

REPUBLIQUE ALGERIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université HAMMA LAKHDAR d'El-Oued

Faculté des sciences et technologie

Département des sciences et technologie

Filière d'hydraulique

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme Master en Hydraulique

Option : Conception et Diagnostic des système d'AEP et d'assainissement

THEME

**évaluation de la vulnérabilité à la pollution d'une nappe
en milieu humide et comparaison des méthodes appliquées
Cas de la nappe libre d'El Taref (Nord-est d'Algérie)**

Préparé par :

Douyemi Abdeldjabar

Khelaifa Salah

Soutenu le 03/06/2015 devant le juru composé du :

Mr. Mega Nabile Univ. El-Oued President

Mr. Khechana Salim Univ. El-Oued Examineur

Mlle. Zair Nadjat Univ. El-Oued Encadreur

Promotion : juin 2015

REMERCIEMENTS

Nous remercions infiniment Dieu tout puissant de nous avoir accordé la santé, le courage et les moyens pour suivre nos études et pour la réalisation de ce travail .

Nous tenons à remercier chaleureusement, notre promotrice M. Zaïr Nedjat qui a bien nous voulu encadrer durant ce mémoire de fin d'étude ,et qui a assuré la direction et l'orientation scientifique de ce travail. Nous lui exprimons nos vifs remerciements et notre sincère gratitude.

Aux membres de jury qui ont bien voulu examiné ce travail et de participer à son évaluation.

Nous remercions mes collègues et mes amis dans la Filière des hydraulique .

Nous remercions aussi les membres du département d'hydraulique, et mes sentiments de profonde gratitude vont à mes professeurs qui tout au long des années d'études m'ont transmit leur savoir sans réserve.

remercier a tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail je dis. "Merci".

Dédicace

Je dédie ce modeste travail ma chère mère,

à mon père qui m'ont toujours soutenu

et aidé à affronter les difficultés,

pour tous ce qui ont fait pour que je puisse les

honorer, et leur patience durant ma vie.

A mes très chers frères et à mes chères sœurs, à toute ma famille

A mes chers amis.

Douyemi Abdeldjabar

Khelaiifa Salah

المخلص

إن ضرورة الحفاظ على الموارد المخصصة للاستهلاك البشري تمثل أولوية خاصة سواء على الصعيد الوطني عبر التطبيق التدريجي للأحكام و التي تتعلق أكثر بحماية هذه الموارد ضد التلوث عن التسيير الكمي في إدارة هذه الموارد. للتلوث أسباب عديدة، سواء كانت طبيعية (جيولوجية) أو تحت تأثير الإنسان (ولا سيما الزراعة) ، ويكون لها اثر على نوعية المياه الطبيعية.

منطقة الدراسة معروفة كخزان هام للمياه و قادرة على تخزين مياه الأمطار في التربة. القوى العاملة في هذه المياه وكيفية التقدم الريفي المستأجر تليها الزراعة الحيوية التي هي النشاط الرئيسي في المنطقة و الذي يكون مصحوبا بطلب قوي على المياه لأغراض مختلفة. التقليل من الضعف البيئي لتلوث طبقات المياه الجوفية هو أداة فعالة للحد والسيطرة على مخاطر التدهور في نوعية هذه المياه.

كلتا الطريقتين (GOD و DRASTIC) المطبقتين هي أفضل الطرق لدراسة المشاكل الرئيسية للحساسية البيئية. يتم تطبيق هذه المنهجية على منسوب المياه الجوفية للمناطق الكنتانية لبوثلجة والطارف. خريطة حساسية التلوث التي أسسها GOD تبين ثلاث فئات من الحساسية : منخفضة جدا، منخفضة , ومتوسطة. وتبين طريقة DRASTIC ثلاث فئات من الحساسية : منخفضة , ومتوسطة , وعالية.

Abstract

The need to preserve resources for human consumption is a priority displayed both nationally and across the gradual application therefore have provisions that concern both protection against pollution that the quantitative management of resources.

Numerous causes of pollution, both natural (geological) or human (especially agriculture), have an impact on the quality of natural waters.

The study area is known as an important water reservoir capable of storing rainwater in the soil.

The strong operating these waters and the progression of rural tenant followed by the agricultural vitality which is the main activity in our study area and which is accompanied by the strong demand for water for various purposes.

The mapping of the environmental vulnerability of aquifers to pollution is as an effective tool to limit and control the risk of deterioration in the quality of these waters.

Both methods (DRASTIC and GOD) applied are the best way to study the main problems of vulnerability. This methodology is applied to the water table dune of Bouteldja and El Tarf. The vulnerability map drawn by GOD shows three vulnerability classes: very low, low, medium.

The DRASTIC method shows three classes of vulnerability low, medium and high.

Résumé

La nécessité de préserver les ressources destinées à la consommation humaine est une priorité affichée tant au niveau national qu'à l'échelle de la demande progressive donc avoir des dispositions qui concernent tant la lutte contre les pollutions que la gestion quantitative des ressources.

De très nombreuses causes de pollution, d'origine naturelle (géologique) ou humaine (agriculture surtout), ont un impact sur la qualité des eaux naturelles.

La région d'étude est connue comme un important réservoir d'eau souterraine capable de stocker l'eau de pluie en vue de la nature du sol.

La forte exploitation de ces eaux et la progression de locataire rurale suivie par la vitalité agricole qui est la principale activité dans notre zone d'étude et qui est accompagnée par la forte demande en eaux pour diverses utilisations.

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 deux méthodes (DRASTIC et GOD) appliquées représentent la meilleure façon pour étudier les principaux problèmes de la vulnérabilité . Cette méthodologie est appliquée à la nappe phréatique de massif dunaire de Bouteldja et El Tarf. La carte de vulnérabilité établie par GOD montre trois classes de vulnérabilité : très faible, faible, moyenne .

La méthode DRASTIC montre trois classes de vulnérabilité faible, moyenne et élevée .

Liste d'abréviation

DHW : Direction Hydraulique Wilaya.

SRTM : Shuttle Radar Topography Mission.

AEP : Alimentation eau potable.

ID : Indice Drastic.

ANRH : Agence Nationale des Ressource Hydrique.

ADE : Algérienne Des Eaux.

OMS : Organisme Mondial de Sante.

DRE : Direction Ressource Eau.

DB₅ : Demande Biologique en Oxygène sur 5 jours.

DCO : Demande Biochimique Oxygène.

ZNS : Zone Non Saturée

ICO : L'indice de Contamination Organique.

ICM : L'indice de Contamination Minérale.

RS : Réside Sec.

Liste de Tableau

N°	Titre	Page
Tableau 01	Les stations et leur période d'observation	14
Tableau 02	Les coordonnées géographiques	14
Tableau 03	Températures moyennes mensuelles en °C (1979/06).	14
Tableau 04	Températures moyennes annuelles en °C (1979/06).	15
Tableau 05	Moyennes mensuelles et moyenne annuelle de l'humidité relative de l'aire à la station des Salines en % (1975/2005)	16
Tableau 06	Moyennes mensuelles et moyenne annuelle de la vitesse des vents à la station des Salines en m/s (1975/2005).	16
Tableau 07	Précipitations moyennes mensuelles en mm (1979/2006).	17
Tableau 08	Précipitations moyennes annuelles en mm (1979/2006).	18
Tableau 09	Indice d'aridité annuelle (D'après la formule DE.MARTONNE).	18
Tableau 10	Coefficient pluviométrique des stations des Salines et de Ben M'hidi (1979/2006).	19
Tableau 11	Bilan hydrique selon la méthode de C.W.Thornthwaite pour la station des Salines (1976 - 2006).	22
Tableau 12	Bilan hydrique selon la méthode de C.W.Thornthwaite pour la station de Ben M'hidi (1976 - 2006).	23
Tableau 13	Débits exploitables des différentes nappes souterraines dans la région d'El Tarf (2008)	26
Tableau 14	Essai par paliers de débits au forage 565	50
Tableau 15	Qualité des eaux souterraines dans la région d'étude d'après (ADE, Annaba, Débièche 2002)	56
Tableau 16	Résumé des propriétés de chaque paramètre et son poids	58
Tableau 17	Principles sources d'informations utilisées	58
Tableau 18	Classification de la DBO5 d'après les normes de l'OMS	79
Tableau 19	Classification des Nitrates d'après les normes de l'OMS	79
Tableau 20	Classification des Nitrites D'après Les normes de L'OMS	80
Tableau 21	Classification du Plomb D'après Les normes de L'OMS	81
Tableau 22	Classification du Manganèse D'après Les normes de L'OMS	81
Tableau 23	Classification de l'Aluminium D'après Les normes de L'OMS	81
Tableau 24	Classification du Fer Total D'après Les normes de L'OMS	82
Tableau 25	Estimation du pourcentage de l'infiltration et le ruissellement	83

Liste de Figure

°N	Titre	Pag e
Fig. 01	Carte de situation géographique et limites administratives d'El Tarf	04
Fig. 02	Cartes géologiques représentant la région d'El Tarf	08
Fig. 03	Carte représentant les principaux ensembles morphologiques dans la wilaya d'El Tarf	09
Fig. 04	Histogramme Températures moyennes mensuelles en mm (1979/2006)	15
Fig. 05	Histogramme précipitation moyennes mensuelles en mm (1979/2006)	17
Fig. 06	Evolution des précipitations annuelles des deux stations durant la période d'observation (1979/2006).	20
Fig. 07	Diagramme pluvio – thermique de la station des Salines (79/06)	21
Fig. 08	Diagramme pluvio – thermique de la station de Ben M'hidi (79/06)	21
Fig. 09	Carte de situation géographique des nappes de Bouteldja, El Tarf et Bougous	27
Fig. 10	Carte de répartition géographique des 9 sondages d'eau effectués dans la nappe de la plaine d'El Tarf commune	29
Fig. 11	Bloc diagramme 1 : topographie de la plaine d'EL Tarf Bloc diagramme 2 : allure de la surface piézométrique de nappe d'El Tarf (X et Y : coordonnées Lambert Nord Algérie / Z : altitude en mètres)	31
Fig. 12	Carte piézométrique de la nappe alluviale d'El Tarf (Hautes eaux - Mai 2008)	33
Fig. 13	Carte piézométrique de la nappe alluviale d'El Tarf (Basses eaux - Octobre 2008)	33
Fig. 14	Coupe schématique Nord-ouest/Sud-est du système aquifère de la plaine d'El Tarf (tirée des résultats des études hydrogéologiques de la DHW d'El Tarf 1988/2008)	34
Fig. 15	Carte piézométrique de la nappe dunaire de Bouteldja (Hautes eaux - Mai 2002)	36
Fig. 16	Carte des conditions aux limites de la nappe libre du massif dunaire de Bouteldja	37
Fig. 17	Carte de la répartition des bassins versants dans le massif dunaire de Bouteldja	38
Fig. 18	Coupes hydrogéologiques dans le massif dunaire de Bouteldja (D'après les coupes des forages et la géophysique)	40
Fig. 19	Carte des conditions aux limites de la nappe libre du massif dunaire de Bouteldja	42
Fig. 20	Interprétation hydrogéologique (D'après B.Gaud, 1976).	43
Fig. 21	Carte de la répartition des forages dans le massif dunaire de Bouteldja	43
Fig. 22	Carte d'égale épaisseur de la couche saturée de la nappe libre du massif dunaire de Bouteldja.	44
Fig. 23	Carte de répartition des transmissivité en $10^{-3} m^2 / s$ de la nappe libre du massif dunaire de Bouteldja.	45

Fig. 24	Estimation de la perméabilité des sables dunaire de Bouteldja.	46
Fig. 25	Carte de répartition des perméabilités en 10^{-5} m/s de la nappe libre du massif dunaire de Bouteldja	47
Fig. 26	Carte du coefficient d'emménagement de la nappe du massif dunaire de Bouteldja.	47
Fig. 27	Log stratigraphique du forage 565 de Righia et sa localisation géographique.	49
Fig. 28	Graphique de la descente et de la remontée dans le forage F2 (Bordj Ali Bey).	50
Fig. 29	Graphique de remontée par palier de Débits enchaînés $s = f(\log t)$ dans le forage 565.	51
Fig. 30	Carte du paramètre "DEPTH" : profondeur de la nappe du massif dunaire	59
Fig. 31	Carte du paramètre "R" : Recharge de la nappe du massif dunaire	60
Fig. 32	Carte du paramètre "A" : Nature lithologique de l'aquifère du massif dunaire	61
Fig. 33	Carte du paramètre "S" : Nature lithologique de sol du massif dunaire	61
Fig. 34	Carte du paramètre "T" pente du massif dunaire	62
Fig. 35	Carte du paramètre "I" impact de la zone non saturée du massif dunaire	63
Fig. 36	Carte du paramètre "C" Conductivité hydraulique du massif dunaire	63
Fig. 37	Carte vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines du massif dunaire de Bouteldja D'après la méthode DRASTIC	65
Fig. 38	Répartition des degrés de vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines du Massif dunaire de Bouteldja selon DRASTIC	65
Fig. 39	Carte du paramètre "D" Profondeur de la Nappe	66
Fig. 40	Carte du paramètre "R" Recharge	66
Fig. 41	Carte du paramètre "A" : Nature lithologique de l'aquifère	67
Fig. 42	Carte du paramètre "S" : Nature lithologique de sol	68
Fig. 43	Carte du paramètre "T" pente	68
Fig. 44	Carte du paramètre "I" impacte de la zone non saturée	69
Fig. 45	Carte du paramètre "C" Conductivité hydraulique	70
Fig. 46	Carte de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la plaine d'El-Tarf par l'application de la méthode DRASTIC	71
Fig. 47	Répartition des degrés de vulnérabilité à la pollution des eaux de la plaine d'El -Tarf selon DRASTIC	71
Fig. 48	Carte du paramètre "G" type d'aquifère du massif dunaire	73
Fig. 49	Carte du paramètre "O" nature lithologique de la ZNS	73
Fig. 50	Carte du paramètre "D" profondeur de la nappe	74
Fig. 51	Carte de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines du massif dunaire par l'application de la méthode de GOD.	75
Fig. 52	Répartition du degré de vulnérabilité à la pollution du Massif Dunaire de Bouteldja selon GOD	75
Fig. 53	Carte du paramètre "G" type d'aquifère	76
Fig. 54	Carte du paramètre "O" nature lithologique de la ZNS	76
Fig. 55	Carte du paramètre "D" profondeur de la nappe	77
Fig. 56	Carte de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la nappe de la plaine d'El-Tarf selon la méthode de GOD.	78
Fig. 57	Répartition du degré de vulnérabilité à la pollution de la nappe d'El-Tarf selon GOD	78

Sommaire

Titre	Page
Remerciements	i
Dédécasse	ii
Résumé	x
Liste d'abréviation	x
Liste des tableaux	vii
Liste des figures	viii
Sommaire	
Introduction général	1
Chapitre I	
Présentation de la région de l'étude	
I. INTRODUCTION	3
II. CARACTERISTIQUES NATURELLES DE LA REGION	5
II. 1. Caractéristiques géologiques et géomorphologiques	5
II. 1.1. Géologie	5
A- Le Secondaire	6
B- Le Tertiaire	6
❖ <u>Paléogène</u>	6
1. Paléocène	6
2. Eocène	6
3. Oligocène	7
❖ <u>Néogène</u>	7
C- Le Quaternaire	7
➤ <u>Quaternaire ancien</u>	7
➤ <u>Quaternaire moyen</u>	7
1. Pléistocène ancien	8
2. Pléistocène moyen	8
3. Pléistocène récent	8
➤ <u>Quaternaire récent</u>	8
➤ <u>Quaternaire actuel</u>	8
II.1.2. Géomorphologie	9
II.2. Sols couvert végétal, faune et flore	10
II.2.1. Sols et couvert végétal	10
II. 2.2. Faune et flore	11
III. CONCLUSION	12
Chapitre II	
Hydroclimatologique	
I. Les caractéristiques climatologiques	14
I.1. Introduction	14
II. Station de mesure	14
III. Facteurs climatiques	14
III.1. Températures	14
III.1.1. Températures moyennes mensuelles	14
III.1.2. Températures moyennes annuelles	15
III.2. L'humidité relative de l'aire: (Station des Salines)	16
III.3. La vitesse des vents: (Station des Salines)	16
III.4. Précipitations: (P)	16
III.4.1. Précipitations moyennes mensuelles: (PMM)	17
III.4.2. Précipitations moyennes annuelles: (PMA)	18
III.5. Caractéristiques climatiques d'aridité	18
III.6. Coefficient pluviométrique: (H)	19

IV. Courbe pluvio - thermique	20
IV.1.Type de climat	20
IV.2. Calcul du bilan hydrique selon la formule de C.W Thornthwaite	21
IV.3. Interprétation du bilan de Thornthwaite	22
V. Conclusion	24

Chapitre III hydrogéologique

I. INTRODUCTION	26
II. RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINES DANS LA WILAYA D'EL TARF	26
II. 1. NAPPE DES GRES DE BOUGOUS	28
II.2. NAPPE ALLUVIALE DE LA PLAINE D'EL TARF	28
II.3. NAPPE LIBRE DU MASSIF DUNAIRE DE BOUTELDJA	32
III. BREF APERÇU SUR LA PIEZOMETRIE	32
III.1. BREF APERÇU SUR LA PIEZOMETRIE DES NAPPES alluviale DE LA PLAINE D'EL TARF	33
III.2. BREF APERÇU SUR LA PIEZOMETRIE DE LA NAPPE DUNAIRE DE BOUTELDJA	35
IV. la nappe libre du massif dunaire	37
V. Interprétation des coupes hydrogéologiques	39
V.1. Coupe hydrogéologique (A)	39
V.2. Coupe hydrogéologique (B)	39
V.3. Coupe hydrogéologique (C)	41
V.4. Coupe hydrogéologique (D)	41
VI. Les conditions aux limites	41
VII. Caractéristiques hydrodynamiques	42
VII.1. Géométrie de l'aquifère	42
VII.2. La répartition des forages dans le massif dunaire de Bouteldja	43
VII.3. Interprétation des résultats des pompages d'essai	44
VII.4. Caractéristiques hydrodynamiques de la nappe libre	44
VII.4.1. Epaisseur saturée	44
VII.4.2. Transmissivité	45
VII.4.3. Perméabilités	45
VII.4.4. Coefficients d'emménagement	47
VII.5. Exemples d'interprétation des données de pompages d'essai	48
VII.5.1. Au forage F2	48
VII.5.2. Essai par paliers de débits au forage 565	48
VII.5.3. Courbe de descente	51
VIII. Conclusion	52

Chapitre IV Vulnérabilité à la pollution

I -Introduction	55
II -Objectif du travail	55
III -Qualité des eaux souterraines de la région	55
IV -Application de méthodes d'estimation de la vulnérabilité	57
IV -1 .Méthode DRASTIC	57
IV -1-1. Le Massif Dunaire de Bouteldja	59
a. Le paramètre profondeur de l'eau (D)	59
b. Le paramètre Recharge nette (R)	60
c. Le paramètre Nature lithologique de l'aquifère (A)	60
d. Le paramètre Nature du sol (S)	61
e. Le paramètre Topographie (T) ou pente des terrains	62
f. Le paramètre Zone non saturée (I)	62
g. Le paramètre Conductivité hydraulique (C)	63
h. Identification des classes de vulnérabilité à la pollution	64
IV -1-2. La Nappe d'El-Tarf	65

a.	Le paramètre "profondeur de l'eau (D)	65
b.	Le paramètre "Recharge nette (R)	66
c.	Le paramètre "Nature lithologique de l'aquifère (A)	67
d.	Le paramètre "Nature du sol (S)	67
e.	Le paramètre Topographie (T) ou pente des terrains	68
f.	Le paramètre " Zone non saturée (I)	69
g.	Le paramètre "Conductivité hydraulique	70
h.	Interprétation de la carte de vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la nappe d'El Tarf selon DRASTIC	70
IV -2.	APPLICATION DE LA METHODE DE « GOD »	72
IV -2-1-	Description des paramètres et réalisation des cartes thématiques	72
IV -2-1-1.	Le Massif Dunaire de Bouteldja	72
a.	Le paramètre "G "	72
b.	Le paramètre "O"	73
c.	Le paramètre "D"	73
d.	Interprétation de la carte de vulnérabilité à la pollution des eaux, établie par la méthode GOD	74
IV -2-1-2.	La Nappe de la plaine d'EL-Tarf	75
a.	Paramètre" type d'aquifère	75
b.	paramètre "O" nature lithologique de la ZNS	76
c.	paramètre "D" profondeur de la nappe	77
d.	Interprétation de la carte de vulnérabilité à la pollution des eaux selon la méthode de GOD	77
IV-3-L'	indice de contamination Organique (ICO)	79
➤	Classification des elements organiques	79
a-	La DBO5	79
b-	Nitrates (NO ₃)	79
c-	Nitrites (NO ₂)	80
IV-4-L'	indice de contamination Minérale(ICM)	80
➤	Classification des éléments minérales	80
a-	Le Plumb	80
b-	Le Manganese	81
c-	L'Aluminium	81
d-	Le Fer Total	81
V -	Recommandation	82
VI -	Conclusion	84
	Conclusion general	85
	Reference Bibliographique	

INTRODUCTION

Introduction générale

"L'eau est essentielle à la vie et au bien-être. C'est pourquoi, elle a besoin d'être protégée, traitée et économisée ". Aujourd'hui, la qualité de l'eau et de l'environnement nous concerne tous. La qualité de l'eau est donc prioritairement une exigence de santé.

L'eau est une substance remarquable. Bien qu'elle soit un composé simple. Elle est à la fois la source et le moteur de la vie. Sans eau, l'humanité toute entière - en vérité, toutes les formes de vie sur terre - périraient.

Issues de nappes d'eaux souterraines non polluées, profondes ou protégées des rejets dus aux activités humaines, les eaux dites de source sont des eaux naturellement propres à la consommation humaine.

Ces eaux de source sont en général consommées au niveau régional car leur transport en augmenterait trop le coût. C'est la raison pour laquelle, il est nécessaire de les prendre soin d'autant plus que le troisième millénaire sera purifié en pollutions.

En Algérie, la forte croissance de population a entraîné une surexploitation par pompages effectués dans les nappes d'eau profonde et qui fait une diminution des stocks d'eau dans les nappes d'eau souterraines et influe sur le débit des eaux des sources.

Le massif dunaire de Bouteldja est considéré, avec la nappe libre d'El-Tarf comme l'un des deux principaux aquifères de la région.

Il a retenu l'attention particulière des gestionnaires en vertu de l'intérêt qu'il constitue du point de vue ressource en eau pour les différents besoins sans cesse croissant et en absence des ressources en eaux superficielles mobilisables dans la région.

En effet, la nappe du massif dunaire de Bouteldja et la nappe libre d'El-Tarf sont actuellement fortement sollicitée, ce qui l'expose de jour en jour à la pollution qui est souvent constatée après ses méfaits.

Dans ce contexte, on a essayé d'étudier la vulnérabilité des eaux naturelles dans le massif dunaire de Bouteldja et la nappe libre d'El-Tarf dans l'extrême Nord Est Algérien dont le thème est " évaluation de la vulnérabilité à la pollution d'une nappe en milieu humide et comparaison des méthodes appliquées cas de la nappe libre d'El Tarf (Nord Est d'Algérie)".

Chapitre I

Présentation de la région de l'étude

I. INTRODUCTION :

La wilaya d'EI Tarf située à l'extrême Nord-est Algérien, comprend 24 communes, et s'étend sur près de 3055,48 km², limitée au Nord par la mer Méditerranée, au Sud par les wilayas de Souk Ahras et Guelma, à l'Ouest par la wilaya d'Annaba et à l'Est par la République de Tunisie (Fig.01).

Le linéaire côtier de la wilaya s'étend sur 90 km de long et peut se résumer en deux ensembles:

- ✓ Un long bourrelet dunaire quasi rectiligne à l'Ouest qui s'achève au Cap Rosa.
- ✓ Un trait de cote plus diversifié à l'Est jusqu'à la frontière tunisienne, au centre de ce tronçon, le noyau urbanisé d'EI Kala.

D'une façon générale, le domaine continental peut être schématiquement découpé en trois ensembles :

- Une bande littorale regroupant cinq communes avec des altitudes qui s'élèvent de l'Ouest vers l'Est en direction de la frontière tunisienne ; passant du zéro de la mer à 118 m au Mont Hennaya, puis à 346 m au Sud du lac Mellah, pour arriver à 325 m au Kef Segleb et même toucher les 573 m au Kef Radjela à la frontière Tunisienne.
- La zone des plaines sublittorales à moins de 100 m voir 50 m, d'altitude et caractérisée par de graves problèmes de drainage avec des inondations récurrentes. Cette zone est très originale en raison de la présence de riches zones humides dont certaines bénéficient de classements internationaux (lac des Oiseaux, lac Mellah,...etc.) ; à l'Ouest le périmètre de la Bounamoussa a fait l'objet d'une intense mise en valeur agricole. C'est dans cette seconde bande que se situe le chef lieu de la wilaya et de commune d'EI Tarf à moins de 25 km au Sud-ouest d'EI Kala.
- La zone méridionale, la plus étendue est caractérisée par l'existence de reliefs de moyennes montagnes. Ces chaînons montagneux orientés SW-NE sont le plus souvent boisés et atteignent 1200 m au Kef Rokba sur la ligne frontalière, mais souffrent parfois des défrichements au profit de l'exploitation agricole. C'est sur ce territoire que se trouvent les espaces forestiers ou sub-forestiers les plus vastes (1700 km² pour l'ensemble de la wilaya).

Dans un domaine bioclimatique où les précipitations annuelles moyennes varient entre 600 et 700 mm, la végétation naturelle est caractérisée par la dominance du chêne liège (*Quercus zen*), la présence du pin maritime (*Pinus maritima*), d'oléastre (olivier sauvage) avec une flore très particulière dans les zones humides avec notamment les aulnaies (arbre de la classe des plantes ayant des fleurs sans corolle, croissant dans les lieux humides).

Sur les 1700 km² d'espaces boisés de la wilaya, près de 40 % sont représentés par des boisements de chênes (chêne liège et chêne zen) en plus des formations secondaires de maquis occupant près de 37 % de la surface, tandis que les autres peuplements sont moins importants.

Traversant cet ensemble territorial, le Parc National d'EI Kala , à l'Est de la wilaya, qui a été créée en 1983, s'étend sur plus de 800 km² dont 12 % sont classés réserve intégrée. L'ensemble bénéficie d'un classement en réserve de la biosphère dans le cadre du programme international MAB (Man And Biospher - l'Homme Et la Biosphère : Programme pour la recherche, la formation et la diffusion de l'information destinée à fournir la base scientifique et le personnel qualifié nécessaire pour traiter les problèmes concernant l'utilisation des ressources et leur conservation en relation avec les établissements humains).



Figure 01 : Carte de situation géographique et limites administratives d'El Tarf

II. CARACTERISTIQUES NATURELLES DE LA REGION :

II.1. Caractéristiques géologiques et géomorphologiques :

II.1.1. Géologie : (Fig.02)

La plaine d'El Tarf s'inscrit dans les au récoles du prolongement oriental de la chaîne numidique de direction générale N/NE-S/SW. Son sous-sol est essentiellement constitué de terrains sédimentaires s'étageant de l'Eocène au Néo-Pléistocène, à forte proportion de roches plus au moins perméables.

On distingue deux terrains sédimentaires différents :

- ✓ Le complexe argilo-gréseux du Numidien représentant la nappe Numidienne.
- ✓ Les dépôts du Quaternaire qui sont d'origines différentes, remplissant tous les bas fonds des dépressions comme celles de Bouteldja et El Tarf.

Ainsi, deux grands ensembles lithologiques se distinguent :

- ✓ Le complexe argilo-gréseux du Numidien Tertiaire a base marneuse du Secondaire constituant le substratum général de la région.
- ✓ Les remblaiements du Quaternaire qui eux seuls constituent un système géologique.

Les constitutions lithologiques de la vallée d'oued Guergour (l'un des principaux affluents Sud d'oued Kébir Est distant d'au moins de 2 km à l'Est de la ville d'El Tarf) sont essentiellement des grès de Numidie (Lattorfien : en géologie, étage marin qui correspond au sous-étage du Sannoisien de la série Oligocène) formant la masse principale des reliefs couverts de forêts de chêne liège. C'est un grès quartzeux plus ou moins consolidé, affleurant sur tous les bords de la vallée par des roches abrupts. A leur base, des argiles par l'intermédiaire des quelles s'effectue un passage insensible aux argiles de Numidie (Eocène supérieur). Cette formation est développée surtout sur les pentes et dans le fond de la vallée. Les argiles sont verdâtres ou brunâtres, plus ou moins schisteuses et parfois marneuses au dessus de ces dernières, sur les bordures on rencontre des alluvions de hautes terrasses et moyennes terrasses d'âges Pléistocène constituées par des sables et cailloux roulés situés vers 30 mètres au dessus du talweg en se dirigeant vers le milieu de la vallée, on a des alluvions des basses terrasses d'âge Pléistocène récent constituées de sable et cailloux roulés. En général la géologie de la plaine d'El Tarf ne sort pas du contexte géologique régional du Nord-est algérien qui se résume en une chrono-stratigraphie révélant des terrains géologiques d'âges différents allant du Secondaire au Quaternaire récent à actuel (voir

Fig.14.C , page 34) ainsi la lithostratigraphie de la région d'El Tarf en allant des terrains enceins au plus récents se classe comme suit :

A) Le Secondaire : Il affleure à l'Est du bassin versant de la Mafragh au niveau de Boussouagui en territoire Tunisien, il affleure également dans les différents endroits du mont de La Chaffia et Cap Rosa (Crétacé supérieur). Il est représenté par des marnes, marno-calcaires et des schistes légèrement argileux avec des intercalations de calcaires. Il va de l'étage du L'Hauterivien jusqu'à l'étage du Maestrichtien (Crétacé inférieur à supérieur)

B) Le Tertiaire : Il est largement représenté par des formations gréseux-argileuses du Numidien qui couvrent d'Ouest en Est particulièrement les secteurs de montagnes allant d'Ain Berda à El Kala, ainsi il est le plus répondeur affleurant sous les systèmes et séries suivant :

- ❖ Paléogène : Se distingue par l'achèvement total de l'étape géosynclinale (fin du remplissage du bassin sédimentaire) du développement orogénique (système montagneux a plis). Se compose du :

1. Paléocène : Composé des assises de l'étage Danien et du Montien indifférenciées. Ces dépôts affleurent aux bassins des Oueds Bounamoussa, Kébir, Chaffia, Zitouna et Bougous. Ces affleurements constituent des fenêtres d'érosion dans l'allochtone Numidien. Il est constitué d'argile foncée finement silicifiée à intercalations rares (jusqu'à 0.30 m) de calcaire argileux, d'aleurolites, de grès quartzeux finement grenus, et grès quartzeux à mélange de tuf. L'épaisseur du Paléocène est de 140 m.

2. Eocène : Présente des traits caractéristiques dans sa structure et sa composition lithologique, à savoir silicification syngénétique, présence de roches volcaniques (Liparito-dacite). Les dépôts de l'Yprésien participent à la structure du socle de la série Numidienne aux bassins des oueds. Ses assises sont composées d'une alternance d'argiles finement stratifiées, d'aleurolites calcareuses et de calcaires dont l'épaisseur apparente atteint 50 m, avec des horizons volcano-siliceux constitués de marnes argileuses foncées et d'argiles à intercalations minces (jusqu'à 0.2 m) de tufs, de liparites. L'épaisseur de l'Yprésien est de 260 m. Le Lutétien, se rencontre sur une épaisseur supérieure de 230 m. Il est constitué de marnes argileuses et calcareuses de teinte foncée à rares intercalations de calcaires. Le Priabonien est constitué de dépôts de phases finales du développement de la région. Ils sont reconnus comme des « Argiles Numidiennes ». Celles-ci sont répandues et associées au mur de l'allochtone Numidien. Elles affleurent

aux bassins d'oued Kébir, Seybouse et Bounamoussa. Elles renferment des intercalations de grés et des aleurites (aleuros : poussière). L'épaisseur du Priabonien dépasse 250 m.

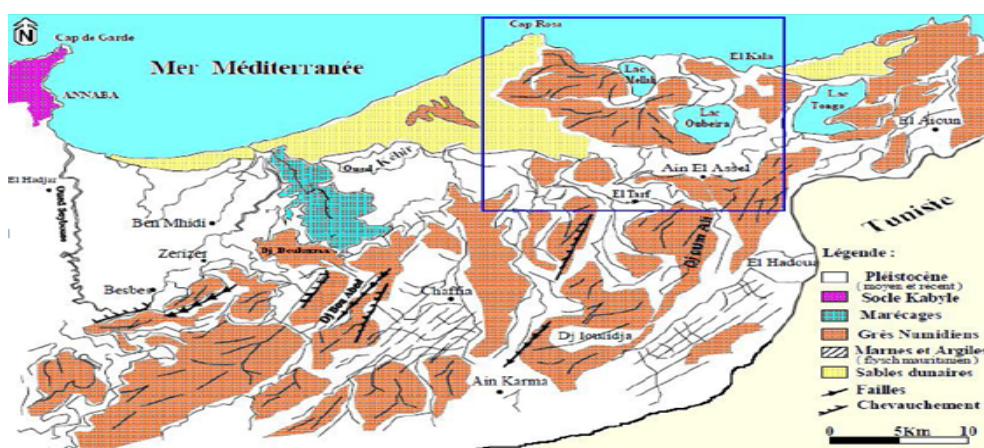
3. Oligocène : Il comprend un groupe original de dépôts connus sous le nom de « grés Numidiens ». Le terme Numidien fut introduit par Fischer (1989) pour désigner les faciès typiques des roches Oligocènes largement répandues au Nord du continent africain. Ces formations constituent la plus grande partie d'une structure charriée importante « allochtone Numidien ». Son développement régional, complique considérablement les possibilités de l'étude en profondeur vu que la série allochtone des dépôts n'est accessible à l'observation que dans les fenêtres d'érosion de la nappe. Les formations des grés Numidiens sont largement répandues, les traits particuliers de ces dépôts sont : la structure et la persistance de la composition lithologique. Ils servent comme un bon repère géologique. Ils sont en contact tectonique avec les argiles de l'Eocène supérieure. L'épaisseur apparente totale des grés Numidiens dépasse 400 m.

- ❖ **Néogène** : caractérisé par l'accumulation des assises de molasses fixant nettement le début de la nouvelle étape (Post-orogénique) du développement de la région. Ces dépôts font partie de la série post nappe composée de conglomérats et de sable de la série du Miocène et de l'étage du Pontien (Miocène terminal). Les zones représentant le Miocène sont, dans leurs quasi-totalités, détruites par le processus de dénudation. Les molasses ne sont conservées qu'en petites surfaces. Elles se trouvent en amont de l'Oued Chaffia et au bord droit de la vallée de l'Oued Bougous. La coupe est généralement constituée de conglomérats gravélo-blocageux a lentilles de grés quartzeux et argileux de teinte brune. Les galets roulés et les blocs de dimensions jusqu'à 0.5 m, sont constitués par les grés du Numidien supérieur. La molasse du Pontien est constituée à sa base de conglomérats bien cimentés par une matière sablo-carbonatée sur une épaisseur de 300 m. Vers le sommet, on rencontre une alternance lenticulaire de conglomérats ainsi que des grés stratifiés obliquement et faiblement cimentés par du sable et d'argiles rouges. L'épaisseur totale de la molasse du Pontien atteint 70 m.

