

Higher National School of Hydraulic

The Library

Digital Repository of ENSH



المدرسة الوطنية العليا للري

المكتبة

المستودع الرقمي للمدرسة العليا للري



The title (العنوان):

Analyse de la sensibilité des bassins versants de la Mitidja
Centre et Ouest..

The paper document Shelf mark (الشفرة) : 1-0020-09

APA Citation (APA توثيق):

Aissa, Hanane (2009). Analyse de la sensibilité des bassins versants de la Mitidja
Centre et Ouest.[Mem Ing, ENSH].

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

Digital Repository of ENSH aims to limit scientific production, whether published or unpublished (theses, pedagogical publications, periodical articles, books...)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

Digital Repository of ENSH is built on the open software platform and is managed by the Library of the National Higher School for Hydraulics.

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

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

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

كل الحقوق محفوظة للمدرسة الوطنية العليا للري.

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

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

**ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DE L'HYDRAULIQUE
ARBAOUI ABDELLAH - BLIDA.**

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

Spécialité : Conception des Systèmes d'Alimentation en Eau Potable

THEME :

**ANALYSE DE LA SENSIBILITE DES BASSINS VERSANTS DE LA
MITIDJA CENTRE ET OUEST.**

Présenté par :

M^{lle}: AISSA HANNANE

promotrice :

M^{me}. DJOUDAR.D

Devant le jury composé de :

President: M^r T. Khetal

**Examineurs: M^r M.S. BENHAFID
M^r A. Rassoul
M^{me} M.KAHLERASS
M^r M.FODIL CHERIF
M^r. A. RASSOUL**

Octobre 2009.

Remerciements

Avant tout, je remercie le bon Dieu qui a illuminé mon chemin et qui m'a armé de courage et de bonne volonté pendant tout mon cursus universitaire.

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements et ma gratitude à ma promotrice « M^{me} Djoudar Dhahbia » pour ses précieux conseils, ses encouragements et sa disponibilité mais aussi pour toute la sympathie qu'elle n'a cessée de manifester à mon égard tout au long de la réalisation de ce travail.

Je remercie également tous les cadres de la S.E.A.A.L d'Alger, pour m'avoir accueillis au sein de leurs entreprise et en particulier mon copromoteur M. Hamdan pour sa patience et son aide précieuse.

Je tiens un merci sans faille pour les ingénieurs de l'ANRHA de Blida pour les moyens et ressources nécessaires qu'ils ont mit à ma disposition, et Je dois également une fière chandelle à M. Salhi qui ma accordé un peu de son temps et a répondu sur toutes mes questions concernant le logiciel Map info.

Je dois également un grand merci pour l'unique « Mme Bahbouh » pour sa disponibilité, et ses précieux conseils.

En fin, toute ma gratitude va à mes professeurs de l'ENSH qui m'ont guidé au cours de ma formation d'ingénieur, et mon plus grand respect aux membres du jury qui me feront l'honneur d'apprécier ce travail.

Aissa Hannane

Dédicaces

Avant tout, je veux dédier ce modeste travail en guise de reconnaissance et de respect à mes chers parents pour leurs soutient moral, financier et surtout pour leur grande patience.

A ma très cher sœur Karima, et a mes petits frères Amin et Zheir.

A ma très chère grand-mère Fafa.

A mon oncle Kamel et a ami Mohamed et sa famille.

A tous mes amis de l'ENSA, spécialement : Hindo, Wassilus et Baho, Salim, Ibrahim, Moh, Amin, Mhamed, Samira, Fatna, Lina, Tifa, Nawel et Karima et tous les autres.

Sans oublier la merveilleuse Imen, et incontournableés sœurs Mesbah.

Une spéciale dédicace à ma promotrice Mme Djoudar.

Merci.

Aissa Hannane

ملخص

تعتبر المياه الجوفية في الجزائر المورد الاساسى لسد الاحتياجات المائية. غير إن التعمير السريع وارتفاع النشاطات الصناعية والفلاحة 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 الأساليب الأكثر استخداما ألا وهي والمنهجية الجديدة التي تم اختبارها مؤخرا في منطقة بفرنسا من طرف أعداد الخرائط يتطلب دراسة هيدروولوجية مورفولوجية وهيدروولوجية مفصلة. إن الخرائط الناتجة عن هذه المنهجيات الثلاث تمثل وسيلة فعالة في تهيئة المحيط.

Résumé :

En Algérie les eaux souterraines sont la principale source de satisfaction de la demande en eau. Depuis des dizaines années, l'urbanisation rapide ainsi que l'augmentation des activités industrielles et les pratiques agricoles intensive 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. De ce fait, notre choix s'est porté sur les méthodes les plus utilisées, à savoir DRASTIC et DRIST et enfin une nouvelle méthode expérimentée en Alsace (France) par le GREEPAL. La cartographie ne peut donner de bons résultats sans une étude hydrologique, lithologique et hydrogéologique approfondie de la région d'étude. Les cartes résultantes des trois méthodes constituent des outils précieux pour la gestion et l'aménagement du territoire. De tels travaux n'auraient pas pu être réalisés sans l'élaboration d'un Logiciel SIG qui reste un outil performant et efficace.

Mots clés : Pollution –vulnérabilité –sensibilité-aquifère-Drastic-Drist-Aprona.

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, namely DRASTIC and DRIST and finally the new method experimented in Alsace (France) by the GREEPAL. The cartography cannot give good results without a hydrological study, lithologic and hydrogeologic detailed of the region of study. The resultant maps of three methods constitute precious tools for the management.

SOMMAIRE :

	Page
Introduction générale :	1

PREMIERE PARTIE : POLLUTION ET METHODES D'EVALUATION.

Chapitre I : Pollution des eaux souterraines et superficielles.

1. Introduction :	3
2.1. Critères de pollution d'une eau :	3
2.2. Dose de polluant et fréquences des apports :	3
2.3. Paramètres spécifiques de la pollution :	3
3. Facteurs de pollution des eaux souterraines :	4
3.1. La nature du sol :	4
3.2. Le type d'aquifère:	5
3.2.1) Aquifère a nappe libre :	5
3.2.2) Aquifère a nappe captive :	5
3.2.3) Aquifère a nappe semi captive :	5
4. Facteurs de pollution des eaux superficielles :	5
5. Classification des pollutions :	6
5.1. En fonction de l'origine de la pollution :	6
5.2. Selon la nature des polluants :	6
5.2.1) Polluants physiques:	6
5.2.2) Polluants chimiques:	6
5.2.3) Polluants microbiologiques :	7
5.3. Selon la répartition géographique :	8
5.3.1) <i>Pollution diffuse</i> :	8
5.3.2) <i>Pollution ponctuelle</i> :	8
5.4. En fonction de la répartition dans le temps :	8
5.4.1) <i>Pollution temporaire (accidentelle)</i> :	8
5.4.2) <i>Pollution permanente (chronique)</i> :	8
5.5. Pollution historique :	8
6. Principales sources de pollutions au niveau de notre secteur d'étude :	8
6.1. Etat de pollution dans la Mitidja occidentale :	8
6.1.1) Pollution d'origine agricole :	8
6.1.2) Pollution d'origine industrielle :	9
6.1.3) Pollution par les décharges publique :	9
6.1.4) Pollution d'origine urbaine et domestique :	9
6.1.5) Pollution accidentelle par les hydrocarbures :	10
7. Conclusion :	11

Chapitre II : Mécanismes de transport et d'atténuation du polluant en milieu souterrain

1. Introduction :	12
2. Mécanismes de transport et évolution du polluant dans l'aquifère:	12
2.1. Dans une nappe libre :	12
2.2. Dans une nappe captive :	12
2.3. Dans un aquifère fissuré :	12
2.4. Dans une nappe alluviale ou proche d'un corps d'eau :	12
3. Devenir des polluants introduits à la surface du sol:	14
3.1. L'introduction du polluant dans le sol :	14
3.2. Migration et évolution du polluant en zone non saturée :	14
3.3. Propagation et évolution du polluant dans l'aquifère :	14
3.4. Processus influençant le déplacement des polluants dans la zone saturée :	14
3.4.1) Convection (ou l'advection) :	14

3.4.2) Diffusion :	15
3.4.3) Dispersion :	15
3.4.4) Adsorption :	15
3.5. Persistance de la pollution :	15
4. Phénomène d'atténuation du polluant:	15
4.1. Les processus physiques :	16
4.2. Phénomènes chimiques :	16
5. Conclusion:	17

Chapitre III : Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité

1. Introduction :	18
2.1. Notions de vulnérabilité :	18
2.2. Concept de vulnérabilité :	18
2.3. Objectif de l'évaluation de la vulnérabilité :	19
2.4. Cartes de vulnérabilité et leurs intérêts :	19
3. Critères de vulnérabilité :	19
3.1. Critères relatifs à la surface du sol :	19
3.2. Critères relatives au sol:	19
3.3. Critères relatifs à la zone non saturée (zns) :	20
3.4. Critères relatifs à la nature de la zone saturée (l'aquifère) :	20
3.5. Critères relatifs à la nature du polluant :	20
3.6. Conditions climatiques et naturels :	20
4. Evaluation de la vulnérabilité :	20
4.1. Evolution des outils de caractérisation de la vulnérabilité :	20
4.2. Classification des méthodes d'évaluation de la vulnérabilité :	21
4.2.1) Méthodes orientées sur un système de cotation numérique :	21
4.2.2) Méthodes orientées sur les documents cartographiques :	21
4.2.3) Méthodes basées sur la caractérisation du polluant :	21
4.2.4) Méthodes générales ou mixtes :	21
4.3. Différentes méthodes d'évaluation de la vulnérabilité :	21
4.3.1) la méthode SILKA :	21
4.3.2) la méthode DRASTIC 1985 :	22
4.3.3) la méthode de GOD (Foster et Hirado, 1991) :	22
4.3.4) la méthode de PRAST :	22
4.3.5) la méthode Albini et Margat 1970 :	23
4.3.6) la méthode WIPP (1982) :	23
4.3.7) la méthode anglaise NRA (National River Authority) :	23
4.3.8) la méthode de Vierhuff (1992) :	23
4.4. Tests de classification des méthodes d'évaluation de la vulnérabilité :	23
4.4. 1) Test de FRECHETT, 1987 :	23
4.4. 2) test d'OLIVIER, G en 1979 :	24
5. Nouvelles méthodes d'évaluation de la vulnérabilité-sensibilité des aquifères.....	25
5.1. La méthode DRIST (Sinan 2004) :	25
5.2. Diagnostic régional de la vulnérabilité des bassins versants au risque phytosanitaire :	26
Conclusion:	26

Chapitre IV : Aspect théorique et pratique de la méthode DRASTIC et DRIST

Introduction:	27
1. Méthodologie adoptée :	27
2. Aspects théoriques et pratiques des méthodes DRASTIC:	27
2.1. Hypothèse de base :	27

3.2. Indexation ou système de cotation numérique :	27
3.3. Calcul de l'indice DRASTIC :	28
3.4. Interprétation de l'indice DRASTIC :	29
3.5. Description des paramètres DRASTIC:	30
3.5.1) Profondeur de l'eau (D):	30
3.5.2) Recharge nette (R):	30
3.5.3) La nature de l'aquifère (A) :	30
3.5.4) Type de sol (S) :	30
3.5.5) La topographie (T) :	30
3.5.6) Impact de la zone non saturée ;(zone vadoze) (I) :	31
3.5.7) Conductivité hydraulique de l'aquifère (C) :	31
3.6. Collecte de données :	31
3.7. Concept d'unité hydrogéologique :	31
3.8. Réalisation des cartes thématiques :	31
3.8.1) Délimitation des sous unités :	31
3.8.2) Couleurs des sous unités hydrogéologiques:	32
4. Aspects théoriques et pratiques des méthodes de la méthode DRIST :	32
4.1. Présentation de la méthode :	32
4.2. Description de la méthodologie adoptée :	33
4.2.1) Evaluation de la vulnérabilité :	33
4.2.1.1) Calcul de l'indice de vulnérabilité :	33
4.2.1.2) Interprétation de l'indice Iv :	33
4.2.2) évaluation de la sensibilité :	33
4.2.2.1) Description des paramètres de la sensibilité :	34
a. Vitesse de l'eau souterraine (Ve) :	34
b. Qualité globale de l'eau souterraine :	34
c. Productivité de la nappe :	35
4.2.2.2) Calcul de l'indice de sensibilité:	35
4.2.2.3) Interprétation de l'indice Is :	35
4.2.3) évaluation de la vulnérabilité-sensibilité à la pollution d'une nappe alluviale:	35
4.2.3.1) Calcul et interprétation de l'indice Ivs :	36
5. Utilisation du SIG dans l'étude de vulnérabilité :	36
Conclusion:	36

Chapitre V : Définition de la méthodologie adoptée par l'APRONA (association pour la protection de la nappe phréatique de la plaine d'Alsace) ET l'ARAA (association pour la relance agronomique en Alsace)

Introduction :	37
1ère partie : Caractérisation de la vulnérabilité des bassins versants :	38
2. Définition de la méthodologie adoptée :	38
2.1. Bases pour la définition d'une méthodologie :	38
2.1.1. Documents supports :	38
2.1.2. Grands principes de la démarche retenue :	38
2.1.3. Critères à prendre en compte et méthode de croisement des données :	40
1-1-3-1-Critères intervenant dans l'analyse de la vulnérabilité :	40
1-1-3-2 Méthodes de croisement des critères de vulnérabilité :	41
2.2. La disponibilité des données comme principale limite :	41
2.3. Choix d'une échelle d'étude adaptée :	42
3. Démarche et principes retenus pour l'évaluation de la vulnérabilité des bassins versants alsaciens vis-à-vis des produits phytosanitaires :	43

3.1. Ressource(s) potentiellement vulnérable(s) :	44
3.1.1. Facteurs déterminants les types d'écoulements principaux et modèles de croisement des facteurs :	44
a) Facteurs déterminants les types d'écoulements principaux :	44
a.1) Le facteur précipitations :	45
a.2) Le facteur pente :	45
a.3) Les facteurs liés au sol:	45
a.3.1) <i>Sensibilité des sols à la battance</i> :	45
a.3.2) <i>Filtrance</i> :	46
a.3.3) <i>Hydromorphie</i> :	46
a.3.4) <i>Présence d'une rupture de perméabilité</i> :	47
a.4) Les facteurs liés au sous-sol :	47
a.4.1) Perméabilité du substrat géologique :	47
b) Modèle de croisement des facteurs (<i>exemple Figure 4 et Figure 5</i>) :	47
3.1.2. Répartition des flux et ressource(s) exposée(s) :	51
3.2. Niveau de vulnérabilité potentielle de la ressource :	53
3.2.1. Transfert en surface :	53
a) Densité du réseau hydrographique :	53
b) Densité de drainage agricole :	54
3.2.2. Transfert en profondeur :	55
3.3. Vulnérabilité et zonage des bassins versants :	55
3.3.1. Influence de l'occupation du sol :	56
3.3.2. Classification des bassins versants et zonage final :	56
4. Conclusion de la première partie :	57
2ième partie : détermination de la sensibilité des bassins versants aux produits phytosanitaires et classification.....	57
5. Introduction à la détermination de la sensibilité :	57
6. Détermination de la sensibilité – méthodologie générale :	57
6.1. Méthodologie :	57
6.2. Calcul de la note de sensibilité :	58
6.3. Représentation cartographique des notes de sensibilité :	58
7. Détermination de la sensibilité des eaux de surface :	58
7.1. Détermination de la note de dilution des eaux de surface :	58
7.2. Détermination de la note de sensibilité des eaux de surface :	59
7.3. Synthèse eaux superficielles :	59
8. Détermination de la sensibilité des eaux souterraines :	59
8.1. Détermination de la note de dilution des eaux souterraines :	59
8.2. Détermination de la note de sensibilité des eaux souterraines :	60
9. Synthèse eaux superficielles / eaux souterraines :	60
10. Conclusion de la 2eme partie :	60

DEUXIEME PARTIE : SYNTHESE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE.

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

1. Introduction:	61
2. Aspect général sur de la zone d'étude :	61
2.1. Histoire :	61
2.2. Situation géographique de la plaine :	61
2.3. Limite de la zone d'étude:	63
3. Unité géomorphologie:	63
3.1. Les contours de la plaine :	63

3.2. La plaine proprement dite:	63
4. Réseau hydrographique:.....	64
5. Couvert végétal:.....	65
6. Aspect socio-économique:.....	65
6.1. Besoin en eau:.....	65
6.2. L'agriculture:.....	65
6.3. L'industrie:.....	66
6.4. Démographie:.....	66
6.5. Ressources en eau:.....	67
6. 5. 1) Ressources souterraines:.....	67
6. 5. 1.1) Prélèvements pour destinés à l'AEP :.....	67
a)Prélèvement de la SEAAL :	67
b) Prélèvement de la wilaya de Blida :	67
c) Prélèvement pour l'AEP au sein de la Mitidja :.....	69
6. 5. 1.2) Prélèvements agricoles :.....	70
6. 5. 1.3) Prélèvements industriels :.....	70
6.5. 2) Ressources d'eau superficielles :.....	70
. Conclusion:.....	71

Chapitre VII: Etude géomorphologique.

Introduction :.....	72
2. Caractéristiques du bassin versant :.....	72
2.1. Paramètres géométriques :.....	72
2.2. Paramètres de forme :.....	72
2.2.1) Indice de compacité de GRAVELIUS :.....	72
2.2.2) Le rectangle équivalent :.....	72
2.3. Paramètres de relief :.....	73
2.3.1) Etablissement de la courbe hypsométrique :.....	73
2.3.2) l'altitude moyenne (H) :.....	75
2.3.3) l'altitude la plus fréquente :.....	75
2.3.4) Indice de pente globale « Ig »:.....	75
2.3.5) Indice de roche « I _p »:	75
2.3.6) pente moyenne du bassin versant:.....	76
3. Réseaux d'écoulement :.....	76
3.1. Temps de concentration des eaux :.....	76
3.2. La vitesse de ruissellement :.....	77
4. Conclusion :.....	77

Chapitre VIII: Etude hydrologique (Etablissement du bilan hydrologique)

1. Introduction:.....	78
2. Etude des précipitations:.....	78
2.1. Le réseau pluviométrique:.....	78
2.2. Traitement des données :.....	79
2.2.1) Homogénéisation des données :.....	79
2.2. 2) Variations des moyennes mensuelles des précipitations :.....	80
2.2. 3) Variation interannuelle des précipitations période (1975_2007):.....	81
2. 3. Evaluation de la lame d'eau moyenne précipitée :.....	82
2.3.1) Méthode arithmétique :.....	82
2.3. 2) Méthode de Thiessen :.....	82
2.3. 3) Méthode des isohyètes :	83

3. Etude des températures :	86
3.1. Les données récentes :	86
3.2. Analyse des températures:	86
3.2. 1) Températures extrêmes:	86
3.2. 2) La température moyenne annuelle:	87
3.3. Régime climatique:	87
4. Autres paramètres climatiques:	87
4.1. L'humidité de l'air :	87
4.2. Le vent :	88
4.3. La nébulosité:	88
4.4. Gèles :	88
4.5. La grêle :	88
5. Le bilan hydrique:	88
5.1. Etude de l'évapotranspiration :	89
5.1.1 Étude de l'évapotranspiration potentielle:	89
5.1.1.a) La formule de Thornthwaite :	89
5.1.1. b) La formule de Serra: :	90
5.1.2) Etude de l'évapotranspiration réelle :	91
5.1.2.1) Formule de TURC :	91
5.1.2.2) Formule de COUTAGNE:	92
5.1.2.3) Méthode de WUNDT:	92
5.2. Estimation du bilan hydrologique :	93
5.2.1) Estimation de la lame ruisselée :	93
5. 2. 2) Estimation de la lame infiltrée :	93
5.2. 3) Résultats du bilan hydrologique :	94
Conclusion :	94

Chapitre IX : Synthèse géologique et géophysique

I. Etude géologique :	95
I.1. Introduction :	95
I.2 Cadre régional et local :	95
I.2.1. Formation et genèse de la Mitidja :	95
I.2.1.1) Les plissements :	97
a) Plissements Eocène (calcaire Nummulitique) :	97
b) Plissements Cartenniens :	97
c) Plissements Vindoboniens :	97
d) Plissements post-Astiens :	97
I.2.1.2) Le remblaiement :	97
I.2.1.3) Le déblaiement :	98
I. 2.2. Lithostratigraphie de la plaine de la Mitidja :	98
I.2.2.1. Le socle primaire :	98
I.2.2.2. Le Mésozoïque :	98
I. 2.2.3. Le Tertiaire :	99
I.2.2.3. a) Le Miocène et roches plus anciennes :	99
I.2.2.3. b) Les roches éruptives du Tertiaire :	99
I.2.2.3. c) Plaisancien :	99
I.2.2.3. d) L'Astien :	99
I.2.2.4. Le Quaternaire:	100
2.2.4. a) Formation d'El Harrach :	100
2.2. 4. b) Formation de la Mitidja :	100
2.2.4. c) Formation du Mazafran et de Halloula :	100
2.2.4. d) Les dépôts récents :	101
I.3 Contexte tectonique :	102
I.3.1. Orogène Alpin :	102

I. 3.2. Tectonique post- nappes (Néotectonique) :	103
I.3.3. Tectonique actuelle dans le contexte méditerranéen :	103
I. 3.4. Sismicité de l'Algérie :	103
I.4.conclusion :	104
II. Approche géophysique :	105
II.1. Introduction :	105
II. 2. Interprétations des sondages électriques :	105
II.3. Interprétations des cartes géoélectriques :	106
II. 3.1. Carte des résistances transversales : Rt	106
II. 3.2. Carte du mur de l'Astien ; (allure du substratum) :	107
II.3.3. Carte du mur de la Mitidja :	108
II. 4. Interprétations des coupes géoélectriques :	108
II. Conclusion:	109

Chapitre X : Hydrogéologie

I. Etude hydrogéologique :	110
I.1.Introduction :	110
I.2. Principaux aquifères de la plaine de la Mitidja :	111
I.2. 1. Définition:	111
I.2. 2. Étude lithologique de l'ensemble aquifère :	111
I.2. 2. Identification des principaux aquifères de la Mitidja :	111
I.2. 2. 1) Formation de l'Astien :	111
a) <u>Alimentation de l'aquifère de l'Astien</u> :	111
b) <u>Exutoire de l'aquifère de l'Astien</u> :	111
I.2. 2. 2) Formation de La Mitidja:	112
a) <u>Alimentation des alluvions du Quaternaire</u> :	112
b) <u>Exutoires de l'aquifère alluvial</u> :	112
I.3. Caractéristiques hydrodynamiques des aquifères :	113
I.3.1. La transmissivité –perméabilité :	113
I.3.1.1) l'aquifère Astien :	113
I.3.1.2) l'aquifère alluvial de la Mitidja :	113
I.3.2. Le coefficient d'emmagasinement (S):	114
I.3.2.1) pour l'aquifère de l'Astien :	114
I.3.2.2) pour l'aquifère alluvial de la Mitidja :	114
I.4. Piézométrie et évolution de la profondeur de la nappe entre 1998 et 2008 :	114
I. 4. 1. Chroniques piézométriques et interprétations des fluctuations :	114
I. 4.2. Indice de surexploitation de la nappe :	115
I. 4.3. Amplification du phénomène dans le temps:	116
I.4.4. Interprétation de la carte piézométriques (campagne d'Avril – Sep. 2008):	117
I.5. Conclusion :	119
II. Etude hydrochimique :	119
II.1.Introduction :	119
II.2. Analyse des paramètres physico-chimiques :	119
II.2. 1. Analyse des paramètres physiques :	119
II.2. 1.1) Température :	119
II.2. 1.2) potentiel hydrogène pH :	119
II.2. 1.3) Résidu sec :	120
II.2. 1.4) Conductivité :	120
II.2. 2. Analyse des paramètres chimiques :	121
II.2. 1.1) Teneurs en éléments chimiques :	121
a) Teneur en Chlorure (Cl-) :	121
b) Teneur en Bicarbonate (HCO ₃ -) :	121
c) Teneur en Sulfates SO ₄ - :	121
d) Teneur en en Nitrates NO ₃ - :	121

e) Teneur en Calcium (Ca ⁺⁺) :	121
f) Teneur en Magnésium (Mg ⁺⁺) :	121
g) Teneur en Sodium (Na ⁺⁺) :	121
h) Teneur en Potassium (K ⁺) :	122
II.2. 1.2) Autres caractéristiques chimiques :	122
a) <u>Agressivité et incrustance des eaux</u> :	122
b) <u>Dureté totale ou degré hydrométrique</u> :	122
c) <u>Indice d'échange de base (i.e.b)</u> :	122
II.3. Classification des eaux :	123
II.3. 1. Classification des eaux selon le diagramme de PIPER :	123
II.3.2. Représentation graphique des analyses :	124
II.3.3. Aptitudes des eaux à l'irrigation :	124
II.4. Evolution et répartition spatiale des faciès:	124
II.4.1. Le faciès Bicarbonaté calcique :	125
II.4.2. Le faciès Chloruré calcique :	125
II.4.3. Le faciès Bicarbonaté sodique :	125
II.4.4. Le faciès Bicarbonaté Magnésien :	125
II.4.5. Le faciès sulfaté calcique :	125
II. 5. Les paramètres ayant une influence sur le chimisme des eaux de la région Centre et Ouest de la plaine de la Mitidja :	125
II.5. 1) facteurs naturels de la minéralisation des eaux souterraines :	125
a. lithologie de l'encaissant :	125
b. Dynamisme souterrain :	125
II. 5. 2) facteurs artificiels de la minéralisation des eaux souterraines :	126
II. Conclusion :	126

TROISIEME PARTIE : Application au bassin versant de la Mitidja (Centre et Ouest)

Chapitre XI : Cartographie de la vulnérabilité à la pollution du bassin OUEST et Centre de la Mitidja par DRASTIC.

1. Introduction :	127
2. Elaboration de la carte de vulnérabilité :	127
2. 1. Etapes à suivre pour la construction de la carte :	127
2.2. Acquisition de données :	127
2.3. Réalisation des cartes thématiques et description des paramètres :	127
2.3.1. Carte du paramètre « D », profondeur de la nappe :	128
2.3.2. Carte du paramètre « R », la recharge :	129
2.3.3. Carte du paramètre « A », nature du milieu aquifère :	131
2.3.4. Carte du paramètre « S », nature du sol :	132
2.3.5. Carte du paramètre « T », la topographie :	133
2.3.6. Carte du paramètre « I », impact de la zone vadoze :	134
2.3.7. Carte du paramètre « C », la conductivité hydraulique :	135
2.4. Réalisation de la carte de vulnérabilité finale:	137
2.5. Description des unités hydrogéologiques :	137
2.5.1. L'unité hydrogéologique 2A (145 _175) :	137
2.5.2. L'unité hydrogéologique 2B (114 _145) :	137
2.5.3. L'unité hydrogéologique 2C (84 _114) :	137
3. Discussion des résultats :	137

Chapitre XII : Application de la méthode DRIST (DRASTIC modifiée).

Introduction :	139
2. Application de la méthodologie développée à la nappe alluviale de la Mitidja Centre et Ouest :	139
2.1. Etapes à suivre pour l'évaluation de la carte vulnérabilité-sensibilité finale:	139
2.2. Base de données DRIST :	139

2.3. Caractérisation de la vulnérabilité à la pollution de la nappe alluviale :	139
2.3.1) cartes thématiques de vulnérabilité verticale :	139
2.3.2) Interprétation de la carte finale de vulnérabilité :	140
2.4. Caractérisation de la sensibilité de la nappe à la pollution :	141
2.4.1) Description des paramètres d'évaluation de la sensibilité :	141
a. <i>La Qualité de l'eau défini par la conductivité électrique (C μs/cm) :</i>	141
b. <i>Vitesse de l'eau souterraine (Ve) m/s :</i>	141
c. <i>la productivité de la nappe :</i>	141
2.4.2) Interprétation de la carte de sensibilité :	142
2.5. Caractérisation de la vulnérabilité-sensibilité à la pollution de la nappe de la Mitidja Centre et Ouest :	143
2.5.1) Présentation et interprétation de la carte de sensibilité – vulnérabilité:	143
3. Conclusion :	144

Chapitre XIII : Classification des bassins versants de la Mitidja Centre et Ouest en fonction de leur sensibilité aux produits phytosanitaires.

Introduction :	145
1ère partie : Caractérisation de la vulnérabilité des bassins versants :	145
I.1. Choix d'une échelle d'étude adaptée :	145
I.2. Distinction des périodes climatiques :	145
I.3. Etapes de détermination de la vulnérabilité :	146
I.3.1) Ressource(s) potentiellement vulnérable(s) :	146
I.3.1.1. Facteurs déterminant les types d'écoulement et modèles de croisement :	146
a.) Facteurs déterminant les types d'écoulement :	146
a.1) facteur précipitation :	146
a.2) facteur pente :	147
a.3) facteurs liées au sol :	147
a.3.1) <i>Sensibilité des sols à la battance :</i>	147
a.3.2) <i>Filtrance :</i>	149
a.3.3) <i>L'hydromorphie :</i>	150
a.3.4) <i>Présence d'un rupture de perméabilité :</i>	151
a.4) facteurs liées au sous-sol :	152
a. 4. 1) <i>Perméabilité du substrat géologique :</i>	152
b) Croisement des facteurs :	153
b.1) <i>Identification des situations favorables aux écoulements de surface strict :</i>	153
b.2) <i>Identification des écoulements au sein du sol :</i>	154
I.3.1.2 .Répartition des flux et ressource(s) exposée(s) :	157
I.3.2) Niveau de vulnérabilité potentielle de la ressource :	158
I.3.2.1. Transfert en surface :	158
a) Densité du réseau hydrographique :	158
b) Densité de drainage agricole :	159
I.3.2.2. Transfert en profondeur :	159
I.3.3. Vulnérabilité et zonage des bassins versants :	160
I.3.3.1. Influence de l'occupation du sol :	160
I.3.3.2. Classification des bassins versants et zonage final :	161
1) Procédure du zonage de la vulnérabilité par sous bassin et présentation des résultats...	161
2) Interprétation des cartes de vulnérabilité.	169
2ième partie : détermination de la sensibilité des bassins versants aux produits phytosanitaires.	169
II. 1. Sensibilité des eaux de surface :	169
II.1.1 Détermination de la note de dilution des eaux de surface :	169
II.1. 2. Détermination de la note de sensibilité des eaux de surface :	170
II.1. 3. Synthèse eaux superficielles :	172
II. 2. Sensibilité des eaux souterraines :	172
II.2.1. Détermination de la note de dilution des eaux souterraines :	172

II.2.2. Détermination de la note de sensibilité des eaux souterraines :	175
II.2.3.Synthèse eaux souterraines :	176
II.3 .Synthèse eaux superficielles / eaux souterraines :	177
Conclusion	178
Conclusion générale	179
Recommandations	181

Liste des figures :

Figure N°1 : Taux de raccordement au réseau d'assainissement (PAC Alger, 2001).....	10
Figure N°2 : Schématisation des mécanismes de pollution en nappe libre et en nappe captive [LALLEMAND, A, 1989].....	13
Figure N° 3 : Mécanisme de pollution en milieu fissuré [LALLEMAND, A, 1989]	13
Figure N°4 : Processus de contamination de la nappe par les polluants chimiques.....	17
Figure N°5 : test de classification des méthodes d'évaluation de la vulnérabilité selon FRECHETT....	24
Figure N°6 : classification des méthodologies selon le coefficient d'efficacité.....	25
Figure N°7 : test de sélection d'une méthode d'évaluation de la vulnérabilité [TOUILEB, 1997].....	25
Figure N° 8 : Diagramme des classes de vulnérabilité.....	29
Figure N° 9 : Illustration de la superposition des (7) cartes thématiques pour la synthèse d'une carte de vulnérabilité (Aller et Al ,1987).....	32
Figure N°10 : Démarche générale pour l'évaluation du risque (APRONA, 2001).....	38
Figure N°11 : Démarche pour l'évaluation de la vulnérabilité (GREPPAL 2003/APRONA, ARAA)....	43
Figure N°12 : Type d'écoulements de l'eau dans le sol (In GREPPAL 2003/APRONA, ARAA)....	44
Figure N°13 : Exemple de croisement Battance /Filtrance dans le Sol Alsacien (GREPPAL 2003/APRONA, ARAA).....	49
Figure N°14 : Exemple de croisement Hydromorphie /Rupture de perméabilité dans le Sol Alsacien (GREPPAL 2003/APRONA, ARAA).....	49
Figure N°15 : Modes d'écoulements en période d'orages (GREPPAL 2003/APRONA, ARAA).....	50
Figure N°16 : Modes d'écoulements en période hivernale (GREPPAL 2003/APRONA, ARAA).....	50
Figure N°17 : Gradation des transferts vers les ESU et/ou les ESO : présentation des deux cas extrêmes (GREPPAL 2003/APRONA, ARAA).....	51
Figure N°18 : Exemple de gradation ESU/ESO et prise en compte de la perméabilité du substrat géologique. (GREPPAL 2003/APRONA, ARAA).....	53
Figure N°19 : Influence de la densité du réseau hydrographique.(GREPPAL 2003/APRONA)	54
Figure N°20 : Identification du niveau de vulnérabilité potentielle de la ressource. (GREPPAL 2003/APRONA, ARAA)	55
Figure N° 21 : Carte de situation de la plaine de la Mitidja et de la zone d'étude.....	62
Figure N°22 : Principaux Oueds de la Mitidja.....	65
Figure N° 23 : Evolution des volumes d'eau prélevés par la SEAAL par champ captant.....	68
Figure N°24 : Hypothèse d'évolution des volumes prélevés par la wilaya de Blida ;(SOGREAH, 2007).68	68
Figure N° 25 : Evolution de population sur la wilaya de Blida.(SOGREAH, 2007).....	69
Figure N° 26 : Evolution des volumes d'eau prélevés pour l'AEP dans la Mitidja.....	69
Figure N°27 : Courbe hypsométrique du bassin versant de la Mitidja Centre et Ouest.....	74
Figure N° 28 : variation des précipitations moyennes mensuelles (1975_2007).....	81
Figure N° 29 : Variation interannuelles des précipitations (1975 _ 2007).....	82
Figure N°30 :Carte des isohyètes de la Mitidja Centre et Ouest	86
FigureN°31 :Variation des températures, station de Blida (1976-2008).....	87
Figure N°32 : Formations géologique de la plaine de la Mitidja (Bennie and Partners, 1983)	96
Figure N° 33 : Différents stades de l'évolution de la Mitidja pendant le plio_ quaternaires ; (L.Glangeaud, 1932)	101
Figure N° 34 : Carte sismotectonique du bassin de la Mitidja (Meghraoui et al, 2004).....	104

Figure N°35 : Sondages électriques (P1) au niveau de Boufarik et (P1b et R5) région du Mazafran.....	106
Figure N° 36 : Carte de la résistance transversale correspondante aux horizons profonds (Astien +Alluvions du quaternaire) (Rt) Ohm. m2 (CGG ,1969).....	107
Figure N° 37 : Carte du mur de l’Astien, l’allure du substratum (M. Mac Donald and Parteners, 1992)....	107
Figure N°38 : Carte du mur de la nappe de la Mitidja (M. Mac Donald and Parteners, 1992).....	108.
FigureN°39 :Coupe géoélectrique dans la partie Ouest de la plaine de la Mitidja (CGG ,1969).....	109
Figure N°40 : Bassin hydrologique, bassin hydrogéologique et aquifère (CASTANY ,1982)	110
Figure N°41 : Coupe transversal illustrant les systèmes aquifères de la Mitidja. (SOGREAH, 2008)....	112
Figure N°42 : Evolution piézométrique dans le secteur du Mazafran durant la période de (98à08).....	115
Figure N°43 : Evolution piézométrique dans le secteur de Blida I durant la période de (98à08).....	115
Figure N°44 : Evolution piézométrique durant la période de (98à08) dans le secteur de Blida II.....	116
Figure N°45 : Evolution de la piézométrie dans le secteur du Mazafran d’après les résultats de la simulation pour le scénario statu quo. (SOGREAH, 2007).....	117
Figure N°46 : Carte piézométrique de la Mitidja Centre et Ouest, Avril 2008.....	118
Figure N°47 : carte d’iso valeurs (mS/cm) de la nappe alluvial de la Mitidja (Ait Ouali, 2006)	120
Figure N°48 : carte des classes de dureté (°F) de la nappe alluviale de la Mitidja.	122
Figure N°49 : Diagramme de PIPER pour les eaux de la nappe alluviale de la Mitidja Centre et Ouest (Compagne, avril 2008).....	123
Figure N°50 : représentation graphique de 14 échantillons sur le diagramme de Scholler-Birkaloff...	124
Figure N°51 : Carte du paramètre « D », profondeur de la nappe.....	129
Figure N° 52 : Carte du paramètre « R », la recharge de la nappe.....	130
Figure N°53 : Carte du paramètre A, nature du matériau aquifère.....	132
Figure N° 54 : Carte du paramètre « S », type de sol.....	133
Figure N°55 : Carte du paramètre « T », nature de la topographie.....	134
Figure N°56 : Carte du paramètre « I », impact de la zone vadoze.....	135
Figure N°57 : Carte du paramètre « C », la conductivité du milieu aquifère.....	136
Figure N°58 : Carte de vulnérabilité à la pollution du bassin Centre et Ouest de la Mitidja (Application de la méthode DRASTIC).....	138
Figure N °59 : Carte de vulnérabilité verticale DRIST des eaux de la nappe de la Mitidja Centre et Ouest ...	140
Figure N° 60 : Rabattement de la nappe sous l’effet du pompage, « cône de dépression»	141
Figure N°61 : Carte de sensibilité DRIST des eaux de la Mitidja Centre et Ouest.....	143
Figure N°62 : Carte de vulnérabilité globale à la pollution des eaux de la Mitidja Centre et Ouest.....	144
Figure N°63 : Classe de pente dominante sur la Mitidja Centre et Ouest.....	147
Figure N°64 : Carte de battance des sols de la Mitidja Centre et Ouest.....	148
Figure N°65 : classe de filtrance des sols la Mitidja Centre et Ouest.....	150
Figure N°66 :Hydromorphie des sols de la Mitidja Centre et Ouest.....	151
Figure N°67 : Présence d’une rupture de perméabilité dans les sols de la plaine de la Mitidja Centre et Ouest....	152
Figure N°68 : Carte de perméabilité du substrat géologique dans la plaine de la Mitidja Centre et Ouest.....	153
Figure N°69 : Mode d’écoulement sur les bassins Mitidjiéen en périodes d’orage.....	155
Figure N° 70 : mode d’écoulement sur les bassins Mitidjiéen en période hivernale.....	156
Figure N° 71 : Densité du réseau hydrographique dans la plaine de la Mitidja Centre et Ouest.....	159
Figure N° 72 : Carte des isobathes ; des épaisseurs de la ZNS surplombant la nappe alluviale de la Mitidja Centre et Ouest.....	160
Figure N° 73 : Carte d’occupation des sols de la Mitidja Centre et Ouest.....	161
Figure N°74 : Classes de vulnérabilité des bassins versant de la Mitidja Centre et Ouest pour les eaux souterraines en période de printemps (ESOP).....	167
Figure N°75 : Classes de vulnérabilité des bassins versant de la Mitidja Centre et Ouest pour les eaux souterraines en période hivernale (ESOH).....	168
Figure N°76 : Classe de vulnérabilité des bassins versant de la Mitidja Centre et Ouest pour les eaux superficielles pour les 2 périodes confondues (ESUP et ESUH).....	168
Figure N°77 : Carte du réseaux hydrographique et localisation des stations hydrométriques dans la plaine de la Mitidja Centre et Ouest.....	170
Figure N°78 : Carte de sensibilité des eaux superficielles de la Mitidja Centre et Ouest au produits phytosanitaires (Printemps /été)	171

Figure N°79 : Carte de sensibilité des eaux superficielles de la Mitidja Centre et Ouest au produits phytosanitaires (Automne/été).....	171
Figure N°80 : Carte de sensibilité des eaux superficielles de la Mitidja Centre et Ouest aux produits phytosanitaires.....	172
Figure N°81 : Carte des épaisseurs de la nappe de la Mitidja Centre et Ouest.....	173
Figure N°82 : Carte de sensibilité des eaux souterraines de la Mitidja Centre et Ouest au produits phytosanitaires (printemps /été).....	175
Figure N°83 : Carte de sensibilité des eaux souterraines de la Mitidja Centre et Ouest au produits phytosanitaires (Automne/Hiver).....	176
Figure N°84 : Carte de sensibilité des eaux souterraines de la Mitidja Centre et Ouest au produits phytosanitaires toute période.....	177

Liste des tableaux :

Tableau N°1 : Exigences de qualité des eaux destinées à la consommation humaine fixées par la Communauté Européenne (LALLEMAND, A, 1989).....	4
Tableau N°2 : Les 7 paramètres DRASTIC et leurs poids relatifs.....	28
Tableau N°3 : Code international des couleurs pour l'indice DRASTIC.....	29
Tableau N°4 : couleurs des sous unités hydrogéologiques.....	32
Tableau N°5 : Définition des classes de battance.....	46
Tableau N°6 : Première approche des classes de filtrance d'après les classes de texture utilisée dans l'étude « Beaujolais ».....	46
Tableau N° 7 : Croisement des classes de pentes et de battance (Printemps/été).....	48
Tableau N° 8 : Croisement des classes de pentes et de filtrance (Automne/Hiver).....	48
Tableau N° 9 : Prise en compte de la perméabilité du substrat géologique pour la caractérisation finale de la vulnérabilité des eaux souterraines (GREPPAL 2003/APRONA, ARAA).....	52
Tableau N°10 : Valeurs des quartiles déterminant les classes de notes de dilution.....	59
Tableau N°11 : Répartitions de la population par wilayas.....	66
Tableau N° 12 : Différentes estimations des prélèvements d'eau agricoles.....	70
Tableau N°13 : Répartition hypsométrique du bassin versant.....	74
Tableau N°14 : Résumé des différentes longueurs de courbes de niveaux.....	76
Tableau N°15 : Résumé des caractéristiques du bassin.....	77
Tableau N°16 : Caractéristiques générales des stations pluviométriques.....	79
Tableau N°17 : Précipitations moyennes annuelles et mensuelles de la Mitidja Ouest et Centre.....	80
Tableau N° 18 : Résultats obtenus par la méthode des isohyètes.....	83
Tableau N° 19 : Résultats obtenus par les trois méthodes.....	84
Tableau N°20 : Température moyennes mensuelles de la station de Blida (1976 _2008).....	86
Tableau N°21 : Humidité relative moyenne mensuelle (1988-2008).....	87
Tableau N°22 :Nombre de moyenne du jour de gelée.....	88
Tableau N°23 : Valeur moyenne de grêle au niveau de la station d'El Affroun.....	88
Tableau N°24 :Calcul de l'ETP à la station de Blida (76-06) par la formule C.W.Thornthwaite.....	90
Tableau N°25 : calcul de l'ETP à la station de Blida (76-06) par la formule de Serra.....	90
Tableau N°26 : l'évapotranspiration réelle E.T.R selon Turc.....	91
Tableau N° 27 : l'évapotranspiration réelle E.T.R selon Coutagne.....	92
Tableau N°28 : l'évapotranspiration réelle E.T.R selon WUNDT.....	92
Tableau N°29 : Résultats de l'E.T.R obtenu par les trois méthodes.....	93
Tableau N° 30 : Résultats d'évaluation de la lame ruisselée.....	93
Tableau N°31 : Résultats de calcul de la lame infiltrée.....	94
Tableau N°32 : Résultats d'évaluation du bilan hydrologique.....	94
Tableau N° 33 : Distribution générale des formations du remplissage de la Mitidja.(Sir M.Mac Donald and Partners limited, 1992 In Ait Ouali,2007).....	102
Tableau N° 34 : Echelle des résistivités.....	105
Tableau N°35 :Principales sources d'information pour la construction de la base de donnée.....	128

Tableau N° 36 : Unités et sous unités hydrogéologiques et leurs indices de vulnérabilité DRASTIC.....	138
Tableau N°37 : sources d'information pour la base de données « DRIST sensibilité »	139
Tableau N°38 : calcul du pourcentage pluviométrique par saison.....	146
Tableau N°39 : Définition des classes de battance, (GREPPAL 2003/APRONA, ARAA).....	148
Tableau N°40 : Première approche des classes de filtrances d'après les classes de texture utilisée dans l'étude « Beaujolais ».....	149
Tableau N°41 : Croisement pente et battance pour la détermination de la sensibilité aux écoulements de surface strict.....	153
Tableau N°42 : croisement pente et filtrance pour la détermination de la sensibilité aux écoulements de surface strict.....	154
Tableau N°43 : Prise en compte de la perméabilité du substrat géologique pour la caractérisation finale de la vulnérabilité des eaux souterraines de la nappe alluviale de la Mitidja Centre et Ouest.....	157
Tableau N°44 : Densité du réseau hydrographique par sous bassin versant de la Mitidja Centre et Ouest.....	158
Tableau N° 45 : % surfacique de la répartition des notes de vulnérabilité pour la situation ESOP...162	
Tableau N° 46 : % surfacique de la répartition des notes de vulnérabilité pour la situation ESOH...162	
Tableau N° 47 : % surfacique de la répartition des notes de vulnérabilité pour la situation ESUP...162	
Tableau N° 48 : % surfacique de la répartition des notes de vulnérabilité pour la situation ESUH...162	
Tableau N° 49 : % surfacique de la répartition des notes de vulnérabilité pour la situation ESOP....163	
Tableau N° 50 : % surfacique de la répartition des notes de vulnérabilité pour la situation ESOH...163	
Tableau N° 51 : % surfacique de la répartition des notes de vulnérabilité pour la situation ESUP....163	
Tableau N° 52 : % surfacique de la répartition des notes de vulnérabilité pour la situation ESUH...163	
Tableau N° 53 : % surfacique de la répartition des notes de vulnérabilité pour la situation ESOP ...164	
Tableau N° 54 : % surfacique de la répartition des notes de vulnérabilité pour la situation ESOH ...164	
Tableau N° 55 : % surfacique de la répartition des notes de vulnérabilité pour la situation ESUP ...164	
Tableau N° 56 : % surfacique de la répartition des notes de vulnérabilité pour la situation ESUH ...164	
Tableau N° 57 : % superficie occupée par chacune des classes de vulnérabilité SBV N°1 (Mazafran 02-12).....	165
Tableau N°58 : % superficie occupée par chacune des classes de vulnérabilité SBV N°2 (Chiffa 02-11).....	165
Tableau N°59 : % superficie occupée par chacune des classes de vulnérabilité SBV N°3 (Bouroumi 02-10)	165
Tableau N°60 : Notes de vulnérabilité globales par situation et pour chaque sous bassins versants. (Réparties selon <i>l'Annexe N°25</i>).....	167
Tableau N°61 : Note de dilution attribuer aux débits spécifiques calculés par station hydrométrique et par période climatique après un traitement par quartiles.....	170
Tableau N° 62 : Notes de sensibilité des eaux superficielles par sous bassin	172
Tableau N°63 : Calcul de la note de dilution des eaux souterraines dans SBV du Mazafran.....	174
Tableau N° 64 : Calcul de la note de dilution des eaux souterraines dans SBV du Chiffa.....	174
Tableau N° 65 : Calcul de la note de dilution des eaux souterraines dans SBV du Bouroumi.....	174
Tableau N°66 : Notes de sensibilité des eaux souterraines par sous bassin.....	176
Tableau N°67 : Classification des bassins d'étude du plus sensible au moins sensible selon leur sensibilité aux eaux souterraines.....	178
Tableau N°68 : Classification des bassins d'étude du plus sensible au moins sensible selon leur sensibilité aux eaux superficielles.....	178

Introduction générale

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.

La croissance démographique et la modernisation de l'agriculture entraînent un grand problème de détérioration de la qualité de cette source souterraine, déjà en quantité limitée.

Actuellement, les cours d'eau de la région étudiée reçoivent en permanence les rejets urbains et industriels chargés d'éléments chimiques et organiques, 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 particulièrement dans les zones arides où l'eau souterraine constitue la principale source hydrique. Ainsi, la cartographie de la vulnérabilité environnementale des nappes à la pollution se présente comme un outil efficace pour limiter et contrôler les risques de dégradation de la qualité de ces eaux.

Dans ce contexte, trois approches sont utilisées pour entreprendre l'étude de vulnérabilité de la nappe des alluvions de la Mitidja Centre et Ouest, à savoir :

- _ La méthode DRASTIC, développée en 1987 aux Etats-Unis par la NWWA (Natural Water Well Association). C'est une méthode, standardisée, d'évaluation et de cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines indépendamment du type de polluant et qui prend en compte la majeure partie des facteurs hydrogéologiques qui affectent et contrôlent l'écoulement des eaux souterraines.
- _ La méthode DRIST ; développée pour la première fois au Maroc en 2004 par M. Sinan, elle constitue une amélioration de la méthode DRASTIC. Cette méthodologie a pour but la caractérisation de la vulnérabilité et de la sensibilité à la pollution des nappes d'eau souterraine libres basée sur les paramètres relatifs à la fois à la zone non saturée et à la zone saturée de l'aquifère.
- _ La classification des bassins versants vis-à-vis du risque de pollution diffuse par les produits phytosanitaires. Cette méthodologie a été mise en place par le GREPPAL (Groupe Régional Eau et Produits Phytosanitaires Alsace, intitulée «*classification des bassins versants alsaciens en fonction de leur sensibilité aux produits phytosanitaires*») et appliquée pour la première fois en 2002 à la nappe Rhénane en Alsace.

Le travail de classification passe par une évaluation de la vulnérabilité des bassins versants à une éventuelle pollution, ensuite il est complété par l'analyse de leurs sensibilités.

Ces trois méthodes sont basées sur un système de cotation numérique, elles ont été intégrées dans un Système d'Information Géographique (SIG) par l'utilisation du logiciel MapInfo 7.5. Ce dernier permet de digitaliser les cartes afin de les rendre révisables, actualisables et adaptables en fonction des nouvelles conditions hydrogéologiques et des objectifs ciblés.

Plan du travail

Ce mémoire est structuré en trois parties :

- La première partie est consacrée à la description des différents mécanismes régissant l'évolution des polluants, et les modes de contamination ainsi que les fondements théoriques des méthodes d'évaluation de la vulnérabilité.
- La seconde partie a été consacrée à la présentation du secteur d'étude, et ses particularités géomorphologiques et hydrologiques. Ensuite, on a abordé le contexte géologique et hydrogéologique de la plaine de la Mitidja.
- La troisième partie a porté sur l'application des trois méthodes citées précédemment à l'aquifère de la Mitidja Centre et Ouest, avec établissement des cartes de vulnérabilité et de sensibilité (outils d'aide à la prise de décision).

On terminera par une conclusion générale ainsi que des recommandations mettant l'accent sur l'intérêt d'une telle étude pour l'aménagement du territoire.

Introduction

L'eau douce composée des eaux superficielles, des glaciers polaires et des eaux souterraines ne représente que 3% de nos ressources et elle est très inégalement répartie à l'échelle mondiale.

Il ne suffit pas d'avoir de l'eau en abondance, il faut disposer d'une eau convenable (eau douce), et surtout non polluée, Cependant par notre industrie, nos habitudes de vie, notre agriculture, et plus généralement par toute nos activités quotidiennes, nous menaçons cette ressource en eau et par conséquent le monde dans le quel nous vivons.

Actuellement les cours d'eau (Oued) du bassin versant du Mazafran constituent les principaux milieux récepteurs et de transport des rejets urbains et industriels. Certains oueds connaissent déjà des transformations spectaculaires et ont atteints des seuils alarmants de pollution en particulier les affluents qui passent à proximité des zones industrielles.

Par ailleurs, la pollution des eaux superficielles pourrait affecter la qualité des eaux souterraines étant donné qu'il existe une étroite relation cours d'eau -nappe d'eau souterraine.

Ainsi, ce chapitre consiste à présenter l'état actuel de la pollution des eaux superficielles et souterraines.

1. Critères de pollution d'une eau

L'eau souterraine est considérée comme polluée lorsqu'elle contient des substances autres que celles liées à la structure naturelle des terrains ou elle a séjourné ; et en particulier lorsque les concentrations des constituants dissous ou en suspension dépassent les normes admissibles de concentration.

1.2. Dose de polluant et fréquences des apports

Un polluant est un agent physique, une substance minérale ou biologique, issues de l'activité humaine provoquant, sous une intensité de concentration anormales, une dégradation de la qualité de l'eau naturelle.

Le pouvoir polluant d'une substance est déterminé par deux facteurs principaux :

- ☞ La dose d'introduction dans le milieu récepteur, déterminée par la concentration dans l'eau et le volume d'eau en mouvement, véhicule de transport.
- ☞ La fréquence des apports, dont la répétition accroît les risques car les sédiments et les êtres vivants ont un effet cumulatif.

N.B : Un résumé des normes pour les éléments les plus courants est donné dans le **tableau N°1**.

1.3. Paramètres spécifiques de la pollution

Selon les possibilités de pollution on distingue :

- ☞ Les éléments insolubles séparables physiquement (décantation, filtration, flottation....)
- ☞ Les éléments séparables par voies chimiques (précipitation, adsorption...)
- ☞ Les éléments oxydables chimiquement (mesure de la DCO).
- ☞ Les éléments biodégradables (mesure de la DBO).
- ☞ Les éléments toxiques (les micropolluants tels que le zinc, le cuivre, le mercure.....)
- ☞ Les colorants.

Tableau N°1 : Exigences de qualité des eaux destinées à la consommation humaine fixées par la Communauté Européenne (LALLEMAND, A, 1989 in Touileb, 1997).

Paramètres ou substances	Teneurs			Substances en traces, micropolluants (µg /l)	Teneurs	
	Guide	Max	Min		Guide	Max
PH		9.5		Arsenics (As)		50
Conductivité (micro ohms/cm)	6.5à 8.5	1250		Cadmium (Cd)		5
Résidu sec (mg/l)	400			Cyanures (Cn)		50
Dureté totale (degrés français)		1500		Chrome (Cr)		50
Calcium (Ca) (mg/l)			6	Cuivre (Cu)		3000
Magnesium (Mg (mg/l)		50		Mercure (Hg)		1
Sodium (Na) (mg/l)	100	150		Plomb (PB)		50
Potassium (K) (mg/l)	30	120		Zinc (Zn)	100	5000
Sulphates (SO4) (mg/l)	20	250		Nickel (Ni)		50
Chlorures (Cl) (mg/l)	10	200	10	Fer (Fe)		200
	25			Manganèse (Mn)		50
	25			Hydrocarbure aromatique	100	0.2
Nitrates (NO3) (mg/l)		50		Phénols	50	0.5
Nitrites (NO2) (mg/l)	25	0.1		Détergents	20	200
Ammonium (NH4) (mg/l)		0.5		Pesticides		0.5
Fluor (F) (mg/l)	0.05	0.7		Organismes pathogènes (par100ml)		0
				Coliformes fécaux (par100 ml)		0

2. Facteurs de pollution des eaux souterraines

2.1. La nature du sol

Le sol joue un rôle déterminant dans la protection des milieux aquifères, il possède un potentiel de fixation très élevé du a sa microflore très diversifiée et au grand nombre de micro-organismes qu'il contient.

Les caractéristiques du sol tel que la porosité, la texture, la teneur en matière organique, l'état redox et la composition chimico-minéralogique influent sur le transfert des polluants vers la nappe.

Toute fois le risque de contamination des nappes souterraines par le biais des sols est d'autant plus grand que la matière active considérée est toxique.

2.2. Le type d'aquifère

2.2.1) Aquifère a nappe libre

Les puits et sondages du premier aquifère, rencontré sous la surface du sol, présentent un niveau d'eau dont l'altitude (élévation au-dessus de la cote 0 de la mer) est appelée par convention ; **le niveau piézométrique**, noté H.

La surface piézométrique constitue la limite supérieure de l'aquifère.

Sous la zone non saturée, on rencontre trois grands types de milieux souterrains plus ou moins vulnérables à la pollution suivant leurs profondeur et le degré de fissuration des aquifères.

- ◆ **Les milieux poreux** : à l'échelle macroscopique, ils peuvent être considérés comme des milieux continus.
- ◆ **Les milieux fissurés** : ils sont constitués par un réseau de fractures partiellement interconnecté. Dans un tel milieu une pollution sera difficile à suivre aussi bien en terme de cheminement que de concentration.
- ◆ **Les milieux karstiques** : ils sont le résultat de d'une évolution morphologique liée à la dissolution de la roche qui laisse les cavités dans les quelles l'eau circule.

2.2.2) Aquifère a nappe captive

Dans les aquifères plus profonds les eaux souterraines sont emprisonnées dans la formation hydrogéologique perméable, entre deux formations imperméables fixes : le substratum à la base et le toit au sommet.

Cette couverture imperméable ou très peu perméable la rend moins vulnérable à la pollution.

Dans ce cas le risque d'une éventuelle contamination provient principalement de l'injection de polluant par l'intermédiaire de forages ou de mise en communication avec des nappes supérieures, par des ouvrages à parois non étanches ou des zones d'affleurements de l'aquifère plus ou moins éloignées.

2.2.3) Aquifère a nappe semi captive

Le toit du substratum de l'aquifère étant constitué par une formation hydrogéologique semi-perméable. Celle-ci permet, dans certaines conditions hydrodynamiques favorables des échanges d'eau avec l'aquifère superposée ou sous-jacente, ce qui lui confère une protection inférieure à celle des nappes captives.

3. Facteurs de pollution des eaux superficielles

L'eau superficielle, qu'elle soit douce, salée, de l'eau de pluie, de l'eau stagnante (des lacs) ou de l'eau courantes (de rivières), peut être souillée par des matières qui peuvent la rendre nocive. Polluée, elle est à l'origine de différentes maladies et peut altérer gravement la santé.

Elle peut être contaminée par les matières organiques, tels que les chlorures et les nitrates contenus dans les déchets humains et animaux, cela concerne notamment les eaux usées car elles contiennent des bactéries nocives.

Les produits chimiques qui polluent l'eau sont issus des engrais et des produits phytosanitaires, très largement employés dans la région intéressée par notre étude pour éliminer les insectes et protéger les végétaux. Ces produits peuvent être charriés par les eaux de ruissellement ou transportés dans les lacs et les rivières par les eaux de pluie et entraînent ainsi la dégradation de l'eau.

4. Classification des pollutions

Il existe plusieurs sorte de pollution des eaux douces (rivières, lacs, nappes phréatiques) très différentes les unes des autres par leurs origines, et par leurs conséquences .Dans la plus part des cas il s'agit de substances rejetées volontairement dans l'eau ou qui aboutissent accidentellement a la suite d'erreurs humaine.

Ces pollutions peuvent être classées suivant différents critères :

4.1. En fonction de l'origine de la pollution

- **Pollutions d'origine domestique et urbaine** : Ce sont les rejets d'eaux usées domestiques et municipales, les eaux pluviales. les dépôts d'ordures ménagères apportent leur lot de charge polluante.
- **Pollutions d'origine agricole** : La pollution est étendue dans l'espace et dans le temps ; elle est chronique et concerne de grandes surfaces .En effet, les pratiques actuelles des cultures et de l'élevage influencent fortement le régime et la qualité des eaux.

L'utilisation massive des engrais et des produits chimiques de traitement des plantes détruits la vie dans les rivières et rend impropres a la consommation humaine, et parfois animale, les eaux superficielle et souterraines, alors que les professionnels agricoles ont longtemps nié l'impact de leur activité sur la qualité de l'eau et refusé la moindre contrainte. Le transfert des engrais et pesticides a la nappe se fait soit par infiltration sur l'ensemble de la surface cultivée, soit par rejet dans des puits perdus ou des gouffres.

- **Pollutions d'origine industrielle** : L'industrie est responsable de la moitié des rejets polluants organiques et de la quasi totalité des rejets toxiques : métaux lourds et polluants organiques persistants. Ces pollutions sont générées par des rejets de matières en suspension, de matières organiques, de produits azotés ou phosphorés, de produits toxiques.
- **Enterrement des produits toxiques dans le sous-sol** : Cette méthode est utilisée aux U.S.A pour se débarrasser de produits indésirables .Les risques de pollution des nappes profondes sont grands. (Arbaoui, 2005)

4.2. Selon la nature des polluants

4.2.1) Polluants physiques

Les trois principaux agents physiques de la pollution sont :

- ***La chaleur***, par élévation de la température de l'eau, surtout de surface, provoquant ainsi un développement des micro-organismes comme les algues. Elle diminue la solubilité de l'oxygène, déficit renforcé par l'accroissement de l'activité biologique qui en consomme : phénomène d'eutrophisation.
- ***Les matières solides en suspension*** sont introduites par les précipitations et les eaux de surfaces .certaines particules, très petites de l'ordre du micron, peuvent ainsi transiter (particules d'albustes par exemple).
- ***La radioactivité*** est potentiellement le plus dangereux des polluants physiques. c'est pourquoi tous les rejets sont sévèrement réglementés et contrôlés.

4.2.2) polluants chimiques

La pollution chimique est due à la pénétration de produits toxiques d'origine inorganique dans le sol, elles peuvent atteindre les eaux souterraines, ou rejoindre

directement un cours d'eau. Les polluants chimiques englobent les métaux lourds (cadmium, plomb.....), les composés azotés et bien d'autres substances issues des rejets industrielles ou des décharges de déchets domestiques et même de certaines pratiques agricoles.

Parmi ces polluants chimiques on cite :

– **Composés azotés** : L'eau d'une nappe ne contient naturellement pas de composés azotés: ceux-ci, proviennent de la décomposition de la matière vivante par les micro-organismes. C'est donc l'augmentation artificielle de la quantité d'azote combiné disponible dans le sol qui crée un déséquilibre entre l'apport et la consommation et produit un excès d'azote qui est finalement entraîné vers la nappe. (Adk.Bouziane ,2006)

Cet azote se trouve sous forme de nitrates et d'ammonium. Ces derniers sont considérés comme les plus nocifs des sels minéraux dissous étant donné qu'ils provoquent de graves troubles chez les jeunes vertébrés par dégradation de l'hémoglobine du sang et production de méta hémoglobine toxique.

L'origine domestique et industrielle est secondaire; la pollution engendrée est plus ponctuelle (assainissement défectueux par exemple). (Arbaoui, 2005).

– **Les sulfates et les chlorures** : sont naturellement présents dans l'eau souterraine (dissolution des sels minéraux des réserves).les chlorures par leurs persistance dans tous les milieux constituent d'excellent traceurs naturels. Ils sont introduits par l'eau des précipitations, les engrais chimiques et les rejets industriels.

– **Les micropolluants (métaux lourds, pesticides et détergents)** : ils sont dangereux même à l'état de traces, car la chaîne alimentaire a un effet cumulatif. Les plus dangereux sont les cyanures très toxiques, le mercure, le chrome, le plomb, le sélénium, l'arsenic et le cadmium.

Les produits phytosanitaires, utilisés pour combattre toutes espèces nuisibles ou concurrençant les cultures ; Si le principe de la dose juste au bon moment n'est pas respecté, et si les sols n'ont pas une capacité de rétention suffisante, il est admis que les pesticides ont une grande probabilité d'être entraînés par les eaux pluviales vers les cours d'eau et les nappes d'eau souterraine.

L'usage immodéré des détergents inhibe les processus d'autoépuration. limitent le développement des microorganismes du sol, et bloquent la réoxygénation. (Arbaoui, 2005)

– **Les hydrocarbures** : C'est un groupe de composés organiques constitués par des dérivés hydrogénés du carbone. Ces pollutions ponctuelles d'origine accidentelle (ruptures de cuves de stockage d'essence, de fioul, de mazout, rupture de pipeline, accidents de la circulation routière, ...) ont des effets variés selon la viscosité du produit renversé et la perméabilité des terrains traversés. (Arbaoui, 2005)

Le volume de produit, non piégé, dans la zone non saturée, atteint la nappe et s'étalera graduellement au toit de la nappe : une partie du produit va s'écouler de façon gravitaire au toit de la nappe, mais une autre partie va s'étaler dans la frange capillaire. A l'interface eau-hydrocarbures complexes, des phénomènes de dissolution et d'adsorption vont se produire.

Il faut noter que ces micropolluants sont pernicieux à des doses très faibles. Un litre d'essence suffit pour dégrader entre 1000 et 5000 m³ d'eau. [G.Castany ,1982].

4.2.3) polluants microbiologiques

De nombreux microorganismes, virus, bactéries et protozoaires, voire des champignons et des algues sont présents dans l'eau. Les conditions anaérobies généralement rencontrées

dans les eaux souterraines en limitent cependant la diversité. Les bactéries, virus et autres agents pathogènes rencontrés dans les eaux souterraines proviennent de fosses septiques, des décharges, des épandages d'eaux usées, de l'élevage, de matières fermentées, de cimetières, du rejet d'eaux superficielles. Ces pollutions peuvent être aussi dues à des fuites de canalisations et d'égouts ou à l'infiltration d'eaux superficielles. (Arbaoui, 2005)

4.3. Selon la répartition géographique

4.3.1) Pollution diffuse

Le polluant se répand dans le milieu par petite quantité mais de façon régulière et parfois sur une très longue période. L'épandage de produits polluants sur une très grande surface peut être à l'origine de ce type de pollution (cas des pollutions agricoles par les pesticides).

4.3.2) Pollution ponctuelle

La pollution est introduite à un endroit bien précis et restreint dans l'espace et dans le temps. Seuls les captages à proximité de la zone polluée et en aval seront affectés.

Selon la densité et la solubilité du polluant, la zone polluée sera circonscrite ou diffuse, à la surface ou à l'intérieur de la nappe.

4.4. En fonction de la répartition dans le temps

4.4.1) Pollution temporaire (accidentelle)

L'émission exceptionnelle de matière polluante (à la suite d'une mauvaise manœuvre en usine, accident de circulation ...) peut entraîner un transfert à la nappe et sa pollution dont la durée dépend de son pouvoir d'autoépuration et de sa vitesse de percolation.

4.4.2) Pollution permanente (chronique)

Les pollutions chroniques sont plus insidieuses et dommageables ; moins spectaculaires, elles peuvent passer inaperçues (pollution agricoles par les nitrates, contaminations par les hydrocarbures à partir de sols pollués).

4.5. Pollution historique

De nombreuses zones polluées l'ont été à une époque où les préoccupations environnementales étaient inconnues ou sommaires ; pollution par les terrils de mines, les décharges non contrôlées....

5. Principales sources de pollutions au niveau de notre secteur d'étude

5.1. Etat de pollution dans la Mitidja occidentale

Le développement socio-économique rapide de la région d'étude a engendré au cours de ces deux dernières décennies des problèmes de pollution d'origines différentes.

Par ailleurs, cette pollution qui ronge le bassin versant du Mazafran est due essentiellement à la contamination des eaux des Oueds (Chiffa, El Kebir, Bou-Roumi et Mazafran) et la nappe alluvionnaire.

5.1.1) Pollution d'origine agricole

Les conséquences d'une telle pollution ont pour origine les exploitations agricoles modernes utilisant massivement des engrais chimiques, ainsi que des produits phytosanitaires.

Les substances dont sont formés les engrais (Azote, Phosphate,...) sont lessivées vers la nappe sous l'effet des pluies et de l'irrigation.

L'étude montre que plus de 75% de la superficie de la plaine de la Mitidja a une grande probabilité d'être contaminée par la pollution engendrée par cette activité. (T.BAOUNI, 1997)

La pollution des eaux souterraines par les nitrates est la plus répandue et son action en toxicologie humaine est assez connue, à savoir :

- l'apparition de méthahémoglobine toxique qui peut provoquer l'hypertension chez les nourrissons.
- l'apparition de certains types de cancer (Nasopharynx, estomac, oesophage etc...).

Selon les normes établies par l' O.M.S, le taux de nitrate (NO_3) ne doit pas excéder 50 mg/l pour une eau potable.

Les résultats d'analyses des différentes campagnes dénotent en générale une certaine stabilité de la qualité chimique par rapport aux anciens prélèvements, il n'empêche que la situation de quelques points est alarmante, avec des taux élevés de nitrates atteignant les 151 mg /l au niveau du lac de la commune de Sidi Rached. (H. Moussaoui, 2008)

5.1.2) Pollution d'origine industrielle

Pour les régions fortement industrialisées la pollution des eaux pour plus de 60 % d'origine industrielle. (T.BAOUNI, 1997)

A Blida, l'Oued Sidi El Kébir reçoit les rejets de la plupart des unités riveraines, en particuliers les déversements des unités de textiles et l'unité de formulation des pesticides de Beni Mered qui a été récemment identifiée par le programme de l'aménagement du territoire et de l'environnement en vue d'une éventuel délocalisation de cette industrie nocive.

5.1.3) Pollution par les décharges publiques

Les décharges brutes et sauvages participent à la pollution de la nappe et des cours d'eau par différents processus de transfert à travers le sol à partir des contaminations provenant des lixiviats, d'ailleurs une contamination de nature biologique et microbiologique a été constatée au cours de l'analyse des échantillons d'eau souterraines supportant ces décharges.

On prend l'exemple du champ de captage Blida II, se trouvant à proximité d'un dépôt d'ordures, dont l'influence ne passe pas inaperçue.

5.1.4) Pollution d'origine urbaine et domestique

Les stations d'épurations existantes sont pour la plus part destinées à épurer les rejets domestiques, mais généralement elles sont à l'arrêt (STEP - Koléa et Béni Mered) ; Sinon, elles fonctionnent au minimum de leur performances puisque on y déverse même des effluents industriels.

Près de 240.000 m³ par jour d'eau usée brute, est déversée en mer, soit directement soit par l'intermédiaire des oueds. Cette Situation concerne surtout Alger qui est la plus grande agglomération de la région disposant certes d'une capacité d'épuration relativement importante mais non opérationnelle à ce jour. (A. Tlili, 2007)

La wilaya de Blida dispose d'une seule station d'épuration située à Beni Mered qui prend en charge les communes de Blida, Ouled Aich, Beni Mered et Bouaarfa. Elle a été mise en service en 1989. Sa capacité est de 300.000 équivalents habitants, ce qui correspond selon

l'étude de conception aux besoins d'épuration de l'horizon 2000. (Eau et Assainissement, PAC Alger 48, in Tlili, 2007).

A ce jour, les eaux usées de 18 communes ont pour récepteur final l'Oued Mazafran. Les conséquences immédiates de tels rejets d'eaux usées dans le milieu récepteurs sont multiples :

– Esthétiques, organoleptique, appauvrissement en oxygène, déséquilibre de l'écosystème aquatique, contamination de la chaîne trophique, pollution de nappe alluvionnaire.

Les analyses des échantillons des eaux de surfaces ont montré que la qualité des eaux varie selon les saisons.

En effet pour la période des hautes eaux, la charge polluante se manifeste par de faibles concentrations, durant cette période la qualité de l'eau des Oueds de la région est passable et peut être utilisé pour l'irrigation. Quant à la saison des basses eaux la charge polluante au niveau des Oueds s'exprime par des teneurs élevées en DBO₅ et en DCO.

L'expression direct de cette contamination est la diffusion de maladies à transmission hydriques telles que le choléra et le typhoïde qui font actuellement la une de l'actualité mondiale. (T.BAOUNI, 1997)

5.1.5) Pollution accidentelle par les hydrocarbures

La qualité de l'eau destinée à l'alimentation en eau potable ne doit pas dépasser 0,01 mg/l d'hydrocarbures alors qu'une eau rejetée est tolérée jusqu'à 22mg/l.

Depuis 1989, plusieurs cas de pollution par les hydrocarbures ont été enregistrés. Ils sont causés par des fuites de canalisations d'hydrocarbures dues à des ruptures ou à la corrosion des pipes de transfert (10pouces – multiproduits qui relie la raffinerie de Baraki au centre de distribution de Chiffa). Les pollutions les plus marqués étaient celles de Ben Hamdani et de Baba Ali qui ont nécessité des années de décontamination par pompage. (in D.Djoudar, 2003).

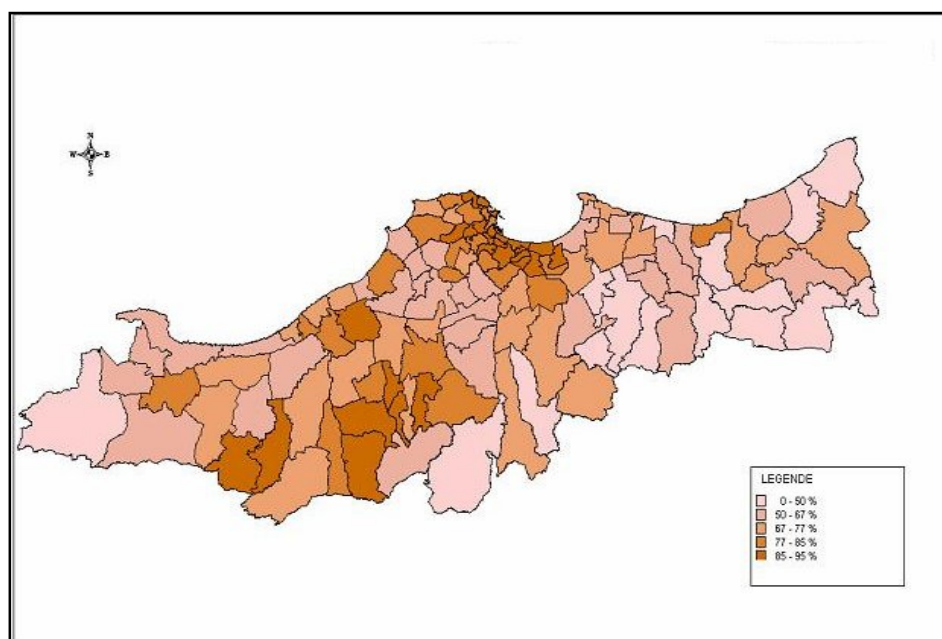


Figure N°1 : Taux de raccordement au réseau d'assainissement (PAC Alger, 2001 in Tlili, 2007).

Conclusion

L'eau, qu'elle soit douce, salée, de l'eau de pluie, de l'eau souterraine ou de l'eau superficielle, peut être souillée par des matières qui peuvent la rendre nocive. Polluée, elle est à l'origine de différentes maladies et peut altérer gravement la santé.

Notre étude a montré que la pollution des eaux superficielles des Oueds : Djer, Bou Roumi, Chiffa et Mazafran et des eaux souterraines (nappe alluvionnaire) est accentuée par :

- Une utilisation irrationnelle d'engrais et de produits phytosanitaires.
- Une infiltration du lixiviat en provenance des dépôts des décharges sauvages.
- L'état de vétusté avancé des réseaux d'assainissement des agglomérations.
- Les déversements incontrôlés d'eaux résiduaires industrielles non biodégradables et mêmes toxiques dans le milieu naturel.
- L'absence d'épuration des rejets sur le bassin versant.

Afin de pallier à ce phénomène qui s'accroît de jour en jour ; il est fortement recommandé une meilleure gestion des eaux usées en préconisant l'assainissement intercommunal sur l'ensemble du bassin du Mazafran, Ainsi que la gestion étudiée des déchets solides.

La protection de la ressource souterraine nécessite la mise en place de périmètres de protection immédiate, et enfin il est obligatoire de définir les normes techniques d'utilisation rationnelle des engrais et des pesticides.

Introduction

L'action polluante d'une substance est déterminée par sa dose et le volume d'eau, véhicule de transport.

Le transport des polluants et leur évolution dans le sol et le sous sol, sont déterminés par les trois comportements de l'aquifère : hydrodynamique, hydrochimique et hydrobiologique dont la connaissance est essentiel.

La protection de l'eau souterraine contre la pollution repose sur des études et des essais, en laboratoire et sur terrain, des mécanismes et des facteurs de contamination.

1. Mécanismes de transport et évolution du polluant dans l'aquifère

1.1. Dans une nappe libre

La pollution se produisant à la surface du sol peut s'infiltrer jusqu'à la surface de la nappe. On distingue alors :

- ☞ **Une zone non saturée**, comprise entre le sol et la surface de la nappe. La circulation du liquide est régit par la perméabilité des interstices ou des fissures, selon la nature de la roche. Cette partie conditionne une grande partie du transfert vers la nappe.
- ☞ **Une zone saturée** qui constitue l'aquifère ; dans cette zone les transferts sont essentiellement latéraux, selon la direction générale d'écoulement dans la nappe. (Touileb, 1997).

1.2. Dans une nappe captive

Dans ce cas la nappe est protégée par des formations géologiques imperméables ou très peu perméables. Si elles sont suffisamment épaisses, le risque principal de pollution ne peut provenir que de l'injection volontaire de déchets liquides par forages, ou de mise en communication de nappes par des ouvrages non étanches (forages d'hydrocarbures, ou « sauvages »).

