurateur du sol) qui regroupe trois paramètres (D, I, C) de la méthode DRASTIC. En effet, cette démarche facilite la méthode précédente (DRASTIC). Le pouvoir épurateur du sol (P) correspond aux phénomènes de l'autoépuration naturelle du sol qui est le paramètre le plus important dans la méthode.

Les éléments de la méthode sont donnés ci-dessous :

- Le pouvoir épurateur du sol (P).
- La recharge (R)
- Type de l'aquifère (A).
- Type du sol (S).
- La topographie (T)

Comme pour la méthode DRASTIC, chaque paramètre est assigné d'un poids de 1 à 8 et d'une cote de 1 à 10 qui correspond à son importance dans l'atténuation des polluants

II-3-1-5 : Méthode du pouvoir épurateur du sol (Rehse, 1977)

Le pouvoir épurateur du sol, puis celui de la zone non saturée, est important pour éviter la propagation d'une pollution en direction des nappes. La méthode, proposée par Rehse, tient compte de divers mécanismes qui sont étroitement liés. Ce sont les processus physiques, mécaniques et biochimiques qui agissent sur le transport des bactéries sur la dégradation des composés organiques et chimiques qui interfèrent sur le transfert du soluté (SAID .R ,1999)

II-3-2 : Méthodes orientées sur des documents cartographiques

Dans ces méthodes, on tient compte en premier lieu des conditions suivantes :

- La nature du recouvrement (sol et sous sol)
- La profondeur de la nappe:

En seconde partie, on prend en considération l'intercalation des formations aquifères vis-à-vis du polluant; donc tous ces éléments ont été déduits à partir des documents cartographiques

II-3-2-1 : Méthode d'Albinet et de Margat (1970)

Cette méthode se résume à une représentation globale des éléments qui contrôlent la vulnérabilité, à savoir :

- La profondeur de la nappe.
- Le drainage de surface.
- La nature lithologique du sous-sol

En effet, le degré de vulnérabilité est évalué sous forme de classes avec des valeurs bien déterminées.

II-3-2-2 : Méthode wipp (1982)

Cette méthode tient compte des critères suivants :

- La profondeur de la nappe.
- La déplacement de l'eau.
- La perméabilité du sol.
- L'utilisation de l'eau

Cette dernière donne trois catégories de vulnérabilité (Forte. Moyenne, Faible).

II-3-2-3 : Méthode anglaise NRA (National River Authority)

Elle a été évaluée par la NRA en 1992. Ses grands axes de réalisation sont :

- La pédologie (caractéristiques du sol)
- Le contaminant et son rôle comme l'élément principal
- L'épaisseur de la nature de la zone non saturée.

II-3-3 : Méthodes générales ou mixtes

Ces méthodes donnent une approximation globale à partir d'une analyse des critères de la protection des nappes. Elle tient compte de la géologie et de l'hydrogéologie

II-3-3-1 : Méthode de Vierhuff (1982)

Cette dernière dépend des paramètres suivants :

- La nature du sol et la zone non saturée.
- La profondeur de la nappe.
- Le régime hydrologique.

Ces paramètres précédents ont été groupés par Vier Huff en cinq (05) classes (de forte à très forte vulnérabilité).

II-3-3-2 : Méthode de Villumsen et Sonderskov (1982)

Ces derniers ont proposé quatre (04) paramètres, l'un d'eux compte de la variation du niveau piézométrique échelonné sur des cotes correspondantes, les autres dépendent de:

- La capacité d'adsorption du sol
- La zone saturée et ses caractéristiques.

II-3-3-3 : Méthode de Haerté (1983)

Dans cette méthode deux critères essentiels sont retenus :

- L'épaisseur de la zone vadose (zone non saturée).
- La perméabilité de la formation aquifère.

Cette méthode est classée suivant l'épaisseur des formations et leur nature lithologique ; en effet le domaine de classification varie entre faible, moyenne et haute.

III- Aspects théoriques et pratiques de la méthode PRAST.

La méthodologie PRAST est une version simplifiée de la méthode DRASTIC. Elle consiste en un remplacement des trois paramètres (D), (C) et (I), difficile à acquérir ou à quantifier, par un seul paramètre qui est le pouvoir épurateur vertical (P) définie par Rehse (1977).

Le pouvoir épurateur du sol et celui de la zone non saturée, sont importants pour éviter la propagation d'une pollution en direction des nappes. Ils jouent un rôle particulièrement déterminant vis-à-vis des problèmes d'assainissement individuel, de pollution par les décharges et les épandages.

Dans le cas des captages des nappes alluviales, implantés près d'une rivière l'effet filtre des berges, peut limiter la pollution de la nappe par le cours d'eau. Cependant, il semble que dans le cas d'une pollution par les métaux lourds, le pouvoir épurateur des sédiments des berges ne suffise pas et que certains métaux soient remis en circulation par désorption ne sont pas retenus.

La concentration du polluant peut avoir considérablement diminué à son entrée dans la nappe si le pouvoir épurateur du sol et de la zone non saturée est efficace.

A noter à ce propos, qu'en Allemagne et en Suisse, le pouvoir épurateur du sol n'est pas pris en compte pour la délimitation des périmètres de protection que si l'épaisseur de la zone non saturée est supérieure à 4m. Cette épaisseur est considérée comme la marge de sécurité permettant des travaux de fouilles, d'excavations et de tranchées.

III-1 : Les paramètres PRAST :

Dans cette méthode, le paramètre le plus important utilisé est le pouvoir épurateur vertical du sous-sol (**P**) qui intègre la nature du matériel de la zone non saturée, son épaisseur, sa perméabilité verticale et la profondeur de la nappe. Elle utilise également quatre (04) paramètres de la méthode DRASTIC, en l'occurrence :

- La recharge nette (R) ;
- Le type d'aquifère (A) ;
- Le type de sol (S) ;
- La topographie (T).

Les initiales de ces cinq paramètres constituent l'acronyme PRAST.

III-1-1 : Recharge nette

La recharge nette est le paramètre le plus délicat à évaluer à cause de sa dépendance de plusieurs facteurs (climatologiques, géologiques et topographiques). Généralement, après consultation des rapports hydrogéologiques et hydrologiques, c'est à l'utilisateur de décider. L'infiltration efficace est le seul paramètre responsable de la recharge des nappes (il représente le moyen de transport du polluant vers le milieu aquifère) dont l'augmentation accroît le potentiel polluant. Cette conclusion n'est valable que lorsque l'infiltration provoque la dilution du polluant. Mais, puisque ce point est difficile à évaluer, le système de notation ne reflète pas le facteur de dilution.

Pour un site donné, en plus de l'estimation du taux d'infiltration des précipitations, il faut tenir compte des eaux d'irrigation, de l'alimentation artificielle des nappes et du rejet de substances liquides.

III-1-2 : Nature du matériel aquifère

Le milieu aquifère ou la zone saturée est le lieu approprié où peuvent être stockés des quantités d’eaux importantes. Son rôle dans l’atténuation du polluant dépend de la nature lithologique et texturale des formations qui constituent le milieu aquifère. Le potentiel de pollution est proportionnel au degré de porosité des terrains qui constituent l’aquifère, en particulier la perméabilité des interstices et des fissures.

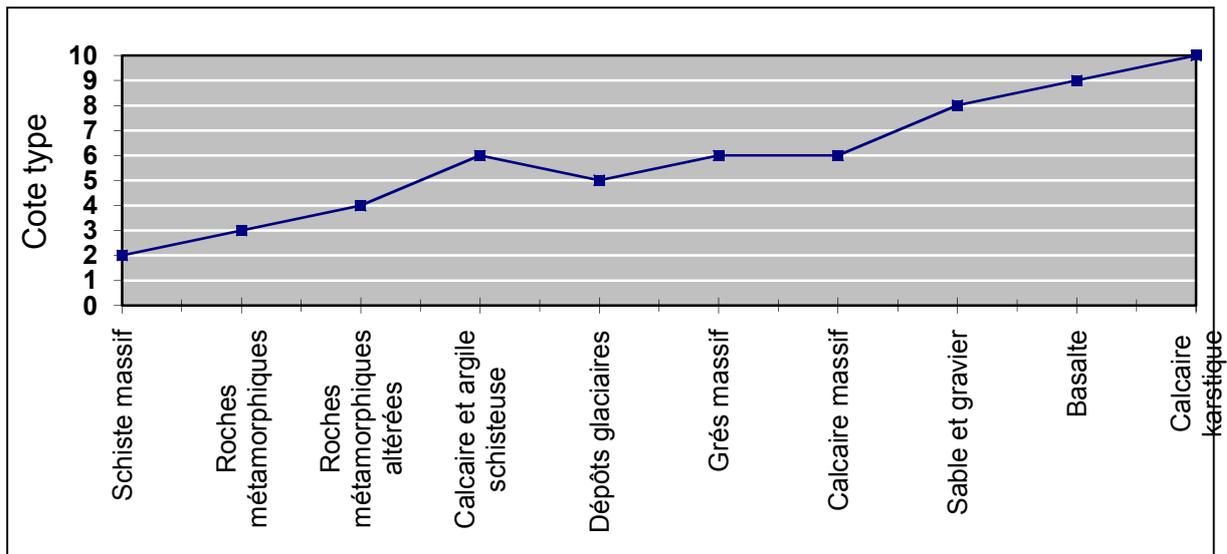


Figure V-1 : Représentation graphique de la variation de la cote en fonction des caractéristiques du milieu aquifère (Aller *et al*; 1987 in Touileb, 1997).

III-1-3 : Type de sol

On s’intéresse à la couche végétale du sol de 1 à 2,5m d’épaisseur, siège d’une activité biologique et chimique intense. Le sol au sens pédologique du terme résulte de l’altération des roches mères. Le SCS « soil conservation service » a établi en 1984 une classification des sols sur la base du potentiel de pollution décroissant :

- Peu épais ou absent ;
- Graviers ;
- Sables ;
- Tourbes, matières organiques non décomposées ;
- Couches très minces et/ou en association de couches d’argiles ;
- Terres grasses limono-sableuses ;
- Terres grasses équilibrées en argiles, limons et sables ;
- Terres vaseuses, limoneuses ;

- Terres argileuses, limono-argileuses ;
- Matières organiques décomposées ;
- Argiles non épaisses et non en association.

L'attribution d'une côte standardisée pour un type de sol repose essentiellement sur la granulométrie. Une côte élevée, reflétant des conditions de haute vulnérabilité, est ainsi attribuée aux sols caractérisés par des particules grossières. Pour la sélection d'un type de sol, il est recommandé de :

- Consulter la carte générale de l'occupation du sol ;
- Définir les grandes classes de type de sol ;
- L'adaptation de la texture du sol à la classification du « soil conservation service ».

III-1-4 : Topographie

La variation de la pente des terrains contrôle la possibilité d'infiltration des polluants :

- Les terrains dont la pente est supérieure à 18 %, sont caractérisés par un ruissellement important qui favorise l'évacuation des substances polluantes vers l'aval ;
- Les secteurs de pente comprise entre 0 et 6% à l'origine sont plus favorables à l'infiltration d'eau éventuellement polluée.

III-1-5 : La méthode utilisée pour l'estimation du pouvoir épurateur :

Une méthode empirique mise au point par Rehse (1977) consiste à estimer dans quelle mesure un polluant déversé à la surface du sol verra sa teneur diminuer après un parcours vertical jusqu'à la nappe, puis un parcours horizontal dans la nappe jusqu'au point de prélèvement ou de détection. Pour ce faire, des indices sont attribués aux différents types de roches, sur la base de :

- Leur perméabilité et de leur porosité ;
- La surface spécifique et du pouvoir de rétention des grains qui les constituent ;
- Du temps de parcours nécessaire pour une auto épuration ;
- Du volume utilisé (épaisseur de la couche) pour une épuration ;
- Leur teneur en matière organique.

Les différentes catégories de sols pouvant être rencontrées ont été classées en fonction de leur granulométrie. De plus, l'auteur a défini les épaisseurs de sol nécessaires, en condition non saturée, pour une épuration des eaux polluées.

_ Chapitre V : Evaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines par la méthode PRAST _

Le pouvoir épurateur des terrains est calculé par la formule :

$Mx = Md + Mr$ avec **Mx** : pouvoir épurateur de la totalité du transfert ;

Md : pouvoir épurateur sur le trajet vertical ;

Mr : pouvoir épurateur sur la distance horizontale.

L'épuration est **complète** si : **$Mx = 1$**

Sur le trajet vertical, le pouvoir épurateur est égale à : **$Md = h_1I_1 + h_2I_2 + h_3I_3$**

Avec h_1, h_2 et h_3 : hauteur des différentes catégories de terrains rencontrées et I_1, I_2 et I_3 : index correspondants (Tableau III-1).

Tableau V-1 : Pouvoir épurateur du sol dans la couverture (zone non saturée) Rhese1977.

M	DESCRIPTION DU MATERIAU	H (m)	L = L/ H
1	Humus, 5-10% argiles	1,2	0,8
2	Argiles sans fentes de retrait, limons argileux, sables très argileux	2	0,5
3	Silts argileux à silts	2,5	0,4
4	Silts, sables silteux, sables peu silteux et peu argileux	3- 4,5	0,33-0,22
5	Sables fins à moyens	6	0,17
6	Sables moyens à grossiers	10	0,1
7	Sables grossiers	15	0,07
8	Graviers silteux, riches en sables et en argiles	8	0,13
9	Graviers peu silteux, beaucoup de sables	12	0,08
10	Graviers fins à moyens, riches en sables	25	0,04
11	Graviers moyens à grossiers, peu de sables	35	0,03
12	Galets	50	0,02

Si **$Md \geq 1$** : l'épuration est totale dans les couches de couverture et la délimitation d'un périmètre de protection rapprochée n'est pas nécessaire selon Rehse.

Si **$Md \leq 1$** : la dépollution n'est pas totale. Elle doit se poursuivre dans la roche aquifère lors du transfert horizontal.

Soit **$Mr = 1 - Md$** , le pouvoir épurateur dans l'aquifère, la distance l à parcourir horizontalement pour une épuration totale sera **$l = Mr / Ia$**

Ia : index correspondant au matériau aquifère

l : correspondrait dans ce cas à la limite de la zone de protection rapprochée.