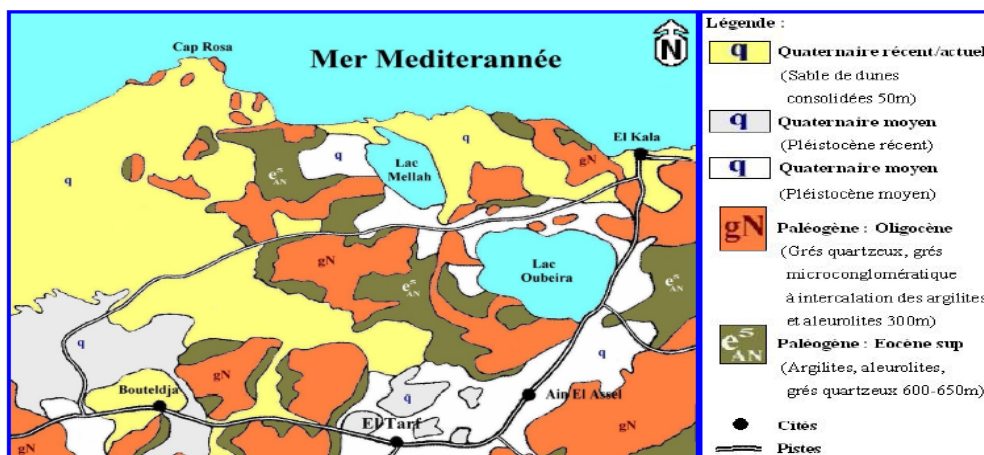
C) Le Quaternaire : Les dépôts Quaternaires sont largement répandus, ils sont constitués de limons, de sables et graviers sur les rives des oueds. On distingue :

- ❖ **Quaternaire ancien** : Il caractérise les plaines de la région qui sont une vaste zone d'épandage des oueds Bounammoussa et Kébir Est.
- ❖ **Quaternaire moyen** : Il est présent le long des versants des oueds, défini généralement par des matériaux alluvionnaires, des limons et des cailloux ; on distingue dedans le :

1. **Pléistocène ancien** : il définit les hautes terrasses et se caractérise par des formations avec des cailloux roulés et des blocs de grès Numidiens enrobés ensemble dans une matrice argileuse.
 2. **Pléistocène moyen** : il correspond aux moyennes terrasses qui traversent la région d'El Tarf jusqu'à Ain Assel et parfois les rives de l'oued Kébir Est et qui sont constituées de cailloux roulés, de sables et de limons.
 3. **Pléistocène récent** : correspond aux basses terrasses, aux versants des oueds et présente un granoclassement naturel défini par les galets à la base, surmontés par les graviers et à la surface se trouvent les sables et les limons.
- ❖ Quaternaire récent : Il correspond aux dépôts alluvionnaires, sables, cailloux et limons fins avec dominance d'argiles parfois canalisant ainsi les lits des oueds. IL caractérise les lagunes marines dans la région d'El Kala (lac Tonga, Oubeira et Mellah).
 - ❖ Quaternaire actuel : Généralement, il constitue les lits des oueds par des dépôts alluvionnaires (sables, cailloux) et les plages actuelles (cordon dunaire) constituées par des sables d'origine émarine.



Source : contexte géologique du Nord-est algérien (MARRE 1987)

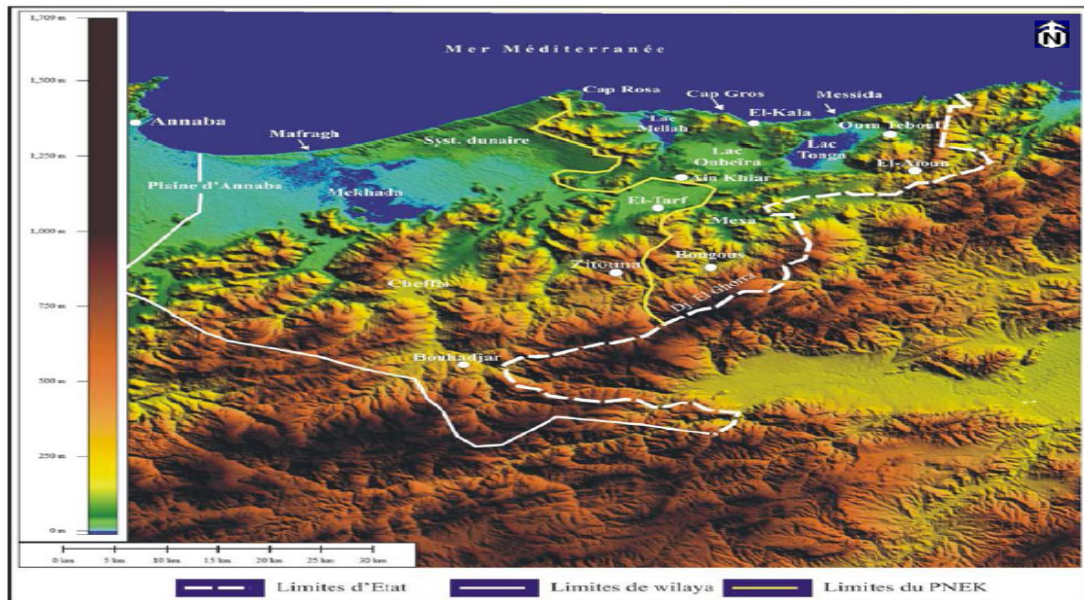


Extrait géologique rapproché (échelle 1/280 000)

Figure 02 : Cartes géologiques représentant la région d'El Tarf

II.1.2. Géomorphologie :

El Tarf en tant que wilaya se caractérise par différentes unités géomorphologiques, mais ce qui est bien clair c'est que son territoire se présente sous une forme plane largement dominée par des formations Quaternaires occupant presque toute sa partie Nord, alors qu'au Sud on a un relief plus accidenté se présentant par une chaîne de montagnes avec des altitudes ne dépassant pas les 1800 m formée essentiellement par de grès et d'argile Numidiens (Fig.03) .



(Extrait d'image SRTM – Shuttle Radar Topography Mission – NASA . Données publiques)

Figure 03 : Carte représentant les principaux ensembles morphologiques dans la wilaya d'El Tarf

Au niveau de la commune d'El Tarf, les formes morphologiques se présentent sous forme de terrasses, où on voit à la base de très gros blocs de grès Numidiens aux arêtes émoussées, puis en dessous, de gros galets de 30 à 50 cm de long, emballés dans une matrice sablo-limoneuse rouge claire. Cette formation de terrasses est visible dans le bassin d'oued Guergour et le long de la RN44 à quelques kilomètres à l'Est d'El Tarf (X = 1004,5 ; Y = 339,5 ; Z = 30 m ; carte de Blandan au 1/50000e).

L'analyse texturale de la matrice rouge montre 42,81 % de sable et 27,19 % de limon et argile. Il s'agit d'un matériel apporté par l'oued Kébir Est. La taille des galets et l'analyse granulométrique des sables montrent que le régime de l'oued lors de leur dépôt était certainement très torrentiel, les forêts en pentes dans le bassin d'oued Guergour expliquent facilement cette importante torrentialité. Pour l'oued Kébir, les dépôts de galets sont au débouché d'une portion étroite de la vallée. Dans cette petite gorge la vitesse du flot devait être accélérée, ce qui rendait possible les transports des plus gros blocs lors des grandes crues.

Dans la région d'Ain Khlar, au Nord du bassin d'EI Tarf, on observe aussi au pied des crêtes des glacis attribuables au niveau (2). On y trouve en effet des fragments et des blocs de grès non altérés et un épandage de sables limoneux rosés au sommet. C'est sur ces glacis de niveau (2) que sont venus se poser les sables rouges éoliens arrivés depuis le littoral de la plaine d'Annaba. Contre ces sables rouges se posent les formations sablo-limoneuses de niveau (1) dont l'oued Kébir Est entaillées de 10 mètres environ. Mais cette plaine n'est pas uniforme. Le long du cours d'eau on observe des levées sableuses dont la topographie redescend en pentes vers l'extérieur. Dans l'entaille creusée par l'oued on observe souvent une petite terrasse sableuse de 3 à 4 mètres au dessus du lit. Après les crues, le drainage de la plaine sera gêné par les levées qui empêchent l'eau de rejoindre le lit, ce qui favorise la création des espaces humides et même marécageux comme dans la région d'Ain Khlar. Au Nord d'EI Tarf un drainage artificiel a dû être aménagé. Ainsi, dans le bassin d'EI Tarf les trois niveaux les plus récents ont pu être observé. Les deux plus haut (niveau 1 et 2) présentent des caractères dus à un climat humide et très torrentiel. A la fin de la période de construction du niveau (2), le climat semble avoir été plus sec avec des phénomènes éoliens qui ont apporté de grandes quantités de sables rouges depuis le littoral jusqu'à la région d'Ain Khlar. Un creusement important du bassin a ensuite eu lieu avant le dépôt des sables de la terrasse du niveau (1) épaisse d'au moins 10 mètres puisque l'oued Kébir s'y encaissé sans atteindre la base de la formation.

II.2. Sols couvert végétal, faune et flore :

II.2.1. Sols et couvert végétal :

Deux groupes de sols sont à signaler :

- ✓ Les sols Numidiens principalement gréseux à végétation persistante, occupés par les forêts de chênes lièges et maquis,
- ✓ Les sols Quaternaires où s'effectuent les différentes cultures saisonnières.

Les sols dérivés du Numidien, qui s'étendent amplement autour de la plaine d'EI Tarf présentent une surface bien protégée en permanence surtout en relief.

L'horizon argileux de base se montre dans les collines par suite de l'érosion des petits bancs gréseux, plus ou moins désagrégés, permettant l'amélioration des caractères physiques de ces terres souvent crevassées et améliorant ainsi la pénétration de l'eau. Ces terrains occupent le fond des vallonnements occupés par d'assez beaux pâturages tandis que les pentes à sols plus légères restent nues. Les strates gréseuses sont ondulées ou horizontales sur les grands plateaux occupés par les forêts de chênes lièges. Les descriptions récentes permettent mieux de comprendre la genèse des sols Numidiens, dont les caractères podzoliques (en géographie, relatif au podzol, sol acide des régions tempérées froides) sont très nets, encore accentués par l'humidité. La teneur en

chaux est toujours extrêmement faible, l'humus sans coaguler, passe dans l'eau de pluie à l'état colloïdal et favorise également l'alimentation de l'oxyde de fer, l'ensemble des colloïdes migre ainsi dans la couche profonde laissant celle superficielle dépourvue de tous ces éléments fins siliceux. Dans cette zone superficielle constituant le sol arable, la proportion d'azote est assez bonne, mais elle diminue rapidement dans la couche podzolique et dans la couche alluviale, l'acide phosphorique très pauvre, la potasse manque aussi, les argiles gréseuses qu'on ne peut labourer qu'après d'abondantes pluies donnent de bonnes récoltes.

Le chêne liège garnit tous les reliefs qui n'ont pas été déboisés ou ravagés par les incendies. Il évolue sur des sols dont les propriétés physiques remarquables et notamment la fraîcheur et la légèreté ont permis l'important développement des forêts persistantes.

Ces sols à couverture pour l'essentiel permanente et presque continue, sont donc protégés tant en saison chaude qu'en saison froide et reçoivent une tranche d'eau annuelle de plus de 900 mm, le ruissellement superficiel direct étant freiné grâce aux phénomènes d'interception et l'entraînement des matériaux fins sur les versants étant lui-même contrarié par le rôle fixateur de la végétation. Ce couvert végétal est par ailleurs sérieusement menacé par le pâturage et l'élevage.

II.2.2. Faune et flore :

Le patrimoine forestier de la région est très riche ainsi il comporte :

- ✓ Des séries de chêne Kermès.
- ✓ Des Juniperaies (genre de conifères Littorales, arbrisseaux à feuilles épineuses et à baies violettes).
- ✓ Séries à chêne liège, Série à chêne zen et Pinède (plantation de pins).
- ✓ Série à Oléolentisque (Olivier sauvage) associée au caroubier ainsi qu'une végétation hygrophile riche et variée.

En raison de la variation de la végétation, la faune terrestre est très variée. Parmi les espèces présentes et protégées de la région nous citerons :

- ✓ Avifaune : Avocette, cigogne blanche et noire, cormoran huppé, échasse blanche, flamand rosé, oie cendrée, poule sultane, sarcelle marbrée, sterne hansel, grand cormoran...etc.
- ✓ Rapaces : Balbuzard, busard des roseaux, busard cendré, vautour fauve, buse féroce, aigle botté, aigle criard, faucon pèlerin...etc.
- ✓ Mammifères : Cerf de barbarie, phoque moine, loutre, lynx, hyène rayée, genette, porc-épic, belette, mangouste, sanglier, lapin, chacal et renard.

III. CONCLUSION :

Il on ressorte à la fin de cette première partie quelques points distincts récapitulatifs listés comme suit :

- ✓ Une géologie simple représentée par deux terrains bien distinctes : un complexe argileux-gréseux du Tertiaire caractérisant la partie montagneuse au Sud, un remplissage Quaternaire caractérisant la partie en plaine au Nord.
- ✓ Une géomorphologie caractérisée par un ensemble de terrasses alluvionnaires issues de l'oued Kébir qui traverse la plaine, ce qui explique l'activité agricole intense du fait de l'abondance d'un sol Quaternaire fertile, malgré les problèmes de drainage.
- ✓ Un sol Numidien gréseux donc perméable au Sud ce qui fait regorgé la zone montagneuse de forets persistantes diversifiées et par conséquence une faune assai diversifiée, ce qui fait donner à la wilaya d'El Tarf non seulement une vocation agricole mais aussi touristiques.

Ainsi la wilaya d'El Tarf n'est que le reflet géologique et naturel du Nord-est algérien en général, caractérisé par des terrains géologiques allant du Secondaire au Quaternaire en dominance des étages plus récents du Tertiaire et du Quaternaire.

Chapitre II

Hydroclimatologique

I. Les caractéristiques climatologiques:

I.1.Introduction:

L'établissement d'un bilan hydrique nécessaire pour comprendre le fonctionnement d'un système hydraulique de surface, implique la connaissance des paramètres suivants: les précipitations, l'évaporation, l'infiltration et le ruissellement qui conditionnent le bilan. Les études disponibles ont permis le calcul du bilan. Au préalable, quelques informations concernant les caractéristiques climatiques de la région ont été déterminées.

II. Station de mesure:

L'étude est basée essentiellement sur les données des stations des Salines et de Ben M'hidi.

Le tableau (01) nous renseigne sur les périodes d'observation:

Tableau 01: Les stations et leur période d'observation.

Stations	Périodes d'observation
Les Salines	1979/80 – 2005/06
Ben M'hidi	1979/80 - 2005/06

Les coordonnées géographiques des stations de mesure sont représentées dans le tableau (02):

Tableau 02: Les coordonnées géographiques.

Coordonnées	X (Km)	Y (Km)	Z (m)
Les Salines	955.80	403.80	03
Ben M'hidi	961.62	397.30	07

III. Facteurs climatiques :

III.1. Températures: (T)

Les températures sont le deuxième facteur important dans l'étude climatique car agissant directement sur le phénomène d'évapotranspiration et donc le déficit d'écoulement annuel et saisonnier.

Les températures utilisées se rapportent aux stations des Salines et de Ben M'hidi (27ans d'observation).

III.1.1. Températures moyennes mensuelles: (TMM)

Les températures moyennes mensuelles mesurées dans les deux stations sur une période de 27 ans sont reportés dans le tableau (03) :

Tableau 03: Températures moyennes mensuelles en °C (1979/06).

MOIS STATION	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A
Salines	23.03	20.01	15.61	13.11	11.53	11.65	13.25	15.13	18.25	21.90	25.00	25.79
BenM'hidi	23.30	19.70	15.39	12.31	10.74	11.19	13.15	14.98	18.32	21.89	24.48	25.66

L'histogramme des températures moyennes mensuelles montre une différence assez proche entre les températures des deux stations (fig. 04). Les plus faibles valeurs sont mesurées aux mois de décembre, janvier, février et mars où on remarque que le mois le plus froid est le mois de janvier (avec une température de l'ordre de 11.53°C aux Salines et de 10.74°C à Ben M'hidi). Par contre les plus fortes valeurs caractérisent les mois de juin, juillet et août où on remarque que le mois le plus chaud est le mois d'août (avec une température de l'ordre de 25.79°C aux Salines et de 25.66°C à Ben M'hidi).

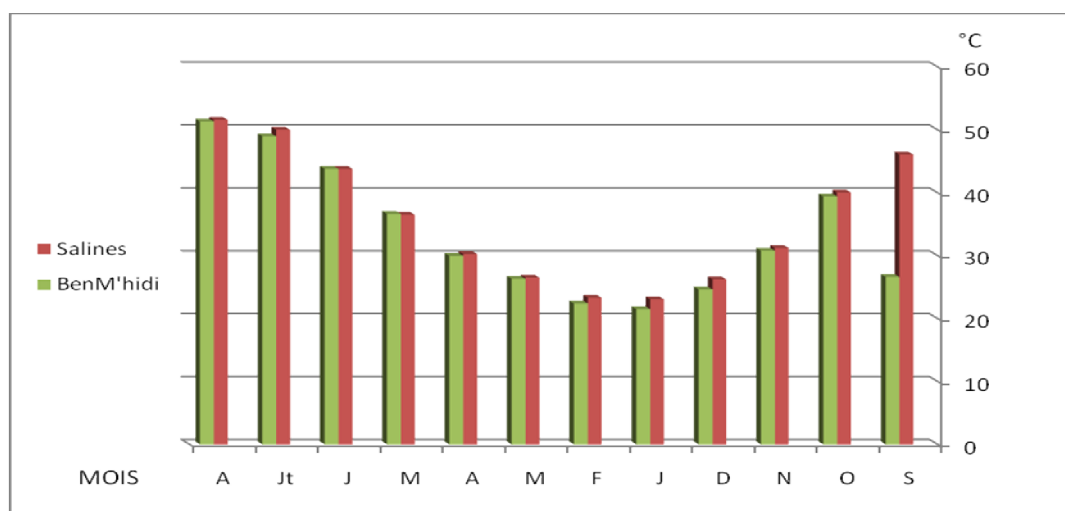


Figure 04: Histogramme Températures moyennes mensuelles en mm (1979/2006)

III.1.2. Températures moyennes annuelles: (TMA)

Les températures moyennes annuelles pour les deux stations de mesure sur une période de 27 ans d'observation sont reportées dans le tableau ci – dessous:

Tableau 04: Températures moyennes annuelles en °C (1979/06).

Année	Les Salines	Ben M'hidi	Année	Les Salines	Ben M'hidi	Année	Ben Salines	Ben M'hidi
79/80	16.80	16.23	89/90	18.64	18.14	98/99	17.94	17.66
80/81	17.68	16.66	90/91	17.70	17.33	99/00	18.27	17.76
81/82	18.69	17.92	91/92	17.16	17.28	00/01	17.96	18.15
82/83	17.06	17.47	92/93	17.83	17.94	01/02	17.71	17.57
83/84	17.54	17.07	93/94	18.24	17.82	02/03	18.54	18.59
84/85	17.67	17.23	94/95	18.80	18.02	03/04	17.68	17.71
85/86	17.83	16.73	95/96	18.59	17.68	04/05	17.38	18.21
86/87	17.97	17.39	96/97	18.15	17.45	05/06	17.75	18.35
87/88	18.87	18.47	97/98	18.02	17.34	moyen	17.85	17.59
88/89	17.57	16.77						

III.2. L'humidité relative de l'aire: (Station des Salines)

L'humidité relative de l'aire correspond au rapport de la tension de vapeurs réelles observées par la tension de la vapeur saturante à la même température. Elle nous permet de donner une idée sur l'état de l'atmosphère s'il est plus ou moins proche de la condensation.

Le tableau (05) présente les valeurs de l'humidité relative de l'aire en % :

Tableau 05: Moyennes mensuelles et moyenne annuelle de l'humidité relative de l'aire à la station des Salines en % (1975/2005)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Humidité moyenne annuelle
Humidité moyenne mensuelle en %	72.32	74.58	76.52	77.15	78.43	74.28	75.48	74.60	74.97	72.92	70.07	71.39	74.47 %

III.3. La vitesse des vents: (Station des Salines)

Le vent est un paramètre climatique qui nous permet de déterminer les régimes pluvieux, l'évapotranspiration et donc du climat d'une région quelconque. Les résultats des calculs de la vitesse des vents sont récapitulés dans le tableau ci-dessous:

Tableau 06: Moyennes mensuelles et moyenne annuelle de la vitesse des vents à la station des Salines en m/s (1975/2005).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Vitesse moyenne annuelle
Vitesse moyenne mensuelle en m/s	3.01	2.84	3.07	3.40	3.30	3.28	3.25	3.20	2.98	3.04	3.17	3.10	3.1 m/s

Le Nord –Est Algérien est dominé par des vents de direction Nord à Nord – Est, Sud – Ouest à Nord. La vitesse des vents est violente en hiver alors qu'en été devient plus faible, avec quelques épisodes de Sirocco augmentant la température.

III.4. Précipitations: (P)

Le terme précipitation désigne tout type d'eau qui tombe du ciel, sous forme liquide ou solide. Cela inclut la pluie, la neige, la grêle, etc. La précipitation est un facteur très important, qui conditionne l'écoulement saisonnier et influence directement sur le régime des cours d'eaux et l'alimentation des nappes aquifères. Notre région d'étude est classée parmi les régions les plus pluvieuses dans notre pays l'Algérie et pour l'interprétation des données pluviométriques, nous avons utilisé des séries de précipitation allant de 1979 jusqu'aux 2006 soit 27 ans d'observation.

III.4.1. Précipitations moyennes mensuelles: (PMM)

La précipitation moyenne mensuelle nous permet de donner un aperçu sur les variations mensuelles et pluriannuelles des précipitations en se basant sur des calculs de la moyenne arithmétique des hauteurs des précipitations du mois considéré pour un nombre d'années quelconques.

Les hauteurs des pluies moyennes mensuelles enregistrées durant les périodes d'observation (1979 - 2006) sont illustrées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 07 : Précipitations moyennes mensuelles en mm (1979/2006).

MOIS STATION	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A
Salines	36.30	70.01	89.04	122.63	103.44	79.15	60.86	57.77	37.06	12.95	2.19	10.07
BenM'hidi	35.27	53.34	88.71	105.70	106.51	79.08	55.88	55.39	34.30	7.96	2.09	7.71

L'histogramme des précipitations moyennes mensuelles (fig. 05) réalisé pour les stations des Salines et de Ben M'hidi montre un accroissement des précipitations allant du mois de septembre jusqu'au mois de janvier, au delà débute la baisse des précipitations qui se poursuit jusqu'au mois d'août.

Le maximum des pluies tombe aux mois de décembre aux Salines avec 122.63 mm et aux mois de janvier avec 106.51 mm à Ben M'hidi, et le minimum tombe au mois de juillet avec 2.19 aux Salines et 2.09 mm à la station de Ben M'hidi.

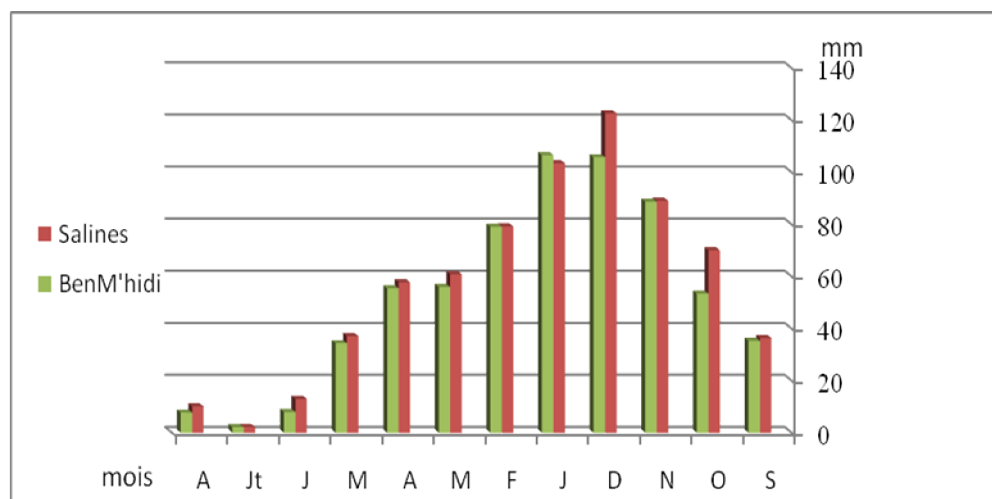


Figure 05: Histogramme précipitation moyennes mensuelles en mm (1979/2006)

III.4.2. Précipitations moyennes annuelles: (PMA)

Les hauteurs des pluies moyennes annuelles enregistrées par les deux stations pour 27 ans d'observations sont comme suite:

Tableau 08: Précipitations moyennes annuelles en mm (1979/2006).

Année	Les Salines	Ben M'hidi	Année	Les Salines	Ben M'hidi	Année	Ben Salines	Ben M'hidi
79/80	609.20	542.17	89/90	535.00	540.55	98/99	841.00	751.80
80/81	633.00	614.97	90/91	689.30	689.30	99/00	559.60	435.20
81/82	760.00	761.77	91/92	684.60	684.60	00/01	550.70	514.00
82/83	678.10	523.52	92/93	644.10	720.50	01/02	460.30	408.10
83/84	937.80	897.76	93/94	519.70	550.90	02/03	842.10	783.00
84/85	927.00	908.67	94/95	548.30	594.70	03/04	708.00	531.80
85/86	543.00	498.24	95/96	807.00	656.70	04/05	987.70	875.46
86/87	909.30	905.35	96/97	422.80	322.20	05/06	612.50	573.80
87/88	491.00	411.43	97/98	941.00	809.60	moyen	681.47	631.95
88/89	557.00	556.56						

III.5. Caractéristiques climatiques d'aridité:

Emmanuel DE.MARTONNE (1925) a proposé une formule climatologique, appelée indice d'aridité, fonction de la température (T) et des précipitations (P) de la forme:

$$A = P / (T + 10) \dots(1)$$

Avec:

A : indice d'aridité annuelle.

P : précipitations moyennes annuelles en mm.

T : températures moyennes annuelles en °C.

Selon DE.MARTONNE :

- Si A est inférieur à 5: le climat est hyperaride.
- Si A est compris entre 5 et 10: le climat est très sec.
- Si A est compris entre 10 et 20: le climat est sec.
- Si A est compris entre 20 et 30: le climat est tempéré.
- Si A est supérieur à 30: le climat est humide (l'écoulement est abondant).

Les résultats des calculs sont récapitulés dans le tableau ci-dessous:

Tableau 09: Indice d'aridité annuelle (D'après la formule DE.MARTONNE).

Stations	A
Les Salines	24.47
Ben M'hidi	22.90

Les deux stations montrent que le climat de notre région d'étude est un climat tempéré (pour une valeur comprise entre 20 et 30).

III.6. Coefficient pluviométrique: (H)

Le coefficient pluviométrique permet de déterminer pour une station donnée si l'année est excédentaire ou déficitaire. L'année est d'autant plus excédentaire que $H > 1$. Si $H < 1$, l'année correspondante est déficitaire.

Le terme H est défini par le rapport de la pluviométrie P d'une année à la pluviométrie moyenne P pour une période de n années :

$$H = P / \bar{P} \dots(2)$$

Avec:

H : coefficient pluviométrique.

P : pluviométrie d'une année en mm.

\bar{P} : pluviométrie moyenne en mm.

Le tableau qui vient après montre les variations de H au cours des années d'observation :

Tableau 10: Coefficient pluviométrique des stations des Salines et de Ben M'hidi (1979/2006).

Année	H Les Salines	H Ben M'hidi	Année	H Les Salines	H Ben M'hidi	Année	H Ben Salines	H Ben M'hidi
79/80	0.89	0.85	89/90	0.78	0.85	98/99	1.23	1.19
80/81	0.93	0.97	90/91	1.01	1.09	99/00	0.82	0.69
81/82	1.11	1.20	91/92	1.00	1.08	00/01	0.80	0.81
82/83	0.99	0.83	92/93	0.94	1.14	01/02	0.67	0.64
83/84	1.37	1.42	93/94	0.76	0.87	02/03	1.23	1.24
84/85	1.36	1.43	94/95	0.80	0.94	03/04	1.04	0.84
85/86	0.79	0.79	95/96	1.18	1.03	04/05	1.45	1.38
86/87	1.33	1.43	96/97	0.62	0.51	05/06	0.89	0.91
87/88	0.72	0.65	97/98	1.38	1.28	moyen	681.47	631.95
88/89	0.82	0.88						

Les valeurs du coefficient pluviométrique obtenues montrent une alternance entre les années excédentaires et les années déficitaires. Cette évolution est indiquée par la figure 06 et qui met en évidence les différentes années excédentaires et les années déficitaires au niveau des deux stations (les Salines et Ben M'hidi).

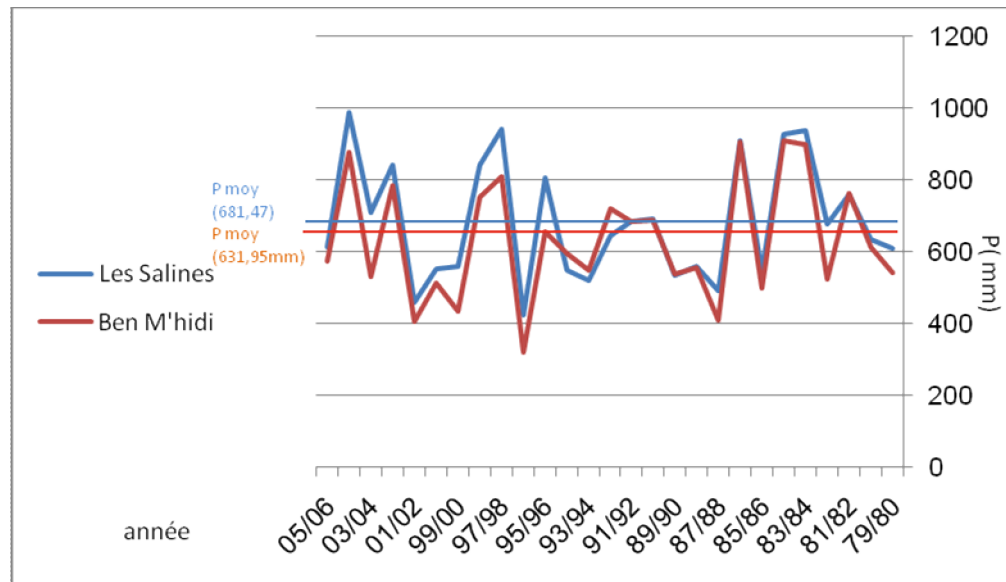


Figure 06: Evolution des précipitations annuelles des deux stations durant la période d'observation (1979/2006).

IV. Courbe pluvio - thermique: (voir Figure: 07 et 08)

Le climat de la station des Salines se caractérise par une saison humide, cette dernière se caractérise par une forte pluviométrie et une baisse de température, elle s'étend du début du mois d'octobre avec une précipitation importante qui atteint son maximum pendant le mois de décembre (122.63 mm au Salines) et le mois de janvier (106.51 mm à la station de Ben M'hidi) et prend fin en mois de mai.

Pour ce qui est de la saison chaude qui s'étend du début de mai jusqu'à la fin de septembre, elle est marquée par une forte évaporation provoquée par l'augmentation de la température ($T > 25.50\text{ }^{\circ}\text{C}$), et la diminution de la précipitation ($P < 3\text{ mm}$).

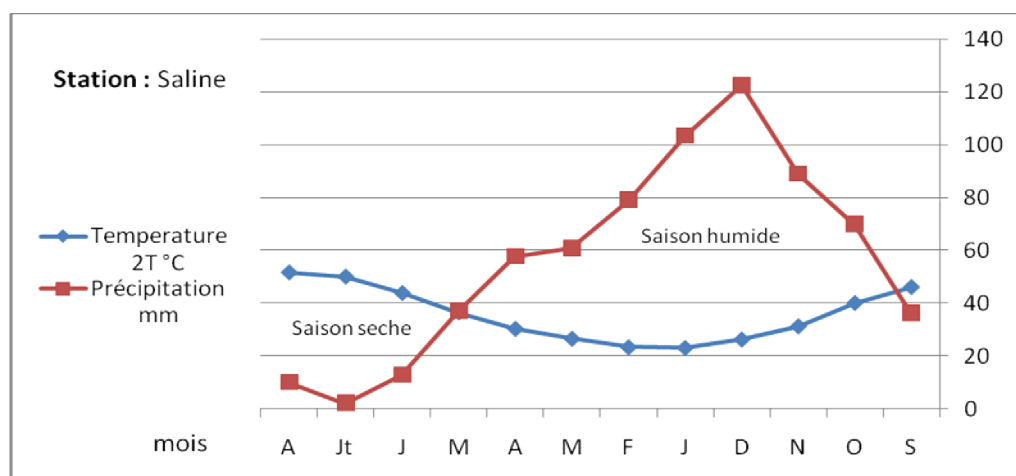


Figure 07: Diagramme pluvio – thermique de la station des Salines (79/06)

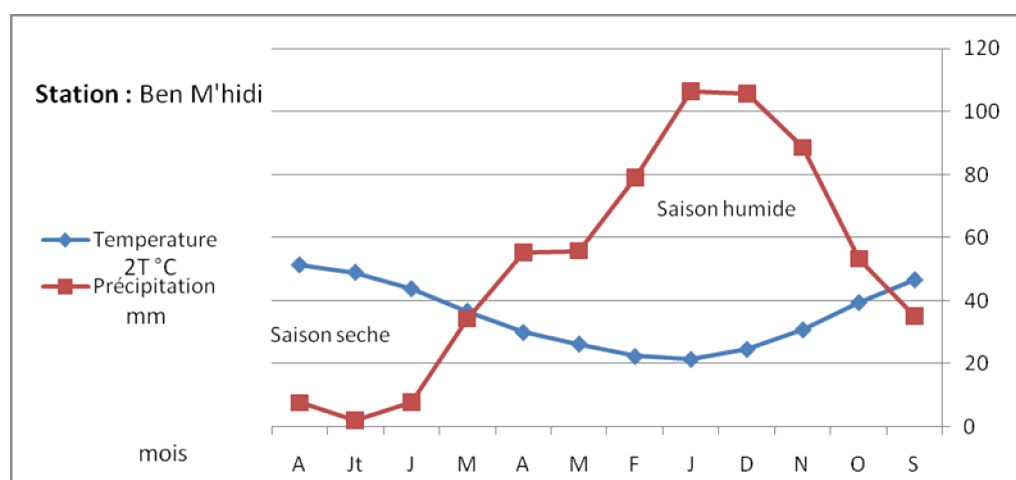


Figure 08: Diagramme pluvio – thermique de la station de Ben M'hidi (79/06)

IV.2. Calcul du bilan hydrique selon la formule de C.W Thornthwaite:

Le bilan de Thornthwaite permet d'estimer pour chaque mois : L'évapotranspiration potentielle en mm.

- ✓ L'évapotranspiration réelle en mm.
- ✓ La réserve facilement utilisable (RFU) en mm.

Ce terme présente la quantité d'eau disponible dans le niveau superficiel du sol. La RFU est égale à 100 mm pour les deux stations (P. Brochet et Al, 1975).

- ✓ L'excédent d'écoulement (Ex) en mm dans le cas ou:

$$\text{ETP} = \text{ETR} \text{ donc la RFU est à son maximum (100 mm).}$$

L'excédent, est appelé aussi pluie efficace, est le reste des eaux de pluie constituent l'écoulement et l'infiltration.

- ✓ Le déficit agricole (DA) en mm, il résulte de la différence entre l'ETP et l'ETR.

Il présente la quantité d'eau qu'il faudrait apporter aux cultures pour que la sécheresse ne l'atteigne pas.

Ici, l'évapotranspiration potentielle calculée d'après la formule de Thornthwaite est:

$$ETP = 16 (10 T / I)^a \cdot K \dots (03)$$

$$a = (1.6/100) I + 0.5 \dots (04)$$

Avec:

ETP : Evapotranspiration potentielle mensuelle en mm;

T : Température moyenne mensuelle en °C.

I : Indice thermique annuelle où $I = \sum L^{12} \cdot i$ et $i = (T/5)^{1.514}$ (05)

IV.3. Interprétation du bilan de Thornthwaite:

On remarque que lorsque la RFU est totale, il y a un surplus d'eau accompagnée par un écoulement et quand elle commence à diminuer, on a un épuisement du stock peu à peu au point qu'il sera complètement vide.

Ici, il y aura un déficit agricole (le déficit agricole à partir du mois de juin jusqu'au mois d'octobre pour les deux stations). La reconstitution du stock s'observe au mois de novembre avec une RFU égale à 51.83 mm à la station des Salines et 51.66 mm à la station de Ben M'hidi. La RFU atteint son maximum (100 mm) au mois de décembre et reste ainsi jusqu'au mois d'avril.

Pour la station des Salines, l'écoulement commence en décembre et ce termine au mois d'avril avec une somme de 216.31 mm et la même chose pour la station de Ben M'hidi avec une somme de 199.14 mm.

Tableau 11: Bilan hydrique selon la méthode de C.W.Thornthwaite pour la station des Salines (1976 - 2006).