Les pollutions peuvent aussi provenir des zones d'affleurement de l'aquifère plus ou moins éloignées.

1.3. Dans un aquifère fissuré

La pollution peut s'introduire par les points, bétoires, gouffres, à travers la zone non saturée.

Si les actions d'auto épuration sont plus ou moins importantes en milieu poreux et dépendent de la granulométrie, elles deviennent très faibles, voir nulles en milieu fissuré Karstique, et c'est ce qui fait, la fragilité de ces systèmes face à la pollution (ils sont démunis de toute protection contre la pollution).

1.4. Dans une nappe alluviale ou proche d'un corps d'eau

Si le fond du lit du cours d'eau de surface n'est pas parfaitement étanche, la pollution peut provenir des eaux de surface si celles-ci sont polluées ou de mauvaise qualité.

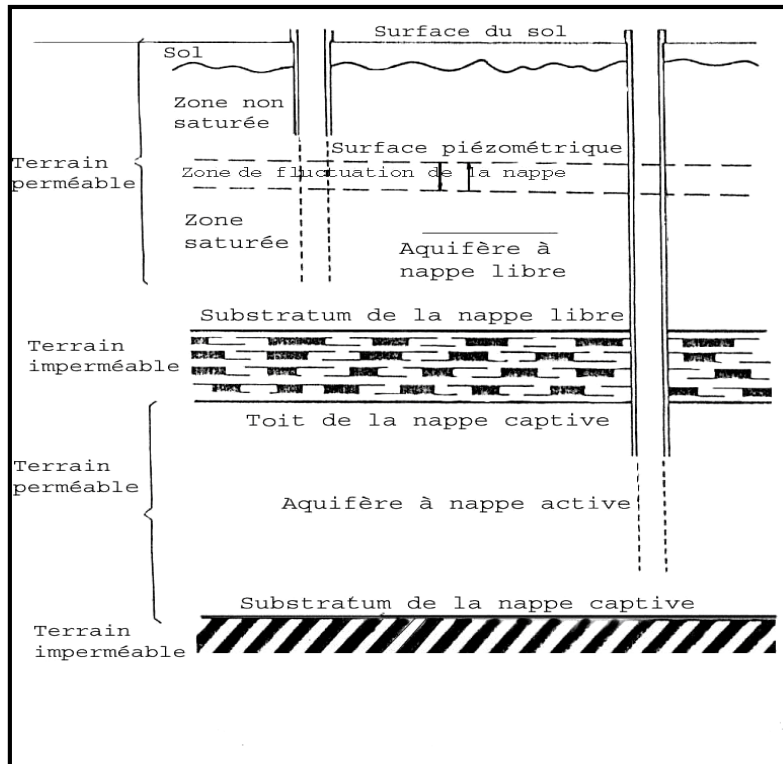


Figure N°2 : Schématisation des mécanismes de pollution en nappe libre et en nappe captive [LALLEMAND, A, 1989 in Tlili, 2007].

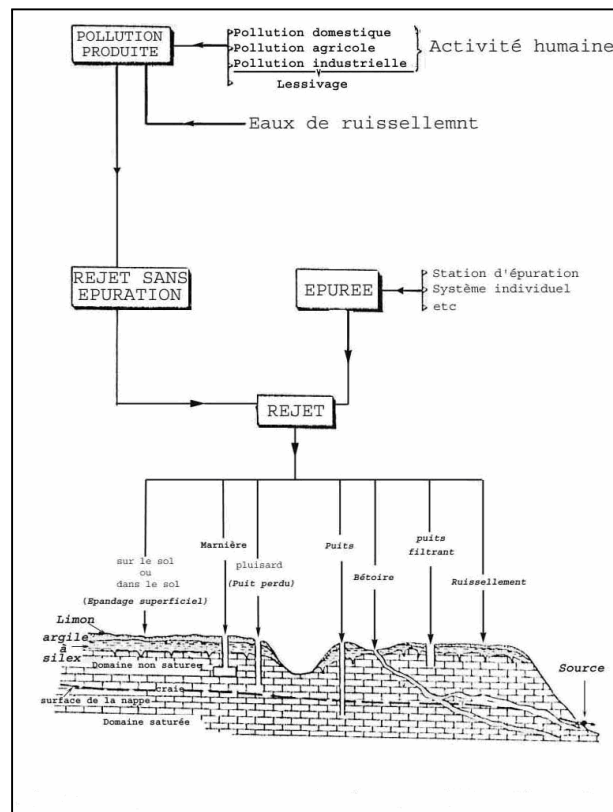


Figure N° 3 : Mécanisme de pollution en milieu fissuré [LALLEMAND, A, 1989 in Tlili, 2007]

2. Devenir des polluants introduits à la surface du sol

La propagation et l'évolution des polluants, à partir de la surface du sol jusqu'aux lieux d'affluence, s'effectuent en quatre étapes :

2.1. L'introduction du polluant dans le sol

La surface du sol est une zone d'échanges atmosphère/sol. L'introduction de polluant crée des foyers de pollution par épandages à la surface du sol ou enfouissement à des profondeurs plus ou moins grandes dans le sous sol.

Les polluant sont mis en solution et constituent un soluté, dont la vitesse de déplacement est souvent différente de celle des particules d'eau souterraine.

L'intensité de la pollution dépend du type de sol, de la dose du polluant et des conditions climatiques (précipitation en particulier) qui apportent un volume d'eau variable (G.Castany, 1982).

2.2. Migration et évolution du polluant en zone non saturée

Le soluté ayant franchi la surface du sol, se déplace selon une direction subverticale jusqu'à la surface piezométrique.

La zone non saturée joue un rôle primordial par son pouvoir d'*autoépuration naturel* (analogue à celui du filtre lent des usines de traitement). Cette barrière franchie, la propagation du polluant ne rencontre pratiquement plus d'obstacles. C'est d'ailleurs dans cette zone que l'eau souterraine acquiert ses caractéristiques physico-chimiques et biologiques.

L'autoépuration naturelle du sol est provoquée par plusieurs mécanismes physiques, hydrodynamiques, hydrochimiques et hydrobiologiques à savoir : (la miscibilité avec l'eau et la densité ; la vitesse de déplacement, le temps de séjour et la dispersion mécanique ; la dissolution et les échanges d'ions ; la biodégradation et finalement l'adsorption et la désorption).

Ce pouvoir autoépurateur de la zone non saturée doit être favorisé par des pratiques culturales et sanitaires adaptés pour lutter contre tout type de pollution.

2.3. Propagation et évolution du polluant dans l'aquifère

Les polluants peuvent arriver à l'eau souterraine, soit dissout dans l'eau (miscible) ou comme une phase liquide immiscible dans l'eau. Quelques polluants comme les métaux lourds, peuvent être adsorbés sur des particules fines et transportées en suspension.

Les mécanismes de transport du soluté dans l'aquifère sont complexes, conséquence de l'hétérogénéité du réservoir. Par ailleurs, des études sur model physique ont mis en évidence une dispersion à la verticale du foyer de contamination, puis un étalement latéral dans le sens de l'écoulement de l'eau souterraine. Dans ce cas le rôle épurateur est très réduit ; seule la dilution agit.(G.Castany, 1982).

2.4. Processus influençant le déplacement des polluants dans la zone saturée

L'extension de la pollution miscible est contrôlée par une panoplie de processus physiques, chimiques et biotiques qu'on rénumère ci-dessous:

2.4.1) Convection (ou l'advection) (J.P.Bouchard et P.Lencioni, 1983), (F.Brissaud, 1983)

La convection est le transport de masse causé par le mouvement du fluide. Dans ce cas le mouvement est provoqué par des gradients de la pression suivant la loi de Darcy.

Ce mode de transfert est important dans les aquifères et pour le quantifier il est nécessaire d'évaluer correctement la porosité effective. Elle diffère de la porosité totale « n », puisqu'une proportion du fluide adhère au solide et ne participe pas à l'écoulement.

L'évolution de la majeure partie des polluants est essentiellement due à la convection surtout dans les matériaux très perméables.

2.4.2) Diffusion (F.Brissaud, 1983)

La diffusion est un phénomène basé sur le mouvement des molécules qui se produit en présence d'un gradient de concentration aboutissant à un net mouvement des constituants vers les régions de plus faible concentration. La diffusion ne dépend pas du mouvement de l'ensemble de fluide et est gouvernée par les activités cinétiques des ions et molécules appelées mouvement Brownien. La diffusion est irréversible. Une fois que deux solutions sont mélangées sous des conditions naturelles, elles forment une seule solution.

Le processus de la diffusion est un processus de transport relativement lent. Son effet est alors masqué en présence de mouvements convectifs important. Néanmoins, la diffusion à l'échelle du temps géologique peut avoir un impact très important.

2.4.3) Dispersion (F.Brissaud, 1983)

Ce phénomène est à la fois associé au mouvement du fluide et la présence du milieu poreux avec son complexe structure porale. Des particules fluides qui sont ensemble à un moment donné, ont tendance à s'éloigner à cause d'au moins trois mécanismes physiques. D'abord, les particules qui se trouvent plus proche de parois des pores bougent moins vite que celles au centre des pores.

Ensuite, la variation de la dimension des pores, se traduit par des vitesses relatives différentes des particules. A la fin, des particules se trouvant au voisinage d'un point à un moment donné, peuvent parcourir des chemins différents aboutissant aux différents chenaux. Quand ces mécanismes se produisent en présence d'un gradient de concentration, le mouvement du fluide dans l'ensemble, est identifié par un mécanisme de dispersion.

2.4.4) Adsorption (G, Castany, 1982)

Au cours de leur transport, les polluants vont interagir avec le sol et s'y adsorber car le polluant a tendance à se fixer sur le solide pour minimiser la tension superficielle de ce dernier. On distingue deux types d'adsorption:

- L'adsorption chimique : lien chimique entre les molécules adsorbées et les molécules de solides ; ce phénomène possède une certaine irréversibilité et met en jeu des énergies plus grandes et il se développe à une température élevée.
- L'adsorption physique inclut des phénomènes de capillarité, condensation et éventuellement des attractions électriques, nécessitent alors moins d'énergie et se développent à basse température.

2.5. Persistance de la pollution (G.Castany, 1982).

Par suite du phénomène de désorption, les cations sont libérés progressivement et la pollution persiste dans l'eau souterraine, après interruption de son introduction. Cette *rémanence* peut se manifester pendant des mois, voire des années.

3. Phénomène d'atténuation du polluant

Les mouvements des eaux souterraines sont contrôlés presque entièrement par la topographie et la géologie. En occurrence les hétérogénéités géologiques, spécialement celles relevant de la porosité et la perméabilité, les conditions physico-chimiques du milieu, ainsi que les caractéristiques propres aux polluants (sa densité, sa viscosité, sa solubilité, et sa stabilité chimique) sont également des paramètres pouvant influencer sur l'étendu d'une éventuelle pollution des eaux souterraines.

Dans la zone saturée c'est quasi exclusivement sous forme dissoute que les polluants sont transportés, à ce niveau c'est la dilution par les eaux de recharge qui intervient pour atténuer la concentration du polluant.

La fraction infiltrée des eaux de précipitation est généralement la principale contribution à la recharge des eaux souterraines. Cette composante transporte des polluants dissous ou, après re-mobilisation, des polluants adsorbés avec des cinétiques d'adsorptions faibles. Les principaux regroupements de polluants disponibles pour ces écoulements se situent dans les dépôts d'ordure, les sols cultivés et la zone racinaire active qu'ils surmontent (Luckner, 1994).

Les principaux mécanismes de transformation et d'atténuation du polluant en milieu souterrain peuvent être résumés en :

3.1. Les processus physiques

☞ **La volatilisation** : elle fait référence au transfert d'une substance de la surface du sol vers l'atmosphère.

☞ **Le lessivage** : le lessivage des composées organiques est régi en grande partie par les caractéristiques intrinsèques du sol tels que : la porosité, le pH, le taux d'humidité et la teneur en argile et en matière organique, de même que par les conditions météorologiques.

☞ **Rôle des Argiles** : Les argiles gonflantes compactées utilisées comme barrières ouvragées de fond de stockage de déchets urbains, doivent prouver leur efficacité en termes de rétention de polluant tout en respectant la réglementation en termes de perméabilité.

☞ **L'adsorption** : le degré d'adsorption d'un polluant est fortement relié à sa nature chimique, c'est à dire la grosseur de la molécule, sa polarité.

☞ **La photocomposition** : une molécule de polluant qui est capable d'absorber de l'énergie en provenance du soleil pourra subir un certain nombre de réactions photochimiques entraînant ainsi sa dégradation.

3.2. Phénomènes chimiques

☞ **Dégradation chimique** : les réactions chimiques les plus probables dans le milieu souterrain sont les processus d'hydrolyses des polluants se produisant habituellement par l'intermédiaire d'acides ou de bases, lesquels jouent le rôle de catalyseurs.

☞ **Dégradation par les micro-organismes** : les micro-organismes vivant dans les eaux souterraines même à grande profondeur, contribuent à l'atténuation du polluant par un ensemble de mécanismes comme la minéralisation, le métabolisme, la détoxification, l'activation et le désamorçage.

☞ **Dégradation par les plantes** : lorsque les végétaux sont mis en présence d'un milieu nutritif renfermant une certaine quantité de pesticides, on n'observe qu'une adsorption du polluant par les racines se produisant assez rapidement.

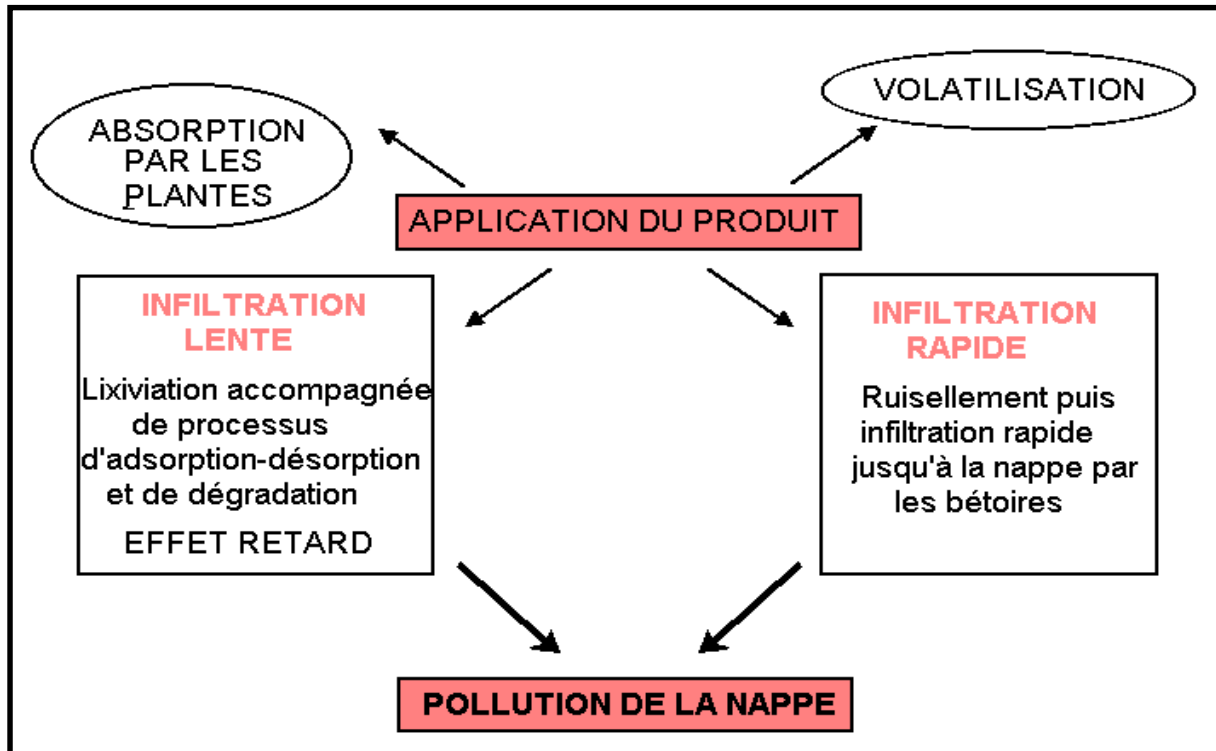


Figure N°4 : Processus de contamination de la nappe par les polluants chimiques. (In Ait Ouali, 2007).

Conclusion

Lorsqu'une pollution se présente, des processus chimiques et biologiques se produisent au sein du sous-sol réduisant ainsi la concentration de polluant avec des degrés variables selon les types d'aquifères.

En effet, un aquifère peut être naturellement protégé contre une contamination éventuelle comme c'est le cas pour les nappes captives, comme il peut être dangereusement exposé à la pollution comme dans le cas des aquifères Karstiques.

La présente étude permet mettre le point sur le comportement des polluants en milieu souterrain, et leur propagation et évolution de la surface du sol aux lieux d'utilisation, et cela en passant par quatre étapes :

- Introduction du polluant dans le sol et création de foyers de pollution.
- Migration et évolution du polluant en zone non saturée et son atténuation par les mécanismes d'autoépuration.
- Propagation et évolution du polluant dans l'aquifère, et autoépuration naturel par dilution du soluté.
- Persistance de la pollution et rémanence.

Introduction

La pollution constitue un risque permanent de limitation des ressources en eaux souterraines. L'urbanisation croissante et le développement économique contribuent à la dégradation quantitative et qualitative des eaux souterraines.

La protection et la préservation de ces ressources sont une nécessité de premier ordre particulièrement dans les zones arides où l'eau souterraine constitue la principale source hydrique. Ainsi, la cartographie de la vulnérabilité environnementale des nappes à la pollution se présente comme un outil efficace pour limiter et contrôler les risques de dégradation de la qualité de ces eaux.

Les Systèmes d'Informations Géographiques, représentent la meilleure méthode pour résoudre les principaux problèmes dans l'étude de la vulnérabilité ; en effet, ils facilitent la superposition de couvertures de différentes origines et l'interpolation de données ponctuelles en couvertures.

1. Notions de 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 ».

2. Concept de vulnérabilité

Le concept de vulnérabilité peut être considéré à trois niveaux différents [Banton et P. Villeneuve ,1980 in Touileb ,1997] ;

- ☞ Le premier concerne l'évaluation du risque de pénétration du polluant ;
- ☞ Le deuxième est lié à la migration et l'évolution du polluant dans le système aquifère.
- ☞ Le troisième est relatif à l'effet du contaminant sur la qualité de l'eau.

La propagation du polluant est affectée par divers facteurs qui englobe, et les facteurs géologiques de la zone saturée et non -saturée, les paramètres hydrogéologique, hydrochimique...etc., ainsi que les caractéristiques du polluant.

C'est pourquoi, il a été suggéré que la présentation cartographique de la vulnérabilité est plus intéressante, vu que celle-ci présente un outil de compréhension très adapté à une illustration sous forme d'images globales et immédiatement perceptibles des phénomènes localisables dans l'espace. (Touileb, 1997).

3. Objectif de l'évaluation de la vulnérabilité

L'objectif principal du calcul de la vulnérabilité est de créer un système qui peut être utilisé pour évaluer une potentielle pollution des eaux souterraines dans n'importe quelle région.

La convenance d'un site pour une décharge publique ou pour une unité polluante n'est pas basée uniquement sur une potentielle pollution des eaux souterraines d'une région mais aussi sur d'autres critères.

4. Cartes de vulnérabilité et leurs intérêts

Elles correspondent à des cartes hydrogéologiques thématiques d'extension régionale, leur échelle peut varier de 1/50 000 ème à 1/200 000 ème. Dans ce cas quelques détails seront perdus, ce qui implique une insertion d'étude locale pour renforcer l'estimation de la vulnérabilité spécifique à un contaminant donné.

☞ La carte de vulnérabilité, généralement d'une nappe libre, donne une idée sur la répartition spatiale de l'indice qui exprime le degré de vulnérabilité des sols et sous sols des différentes zones. Une zonation de la vulnérabilité est ainsi obtenue qui, comparée à un inventaire des sources de pollution (carte de situation des sources de pollution), nous donnera un aperçu sur les sites susceptibles aux risques de pollution des eaux souterraines. La notion de risque de pollution intègre donc la vulnérabilité de la nappe et les sources de pollution.

5. Critères de vulnérabilité

La vulnérabilité de l'aquifère dépend principalement des caractéristiques du milieu naturel. On distingue alors :

5.1. Critères relatifs à la surface du sol

Cela concerne principalement les éléments qui conditionnent la pénétration dans le sol. On distingue :

- le degré d'imperméabilité, la densité et la nature du couvert végétal.
- la densité de drainage (évaluation du polluant hors des zones polluées). C'est l'aptitude de ruissellement du polluant avec des eaux de pluie, ce qui atténue son infiltration.

5.2. Critères relatifs au sol

C'est la partie pédologique du sol c'est-à-dire la zone où se développe les racines, caractérisée par :

- La perméabilité (K), qui exprime la résistance du milieu à l'écoulement de l'eau qui le traverse.
- Le ruissellement (R).
- Réserve utile (RU) du sol (l'eau utilisable par les plantes).

Ces paramètres sont représentatives des conditions hydrauliques du sol, tandis que :

- La capacité d'échange cationique (CEC), représentant la capacité d'un sol à échanger ses ions avec le polluant par le phénomène d'adsorption.
- Et le pourcentage de matière organique (MO) qui intervient dans la rétention des polluants organiques. Joue un rôle plus important dans les interactions sol/solutés.

5.3. Critères relatifs à la zone non saturée (zns)

Le transfert des pollutions dans la zone non saturée est lié aux écoulements à dominance verticale. Cependant, la porosité matricielle des terrains, plus ou moins saturés selon les périodes hydrologiques, leur confère un effet capacitif non négligeable qui permet de retarder et /ou d'arrêter les transferts vers la nappe. La lithologie des terrains, leur anisotropie matricielle, ou stratigraphique présentent aussi des mécanismes qui contribuent au transfert de la pollution.

Les paramètres les plus représentatifs sont :

- La perméabilité verticale (conductivité hydraulique verticale de la zone non saturée)
- L'épaisseur de la zone non saturée.

5.4. Critères relatifs à la nature de la zone saturée (l'aquifère)

L'extension d'un polluant, dans la zone saturée, met en jeu différents mécanismes.

- accroissement de la vulnérabilité par l'entraînement du produit par le flux de la nappe.
- La dispersion qui permet l'étalement latéral et vertical du polluant grâce à la variation de sa vitesse. (Décroissement de la vulnérabilité).
- L'adsorption qui contribue à la fixation partielle du polluant sur la matrice.
- La vitesse de l'eau dans la nappe intervient dans le transfert et l'étalement des polluants avec le flux naturel.

5.5. Critères relatifs à la nature du polluant

Certains auteurs font intervenir, la notion de l'agression des polluants, dans leurs méthodes d'évaluation de la vulnérabilité ; caractérisée par les mécanismes d'évolution et de transformation des polluants, ils régissent l'interaction entre particules solides, sols et zone non saturée .

5.6. Conditions climatiques et naturels

A tous ces critères, on peut éventuellement additionner :

- Le critère conditions climatiques, (pluie efficace ou recharge), plus la réserve de la nappe est élevée, plus l'accessibilité du polluant est grande.

Ainsi que,

- Le critère relation nappe Oued, dans le cas des nappes alluviales riveraines des cours d'eau.
- Le critère relatif à la pollution des nappes d'eau souterraines par invasion marine.

6. Evaluation de la vulnérabilité

De nombreuses méthodes de détermination de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution ont été développées dans le monde, allant des plus complexes avec des modèles prenant en compte les processus physiques, chimiques et biologiques dans la zone noyée, à des méthodes de pondération entre différents critères affectant la vulnérabilité.

6.1. Evolution des outils de caractérisation de la vulnérabilité

Les premiers efforts, visant à caractériser la vulnérabilité des aquifères, furent tentés par les chercheurs français au début des années soixante dix (Albinat et Margat, 1970 in Touileb, 1997).

Les Américains produisent plus de publications pertinentes que tout autre pays, au cours de la décade suivante, (Frechette, 1987 in Touileb, 1997).

Le ministère de l'environnement de l'Ontario publie toute une série de cartes, visant à caractériser la vulnérabilité de plusieurs aquifères de l'Ontario.

Ainsi, moins de dix ans après apparaît la première carte de vulnérabilité des aquifères avec un raffinement qui s'opère de plus en plus, et une précision de la caractérisation numérique en ajoutant un index de vulnérabilité.

6.2. Classification des méthodes d'évaluation de la vulnérabilité

Pour des questions de commodité, nous choisissons de regrouper les méthodes d'évaluation de la vulnérabilité, selon trois groupes principaux :

6.2.1) Méthodes orientées sur un système de cotation numérique

Ce type de méthode consiste à donner une approche synthétique et interprétative lors de l'évaluation de la vulnérabilité. Ces méthodes accordent une grande importance aux paramètres physique de l'aquifère, et une cotation numérique est attribuée à chaque paramètre.

6.2.2) Méthodes orientées sur les documents cartographiques

La cartographie est un outil de compréhension qui permet de représenter rapidement des phénomènes ayant une structure spatiale.

Basés sur la combinaison de cartes de divers paramètres d'une région (critères de vulnérabilité), en donnant un index numérique ou une valeur à chaque paramètre. La combinaison des cartes se fait au moyen de logiciels de traitement multicritères (SIG, par exemple).

Ces méthodes comportent deux types d'approche : les systèmes hiérarchisés et les systèmes paramétrés. (N. Schnebelen et al, 2002).

☞ *La méthode des systèmes hiérarchisés* : basée sur la comparaison d'une zone donnée avec les critères représentant les conditions de vulnérabilité d'autres zones (autres bassins ou autres systèmes aquifères).

☞ *La méthode des systèmes paramétrés* : repose sur la sélection de paramètres (ou critères) considérés comme représentatifs pour estimer la vulnérabilité d'une eau souterraine. Chaque critère a une gamme de variation naturelle définie qui est subdivisée en intervalles discrétisés et hiérarchisés. Un index est attribué à chaque intervalle, reflétant le degré de sensibilité relatif à une contamination.

Les systèmes paramétrés peuvent être classés en trois principaux groupes : systèmes matriciels, systèmes indexés et méthodes de pondération et d'indexation des paramètres.

6. 2.3) Méthodes basées sur la caractérisation du polluant

Elles sont basées sur une variable qui dépend de la concentration en contaminant ou d'une probabilité de contamination. Ces méthodes intègrent des données sur la distribution des contaminants sur la zone d'étude et fournissent des caractéristiques sur les probabilités de contamination sur la zone d'étude. Elles donnent une image de la vulnérabilité spécifique de la nappe.

6.2.4) Méthodes générales ou mixtes

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

6.3. Différentes méthodes d'évaluation de la vulnérabilité

6.3.1) la méthode SILKA

Celle –ci est plus facile à réaliser et économique en même temps .elle tient compte de la qualité du polluant .ses différents paramètres sont repartis comme suit :

- Une description de la zone non saturée (une cote de 1 à 9).
- Une caractérisation de l'extension de l'aquifère (une cote de 1 à 5).
- Une caractérisation physico-chimique de l'eau (une cote de 1 à 6).

Dans le cas de la présence de pesticides, une variable de 5 à 9 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 cote de 9. L'évaluation du degré de confiance est réalisée par l'introduction d'une lettre d'appréciation (exemple A : bonne estimation).

6.3.2) la méthode DRASTIC 1985

Cette dernière a été développée par (NWWA : National Water Well 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 répond 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 abrégé des sept (07) paramètres de la méthode :

- **(D)** : Depth correspond à la profondeur de la nappe.
- **(R)** : Net Recharge = la recharge nette.
- **(A)** : Aquifer media = la nature de l'aquifère.
- **(S)** : Soil media = nature du sol.
- **(T)** : Topography = la topographie.
- **(I)** : Impact of vadose media = impact de la zone vadose.
- **(C)** : hydrolic Conductivity for the aquifer = la conductivité hydraulique de l'aquifère.

Des cotes sont attribuées pour chaque valeur des paramètres sous forme de tableau, voir (*Annexes N° 1*).

Vient ensuite l'élaboration de l'indice DRASTIC qui est égal à la somme des poids par cotes :

$$I_{\text{DRASTIC}} = D_C \cdot D_P + R_C \cdot R_P + A_C \cdot A_P + S_C \cdot S_P + T_C \cdot T_P + I_C \cdot I_P + C_C \cdot C_P$$

Où C et P indiquent respectivement la cote et le poids octroyés à chaque paramètre.

6.3.3) la méthode de GOD (Foster et Hirata, 1991)

Cette méthode utilise une approche empirique où la vulnérabilité des aquifères est définie en fonction de l'inaccessibilité de la zone saturée, au sens de pénétration du polluant, et de la capacité d'atténuation que présente la couche sus-jacente à la zone saturée. L'approche employée pour ce modèle a recours à trois paramètres à savoir :

- Identification du type d'aquifère en fonction de son degré de confinement (C_i).
- La profondeur de la nappe (C_p).
- Caractéristiques des couches surmontant la zone saturée de l'aquifère (porosité relative, perméabilité, contenu en eau C_a).

L'indice de vulnérabilité I_{GOD} est obtenu par la multiplication de ces trois paramètres :

$$I_{\text{GOD}} = C_i * C_p * C_a$$

6.3.4) la méthode de PRAST

La méthodologie PRAST est une version simplifiée de la méthode DRASTIC. Elle consiste en un remplacement des trois paramètres (D), (C) et (I), difficiles à acquérir ou à

quantifier, par un seul paramètre qui est le pouvoir épurateur vertical (P) définie par Rehse (1977).

Dans cette méthode, le paramètre le plus important 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).

6.3.5) la méthode Albin et 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.

6.3.6) la méthode WIPP (1982)

Cette méthode tient compte des critères suivants :

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

Cette dernière donne trois catégories de vulnérabilité (forte, moyenne, faible)

6.3.7) la méthode anglaise NRA (National River Authority)

Elle a été développée par l'ANR 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.

6.3.8) la méthode de Vierhuff (1992)

Cette méthode générale dépend des paramètres suivants :

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

Ces paramètres ont été groupés par Vierhuff en cinq (5) classes de vulnérabilité (de forte à très forte vulnérabilité).

6.4. Tests de classification des méthodes d'évaluation de la vulnérabilité

6.4.1) Test de FRECHETT ,1987

L'application d'un test de comparaison permet une classification objective de toutes les méthodes d'évaluation, selon leurs « degré » d'efficacité.

Ce premier test consiste à attribuer un pointage (entre 0.5 et 1) aux caractéristiques relevées pour chacun des critères suivants.

1- niveau d'intégration des méthodes favorisant une application étendue à toutes les entités physique de l'écosystème terrestre. ainsi qu'à la caractérisation des différents modes de pollution.

2- paramètres mesurables utilisés de natures physique, biologique, météorologique, hydrogéologique et chimique.

3- le niveau d'intégration propre à chaque méthode reflétant la facilité et la qualité avec laquelle l'usage rend possible la manipulation. L'impact spécifique pouvant influencer les diagnostics .certaines caractéristiques peuvent être déterminantes sur la vulnérabilité d'un site (exemple de proximité d'un puit à zone polluée).

5- à chacune des caractéristiques est attribué un pointage égal à (1) dans le cas où celle-ci font partie intégrante de la structure de la méthode visée. Si une caractéristique n'est pas prise en charge, on donne une note égale à (0) et à (0.5) si elle est considérée de façon imprécise ou indirecte.

Une appréciation globale est obtenue en effectuant la somme des points obtenues par compilation arithmétique colonne par colonne .Les résultats obtenus sont présentés sous forme d'un histogramme (*figure N°5*) présentant la performance des différentes méthodes testées.

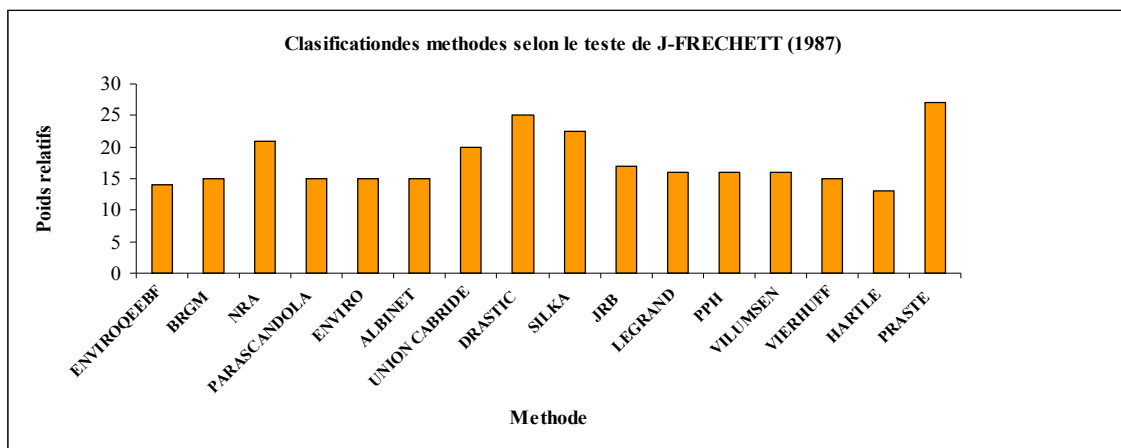


Figure N°5 : test de classification des méthodes d'évaluation de la vulnérabilité selon FRECHETT.

Les résultats de ce teste démontre l'efficacité des méthode axées sur le système de cotation numérique et en particulier les méthodes PRAST et DRASTIC.

Limitation du test:

Par ailleurs, malgré un inventaire exhaustif des paramètres retenus pour chaque classe de critères, ce teste montre quelques lacunes qu'il faut mettre en évidence si l'on veut saisir la portée véritable qu'on entend bien lui accorder. Ces lacunes se résument en :

☞ La non hiérarchisation des paramètres selon leur niveau d'importance (une méthode peut se voir attribuer un score élevé même si un paramètre de haute importance a pu être négligé par les concepteurs de la méthode.

☞ La comparaison entre deux groupes de critères différents est difficile à réaliser puisque la quantité et la nature même des critères en cause sont incomparables ou tout au moins non équivalente.

6.4.2) TEST D'OLIVIER, G en 1979

En raison des lacunes présentées par le test CANADIEN, un autre test a été proposé par OLIVIER (1979) et modifié par TOUIEB (1997), ce dernier a permis d'améliorer l'ancien test en attribuant aux paramètres mesurables utilisés un poids caractérisant son niveau d'importance. Ainsi la cote de chaque paramètre propre à chaque méthodologie est multipliée

par un poids variant de (0) à (1). En faisant la somme des points obtenus par compilation colonne par colonne on obtient le score (ou le totale des points) dont le plus élevé caractérise la méthode la plus performante.

On définit alors le coefficient d'efficacité comme le rapport des totaux de la compilation des méthodologies de chaque groupe vis à vis des paramètres physiques et hydrogéologiques mesurables (*Figure N°6*).

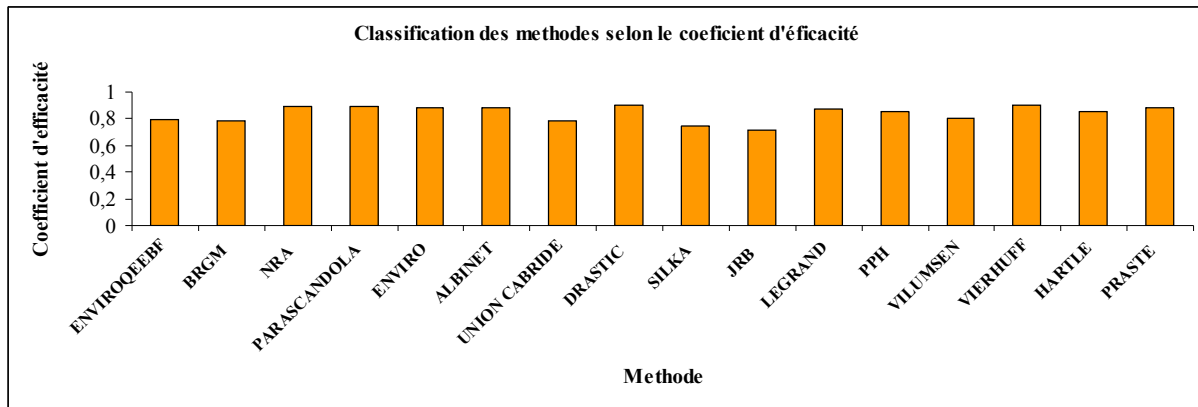


Figure N°6 : classification des méthodologies selon le coefficient d'efficacité.

Par ailleurs, ce test permet également une classification des méthodes vis-à-vis des facteurs externes au système aquifère (*Figure N°7*).

Le test d'évaluation nous permet de constater que la méthode DRASTIC s'est classée au premier rang des méthodologies de caractérisation de la vulnérabilité des aquifères.

Pour tester l'efficacité avec laquelle cette méthode peut présenter la vulnérabilité des aquifères, il faut bien sur effectuer un certain nombre d'essais sur des sites judicieusement sélectionnés.

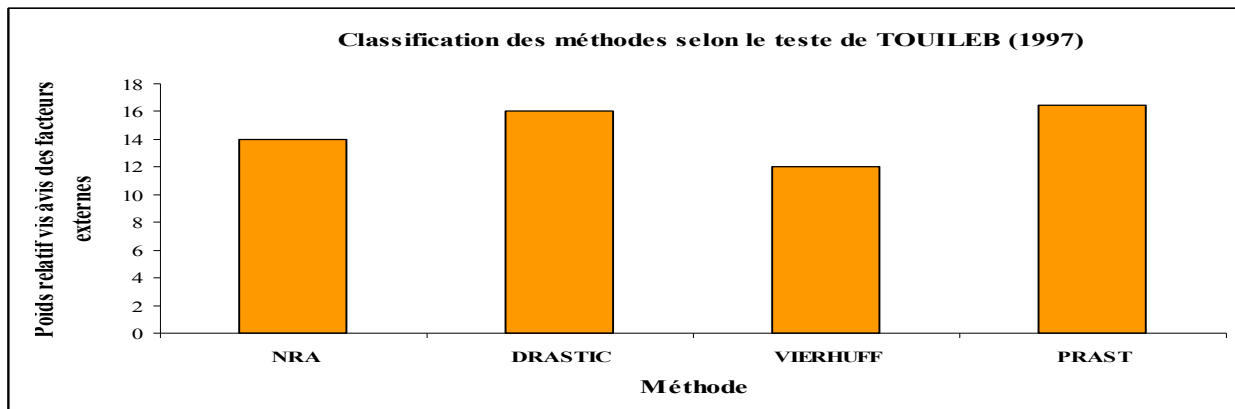


Figure N°7 : Test de sélection d'une méthode d'évaluation de la vulnérabilité [in TOULEB, 1997].

7. Nouvelles méthodes d'évaluation de la vulnérabilité-sensibilité des aquifères

7.1. La méthode DRIST (Sinan 2004)

Une nouvelle méthodologie est proposée pour la caractérisation de la vulnérabilité et de la sensibilité à la pollution des nappes d'eau souterraine libres. Cette méthodologie constitue une amélioration de la méthode DRASTIC. La vulnérabilité à la pollution est basée uniquement sur les paramètres relatifs à la recharge, au sol (pente et nature) et à la zone non saturée (faciès et épaisseur) de l'aquifère. La sensibilité à la pollution est basée uniquement sur les paramètres propres à la zone saturée : vitesse de l'écoulement et qualité de l'eau et productivité de la nappe. La vulnérabilité-sensibilité (ou vulnérabilité globale) est basée sur les paramètres relatifs à la fois à la zone non saturée et à la zone saturée de l'aquifère.

7.2. Diagnostic régional de la vulnérabilité des bassins versants au risque phytosanitaire

L'étude réalisée en 2002 en Alsace s'est appuyée sur l'expérience menée en Rhône-Alpes en 2001 ainsi que sur des réflexions méthodologiques du CORPEN (Comité d'Orientation pour des Pratiques agricoles Respectueuses de l'Environnement) qui travaille à l'élaboration d'une méthode de diagnostic régional.

L'évaluation de la vulnérabilité des bassins versants a été réalisée en trois étapes principales :

- ☞ Définition des modes d'écoulements et répartition des flux d'eau vers les eaux superficielles ou vers les eaux souterraines, à partir d'une combinaison des données de **pent**es et de caractéristiques des **sols**, et pour **2 saisons climatiques** différenciées par le régime des précipitations.
- ☞ Prise en compte du temps de transfert des flux d'eau vers la ou les ressources exposées qui peut être un facteur aggravant. Un temps de transfert bref diminue les chances de dégradation ou d'adsorption des substances actives.
- ☞ Modulation par l'occupation du sol. Globalement une terre labourable, du bâti, une forêt ou une prairie conduisent à des niveaux de pertes des produits phytosanitaires différents.

Une note globale de vulnérabilité a été calculée pour chacun des sous bassins analysés, et classée selon 4 niveaux de vulnérabilité. L'étude aboutit à **quatre zonages distincts** combinant les 2 ressources, **eaux superficielles et eaux souterraines**, et 2 périodes climatiques, **printemps-été et automne-hiver**.

L'évaluation de la vulnérabilité des bassins versants constitue la première étape de leur hiérarchisation vis-à-vis du risque phytosanitaire. L'analyse complète du risque doit prendre également en compte la sensibilité des ressources en eau et les pratiques d'utilisation des produits phytosanitaires. Elle doit enfin intégrer les enjeux autour de l'utilisation des ressources en eau.

Conclusion

Les méthodes d'évaluation de vulnérabilité mentionnées auparavant ont pour but l'étude de la prédisposition des nappes souterraines à être contaminé par une éventuelle pollution, et l'établissement de périmètres de protection de ces dernières en les intégrant dans le programme d'aménagement du territoire. Mais il existe une certaine difficulté dans l'élaboration de ces méthodes qui réside essentiellement dans : le choix des critères, leur notation, et le poids qu'on leur attribue, et aussi dans le fait de retenir des critères qui sont indépendants les uns des autres. Il est alors impossible d'établir une méthode universelle de cartographie multicritères car chaque cas d'étude est particulier et un paramètre important dans un cas le sera peut être beaucoup moins dans un autre. Un critère n'est pas une échelle de mesure universelle, mais il est propre à chaque décideur.

La validation d'une telle démarche de cartographie de la vulnérabilité, peut passer par la mise sur pieds d'un réseau qualité d'un certain nombre de points, outil de gestion complémentaire de la ressource en eau souterraine.

Jusqu'à présent, et en se basant sur les résultats obtenus par le test de sélection des méthodes d'évaluation de la vulnérabilité des milieux aquifères une seule méthode a réussi à prouver son efficacité dans ce domaine, il s'agit bien sûr de la méthode DRASTIC, mais l'évolution incessante de la recherche dans le domaine de la protection de l'environnement a abouti à de nouvelles méthodes adoptant le terme sensibilité dans leurs manœuvres afin d'enrichir les cartes de vulnérabilité résultantes.

Il s'agit de la méthode DRIST développées en 2004, appliquée à la nappe alluviale de Marrakech et la méthodologie de l'APRONA adoptée pour le cas Alsacien. Ces deux méthodes feront l'objet de comparaison avec l'ancienne méthode, afin de prouver leur efficacité.

Introduction

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

Le développement socio-économique rapide, de notre pays, a induit une pollution d'origine diverse dont l'acuité représente une menace permanente pour ces eaux souterraines qui sont donc comme les eaux de surface susceptibles d'être contaminées par les activités humaines ayant cours sur le territoire.

Afin de mieux gérer la demande sans cesse croissante en eau potable et d'en assurer la protection faces aux diverses pollutions, il devient impérieux de procéder à une cartographie méthodique de la vulnérabilité de la nappe. C'est dans ce cadre que nous nous proposons d'entreprendre cette étude, dans le but de la réalisation d'un outil d'aide capable de caractériser de façon simple mais précise la vulnérabilité des nappes aquifères face aux risques liés aux phénomènes de pollution.

1. Méthodologie adoptée

Deux approches sont utilisées pour entreprendre l'étude de vulnérabilité de la nappe des alluvions de la Mitidja Occidentale :

– La méthode DRASTIC, développée en 1987 aux Etats-Unis par la NWWA (National Water Well Association). C'est une méthode, standardisée, d'évaluation et de cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines indépendamment du type de polluant et qui prend en compte la majeure partie des facteurs hydrogéologiques qui affectent et contrôlent l'écoulement des eaux souterraines.

– La méthode DRIST, version simplifiée de la méthode DRASTIC, qui ne fait intervenir que cinq paramètres au lieu de sept pour la première méthode.

Ces deux méthodes sont basées sur un système de cotation numérique, pouvant être intégré dans un Système d'Information Géographique (SIG) par l'utilisation du logiciel (MapInfo 7.5), Ce dernier permet de digitaliser les cartes afin de les rendre révisables, actualisables et adaptables en fonction des nouvelles conditions hydrogéologiques et des objectifs ciblés.

2. Aspects théoriques et pratiques de la méthode DRASTIC

2.1. Hypothèse de base

Avant tout, la vulnérabilité d'une nappe à la pollution est une notion relative, non mesurable et sans dimension. L'approximation de son évaluation dépend essentiellement de la nature, de la qualité et de la fiabilité de ces données.

En effet, cette méthode est fondée sur quatre hypothèses de base :

- Elle est applicable sur des unités de surfaces supérieures à 40 Ha.
- La source de contamination se trouvant à la surface du sol.
- La qualité du contaminant n'intervient pas dans l'évaluation de l'indice DRASTIC.
- Les polluants atteignent l'aquifère en transitant de la zone non saturée.

2.2. Indexation ou système de cotation numérique

La méthode DRASTIC est l'une des méthodes du sous-groupe PCSM (Point Count System Model) qui a été mise au point par Aller et al entre 1983 et 1987 ,et dont l'objectif est d'évaluer les risques de pollution des eaux souterraines.

Cette méthode est basée sur des notations et des coefficients de pondération accordés aux critères choisis pour étudier, classer et représenter sur le plan horizontal le rôle protecteur de l'interface séparant la ressource en eau de la source de pollution (Lyakhloufi et al., 1999 in Djoudar, 2003).

Cette méthode permet l'établissement de cartes de vulnérabilité qui constituent la synthèse des connaissances lithologiques, pédologiques et hydrogéologiques d'une région. Elle est basée sur un système de notation numérique qui repose sur l'analyse et la détermination de sept paramètres physiographiques et hydrogéologiques représentés par :

- (D) : La profondeur de la nappe d'eau ;
- (R) : La recharge nette ou infiltration efficace ;
- (A) : La nature de l'aquifère ;
- (S) : Les matériaux du sol ;
- (T) : La topographie ;
- (I) : L'impact de la zone vadose ;
- (C) : La conductivité hydraulique de l'aquifère.

Chaque paramètre est assigné d'un *poids* relatif dont la valeur comprise entre 1 et 5 correspond à son importance dans le processus d'atténuation des substances polluantes. Un paramètre prépondérant se voit assigner un poids de 5 alors qu'un paramètre ayant moins d'impact sur le devenir d'un contaminant est assigné d'un poids de 1 (*Tableau N°2*).

Chaque paramètre est assigné d'une *côte* pouvant varier de 1 à 10 (*Annexe N°1*), une côte de 1 correspond aux conditions de moindre vulnérabilité alors qu'une côte de 10 reflète les conditions les plus propices à la contamination. A titre d'exemple : pour un sol donné, une texture argilo-sableuse ralentira la propagation du polluant alors qu'une texture graveleuse permettra un transit plus rapide.

Un indice partiel propre à chaque paramètre est alors déduit en multipliant sa côte par son poids relatif. **Indice partiel = poids * côte.**

Tableau N°2 : Les 7 paramètres DRASTIC et leurs poids relatifs.

Paramètres	Poids (général)	Poids (Pesticides)
D. Profondeur de la nappe	5	5
R. Recharge nette	4	4
A. Milieu Aquifère	3	3
S. Type de Sol	2	5
T. Topographie	1	3
I. Impacte de zone non saturée	5	4
C. Conductivité hydraulique	3	2

2.3. Calcul de l'indice DRASTIC

Une fois les notes attribuer, et tous les indices partielles calculés, on détermine l'indice DRASTIC (Id) qui permet de caractériser le degré de vulnérabilité d'un secteur de la nappe.

En effet, la vulnérabilité est d'autant plus importante que l'indice (Id) calculé est plus élevé, ce dernier résulte de la somme pondérée des indices partiels correspondant à chaque paramètre.

$$Id = (Dc.Dp) + (Rc.Rp) + (Ac.Ap) + (Sc.Sp) + (Tc.Tp) + (Ic.Ip) + (Cc.Cp)$$

c et **p** : représentent les cotes et poids attribués à chaque paramètre.

L'indice de vulnérabilité DRASTIC représente une évaluation du niveau de risque de contamination d'une formation aquifère. Ce risque augmente avec la valeur de l'indice. Celui-ci peut prendre une valeur maximale de 226 et une valeur minimale de 23. Son appréciation n'est possible que par l'analyse comparative entre différents sites ou unités hydrogéologiques.

Cas particulier :

L'indice DRASTIC « pesticides » peut être utilisé dans les régions où on note une intense activité agricole et où les eaux souterraines sont susceptibles d'être polluées par les pesticides. Il représente un cas spécial de l'indice DRASTIC. La seule différence réside en une attribution différente aux valeurs des poids de quelques paramètres. (*Tableau N°2*)

2.4. Interprétation de l'indice DRASTIC

D'après l'étude de (Aller et al. 1987) réactualiser par le canadien R. Fréchette, il y a cinq classes de vulnérabilité la plus faible correspond à une borne inférieure de Id = 23 et la plus forte avec une borne maximale de Id = 226. (*Figure N°8*)

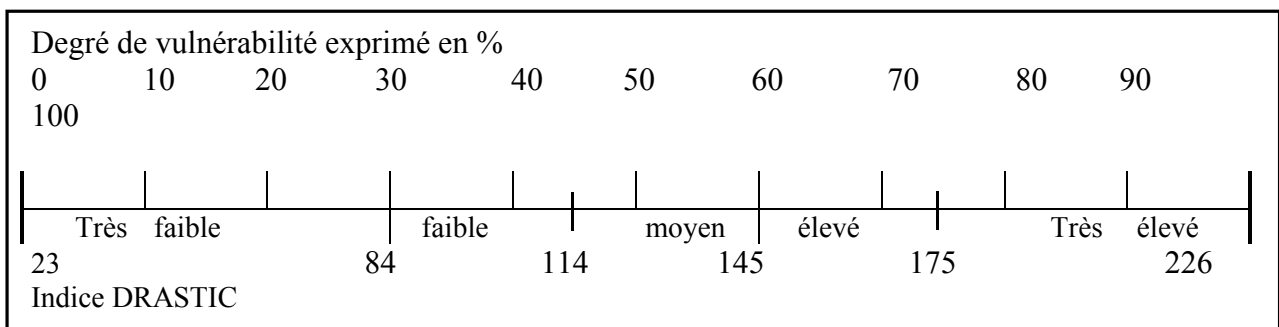


Figure N° 8 : Diagramme des classes de vulnérabilité.

Une échelle basée sur les couleurs en fonction du degré de vulnérabilité est également proposée. (Voir *Tableau N°3*)

Tableau N°3: Code international des couleurs pour l'indice DRASTIC. (Aller et al. 1987).

Intervalle de l'indice DRASTIC	Couleur
< 79	Violet
80 – 90	Indigo
100 – 119	Bleu
120 – 139	Vert foncé
140 – 159	Vert clair
160 – 179	Jaune
180 – 199	Orange
> 200	Rouge

2.5. Description des paramètres DRASTIC

2.5.1) Profondeur de l'eau (D)

C'est un paramètre déterminant dans le contrôle du transfert et de l'atténuation du polluant dans la zone saturée. Il est assigné d'un poids maximum de 5 (*Tableau N°2*).

☞ Dans le cas d'une nappe libre, la profondeur de l'eau représente la tranche de sol entre la couche végétale et le niveau statique de l'eau.

2.5.2) Recharge nette « R »

La recharge nette est le seul paramètre responsable de la réalimentation des nappes, et correspond ainsi au moyen de transfert du polluant de la surface du sol vers le milieu aquifère. La vulnérabilité des nappes augmente avec l'accroissement des infiltrations, cette conclusion est valable jusqu'à un certain seuil où elle provoque la dilution du polluant ce qui provoquera un effet inverse sur la vulnérabilité.

Ce paramètre est lié à plusieurs facteurs : Climatique, géologique, topographique et hydrologique. Il est estimé à partir des équations du bilan hydrologique ou déduit de la différence de charge des nappes entre les périodes de hautes eaux et basses eaux.

Pour un aquifère donné, la recharge nette ne correspond pas seulement à la part de l'infiltration des précipitations, il faut inclure aussi les eaux d'infiltration des eaux d'irrigation, des eaux de ruissellement (relation oued-nappe), de l'alimentation artificielle des nappes et des eaux provenant d'autres horizons aquifères situés en profondeur ou latéralement à la nappe concernée.

2.5.3) la nature de l'aquifère (A)

La description lithologique de la zone saturée est très importante dans l'élaboration des cartes de vulnérabilité. Étant donné que la nature de l'aquifère est l'endroit de transit et de stockage des eaux souterraines, il devient important de connaître sa structure et sa perméabilité.

2.5.4) Type de sol (S)

Les matériaux du sol concernent la partie la plus superficielle de la zone non saturée qui est caractérisée par une importante activité biologique. Le sol est communément considéré comme la partie formée par des produits d'altérations et constituant la zone superficielle de la terre et sa profondeur moyenne fait 183 cm ou moins à partir de la surface de la terre.

Le sol a un impact significatif sur la totalité de la recharge qui peut s'infiltrer dans le sous sol et ce en dehors de la capacité du polluant à pénétrer verticalement dans la zone non saturée. La présence de matériaux à texture fine comme les limons et les argiles diminue la perméabilité du sol ce qui limite la migration d'un polluant. La matière organique en grande quantité dans le sol peut être aussi un facteur important, particulièrement dans l'atténuation des pesticides. Les composés humiques sont également principalement responsable de l'adsorption.

2.5.5) La topographie (T)

Le terme topographie, ici, veut dire la pente et sa variation dans une région. La topographie conditionne en général l'infiltration de la pluie et de n'importe quel polluant. En effet quand celui-ci se trouve sur une pente raide, il a tendance plutôt à ruisseler et quand il est sur une surface plane cela provoque sa stagnation et ainsi il va mieux s'infiltrer. Par conséquent pour le deuxième cas la pollution potentielle est plus grande.

2.5.6) Impact de la zone non saturée ;(zone vadoze) (I)

La zone non saturée est définie comme la zone se trouvant au-dessus de la surface piézométrique et qui n'est pas saturée en eau. Elle renferme une phase solide (la roche), une phase liquide (l'eau) et une phase gazeuse (l'air).elle correspond au foyer de plusieurs interactions chimiques, physique au cours du transfert des eaux vers la zone saturée. Ainsi ces conditions mobilisent les eaux et leurs réactions avec les formations traversées, et il y aura toujours une possibilité d'autoépuration en relation avec l'intensité du polluant.

2.5.7) Conductivité hydraulique de l'aquifère (C)

La conductivité hydraulique donne une idée sur la capacité du matériel de l'aquifère à être traversé par l'eau. Elle dépend des interconnexions des vides à l'intérieur de l'aquifère qui est la somme de la porosité intergranulaire, des fractures et des joints entre les couches. Une conductivité hydraulique élevée implique une pollution potentielle importante.

Les valeurs de la conductivité hydraulique sont calculées par l'interprétation des essais de pompage. Elles peuvent être circonscrites dans les thèses et les études hydrogéologiques. Nous pouvons aussi les trouver dans des tableaux de certains ouvrages techniques.

2.6. Collecte de données

La collecte de données intéressent les paramètres suivants : la géologie, la pédologie, la topographie, les conditions hydrodynamiques du milieu aquifère et l'hydrologie. En effet, l'efficacité de l'indice DRASTIC tient compte de la qualité des données précédentes.

2.7. Concept d'unité hydrogéologique

L'unité hydrogéologique se rapporte a une zone géographiquement bien défini. Elle peut avoir plusieurs subdivisions sous forme de sous unités.

Leur mise en place est obtenue après l'empilement de plusieurs zones ayant chacune un indice partiel des paramètres DRASTIC.

Leurs nomenclature est simple, il s'agit des lettres (A, B, C....) précéder d'un chiffre qui représente le code du bassin versant et suivit d'un chiffre identifiant la sous unité à laquelle correspond l'indice DRASTIC .exemple : 2A₁, 2B₂.....etc.

2.8. Réalisation des cartes thématiques

Une carte thématique est réalisée pour chacun des sept (07) paramètres considérés par la méthode DRASTIC. Sur chacune des cartes sont délimitées des zones en fonction des intervalles établis par le système de cotation. Ainsi, chacune des zones délimitées reçoit un indice partiel correspondant au produit (cote x poids). Les indices partiels semblables, ainsi obtenus, permettent de délimiter sur une carte thématique des zones homogènes.

2.8.1) Délimitation des sous unités

La superposition des cartes thématiques permet d'obtenir une carte de synthèse qui est en fait la carte de vulnérabilité ou de la pollution potentielle (**Figure N° 9**). L'intersection des zones obtenues pour chaque paramètre nous donne des sous -unités hydrogéologiques pour chaque unité. Chaque sous unité aura son propre indice DRASTIC. Nous pourrons par la suite coder ces sous unités hydrogéologiques, à l'instar des unités hydrogéologiques, par des lettres de l'alphabet ou des chiffres.

L'illustration suivante montre la superposition des cartes thématiques réalisées pour les sept paramètres :

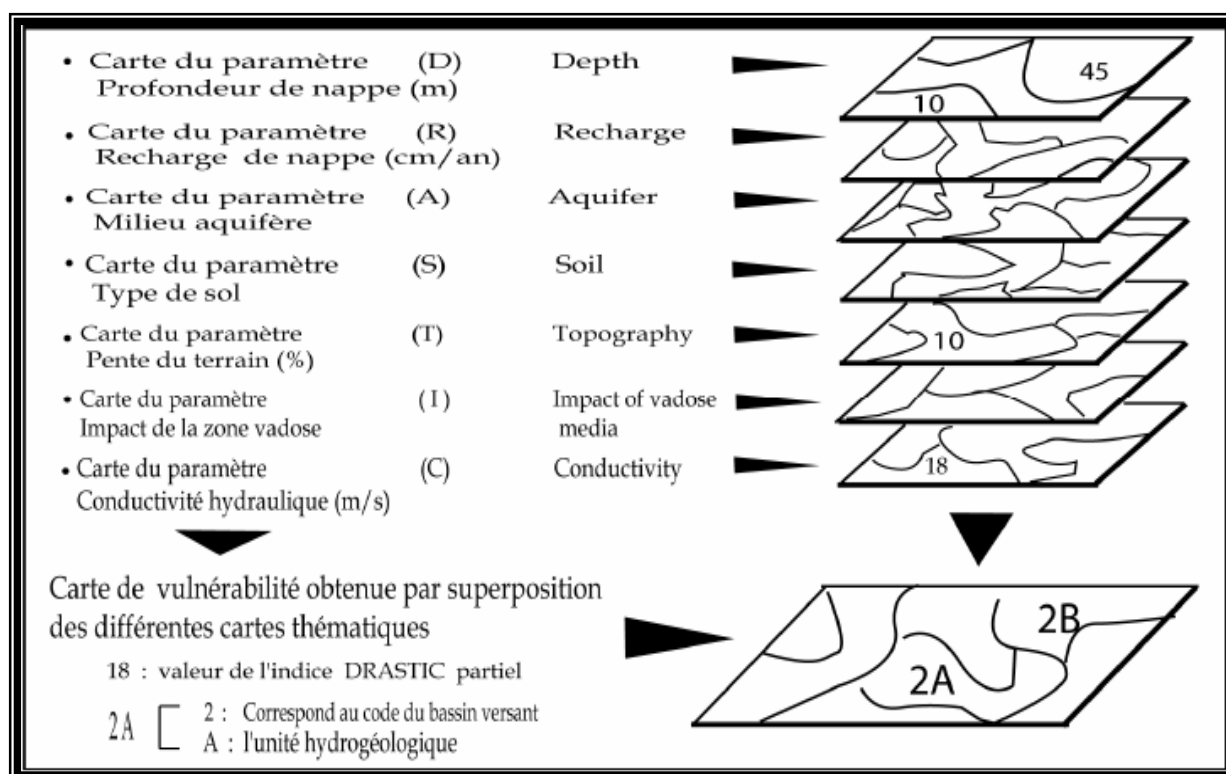


Figure N° 9: Illustration de la superposition des (7) cartes thématiques pour la synthèse d'une carte de vulnérabilité (Aller et Al ,1987 in Ait Ouali, 2007).

2.8.2) Couleurs des sous unités hydrogéologiques

Les couleurs des différents rangs ou des sous unités hydrogéologiques reflétant le degré de vulnérabilité sont consignées dans le tableau suivant.

Tableau N° 4 : Couleurs des sous unités hydrogéologiques.

Rang de l'indice DRASTIC	Couleur	Degré de vulnérabilité
< 79	violet	invulnérable
80 - 99	bleu indigo	très faible à faible
100 - 119	bleu	faible à moyen
120 - 139	vert foncé	moyen
140 - 159	vert clair	moyen à élevé
160 - 179	jaune	élevé
180 - 199	orange	très élevé
> 200	rouge	très très élevé

3. Aspects théoriques et pratiques de la méthode DRIST

3.1. Présentation de la méthode

La méthodologie proposée ici a la particularité de distinguer la vulnérabilité verticale d'une nappe vis à vis d'une pollution provenant de la surface du sol (basée uniquement sur les paramètres relatifs à la recharge, au sol et à la zone non saturée), de sa vulnérabilité

horizontale (ou sensibilité) vis à vis d'une pollution ayant déjà atteint la nappe (basée uniquement sur seuls les paramètres de la zone saturée de l'aquifère).

La vulnérabilité globale (ou vulnérabilité - sensibilité) d'un aquifère est la synthèse de ces deux types de vulnérabilité verticale et horizontale.

L'application de cette méthodologie ne peut être possible sans l'utilisation des Systèmes d'Information Géographique (SIG), en raison de la masse très importante des données nécessaire, notamment dans le cas de nappes d'extension régionale.

3.2. Description de la méthodologie adoptée

3.2.1) Evaluation de la vulnérabilité

Contrairement à la méthode DRASTIC qui fait intervenir les paramètres relatifs à la fois à la recharge, à la zone non saturée et saturée d'un aquifère, la méthodologie que nous proposons ici est basée sur les seuls paramètres relatifs à la recharge, au sol (pente et nature lithologique) et à la zone non saturée (nature et épaisseur). En effet, nous considérons que seuls ces paramètres interviennent dans la transmission de la pollution vers la nappe à partir de la surface du sol.

Les mêmes poids, notes et classes que celles définies par la méthode DRASTIC, ont été attribués (dans la méthode proposée) aux paramètres utilisés.

3.2.1. 1) Calcul de l'indice de vulnérabilité

L'indice de vulnérabilité vertical I_v est calculé en faisant la somme des produits : note et poids de chaque paramètre pris en compte:

$$\text{Avec: } I_v = (R_r \times R_w) + (T_r \times T_w) + (S_r \times S_w) + (I_r \times I_w) + (D_r \times D_w).$$

R, T, S, I, D : représentent respectivement les paramètres pris en compte: recharge, pente du sol, nature du sol, nature de la zone non saturée et profondeur de la surface de la nappe.

r et w : représentent respectivement le poids et la note attribués à chaque paramètre pris en compte.

🚩 L'indice I_v peut varier entre les valeurs extrêmes suivantes : 27 (I_v minimum) et 166 (I_v maximum).

3.2.1. 2) Interprétation de l'indice I_v

Cinq classes de vulnérabilité différentes ont été définies selon la valeur de l'indice I_v ; leurs limites s'établissent comme ci-après:

- $27 < I_v \leq 50$: Très faible vulnérabilité (couleur bleue)
- $50 < I_v \leq 80$: Faible vulnérabilité (couleur verte)
- $80 < I_v \leq 110$: Moyenne vulnérabilité (couleur jaune)
- $110 < I_v \leq 140$: Forte vulnérabilité (couleur orange)
- $140 < I_v \leq 166$: Très forte vulnérabilité (couleur rouge)

3.2.2) évaluation de la sensibilité

La sensibilité d'une nappe à la pollution est une notion non mesurable dépendant des paramètres propres de la nappe, car elle est définie par rapport à une pollution qui a déjà atteint la nappe, à partir de la zone non saturée ou d'un ouvrage d'eau souterraine (puits, forage,etc.).

Nous avons utilisé les trois paramètres suivants pour caractériser cette sensibilité à la pollution des nappes:

- Qualité de l'eau: plus cette qualité est importante, plus grande est la sensibilité à la pollution de la nappe;
- Productivité : plus la productivité est importante, plus grandes seront les conséquences socio-économiques de la pollution de l'eau;
- Vitesse de déplacement de l'eau : plus la vitesse est grande, plus vite se fera le déplacement de la pollution dans l'espace et donc la sensibilité à la pollution devient importante.

Une pondération a été attribuée à chacun des paramètres ci-dessus, basée essentiellement sur l'importance relative de chacun d'eux pour la caractérisation de la sensibilité d'une nappe à la pollution. Ces poids sont :

- ☞ de 5 pour la qualité globale de l'eau (étant donné l'importance de ce paramètre, notamment pour une eau destinée à l'alimentation en eau potable),
- ☞ 4 pour la productivité ;
- ☞ et 3 (identique au poids attribué par la méthode DRASTIC à la perméabilité de la nappe) pour la vitesse de l'eau de la nappe.

3.2.2. 1) Description des paramètres de la sensibilité

a) Vitesse de l'eau souterraine (Ve)

$$Ve(m/s) = \frac{K \times i}{ne} \dots\dots\dots (*)$$

Avec : K = coefficient de perméabilité de Darcy en m/s.

i = gradient hydraulique calculé à partir de la carte piézométrique de la nappe.

(*) : La méthode DRASTIC utilise la perméabilité pour caractériser l'écoulement de l'eau dans la nappe. Ce paramètre n'est pas suffisant pour caractériser cet écoulement qui dépend de la vitesse effective de l'eau Ve ($Ve = K \times i / ne$).

ne = porosité efficace de la nappe (vides occupés par l'eau gravitaire), équivalente au coefficient d'emménagement (S) des nappes libres.

Cinq classes de vitesse ont été définies auxquelles les notes suivantes ont été attribuées :
Classe de vitesse effective (Ve) de l'eau souterraine en E-4 m/s Note

$Ve \geq 5$: 10
$3 \leq Ve < 4$: 7
$2 \leq Ve < 3$: 5
$1 \leq Ve < 2$: 3
$Ve < 1$: 1

b) Qualité globale de l'eau souterraine

Cette qualité devra être représentée par la potabilité de l'eau. En l'absence de mesures de ce paramètre (dont l'obtention est assez coûteuse) sur l'ensemble de l'étendue de la nappe, cette qualité peut être représentée par la conductivité électrique de l'eau, qui dépend uniquement de la concentration totale en sels dissous dans l'eau, dont la mesure est très facile. Cinq classes de conductivité ont été définies auxquelles les notes suivantes ont été attribuées:

Classe de conductivité (C) de l'eau souterraine en $\mu s/cm$ Note

$C < 400$: 10
$400 \leq C < 1\ 300$: 8
$1\ 300 \leq C < 2\ 700$: 5

$2\ 700 \leq C < 3\ 000$: 3
$C \geq 3\ 000$: 1

c) Productivité de la nappe

Cette productivité peut être représentée par la transmissivité, par le débit des ouvrages ou par leurs débits spécifiques. Nous optons pour ce dernier paramètre, en raison d'une part de la disponibilité (généralement) de ses valeurs et d'autre part parce qu'il prend en compte la productivité du couple " nappe + ouvrage ", qui reflète mieux la réalité du terrain.

Cinq classes de débit spécifique ont été définies, auxquelles les notes suivantes ont été attribuées:

Classe des débits spécifiques (Q/s en l/s/m) des ouvrages captant la nappe Note

$Q/s \geq 5.0$: 10
$2.0 \leq Q/s < 5.0$: 7
$0.5 \leq Q/s < 2.0$: 5
$0.0 \leq Q/s < 0.5$: 3
$Q/s = 0.0$: 0

3.2.2. 2) Calcul de l'indice de sensibilité

Une fois les différentes classes définies et leurs notes attribuées, on calcule l'indice de sensibilité de la nappe à la pollution (**Is**) en faisant la somme des produits de la note de chaque paramètre utilisé et de son poids:

$$Is = (Cr \times Cw) + (Pr \times Pw) + (Vr \times Vw)$$

Avec:

C, P et V : représentent respectivement les paramètres : conductivité de l'eau, productivité de la nappe (ou débits spécifiques des ouvrages la captant) et vitesse de déplacement de l'eau dans la nappe

r et w : représentent respectivement le poids et la note attribués à chaque paramètre ci-dessus.

🚩 Les valeurs de l'indice **Is** varient entre 20 (**Is** minimal) et 120 (**Is** maximal).

3.2.2. 3) Interprétation de l'indice Is

L'établissement de la carte de sensibilité d'une nappe à la pollution consiste à calculer et à reporter la répartition spatiale des valeurs de l'indice **Is** ci-dessus et leur groupement dans cinq classes différentes.

$20 < Is \leq 40$:	Très faible sensibilité (couleur bleue)
$40 < Is \leq 60$:	Faible sensibilité (couleur verte)
$60 < Is \leq 80$:	Moyenne sensibilité (couleur jaune)
$80 < Is \leq 100$:	Forte sensibilité (couleur orange)
$100 < Is \leq 120$:	Très forte sensibilité (couleur rouge)

3.2.3) Evaluation de la vulnérabilité-sensibilité à la pollution d'une nappe alluviale

La vulnérabilité- sensibilité (ou vulnérabilité globale) à la pollution d'une nappe est une notion qui intègre à la fois:

– La facilité avec laquelle la pollution peut transiter à travers le sol et la zone non saturée pour atteindre la surface de la nappe (ou vulnérabilité verticale);

– La vitesse de propagation horizontale de cette pollution dans la zone saturée et les conséquences socio-économiques engendrées par cette pollution des ressources en eau (ou sensibilité) de la nappe.

C'est donc une notion qui n'est pas mesurable et qui dépend à la fois des paramètres relatifs à la recharge, au sol, à la zone non saturée et à la zone saturée de l'aquifère.

3.2.3. 1) Calcul et interprétation de l'indice Ivs

L'obtention de l'indice (Ivs), de vulnérabilité- sensibilité à la pollution d'une nappe, se fait en faisant une simple sommation (à chaque point de la nappe) de la valeur de l'indice Iv de la vulnérabilité et de celle de l'indice Is de la sensibilité à la pollution.

✚ Cet indice Ivs peut donc varier entre 47 (Ivs minimum) et 286 (Ivs maximum).

Les valeurs obtenues de l'indice Ivs sont réparties dans 5 classes différentes, comme ci-après:

- 47 < Ivs ≤ 90 : Très faible vulnérabilité-sensibilité (couleur bleue)
- 90 < Ivs ≤ 140 : Faible vulnérabilité- sensibilité (couleur verte)
- 140 < Ivs ≤ 190 : Moyenne vulnérabilité-sensibilité (couleur jaune)
- 190 < Ivs ≤ 240 : Forte vulnérabilité-sensibilité (couleur orange)
- 240 < Ivs ≤ 286 : Très forte vulnérabilité-sensibilité (couleur rouge)

4. Utilisation du SIG dans l'étude de vulnérabilité

Les Systèmes d'Informations Géographiques (SIG), représentent la meilleure méthode pour résoudre les principaux problèmes dans l'étude de la vulnérabilité ; en effet, ils facilitent la superposition de couvertures de différentes origines et l'interpolation de données ponctuelles en couvertures.

Les SIG rassemble, organisent, gèrent et traitent des données localisées géographiquement l'information et représentent un puissant moyen d'analyse, de structuration et de synthèse de données dans un contexte bien défini. Ils offrent aussi la possibilité de manipuler les informations géographiques et alphanumériques stockées dans une banque de données.

L'intégration des logiciels tels que ATLAS-GIS, MAP-INFO, IDRISI, AEC-INFO à la méthode DRASTIC et/ou DRIST permet une gestion adéquate des données multi sources, ainsi qu'une analyse spatiale.

La création d'une base de données sous forme numérisée est nécessaire pour faciliter la manipulation des données au sein d'un Système d'Information Géographique) Cette base de données nécessite l'utilisation conjointe de plusieurs logiciels à savoir : Microsoft Excel, Microsoft Access, Surfer 32 qui sert à l'interpolation des valeurs.

Dans notre cas en plus de ces logiciels nous avons utilisé le **Mapinfo 7.5**.

Conclusion

Ces deux méthodes DRASTIC et DRIST constituent des outils pour la protection qualitative des eaux souterraines et leur préservation. La caractérisation de la vulnérabilité et de la sensibilité des nappes d'eau souterraine offre une base pour l'aménagement du territoire.

Introduction

L'étude présentée ici, menée dans le cadre des travaux du ²GREPPAL et du ³SAGE III Nappe Rhin, a pour objectif la réalisation de diagnostics de pollution des eaux superficielles et souterraines, par les produits phytosanitaires, sur l'ensemble de la région d'Alsace.

Afin d'optimiser la mise en place des actions, un travail de « classification des bassins versants vis-à-vis du risque de pollution par les produits phytosanitaires en Alsace » a été demandé. Cette étude contribue à la réalisation d'une cartographie des zones prioritaires à l'échelle de la région. Elle a cependant été limitée à l'évaluation de la sensibilité des bassins versants aux produits phytosanitaires. ***Il s'agit d'une sensibilité potentielle des bassins versants, qui ne représente en aucun cas la pollution du milieu naturel.***

L'intensité de l'activité agricole, et la prolifération que connaît l'utilisation des produits phytosanitaires dans la région de la Mitidja, nous a poussé à utiliser cette nouvelle méthode de classification des bassins versants selon leur sensibilité aux produits phytosanitaires, afin de sensibiliser les utilisateurs potentiels de ces produits sur l'ensemble de la région.

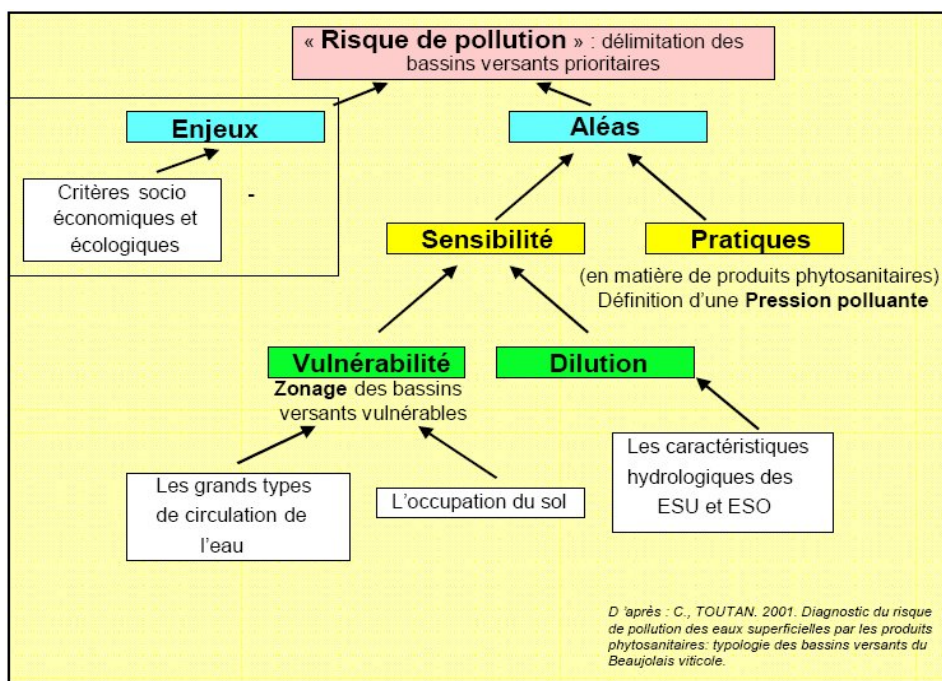
La caractérisation de la sensibilité s'est faite en **deux étapes**, une première étape ayant consisté à déterminer la **vulnérabilité** des bassins versants ; et dans une deuxième étape, la prise en compte de la dilution potentielle de la pollution par les eaux superficielles d'une part, et souterraines d'autre part, a permis d'aboutir à la définition de la **sensibilité**.

¹**APRONA** : Association pour la Protection de la Nappe phréatique d'Alsace.