Bolsenkotter (1984) complète la méthode de Rehse, en considérant que l'épuration est très faible dans les milieux fissurés que dans le milieu poreux. Dans la roche fissurée, le pouvoir épurateur est supposé égale à 0,5 ; d'où $l = 0.5 / H$

III-2 : Construction de la carte de vulnérabilité (aller *et al*, 1987)

La méthodologie PRAST est axée sur une cotation numérique de la vulnérabilité. Elle permet l'établissement des cartes de vulnérabilité qui forment une synthèse des connaissances lithologiques, pédologiques et hydrogéologiques d'une région.

L'établissement d'une carte de vulnérabilité selon la méthode PRAST se fait selon les étapes suivantes :

- Constitution d'une banque de données, de la région d'étude d'un inventaire du patrimoine documentaire par une bonne recherche bibliographique permettant d'évaluer tous les paramètres ;
- Attribution d'une côte à chaque paramètre, ensuite la côte de chaque paramètre est multipliée par un poids relatif (voir annexe7)
- Une carte thématique réalisée pour chacun des paramètres considérés par la méthode utilisée.
- Sur chaque carte sont délimitées les zones en fonction des intervalles établies par le système de cotation PRAST.
- Réalisation d'une série de superpositions de cinq couches afin de visualiser les intersections des grandes unités hydrogéologiques ainsi que les sous-unités correspondantes ;
- Calcul de l'indice de vulnérabilité général pour chaque unité hydrogéologique obtenue et chaque sous-unité déduite ;
- L'attribution des couleurs conventionnelles (Tableau 2) aux différentes unités hydrogéologiques, permettra de lire la carte synthétique de vulnérabilité ainsi qu'une visualisation graduelle du degré de vulnérabilité : les couleurs rouge, orange, et jaune indiquent les sites à fort potentiel de vulnérabilité et les couleurs bleu, indigo et violet caractérisent les zones moins sensibles.

Tableau V-2 : Code international des couleurs pour les intervalles de l'indice PRAST
(Aller et al ; 1987 modifié, in Touileb, 1997).

Intervalles de l'indice global Méthode PRAST	Couleurs
< 30	Violet
030 – 039	Indigo
039 - 049	Bleu
050 – 069	Vert foncé
070 – 099	Vert clair
100 – 109	Jaune
110 – 129	Orange
> 129	Rouge

III-3 : Cartographie assistée par ordinateur :

Les Systèmes d'Information Géographiques sont des outils créés pour aider la gestion du territoire. Un SIG peut être perçu comme un outil d'analyse, de structuration et de synthèse de données dans un contexte global.

L'analyse et l'expression de la vulnérabilité des eaux souterraines aux pollutions ont été, dès le départ, indissociables de la représentation cartographique. L'image est le support de communication le plus efficace et la carte étant par définition le mode d'expression privilégié des distributions des caractères dans l'espace.

Pour appliquer la cartographie de la vulnérabilité à la pollution de la nappe des alluvions de la Mitidja Centre et ouest, nous utiliserons le logiciel **MapInfo 6.5** avec l'incorporation de **Surfer** pour l'établissement des grilles. Ces logiciels fonctionnent sous environnement Windows, ils permettent de représenter des données d'une base sous forme d'entités spatiales.

III-3-1 : Réalisation des cartes thématiques et description des paramètres :

Ces cartes ont été établies en fonction du système d'indexation inséré dans l'Annexe N°7.

Elles sont réalisées pour chaque paramètre (PRAST). Ces cartes, se caractérisent par des zones bien délimitées par un indice de vulnérabilité partiel correspondant au paramètre considéré.

Le nombre de cartes dépend du nombre de paramètres, en effet, on a cinq (05) cartes thématiques d'indice de vulnérabilité partiel (de la Figure V-2 à la Figure V-6).

Ces dernières illustrent la répartition spatiale de chaque paramètre PRAST, présenté sous forme de plage, de vulnérabilité faible à élevée.

III-3-1-1 : Carte du paramètre « P », Pouvoir épurateur :

L'estimation du pouvoir épurateur du sol et du sous sol ainsi que le tracé de la carte (Figure V-2) le représentant, ont été réalisés par le biais de la méthode de Cotation numérique (Rehse, 1977).

Pour ce faire, les différents index des terrains constituant la zone non saturée, ont été calculés sur la base de l'étude d'une centaine de coupes lithologiques de forages.

Sachant que le pouvoir épurateur des terrains est calculé par la formule :

$$M_x = M_d + M_r \quad \text{Avec :}$$

M_x : pouvoir épurateur de la totalité du transfert ;

M_d : pouvoir épurateur sur le trajet vertical ;

M_r : pouvoir épurateur sur la distance horizontale.

$$M_d = h_1 L_1 + h_2 L_2 + h_3 L_3$$

Avec h_1, h_2, h_3 : hauteur de différentes catégories des terrains rencontrées et L_1, L_2, L_3 : index correspondants.

Classe 1 : localiser au niveau de Boufarik et ses environs, et à l'ouest d'oued chiffa sud de la ville de Attatba et à l'est d'oued chiffa au proche de l'atlas blidéen, l'indice partiel I_p est alors égale à **6**.

Classe 2 : Cette classe le pouvoir épurateur allant de 1 à 2 est située proche à la région de **classe 1**, L'indice $I_p = 5$.

Classe 3 : cette classe présente un intervalle de pouvoir épurateur = 2 à 3, qui se localise au niveau des environs de Boufarik et oued chiffa. L'indice $I_p = 2$.

Classe 4 : cette classe représentant des pouvoirs épurateur supérieures à 3, et un indice $I_p = 1$ s'étend sur presque la totalité de la zone d'étude. Voir (Figure III-2)

Ce paramètre est important dans la méthode PRAST avec un poids de 8.

III-3-1-2 : Carte du paramètre « R », la recharge :

La méthodologie considère la recharge nette comme la quantité totale des eaux qui s'infiltrent et arrivent à la nappe.

Additivement à l'infiltration à partir des précipitations, les autres sources de recharge sont l'irrigation, le ruissellement des eaux de l'Atlas Blidéen vers la plaine, parfois la recharge artificielle et dans certaines zones l'infiltration des eaux usées.

La quantité de précipitations infiltrées est déduite à partir des résultats du bilan hydrologique. La lame infiltrée dans toute la zone est égale à 21mm, mais l'évaluation des autres sources de recharge est plus difficile, c'est pourquoi on s'est basé sur la comparaison des résultats des études antérieures pour estimer la valeur de la recharge la plus proche de la réalité (voir Figure V-3).

L'analyse de la carte fait ressortir les classes suivantes :

Classe 1 : elle occupe plus de la moitié de la région d'étude et prend une extension régionale le long de la bordure Sud de la plaine. elle est caractérisée par une recharge supérieure à 25 cm /an avec un indice partiel $I_R = 36$;

Classe 2 : Cette classe se caractérise par une recharge de 18 à 25 cm /an avec $I_R=32$. Elle est répartie sur ces deux zones :

- Dans la partie Nord de Boufarik jusqu'à la cluse du Mazafran.
- Au Sud Ouest de Koléa incluant toute la région d'Attatba.

III-3-1-3 Carte du paramètre « A », nature du milieu aquifère :

L'analyse de la carte fait ressortir les cinq classes à degré de vulnérabilité variable ; (Figure V-4)

Classe1 : elle est représentée par des graviers et des sables, dont l'indice $I_A= 27$. Elle occupe les bordures des oueds Djer, Bouroumi et Chiffa, ainsi que les environs de Oued El Alleug.

Classe 2 : elle est caractérisée par des graviers et des sables avec une faible teneur en Argile dont l'indice est $I_A = 24$.

Cette classe est prépondérante dans la majeure partie de la plaine, elle occupe les zones suivantes :

- La région de Boufarik.

- L'axe Blida –Soumaa.
- Au Sud et au Nord –Est de Oued El Alleug.
- à L'Est d'Attatba.
- Le long de Oued Bouroumi jusqu'à l'Ouest de Mouzaia jusqu'à Amer El Ain.

Classe3 : les formations les plus dominantes dans cette classe sont les graviers et les sables argileux, avec un indice de vulnérabilité partiel ($I_A = 21$).

Cette classe est moins étalée que la précédente elle occupe :

- Le secteur de Soumaa et le Nord de Boufarik.
- Le Sud de la cluse du Mazafran et le Nord Ouest de Blida.
- Le Nord de Chiffa et la région de Attatba.
- Et enfin le Nord de Amer El Ain.

Classe 4 : l'alternance de graviers, sable, argiles et marnes, donne à cette classe un indice $IA=18$ qui reflète une faible vulnérabilité. Les régions concernées sont :

- Oued El Alleug,
- au Nord de Soumaa et de Blida,
- au niveau de la cluse du Mazafran et au Sud de Attatba.

Classe5 : cette dernière est représentée par des argiles et des sables a une très faible extension par rapport aux classes précédentes. En effet elle apparaît comme des îlots isolés sur l'ensemble de la région d'étude. La répartition géographique de cette formation est localisée en trois zones seulement:

- Au Sud de la cluse du Mazafran.
- Au niveau d'Attatba.

Et aux environs de Chiffa et de Mouzaia

III-3-1-4 : Carte du paramètre « S », nature du sol :

L'étude Ecrément, 1971, a mis en évidence 4 catégories de sols réparties sur la région Ouest de la plaine de la Mitidja ; (Figure V-5)

- Limono- sableux
- Limono- argileux (faible pourcentage d'Argile)

- Limono- argileux (forte quantité d'Argile)
- Sols Argileux.

Classe 1 : elle est prédominante dans tout le secteur d'étude, avec des sols limono- sableux et un indice de vulnérabilité partiel $I_S = 12$, qui reflète une forte vulnérabilité.

Classe 2 : Elle contient des sols limono- argileux avec une faible teneur en Argile, ce qui indique un indice de vulnérabilité moins élevé que le précédent ($I_S = 6$).

Cette classe est bien représentée dans les limites Sud de la plaine, à l'Ouest de Blida et au Sud de Oued El Alleug. Au Nord Est de la cluse du Mazafran jusqu'à Boufarik, et à l'Ouest de Attatba.

Classe 3 : Cette classe est caractérisée par des sols limono- argileux avec de fortes teneurs en Argile, donnant un indice $I_S = 4$, et donc une faible vulnérabilité.

Elle occupe toute la cluse du Mazafran au Sud de Koléa, ainsi que la région Sud –Ouest de Attatba.

Classe 4 : Cette classe qui intègre des sols argileux avec un indice DRASTIC partiel très faible $I_S = 2$ apparaît dans l'extrême Ouest d'El Affroun et Amer El Ain.

III-3-1-5 : Carte du paramètre « T », la topographie :

L'évaluation de ce paramètre est basée sur les cartes de pentes réalisées à partir des cartes topographiques. En effet la zone d'étude est presque plane avec des pentes qui ne dépassent pas les 5%.

D'après l'analyse de la carte des pentes (Figure III-6), on définit deux classes de pentes :

Classe 1 (0 à 2%), occupe plus de 80% de la zone d'étude d'où un indice $I_T = 10$ qui implique une vulnérabilité élevée.

Classe 2 (2 à 5%), avec un $I_T = 9$, elle s'étale sur pratiquement toute la bande Sud de la région d'étude de la région de Chiffa à Bouinan.

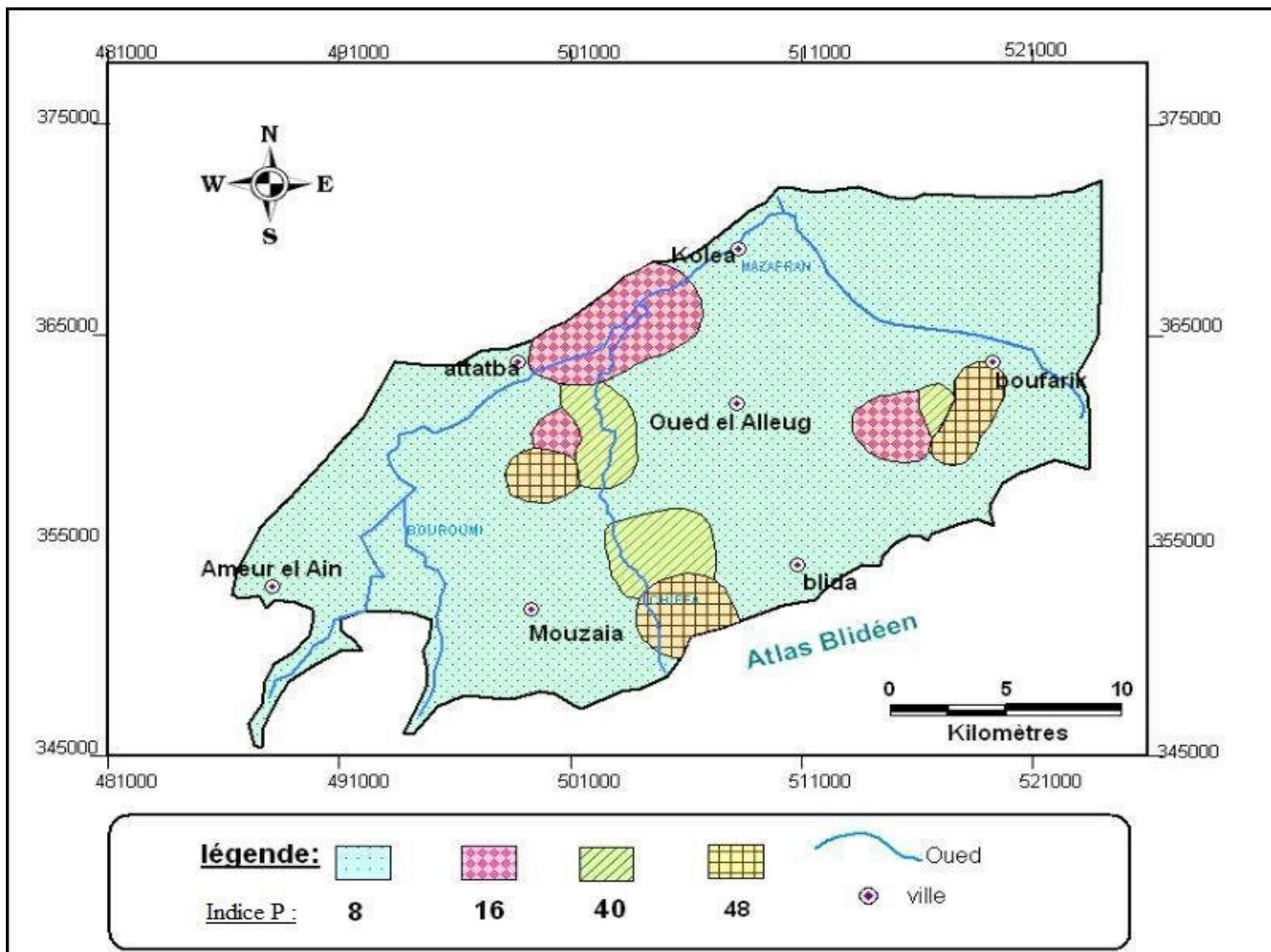


Figure V-2: Carte du paramètre « P », Le Pouvoir épurateur.

