

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Badji Mokhtar Annaba
University

Université Badji Mokhtar
Annaba



جامعة باجي مختار
عنابة

Faculté des Sciences de la Terre

Année : **2017**

Département de Géologie

THÈSE

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de

Doctorat en Sciences

Option : **Hydrogéologie**

Hydrogéologie et vulnérabilité à la pollution
des ressources en eau dans la plaine
de Kebir Ouest

Par : **Zohir BOULEKNAFET**

Directeur de thèse : DERRADJI El-fadel professeur à l'UBM-Annaba

Devant le jury

Président : M^r. BENHAMZA Moussa Pr. à l'université d'Annaba

Examineurs : M^r. LARABA Abdelaziz Pr. à l'université d'Annaba

M^r. MAOUI Ammar Pr. à l'université de Guelma

M^r. KACHI Slimane Pr. à l'université de Guelma

M^r. KHECHANA Salim MCA. à l'université d'el Oued

Soutenu publiquement le : **13-12-2017**

REMERCIEMENT

Au terme de ce travail, je voudrais exprimer ma vive reconnaissance envers le professeur Mr : DERRADJI El-fadel, qui a dirigé mon travail depuis le début avec patience et une grande compétence. Ses conseils et sa coopération toujours renouvelée m'ont été infiniment précieux. Il m'est impossible de dire combien je lui suis redevable.

Je tiens également à remercier, Monsieur BENHAMZA Moussa professeur à l'université d'Annaba, de m'avoir fait l'honneur de présider le jury de thèse, ainsi que Messieurs, LARABA Abdelaziz professeur à l'université d'Annaba, MAOUI Ammar et KACHI Slimane professeurs à l'université de Guelma et KHECHANA Salim Maître de Conférences à l'université d'El-oued, d'avoir accepté d'évaluer et juger ce travail.

Mes remerciements vont également aux personnels de différents bureaux et entreprises qui ont participé à l'élaboration de ce travail chacun par sa méthode et ses capacités.

Mes remerciements ne seraient pas complets sans une pensée à ma famille, qui n'a jamais épargnée le moindre effort pour m'aider depuis mon enfance jusqu'à ce niveau, un grand merci d'abord pour mon père, que le dieu clément lui accueille dans son paradis, pour ma très chère mère, mes frères et sœurs et ses enfants, pour ma femme et mon fils BAHA-EDDINE.

À tous mes amis, collègues et camarades MERCI.

Bouleknafet Fohir

*Hydrogéologie et vulnérabilité à la pollution des ressources en eau dans
la plaine du Kebir Ouest*

RÉSUMÉ

Le problème de l'absence d'eau douce au fil du temps en raison de notre situation géographique ou de notre utilisation irrationnelle, ainsi que du problème de pollution des sources nettes, nous oblige à trouver des solutions rapides, durables et efficaces pour assurer la conformité et ne pas tomber dans le tabou. La plupart des gens ne connaissent pas la vérité de l'eau et ils ne peuvent pas estimer sa valeur.

La plaine de Kebir Ouest est une zone côtière à l'Est de Skikda. Son climat et sa formation géologique ont contribué à créer des conditions idéales pour la création des réservoirs importants d'eaux souterraines, et de surface sous forme d'étangs et de marais, ainsi qu'au réseau hydrographique.

Les eaux souterraines sont considérées comme la principale ressource fournissant de l'eau potable à la région, en raison de sa disponibilité et de sa distance par rapport aux sources de pollution. Cependant, au fur et à mesure, l'augmentation de l'activité agricole et industrielle due à la forte croissance démographique a rendu ces réservoirs menacés par la pollution de toutes sortes.

La demande d'eau augmente de jour en jour pour l'usage domestique ou pour les secteurs de l'agriculture et de l'industrie, mais ces consommateurs n'ont pas respecté les règles de sécurité, car les usines déversent leurs déchets dans l'environnement et dans les vallées directement sans traitement, comme c'est le cas pour la plupart des maisons qui ne disposent pas de systèmes d'assainissement, Alors que dans le cas de l'agriculture, l'utilisation d'engrais au hasard et sévèrement augmente la pollution du sol, et par conséquent les réservoirs deviennent en danger.