²**GREPPAL** : Groupe Régional Eau et Produits Phytosanitaires Alsace

³**SAGE** : Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux

⁴**CORPEN** : Comité d'Orientation pour des Pratiques agricoles respectueuses de l'Environnement.



ESU = eaux superficielles ; ESO = eaux souterraines

Figure N°10 : Démarche générale pour l'évaluation du risque (in APRONA, 2001).

1ère partie : CARACTÉRISATION DE LA VULNÉRABILITE DES BASSINS VERSANTS.

1. Définition de la méthodologie adoptée

La première étape de ce travail de classification a consisté en une analyse et une appropriation des méthodes existantes suivie de leur adaptation au contexte spécifique de la région d'Alsace.

Cette phase de travail s'est déroulée en plusieurs temps :

- Identification et analyse des documents supports (grands principes, critères à prendre en compte, méthodes de croisement des informations) ;
- Identification des sources de données disponibles pour réaliser le diagnostic ;
- Délimitation d'une zone et d'une échelle d'étude adaptées à l'objectif du projet et à la démarche suivie (taille et délimitation des bassins versants à hiérarchiser).

1.1. Bases pour la définition d'une méthodologie

Divers documents ont servi de base au travail pour l'élaboration de la méthodologie.

1.1.1. Documents supports

Plusieurs documents supports ont été mis à disposition du GREPPAL afin de mener à bien ce travail de recherche.

De l'analyse de ces supports ressortent donc deux documents essentiels : le travail réalisé dans le Beaujolais (région située au nord de Lyon en France, qui s'étend dans le nord du département du Rhône) et celui effectué par le 4^e CORPEN.

La démarche globale y est assez similaire et ils sont complémentaires.

1.1.2. Grands principes de la démarche retenue

La démarche employée pour le diagnostic a été développée autour de quatre grands principes:

- La première étape de l'analyse repose sur l'identification, au moins qualitative, des phénomènes d'**écoulements prédominants** dans le sol et le sous-sol : les « chemins de l'eau » ;
- La distinction des phénomènes touchant les **eaux superficielles** de ceux touchant les **eaux souterraines**, et donc de traiter les deux ressources séparément ;
- Dans l'analyse des bassins versants où les deux ressources sont présentes, il faut tenir compte de la probable répartition des flux d'eau entre les deux ressources, aboutissant à une première gradation : celle-ci devra refléter les **niveaux d'exposition** relatifs à une pollution potentielle par les produits phytosanitaires ;
- Enfin, il faudra distinguer les **grandes périodes climatiques** identifiables au cours d'une année, leurs caractéristiques pluviométriques en particulier (intensité et durée des précipitations), influençant significativement les phénomènes d'écoulements, tout comme les pratiques en matière de produits phytosanitaires (périodes de traitements).

Il a été retenu ainsi de faire intervenir très tôt dans l'analyse les distinctions proposées et de réaliser, pour chaque période climatique identifiée, un diagnostic pour les eaux superficielles, d'une part, et un diagnostic pour les eaux souterraines, d'autre part. On aboutit ainsi, au moins dans un premier temps, à plusieurs zonages distincts correspondant à chacune de ces situations.

Quelques définitions utiles

Pour comprendre cet enchaînement des étapes, quelques définitions terminologiques s'imposent (*d'après C. TOUTAN, 2001. Diagnostic du risque de pollution des eaux superficielles par les produits phytosanitaires : typologie des bassins versants du Beaujolais viticole*) :

La vulnérabilité s'applique ici à la ressource en eau et représente son aptitude à être atteinte par une pollution.

Elle est fonction des facteurs du milieu, qui déterminent les grands types de circulation de l'eau identifiés à l'échelle de la parcelle puis du territoire, et de l'occupation de ce territoire décrite en grands types liés à la probabilité d'usage ou non de produits phytosanitaires.

La dilution, ou encore le pouvoir de dilution, correspond à la capacité de la ressource à « diluer » une pollution.

La **sensibilité** s'applique également à la ressource en eau et caractérise son aptitude à extérioriser une pollution.

Les **pratiques** mentionnées ici sont celles relatives à l'utilisation de produits phytosanitaires, aussi bien en usage agricole que non agricole, en milieu urbain par exemple (entretien des espaces verts ou de la voirie, jardins d'agrément, jardins potagers privés...).

Ces pratiques, selon leurs caractéristiques et leur intensité, exercent une certaine **pression polluante** sur le milieu et la ressource.

L'**aléa** est l'occurrence, c'est à dire la probabilité que l'événement défavorable (un phénomène de pollution due aux produits phytosanitaires) se produise.

Les **enjeux** découlent de l'importance que l'on va accorder à la ressource et illustrent le niveau de gravité de la pollution compte tenu de ses conséquences potentielles pour la collectivité.

Enfin, le **risque** résulte de « la combinaison, d'une part, de la probabilité qu'un événement défavorable se produise - ou aléa - et, d'autre part, de la gravité de ses conséquences - ou enjeux » (définition de la Commission Européenne).

1.1.3. Critères à prendre en compte et méthode de croisement des données

La démarche globale implique la prise en compte d'un certain nombre de grands thèmes (*Figure N°10*) :

- ❖ le **climat** (distinction de périodes climatiques) ;
- ❖ le **sol et le sous-sol** (facteurs du milieu déterminant les grands types d'écoulements, soit les chemins suivis par l'eau, en surface ou en profondeur)
- ❖ les caractéristiques de bassin (facteurs déterminant les chemins suivis par l'eau au niveau territorial, à l'échelle du bassin versant, caractéristiques hydrologiques intervenant dans la dilution) ;
- ❖ l'**occupation du sol** : ses caractéristiques ainsi que les pratiques en termes de phytosanitaires.

Pour chacun de ces thèmes, le nombre et la nature des critères intervenant à chacune des étapes peuvent malgré tout encore varier selon les études et il est donc important de bien réfléchir sur le choix de ces critères. Il va déterminer, entre autres, la précision du résultat obtenu.

Ce choix va tenir compte de:

- L'**importance relative**, estimée a priori, **de chaque critère**, telle qu'elle apparaît au travers de l'analyse comparative des différents documents supports et d'après ce que l'on connaît des spécificités du territoire.
- La **disponibilité des informations** permettant de les renseigner, qui détermine dans quelle mesure on va pouvoir tenir compte du critère en question avec une bonne fiabilité.

L'analyse comparative des différents documents fait ressortir, au sein de chacun des grands thèmes, des critères a priori incontournables, intervenant dans toutes les études, et des critères pris en compte de façon moins systématique, voire de manière plutôt « anecdotique » pour certains.

Ainsi, l'analyse de la vulnérabilité, fait intervenir de nombreux critères.

1-1-3-1-Critères intervenant dans l'analyse de la vulnérabilité

☞ Tout d'abord, la définition des grands types de circulation d'eau revient à étudier la répartition des écoulements suite aux précipitations, entre ruissellement de surface et infiltration (avec possibilité de phénomènes conjugués, ou cas mixtes). Il faut donc pour cela déterminer la sensibilité des sols aux écoulements de surface ainsi qu'évaluer la capacité des sols et du sous-sol à laisser l'eau s'infiltrer en profondeur.

Les critères incontournables dans ce cas semblent être :

- La sensibilité des sols à la **battance** ;
- la **filtrance**
- La présence de phénomènes d'**hydromorphie** ;
- La présence d'une **rupture de perméabilité** en profondeur ;
- La **perméabilité du substrat géologique**.

A été ajoutée également la **pente**, comme facteur déclenchant des écoulements de surface.

Enfin, la prise en compte de la **perméabilité des horizons supérieurs** du sol en complément de la sensibilité des sols à la battance.

☞ Au-delà, il faut également tenir compte des facteurs pouvant faciliter l'accès des flux d'eau à l'une ou l'autre des ressources, aggravant ainsi sa vulnérabilité, ou, dit autrement, tenir compte des caractéristiques des transferts à l'échelle du bassin versant.

Pour les eaux superficielles, la **densité du réseau hydrographique** semble être le critère incontournable à ce niveau. Cependant, du fait de son importance dans certains secteurs du territoire alsacien, la **densité du réseau de drainage agricole** a également été retenue comme facteur discriminant.

De plus, la même analyse doit être conduite pour les transferts en profondeur, d'où l'intérêt des **caractéristiques de la zone non saturée**.

L'analyse de la sensibilité, nécessite de déterminer un pouvoir de dilution : l'abondance des **précipitations** et les **caractéristiques hydrologiques des cours d'eau** comme des **eaux souterraines** devront alors être étudiées.

☞ Enfin, la définition de l'**aléa** s'appuie sur une description des pratiques en matière de produits phytosanitaires.

Les **quantités utilisées** en milieux agricole et non agricole et les **périodes de traitements** semblent indispensables à l'analyse.

NB : Cette étape ne fait pas partie de l'étude que nous menons dans la MITIDJA, du fait de l'indisponibilité de ce type d'information.

1-1-3-2 Méthodes de croisement des critères de vulnérabilité

Il faut ensuite associer ou croiser ces critères selon un modèle d'analyse résultant d'une bonne compréhension et d'une bonne représentation des phénomènes en cause, et adapté aux objectifs assignés à l'étude, ceci afin d'obtenir la caractérisation des bassins versants désirée. De la lecture des documents ressort l'existence de différents modes de croisement possibles : ils sont au nombre de trois et présentent tous leurs avantages et leurs inconvénients.

✍ Les **méthodes de scores ou d'indices** mettent en oeuvre une simple conjonction de données (superposition ou croisement de couches d'informations dans le cas d'un SIG), avec ou non attribution de scores, ou coefficients de pondération, aux différents critères étudiés. Elles reposent sur une connaissance qualitative, et non quantitative, des processus en jeu.

✍ Les **modèles mécanistes**. Ils permettent de simuler les processus et peuvent ainsi être considérés comme plus objectifs. Cependant, ils demandent généralement un grand nombre d'informations.

✍ Les **méthodes statistiques** reposent sur la détermination de relations statistiques entre critères et résultats, via des processus supposés mais non décrits.

Dans ce cas d'étude, du fait du temps imparti limité à quelques mois, de la disponibilité parfois limitée des données nécessaires et d'un objectif limité à une hiérarchisation ou un classement relatif des bassins versants, la première méthode a été retenue par l'équipe de travail pour la suite du travail.

1.2. La disponibilité des données comme principale limite

En effet, mis à part les cas favorables où des données « de qualité » existent, trois cas de figure se sont présentés :

- La mobilisation de données supplémentaires simples aurait été possible pour certains critères avec un peu plus de temps (un certain nombre de données étant d'ores et déjà disponibles) ; dans ce premier cas de figure, on retrouve les **données climatiques**.

- À l'opposé, pour certains autres, il existe de véritables lacunes et des « campagnes pour l'acquisition des données nécessaires (enquêtes, mesures...) pourraient être indispensables à la poursuite du travail (selon le niveau de précision désiré) ;

On citera dans ce cas certaines **données sur les sols, le sous-sol et les pratiques** en matière de produits phytosanitaires.

La perméabilité quant à elle semblant plus difficile à renseigner simplement et précisément à partir des données existantes ; elle a été approchée par la « **filtrance** » de l'horizon superficiel ; qui dépend de la texture, du pH et/ou de la pierrosité du sol et illustre la possibilité qu'a le flux d'eau de s'infiltrer au travers du premier horizon de sol au-delà de la couche la plus superficielle du sol.

De même, ils se sont contentés, pour caractériser la zone non saturée, d'une approximation de son **épaisseur** (influençant directement les temps de transfert).

Enfin, en ce qui concerne les pratiques, le manque de données disponibles pour les activités non agricoles ils se sont contentés de travailler sur des programmes de traitements moyens, par grands types de cultures en tenant compte d'avis d'experts. Les **enjeux** peuvent également être rattachés à cette catégorie.

- Entre les deux extrêmes, certaines données sont mobilisables indirectement, moyennant quelques traitements préalables plus ou moins complexes, ou demandent des mises à jour. Ce cas de figure, concerne les **données sur les sols** et sur **l'occupation du sol**. La principale source de données en matière de *sols* a été *la Base de données sur les sols d'Alsace au 1/100 000* gérée par l'ARAA¹, associée aux *Guides des sols* édités par la Région Alsace.

Pour ce qui est de *l'occupation du sol*, les données spatialisées les plus récentes qui ont été utilisées pour la vulnérabilité sont celles de *CORINE Land Cover* de l'IFEN² datant, pour la région Alsace, de 1990/1991, avec interprétations d'images satellites .

1.3. Choix d'une échelle d'étude adaptée

Le terme « **bassin versant** » utilisé en Alsace ne correspond pas toujours à des bassins versants au sens hydrologique du terme. Le choix de l'échelle d'étude dépend à la fois des objectifs du projet et de la démarche choisie, à savoir des critères renseignés et de leur résolution.

De ce fait, l'échelle (fonctionnelle) choisie est celle du bassin versant ; reste à déterminer la taille et la délimitation des bassins versants étudiés.

-Il est basé, tout d'abord, sur le découpage le plus fin de la **base de données hydrographique**,

-Dans un second temps, les bassins versants localisés pour partie en **forêt**, considérer comme quasi indemne de risque phytosanitaire ; ainsi que les bassins amont, n'ont pas été traités.

-Enfin, en zone de plaine, un dernier redécoupage a été nécessaire, en tenant compte, d'une part, des différentes **zones d'alimentation de la nappe** et, d'autre part, de la **densité du réseau hydrographique**.

¹**ARAA** : Association pour la Relance Agronomique en Alsace.

²**IFEN** : Institut Français de l'Environnement.

Ainsi, dans le cas de l'Alsace l'étude a porté sur **32 bassins versants**, mais dans le cas de notre étude on se contentera d'appliquer cette méthode a trois sous bassins de la plaine de la Mitidja.

2. Démarche et principes retenus pour l'évaluation de la vulnérabilité des bassins versants alsaciens vis-à-vis des produits phytosanitaires

La première étape a consisté à déterminer la **vulnérabilité** des bassins versants, selon la démarche présentée dans la **Figure N°11**.

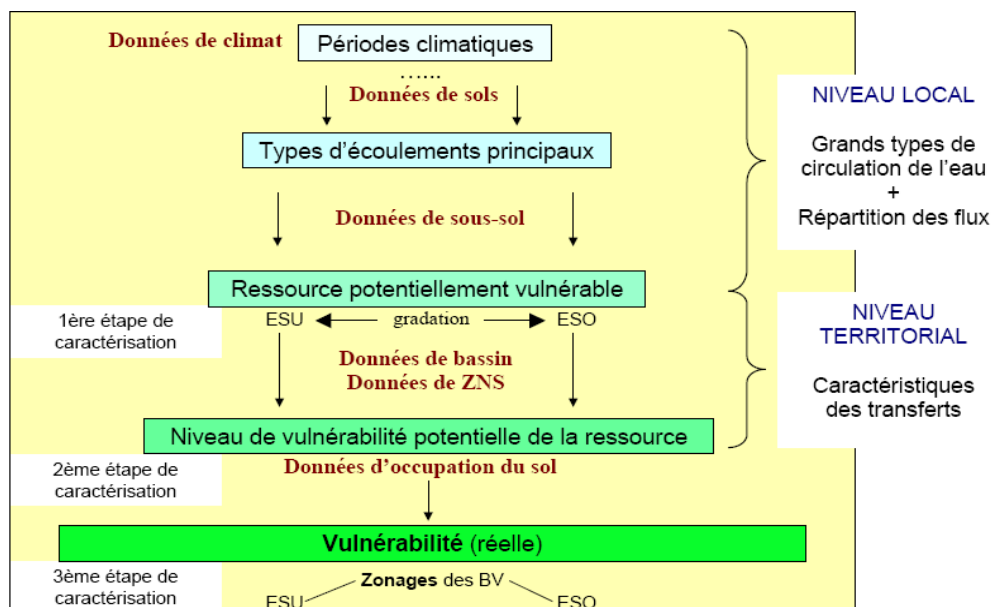


Figure N°11 : Démarche pour l'évaluation de la vulnérabilité (GREPPAL 2003/APRONA, ARAA).

L'analyse de la vulnérabilité a été conduite en trois phases principales

- **1ère phase :** évaluation du **niveau potentiel « d'exposition »** à une pollution des eaux superficielles, d'une part, et des eaux souterraines, d'autre part. Elle est tirée de l'étude de la répartition des flux entre les ressources selon les différents modes d'écoulements possibles ;
- **2ème phase :** évaluation du niveau de **vulnérabilité potentielle** de chacune des ressources en eau. Elle découle de la prise en compte des temps de transferts des flux d'eau vers la ou les ressource(s) exposée(s). Un temps de transfert plus long sera considéré comme un facteur favorable car il facilite l'adsorption ou la dégradation des molécules avant qu'elles n'atteignent la ressource. Il diminue ainsi le niveau de vulnérabilité potentielle ;
- **3ème phase : caractérisation de la vulnérabilité et zonage.** La vulnérabilité dite potentielle est modulée par l'occupation du sol, qui, selon les cas, peut donner lieu à des émissions de produits phytosanitaires ou constituer un rempart aux fuites.

Cependant, avant toute chose, il est nécessaire d'effectuer une **distinction des périodes saisonnières**.

En effet, selon la saison, le comportement des sols sous l'impact des précipitations peut s'avérer différent, entraînant des phénomènes spécifiques d'écoulements et de circulation des flux d'eau. Ces variations de comportement ont deux origines principales :

- les caractéristiques mêmes du **climat** régional;
- le **couvert végétal** en place.

Dans le cas Alsacien ; l'analyse conjointe de ces deux déterminants met en évidence deux périodes essentielles, se différenciant principalement par le type de précipitations, caractéristiques d'un **climat semi continental**.

Il s'agit, d'une part, du printemps et de l'été, d'avril à août, avec des **précipitations intermittentes mais d'intensité moyenne à forte** ou très forte, essentiellement sous forme d'averses et d'orages, et, d'autre part, d'une période à tendance hivernale, le reste de l'année, avec des **précipitations d'intensité plus faible** mais plus **continues** dans le temps.

Une fois les deux périodes d'étude fixées, on procèdera au développement des différentes étapes présentées ci-dessus.

2.1. Ressource(s) potentiellement vulnérable(s)

Dans un premier temps, on identifie pour les différents types de sol, les principaux types d'écoulements mis en jeu pour chacune des périodes climatiques distinguées.

Dans un second temps, c'est la ressource destinataire des flux qui est identifiée, à savoir les eaux superficielles ou les eaux souterraines. Dans les cas d'écoulements mixtes, on s'intéressera également au partage des flux entre les deux types de ressources.

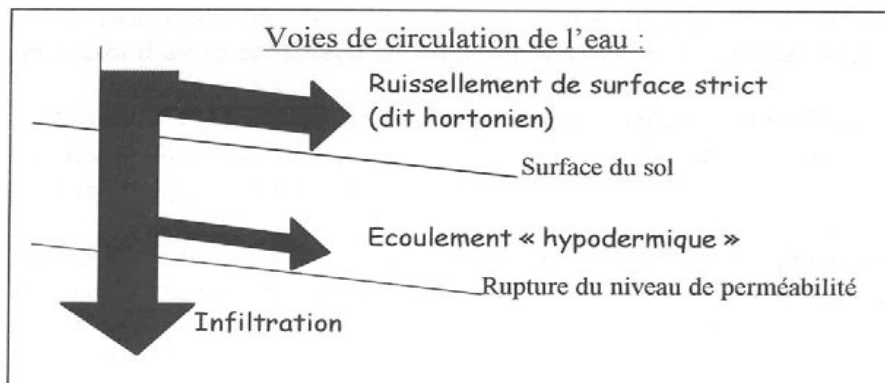
2.1.1. Facteurs déterminants les types d'écoulements principaux et modèles de croisement des facteurs

a) Facteurs déterminants les types d'écoulements principaux

Les types d'écoulements rencontrés sont au nombre de trois : les écoulements latéraux de surface = **ruissellement de surface strict** ; ceux de subsurface = **hypodermiques** ; et les écoulements par **infiltration**. L'apparition de ces écoulements résulte du comportement des sols sous l'effet des pluies. (*Figure N°12*).

Les écoulements dépendent donc essentiellement de la nature des précipitations (fréquence et intensité) et des caractéristiques des sols (favorisant plutôt les écoulements latéraux ou les phénomènes d'infiltration).

Un autre facteur intervient également : la topographie. En effet, d'après les experts, la valeur de la pente joue un rôle déterminant dans le déclenchement des phénomènes de ruissellement.



Source : Groupe Phytoprat, CORPEN

Figure N°12 : Type d'écoulements de l'eau dans le sol (In GREPPAL 2003/APRONA, ARAA).

a.1) Le facteur précipitations

- **Période orageuse printemps/été** : Pluies intermittentes intenses, favorisant l'apparition d'écoulements latéraux ;
- **Période hivernale** : Pluies continues modérées, plus favorables à l'infiltration.

a.2) Le facteur pente

Les experts s'accordent pour avancer la valeur de 5 % de pente comme seuil de déclenchement du ruissellement en cas de pluies modérées (et d'autant plus en cas de pluies fortes de type orageux). A l'inverse, pour les cas de pluies intenses sur sol encroûté, nous retiendrons le seuil de 2 %, pour lequel des études réalisées en Alsace confirment l'existence de ruissellement (Spechbach, ARAA, ITCF, INRA, 1999).

L'analyse se basera donc sur 4 classes de pentes:

Classe 0-2 % : faible probabilité de ruissellement de surface strict (partie centrale de la Mitidja).

Classe 2-5 % : ruissellement en cas de pluies intenses ou sur sol très peu filtrant (bordures Nord et Sud de la Mitidja).

Classe 5-10 % : ruissellement même en cas de pluies modérées (sur les flancs de l'Atlas Blideen).

Classe > 10 % : ruissellement obligatoire (sur les flancs de l'Atlas Blideen)

a.3) Les facteurs liés au sol

En ce qui concerne les sols, de nombreux critères vont intervenir :

- La sensibilité des sols à la **battance** ;
- La **filtrance** de l'horizon superficiel ;
- L'hydromorphie ;
- La présence d'une **rupture de perméabilité**.

a.3.1) Sensibilité des sols à la battance

La battance est le « phénomène par lequel les premiers centimètres du sol se désagrègent sous l'action des pluies. Les gouttes d'eau délitent les agrégats de sol par effet d'impact. La porosité du sol est progressivement comblée » par les éléments fins du sol qui s'y accumulent, jusqu'à apparition d'une croûte de sol appelée croûte de battance ou croûte structurale. « L'infiltrabilité du sol est alors nulle et l'eau s'accumule en surface ».

Combinée à une pente plus ou moins forte, la battance peut ainsi être à l'origine d'un phénomène de ruissellement en surface.

Dans un premier temps, on a calculé un indice de battance (IB) pour chaque UCS répertoriées sur l'ensemble du secteur renseigné. Ce sont les teneurs en argile (A), limons (LF et LG) et matière organique (MO), et le pH associés à la première strate de sol qui ont été utilisés pour le calcul de l'indice selon la formule suivante (BAIZE *et al.* 1988. INRA de Laon) :

$$\text{Si } \text{pH} < \text{ou} = 7, \text{ IB} = (1,5 \text{ LF} + 0,75 \text{ LG}) / (\text{A} + 10 \text{ MO}).$$

$$\text{Si } \text{pH} > 7, \text{ IB} = [(1,5 \text{ LF} + 0,75 \text{ LG}) / (\text{A} + 10 \text{ MO})] - 0,2 (\text{pH} - 7).$$

Les valeurs obtenus seront ensuite comparés à un classement de battance ; adapté au cas Alsacien, et prenant en considération les aspects agropédologique du sol en question.

Tableau N°5: Définition des classes de battance.

Indices de battance	Classes de battance
IB < 1,4 1	Sol non battant
1,4 < IB < 1,6 2	Sol peu battant
1,6 < IB < 1,8 3	Sol assez battant
1,8 < IB < 2 4	Sol battant
IB > 2 5	Sol très battant

a.3.2) Filtrance

Dans le cas où l'état de surface du sol n'est pas battu, la « filtrance » peut se définir comme une approximation de la capacité du sol à permettre l'infiltration de l'eau au travers des premiers centimètres.

La filtrance dépend essentiellement de la texture du sol. Ainsi, une première approximation des classes de filtrance du sol peut être obtenue à partir de la détermination de sa texture de surface (BAIZE, 1988), selon les correspondances présentées ci-dessous :

Tableau N°6: Première approche des classes de filtrance d'après les classes de texture utilisées dans l'étude « Beaujolais ».

Classes de texture	Classes de filtrance
S, SL, LLS	1 : Sol très filtrant
LL, LLS (avec L > 65 %), LM, LMS, LS, L, SLA	2 : Sol filtrant
SA, SAL, LSA, LAS, LA (avec A < 22 %)	3 : Sol peu filtrant
ALO, AS, A, AL et SA, LSA, LAS, LA (avec A > 22 %)	4 : Sol à très grand risque d'asphyxie, non filtrant

D'après : BAIZE, D., 1988. Guide des analyses courantes en pédologie. INRA. (In GREPPAL 2003/APRONA, ARAA)

Légende : S = sableux ; L = limoneux ; LM = limon moyen ; A = argileux ; O = organique

Cependant, dans le cas des sols Alsaciens, cette correspondance ne suffit pas et elle peut être modulée en fonction d'autres caractéristiques pédologiques afin de tenir compte des spécificités régionales. Ainsi, cette première classification peut être affinée selon les modalités suivantes (dans la limite des 4 classes prédéfinies) :

- Sols calcaires : diminution de la note de filtrance de 2 classes ;
- Sols calciques : diminution de la note de filtrance d'1 classe ;
- Sols décarbonatés : pas de changement ;
- Sols caillouteux : diminution d'une à deux classes selon les cas.

a.3.3) Hydromorphie

L'hydromorphie du sol va également jouer un rôle dans la détermination des types d'écoulements. En effet, les sols hydromorphes sont plus rapidement sujets à la saturation et peuvent ainsi induire des phénomènes de ruissellement dits par refus d'infiltration.

Pour simplifier la prise en compte opérationnelle de ce facteur, seule la définition de deux classes d'hydromorphie a été considérée par l'équipe Alsacienne. Selon le Référentiel Pédologique Français (RPF), une hydromorphie significative correspond à l'apparition de gleys ou pseudogleys à une profondeur inférieure ou égale à 40 cm . (Qui a été élargie jusqu'à 50cm pour prendre en considération certains secteurs particuliers posant des problèmes d'hydromorphie).

Cette définition a donc suffi pour caractériser les sols renseignés par la Base de données sur les sols d'Alsace en classes de sols **hydromorphes** ou **non hydromorphes**.

a.3.4) Présence d'une rupture de perméabilité

Enfin, la présence d'une rupture de perméabilité en profondeur va être elle aussi déterminante. Empêchant ou limitant l'infiltration, la présence d'un niveau imperméable ou peu perméable va en effet déclencher un écoulement latéral de type hypodermique.

Ce niveau peut être constitué d'un véritable plancher imperméable (ex : marnes) ou d'un horizon argileux à profondeur variable. Si la profondeur importe peu dans le premier cas, dans le second cas, on considérera qu'il y a effet significatif lorsque l'horizon apparaît à une profondeur inférieure ou égale à 60 cm.

Là encore, l'équipe s'est contentée de ne prendre en compte que deux classes:

- **Absence de rupture de perméabilité,**
- **Présence d'une rupture de perméabilité.**

a. 4) Les facteurs liés au sous-sol

Dès qu'il y a phénomène d'infiltration, ce sont les deux types de ressources, eaux de surface ou eaux souterraines, qui peuvent être touchées.

a.4.1) Perméabilité du substrat géologique

En effet, La perméabilité du substrat géologique va être déterminante, permettant ou non au flux infiltré à travers le sol de rejoindre les eaux souterraines : si la perméabilité du substrat est suffisante, l'infiltration pourra se poursuivre, sinon, le substrat jouera un rôle similaire à celui d'une rupture de perméabilité et il y aura alors écoulement de type hypodermique vers les eaux superficielles, avec un temps de transfert accru.

Ainsi ont pu être distinguées les trois types de substrat susceptible d'être rencontrés en profondeur :

- **substrat perméable,**
- **semi-perméable,**
- **imperméable.**

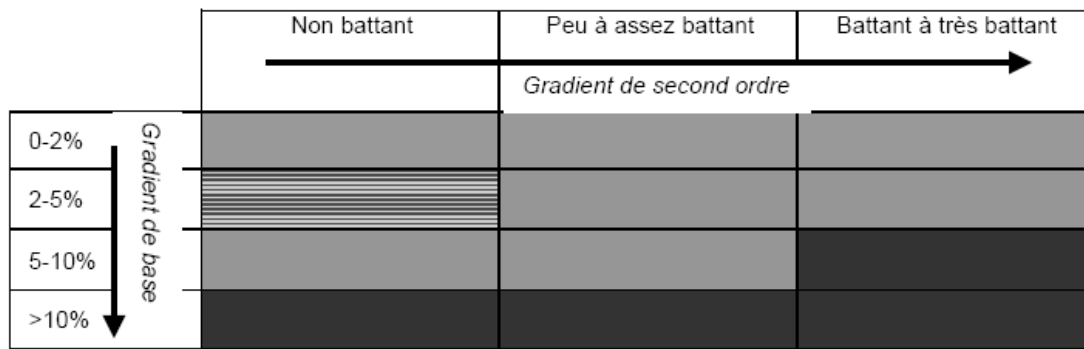
b) Modèle de croisement des facteurs (*exemple Figure 13 et Figure 14*)

Une fois les différents critères intervenant sont identifiés et spatialisés, les croisements seront ainsi possibles.

Identification des situations favorables aux écoulements de surface strict :

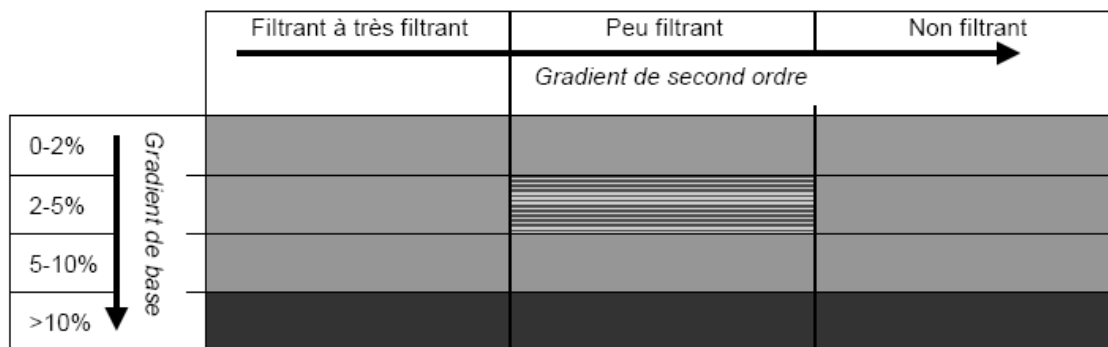
Premier croisement : celui aboutissant à la définition de la sensibilité du sol aux écoulements de surface « stricts ». On croise pour cela, d'une part, la battance et la pente, pour la période orageuse du printemps et de l'été, et, d'autre part, la filtrance et la pente, pour la période hivernale.

Tableau N° 7 : Croisement des classes de pentes et de battance (Printemps/été).



(GREPPAL 2003/APRONA, ARAA)

Tableau N° 8 : Croisement des classes de pentes et de filtrance (Période hivernale).



(GREPPAL 2003/APRONA, ARAA)

Légende :

- Sol non sensible aux écoulements de surface « stricts »
- Sol moyennement sensible aux écoulements de surface «stricts »
- Sol sensible aux écoulements de surface « stricts »
- Sol très sensible aux écoulements de surface « stricts »

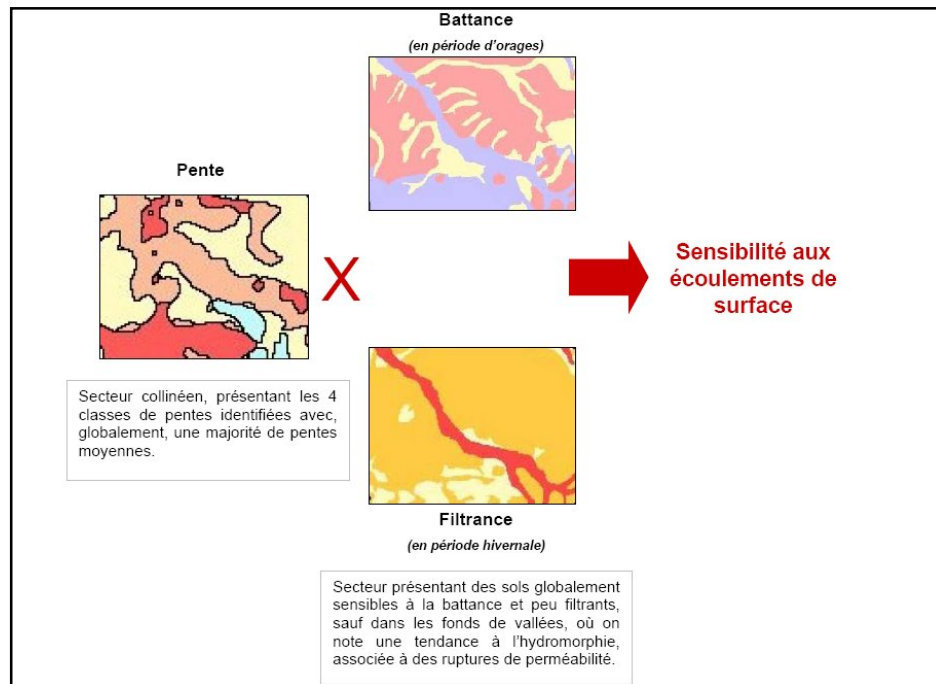


Figure N°13 : Exemple de croisement Battance /Filtrance dans le Sol Alsacien (GREPPAL 2003/APRONA, ARAA).

❖ Identification des écoulements au sein du sol :

Second croisement : s'il y a infiltration de l'eau dans l'horizon de surface, interviennent ensuite la prise en compte successive de l'hydromorphie et de la rupture de perméabilité.

Ainsi, l'équipe GREPPAL 2003/APRONA, ARAA, considère, pour la période orageuse et plutôt sèche du printemps et de l'été, des précipitations d'intensité relativement importante frappant des sols plutôt secs, à réserve utile assez largement entamée par la végétation en place. La saturation en eau sera donc atteinte plus lentement et ils ont tenu compte de la reconstitution de la réserve utile.

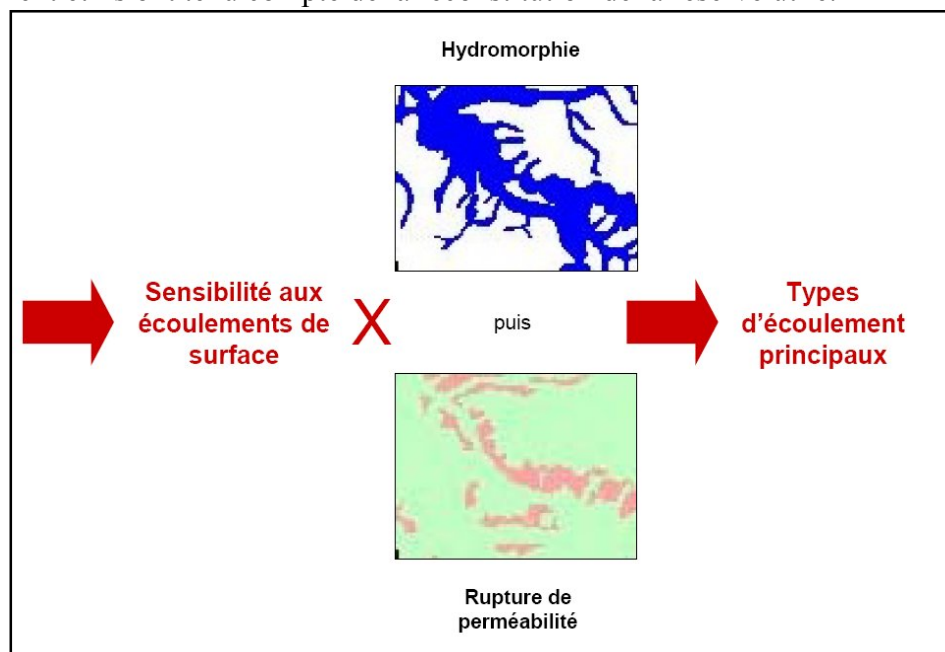
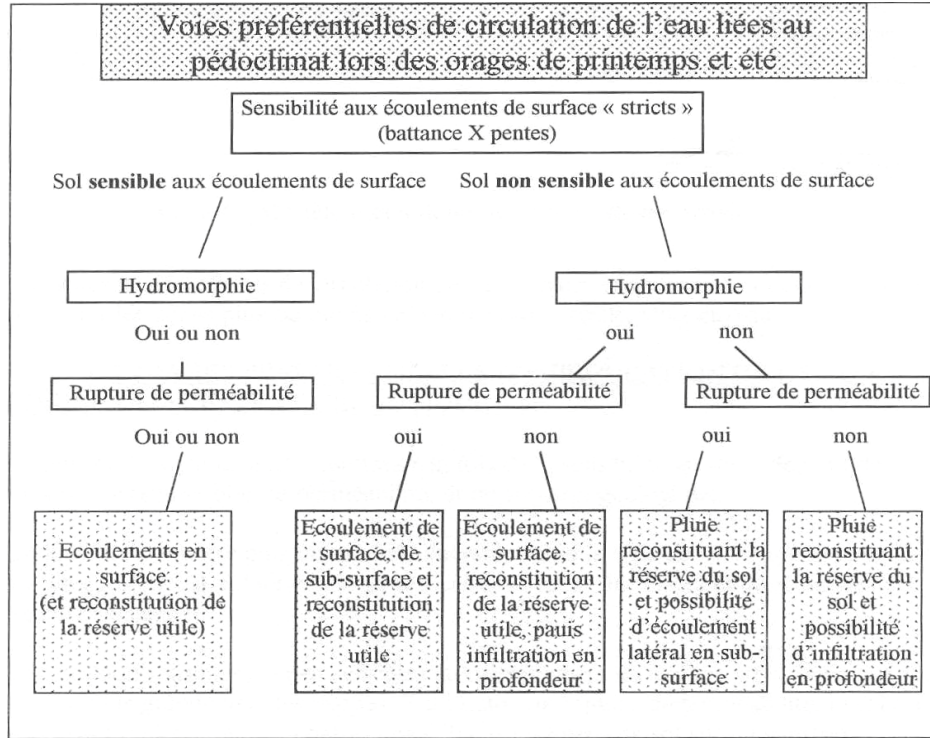


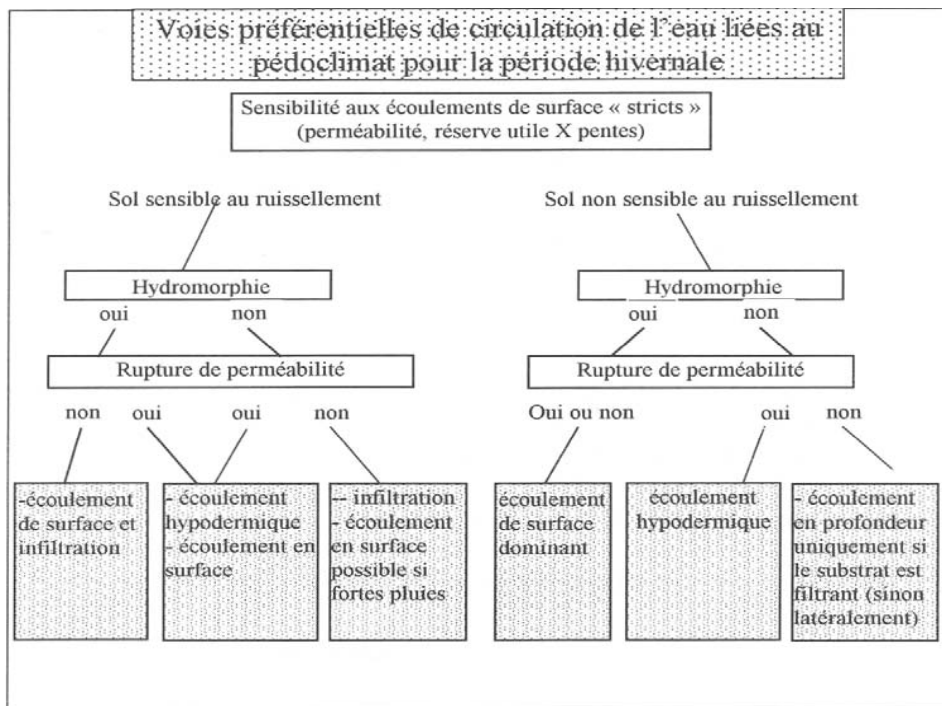
Figure N°14 : Exemple de croisement Hydromorphie /Rupture de perméabilité dans le Sol Alsacien. (GREPPAL 2003/APRONA, ARAA).

Au contraire, en période hivernale, les précipitations, de type plus modéré mais continues, touchent un sol déjà humide, avec un réserve plus remplie, pour lequel l'engorgement est plus facilement atteint du fait de pluies à répétition. Les différents scénarii en découlant, mettant en évidence les voies préférentielles de circulation de l'eau, selon les périodes et les différents critères, sont résumés dans les *figures N° 15 et N°16*.



source : D'après CORPEN, 1999.

Figure N°15 : Modes d'écoulements en période d'orages. (GREPPAL 2003/APRONA, ARAA).



source : D'après CORPEN, 1999.

Figure N°16 : Modes d'écoulements en période hivernale. (GREPPAL 2003/APRONA, ARAA).

Remarque

Pour les sols moyennement sensibles aux écoulements de surface, il a été choisi de combiner les résultats obtenus pour les sols sensibles et les sols non sensibles. On obtient alors essentiellement des écoulements mixtes (ex : sol moyennement sensible, hydromorphe, sans rupture de perméabilité = écoulement de surface et reconstitution de la réserve utile d'une part, écoulement de surface et reconstitution de la réserve utile puis infiltration d'autre part).

2.1.2. Répartition des flux et ressource(s) exposée(s)

Connaissant, les principaux types d'écoulement en jeu, il est possible d'en déduire la ressource en eau qui pourrait être principalement touchée dans le cas d'une pollution éventuelle.

Ainsi, dans les cas d'écoulements strictement de surface ou de subsurface, se sont les eaux superficielles qui seront potentiellement vulnérables. A l'inverse, dans les cas d'écoulements par infiltration stricte, ce sont, a priori, les eaux souterraines qui seront alors les plus exposées. Dans les cas d'écoulements mixtes, les deux ressources pourront être touchées. Il est alors nécessaire d'étudier la répartition des flux entre chacune des ressources afin d'évaluer leurs « niveaux d'exposition » respectifs.

Dans tous les cas, ce **niveau d'exposition peut être matérialisé par l'affectation à chacune des ressources en eau d'une note de 0 à 4**, la somme des deux notes étant toujours égale à 4, illustrant ainsi la répartition du flux entre les deux ressources. Une note de 4 signifie donc que la ressource en question est la seule touchée ; à l'inverse, une note de 0 signifie que la ressource n'est pas exposée. On obtient ainsi une première gradation :

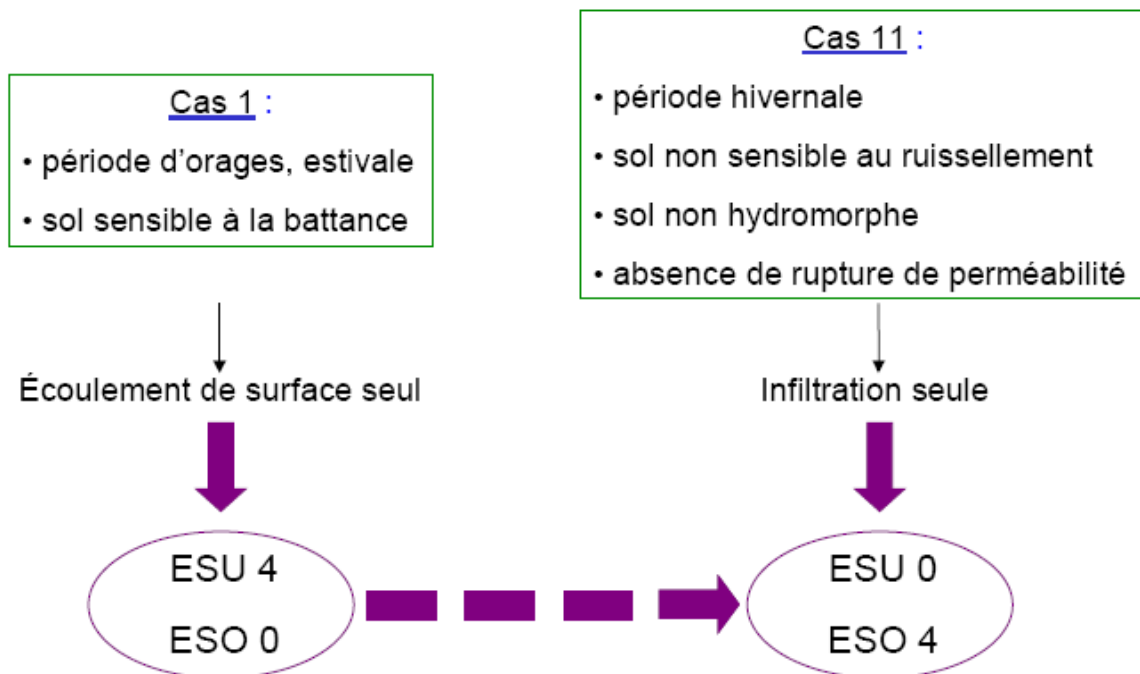


Figure N°17: Gradation des transferts vers les ESU et/ou les ESO : présentation des deux cas extrêmes (GREPPAL 2003/APRONA, ARAA).

Entre les deux cas extrêmes, on retrouvera tous les cas intermédiaires correspondant à des écoulements mixtes. Les notes ont été donc attribuées au cas par cas, selon les types d'écoulements mentionnés et leur fréquence (ex : écoulement de surface + écoulement de subsurface + infiltration = ESO1 ESU3, les écoulements de surface étant majoritaires mais pas « exclusifs »).

A noter que la reconstitution de la réserve utile « piège » une partie du flux qui, de ce fait, sans forcément aboutir aux eaux souterraines, n'atteindra pas les eaux superficielles. Sa prise en compte diminue donc la note des eaux superficielles mais son impact reste moindre que celui de l'infiltration (« pondération » - ex : écoulement de surface + infiltration = ESO 2 ESU 2 mais écoulement de surface + reconstitution de la réserve utile = ESO 1 ESU 3).

Les résultats en termes d'écoulements obtenus précédemment sont croisés avec les classes de perméabilité du sous-sol :

Tableau N°9: Prise en compte de la perméabilité du substrat géologique pour la caractérisation finale de la vulnérabilité des eaux souterraines. (GREPPAL 2003/APRONA, ARAA).

Situation initiale →	ESO 0 ESU 4	ESO 1 ESU 3	ESO 2 ESU 2	ESO 3 ESU 1	ESO 4 ESU 0
perméable					
semi-perméable					
imperméable					

Légende de situation finale :

	ESO 0 ESU 4
	ESO 1 ESU 3
	ESO 2 ESU 2
	ESO 3 ESU 1
	ESO 4 ESU 0

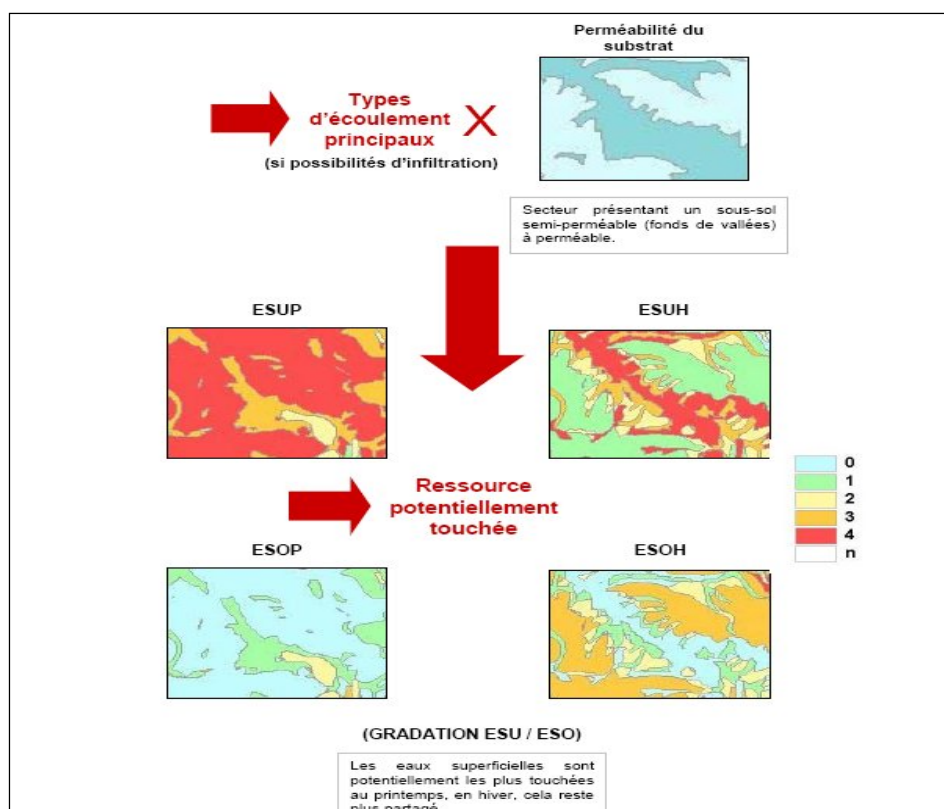


Figure N°18 : Exemple de gradation ESU/ESO et prise en compte de la perméabilité du substrat géologique. (GREPPAL 2003/APRONA, ARAA).

La première étape de caractérisation achevée et l'exposition de chacune des ressources mise en évidence, il va s'agir maintenant d'évaluer le niveau de vulnérabilité potentielle de chacune en fonction des modes de transferts.

2.2. Niveau de vulnérabilité potentielle de la ressource (Figure N°20)

Cette deuxième étape a pour but d'évaluer les possibilités réelles pour les flux identifiés précédemment d'atteindre la ressource correspondante ou plus exactement, la « probabilité » pour que les molécules de matières actives qui y sont potentiellement présentes puissent atteindre et contaminer la ressource.

On étudie pour cela les temps de transfert nécessaires pour atteindre la ressource, en surface et en profondeur.

A noter que les deux ressources seront traitées séparément à partir de maintenant (plus de complémentarité entre les notes attribuées à chacune).

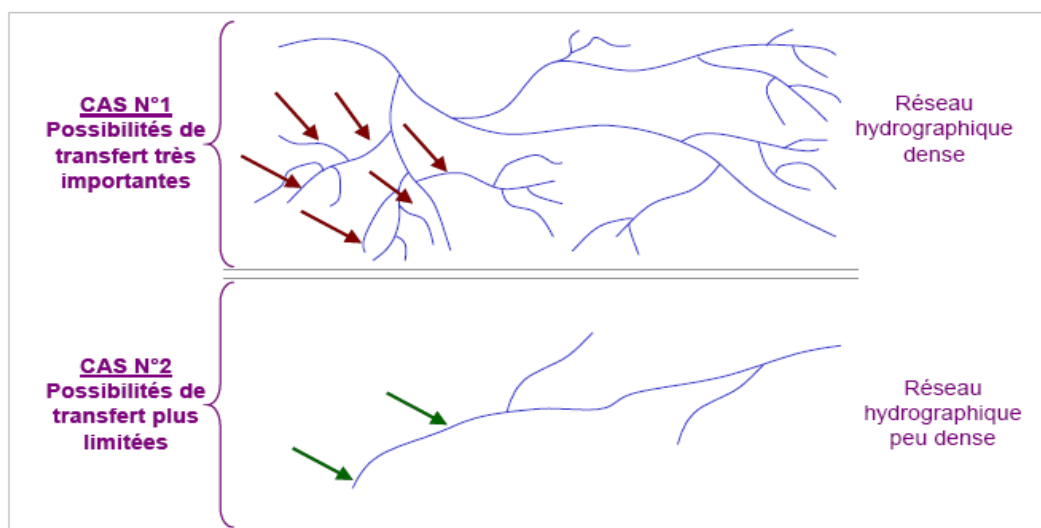
2.2.1. Transfert en surface

Deux critères semblent ici importants pour permettre de juger de la capacité des écoulements latéraux à rejoindre plus rapidement les eaux superficielles :

- La densité du réseau hydrographique ;
- La densité du réseau de drainage agricole.

a) Densité du réseau hydrographique

Les possibilités pour les écoulements de surface ou de proche surface (subsurface) de rejoindre les eaux de surface, à savoir les cours d'eau (de tous types) seront d'autant plus importantes que la densité du réseau hydrographique (permanent, temporaire et artificiel) sera forte (Figure N°19).



**Figure N°19 : Influence de la densité du réseau hydrographique.
(GREPPAL 2003/APRONA, ARAA).**

A partir de la Base de données CARTHAGE des Agences de l'eau en Alsace, a été calculée la densité de cours d'eau en m/km^2 , en rapportant, pour chaque bassin versant, le linéaire de cours d'eau identifié (en m) à la superficie totale du bassin versant concerné (en km^2). On obtient ainsi une cartographie de la densité à l'échelle régionale en 5 classes.

Par souci de simplification, il a alors été décidé de ne garder que deux classes :

- ☞ **0-1100 m/km^2 : sans effet**
- ☞ **1100 m/km^2 : facteur aggravant.**

A été ajouté donc 1 classe de vulnérabilité aux eaux superficielles (dans la limite d'une note maximale de 4), pour les bassins versants concernés (ex : une situation initiale ESO 2 ESU 2 devient ESO 2 ESU 3, mais ESO 0 ESU 4 reste ESO 0 ESU 4).

b) Densité de drainage agricole

Comme la densité du réseau hydrographique étudiée précédemment, la densité du réseau de drainage agricole est un critère global, à l'échelle du bassin versant, et a été donc matérialisée par une note unique par bassin versant.

L'analyse de ce critère s'est alors basée sur les données issues du RGA 2000 (*Recensement Général Agricole*) :

- Calcul du pourcentage de SAU (superficie agricole utile) drainée par commune. (Cartographie selon quatre classes de densité) il faut noter que dans le RGA, les superficies drainées sont rattachées à la commune du siège de l'exploitation agricole, dont la région d'étude (Bassins versants Alsaciens).

- Il a ensuite fallu ramener cela à une densité par bassin, d'où le calcul du pourcentage de chaque bassin versant (en superficie) couvert par des communes drainées pour plus de 20 % de leur SAU (estimées alors comme drainées de manière « significative »).

On obtient alors une cartographie en 4 classes de la densité du drainage (en %), à l'échelle régionale.

Par souci de simplification, il a alors été décidé de ne garder que deux classes :

- ☞ **0 - 20 % : sans effet**
- ☞ **20 % : surface significative, facteur aggravant.**

Une classe de vulnérabilité des eaux superficielles a été ajoutée (dans la limite d'une note maximale de 4), pour les bassins versants concernés (ex : la situation précédente ESO 2 ESU 3 deviendrait ESO 2 ESU 4, mais ESO 0 ESU 4 resterait ESO 0 ESU 4).

2.2.2. Transfert en profondeur

Il est bien évidemment nécessaire de mener le même type d'analyse pour ce qui concerne les écoulements en profondeur, afin de caractériser la facilité avec laquelle les eaux souterraines (la nappe phréatique) vont être atteintes, une fois l'eau infiltrée sous le sol.

Comme nous l'avons vu précédemment, ce sont les caractéristiques de la zone non saturée (ZNS) surplombant la nappe rhénane qui vont ici intervenir. En effet, plus son épaisseur est importante, sa perméabilité faible et sa porosité fine, plus le transfert va être lent et difficile, augmentant les chances de dégradation ou d'adsorption des matières actives.

Par manque d'information quant à ces critères, concernant la région d'Alsace le GREPPAL s'est contenté d'une approximation de l'épaisseur de la ZNS. En s'appuyant sur la carte du Schéma régional d'aménagement des eaux publiée par la Région Alsace en 1990, sur laquelle sont cartographiées les *zones de remontée de la nappe rhénane à moins de 2 m*.

Deux classes ont été prises en considération :

- **Absence de zone de remontée de la nappe Rhénane**
- **Présence d'une zone de remontée de la nappe Rhénane.**

Ce qui fait que ce facteur a été considéré aggravant, augmentant d'un point (dans la limite d'une note maximale de 4) le niveau de vulnérabilité potentielle des eaux souterraines (ex : une situation initiale ESO 2 ESU 2 devient ESO 3 ESU 2, mais ESO 4 ESU 0 reste ESO 4 ESU 0).

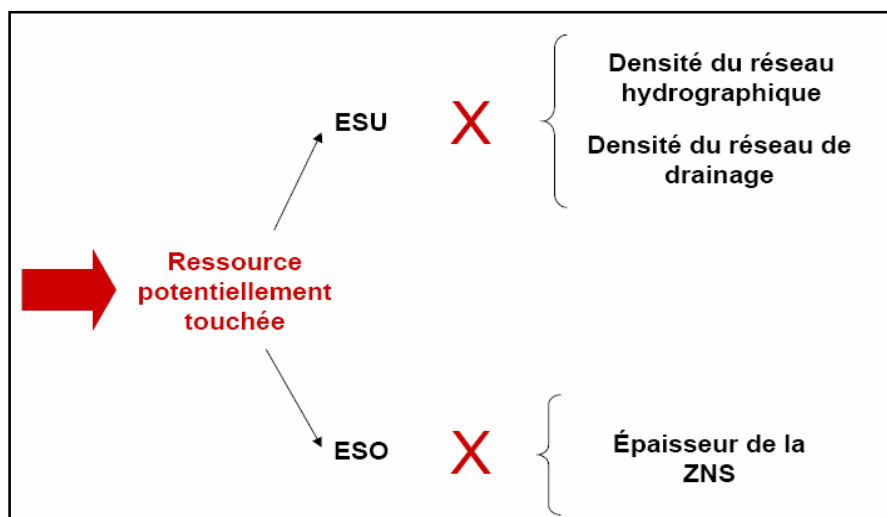


Figure N°20 : Identification du niveau de vulnérabilité potentielle de la ressource. (GREPPAL 2003/APRONA, ARAA).

2.3. Vulnérabilité et zonage des bassins versants

C'est la troisième et dernière étape pour l'obtention d'un zonage des bassins versants vis-à-vis de leur vulnérabilité aux produits phytosanitaires, cette étape se décompose en deux phases.

2.3.1. Influence de l'occupation du sol

La première phase permet de moduler les résultats des étapes précédentes par la nature de l'occupation du sol.

Du fait de la nature des données disponibles, la distinction d'un nombre de classes limitées mais bien spécifiques quant à leur impact sur la vulnérabilité des milieux face aux produits phytosanitaires. Ainsi, selon l'occupation du sol en présence, la vulnérabilité peut être aggravée (occupation du sol défavorable) ou, au contraire, être compensée (occupation du sol favorable et/ou protectrice).

Les terres labourables, sites des cultures annuelles, ou les vignes et vergers (cultures pérennes), du fait des traitements dont ils font l'objet et du peu de protection qu'ils offrent au sol, constituent des secteurs plutôt « sensibles », dont la vulnérabilité va être accrue. A l'inverse, les forêts et prairies, indemnes le plus souvent de traitements phytosanitaires, constituent des zones plutôt favorables, limitant les écoulements et les fuites.

Reste le cas particulier du bâti. Du fait de son extrême hétérogénéité à l'échelle régionale, il est important de le prendre en compte. Cependant, l'impact va être différent suivant la ressource en eau considérée. Il a été donc décidé de considérer le bâti comme un facteur défavorable pour le cas des eaux superficielles et comme un facteur neutre pour les eaux souterraines.

La modulation à la baisse de la vulnérabilité, due à certaines occupations du sol, se matérialise par la diminution d'un point de la note de vulnérabilité, alors que la modulation à la hausse induite, quant à elle, l'augmentation d'un point de cette même note.

5 classes d'occupation du sol ont été retenues :

- **Forêts : modulation à la baisse**
- **Prairies : modulation à la baisse**
- **Vignes et vergers : modulation à la hausse**
- **Terres labourables : modulation à la hausse**
- **Bâti : modulation à la hausse pour les ESU, sans effet pour les ESO**
- **Autres : sans effet.**

2.3.2. Classification des bassins versants et zonage final

Cette phase a pour objectif le calcul d'une note globale de vulnérabilité **par bassin versant** et de classer les bassins afin d'obtenir une cartographie fonctionnelle.

Pour cela, on calcule, pour chaque bassin versant, la superficie occupée par chacune des classes de vulnérabilité (en % de la superficie totale du bassin versant) et ce, pour chacune des situations étudiées (ESUP, ESUH, ESOP, ESOH).

Ensuite, une note globale est déduite par bassin et par situation, en appliquant à chaque pourcentage un coefficient multiplicateur égal à la classe de vulnérabilité correspondante et en faisant la somme de ces valeurs. On obtient ainsi une note de 0 à 400, grâce à laquelle il est possible de hiérarchiser les bassins versants, par situation, du moins vulnérable au plus vulnérable.

ESUP : Eaux Superficielles en période d'orages de Printemps et d'été

ESUH : Eaux Superficielles en période Hivernale

ESOP : Eaux SOuterraines en période d'orages de Printemps et d'été

ESOH : Eaux SOuterraines en période Hivernale.

Mais, afin d'aboutir au zonage final et à la cartographie demandés, les bassins versants ont été subdivisés en 4 classes de vulnérabilité.

On retient alors les classes suivantes :

- 0 – 100 : classe 1
- 100,01–200 : classe 2
- 200,01–300 : classe 3
- 300,01-400 : classe 4

On obtient ainsi 4 cartes illustrant la vulnérabilité des bassins versants, 1 carte par situation, à savoir : ESUP, ESUH, ESOP et ESOH.

Conclusion de la première partie :

A ce stade, le travail réalisé contribue à l'objectif de classification des bassins versants alsaciens vis-à-vis du risque lié à l'utilisation des produits phytosanitaires. L'étude de vulnérabilité des bassins versants été réalisée en deux phases distinctes. La phase préalable d'analyse et de compilation de différents documents traitant de sujets similaires.

La seconde phase de mise en oeuvre concrète de la démarche adoptée a permis d'aboutir à une cartographie en classes de vulnérabilité des bassins versants alsaciens vis-à-vis des risques phytosanitaires.

Le résultat final du travail est un classement relatif de la vulnérabilité des bassins versants vis-à-vis de la pollution diffuse par les produits phytosanitaires, pour 2 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.

Cependant, afin d'obtenir un zonage opérationnel dans le respect des préconisations du CORPEN, il faut s'intéresser aux étapes suivantes du diagnostic et, en premier lieu, à la caractérisation de la sensibilité des bassins versants (alsaciens dans le cas cette étude), qui fait l'objet de la 2^{ième} partie.

2ième partie : DÉTERMINATION DE LA SENSIBILITÉ DES BASSINS VERSANTS AU PRODUITS PHYTOSANITAIRES ET CLASSIFICATION.

1. Introduction à la détermination de la sensibilité

Dans cette 2ième partie, nous allons déterminer la sensibilité des bassins versants, c'est -à dire leur *fragilité effective*, tandis que l'étude de leur vulnérabilité en 1ère partie a permis de traduire la *fragilité intrinsèque* du milieu.

C'est au niveau de la caractérisation de la sensibilité que l'on intègre la notion de dilution potentielle de la ressource par les eaux superficielles et souterraines. Ainsi, un milieu ayant une vulnérabilité donnée aura une sensibilité plus ou moins forte selon que la pollution est susceptible d'être diluée ou non.

2. Détermination de la sensibilité – méthodologie générale

2.1. Méthodologie

Pour la caractérisation de la vulnérabilité, l'équipe GREPPAL 2003/ APRONA, ARAA ; a pu profiter, en partie du moins, des travaux existants, par contre, pour la détermination de la sensibilité, il a fallu mettre en place une méthodologie.

2.2. Calcul de la note de sensibilité

La sensibilité des bassins versants est exprimée par une note de 0 à 400. La note de sensibilité est égale à :

$$Note_Sensibilite = \frac{(Note_Dilution + 2 \times Note_Vulnerabilite)}{3} \dots\dots\dots(*)$$

Sachant que :

La Note de dilution : proportionnelle à l'épaisseur de la nappe phréatique pour les eaux souterraines, et proportionnelle au débit spécifique des cours d'eau à l'exutoire du bassin versant considéré pour les eaux de surface.

La Note de vulnérabilité : calculée en 1ère partie de ce chapitre ; chaque bassin versant possède une note de vulnérabilité comprise entre 0 et 400.

Et la **note de sensibilité** est issue d'une moyenne pondérée entre les notes de dilution et de vulnérabilité.

N.B : l'équipe de chercheurs travaillant sur ce projet, a choisi de donner deux fois plus de poids à la note de vulnérabilité qu'à la note de dilution, car la vulnérabilité exprime la fragilité intrinsèque du milieu, tandis que la dilution ne fait qu'atténuer l'impact de la pollution.

2.3. Représentation cartographique des notes de sensibilité

La représentation cartographique des notes de sensibilité permet de visualiser une hiérarchisation des bassins versants vis-à-vis de leur sensibilité aux produits phytosanitaires.

Cette classification est traduite par 4 classes de sensibilité, dont les limites sont issues d'un traitement statistique des notes de sensibilité concernées, par quartiles. Cette répartition par quartiles permet d'obtenir une répartition des bassins versants en 4 classes de taille égale, contenant chacune ¼ des bassins versants étudiés.

On a choisi ce mode de répartition car il permet une bonne discrimination des bassins versants les uns par rapport aux autres.

Pour enfin obtenir les 4 cartes suivantes :

- **ESUP** = eaux superficielles période estivale ;
- **ESUH** = eaux superficielles période hivernale ;
- **ESUPH** = synthèse eaux superficielles ;
- **ESOPH** = synthèse eaux souterraines.

Pour chaque carte, les valeurs de sensibilité étant différentes, les limites des classes définies par quartiles sont également différentes.

3. Détermination de la sensibilité des eaux de surface

3.1. Détermination de la note de dilution des eaux de surface

Pour les eaux de surface, le facteur « dilution » est exprimé à partir des débits spécifiques des cours d'eau à l'exutoire d'un bassin versant donné.

En rapportant les débits moyens calculés à partir des débits moyens mensuels des cours d'eau pour chaque période (hiver, été) à la surface du bassin versant concerné, nous obtenons des débits spécifiques en périodes estivale et hivernale, pour chacun des bassins versants.

Calcul de la note de dilution :

Un traitement statistique par quartiles sur les débits spécifiques disponibles a permis de répartir ces débits en 4 classes. Chaque classe s'est vue attribuer une note de dilution inversement proportionnelle au débit.

Exemple :

Tableau N°10: Valeurs des quartiles déterminant les limites des classes de notes de dilution.

Note de dilution	Quartiles	Débit spécifique en l/s/km ²		
		été	hiver	Synthèse été/hiver
350	Quartile 1	10,4	17,2	13,8
250	Quartile 2	23,5	32,2	27,8
150	Quartile 3	101,8	167,9	134,9
50	Quartile 4	3252,9	2760,6	3006,8

3.2. Détermination de la note de sensibilité des eaux de surface

En appliquant cette formule (*) vue au chapitre 2.2, nous obtenons des notes de sensibilité qui font l'objet du zonage des bassins versant Alsaciens.

3.3. Synthèse eaux superficielles

Les notes de sensibilité des eaux de surface, toutes périodes climatiques confondues, sont obtenues en effectuant la moyenne des notes ESUP et ESUH.

4. Détermination de la sensibilité des eaux souterraines**4.1. Détermination de la note de dilution des eaux souterraines**

Pour les eaux souterraines, le facteur « dilution » est calculé à partir de l'épaisseur de la nappe Rhénane.

Calcul de la note de dilution :

Les épaisseurs de la nappe ont été réparties en 5 classes d'épaisseurs :

- 0-10 m (rouge)
- 10-25 m (orange)
- 25-50 (jaune)
- 50-100 (vert)
- >100 m (bleu).

Ainsi, on calcule pour chaque bassin versant les surfaces exprimées en % dans chacune de ces 5 classes.

La note de dilution, comprise entre 0 et 400, est une moyenne pondérée calculée de la façon suivante :

$$\text{Note de dilution} = (0 \times \text{surface Bleue}) + (1 \times \text{surf verte}) + (2 \times \text{surf jaune}) + (3 \times \text{surf orange}) + (4 \times \text{surf rouge})$$

On obtient alors, une note de dilution inversement proportionnelle à l'épaisseur de la nappe.

Remarque : Contrairement à la note de dilution des eaux de surface, la note de dilution des eaux souterraines est identique quelle que soit la période climatique considérée.

4.2. Détermination de la note de sensibilité des eaux souterraines

L'application de la formule suivante :

$$Note_Sensibilite = \frac{(Note_Dilution + 2 \times Note_Vulnérabilité)}{3} \dots\dots\dots(*)$$

Permet d'obtenir une note de sensibilité pour chacun des bassins d'étude existant, qui en découle alors, des cartes identiques pour les périodes estivales et hivernales et la présentation donc, pour les eaux souterraines, d'une seule carte synthétique toutes saisons confondues.

5. Synthèse eaux superficielles / eaux souterraines

Il est très complexe de calculer des notes de sensibilité eaux superficielles et eaux souterraines confondues.

Effectuer une simple moyenne des note ESUPH et ESOPH est insatisfaisant tant la sensibilité des eaux de surface aux produits phytosanitaires est différente de la sensibilité des eaux souterraines.

Synthétiser les eaux superficielles et souterraines nécessite de prendre en compte la nature de la relation hydrogéologique existant au niveau du BV concerné, c'est-à-dire alimentation / drainage de la nappe rhénane par les cours d'eau. Or, le manque de données et d'outils de calcul suffisants pour quantifier la relation « nappe / rivières » ne permet au groupe de chercheurs de s'aventurer à faire une synthèse tous types d'eau confondus.

La classification des bassins versants des plus sensibles aux moins sensibles est reprise dans deux *tableaux* où les bassins d'étude sont classés du haut vers le bas des plus sensibles au moins sensibles. Ce rang dépend directement des notes de sensibilité calculées pour chaque bassin.

La définition des 4 classes de sensibilité est basée sur un traitement statistique par quartiles des notes de sensibilité :

- ❖ 1er quartile : sensibilité faible
- ❖ 2ème quartile : sensibilité moyenne
- ❖ 3ième quartile : sensibilité importante
- ❖ 4ième quartile : sensibilité très importante

Conclusion de la 2eme partie

Cette étude est d'une grande utilité pour mettre en garde les autorités ainsi que les utilisateurs potentiels de produits phytosanitaires du risque liées à l'utilisation abusive de ces derniers ; ainsi l'application possible de ces cartes de sensibilité pourrait aider à la décision pour la mise en place de plans d'actions dans les zones les plus sensibles.

Et représenter certainement des documents support pour les services compétents concernant la protection des captages d'alimentation en eau potable.

Introduction

Avant de délimiter la zone d'étude, il est d'usage de la situer d'abord dans son contexte régional que constitue l'ensemble de la vaste plaine de la MITIDJA dans la partie centre de l'ALGÉRIE du Nord.

1. Aspect général sur de la zone d'étude

1.1. Histoire

D'après l'étude réalisée par Julien Franck, la Mitidja, au début de l'ère quaternaire, était une mer intérieure qui fut comblée par les alluvions apportées par les torrents qui descendaient des monts et collines environnants.

Notons qu'il a été trouvé de très nombreuses traces de la période romaine à Oued-El-Alleug, Boufarik...etc.

D'après l'écrivain Edouard Cat., dans son essai sur la province romaine, Son premier nom fut peut-être Matidia ; Le géographe arabe Léon L'Africain, vers 1550, écrit : "La plaine qui entoure El Djezair et que l'on appelle la Metidja, produit un grain en toute perfection ". En 1725, l'historien Laugier de Tassy, dans son livre "histoire du royaume d'Alger ", désigne cette région sous le nom de Mutidja.

En 1830, d'après l'historien Clauzolle, dans son livre : "histoire de la régence d'Alger", édité en 1843, elle est devenue la Metidja.

Nous l'appelons la Mitidja, ce qui, d'après le Colonel Trumelet dans son ouvrage sur Boufarik, édition de 1887, signifie "La Couronnée" ou bien encore : " Celle qui a des couronnes ".

1.2 .Situation géographique de la plaine

La plaine de la Mitidja est située juste au Sud d'Alger (**Figure N°21**). Elle s'étend sur les Wilayas 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 1450km² 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 située entre les longitudes 2°32'00E et 3°19'00E et les latitudes 36°25'17''N et 36°47'40''N.

La plaine est formée de la juxtaposition de quatre sous bassins versants, drainés du Sud au Nord par un dense réseau hydrographique.

Les limites de la nappe se confondent avec celle de plaine et s'étendent depuis la région de Hadjout à l'ouest ou commence la partie plane jusqu'au delà de la forêt de Réghaia à l'Est. Resserrée entre l'Atlas Blidéen au sud, et une chaîne de collines au nord, le Sahel.

Largement ouverte sur la mer à son extrême Est sur une trentaine de kilomètres, tandis que dans sa partie Ouest, les collines sahel entrent en contact avec le massif montagneux du Chenoua (905m d'altitude) ; et rejoignent au plateau de Fadjana les premières hauteurs de l'Atlas (djebel Thiberrarine au Sud, 853 m d'altitude).

Figure N° 21 : Carte de situation de la plaine de la Mitidja et de la zone d'étude.



1.3. Limite de la zone d'étude

La région d'étude, représentée par la Mitidja occidentale, fait partie des sous bassins versants : du Mazafran, de l'Oued Chiffa et de Bouroumi codés respectivement : (02-12) ; (02-11) et (02-10). Elle est limitée par le Sahel au nord, l'Atlas Blidéen au sud, Oued Bouroumi a l'ouest et Boufarik a l'Est (*Figure N°21*).

2. Unité géomorphologie

La topographie de la zone d'étude est variée, on observe les zones basses et plates de la plaine et les reliefs abrupts de l'Atlas, en passant par les zones intermédiaires (piémont de l'Atlas -Sahel) avec une pente douce modelée par les écoulements à lits encaissés. La morphologie de la région permet de distinguer :

2.1. Les contours de la plaine

- Le Sahel :

C'est la ride sahéenne 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.

2.2. La plaine proprement dite

C'est une zone de subsidence (Glangeaud, 1932 IN Ait Ouali, 2007) à remplissage Mio-Plio-Quaternaire, bordée par deux régions surélevées. Elle a une altitude moyenne de 40 à 50m qui augmente régulièrement vers le piémont de l'Atlas au Sud et vers le Sahel au Nord.

Elle est façonnée par la juxtaposition des sous bassins versants. Ces derniers se regroupent en quartes ensembles, drainés du Sud au Nord par un dense réseau hydrographique. Les principaux bassins versants sont :

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

Les cours d'eau qui viennent de l'Atlas ont déposés leurs alluvions grossières et perméables dans la partie Sud, fines et imperméables dans la partie Nord. Constituant successivement :

- Les cônes de déjection :

S'étalant au pied de l'Atlas au niveau de Blida et Meftah ces zones de déjection à écoulement profond, résultent de l'érosion dynamique du massif ancien. Leur altitude moyenne varie de 100 à 150m, avec un rôle de couverture qui cache le contact structural séparant la plaine de l'Atlas.

- Les glacis d'accumulation :

Se situant aux extrémités Ouest et Est de la plaine, constitué de matériau fin limono argileux d'âge Soltanien.

- Les zones d'épandage:

Elles occupent la grande majorité de la plaine et tendent à uniformiser le paysage.

- Les étendues marécageuses et hydromorphes de la basse plaine:

Expliquer par la chaîne de collines, de faibles hauteurs qui constituent un obstacle à l'écoulement des eaux vers la mer, ce qui reflète la subsidence de la Mitidja.

Ce phénomène permet la formation de grandes étendues marécageuses et lacustres.

- La région côtière à l'Est d'Alger

Elle est constituée essentiellement de matériaux sablo-argileux à argileux.

3. 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. (**Figure N°22**)

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)

4. 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 forêts 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.