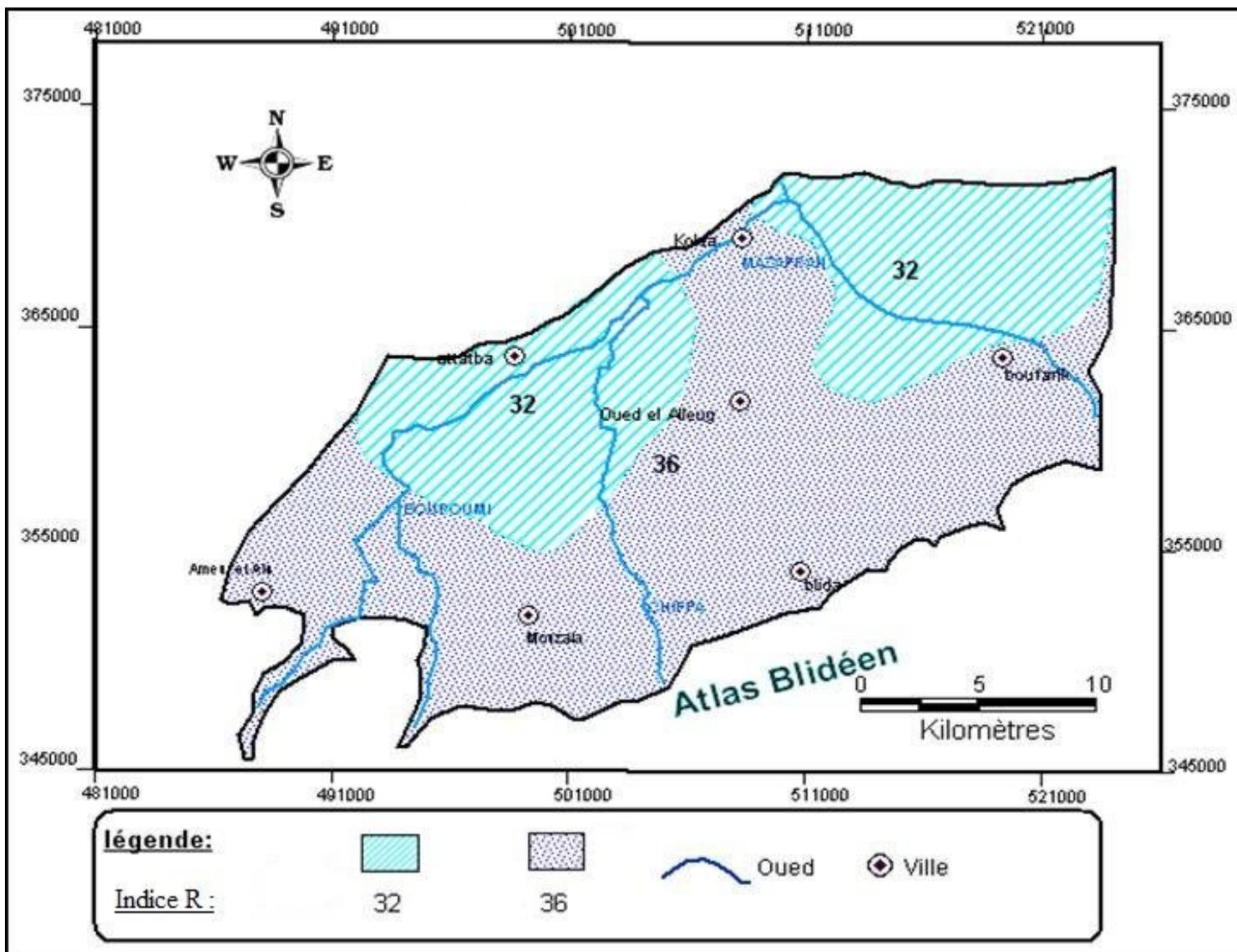


Figure V-3: Carte du paramètre « R », la recharge de la nappe.

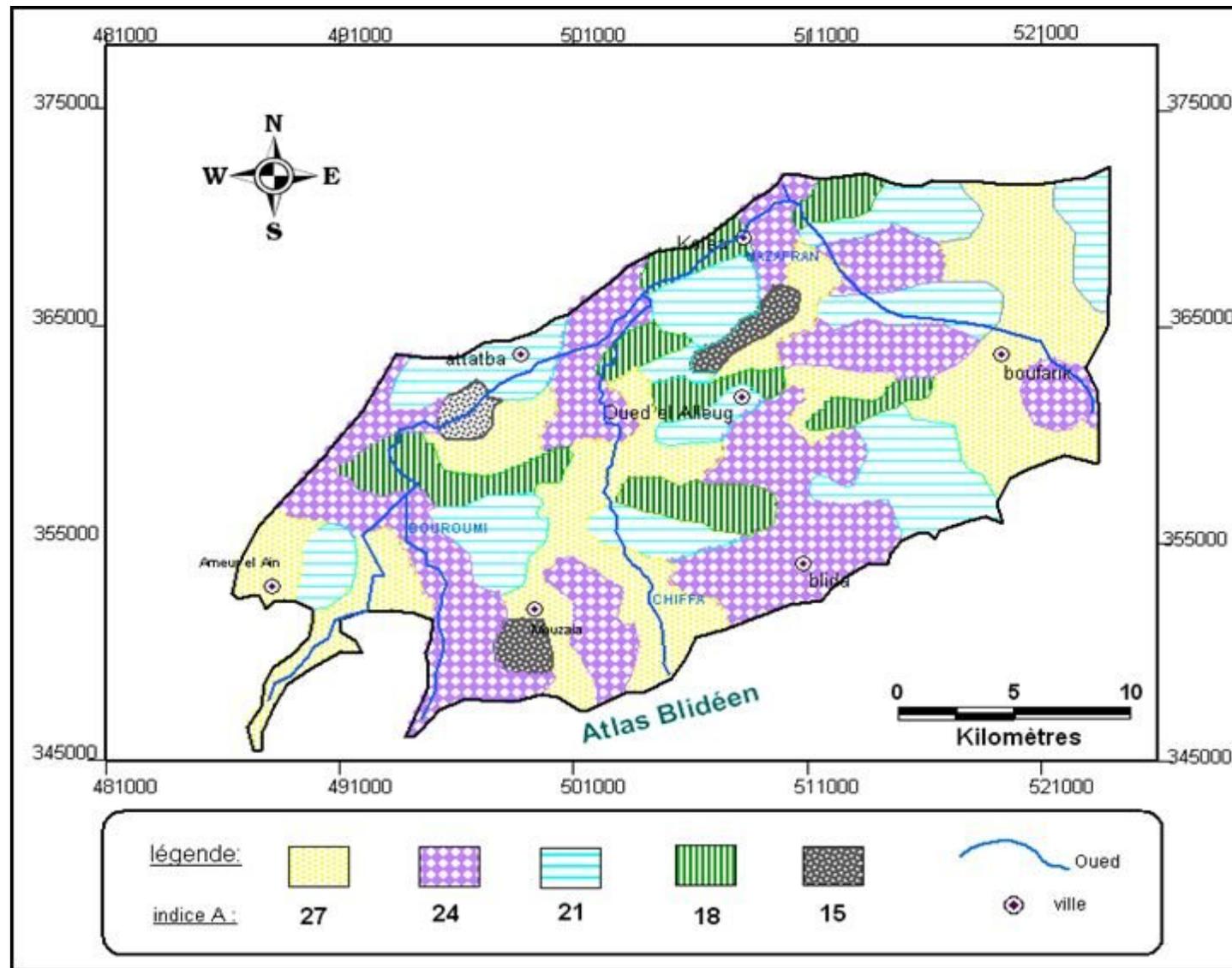


Figure V-4 : Carte du paramètre A, nature du matériau aquifère.

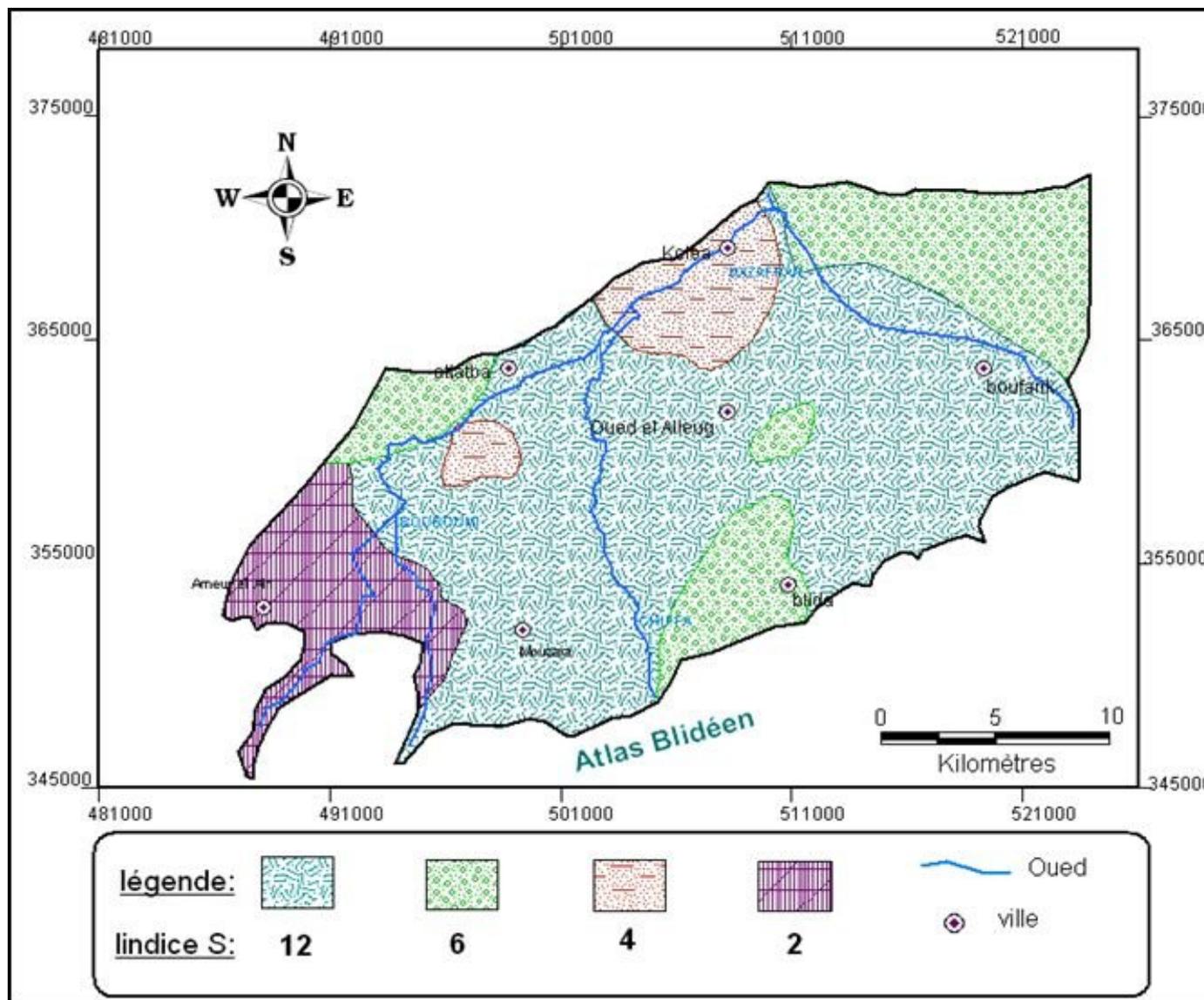


Figure V-5: Carte du paramètre « S », type de sol.

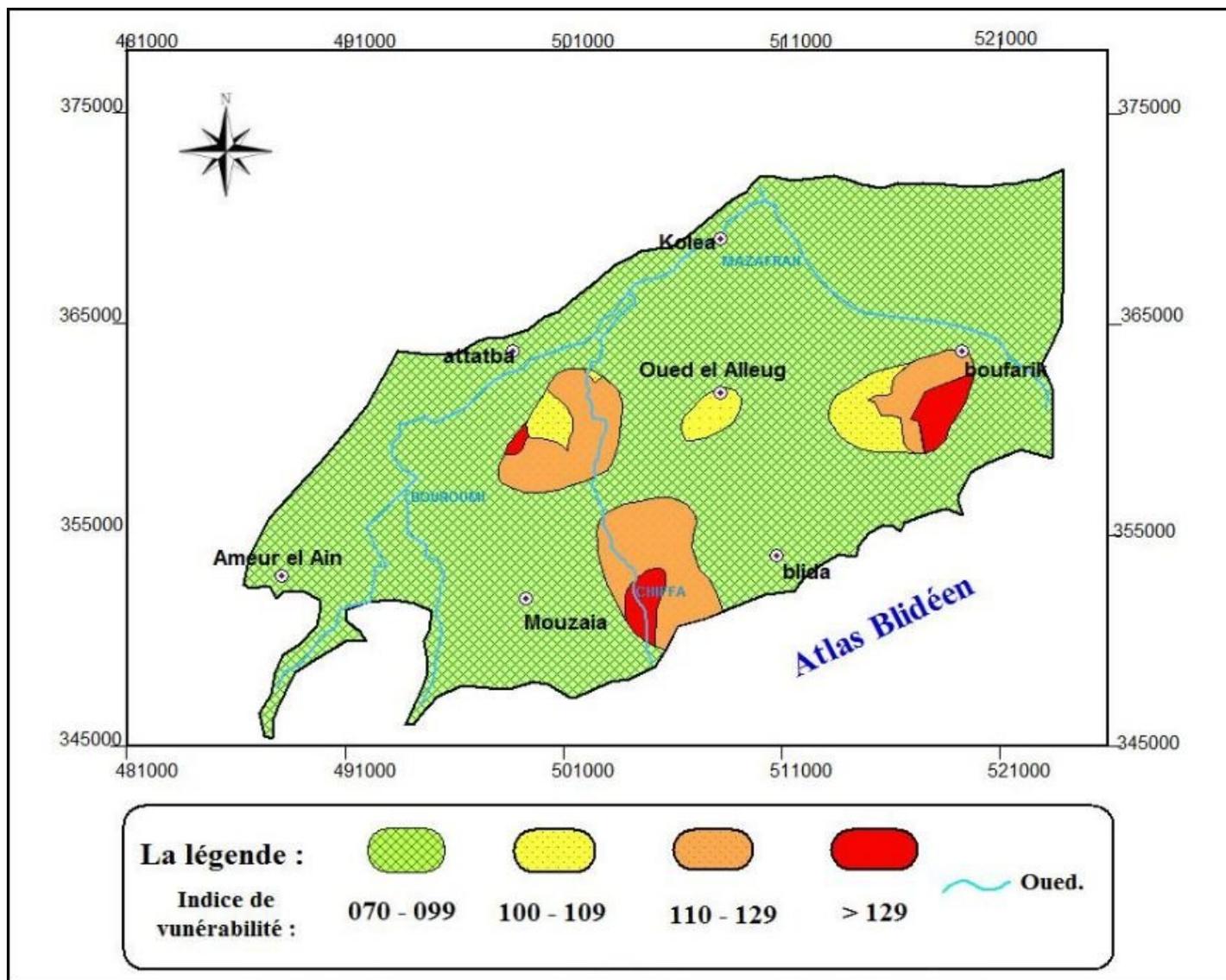


Figure V-7 : Carte de vulnérabilité à la pollution du bassin de la Mitidja Centre et Ouest (Application de la méthode PRAST).