Cette étude a été menée dans la plaine de Kebir Ouest pour déterminer les propriétés physiques et chimiques de cette eau et donc identifier les sources et les degrés de pollution et l'impact des polluants provenant de l'industrie, de l'agriculture et des déchets ménagers qui ont touché les eaux souterraines et superficielles, en essayant de trouver des solutions appropriées pour économiser la richesse en eau. Parce que c'est la source de la vie et Nous ne pouvons pas vivre sans eau.

Mots clés : *Kebir Ouest- eaux souterraines- pollution- propriétés physico-chimiques, vulnérabilité*

Hydrogeology and vulnerability to water resource pollution in the western Kebir plain

ABSTRACT

The problem of the absence of fresh water over time due to our geographical location or irrational use, as well as the problem of pollution from net sources, forces us to find rapid, sustainable and effective solutions to ensure compliance and not fall into the taboo. Most people do not know the truth of water and they can not estimate its value.

The Kebir West Plain is a coastal area to the east of Skikda. Its climate and geological formation have contributed to creating ideal conditions for the creation of important reservoirs of groundwater, surface waters in the form of ponds and marshes, as well as the hydrographic network.

Groundwater is considered to be the main resource providing drinking water to the region, due to its availability and distance from sources of pollution. However, as agriculture and industrial activity increased as a result of high population growth, these reservoirs were threatened by pollution of all kinds.

Demand for water is increasing day by day for domestic use or for the agriculture and industry sectors, but these consumers have not respected the safety rules as factories dump their waste in the environment and in the valleys directly without treatment, as is the case for most homes that do not have sewerage systems , While in the case of agriculture, the use of fertilizers at random and intensive, which increases the pollution of the soil and thus become these reservoirs at great risk.

This study was conducted in the plain of Kebir West to determine the physical and chemical properties of this water and thus identify the sources and degrees of pollution and the impact of pollutants from industry, agriculture and waste households who have touched ground and surface water, trying to find appropriate solutions to save water wealth. Because it is the source of life and we can not live without water.

Keywords : *Kebir West Plain- pollution- physical and chemical properties- vulnerability- underground water*

الهيدرولوجيا والتعرض لتلوث الموارد المائية في سهل وادي الكبير الغربي

ملخص

إن مشكلة نفاذ الماء العذب مع مرور الوقت نظرا لموقعنا الجغرافي أو الإستعمال الغير عقلاني إضافة إلى مشكلة تلويث المصادر الصافية يحتم علينا البحث عن حلول سريعة ودائمة وفعالة من أجل تحقيق الإكتفاء وعدم الوقوع في المحذور، فمعظم الناس لا زالوا لا يعرفون حقيقة الماء ولا يقدرّون ثمنه.

سهل وادي الكبير عبارة عن منطقة ساحلية واقعة شرق مدينة سكيكدة، مناخه وتركيبته الجيولوجية ساعدا على توفير الشروط المثالية لتكوين خزانات مهمة من المياه الجوفية، والسطحية على شكل برك ومستنقعات بالإضافة إلى شبة الوديان التي تزرع بها المنطقة.

وتعتبر المياه الجوفية المورد الرئيسي الذي يمون المنطقة بالمياه الصالحة للشرب، وذلك لوفرتها وبعدها عن مصادر التلوث، لكن مع مرور الوقت وزيادة النشاط الزراعي والصناعي نتيجة النمو الديمغرافي الكبير أصبحت هذه الخزانات مهددة بالتلوث بشتى أنواعه.

إن الطلب على الماء يزداد يوما بعد يوم سواء للإستعمال المنزلي أو لقطاعي الزراعة والصناعة، لكن هؤلاء المستهلكين لم يحترموا قواعد السلامة حيث تقوم المصانع برمي فضلاتها في الوسط البيئي و في الوديان مباشرة دون معالجة، كما هو الحال لمعظم المنازل التي لا تتوفر على شبكات الصرف الصحي، أما في ما يخص الفلاحة فإن إستعمال الأسمدة بشكل عشوائي وكثيف هو الذي يزيد من تلويث التربة وبالتالي أصبحت هذه الخزانات في خطر كبير.