5. Aspect socio-économique

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

5.1. Besoin en eau

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

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

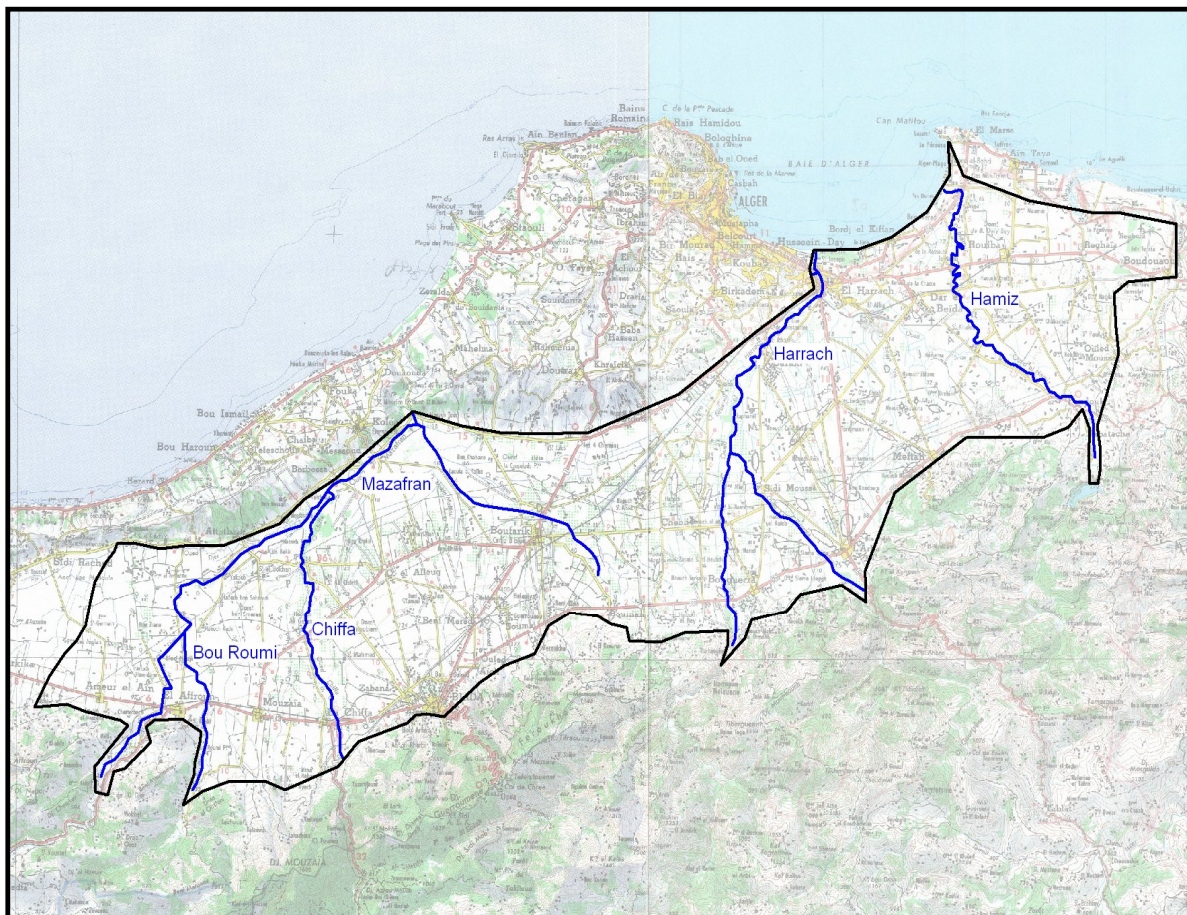


Figure N°22 : Principaux Oueds de la Mitidja. (SOGREAH ,2008).

5.2. L'agriculture

Cette région aux terres riches en raison de sa topographie et de sa fertilité est favorable aux différentes cultures : agrumes, arbres fruitiers, maraîchages en terrains irrigués ; vignes, tabac, etc.....

Pour une exploitation plus économique de ces terres fertiles, un périmètre d'irrigation a été réalisé sur une surface de plus de 24000ha.

L'approvisionnement en eau se fait principalement à partir du barrage El Moustakbel et Boukerden on ce qui concerne la région ouest.

La surface irriguée, est caractérisée par trois types d'assolement cultural ;

- ☞ Agrumiculture ;
- ☞ Une rotation maraîchère avec rotation cultures industrielles, et une rotation fourragères.

Le périmètre est équipé d'un système d'assainissement qui a pour fonction l'évacuation rapide des eaux de pluie et des apports extérieurs au périmètre.

5.3. L'industrie

La majorité des activités industrielles sont regroupées au centre et à l'Est de la plaine (Araba, Blida, Rouïba, El-Harrach, Boufarik....) avec les 2 pôles industriels de Rouïba et de Réghaia.

Les industries rencontrées dans la plaine sont :

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

5.4. Démographie

La population totale dans la plaine étant de 2 millions d'habitant en 1998 avec une densité de 60 habitant /km². Les principaux pôles de concentration sont : Blida, Chiffa, Boufarik, Soumaa, El-Affroun, Dar El-Beida, El-Harrach.

Tableau N°11 : Répartitions de la population par wilayas.

Wilaya	Population en 1998	Taux d'accroissement annuel : 1987 1998
Alger	2.572.814	1.73
Blida	784.895	1.95
Boumerdès	522.972	2.21
Tipaza	388.884	2.61
total	4.269.565	1.91

Source : ONS

Ce volume de population, concentré sur un territoire très limité du point de vue géographique, représente 15% de la population total du pays. La population de cette zone s'est accru en 1998 par rapport à celle de 1987. Mais le taux d'accroissement démographique a baissé. Ceci confirme la période de transition que connaît le pays.

Par contre le taux d'urbanisation a enregistré une évolution de 10% en 20ans durant la période 1977-1998. (PNE 2005).

5.5. Ressources en eau

5. 5. 1) Ressources souterraines

Selon l'ABH (l'agence des bassins hydrographiques, 2000) de l'Algérois, la ressource en eau souterraine de la Mitidja est de 328Hm³, dont les principaux champs captant sont : (Mazafran I et II, Chebli, Beraki, Haouch felit, et Hamiz).

L'exploitation de ces ressources est représentée essentiellement par des :

5. 5. 1.1) Prélèvements destinés à l'AEP

Les principaux prélèvements en eau potable au sein de la plaine de la Mitidja sont dans l'ordre décroissant :

- L'alimentation d'Alger qui est géré par la SEAAL.
- L'alimentation des communes de la wilaya de Blida.
- Dans une moindre mesure l'alimentation des communes des autres wilayas (Boumerdès, Alger et Tipaza).

a)Prélèvement de la SEAAL

La SEAAL (société de l'eau et de l'assainissement d'Alger) exploite environ 200 forages répartis sur la plaine de la Mitidja. La majorité de ces forages captent exclusivement l'aquifère quaternaire de la Mitidja.

Pour l'année 2007, le débit moyen d'exploitation par forage est de 66 m³/heure. En raison de ce débit unitaire limité, elle devait donc disposer d'un nombre important de forages pour alimenter la ville d'Alger.

Évolution des prélèvements :

Entre 1982 et 1995 (**figure N°23**), les prélèvements en eaux souterraines ont fortement baissé du fait de la baisse de production des champs captant du Mazafran et d'El Harrach. Une baisse de prélèvement journalier dans les alluvions quaternaires est constatée et qui atteint 153000 m³.

Après 1995, les prélèvements ont augmentés suite a la mise en service de nouveaux champs captant (Birtouta) et a l'augmentation de la capacité de production des principaux champs captant. En 2005, la production journalière atteint 260 700 m³/j.

b) Prélèvement de la wilaya de Blida

Les données ont été acquises auprès de la Direction de l'Hydraulique de la wilaya de Blida et du Ministère des Ressources en eau.

Les volumes prélevés sur l'ensemble de la wilaya sont disponibles à partir de 2003. (**Figure N° 24**).

Cette représentation des volumes d'eau prélevés est cohérente avec l'évolution de la population sur cette période. Le graphique de la (**Figure N° 25**) met en évidence une croissance similaire de la population sur la majorité des communes entre 1987 et 1998. (SOGREAH ,2008)

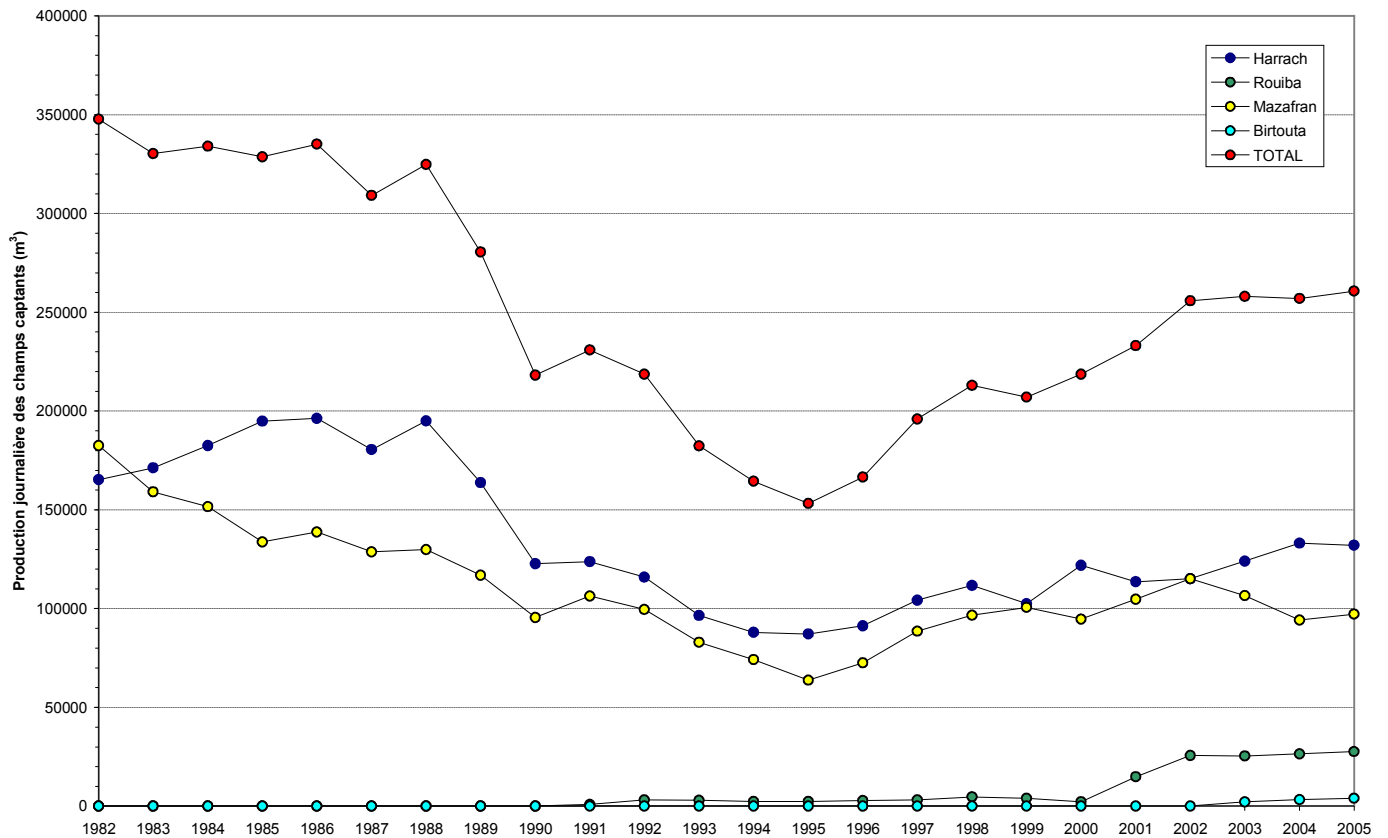


Figure N° 23 : Evolution des volumes d'eau prélevés par la SEAL par champ captant.

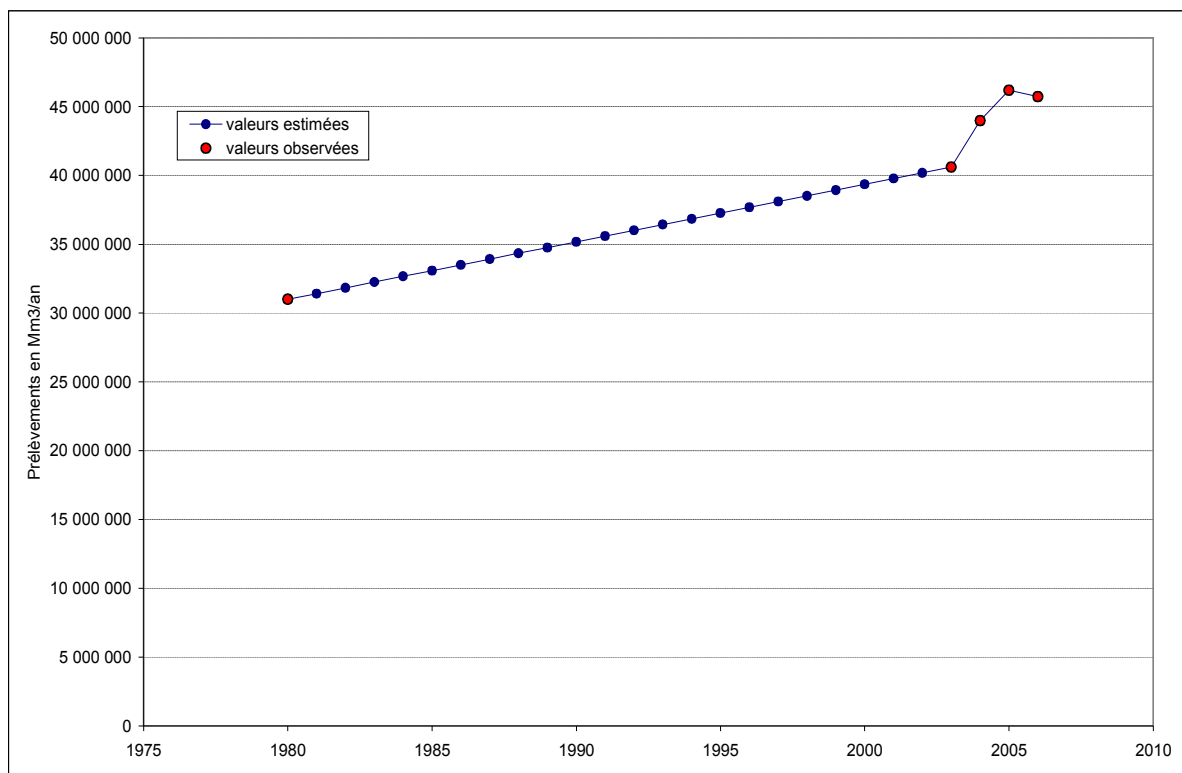


Figure N°24 : Hypothèse d'évolution des volumes prélevés par la wilaya de Blida.

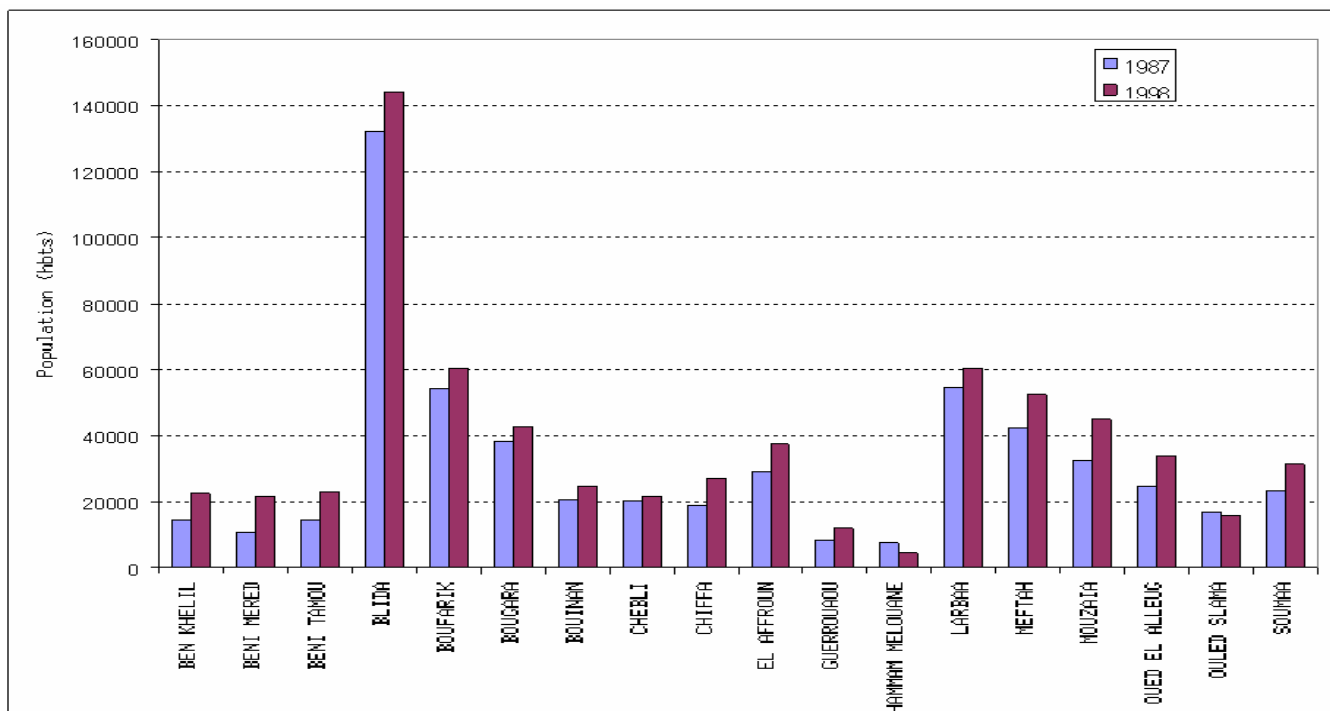


Figure N° 25 : Evolution de population sur la wilaya de Blida.(SOGREAH, 2007)

c) Prélèvement destinés à l'AEP au sein de la Mitidja

Le graphique ci-après présente l'évolution sur la période modélisée des prélèvements AEP sur l'ensemble de la plaine.

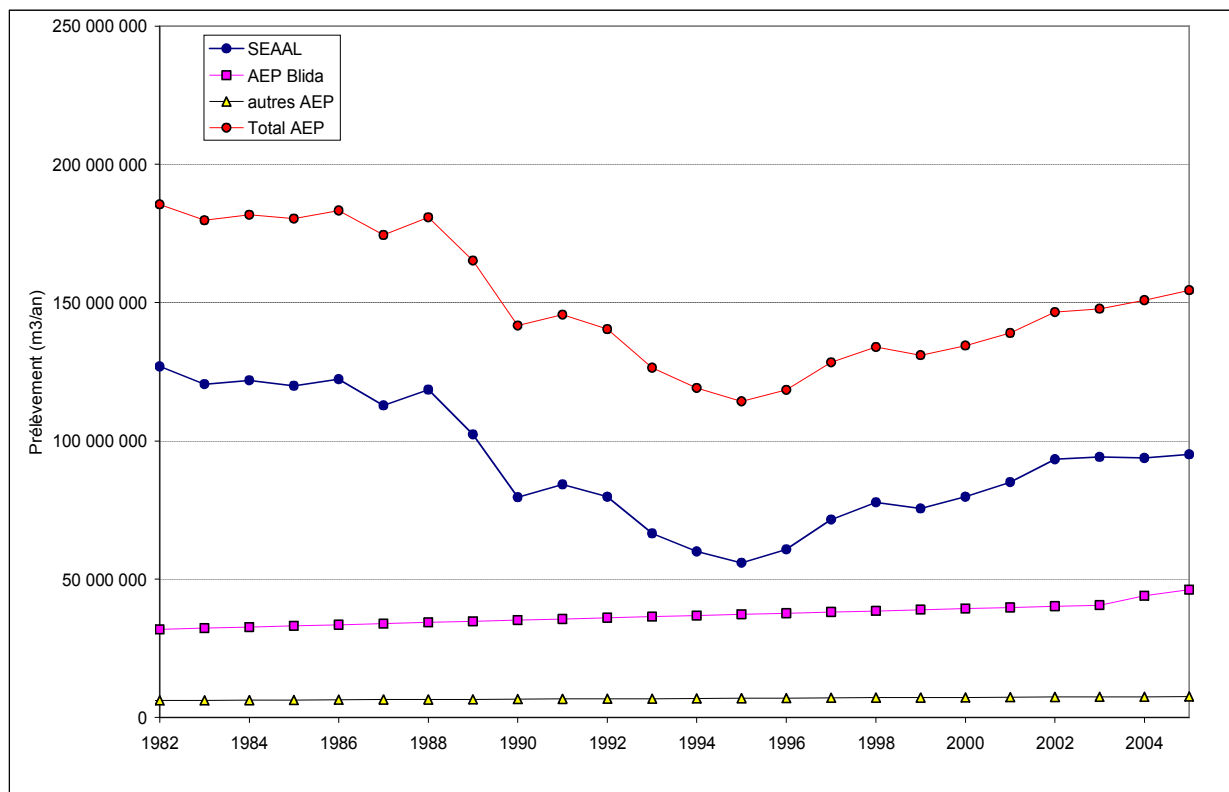


Figure N°26 : Evolution des volumes d'eau prélevés pour l'AEP dans la Mitidja.

5. 5. 1.2) Prélèvements agricoles

Un inventaire réalisé entre 1996 et 2002 a permis de positionner les forages agricoles et de répartir les débits annuels prélevés. On comptabilise environ 2 700 forages agricoles répartis de façon homogène sur la zone modélisée. (Rapport de modélisation du système aquifère de la Mitidja, SOGREAH ,2008).

Tableau N° 12 : Différentes estimations des prélèvements d'eau agricoles.

Prélèvements	Méthode	Année	Mm ³ /an
Géohydraulique, 1969	Inventaire des puits et estimation du volume prélevé par puits	1969	172.5
Bénie et al. 1980	Estimation des surfaces irriguées et des volumes unitaires prélevés par culture	1980	125.8
Estimation des surfaces par photos satellites, Mac Donald et al. 1988	Estimation des surfaces irriguées et des volumes unitaires prélevés par culture	1988	188.0
Estimation des surfaces : Recensement agricole 2001 et volumes unitaires par dire d'expert SOGREAH, 2007 (« Expert »)	Estimation des surfaces irriguées et des volumes unitaires prélevés par culture	2001	92.0
Recensement agricole 2001 et volumes unitaires par CROPWAT, SOGREAH, 2007 (« CROPWAT »)	Estimation des surfaces irriguées et des volumes unitaires prélevés par culture	2001	137.0
Recensement agricole 2001 et volumes unitaires par expertise SOGREAH de 1969, (« ' SOGREAH' »)	Estimation des surfaces irriguées et des volumes unitaires prélevés par culture	2001	214.0
Recensement BIRH, 1996 à 2002	Inventaire des puits et estimation du volume prélevé par puits	2002	127.0

Les méthodes d'estimation des prélèvements agricoles dans la nappe de la Mitidja montrent une très grande dispersion .Cela est du a la difficulté évaluation les surfaces irriguées, les besoins et les productivités des cultures, les forages et puits ainsi que les volumes prélevés par les puits.

5. 5. 1.3) Prélèvements industriels

Les prélèvements industriels ne représentent qu'une part minime des volumes annuels extraits de la nappe. Ces forages se situent principalement au niveau de la Mitidja orientale (de Baraki à Réghaia). En 2002 on recense un volume d'eau prélevé de 5,6 Mm³ destiné aux activités industrielles.

5.5. 2) Ressources d'eau superficielles

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

- Barrage du HAMIZ 15,6 hm³.
- Barrage du BOUKHORDENE 90 hm³.
- Barrage du BOU ROUMI 200 hm³.

Par ailleurs, rappelons que l'alimentation en eau de l'ensemble des périmètres incluent dans notre zone d'étude se fait a partir des eaux superficielles du barrage Bouroumi (El Moustakbel), construit en 1986 spécialement pour l'irrigation .Ce barrage est actuellement à 15%de sa capacité suite à l'abandon qu'a connu ce dernier lors de la période allant de1995 à 1998, faute de condition sécuritaires ainsi que les dommages causées à l'ouvrage. (Chetibi, 2007)

Conclusion

Grande dépression allongée en direction Sud-Ouest, Est Nord-Est, la plaine de la Mitidja constitue un important bassin alluvial côtier, caractériser par un dense réseau hydrographique. Ce dernier est constitué essentiellement par la réunion de Oued Djer, Oued Bouroumi et Oued Chiffa ; ces trois cours d'eau se rencontrent pour former le grand Oued du Mazafran qui s'étire jusqu'à la mer méditerranée.

La plaine s'étend également au dessus de la nappe phréatique de la Mitidja , qui referme deux grands ensembles de réservoirs aquifères (la nappe captive de l'Astien gréseux et la nappe phréatique du Quaternaire) alimentés par l'infiltration à partir des oueds de Chiffa et de Bouroumi.

Les sols de la plaine sont constitués essentiellement d'alluvions fines épandues par les cours d'eau venant de l'Atlas, ce qui favorise l'activité agricole vue la fertilité de ses terres, or ces propriétés font de la région une véritable métropole industrielle.

Depuis la fin des années 1970, la nappe Quaternaire de la Mitidja est largement sollicitée comme principale source d'alimentation en eau de la ville d'Alger et de ses environs, se qui entraîne une surexploitation des ressources souterraines due a la demande en eau sans cesse croissante.

Introduction

La géomorphologie est une science de la géographie physique avec une approche de plus en plus quantitative. Elle décrit les formes de la surface de la terre (le relief) et explique leur formation et leur évolution, sous l'effet de la tectonique et de l'érosion.

Ce chapitre a donc pour objet l'illustration et la définition des paramètres géomorphologiques et physiographiques de la région d'étude, ces derniers jouent un rôle essentiel dans le comportement hydrologique d'un bassin versant.

1. Caractéristiques du bassin versant

1.1. Paramètres géométriques

- Superficie (A) :

Le bassin versant de notre zone d'étude couvre une superficie de 1012km².

- Périmètre (P) :

Il a été estimé sur des cartes topographiques de (Koléa, Blida, Tipaza et Hadjout) au 1/50.000 à 179.50km.

1.2 Paramètres de forme

Les paramètres de forme étudiés dans le cadre de cette étude sont :

- ☞ L'indice de compacité de GRAVELIUS,
- ☞ Les dimensions du rectangle équivalent.

1.2.1) Indice de compacité de GRAVELIUS

L'indice de compacité nous permettra de déterminer la forme du bassin versant. Il est établi en comparant le périmètre du bassin versant considéré à celui d'un cercle qui aurait la même surface. Il se calcule à l'aide de la relation suivante:

$$K = P / 2\sqrt{\pi A}$$

K : indice de compacité.

P : périmètre en (m).

A : superficie en m² ;

Tel que : $K = 0,28 P / \sqrt{A}$

Alors : $K = 1.58$ pour tout le bassin.

Cette valeur de l'Indice de compacité (K) signifie que le bassin versant à une forme allongée.

1.2.2) Le rectangle équivalent

Le but de la notion de Roche est de comparer des bassins entre eux, du point de vue de l'influence et de leurs caractéristiques sur l'écoulement. En assimilant le bassin à un rectangle de même périmètre et de même surface, donc de même indice de compacité.

$$\text{Longueur : } L = K\sqrt{A} / 1,128 [1 + \sqrt{(1-(1,128/K)^2)}]$$

$$\text{Largeur : } l = K\sqrt{A} / 1,128 [1 - \sqrt{(1-(1,128/K)^2)}]$$

Les valeurs obtenues pour notre zone d'étude sont :

- longueur : **L = 75,76 km**
- largeur : **l = 13,36 km**

Ces valeurs confirment bien l'allongement du sous bassin versant et de sa plaine alluviale, ce qui implique un temps de concentration des eaux assez long et favorise ainsi une bonne infiltration.

1.3. Paramètres de relief

L'influence orographique à l'échelle d'un bassin versant, est généralement appréciée par l'établissement de la courbe hypsométrique.

1.3.1) Etablissement de la courbe hypsométrique

En traçant la courbe hypsométrique (*Figure N°27*), nous déterminerons les hauteurs moyennes et les pourcentages des aires entre les courbes de niveaux.

Celle ci nous permet de calculer :

- L'altitude moyenne et l'altitude la plus fréquente.
- L'indice de pente globale.

Pour la représentation de la courbe hypsométrique on tiendra compte des résultats insérés dans le *tableau N°15*.

Tableau N°13 : Répartition hypsométrique du bassin versant.

Altitude (m)	Hmoy (m)	Surfaces partielles		Si (%) Cumulées	Hi.Si
		Si (Km ²)	Si (%)		
1600-1400	1500	6.68	0.66	0.66	10023
1400-1200	1300	33.50	3.31	3.97	43550
1200-1000	1100	44.52	4.40	8.37	48972
1000-800	900	138.37	13.67	22.04	124533
800-600	700	127.11	12.56	34.60	88977
600-400	500	73.82	7.29	41.90	36910
400-200	300	60.00	5.93	47.83	18000
200-0	100	528.00	52.17	100	52800
Total		1012			423765

_l'altitude maximale est de : 1600m

_l'altitude minimale est de : 100m.

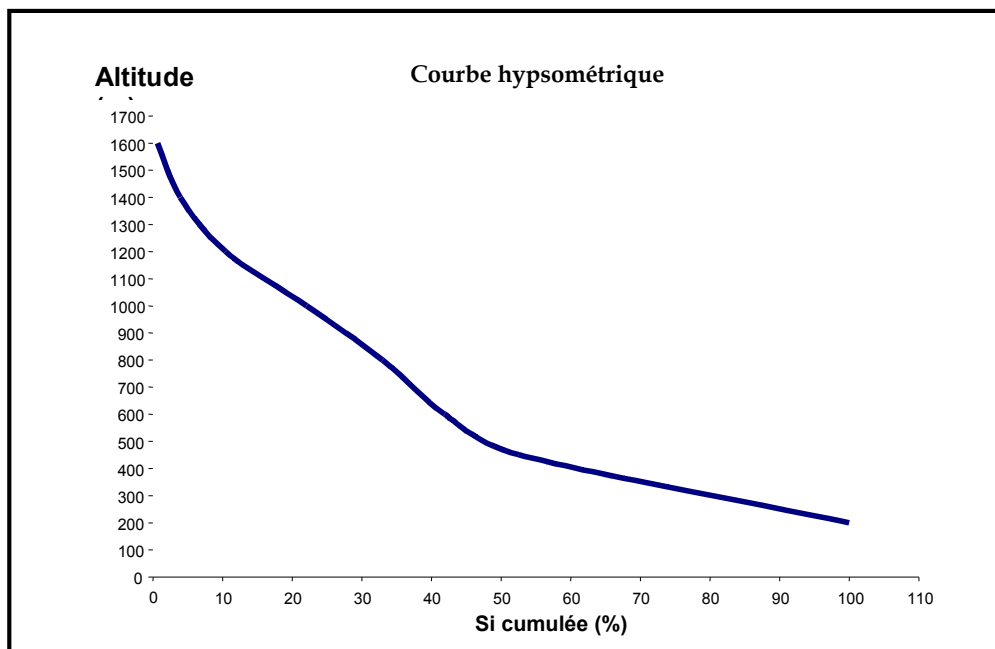


Figure N°27: Courbe hypsométrique du bassin versant de la Mitidja Centre et Ouest.

D'après La courbe hypsométrique du bassin de la Mitidja on déduit :

☞ H5%=1375m.

☞ H95%=220m.

1.3.2) l'altitude moyenne (H)

L'altitude moyenne permet de situer topographiquement le bassin versant, d'où l'intérêt de son calcul. A noter que beaucoup de formules empiriques en hydrologie, notamment celles permettant l'estimation des crues et du transport solide, font intervenir ce paramètre.

$$H = \frac{\sum H_i \times S_i}{\sum S_i}$$

- S_i : Surface partielle.
- H_i : Altitude moyenne de chaque classe.
- H : Altitude moyenne du bassin.

Le calcul de H, nous donne une valeur de **418.74m**

1.3.3) l'altitude la plus fréquente

Le tableau n°1 montre, que l'altitude la plus fréquente est comprise entre 0 et 200 mètres. Elle est en moyenne d'environ 100 mètres.

1.3.4) Indice de pente globale « I_g »

Indice de pente globale l'aptitude de bassin au ruissellement et son impact sur l'infiltration et l'évaporation. Il est calculé à partir de la courbe hypsométrique et grâce à la relation suivante :

$$I_g = \frac{D}{L} = \frac{(h_{5\%} - h_{95\%})}{L}$$

I_g : Indice de pente globale

D: Dénivelé=200m .

$h_{5\%}$ = 1375 m.

$h_{95\%}$ = 220 m.

L : Longueur du rectangle équivalent.

$$I_g = 15.25\text{m/km} = 1,5\% = 0.015$$

D'après la classification de l'indice de relief $0.01 \leq I_g \leq 0.02$; on conclut que le relief de notre zone d'étude est un relief modéré.

1.3.5) Indice de roche « I_p »

« **I_p** » est la moyenne de la racine carrée des pentes mesurées sur le rectangle équivalent, et pondérée par les surfaces comprises entre 2 courbes de niveau H_i et H_{i-1}

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum \sqrt{S_i (H_i - H_{i-1})}$$

L : longueur du bassin versant (m).

S_i : Surfaces partielles (%) comprise entre 2 courbes de niveaux consécutives H_i et H_{i-1}

Les données pour ce calcul sont tirées du tableau N°1, établi au paravent.

Par ailleurs, cet indice simple est étroitement corrélé avec l'indice de pente globale ; tel que :

$$I_g = 0,8 \cdot I_p^2$$

On trouve : $I_p = 4.37 \text{ m/km} = 0.044\%$

1.3.6) pente moyenne du bassin versant

$$I_m = \frac{\Delta H(0.5l_1 + l_2 + l_3 + \dots + 0.5l_n)}{S}$$

Avec : ΔH : dénivelée (m).

l_i : longueur de la courbe de niveau d'ordre 1,2,..., n

S : surface totale du bassin versant (km^2).

Tableau N°14 : Résumé des différentes longueurs de courbes de niveaux.

Cote (m)	Si (km^2)	Li (km)
1500	6,68	0,50
1300	33,5	2,51
1100	44,52	3,33
900	138,37	10,36
700	127,11	9,52
500	73,82	5,53
300	60	4,49
100	528	39,53

Sachant que : $L = 75.76\text{km}$

$S = 1012\text{km}^2$

$$I_m = 0.01102\text{m/m} = 1.01\%$$

2. Réseaux d'écoulement

2.1. Temps de concentration des eaux

C'est le temps nécessaire à l'eau pour s'écouler du point hydrologique le plus éloigné (en amont) du bassin versant jusqu'à l'exutoire. Pour sa détermination on utilise la formule de GIAMDOTTI :

$$T_c = \frac{1.5L + 4\sqrt{S}}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}}$$

Avec : L : longueur du cours d'eau principal du talweg ($L=65\text{km}$).

S : surface totale du bassin versant (1012km^2)

H_{moy} : atitude moyenne ($418,74\text{m}$).

H_{min} : atitude minimale (225m).

D'où : $T_c = 21.4 \text{ heures}$.

2.2. La vitesse de ruissellement

Elle est donnée par la formule suivante :

$$V_r = \frac{L_p}{T_c}$$

Avec : L_p : longueur du cours d'eau du talweg principal ($L_p=65\text{km}$)

T_c : temps de concentration en heure.

D'où $V_r = 5\text{km/h}$.

Tableau N°15 : Résumé des caractéristiques du bassin.

Parametres	symboles	unite	Les resultas
Surface du bassin versant	S	Km ²	1012
Perimetre du bassin versant	P	Km	179,5
Indice du compacite	K _c	-	1.58
Longueur du rectangle equivalent	L	Km	75,76
Largeur du rectangle equivalent	L	Km	13,36
Altitude maximale	H _{max}	m	1600
Altitude minimale	H _{min}	m	100
Altitude moyenne	H _{moy}	m	418,74
Altitude a 5% de surface	H _{5%}	m	1375
Altitude mediane	H _{50%}	m	460
Altitude a 95% de la surface	H _{95%}	m	220
Longueur du cours d'eau principale	L _p	Km	65
Indice de pente global	I _g	m/km	15.25
Pente moyenne du bassin	I _{BV}	m/km	4.37
Temps de concentration	T _c	h	21.4
Vitesse de ruissellement	V _r	Km/h	5

Conclusion

L'étude géomorphologique nous a permis, de dégager un certain nombre de caractéristiques du bassin versant considéré :

_A partir de l'indice de compacité de Gravelius, on a pu démontrer la forme allongée de ce bassin versant.

_L'indice de pente global a fait ressortir un temps de concentration des eaux de ruissellement relativement étalé.

_La courbe hypsométrique établit, témoigne de la topographie contrastée du bassin versant du Mazafran, variant entre des zones basses et plates de la plaine de la Mitidja et des escarpés de l'Atlas.

Introduction

La zone d'étude se situe au Nord de l'Atlas Blidéen (1620m au pic de Chréa) qui la protège des influences Sahariennes. Elle se trouve par sa position géographique soumise à l'influence du régime climatique méditerranéen.

La comparaison de données climatiques relevées sur de longues périodes, montre que la Mitidja n'a pas subi de changements climatiques remarquables.

La température moyenne annuelle varie de 16° à 18° ; notons que la variation est fonction de l'éloignement par rapport à la mer ; ces températures sont plus douces à proximité du littoral qu'à l'intérieur.

L'humidité relative décroît très largement de la cote intérieure, elle est plus élevée en hiver qu'en été.

La plaine reçoit une lame d'eau d'environ 616 mm/an. Les mois d'octobre à mars constituent la période la plus pluvieuse, tandis que les précipitations sont presque nulles pendant la saison estivale.

En quarante ans il n'a neigé que 20 fois à Alger et il est rare de voir des flocons atteindre le sol. On cite comme exception l'année 1954 où la couche de neige a atteint les 10 à 20 cm (George Mutin, 1977 in Ait Ouali, 2007) et aussi l'année 2005. Par contre cette nivrosité quasiment nulle sur la plaine devient appréciable sur l'Atlas Blidéen.

Les gelées sont assez fréquentes dans la Mitidja où les écarts de températures sont plus importants.

1. Etude des précipitations

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 9 stations réparties de façon plus ou moins homogène sur l'ensemble de la région intéressée par la présente étude.

Ces dernières offrent des mesures sur une période d'observation suffisamment longue (32ans) permettant une bonne exploitation des données. Certaines anciennes stations présentent des mesures qui dépassent les 60ans, il s'agit des stations de Boufarik et Meurad barrage. Le *tableau N°16* ; illustre les caractéristiques de ces stations.

Tableau N°16: 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	1975_2007
Chiffa	02_11_17	503,800	351,350	110	1969_2007
Blida	02_11_16	509,800	352,750	210	1967_2007
Yemekrez	02_12_12	507,650	366,800	18	1975_2007
Boufarik	02_12_09	518550	363,40	60	1951_2007
Meurad_b	02_03_06	473,800	349,900	300	1899_2007
Attatba	02_10_22	495,450	363,150	60	1971_2007
Hadjout	02_03_25	475,850	358,850	59	1971_2007
sidi Rached	02_10_24	486,300	362,300	57	1975_2007

1.2. Traitement des données

1.2.1) Homogénéisation des données

Les stations sélectionnées sont bien réparties, elles s'étendent sur une période supérieure à 30ans (1975_2007) mais, elles présentent quelque lacunes a l'échelle annuelle et mensuelle. Pour combler ces lacunes et ajuster les moyennes nous avons utilisé :

- **La corrélation doubles masse ou test d'homogénéité.**

Cette méthode consiste a comparer les totaux cumulés relevés aux niveaux des postes pluviométriques, avec un poste de référence ayant fonctionné sur une période longue et continue, cela pour mettre en évidence toute les erreurs systématiques.

En effet, dans la deuxième étape on remplace les valeurs douteuses et on prolonge la série d'observation.

Le principe de cette méthode consiste à reporter les couples des totaux annuels cumulés des stations sur un graphique , ensuite , à tracer une droite passant par le maximum des points .la station de référence est reportée en abscisse et la station a contrôler en ordonné.

En fin, l'homogénéisation de cette série se fera en effectuant la valeur du rapport correctif selon le cas :

m/m' ou m'/m aux totaux annuels considérés comme inexact.

m = pente de la droite avant de l'inflection brusque.

m' = pente de la droite après de l'inflection brusque.

On donne alors des raisons autour des anomalies relevées :

- Déplacement du pluviomètre.
- Modification de l'environnement du poste.
- Changement de l'éprouvette.
- Changement d'observateur.

A propos des stations sélectionnées on déduit une bonne corrélation, mis à part la station de Hadjout et Oued el Alleug. (Annexe N°2).

1.2. 2) Variations des moyennes mensuelles des précipitations

D'après le *Tableau N°17* et la *Figure N°28*, on enregistre les résultats suivants :

- Un régime pluvial marqué par un maximum principal en Novembre de (95 mm) et un minimum en Juillet de (1mm).
- Une augmentation des précipitations d'Ouest en Est.
- Une modulation mensuelle irrégulière, caractérisée par un grand écart entre le maximum et le minimum.

Tableau N°17 : Précipitations moyennes annuelles et mensuelles de la Mitidja Ouest et Centre

Station pluvio	Sept 1	Oct. 2	Nov. 3	Dec. 4	Janv. 5	Fev. 6	Mars 7	Avr 8	Mai 9	Juin 10	Juil. 11	Août 12	Annuel
Oued Alleug	24,04	56,36	88,46	86,82	80,99	70,77	58,16	59,36	44,45	6,21	2,62	4,42	582,66
Chiffa	27,09	53,63	92,04	88,42	81,86	68,34	61,81	57,55	48,76	6,54	3,32	3,88	593,23
Blida	27,07	55,92	81,66	90,93	84,33	70,74	66,33	55,48	47,04	6,94	2,63	3,32	592,38
Yemekrez	20,08	64,38	95,11	84,64	76,94	70,08	51,61	49,12	39,33	5,78	2,13	4,59	563,79
Boufarik	28,15	59,11	91,48	87,52	88,22	73,55	64,00	60,49	43,99	6,63	2,88	6,27	612,28
Meurad_b	30,35	59,02	86,16	88,20	78,98	78,71	77,78	30,15	47,54	9,28	3,63	5,74	595,54
Attatba	25,48	55,59	91,06	89,75	82,06	72,96	56,30	52,45	40,36	6,74	2,64	6,13	581,53
Hadjout	19,68	58,05	71,21	73,76	64,22	61,19	57,49	49,54	27,67	4,91	0,84	3,92	492,47
Sidi Rached	25,36	48,64	74,54	75,84	68,27	64,52	54,89	47,01	36,83	6,34	1,48	5,37	509,09

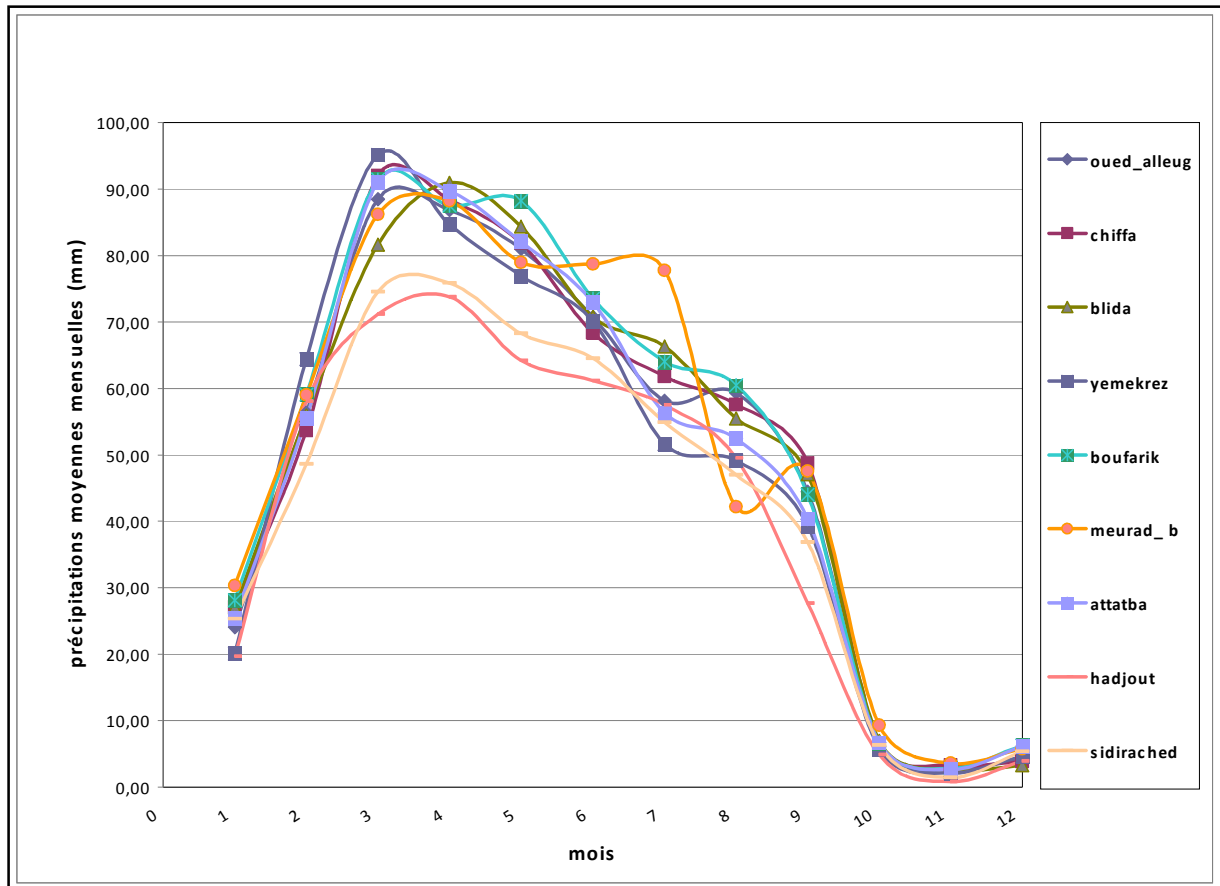


Figure N° 28 : variation des précipitations moyennes mensuelles (1975_2007).

1.2. 3) Variation interannuelle des précipitations période (1975_2007)

On remarque sur les mêmes stations une grande irrégularité des moyennes annuelles sur la période (1975_2007), (Annexe N°3) et (Figure N° 29).

On observe :

- Une diminution à partir de l'année 1980 qui pourrait être liée à la sécheresse qui a touché la région
- Une bonne concordance des variations interannuelles entre les 9 stations sélectionnées.
- Une diminution des modules pluviométriques d'Est en Ouest.
- Une pluviosité intense aux années soixante-dix, ainsi qu'une régression remarquable aux années quatre-vingt et quatre-vingt dix.

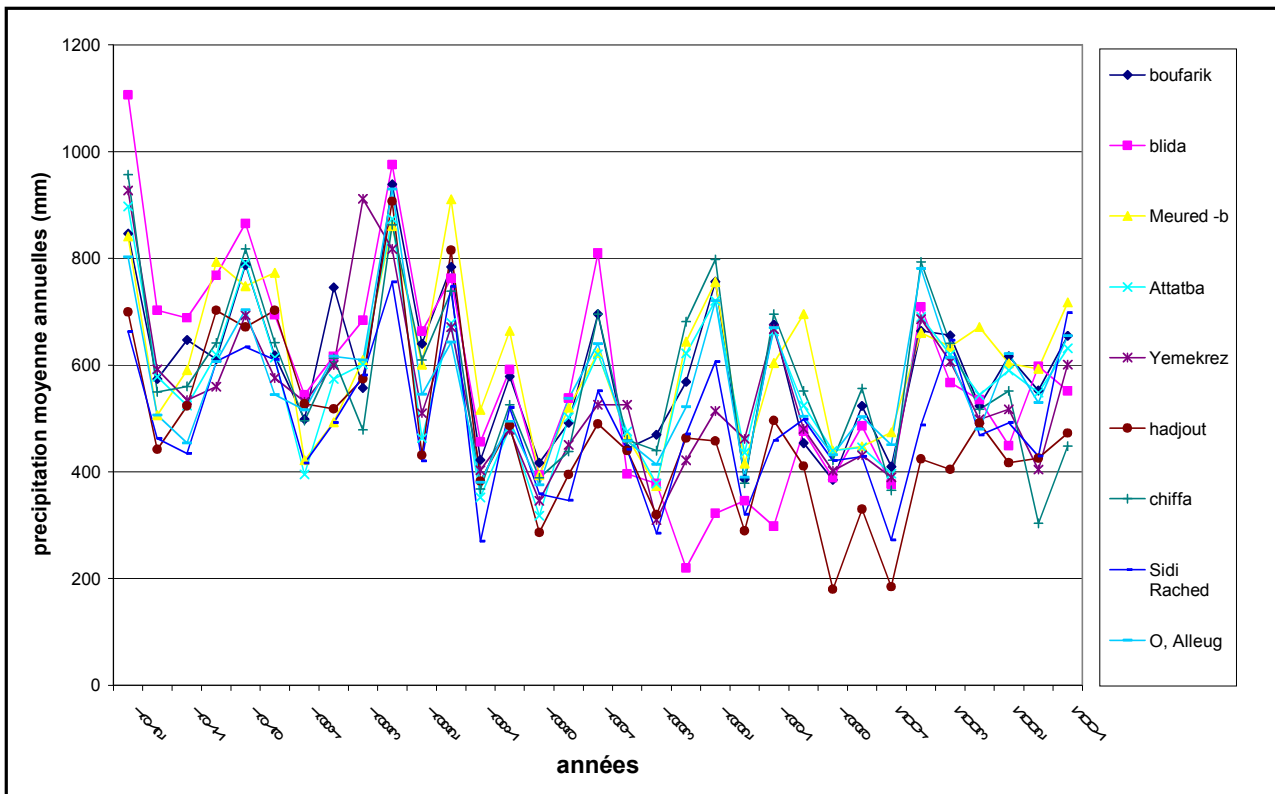


Figure N° 29 : Variation interannuelles des précipitations (1975 _ 2007).

1.3. Evaluation de la lame d'eau moyenne précipitée

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

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

1.3.1) 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.

1.3. 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 :

$$P = \frac{\sum_{i=1}^x P_i S_i}{\sum_{i=1}^x S_i} \dots\dots\dots(1)$$

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

S_i : surfaces des polygones considérés.

1.3. 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. (*Figure N° 30*)

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n P_i S_i}{S_t} \dots\dots\dots(2)$$

Avec : $\beta_i = \frac{S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \dots\dots\dots(3)$

D'où :

$$P = \sum_{i=1}^n \beta_i P_i \dots\dots\dots(4)$$

P : lame précipitée.

P_i : précipitations inter isohyètes en mm.

S_i : surface inter isohyète en km².

S_t : superficie totale du BV en km².

Tableau N° 18 : Résultats obtenus par la méthode des isohyètes.

zone inter isohyète	précipitation moy (mm)	surfaces inter isohyète	β	β. P
500	492,47	9	0,011	5,30
500 -510	505	24	0,029	14,50
510 -520	515	28,2	0,034	17,37
520 -530	525	31,4	0,038	19,72
530 -540	535	38,3	0,046	24,51
540 -550	545	60,45	0,072	39,41
550 -560	555	44,85	0,054	29,78
560 -570	565	69,03	0,083	46,66
570-580	575	103,3	0,124	71,06
580 -590	585	171,4	0,205	119,95
590 -600	595	127,5	0,153	90,76
600 -610	605	74,16	0,089	53,67
610	612,28	54,31	0,065	39,78
total		835,9	1	572,48

La lame d'eau précipitée obtenus par la méthode des isohyètes appliquée sur notre bassin d'étude pour la période allant de 1975 à 2007 ; est de **572.48**mm.

Tableau N° 19 : Résultats obtenus par les trois méthodes.

Méthodes	Arithmétique	Thiessen	Isohyète	La moyenne
Lame d'eau précipitée	569,22	567,77	572,48	569.82

Les résultats obtenus par les trois méthodes sont du même ordre de grandeur, cela confirme l'homogénéité des séries utilisées.

La moyenne annuelle des précipitations enregistrer sur notre bassin versant est de **569.82** mm, pour période d'étude (1975_2007).

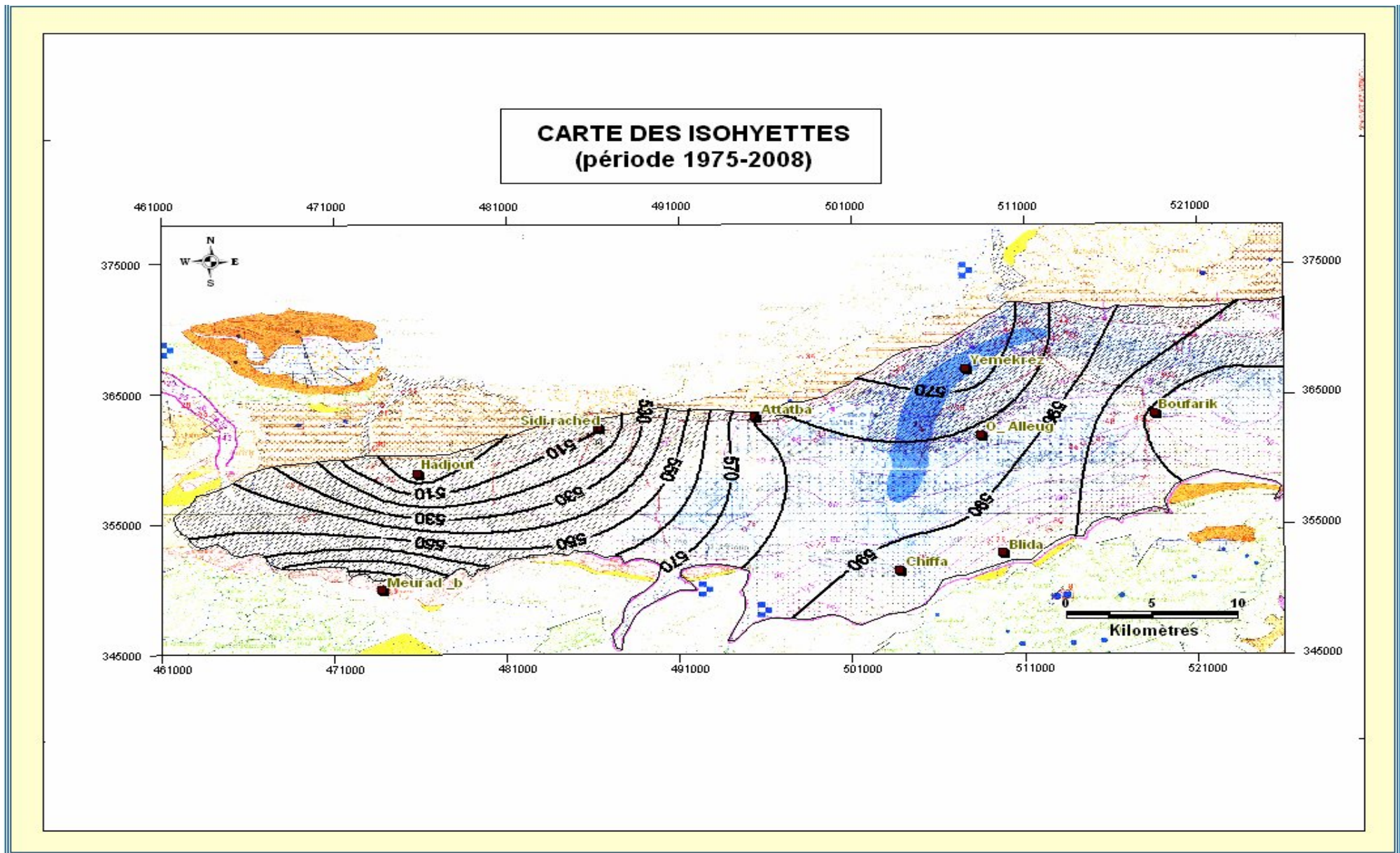


Figure N° 30 : Carte des isohyètes de la région Centre et Ouest de la plaine de la Mitidja.

2. Etude des températures

La température joue un rôle très important dans l'évaluation du bilan hydrologique et la connaissance des caractéristiques climatiques d'une région.

On ne peut pas donc connaître de manière précise les températures de la zone d'étude à cause de l'absence des stations de mesure locales, cela nous contraint à estimer l'ordre de grandeur des conditions climatiques dans la région intéressée par l'étude à partir des données disponibles.

2.1. Les données récentes

Nous disposons d'une série de températures prélevées sur la station de BLIDA, s'étalant sur une période de 32ans

Ces températures ont été récupérées au niveau de l'ONM (Office national de météorologie).

Tableau N°20 : Température moyennes mensuelles de la station de Blida (1976 _2008).

Mois	sept	Oct.	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	juil	Août
Température moyenne	24,52	19,64	15,17	12,09	10,79	12	13,63	16,26	19,4	23	27,55	27,58

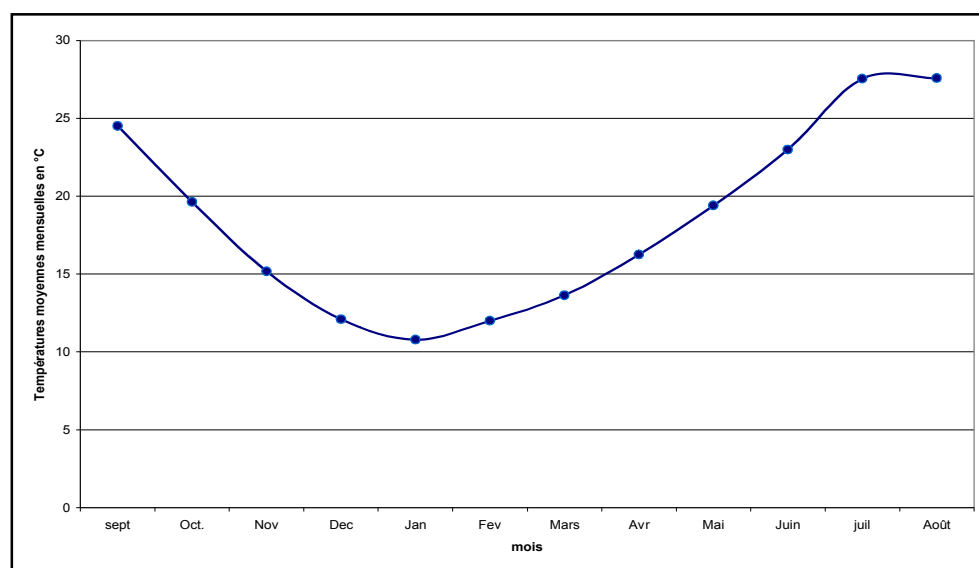


Figure N°31 : Variation des températures au niveau de la station de Blida (1976-2008).

2.2. Analyse des températures

2.2. 1) Températures extrêmes

On constate d'après la représentation graphique des températures relevées au niveau de la station de Blida durant la période allant de 1976 à 2008 (**Figure N°31**), que le mois d'Août est le plus chaud avec une température de **27.58°C**, alors que le mois de Janvier est le plus froid avec une température de **10,79°C**.

2.2. 2) La température moyenne annuelle

La moyenne arithmétique des températures moyenne mensuelle qui correspond à la période d'étude est de : **18.45°C**

2.3. Régime climatique

Climato gramme 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 a calculer le quotient d'Emberger qui s'exprime par la formule :

$$Q = \frac{P}{(M - m) \left(\frac{M + m}{2} \right)} \times 100 \dots \dots \dots (5)$$

Ou: P : Précipitation moyenne annuelle en millimètre ;

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud ;

m : moyenne des minima du mois le plus froid ;

On reporte les valeurs du quotient pluviométrique (Q) en ordonnée et les minima du mois le plus froid en abscisses (**Annexe N°4**). On lit directement l'étage bioclimatique correspondant à la région. Pour la plaine de la Mitidja, nous avons trouvé un quotient : Q=108.3 pour (P= 570mm ; M=33 ; m= 6).

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.

3. Autres paramètres climatiques

3.1. L'humidité de l'air

L'humidité de l'air est un élément atmosphérique aussi important que les précipitations.

L'Humidité relative indique l'état de l'atmosphère et explique s'il est plus ou moins proche de la condensation.

Cette humidité croit à partir du sol pour atteindre son maximum de 100 % au niveau des couches nuageuses si elles existent.

Les moyennes mensuelles d'humidité relative relevés dans la station de Mouzaia durant la période de 1988 à 2008 (**Tableau N°23**), varient de 74 % en automne à 79 % au printemps elle peut atteindre les 82% en hiver. La moyenne annuelle est de 77 %. On constate que l'humidité relative mensuelle ne descend pas au-dessous de 50%.

Tableau N°21: Humidité relative moyenne mensuelle (1988-2008).

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	annuelle
H.r	74,8	74	79	82	75	81	76	79	78	78	76	76	77

Source (ONID)

3.2. Le vent

Le vent est généralement faible, d'orientation Nord à Nord Est avec en moyenne 18 jours de sirocco par an, Ce vent brûlant et desséchant qui descend de l'Atlas peut souffler sans répit plusieurs jours, transformant le pays en une fournaise, et cause alors des dégâts importants parfois irrémédiables aux cultures, notamment à la vigne et aux arbres. "Le sirocco charrie du feu disait Maupassant".

3.3. La nébulosité

Elle correspond à la fraction du ciel couvert par les nuages, elle est exprimée en 1/10^{eme} ;
- La valeur 0 correspond à un ciel clair.

- La valeur 10 correspond à un ciel entièrement couvert.

Pour notre zone d'étude, on constate que les maximums de nébulosité sont atteints aux mois de Novembre et Janvier, tandis que le minimum se localise au mois de Juin. (ONID)

3.4. Gèles

Les gelés apparaissent à partir du mois de Décembre au mois d'Avril (station d'El Affroun). Le nombre de jours de gelés enregistré est de 1.8 au mois de Janvier (max).

Tableau N°22 : Nombre de moyenne du jour de gelée.

mois	Sep	oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	annuel
Nombre de jour	0	0	0	0.4	1.8	1.6	0.4	0.3	0	0	0	0	4.5

(Source AGID).

3.5. La grêle

Le grêle tombe exclusivement durant les mois de Décembre et Mars, on peut constater que le nombre de jours de grêle est peu important quelque soit le lieu de la station. On enregistre un maximum de 1.8 durant le mois de Janvier.

Tableau N°23 : Valeur moyenne de grêle au niveau de la station d'El Affroun.

mois	Sep	oct.	Nov.	Dec	jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août
Valeur moyenne	0	0.1	0.4	0.6	1.0	0.7	0.8	0.2	0.2	0.1	0.1	0

(Source ANRH)

4. 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.

4. 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.

4.1.1. 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.

Le manque de données de quelques paramètres climatiques nous oblige à réduire le nombre de méthodes à deux.

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

4.1.1. 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.

$$ETP = 16 (10T / I)^a \dots\dots\dots(6)$$

Avec : $I = \sum_{i=1}^{12} i$ Où $i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514} \dots\dots\dots(7)$

Et $a = \frac{1.6}{100} I + 0.5 \dots\dots\dots(8)$

- 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 **ETP c = ETP. 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 N°24: Calcul de l'ETP à la station de Blida (76-06) par la formule C.W.Thornthwaite.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Annuel
T (°C)	24,52	19,64	15,17	12,09	10,79	12	13,63	16,26	19,4	23	27,55	27,58	18,47
ETP (mm)	111,61	72,57	43,97	28,31	22,70	27,90	35,72	50,31	70,86	98,58	139,92	140,22	842,68
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	1,10
ETP c(mm)	114,96	70,39	37,81	23,78	19,75	23,72	36,80	55,34	85,74	120,27	173,50	162,65	924,71

La valeur de l'E.T.P annuelle trouvée est de **924,71** mm pour un indice thermique annuel I=90,09 et a=1.94.

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.

4.1.1. b) La formule de Serra

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

$$E.T.P = 1.6 \left(\frac{10t}{I} \right)^a \dots\dots\dots(9)$$

Avec : $I = \sum_{i=1}^{12} i = 0.09 t$ et $a = 1.6 \left(\frac{I}{100} \right) + 0.5 \dots\dots\dots(10)$

- Où : t : Température moyenne mensuelle (°C).
- I : Indice thermique annuel, (pour notre région I=20.33)
- i : Indice thermique mensuel.

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

Tableau N°25 : Calcul de l'ETP à la station de Blida (76-06) par la formule de Serra.

Mois	Sept	Oct.	Nov.	Dec	Janv.	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Moyenn e annuelle
Paramètres													
t (°C)	24,52	19,64	15,17	12,09	10,79	12,00	13,63	16,26	19,40	23,00	27,55	27,58	24,52
E.T.P (mm)	36,77	30,65	24,80	20,59	18,76	20,46	22,72	26,25	30,34	34,89	40,45	40,49	347,17
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	-
E.T.P*K (mm)	37,87	29,73	21,33	17,30	16,32	17,39	23,40	28,88	36,71	42,56	50,16	46,97	368,62

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 =368,62mm pour un indice thermique annuel I =19.95.

On remarque une variation assez importante par rapport aux résultats précédents, cela nous oblige, à prendre la valeur de l’ETP la plus défavorable, c’est-à-dire celle de *Thornantwait* , car elle plus proche de la réalité.

4.1.2) 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.

4.1.2.1) 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 :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \dots\dots\dots(11)$$

Avec : P : Pluviométrie moyenne annuelle en mm.

t : température moyenne annuelle (°C).

$$L=300+25t+0.005t^3 \dots\dots\dots(12)$$

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

Tableau N°26 : L’évapotranspiration réelle E.T.R selon Turc

paramètres	t (°C)	L	P (mm)	E.T.R	
				mm	% p
Région					
Mitidja Centre_ Ouest	18,47	793,25	592,38	490	82,80

(%) p : taux de précipitation évaporé.

5.1.2.2) 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 : $E.T.R = P - \lambda P^2$ (13)

tel que : $\lambda = \frac{1}{0.8 + 0.14T}$ (14)

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

Pour notre cas nous avons :

$$\left\{ \begin{array}{l} t=18.47^\circ\text{C} \\ \lambda =0.30 \\ P=0.592 \text{ m} \end{array} \right.$$

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 0.42 et 1.67, la formule de Coutagne s'applique parfaitement à notre Bassin versant.

Tableau N° 27: L'évapotranspiration réelle E.T.R selon Coutagne.

Paramètre Région	t (°C)	λ	P (mm)	E.T.R	
				mm	% p
Mitidja Centre _Ouest	18.47	0.30	592,38	490.65	82.24

(%) p : taux de précipitation évaporé.

4.1.2.3) Méthode de WUNDT

Elle est fonction de la température. Son illustration se fait graphiquement en utilisant l'abaque de Wundt (Annexe N°5). Nous obtenons ainsi une ETR égale à 475 mm pour toute notre zone d'étude.

Tableau N°28: L'évapotranspiration réelle E.T.R selon WUNDT .

Paramètre Région	t (°C)	P (mm)	E.T.R	
			mm	% p
Mitidja Centre - Ouest	18.47	592.38	475	80.19

(%) p : taux de précipitation évaporé.

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 N°29 : Résultats de l'E.T.R obtenu par les trois méthodes

Méthode	TURC	COUTAGNE	WUNDT	Moyenne
ETR (mm)	490	490.65	475	485.22

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= 490 mm (proche de la moyenne), les deux autres méthodes s'appliquent généralement pour des climats humides.

4.2. Estimation du bilan hydrologique

4.2.1) 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)

$$R = \frac{P^3}{3.(ETP)^2} \dots\dots\dots(15)$$

Tableau N° 30: Résultats d'évaluation de la lame ruisselée :

La région d'étude	P moy (mm)	ETP moy (mm)	R (mm)
Mitidja Centre _Ouest	592	924,71	80.88

4. 2. 2) Estimation de la lame infiltrée

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

$$P = E . T . R + R + I \pm \Delta S \dots\dots\dots(16)$$

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.

Cette dernière devient négligeable devant une période d'observation de longue durée (supérieur à 30 ans), avec une succession de périodes humides et sèches sur l'intervalle d'observation. (Maurice Grisoni ; Jacques Decroux, 1972).

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

$$\text{Tel que : } I = P - E.T.R - R \dots \dots \dots (17)$$

Tableau N°31 : Résultats de calcul de la lame infiltrée.

La région d'étude	P moy (mm)	ETR moy (mm)	R (mm)	Lame infiltrée
Mitidja Centre - Ouest	592	490	81	21

4.2. 3) Résultats du bilan hydrologique

Tableau N°32 : 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	
592	592	490	81	21	592	0

Conclusion

L'Hydroclimatologie joue un rôle très important dans une étude hydrogéologique. Les paramètres et les données climatiques nous permettent non seulement de caractériser le régime climatique mais également de quantifier les apports aux réservoirs souterrains par le biais du bilan hydrologique.

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

I. Etude géologique

Introduction

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 recouru au 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 débarrassé 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 détritiques pouvant se déposer en certains points, du Sahel. Ainsi s'est formé dans le Sahel des méplats couverts d'alluvions. (*Figure N°32*)

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

- ❑ 1. *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.
- ❑ 2. *Remblaiement* : Cette phase est caractérisée par la transgression du Miocène et les cycles du Pliocène qui vont combler la dépression.
- ❑ 3. *Déblaiement* : Cette troisième phase est constituée par des matériaux Néogènes. Influencé par le poids des dépôts, le bassin continue à se creuser en prenant une forme de cuvette (forme actuelle) c'est le phénomène de la subsidence.

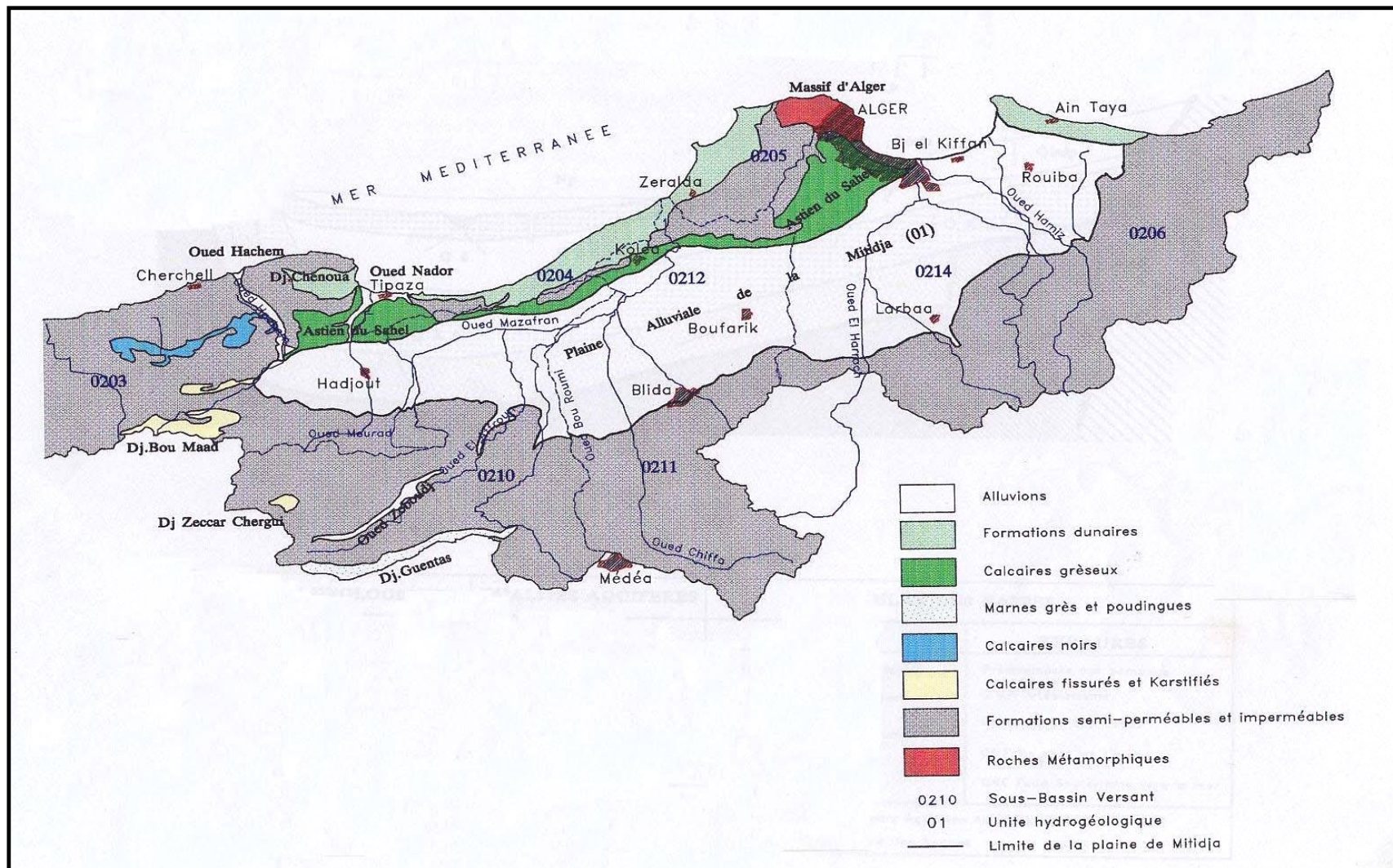


Figure N°32 : Formations géologique de la plaine de la Mitidja (Bennie and Partners, 1983)

Ces évènements géologiques ont cependant contribué à l'évolution paléogéographique et tectonique de la Mitidja,

I. 1.1.1) les plissements

a) Plissements Eocène (calcaire Nummulitique)

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

b) Plissements Cartenniens

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).

I. 1.1.2) 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-astien marque l'arrêt du remblaiement à laquelle a succédé la phase de déblaiement qui a engendré le Sahel pour aboutir au stade actuel.

I. 1.1.3) 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.

I. 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.

I.1.2.1. Le socle primaire

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

I.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.

I. 1.2.3. Le Tertiaire

I.1.2.3. 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).

I.1.2.3. 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).

I. 1.2.3. c) Plaisancien

Il repose en discordance sur les formations du Miocène (Glangeaud ,1952). Il s'agit d'une formation constituée de niveaux fossilifères 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).

I.1.2.3. 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 (*Figure N° 33*).

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.

I.1.2.4. Le Quaternaire

1.2.4. 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.

1.2. 4. 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.

1.2.4. 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.

1.2.4. d) Les dépôts récents

Ces derniers comprennent :

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

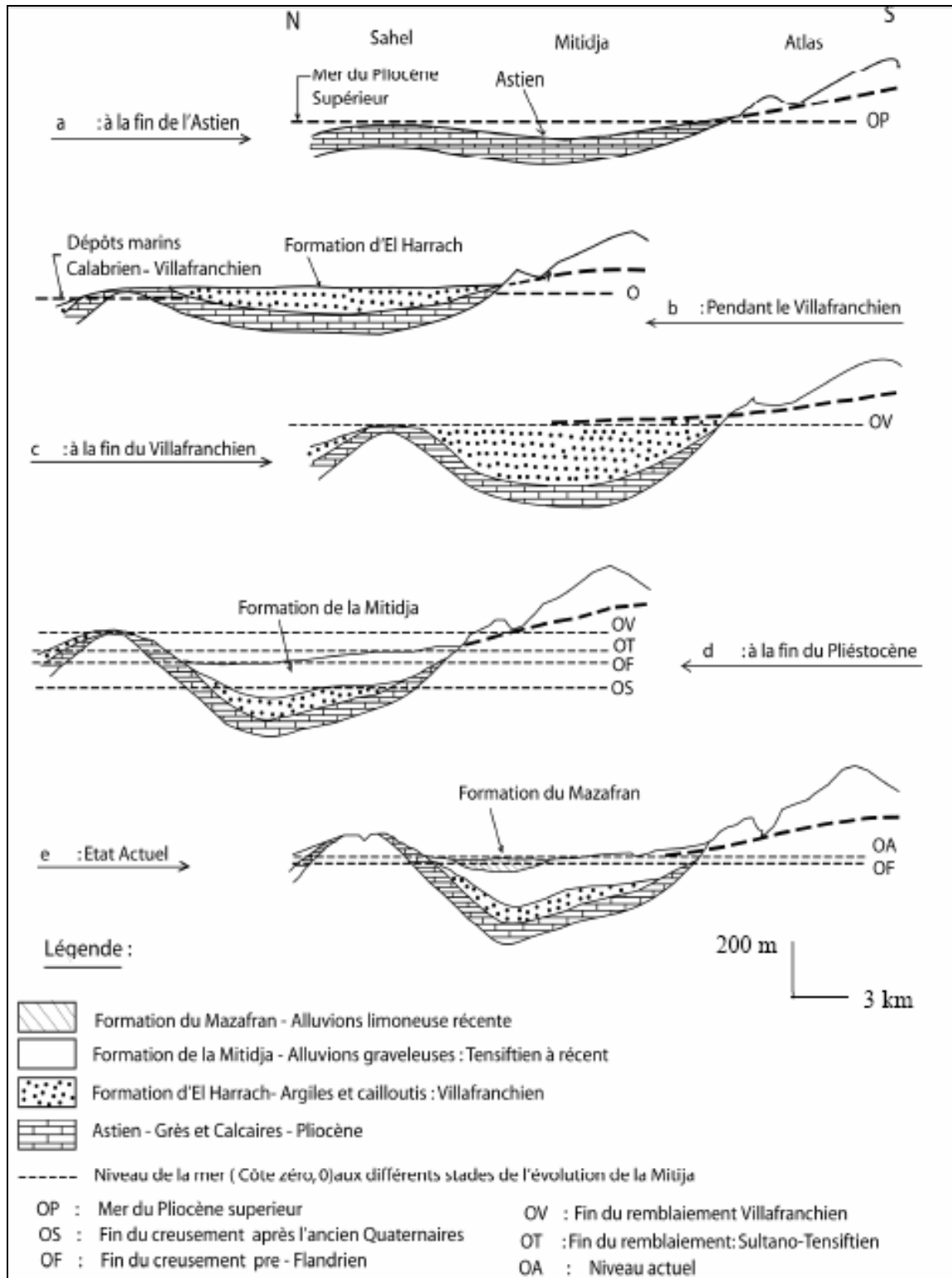


Figure N° 33 :Différents stades de l'évolution de la Mitidja pendant le plio_ quaternaires (L.Glanceaud, 1932).