III-3-2 : Réalisation de la carte de vulnérabilité finale et hiérarchisation des unités hydrogéologiques:

La combinaison des cinq cartes thématiques établies permet de dresser la carte de vulnérabilité de la nappe de la Mitidja centre et ouest, selon la méthode PRAST (Figure V-7).

Interprétation de l'indice PRAST

Pour évaluer la vulnérabilité par la méthode PRAST, nous avons adopté la classification donnée par le diagramme suivant:

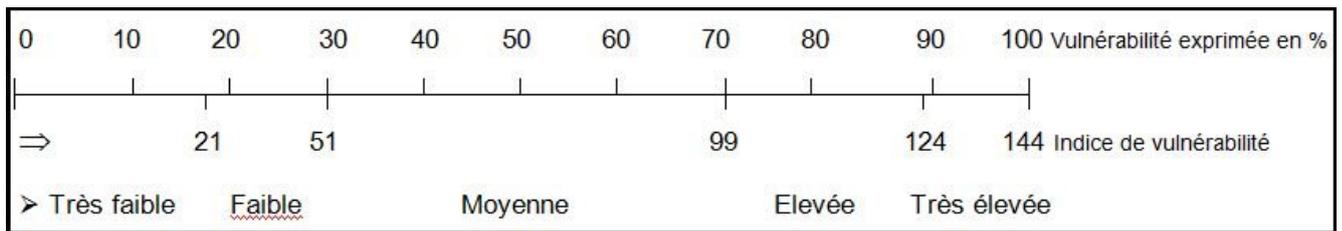


Figure V-8 : Diagramme des classes de vulnérabilité selon la méthode PRAST (Touileb, 1997).

Identification et commentaire sur les différentes unités hydrogéologiques

La carte PRAST permet de distinguer trois unités hydrogéologiques (Tableau III-3).

Tableau V-3 : Unités et sous-unités hydrogéologiques et leurs indices de vulnérabilité PRAST.

Unités hydrogéologiques (U.H.)		
2A : Très élevée	2B : Elevée	2C : Moyenne
124 – 130	99 – 124	70 – 99
Sous-unités hydrogéologiques (S.U.H.)		
124, 125, 127	99, 101, 104, 106, 107, 109, 110,112, 113, 115, 116, 118, 119, 121, 122, 123	83, 98

Unité hydrogéologique : 2A (124 – 144)

De faible superficie et un taux de vulnérabilité élevé caractérisé par un indice partiel supérieur à 124, cette unité se localise au Nord de la vile de Mouzaia et de oued chiffa ainsi qu’au niveau de Boufarik.

L'indice PRAST est supérieur à 124. Elle correspond à des conditions de vulnérabilité très élevées et le pouvoir épurateur du sous-sol est égal à 1. Ce qui se traduit par une épuration totale qui favorise la propagation des substances polluantes déversées en surface vers l'aquifère.

Unité hydrogéologique : 2B (99 – 124)

C'est une unité de grande extension, à vulnérabilité élevée avec un indice PRAST supérieur à 99. Les paramètres ; la topographie plane, la recharge supérieure à 18 cm/an et le pouvoir épurateur du sol $P=1$; favorisent la propagation du polluant de la surface du sol vers le réservoir aquifère.

Unité hydrogéologique : 2C (83 – 99)

Cette unité occupe la majeure partie de la plaine. Elle est définie par un indice PRAST général qui varie entre 83 et 99. Elle correspond à des conditions de vulnérabilité moyenne.

Discussion des résultats :

D'une manière générale la nappe du bassin Centre et Ouest de la Mitidja est moyennement vulnérable, car plus de 80% de la zone étudiée reflète un indice de vulnérabilité moyen (51 -99). Les régions les plus vulnérables correspondent à :

- la région Sud de Boufarik
- à proximité de Oued El Alleug
- et la région de Chiffa.

Ces zones vulnérables sont localisées au niveau des endroits sensibles, c'est-à-dire dans les zones de recharge au Sud de la plaine et au niveau des rives des oueds (relation oued-nappe).

Par conséquent, afin de protéger la ressource en eau souterraine, une meilleure exploitation exige une protection rapprochée voir éloignée de ces dernières (les zones vulnérables).

I- Introduction

Le problème de drainage agricole se pose lorsqu'il y a un excédent d'eau qui est nuisible à la croissance des cultures. Cet excédent peut se produire soit sur la surface du sol stagnation de l'eau sur la surface, souvent combinée avec l'engorgement de la couche superficielle, soit dans le sous-sol (saturation prolongée de la zone racinaire liée à un mauvais drainage interne du sol et/ou à une nappe élevée).

Les deux causes qu'on a citées sont liées à la texture du sol ; donc grâce à la pédologie de la Mitidja, on a choisi une zone d'application qui permettra de déterminer le débit de drainage.

II- : Besoin en eau du périmètre:

Les besoins en eau des cultures, peuvent être définis comme dose apportée à la plante dans des moments propices, afin de mettre celle-ci dans les meilleures conditions d'humidité requises, pour obtenir son rendement maximal.

L'évaluation des besoins en eau du périmètre est basée sur la détermination des besoins de chaque culture retenue dans le calendrier agronomique.

En ce qui concerne notre cas, le calcul des besoins en eau des cultures est effectué à l'aide du logiciel CROPWAT version 8, qui permet au passage, l'évaluation de l'évapotranspiration de référence, selon la méthode empirique la plus appropriée de Penman&Monteith modifiée.

On a :(Soumaa) on choisissant une tranche de 150Ha repartis comme suit :

Tableau VI-1 : tableau de représentation de la Répartition des cultures :

cultures	Répartition (HA)
Tomate	8
P. terre	60
Arboriculture	82

II -1 : Calcul des précipitations annuelles :

Les lois d'ajustement sont nombreuses et ne peuvent être appliquées à un échantillon que si les conditions homogénéité-stationnarité sont réunies parmi les quelles :

- Loi de Laplace-Gauss, loi normal, et loi de Galton ou loi log-normale.
 - Loi de Fuller ou loi Exponentielle.
 - Loi Gamma, loi de Pearson I et III.
 - Loi de Gumbel ou loi doublement exponentielle.
- Ces lois comportent deux à trois paramètres estimés par différentes méthodes :
- Méthode des moments.
 - Méthode du maximum de vraisemblance.
 - Méthode du maximum d'entropie.

Les critères de choix sont liés à un ajustement graphique d'abord, et ensuite à un test de dispersion. L'allure des points sur du papier à prime abord d'accepter ou de rejeter la loi. Le problème posé : Quelle loi choisir lorsque plusieurs d'entre elles sont adéquates ?

Donc les critères de choix pouvant être retenus sont :

- A qualité égale, la loi qui a le moins de paramètres est à retenir.
- A qualité égale et nombre de paramètre égal, il faut comparer les estimations des deux lois ; si ces estimations sont voisines, il faut retenir la plus simple, si elles sont nettement différentes, il faut prendre une nouvelle loi quitte à prendre un paramètre supplémentaire.

a) Ajustement à la loi de Gauss:

Le procédé de calcul consiste à :

- Classer les valeurs de l'échantillon par ordre croissant.
- Affecter un numéro d'ordre aux valeurs classées.
- Calculer la fréquence expérimentale par la formule de Hazen.

$$F(x) = \frac{n - 0.5}{N}$$

Avec :

n : Numéro d'ordre.

N : Numéro d'années observées.

_ Calculer les caractéristiques empiriques de l'échantillon.

-La moyenne arithmétique. $\bar{X} = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{X_i}{n}$

-L'écart type. $\delta = \sqrt{\frac{1}{n-1} * \sum_{i=1}^{i=n} (X_i - \bar{X})^2}$ Si n<30 ans

- $\delta = \sqrt{\frac{1}{n} * \sum_{i=1}^{i=n} (X_i - \bar{X})^2}$ Si n> 30 ans

b) Traitement des données:

La simulation des apports annuels avec le logiciel *HYFRAN* nous donne les résultats suivants :

Station Soumaa	
Statistiques de base	
Nombre d'observations	19
Minimum	396
Maximum	958
Moyenne	695
Ecart-type	161
Médiane	678
Coefficient de variation (Cv)	0.232
Coefficient d'asymétrie (Cs)	-0.134
Coefficient d'aplatissement (Ck)	1.77

Les résultats de l'ajustement de la série des pluies moyennes annuelles de la station de *Soumaa* à la loi log-Normale sont regroupés dans le tableau et la figure suivants

Tableau VI-2 : Les résultats de l'ajustement à loi log-Normale.

Pér. Ret.	U.Gauss	Val.théo.	Ecart-type	Borne inf.	Borne sup.
2.0	0.5000	695	36.9	623	768
5.0	0.8000	831	43.3	746	916
10.0	0.9000	902	50.5	803	1000

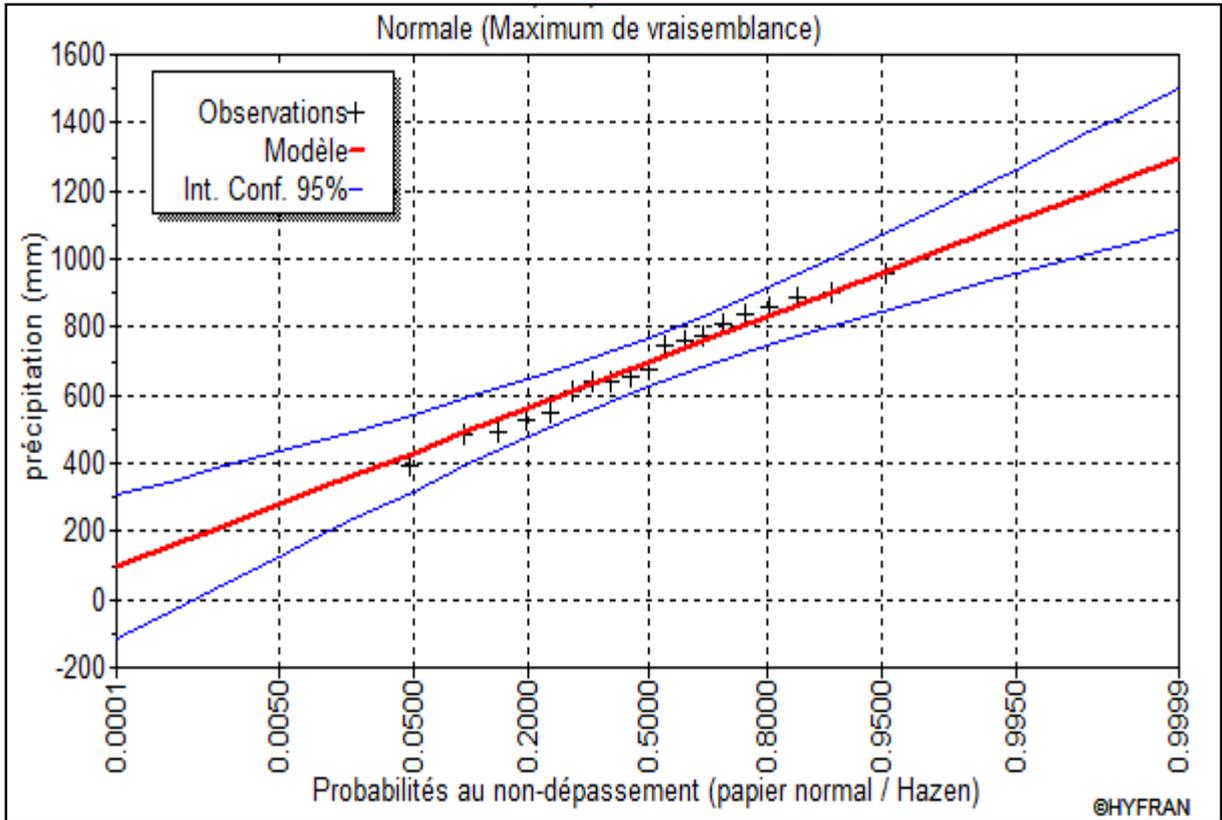


Figure VI-1 : Ajustement de la station de Soumaa à la loi de Gauss.

c) Détermination de l'année de calcul :

L'estimation sera pour l'année sèche de fréquence 80%; on utilise la formule suivante :

$$P_{\text{moy } 80\% \text{ de chaque mois}} = P_{\text{moy de chaque mois}} \times \frac{\text{é} \quad (\%)}{\text{é} \quad (\%)}$$

Donc les valeurs de $P_{i,\text{sec } 80\%}$ devient comme suit :

Tableau VI-3 : Précipitation moyenne mensuelle de l'année de calcul :

Mois	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout	annuel
$P_{\text{moy}}(\text{mm})$	35,1	65,14	92,71	92,84	106,6	77,76	60,64	66,13	53,25	4,11	2,07	7,38	618,46
$P_{\text{moy } 80\%}$	29,48	54,72	77,88	77,99	89,54	65,32	50,94	55,55	44,73	3,45	1,74	6,20	557,53

II-2 : Méthode de PENMAN&MOTHEIT modifiée :

En Angleterre, précisément en 1948, M^r Penman & Motheit a proposé une étude théorique de l'évapotranspiration en reliant inséparablement l'énergie solaire incidente. Cette formule est

limitée ou bien incomplète, du fait que cette dernière ne prenne pas en considération l'effet de quelques paramètres météorologiques.