وقد أجريت هذه الدراسة في منطقة سهل وادي الكبير بهدف تحديد الخصائص الفيزيائية والكيميائية لهذه المياه وبالتالي معرفة مصادر التلوث ودرجاته ومدى تأثير الملوثات الناتجة عن الصناعة والزراعة والنفايات المنزلية التي مست المياه الجوفية والسطحية محاولين إيجاد حلول مناسبة لإنقاذ الثروة المائية لأنه مصدر الحياة ولا يمكن التفريط فيه أو العيش من دونه.

الكلمات المفتاحية : وادي الكبير، المياه الجوفية، التلوث، الخصائص الفيزيائية والكيميائية، الحساسية

SOMMAIRE

Remerciement	I
Résumé	II
Abstract	III
ملخص	IV
Sommaire	V
Liste des tableaux	XIII
Liste des figures	XV
Introduction générale	1

CHAPITRE I : CARACTERISTIQUES NATURELLES

I. SITUATION GEOGRAPHIQUE	3
II. APERÇU MORPHOLOGIQUE	4
II.1 Caractéristiques de la surface topographique	4
II.2 Répartition des surfaces en fonction de l'altitude	4
II.1.1 Caractéristiques de disposition dans le plan	6
a) La forme	6
b) Le rectangle équivalent	7
II.1.2 Indices de pente	7
a) Indice de pente global	7
II.1.3 Le réseau hydrographique	7
a) Caractéristiques du réseau hydrographique	7
b) Principaux ressources superficielles	8
1. Les oueds	8
2. Les marais	9
3. Les garâats	9
III. GÉOMORPHOLOGIE	10
III.1 Massifs de bordure	10
III.2 Vallée de l'oued el-Kebir Ouest	10
III.3 Massif dunaire	10
III.4 Les Terrasses	10
III.4.1 Terrasse I	10

III.4.2	Terrasse II	10
III.4.3	Terrasse III	10
III.5	Colluvions	11
III.6	Éboulis	11
III.7	Marécages	11
III.8	Côte	11
III.9	Plage	11
III.10	Massif karstique	11
III.11	Formes d'érosion	11
IV.	TAPIS VÉGÉTAL	11
IV.1	Introduction	11
IV.2	Le domaine agricole	13
IV.2.1	Les terrains agricoles	13
IV.2.2	Les terrains arboricoles	13
IV.2.3	L'olivier	13
IV.3	La végétation naturelle	13
IV.3.1	Les forêts et les maquis	13
	a) Les forêts	13
	b) Les maquis	13
IV.3.2	Le reboisement	14
IV.3.3	Terrains nus	14
IV.4	Autre occupation	14
IV.4.1	Les lacs et les marais	14
IV.4.2	Le tissu urbain	14
V.	CONCLUSION	16

CHAPITRE II : ÉTUDE GÉOLOGIQUE

I.	INTRODUCTION	17
II.	GÉOLOGIE DE L'ALGÉRIE	17
	II.1 Les chaînes littorales kabyle	18
	II.2 Les chaînes telliennes	18
	II.3 Les Hauts plateaux et les Hautes plaines	18
	II.4 L'Atlas Saharien	18
III.	GÉOLOGIE DE LA RÉGION D'ÉTUDE	19
	III.1 Introduction	19
	III.2 Lithostratigraphie de la région	19
	III.2.1 Paléozoïque	19
	❖ Les formations cristallophylliennes	19
	III.2.2 Mésozoïque	20
	❖ Les formations sédimentaires	20
	III.2.3 Cénozoïque	23
	❖ Les formations sédimentaires	23
	a) Flysch Oligocène	23
	b) Flysch numidien	23
	III.2.4 Quaternaire	24
	III.2.4.1 Quaternaire ancien ou Pléistocène	24
	III.2.4.2 Quaternaire récent ou Holocène	24
	III.3 Tectonique	26
	III.3.1. Introduction	26
	III.3.2. Les ensembles structuraux	26
	III.3.2.1 Structure autochtone	26
	III.3.2.2 Structure para-autochtone	26
	III.3.2.3 Structure allochtone	27
	a) Nappe de charriage métamorphique kabyle du Paléozoïque inférieur	27
	b) Nappe du flysch argilo-gréseux	27
	c) Nappe de charriage numidienne	28
IV.	CONCLUSION	28