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.

		Age	Formation	Lithologie	Epaisseur	Aquifère existants
Quaternaire	Pléistocène	Actuel / récent	Alluvions des oueds, dunes, piémont de l'Atlas	Sable / Gravier, Sables éoliens, limons argileux	< 10 m 10 à 20 m	
		Rharbien	Formation du Mazafran Formation de Halloula Formations dunaires	Limons et argiles limoneuses Sables consolidés	10 à 60 m 15 à 50 m	
		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	—		

Tableau N° 1 : Distribution générale des formations du remplissage de la Mitidja. (Sir M.MacDonald and Partners limited, 1992 in Ait Ouali, 2007).

I.2. Contexte tectonique

I.2.1. Orogène Alpin

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 à l'Est jusqu'aux Apennins, formant l'arc Calabro-Sicilien.

I. 2.2. 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.

I.2.3. 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 N° 34*)

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).

I. 2.4. 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 pouvant 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)

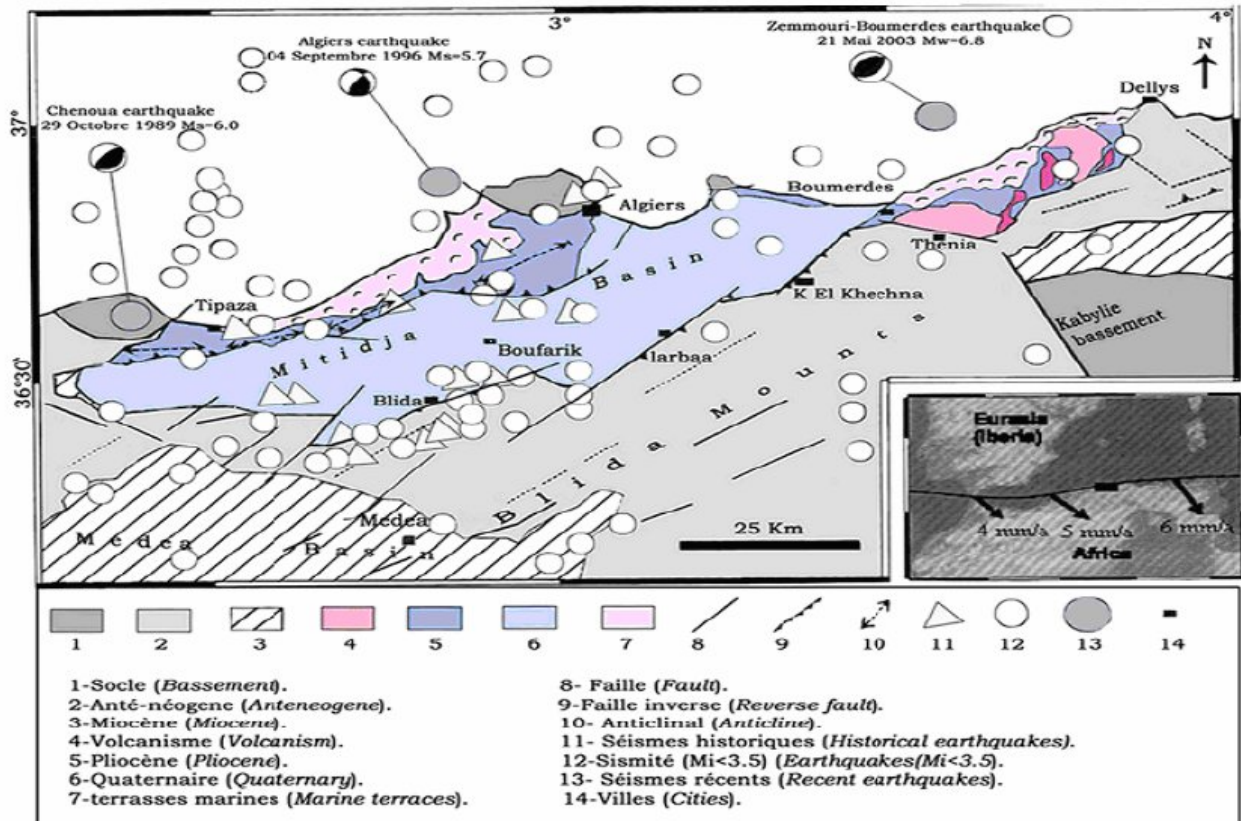


Figure N° 34 : Carte sismotectonique du bassin de la Mitidja (Meghraoui et al, 2004).

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.

II. Approche géophysique

Introduction

L'étude géophysique a pour objectif de déterminer en premier lieu la géométrie des aquifères existants dans la région. Cette dernière est attestée par les travaux effectués par ; la CGG (1967, 1968, 1969) et Algéo (1978), en deuxième lieu; la nature lithologique des différents faciès existants.

II. 1. Interprétations des sondages électriques

D'après l'échelle des résistivités adoptées, la totalité des sondages électriques illustrent une forme en cloche de type trois terrains :

- ☞ Un terrain conducteur de surface.
- ☞ Un terrain résistant, qui reflète la formation perméable (sable, gravier, galets..) qui correspond à la nappe alluviale de la Mitidja.
- ☞ Un terrain conducteur ou la couche atteint les faibles résistivités présentant le substratum argileux. (*Figure N° 35*).

Tableau N° 34 : Echelle des résistivités.

Etage	Nature Géologique	Résistivité (ohm m)
Quaternaire	Alluvions perméables	50 à 100
	Alluvions peu perméables	5 à 30
Pliocène	Calcaires gréseux	60 à 80
	Marnes	3 à 20
Miocène	Argiles quartzitiques	10 à 20
	Marnes	40 à 50

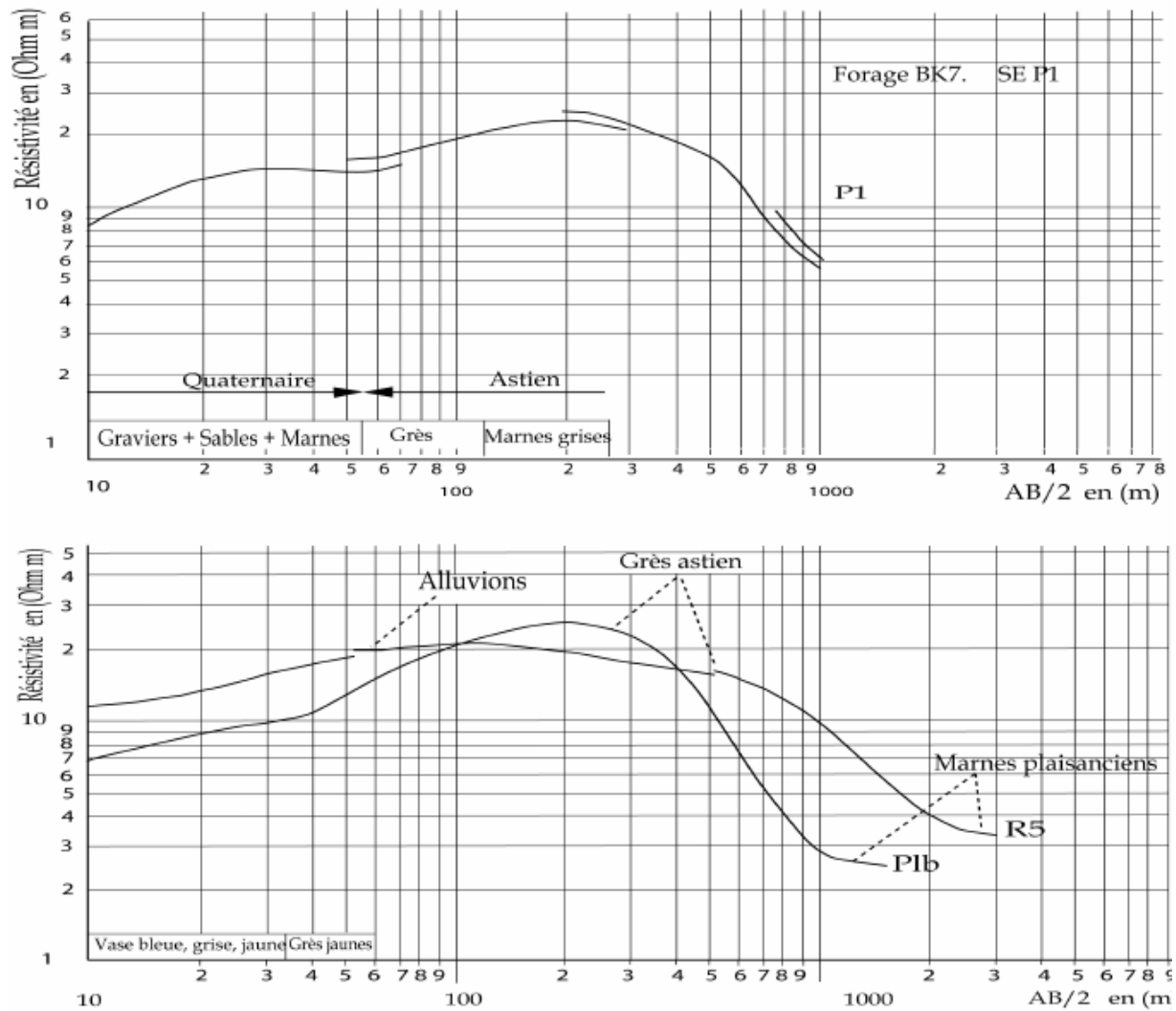


Figure N°35 : Sondages électriques (P1) au niveau de Boufarik et (P1b et R5) région du Mazafran.

II.2. Interprétations des cartes géoélectriques

II. 2.1. Carte des résistances transversales (R_t)

La résistance transversale dépend de l'épaisseur de la formation étudiée et de son faciès.

L'interprétation de la carte des R_t illustre quatre zones de valeurs élevées, ce qui nous a permis de situer les zones favorables à l'implantation des nouveaux points de captage dans les endroits suivants : El Harrach, Barraki, Mazafran, ...etc. Ainsi que dans la partie occidentale et qui constitue notre zone d'étude avec des résistances transversales de l'ordre de $12 \cdot 10^{+3}$ Ohm m^2 due à la présence de matériaux péltiques (limons, et intercalation argileuses dans les alluvions) .(**Figure N°36**).

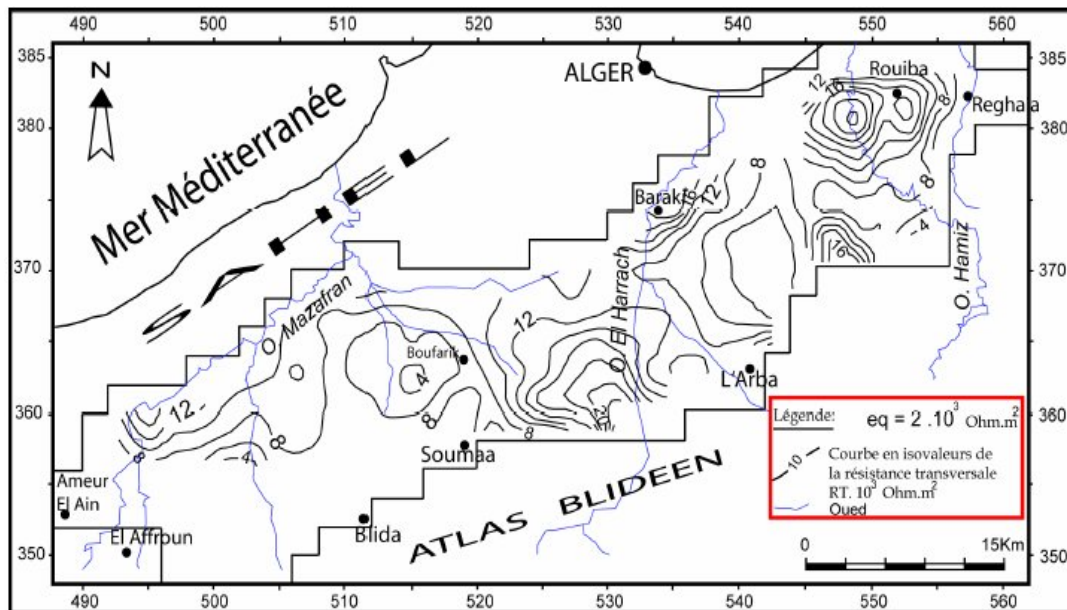


Figure N° 36 : Carte de la résistance transversale correspondante aux horizons profonds (Astien + Alluvions du quaternaire) (Rt) Ohm. m2 (CGG ,1969)

II. 2.2. Carte du mur de l'Astien ; (allure du substratum)

Cette dernière est présentée par des courbes de niveaux (cotes par rapport au niveau de la mer) du faciès gréseux de l'Astien.

Dans la partie Ouest :

☞ Le bassin Plaisancien qui apparaît comme un synclinal en forme de U, légèrement bombé au centre, avec une dépression qui prend une allure de gouttière dans la partie du Mazafran a une cote de - 400m.

☞ Les forts gradients qui s'inscrivent dans les bordures Nord et Sud correspondant aux flexures Mitidjiennes bordant le synclinal. (*Figure N°37*)

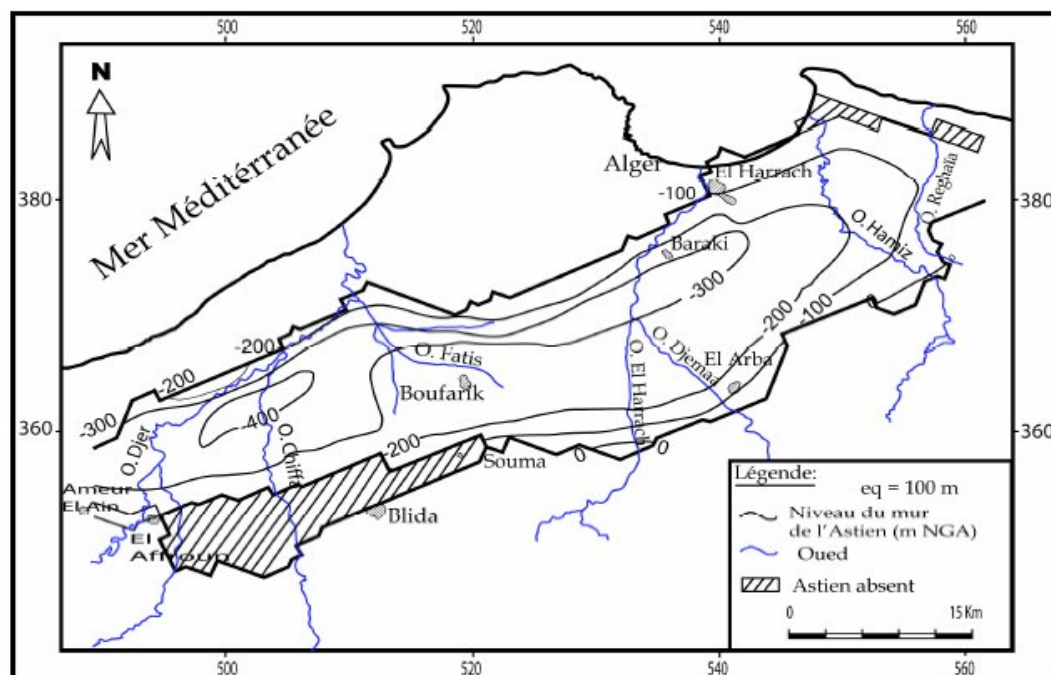


Figure N° 37 : Carte du mur de l'Astien, l'allure du substratum (M. Mac Donald and Partners, 1992 in Ait Ouali, 2007).

II.2.3. Carte du mur de la Mitidja

D'après la carte du mur du réservoir de la Mitidja, on peut distinguer une zone de dépression sous forme d'une gouttière allongée au niveau du Mazafran avec une côte de -160m.

On observe également une autre cuvette sous forme de lentille d'extension régionale de Rouïba à Boufariq d'une cote moyenne de -100m. Au niveau des bordures, on remarque un amincissement de cette formation, ce qui reflète l'allure générale en forme de cuvette allongée de direction WSW-ENE. (*Figure N° 38*)

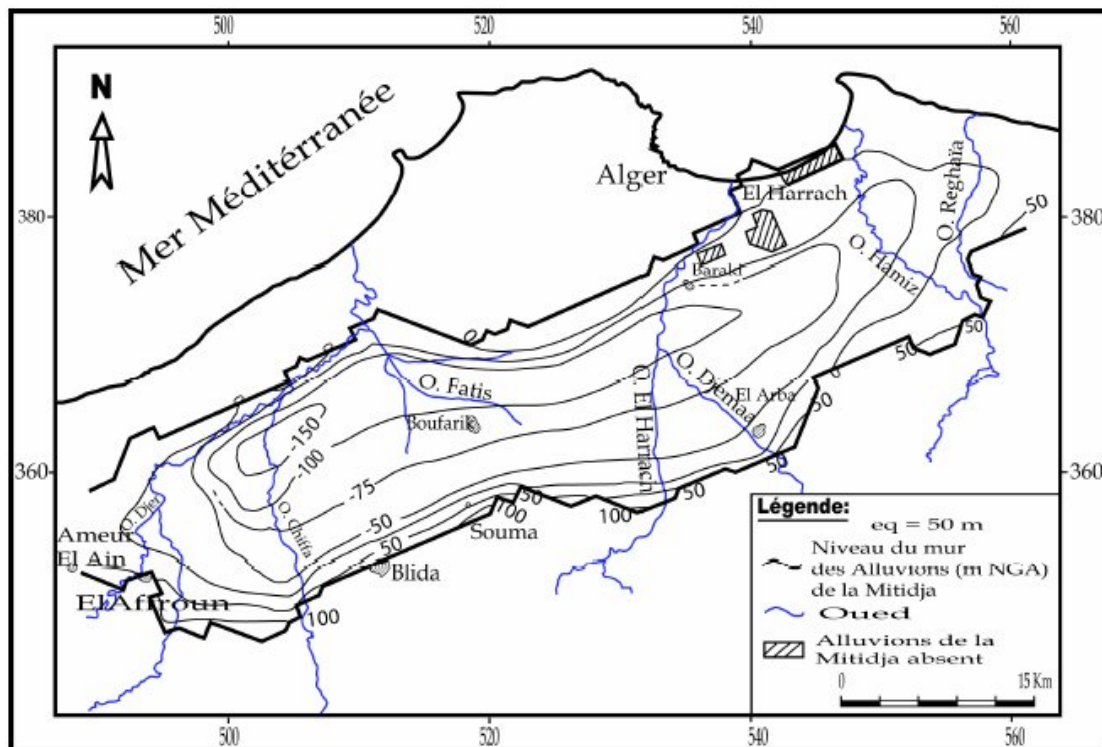


Figure N°38 : Carte du mur de la nappe de la Mitidja (M. Mac Donald and Partners, 1992)

II. 3. Interprétations des coupes géoélectriques

L'analyse des coupes géoélectriques reflète l'extension verticale et horizontale des faciès précédents, et permet les interprétations suivantes :

- ☞ On a un banc de limon sablo argileux, ou l'épaisseur ne dépasse pas les 10 m (dans le Mazafran) avec une résistivité de 10 à 30 Ohm m.
- ☞ Un niveau des alluvions limono sableuses avec des formations grossières (galets, graviers, sable), d'une résistivité de 50 à 100 Ohm m qui constitue le remplissage alluvial de la Mitidja.

En effet la formation Astienne admet comme couverture le niveau conducteur qui correspond à la formation d'El Harrach comparée à l'Astien qui présente une résistivité de 70 Ohm m.

Dans la partie Nord ,le banc Astien repose sur un substratum conducteur composé d'argiles Plaisanciennes , qui devient marneux d'âge Miocène dans la rive Sud de Khémis el khechna et Meftah. (*Figure N°39*)

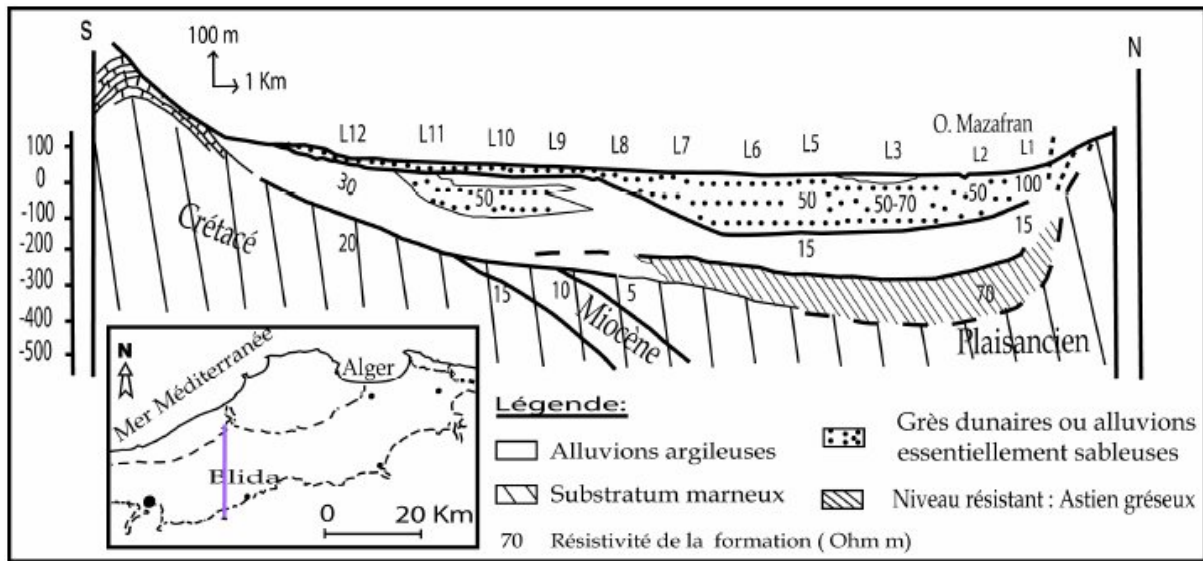


Figure N°39: Coupe géoélectrique dans la partie Ouest de la plaine de la Mitidja (CGG ,1969)

Conclusion

La prospection géophysique de la Mitidja révèle la géométrie des différents niveaux aquifères et illustre la nature lithologique des différents faciès existants dans la région.

La synthèse géophysique établit démontre l'existence d'une nappe captive très profonde, par conséquent peu exposée à la pollution, donc c'est la nappe libre du Quaternaire qui sera concernée par l'étude de vulnérabilité.

I. Etude hydrogéologique

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.

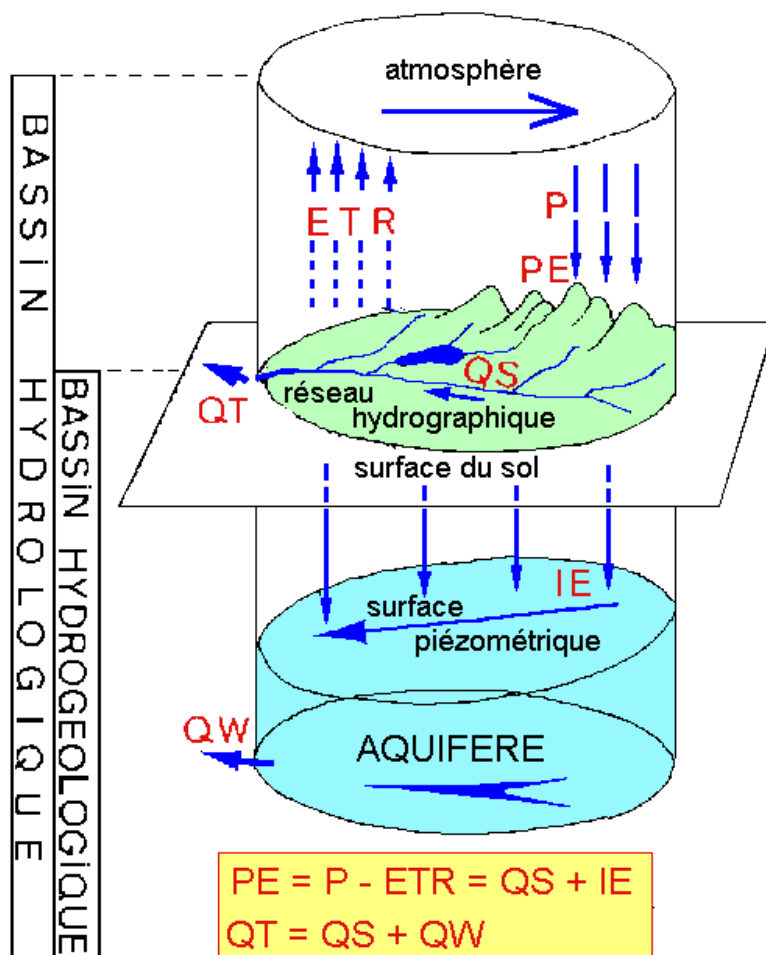


Figure N°40 : Bassin hydrologique, bassin hydrogéologique et aquifère (CASTANY ,1982).

I. 1. Principaux aquifères de la plaine de la Mitidja

I. 1. 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).

I. 1. 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 ».

I. 1. 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.

I.1. 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.

I.1.3.2) 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, il 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)

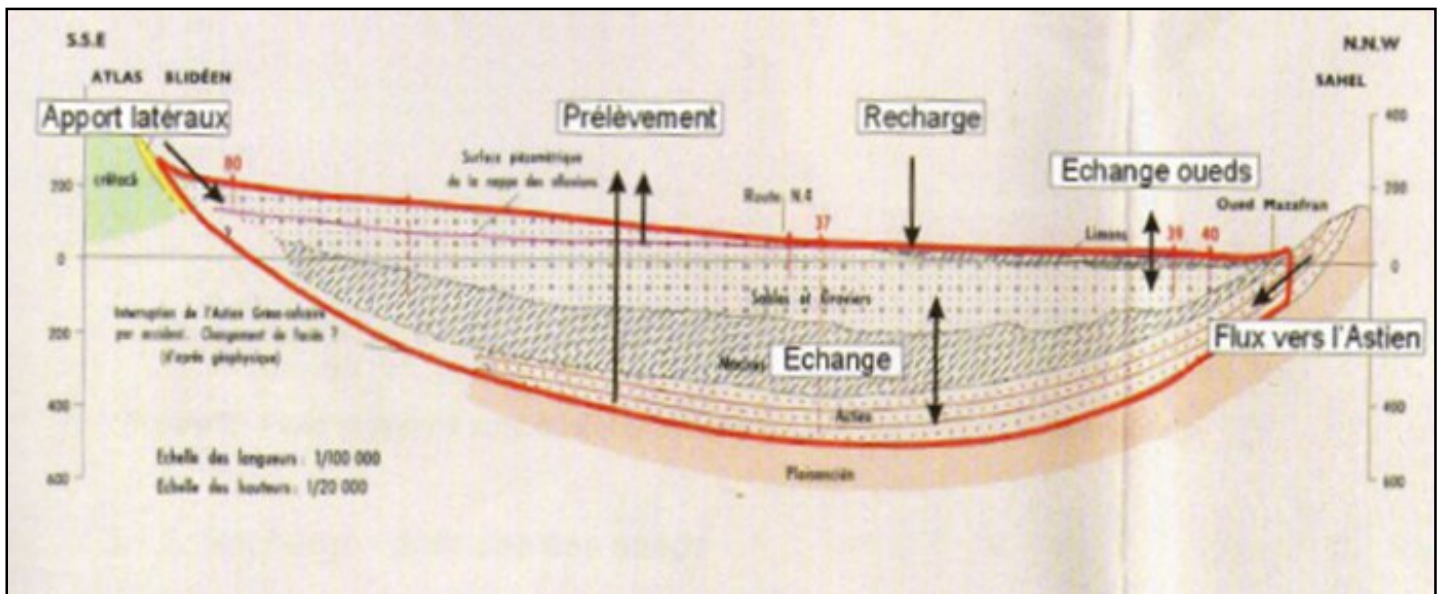


Figure N°41 : Coupe transversale illustrant les systèmes aquifères de la Mitidja. (SOGREAH, 2008)

I. 2. 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.

I. 2.1. 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 .

I. 2.1.1) 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 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).

I. 2.1.2) L'aquifère alluvial de la Mitidja

Cet 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)

Souvent elles atteignent des valeurs très importantes, surtout dans la partie Est, où les grands oueds déposent les matériaux grossiers relativement résistants.

Ces valeurs de transmissivités sont basées initialement sur la carte de distribution des 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 $2,3 \cdot 10^{-2}$ m²/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 $3 \cdot 10^{-2}$ m²/s.
- ☞ **La troisième zone** : se trouve au niveau du Mazafran avec des transmissivité de l'ordre de $1,5 \cdot 10^{-2}$ et $2 \cdot 10^{-2}$ m²/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 $5.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

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

I. 2.2. 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.

I. 2.2.1) 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 5.10^{-3} à 5.10^{-6} en zone captive et 0.03 à 0.05 en zone libre. (SOGREAH ,2008)

I. 2.2.2) 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'emménagement de d'ordre de 3% à l'Ouest et de 15% à l'Est avec une valeurs moyenne de 6 à 7% sur l'ensemble de la plaine.

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

I. 3. Piézométrie et évolution de la profondeur de la nappe de la Mitidja Centre et

Ouest entre 1998 et 2008

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'Arbaa N°42.

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 dans l'espace et dans le temps.

Pour illustrer cette évolution, des graphiques de variation de la profondeur de la nappe mesurée durant les différentes campagnes allant de 1998 à 2008 ont été établis. (*Figure N° 3*), (*Figure N° 4*) et (*Figure N° 5*).

I. 3.1.Chroniques piézométriques et interprétations des fluctuations piézométriques

Le niveau de la nappe alluviale de la Mitidja pendant la période (1998 – 2008) a varié de 3m à 26m selon les endroits (*Figures N° 42, 43,44*). 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.

I. 3.2. Indice de surexploitation de la nappe

La surexploitation de la nappe se matérialise par :

- ☞ La Chutes importantes des débits de forages réalisés récemment.
- ☞ Rabattement de la nappe dépassant par endroit plus de 30m au cours des dernières années.
- ☞ Assèchement des puits situés en amont de la Mitidja (Sud de la plaine) et ceux situés à coté des champs de captages.

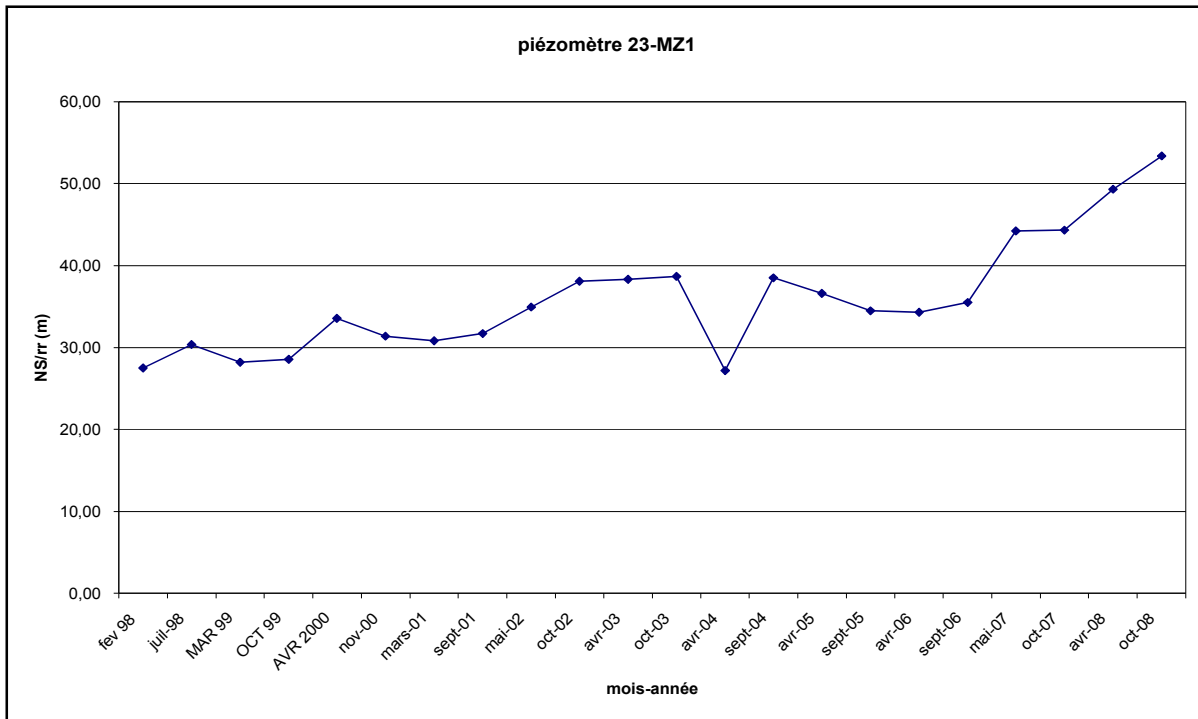


Figure N°42 : Evolution piézométrique dans le secteur du Mazafran durant la période de (98à08).

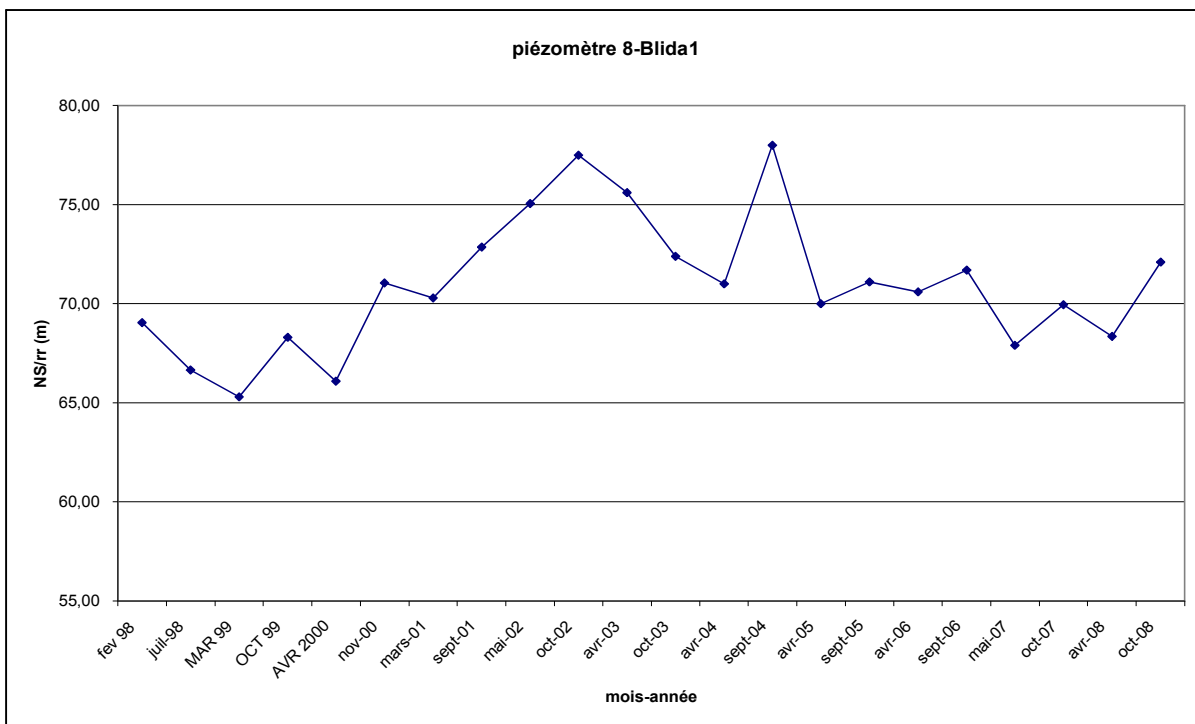


Figure N°43 : Evolution piézométrique dans le secteur de Blida I durant la période de (98à08).

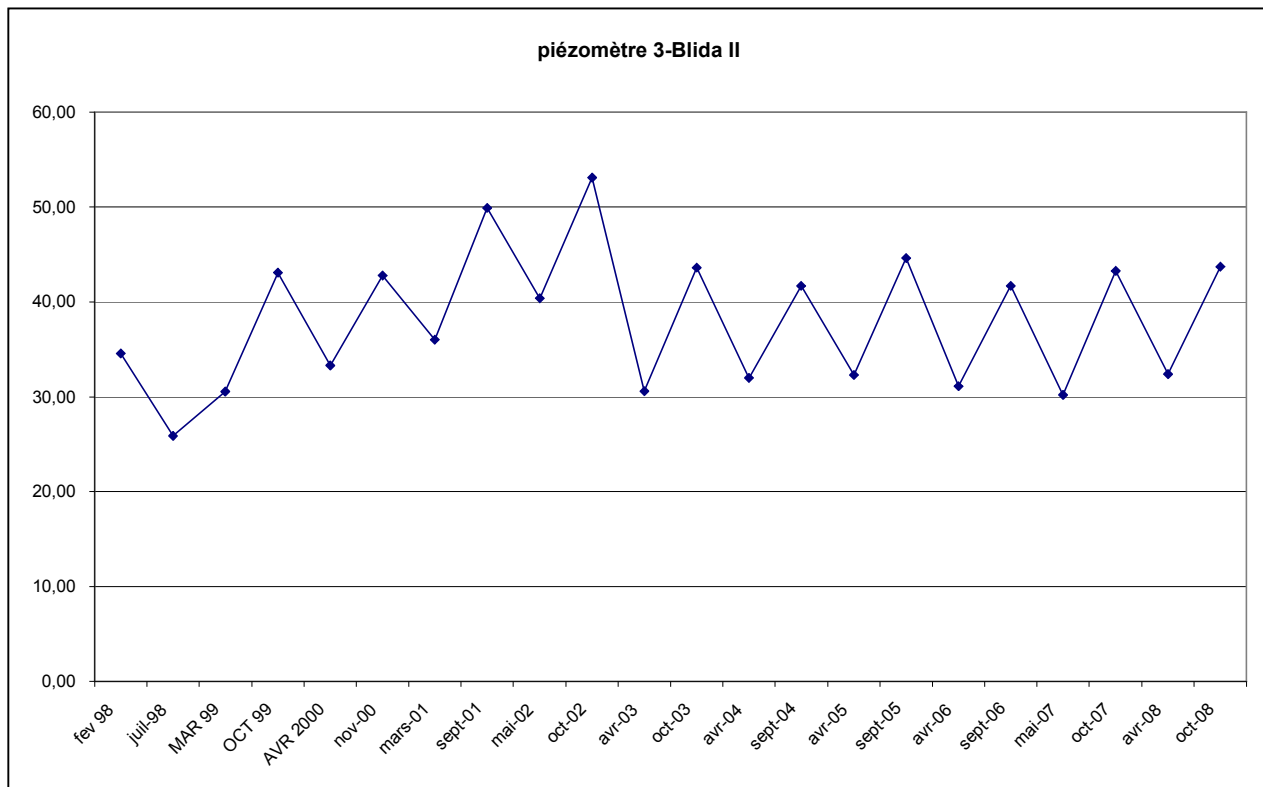


Figure N°44 : Evolution piézométrique durant la période de (98à08) dans le secteur de Blida II.

Cette baisse de la surface piézométriques est matérialisée par un cône de dépression qui se manifeste au niveau des principaux champs de captages ;la conséquence de plusieurs facteurs à savoir :

- ☞ Longue période de sécheresse (deux dernières décennies).
- ☞ Importante prolifération des ouvrages .Le nombre de forages inventoriés a pratiquement triplé dans un intervalle de 37 ans, Il est passé de 1492 en 1970 pour atteindre 4193 en 1997 selon les chiffres de l'ANRH.
- ☞ La déperdition des eaux par ruissellement.
- ☞ La prolifération des forages illicites qui ne sont jamais inventoriés, pompage continu et intensif au niveau des champs de captage : Mazafran I, Mazafran II, Blida I, Blida II.

I. 3.3. Amplification du phénomène dans le temps

Afin de prédire la gravité de cette baisse du niveau piézométrique dans un futur proche, un model conceptuel schématisant l'aquifère quaternaire de la Mitidja a été établi par le groupe SOGREAH, ce dernier permet d'observer un comportement cohérent des écoulements souterrains. En effet, pendant l'été, la baisse significative de la recharge des pluies et l'augmentation des prélèvements provoquent un rabattement de la piézométrie sur l'ensemble de la plaine.

Ce scénario présente donc une situation de statu quo qui servira de référence pour évaluer l'impact des modifications de gestion des forages envisagées par l'état.

Il faut noter que les résultats de la simulation s'étalent sur la période allant de : 1988 à 2015.

(**Figure N°45**)

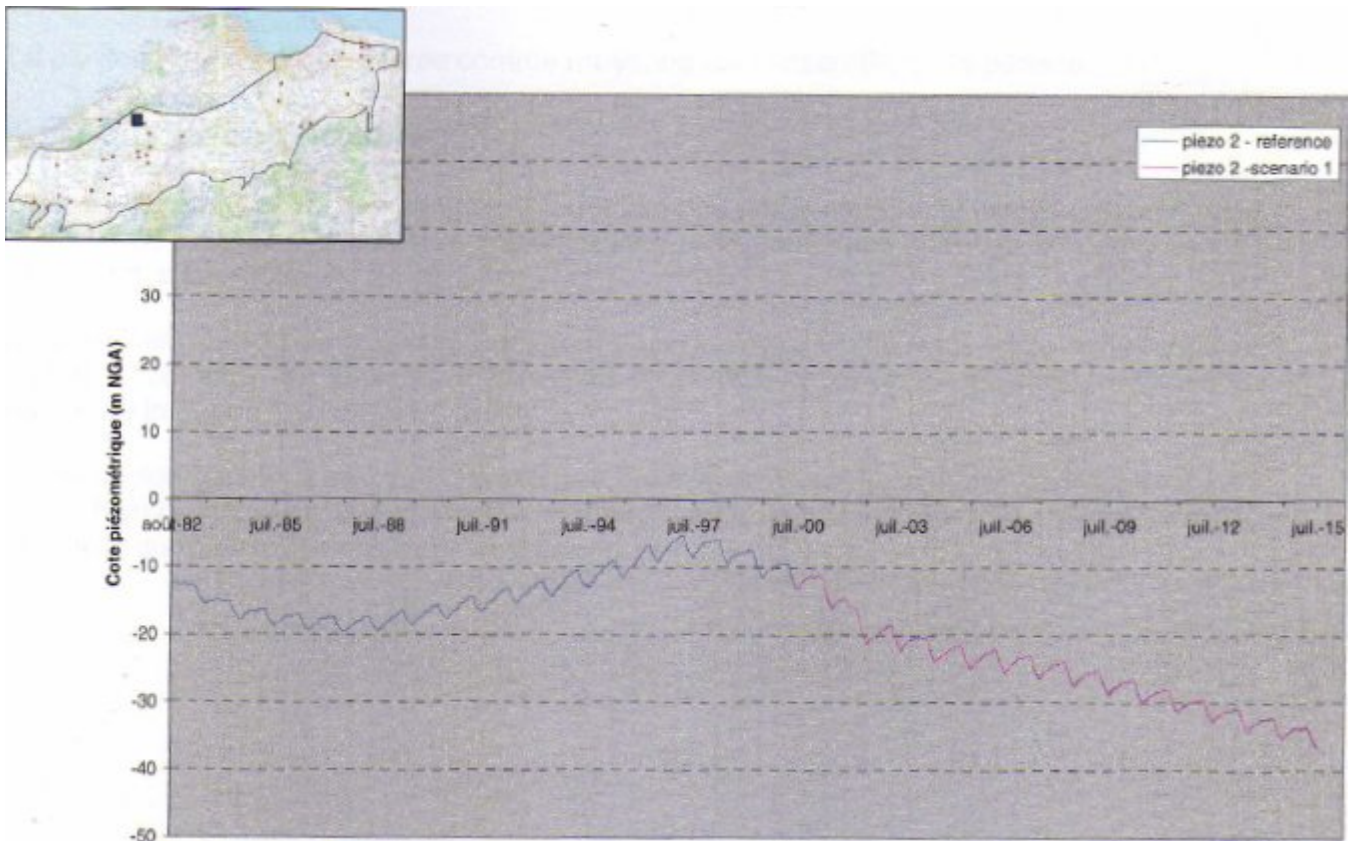


Figure N°45 : Evolution de la piézométrie dans le secteur du Mazafran d'après les résultats de la simulation pour le scénario statu quo. (SOGREAH, 2007)

I. 3.4. Interprétation de la carte piézométriques (campagne d'Avril – Sep. 2008)

La carte piézométrique réalisée (*figure N°46*) d'après la campagne d'Avril, 2008 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 isopièzes sont parallèles à l'Atlas. Ce qui suggère une zone de contact hydraulique (zone d'apport). Vers la partie Nord, ces isopièzes 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).

Le gradient hydraulique est le rapport de la différence de niveau Dh entre 2 piézomètres distants d'une longueur L . dans une carte ΔH est égale à la différence de niveau sur la distance entre 2 courbes isopièzes consécutives.

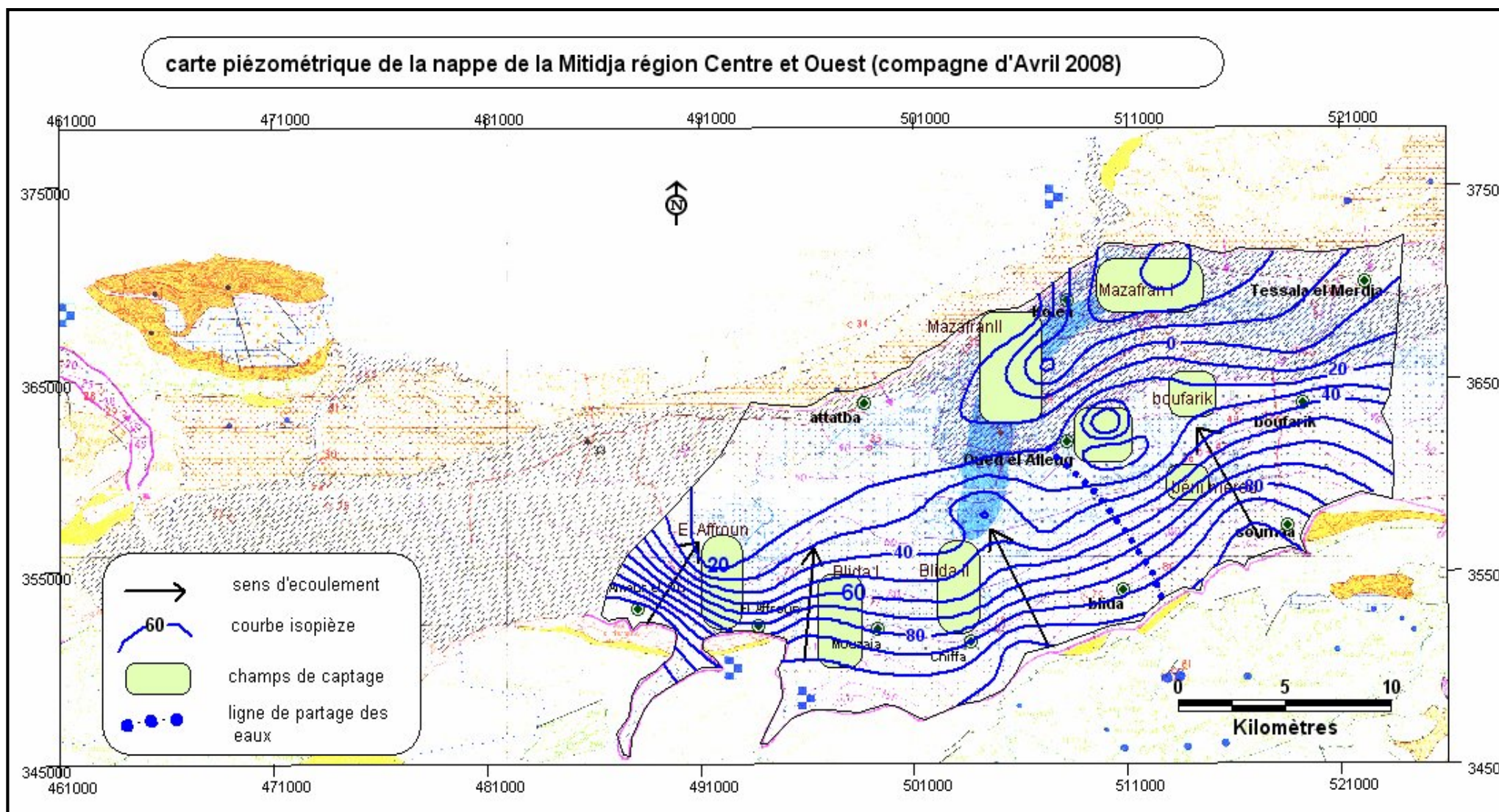


Figure N°46 : Carte piézométrique de la Mitidja Centre et Ouest, Avril 2008.

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.

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

Les valeurs du coefficient d'emmagasinement s'échelonnent de 10^{-3} pour la nappe captive à 0,15 pour la nappe libre d'après la récente étude établie par SOGREAH.

La sécheresse qui a frappé la région durant les deux dernières décennies a conduit les utilisateurs à surexploiter l'eau de l'aquifère alluviale. En effet l'historique de piézométrie montre que depuis la fin des années 1970, les débits sortant de l'aquifère sont supérieurs aux apports, ce qui a engendré une baisse brutale des niveaux piézométriques qui ont atteint les 45m dans la partie Ouest de la plaine. Ainsi, les résultats de la simulation mathématique (SOGREAH, 2009) de cette évolution dans le futur montrent une réelle aggravation de la situation si les mesures nécessaires ne seront pas entreprises en urgence par l'état.

II. Etude hydrochimique

Introduction

L'objectif de cette étude hydrochimique est de dresser un bilan des connaissances actuelles sur la qualité et les concentrations des eaux souterraines en divers éléments chimiques. Cette expertise est basée sur l'analyse de 71 échantillons d'eau prélevés au cours de l'année 2008 dans différents ouvrages (forages et puits domestiques). (**Annexe N°7**)

Les analyses chimiques des eaux effectuées au laboratoire de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques de Soumaa ainsi qu'au niveau du laboratoire de la SEAAL ont porté, en plus des paramètres physico-chimiques (pH, conductivité, minéralisation et température) sur les éléments suivants :

- ☞ Anions : HCO_3^- , Cl^- , SO_4^- , NO_3^-
- ☞ Cations : Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+

II. 1. Analyse des paramètres physico-chimiques

II.1. 1. Analyse des paramètres physiques

II.1. 1.1) Température

La température la plus fréquente est de l'ordre de 21 °C. Cette température relativement élevée est expliquée probablement par la faible profondeur du niveau piézométrique de la nappe.

II.1. 1.2) 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. Seulement 5% des échantillons prélevés dans partie Centre et Ouest présentent un $\text{pH} < 7$, ce qui reflète l'alcalinité des eaux de la nappe.

II.1. 1.3) Résidu sec

Le résidu sec noté (RS) correspond à la minéralisation totale d'une eau. L'analyse des échantillons indique que 62% des prototypes ont un RS < 1000 mg /l.

II.1. 1.4) Conductivité

La conductivité permet d'évaluer globalement la teneur de l'eau en sel dissous. L'OMS a fixée 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ comme valeur limite de la conductivité admissible dans l'eau de boisson.

Les valeurs de la conductivité observées au niveau des forages : F17, F18, et F32 dans les champs de captage du Mazafran I ainsi qu'au niveau du puits 37 I bis sont excessives (> 3500 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

La carte d'iso valeur en conductivité (Ait Ouali, 2006) permet de relever :

- ☞ Une augmentation progressive des valeurs du Sud vers le Nord.
- ☞ Concernant la partie Ouest de la plaine, les valeurs de faible conductivité (<1.5 mS/cm) sont localisées dans l'axe Boufarik Oued el Alleug.
- ☞ Les valeurs les plus élevées (> 1.5 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.
- ☞ Dans la partie Est, on rencontre généralement de faibles valeurs de conductivité sauf dans les secteurs industriels proches du piémont de l'Atlas.

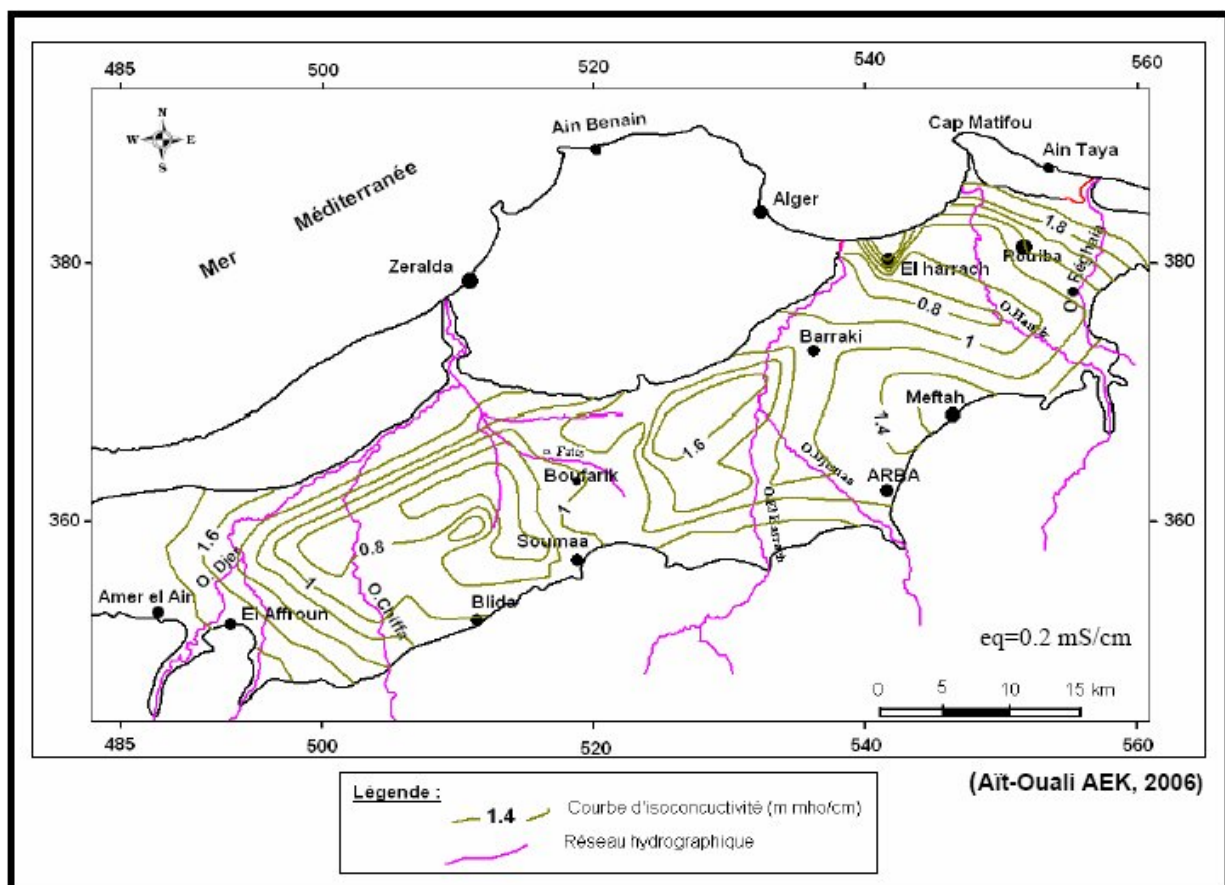


Figure N°47: Carte d'iso valeurs (mS/cm) de la nappe alluviale de la Mitidja (Ait Ouali, 2007).

II.1. 2. Analyse des paramètres chimiques

II.1. 2.1) Teneurs en éléments chimiques

a) Teneur en Chlorure (Cl^-) :

Les valeurs s'échelonnent entre 29 et 490 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 Kolea dans la région Nord du Mazafran ainsi que dans l'extrême Ouest du secteur d'étude de Attatba a Amer El Ain.

b) Teneur en Bicarbonate (HCO_3^-) :

Les teneurs varient entre 61 et 658 mg/l. les Bicarbonates proviennent du lessivage des formations du Djebel Zarouala.

c) Teneur en Sulfates SO_4^- :

Les teneurs s'échelonnent entre 8 et 500 mg/l ; on remarque que plusieurs valeurs dépassent la norme maximale admissible qui est de 400 mg/l ; les plus fortes teneurs sont observées dans l'extrême Ouest de la zone d'étude, cela est dû au lessivage des engrais des terrains agricoles et ainsi qu'aux rejets des eaux usées d'origine industrielle.

Une anomalie (une valeur de 611 mg/l) est enregistrée au niveau du puits F42 bis dans le champ de captage du Mazafran I ; elle est sûrement due à une contamination ponctuelle.

d) Teneur en 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 : N°1328 , N°1330, N°1332, N°1336 et N°1336 tous relevés dans la région Sud -Ouest. L'origine de cette pollution peut être multiple (rejets industriels, rejets agricoles et activités humaines).

e) Teneur en Calcium (Ca^{++}) :

Les teneurs en Calcium varient de 7 à 276 mg/l. les plus fortes concentrations s'observent au niveau des puits : N°349, N°356, N°503, N°504 et N°1232 excepté ces points la totalité des analyses présentent des concentrations inférieurs à la valeur maximale admissible qui est de l'ordre de 200mg/l.

Ces concentrations proviennent probablement du lessivage des formations carbonatées du piémont de l'Atlas au Sud.

f) Teneur en Magnésium (Mg^{++}) :

Les teneurs en Magnésium varient entre 13 et 146 mg/l, avec une prédominance inférieure à 100 mg/l (93% des échantillons). Ces concentrations sont compatibles aux normes maximales admissibles (150mg/l), à l'exception du forage F42bis où la teneur en (Mg^{++}) est de 176 mg/l.

Le Magnésium provient essentiellement du lessivage des formations argileuses.

g) Teneur en Sodium (Na^{++}) :

Pour ce qui est du Sodium (Na^{++}), plus de 90% des échantillons présentent des concentrations inférieurs aux normes (150mg/l), cela mis à part les points suivants : F42bis, F33bis, F22bis, F41bis ; situées tous dans la cluse du Mazafran et ses environs.

$$i.e.b = \frac{rCl - r(Na + K)}{rCl} \quad \text{ou } Cl^-, Na^{++} \text{ et } K^+ \text{ en meq/l}$$

Selon Schoeller

- Si **i.e.b >0** : le Na^{++} de l'eau est échangé contre le Ca^{++} et Mg^{++} de la formation.
- Si **i.e.b <0** : le Ca^{++} et Mg^{++} de l'eau peuvent être échangés contre le Na^{++} du sol.
- Si **i.e.b =0** : aucun échange ionique entre la roche et l'eau. (État d'équilibre)

Dans la partie Centre et Ouest de la plaine de la Mitidja , plus de 60% des échantillons analysés ont un $i.e.b < 0$; ce qui reflète un échange du Ca^{++} et de Mg^{++} de l'eau contre le Sodium du sol .

II. 3. Classification des eaux

II. 3. 1. Classification des eaux selon le diagramme de PIPER

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

L'insertion des résultats de l'analyse chimique des eaux souterraines de la nappe sur ce diagramme montre une tendance vers le pôle chloruré et bicarbonaté pour les anions ; tandis que les cations donnent une affinité vers les calciques et sodiques.

Au niveau du losange on distingue trois familles :

- ☞ Eaux chlorurées et sulfatées calciques et magnésiennes (60%).
- ☞ Eaux bicarbonatées calciques et magnésiennes (31%).
- ☞ Eaux chlorurées sodiques et potassiques ou sulfatées sodiques (9%).

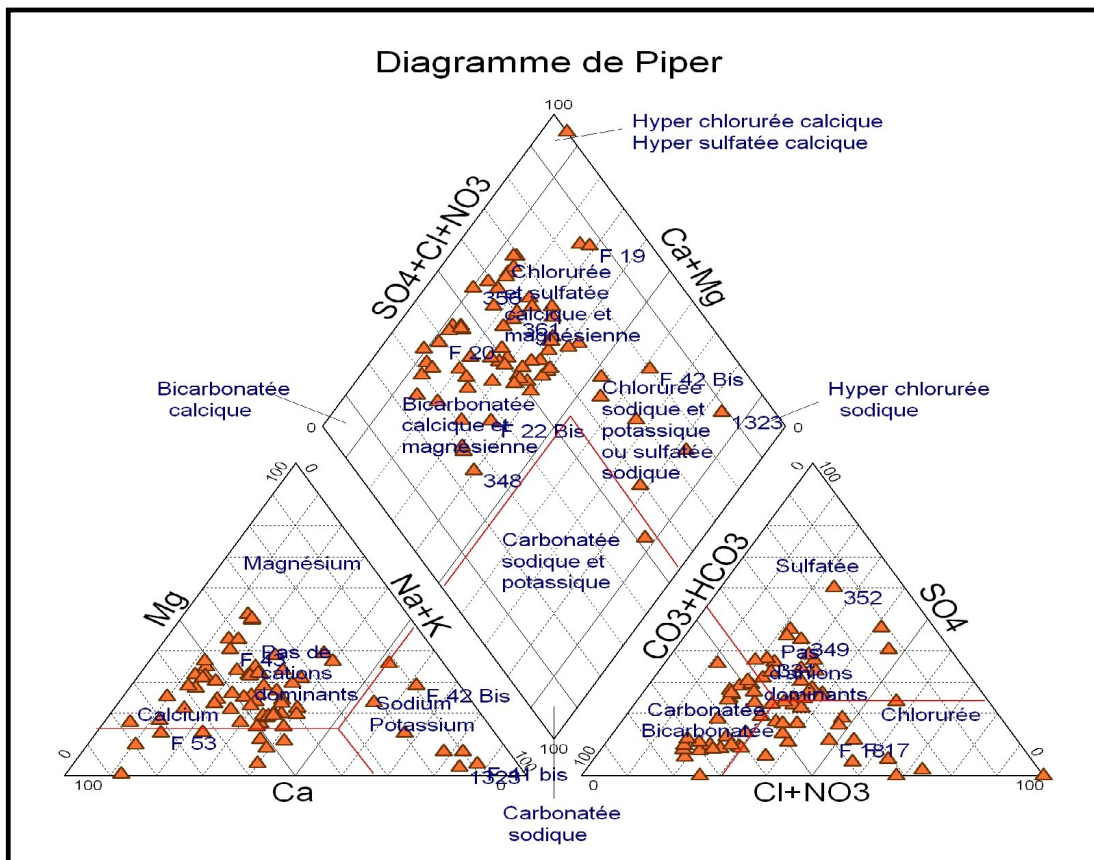


Figure N°49 : Diagramme de PIPER pour les eaux de la nappe alluviale de la Mitidja Centre et Ouest (Compagne, avril 2008).

II. 3.2. Représentation graphique des analyses

La représentation des analyses sur le diagramme semi logarithmique de Scholler-Berkaloff (*Figure N°50*) 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 F42bis au niveau duquel on observe plusieurs valeurs excentrées, cela est sûrement due a une éventuelle contamination de la nappe.

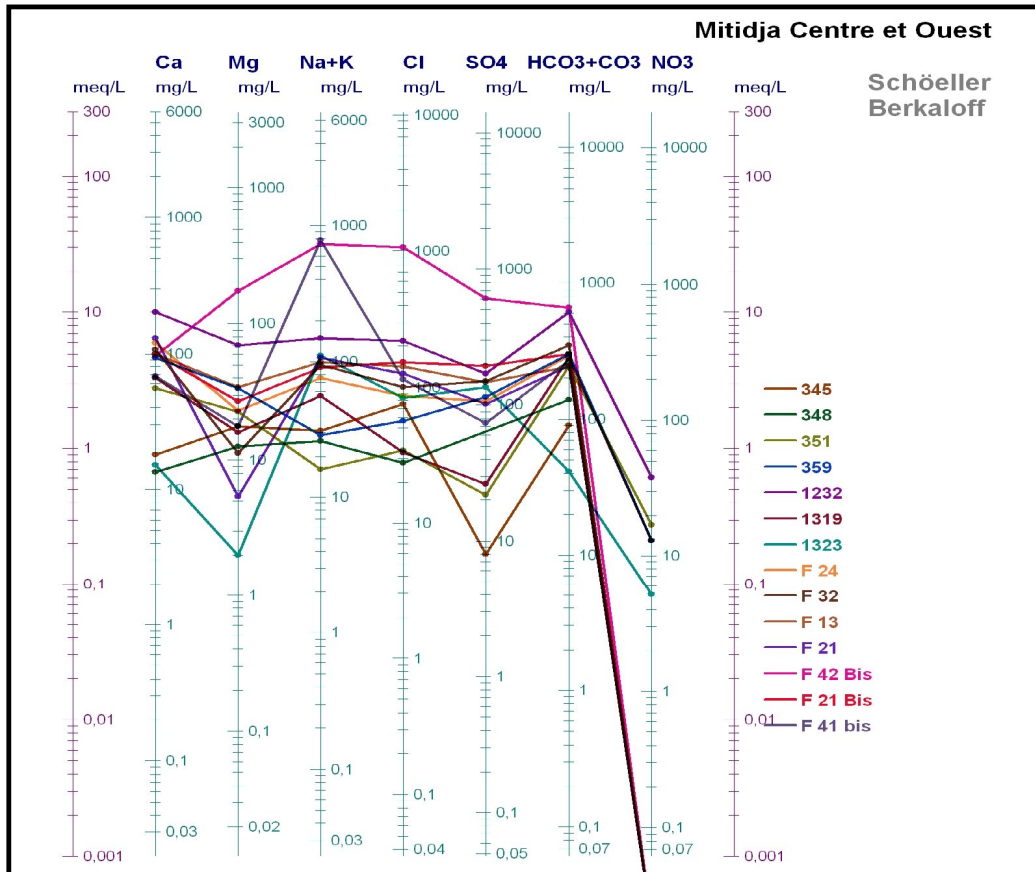


Figure N°50: Représentation graphique de 14 échantillons sur le diagramme de Scholler-Birkaloff

II. 3.3. Aptitudes des eaux à l'irrigation

La qualité des eaux orientées vers l'irrigation est fonction de la salinité et du risque d'alcalinisation des sols (Dosso, 1980).

Le taux de d'adsorption du sodium (le SAR) reporté en fonction de la conductivité à 25° sur le diagramme semi logarithmique de Riverside permet de déduire les observations suivantes :

Plus de 80% des eaux de la plaine appartiennent à la classe C_3S_1 , et donc peuvent être utiliser sans aucun danger.

II. 4. Evolution et répartition spatiale des faciès

La répartition spatiale des faciès des eaux de la nappe, inventoriées dans l'ordre imposé par le classement des faciès subséquent aux formules caractéristiques permet d'en tirer les conclusions suivantes :

(D'après l'étude hydrochimique de Ait Ouali, 2007) .

II. 4.1.Le faciès Bicarbonaté calcique

Ce faciès occupe la plus vaste partie de la plaine. Il s'étale depuis oued el Hamiz à l'Est jusqu'à oued Djer à l'Ouest. La présence de ce faciès reflète la circulation des eaux dans les alluvions grossières (gravier, galets) avec une forte possibilité de son origine calcaire.

En effet le contact entre les deux formations, Quaternaire et celle de l'Astien dans la partie Est avec la présence d'un matériel calcaire-gréseux joue un rôle sur le chimisme des eaux en général et sur ce faciès en particulier.

II.4.2.Le faciès Chloruré calcique

Bien que ce faciès est beaucoup plus rencontré dans la partie Est de la plaine en raison de l'influence de l'intrusion marine, on le retrouve aussi dans la partie Ouest au Nord Est de Amer El Ain, la minéralisation des eaux dans cette région est alors due au lessivage des terrains traversés.

II.4.3.Le faciès Bicarbonaté sodique

On le retrouve au Sud de Attatba et à l'Est d'Ameur El Ain ; due au lessivage des terrains traversés et probable influence des formations volcaniques.

II.4.4.Le faciès Bicarbonaté Magnésien

Concernant notre zone d'étude, ce faciès se localise essentiellement au Nord Ouest de Boufarik, en effet ce dernier révèle la présence d'écoulement dans un environnement dolomitique.

II.4.5.Le faciès sulfaté calcique

On remarque la présence de ce faciès dans la partie Nord d'El Affroun. Son existence est due à l'occupation des terrains traversés par des d'évaporites.

II. 5. Les paramètres ayant une influence sur le chimisme des eaux de la région Centre et Ouest de la plaine de la Mitidja

II.5. 1) facteurs naturels de la minéralisation des eaux souterraines

La lithologie de l'encaissant et le dynamisme souterrain jouent un rôle très important sur le chimisme des eaux.

a. lithologie de l'encaissant

La plus part du matériel est a constituant calcaire, ce qui explique le caractère Bicarbonaté Calcique des eaux souterraines de la zone d'étude.

b. Dynamisme souterrain

Les caractéristiques hydrodynamiques jouent un rôle essentiel dans le chimisme des eaux souterraines suivant les axes de drainage et leurs vitesses de circulation.

Au niveau de notre région d'étude, on recense une bonne répartition du faciès dominant (Bicarbonaté Calcique), ainsi que la présence d'autres faciès (Sulfaté Calcique et Bicarbonaté sodique) entre El Affroun et Ameur El Ain.

Cette distribution est régie par l'alimentation de la nappe par l'oued Djer et le massif de l'Atlas.

II. 5. 2) facteurs artificiels de la minéralisation des eaux souterraines

La vocation agricole de la plaine de la Mitidja, la présence de plusieurs pôles urbains (Blida, Boufarik....) et l'importance du développement industriel favorisent le risque de pollution des eaux de la nappe et influencent directement leurs caractéristiques chimiques.

Conclusion

Concernant l'hydrochimisme ; les eaux de la nappe se repartissent en trois familles :

- ☞ Famille des eaux Bicarbonatées.
- ☞ Famille des eaux Chlorurées.
- ☞ Famille des eaux Sulfatées.

Les faciès les plus présents sont le Bicarbonaté calcique et Chloruré calcique.

Les eaux sont généralement dures à très dures, le plus souvent incrustantes et peuvent être utilisées pour l'irrigation sans aucun risque d'alcalinisation pour les sols.

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.

Introduction

La cartographie de la vulnérabilité des nappes à la pollution est une opération d'autant plus laborieuse qu'essentielle. Elle représente un outil indispensable pour les grands projets d'aménagement du territoire et la protection de l'environnement.

Dans le but d'évaluer la vulnérabilité environnementale de la nappe phréatique de la Mitidja occidentale, on a eu recours à l'usage combiné du modèle DRASTIC et les systèmes d'informations géographiques (SIG). Cette méthode se base sur la description et la représentation de la répartition spatiale des paramètres climatiques hydrogéologiques, et physiques du système aquifère.

1. Elaboration de la carte de vulnérabilité

1. 1. Etapes à suivre pour la construction de la carte

1. Collecte des données nécessaires, et constitution d'une base de données.
2. Elaboration des sept cartes thématiques relatives à chaque paramètre.
3. Réalisation de la carte finale de vulnérabilité, résultant de la superposition successive des sept cartes paramétriques.
4. Calcul de l'indice DRASTIC.
5. Hiérarchisation des unités hydrogéologiques.

1. 2. Acquisition de données

L'application de la méthode DRASTIC nécessite une collecte importante de données ayant trait à l'hydrogéologie, à la géologie, à la morphologie et à la pédologie du milieu naturel (*Tableau N°35*).

Pour chaque paramètre DRASTIC, nous avons élaboré une carte paramétrique (carte de vulnérabilité à la pollution, tenant compte d'un seul paramètre), en se basant sur les notations et les coefficients de pondération accordés aux critères choisis pour étudier, classer et représenter sur le plan horizontal, le rôle protecteur de l'interface séparant la ressource en eau de la source de pollution.

1. 3. Réalisation des cartes thématiques et description des paramètres

Ces cartes ont été établies en fonction du système d'indexation inséré dans l'*Annexe N°1*. Elles sont réalisées pour chaque paramètre (DRASTIC). 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 sept (07) cartes thématiques d'indice de vulnérabilité partiel (de la *Figure N°51* à la *Figure N° 57*). Ces dernières illustrent la répartition spatiale de chaque paramètre DRASTIC, présenté sous forme de plage, de vulnérabilité faible à élevée.

Tableau N°35: Principales sources d'information pour la construction de la base de donnée.

Paramètres	Principales sources d'information
Profondeur de la nappe (D)	-Campagne piézométrique 2008 (A.N.R.H. Blida) -Etudes hydrogéologiques ANRH, USTBH, ENSH....
Recharge nette (R)	-Déduite à partir du bilan hydrique -Données pluviométriques (période 1975-2007) -Données de températures (station de Mouzaia) - Mémoire de magistère (Ait Ou Ali ,2006) - Model mathématique de la nappe alluviale de la Mitidja (SOGREAH, 2008) - Projet : recharge artificielle de la Mitidja (ANRH,2005)
Matériaux de l'Aquifère (A)	- Plus de 50 logs lithologiques de forages analysés. (ANRH Blida) - Carte géologique 1/50 000(Bennie and Partners, 1983) -Etudes hydrogéologiques. (Mémoire de magistère Ait Ouali 2006)
Type de sol (S)	-Cartes pédologiques de la plaine de la Mitidja (carte au 1/50000 ^e) ANRH Alger, (Ecrement, 1971) - Etude Pédologique (Ecrement, 1971) ANRH Alger. _Etude Pédologique de la Mitidja Ouest,(Chetibi, 2007)
Topographie (T)	- Cartes topographiques au 1/50000 ^e (Koléa, Blida, Tipaza et Hadjout) - Mémoire de magistère (Ait Ouali ,2004)
Impact de la ZNS (I)	- Plus de 50 logs lithologiques de forages analysés. (ANRH) -Mémoires et Thèses hydrogéologiques, USTBH
Conductivité hydraulique (C)	-Etudes hydrogéologiques de la nappe de la Mitidja -Mémoire d'ingénieur : Bardous et Banani, USTBH,1997 .et (Carte de transmissivité de la nappe de la Mitidja). - Modèle mathématique (SOGREAH, 2008) - Mémoire de magistère : (Ait Ouali, 2006)

1. 3.1. Carte du paramètre « D », profondeur de la nappe

Les données sur la profondeur de la nappe (**NS**) ont été tirées de la campagne piézométrique la plus récente (Avril, 2008) disponible au niveau de l'ANRH de Blida. Nous définissant quatre classes (**Figure N°51**), chacune affectée d'un indice de vulnérabilité partiel I_D relatif au paramètre profondeur de la nappe. Ces résultats sont repartis comme suit :

Classe 1 : localiser au niveau de Boufarik et ses environs, le toit de la nappe est de l'ordre de 9 à 15 m de la surface du sol, l'indice partiel I_D est alors égale à **25** .

Classe 2 : Cette classe de profondeur allant de 15 à 22 m est située au Sud-Ouest de la région d'étude, elle s'étale de Blida à El Affroun. L'indice $I_D = 15$.

Classe 3 : cette classe présente un intervalle de profondeur = 22 à 30m, qui se localise au Nord de Chiffa. L'indice $I_D = 10$.