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Tot
P(mm)	36.30	70.01	89.04	122.63	103.44	79.15	60.86	57.77	37.06	12.95	2.19	10.07	681.47
T(°C)	23.03	20.01	15.61	13.11	11.53	11.65	13.25	15.13	18.25	21.90	25.00	25.79	17.85
i	10.09	8.16	5.60	4.30	3.54	3.60	4.37	5.35	7.10	9.36	11.43	11.99	84.89
K	1.05	0.91	0.75	0.70	0.73	0.78	1.02	1.15	1.32	1.33	1.33	1.24	-
ETP(m)	107.31	71.62	37.21	25.11	20.63	22.47	37.32	53.84	87.56	123.79	158.32	156.39	901.57
ETR(m)	36.30	70.01	37.21	25.11	20.63	22.47	37.32	53.84	87.56	62.45	2.19	10.07	465.16
RFU(m)	0	0	51.83	100	100	100	100	100	49.50	0	0	0	-
EXC(m)	0	0	0	49.35	82.81	56.68	23.54	3.93	0	0	0	0	216.31
DA(mm)	71.01	1.61	0	0	0	0	0	0	0	61.34	156.13	146.32	436.41

Tableau 12: Bilan hydrique selon la méthode de C.W.Thornthwaite pour la station de Ben M'hidi (1976 - 2006).

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Tot
P(m)	35.27	53.34	88.71	105.70	106.51	79.08	55.88	55.39	34.30	7.96	2.09	7.71	631.95
T(°C)	23.30	19.70	15.39	12.31	10.74	11.19	13.15	14.98	18.32	21.89	24.48	25.66	17.59
I	10.28	7.97	5.48	3.91	3.18	3.39	4.32	5.27	7.14	9.35	11.08	11.89	83.08
K	1.05	0.91	0.75	0.70	0.73	0.78	1.02	1.15	1.32	1.33	1.33	1.24	-
ETP (mm)	110.77	70.60	37.05	23.00	18.68	21.52	37.80	54.08	89.71	125.18	153.58	156.07	898.04
ETR (mm)	35.27	53.34	37.05	23.00	18.68	21.52	37.80	54.08	89.71	52.55	2.09	7.71	432.80
RFU (mm)	0	0	51.66	100	100	100	100	100	44.59	0	0	0	-
EXC (mm)	0	0	0	34.36	87.83	57.56	18.08	1.31	0	0	0	0	199.14
DA (mm)	75.50	17.26	0	0	0	0	0	0	0	72.63	151.49	148.36	465.24

V. Conclusion:

L'étude hydroclimatique est indispensable à la compréhension des processus d'alimentation et de la restitution des eaux souterraines d'une région donnée.

Les données climatiques attribuent à la région un climat méditerranéen caractérisé par deux saisons distinctes: l'une pluvieuse et humide et l'autre sèche et chaude.

La région d'étude reçoit des précipitations annuelles moyennes de l'ordre de 681.47 mm au Salines et 631.95 mm à Ben M'hidi et de températures annuelles moyennes de l'ordre de 17.85°C (Salines) et 17.59 °C (Ben M'hidi).

La moyennes annuelle de l'humidité relative de l'aire à la station des Salines est d'une valeur de 74,47 % (1975/2005), alors que la moyenne annuelle de la vitesse des vents est de 3,1 m/s pour la même station de mesure.

L'ajustement à la loi normale (loi de Gauss) pour les précipitations moyennes annuelles aux stations des Salines et de Ben M'hidi nous a permet de déduire un écart type de 165,35 pour la St des Salines et 164,32 pour Ben M'hidi.

L'estimation de la période de retour (T) des précipitations moyennes annuelles nous permet aussi de distinguer en fonction de la fréquence F : d'une part, une année de pluie minimale avec 15 et 29 ans respectivement pour les stations des Salines et de Ben M'hidi.

D'autre part, une pluviométrie qui est supérieure à celle de l'année pluie max tout les 33 et 20 ans respectivement pour les Salines et Ben M'hidi. La reconstitution du stock commence au mois de novembre et s'achève au mois de mai.

L'épuisement du stock du sol s'observe au mois de mai et la nécessité d'irriguer s'impose surtout pour la période allant du mois de Juin au mois d'octobre où l'on constate un déficit agricole pouvant atteindre 156.13 mm (Salines) et 151.49 mm (Ben M'hidi).

Chapitre III

hydrogéologique

I. INTRODUCTION :

Il est bien évident que l'interaction entre les bonnes conditions hydroclimatologiques et les aspects géologiques assai diversifiés de l'ensemble du territoire de la wilaya d'El Tarf, que la commune du même nom n'en fait qu'une partie, donne à celui-ci un caractère hydrogéologique particulier traduit par une multitude de systèmes de nappes souterraines interconnectés et interdépendants l'un de l'autre gérant les drains des eaux souterraines du bassin versant de la Mafragh en direction de la mer.

II. RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINES DANS LA WILAYA D'EL TARF :

Les ressources en eaux souterraines dans la région d'El Tarf (territoire de la wilaya) proviennent essentiellement de l'exploitation de 8 nappes dont la répartition des besoins est décrite dans le **Tableau 13** ci-dessous :

Tableau 13: Débits exploitables des différentes nappes souterraines dans la région d'El Tarf (2008)

Nappes sollicitées	Nombre de forages	Volume théorique hm ³ /an	Forages existants			Communes desservies
			Affectations hm ³ /an			
			AEP	IRR	IND	
Nappe dunaire Bouteldja	50 + 3 Sources	33	32,5	0,4	0,1	2F. IRR : 0,4 hm ³ /an. 1F. IND : 0,1 hm ³ /an. 26F. AEP : Annaba 16,7 hm ³ /an. 21F. AEP : El Kala, Berrihane, El Tarf, Ain Assel, Bouteldja et Ben M'hidi.
Nappe côtière d'El Kala	2	0,6	0,6	-	-	1F. AEP : El Kala, El Melha. 1F. AEP : Souk R'guibet.
Nappe côtière d'Oum Teboul	7	2,2	1,95	0,25	-	2F. AEP : Oum Teboul. 1F. AEP : Oued El Hout. 2F. AEP : El Aioun. 2F. IRR.
Nappe alluviale El Tarf-Ain Assel	9	2,6	2,6	-	-	9F. AEP : El Tarf, Ain Assel, Bougous.
Nappe des grès	3	0,56	0,56	-	-	3F. AEP : Bougous, Rmel Souk, Ain Assel.
Nappe alluviale Bouteldja	12	7,65	7,4	-	0,25	6F. AEP : Annaba 3,78 hm ³ /an. 5F. AEP : Chaffia 2,72 hm ³ /an. 1F. IND : Conserverie 0,25 hm ³ /an.
Nappe alluviale Bounamoussa	8	3,85	3,85	-	-	8F. AEP : Asfour, Ben M'hidi, Zerizer.
Nappe alluviale Seybouse	129	44	24,5	17,5	2	33F. AEP : Besbes, Dréan, Echatt. 90F. IRR. 6F. IND : conserverie.
Total	220 + 3 Sources	94,46	73,96	18,15	2,35	

Source : DHW El Tarf (statistiques de l'année 2008)

La plaine d'El Tarf est plus spécialement caractérisée par la nappe alluviale dite «El Tarf – Ain Assel» elle se localise plus précisément au Nord de la ville d'El Tarf occupant presque toute la plaine alluviale d'El Tarf issue d'oued Kébir Est, qui la traverse avec deux autre nappes avoisinantes, et ça, en partant par la nappe de grès à Bougous au Sud-est, ainsi il longe la nappe alluviale d'El Tarf - Ain Assel et en finissant par la nappe dunaire de Bouteldja au Nord-ouest (Fig.09 / source : DHW EL TARF).

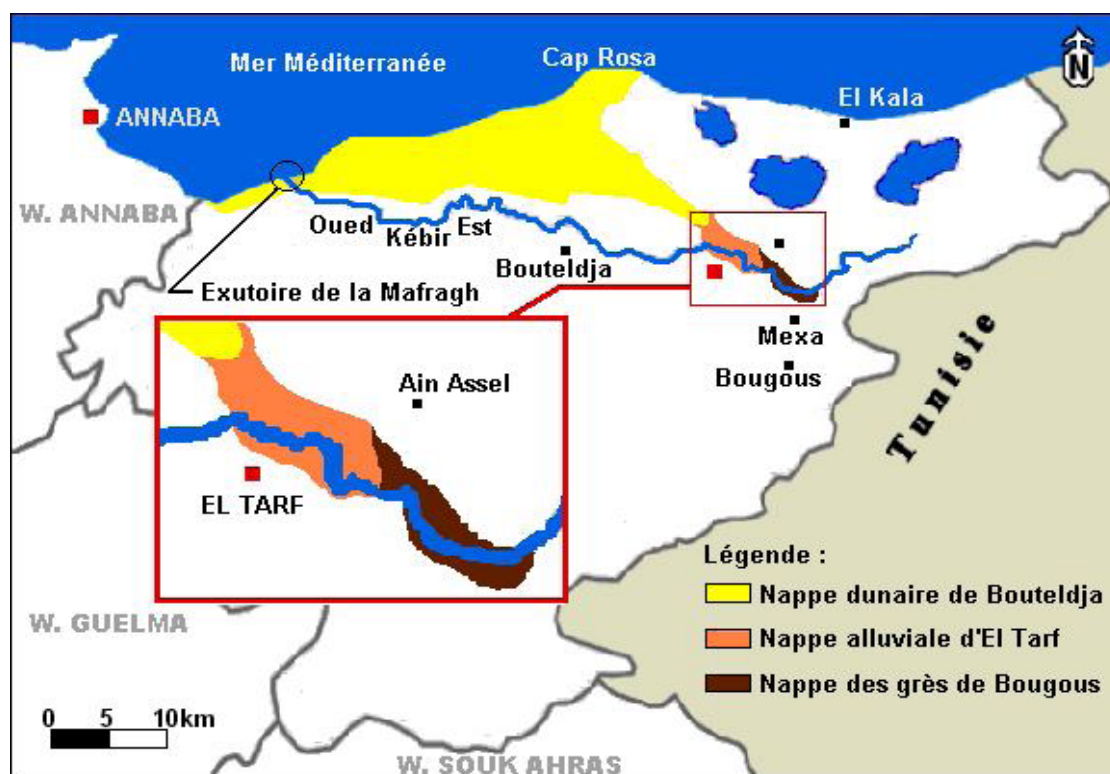


Figure 09 : Carte de situation géographique des nappes de Bouteldja, El Tarf et Bougous

A la verticale on s'aperçoit de l'existence de deux horizons perméables, le premier se consiste a un ensemble de nappes libres englobant la nappe alluviale d'El Tarf et celle dunaire de bouteldja en plus de la nappe gréseuse de Bougous, les deux premières nappes reposent sur un substratum argileux, ce dernier n'est que le toit du deuxième horizon perméable formant ainsi une nappe captive profonde formée essentiellement de graviers caillouteux et reposant sur un substratum marneux. Pour bien assimiler cette structure hydrogéologique on doit jeter un coup d'oeil sur chacune de ces trois nappes à part comme suit :

II. 1. NAPPE DES GRES DE BOUGOUS :

Dite aussi nappe des graviers caillouteux altérés. Elle est peu exploitée du fait de sa surface très limitée, elle se trouve contenue dans les graviers de grès, sables et galets plio-quadernaires, épais de 15 à 20 m.

C'est une nappe libre limitée :

- ❖ Au Nord et à l'Est par une limite perméable au niveau des grès numidiens.
- ❖ Au Sud-est par une limite perméable d'où une relation souterraine avec les eaux du barrage Mexa.
- ❖ Au Sud-ouest par une limite non perméable avec les formations des argiles Numidiennes.

En allant vers le côté Nord-ouest la nappe libre tend à disparaître en laissant place à une nappe gréseuse profonde qui devient captive (nappe profonde de la plaine d'El Tarf) sous un toit d'argile sableuse semi perméable ou plutôt imperméable dans la plupart des cas (toit argileux).

Cette nappe est alimentée par :

- ❖ Les précipitations atmosphériques.
- ❖ Les afflux des eaux souterraines provenant du barrage Mexa.
- ❖ Le réseau hydrologique d'oued Kébir Est au Nord-ouest de la région de Bougous en plus de ses deux affluents : oued Ballouta et oued Bougous.

La transmissivité de l'aquifère peut varier entre $3 \cdot 10^{-3}$ et $3 \cdot 10^{-2}$ m²/s.

II.2. NAPPE ALLUVIALE DE LA PLAINE D'EL TARF :

C'est la nappe qui nous intéresse le plus dans cette approche, du fait qu'elle occupe presque tout le côté Nord du territoire de la commune d'El Tarf, ainsi et comme le **Tableau 01** l'indique cette nappe compte neuf (9) forages (effectués entre 1998 et 2008) qui génèrent un volume théorique de 2,6 à 2,8 hm³/an d'eau, employés pour l'exploitation en eau potable au profit des communes d'El Tarf, Ain Assel et Bougous. La carte de la **Figure 10** ci-dessous nous démontre la répartition géographique de ces forages :

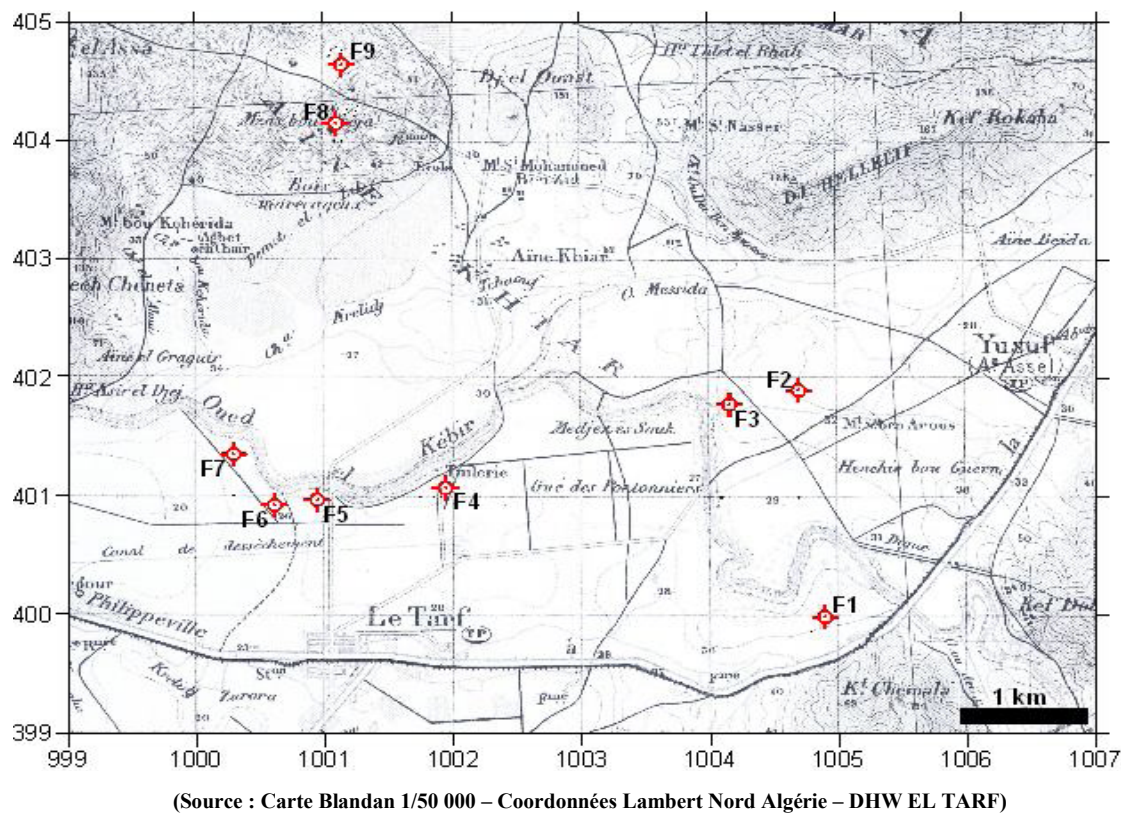


Figure 10 : Carte de répartition géographique des 9 sondages d'eau effectués dans la nappe de la plaine d'El Tarf

On remarque que la plupart de ces forages occupent le côté Sud-est à sud-ouest de la carte et ça du fait que la plaine d'El Tarf constitue un remplissage alluvionnaire considérable légèrement incliné du Nord est au Sud-ouest avec une altitude de 25 mètres de variation, sauf au Nord-ouest où on a le placage des sables issus du massif dunaire de Bouteldja, ainsi ces forages ont été effectués dans des zones bien adaptées pour un bon captage des eaux souterraines. Par contre et selon des forages plus antérieurs (qui datent avant 1990) effectués aux alentours de la localité d'Ain Khiair, les horizons perméables sont d'épaisseur très limitée (moins de 5 m) très souvent alternés par des lentilles argileuses ou marneuses imperméables ou semi imperméable (argiles ou marne sableuse).

La nappe superficielle est contenue dans les formations alluvionnaires (ainsi dit la nappe alluviale de la plaine d'El Tarf) et les argiles plus ou moins sableuses, elle est séparée de la nappe captive par un horizon argileux (souvent marneux) qui constitue le toit de la nappe captive et le substratum de cette nappe. Les précipitations efficaces alimentent cette nappe. Au centre de la plaine la fluctuation est très importante avec une amplitude de 4,5 à 5,5 m ; cela est dû à l'exploitation par d'enceints puits effectués à Ain Khiair, on s'approchant d'Oued Kébir Est la fluctuation diminue (voir les niveaux statiques et dynamiques des forages 3, 4, 5 et 6 de la Fiche

en annexe) avec une amplitude qui ne dépasse pas les 3 m, ceci peut être dû au drainage de l'oued kébir Est lui même. La fluctuation au Sud-ouest de la plaine varie de 1.5 à 2.5 m, cela est dû à l'alimentation de la nappe par oued Guergour (le forage 7 indique des niveaux : statique et dynamique plus hauts par rapport aux autres forages avoisinons, tel le cas du forage 6, voir Fiche : F6, F7 en annexe). La transmissivité variée entre : $1,5 \cdot 10^{-3}$ et $5 \cdot 10^{-3}$ m²/s.

La nappe profonde a été mis en évidence par l'établissement des coupes hydrogéologiques dans les différentes directions en se basant sur les données fournies par les fiches de forages (Source : fiches des forages effectuées entre 1988 et 1990 en plus des forages de la Fiche en annexe), ce qui a permis la détermination d'une nappe captive, de plus en plus étendue d'Est à l'Ouest en direction de l'écoulement des eaux d'oued Kébir Est, avec un substratum marneux, et un toit argileux d'épaisseur importante de 15 à 20 m en moyenne (voir Fiche : F1, F2, F6, F7 et F9 en annexe), cette nappe s'incline progressivement vers l'Est avec une pente qui devient plus accentuée aux limites de la nappe dunaire de Bouteldja vers le Nord-est.

Le réservoir de cette nappe est constitué de galets et de graviers ayant une puissance de 4 à 15 m et allant même jusqu'à 30 m. La transmissivité d'après les essais de forages et de l'ordre de 10^{-3} à $3 \cdot 10^{-3}$ m²/s à l'Ouest, jusqu'au $9 \cdot 10^{-3}$ m²/s à l'Est de la plaine.

En général la nappe de la plaine d'El Tarf se limite :

- ✓ Au Nord par une limite perméable au niveau des grès Numidiens.
- ✓ Au Nord-est et au Sud-ouest par deux limites perméables d'où une relation souterraine avec la nappe dunaire de Bouteldja et la nappe des grès altérés de Bougous respectivement.
- ✓ Au Sud-est par une limite non perméable avec les formations d'argiles Numidiennes Caractérisant surtout les terrasses Sud de la rive gauche d'oued Kébir Est (grand Pourcentage d'alluvions argileux).

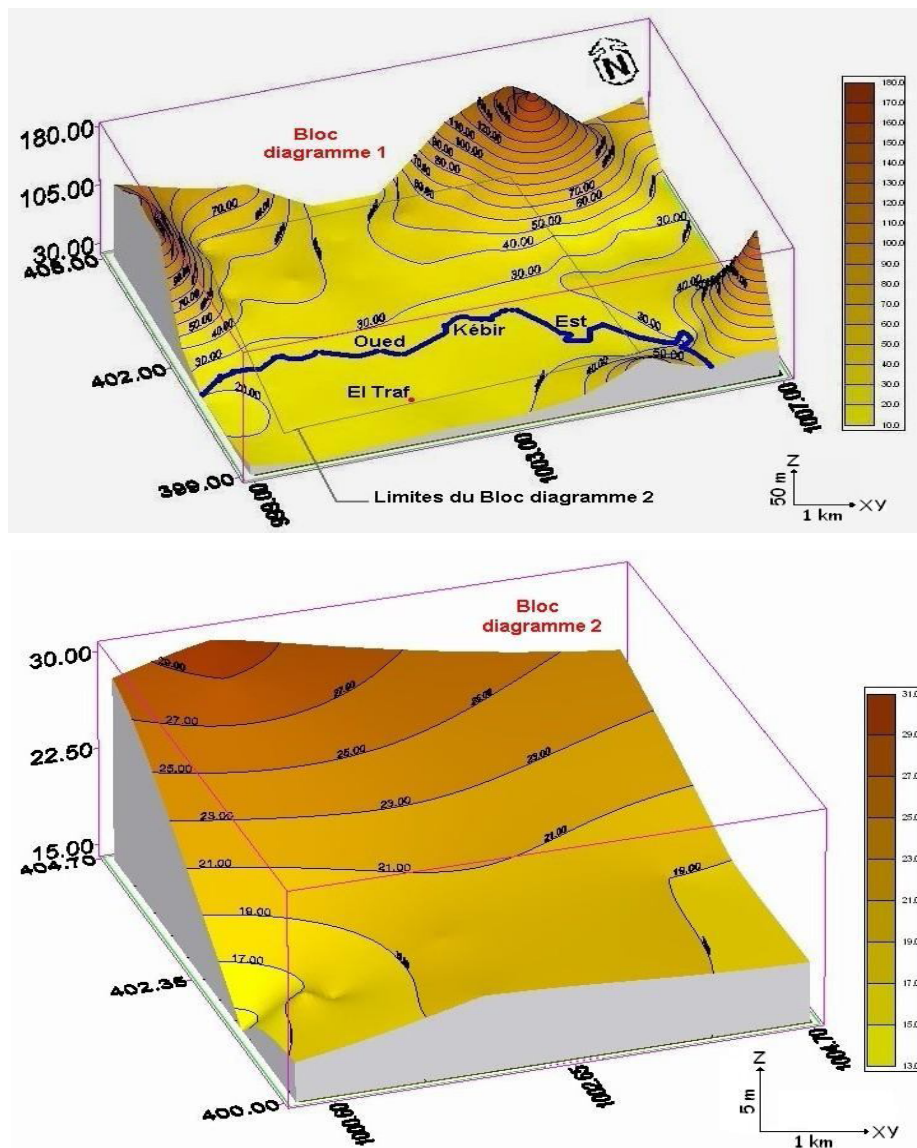


Figure 11 :a. Bloc diagramme 1 : topographie de la plaine d'EL Tarf et

b. Bloc diagramme 2 : allure de la surface piézométrique de la nappe d'El Tarf

(X et Y : coordonnées Lambert Nord Algérie / Z : altitude en mètres)

Rappelant que la nappe profonde continue son élargissement vers l'Est sous les argiles alluvionnaires et Numidiennes imperméables, et vers le Nord-est sous la nappe dunaire de bouteldja ou on la trouve à des profondeurs de plus en plus considérables qui vont de 40 à 80 m et même jusqu'à 100 m sous le sous sol. La nappe alluviale de la plaine d'El Tarf est alimentée essentiellement par les eaux atmosphériques, mais la dénivellation en pente de la plaine d'El Tarf vers le Sud, procure une alimentation supplémentaire par les eaux issues des formations Numidiennes au Nord ainsi que les eaux provenant de la nappe dunaire de Bouteldja au Nord-est. On dirait que cette pente change de direction en arrivant vers la rive droite d'oued Kébir Est ou on a une forte dénivellation à l'Ouest du diagramme allant d'Est en Ouest.

II.3. NAPPE LIBRE DU MASSIF DUNAIRE DE BOUTELDJA :

La nappe du massif dunaire de Bouteldja appartient au système aquifère (Annaba - Bouteldja) inclus dans l'hydro-système du bassin versant de la Mafragh, produisant en moyenne 660 hm³/an dont seulement 146 hm³ sont régularisés par deux barrages. Les eaux souterraines de cette nappe sont d'excellente qualité (résidus secs = 20 à 300 mg/l) ; sa réserve renouvelable est en moyenne de 40 hm³ mais fluctuant en fonction des aléas climatiques caractérisant la rive Sud de la méditerranée marquée par des cycles de sécheresse prolongés. Le massif dunaire de Bouteldja est formé par des sables éoliens, épais de 20 à 120 m et souvent a intercalations argileuses sous forme de lentilles. Le massif forme une nappe libre reposant sur un substratum argilo-gréseux imperméable à semi imperméable. Limitée (fig.16):

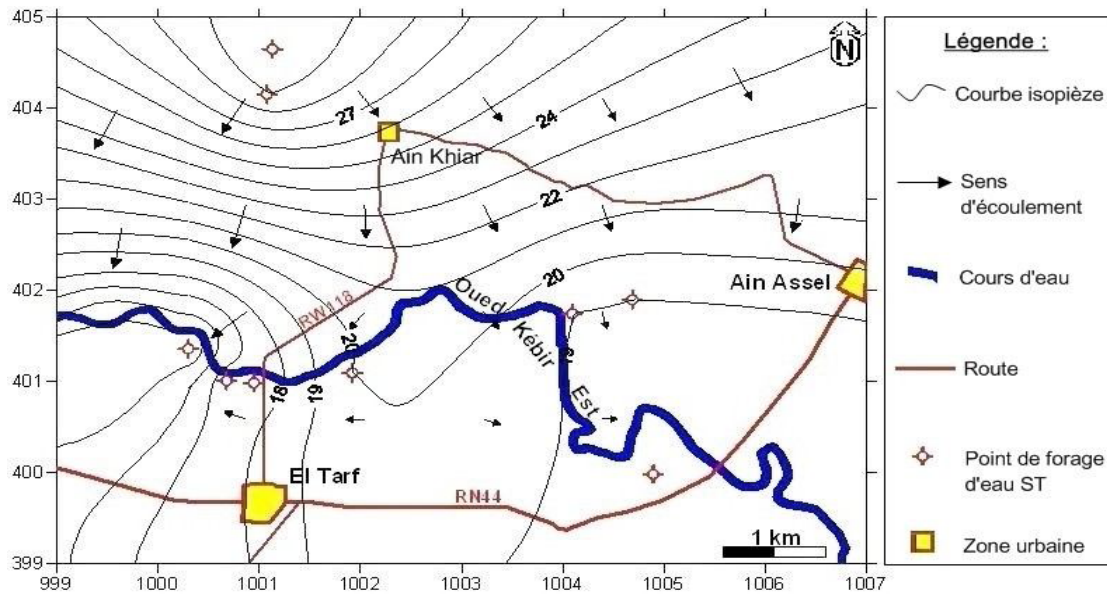
- ✓ Au Nord par la mer méditerranée d'où la relation souterraine perméable.
- ✓ Au Sud par une limite perméable avec les terrasses d'oued Kébir Est et avec la nappe profonde des graviers dans les quelles elle se décharge.
- ✓ A l'Est il existe deux limites, l'une perméable au niveau des grès Numidiens et l'autre imperméable dans la zone argileuse.
- ✓ A l'Ouest par une limite perméable avec les marécages.

Le massif dunaire est alimenté par les précipitations atmosphériques, les marécages (marais de Righia et Oum Agreb), le ruissellement à part des pentes favorables de formation Numidiennes ; ainsi que les affluents d'oued Kébir Est. Le massif dunaire de Bouteldja est caractérisé par une perméabilité peu variée qui va de zéro (0) dans les zones colmatées par les argiles, ou par certains passages de sable rouges à ($6 \cdot 10^{-4}$) m/s dans les formations des sables blancs purs. La transmissivité variée entre ($5 \cdot 10^{-4}$) et ($1,3 \cdot 10^{-2}$) m²/s.

III. BREF APERÇU SUR LA PIEZOMETRIE :

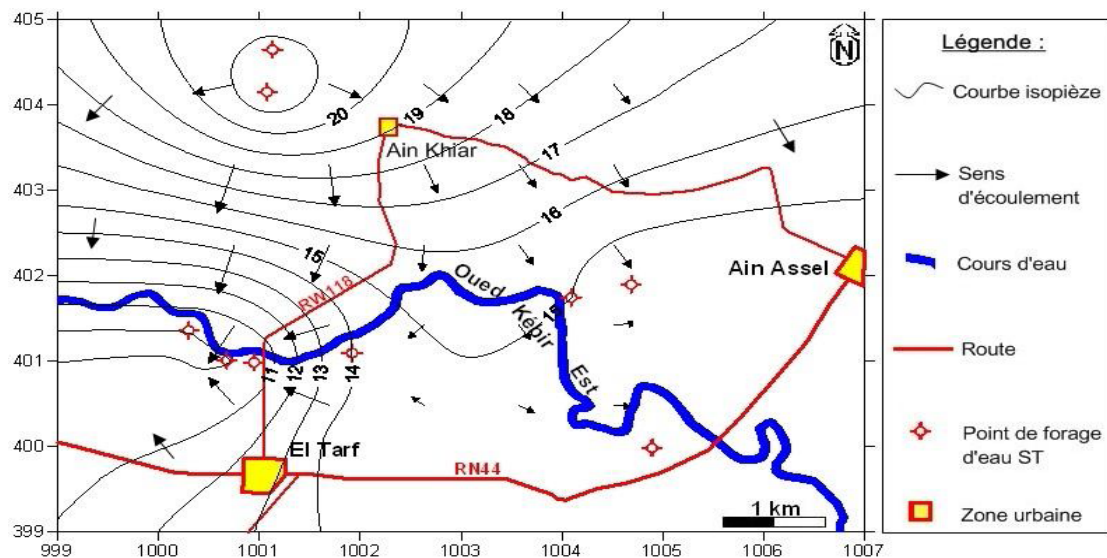
La piézométrie reste un outil indispensable dans l'étude hydrogéologique des nappes d'eau souterraine afin d'en fixer leurs conditions aux limites exactes, et d'en déterminer les sens d'écoulement des eaux de ces nappes, dans le but d'arriver à une bonne maîtrise des aquifères d'eau que ce soit du coté exploitation ou du coté protection. Rappelant d'abord, le manque de données fiables et suffisantes ne procure pas une bonne approche piézométrique sur la nappe des grès de Guergour, bien au contraire des deux autres nappes (plaine d'El Tarf et massif dunaire de Bouteldja) :

III.1. BREF APERÇU SUR LA PIEZOMETRIE DES NAPPES ALLUVIALE DE LA PLAINE D'EL TARF :



DHW El Tarf 2008 (équidistance de 1 mètre)

Figure 12 : Carte piézométrique de la nappe alluviale d'El Tarf (Hautes eaux - Mai 2008)



DHW El Tarf 2008 (équidistance de 1 mètre)

Figure 13 : Carte piézométrique de la nappe alluviale d'El Tarf (Basses eaux - Octobre 2008)

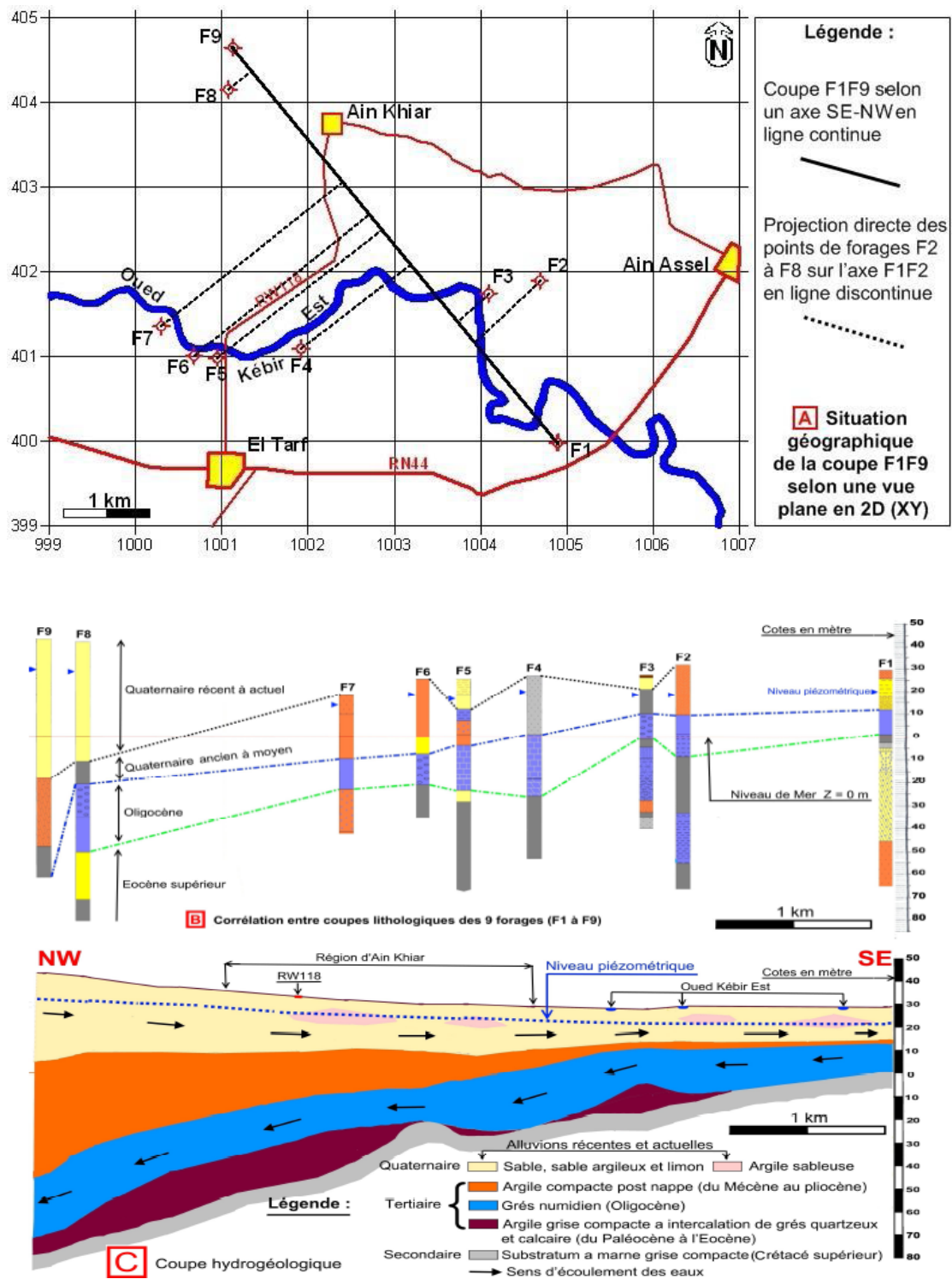


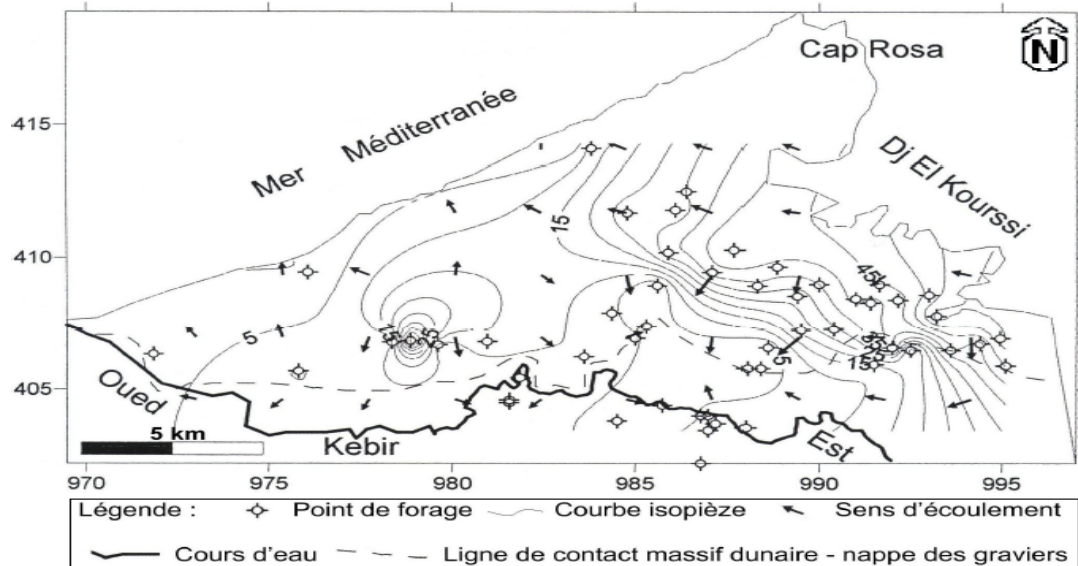
Figure 14 : Coupe schématique Nord-ouest/Sud-est du système aquifère de la plaine d'El Tarf (tirée des résultats des études hydrogéologiques de la DHW d'El Tarf 1988/2008)

D'autre part on peut expliquer ça par l'allure topographique de la plaine d'El Tarf et son influence directe sur l'allure des courbes isopièzes qui paraissent très serrées au Nord (écoulement vers le Sud) et au Sud-ouest (écoulement vers l'Ouest) traduisant ainsi un gradient hydraulique fort ($i = 3 \cdot 10^{-3}$) d'où un écoulement rapide des eaux, dans le côté Est et Sud-est de la nappe les courbes deviennent espacées ainsi on calcul un gradient hydraulique moins fort ($i = 2 \cdot 10^{-3}$) d'où un écoulement moins rapide, ça est dû essentiellement au relief presque horizontal de la plaine dans sa partie Sud-est (Fig.14.C).