CHAPITRE III : HYDROCLIMATOLOGIE

I.	INTRODUCTION	29
II.	CLIMAT ET L'EAU EN ALGÉRIE	29
III.	PARAMÈTRES CLIMATOLOGIQUES	29
	III.1 Régime des vents	30
	III.2 Humidité relative	31
	III.3 Précipitations	31
	III.3.1 Répartition interannuelle des précipitations	32
	III.3.2 Répartition mensuelle des précipitations	35
	III.3.3 Représentation saisonnière des précipitations	35
	III.3.4 Estimation de la lame d'eau moyenne précipitée	36
	A. Méthode des Isohyètes	36
	B. Méthode Arithmétique	37
	C. Méthode de THIESSEN	37
	III.4 Température	37
	III.4.1 Relation précipitation – température	39
	a) Le diagramme Ombrothermique	39
	b) La courbe Ombrothermique	39
	c) Détermination d'humidité du sol (méthode d'HEUVERTE)	40
IV.	LE RÉGIME CLIMATIQUE	40
	a) Indice de MARTONNE	40
	b) Climagramme de L. EMBERGER	41
	c) Climatogramme de PEGUY	43
V.	LE BILAN HYDRIQUE	44
	V.1 Évapotranspiration	44
	V.1.1 Évapotranspiration potentielle ETP	44
	V.1.2 Calcul de l'ETP selon THORNTHWAITE	44
	V.1.3 Évapotranspiration réelle ETR	45
	V.2 Calcul de l'ETR	45
	a. Formule de TURC	45
	b. Formule de COUTAGNE	46
	c. Formule de WUNDT	47
	V.3 Méthode du bilan hydrique de THORNTHWAITE	48
	V.4 Discussion des résultats	51
	V.5 Le bilan hydrologique	51
	V.6 Calcul de l'infiltration	51
VI.	CONCLUSION	52

CHAPITRE IV : HYDROGÉOLOGIE

I.	INTRODUCTION	53
i.	Les dépôts quaternaires récents	53
ii.	Les formations quaternaires anciennes	53
iii.	Les grès dunaires	53
II.	GÉOMÉTRIE DES AQUIFÈRES	54
II.1	Caractéristiques hydrogéologiques des formations aquifères	54
II.1.1	Région Nord du massif dunaire	54
II.1.2	Région centrale de la plaine	54
a.	Le bassin versant de Kebir Ouest	55
b.	Le massif dunaire de Guerbès	56
II.2	Extension des nappes	57
II.2.1	Cartes isopaques	58
a-	Nappe libre	58
b-	Nappe profonde	59
II.2.2	Carte de substratum	59
III.	APERÇU SUR L'HYDROLOGIE DE SURFACE	60
IV.	HYDROLOGIE SOUTERRAINE	61
IV.1	La piézométrie	61
IV.2	Utilité de la carte piézométrique	61
IV.3	Inventaire des points d'eau	61
IV.4	Interprétation des cartes piézométrique	62
IV.4.1	Carte piézométrique Avril 2013	62
1)	La zone Nord	62
2)	La zone centrale	62
IV.4.2	Carte piézométrique Octobre 2013	63
IV.4.3	Conclusion sur les cartes piézométriques	64
IV.4.4	Exploitation des eaux souterraines	65
V.	CARACTÉRISTIQUES HYDRODYNAMIQUES DES AQUIFERES	66
V.1	Définition des caractéristiques hydrodynamiques	66
V.1. 1	Perméabilité	66
V.1. 2	Transmissivité	66
V.1. 3	Coefficient d'emmagasinement	67

V.2	Détermination des paramètres hydrodynamiques	67
V.2.1	La transmissivité	67
V.2.2	La perméabilité	68
V.2.3	Le coefficient d'emmagasinement	68
V.3	Interprétation des résultats	68
V.3.1	Épaisseur de la nappe	69
V.3.2	Estimation de la réserve en eau	69
V.3.3	Transmissivité	69
V.3.4	Carte des conditions aux limites	70
VI.	CONCLUSION	72