Classe 4 : cette classe représentant des profondeurs supérieures à 30m, et un indice $I_D = 5$ s'étend sur presque la totalité de la zone d'étude. Voir (**Figure N°51**)

Ce paramètre est important car il tient compte de l'infiltration des eaux de pluies et conditionne le temps mis par le polluant pour atteindre la surface de la nappe

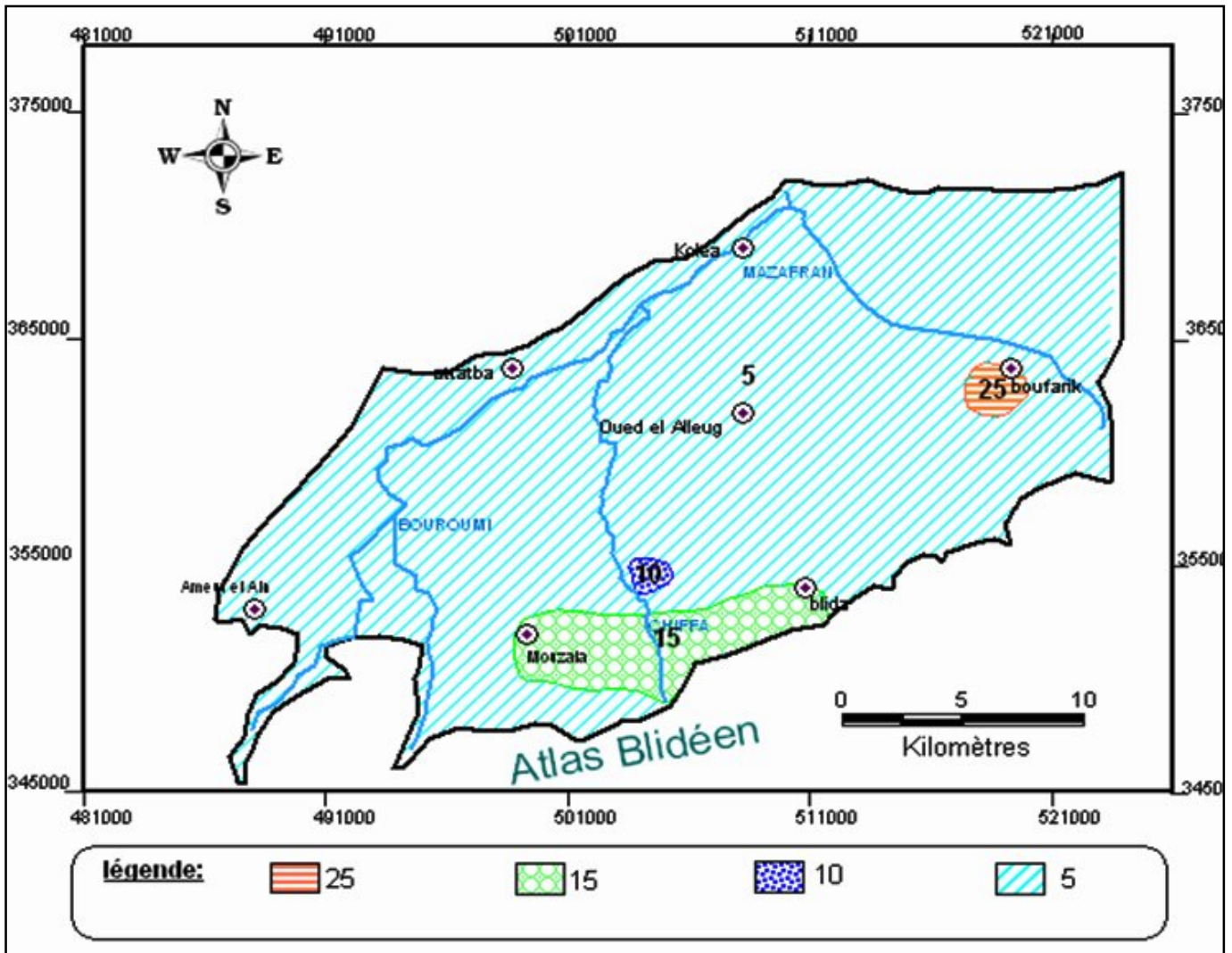


Figure N°51 : Carte du paramètre « D », profondeur de la nappe

1. 3.2. 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 N°52*).

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 de Attatba.

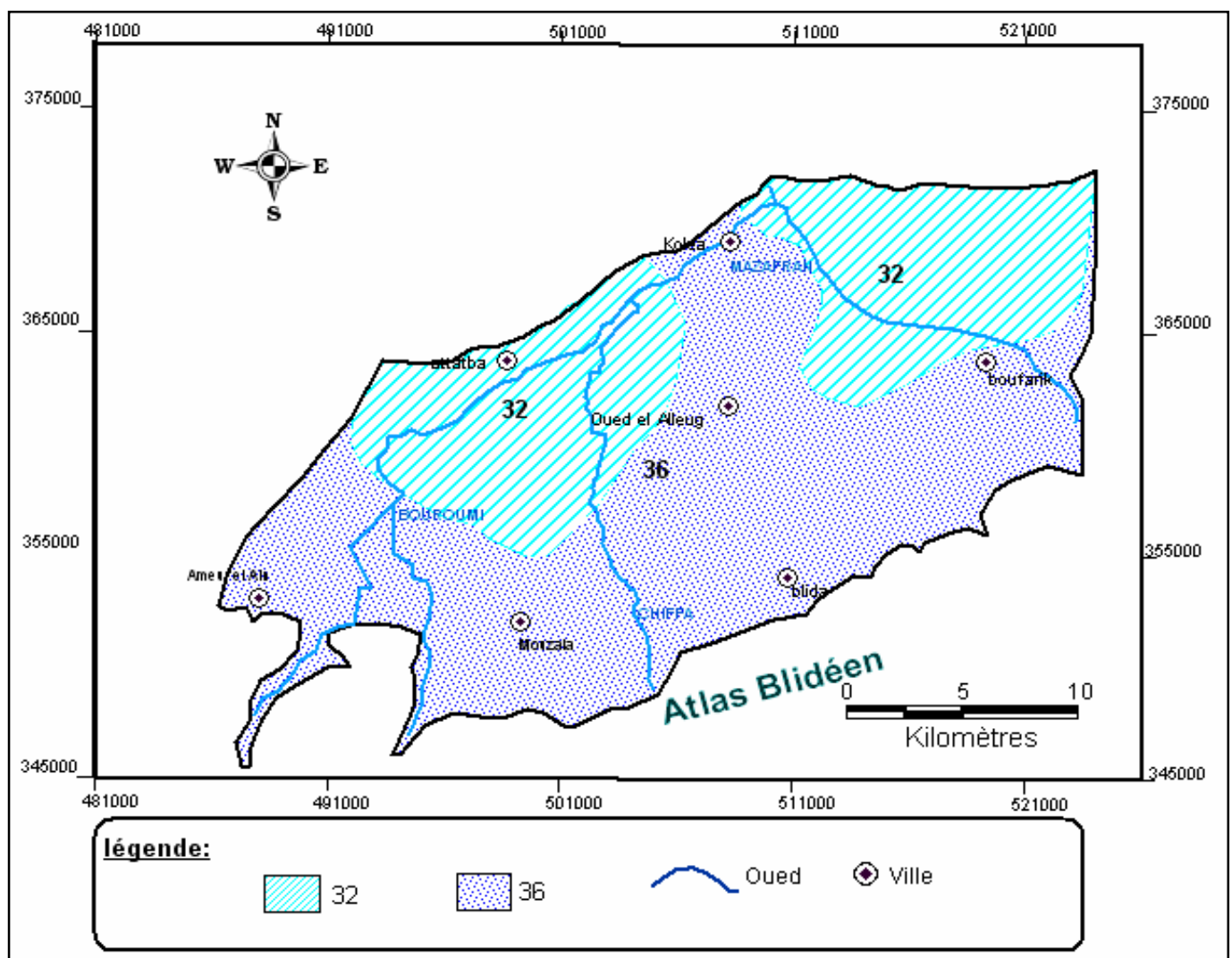


Figure N° 52 : Carte du paramètre « R », la recharge de la nappe

1. 3.3. Carte du paramètre « A », nature du milieu aquifère

L'analyse des 50 logs lithologiques fournis par l'ANRH de Blida, ainsi que l'étude de plusieurs cartes hydrogéologiques de la plaine de la Mitidja nous ont permis d'identifier cinq classes à degré de vulnérabilité variable ; (*Figure N°53*).

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 de 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 $I_A = 18$ 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 de Attatba.

Et aux environs de Chiffa et de Mouzaia

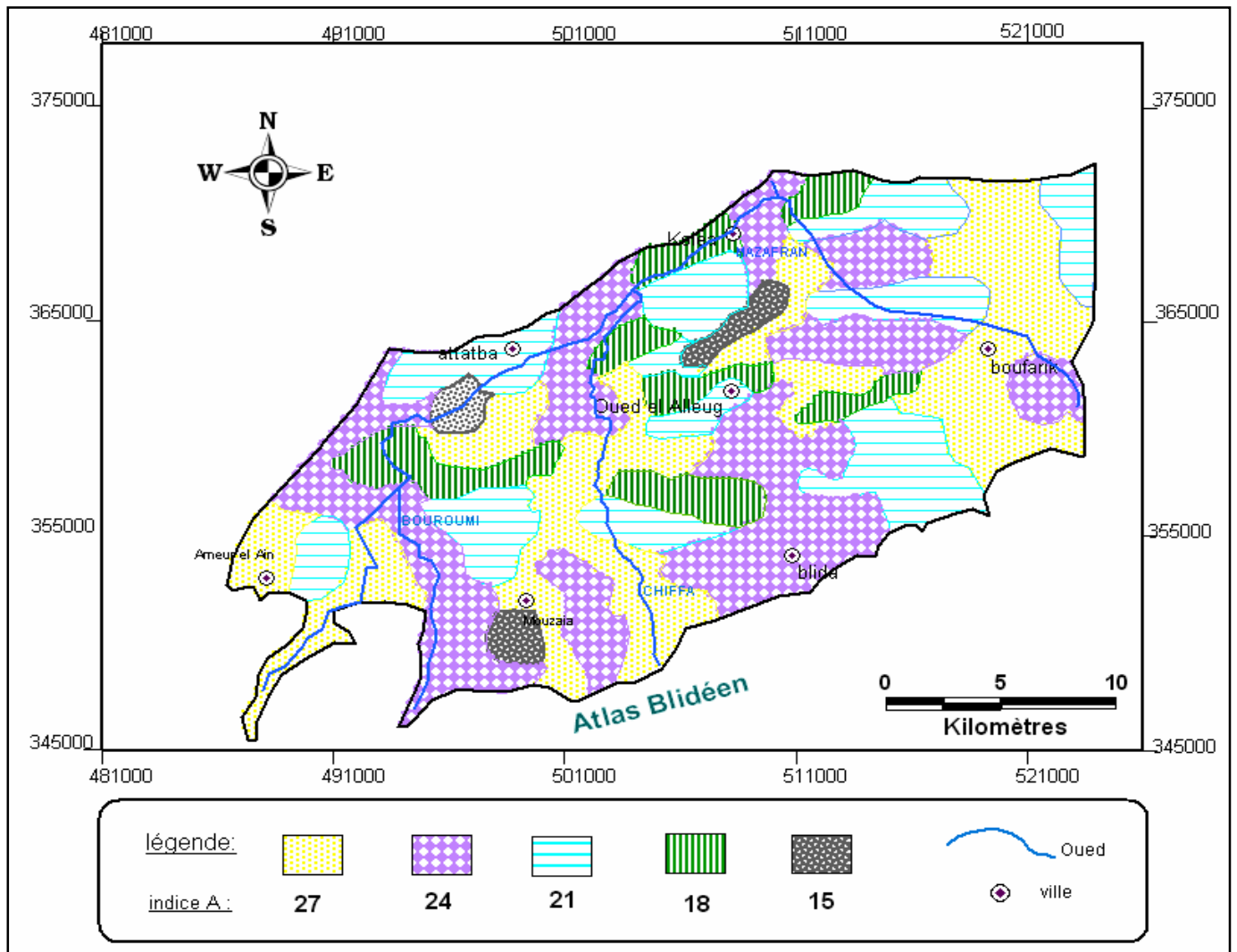


Figure N°53 : Carte du paramètre A, nature du matériau aquifère

1. 3.4. 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 N°54**)

- 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' E l Affroun et Amer El Ain.

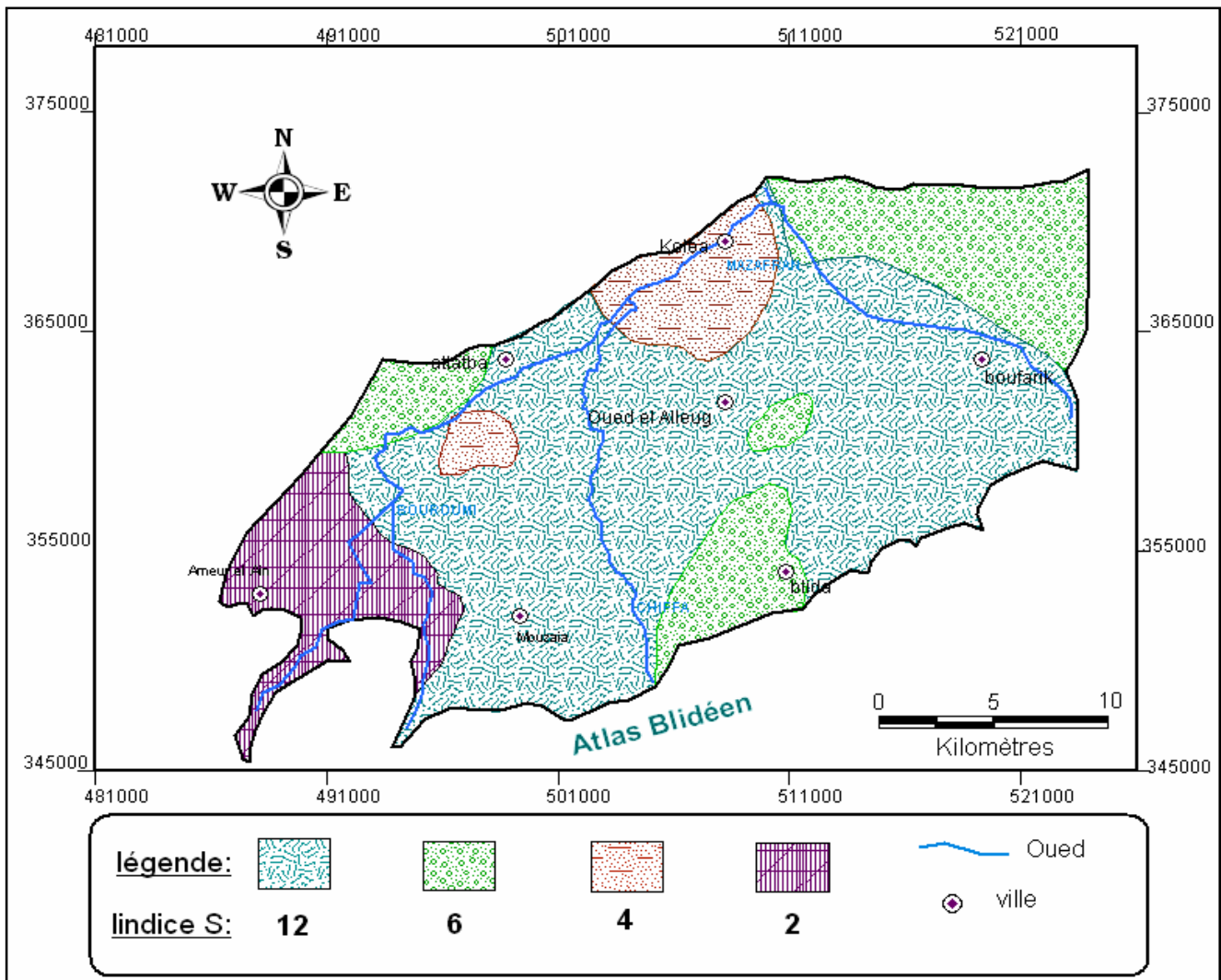


Figure N° 54 : Carte du paramètre « S », type de sol

1.3.5. 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 N°55**), 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.

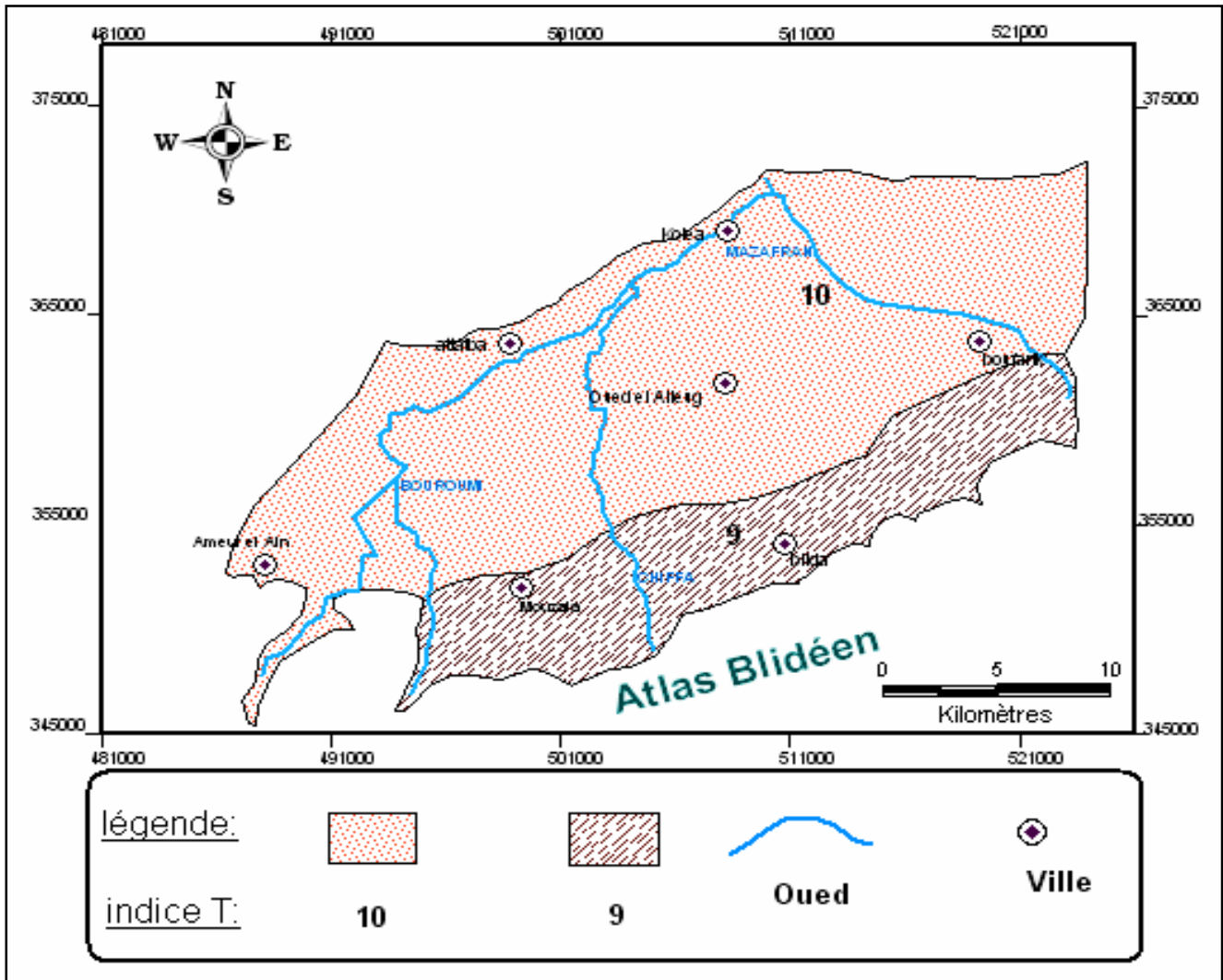


Figure N°55 : Carte du paramètre « T », nature de la topographie

1. 3.6. Carte du paramètre « I », impact de la zone vadose

L'étude de la nature de la zone non saturée et de son épaisseur détermine les facteurs qui influencent la contamination des eaux souterraines, c'est pourquoi ce paramètre est assigné d'un poids égal à 5.

L'étude des logs de forages (plus de 50 colonnes lithostratigraphique), permet de distinguer quatre classes :

Classe 1 : elle est caractérisée par une lithologie poreuse et perméable (gravier, galets et très peu d'argile), donc vulnérable, son indice DRASTIC est égale à ($I_1=40$).

Elle est présente sur la majeure partie de la zone d'étude de Boufarik à Koléa et de Chiffa à Attatba jusqu'à Amer El Ain.

Classe 2 : un recouvrement de sable, de gravier, de silt et de sable grossier, caractérise cette classe avec un indice $I_2=30$.

Elle couvre l'axe central de la région d'étude ; de Blida à Koléa passant par Oued El Alleug.

Classe 3 : Avec une couverture d'Argile, de gravier et de galet l'un indice de vulnérabilité est $I_3=25$, cette classe se localise sur une zone restreinte au Sud-Est de la cluse du Mazafran.

Classe 4 : les couvertures fines (textures argileuse, limoneuse, et marneuse), lui confèrent un indice $I_1=15$, ce qui traduit une faible vulnérabilité notamment au Nord de Boufarik à proximité de la cluse du Mazafran.

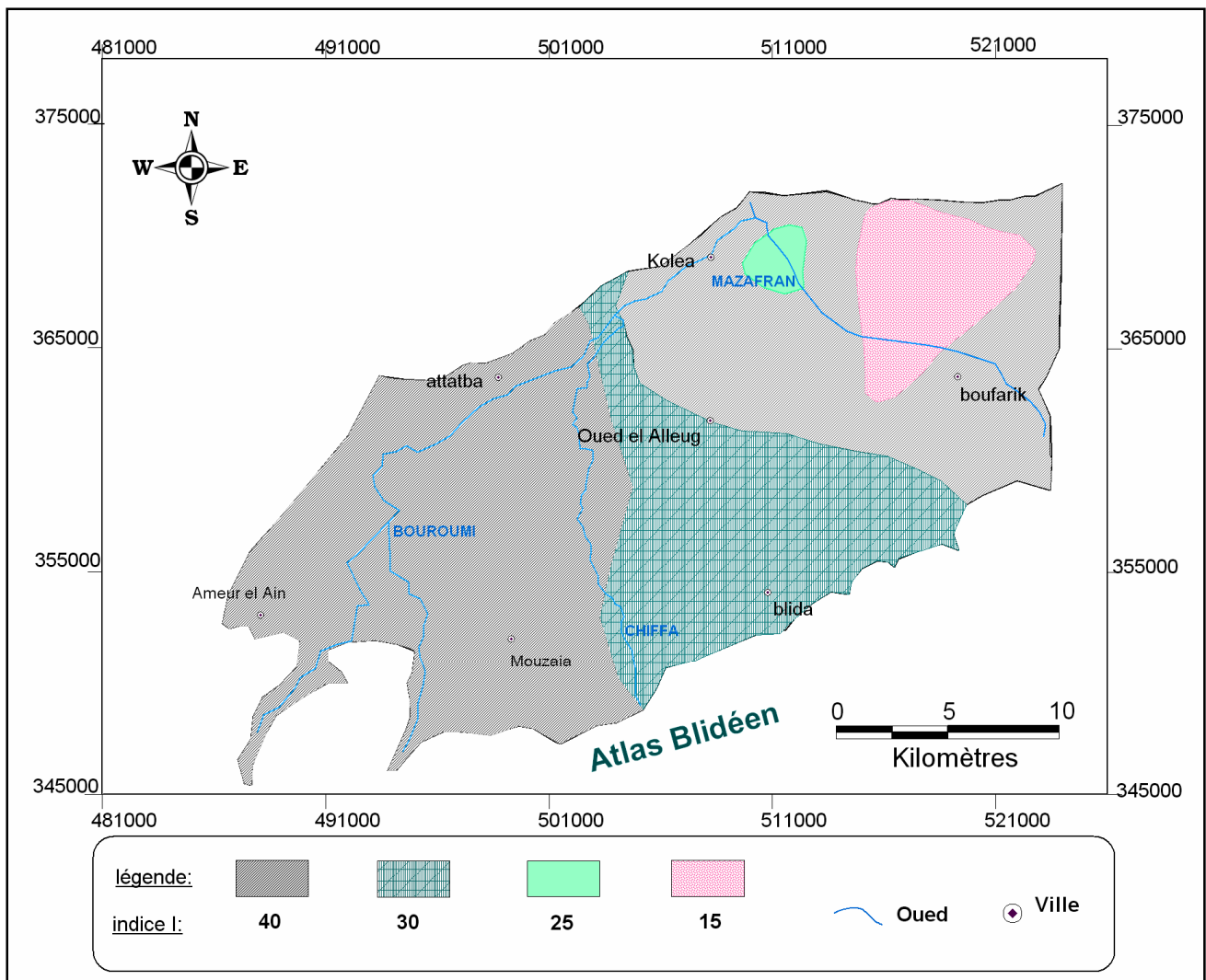


Figure N°56 : Carte du paramètre « I », impact de la zone vadoze

1. 3.7. Carte du paramètre « C », la conductivité hydraulique

L'estimation de ce paramètre est basée sur les essais de pompage et de la nature lithologique de l'aquifère. L'analyse de la carte de conductivité réalisée met en exergue cinq classes de vulnérabilité :

Classe 1 : elle intègre des conductivités qui varient entre $4,7 \cdot 10^{-4}$ et $9,4 \cdot 10^{-4}$ m/s. $I_C=24$. Cette classe détermine les zones localisées dans l'axe Blida Oued El Alleug.

Classe 2 : la conductivité évolue entre $32,9 \cdot 10^{-5}$ et $4,5 \cdot 10^{-4}$ m/s. l'indice $I_C=18$ et caractérise les secteurs suivants :

- Sud de la cluse du Mazafran la région de Soumaa ;
- Nord de Blida ;
- Attatba et ses environs.

Classe3 : elle traduit un indice de vulnérabilité partiel $I_C=12$ qui représente une conductivité variant entre $14,7.10^{-5}$ et $32,9.10^{-5}$ m/s. Cette classe concerne les zones suivantes :

- Nord de Boufarik.
- Nord Ouest de Soumaa jusqu'à Blida.
- Le Nord de Chiffa jusqu'à l'Oued Bouroumi.

Classe4 : elle présente des conductivités qui varient entre $4,7.10^{-5}$ et $14,7.10^{-5}$ m/s. son indice $I_C=6$ elle se répartie sur les zones suivantes :

- Au Nord de Soumaa.
- L'axe Chiffa El Affroun.
- Au Nord Ouest de Attatba jusqu'à Amer El Ain.

Classe5 : elle représente une seule zone située entre Amer El Ain et Oued Djer ,avec une conductivité très faible variant entre $4,7.10^{-7}$ et $4,7.10^{-5}$ m/s. L'indice de vulnérabilité est ($I_C=3$) donc très faible.

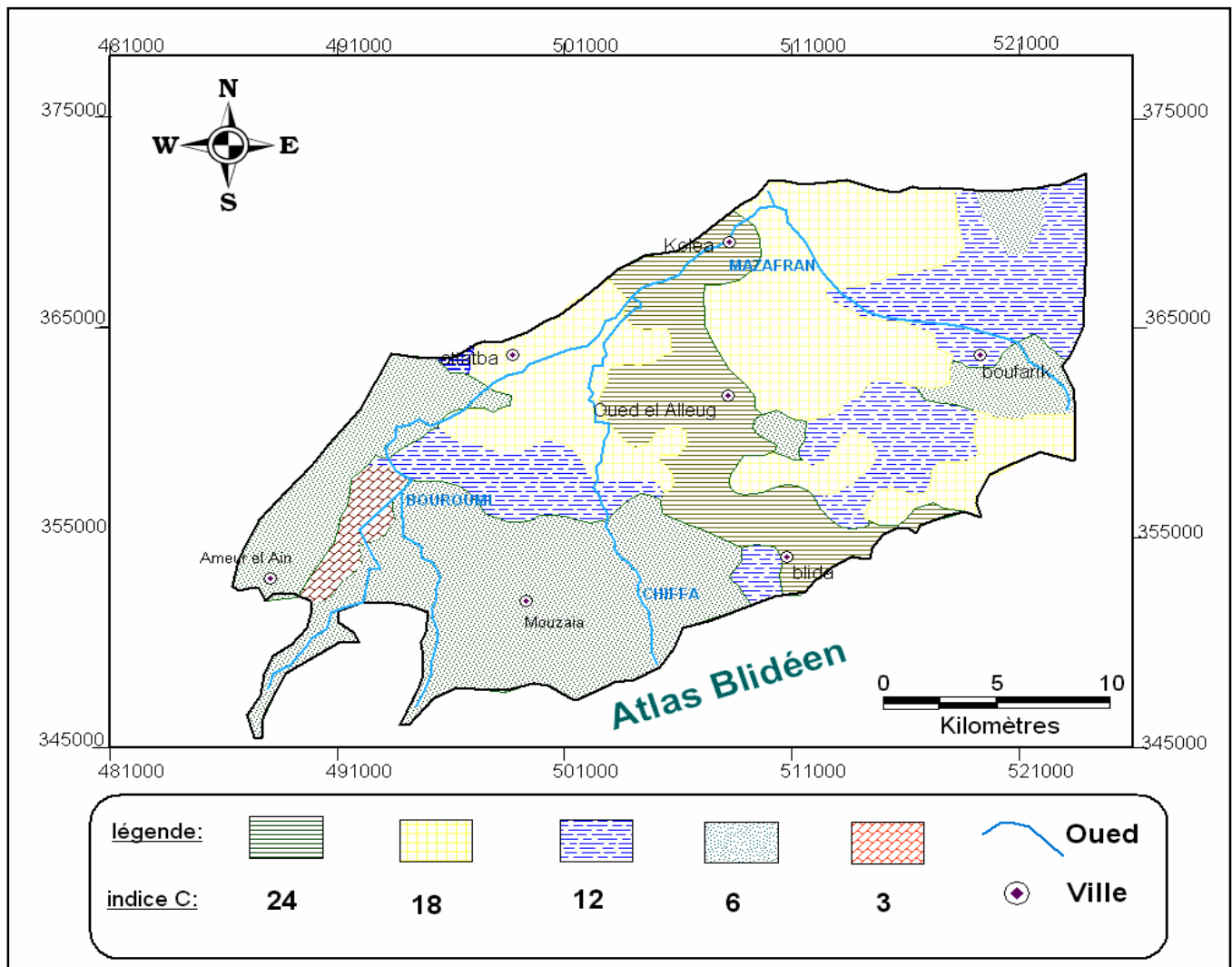


Figure N°57 : Carte du paramètre « C », la conductivité du milieu aquifère.

1. 4. Réalisation de la carte de vulnérabilité finale et hiérarchisation des unités hydrogéologiques

La combinaison des sept cartes thématiques établies permet de dresser la carte de vulnérabilité intrinsèque de la nappe de la Mitidja occidentale, selon la méthode DRASTIC (*Figure N°58*).

1. 5. Description des unités hydrogéologiques

L'interprétation de cette carte de vulnérabilité finale permet l'identification des unités hydrogéologiques suivantes :

1.5.1. L'unité hydrogéologique 2A (145 _ 175)

De superficie restreinte et un taux de vulnérabilité élevé caractérisé par un indice partiel variant de 145 à 150, cette unité se localise au niveau de Oued El Alleug, au Nord de Chiffa et de Blida ainsi qu'au niveau de Boufarik.

En effet cette unité (2A) se caractérise par une couverture à dominance poreuse et perméable (graviers, galets, sables grossiers, et peu d'Argiles). qui repose sur les formations graveleuses .c'est une zone ou la profondeur de l'eau ne dépasse pas les 30 m et la recharge du réservoir varie entre 18 et 30cm/an.

1.5.2. L'unité hydrogéologique 2B (114 _ 145)

Elle représente les zones à vulnérabilité moyenne avec un aquifère graveleux sableux et argileux avec une perméabilité de l'ordre $32,9.10^{-5}$ et $4,7.10^{-4}$ m/s. cette unité occupe la majeure partie de la plaine.

La couverture de cette unité est caractérisée par des Argiles, des sables grossiers et des sables fins, la profondeur de la nappe varie de 15 à 35 m.

1.5.3. L'unité hydrogéologique 2C (84 _ 114)

Cette unité correspond à une zone de vulnérabilité faible avec un indice DRASTIC variant de 104 à 113. La couverture de cette unité est essentiellement argileuse ce qui lui attribue un rôle protecteur empêchant le polluant déversé en surface de progresser jusqu'à l'aquifère. Ce dernier est hétérogène (alternance de gravier, Argile et Marne) avec un taux de recharge qui se situe entre 18 et 25 cm /an. Elle est située au niveau de la cluse du Mazafran et à l'Ouest de Attatba.

Par ailleurs, chaque unité hydrogéologique comporte des sous unités hydrogéologiques SUH (*Tableau N° 36*).

2. 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 (114 -145).

Les régions les plus vulnérables correspondent à :

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

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).

Tableau N° 36 : Unités et sous unités hydrogéologiques et leurs indices de vulnérabilité DRASTIC.

Unités hydrogéologiques (U.H.)		
2A : forte vulnérabilité (145 – 150)	2B : moyenne vulnérabilité (114 – 142)	2C : faible vulnérabilité (104–107)
Sous Unités hydrogéologiques (S.U.H.)		
145, 146, 148,150	114,116,117,119,122,123,126,127, 128,130,131,133,134,135,136,137, 141,142	104, 105,107

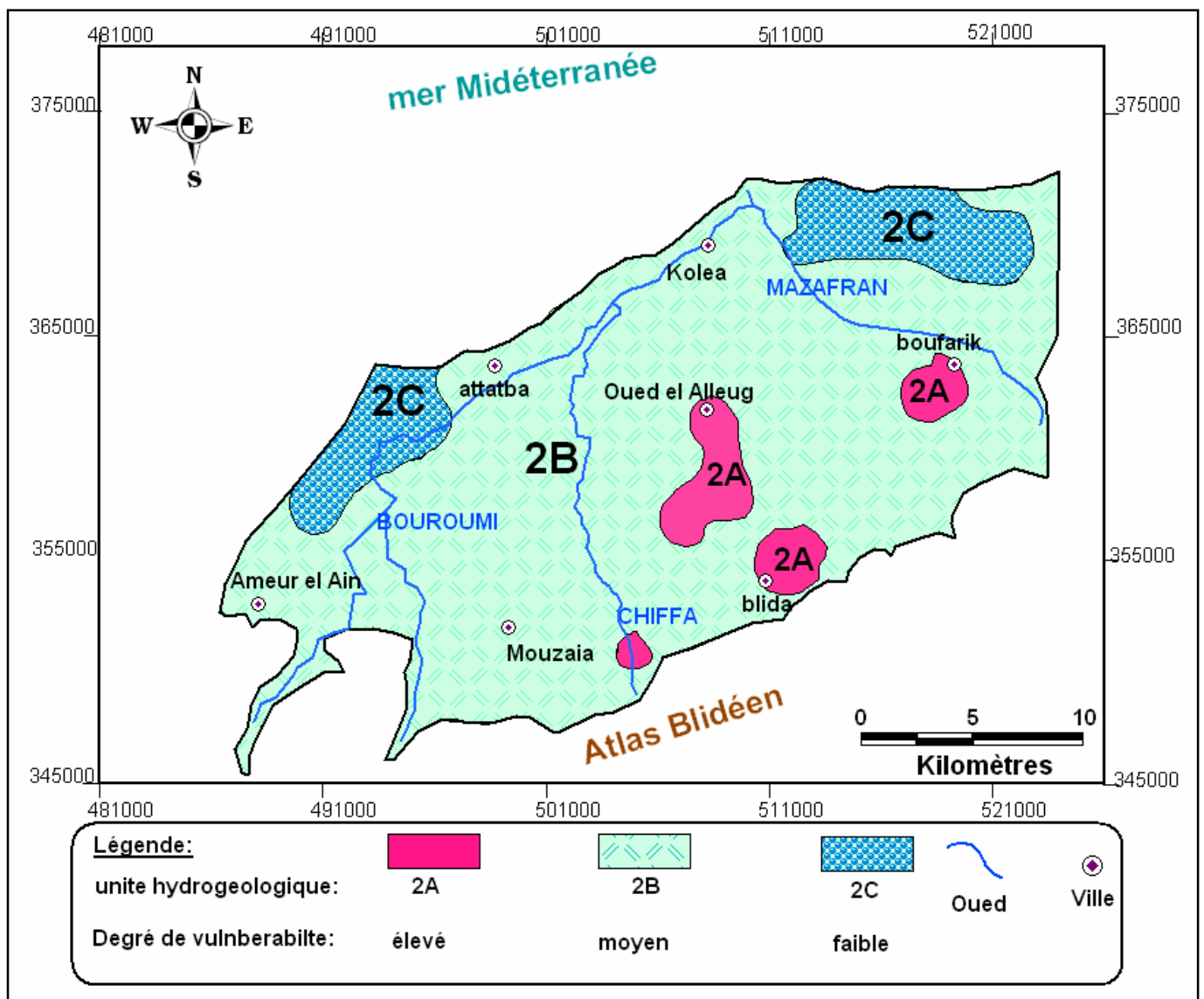


Figure N°58 : Carte de vulnérabilité à la pollution du bassin Centre et Ouest de la Mitidja (Application de la méthode DRASTIC).

Introduction

Une nouvelle méthodologie a été proposée pour la caractérisation de la vulnérabilité globale à la pollution d'une nappe d'eau souterraine. Elle constitue une amélioration de la méthode DRASTIC universellement utilisée. Cette vulnérabilité globale est basée à la fois sur les paramètres relatifs à la recharge, au sol, à la zone non saturée et à la zone saturée de l'aquifère.

1. Application de la méthodologie développée à la nappe alluviale de la Mitidja Centre et Ouest

1.1. Etapes à suivre pour l'évaluation de la carte vulnérabilité –sensibilité finale

1. l'acquisition de données pour la réalisation d'une base de données numérisées.
2. calcul de l'indice de la vulnérabilité verticale « I_V », et élaboration de la carte de vulnérabilité verticale.
3. calcul de l'indice de la vulnérabilité horizontale « I_S », et élaboration de la carte de sensibilité.
4. calcul de l'indice de la vulnérabilité globale « I_{VS} », et élaboration de la carte finale de vulnérabilité - sensibilité.

1. 2. Base de données DRIST

- ☞ Concernant la première carte (de vulnérabilité verticale), les paramètres étant précédemment définies pour la méthode DRASTIC dans le chapitre .2 de la 3eme partie (c'est-à-dire ; profondeur de la nappe « D », la recharge « R », l'impact de la zone non saturée « I », le type de sol « S », et enfin topographie « T »), les données et les cartes de ces paramètres sont les mêmes.
- ☞ En ce qui concerne la carte de sensibilité, d'autres données ont été fournies par différentes sources, et résumées dans le **Tableau N°37**.

Tableau N°37 : Sources d'information pour la base de données « DRIST sensibilité ».

Paramètres	Principales sources d'information
Débit spécifique q (l/s)	-essais de pompage (DHW Blida)
Conductivité électrique C ($\mu\text{s/cm}$)	-BD forage (SEAAAL, 2008)
-Vitesse effective de l'eau Ve (m/s)	-carte de perméabilité (ANRH Blida ,2008) -pour le gradient hydraulique « carte piézométrique issue des données piézométriques de 2008(ANRH, Blida) -pour Ne « modèle mathématique du système aquifère de la Mitidja » (SOGREAH ,2008)

1.3. Caractérisation de la vulnérabilité à la pollution de la nappe alluviale

1.3.1) Cartes thématiques de vulnérabilité verticale

Les cartes (**Figures N°51 ; N°52 ; N°54 ; N°55 ; N°56** : du chapitre précédent) ont été établies en fonction du système d'indexation (**Annexe N°1**)
Tous les paramètres de cette partie ont déjà été traités dans le chapitre précédent, donc il n'est pas nécessaire de re-mentionner les cartes ou de répéter leurs interprétations.

Après calcul de l'indice de vulnérabilité I_V (*Annexe N°9*) et la combinaison des cinq cartes thématiques établies auparavant (D+R+I+S+T) on établit la carte de vulnérabilité intrinsèque de la nappe de la Mitidja occidentale, selon la méthode DRIST (*Figure N°59*).

1. 3.2) Interprétation de la carte finale de vulnérabilité

L'observation de cette carte de vulnérabilité finale permet l'identification des zones de vulnérabilité suivantes :

1. classe de forte vulnérabilité (orange)

De superficie restreinte et un taux de vulnérabilité élevé caractérisé par un indice partiel variant de 110 à 140, cette classe se localise au niveau de Boufarik et de Chiffa.

2. classe de moyenne vulnérabilité (jaune)

Cette classe de vulnérabilité correspond à un indice de vulnérabilité DRIST moyen allant de 80 à 110 .elle occupe la majeure partie de la zone d'étude.

3. classe de faible vulnérabilité (vert)

Les zones à faible vulnérabilité DRIST sont localisées essentiellement au Nord de la région d'étude dans la cluse du Mazafran et au Nord Est de Oued El Alleug, on observe qu'elles sont loin des zones de recharge. L'indice de vulnérabilité partiel I_V varie entre 50 et 80.

🚩 Conclusion :

Les résultats de l'évaluation de la vulnérabilité de la région Centre et Ouest de la plaine de la Mitidja par la méthode DRIST montrent que cette dernière est en général moyennement vulnérable vis à vis d'une pollution provenant de la surface du sol. Ces résultats sont compatibles avec ceux trouvés par la méthode DRASTIC.

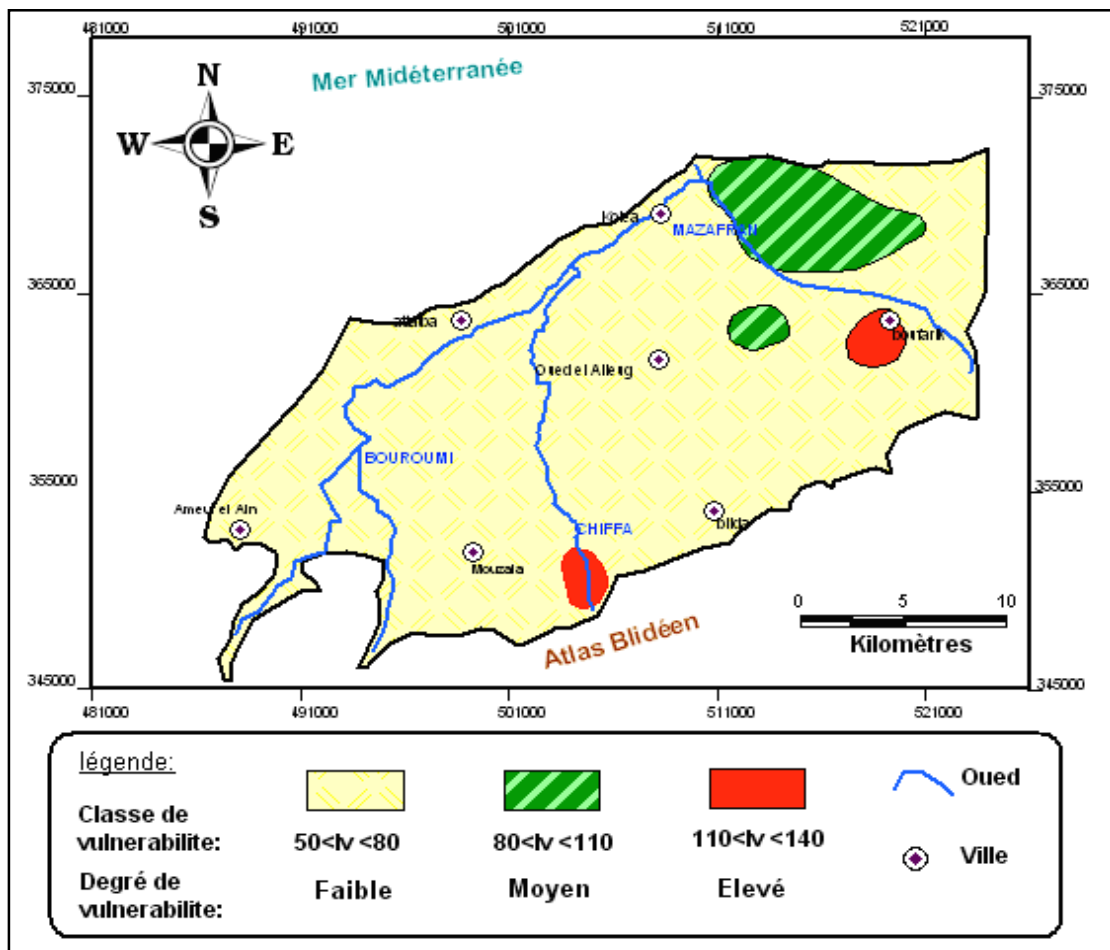


Figure N °59 : Carte de vulnérabilité verticale DRIST des eaux de la nappe de la Mitidja Centre et Ouest.

1. 4. Caractérisation de la sensibilité de la nappe à la pollution

1.4.1) Description des paramètres d'évaluation de la sensibilité

La sensibilité de la nappe vis-à-vis d'une pollution qui a déjà atteint la nappe est une notion non mesurable mais qui dépend de trois paramètres essentiels qui caractérisent la nappe ; à savoir :

1. La Qualité de l'eau définit par la conductivité électrique ($C \mu\text{s/cm}$)

La conductivité détermine l'ensemble des minéraux présents dans une solution :

Une eau douce accusera généralement une conductivité basse et bien au contraire une eau dite dure affichera une conductivité élevée.

L'indice partiel de sensibilité I_{SC} attribué à la majorité des forages est égal à 40 traduisant ainsi une conductivité électrique variant entre 400 et 1300 $\mu\text{s/cm}$.

La qualité des eaux des forages de notre région d'étude varie de bonne à médiocre mais utilisable, selon les normes internationales. (*Annexe N°10*)

2. Vitesse de l'eau souterraine (V_e) m/s

La vitesse d'écoulement de l'eau dans l'aquifère est traduite par la perméabilité de ce dernier, sa capacité d'emmagasinement (= 0.02 pour tout l'aquifère) et le gradient hydraulique calculé à partir de la carte piézométrique de la saison des hautes eaux (compagne d'Avril, 2008).

On remarque sur une grande partie des forages inventoriés que les valeurs de la vitesse sont inférieures à $2 \cdot 10^{-4}$ m/s (*Annexe N°10*), ce qui leur vaut une note de 1 et un indice partiel de sensibilité égale à 3.

3. la productivité de la nappe

Représentée dans ce cas par les débits spécifiques des ouvrages qui reflètent mieux la réalité du terrain. Le débit spécifique d'un puits, noté qs , est le débit pompé, Q rapporté au rabattement, s due aux pertes de charges : ($qs = \frac{Q}{s}$), (Castany, 1982)

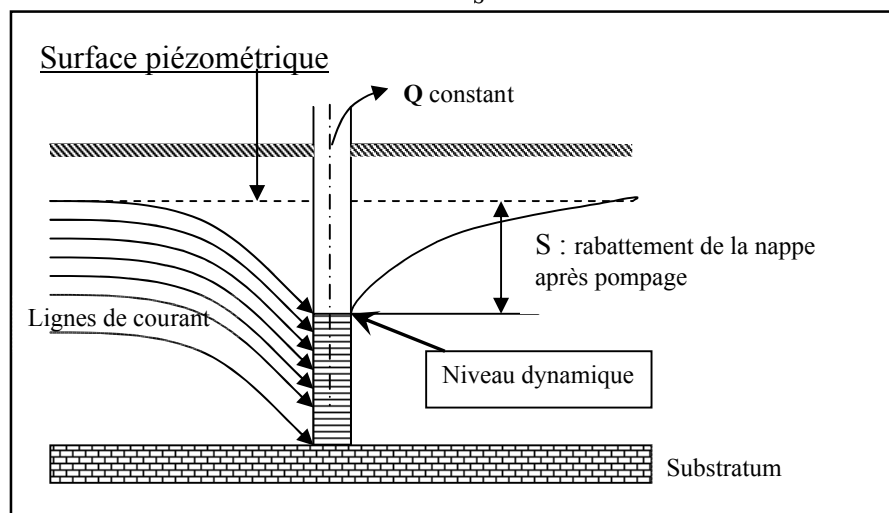


Figure N° 60: Rabattement de la nappe sous l'effet du pompage, « cône de dépression à un instant donné t. »

L'indice de sensibilité concernant ce paramètre (I_{Sq}) varie entre 12 et 40 en fonction de la productivité du forage. (*Annexe N°10*).

Une fois les différentes classes définies et leurs notes attribuées, on calcule l'indice de sensibilité de la nappe à la pollution (I_S) en faisant la somme des indices partiels calculés auparavant et on l'insère dans la base de données afin d'aboutir à une carte de sensibilité de la région à une pollution concrète.

1.4.2) Interprétation de la carte de sensibilité (*Figure N°61*)

L'établissement de la carte de sensibilité d'une nappe à la pollution consiste à calculer et à reporter la répartition spatiale des valeurs de l'indice I_S (*Annexes N°11*) et leur groupement dans cinq classes différentes.

L'observation de cette carte de sensibilité permet l'identification des zones suivantes :

1. Classe de forte sensibilité (orange)

Cette classe est caractérisée par un indice de sensibilité I_S variant de 80 à 110. Elle occupe toute la cluse du Mazafran et s'étale jusqu'au Nord de Oued El Alleug, ainsi qu'une partie de Chiffa. On pourrait expliquer cette sensibilité élevée par la déficience en eau dans ces secteurs et particulièrement le Mazafran où le taux de rabattement de la nappe a atteint des valeurs alarmantes (-30m), ce qui a limité le phénomène de dilution.

2. Classe de moyenne sensibilité (jaune)

Une grande partie de la région d'étude est caractérisée par un degré de sensibilité moyen défini par un indice de sensibilité I_S allant de 60 à 80.

3. Classe de faible sensibilité (vert)

Cette classe caractérise plusieurs zones situées essentiellement au Sud de la plaine ; s'étalant de Mouzaia à Ameer El Ain, au Sud de Boufarik et au Sud Est de Oued El Alleug. L'indice de sensibilité varie entre 40 et 60.

On remarque que la sensibilité de la nappe diminue près des zones de recharge où le facteur dilution contribue à l'atténuation du polluant.

4. Classe de très faible sensibilité (bleu)

Elle représente un indice de sensibilité relativement faible entre 20 et 40 et reflète une très faible sensibilité de la nappe.

Une seule zone caractérise cette classe, elle se localise au niveau de Mouzaia

Conclusion :

Globalement la nappe de la Mitidja Centre et Ouest est moyennement sensible à la pollution qui l'atteint, notamment par les vitesses généralement faibles de l'eau souterraine et par les productivités des ouvrages généralement faibles à moyennes.

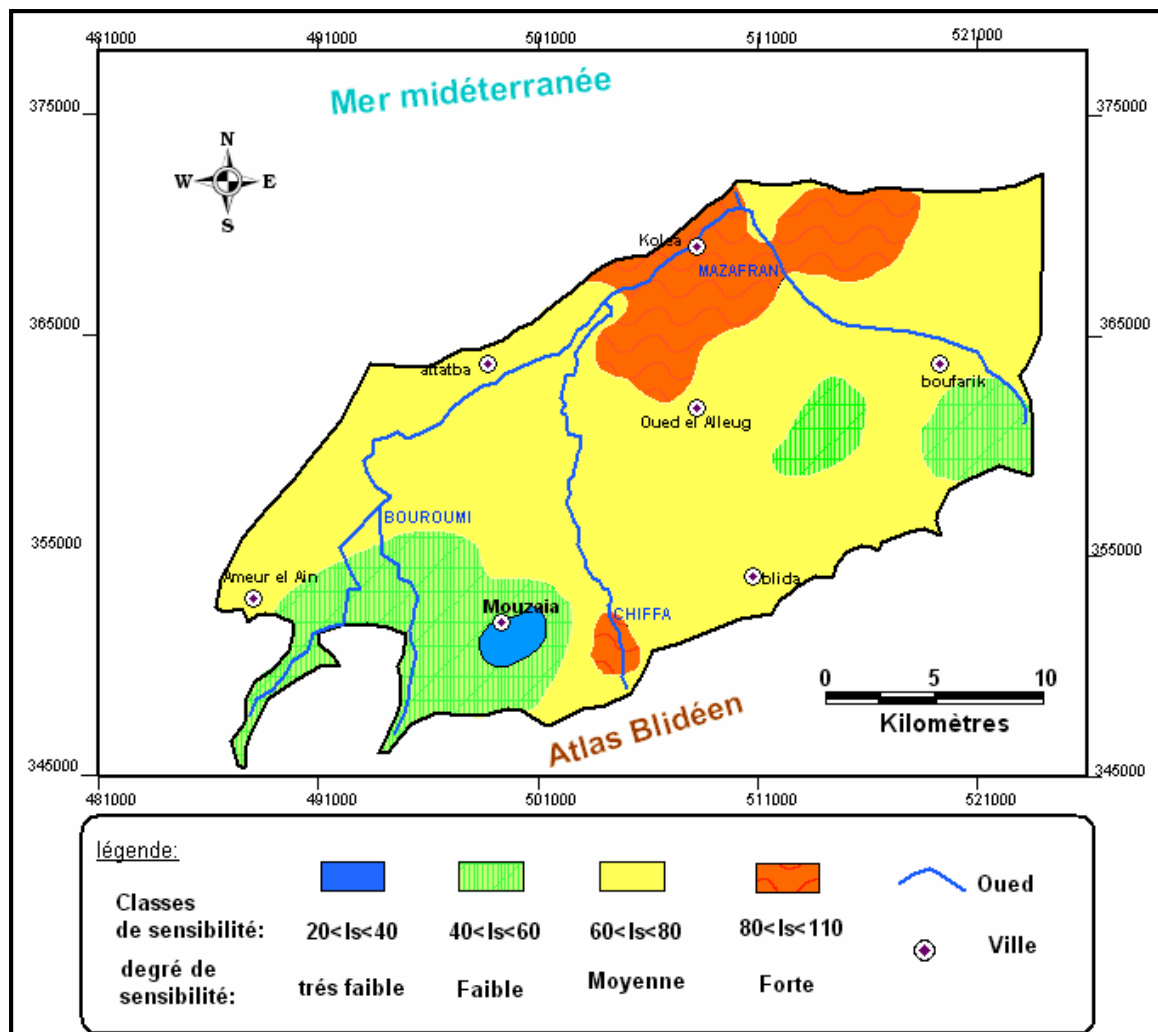


Figure N°61 : Carte de sensibilité DRIST des eaux de la Mitidja Centre et Ouest.

1.5. Caractérisation de la vulnérabilité-sensibilité à la pollution de la nappe de la Mitidja Centre et Ouest

Les valeurs de l'indice I_{VS} de la vulnérabilité-sensibilité à la pollution de la nappe de la Mitidja ont été calculées en faisant la somme des indices de vulnérabilité (I_V) et de sensibilité (I_S) à la pollution. Ces valeurs *varient entre 142 (I_{VS} minimum) et 202 (I_{VS} maximum)*. Ces valeurs permettent de distinguer seulement 2 classes de sensibilité – vulnérabilité. (*Annexe N°12*).

1.5.1) Présentation et interprétation de la carte de sensibilité – vulnérabilité à la pollution de la nappe alluviale de la Mitidja Centre et Ouest

La carte obtenue montre que la nappe de la Mitidja Centre et Ouest est globalement de *moyenne à forte* vulnérabilité et sensibilité à la pollution. Ceci s'explique par le caractère généralement fort à moyen de la vulnérabilité verticale de l'aquifère d'une part et de sa sensibilité d'autre part. En fait, une seule zone présente une forte vulnérabilité localisée au niveau de Chiffa. (*Figure N°62*)

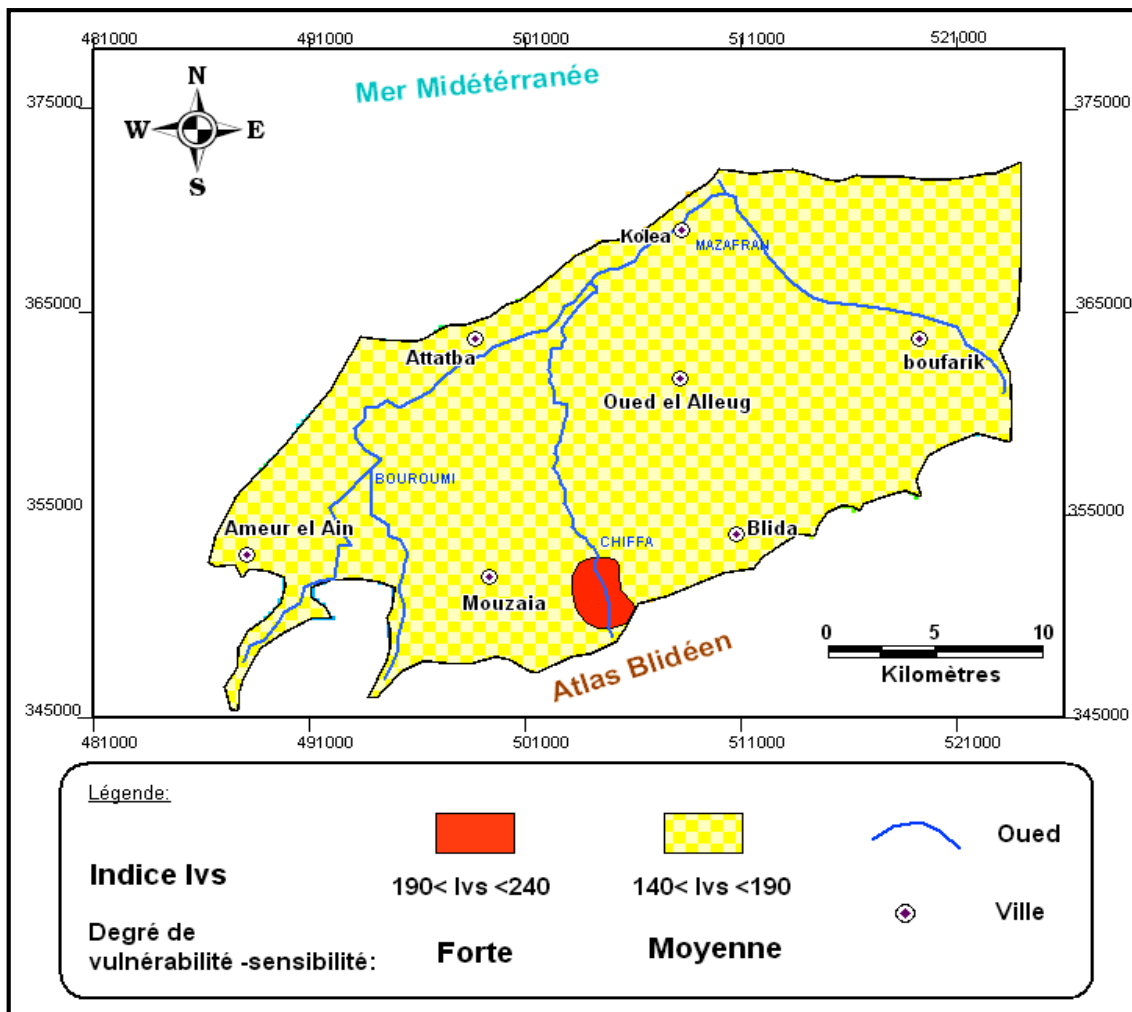


Figure N°62 : Carte de vulnérabilité globale à la pollution des eaux de la Mitidja Centre et Ouest.

Conclusion

Cette nouvelle méthodologie ayant pour but la caractérisation de la vulnérabilité globale à la pollution de la nappe d'eau souterraine de la Mitidja Centre et Ouest est basée à la fois sur les paramètres relatifs à la recharge, au sol, à la zone non saturée et à la zone saturée de l'aquifère.

La caractérisation de la vulnérabilité verticale des nappes à la pollution (provenant de la surface du sol et traversant sa zone non saturée) est basée uniquement sur les paramètres relatifs à la recharge, au sol (pente et nature) et à la zone non saturée (faciès et épaisseur) de l'aquifère.

La caractérisation de la vulnérabilité des nappes au transfert horizontal de la pollution l'ayant atteinte (appelée aussi sensibilité à la pollution) est basée uniquement sur les paramètres relatifs à la zone saturée : vitesse des écoulements souterrains, qualité de l'eau et productivité de la nappe.

L'application de la méthodologie proposée a montré que cette nappe est caractérisée par une vulnérabilité verticale globalement moyenne, par une sensibilité allant de très faible à forte en fonction des régions et par une vulnérabilité globale (vulnérabilité-sensibilité) généralement moyenne.

Ce travail a montré également l'apport capital fourni par les Systèmes d'Information Géographique (SIG) pour l'élaboration des cartes de vulnérabilité et de sensibilité à la pollution des nappes d'eau.

Introduction

La plaine de la Mitidja est l'une des régions agricoles et industrielles les plus exploitées de l'Algérie, en raison de sa topographie plane, de sa fertilité notamment la région Ouest qui connaît un grand développement agricole.

Afin de mieux gérer la demande sans cesse croissante en eau potable et d'en assurer la protection face aux diverses pollutions issues des mauvaises pratiques agricoles particulièrement des produits phytosanitaires, il devient impérieux de procéder à une cartographie méthodique de la vulnérabilité et afin d'optimiser la mise en place de l'action entreprise, un travail de «classification des bassins versants», vis-à-vis du risque de pollution par ces produits, s'est avéré bénéfique.

1ère partie : Caractérisation de la vulnérabilité des bassins versants

L'analyse de la vulnérabilité, a nécessité l'adoption de toute une méthodologie adaptée au contexte spécifique de la région d'étude.

N.B :

La VULNÉRABILITÉ désigne l'aptitude d'une ressource en eau à être atteinte par une pollution. Dans le cas présent, la « vulnérabilité des bassins versants » s'applique aux eaux superficielles et souterraines dépendant des zones en question. La vulnérabilité est fonction, comme nous le verrons par la suite, de facteurs liés au milieu naturel et de l'occupation du territoire.

I. 1. Choix d'une échelle d'étude adaptée

Le choix de l'échelle d'étude dépend à la fois des objectifs du projet et de la démarche choisie, à savoir des critères renseignés et de leur résolution.

Ici, le projet a une optique opérationnelle et interventionniste car il s'agit d'identifier des zones où il serait nécessaire de conduire des actions en priorité.

De ce fait, l'échelle « fonctionnelle » choisie est celle du bassin versant ; mais, reste à déterminer les limites des bassins en question. Dans notre cas, on s'est intéressé aux sous bassins inclus dans la partie Centre et Ouest de la plaine de la Mitidja, tout en sillonnant les limites de l'aquifère, car cette délimitation a été adoptée depuis le début de notre étude et va être sujette à une comparaison entre les différentes méthodes d'évaluation de la vulnérabilité vus dans les chapitres précédents.

☞ Ainsi l'étude portera sur **3 sous bassins versants** à savoir le SBV1, SBV2 et le SBV3.

I. 2. Distinction des périodes climatiques

Il faudra distinguer les **grandes périodes climatiques** identifiables au cours d'une année ; leurs caractéristiques pluviométriques en particulier (intensité et durée des précipitations) ont une influence significative sur les phénomènes d'écoulements, tout comme les pratiques en matière de produits phytosanitaires (périodes de traitements).

Le choix des saisons ne s'est pas fait arbitrairement ; en premier lieu, on a pris en considération les bilans hydrologiques récents pour spécifier la présence de (02) deux périodes distinctes : l'une *douce _ pluvieuse* et l'autre *chaude* et quasiment *sèche*, cela explique un climat semi aride.

RQ : contrairement à ce postulat le climat de la région de la Mitidja est classé sub-humide, mais, du fait du changement climatique qui a touché toute la planète, il s'est transformé en semi aride.

Pour distinguer les mois de la saison pluvieuse de celle orageuse, un simple calcul statistique du pourcentage pluviométrique de chaque saison par rapport à la pluviométrie total de cette région, nous a semblé nécessaire. Pour la période allant de 1975 à 2007.

Tableau N°38 : Calcul du pourcentage pluviométrique par saison.

	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	annuel
Pmoy mens	25,26	56,74	85,75	85,10	78,43	70,10	60,93	51,24	41,77	6,60	2,46	4,85	569,22
$\Sigma P /$ saison	167,75			233,62			153,94			13,91			
P sai/ P an	0,29			0,41			0,27			0,02			
% P / saison	29%			41%			27%			2%			100%

- ☞ On remarque que la période la plus pluvieuse est l'hiver.
- ☞ Presque même taux de précipitation pour l'automne et le printemps
- ☞ Pluies négligeable pour les mois de : juin, juillet et août.

Conclusion : Par souci de simplification, on ne va prendre que deux périodes climatiques distinctes au lieu de quatre, et qui sont :

- **la période orageuse (printemps _ été) :** allant de mai à septembre.
- **La période pluvieuse (hivernale) :** d'octobre à avril.

Ces deux périodes se caractérisent également par des comportements différents des usagers en matière de traitements phytosanitaires (cette partie ne sera pas développée dans notre cas). La nature du couvert végétal sera aussi primordiale pour distinguer des pratiques spécifiques et évaluer la pression polluante exercée sur le milieu à chacune des périodes évoquées.

Les deux périodes d'étude ainsi fixées, nous nous proposons, maintenant, de développer les différentes étapes présentées ci-dessous.

I.3. Etapes de détermination de la vulnérabilité

L'analyse de la vulnérabilité a été conduite en trois phases principales :

1ère phase : évaluation du **niveau potentiel « d'exposition »** à une pollution des eaux.

2ème phase : évaluation du niveau de **vulnérabilité potentielle** de chacune des ressources en eau.

3ième phase : **caractérisation de la vulnérabilité et zonage.**

I.3.1) Ressource(s) potentiellement vulnérable(s)

Cette étape, sans doute la plus lourde du diagnostic de vulnérabilité, se déroule en deux temps.

- Dans un premier temps, on identifie pour les différents types de sol les principaux types d'écoulements mis en jeu pour chacune des périodes climatiques distinguées.
- Dans un second temps, c'est la ressource destinataire des flux qui est identifiée, à savoir les eaux superficielles ou les eaux souterraines. Dans les cas d'écoulements mixtes, on s'intéressera également au partage des flux entre les deux types de ressources.

I.3.1.1. Facteurs déterminant les types d'écoulement et modèles de croisement

a.) Facteurs déterminant les types d'écoulement :

Les types d'écoulements rencontrés sont au nombre de trois : les écoulements latéraux de surface = **ruissellement de surface strict** ; ceux de subsurface = **hypodermiques** ; et les écoulements par **infiltration**.

Les facteurs qui engendrent ces écoulements sont :

a.1) facteur précipitation

Pour ce qui est des précipitations, les modalités à prendre en compte correspondent aux deux périodes climatiques définies précédemment :

- ☞ **Période orageuse de printemps/été :** pluies intermittentes intenses, favorisant l'apparition d'écoulements latéraux ;
- ☞ **Période hivernale :** pluies continues modérées, plus favorables à l'infiltration.

a.2) facteur pente (Annexe N°13)

La pente est l'un des principaux facteurs déterminants le type d'écoulement prépondérant : (soit de surface strict, hypodermique, ou infiltration)

Selon les classes de pente désignée par le GREPPAI ; on retiendra deux d'entre elles qui caractérisent mieux notre zone d'étude : (Voir **Figure N°63**)

- ☞ **1ere classe (0_2%)** : on a une faible probabilité de ruissellement de surface strict quelque soit la saison. (Cette pente caractérise l'intérieur de la plaine).
- ☞ **2eme classe (2_5%)** : le ruissellement se fait en cas de pluies intenses et le sol peu filtrant. (Allongement latéral du piémont de l'Atlas Blidéen) ;

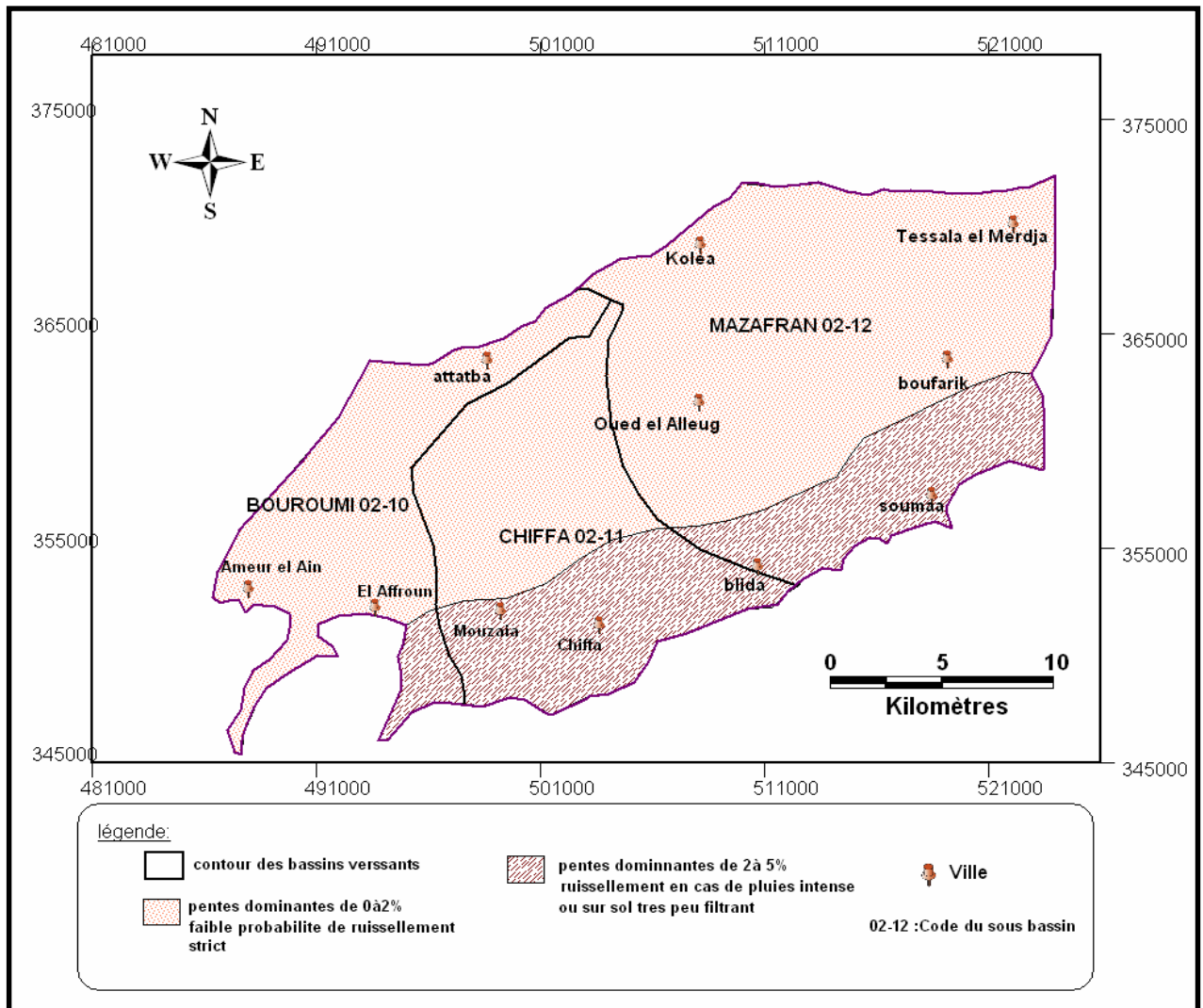


Figure N°63 : Classe de pente dominante sur la plaine de la Mitidja Centre et Ouest.

a.3) facteurs liés au sol

En ce qui concerne les sols, de nombreux critères vont intervenir :

a.3.1) Sensibilité des sols à la battance

La sensibilité des sols à la battance a été évaluée en calculant l'indice de battance par la formule suivante :

Si $pH < \text{ou} = 7$, $IB = (1,5 LF + 0,75 LG) / (A + 10 MO)$.

Si $pH > 7$, $IB = [(1,5 LF + 0,75 LG) / (A + 10 MO)] - 0,2 (pH - 7)$.

Ensuite on a comparé les valeurs de battance obtenues dans le tableau suivant :

Tableau N°39 : Définition des classes de battance, (GREPPAL 2003/APRONA, ARAA).

Indices de battance	Classes de battance
$I_B < 1,4$	1 : Sol non battant
$1,4 < I_B < 1,6$	2 : Sol peu battant
$1,6 < I_B < 1,8$	3 : Sol assez battant
$1,8 < I_B < 2$	4 : Sol battant
$I_B > 2$	5 : Sol très battant

Ce raisonnement n'est possible qu'avec une base de données regroupant les teneurs des différentes composantes du sol (profils pédologiques, cartes pédologiques de la Mitidja) ; et on réalisant l'analyse thématique des résultats obtenus, on aboutit à une carte de battance. (*Annexe N°14*).

Résultat :

On parvient, alors, à un indice de battance inférieur à < 1.4 sur l'ensemble de la région d'étude ; ce qui signifie, d'après le classement établi précédemment, que le sol est « **non battant** ». Voir (*Carte de battance Figure N° 64*)

☞ la fertilité du couvert végétal de la plaine de la Mitidja, ainsi que la richesse de son sol en humus et en argile confirme la validité de ce résultat.

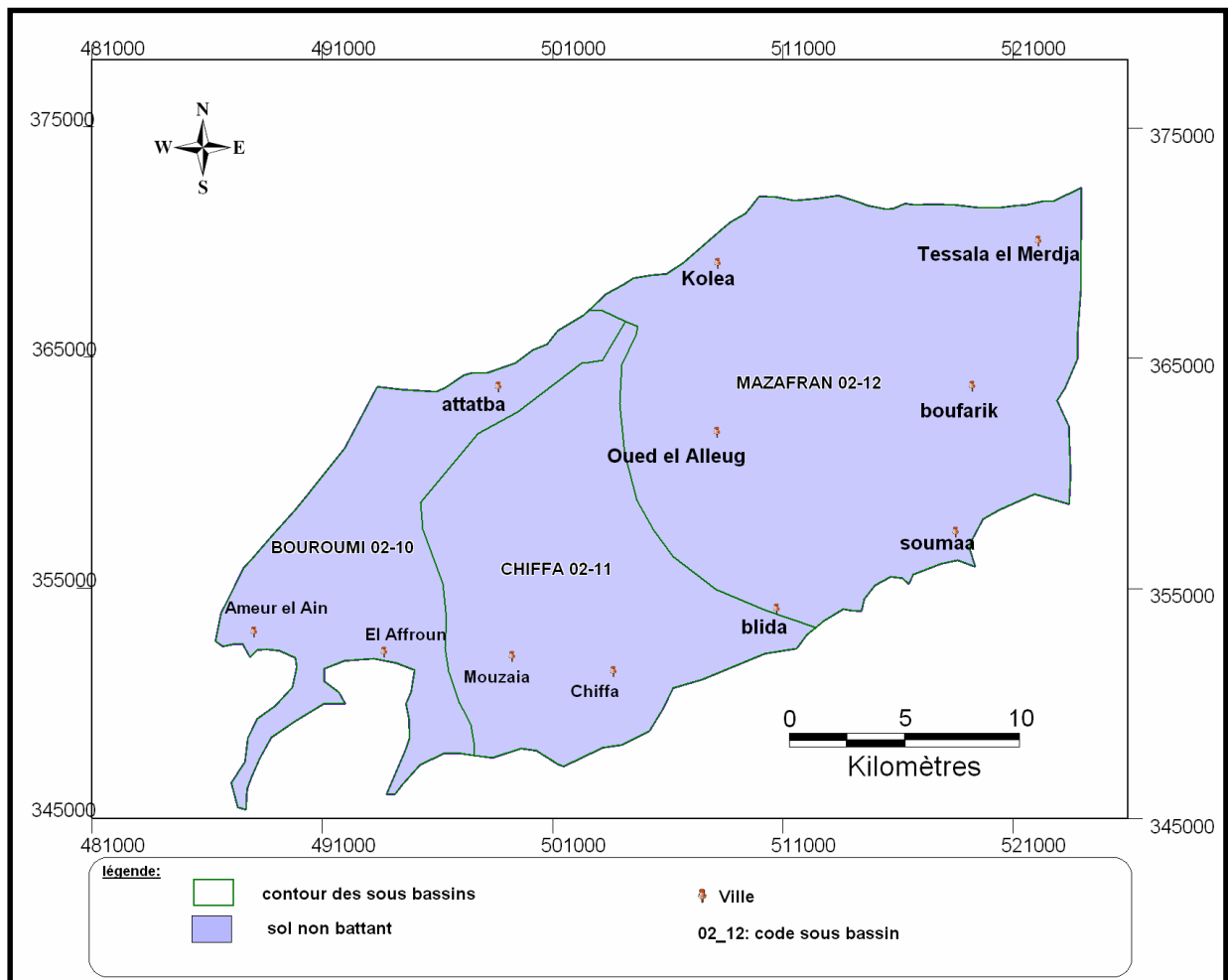


Figure N°64 : Carte de battance des sols de la Mitidja Centre et Ouest.

a.3.2) Filtrance

La filtrance dépend essentiellement de la texture du sol. En effet, des textures à tendance sableuse seront beaucoup plus filtrantes que des textures argileuses ou limoneuses. Ainsi, une première approximation des classes de filtrance du sol peut être obtenue à partir de la détermination de sa texture de surface (BAIZE, 1988), selon les correspondances présentées dans le **tableau N°40** :

Tableau N°40 : Première approche des classes de filtrances d'après les classes de texture utilisée dans l'étude « Beaujolais ».