A part la différence du niveau piézométrique (4 à 5 mètres) entre les deux cartes (Fig.12/13) il n'y a pas une grande divergence dans l'allure générale des courbes ou le sens d'écoulement des eaux (rappelant que la convergence des courbes au Sud-ouest de la nappe peut être due aussi à un excès de pompage par les forges effectués un peu au Nord-ouest de la ville d'El Tarf) ; en ce qui concerne la nappe profonde on dispose pas de cartes piézométriques mais selon la coupe hydrogéologique de la plaine d'El Tarf (DHW 1988) : l'écoulement des eaux de cette nappe s'effectue du Sud-est au Nord-ouest, en général l'écoulement de ses eaux s'effectue vers la mer au Nord.

III.2. BREF APERÇU SUR LA PIEZOMETRIE DE LA NAPPE DUNAIRE DE BOUTELDJA :

la nappe d'El Tarf, une courte vue sur la piézométrie de ce dernier peut être bénéfique pour comprendre celle de la nappe alluviale d'El Tarf. On ne dispose ici que de la carte des hautes eaux du massif (Fig.15) élaborée en Mai 2002 (carte basée sur les mesures de points de forage effectuées par l'agence nationale des ressources hydrauliques ANRH en plus de carte antérieure du mois de Mai 1994 [Ramdani 1996]) cette carte montre que l'écoulement souterrain est dirigé vers la mer au Nord et vers les terrasses d'oued Kébir Est au Sud. On observe un écoulement vers la zone Sud-est, caractérisée par les apports venants des reliefs gréseuxargileux. Cette zone d'extension limitée par rapport au Nord, dont la circulation des eaux est beaucoup



ANRH 2002 / RAMDANI 1996 (équidistance de 5 mètres)

Figure 15 : Carte piézométrique de la nappe dunaire de Bouteldja (Hautes eaux - Mai 2002)

⇒

$$i = dH / dL$$

Avec

I : le gradient hydraulique;

dH : différence de charge;

dL : distance entre deux courbes isopièzes concernées.

plus orientée, reste soumise à un écoulement important et rapide compte tenu de l'alimentation de la nappe qui se fait principalement par les précipitations. On note que l'exploitation intensive a modifié la morphologie de la nappe. L'allure des courbes piézométriques est caractérisée par plusieurs axes de drainages liés aux pompages excessifs. Le gradient hydraulique est d'autant plus fort que les courbes sont plus serrées, c'est notamment le cas de la partie Sud/Sud-est correspondant aux sous bassins de Bougies et Bhaim. Ce resserrement est dû essentiellement à une faible perméabilité, par contre au centre et au Nord/Nord-Ouest, les courbes isopièzes sont espacées traduisant un faible gradient. Le manque de points de mesure dans la partie Ouest (à l'Ouest d'oued Bounamoussa) laisse l'allure de la piézométrie indéfinie, en général la carte de la Fig.16 au dessous mis en claire la relation de cette nappe avec son entourage (conditions aux limites) ainsi que le comportement et les principaux sens d'écoulement des eaux de surface entrant et les eaux souterraines sortant.

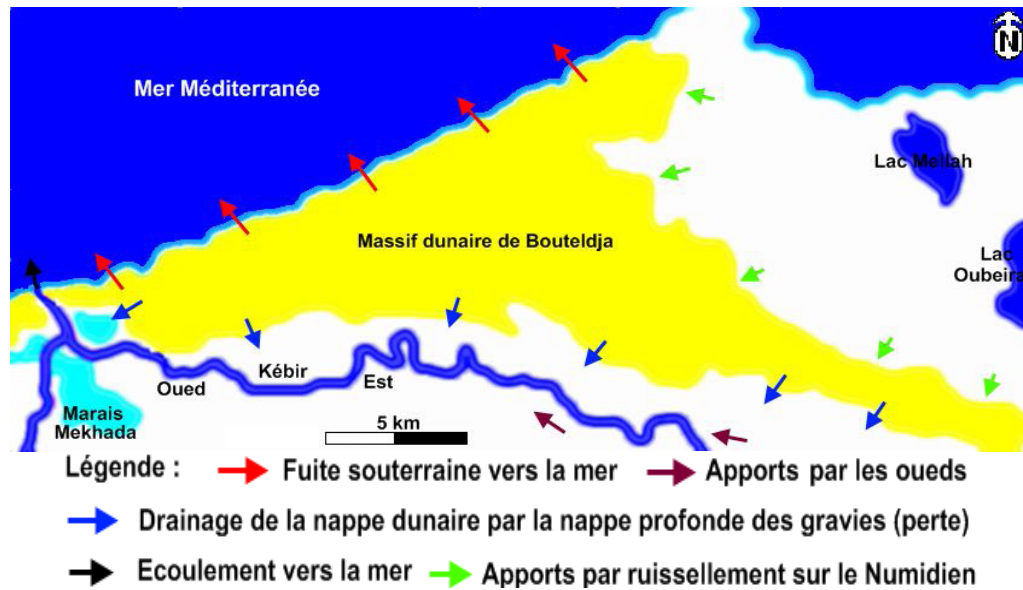


Figure 16 : Carte des conditions aux limites de la nappe libre du massif dunaire de Bouteldja

Comme l'on a défini précédemment, le massif dunaire de Bouteldja fait partie du bassin versant de la Mafragh (associé avec la plaine des graviers de Bouteldja) et qui se subdivise en sous bassins versants "bassin de Bourdim, de Bou Glès et oued El B'haim". Le principal oued est El Kébir Est (d'un apport moyen annuel de 270 millions de m^3). Ce dernier traverse la région de Bouteldja depuis la Tunisie (la source) jusqu'à la sortie en rejoignant oued Bounamoussa à l'embouchure puis il se jette dans la mer (oued Mafragh) après un parcours de 46 Km (Boudoukha, 1990).

L'étude hydrogéologique contribue à la définition de la géométrie et de la structure de la nappe dans le but de bien comprendre les processus de circulation des eaux souterraines et des conditions aux limites (entrées et sorties d'eau), sans oublier la détermination des paramètres hydrodynamiques (Transmissivité, perméabilité, coefficient d'emménagement ... etc.).

IV. la nappe libre du massif dunaire :

Le long du littoral, un énorme massif dunaire s'amplifie de l'Ouest vers l'Est, il prend alors une orientation NW – SE conforme aux vents dominants. Le massif dunaire de Bouteldja est essentiellement constitué de sables éoliens qui forment une nappe libre, avec des épaisseurs comprises entre 20 et 120 m et l'existence d'intercalations des lentilles argileuses qui correspondent à d'anciens fonds de marais (Ait Hamou, 1983) :

1. La nappe libre du massif repose sur un substratum argilo – gréseux imperméable à semi perméable.

2. La nappe du massif dunaire de Bouteldja est alimentée par les précipitations atmosphériques, les marécages (marais Righia et Oum Lagareb), le ruissellement à partir des pentes favorables des formations numidiennes et en fin les affluents de l'oued El Kébir Est.
3. La nappe du massif dunaire est limitée :
 - ✓ Au Nord par la mer Méditerranée d'où la relation souterraine perméable.
 - ✓ Au Sud par une limite perméable avec les terrasses de l'oued El Kébir Est et avec la nappe profonde des graviers dans lesquelles elle se décharge.
 - ✓ A l'Est une limite perméable au niveau des grés numidien et une limite imperméable dans la zone argileuse.
 - ✓ A l'Ouest une limite perméable avec les marécages.
4. La partie orientale du massif dunaire est caractérisée par une augmentation progressive des épaisseurs, suivant une première direction Est – Ouest de l'oued Bourdim (20 m) à l'oued Bou Glès (75 m), puis une seconde direction NE – SW du Djebel Koursi (70 m) vers Nechaa Righia (150 m). cet aquifère est considéré comme vulnérable du fait de la présence de la mer et des marécages salés à son pourtour.
5. Le massif dunaire de Bouteldja se subdivise en plusieurs bassins versants (fig.17)



Figure 17 : Carte de la répartition des bassins versants dans le massif dunaire de Bouteldja

V. Interprétation des coupes hydrogéologiques :

Pour bien expliquer la nature de l'aquifère libre du massif dunaire et suivre sa piézométrie et le sens de l'écoulement ainsi que la morphologie du substratum, quatre coupes hydrogéologiques ont été établies à partir des fiches techniques des forages et de la géophysique (Toubal, 2002).

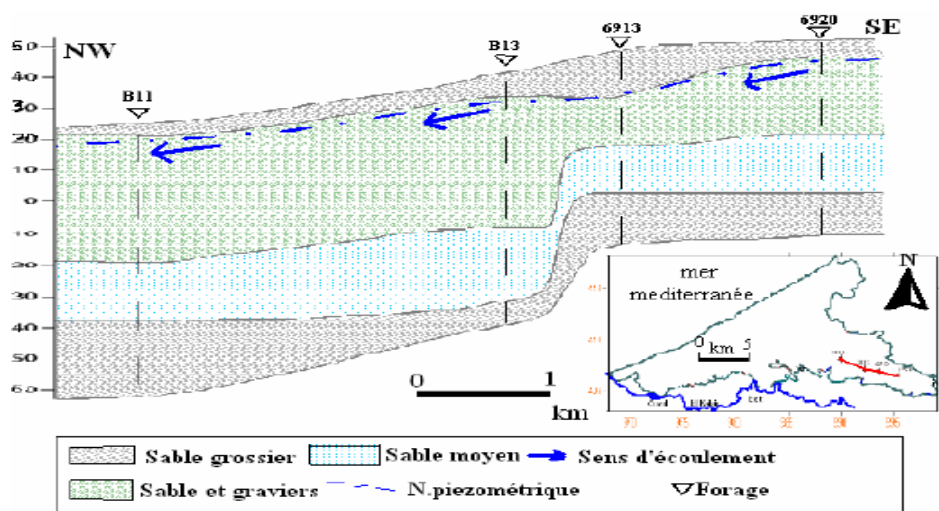
V.1. Coupe hydrogéologique (A): (fig.18)

De direction NW - SE, la nappe libre de Bouteldja, comme précédemment décrite, est contenue dans les sables éoliens généralement hétéro – métriques, contenant une forte proportion de sables fins, moyens et grossiers. Ces sables sont localement argileux, d'où la difficulté de représenter la proportion d'argile en tout point.

Le sens d'écoulement des eaux est de direction Est - Ouest où l'épaisseur des sables décroît en contact du numidien argileux de l'Est.

V.2. Coupe hydrogéologique (B): (fig.18)

De direction NW - SE, la coupe montre que les formations aquifères reposent sur un substratum numidien à l'Est de Bou Glès et sur la surface d'érosion du remplissage mio – pliocène du fossé de Ben M'hidi à l'Ouest. Au Sud, les sables passent latéralement aux graviers de la nappe profonde. Des intercalations de lentilles argileuses sont remarquées dans les forages.



(A)

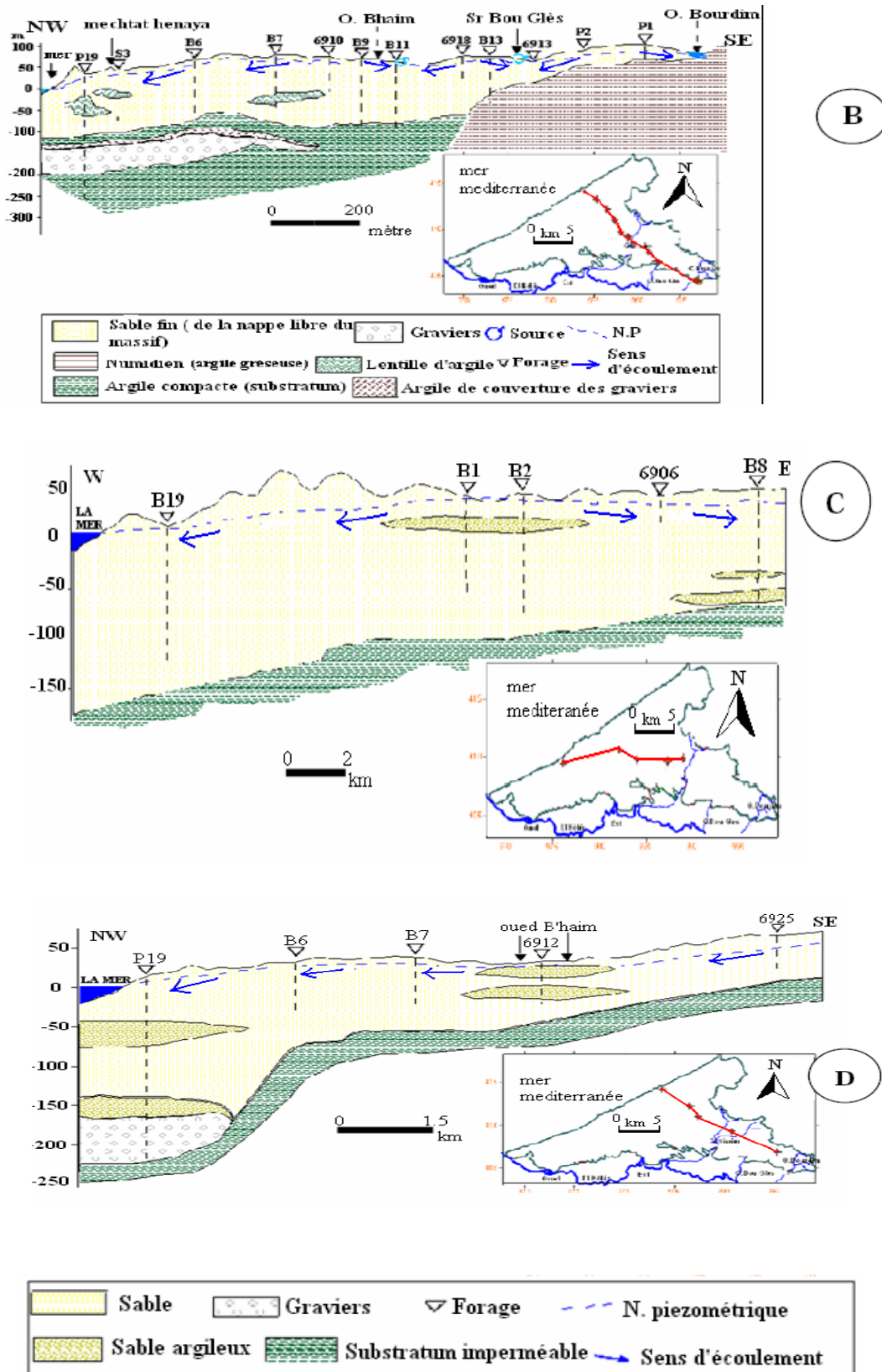


Figure 18 : Coupes hydrogéologiques dans le massif dunaire de Bouteldja (D'après les coupes des forages et la géophysique)

Le sens d'écoulement des eaux prend une orientation selon la topographie des dunes sableuses avec une présence des sources d'eau, mais généralement la direction est SE - NW.

V.3. Coupe hydrogéologique (C): (fig.18)

De direction Ouest - Est, la coupe montre que la nappe dunaire constitue de sables fins et moyens, de couleur beige et jaune : renferme souvent des intercalations argileuses sous forme de lentilles.

L'analyse des colonnes stratigraphiques des forages B19, B1, B2, 6906 et B8 montre que les épaisseurs de l'aquifère sableux varient de 62 m à l'Est jusqu'à 175 m à l'Ouest. Le sens d'écoulement des eaux prend deux directions, l'un Est – Ouest vers la mer et l'autre Ouest – Est vers oued El B'haim suivant une topographie bien précise.

V.4. Coupe hydrogéologique (D): (fig.18)

De direction NW - SE. Une partie importante de la coupe présente les caractéristiques d'une nappe libre, formée essentiellement de sable dunaire d'une épaisseur allant de 20 m à l'Est et 220 m à l'Ouest, avec une présence des intercalations de lentilles argileuses.

Le sens d'écoulement des eaux souterraines est SE – NW. On observe un passage latéral de faciès entre la nappe libre et la nappe profonde des graviers.

VI. Les conditions aux limites:

Afin de bien reconnaître les lieux et les zones de communication de la nappe libre du massif dunaire (fig.19), on a pris en considération les mesures prises à partir de la carte piézométrique et aussi une vue détaillée sur les données géologiques. On a donc:

- ❖ Au Nord, la mer méditerranéenne représente un exutoire à la nappe;
- ❖ A l'Est, les formations du grès numidiens constituent soit des limites perméables si les grès sont peu argileux, soit des limites imperméables lorsque la trame argileuse est importante.
- ❖ Au Sud, suivant une ligne parallèle à l'oued El Kébir Est et en reliant Djebel Bourdim à la Mafragh, les bordures d'El Kébir Est représentent un second exutoire de la nappe libre. La relation oued – nappe est confirmée du débit d'El Kébir Est qui s'accroît régulièrement en allant de l'amont vers l'aval.
- ❖ A l'Ouest, un substratum qui semble profond qu'à l'Est, sur lequel repose la formation de l'aquifère libre. Il peut être imperméable à semi perméable (Kherici, 1985).

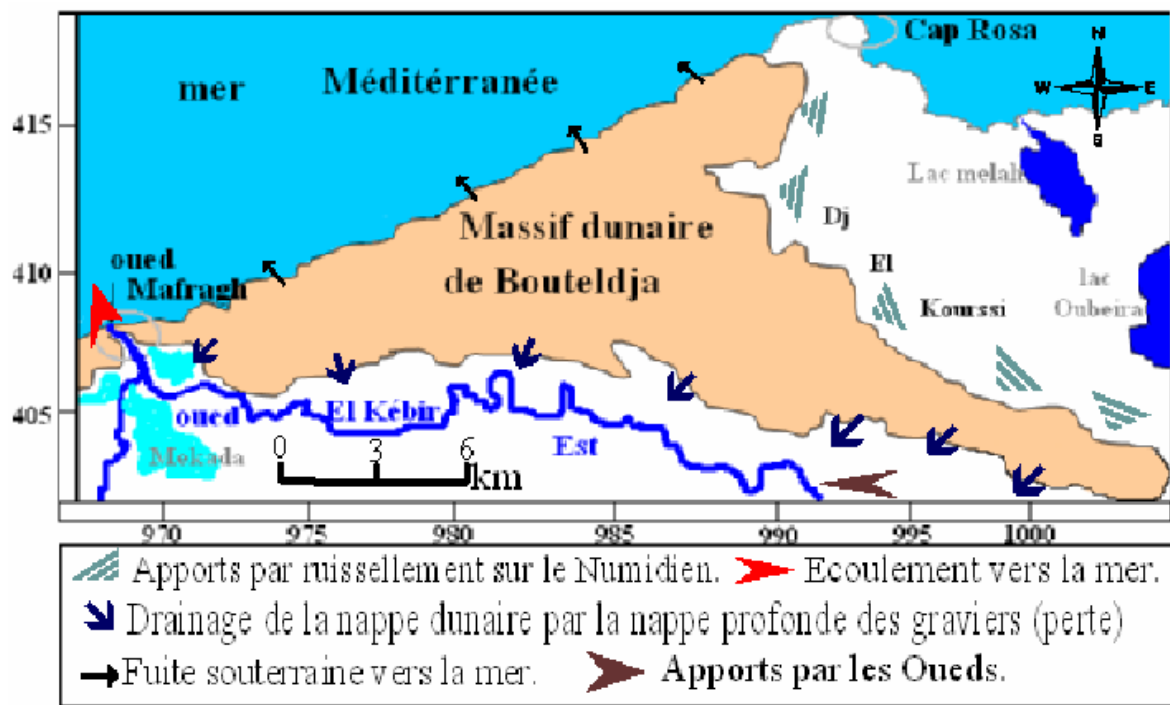


Figure 19 : Carte des conditions aux limites de la nappe libre du massif dunaire de Bouteldja

VII. Caractéristiques hydrodynamiques :

L'étude hydrodynamique que nous allons présenter ci-dessous a pour principal objectif de faire la synthèse des principales connaissances acquises sur l'aquifère du massif dunaire de Bouteldja. Elle se fixe également pour objectif de déterminer les principaux paramètres entrant dans l'estimation du bilan.

VII.1. Géométrie de l'aquifère :

Les données des sondages mécaniques et électriques permettent de définir un aquifère continu dans les formations sableuses de granulométrie fine à moyenne. Localement, ces formations peuvent renfermer des proportions plus ou moins importantes d'argile.

Cet important réservoir repose sur un substratum argilo-gréseux du numidien dont la profondeur varie de 300 m dans la zone d'El Haraba à +50 m au Sud - Est de la région d'étude.

Les essais de corrélation entre les différents logs de sondages permettent de mettre en évidence une relation assez nette au Sud entre la nappe libre du massif dunaire et la nappe des graviers (fig.20). Cette dernière draine en fait la nappe libre sur toute la limite Sud.

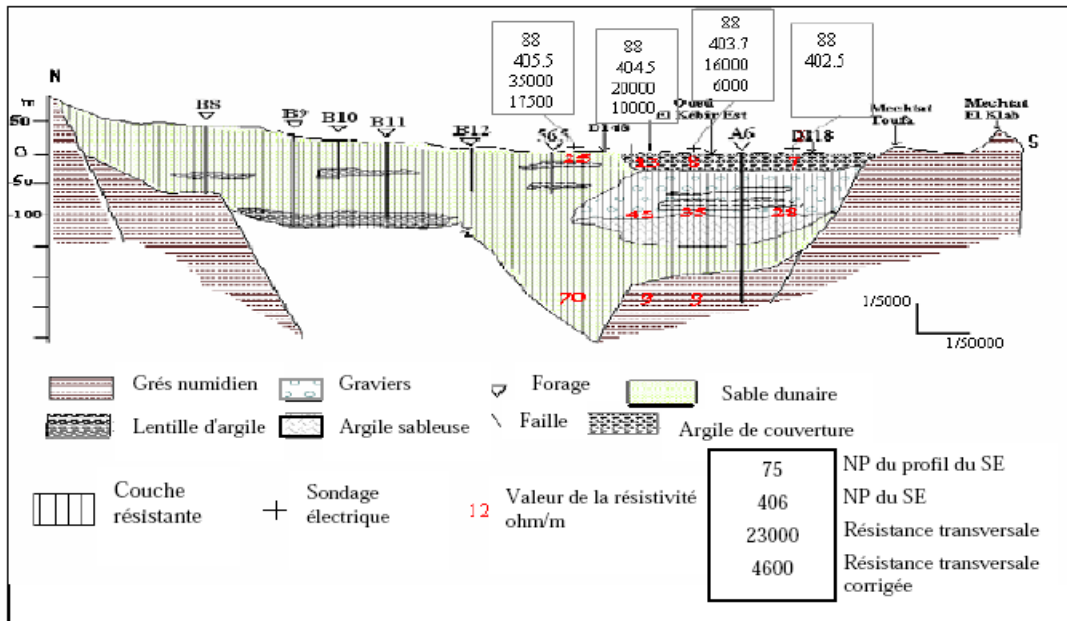


Figure 20: Interprétation hydrogéologique (D'après B.Gaud, 1976).

VII.2. La répartition des forages dans le massif dunaire de Bouteldja :

Un grand nombre de forages de différentes profondeurs ont été implantés dans la nappe du massif dunaire, la plupart des forages se localise précisément dans la partie Est du massif dunaire (fig. 21). La profondeur de ces forages renseigne sur le type de la nappe.

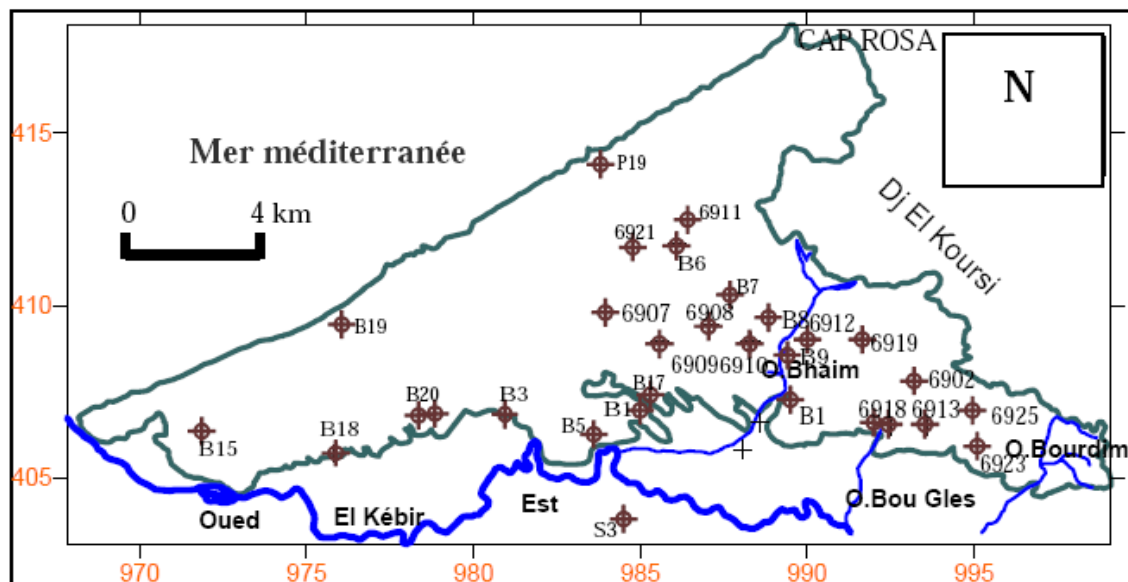


Figure 21 : Carte de la répartition des forages dans le massif dunaire de Bouteldja

VII.3. Interprétation des résultats des pompages d'essai :

Par application des méthodes graphiques: méthodes de Jacob, on a interprété les résultats des pompages d'essais.

VII.4. Caractéristiques hydrodynamiques de la nappe libre:

Les valeurs des paramètres hydrauliques de l'aquifère (épaisseurs saturées, transmissivité, perméabilités et coefficients d'emmagasinement) sont données dans le tableau (voir annexe).

En général, les forages ont montré une grande dispersion des valeurs de transmissivité provoquée essentiellement par des variations importantes de la puissance de l'aquifère et de sa perméabilité.

VII.4.1. Epaisseur saturée :

Plus de 78% des ouvrages montrent une épaisseur saturée comprise entre 100 et 160 m. La valeur moyenne est de l'ordre de 119 m.

Géographiquement, les épaisseurs mouillées ont tendance à se répartir comme suit (fig.22):

- La nappe est très puissante, épaisseur supérieure à 130 m, dans les régions situées au Nord Ouest en bordure de la mer et autour des marécages de Necha Righia et de Oum Lagereb.
- La puissance la plus faible est atteinte à l'Ouest dans la région de Bourdim, Dj.Siah, et Dj Koursi où les proportions d'argile demeurent très importantes, ce qui limite par conséquent la fraction de la couche saturée.
- A l'Ouest de la région d'étude, les épaisseurs décroissent du Nord vers le Sud et de l'Ouest vers l'Est.

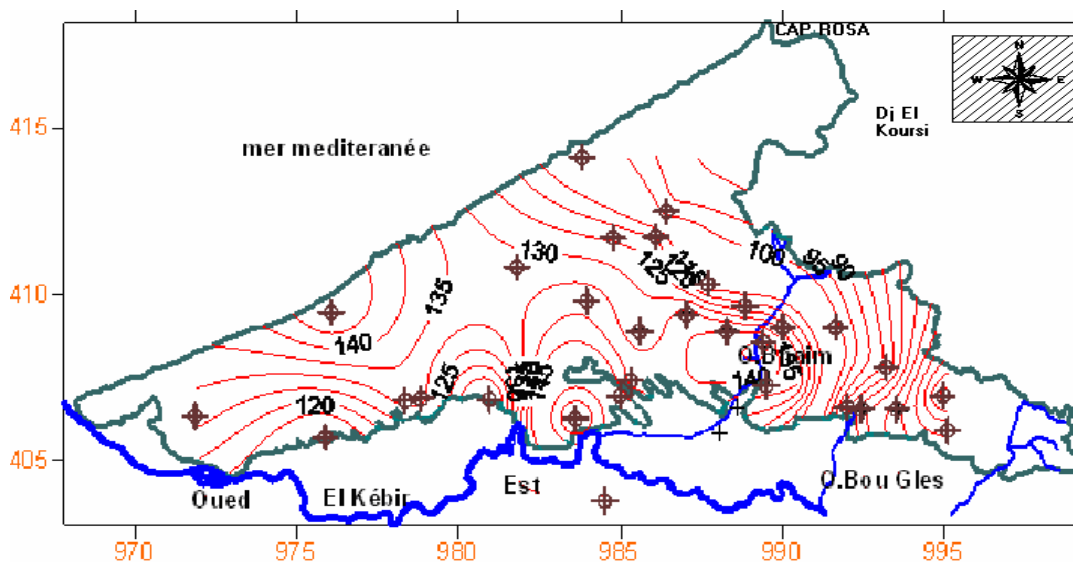


Figure 22: Carte d'égal épaisseur de la couche saturée de la nappe libre du massif dunaire de Bouteldja.

VII.4.2. Transmissivité :

D'une façon générale, la répartition statistique des transmissivité montre une grande dispersion des valeurs. L'analyse de la carte des transmissivité montre une variabilité du paramètre transmissif lié à la variation de l'épaisseur du sable et de la perméabilité des formations alluviales traversées par le lit de l'oued principal et qui constitue la zone franche avec les dunes.

Géographiquement (fig.23), nous remarquons que les valeurs de transmissivité comprises entre 1 et $3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ se répartissent de l'oued au Nord - Ouest de la zone d'étude. Au Sud, Sud Est par contre les transmissivité s'améliorent et passent de 1 à $0.7 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$.

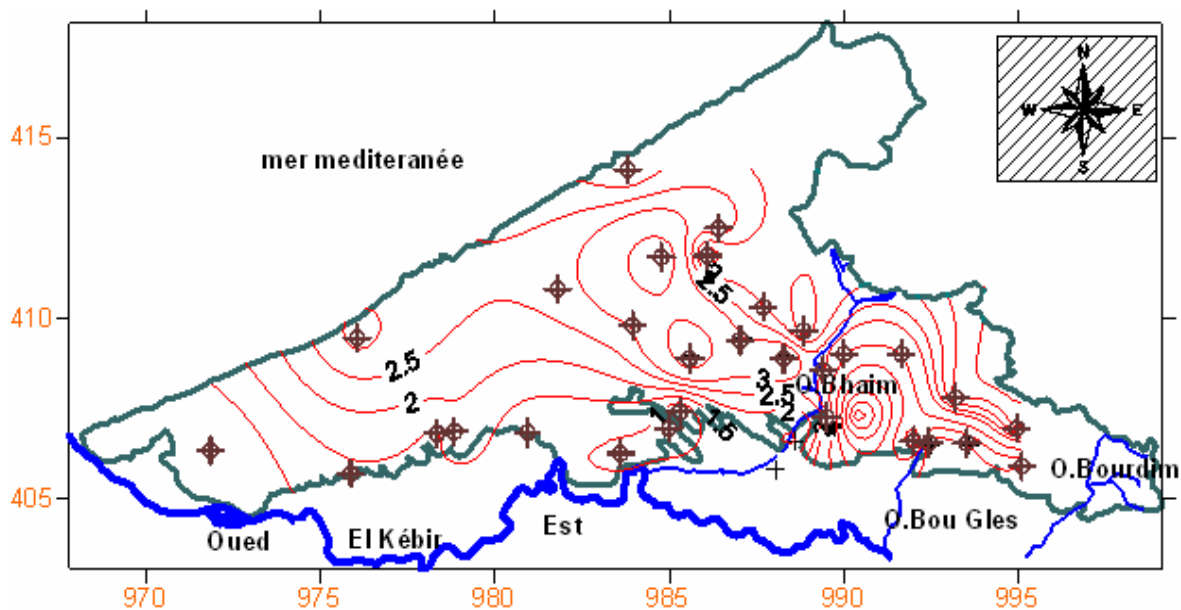


Figure 23: Carte de répartition des transmissivité en $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ de la nappe libre du massif dunaire de Bouteldja.

VII.4.3. Perméabilités :

Pour évaluer la perméabilité des formations dunaires, on a représenté sur la figure ci-dessous la transmissivité de chaque ouvrage en fonction de l'épaisseur saturée. Cette relation permet d'évaluer le coefficient de perméabilité (selon Darcy) K , qui est égale au rapport T/b de la transmissivité à la puissance de l'aquifère b .

D'une manière générale, on constate une très grande dispersion des valeurs, l'ensemble des 33 points se situe entre deux droites de pentes 2,5 et 1. Le coefficient de perméabilité est donc compris entre :

$$K = 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$$

$$K = 1 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$$

La répartition statistique des valeurs de K , obtenues sur les 33 ouvrages en faisant le rapport de la transmissivité à l'épaisseur saturée, permet de déduire les caractéristiques suivantes (fig.24):

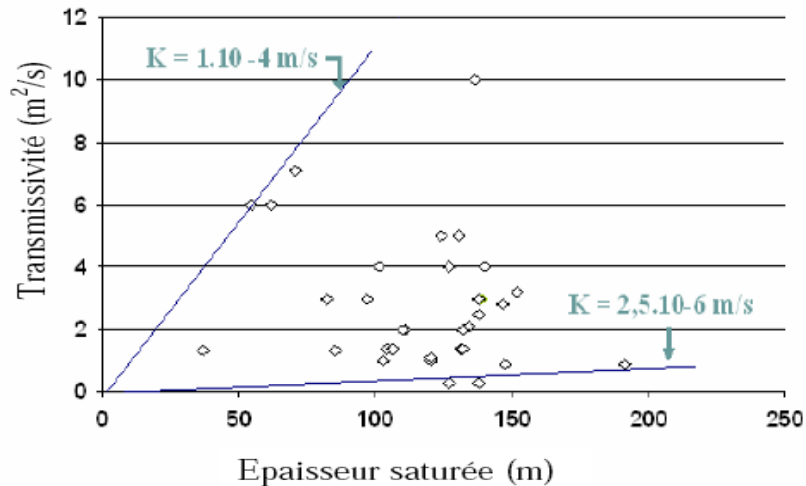


Figure 24 : Estimation de la perméabilité des sables dunaire de Bouteldja.

- La valeur moyenne est de $4 \cdot 10^{-5}$ m/s
- La valeur maximale obtenue sur le forage 6925 est de $3,5 \cdot 10^{-4}$ m/s
- La valeur minimale au forage B1 est de l'ordre de $3,6 \cdot 10^{-3}$ m/s. près de trois valeurs sur quatre (74%) sont comprises entre $5 \cdot 10^{-6}$ m/s et $5 \cdot 10^{-5}$ m/s.