CHAPITRE V : HYDROCHIMIE

I.	INTRODUCTION	73
II.	PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES	75
II.1	Paramètres physiques	75
II.1.1	La température (T)	75
II.1.2	Le potentiel d'Hydrogène (pH)	75
II.1.3	L'oxygène dissous (OD)	76
II.1.4	La conductivité électrique (CE)	77
a)	La nappe superficielle	77
b)	La nappe profonde	77
II.1.5	Le potentiel d'oxydoréduction (Eh)	78
a)	La nappe superficielle	78
b)	La nappe profonde	78
II.1.6	La salinité	79
II.1.7	Les TDS	79
III.	CARACTERISTIQUES CHIMIQUES DES EAUX DE SURFACE	80
III.1	Éléments majeurs	81
III.1.1	Cations	81
A.	Calcium (Ca^{2+})	81
B.	Magnésium (Mg^{2+})	81
C.	Sodium (Na^+)	82
D.	Potassium (K^+)	82

III.1.2 Anions	83
A. Chlorures (Cl ⁻)	83
B. Sulfate (SO ₄ ²⁻)	83
C. Bicarbonates (CO ₃ ²⁻)	84
III.2 Métaux lourds et Nitrates	84
A. Fer (Fe ²⁺)	84
B. Manganèse (Mn ²⁺)	85
C. Nitrates (NO ₃ ⁻)	86
III.3 Analyses physico-chimiques	86
A. Turbidité	86
B. Demande biologique et chimique en Oxygène (DBO ₅ et DCO)	87
B.1 DBO ₅	87
B.2 DCO	88
C. Matières en suspension (MES)	89
IV. PRÉSENTATION GRAPHIQUE DES ANALYSES CHIMIQUES	91
V. CARACTERISTIQUES CHIMIQUES DES EAUX SOUTERRAINES	94
V.1 Traitement des résultats	95
a. Diagramme de Piper	95
b. Diagramme de Stiff	96
c. Diagramme de Schöeller Berkaloff	97
V.2 Aptitude des eaux à l'irrigation	97
a) Les eaux superficielles	97
b) Les eaux profondes	98
V.3 Normes de potabilité des éléments majeurs	99
➤ Calcium	99
➤ Magnésium	100
➤ Sodium	100
➤ Potassium	100
➤ Chlorures	100
➤ Sulfates	100
➤ Bicarbonates	100
VI. CONCLUSION	101

CHAPITRE VI : VULNÉRABILITÉ

I.	INTRODUCTION	102
II.	OBJECTIF ET MÉTHODE DE TRAVAIL	102
III.	ÉVALUATION DE LA VULNÉRABILITÉ DES EAUX SOUTERRAINES	103
	III.1 Méthode DRASTIC	103
	III.1.1 Base de données et acquisition	105
	III.1.2 Description des paramètres et élaboration des cartes thématiques	105
	A. Épaisseur de la zone non saturée (D)	105
	B. Recharge nette (R)	106
	C. Lithologie de l'aquifère (A)	108
	D. Nature de sol (S)	109
	E. Topographie (T)	110
	F. Zone non saturée (I)	111
	G. Conductivité Hydraulique (C)	112
	H. Indice DRASTIC et degré de vulnérabilité	113
	III.2 Méthode GOD	115
	III.2.1 Description des paramètres et réalisation des cartes thématiques	116
	A. Type de l'aquifère « G »	116
	B. Type de lithologie « O »	117
	C. Profondeur de la nappe « D »	117
	D. Indice GOD et degré de vulnérabilité	118
	III.3 Discussion des résultats	120
IV.	CAUSES DE LA VULNÉRABILITÉ DES EAUX SOUTERRAINES	120
	a- Les causes naturelles	121
	b- Les Causes anthropiques	121
V.	CONCLUSION	121
	CONCLUSION GÉNÉRALE	122
	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	124

Liste des tableaux

CHAPITRE I : Caractéristiques Naturelles

Tableau I. 1. Répartition altimétrique des bassins versants d'Oued el Kebir	3
Tableau I. 2 : Longueurs des principaux oueds dans la plaine de Kebir Ouest.	7
Tableau I. 3 : Principales marais et garâats dans la plaine de Kebir Ouest.	8
Tableau I. 4 : Répartition des types de végétations	11