Classes de texture	Classes de filtrance
S, SL, LLS	1 : Sol très filtrant
LL, LLS (avec L > 65 %), LM, LMS, LS, L, SLA	2 : Sol filtrant
SA, SAL, LSA, LAS, LA (avec A < 22 %)	3 : Sol peu filtrant
ALO, AS, A, AL et SA, LSA, LAS, LA (avec A > 22 %)	4 : Sol à très grand risque d'asphyxie, non filtrant

D'après : BAIZE, D., 1988. Guide des analyses courantes en pédologie. INRA. (in GREEPAL 2003 ,APRONA ,ARAA)

Légende : S = sableux ; L = limoneux ; LM = limon moyen ; A = argileux ; O = organique

Afin d'aboutir à des résultats plus réelles concernant l'état du sol Mitidjien, ce premier classement des filtrances doit être affiner selon les modalités suivantes (dans la limite des 4 classes prédéfinies) :

- Sols calcaires : diminution de la note de filtrance de (02) deux classes ;
- Sols calciques : diminution de la note de filtrance d'une (01) classe ;
- Sols décarbonatés : pas de changement ;
- Sols caillouteux : diminution d'une à deux classes selon les cas.

On obtient ainsi une nouvelle base de donnée (*Annexe N°15*), sur laquelle se fondera la réalisation de la carte thématique du zonage de la filtrance.

Par souci de simplification, il a été décidé de regrouper les classes en respectant certaines associations plus commodes en 3 classes de filtrance pour notre région d'étude.

(*Carte de filtrance, Figure N° 65*)

- **Sols très filtrants à filtrants** (classe 1 et 2)
- **Sols peu filtrants** (classe 3)
- **Sols très peu à non filtrants** (classe 4)

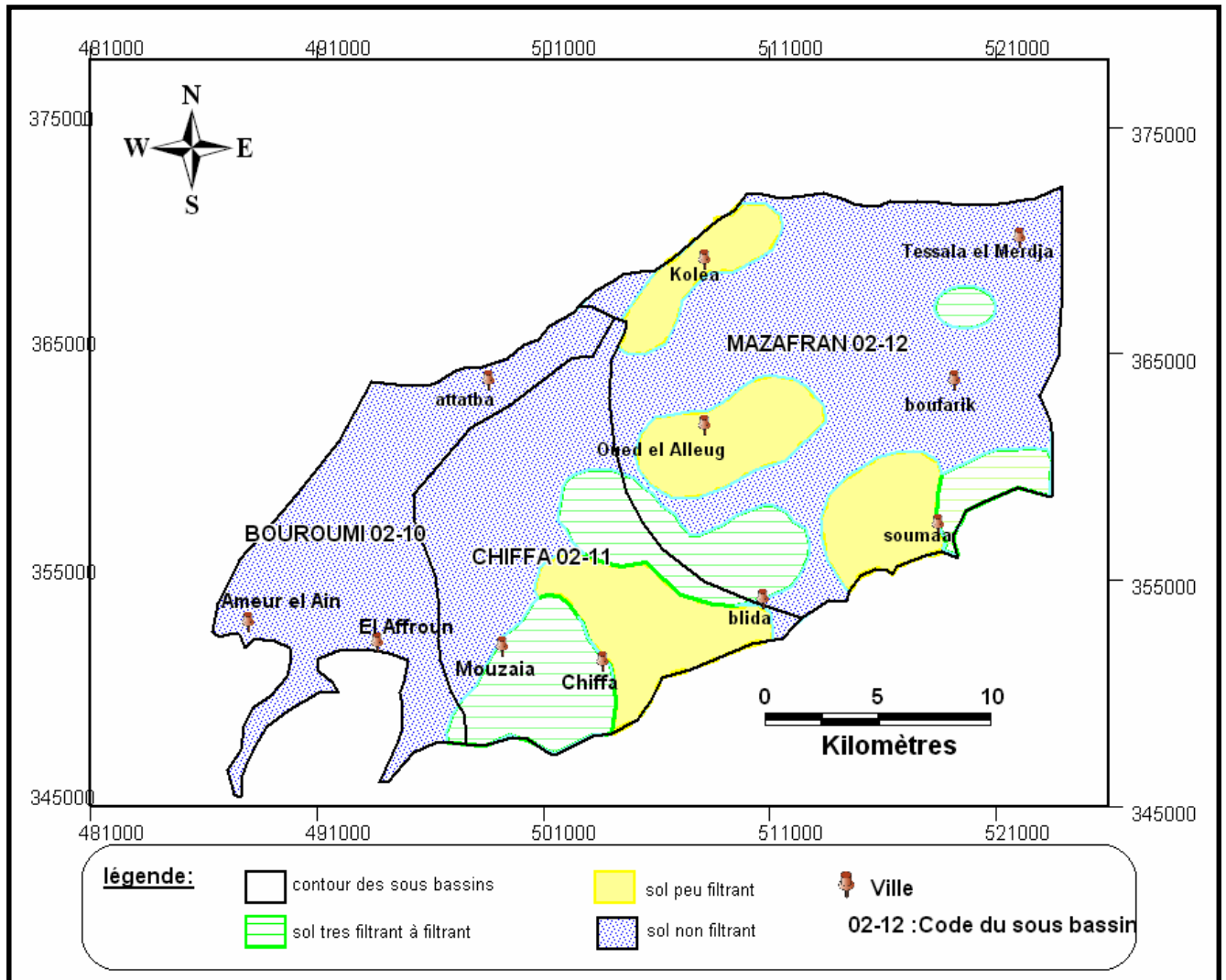


Figure N° 65 : classes de filtrance des sols de la plaine de la Mitidja Centre et Ouest.

a.3.3) L'hydromorphie

Rappelant que selon le Référentiel Pédologique Français (RPF), une hydromorphie significative correspond à l'apparition de gleys ou pseudogleys à une profondeur inférieure ou égale à 40 cm et qui peut atteindre les 50cm pour certains cas particuliers. Afin de distinguer les secteurs présentant une éventuelle hydromorphie, on a utilisé la carte pédologique de la Mitidja et sa légende, pour faire ressortir les zones d'épandage des gleys. Cette définition a donc suffi pour caractériser les sols renseignés par cette Base de données en 2 classes (*carte d'hydromorphie, Figure N°66*) (*Annexe N°16*).

- Sols non hydromorphes
- Sols hydromorphes

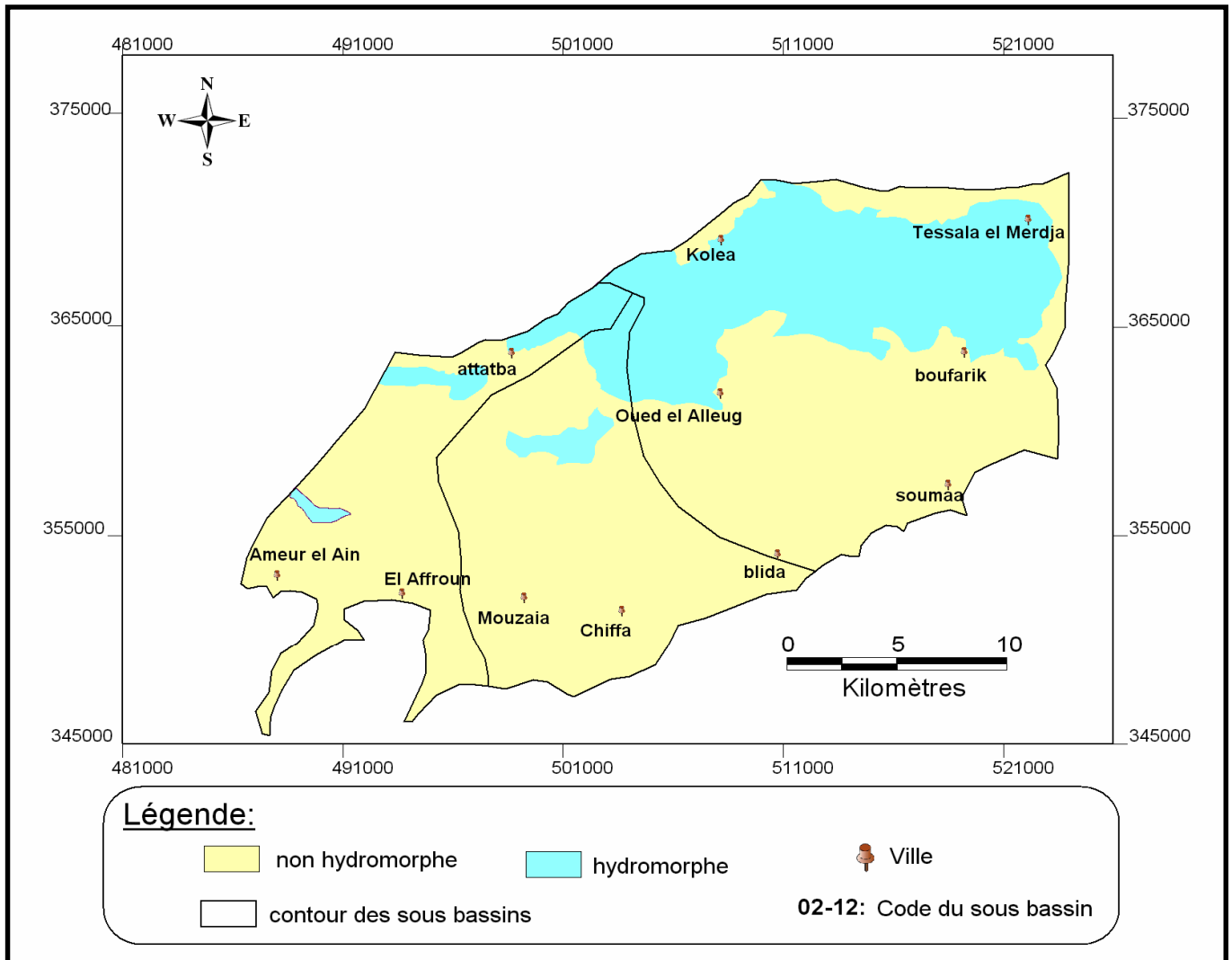


Figure N° 66: Hydromorphie des sols sur la plaine de la Mitidja Centre et Ouest en deux classes.

a.3.4) Présence d'un rupture de perméabilité

La présence d'une rupture de perméabilité limite ou empêche carrément l'infiltration, favorisant ainsi un écoulement latéral de type hypodermique.

Cette rupture de perméabilité est caractérisée par la présence d'un véritable plancher imperméable (marnes), ou d'un horizon argileux à profondeur inférieure ou égale à 60 cm.

On a pu évaluer ces différents éléments en analysant les logs de forages fournis par l'ANRH associé à la carte de perméabilité de la MITIDJA. Voir (*Annexe N°16*)

On obtient alors deux classes:

- **Absence de rupture de perméabilité,**
- **Présence d'une rupture de perméabilité.**

(*Figure N°67 ; carte rupture de perméabilité*),

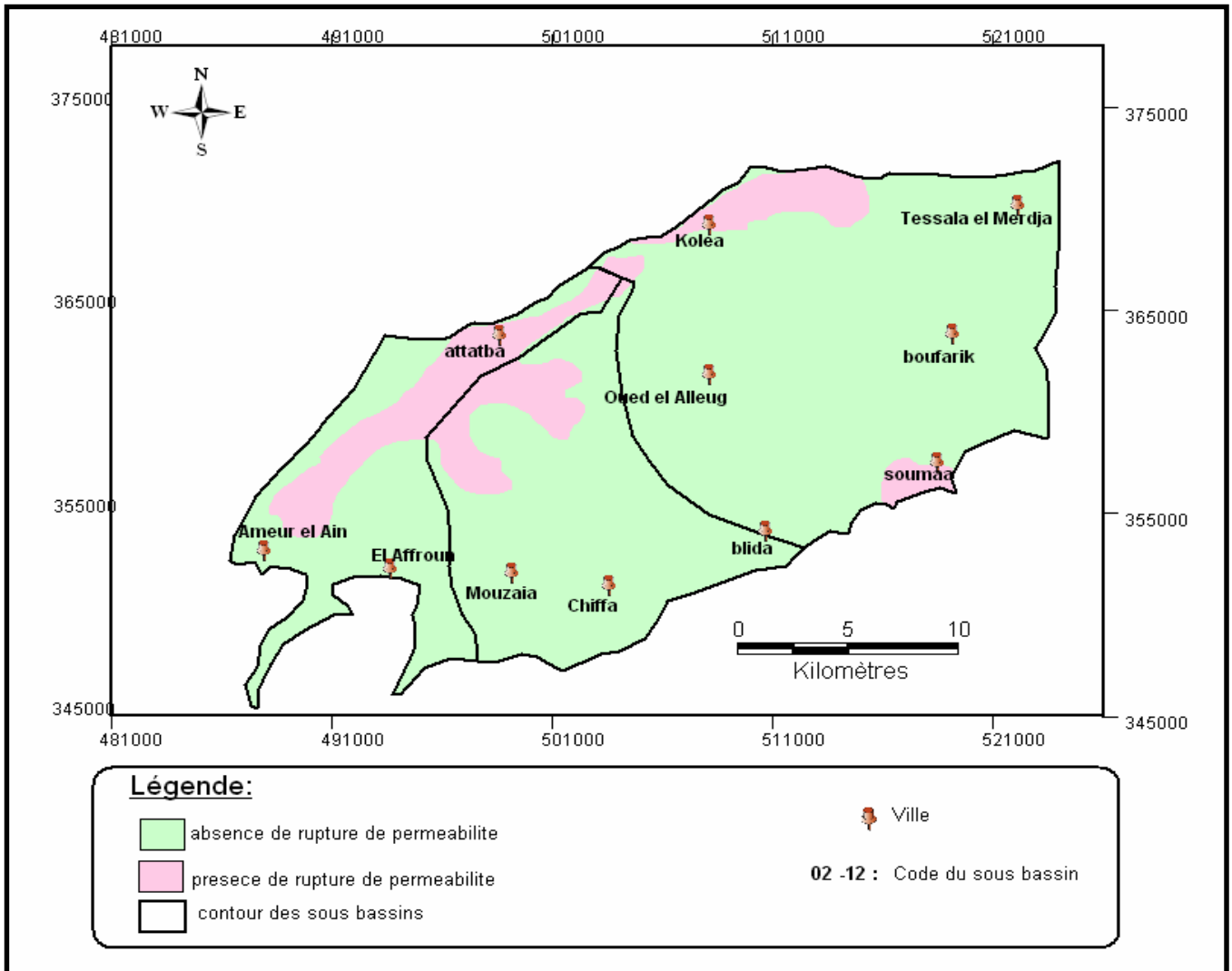


Figure N° 67: Présence d'une rupture de perméabilité dans les sols de la plaine de la Mitidja Centre et Ouest.

a. 4) facteurs liés au sous-sol

a. 4. 1) *Perméabilité du substrat géologique*

La perméabilité du substrat géologique a donc elle aussi été cartographiée, et ce à partir des conclusions tirées de la Base de données que nous avons constituée, ainsi après une scrupuleuse analyse et synthèse des logs de forages, on aboutit une carte de perméabilité du substrat géologique (**Figure N°68**), il faut aussi souligner que de nombreuses lacunes rencontrées ont été comblées. Enfin, on distingue les trois classes de perméabilité suivantes. (**Annexe N°17**).

- **Substrat perméable,**
- **Substrat semi-perméable,**
- **Substrat imperméable.**

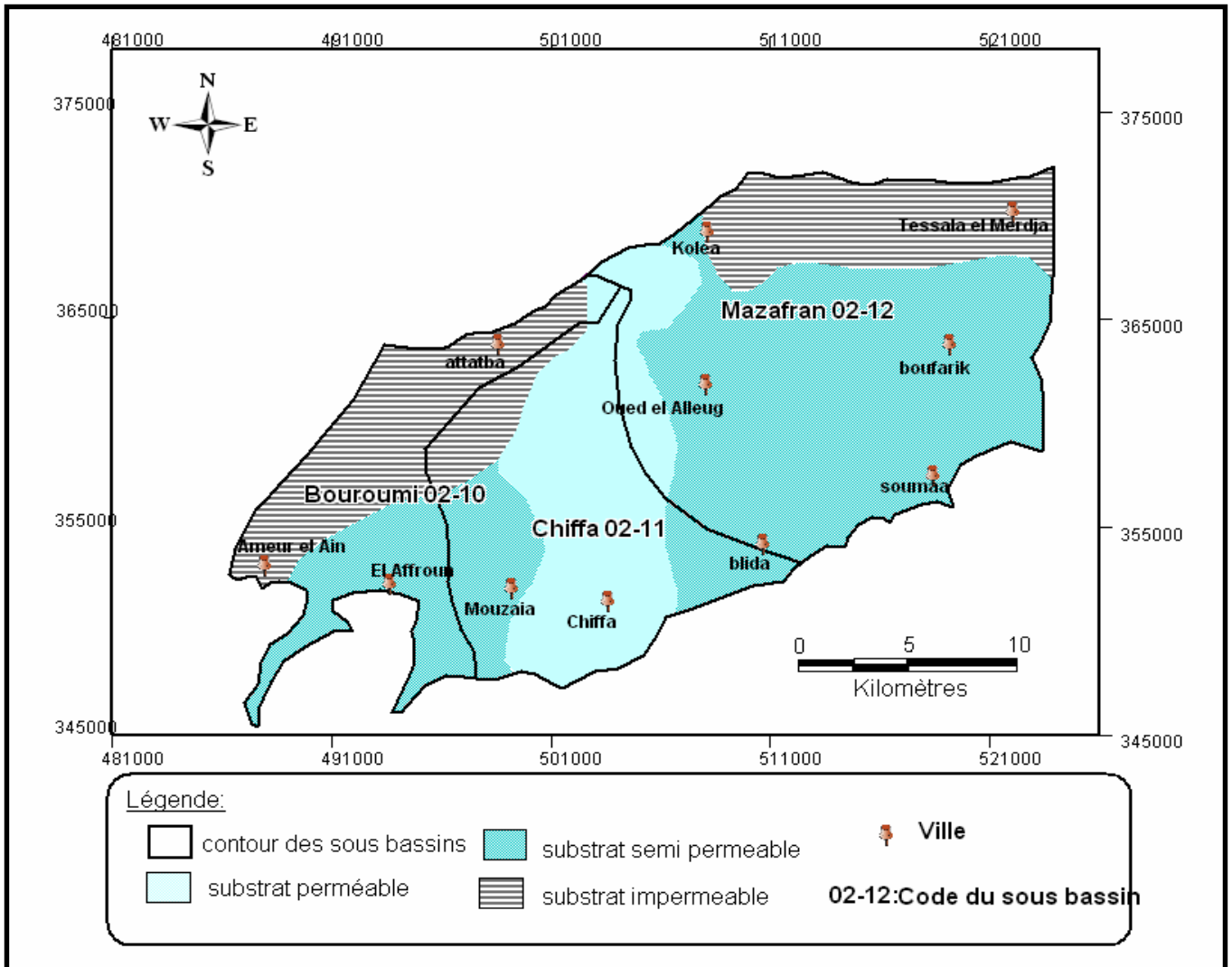


Figure N° 68: Carte de perméabilité du substrat géologique dans la plaine de la Mitidja Centre et Ouest.

b) Croisement des facteurs

b.1) Identification des situations favorables aux écoulements de surface strict

1^{er} croisement : Pour cela on croise en premier lieu : la battance et la pente en période orageuse :

En absence de la battance du sol Mitidjien à cause de sa fertilité en couvert végétal et richesse en argile c'est la pente qui joue le rôle du facteur déterminant la sensibilité du sol au ruissellement strict ou non.

Tableau N°41 : Croisement pente et battance pour la détermination de la sensibilité aux écoulements de surface strict.

pente	non battant
0_2%	non sensible
2_5%	sol moyennement sensible

On remarque que le sol est « non sensible aux écoulements de surface strict » sur la majeure partie de la région d'étude (*Annexe N°18*).

2^{ème} croisement : *la filtrance et la pente en période hivernale*

Tableau N°42 : croisement pente et filtrance pour la détermination de la sensibilité aux écoulements de surface strict.

filtrance Pente	sols très filtrant à filtrants	sol peu filtrant	sol très peu a non filtrant
0 2%	1	1	1
2 5%	1	2	3

De ce croisement résulte trois classes de sensibilité aux écoulements de surface à savoir :

- 1** : sol non sensible aux écoulements de surface strict.
- 2** : sol moyennement sensible aux écoulements de surface strict.
- 3** : sol sensible aux écoulements de surface strict.

Le gradient de base restituant l'importance de la pente est établi sur la classe 2 de filtrance. En effet, le seuil de 2 % de pente génère un ruissellement induit par des pluies relativement intenses, plus rares en période hivernale.

b.2) Identification des écoulements au sein du sol (Annexe N°19).

1^{er} croisement : Dans cette étape on considère qu'il y a infiltration de l'eau, alors l'hydromorphie et la rupture de perméabilité doivent systématiquement être pris en compte.

Là encore, on tient compte de la période climatique pour moduler les résultats.

Méthodologie suivie pour la détermination des voies préférentielles de circulation :

- ☞ En **période orageuse** on considère **la sensibilité** du sol aux écoulements strict tirée auparavant du croisement **pente × battance**, ensuite on prend en compte successivement l'hydromorphie et la rupture de perméabilité, ainsi on aboutit à 5 voies préférentielles de circulation des eaux.
- ☞ En procédant de la même manière pour la **période hivernale**, mais en considérant cette fois **la sensibilité** du sol aux écoulements strict issue du croisement de la **pente × filtrance**, on aura 7 modes de circulation préférentielles.

Remarque :

Pour les sols moyennement sensibles aux écoulements de surface, il a été choisi de combiner les résultats obtenus pour les sols sensibles et les sols non sensibles. On obtient alors essentiellement des écoulements mixtes (ex : sol moyennement sensible, hydromorphe, sans rupture de perméabilité = écoulement de surface et reconstitution de la réserve utile d'une part, écoulement de surface et reconstitution de la réserve utile puis infiltration d'autre part).

Ces scénarii sont mieux expliqués dans les figures suivantes :

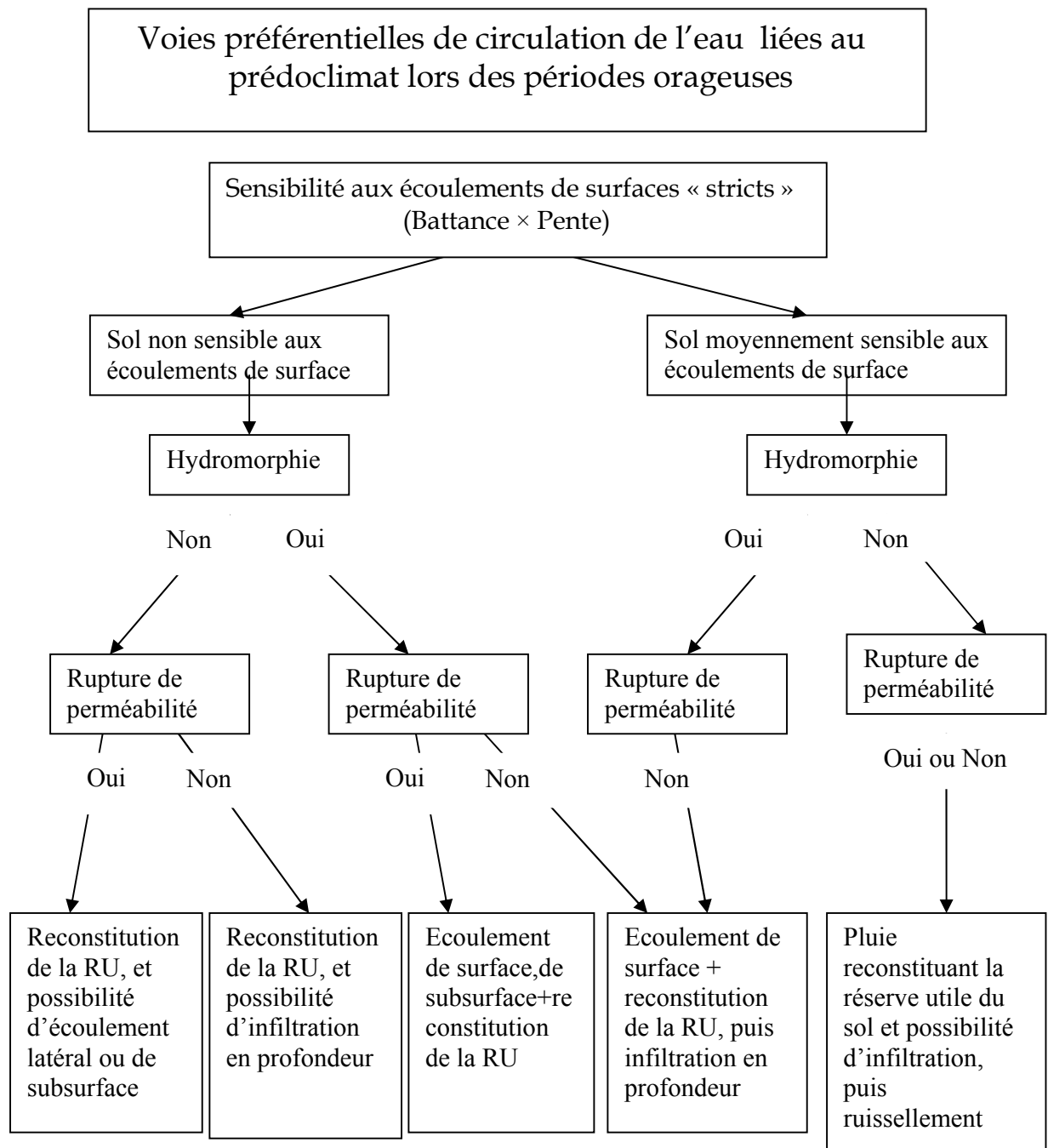


Figure N°69 : Mode d'écoulement sur les bassins Mitidjiéen en périodes d'orage.

Discussion des résultats obtenus :

D'après les résultats obtenus (*Annexe N°19*), on remarque que la partie Ouest est caractérisée par un mode d'écoulement de type mixte, c'est-à-dire qu'il y a en premier lieu une infiltration avec reconstitution de la réserve utile, ensuite ruissellement ; la partie Est, est associée a un écoulement de surface, plus reconstitution de la réserve utile, ensuite infiltration.

Ces observations ne sont pas forcément généralisé sur toute la région mais il reste des exceptions qui font intervenir d'autres modes d'écoulement possible selon la morphologie de la région.

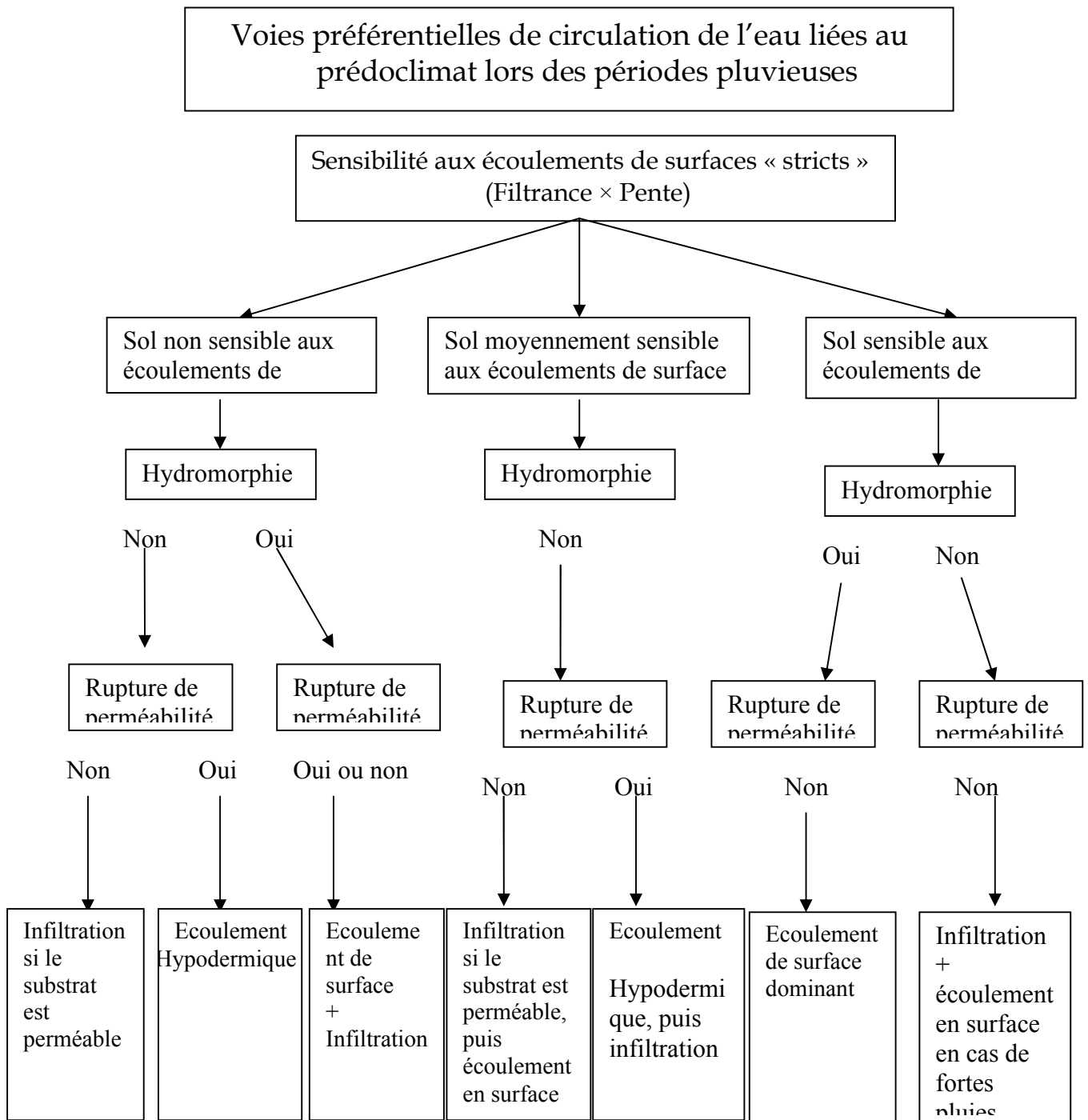


Figure N° 70 : Mode d'écoulement sur les bassins Mitidjiéen en période hivernale.

Discussion des résultats obtenus

Dans ce cas de figure où l'infiltration devrait être privilégié par le climat, les résultats obtenus par la méthodologie suivie font ressortir un penchement des voies préférentielles d'écoulement vers le mode surfacique et hypodermique ou du moins une répartition égale entre les deux ressources.

On pourrait expliquer cela par le fait que la région est traversée par un réseau hydrographique très développé, les cours d'eau coulent uniquement en période pluvieuse ; en saison estivale, ils sont souvent secs notamment ces dernières décennies.

I.3.1.2 .Répartition des flux et ressource(s) exposée(s)

Connaissant, les principaux types d'écoulement en jeu, il est possible d'en déduire la ressource en eau qui pourrait être principalement touchée dans le cas d'une pollution éventuelle.

- ❖ le niveau d'exposition peut être matérialisé par l'affectation à chacune des ressources en eau d'une note de 0 à 4, la somme des deux notes étant toujours égale à 4, illustrant ainsi la répartition du flux entre les deux ressources.
- ❖ Ainsi, une note de 4 signifie donc que la ressource en question est la seule touchée ; à l'inverse, une note de 0 signifie que la ressource n'est pas exposée.
- ❖ Entre les deux cas extrêmes, on retrouvera tous les cas intermédiaires correspondant à des écoulements mixtes.
- ❖ Les notes seront donc attribuées au cas par cas, selon les types d'écoulements mentionnés et leur fréquence (ex : écoulement de surface + écoulement de subsurface + infiltration = ESO 1 ESU 3, les écoulements de surface étant majoritaires).
- ❖ A noter que la reconstitution de la réserve utile « piège » une partie du flux, de ce fait, sa prise en compte diminue donc la note des eaux superficielles mais son impact reste moindre que celui de l'infiltration (« pondération » - ex : écoulement de surface + infiltration = ESO 2 ESU 2 mais écoulement de surface + reconstitution de la réserve utile = ESO 1 ESU 3).

Attribution de notes au mode de circulations :

- Infiltration :	ESO 4 et	ESU 0
- Ecoulement de surface seul :	ESO 0 et	ESU 4
- Infiltration+ de surface :	ESO 2 et	ESU 2
- Infiltration+ de surface+sub-surface :	ESO 1 et	ESU 3
- Infiltration+ sub surface :	ESO 3 et	ESU 1

Cas particuliers :

☞ **période orageuse** : Pour les cas particuliers de moyenne sensibilité ou la note est partagée dans notre cas d'étude (RU+**infiltration puis ruissellement**) normalement entre infiltration et ruissellement on attribut 2ESU et 2 ESO mais comme la reconstitution de la réserve utile aura lieu, donc elle diminue les écoulements surfaciques d'une note on aura finalement : **3 ESO 1 ESU**.

☞ **période pluvieuse** : Pour les deux cas suivants :(1. Ruissellement en cas de fortes pluies, 2. Infiltration si le substrat est filtrant sinon écoulement latéral) on a apporté des corrections plus ou moins approximatives ; afin quelles conviennent aux classes de répartitions des flux disponibles.

On aboutit à une première répartition des flux d'eau entre les deux ressources concernées. (Annexe N°20).

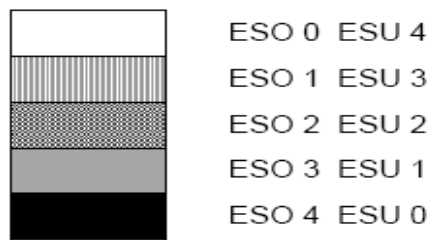
Les résultats en termes d'écoulements obtenus précédemment sont croisés avec les classes de perméabilité du sous-sol :

- Les résultats précédemment obtenus sont maintenus pour les cas d'écoulements de surface et/ou de subsurface (ESO 0 ESU 4) ;
- Pour les cas d'écoulements mixtes ou par infiltration, il y a alors réorganisation des flux entre les deux ressources selon le modèle suivant :

Tableau N°43 : Prise en compte de la perméabilité du substrat géologique pour la caractérisation finale de la vulnérabilité des eaux souterraines de la nappe alluviale de la Mitidja Centre et Ouest.

Situation initiale →	ESO 0 ESU 4	ESO 1 ESU 3	ESO 2 ESU 2	ESO 3 ESU 1	ESO 4 ESU 0
perméable					
semi-perméable					
imperméable					

Légende de situation finale :



Observation : après croisement des données précédentes on observe alors quelques variations des notes de repartitions des flux influencées par la perméabilité du substrat. (Cela ne concerne que les points où il y a infiltration ESO). (*Annexe N°21*)

I.3.2) Niveau de vulnérabilité potentielle de la ressource

Cette deuxième étape représente la « probabilité » pour que les molécules de matières actives qui y sont potentiellement présentes puissent atteindre et contaminer la ressource.

Le calcul des temps de transfert nécessaires pour atteindre la ressource, en surface et en profondeur s'avèrent indispensables (que nous ne traiterons pas dans notre étude).

En surface, on étudie les possibilités d'accès aux cours d'eau ; en profondeur, on s'intéresse plutôt au cheminement de l'eau dans la zone dite non saturée aboutissant à la nappe phréatique. (*Annexe N°22*)

I.3.2.1. Transfert en surface

a) Densité du réseau hydrographique

Afin d'apprécier la densité du réseau hydrographique, on a commencé par digitaliser, ensuite évaluer la longueur des cours d'eau appartenant à notre région d'étude. En rapportant, pour chaque bassin versant, le linéaire de cours d'eau identifié (en m) à la superficie totale du bassin versant concerné (en km²). On obtient ainsi une cartographie de la densité à l'échelle régionale en 2 classes ; (*Figure N°71*)

- 0-1100 m/km² : sans effet
- 1100 m/km² : facteur aggravant.

Tableau N°44 : Densité du réseau hydrographique par sous bassin versant de la Mitidja Centre et Ouest.

sbv	longueur du réseau en (m)	Surface BV (km ²)	Densité en (m/km ²)	Obs.
1	222400	296.4	1361.00	F.aggravant
2	104000	157	1254.78	F.aggravant
3	60400	113	1157.52	F.aggravant

On considère donc qu'au-dessus d'un seuil de 1100 m/km², la densité du réseau hydrographique a un effet aggravant sur les transferts et, donc, sur la vulnérabilité potentielle des eaux superficielles, dont le niveau va s'élever.

☞ On ajoutera donc 1 classe de vulnérabilité aux eaux superficielles (dans la limite d'une note maximale de 4).

Remarque : Tous les cours d'eau (permanent, temporaire et artificiel) ont été pris en considération dans ce calcul y compris les canaux de drainages superficiels.

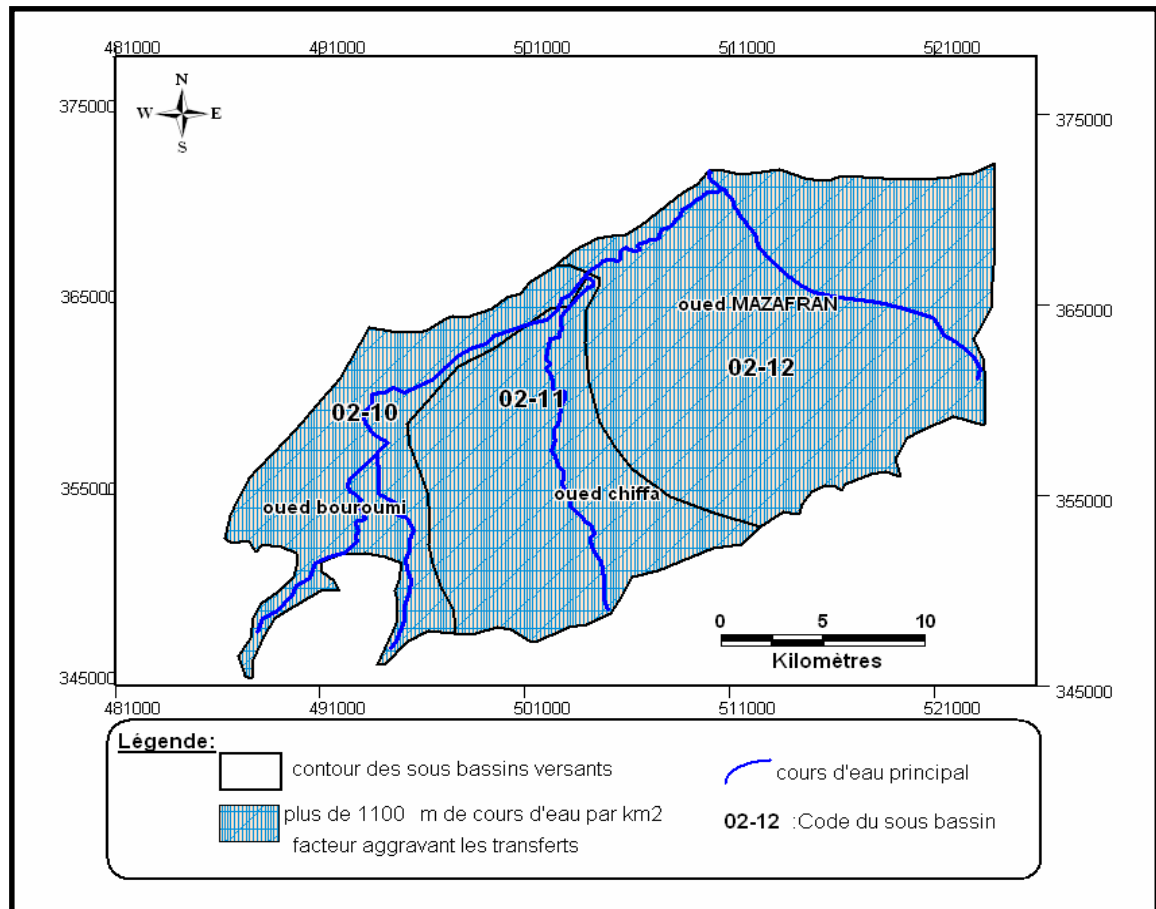


Figure N° 71: Densité du réseau hydrographique dans la plaine de la Mitidja Centre et Ouest.

b) Densité de drainage agricole

L'analyse de ce paramètre assez difficiles à cerner, nous a conduits à estimer sa valeur on se basant sur des travaux existants ; un pourcentage de la **densité de drainage <20%** est sans effet sur le cheminement des ESU, ce qui ressort dans l'estimation du réseau hydrographique précédente, dans laquelle le drainage superficiel est prie en compte.

I.3.2.2. Transfert en profondeur

Comme nous l'avons vu précédemment, ce sont les caractéristiques de la zone non saturée (ZNS) surplombant la nappe quaternaire de la Mitidja qui vont intervenir ici. En effet, plus son **épaisseur** est importante, sa **perméabilité est** faible et sa **porosité est** fine, plus le transfert va être lent et difficile, augmentant les chances de dégradation ou d'adsorption des matières actives.

Afin de mener une bonne analyse du transfert en profondeur, on a du construire une base de donnée représentative de notre région d'étude. (*Annexe N°23*)

Disponibilité des données nécessaire :

- L'épaisseur de la ZNS a été tirée de la piézométrie des hautes eaux de la Mitidja (compagne Avril 2008) en combinaison avec les résultats d'études géophysiques (CGG, 1969). On aboutit à une carte des épaisseurs de la ZNS de l'aquifère (*Figure N° 72, Carte des épaisseurs de la ZNS*) ;
- la carte de perméabilité de la nappe de la Mitidja modulée (SOGREAH, Avril 2008) a constitué un outil très efficace concernant l'acquisition de ce paramètre.
- la **porosité efficace** est une grandeur assez délicate à évaluer en absence de données, nous avons donc prie en considération la **nature du substrat géologique** de la ZNS.

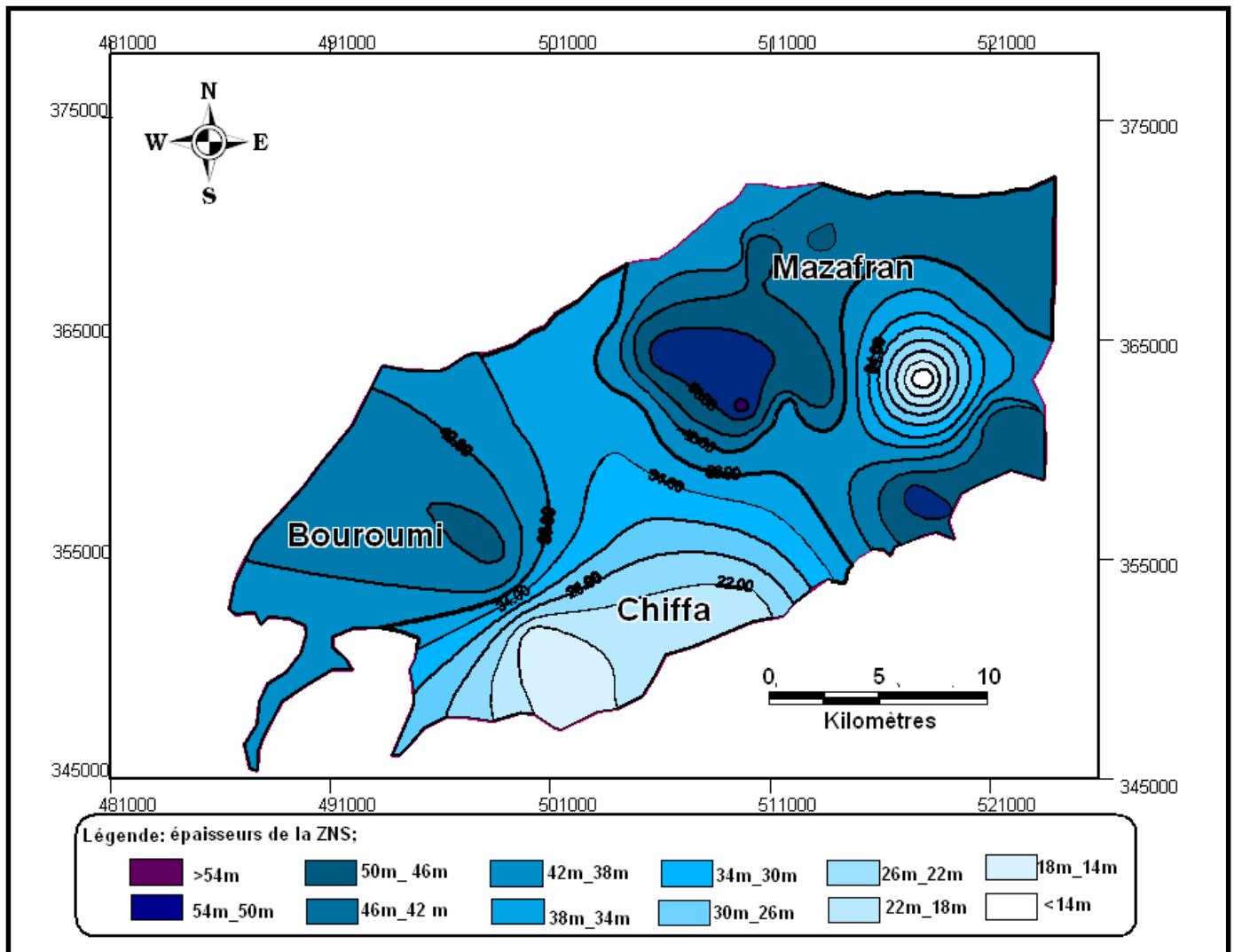


Figure N° 72: Carte des isobathes ; des épaisseurs de la ZNS surplombant la nappe alluviale de la Mitidja Centre et Ouest.

Conclusion : La réunion de ces trois paramètres démontre que l'influence de la ZNS (zone non saturée) n'est pas un facteur aggravant c'est-à-dire que le polluant a plus de chance de se dégrader avant d'atteindre la nappe, dans ce cas les notes de vulnérabilité des ESO de la nappe alluviale de la Mitidja Centre et Ouest restent inchangées.

I.3.3. Vulnérabilité et zonage des bassins versants

I.3.3.1. Influence de l'occupation du sol

Afin d'obtenir un zonage des bassins versants vis-à-vis de leur vulnérabilité aux produits phytosanitaires, l'occupation du sol s'est avéré indispensable, sachant que certains terrains agricoles, constituent des lieux d'émission potentielle de produits phytosanitaires ;

En se basant sur une récente image satellitaire de la plaine de Mitidja (*Alsat 1* ; de Juillet 2008) ; (*Annexe N°30*), on a pu spécifier, ainsi que digitaliser les différentes occupations du sol : (bâties, forêts, terres labourables...) (*Figure N°73, carte d'ODS*)

Et en fonction du type d'ODS on peut conclure si la modulation est à la hausse, à la baisse ou inchangée, sachant que la modulation à la baisse est matérialisée par la diminution d'un point de la note de vulnérabilité, et une modulation à la hausse conduit à l'augmentation d'un point de cette même note. (*Annexe N°24*).

4 Classes d'occupation du sol ont été retenues :

- ❖ Forêts : modulation à la baisse
- ❖ Terres labourables : modulation à la hausse
- ❖ Bâtit : modulation à la hausse pour les ESU, sans effet pour les ESO
- ❖ Autres : sans effet

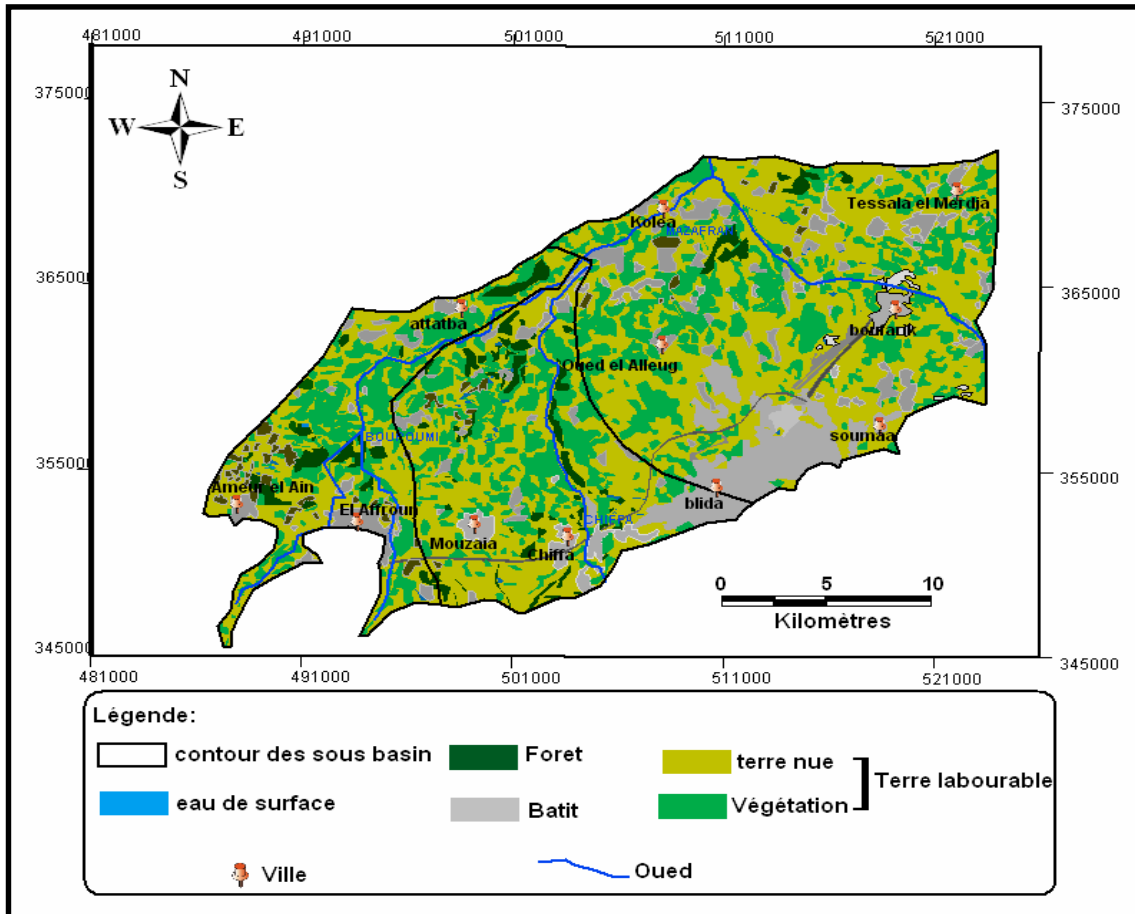


Figure N° 73 : Carte d'occupation des sols de la plaine de la Mitidja Centre et Ouest.

I.3.3.2. Classification des bassins versants et zonage final

Cette phase complémentaire du diagnostic a pour objectif le calcul d'une note globale de vulnérabilité **par bassin versant**, et de classer les bassins afin d'obtenir une cartographie fonctionnelle.

Pour cela, on a été amené à calculer, pour chaque bassin versant, la superficie occupée par chacune des classes de vulnérabilité en% de la superficie totale du bassin versant et ce, pour chacune des situations étudiées (ESUP, ESUH, ESOP, ESOH).

1) Procédure de zonage de la vulnérabilité par sous bassin

✚ **Premièrement :**

A fin d'aboutir à un bon diagnostic et une représentation précise et spatialisée de la vulnérabilité on a été amené à calculer pour chaque bassin versant la superficie occupée par chacune des classes de vulnérabilité.

Pour cela on due procéder par une analyse thématique des résultats présentés dans l'*Annexe N°24*, pour chaque situation (ESOP, ESOH, ESUP, ESUH), présentant ainsi la répartition des classes de vulnérabilité trouvées précédemment au chap. I.3.3.1, ensuite on a délimité les surfaces occupées par chaque classe (0, 1, 2,3 ou 4) ; et enfin calculer les surfaces en pourcentage de la surface totale du sous bassin concerné.

Les tableaux suivants résument les résultats de cette étape :

❖ Cas du sous bassin N°1 (Mazafran, codé : 02-12)

Tableau N° 45 : Pourcentages surfacique de la répartition des notes de vulnérabilité pour la situation (eaux souterraines en période de printemps /été).

ESOP			
note	S (km2)	S total du BV	%S
0	31,39	296,4	10,59
1	125,11		42,21
2	54,3		18,32
3	63,11		21,29
4	22,49		7,59

Tableau N° 46 : Pourcentages surfacique de la répartition des notes de vulnérabilité pour la situation (eaux souterraines en période d'automne/hiver).

ESOH			
note	S (km2)	S total du BV	%S
0	58,98	296,4	19,90
1	195,6		65,99
2	15,06		5,08
3	26,76		9,03
4	0		0,00

Tableau N° 47 : Pourcentages surfacique de la répartition des notes de vulnérabilité pour la situation (eaux superficielles en période de printemps /été).

ESUP			
note	S (km2)	S total du BV	%S
0	0	296,4	0
1	0		0
2	13,2		4,45
3	43,8		14,78
4	239,4		80,77

Tableau N° 48 : Pourcentages surfacique de la répartition des notes de vulnérabilité pour la situation (eaux superficielles en période d'automne/hiver).

ESUH			
note	S (km2)	S total du BV	%S
0	0	296,4	0
1	0		0
2	0		0
3	15,4		5,20
4	281		94,80

❖ Cas du sous bassin N°2 (Chiffa, codé : 02-11)

Tableau N° 49 : Pourcentages surfacique de la répartition des notes de vulnérabilité pour la situation (eaux souterraines en période de printemps /été).

ESOP			
note	S (km2)	S total DU BV	%S
0	0	156,9	0,00
1	26,93		17,16
2	16,27		10,37
3	34,23		21,82
4	79,47		50,65

Tableau N° 50 : Pourcentages surfacique de la répartition des notes de vulnérabilité pour la situation (eaux souterraines en période d'automne/hiver).

ESOH			
note	S (km2)	S total du BV	%S
0	3,49	156,9	2,22
1	68,27		43,51
2	19,11		12,18
3	66,03		42,08
4	0		0,00

Tableau N° 51 : Pourcentages surfacique de la répartition des notes de vulnérabilité pour la situation (eaux superficielles en période de printemps /été).

ESUP			
note	S (km2)	S total du BV	%S
0	0	156,9	0
1	0		0
2	0		0
3	69,6		44,36
4	87,3		55,64

Tableau N° 52 : Pourcentages surfacique de la répartition des notes de vulnérabilité pour la situation (eaux superficielles en période d'automne/hiver).

ESUH			
note	S (km2)	S total DU BV	%S
0	0	156,9	0
1	0		0
2	0		0,00
3	0		0,00
4	156,9		100,00

❖ Cas du sous bassin N°3 (Bouroumi, codé : 02-10)

Tableau N° 53 : Pourcentages surfacique de la répartition des notes de vulnérabilité pour la situation (eaux souterraines en période de printemps /été).

ESOP			
note	S (km2)	S total du BV	%S
0	11,57	112,9	10,25
1	76,06		67,37
2	15,01		13,29
3	10,26		9,09
4	0		0,00

Tableau N° 54 : Pourcentages surfacique de la répartition des notes de vulnérabilité pour la situation (eaux souterraines en période d'automne/hiver).

ESOH			
note	S (km2)	S total du BV	%S
0	17,95	112,9	15,90
1	94,95		84,10
2	0		0,00
3	0		0,00
4	0		0,00

Tableau N° 55 : Pourcentages surfacique de la répartition des notes de vulnérabilité pour la situation (eaux superficielles en période de printemps /été).

ESUP			
note	S (km2)	S total du BV	%S
0	0	112,9	0
1	0		0
2	0		0
3	0		0
4	112,9		100

Tableau N° 56: Pourcentages surfacique de la répartition des notes de vulnérabilité pour la situation (eaux superficielles en période d'automne/hiver).

ESUH			
note	S (km2)	S total du BV	%S
0	0	112,9	0
1	0		0
2	0		0
3	0		0,00
4	112,9		100,00

✚ Deuxièmement : On synthétise les 4 cas dans 1 seul tableau pour chaque SBV:

Tableau N° 57: Pourcentage de superficie occupée par chacune des classes de vulnérabilité du SBV N°1 (Mazafran 02-12):

sbv1: superficie occupée par chacune des classes de vulnérabilité (en % de la superficie totale du bassin versant)				
classe de vulnérabilité	Eaux souterraines en période printemps - été (ESOP)	Eaux souterraines en période hivernale (ESOH)	Eaux superficielles en période printemps - été (ESUP)	Eaux superficielles en période hivernale (ESUH)
0	10,59	19,90	0,00	0,00
1	42,21	65,99	0,00	0,00
2	18,32	5,08	4,45	0,00
3	21,29	9,03	14,78	5,20
4	7,59	0,00	80,77	94,80

Tableau N°58: Pourcentage de superficie occupée par chacune des classes de vulnérabilité du SBV N°2 (Chiffa 02-11) :

Sbv2: superficie occupée par chacune des classes de vulnérabilité (en % de la superficie totale du bassin versant)				
classe de vulnérabilité	Eaux souterraines en période printemps - été (ESOP)	Eaux souterraines en période hivernale (ESOH)	Eaux superficielles en période printemps - été (ESUP)	Eaux superficielles en période hivernale (ESUH)
0	0,00	2,22	0,00	0,00
1	17,16	43,51	0,00	0,00
2	10,37	12,18	0,00	0,00
3	21,82	42,08	44,36	0,00
4	50,65	0,00	55,64	100,00

Tableau N°59: Pourcentage de superficie occupée par chacune des classes de vulnérabilité du SBV N°3 (Bouroumi 02-10) :

Sbv3: superficie occupée par chacune des classes de vulnérabilité (en % de la superficie totale du bassin versant)				
classe de vulnérabilité	Eaux souterraines en période printemps - été (ESOP)	Eaux souterraines en période hivernale (ESOH)	Eaux superficielles en période printemps - été (ESUP)	Eaux superficielles en période hivernale (ESUH)
0	10,25	15,90	0,00	0,00
1	67,37	84,10	0,00	0,00
2	13,29	0,00	0,00	0,00
3	9,09	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	100,00	100,00

✚ **Troisièmement : calcul de la note de vulnérabilité finale pour chaque situation :**

I. SBV N°1(Mazafran 02-12):

1) La note globale pour les **ESOP**, sera alors :

$$N = (10,59 \times 0) + (42,21 \times 1) + (18,32 \times 2) + (21,29 \times 3) + (7,59 \times 4)$$

$$N = 173,08.$$

2) La note globale pour les **ESOH**, sera alors :

$$N = (19,90 \times 0) + (65,99 \times 1) + (5,08 \times 2) + (9,03 \times 3) + (0,00 \times 4)$$

$$N = 103,24.$$

3) La note globale pour les **ESUP**, sera alors :

$$N = (0,00 \times 0) + (0,00 \times 1) + (4,45 \times 2) + (14,78 \times 3) + (80,77 \times 4)$$

$$N = 376,32.$$

4) La note globale pour les **ESUH**, sera alors :

$$N = (0,00 \times 0) + (0,00 \times 1) + (0,00 \times 2) + (5,20 \times 3) + (94,80 \times 4)$$

$$N = 394,80.$$

II. SBV n°2 (Chiffa 02-11):

5) La note globale pour les **ESOP**, sera alors :

$$N = (0,00 \times 0) + (17,16 \times 1) + (10,37 \times 2) + (21,82 \times 3) + (50,65 \times 4)$$

$$N = 305,95.$$

6) La note globale pour les **ESOH**, sera alors :

$$N = (2,22 \times 0) + (43,51 \times 1) + (12,18 \times 2) + (42,08 \times 3) + (0,00 \times 4)$$

$$N = 194,12.$$

7) La note globale pour les **ESUP**, sera alors :

$$N = (0,00 \times 0) + (0,00 \times 1) + (0,00 \times 2) + (44,36 \times 3) + (55,64 \times 4)$$

$$N = 355,64.$$

8) La note globale pour les **ESUH**, sera alors :

$$N = (0,00 \times 0) + (0,00 \times 1) + (0,00 \times 2) + (0,00 \times 3) + (100,0 \times 4)$$

$$N = 400.$$

III. SBV n°3 (Bouroumi 02-10) :

9) La note globale pour les **ESOP**, sera alors :

$$N = (10,25 \times 0) + (67,37 \times 1) + (13,29 \times 2) + (9,09 \times 3) + (0,00 \times 4)$$

$$N = 121,22.$$

10) La note globale pour les **ESOH**, sera alors :

$$N = (15,90 \times 0) + (84,10 \times 1) + (0,00 \times 2) + (0,00 \times 3) + (0,00 \times 4)$$

$$N = 84,10.$$

11) La note globale pour les **ESUP**, sera alors :

$$N = (0,00 \times 0) + (0,00 \times 1) + (0,00 \times 2) + (0,00 \times 3) + (100,0 \times 4)$$

$$N = 400,00.$$

12) La note globale pour les **ESUH**, sera alors :

$$N = (0,00 \times 0) + (0,00 \times 1) + (0,00 \times 2) + (0,00 \times 3) + (100,0 \times 4)$$

$$N = 400,00.$$

Tableau N°60 : Notes de vulnérabilité globales par situation et pour chaque sous bassins versants.
(réparties selon l'Annexe N°25).

	ESOP	ESOH	ESUP	ESUH
Sbv N°1(Mazafran)	173,08	103,24	376,32	394,80
Sbv N°2 (Chiffa)	305,95	194,12	355,64	400
Sbv N°3 (Bouroumi)	121,22	84,10	400,00	400

On obtient une note de 0 à 400, grâce à laquelle il est possible de hiérarchiser les bassins versants, par situation, du moins vulnérable au plus vulnérable.

Mais, afin d'aboutir au zonage final et à la cartographie demandée, il est judicieux de classer ces bassins versants en 4 classes de vulnérabilité.

0-100	: classe 1
100,01-200	: classe 2
200,01-300	: classe 3
300,01-400	: classe 4

On obtient ainsi 4 cartes illustrant la vulnérabilité des bassins versants, une carte par situation, à savoir : ESOP, ESOH, ESUP et ESUH (*Figures N°74, N°75 et N°76*).

NB : Les cartes obtenues concernant la vulnérabilité des eaux superficielles sont identiques pour les périodes estivales et hivernales, dans ce cas une seule carte de synthèse de toutes saisons confondues sera présentée. (*Carte figure N°76*).

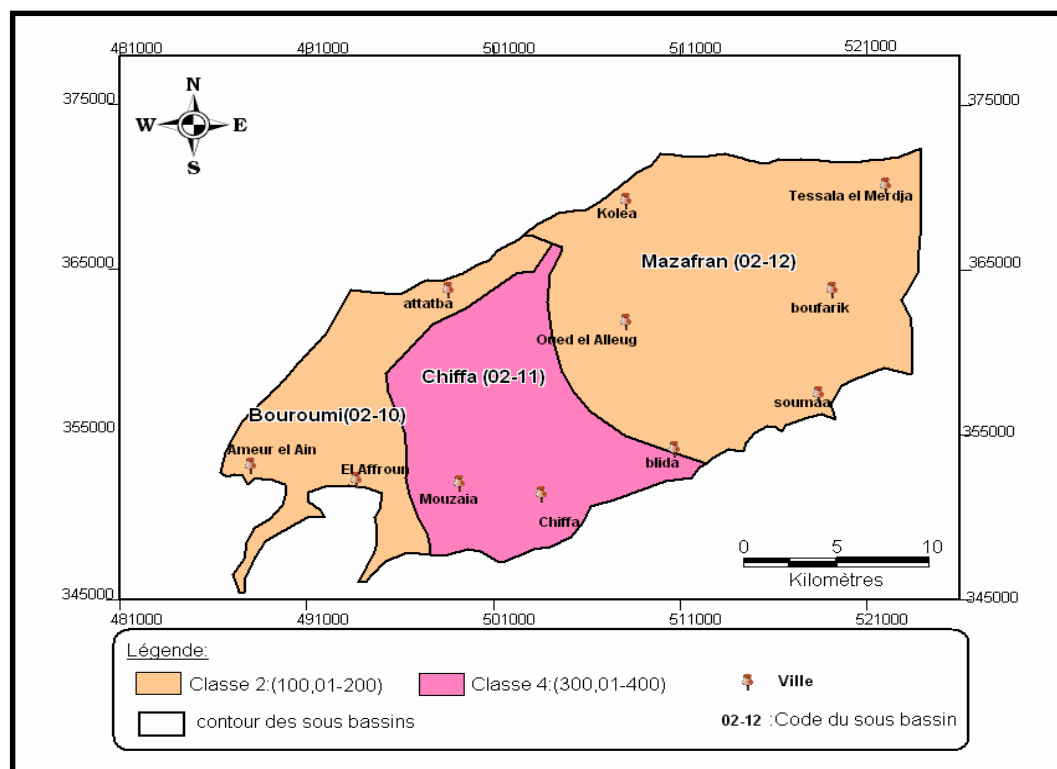


Figure N°74: Classes de vulnérabilité des bassins versant de la Mitidja Centre et Ouest pour les eaux souterraines en période de printemps (ESOP).

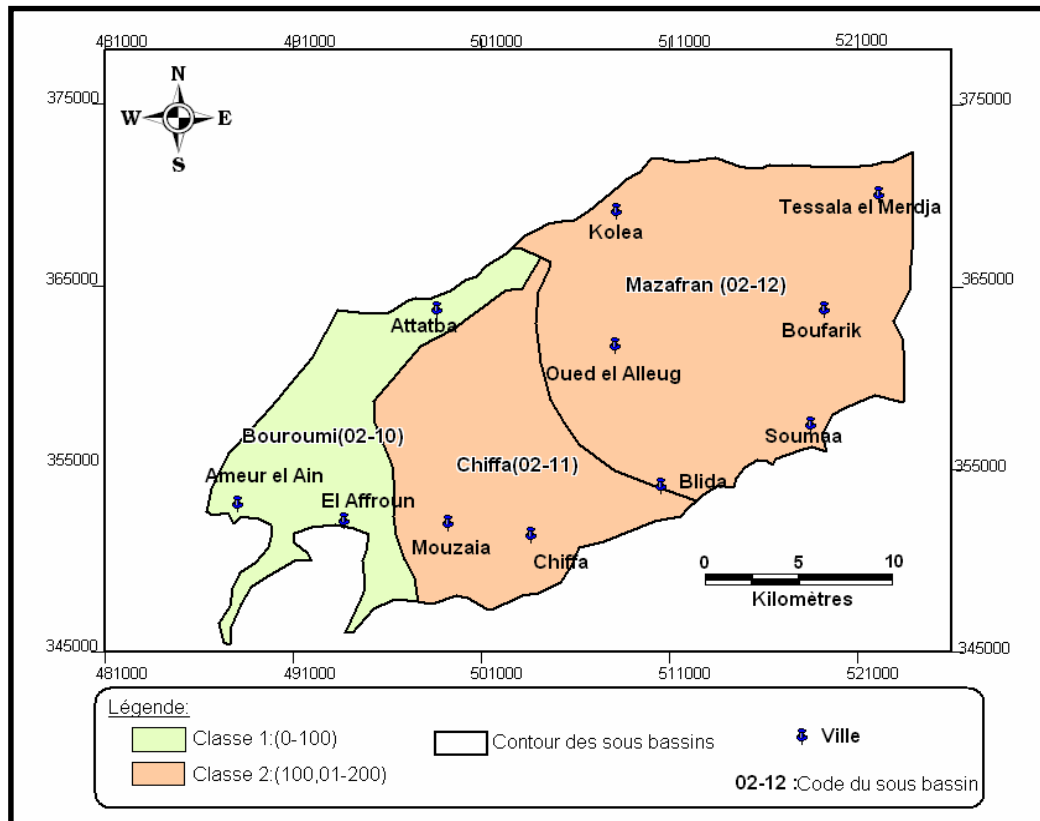


Figure N°75: Classes de vulnérabilité des bassins versant de la Mitidja Centre et Ouest pour les eaux souterraines en période hivernale (ESOH).

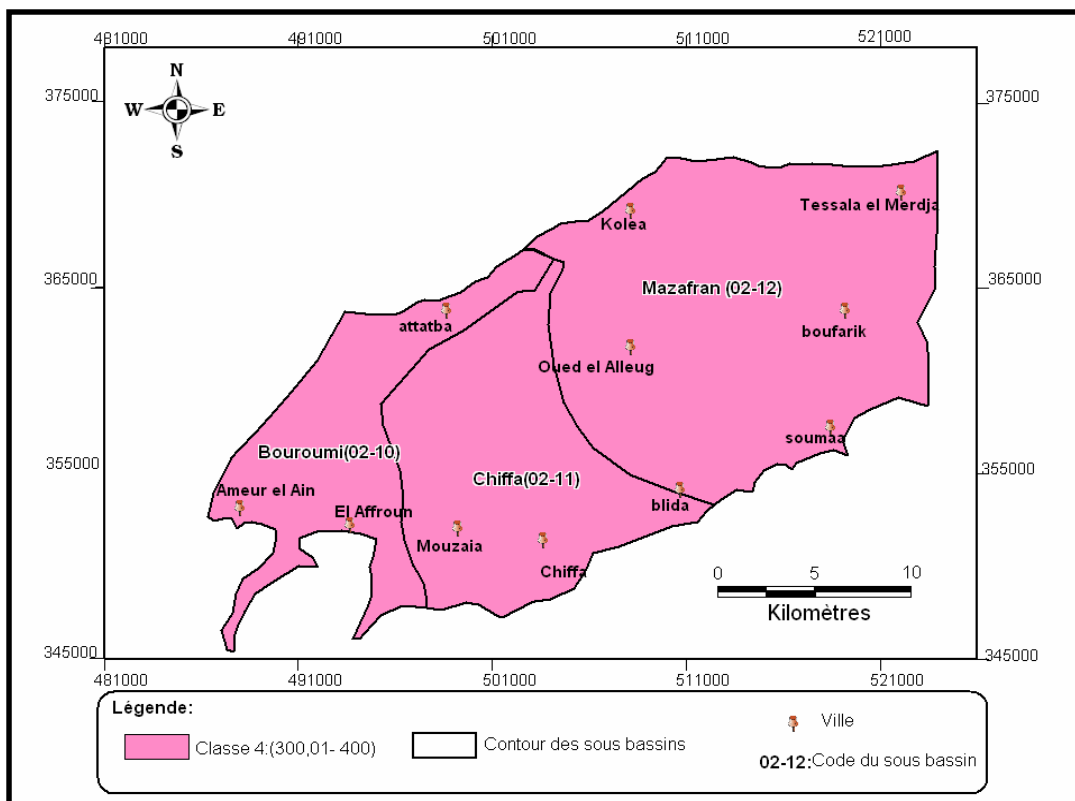


Figure N°76: Classe de vulnérabilité des bassins versant de la Mitidja Centre et Ouest pour les eaux superficielles pour les 2 périodes confondues (ESUP et ESUH).

2) Interprétation des cartes de vulnérabilité

La vulnérabilité des eaux souterraines est faible à moyenne en période hivernale, et de moyenne à très fort sur le bassin du Chiffa en période estivale avec une note de vulnérabilité égale à 305,95.

Cependant, les eaux superficielles montrent une vulnérabilité très forte qui concerne les trois sous bassins étudiés et cela pour toutes périodes.

Afin d'obtenir un zonage opérationnel dans le respect des préconisations du CORPEN (Comité d'Orientation pour des Pratiques Agricoles respectueuses de l'Environnement), il faut s'intéresser aux étapes suivantes du diagnostic et, en premier lieu, à la caractérisation de la sensibilité des bassins versants Mitidjiens, qui fait l'objet de la 2^{ème} partie du présent rapport.

2^{ème} partie : Détermination de la sensibilité des bassins versants aux produits phytosanitaires

Dans cette 2^{ème} partie, nous allons déterminer la sensibilité des bassins versants, c'est-à-dire leur *fragilité effective*, tandis que l'étude de leur vulnérabilité en 1^{ère} partie a permis de traduire la *fragilité intrinsèque* du milieu.

C'est au niveau de la caractérisation de la sensibilité que l'on intègre la notion de dilution potentielle de la ressource par les eaux superficielles et souterraines. Ainsi, un milieu ayant une vulnérabilité donnée aura une sensibilité plus ou moins forte selon que la pollution est susceptible d'être diluée ou non.

II. 1. Sensibilité des eaux de surface

II.1.1 Détermination de la note de dilution des eaux de surface

Pour les eaux de surface, le facteur « dilution » est exprimé à partir des débits spécifiques des cours d'eau à l'exutoire d'un bassin versant donné.

Type de données exploitées :

Débits moyens mensuels des cours d'eau, à partir desquels ont été calculés des débits moyens en périodes estivale (d'avril à octobre) et hivernale (de novembre à mars).

En rapportant ces débits à la surface du bassin versant concerné, nous obtenons des débits spécifiques en périodes estivale et hivernale, pour chacun des bassins versants.

Calcul de la note de dilution :

Un traitement statistique par quartiles sur les débits spécifiques disponibles a permis de répartir ces débits en 4 classes. Chaque classe s'est vue attribuer une note de dilution inversement proportionnelle au débit.

Tableau N°61 : Notes de dilutions attribuées aux débits spécifiques calculés par station hydrométrique et par période climatique après un traitement par quartiles.

station	code	coordonnées		Q spécifique l/s/km2			note de dilution		
		X (m)	Y (m)	hiver	été	synthèse été/hiver	été	hiver	synthèse
1. fer à Cheval	021201	510700	371200	10,53	1,10	5,82	250	350	250
2. Saint des gorges	021126	505000	349200	6,57	1,62	4,09	250	350	350
3. Attatba	021011	503900	366500	3,58	0,83	2,21	350	350	350

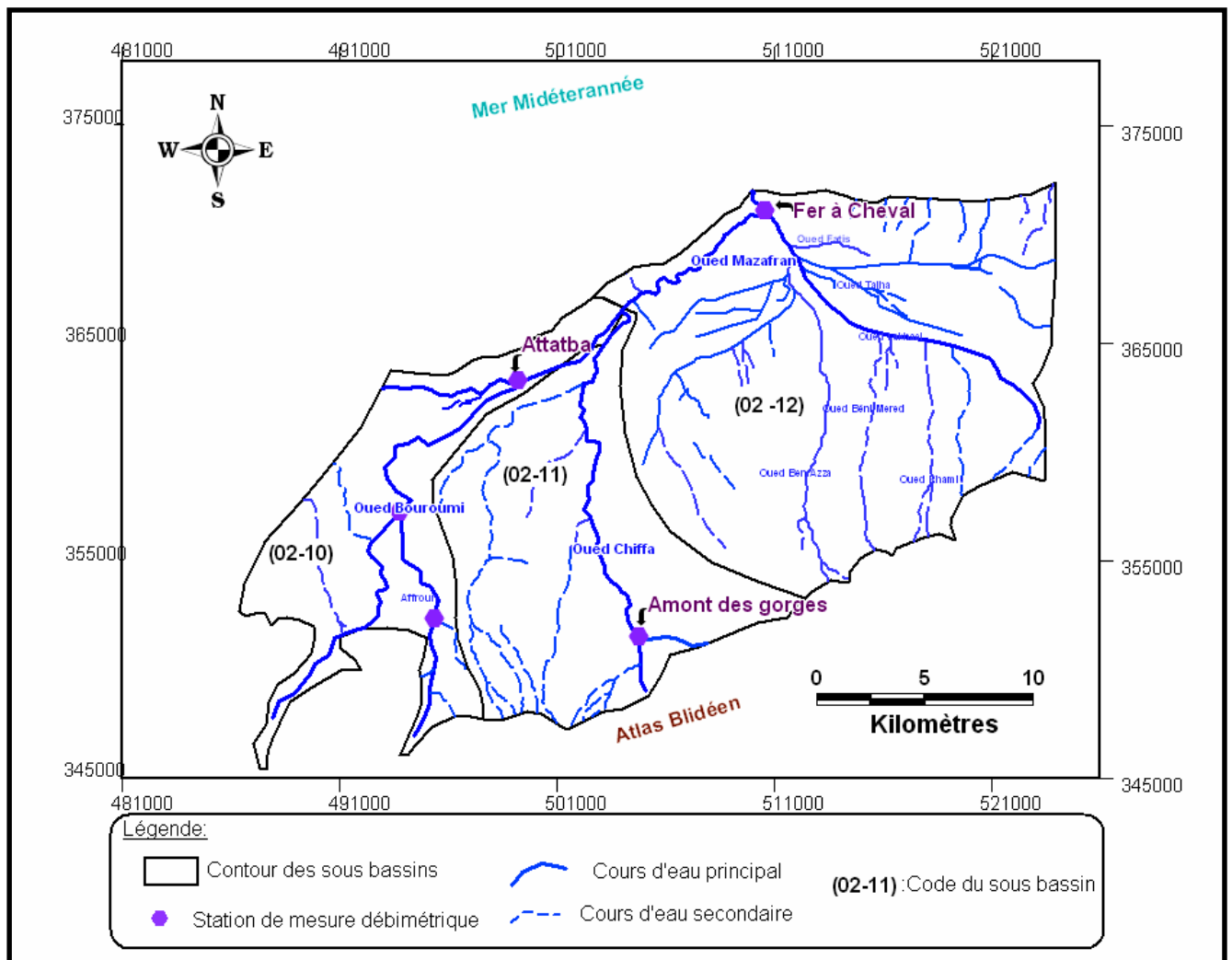


Figure N°77: Carte du réseau hydrographique et localisation des stations hydrométriques dans la plaine de la Mitidja Centre et Ouest.