Les expériences ont montrés que la formule telle qu'elle est, s'applique mieux dans les régions humides, non loin de l'océan et essentiellement recouverte de végétation, que dans les zones arides ou semi-arides de faible humidité.

Pour cela, nous adaptons la nouvelle formule de M^r *Penman&Montheit* modifiée, qui prenne en compte l'effet du paramètre vent, ainsi que les corrections supplémentaires qui tiennent comptent des conditions météorologiques diurnes et nocturnes.

L'expérience a montrée que l'expression obtenue, prédirait de près, l'évapotranspiration de référence, non seulement dans des régions humides et fraîches comme en Angleterre, mais aussi dans des zones très chaude et semi-aride. La formule de M^r *Penman&Montheit*, modifiée, se présentant comme suite :

$$ET_0 = C * [W * Rn + (1 - W) * F(u) * (ea - ed)]$$

Où :

ET_0 : Représente l'évapotranspiration de référence, exprimées en mm/jour.

W : Facteur de pondération rendant compte de l'effet de rayonnement à différente température et altitude.

Rn : Rayonnement net en évaporation équivalente, exprimé en mm/jour.

$F(u)$: Fonction liée au vent.

ea : Tension de vapeur saturante à la température moyenne de l'air, en millibars.

ed : Tension de vapeur réelle moyenne de l'air, exprimée en millibars.

La différence ($ea - ed$) constitue le facteur de correction, afin de compenser les conditions météorologiques diurnes et nocturnes.

Dans le tableau, nous représentons l'évapotranspiration de référence ET_0 , calculée à l'aide du logiciel *CROPWAT*. 8, selon la formule de *Penman&Monteith*, modifiée

Tableau VI-4 : Evapotranspiration de référence selon la méthode Penman&Monteith :

Mois	Temp Min	Temp Max	Humidité	Vent	Insolation	Radiation	ETo
	°C	°C	%	km/jour	heures	MJ/m ² /jour	mm/jour
Janvier	3.0	20.5	73	53	5.4	9.2	1.15
Février	3.0	22.0	68	89	6.2	12.1	1.92
Mars	3.0	23.0	67	96	7.4	16.4	2.63
Avril	10.5	28.5	68	67	8.1	20.0	3.59
Mai	14.0	26.0	67	76	8.6	22.3	4.02
Juin	17.0	34.5	74	102	10.0	24.8	5.24
Juillet	21.5	36.0	77	90	10.6	25.3	5.58
Août	23.0	36.0	76	87	9.8	22.9	5.19
Septembre	18.5	34.5	77	48	8.4	18.5	4.00
Octobre	11.0	23.0	79	50	7.2	14.0	2.21
Novembre	3.5	26.5	75	58	5.5	9.7	1.59
Décembre	3.0	22.0	73	72	5.0	8.2	1.24
Moyenne	10.9	27.7	73	74	7.7	16.9	3.20

a) La pluie efficace:

Pour tenir compte des pertes, le programme *CROPWAT.8*, nous permettra de calculer la précipitation efficace, définie comme étant la fraction des précipitations contribuant effectivement à la satisfaction des besoins de l'évapotranspiration de la culture après déduction des pertes par ruissellement de surface, par percolation en profondeur, ...etc.

Les valeurs de précipitations de probabilité de 80% (P80%) et la pluie efficace (Peff) sont regroupées dans le tableau ci-après :

Tableau VI- 5: Les précipitations efficaces dans la zone d'étude :

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Pmoy _{80%} mm	89.5	65.3	50.9	55.5	44.7	3.5	1.7	6.2	29.5	54.7	77.9	78.0
Pluie eff (mm).	76.7	58.5	46.8	50.6	41.5	3.4	1.7	6.1	28.1	49.9	68.2	68.3

b) Détermination des besoins en eau d'irrigation :

Les besoin en eau d'irrigation (B), est la quantité d'eau que l'on doit apporter à la culture pour être sur qu'elle reçoit la totalité de son besoin en eau.

L'appréciation des besoins en eau des cultures, par le logiciel **CROPWAT**, nécessite l'introduction des renseignements ci après :

Les besoins théoriques mensuels sont déterminés par le bilan hydrique

$$B = ETP - (P_{\text{eff}} + \text{RFU})$$

B : besoin en eau d'irrigation (mm)

E.T.P : évapotranspiration (mm / jour)

RFU : réserve facilement utilisable

$$\text{RFU} = Y (H_{\text{cc}} - H_{\text{pf}}) \cdot D_a \cdot Z$$

Y : degré de tarissement

Da : densité apparente

Z : profondeur d'enracinement mm

Hcc : humidité à la capacité au champ

Hpf : humidité au point de flétrissement

P_{ef} : pluie efficace

$$P_{\text{ef}} = A \cdot \text{Pluie} ; \text{ ou } A = 0,8 \text{ à } 0,9 \text{ (pour notre cas on a prendre } A = 0,8$$

L'irrigation est fait lorsque $B > 0$,

- Pour notre travail on a utilisé le logiciel CROPWAT

Le résultat de calcul des différents cultures est résumé dans le tableau qui suivant:

Tableau VI-6: Besoins en eau des cultures en (mm) :

Désignation	Répartition (ha)	Besoins mensuel Mois (mm)												Total
		S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	
Tomate	8	91,9	6,1							25,6	99,7	171,3	171,1	565,6
P. terre	60							0,11	22,4	101	169	105,3		397,81
Agrumes	47	45,9	4,7					9,8	19,2	30,3	92,1	103,9	61,8	367,7
Vignes	35	69,1	8,8							4,1	69,9	128,6	123,8	404,3
Total	150	206,9	19,6					9,91	41,6	161	430,7	509,1	356,7	1735,5

III Drainage agricole :

L'objet du système de drainage est le lute contre la salinisation des terres irriguées et d'augmenter le rendement de la terre par l'élimination de l'excès d'eau évacué dans les réseaux d'assainissement.

L'assainissement agricole comporte 3 phases :

Captage : collecte des eaux excédentaires (drainage à la parcelle)

Acheminement : par un réseau de collecteurs ou fossés.

Restitution : au réseau hydrographique naturel (exutoire)

➤ **Effets positifs de l'assainissement du sol:**

- Meilleur aération du sol.
- Pénétration plus profonde des racines.
- Échauffement plus rapide du sol.
- Diminution des mauvaises herbes et maladies des cultures.
- Travail du sol facilité.
- Accès possible aux parcelles en tempe opportun.
- Augmentation du rendement des cultures et amélioration de la qualité des récoltes.

III-1 : Calcul du débit caractéristique du réseau « q_c » :

Définition :

Le débit caractéristique d'un réseau du drainage est le débit par unité de surface à véhiculer par le réseau pour évacuer la pluie critique.

III-1-1 : Cas ou l'excès provient la pluie critique:

III-1-1-1 Détermination de la pluie critique :

La pluie critique c'est la quantité d'eau que la plante ne peut pas supporté pour sa croissance pendant un temps limité, et grâce à cette dernière on dimensionne un réseau de drainage.

La détermination de la pluie critique se fait par :

a) Courbe hauteur –durée –fréquence :

Les courbes récapitulatives de la hauteur- durée- fréquence de précipitations (H-D-F) décrivent la hauteur des précipitations en fonction de la durée pendant des périodes de retour données et sont importantes pour la conception des structures hydrauliques.

On vu de construire les courbes hauteurs –durée-fréquence on fait l’ajustement a la Loi de Gumbel des trois trimestres les résultats obtenue représenter dans le tableauIV-7 et les courbes H-D-F représenter dans les figures (Figure IV-2 ; IV-3 ; XI-4)

Tableau VI-7: ajustement des courbes H-D-F :

Trimestre	Premier trimestre			
période	1j	2j	3j	4j
2ans	14,325	22,99	22,201	41,554
5ans	23,919	38,551	51,743	69.616
10ans	30,272	48,861	71,303	88,195
Trimestre	Deuxième trimestre			
période	1j	2j	3j	4j
2ans	9,891	23,061	34,100	41,295
5ans	17,008	35,959	56,470	59,82
10ans	21,721	44,499	70,884	72,022
Trimestre	Troisième trimestre			
période	1j	2j	3j	4j
2ans	11,682	19,238	24,191	32,248
5ans	22,379	31,138	48,19	47,894
10ans	29,461	39,017	69,089	58,906

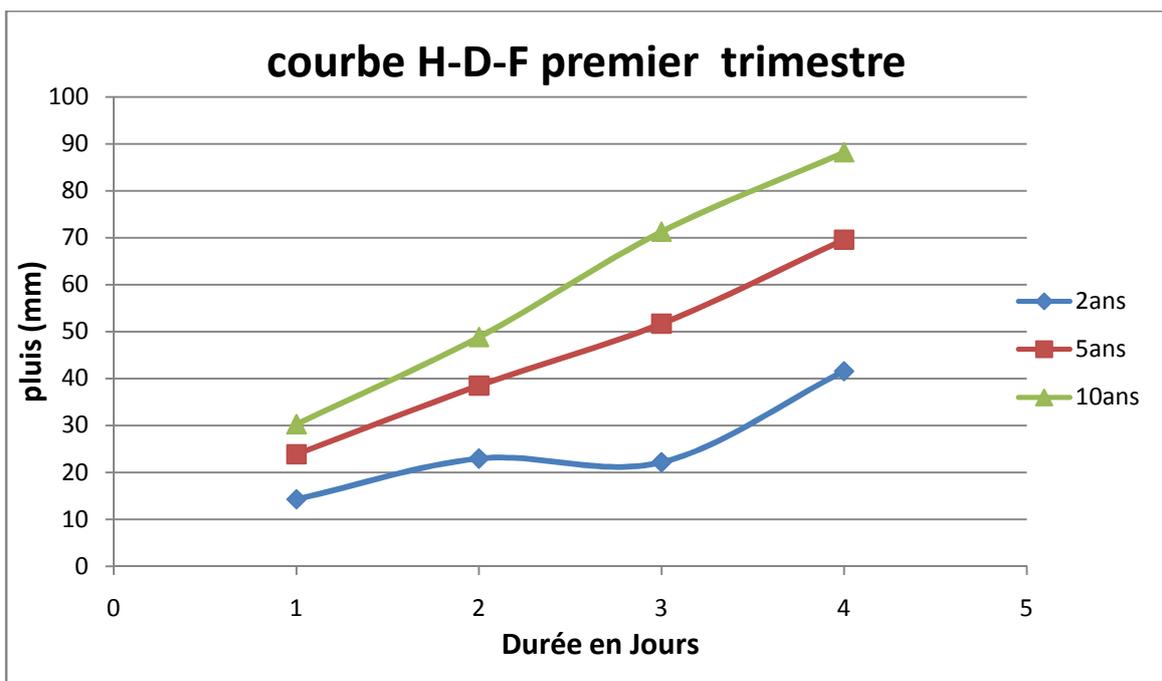


Figure VI-2 : courbe H-D-F premier trimestre.

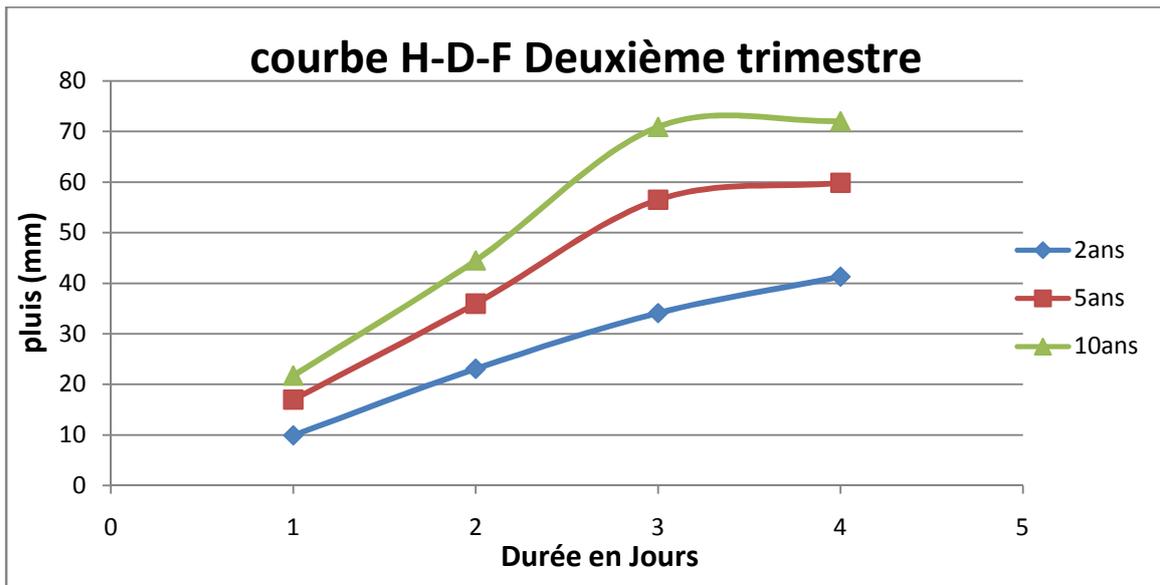


Figure VI-3 : courbe H-D-F Deuxième trimestre.