CHAPITRE III : Hydroclimatologie

Tableau III.1. Références des stations pluviométriques	29
Tableau III.2. Vitesse du vent enregistrée à la station de Skikda	29
Tableau III.3. Humidité relative moyenne mensuelles à la station de Skikda	30
Tableau III.4. Les valeurs minimales et maximales observées dans différentes stations	31
Tableau. III.5 : Représentation saisonnière des précipitations	34
Tableau III.6 : La température moyenne mensuelle série P. SELTZER	36
Tableau III.7 : La température moyenne mensuelle à la station de Skikda	36
Tableau III. 8 : Relation température précipitation	39
Tableau III. 9 : Répartition des régimes selon la méthode d'Heuverte	39
Tableau III.10 : Calcule de l'ETP selon THORNTHWAITE	44
Tableau III.11 : Évapotranspiration réelle (méthode de COUTAGNE)	45
Tableau III.12 : Bilan de THORNTHWAITE	47
Tableau III.13 : Valeurs de l'évapotranspiration obtenues par les différentes méthodes	50

CHAPITRE IV : Hydrogéologie

Tableau IV.1: vitesse de filtration et perméabilité intrinsèque de sols	65
Tableau IV.2: récapitulation des résultats de la T, K et s dans la plaine de Kebir Ouest et le massif de Guerbès.	67

CHAPITRE V : Hydrochimie

Tableau : V.1 Normes de l'OMS sur l'eau potable	73
Tableau V.2. Récapitulation des résultats des analyses des campagnes d'échantillonnage	79
Tableau : V.3. Résultats du rapport DCO / DBO ₅ dans la plaine de Kebir Ouest	87
Tableau : V.4 Représentation des formules ioniques et des faciès chimiques	91
Tableau : V.5 Synthèse des analyses chimiques des eaux de la plaine et d'oued Kebir Ouest	93
Tableau : V.6 Représentation des formules ioniques et des faciès chimiques des eaux souterraines	93

CHAPITRE VI : Vulnérabilité

Tableau. VI.1 : Poids associés aux paramètres de la méthode DRASTIC (Aller et al., 1987) (In Hamza et al., 2007).	103
Tableau. VI.2 : Critères d'évaluation des de la vulnérabilité dans la méthode DRASTIC.	103
Tableau. VI.3 : propriétés et poids des paramètres de DRASTIC	104
Tableau VI. 4 : Classes et notes des sept paramètres d'après (Lallemand et Barres,1994).	113
Tableau VI.5 : Critère d'évaluation de la vulnérabilité dans la méthode DRASTIC (Aller et al., 1987)	113
TableauVI.6 : Classification de la vulnérabilité par la méthode GOD selon (Foster,1987)	114
Tableau VI.7 : Indice de vulnérabilité et critère d'évaluation par la méthode GOD	115
Tableau VI.8 : Pourcentage des superficies selon les classes de vulnérabilité	119
Tableau VI.9 : principaux pôles de pollution.	120

Listes des figures

CHAPITRE I : CARACTERISTIQUES NATURELLES

Figure I. 1 : Situation géographique de la zone d'étude	3
Figure I. 2 : Courbe hypsométrique et diagramme de fréquences altimétrique du sous bassin de Hammam	5
Figure I. 3 : Courbe hypsométrique et diagramme de fréquences altimétrique du sous bassin de Magroun	6
Figure I. 4 : Longueur des principaux oueds dans la région de Guerbès Sanhadja.	8
Figure I. 5 : Répartition des types de végétations dans Guerbès Sanhadja	12
Figure I. 6 : Occupation du sol et types de végétations dans la région de Guerbès Sanhadja	15

CHAPITRE II : ÉTUDE GÉOLOGIQUE

Figure II.1: Cadre structural schématique de l'Algérie	17
Figure II.2 : Carte géologique de la région d'Oued el-Kebir Ouest (D'après J.M. VILA. 1978)	21
Figure : N°. I. 3. Coupe géologique à travers oued el-Kebir	25