Si on suit la répartition géographique des perméabilités (fig.25), on constate que les valeurs se distribuent de la manière suivante:

- ❖ Les plus fortes valeurs, perméabilités supérieures à $1 \cdot 10^{-4}$ m/s, se situent au Sud – Est de la région, entre la source de Bourdim et le lac noir. Ces fortes valeurs de perméabilités sont dues vraisemblablement aux lessivages des sables par les échanges permanents entre les surfaces d'eau libre et la nappe.
- ❖ Les régions les moins permanentes (perméabilités inférieures à $1 \cdot 10^{-5}$ m/s) sont situées:
 - ❖ Dans la partie Ouest du terrain d'étude;
 - ❖ Dans la partie centrale du cordon dunaire suivant une zone s'étend d'El Haraba au Sud jusqu'à la mer au Nord.

Ces valeurs sont fortement influencées par les fortes proportions d'argile dans l'aquifère.

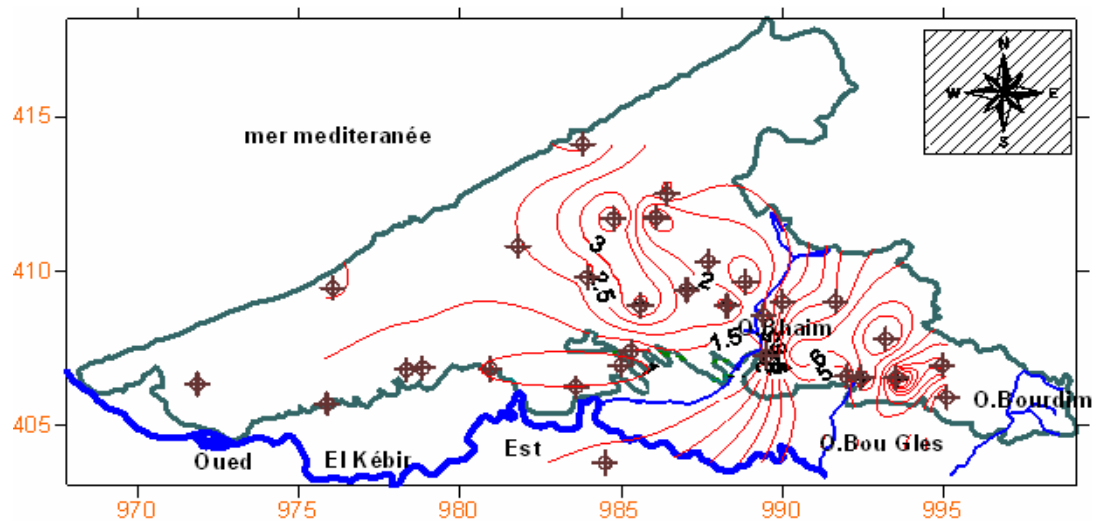


Figure 25: Carte de répartition des perméabilités en 10^{-5} m/s de la nappe libre du massif dunaire de Bouteldja

VII.4.4. Coefficients d'emmagasinement :

Le coefficient d'emmagasinement est utilisé pour caractériser plus précisément le volume d'eau exploitable, il conditionne l'emmagasinement de l'eau souterraine mobile dans les vides du réservoir.

Dans l'ensemble, les valeurs du coefficient d'emmagasinement sont assez homogènes avec une moyenne de 13%. Valeurs conformées à celle obtenues par B.Gaud (1976) et N. Kherici (1985). Les valeurs se situent entre 24% au niveau du B11 et 1.4% au forage B5. Localement, la nappe peut être sous pression sous les formations argileuses et les valeurs du coefficient d'emmagasinement pourraient être plus faibles (fig.26).

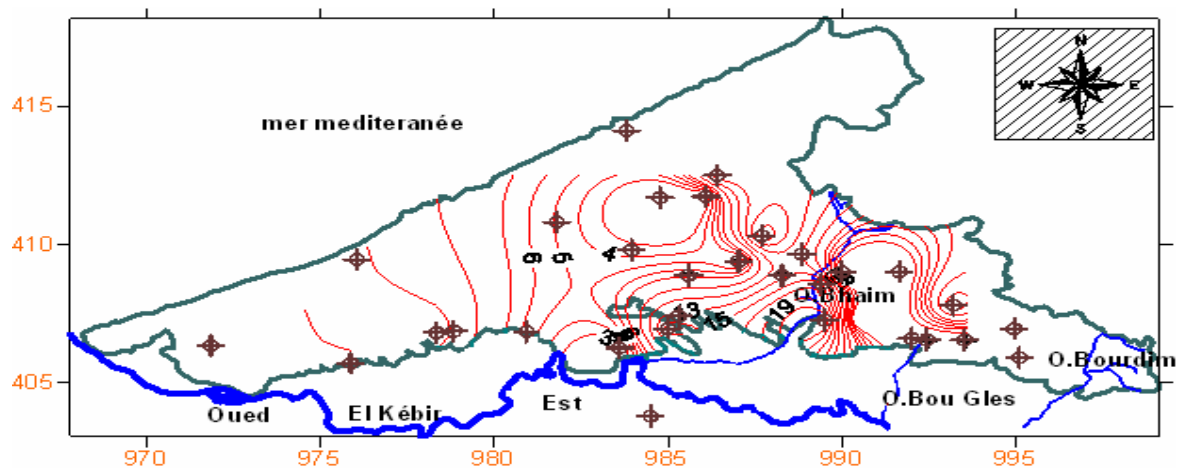


Figure 26: Carte du coefficient d'emmagasinement de la nappe du massif dunaire de Bouteldja.

VII.5. Exemples d'interprétation des données de pompages d'essai :

Pour illustrer les essais effectués dans la nappe du massif dunaire nous donnerons ci - après quelques exemples :

VII.5.1. Au forage F2 :

Le forage F2 a été réalisé en 1989 dans la région de Bordj Ali Bey (X= 492.150 m,Y= 408.400m), le forage a traversé 81 m de sables aquifères.

Pendant le pompage de 48 h à débit constant $Q = 4.5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$ le niveau statique dans le forage est à 7.55 m. La remontée des niveaux dynamiques, après arrêt du pompage, a été observée pendant 22 h. Les données pompage d'essai, rabattements en mètre et temps de pompage en secondes reportées sur un papier semi-logarithmique donnent la droite représentative (fig.28). La pente de la droite permet de calculer la transmissivité de l'aquifère au voisinage du forage :

$$T = \frac{0,183 \cdot 0,045}{0,6} = 5,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 / \text{s}$$

Les rabattements résiduels reportés sur un papier semi-logarithmique, en fonction de la quantité $(1 + t_p/t_r)$, donnent la droite de la figure 34 :

$$T = \frac{0,183 \cdot 0,045}{2,7} = 3,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 / \text{s}$$

On constate que les deux valeurs sont très proches et permettent de déduire une valeur moyenne de T de l'ordre de $4,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

VII.5.2. Essai par paliers de débits au forage 565 :

Le forage 565 a été implanté dans la région de Righia (X = 989.05 , Y = 405.80) (fig.27) et à travers la coupe géologique suivante :

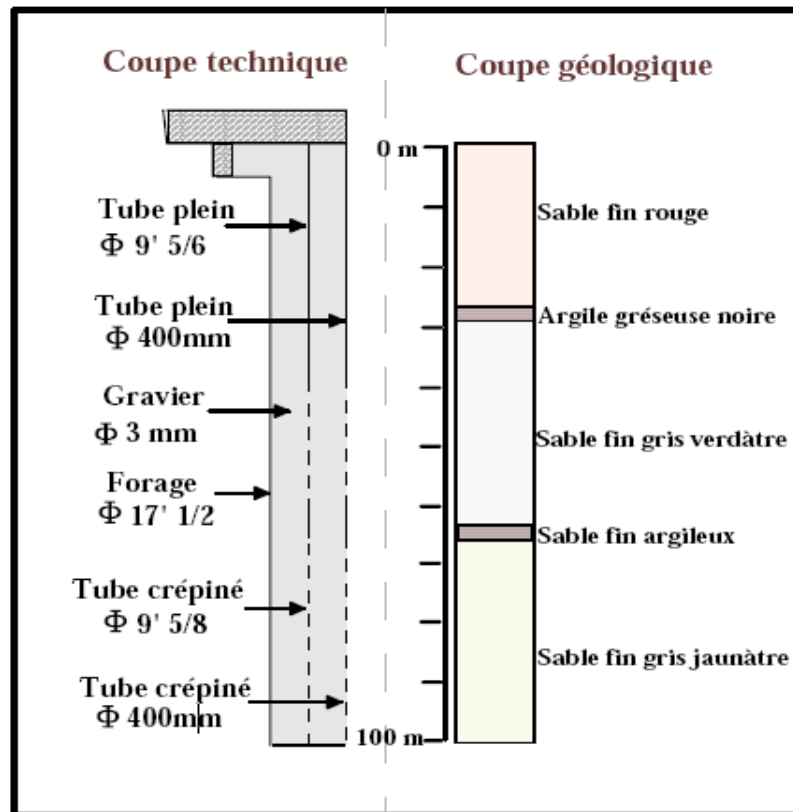


Figure 27 : Log stratigraphique du forage 565 de Righia et sa localisation géographique.

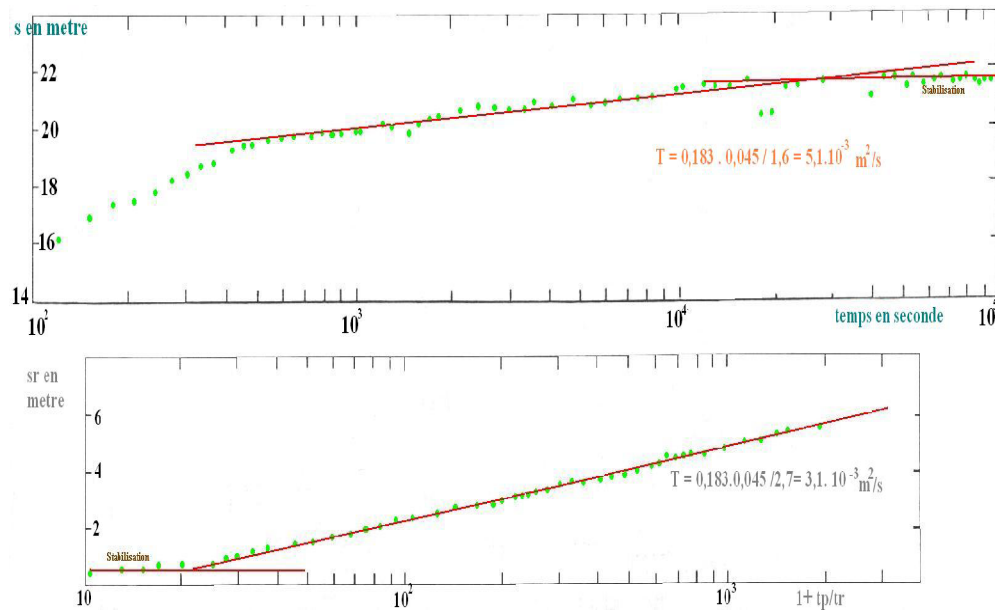


Figure 28 : Graphique de la descente et de la remontée dans le forage F2 (Bordj Ali Bey).

- 0 à 26,5 m : sable fin rouge;
- 26,5 à 28,5 m : argile gréseuse noire;
- 28,5 à 62 m : sable fin gris verdâtre;
- 62 à 65 m : sable fin argileux;
- 65 à 100 m : sable fin gris jaunâtre.

Le forage a été exécuté dans les sables fins et aquifères qui ont posé d'importantes difficultés quant à son équipement l'écrasement de la colonne des tubes pleins et crépines à partir du 52 mètre conduisent à l'installation d'une double colonne d'exploitation composée de :

- une première colonne de 400 mm de diamètre;
- une deuxième colonne de 245 mm de diamètre.

L'espace entre ces deux colonnes étant remplis de graviers de 0 à 3 mm de diamètre (fig.27).

Les essais sur ce forage ont consisté en un pompage par trois paliers de débits croissant dont les résultats sont portés sur le tableau suivant :

Tableau 14: Essai par paliers de débits au forage 565

Palier	Débits Q (l/s)	Durée (h)	Rabatement final (m)
1	8.00	6	12.33
2	12.49	12	19.48
3	20.23	49	33.61

La nappe est légèrement en charge sous une formation argileuse de 2 mètres : le niveau statique étant à 2.06 m au dessus du sol.

Outre ces 3 essais de pompage, la remontée des niveaux a été observée pendant 21 h.

L'interprétation des essais par paliers de débits enchaînés a permis de déterminer la transmissivité de l'aquifère au voisinage du forage. Elle a permis également de déduire les pertes de charges dues au captage.

VII.5.3. Courbe de descente :

☞ Courbe $S/Q = f(t)$

Les données du pompage par paliers enchaînés, rabattements spécifiques (S/Q en m/l/s) et le temps (t en seconde), reportées sur un papier semi-logarithmique donnent les droites représentatives (fig. voir annexe). Les valeurs de la transmissivité sont :

Le 1^{er} palier pour $Q = 8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ on aura :

$$T = 0.183 / c = 0.183 / 0.089 \cdot 10^3 = 2.1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}.$$

Le 2^{ème} palier pour $Q = 1.2 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$ on aura :

$$T = 0.183 / 0.014 \cdot 10^3 = 4.1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}.$$

Le 3^{ème} palier pour $Q = 2.02 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$ on aura :

$$T = 0.183 / 0.078 \cdot 10^3 = 2.35 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}.$$

Pour la courbe de remontée (fig. 29)

La transmissivité calculée est de $8,8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$.

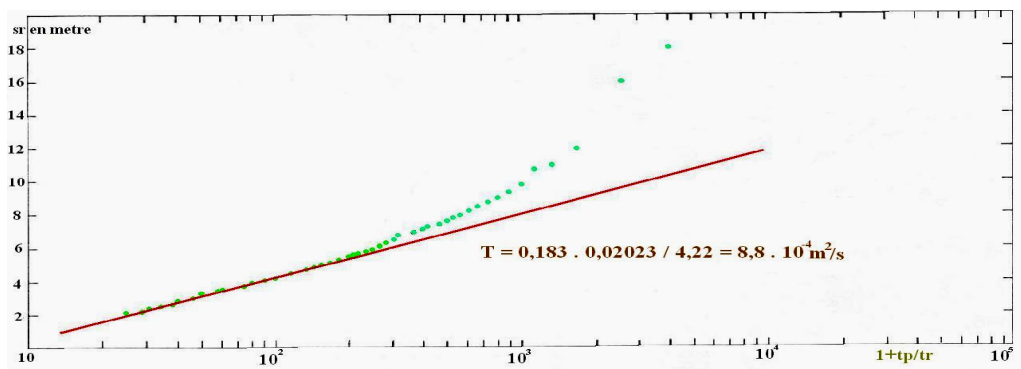


Figure 29 : Graphique de remontée par palier de Débits enchaînés $s = f(\log t)$ dans le forage 565.

VIII. Conclusion :

L'étude piézométrique nous a permis de distinguer deux directions d'écoulement souterrain bien distinctes :

- ✚ Un écoulement se dirige du centre du massif dunaire vers la mer au Nord l'alimentation de la nappe se fait essentiellement à partir des précipitations abondantes et la nature pétrographique des dunes sont favorables à une infiltration importante.
- ✚ Un écoulement qui se dirige vers le Sud et alimentant les marécages, les oueds et la nappe des graviers. Les profondeurs du niveau de la nappe se situent entre + 0.75 m (dans les forages de l'oued El B'haim) et -16.6 m (dans le forages B1).

Les mécanismes de l'écoulement des eaux naturelles (conditions aux limites) s'expliquent comme suite :

- ✓ Au Nord, la mer méditerranée représente un exutoire à la nappe;
- ✓ A l'Est, les formations du grès numidiens constituent soient des limites perméables si les grès sont peu argileux, soient des limites imperméables lorsque la trame argileuse est importante.
- ✓ Au Sud, suivant une ligne parallèle à l'oued El Kébir Est et en reliant Djebel Bourdim à la Mafragh, les bordures d'El Kébir Est représentent un second exutoire de la nappe libre. La relation oued – nappe est confirmée du débit d'El Kébir Est qui s'accroît régulièrement en allant de l'amont vers l'aval.
- ✓ A l'Ouest, un substratum qui semble profond qu'à l'Est, sur lequel repose la formation de l'aquifère libre. Il peut être imperméable à semi perméable.

Les sources étudiées sont toutes pérennes (débitent durant toute l'année). L'étude du tarissement des sources d'eau captant de la nappe dunaire de Bouteldja (Sr Bou Glès, Sr Bourdim et Sr Titri) nous a permis de calculer le volume d'eau emmagasiné (W) dans la couche aquifère alimentant le débit de tarissement à partir du coefficient de tarissement (α) :

- **Sr Bou Glès** : $a = 7,35 \cdot 10^{-4} \text{ jour}^{-1}$, $W = 15,3 \cdot 10^5 \text{ m}^3$
- **Sr Bourdim** : $a = 1,89 \cdot 10^{-4} \text{ jour}^{-1}$, $W = 36,6 \cdot 10^5 \text{ m}^3$
- **Sr Titri** : $a = 1,04 \cdot 10^{-4} \text{ jour}^{-1}$, $W = 116 \cdot 10^5 \text{ m}^3$

L'analyse et la cartographie des résultats de l'étude géophysique et des pompages d'essais ont permis de faire la synthèse des principales caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère dunaires de Bouteldja :

- ✚ L'épaisseur saturée varie de 37 m à 190 m au Nord Ouest de la région.
- ✚ Les zones à faibles transmissivité ($< 5.10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$) se localisent à l'Ouest de la ligne formée par les forages B17, 6907 et 6921. Ces dernières sont fortement influencées par l'augmentation de la fraction argileuse dans le sable. La transmissivité moyenne est de l'ordre de $3,5.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.
- ✚ Les perméabilités les plus fortes ($> 1. 10^{-4} \text{ m/s}$) se situent au Sud Est de la région, entre la source de Bourdim et le lac noir. Ces fortes valeurs sont dues vraisemblablement au lessivage des sables par les échanges permanents entre les surfaces d'eau libre et la nappe. Les faibles perméabilités ($< 1. 10^{-4} \text{ m/s}$) se localisent à l'Ouest et au centre du cordon dunaire. Ces faibles valeurs sont provoquées par les fortes proportions d'argile dans l'aquifère.
- ✚ Les coefficients d'emmagasinement varient de 1,4% à 24% avec une valeur moyenne de 18%. Les essais n'ont pas permis de mettre en évidence les zones où la nappe est en charge les formations argileuses.



Chapitre IV
Vulnérabilité à la pollution

I -Introduction :

L'eau qui s'infiltré dans le sol subit invariablement un certain nombre de changement physiques, chimiques ou biologiques, qui affectent sa composition. Ces modifications sont fonction de la nature des terrains traversés, de la durée du transit mais aussi de la composition initiale de l'eau, particulièrement lorsque cette eau est polluée. Pendant le transport du polluant à travers les couches superficielles, il subit une migration verticale (zone saturée) vers la nappe puis une migration horizontale suivant le sens d'écoulement. Ainsi la zone non saturée joue un rôle dans la filtration et la rétention de certaines substances. Cette action est bien marquée lorsque la granulométrie est faible et l'épaisseur de la zone non saturée est importante et la vitesse de percolation de l'eau dans la nappe est faible, d'où le rôle protecteur de cette zone qui fait un obstacle contre la migration de polluants vers l'aquifère (zone saturée).

II-Objectif du travail :

Plusieurs méthodes (plus d'une vingtaine) de caractérisation de la vulnérabilité des nappes à la pollution sont citées dans la littérature internationale. Ces méthodes sont plus ou moins complexes et plus ou moins précises. L'objet du présent travail est l'évaluation de la vulnérabilité d'El-Tarf en utilisant les résultats de deux méthodes DRASTIC, GOD. Les deux méthodes se présentent sous forme de systèmes de cotation numérique, basés sur la considération des différents facteurs influençant le système hydrogéologique. Ces méthodes affectent une note et un poids variant à chaque paramètre utilisé. Les prélèvements ont été effectués sur les eaux de forages et de puits domestiques pendant une période de plus de 29ans.

III-Qualité des eaux souterraines de la région :

Les eaux souterraines, constituent une ressource de qualité généralement meilleure à celle des eaux de surface, grâce à la protection naturelle des couches du sol sus-jacentes et aux pouvoir filtrant des terrains. Elles permettent des échanges physico-chimiques avec le milieu réservoir en provoquant un retard de la matière polluante par sa destruction ou par sa fixation (**Bousnobra, 2002**). De point de vu qualité les nappes sableuses (d'origine éolienne) du massif dunaire de Bouteldja, malgré leur proximité de la mer, leurs eaux restent de très bonne qualité chimique, présentant généralement des teneurs en sels dissous inférieures aux normes de l'ordre de 150mg/l, où on enregistre des teneurs inférieures à 70mg/l pour les chlorures et les bicarbonates, inférieures à 10mg/l pour les Ca^{++} et Mg^{++} , K^+ , et des valeurs de Na^+ inférieures à 30mg/l. les valeurs en nitrates et nitrites sont très faibles ne présentant actuellement pas un risque de pollution. Cependant le faciès chimique est généralement chloruré-sodique pour lequel la pluie et l'évapotranspiration semblent jouer un rôle prépondérant dans la dilution et la concentration en sels dissous. Par contre la nappe superficielles (El-Tarf) présentent une qualité

d'eau dégradée surtout dans la partie de Ben -Mhidé où les concentrations en chlorures dépassent largement les normes(entre 700-900mg/l), le faciès chimique reste toujours chloruré-sodique (origine géologique: due à l'effet du phénomène de régression et transgression de la mer méditerranée dans cette région pendant le Miocène) les valeurs du calcium dépassent les 100mg/l, par contre les teneurs en sodium sont très élevées de l'ordre de 400mg/l au niveau de s Salines et de Ben -Mhidé. Les teneurs en Nitrates sont généralement moyennes au niveau de la région de Ben -Mhidé et les Salines, faibles au niveau de la plaine d'El-Tarf.

Tableau 15: Qualité des eaux souterraines dans la région d'étude d'après (ADE, Annaba, Débièche 2002)

	Paramètre /Normes OMS (mg /l)	Ca ⁺⁺ 200	Mg ⁺⁺ 150	K ⁺ 20	Na ⁺ 200	SO ₄ ⁻ 250	Cl ⁻ 250	HCO ₃ /	NO ₂ 0.2	NO ₃ 50	R sec 1000	pH6.5- 8.5	Qualité de l'eau
BOU TELDIA	Source Bourdim	8.02	4.86	<3	22.8 5	<20	32.2 9	15.23	<0.04	2.68	84	6.52	Très Bonne
	Forage Righia	6.41	2.43	<3	28.4	<20	34.0	14.43	<0.04	4.74	51	6.54	Très Bonne
	Forage AinKhiar	3.21	3.89	<3	20.7 5	<20	28.3 6	26.96	<0.04	4.19	50	7.16	Très Bonne
	Forage Borjali Bay	8.02	5.83	<3	33.3	<20	45.6	15.23	<0.04	2.92	132	7.13	Très Bonne
ELTARF	F1 EL-Tarf	24.35	5.95	2.14	36.9	68.8	68.7 8	47.7	<0.04	2.63	209	6.95	Bonne
	F2	71.34	16.0	<3	70.6	38.4	54.4	190.9	<0.04	2.2	306	7.92	Bonne
Ben Mhidi	Kef Mourad	384.77	106. 94	8.43	556	422. 4	943. 05	646.6	<0.04	25.9 3	2923	7.36	Médiocre
	FORAGE - 5 K.DREAN	320.64	87.5	6.76	418	403. 2	730. 33	573.4	<0.04	23.2 5	2415	7.01	Médiocre
	Forage Mechmach2	134	59.3	3	162	124	337. 5	108.5 8	<0.04	<2.2	1219	7.64	Médiocre
	Forage Sidi Bouzide	112.22	43.7 5	<3	169. 7	134. 4	362. 13	307.4 4	<0.04	60.6 6	1045	7.1	Médiocre
BESBES	Belahmar	160.32	58.3 3	<3	190. 00	326. 40	283. 62	603.5 3	<0.04	1.39	912	7.42	
	Daghousa	160.32	61.2 5	3	198. 00	124. 80	294. 26	510.9 3	<0.04	17.3 8	749	7.5	Médiocre
ASFOUR	Forage Maiz Bachir	128.25	39.8 6	<3	98.5	38.4	106. 36	607.8	0.07	9.96	500	7.12	Médiocre
	Forage Centre	152.3	42.7 7	<3	101	48	136. 14	527.5	<0.04	<2.2	690	7.28	Médiocre
LES SALINES	Les Salines F6	200.4	70.9 7	5.01	419. 5	255. 36	744. 51	409.9 2	<0.04	1.1	1981	7.41	Médiocre
	Les Salines F8	160.35	58.7	4.06	399. 5	138. 24	550. 34	435.7 8	<0.04	1.1	1558	7.22	Médiocre
	Les Salines F13	147.49	44.7 2	3.73	263	151. 68	371. 55	426.0 2	<0.04	2.81	594	7.36	Médiocre
	Les Salines F15	314.23	71.9 4	4.7	417	220. 8	118 9.87	390.1 5	<0.04	4.23	2599	7.2	Médiocre

IV-Application de méthodes d'estimation de la vulnérabilité :

IV-1 .Méthode DRASTIC :

Cette méthode cartographique de cotation de systèmes paramétriques a été mise au point par l'EPA (**Environmental Protection Agency, 1985**), ainsi que par **Aller et al. (1987)** aux Etats-Unis. Elle a pour but d'estimer le potentiel de pollution des eaux souterraines (**Schnebelen et al. 2002**). Elle permet aussi de déterminer l'indice de la vulnérabilité intrinsèque applicable aux conditions hydrogéologiques rencontrées aux Etats-Unis. Elle a été ensuite modifiée dans le but d'être utilisée dans différentes régions du monde .

Cette méthode comporte sept paramètres, l'ensemble des premières lettres de chaque paramètre constitue le nom de la méthode. Pour chacun des paramètres DRASTIC, une cote est attribuée sur une échelle entière allant de 1 (le moins important) à 10 (le plus important).

Ainsi, chaque paramètre qui a une cote basse implique que la nappe concernée n'est pas Vulnérable à la pollution et inversement. L'échelle étant entière, c'est-à-dire discrète, il est donc naturel que les valeurs obtenues pour chacun des paramètres soient regroupées en classes ayant chacune un nombre unique.

Il s'agit donc de désigner une valeur numérique à chaque paramètre de 1 à 5 qui correspondra au poids et qui augmente selon l'importance du paramètre dans l'estimation de la vulnérabilité, c'est-à -dire, selon son influence sur la vulnérabilité de la nappe. Ensuite, ces cartes sont superposées pour produire une couche résultante où sera calculé l'indice de la vulnérabilité DRASTIC (ID).

Les cartes superposées devront évidemment avoir les mêmes caractéristiques cartographiques, soit un même système de projection, les mêmes unités de longueur, la même étendue géographique ainsi que la même résolution, car tous les calculs se feront sous format matriciel.

Tableau 16: Résumé des propriétés de chaque paramètre et son poids

Symbole	Paramètre		Poids
D	Profondeur de l'eau	Plus cette profondeur est élevée, plus le contaminant met du temps pour atteindre la surface piézométrique	5
R	Recharge nette	Véhicule principal du transport du contaminant. Plus cette recharge est grande, plus le risque de contamination est élevé	4
A	Lithologie de l'aquifère	Caractérisé par la granulométrie des terrains saturés. Plus la granulométrie est fine, plus le piégeage du polluant est grand.	3
S	Sol	Plus le sol est riche en argile, plus l'absorption des métaux lourds est importante, et plus la protection des eaux souterraines est grande.	2
T	Topographie	Plus la pente des terrains est grande, plus le ruissellement des eaux est important et par conséquent la contamination des eaux souterraines est faible.	1
I	Zone non saturée	Son impact est déterminé à partir de la texture des terrains. La percolation du polluant jusqu'à la surface piézométrique est d'autant plus grande que cette texture est favorable (graviers, sables grossiers).	5
C	Perméabilité	Plus ce paramètre est grand, plus le transfert du polluant est rapide.	3

Après avoir défini les différentes classes pour chacun des paramètres déjà cités, il est alors possible de calculer l'indice de la vulnérabilité DRASTIC (ID). Il s'agit de la somme des couches DRASTIC obtenue pour chacun des sept paramètres, pondérés par les coefficients respectifs de ces derniers selon la formule suivante:

$$ID = D_p D_c + R_p R_c + A_p A_c + S_p S_c + T_p T_c + I_p I_c + C_p C_c$$

P : poids

C : cote

A titre d'exemple le paramètre D représente la profondeur de la nappe d'eau; le D_p est le poids des paramètres DRASTIC; enfin le D_c est la cote paramétrique des paramètres DRASTIC.

Tableau 17: Principales sources d'informations utilisées

Paramètres	Principales sources d'information
Profondeur de l'eau	Carte piézométrique : basée sur les données des niveaux piézométriques (H_p) les plus pessimistes que possible durant plus d'une vingtaine d'année (1982-2012). Profils géo-électriques (STROJEXPORT PRAGUE, 1975) de la plaine de Bouteldja
Recharge nette	Etude hydrogéologique (Khérici, 1982, 1993) Bilan hydrique (stations : des salines, Bouteldja, kef merad, Ben M'Hidi, Ain Assel,)
Milieu aquifère et zone non saturée	Coupes de forages Etude des cartes géologiques Etude géophysique
Topographie	Cartes topographiques
Nature du sol	Cartes géologiques et topographiques
Conductivité hydraulique	Carte de transmissivité Coupes de forages Etude hydrogéologique (Khérici 1993, 1982)

IV-1-1. Le Massif Dunaire de Bouteldja :

Les cartes sont établies en fonction de systèmes d'indication, ce qui facilite la mise en œuvre de chaque paramètre

a. Le paramètre profondeur de l'eau (D)

La détermination de ce paramètre au niveau de la nappe des sables a été faite sur la base de la carte piézométrique, effectuées en 1983(Khérici).

Nous définissons ainsi six classes (Fig. 30) réparties comme suit :

Classe (01) : occupe toute la partie Ouest du massif dunaire de Bouteldja. La profondeur de cette classe dépasse les 31 m, avec un indice de vulnérabilité partiel égal à 5;

Classe (02) : sa profondeur varie entre 30 et 22.5 m, avec un indice de vulnérabilité partiel de 10; cette classe se trouve dans la partie Est de la plaine et Nord du massif.

Classe (03) : elle longe la précédente, avec une profondeur allant de 15m jusqu'à 22 m, et un indice de vulnérabilité partielle égale à 15.

Classe (04) : caractérisée par un indice partiel de 25 et une profondeur d'environ 9 à 15m. Elle se situe au Nord de la région de Righia.

Classe (05) : occupe la partie Sud de Bordj Ali Bey, sa profondeur varie entre 4.5m et 9 m ou on un indice de vulnérabilité partiel de 35.

Classe (6) : cette classe présente un intervalle de profondeur allant de 1.5 à 3m et un indice de 45. Elle caractérise la partie Nord du massif dunaire.

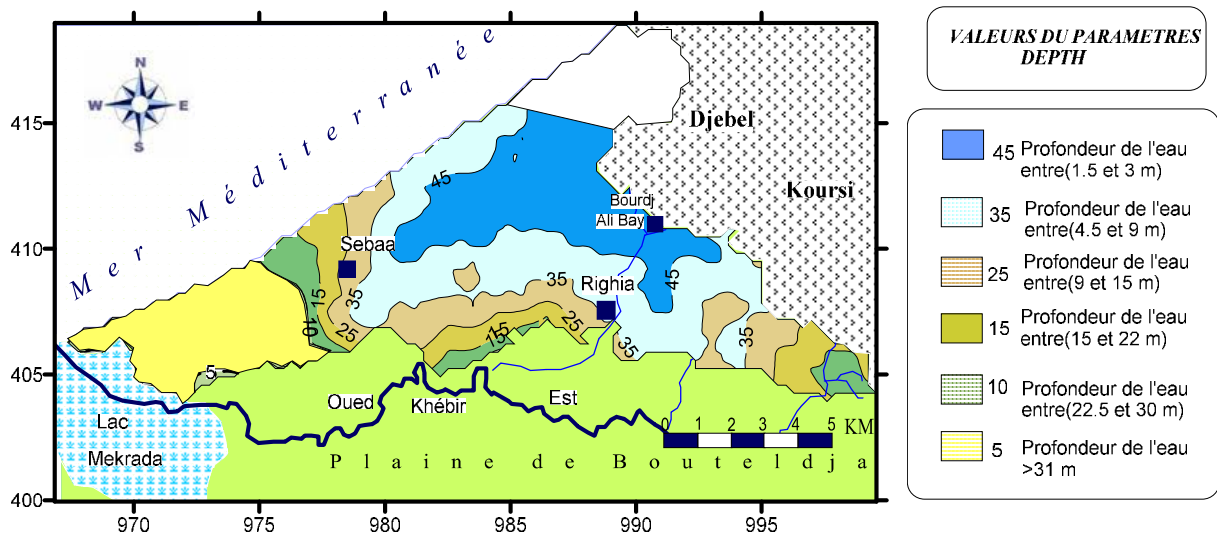


Figure 30: Carte du paramètre "DEPTH" : profondeur de la nappe du massif dunaire

b. Le paramètre "Recharge nette (R)"

Son estimation est basée sur les résultats des équations des bilans réalisés dans l'étude hydrogéologique de (Khérici, 1985). Cette étude donne une estimation de l'infiltration égale à 273mm soit environ 34% des précipitations pour la nappe des sables. Pour la nappe des graviers, nous avons utilisés les résultats établis dans l'étude hydrogéologique de Gaud (1976) où le volume moyen interannuel transitant dans la nappe des graviers est de l'ordre de $35,9.10^6 \text{ m}^3/\text{an}$. La quantité d'eaux susceptible d'être infiltrée est de l'ordre de 60 mm.

On observe deux classes (Fig31), la première classe occupe toute la nappe des sables avec un indice de 36 et une deuxième classe présentant un indice partiel de 12 qui occupe la nappe des graviers.

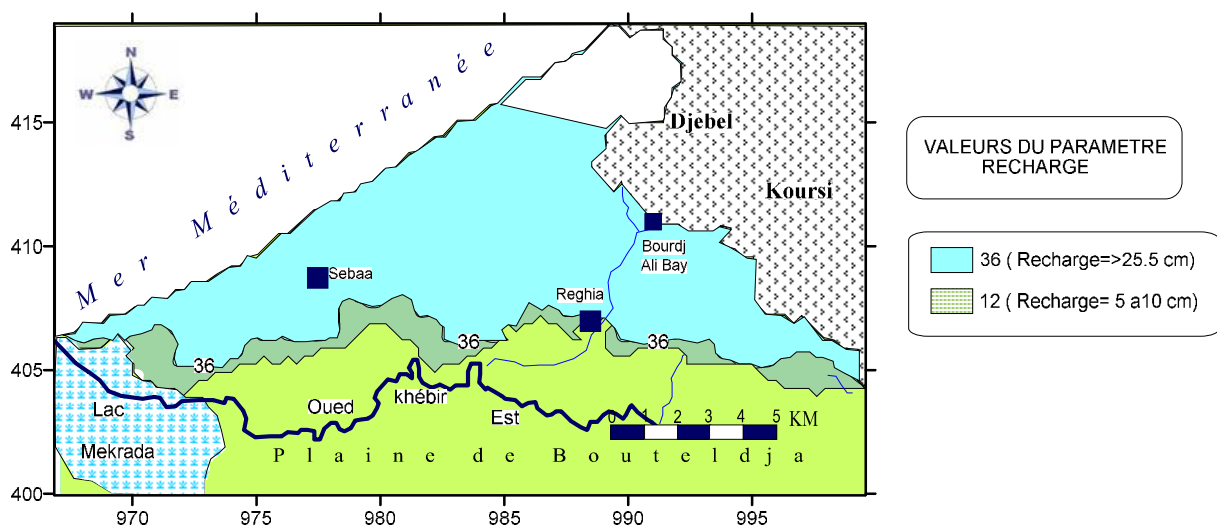


Figure 31: Carte du paramètre "R" : Recharge de la nappe du massif dunaire

c. Le paramètre "Nature lithologique de l'aquifère (A)"

L'étude des logs lithologiques des forages captants l'aquifère nous a permis de dégager trois (03) classes à degré de vulnérabilité variable (Fig. 32)

Classe (01) : elle est représentée par des sables et d'argiles, l'indice partiel est égale à 21. Cette classe occupe presque toute la partie Ouest de la région et une petite partie de l'Est (au Sud de Bordj Ali Bey) ;

Classe (02) : elle contient des graviers et des sables, son indice partiel est de 24 et elle est présente dans la partie de la zone d'étude (Bordj Ali Bey).