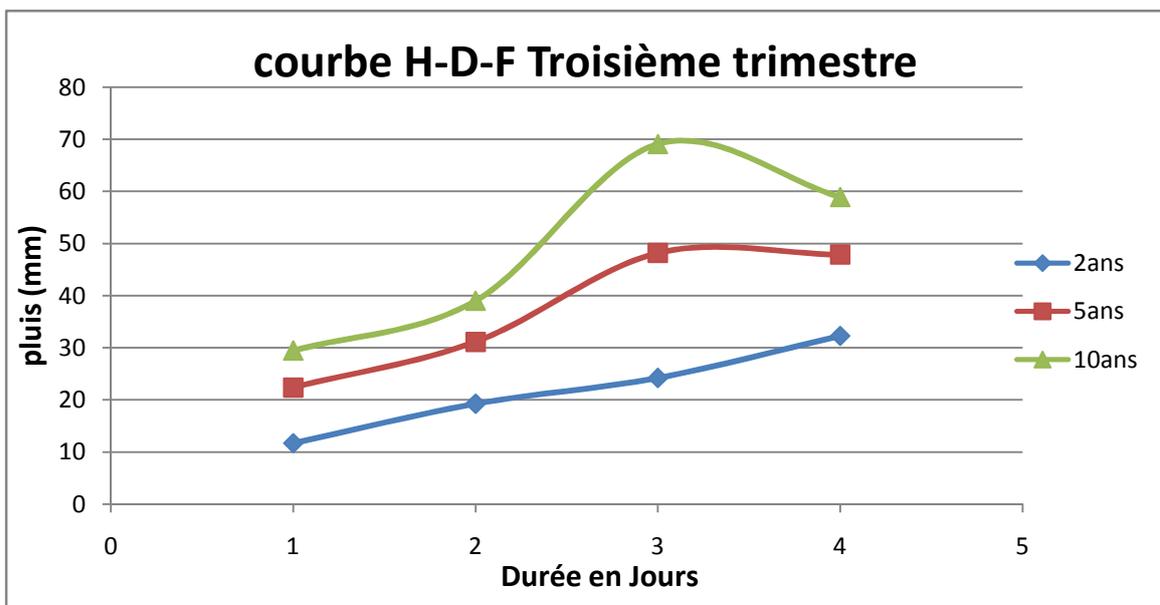


Figure VI-4 : courbe H-D-F Troisième trimestre.

On utilise les courbes Hauteur- Durée- Fréquence de la station de Boufarik pour la parcelle ; le calcul de la pluie critique est basé sur les données de la durée de la submersion et la période de retour qui ont été déterminées à partir du tableau suivant :

Tableau VI- 8 : paramètres usuelles des cultures.

Type de culture	Hopt(mm)	Θ : durée de submersion en jour	T (années)	Valeur du coefficient (1-e)
arboricultures	0.8	5	5	0.5
Culture maraîchère	0.5a0.6	2	2	0.8a0.9
céréale	0.6	3	2	0.6a0.8

Tableau de SALAMIN.

Les valeurs de la pluie critique sont résumées dans le tableau suivant pour les trois trimestres.

Tableau VI- 9 : pluie critique (mm)

pluie critique (mm)			
	Trimestre n°1	Trimestre n°2	Trimestre n° 3
Maraîchages	33	40	30
arboricultures	82	82 .4	54.4

Remarque : la valeur exacte de la pluie critique d'une culture dépend de son stade de développement et sa sensibilité à l'excès l'eau. Donc les périodes sensibles de notre culture est comme suit:

- Pour les maraîchages d'hiver: l'hiver (Tr n° 2).
- Pour les maraîchages d'été : le printemps (Tr n° 3).
- Pour arboricultures: le printemps (Tr n° 3).

Les résultats de la P_{Cr} finales est dans le **tableau VI-10**.

Tableau VI-10: la pluie critique finale en (mm).

cultures	Maraîchages	arboricultures
pluie critique (mm)	30	54,4

Le calcul du débit se fait pour les deux régimes hydrauliques permanent et variable ; sans stockage et en tenant compte du stockage

III-1-1-2 En régime permanent :

a) Sans stockage :

Le débit caractéristique dans ce régime (sans stockage) définie par la formule ci-dessous

$$- q_c = (1 - e) \times i_p \quad q_c : \text{en mm/h}$$

- $q_c = \frac{1}{1-e} \times i_p$ q_c : en l/s/ha

i : Intensité de la pluie en (mm/h) avec : $i = \frac{P}{t}$

(1-e) : coefficient de la quantité d'eau non évaporé.

Le coefficient (1-e) est déterminé à partir du tableau suivant :

Tableau VI-9 : les coefficients (1-e) en fonctions du type de culture et du sol.

cultures	1- e
prairies	0,5-0,6
céréales	0,6-0,8
maraîchages	0,8-0,9
arboricultures	0,5

Source : Land Drainage. SMEDNA

b) En tenant compte du stockage :

Le stockage est une fraction du volume du sol ou les pores remplies avec l'eau de la pluie et sert temporairement comme réservoir ; la formule de débit dans ce cas est:

$q_c = \frac{P - E}{t} \times \frac{1}{1 - \frac{S}{h_{op}}}$ avec

q_c : débit caractéristique en (mm/jours)

- P: pluie critique en (mm).
- E: l'évaporation en (mm).
- t : durée de submersion admissible.
- W : profondeur des drains.
- S : le stockage du sol en (mm) avec $S = h_c \times$

Avec h_{op} : La porosité efficace en (%).

h_{op} : C'est la différence entre la profondeur du drain et la hauteur optimale de la nappe.

Les valeurs de la porosité et la hauteur optimale sont tiré à partir des tableaux (VI-10; VI-11).

Tableau VI-10: la porosité efficace en fonction de la texture du sol.

Textures	(%)
sol très argileux	1 à 2
sol limoneux argileux	4 à 8
sable fin	15 à 20
sable grossie	25 à 30

Source : Cours Irrigation.

Tableau VI-11: la hauteur optimale de la nappe en fonction de la culture.

Cultures	h_{op} (m)
maraîchages	0.5 à 0.6
céréale	0.6
praires	0.2 à 0.3
arboriculture	0.8

Source : Cours Irrigation.

III-1-1-3 En régime variable :

Le débit du drainage est déterminé grâce à la formule :

$$q_c = -$$

Avec :

- q_c : débit caractéristique en (mm/jours).
- S : le stockage du sol.
- : durée de submersion admissible.

Le choix du site d'application

Dont les propriétés sont données comme suite :

- La hauteur optimale de la nappe :
 - h_{op} pour les maraîchages est de 0.5m.
 - h_{op} pour les arboricultures est de 0.8m.
- Texture: limono-argileuse : donc la porosité efficace μ est de 5%.
- la profondeur du drain est de 0.8m pour les maraîchages et 1.2 m pour l'arboriculture (D'après TCHESKQSSOV URSS).

Donc la $h_c=0,3m$ pour les maraîchages et $h_c=0,4m$ pour l'arboriculture

- pour le régime variable on admet que la nappe remonte jusqu'à la surface du sol (h_1) donc il faut rabattre la nappe jusqu'à la hauteur optimale (h_0) et ceci implique que : $h_c=0,5$ pour les maraîchages et $h_c=0.8m$ pour les arboricultures.

Les débits caractéristiques sont exprimés dans le tableau VI-12 :

Tableau VI-12: le débit caractéristique en (l/s/ha) :

		Les débits caractéristiques (l/s/ha)	
régime	régime variable	régime permanent	
		Sans stockage	Avec stockage
Culture maraîchages	1,45	0,9	0,36
arboricultures	0,93	0,52	0,54

II-1-2 Cas ou l'excès provient de l'irrigation :

a) Pour la maraichère :

$B_{net}=276,6mm$ pour le mois de pointe, juillet

Période d'irrigation : 15jour /mois c'est-à-dire

$$B_{net}=276,6/15= 18,44 \text{ mm}$$

On propose un système d'irrigation par aspersion Efficience de l'irrigation : 0.75

$$B_{brut} = \frac{B_{net}}{\%} = \frac{18,44}{0,75} = 24,59mm$$

Les pertes totales sont estimées a 0.25 donc :

$$\text{Pertes tot}=24,59*0.25=6,15mm$$

Les pertes par percolation : 6,15mm/2j

$$q_c=6,15/2=3,075mm/j \quad q_c=0,356 \text{ l/s/ha}$$

$q_c=0,356 \text{ l/s/ha}$

b) pour l'arboriculture :

$B_{net}=232,5mm/mois$ pour le mois de pointe, juillet

Période d'irrigation : 15jour /mois c'est-à-dire

$$B_{net}=232,5/15= 15,5 \text{ mm}$$

On propose un système d'irrigation par aspersion Efficience de l'irrigation : 0.75

$$B_{brut} = \frac{B_{net}}{\%} = \frac{15,5}{0,75} = 20,67mm$$

Les pertes totales sont estimées a 0.25 donc :

Pertes tot=20,67*0.25=5,17mm

Les pertes par percolation : 5,17mm/2j

$$q_c = 5,17/2 = 2,59 \text{ mm/j} \quad q_c = 0,3 \text{ l/s/ha}$$

$$q_c = 0,3 \text{ l/s/ha}$$

II-2 Calcul des écartements des drains "E" :

Les différentes méthodes peuvent faire intervenir soit l'un ou tous les facteurs suivants:

- Les sols (profondeur, conductivité hydraulique, porosité...)
- Régime d'écoulement (permanant ou variable).
- Les cultures projetées.

Pour cela on aura la :

- Méthode proposée par **Hooghoutt** au régime permanent.
- Méthode proposée par **Glover - Dum** au régime variable.

A) La formule de Hooghoutt : (régime permanent) :

- Cas ou les drains repose sur la couche imperméable:

$$E^2 = \frac{4 \times h_c^2 \times k}{q_c}$$

Avec :

E : Ecartement des drains en (m).

k : Conductivité hydraulique du sol (en m/j).

h_c : Hauteur critique (en m).

q_c : Débit caractéristique (en mm.10⁻³).

- Cas ou les drains ne repose pas sur la couche imperméable:

$$E^2 = \frac{4 \times h_c^2 \times k_s + 8 \times k_i \times d \times h_c}{q_c}$$

Avec :

E : Ecartement des drains en (m).

k_s : Conductivité hydraulique du sol en dessous des drains (en m/j).

k_i : Conductivité hydraulique du sol au dessus des drains (en m/j).

d : Profondeur effective de l'imperméable par rapport au niveau des drains (en m).

h_c : Hauteur critique (en m).

q_c : Débit caractéristique (en $\text{mm} \cdot 10^{-3}$).

B) La formule de Glover - Dum :(régime variable)

$$\frac{h_t}{h_0} = 1.16 \times e^{-\alpha \cdot t} \quad E^2 = \frac{10 \times k \times d \times t}{\mu} \left[\ln\left(1.16 \cdot \frac{h_0}{h_t}\right) \right]^{-1}$$

$$\alpha = \frac{10 \times k \times d}{\mu \times t^2}$$

Avec:

E : Ecartement des drains en (m);

k : Conductivité hydraulique du sol (en m/j);

μ : Porosité de drainage (en %);

d : Profondeur effective de l'imperméable par rapport au niveau des drains (en m);

t : Temps (en jr);

h_0 : Niveau initial de la nappe (en m);

h_t : Niveau de la nappe au temps t (en jr);

α : Facteur de réaction (en j^{-1})

q_c : Débit caractéristique (en $\text{mm} \cdot 10^{-3}$).

Résultats et calculs :

Pour tous les calculs qui suivent, on prendra le débit maximal, donc celui du régime variable :

- Pour l'arboriculture $q_c = 1.45 \text{ l/s/h}$
- Pour la maraichère $q_c = 0.93 \text{ l/s/h}$

Conclusion et recommandations :

La Mitidja est une riche plaine tant par la fertilité de ses sols que par les importants réservoirs d'eaux dont regorge son sous-sol. Elle est dotée d'un climat méditerranéen, caractérisé par une température moyenne de l'ordre de 18,83 ° avec des précipitations moyennes annuelles de 619 mm dont 82 % s'évapore, 4% s'infiltrent et 13% s'écoulent. Et vue cette importante quantité d'eau, qui continue à remplir la nappe libre de la Mitidja, cette dernière formée d'une couche d'alluvions grossières d'environ 140 m d'épaisseur, avec une résistivité de 80 à 140 Ohm m, séparé par une mince couche d'argiles plastiques (formation d'Harrach) de l'aquifère Astien, ce dernier reposant lui-même sur un substratum marneux correspondant au bassin post plaisancien.

L'exploitation intense de cette source souterraine d'eau basée sur une étude piézométrique montre que depuis la fin des années 1970 les débits sortants de l'aquifère sont supérieurs aux apports, ce qui a engendré une baisse brutale des niveaux piézométriques qui atteint les 45 m dans la partie ouest de la plaine. Et avec les rejets urbains, l'apport des eaux d'irrigation infiltrées provenant de l'efficacité des systèmes d'irrigation qui touchent les caractéristiques de cette eau souterraine nous sommes trouvés obligés d'agir dans le sens de sa protection et de sa préservation. L'approche préventive par la cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines, a permis d'identifier les zones à haut risque de contamination.

La dernière partie de notre étude a donc porté sur l'évaluation de cette vulnérabilité, par la méthode qui a démontré la fragilité de l'aquifère quaternaire, ainsi que le haut risque de contamination encouru par les eaux du bassin Mitidjiéen, et particulièrement les eaux superficielles. La carte de vulnérabilité des eaux souterraines de la zone d'étude obtenue par la méthode PRAST montre beaucoup de similitudes avec la méthode DRASTIC.

La mise en œuvre concrète de la démarche adoptée a permis d'aboutir à une cartographie en un premier temps de la vulnérabilité des bassins versants vis-à-vis de la pollution diffuse par les produits phytosanitaires, pour deux types de ressources en eau – les eaux de surface et les eaux souterraines – et pour 2 saisons climatiques -- automne hiver d'une part, printemps été d'autre part.

Les résultats de cette étape affirment une vulnérabilité des eaux souterraines généralement moyenne sur toute la zone d'étude, sauf sur le bassin de Chiffa. Le calcul de base adopté au dimensionnement d'un réseau de drainage ne permet pas de préserver la zone étudiée contre les risques cités dans ce travail.