II.1. 2. Détermination de la note de sensibilité des eaux de surface

En appliquant la formule suivante :

$$Note_Sensibilite = \frac{(Note_Dilution + 2 \times Note_Vu\ln\acute{e}rabilit\acute{e})}{3}$$

Nous obtenons les notes de sensibilité figurant en (*Annexe N°26*) et qui font l'objet des *cartes Figures N°78 et N°79*.

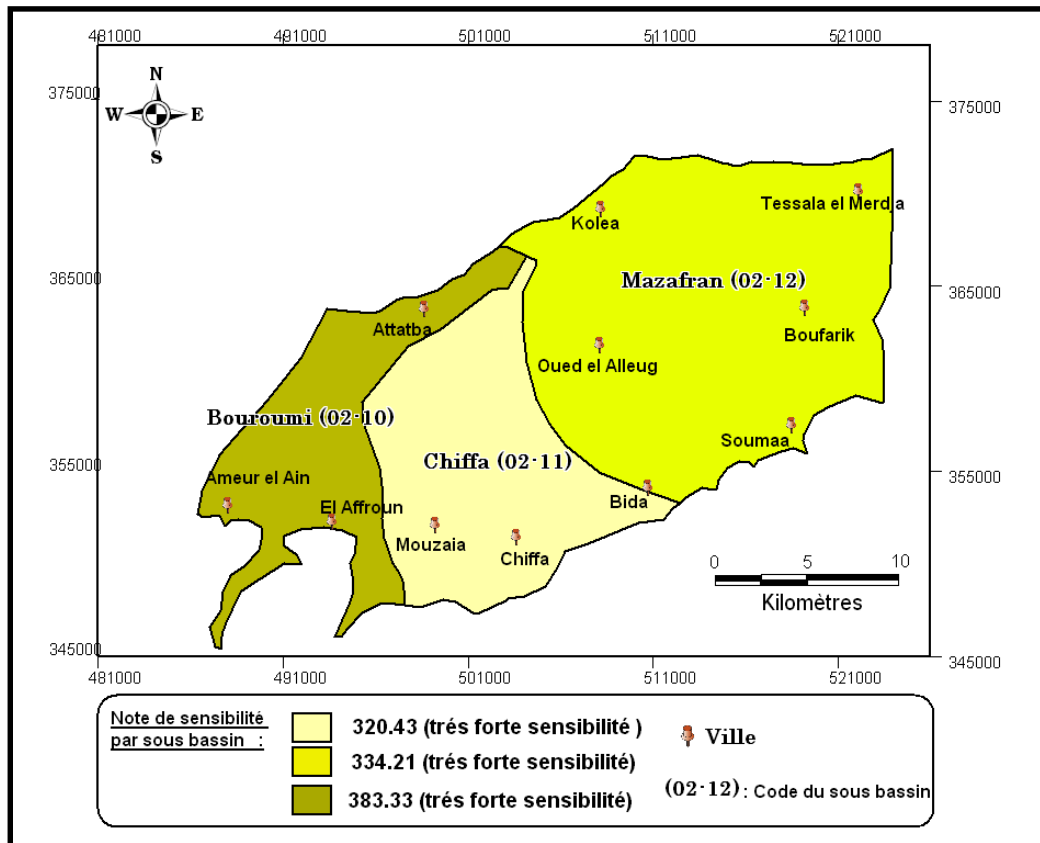


Figure N°78: Carte de sensibilité des eaux superficielles de la Mitidja Centre et Ouest aux produits phytosanitaires (Printemps /été).

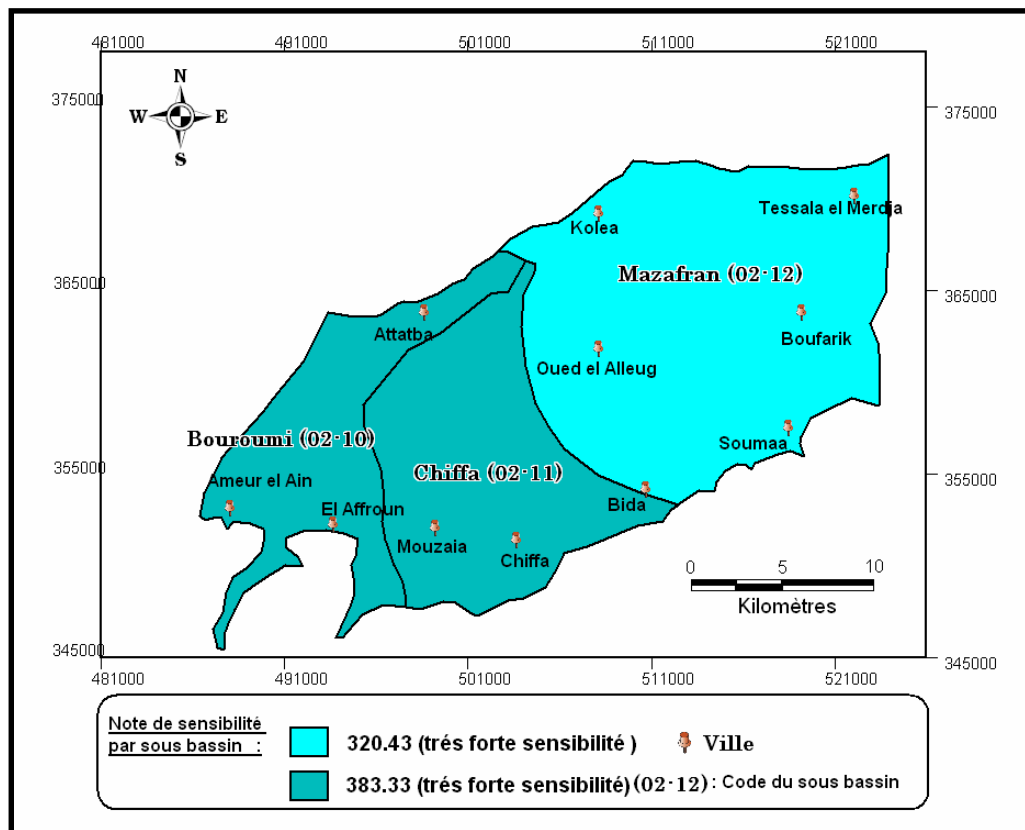


Figure N°79: Carte de sensibilité des eaux superficielles de la Mitidja Centre et Ouest aux produits phytosanitaires (Automne/été).

II.1. 3. Synthèse eaux superficielles

Les notes de sensibilité des eaux de surface, toutes périodes climatiques confondues, sont obtenues en effectuant la moyenne des notes ESUP et ESUH (*Annexe N°26*) ; (*carte figure N°80*).

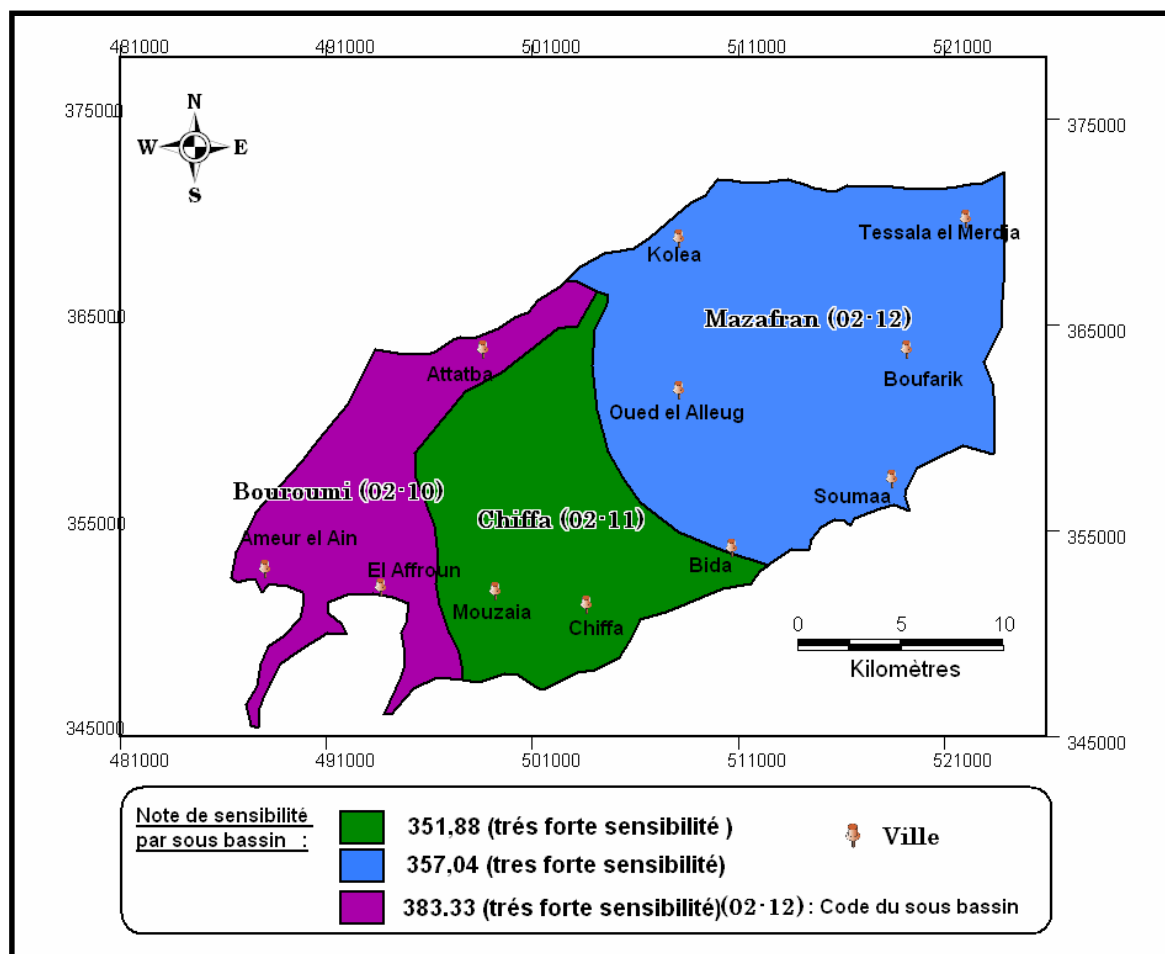


Figure N°80 : Carte de sensibilité des eaux superficielles de la Mitidja Centre et Ouest aux produits phytosanitaires.

Tableau N° 62 : Notes de sensibilité des eaux superficielles par sous bassin.

bassin versant		Q spécifique (l/s/km ²)		Note de dilution		Note de vulnérabilité		Note de sensibilité		Synthèse été-hiver
nom et code	Surface (km ²)	été	hiver	ESUP	ESUH	ESUP	ESUH	Été - ESUP	Hiver - ESUH	
Mazafran (02-12)	296,4	10,53	1,1	250	350	376,32	394,8	334,21	379,87	357,04
Chiffa (02-11)	156,9	6,57	1,62	250	350	355,64	400	320,43	383,33	351,88
Bouroumi (02-10)	112,9	3,58	0,83	350	350	400	400	383,33	383,33	383,33

II. 2. Sensibilité des eaux souterraines

II.2.1. Détermination de la note de dilution des eaux souterraines

La dilution est calculée à partir de l'épaisseur de la nappe quaternaire de la Mitidja.

Disponibilité des données:

Les données concernant l'épaisseur de la nappe phréatique « b » ; n'étant pas disponible, on a du utilisé la relation suivante pour calculer ce paramètre:

$$T = K * b$$

T : transmissivité (m²/s)

K : perméabilité (m/s)

(Voir Annexe N°27)

Après cette étape on a établis la carte des épaisseurs de la nappe de la Mitidja région Centre et Ouest, en se basant sur la légende suivante issue de l'annexe de l'APRONA.

• 0-10 m (rouge)	4
• 10-25 m (orange)	3
• 25-50 (jaune)	2
• 50-100 (vert)	1
• >100 m (bleu)	0

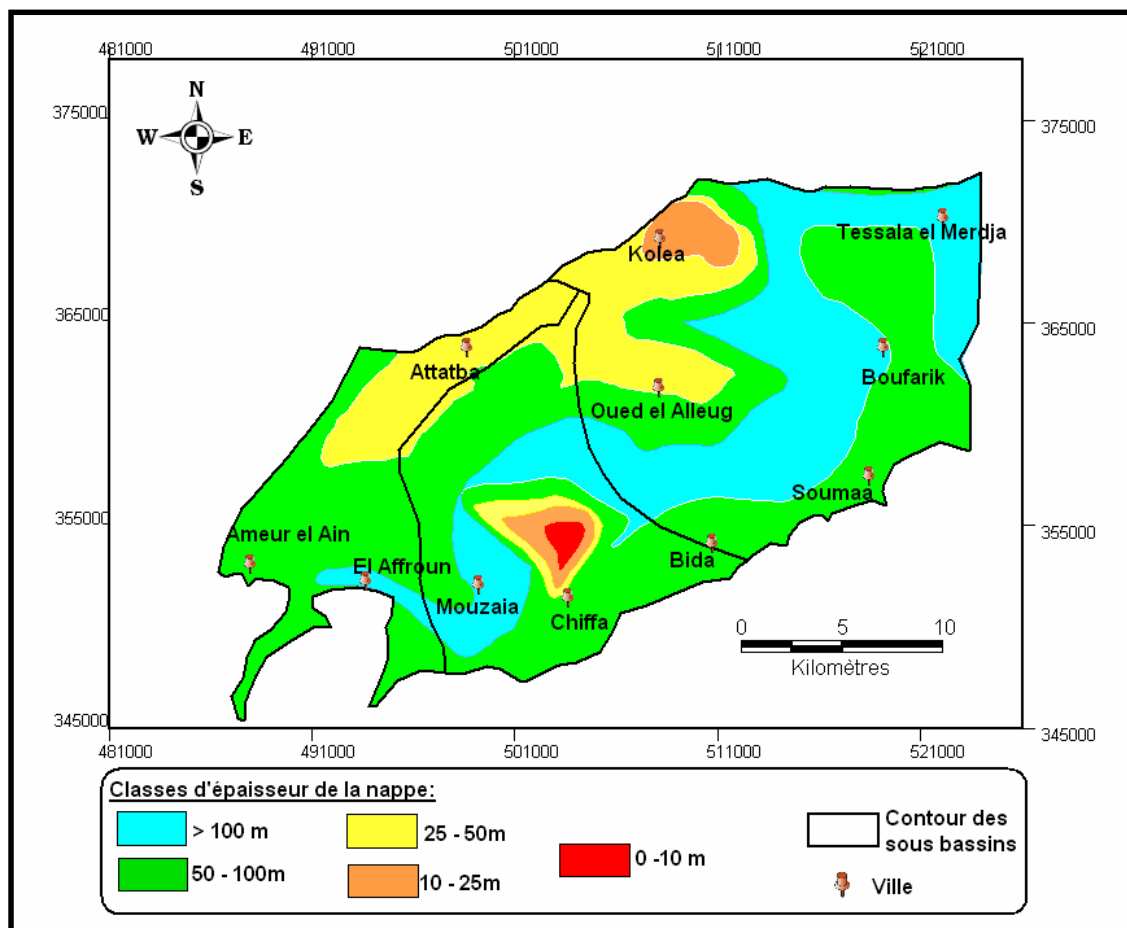


Figure N°81 : Carte des épaisseurs de la nappe de la Mitidja Centre et Ouest.

Calcul de la note de dilution :

Nous avons calculé pour chaque bassin versant les surfaces exprimées en % dans chacune de ces 5 classes (çad la surface occupée par chaque couleur pour chaque SBV).

La note de dilution, comprise entre 0 et 400, est une moyenne pondérée calculée de la façon suivante :

$$\text{Note de dilution} = (0 \times \text{surface Bleue}) + (1 \times \text{surf verte}) + (2 \times \text{surf jaune}) + (3 \times \text{surf orange}) + (4 \times \text{surf rouge})$$

Ainsi, nous obtenons une note de dilution inversement proportionnelle à l'épaisseur de la nappe.

Tableau N° 63 : Note de dilution des eaux souterraines par sous bassin (Mazafran).

SBV n°1: Mazafran (02-12)	surfaces partielles (Km ²)	% de surfaces partielles	note de dilution
0	131,3	44,30	0
1	103,4	34,89	103,4
2	44,8	15,11	89,6
3	13,7	4,62	41,1
4	3,2	1,08	12,8
total	296,4	100%	246,90

Tableau N° 64 : Note de dilution des eaux souterraines par sous bassin (Chiffa).

SBV n°2: Chiffa (02-11)	surfaces partielles (Km ²)	% de surfaces partielles	note de dilution
0	33,75	21,51	0
1	108,9	69,41	108,9
2	7,8	4,97	15,6
3	5	3,19	15
4	1,45	0,92	5,8
total	156,9	100	145,30

Tableau N° 65: Note de dilution des eaux souterraines par sous bassin (Bouroumi).

SBV n°3: Bouroumi (02-10)	surfaces partielles en (Km ²)	% de surfaces partielles	note de dilution
0	3,4	3,01	0
1	74,5	65,99	74,5
2	35	31,00	70
3	0	0,00	0
4	0	0,00	0
total	112,9	100	144,50

NB : Contrairement à la note de dilution des eaux de surface, la note de dilution des eaux souterraines est identique quelle que soit la période climatique considérée.

II.2.2. Détermination de la note de sensibilité des eaux souterraines

En appliquant la formule vue précédemment, on obtient une note de sensibilité pour chacun des bassins d'étude existant dans l'emprise de la nappe de la Mitidja, (voir l'Annexe N°28).

$$Note_Sensibilite = \frac{(Note_Dilution + 2 \times Note_Vu\ln\acute{e}rabilit\acute{e})}{3}$$

Nous obtenons les notes de sensibilité figurant en (Annexe N°28) et qui font l'objet des cartes Figures N°82 et N°83.

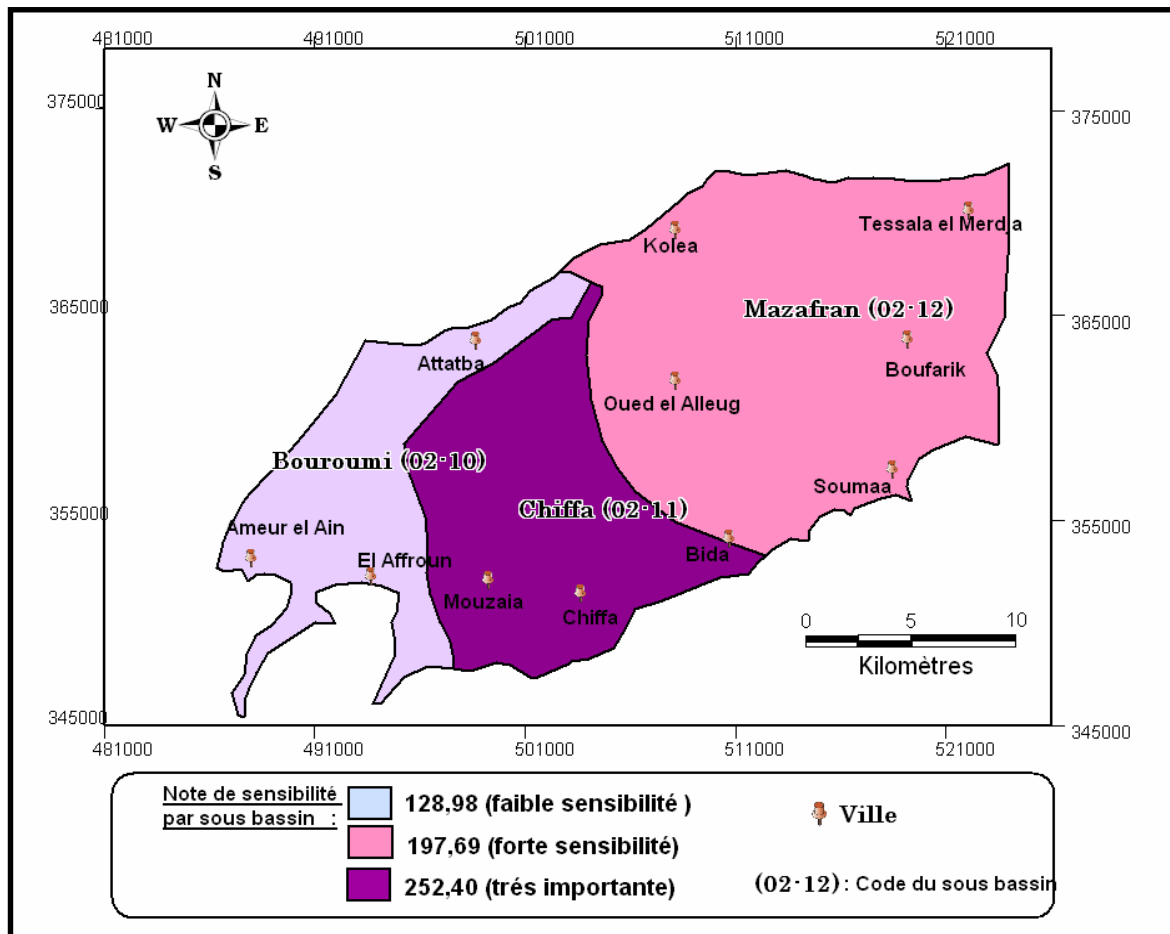


Figure N°82 : Carte de sensibilité des eaux souterraines de la Mitidja Centre et Ouest aux produits phytosanitaires (printemps /été).

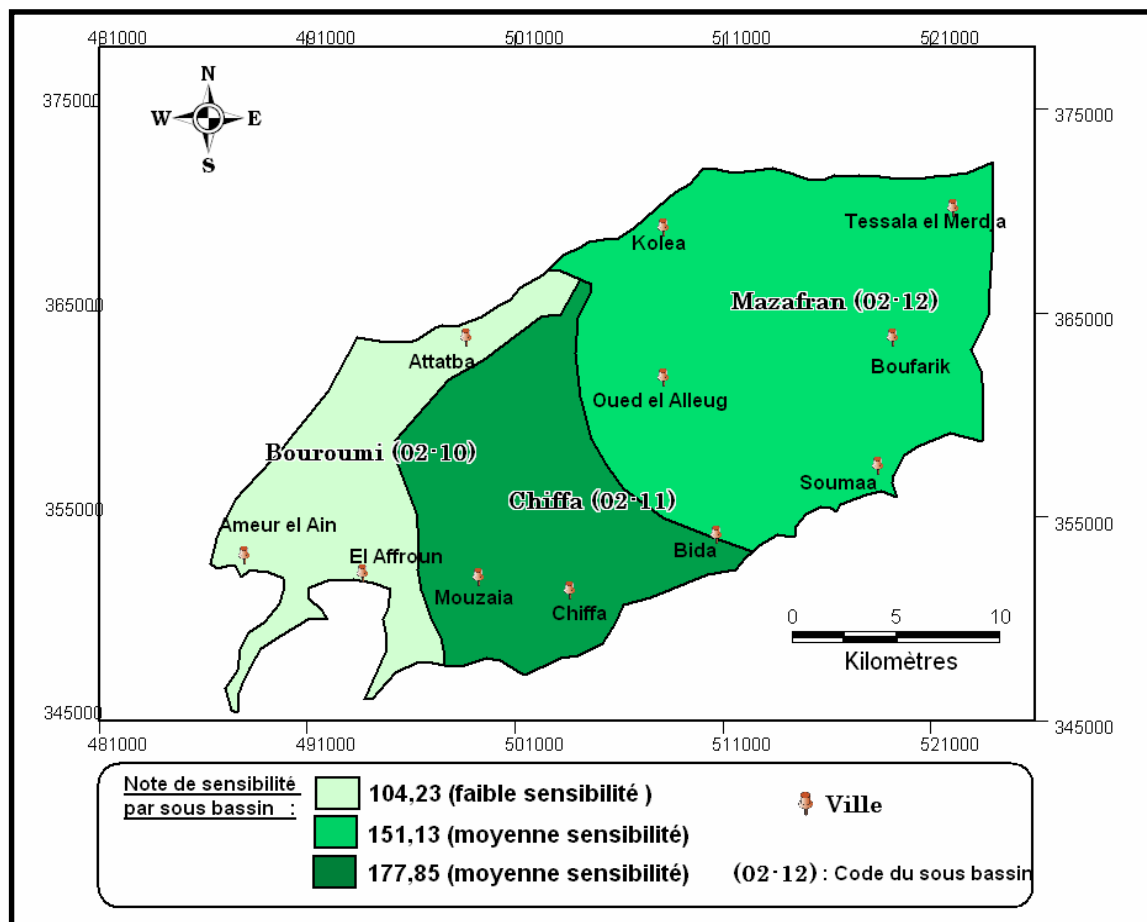


Figure N°83 : Carte de sensibilité des eaux souterraines de la Mitidja Centre et Ouest aux produits phytosanitaires (Automne/Hiver).

II.2.3. Synthèse eaux souterraines

Les notes de sensibilité des eaux souterraines, toutes périodes climatiques confondues, sont obtenues en effectuant la moyenne des notes ESUP et ESUH (Annexe N°28) ; (carte figure N°84)

Tableau N°66 : Notes de sensibilité des eaux souterraines par sous bassin.

bassin versant		Note de dilution		Note de vulnérabilité		Note de sensibilité		synthèse été-hiver
nom et code	Surface (km ²)	ESOP	ESOH	ESOP	ESOH	été-ESOP	hiver-ESOH	
Mazafran (02-12)	296,4	246,9	246,9	173,08	103,24	197,69	151,13	M174,41
Chiffa (02-11)	156,9	145,3	145,3	305,95	194,12	252,40	177,85	IMP215,12
Bouroumi (02-10)	112,9	144,5	144,5	121,22	84,1	128,98	104,23	F116,61

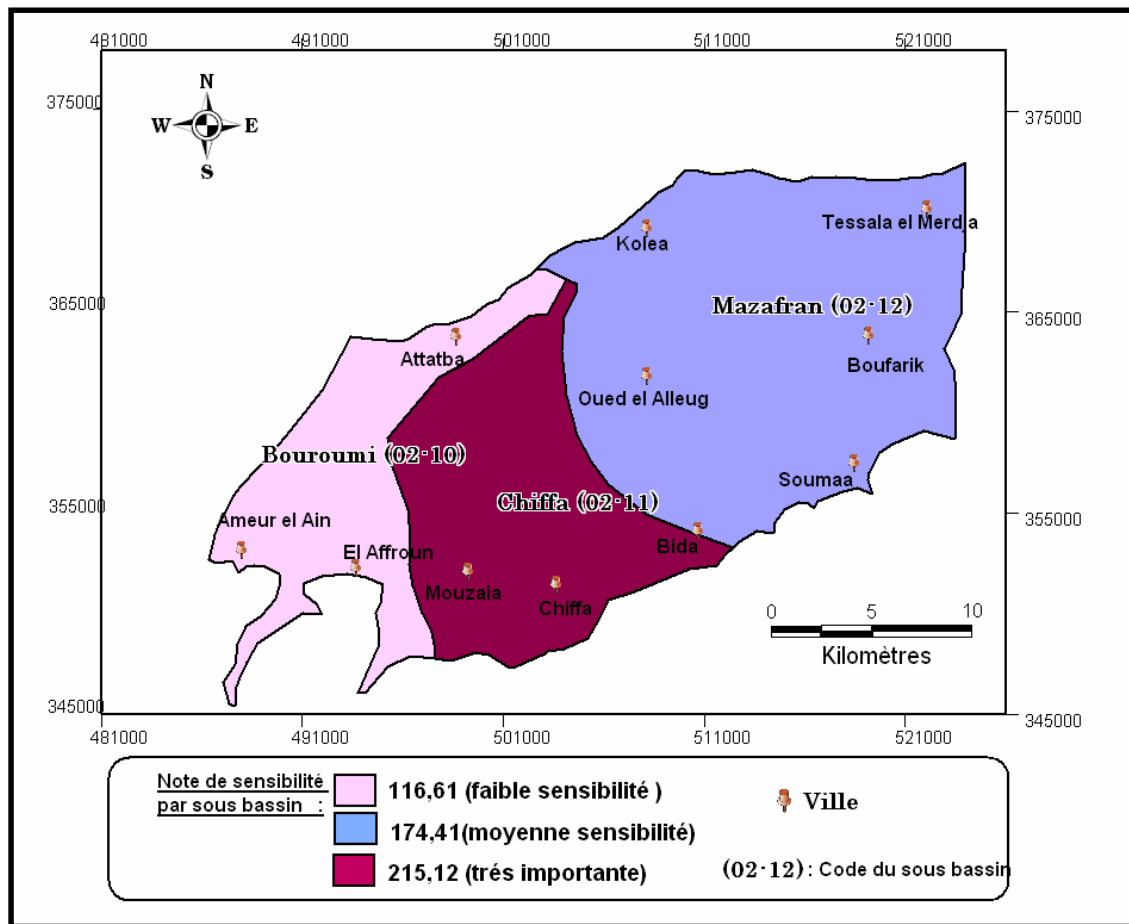


Figure N°84 : Carte de sensibilité des eaux souterraines de la Mitidja Centre et Ouest aux produits phytosanitaires toute période.

II. 3 .Synthèse eaux superficielles / eaux souterraines

Il est très complexe de calculer des notes de sensibilité eaux superficielles et eaux souterraines confondues.

La classification des bassins versants des plus sensibles aux moins sensibles est reprise dans les **tableaux N°21 et N°22** suivants (il y a deux tableaux différents selon que l'on considère le classement des bassins d'étude par rapport à leur sensibilité aux eaux superficielles, ou aux eaux souterraines).

La définition des 4 classes de sensibilité est basée sur un traitement statistique par quartiles des notes de sensibilité (**Annexes N°29**) :

- 1er quartile : sensibilité faible
- 2ème quartile : sensibilité moyenne
- 3ème quartile : sensibilité importante
- 4ème quartile : sensibilité très importante

Tableau N°67 : Classification des bassins d'étude du plus sensible au moins sensible selon leur sensibilité aux eaux souterraines.

N°, nom et code des sous bassins d'étude	Sensibilité aux EAUX SOUTERRAINES	Sensibilité aux EAUX SUPERFICIELLES
SBV n°3 : Bouroumi (02-10)	Très importante	faible
SBV n°1 : Mazafran (02-12)	faible	importante
SBV n°2: Chiffa (02-11)	faible	Très importante

Tableau N°68 : Classification des bassins d'étude du plus sensible au moins sensible selon leur sensibilité aux eaux superficielles.

N°, nom et code des sous bassins d'étude	Sensibilité aux EAUX SUPERFICIELLES	Sensibilité aux EAUX SOUTERRAINES
SBV n°2 : Chiffa (02-11)	Très importante	faible
SBV n°1 : Mazafran (02-12)	importante	faible
SBV n°3 : Bouroumi (02-10)	faible	Très importante

Conclusion

La mise en oeuvre concrète de la démarche adoptée a permis d'aboutir à une cartographie en classes de vulnérabilité et de sensibilité des bassins versants Mitidjien vis-à-vis des risques phytosanitaires. Elle a été conduite en mobilisant les sources d'information disponibles et a permis de mettre en évidence les hétérogénéités, voire les lacunes actuelles dans la description de certains paramètres nécessaires au diagnostic. Nous avons alors fait appel à l'étude détaillée de travaux existants (étude géophysiques, hydrogéologiques, MFE, mémoires de magistères, thèses etc...). Il en résulte une caractérisation des bassins versants qui pourra être précisée et améliorée dans le futur, au fur et à mesure de la disponibilité de nouvelles informations, en particulier dans le domaine des sols et de l'hydrogéologie.

Notre travail s'est par ailleurs arrêté à la première étape du diagnostic régional, à savoir l'analyse de la vulnérabilité des bassins versants. Les cartes présentées permettent une première identification des territoires sensibles à l'échelle de la région et pourront servir de documents d'appui pour orienter la mise en place ou la poursuite d'actions spécifiques au niveau local.

Conclusion générale

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 qui est caractérisé par une température moyenne de l'ordre de 18,45 ° C avec des précipitations moyennes annuelles de 569.82 mm dont 83 % s'évapore, 4% s'infiltrent et 13% s'écoulent.

La plaine de la Mitidja est un bassin de subsidence continue renfermant le remplissage Plio-quadernaire, ainsi que des roches plus anciennes sur les bordures.

Les différentes prospections géophysiques réalisées au niveau de la plaine indiquent un important remplissage d'alluvions grossières d'environ 140 m d'épaisseur qui forment la nappe libre de la Mitidja, avec une résistivité de 80 à 140 Ohm m, séparées par une mince couche d'argiles plastiques (formation d'El Harrach) de l'aquifère Astien, ce dernier reposant lui-même sur un substratum marneux correspondant au bassin post-plaisancien.

L'historique de la piézométrie 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. Cette situation est due à une surexploitation, des eaux de l'aquifère alluvial, induite par la sécheresse qui perdure depuis plus d'une décennie.

Du point de vue hydrodynamique, les alluvions de la Mitidja Centre et Ouest ont de bonnes transmissivités, cela aux endroits des chenaux encaissés, localisés au niveau du Mazafran.

Les résultats des analyses hydrochimiques reflètent les caractéristiques chimiques des eaux souterraines de la Mitidja Centre et Ouest ; un faciès bicarbonaté calcique prédominant sur l'ensemble de la plaine, une eau dure à très dure et une potabilité bonne à passable.

Cependant, l'existence de nombreux facteurs anthropiques peut modifier la minéralisation des eaux souterraines, à savoir : la vocation agricole de la plaine de la Mitidja, la présence de plusieurs pôles urbains importants (Blida, Boufarik,.....) et l'implantation de nombreuses zones industrielles (Birtouta, Boufarik, Béni Mered...) sont autant d'éléments qui favorisent le risque de pollution des eaux de la nappe et influencent directement leurs caractéristiques chimiques.

Face aux risques entraînant la détérioration de la qualité des eaux souterraines, déjà en quantité limitée, il est impératif 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 fait l'objet de la troisième partie du présent mémoire.

Dans la première partie, après avoir défini les différents mécanismes de contamination des eaux par différentes pollutions, une synthèse des différentes méthodes d'approche de la vulnérabilité connues dans le monde s'est avérée nécessaire.

De ce fait, notre choix s'est porté sur les méthodes les plus utilisées, à savoir DRASTIC et DRIST et enfin une nouvelle méthode expérimentée en Alsace (France) par le GREPAL.

La cartographie ne peut donner de bons résultats sans une étude hydrogéologique approfondie de la nappe alluviale, qui a fait l'objet de la deuxième partie et dont les principaux résultats sont résumés dans la présentation de la région d'étude ci-dessus. Ce qui nous a permis la mise en place d'une base de données actualisée.

La troisième partie de notre étude a porté sur l'évaluation de cette vulnérabilité par les trois méthodes citées ci-dessus. L'application de ces dernières à l'aquifère de la Mitidja Centre et Ouest a mis en exergue la fragilité de l'aquifère quadernaire, ainsi que le haut risque

de contamination encourut par les eaux du bassin Mitidjiéen, et particulièrement les eaux superficielles.

En premier lieu, on donnera les résultats de la méthode DRASTIC basée sur la superposition de 7 cartes thématiques et l'identification des unités hydrogéologiques dont chacune est caractérisée par un indice de vulnérabilité.

Nous avons ainsi défini trois unités hydrogéologiques, à savoir :

- Une unité **2A** caractérisée par un indice DRASTIC variant entre 145 et 150, rencontrée au niveau de Oued El Alleug, Boufarik et Blida, ces zones sont effectivement marquées par une pollution due à l'implantation de sites industriels.
- Une unité **2B** caractérisée par un indice DRASTIC variant entre 114 et 145, qui couvre presque la totalité de la plaine.
- L'unité **2C** localisée dans la cluse du Mazafran et à l'Ouest de Attatba, caractérisée par un indice DRASTIC variant entre 104 et 113.

La carte de vulnérabilité des eaux souterraines de la zone d'étude obtenue par la méthode DRIST (version améliorée de la méthode DRASTIC) montre beaucoup de similitudes avec la méthode DRASTIC. En effet, les mêmes degrés de vulnérabilités trouvées dans la première méthode sont appréciés dans la deuxième au niveau des mêmes secteurs.

Cette nouvelle méthode a été renforcée par une étude de la sensibilité de la nappe à la contamination effective. Les résultats de la carte de sensibilité obtenue par la méthode DRIST indiquent la présence de quatre degrés de sensibilité répartie sur la région d'étude, avec un indice de sensibilité variant entre 20 et 110.

La carte de vulnérabilité-sensibilité obtenue, montre que 10% de la zone d'étude est caractérisée par une vulnérabilité élevée avec un indice IVS allant 190 à 240 et que les 90% restants représentent une vulnérabilité moyenne avec un indice de vulnérabilité-sensibilité variant entre 140 et 190.

En dernier lieu, nous avons adopté la nouvelle méthodologie de l'APRONA, 2003, GREEPAL, il s'agit de la classification des bassins versants Mitidjiéen selon leurs sensibilités aux produits phytosanitaires.

La mise en oeuvre 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 2 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 où la vulnérabilité est plus forte en période estivale, par contre ces mêmes résultats montrent que les eaux de surface sont plus menacées que les eaux souterraines.

Cette méthode est très différente de tout autre méthode utilisée jusqu'à présent, car elle prend en considération les périodes climatiques, les voies d'écoulement préférentielles des deux ressources d'eaux en plus des caractéristiques relatifs aux sols (battance, hydromorphie, filtrance, pente) et bien d'autres paramètres indiquant l'état du sol et du sous sol.

Cependant, afin d'obtenir un zonage opérationnel, nous avons procédé à la caractérisation de la sensibilité de ces ressources c'est-à-dire leurs *fragilité effective*.

C'est au niveau de la caractérisation de la sensibilité que l'on intègre la notion de dilution potentielle de la ressource par les eaux superficielles et souterraines.

Après un traitement statistique par quartiles des notes de sensibilité, nous avons conclu que les eaux de surface sont beaucoup plus sensible que les eaux souterraines, cette sensibilité relative diminue nettement en période pluvieuse, et cela par rapport à la dilution qui est favorisée par l'augmentation du taux de recharge de la nappe.

De tels travaux n'auraient pas pu être réalisés sans l'utilisation d'un logiciel (Map info 7.5) SIG (Système d'Information Géographique), dans lequel nous avons introduit notre base de données qui a nécessité une collecte importante de données ayant trait à l'hydrogéologie, à la géologie, à la morphologie et à la pédologie du milieu naturel. Ce qui nous a permis l'élaboration de nombreux documents cartographiques (cartes de vulnérabilité à la pollution et les cartes de sensibilité), outils performants et efficaces d'aide à la prise de décision par les gestionnaires des ressources en eau souterraines dans la Mitidja Centre et Ouest.

Recommandations :

- Application des deux méthodes DRASTIC et DRIST 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 se basant sur les systèmes d'Information Géographique (SIG) ;
- Procéder à la hiérarchisation des Bassins versant de toute la Mitidja et ensuite passer au plan national afin de procurer aux utilisateurs potentiels un moyen efficace d'aide à la prise de décision par les gestionnaires des ressources hydriques et de l'aménagement du territoire.
- 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.
- Le recensement de toutes les unités polluantes existantes dans la plaine afin d'apprécier l'impact des rejets sur la qualité chimique des eaux souterraines.
- Le suivi et le contrôle de l'épandage des pesticides et des fertilisants dans la plaine des zones les plus vulnérables et le respect des normes d'utilisation des engrais.
- La mise en place d'un plan d'évacuation des eaux usées d'origine industrielle et urbaine.
- Éviter toute activité polluante dans les secteurs vulnérables et le suivi 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).
- Toutes ces études ne serviraient à rien sans l'existence d'une banque de données correcte et complète, et surtout facilement accessible à toute personne menant un travail de recherche.

Bibliographie :

- 1. Ait Ouali, Adk.2007 :** Synthèse hydrogéologique et vulnérabilité à la pollution du système aquifère quaternaire de la Mitidja. mémoire de magistère, IST_USTHB.Alger
- 2. Abdelbaki.C, et Boukli Hacène.F, 2007:** Etude du phénomène de dégradation des eaux souterraines du groupement urbain de Tlemcen. Université de Tlemcen. *Revue des Energies Renouvelables Vol. 10 N°2 (2007) 257 – 263.*
- 3. 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.
- 4. Arbaoui.M.A ,2005 :** Etude du transfert du soluté dans un milieu poreux (cas des sels et métaux lourds). Mémoire d'ingénieur d'état .ENSH. Blida.
- 5. Ayad.A, et Mesrati.T, Septembre2002 :** Expérimentation de la technique de recharge artificielle en zone pilote (nappe de la Mitidja).ANRH
- 6. 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.
- 7. 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,
- 8. 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.
- 9. Bouchard J.P, et Lencioni P., 1983 :** Simulation du transport de polluant dans les nappes par un modèle à faible diffusion numérique, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, 34060 Montpellier, France. IAHS Publ. no. 146.
- 10. Bouziane Rahmani .Adk, 2006 :** Vulnérabilité à la pollution de la nappe alluviale du haut Chélif, application de la méthode DRASTIC assisté par le SIG. Mémoire d'ingénieur d'état. ENSH .Blida
- 11. Brissaud.F, 1983 :** Transport de polluant et effets d'échelle, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, 34060 Montpellier, France. IAHS Publ. no. 146.
- 12. Chetibi-Guenounou.I, Décembre2007 :** Défi alimentaire et irrigation (cas du périmètre de la Mitidja Ouest).Mémoire de magistère, USTHB. Alger
- 13. Djoudar-Hallal, D., 2003 :** Vulnérabilité et protection des nappes aquifères en région côtière. Application aux alluvions de Mitidja Orientale. Mémoire Magistère, IST_USTHB .ALGER.
- 14. Ecrement.Y., Seghir.B ,1971 :** Etude agropédologique de la plaine de la Mitidja. Rapport ANRH. Alger.
- 15. Gilbert Castany :** Hydrogéologie principes et méthodes (2^{ème} cycle) 1982.
- 16. GREPPAL /APRONA, ARAA (2002/2003) :** Classification des bassins versants alsaciens en fonction de leur sensibilité aux produits phytosanitaires.
- 17. Hentati.I, Zairi.M, Ben Dhia.H :** Utilisation des SIG pour l'évaluation de la vulnérabilité environnementale des aquifères phréatiques : Cas de la nappe de Sfax-Agareb (Sud-Est tunisien). Publication .Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sfax.

- 18. Moussaoui.H, 2008** : Evolution des pollutions azotées dans la région de Sidi Rached W. de Tipaza. Mémoire d'ingénieur d'état .ENSH. Blida.
- 19. Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'environnement** : Aménager l'Algérie de 2020.
- 20. Murat.V, Paradis. D, Savard.M.M, Nastev.M, 2003** : Vulnérabilité à la nappe des aquifères fracturée du Sud-Ouest du Québec (évaluation par la méthode DRASTIC et GOD).Commission géologique du Canada.
- 21. PNE 2005** : Plan National de l'Eau,
- 22. Raissi.O** : Cartographie des sols et pédogenèse de la plaine de Mitidja (centre Algérien).Poster .ANRH .Blida.
- 23. Sidi Moussa, M et Bedroune, M**: Rapport sur cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution (objectifs, mode d'emploi et évaluation de la méthode DRASTIC). ANRH. Alger.
- 24. Sinan.M, Maslouhi .R et Razack .M, Décembre 2003**: Utilisation des SIG pour la caractérisation de la vulnérabilité et de la sensibilité à la pollution des nappes d'eau souterraine. Application à la nappe du Haouz de Marrakech, Maroc. TS11 Management of Water Resources. Morocco.
- 25. SOGREAH, Décembre 2007** : Modélisation du système aquifère de la Mitidja (note sur la construction du modèle).
- 26. Tlili, A.2007** : Vulnérabilité à la pollution de la nappe de la plaine de la Mitidja Centre et Ouest, application de la méthode DRASTIC assisté par le SIG. Mémoire d'ingénieur d'état. ENSH .Blida
- 27. Touileb, M., 1997** : Utilisation de la méthode DRASTIC et des SIG pour l'évaluation et la cartographie de la vulnérabilité des nappes souterraines à la pollution. Cas de la Mitidja Est. Mémoire de magistère ENSH, Blida.

Annexe N° 1 :

TABLE DRASTIC.

Table 1 : Paramètre DRASTIC		
POIDS		
Paramètres	Poids (général)	Poids (Pesticides)
D. Profondeur de la nappe	5	3
R. Recharge annuelle	4	4
A. Milieu aquifère	3	3
S. Type de sol	2	5
T. Topographie	1	3
I. Impact de la zone non saturée	5	4
C. Conductivité hydraulique	3	2

Table 2 : Profondeur de la nappe	
PROFONDEUR DE LA NAPPE (m)	
INTERVALLE	COTE
0 - 1,5	10
1,5 - 4,5	9
4,5 - 9	7
9 - 15	5
15 - 23	3
23 - 31	2
31 +	1
Poids : 5	Poids pour Pesticides : 5

Table 3 : Recharge Nette	
RECHARGE NETTE (cm)	
INTERVALLE	COTE
0 - 5	1
5 - 10	3
10 - 18	6
18 - 25	8
25 +	9
Poids : 4	Poids pour Pesticides : 4

Table 4 : Milieu Aquifère.		
MILIEU AQUIFERE		
Nature du milieu aquifère	COTE	Cote type
Schiste massif	1 - 3	2
Roches métamorphiques/ignées	2 - 5	3
Roches métamorphiques/ignées altérées	3 - 5	4
Lits de grès, calcaire et argile schisteuse	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
Poids : 3	Poids pour Pesticides : 3	

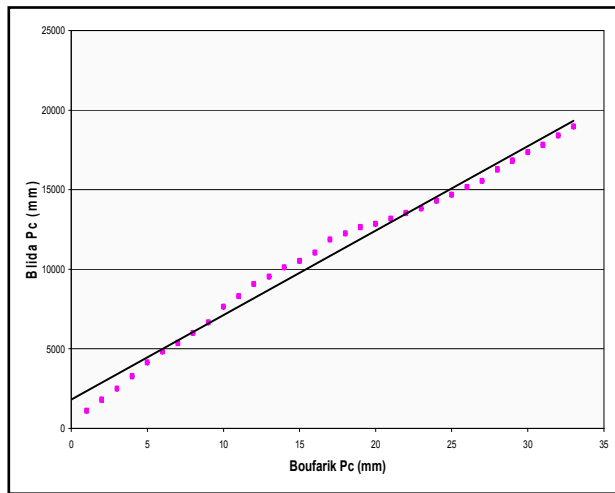
Table 5 : Type de Sol	
TYPE DE SOL	
NATURE DU SOL	COTE
Sol mince	10
Gravier	10
Sable	9
Argile fissurée	7
Terre grasse sableuse	6
Terre grasse	5
Terre limoneuse	4
Terre argileuse	3
Argile non fissurée	1
Poids : 2	Poids pour Pesticides : 5

Table 6 : Topographie	
TOPOGRAPHIE (%)	
INTERVALLE	COTE
0 - 2	10
2 - 6	9
6 - 12	5
12 - 18	3
18 +	1
Poids : 1	Poids pour Pesticides : 3

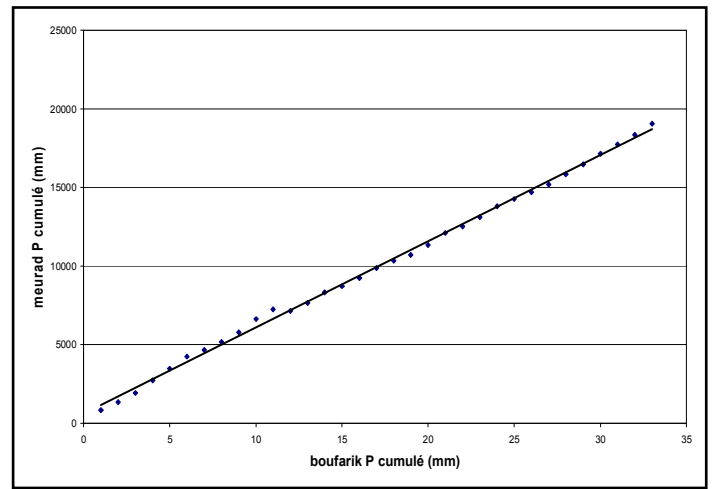
Table 7 : Zone non Saturée		
IMPACT DE LA ZONE NON-SATUREE		
Nature de la zone non saturée	COTE	Cote type
Limon / Argile	1 - 2	1
Argile schisteuse	2 - 5	3
Calcaire	2 - 7	6
Grès	4 - 8	6
Lits de grès, calcaire et argile schisteuse	4 - 8	6
Sable et gravier avec limon et argile	4 - 8	6
Roches métamorphiques/ignées	2 - 8	4
Sable et gravier	6 - 9	8
Basalte	2 - 10	9
Calcaire karstique	8 - 10	10
Poids : 5	Poids pour Pesticides : 4	

Table 8 : Conductivité Hydraulique	
CONDUCTIVITE HYDRAULIQUE	
RANG	COTE
INTERVALLE (m/s)	
$4,72.10^{-7} - 4,72.10^{-5}$	1
$4,72.10^{-5} - 1,416.10^{-4}$	2
$1,416.10^{-4} - 3,304.10^{-4}$	4
$3,304.10^{-4} - 4,720.10^{-4}$	6
$4,720.10^{-4} - 9,44.10^{-4}$	8
$>9,44.10^{-4}$	10

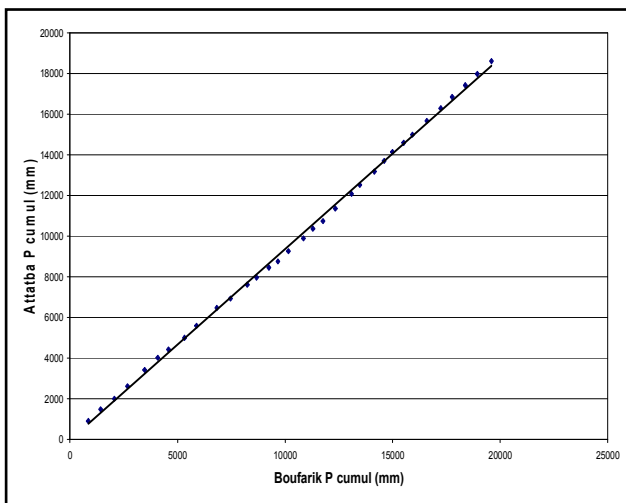
Annexe N°2 : Résultats de la corrélation des doubles masses.



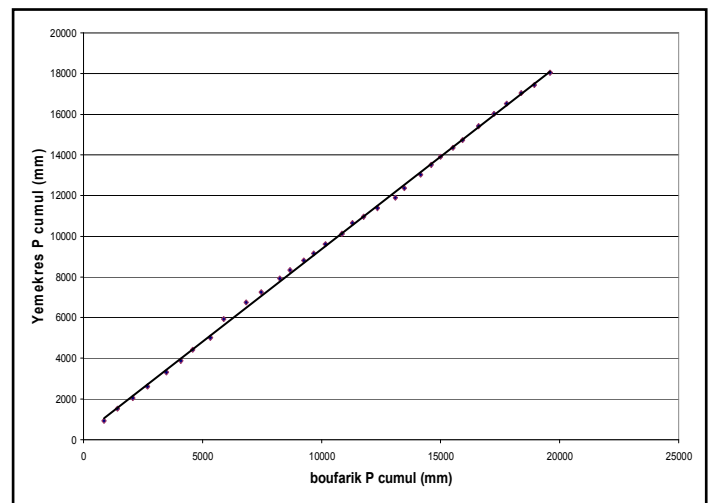
Blida



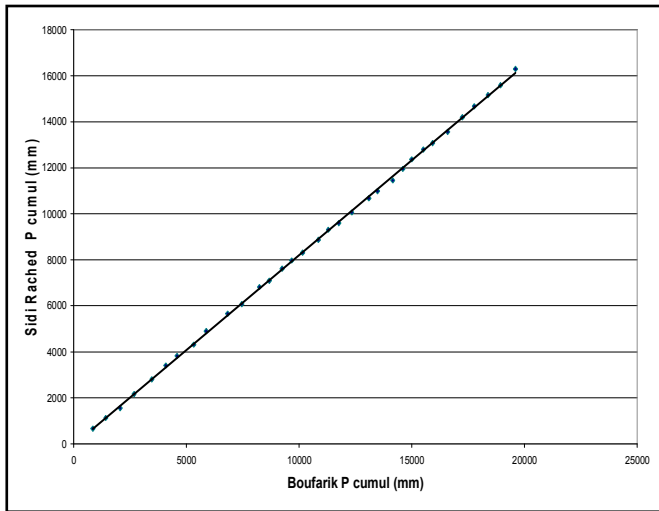
Meurad _ Barrage



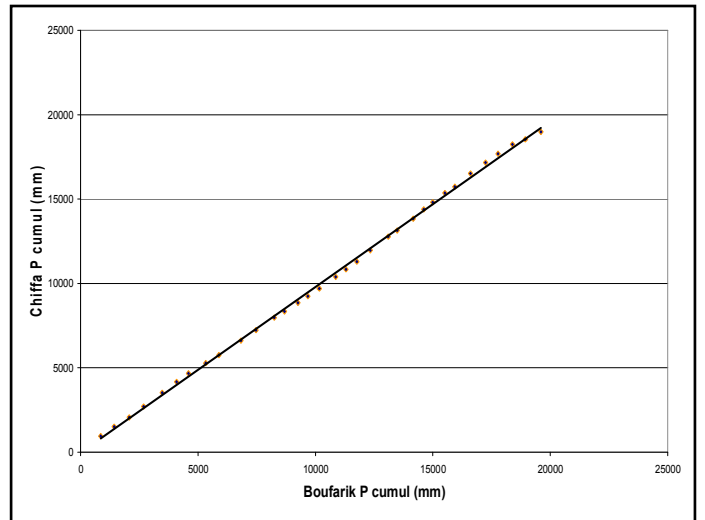
Attatba



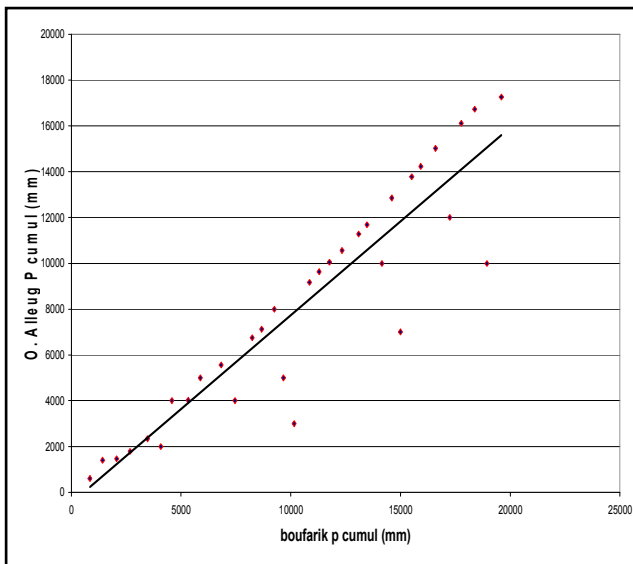
Yemekrez



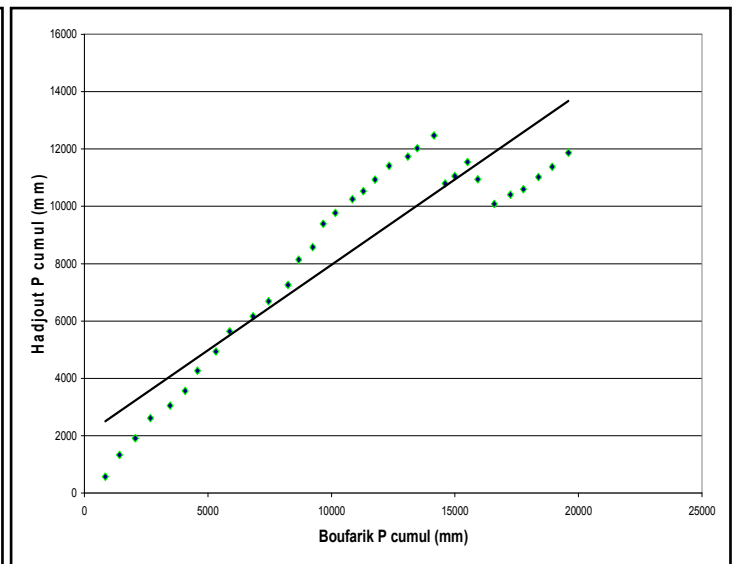
Sidi Rached



Chiffa



Oued El Alleug



Hadjout

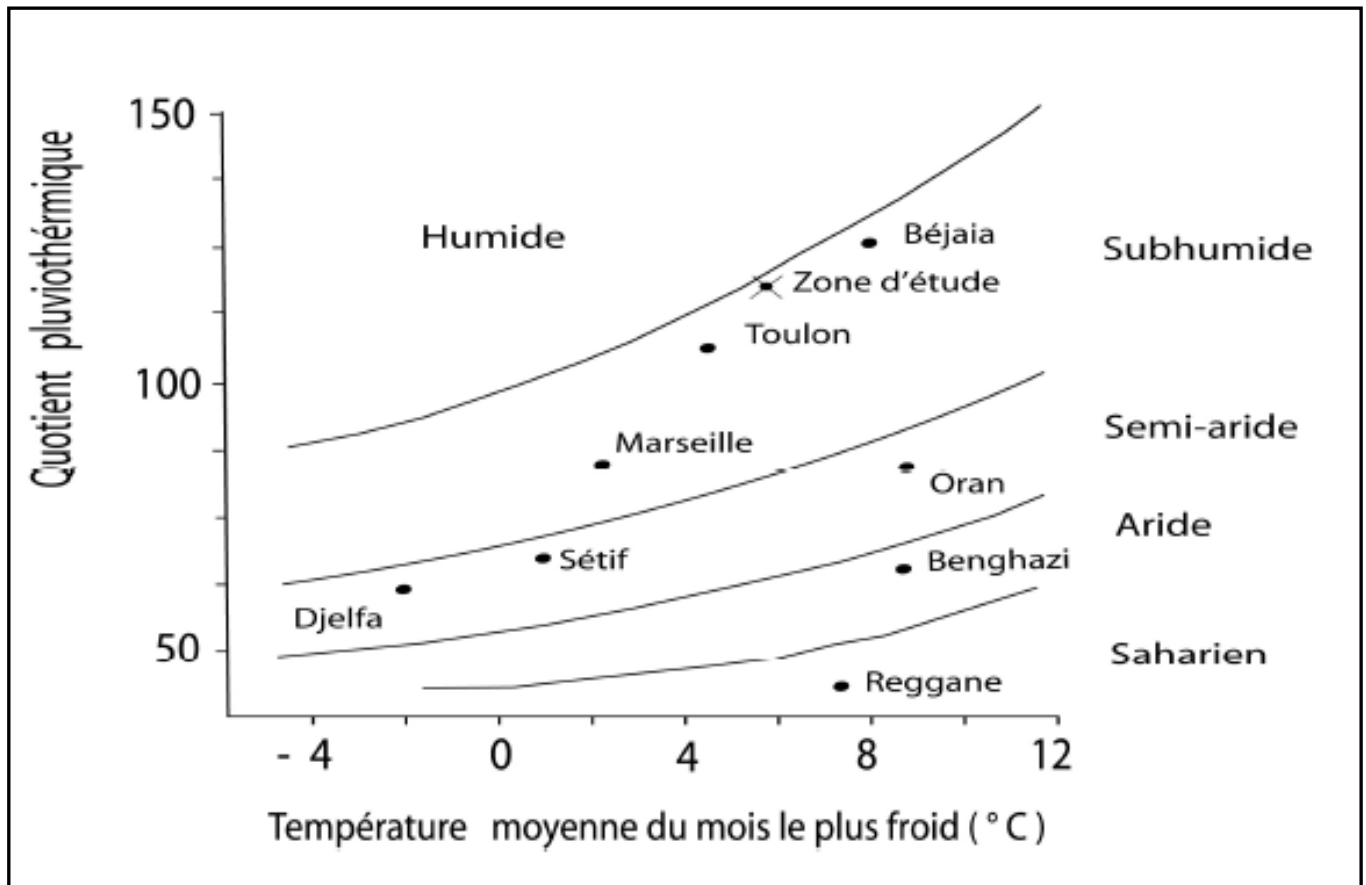
Annexe N°3 : Précipitation moyenne annuelles (mm) :

années	O, Alleug	Sidi Rached	Chiff a	Hadjou t	Yemekre z	Attatb a	Mered - b	Blid a	Boufari k
1975	802,9	662,2	956,8	699,3	927,3	897,2	840,8	1106	846,5
1976	506,2	462,6	550,3	441,6	591,8	578,2	506,1	702, 7	574,5
1977	453,4	433,8	560	523	534,1	523,8	590,7	688, 4	647,1
1978	606,6	607	641,6	702,5	559,3	619,3	792,9	768	611,3
1979	703,6	633,5	817,2	670,8	693,4	790,9	748,1	865, 2	787,7
1980	544,3	610,2	641,9	702,3	576	614	772,9	694, 2	617,8
1981	515,8	416	495,9	527,6	531	395,4	421,5	544, 1	498,6
1982	616,7	492,1	612,4	517,5	600	574,5	492,5	616, 5	745,4
1983	609,6	581,1	478,8	574,3	911,5	601,9	609,6	683, 9	556,8
1984	929	755,3	863,1	907	817,7	873,8	860,6	975, 3	938,4
1985	544,9	419,7	609,4	430,8	509,9	463,1	600,5	663, 2	640,1
1986	643,4	747,1	738,3	814,9	671,3	679,2	910,5	762, 7	783,9
1987	380,1	269,8	367,6	382,9	403,1	351,8	516,4	455, 8	422,2
1988	494,3	519,9	525,5	486,3	478,8	482,5	663,9	591, 4	579,2
1989	375,5	358,2	388,9	286,6	345,8	317,4	393,6	393, 8	416,9
1990	537,1	346,9	438,2	395,2	450,3	502	520,5	538, 5	491,9
1991	639,9	551,5	695,7	490	525,9	620,4	622,4	809, 3	695,4
1992	457,9	442,2	459,6	439,4	525,3	475,4	464,6	395, 9	443,9
1993	413,7	285,1	439,7	319,7	309,9	378	373,1	377, 8	469
1994	521,4	470,7	681,6	463,3	421,3	621,9	643,9	219, 9	568,7
1995	720,7	605,9	797,7	457,9	513,9	720,5	755,4	322, 4	756,6
1996	389,8	319,6	378,4	289,8	461,9	435,8	415,7	345, 7	386,1
1997	669,9	458,5	695,4	496,1	667,4	663,2	604,1	298, 4	675,9
1998	503,7	498,4	551,3	410,9	480	524,4	695,8	476, 4	453,7
1999	431,5	420,9	421,8	180,2	402,1	439,3	439,5	389	384,7
2000	503,2	428,8	556,3	329,8	431	445,9	447,7	485, 7	523,5

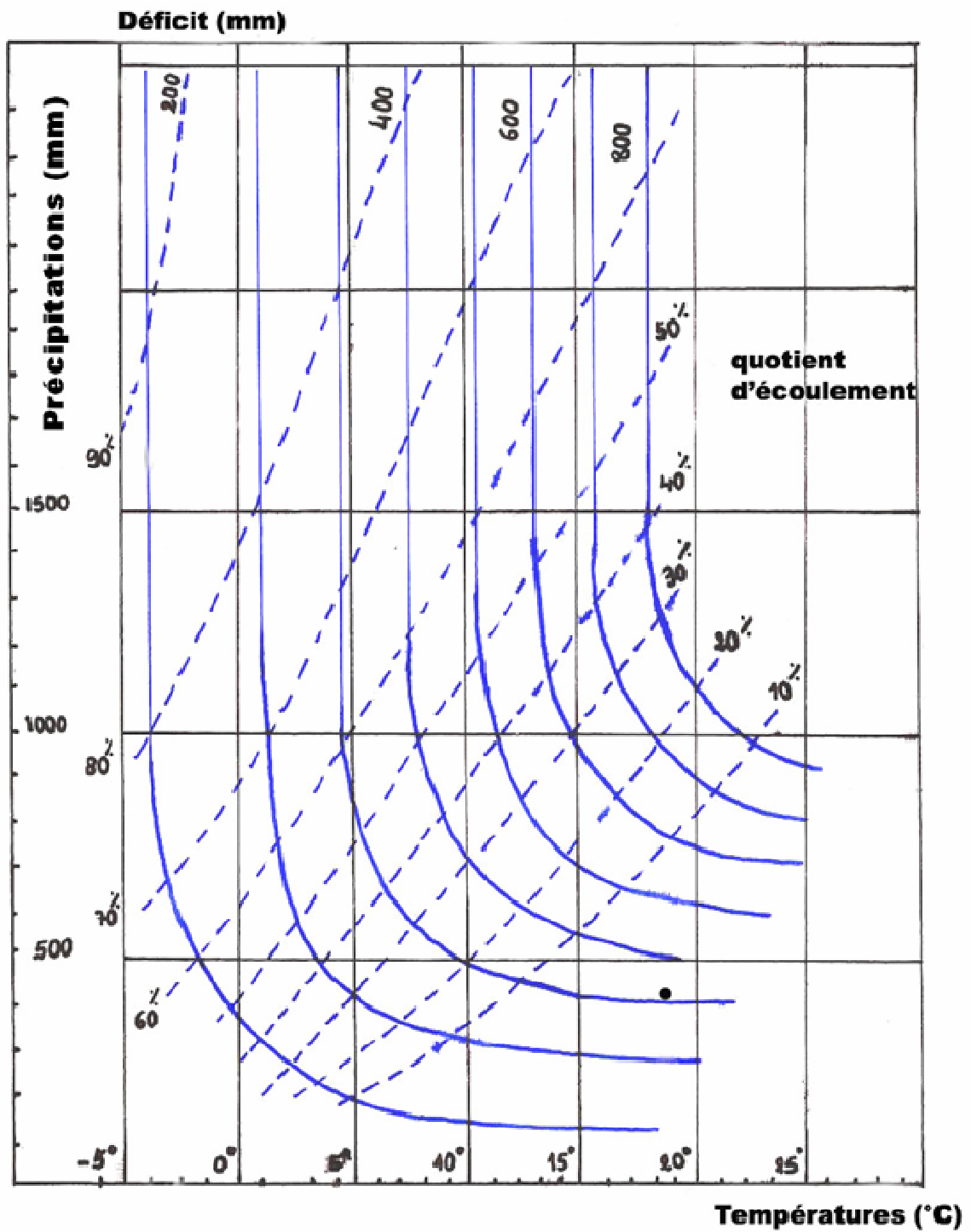
Annexe N°3

2001	450,9	272,3	365,5	184,5	389,4	396,9	474,1	376, 8	410,1
2002	781	487,6	793,6	424,3	685,7	690,1	660,1	709	664,5
2003	613,7	645,9	640,3	404,3	606,3	619,5	634,8	567	655,6
2004	479,3	468,6	517	491,3	498	543,7	671	535	523,4
2005	621,3	492,2	551,5	417,2	516,8	589,5	603,1	449, 4	616,6
2006	529,3	429,5	303,7	425,4	404,4	548,4	593	597, 4	552,3
2007	654,6	697,7	448,5	472,4	600,6	630,9	717	551, 3	654,6

Annexe N°4 : Les différentes classes du climat méditerranéen.
« Climatogramme d'Emberger »



Annexe N°5 : Abaque de Wundt modifié par Countagne



**Annexe N°6 : Campagne piézométrique de la nappe alluviale de la Mitidja
Centre et Ouest Avril 2008 _ Octobre 2008**

N° Carte / Point	Nature du Point	coordonnées LAMBERT			avr-08	oct-08
		X (km)	Y (km)	Z (m)	NS /RR en (m)	
W041-1761	forage	505,900	368,420	31,205	39,40	37,50
W041-1765	forage	510,000	362,600	50,830		49,70
W041-1766	forage	512,500	363,550	74,720	46,70	46,10
W041-1768	forage	502,750	360,850	41,840	30,00	53,10
W041/PZ 23-MZ I	piézomètre	509,750	368,750	16,947	49,30	53,40
W041/PZ 24-MZ I	piézomètre	511,150	368,300	15,749	43,40	44,50
W041/PZ 18-MZ II	piézomètre	504,800	361,500	48,054	Fermé	
W041/PZ 6-BL I	piézomètre	511,850	361,900	71,673	59,30	68,60
W041/PZ 7-BL I	piézomètre	510,050	361,450	66,891	55,70	63,60
W041/PZ 8-BL I	piézomètre	512,050	360,200	97,499	68,35	72,10
W041/PZ1 O, alleug	piézomètre	507,250	365,800	21,308	47,30	53,50
W041/PZ3 Ben khelil	piézomètre	512,350	366,250	15,988	5,90	8,70
W041/PZ5 Boufarik	piézomètre	519,200	365,950	36,849	37,55	47,50
W041/PZ6 Tessala, M	piézomètre	519,500	369,500	35,467	45,40	49,50
W042-439	puits	545,950	368,500	65,030	5,45	11,13
W042-450	puits	550,650	370,750	78,480	4,70	5,48
W042-688	puits	553,650	374,620	48,880	8,12	9,42
W062-251	puits	488,600	352,230	133,380	1,36	3,70
W062-332	puits	496,120	352,200	100,000	12,00	16,40
W062-333	forage	493,720	353,500	86,950	44,40	45,60
W062-334	forage	493,250	359,700	59,420	45,30	
W062-335	forage	491,200	355,640	72,850	61,50	54,60
W063-245B	forage	503,600	353,800	84,840	27,80	47,00
W063-470	puits	500,470	354,670	80,160	32,30	50,10
W063-594	puits	503,950	352,600	93,210	19,50	24,50
W063-595	forage	503,750	358,120	56,190		61,10
W063-596	forage	507,200	357,150	102,919	66,60	69,70
W063/PZ 3-BL II	piézomètre	503,500	356,950	65,490	32,40	43,70
W063/PZ CHIFFA	piézomètre	505,700	351,300	112,809		27,10
W063/PZ 7Zaouia	piézomètre	509,500	358,600	126,743	87,10	90,00
W063/PZ 8 Guérouaou	piézomètre	516,400	357,800	153,749	52,10	57,70

**Annexe N°7 : Campagne hydrochimique de la nappe alluviale de la Mitidja
Centre et Ouest ,2008**

N° Labo	LNA(x)	LNA(y)	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
345	507250	365800	18	18	31	0	75	8	90	0,0	235
346	512350	366250	7	13	37	0	76	0	61	0,0	198
347	509500	358600	102	24	17	0	53	34	326	37,0	562
348	516400	357800	13	13	26	0	28	0	140	0,0	200
349	493450	358800	276	81	80	0	193	471	423	22,0	1 756
350	501480	365760	88	39	45	0	102	45	366	0,0	568
351	512500	363550	55	22	16	0	34	22	245	17,0	344
352	488600	352230	92	62	80	0	114	405	131	13,0	899
353	496120	352200	160	146	74	0	164	500	427	14,0	1 499
354	493720	353500	118	102	61	0	127	289	404	19,0	1 209
355	493250	359700	125	110	64	0	184	299	391	20,0	1 271
356	504500	349450	229	17	34	0	99	210	387	31,0	945
357	507200	357150	80	28	20	0	39	33	286	30,0	478
358	503500	356950	96	42	26	0	55	111	317	17,0	666
359	504150	355700	93	34	29	0	56	115	305	13,0	576
360	512050	360200	69	14	19	0	33	17	275	15,0	379
361	506000	364000	99	51	66	0	135	145	308	14,0	769
362	509750	368750	102	46	63	0	145	142	291	14,0	733
363	510050	361450	70	24	21	0	39	25	246	22,0	353
364	504400	356500	71	44	26	0	51	121	303	16,0	508
365	503950	352600	144	43	35	0	80	241	336	39,0	833
502	520150	363520	166	1	26	0	78	63	332	33,0	568
503	519500	369500	259	35	108	0	283	179	608	33,0	1 413
504	519200	365950	259	35	18	6	199	0		33,0	570
1132	520200	359000	87	18	68	2	83	45	262	66,0	590
1232	519500	369500	201	70	147	1	220	170	610	38,0	1 179
1316	503500	356950	90	30	60	2	55	121	276	11,5	575
1317	504150	355700	82	23	80	2	60	122	259	15,6	591
1318	504400	356500	83	26	50	2	55	123	250	11,9	575
1319	505200	365250	66	16	55	1	33	26	287	13,1	489
1320	509750	368750	94	20	95	1	112	105	250	9,5	619
1321	510050	361450	69	17	55	1	31	31	296	17,0	490
1322	505700	351300	98	30	70	1	59	112	329	13,6	607
1323	512350	366250	15	2	110	1	83	134	41	5,2	389
1324	493450	358800	151	86	145	2	250	400	431	10,3	1 258
1325	501480	365760	102	37	100	1	156	78	365	2,1	835
1326	512500	363550	61	17	40	3	30	30	244	20,1	413
1327	516400	357800	70	19	30	1	28	33	253	12,5	402
1328	488600	352230	192	85	120	2	255	296	493	117,5	1 509
1329	496120	352200	159	104	70	1	156	440	414	7,7	1 281
1330	493720	353500	181	87	130	2	257	271	484	92,6	1 437
1331	503950	352600	105	37	40	1	64	185	280	12,5	666
1332	491200	355640	140	57	127	2	167	274	340	66,8	1 088
1333	500470	354670	73	35	50	2	26	148	276	16,0	539
1334	504500	349450	149	20	120	1	98	230	374	48,2	894
1335	503750	358120	75	18	40	1	44	40	256	27,8	403
1336	507200	357150	73	23	37	2	38	32	281	73,9	486

Annexe 7

1337	509500	358600	100	25	42	1	50	30	343	136,1	619
F 53	509265	368511	160	18,2	35	0,97	49,2	93	241,6	0,02	418
F 24	505703	364836	118,6	22,8	74,3	1,2	86,26	106	292,8	0,02	607
F23	512456	369081	79,4	27	91,6	1,23	130,85	130	312,3	0,02	370
F 32	511455	369801	107,6	11,16	92,75	1,32	99,17	150	350,8	0,02	357
F23	512456	369081	107,6	27	91,6	1,23	130,85	130	312,3	0,02	370
F 12	513307	369493	80	34,08	312	4,91	444,1	49,9	373,32		
F 13	513631	369648	99,6	34,2	97,5	1,5	141,2	148,2	242,7	0,02	
F 21	512887	369237	130	5,4	105	1,48	126,2	101,9	247,6	0,02	
F 42 Bis	510203	369466	96,6	176,6	689	41,15	1074	611	658,8	0,02	
F 21 Bis	513199	369204	99,84	27,15	90	1	153,13	193,05	303,78	0,02	
F 20	509138	368156	105,37	16,13	20	0	45,87	55	236,68	0,02	
F 17	510942	370277	68,04	44,93	200	2	349,54	101,56	397,72	0,131	
F 19	511202	369767	84,33	34,56	65	1	133,74	157,11	66	0,034	
F 13	513631	369648	52,99	30,23	65	1	149,9	155,04	267,18	0,02	
F 33 Bis	503989	362672	193,7184	27,9	197,42	1,89	186,2	324,99	335,5		
F 17	510942	370277	82,34	39,168	780	8,6	970,44	33,743	578,28		2442
F 16	512762	368837	131,75	24,77	100	1,5	104,33	109,44	286,85	0,02	
F 51	509998	369332	116,2	34,88	135	1,2	245	129,76	304,97	0,02	
F 22 Bis	512339	369646	117,4	30,4	105	1,48	108,8	53,84	429,2	0,04	
F 18	510235	369988	107,92	35,7	689	1,2	379,1	120,4	554,2	0,042	
F 43	509998	369943	87,47	48,6	35	1,2	316	146,5	414,8	0,02	
F 41 bis	510816	369489	68,04	17,74	780	1,2	114,14	73,52	268,4	0,02	
F E6	505207	364026	59,96	30,03	66	0	61,63	61,16	212,28	14,2	769