Classe (03) : les formations les plus dominantes sont les galets, les graviers et les sables auxquels nous attribuons un indice partiel élevé de 27. Ce matériel caractérise une petite zone au Sud de Righia.

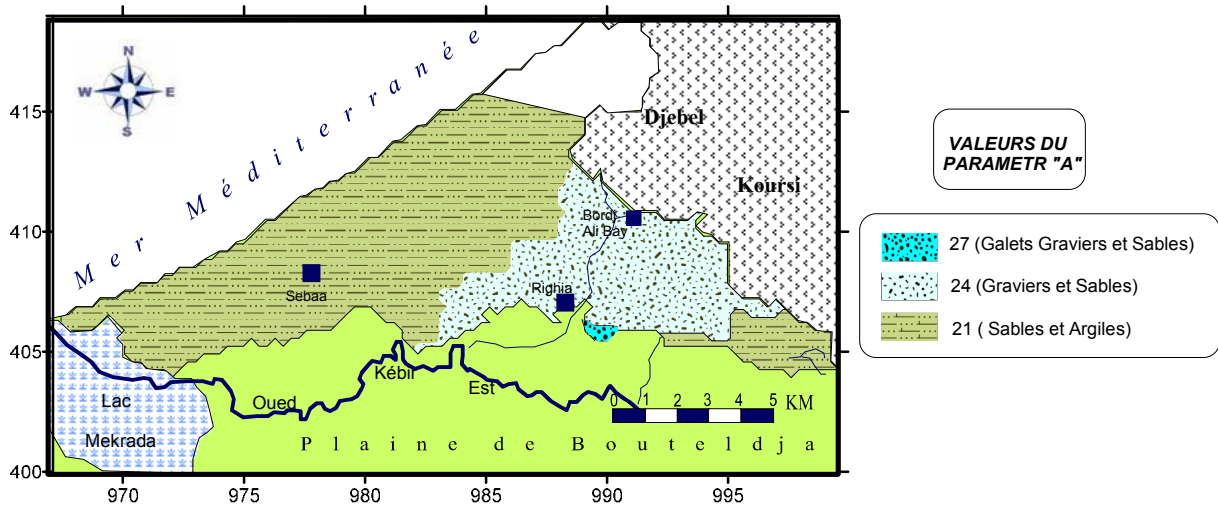


Figure 32: Carte du paramètre "A" : Nature lithologique de l'aquifère du massif dunaire

d. Le paramètre "Nature du sol (S)"

Cette carte a fait ressortir trois classes ou trois types de sols : (Fig. 33)

Classe (01) : elle occupe presque toute la plaine de Bouteldja et la partie centrale du massif elle représente des terrains à limons sableux.

Classe (02) : elle contient des terrains à argiles plus au moins sableux donnant un indice 14, ces terrains se situent dans la partie Sud de la plaine et dans la partie centrale du massif dunaire;

Classe (03) : cette classe qui intègre des sols sableux avec un indice de 18, apparait dans le massif dunaire et dans la partie Sud de la région d'étude.

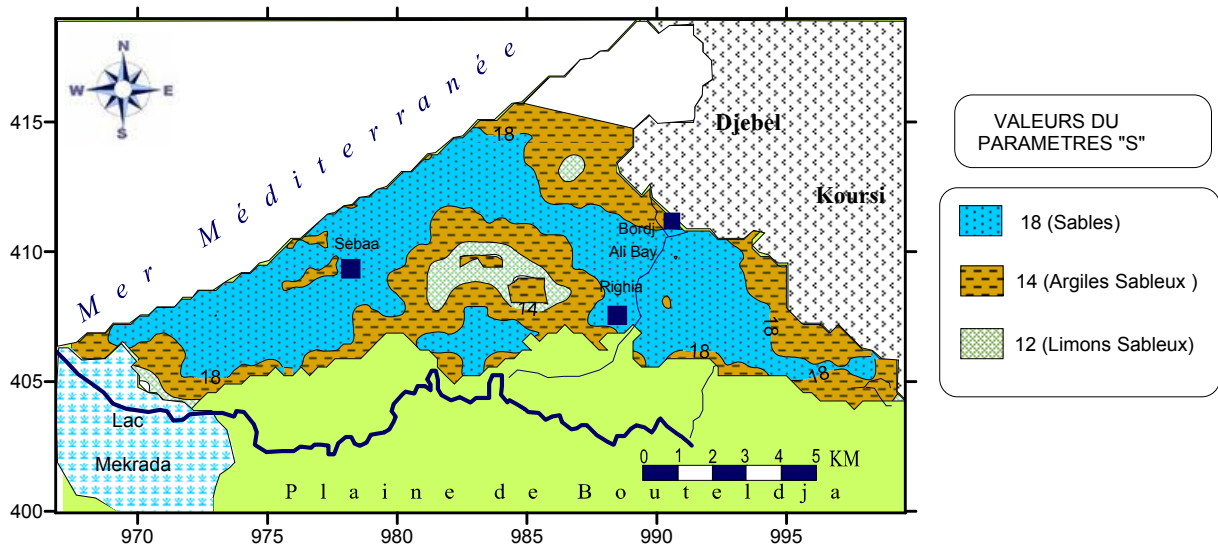


Figure 33: Carte du paramètre "S" : Nature lithologique de sol du massif dunaire

e. Le paramètre Topographie (T) ou pente des terrains (Fig.34)

L'évaluation de ce paramètre est basée sur les cartes des pentes réalisées à partir des cartes topographiques. En effet, la zone d'étude est presque plane, avec des pentes qui ne dépassent pas 10 %. Deux classes de pente ont été trouvées :

Classe (01) : elle présente des pentes de 0 à 2% et occupe presque 80% de la zone d'étude d'où un indice $IT=10$ qui implique une vulnérabilité élevée avec une possibilité de transfert de polluants.

Classe (02) : elle est peu présentée dans la région, elle occupe la partie Nord avec un indice partiel égale 9.

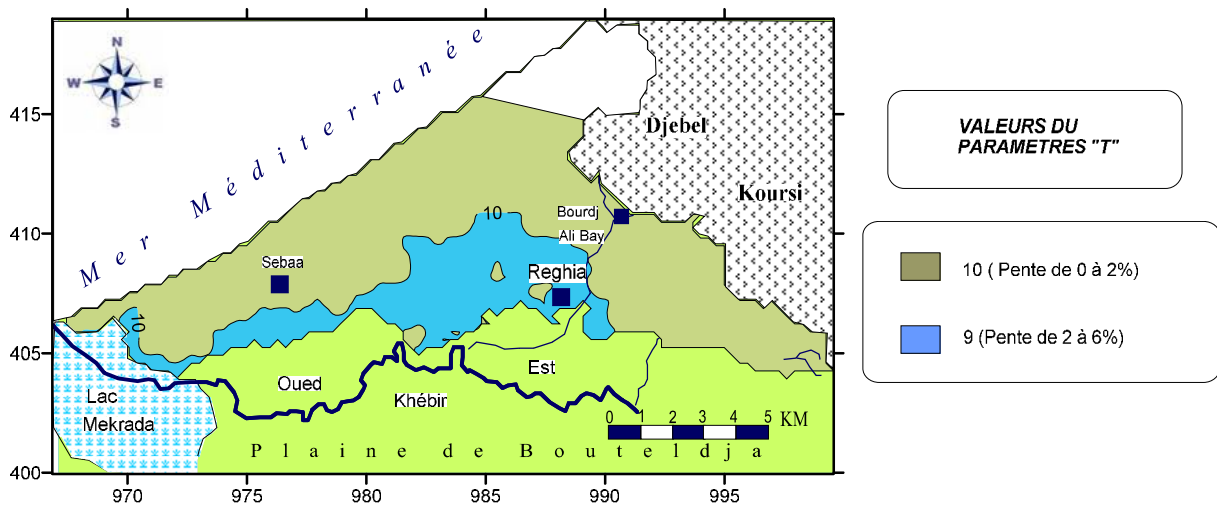


Figure 34: Carte du paramètre "T" pente du massif dunaire

f. Le paramètre " Zone non saturée (I) "

Cette zone est très importante dans l'évaluation de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines car elle représente la transition vers les eaux souterraines (Fig.35).

Classe (01) : cette classe est caractérisée par une lithologie imperméable (argile) son indice est égale à 5. Elle est présente dans la plaine de Bouteldja.

Classe (02) : montre des terrains à limon argileux qui occupe la partie Nord de la plaine avec un indice partiel de 10.

Classe (03) : formée essentiellement par une lithologie constituée de sables argileux, son indice est de 20. Elle est présente dans la zone centrale et la zone Nord du massif.

Classe (04 et 05) : occupent la partie Nord-Ouest du massif dunaire et le Sud de Bordj Ali Bey, où on note deux types du matériel perméable, l'un constitué de sables et l'autre de sables et graviers dont les indices partiels respectifs sont de 30 et 40.

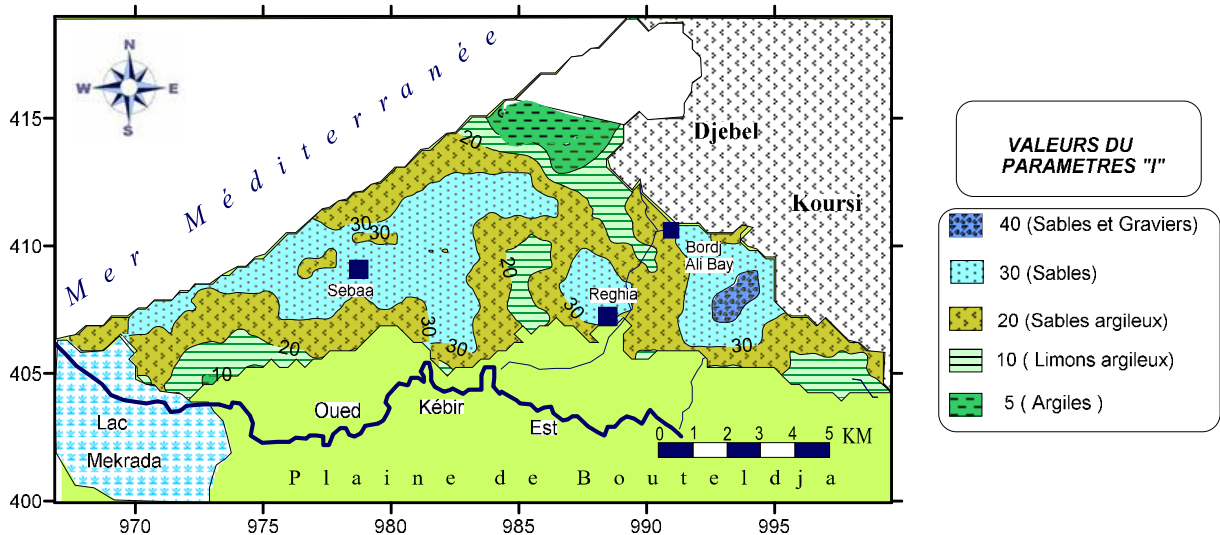


Figure 35: Carte du paramètre "I" impact de la zone non saturée du massif dunaire

g. Le paramètre "Conductivité hydraulique (C)"

La carte de la répartition hydraulique de la région de Boufeldja (Fig. 36) a été faite sur la base des essais par pompage, effectués au niveau de quelques forages situés surtout dans la partie Nord de la région. Les valeurs de la perméabilité moyennes sont de l'ordre de 2.10^{-5} m/s pour toute la zone d'étude. Ainsi on note deux classes :

Classe (01) : elle occupe presque toutes la zone d'étude avec un indice partiel de l'ordre de 3.

Classe (02) : située dans la partie Est du massif et Sud de la plaine avec un indice partiel égale à 6.

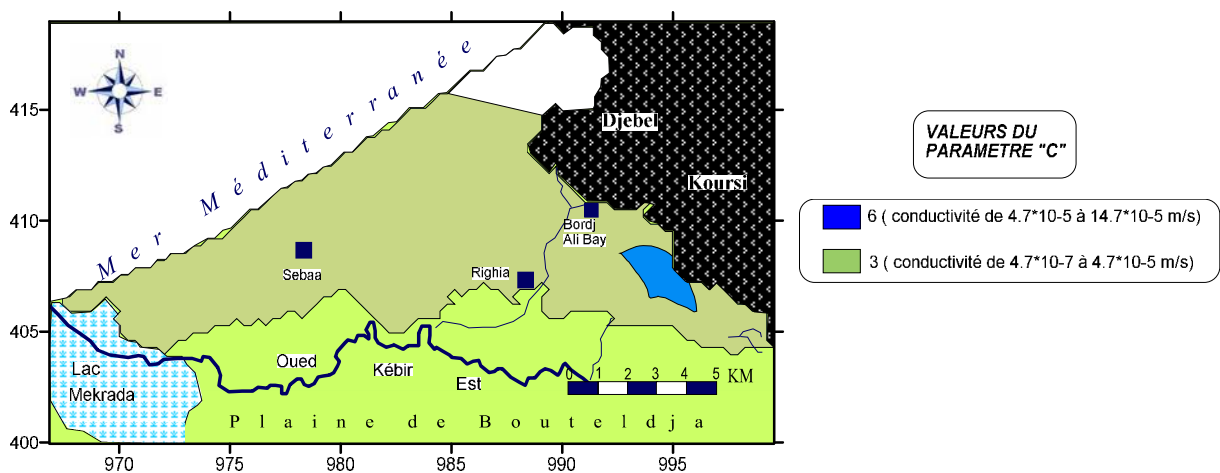


Figure 36: Carte du paramètre "C" Conductivité hydraulique du massif dunaire

h. Identification des classes de vulnérabilité à la pollution:

Les différentes unités hydrogéologiques sont illustrées dans la carte de vulnérabilité à la pollution (Fig.37) qui reflète le résultat des principaux travaux réalisés :

L'observation de la carte de vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines permet de distinguer quatre classes à différentes échelles de vulnérabilité :

□ Classe Faible (84-114) :

Elle correspond à une zone de vulnérabilité à la pollution faible avec une couverture limono-sableuse, argileuse, reposant sur des formations argileuses, limono-argileuses et des sables argileux. La profondeur de la nappe est variable. Elle atteint les 65m dans la partie Ouest près du lac Mekhrada et au sud Est de Bordj Ali Bey l'est du massif dunaire Cette classe occupe une zone très limitée dans la région.

□ Classe Moyenne (114-145):

Elle représente une zone de vulnérabilité à la pollution moyenne avec un aquifère sableux, argileux et graveleux, avec une couverture sableuse.

La prédominance des fractions sableuses dans les terrains de couverture facilitent la recharge de la nappe qui est de l'ordre de 34%. Ainsi ces paramètres favorisent l'infiltration des polluants vers les eaux souterraines du massif dunaire, où le toit de la nappe se situe entre 10 et 60m dans la partie Ouest et elle ne dépasse pas les 15m dans la partie Est du massif dunaire.

□ Classe Elevée (145-175)

Cette classe occupe presque toute la partie centrale du massif dunaire (Sébaa, Righia, Borj Ali Bey) présentant une couverture sableuse, ou limoneuse sableuse avec un aquifère continu dans des graviers, sables et argiles avec une zone non saturée de type sables argileux. La profondeur de la nappe est faible, elle ne dépasse pas les 5m. La prédominance des terrains à forte proportion de sables et une profondeur faible de la nappe déterminent une zone de vulnérabilité à la pollution élevée.

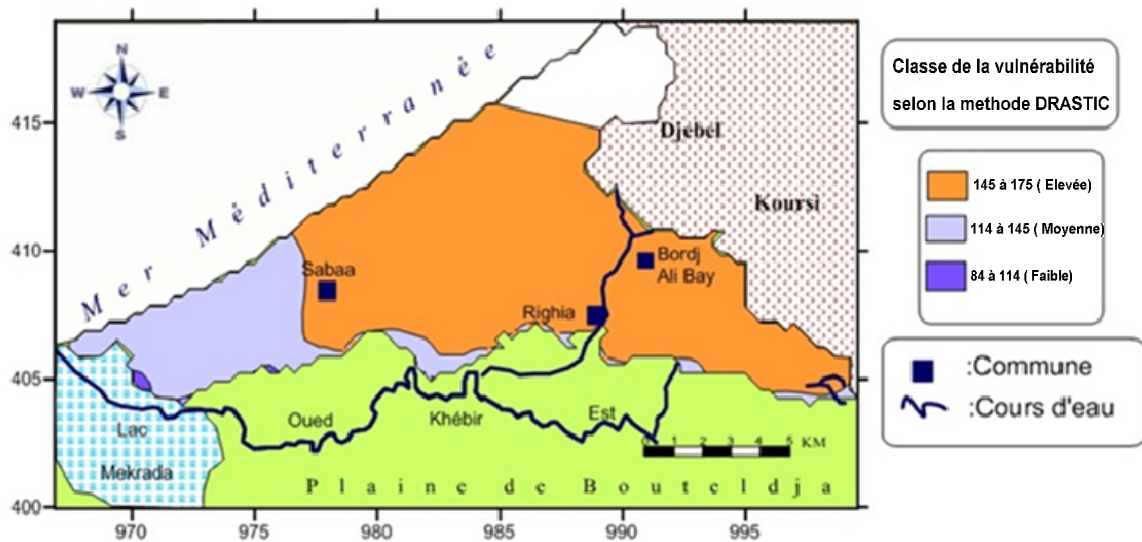


Figure 37 : Carte vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines du massif dunaire de Bouteldja D’après la méthode DRASTIC

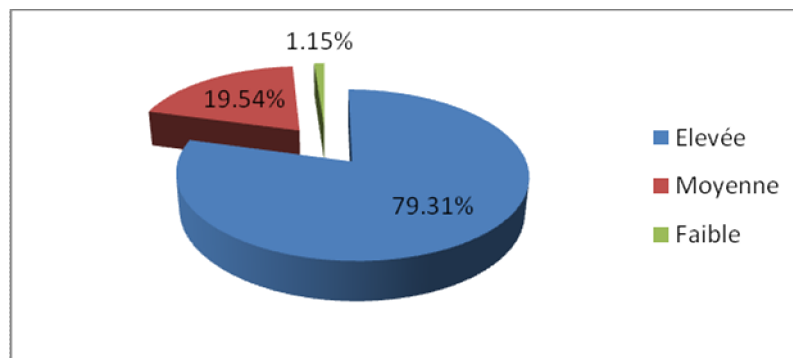


Figure 38: Répartition des degrés de vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines du Massif dunaire de Bouteldja selon DRASTIC

IV-1-2. La Nappe d’El-Tarf :

a. Le paramètre ‘profondeur de l’eau (D)’

Le traçage de la carte de la hauteur de l’eau s’est basé sur les données des niveaux piézométriques (Hp) les plus pessimistes que possible durant plus d’une vingtaine d’année (2006-2012). D’après la carte des profondeurs de la nappe d’El-Tarf on note que la profondeur augmente du Nord vers le Sud, elle est compris entre 1.5m au Nord et 15m au Sud de la plaine.

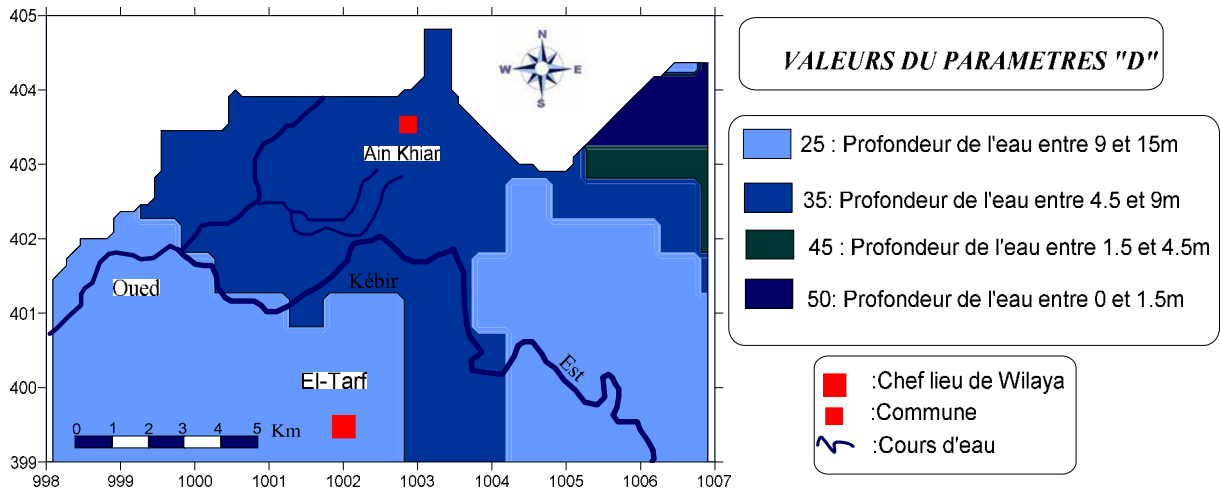


Figure 39: Carte du paramètre "D" Profondeur de la Nappe

b. Le paramètre "Recharge nette (R)"

La recharge moyenne annuelle dans la plaine d'El-Tarf est de l'ordre de 168mm (enregistrée au niveau de la station de Ain Assel) qui présente environ 20 % des précipitations annuelles) et de l'ordre de 146 mm (à la station de Bouteldja) qui correspond à environ 19.83% des précipitations annuelles moyennes interannuelles 1990-2009). L'établissement de la carte révèle deux classes: la première occupe la partie Nord de la plaine avec un indice de 32 et la deuxième présente un indice de 24 se localisant dans la partie Sud de la plaine.

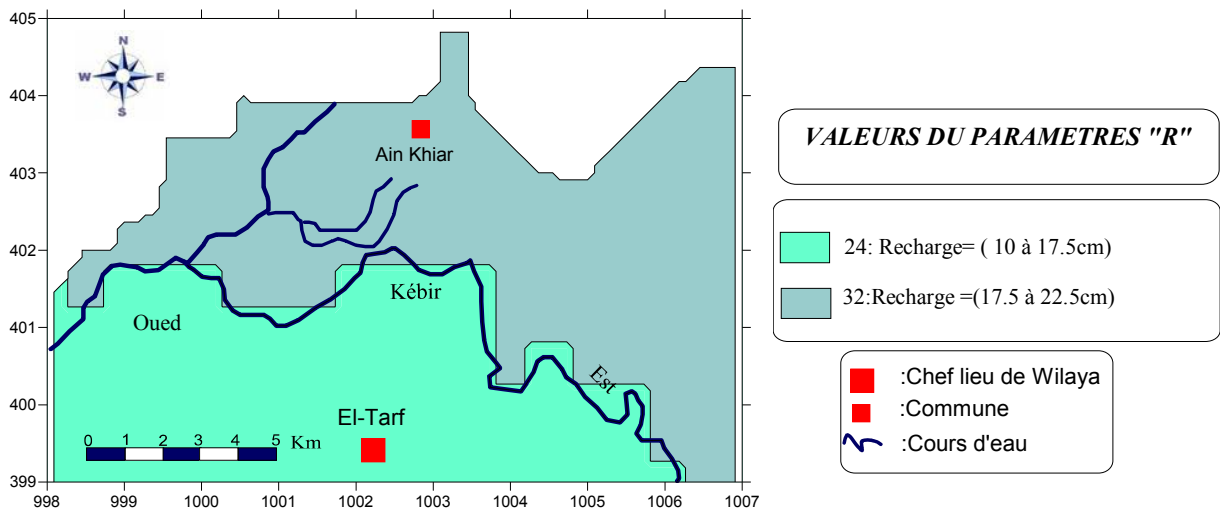


Figure 40: Carte du paramètre "R" Recharge

c. Le paramètre "Nature lithologique de l'aquifère (A)"

Une nappe aquifère est une formation géologique ou groupe de formations contenant de l'eau libre, qui peut être exploitée à travers les puits ou les sources pour des usages domestiques, industriels ou agricoles. La circulation et la propagation d'un contaminant dans la zone saturée dépendent de la texture et de la lithologie des couches de l'aquifère. Cela est toujours contrôlé par la granulométrie, la porosité, la perméabilité et la lithologie des formations géologiques. Le paramètre A est obtenu par corrélation litho-stratigraphique, puis par interpolation sur les données de forages. La répartition spatiale des niveaux réservoirs de la nappe d'El-Tarf montre trois classes lithologiques, les graviers, les sables, et les sables argileux, où on identifie deux faciès dominants, le faciès argilo-sableux qui occupe presque la totalité de la plaine et le faciès sablo-graveleux qui couvre une petite partie au centre de la plaine. (Fig41).

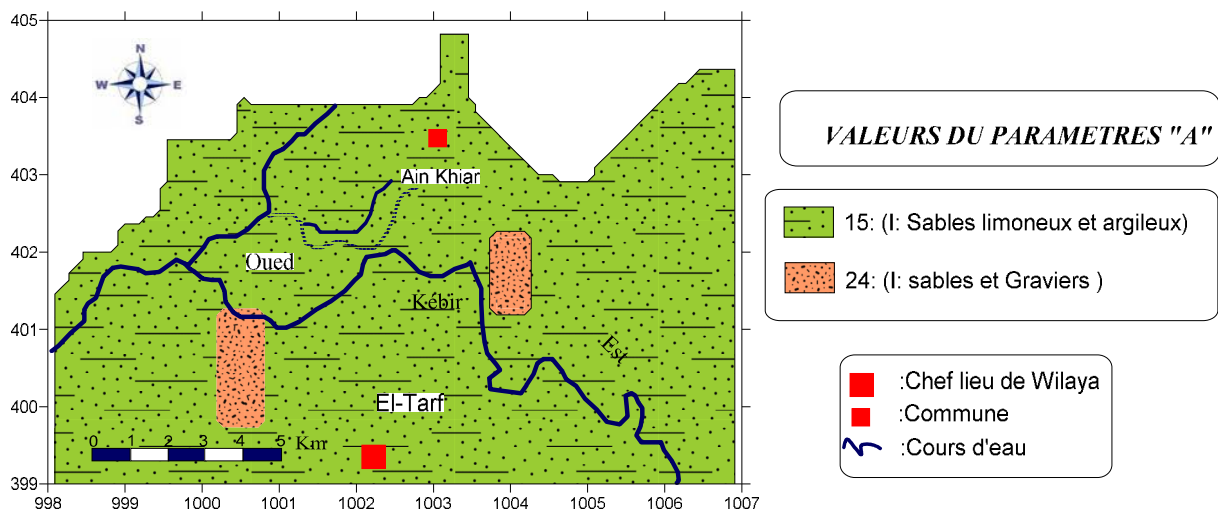


Figure 41: Carte du paramètre "A" : Nature lithologique de l'aquifère

d. Le paramètre "Nature du sol (S)"

Les caractéristiques du sol contrôlent les mouvements descendants des contaminants. En effet, la présence de matériaux fins (argiles, silts et limons) et de la matière organique dans le sol diminue la perméabilité intrinsèque, et retarde la migration des contaminants, par les processus physico-chimiques – adsorption, échange ionique, oxydation, biodégradation.

La carte de répartition de type de sol dans la plaine d'El-Tarf (Fig.42) révèle trois types de sol :

- Sol limono-sableux: occupant presque la totalité de la plaine.
- Sol argileux : occupant une surface très limitée au Sud –ouest de Ain khiair.
- Sol sableux : qui représente une zone très limitée au Nord –est d'El –Tarf.

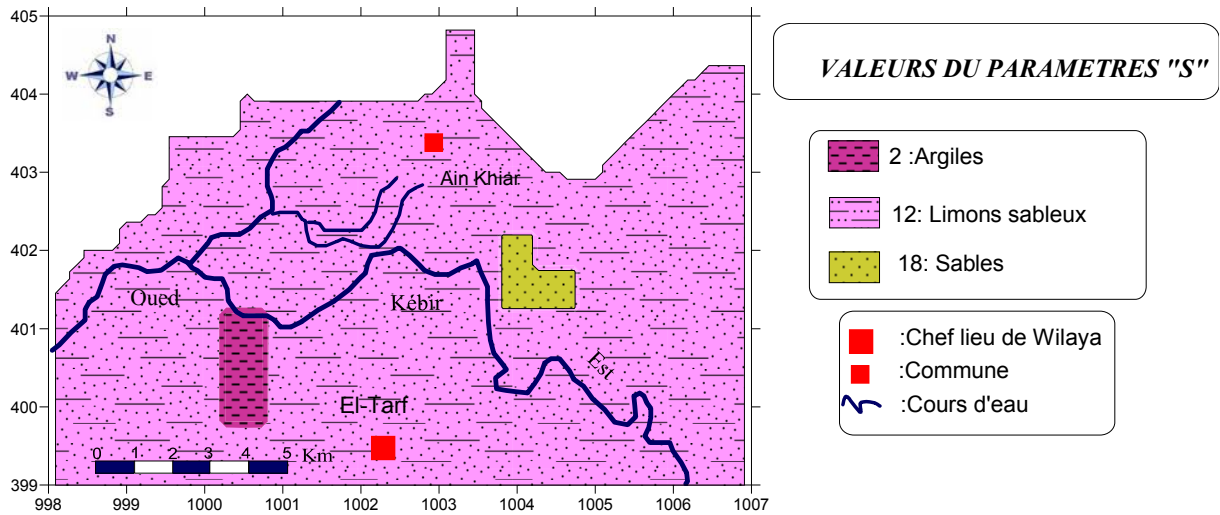


Figure 42: Carte du paramètre "S" : Nature lithologique de sol

e. Le paramètre Topographie (T) ou pente des terrains

La topographie indique si un polluant fuira ou restera à la surface du sol pour s’infiltrer dans la nappe. La couverture topographique de la région d’El-Tarf est obtenue à l’aide de la carte topographique à l’échelle 1/50 000. La carte des pentes (Fig.43) est montrée en trois classes :

- Pente supérieure à 18% : occupant la partie sud de la plaine et représentée aux pieds des montagnes qui entourent la zone.
- Pente à valeurs comprises 2 à 6%, bien marquée dans la zone d’étude occupant une très vaste surface.
- Pente à valeurs comprises entre 0 à 2 % qui couvre la partie Sud-ouest de la plaine.

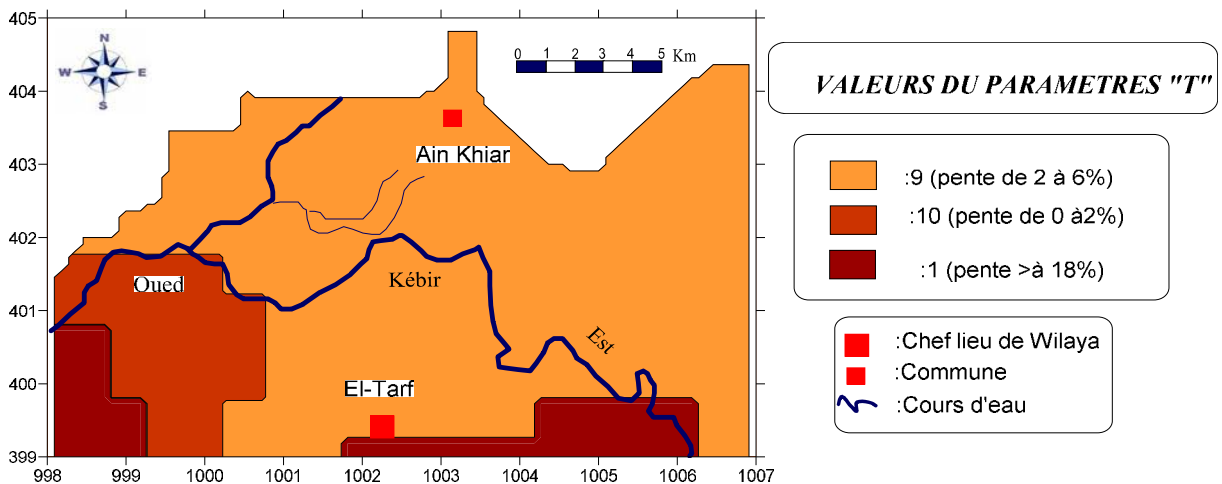


Figure 43: Carte du paramètre "T" pente

f. Le paramètre " Zone non saturée (I)"

La zone non saturée est définie comme la fraction entre le niveau piézométrique de la nappe et la surface du sol où les pores sont partiellement saturés en eau. La perméabilité de cette zone non saturée contrôle la circulation des polluants et leur arrivée à la nappe. La plupart des processus physicochimiques qui ont lieu dans cette zone sont influencés par son épaisseur. L'infiltration et la dispersion des contaminants sont guidées par les caractéristiques lithologiques des couches qui contrôlent leurs chemins et leurs trajectoires en subsurface. Ce paramètre est obtenu à partir de données de surface (couverture géologique) et de données de subsurface (données de forages). Cette carte montre la répartition spatiale des couches géologiques en affleurement. Les données de forages montrent la distribution, l'épaisseur et le pendage des couches géologiques en profondeur, après corrélation lithostratigraphiques. Ces deux types d'informations permettent d'avoir une carte de synthèse (Fig.44) représentant la lithologie de la zone non saturée. Les différentes formations obtenues sont :

- Sablo-argileuses : couvrant presque la totalité de la plaine avec un indice de 15.
- Argileuses : occupant une petite zone au Nord-Ouest d'El-Tarf avec un indice de 25.
- Sableuses : se localisant au Nord –est du chef lieu de wilaya et couvrant une surface très limitée avec un indice de 30.

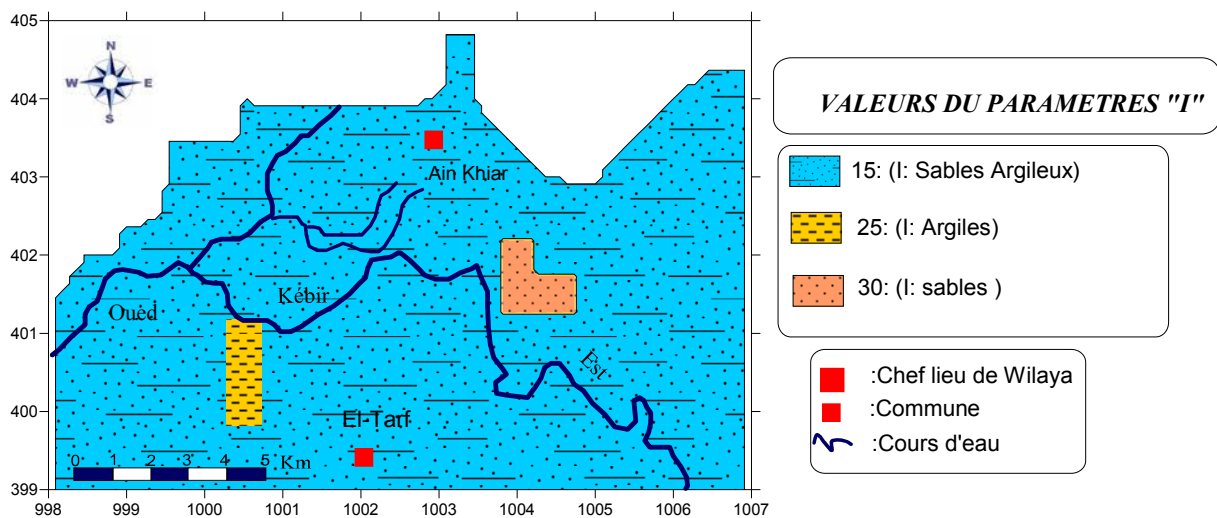


Figure 44: Carte du paramètre "I" impacte de la zone non saturée

g. Le paramètre "Conductivité hydraulique (C)

La conductivité hydraulique désigne la capacité, des formations géologiques de l'aquifère, à transmettre de l'eau. Elle contrôle la migration et la dispersion des contaminants du point d'injection à la surface jusqu'à la zone saturée et, par conséquent, leurs concentrations dans la nappe aquifère. La conductivité hydraulique est obtenue par affectation d'un coefficient de perméabilité pour chaque classe lithologique. Ce facteur est obtenu par interpolation de données de forages et de piézomètres. D'après la carte (Fig.45) la variabilité spatiale de la conductivité hydraulique dans la nappe d'El -Tarf montre deux classes de perméabilité, indexées d'après le modèle DRASTIC, allant de 10^{-6} cm/s à 10^{-5} m/s .On note la présence de deux classes majeures en termes de surface. La première [$4.7*10^{-5}$ m/s – $1.47*10^{-4}$ m/s] est au centre de la plaine, couvrant une petite zone par rapport à la surface totale, la deuxième [$7*10^{-7}$ m/s à $7*10^{-9}$ m/s] qui couvre presque la totalité de la zone d'étude.