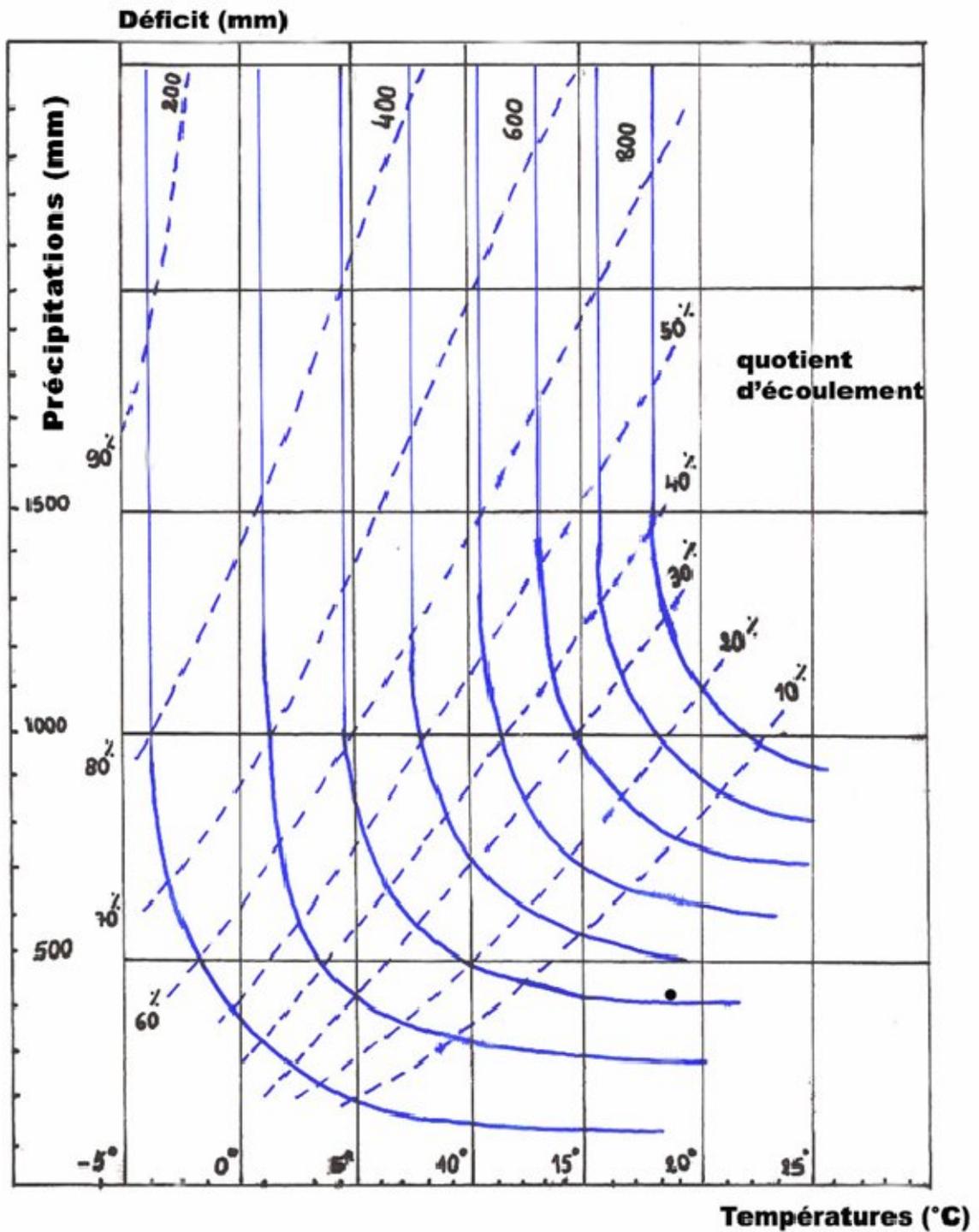
De tels travaux n'auraient pas pu être réalisés sans l'élaboration d'un SIG (Système d'Information Géographique) qui reste un outil performant et efficace d'aide à la prise de décision par les gestionnaires des ressources en eau souterraines dans la région d'étude (Mitidja Centre et Ouest).

Recommandations :

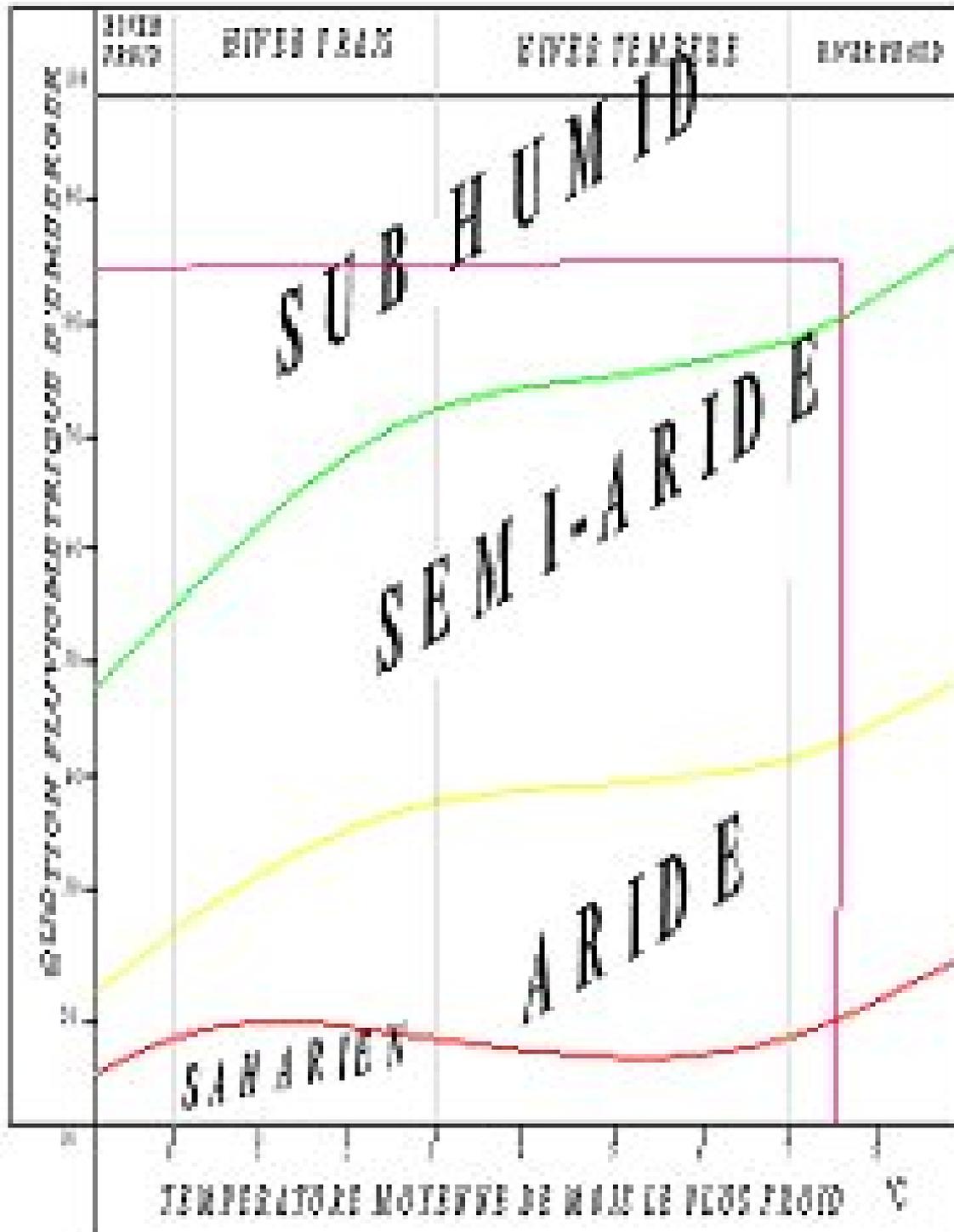
- Adaptation de la méthode PRAST à toutes les régions du territoire national avec création d'une banque de données et d'informations pour la gestion et la cartographie de la vulnérabilité en utilisant les systèmes d'Information Géographique (SIG).
- Mettre en place un comité de gestion des eaux souterraines et établir un plan de gestion des eaux souterraines intégré au schéma d'aménagement du territoire.
- S'intéresser aux problèmes liés à la recharge de l'aquifère et se pencher avec plus de précision sur la relation oued-nappe.

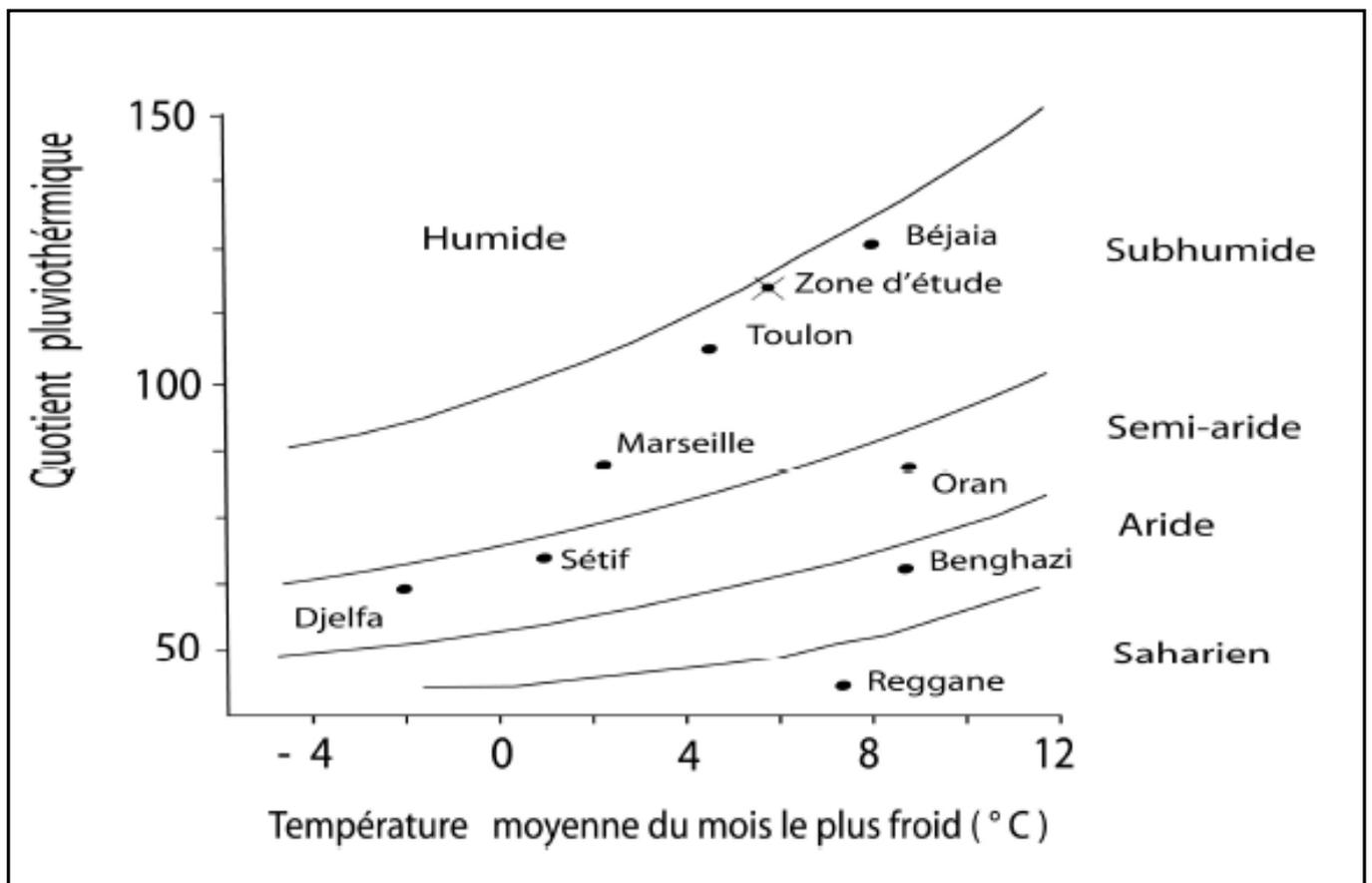
- Eviter toute activité polluante dans les secteurs vulnérables et le suivis des rejets des usines afin d'obliger les pollueurs à respecter la réglementation (pollueur, payeur !).
- La lutte contre les points de captages illicites (forages, puits...)
- La généralisation des SIG et des cartes de vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines sur l'ensemble des nappes importantes à l'échelle nationale.
- La protection de l'environnement découle de la volonté humaine (éducation, sensibilisation, conscience, responsabilité...) et aussi des moyens nécessaires (matériels, logistiques).

Annexe N°1 : Abaque de Wundt modifié par Countagne



Annexe N°2 : Les différentes classes du climat méditerranéen.
 « Climatogramme d'Emberger »





Annexe N°6 : Campagne piézométrique de la nappe alluviale de la Mitidja Centre et Ouest Avril 2010 - Octobre 2010

N° Carte / Point	Nature du Point	coordonnées LAMBERT			avr-10	oct-10
		X (km)	Y (km)	Z (m)	NS /RR en (m)	
W041-1427	puits + f	501480	365760	58,744	31,90	39,30
W041-1765	forage	510000	362600	50,830	42,10	31,50
W041-1766	forage	512500	363550	74,720	40,00	49,70
W041-1768	forage	502750	360850	41,840	31,80	40,10
W041/PZ 18-MZ I	PZ	513100	369600	17,421	51,80	53,25
W041/PZ 25-MZ I	PZ	511600	370800	16,561	55,30	57,30
W041/PZ 18-MZ II	PZ	504800	361500	48,054	66,03	65,40
W041/PZ 7-BL I	PZ	510050	361450	66,891	60,03	66,00
W041/PZ 8-BL I	PZ	512050	360200	97,499	69,15	70,70
W041/PZ1 O,alleug	PZ	507250	365800	21,308	48,38	47,00
W041/PZ3 Ben khelil	PZ	512350	366250	15,988	5,95	5,75
W041/PZ5 Boufarik	PZ	519200	365950	36,849	40,55	43,52
W041/PZ6 Tessala,M	PZ	519500	369500	35,467	46,70	45,30
W062-251	puits	488600	352230	133,380	0,50	0,90
W062-332	puits	496120	352200	100,000	13,40	17,40
W062-333	forage	493720	353500	86,950	44,85	45,20
W062-334	forage	493250	359700	59,420	34,60	51,10
W062-335	forage	491200	355640	72,850	47,80	50,30
W062/PZ 2 El affroun	PZ	493450	358800	64,519	51,00	52,92
W063-245B	forage	503600	353800	84,840	28,20	41,80
W063-470B	forage	500700	354600	80,160	37,40	40,50
W063-593	puits	504500	349450	126,480	21,00	25,50
W063-594	puits	503950	352600	93,210	17,70	32,00
W063-595	forage	503750	358120	56,190	46,20	53,00
W063-596	forage	507200	357150	102,919	68,75	70,80
W063/PZ 1-BL II	PZ	504150	355700	78,031	24,00	29,80
W063/PZ 2-BL II	PZ	504400	356500	83,707	34,70	41,35
W063/PZ 3-BL II	PZ	503500	356950	65,490	33,35	38,50
W063/PZ CHIFFA	PZ	505700	351300	112,809	21,50	26,58
W063/PZ 7Zaouia	PZ	509500	358600	126,743	90,00	92,30
W063/PZ 8 Guérouaou	PZ	516400	357800	153,749	52,60	56,44
W041-pz7 pc/MZ1	pz	512827	369456		60,24	62,90
W041-pz8 MZ1	pz	511214	368344		48,74	52,32
W041-pz 9 pc/MZ 2	pz	505280	363470		65,02	72,70
W041-pz10 MZ 2	pz	502919	362883		64,67	72,63