CHAPITRE III : HYDROCLIMATOLOGIE

Figure III.1 : Vitesse du vent enregistrée à la station de Skikda	30
Figure III.2 : Moyenne Mensuelle de l'humidité relative à la station de Skikda	31
Figure III.3 : Variation interannuelle des précipitations à la station de Skikda (1970-13)	33
Figure III.4 : Variation interannuelle des précipitations à la station de Azzaba (1970-13)	33
Figure III.5 : Variation interannuelle des précipitations à la station de A. Charchar (1970-13)	33
Figure III.6 : Variation interannuelle des précipitations à la station de Zit-Emba (1970-13)	34
Figure III.7 : Variation interannuelle des précipitations à la station de Berrahal (1970-13)	34
Figure III.8 : Variation interannuelle des précipitations (1970-13)	34
Figure. III.9 : Moyennes mensuelles des précipitations (1970-2013)	35
Figure III.10 : Moyennes saisonnière des précipitations (1970-2013)	36

Figure III.11 : La température moyenne mensuelle à la station de Skikda	38
Figure III.12 : La température moyenne mensuelle série de P. SELTZER	38
Figure III. 13 : Diagramme ombrothermique de la station de Skikda (1970-2013)	39
Figure III. 14 : Climagramme de L. EMBERGER	42
Figure III. 15 : Climatogramme de Peguy	43
Figure III.16 : Abaque de WUNDT modifiée par COUTAGNE	47
Figure III.17 : Représentation graphique du bilan de Thornthwaite à la station de Skikda (1970/13)	49
Figure III.18 : Le bilan d'eau selon Thornthwaite à la station de Skikda 1970/2013	50

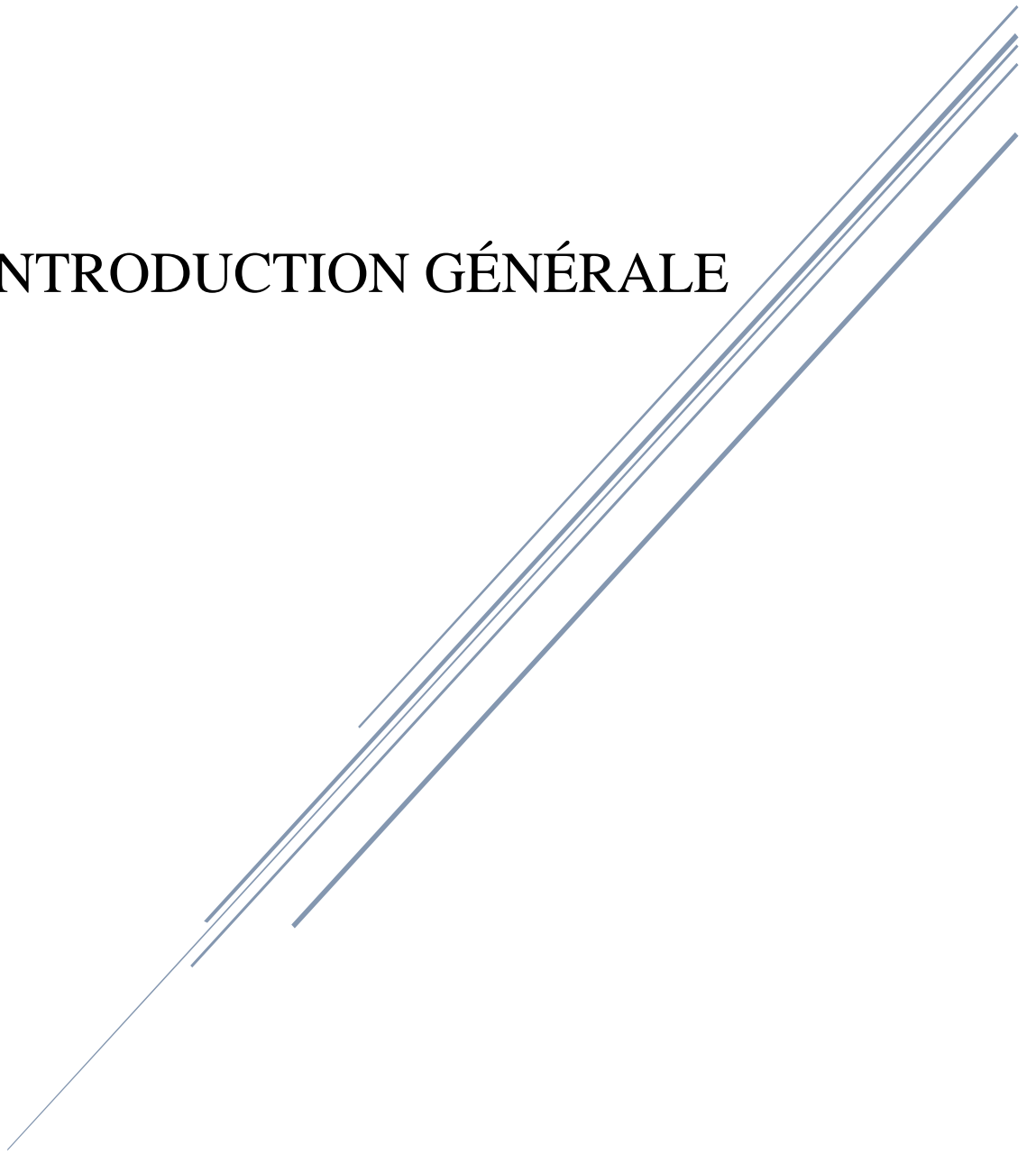
CHAPITRE IV : HYDROGÉOLOGIE	
Figure IV.1 : Coupe Hydrogéologique dans l'aquifère de Azzaba	55
Figure IV.2 : Coupe hydrogéologique (EW) dans le massif dunaire de Guerbès	56
Figure IV.3 : Coupe Hydrogéologique à travers le massif dunaire de Guerbès (NS)	57
Fig IV.4 : Carte des isopaques de la nappe des sables	58
Fig IV.5 : Carte des isopaques de la nappe des alluvions	59
Fig IV.6 : Carte des isobathes du substratum de la nappe profonde	60
Figure IV. 7 : Profil en long du lit d'oued el Kebir	60
Figure IV.8 : Carte piézométrique Avril 2013	62
Figure IV.9 : Carte piézométrique Octobre 2013	63
Figure IV.10 : Carte représentative de la transmissivité dans la plaine de Kebir Ouest et le massif dunaire de Guerbès.	70
Figure IV.11 : Cartes des conditions aux limites de la plaine de Kebir Ouest et le massif de Guerbès	71