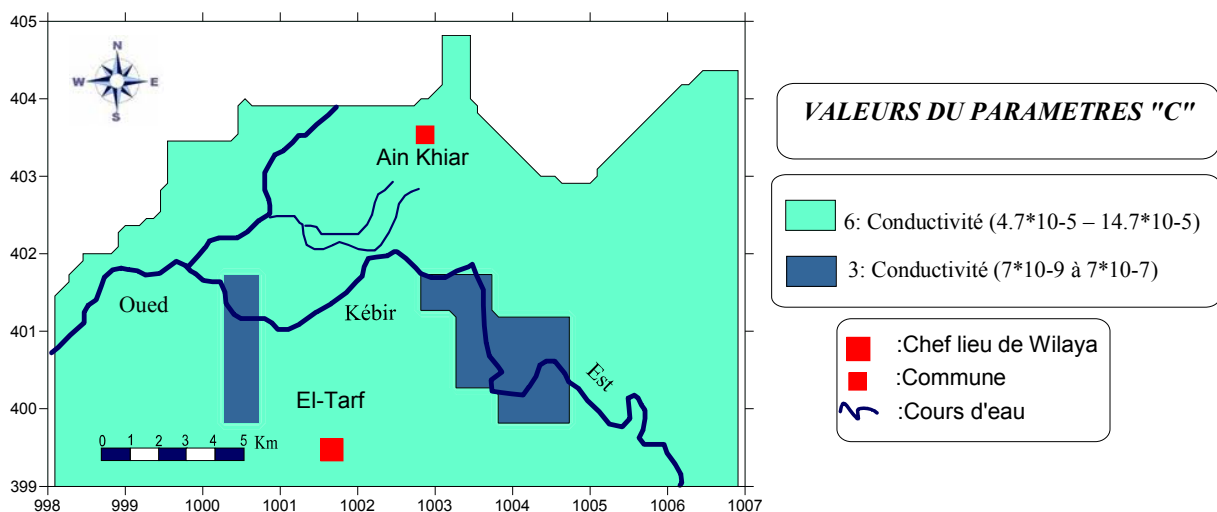


Figure 45: Carte du paramètre "C" Conductivité hydraulique

h. Interprétation de la carte de vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la nappe d'El Tarf selon DRASTIC :

L'observation de la carte de vulnérabilité à la pollution des eaux de la plaine d'El-Tarf selon la méthode DRASTIC identifie des indices qui oscillent entre 84 et 145 et représentant ainsi deux classes réparties comme suit :

– la classe « faible » traduisant une vulnérabilité faible à la pollution sur une superficie de l'ordre de 55 % de la zone cartographiée (Fig.46-47). Ce faible indice de vulnérabilité résulte de la texture de la zone non saturée sablo-argileuse, du degré de la pente assurant un bon ruissellement (évacuation) des eaux et de l'importance de la profondeur de la nappe.

– la classe « moyenne » se localisant au Nord et au Sud-est de Ain Khiair l’ouest et à l’est de la plaine, donne lieu à une pollution moins sévère et représente plus de 44 % de la superficie de la plaine étudiée. Le degré de vulnérabilité moyen est engendré par la profondeur moins marquée que celles du Sud.

-la classe « Elevée» occupe une surface très limitée qui présente moins de 11% de la plaine, cette forte vulnérabilité à la pollution des eaux est certainement due à la lithologie de la zone non saturée (sableuse) et la faiblesse de la profondeur du niveau piézométrique dans cette région.

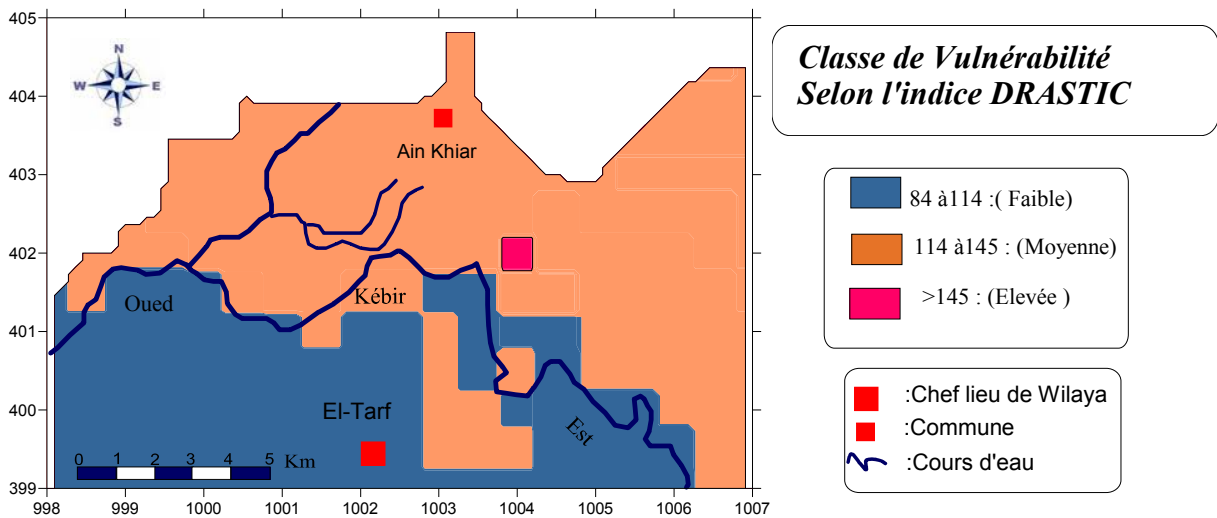


Figure 46: Carte de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la plaine d’El-Tarf par l’application de la méthode DRASTIC

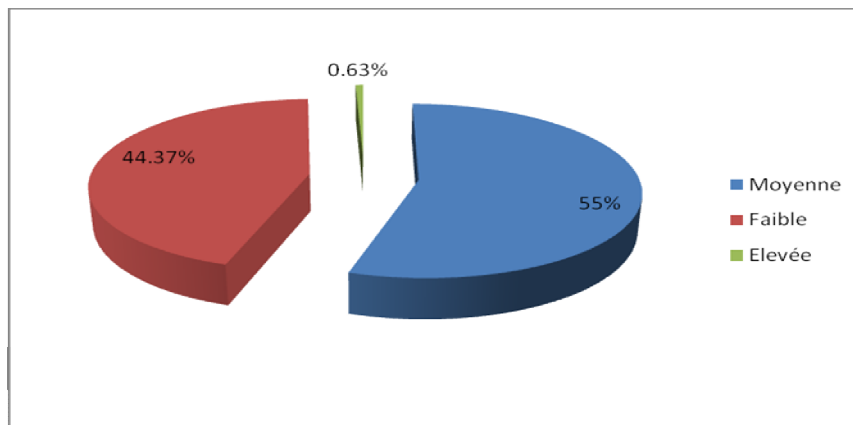


Figure 47 : Répartition des degrés de vulnérabilité à la pollution des eaux de la plaine d’El -Tarf selon DRASTIC

IV-2. APPLICATION DE LA METHODE DE « GOD » :

Bien que ce soit une méthode de systèmes paramétriques, la méthode GOD nécessite moins de paramètres que DRASTIC. La méthode GOD a été conçue en Angleterre par Foster (1987). L'appellation de la méthode provient de l'Acronyme suivant:

- Groundwater occurrence (type l'aquifère).
- Overall aquifer class (caractéristiques de l'aquifère en termes de lithologie et de porosité).
- Depth to groundwater table (profondeur de la nappe).

Les éléments nécessaires pour le schéma de protection des eaux souterraines et pour la classification de la vulnérabilité des aquifères sont, selon cette méthode: le type de sol, les formations géologiques de la zone non saturée et la profondeur de la nappe. Contrairement à DRASTIC, les paramètres ne subissent aucune pondération.

L'indice de vulnérabilité (I) est obtenu selon l'équation suivante :

$$I = Ca * Cl * Cd$$

Dont Ca = cote du type d'aquifère; le Cl = cote de la lithologie, et enfin le Cd = cote de la profondeur de la nappe. La vulnérabilité à la pollution augmente avec l'indice et la classification qui se fait en cinq catégories, allant de 0 à 1.

IV-2-1-Description des paramètres et réalisation des cartes thématiques

IV-2-1-1.Le Massif Dunaire de Bouteldja :

a. Le paramètre "G" (Fig.48)

L'étude hydrogéologique a montré la présence de deux nappes dans la région de Bouteldja révélant ainsi la présence de deux classes :

-classe 1 : occupe toute la nappe des graviers (nappe profonde) qui donne le caractère confiné à la nappe présentant un indice IG = 0.2

-classe 2 : caractérise toute la nappe des sables (nappe libre) avec un indice IG = 0.7

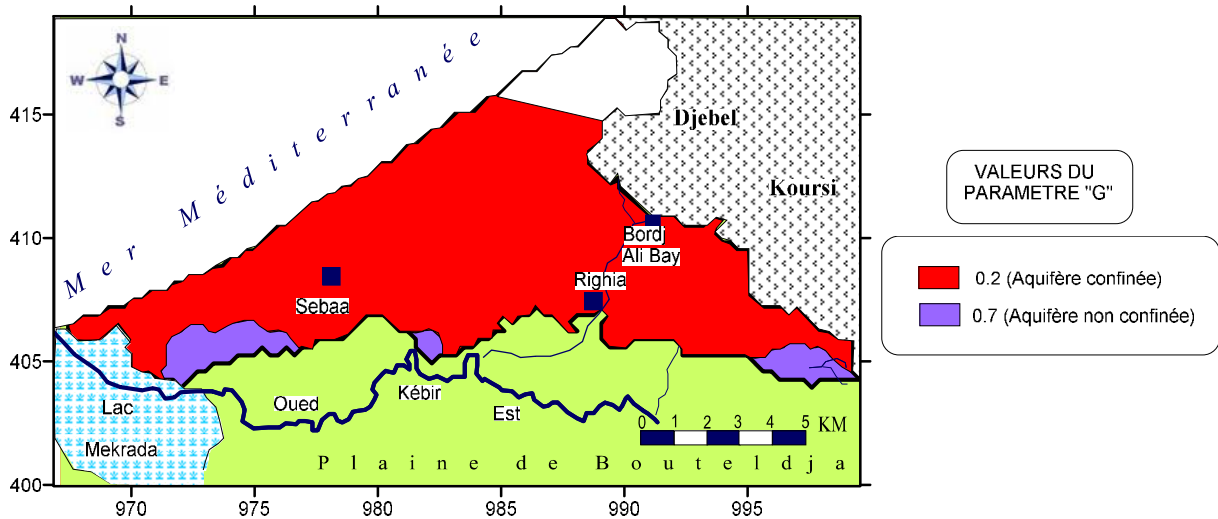


Figure 48: Carte du paramètre "G" type d'aquifère du massif dunaire

b. Le paramètre "O" (Fig 49)

La carte de la lithologie de la zone non saturée montre la présence de deux classes ;

-classe 1 : elle est située dans la plaine de Bouteldja constituée essentiellement par des argiles dont où son indice IO= 0.5, ce qui empêche l'infiltration des polluants vers l'aquifère.

-classe 2 : elle occupe tous le massif dunaire avec une lithologie de la zone non saturée formée par des sables et des graviers donnant un indice IO = 0.7.

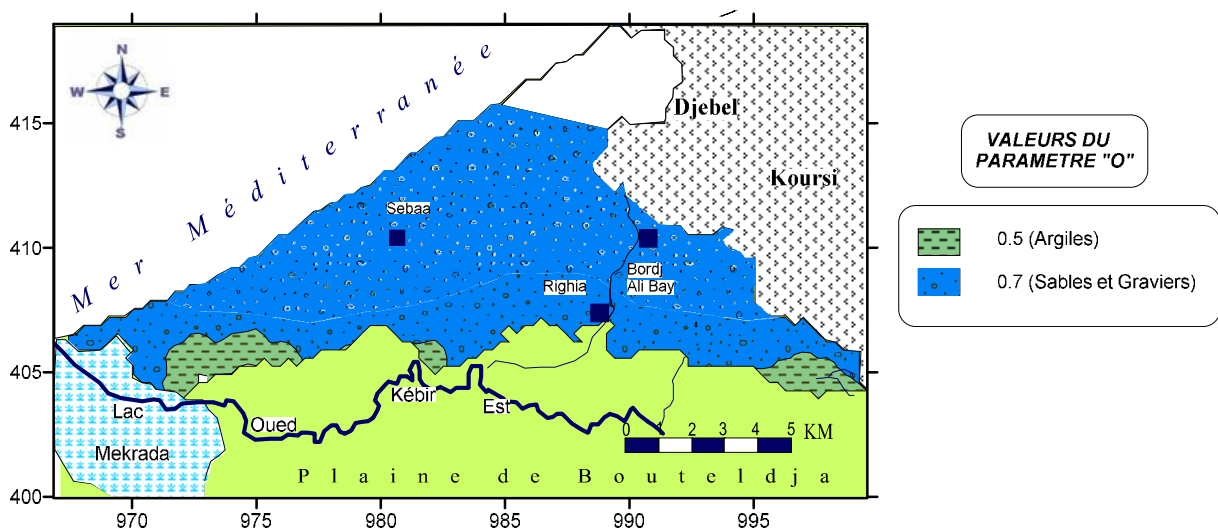


Figure 49: Carte du paramètre "O" nature lithologique de la ZNS

c. Le paramètre "D" (Fig. 50)

Cinq classes ont été observées ;

-classe 1 : cette classe occupe toute la plaine de Bouteldja où la profondeur est relativement importante oscillant entre 50m et 78m, avec un indice ID = 0.5. La présence d'une profondeur important suppose que les polluants prennent un temps plus long pour atteindre l'aquifère.

-classe 2 : présente des profondeurs allant de 20m à 50m avec un indice $ID = 0.6$, cette classe est située dans la partie centrale de la zone d'étude.

-classe 3 : elle caractérise la partie Sud du massif dunaire, la profondeur de cette classe est comprise entre 10-20m avec un indice $ID = 0.7$.

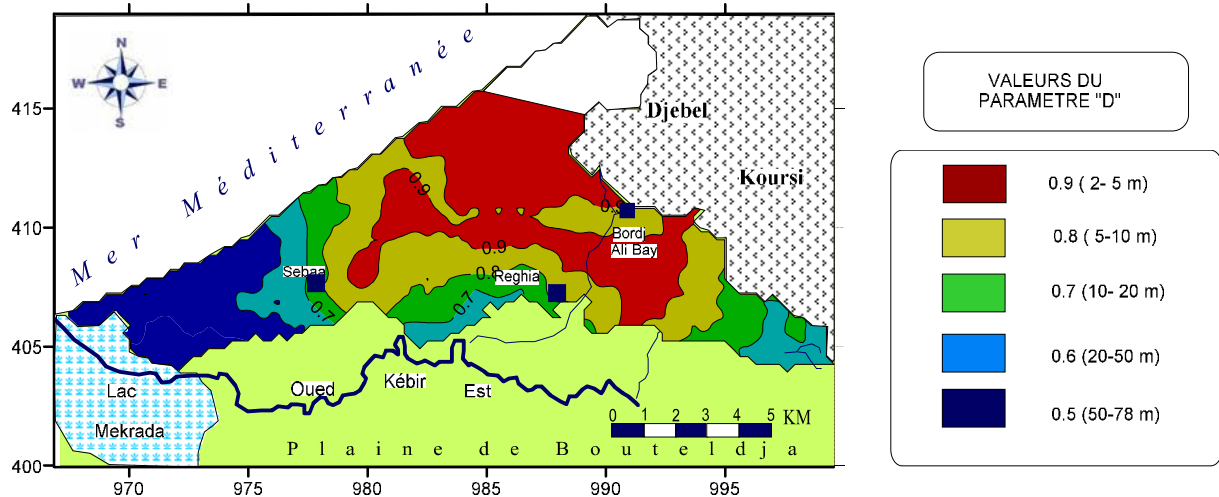


Figure 50: Carte du paramètre "D" profondeur de la nappe

d. Interprétation de la carte de vulnérabilité à la pollution des eaux, établie par la méthode GOD

La cartographie de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la région de Bouteldja par la méthode de GOD a permis de trouver 3 classes (Fig51):

-classe à vulnérabilité très faible : elle occupe la partie sud de la plaine du massif de Bouteldja, présente des couches de la zone non saturée formées essentiellement par des argiles qui limitent le risque d'infiltration des polluants vers la nappe souterraine. Cette classe est caractérisée par des profondeurs importantes allant de 50 à 78m, ainsi les polluants prennent un temps de séjour plus long pour atteindre la nappe souterraine. L'indice total est l'ordre de 0.1.

-classe à vulnérabilité faible : cette classe est caractérisée par des formations sableuses et argileuses, où l'indice global est compris entre 0.1 et 0.3 avec des profondeurs des niveaux piézométriques de l'ordre de 20m. Cette classe occupe la partie centrale de la zone d'étude ainsi qu'au voisinage de l'Oued Mafragh.

-classe à vulnérabilité moyenne : cette classe située dans la partie Nord du massif dunaire, la prédominance des fractions sableuse à graveleuse facilite l'infiltration des polluants vers la nappe souterraine, l'indice globale varie de 0.3 à 0.5 avec des faibles profondeurs de la nappe/sol.

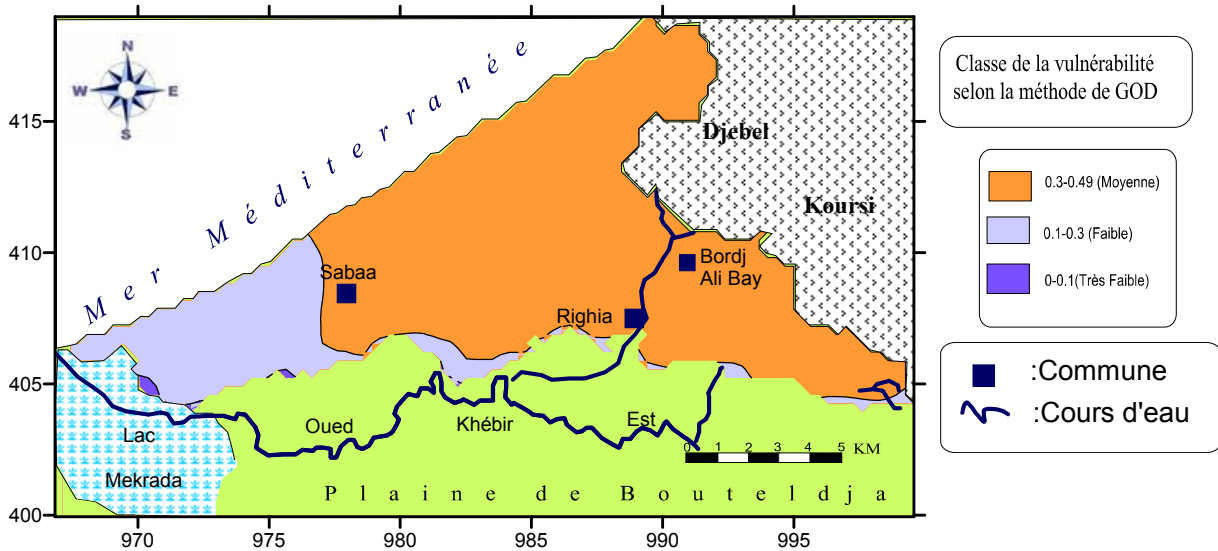


Figure 51 : Carte de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines du massif dunaire par l'application de la méthode de GOD.

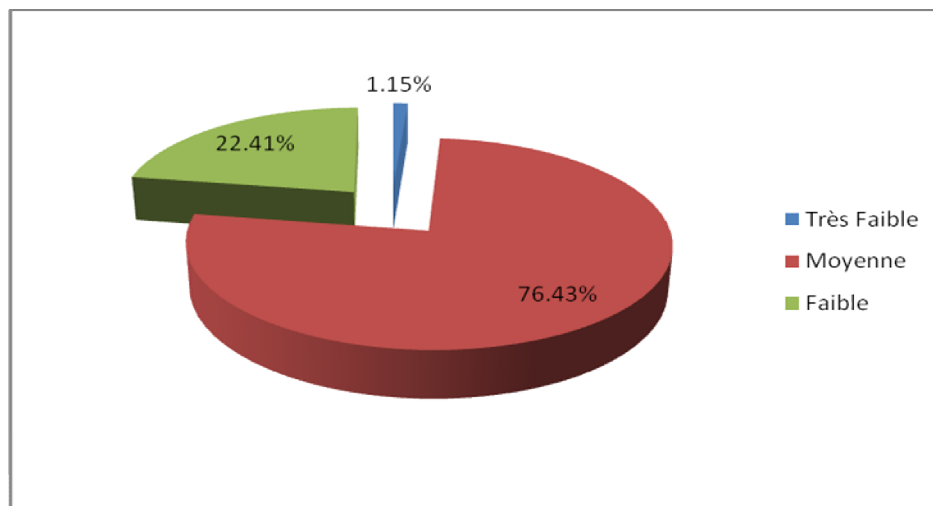


Figure 52 : Répartition du degré de vulnérabilité à la pollution du Massif Dunaire de Bouteldja selon GOD

IV-2-1-2. La Nappe de la plaine d'EL-Tarf :

a. Paramètre "G" type d'aquifère :

La carte (Fig.53) du paramètre type de la nappe a été élaborée d'après les données des logs lithologiques des forages et des coupes hydrogéologiques de la plaine d'El-Tarf , elle fait sortir trois types de nappes :

- Nappe semi libre : caractérisée par une formation sablo-argileuse et occupe presque la totalité de la plaine avec un indice de 0.5.

- Nappe libre : occupant une petite partie au Sud de Ain khiar, d'une lithologie composée par la combinaison de sables de graviers, qui présente un indice de 0.7.

-Nappe Captive : occupe une surface limitée située au Nord-ouest du chef lieu de la commune (EL-Tarf), où son toit est formé par des argiles et contenue dans des sables et graviers, ce qui lui confère un indice de 0.7.

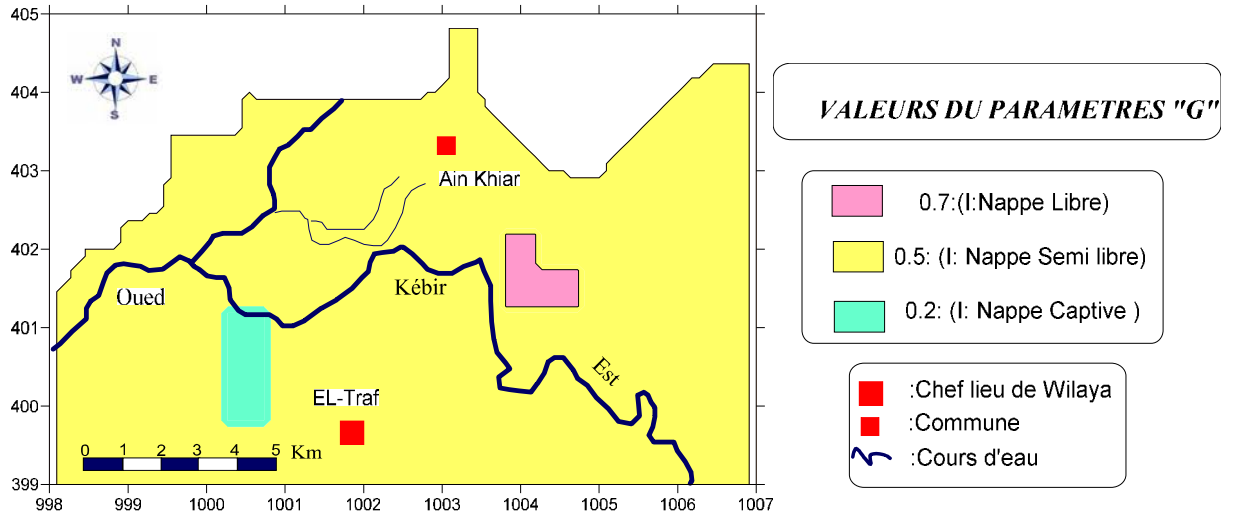


Figure 53: Carte du paramètre "G" type d'aquifère

b.paramètre "O" nature lithologique de la ZNS :

D'après la carte (Fig.54) de la nature lithologique de la zone non saturée réalisée à partir des données de forages occupant la plaine, on observe deux types de formations :

- L'une sablo-argileuse : occupant presque toute la plaine avec un indice de l'ordre de 0.5
- L'autre sableuse : se localisant au Sud-est de Ain khiair et présentant un indice de 0.6.

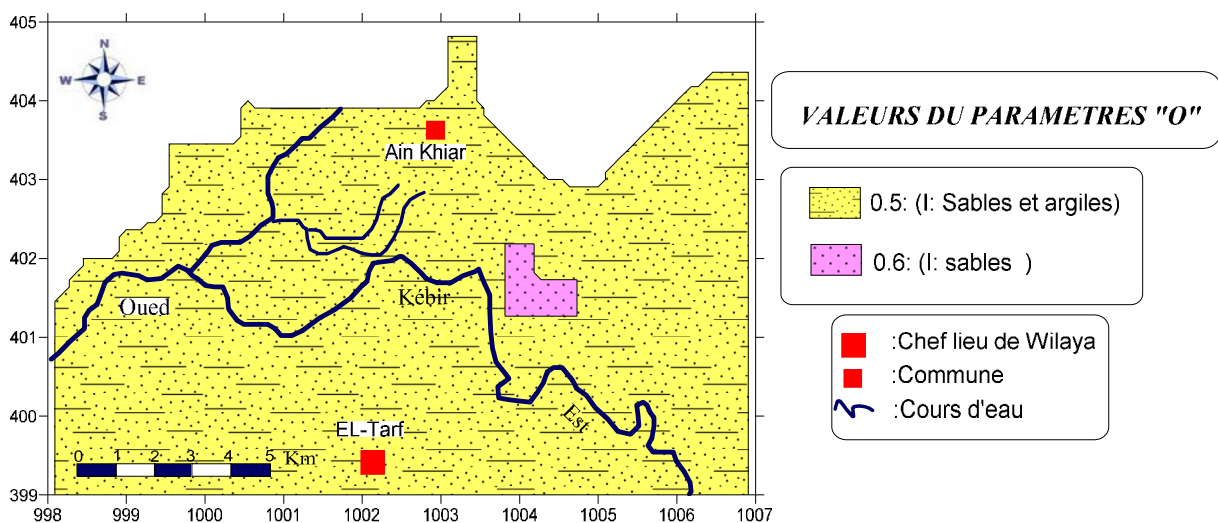


Figure 54: Carte du paramètre "O" nature lithologique de la ZNS

c. paramètre "D" profondeur de la nappe :

D'après les données piézométriques de la plaine faites en 2004 et 2012 nous avons réalisé la carte des profondeurs de la nappe, qui fait sortir quatre classes :

- Une première classe qui occupe la partie Nord-est et Sud –ouest d'Ain khiar avec une profondeur inférieure à 2m
- La deuxième classe couvre la partie Sud-est de Ain Khiar et le Nord-est de la commune d'El-Tarf et présente une profondeur compris entre 2 à 5m.
- La troisième classe occupe la partie Sud -est d'Ain khiar avec un indice de 0.7 où le niveau piézométrique se situe entre 10 et 20 m.
- La quatrième classe s'étend sur sur la majorité de la superficie de plaine d'El Tarf et présente un indice de 0.8 où les profondeurs du niveau piézométrique se situent entre 5 et 10 m.

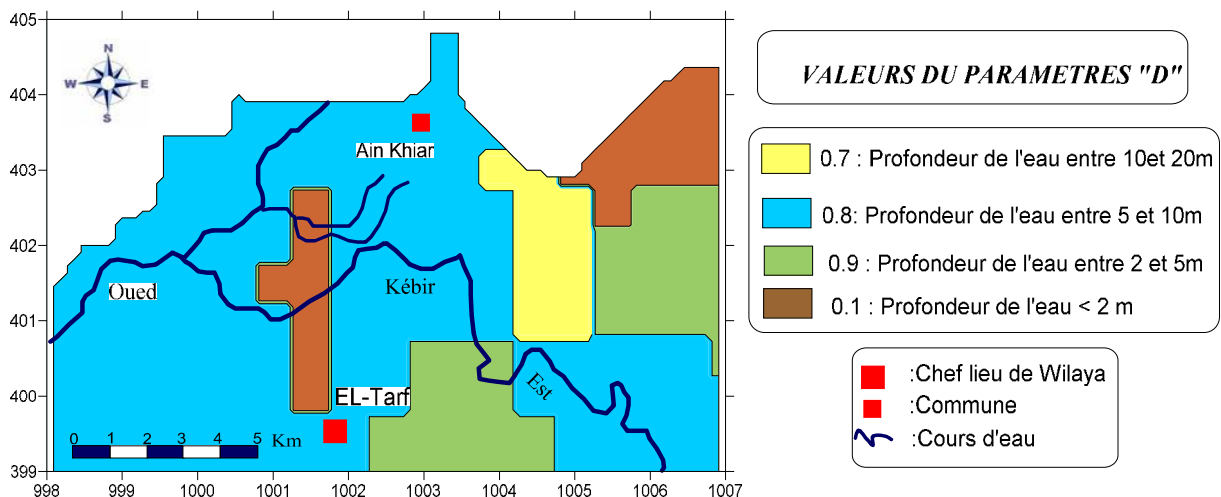


Figure 55 : Carte du paramètre "D" profondeur de la nappe

d. Interprétation de la carte de vulnérabilité à la pollution des eaux selon la méthode de GOD :

Après la superposition des trois cartes qui résume les paramètres de GOD nous avons élaboré la carte de vulnérabilité (Fig.56), où nous pouvons identifier trois classes :

- Une classe très faible : couvre une partie limitée et présente 1.5% de la surface totale, où la zone non saturée est formée par des argiles qui limitent l'infiltration du polluant vers la zone saturée.
- Une classe faible occupe presque toute la plaine et présente 97% (Fig.57) de la surface totale, cette faiblesse est due à la lithologie de la zone non saturée composée de sables argileux.
- Une classe de moyenne vulnérabilité : occupe la partie Sud-est de Ain khiar (la nappe devient libre), où la zone non saturée est formée par des textures sableuses.

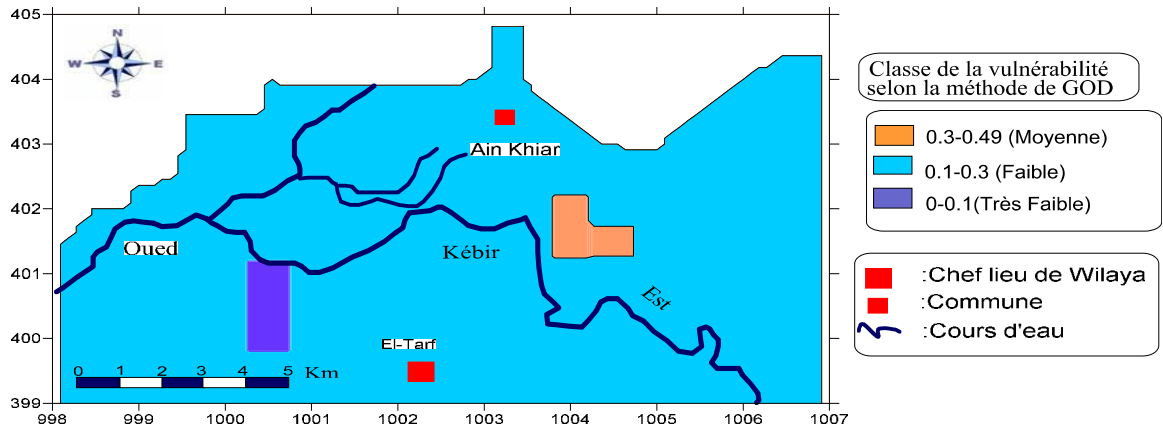


Figure 56: Carte de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la nappe de la plaine d'El-Tarf selon la méthode de GOD.

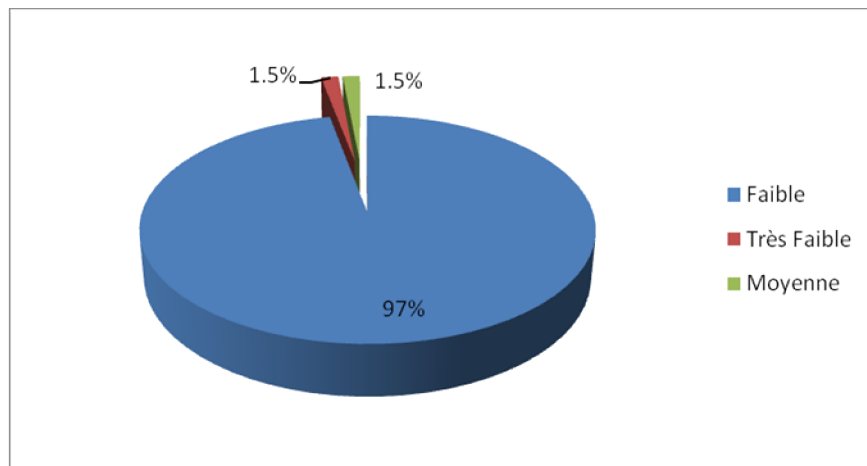


Figure 57: Répartition du degré de vulnérabilité à la pollution de la nappe d'El-Tarf selon GOD

IV-3-L'indice de contamination Organique (ICO) :

C'est la somme des deux classes des éléments issus de pollutions organiques d'un même échantillon.

Dans ce cas l'ICO = la classe des nitrates + classe des nitrites ou la BDO₅

Classification des éléments organiques :

a- La DBO₅ :

La DBO₅ ou Demande Biologique en Oxygène sur 5 jours, représente la quantité d'oxygène nécessaire aux micro-organismes pour oxyder (dégrader) l'ensemble de la matière organique d'un échantillon d'eau maintenu à 20°C, à l'obscurité, pendant 5 jours. Elle représente le degré de la pollution organique d'origines domestiques et urbaines (provoquées par les rejets au niveau des agglomérations). Les teneurs sont très élevés (3^{ème} classe) dans la majorité des nappes près des agglomérations (Righia, Berrihane et Sebaa dans le massif dunaire).

Tableau 18: Classification de la DBO₅ d'après les normes de l'OMS

Classification Elément	En Trace	Classe 1	Naturelle	Classe 2	Norme OMS	Classe 3
DBO ₅ (mg/l)	0-1	1	1-5	2	>5	3
Nappe du massif dunaire		6		5		10

b-Nitrates (NO₃) :

Les nitrates sont l'un des polluants les plus fréquents des eaux souterraines en milieu rural.

L'origine des nitrates dans l'eau souterraine est principalement due aux engrais, aux systèmes septiques, et parfois aux eaux usées industrielles. D'après le tableau 27 ci-dessous Nappe du massif dunaire est touchée par la pollution de cet élément. la nappe de la plaine d'El-Tarf contient 13 échantillons qui sont classés dans la classe 1 et deux prélèvements qui sont classés dans la 2^{ème} classe.

Tableau 19: Classification des Nitrates d'après les normes de l'OMS

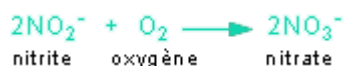
Classification Elément	Trace	Classe 1	Naturelle	Classe 2	Norme OMS	Classe 3
NO ₃ (mg/l)	0-10	1	10-50	2	>50	3
Nappe du massif dunaire		25		9		10
Nappe de la plaine d'El-Tarf		13		2		0

c-Nitrites (NO₂) :

Considérés comme des éléments toxiques, les NO₂ sont la forme la moins stable dans le cycle de l'azote. Ils sont issus de la réduction de l'ammonium NH₄. Leur origine est liée à l'agriculture ou aux rejets urbains et industriels.



La transformation des nitrites en présence de l'oxygène donne naissance à des nitrates :



Le massif dunaire ne présente aucun échantillon qui est classé dans la 3^{ème} classe. Pour la nappe de la plaine d'El-Tarf on note qu'un seul échantillon qui dépasse les normes, ce point est localisé près de l'oued kébir Est

Tableau 20: Classification des Nitrites D'après Les normes de L'OMS

Classification Elément	Trace	Classe 1	Naturelle	Classe 2	Norme OMS	Classe 3
NO ₂ (mg/l)	0-0.05	1	0.05-0.1	2	>0.1	3
Nappe du massif dunaire		23		8		0
Nappe de la plaine d'El-Tarf		12		01		01

IV-4-L'indice de contamination Minérale(ICM) :

C'est la somme des classes des éléments issus de pollutions minérales d'un même échantillon.