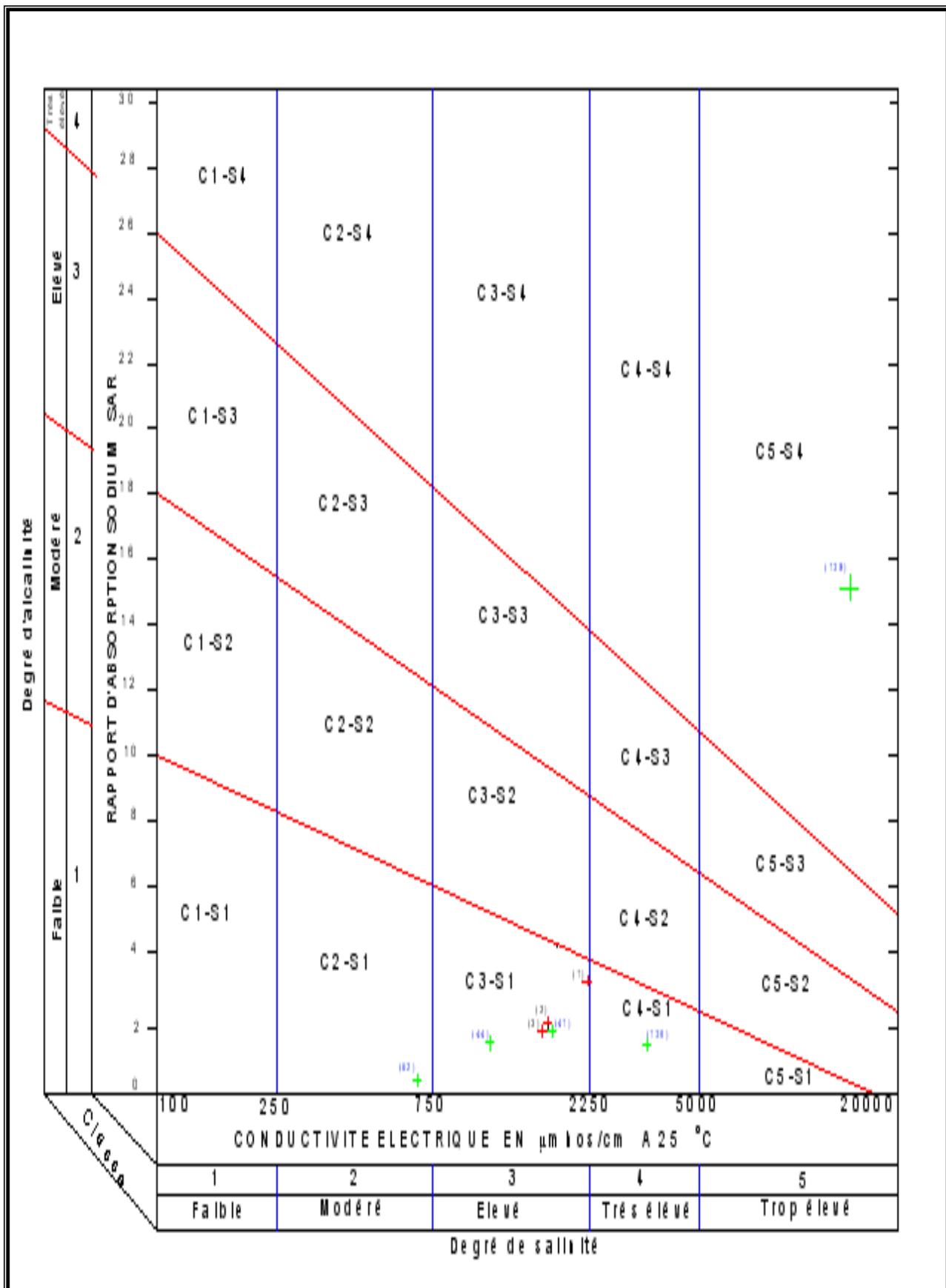
**Annexe N°4 : Campagne hydrochimique de la nappe alluviale de la Mitidja
Centre et Ouest ,2010**

N° Labo	LNA(x)	LNA(y)	Péριο de	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO4 mg/l	CO3H mg/l	NO3 mg/l	R.Sec mg/l
474	501480	365760	HE	164	42	120	3	267	254	638	164	42
481	524250	366750	HE	200	26	103	5	140	112	468	200	26
483	507250	365800	HE	86	34	248	7	303	191	299	86	34
514	519500	369500	HE	145	58	162	3	203	200	498	145	58
652	509750	368750	HE	125	20	44	5	119	95	255	125	20
653	504400	356500	HE	73	24	35	3	36	44	290	73	24
654	506000	364000	HE	100	27	21	2	39	37	315	100	27
655	505700	351300	HE	88	29	38	2	57	89	314	88	29
656	512050	360200	HE	43	20	21	2	35	33	195	43	20
657	510050	361450	HE	42	21	29	3	33	38	195	42	21
658	509500	358600	HE	92	27	25	3	51	37	326	92	27
659	488600	352230	HE	250	76	214	4	303	363	534	250	76
660	493450	358800	HE	182	62	157	0	167	348	465	182	62
661	493250	359700	HE	226	63	135	5	262	318	417	226	63
662	496120	352200	HE	145	102	121	5	181	450	484	145	102
663	491200	355640	HE	120	39	132	3	232	166	361	120	39
664	507200	357150	HE	59	26	27	2	40	30	275	59	26
665	504500	349450	HE	172	31	28	2	85	144	431	172	31
666	503950	352600	HE	140	34	60	3	72	170	366	140	34
667	512500	363550	HE	42	23	52	2	40	40	275	42	23
668	502750	360850	HE	132	30	35	2	52	119	402	132	30
1534	504150	355700	BE	52	18	55	1	81	15	235	52	18
1535	491200	355640	BE	120	48	140	3	175	175	336	120	48
1536	493250	359700	BE	156	62	92	2	200	290	329	156	62
1537	500470	354670	BE	108	30	16	1	38	74	307	108	30
1538	496120	352200	BE	156	84	78	4	149	408	378	156	84
1539	502750	360850	BE	120	37	28	1	58	124	305	120	37
1540	507200	357150	BE	82	25	20	1	37	38	284	82	25
1541	510050	361450	BE	68	22	19	1	33	27	262	68	22
1542	504500	349450	BE	152	35	44	1	107	179	336	152	35
1543	510000	362600	BE	118	8	12	1	40	47	311	118	8
1544	501480	365760	BE	128	29	55	3	122	45	363	128	29
1545	512050	360200	BE	88	19	16	0	41	50	247	88	19
1546	504800	361500	BE	80	19	18	0	39	57	232	80	19
1547	503950	352600	BE	104	62	28	1	57	268	259	104	62
1548	493720	353500	BE	88	106	104	2	171	280	369	88	106
1549	513100	369600	BE	56	43	94	1	132	145	259	56	43
1550	512500	363550	BE	62	28	28	0	46	48	223	62	28
1551	488600	352230	BE	184	77	123	3	238	315	380	184	77

Annexe N°5 : Suit Campagne hydrochimique de la nappe alluviale de la Mitidja Centre et Ouest 2010.

Point d'eau	Période	LNA(x)	LNA(y)	CE μS/cm	pH	SAR
W041-1427	HE	501480	365760	2 130	7,4	11,82
W041-1760	HE	524250	366750	1 700	7,4	9,69
W41-09120	HE	507250	365800	1 992	8,2	32,02
W41-09123	HE	519500	369500	2 000	7,8	16,08
W41-08161	HE	509750	368750	1 000	7,7	5,17
W41-08165	HE	504400	356500	700	7,7	5,03
W41-08159	HE	506000	364000	800	8,0	2,64
W41-08164	HE	505700	351300	900	7,5	4,97
W41-08156	HE	512050	360200	564	7,5	3,74
W41-08163	HE	510050	361450	515	8,0	5,17
W63-09124	HE	509500	358600	850	8,0	3,24
W062-251	HE	488600	352230	3 050	7,3	16,76
W62-09128	HE	493450	358800	2 300	8,0	14,21
W062-334	HE	493250	359700	2 500	7,7	11,23
W062-332	HE	496120	352200	2 400	7,8	10,89
W062-335	HE	491200	355640	1 700	8,1	14,80
W063-596	HE	507200	357150	700	7,9	4,14
W063-593	HE	504500	349450	1 165	7,7	2,78
W063-594	HE	503950	352600	1 300	7,9	6,43
W041-1766	HE	512500	363550	680	7,8	9,12
W041-1768	HE	502750	360850	1 100	7,8	3,89
W41-08154	BE	504150	355700	627	7,6	9,30
W062-335	BE	491200	355640	1 750	8,1	15,28
W062-334	BE	493250	359700	2 060	7,8	8,81
W063-470	BE	500470	354670	729	8,1	1,93
W062-332	BE	496120	352200	1 795	7,8	7,12
W041-1768	BE	502750	360850	1 050	8,2	3,16
W063-596	BE	507200	357150	702	7,9	2,73
W41-08163	BE	510050	361450	635	8,0	2,84
W063-593	BE	504500	349450	1 400	7,9	4,56
W041-1765	BE	510000	362600	782	7,9	1,51
W041-1427	BE	501480	365760	1 035	8,0	6,21
W41-08156	BE	512050	360200	599	8,0	2,19
W41-08157	BE	504800	361500	638	8,1	2,56
W063-594	BE	503950	352600	1 300	8,1	3,07
W062-333	BE	493720	353500	1 900	8,1	10,57
W41-08162	BE	513100	369600	1 015	8,0	13,35
W041-1766	BE	512500	363550	602	8,1	4,18
W062-251	BE	488600	352230	2 400	8,0	10,77

Annexe N°6 : Diagramme de la classification de l'eau d'irrigation (Hand book 60).



Annexe N°7 : Tables ou système de cotation DRASTIC et PRAST

Recharge annuelle		Côte
Intervalle	(cm)	
0 - 5		1
5 - 10		3
10 - 18		6
18 - 25		8
> 25		9

Milieu aquifère		
Nature	Cote	Côte type
Schistes massifs	1 - 3	2
Roches métamorphiques	2 - 5	3
Roches métamorphiques altérées	3 - 5	4
Schistes en séquence	5 - 9	6
Grès massif	4 - 9	6
Calcaire massif	4 - 9	6
Sable et gravier	6 - 9	8
Basalte	2 - 10	9
Calcaire karstique	9 - 10	10

Type de sol		Cote type
Nature		
Peu épais ou absent		10
Gravier		10
sable		9
Argile fissurée		7
Limon sableux		6
Limon		5
Limon silteux		4
Limon argileux		3
Argile non fissurée		1

Topographie		Côte
Intervalle (%)		
0 - 2		10
2 - 6		9
6 - 12		6
12 - 18		3
> 18		

Impact de la zone non saturée		
Nature	Côte	Côte typique
Limon et argile	1 - 2	1
Argile schisteuse	2 - 5	3
Calcaire	2 - 7	6
Grès	4 - 8	6
Calcaire lite, grès et argile schisteuse	4 - 8	6
Sable et gravier avec silt et argile	4 - 8	6
Roche métamorphique / ignée	2 - 8	4
sable et gravier	6 - 9	8
Basalte	2 - 10	9
Calcaire karstique	8 - 10	10

Perméabilité	Côte
$4.7.10^{-7}$ - $4.7.10^{-6}$ m/s	1
$4.7.10^{-6}$ - $14.7.10^{-6}$	2
$14.7.10^{-6}$ - $32.9.10^{-6}$	4
$32.9.10^{-6}$ - $4.7.10^{-4}$	6
$4.7.10^{-4}$ - $9.4.10^{-4}$	8
$>9.4.10^{-4}$	10

P R A S T	
Paramètres	Poids
Pouvoir épurateur vertical du sous sol	8
Recharge annuelle	4
Milieu aquifère	3
Type de sol	2
Topographie	1

Pouvoir épurateur vertical du sous sol (sans unités)	Côte
< 1	6
1 - 2	5
2 - 3	2
> 3	1

BIBLIOGRAPHIE

BOUZIANE RAHMANI, Aek., 2006 : Vulnérabilité a la pollution de la nappe alluviale du haut Chéelif application de la méthode (DRASTIC) assistée par le système d'information géographique (sig) . Thèse Ingéniorat, ENSH / BLIDA.

DJOUDAR-HALLAL, D., 2003 : Vulnérabilité et protection des nappes aquifères en région côtière. Application aux alluvions de Mitidja Orientale. Thèse Magistère, IST / USTHB / ALGER.

MESSALEMI, H., 2003 : Essai de quantification de la ressource en eau et protection de la nappe alluviale du Haut Chéelif. Thèse Ingéniorat, CU / KHEMIS MILIANA.

TOUIEB, M.(1997) : Utilisation de la méthode DRASTIC et de Système d'Information Géographique pour l'évaluation et la cartographie de la vulnérabilité des nappes souterraine à la pollution .Cas de la Mitidja. Est Thèse Magistère, ENSH / BLIDA.

Zaibak, I. (2008) : Contribution a une approche cartographique de l'érosion spécifique dans le bassin versant de l'oued cheliff. Thèse de magister, Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique. Algérie.

Ait Ouali, Adk.2007 : Synthèse hydrogéologique et vulnérabilité à la pollution du système aquifère quaternaire de la Mitidja. Thèse de magistère, IST_USTHB.Alger

Altine Samay.A ,2005 : Etablissement des cartes de vulnérabilité des eaux souterraines de la Mitidja Ouest (région de Blida). Mémoire d'ingénieur .Université de Saad Dahleb. Blida.

Ayad.A, et Mesrati.T, Septembre2002 : Expérimentation de la technique de recharge artificielle en zone pilote (nappe de la Mitidja).ANRH

Baouni.T, Hamriou W,et Sadou G, : Etude de la pollution des eaux sur le bassin versant du Mazafran, (Bulletin international de l'Eau et de l'Environnement, EDIL Inf-Eau, Trimestriel N°14, Mars 1997.

Belaïdi, M., Rabehaoui, H., 2000-2006 : Note sur l'évolution de la profondeur de la nappe de la Mitidja. Section. Surveillance des nappes. ANRH. Blida. Algérie,

Berdous.F et Bennani .K, 1997 : Variabilité spatiale de la transmissivité de la nappe alluviale de la Mitidja. Mémoire d'ingénieur d'état. IST_USTHB.Alger.