ICM = la classe du Plomb+ classe du Nickel ou autres éléments issus de pollutions minérales.

A partir de la projection des deux indices (Organique et Minérale) on va obtenir l'indice de contamination total (ICT).

➤ **Classification des éléments minérales:**

a- Le Plomb :

Le Plomb comme étant un métal lourd dangereux, présente un risque de pollution des eaux des nappes (superficielle et profonde) comme indiqué au tableau 30, Les deux échantillons qui dépassent les normes dans le massif dunaire sont répartis dans les puits destinés à l'alimentation domestiques près des agglomérations de Berrihane et Righia. Ce qui permet de supposer qu'en plus de l'industrie le trafic routier constitue une origine probable du plomb dans le site étudié (Hamzaoui.2007).

Tableau 21: Classification du Plomb D'après Les normes de L'OMS

Classification Elément	Trace	Classe 1	Naturelle	Classe 2	Norme OMS	Classe3
Plomb (mg/l)	0-0.05	1	0.05-0.1	2	>0.1	3
Nappe du massif dunaire		14		03		02

b- Le Manganèse :

Le manganèse est un métal de transition qui ressemble au fer.

D'après les résultats du tableau 31 on trouve que la nappe du massif dunaire est moins contaminée par le Manganèse.

Tableau 22: Classification du Manganèse D'après Les normes de L'OMS

Classification Elément	Trace	Classe 1	Naturelle	Classe 2	Norme OMS	Classe 3
Manganèse (mg/l)	0-0.05	1	0.05-0.1	2	>0.1	3
Nappe du massif dunaire		19		0		0

c- L'Aluminium :

L'aluminium provient de l'altération chimique des sédiments provenant de l'érosion des roches sédimentaires (grès, argiles et marnes...). D'après les données de classification des échantillons prélevés de différentes nappes les plus fortes teneurs de l'aluminium sont présentes dans la nappe du massif dunaire par contre elles sont nulles dans les eaux de la nappe superficielle d'El-Taref.

Tableau 23: Classification de l'Aluminium D'après Les normes de L'OMS

Classification Elément	Trace	Classe 1	Naturelle	Classe 2	Norme OMS	Classe 3
Aluminium (mg/l)	0-0.05	1	0.05-0.2	2	>0.2	3
Nappe du massif dunaire		16		08		07
Nappe de la plaine d'El-Tarf		05		08		0

d- Le Fer Total :

Existant dans les eaux souterraines ou superficielles, l'origine du fer peut être attribuée à la géologie par lessivage des formations argileuses, ou à l'industrie (métallurgie et sidérurgie) comme c'est le cas dans notre étude.

On remarque dans la nappe du massif dunaire des concentrations en fer assez élevées au niveau des forages, dont l'origine est sans doute naturelle par l'altération des grès et des argiles (formations montagneuses réparties à l'est et au Sud Est du massif dunaire). A cet endroit les eaux usées (effluents des fosses septiques) peuvent être également la source de contamination si on considère que le territoire urbain occupe environ 19% de la superficie de l'aquifère avec les agglomérations de Righia, Sebaa et Berrihanne (Sedrati.2006). Par contre les échantillons qui ont été prélevés de la nappe de la plaine d'El-Tarf ne dépasse pas les normes de l'OMS.

Tableau 24: Classification du Fer Total D'après Les normes de L'OMS

Classification	Trace	Classe 1	Naturelle	Classe 2	Norme OMS	Classe 3
Elément						
Fer total (mg/l)	0-0.05	1	0.05-0.3	2	>0.3	3
Nappe du massif dunaire		12		3		15
Nappe de la plaine d'El-Tarf		07		03		03

V. Recommandation : après l'application des différentes méthodes d'estimation de la vulnérabilité à la pollution : plusieurs questions sont posées :

- Sur quelles bases les chercheurs ont précisés ces valeurs de poids et de cotation des paramètres de GOD et DRASTIC et sur quelle base ils limitent les chiffres de 1 à 10 et comment ils ont pu estimer le poids des paramètres (exemple l'indice de profondeur *5 et recharge *2)
- Pour le calcul de l'indice du paramètre Recharge (infiltration), on utilise les résultats de calcul de l'infiltration à partir de l'équation de berkloff et du bilan hydrique, sans prendre en compte de nombreux facteurs influençant la capacité d'infiltration vers la zone saturée tel que (perméabilité du terrain, l'intensité de pluie, la couverture végétale, la géologie, la pente du terrain, et le couvert végétal). Le tableau 25 montre la méthode d'estimation de la recharge.

Tableau 25: Estimation du pourcentage de l'infiltration et le ruissellement

	Facteurs	Géologie	Couverture végétale	perméabilité	Intensité de pluie	Pente du terrain	Σ	%
BOUTELDJA	Infiltration	++	+-	++	+-	++	8+ 2-	80%
	Ruissellement	--	-+	--	-+	--	8- 2+	20%
EL-TARF	Infiltration	+ -	-+	-+	-+	-+	5+ 5-	50%
	Ruissellement	-+	+-	+-	+-	+-	5+ 5-	50%

+ : Facteur favorable

- : Facteur défavorable

3- De plus pour mieux estimer le degré de vulnérabilité à la pollution d'une nappe, il est apparaît largement insuffisant de déterminer les facteurs naturelles (profondeur de l'eau, type de sol) influençant la rapidité du transport du polluant vers la zone saturée.

VI-Conclusion :

L'étude de vulnérabilité menée a aboutit à des résultats sur la validation de deux méthodes d'estimation de la vulnérabilité à la pollution, il ressort que la méthode de vulnérabilité DRASTIC est celle qui caractérise le mieux la vulnérabilité des eaux de la nappe à la pollution. Il ressort que la surface à forte vulnérabilité est actuellement estimée à moins de 10% de la superficie totale, néanmoins si les procédures de protection ne sont pas mises en œuvre dans un avenir proche les 60% représentant la zone à moyenne vulnérabilité, risquent de totaliser avec les 10% trois quart de zones vulnérables à la pollution des eaux souterraines de la région.

Conclusion générale

Conclusion générale :

Le massif dunaire de Bouteldja et la nappe libre d'El-Tarf sont localisés dans la partie Nord Est de l'Algérie, appartient au système aquifère Annaba – la région d'étude inclus dans l'hydro système du bassin versant de la Mafragh. Le tapis végétal est à vocation forestière de maquis et de chênes liège limitant les phénomènes d'érosion. La géologie de la région d'étude est caractérisée par des dunes constituées de sables éoliens mio – plio - Quaternaire dominant la partie avale Nord – Est et Nord – Ouest.

Les grés numidiens sont répartis dans les montagnes qui entourent notre zone d'étude.

La région d'étude est soumise à un climat méditerranéen qui est tempéré, caractérisé par deux saisons distinctes, l'une pluvieuse et humide et l'autre sèche et chaude.

Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 681.47 mm au Salines et 631.95 mm à Ben M'hidi et de températures annuelles moyennes de l'ordre de 17.85°C (Salines) et 17.59°C (Ben M'hidi). Leur ajustement à la loi de Gauss a permis de déduire un écart type de 165,35 pour la St des Salines et 164,32 pour Ben M'hidi.

Hydrogéologiquement, la région d'étude se subdivise en sous bassins versants, bassin de Bourdim, de Bou Glès et oued El B'haim. Il est d'une orientation NW – SE conforme aux vents dominants, essentiellement constitué de sables éoliens qui forment une nappe libre, avec des épaisseurs comprises entre 20 et 120 m et l'existence d'intercalations des lentilles argileuses.

L'écoulement des eaux souterraines est marqué par deux directions bien distinctes, l'une se dirige du centre du massif dunaire vers la mer au Nord et l'autre qui se dirige vers le Sud et alimentant les marécages, les oueds et la nappe des graviers.

Les mécanismes de l'écoulement des eaux naturelles sont : au Nord où la mer méditerranéenne représente un exutoire à la nappe, à l'Est d'où les formations du grés numidiens, au Sud suivant une ligne parallèle à l'oued El Kébir Est et en reliant Djebel Bourdim à la Mafragh et à l'Ouest avec un substratum qui semble profond qu'à l'Est, sur lequel repose la formation de l'aquifère libre.

Les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère dunaire de Bouteldja et la nappe de El-Tarf sont caractérisés par la perméabilité qui varie entre 10^{-4} et 10^{-6} m/s, la Transmissivité est au moyenne de $5 \cdot 10^{-3}$ m²/s et les coefficients d'emmagasinement varient de 1,4% à 24% avec une valeur moyenne de 18%. Les teneurs acceptables des nitrates dans les eaux sont témoins d'une contamination du milieu due en majeure partie à l'activité agricole (engrais, pesticides, ...) et aux rejets domestiques près des agglomérations rurales intenses.

Les eaux souterraines de la nappe dunaire de Bouteldja et El-Tarf sont en majorité d'excellente qualité (RS entre 20 et 300 mg/l).

La détermination des zones de vulnérabilité, basés sur le calcul de l'indice de vulnérabilité d'après la méthode de GOD et DRASTIC nous a permis d'établir les zones de vulnérabilité à la pollution. Il ressort que la méthode de vulnérabilité DRASTIC est celle qui caractérise le mieux la vulnérabilité des eaux de la nappe à la pollution et que la surface à forte vulnérabilité est actuellement estimée à moins de 10% de la superficie totale, néanmoins si les procédures de protection ne sont pas mises en œuvre dans un avenir proche les 60% représentant la zone à moyenne vulnérabilité, risquent de totaliser avec les 10% trois quart de zones vulnérables à la pollution des eaux souterraines de la région.

Références Bibliographiques

References bibliographiques

Attoiu .B,(2014) : Etude de vulnérabilité dans la région de Annaba et ElTarf. Université Badji Mokhtar Annaba

Ait Hamou. M.A, (1983) : Etude hydrogéologique de la terrasse de l'oued El Kébir Est dans la région de Bouteldja et El Tarf et la relation avec le massif dunaire. Mém d'Ingénieur. Univ de Annaba, 120 p.

Albinet M. et J.Margat, (1970) : Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraine, Bull B.R.G.M (2) section III. N° 4. pp 13-22.

Aoun Sebaiti. B, (2003) : Etude de l'origine de la salinité et modélisation du système aquifère de Annaba, Mém. de Magister. Univ d'Annaba, 120 p..

Bouchagoura. L, (2003) : Mise en évidence des divers pollutions dans la nappe alluviale de Tébessa. Thèse de Magister. Univ de Annaba, 79 p.

Boudoukha. A, (1990) : Influence du déficit pluviométrique sur le comportement hydrogéologique et hydrologique dans deux sous bassins au sein du massif dunaire de Bouteldja : Bouglès, Bourdim (extrême Nord-Est Algérie). Mem d'Ingénieur. Univ de Annaba, 168 p.

B.R.G.M, (1985) : Etude par modèle mathématique de la nappe de Annaba-Bouteldja, 78p.

Castany. G, (1962) : Interprétation des cartes piézométriques et caractéristiques des couches aquifères libre, Bull B.R.G.M n°3, 140 p, Orléans.

Castany. G, (1968) : Prospection et exploitation des eaux souterraines. Ed. Dunod, Paris, France, 683p.

Castany. G, Margat, (1977) : Dictionnaire français d'hydrogéologie. Bur rech, géologie minière, 249p.

Castany. G, (1982) : Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Dunod edit. Paris, 334p.

Dejoux et Al, (1987) : la contamination par les nitrates des puits privés en milieu rural. Prévention des risques à la santé, vecteur environnement 37 (2) pp 61-66.

Derradji. F, (2004) : Identification quantitative et qualitative des ressources en eau de la région de Annaba – El Tarf (Nord – Est Algérien). Thèse de Doctorat d'Etat, univ de Annaba, 200p.

Djabri. L, (1996) : Mécanisme de la pollution et vulnérabilité des eaux de la Seybouse. Origine géologique, industrielle, agricole et urbaine. Thèse de Doctorat d'Etat, univ de Annaba page 128-132.

- Djedel. M, (2003)** : Etude hydrochimique des nappes côtières : cas de nappe du littoral de Annaba -El Kala (Nord – Est Algérien). Mém. De Magister, univ d'Annaba.
- Gaud. B, (1974)** : Etude des ressources en eau souterraine du Nord de la willaya d'Annaba. Compte rendu de la campagne de forage. Plan quadriennal 70-73 opération 11-01-0-60.
- Gaud. B, (1976)** : Etude hydrogéologique du système aquifère Annaba-Bouteldja. Système de reconnaissance et recherche des conditions de modération, rapport d'étude INRH d'Annaba.
- Hafed. H, (1999)** : Evaluation of the vulnerability to pollution in Metheline aquifer (North – East of Tunisia). Conférence international. Los Angeles (USA). Pp 845-847.
- Hani. A, (2003)** : Analyse méthodologique de la structure des processus anthropiques. Application aux ressources en eaux d'un bassin côtier méditerranéen. Thèse de Doctorat d'Etat, univ d'Annaba, pp 123-125.
- Joleaud. L, (1936)**:Etude géologique de la région de Bône-la Calle, B.S.G.A (2), n°12, 199 p.
- Jourda. J.P, (1991)** : Pollution des eaux souterraines en France. Bilan des connaissances. Impacts et moyens de prévention, manuels et méthode, n°22.3.éd, par BRGM 262 P.
- Kherici. N, (1985)** : Aquifère sableux de bord de mer, hydrodynamique et hydrochimie ; exemple de la nappe de Bouteldja (Nord – Est Algérien), Doctorat de 3eme cycle, univ de Montpellier, France, 202 p.
- Kherici. N, (1993)** : Vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines d'un système de nappe superposée en milieu industriel et agricole (Annaba- la Mafragh) N-E Algérien. Doctorat d'Etat, univ de Annaba.
- Labar. S, (2003)** : Contribution à l'identification des aires inondables et qualité physicochimique des eaux stagnantes temporaires dans la vallée de la Mafragh. Mém de Magister. Univ de Annaba, 111 p.
- Lahondere. J. C, (1987)** : Les séries ultra telliennes d'Algérie Nord Orientale et les formations environnantes dans leur cadre structurale. Thèses de doctorat d'Etat. Univ Paul Sabatier, France, 242 p.
- Mariotti. A, (1977)** : Dénitrification in situ dans les eaux souterraines. Processus naturels provoqués. Une revue hydrogéologique n° 3 51994 43-68 p.
- Mouchara. N, (2004)** : Hydrogéologie du massif dunaire de Bouteldja et les possibilités de réalimentation artificielle de la nappe, mémoire d'ingénieur, hydrogéologie. Univ de Annaba, 88 p.
- Nafaa. K, (1985)** : Etude hydrogéologique du système aquifère Annaba-la Mafragh. Thèse 3eme cycle USTL, Montpellier, 156 p.

O.M.S, (1994) : Directive de qualité pour l'eau de boisson 2eme édition, recommandations Genève, Suisse.

Ramdani. A, (1996) : Hydrogéologie et modélisation de la nappe dunaire de Bouteldja. Mém de Magister. Univ de Annaba, 138 p.

Rouabhia. A, Kherici.N et Djabri. L, (2001) : Vulnérabilité et impact des activités anthropiques sur les eaux souterraines de la région d'El Ma El Abiod N.E de l'Algérie. Vecteur environnement. Section scientifique, volume 37, n°3, mai 2004, 26-30 p.

Rodier. J, (1996) : L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. 8eme édition, Dunod, Paris.

Saadali. B, Remita. R, (2004) : Contribution à l'étude hydrogéologique et hydrochimique dans le bassin versant de la Mafragh (oued Bounamoussa et oued Kébir Est). Mém d'Ingénieur, hydrogéologie. Univ de Annaba, 115 p.

Sedrati. N, (2006) : Vulnérabilité et impact des agglomérations sur la qualité des eaux du massif dunaire de Bouteldja. Mém de Magister. Univ de Annaba, 106 p.

Station météo Annaba : Données des précipitations et de température 1979/2006, stations des Salines et de Ben M'hidi.

Toubal . A. C, (2002) : Anisotropie des sables éoliens de Bouteldja (Nord-est de l'Algérie). Larhuss. Journal. N°03, juin 2004, 38-43 p.

Vila. J. M, (1978) : La chaîne alpine d'Algérie orientale et ses confins allegro-tunisiens. Thèse de doctorat Es Science. Univ de Pierre et Marie Curie. Paris, 640 p.

(Environmental Protection Agency, 1985) :

(Schnebelen et al. 2002) : Cartographie de la vulnérabilité des nappes de grande –Terre et de Marie –Galante (Guadeloupe) Novembre 2002

Aller et al. (1987) : une étude de l'DRASTIC méthode en mettant l'accent sur les conditions sur les conditions suédoises (ground water) P 278-285



ANNEXE

Profondeur	
Classe (m)	Note
0 – 1.5	10
1.5 – 4.5	9
4.5 - 9	7
9.0 – 15.0	5
15 - 23	3
23 - 30	2
> 30	1

Recharge annuelle	
Classe (mm)	Note
0 - 50	1
50 - 100	3
100 - 175	6
175 - 225	8
> 225	9

Milieus Aquifère		
Classe	Note	Note typique
Massive shale	1 à 3	2
Métamorphique	2 à 5	3
Métamorphique Altéré – grès	3 à 5	6
Calcaire massif	4 à 9	8
Grès massif	4 à 9	6
Sable et gravier	4 à 9	8
Basalte	2 à 10	9
Calcaire Karstique	9 à 10	10

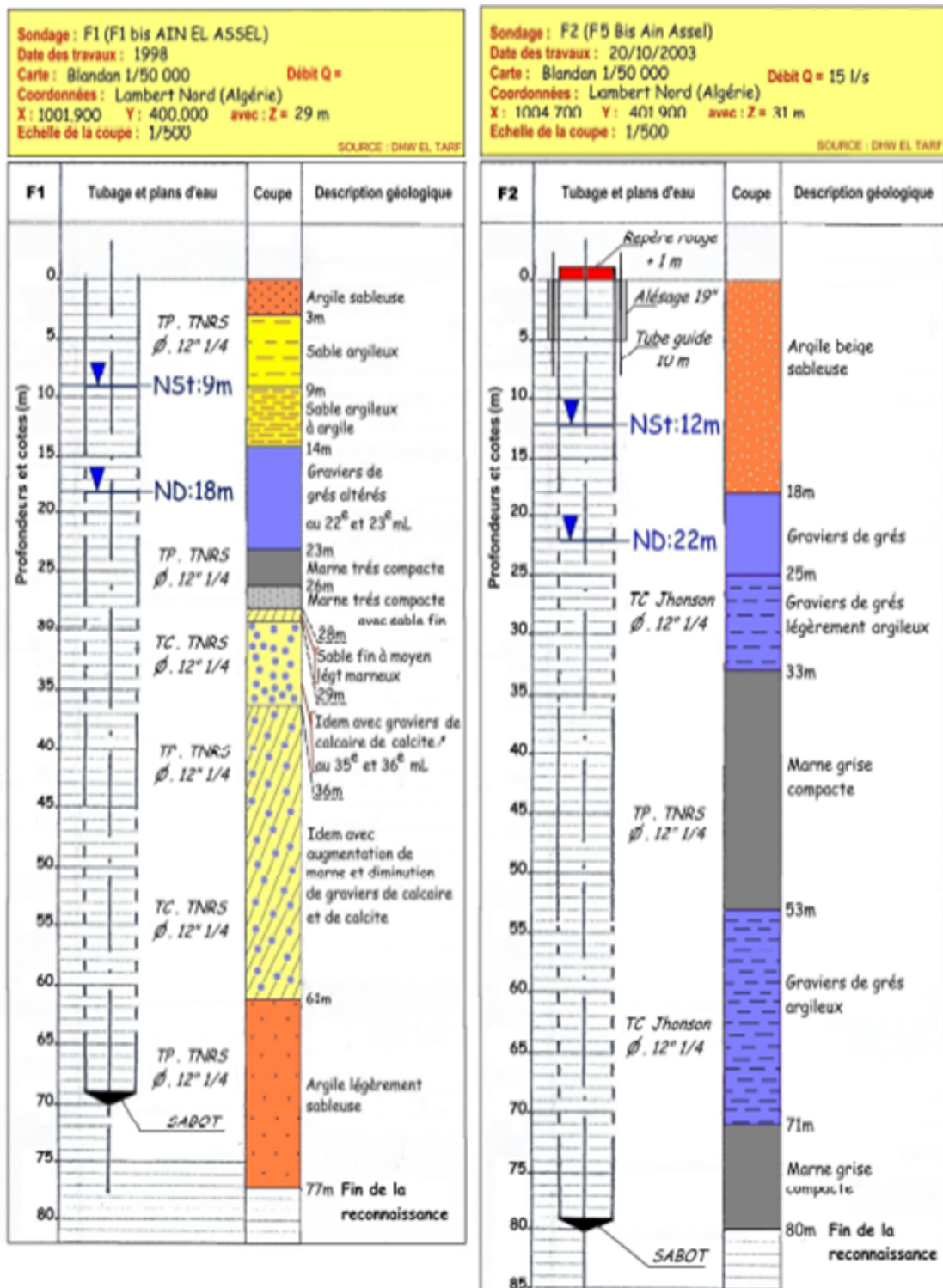
Type de sol	
Classe	Note
Mince ou absent	10
Graviers	10
Sables	9
Limons sableux	6
Limons	4
Limons silteux	3
Argiles	1

Topographie	
Plage de la pente (en degré)	Note
0 à 2	10
2 à 6	9
6 à 12	5
12 à 18	3
> 18	1

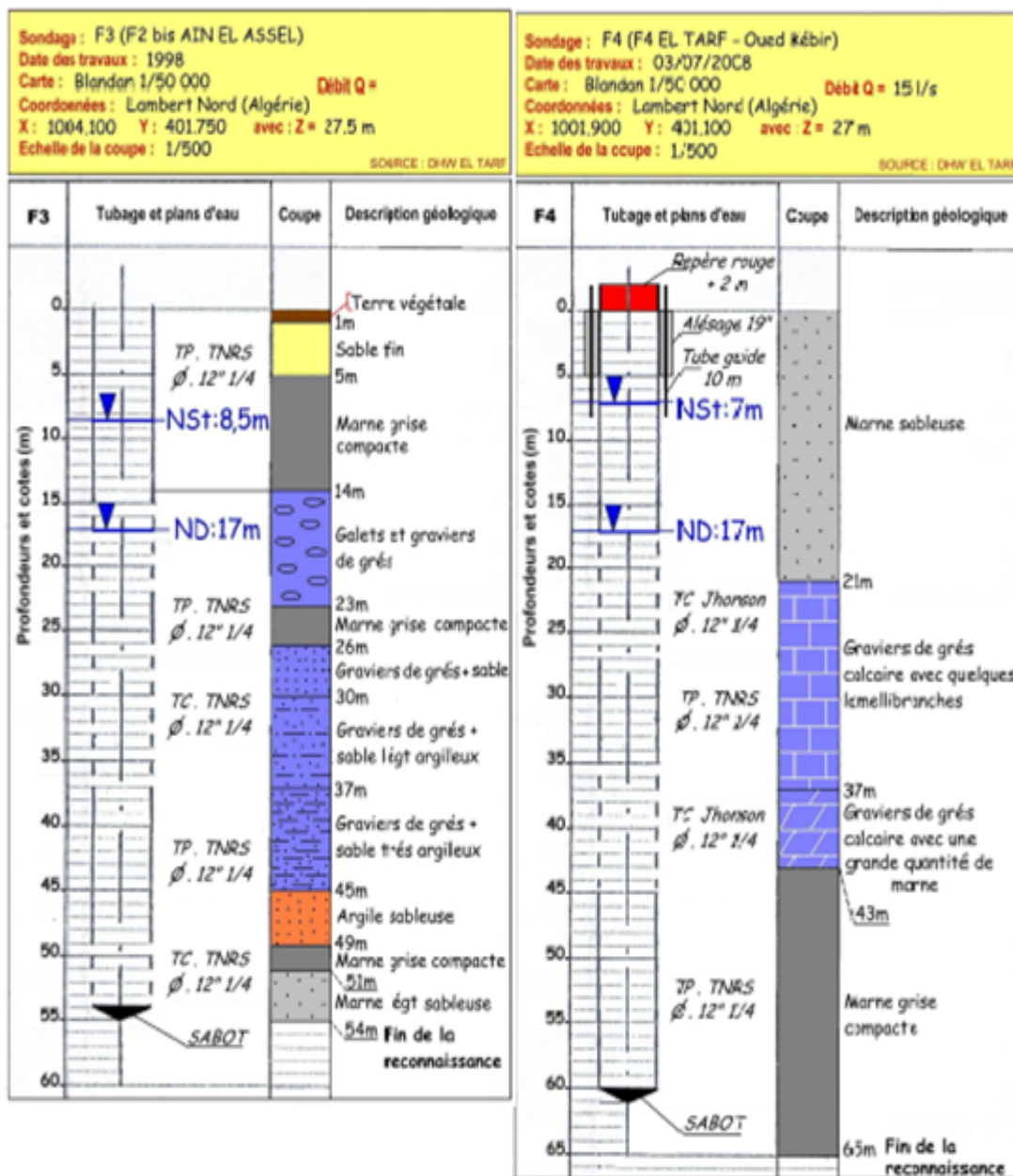
Impacte de la zone non saturée		
Nature lithologique	Note	Note typique
Silt et argile	2 à 6	3
Shale	2 à 6	3
Calcaire	2 à 5	3
Grès	2 à 7	6
Sable et gravier avec passage silt et argile	4 à 8	6
Sable et gravier	4 à 8	8
Basalte	2 à 10	9
Calcaire Karstique	8 à 10	10

Perméabilité	
Plage de la perméabilité (en m/s)	Note
$4.7*10^{-7} - 4.7*10^{-5}$	1
$4.7*10^{-5} - 14.7*10^{-5}$	2
$14.7*10^{-5} - 32.9*10^{-5}$	4
$32.9*10^{-5} - 4.7*10^{-4}$	6
$4.7*10^{-4} - 9.4*10^{-4}$	8
$> 9.4*10^{-4}$	10

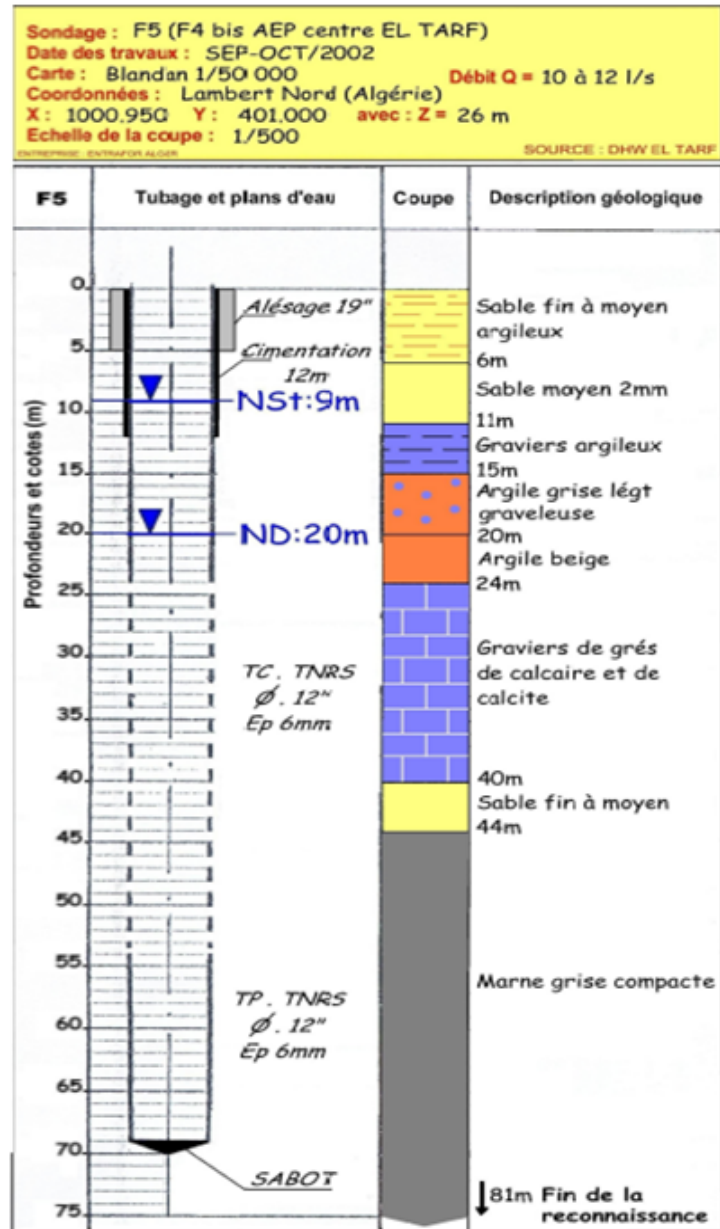
Tableau : Tables ou systèmes de cotation numérique.



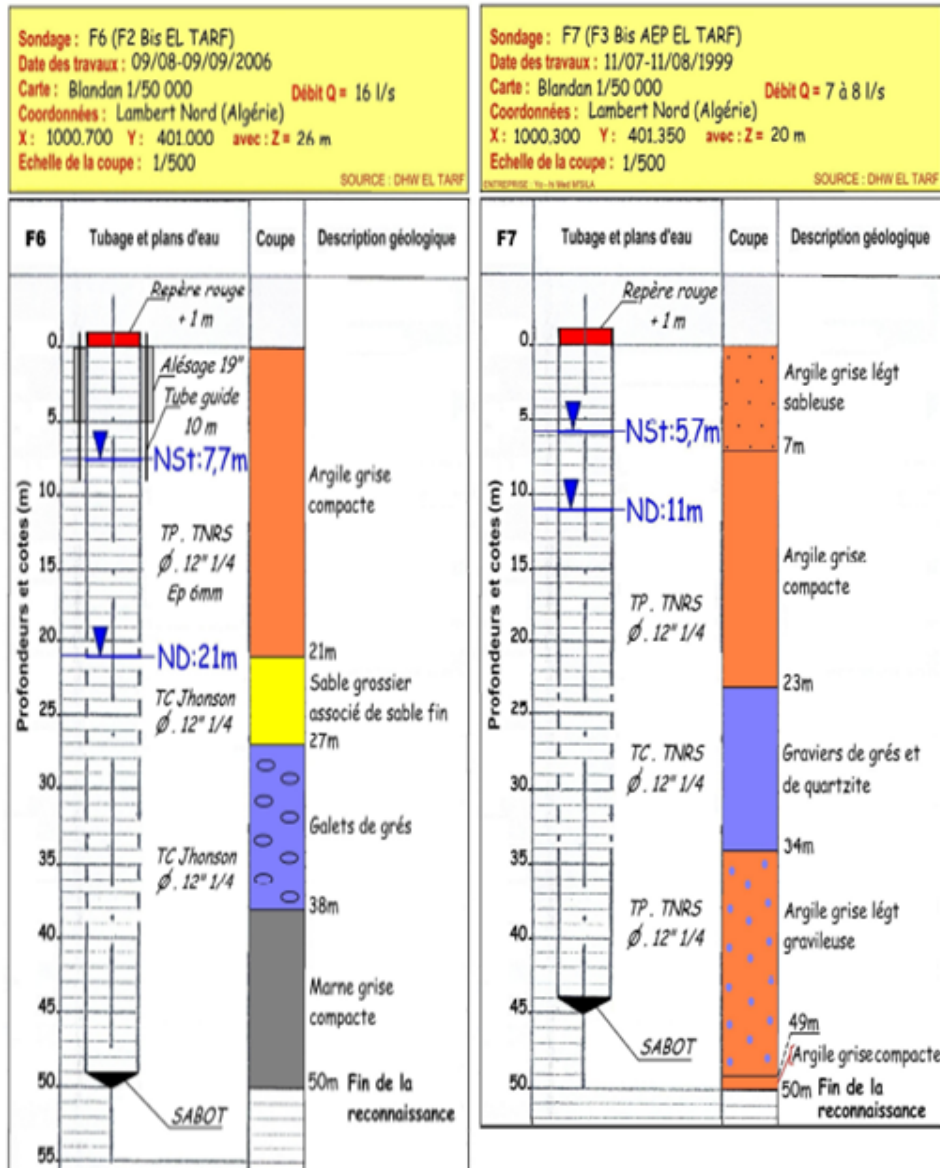
Fiche: Forage 1 et Forage 2



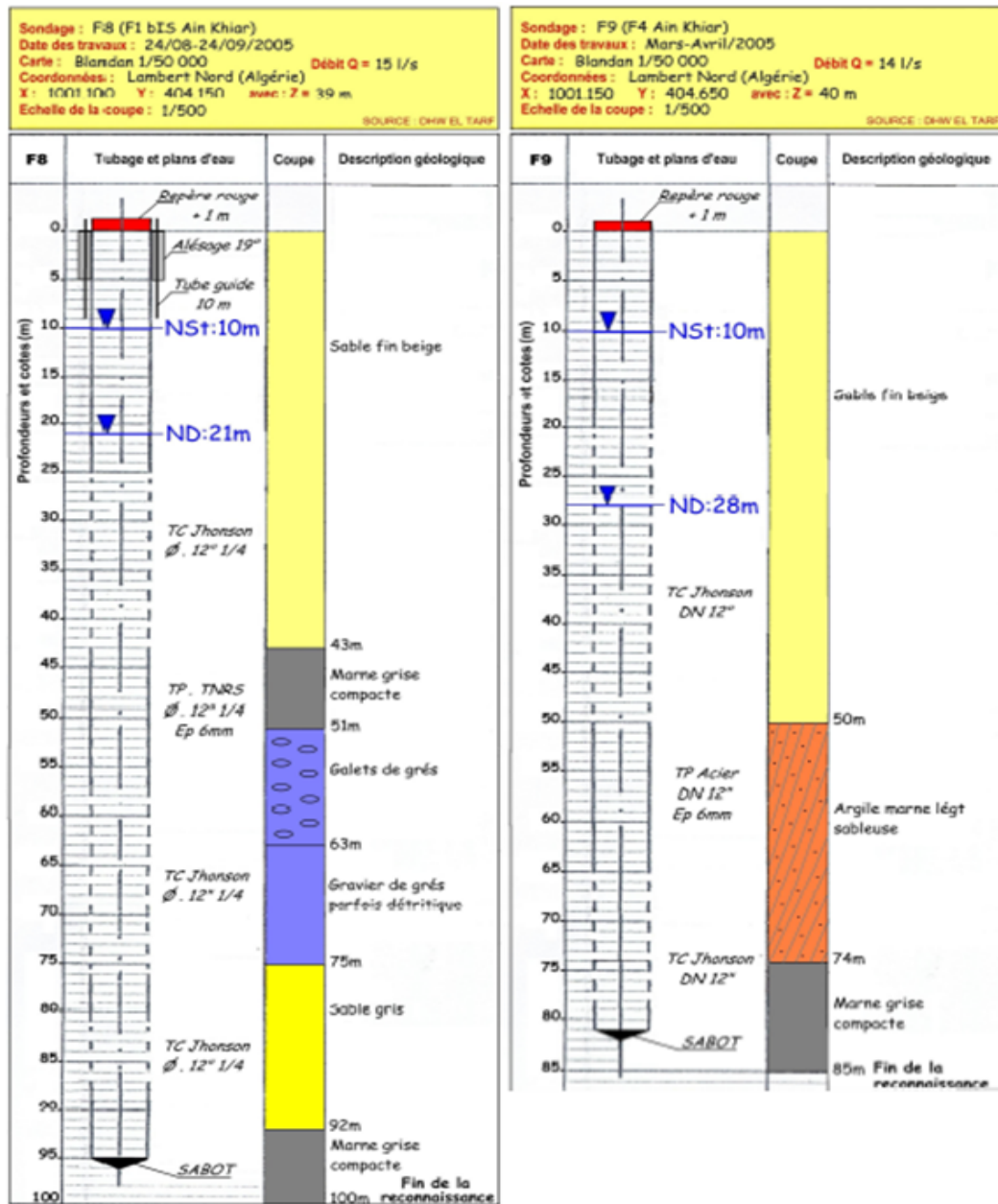
Fiche : Forage 3 et Forage 4



Fiche : Forage 5



Fiche : Forage 6 et Forage 7



Fiche : Forage 8 et Forage 9