CHAPITRE V : HYDROCHIMIE	
Figure V.1 : Variation de la température des eaux de la plaine de Kebir Ouest	75
Figure V.2 : Variation du pH des eaux de la plaine de Kebir Ouest	76
Figure V.3 : Influence de la conductivité électrique dans la plaine de Kebir Ouest	78
Figure V.4: Variations de la salinité de l'eau dans la plaine d'Oued el Kebir Ouest	79
Figure V.5: Variations de TDS de l'eau dans la plaine d'Oued el Kebir Ouest	79
Figure V. 6. Concentrations du Calcium dans les eaux de surface de plaine de Kebir Ouest	81
Figure V. 7. Concentrations du Magnésium dans les eaux de surface de plaine de Kebir Ouest	81
Figure V. 8. Concentrations du Sodium dans les eaux de surface de plaine de Kebir Ouest	82
Figure V. 9. Concentrations du Potassium dans les eaux de surface de plaine de Kebir Ouest	82
Figure V. 10. Concentrations du Chlorure dans les eaux de surface de plaine de Kebir Ouest	83
Figure V. 11. Concentrations du Chlorure dans les eaux de surface de plaine de Kebir Ouest	83
FigureV.12. Concentrations du Bicarbonate dans les eaux de surface de plaine de Kebir Ouest	84
Figure V. 13. Concentrations du Fer dans les eaux de surface de plaine de Kebir Ouest	85
Figure V. 14. Concentrations du Manganèse dans les eaux de surface de plaine de Kebir Ouest	85
Figure V. 15. Concentrations du Nitrate dans les eaux de surface de plaine de Kebir Ouest	86
Figure V. 16. Variation des turbidités dans les eaux de surface de plaine de Kebir Ouest	87
Figure V. 17. Concentration du DBO ₅ dans les eaux de surface de la plaine de Kebir Ouest	87
Figure V. 18. Concentration du DCO dans les eaux de surface de la plaine de Kebir Ouest	88
Figure V. 19. Concentrations des DBO ₅ et DCO et le rapport DCO / DBO ₅ dans les eaux de surface de la plaine de Kebir Ouest	89
Figure V. 20. Variation des M.E.S dans les eaux de surface de la plaine de Kebir Ouest	90
Figure : V.21 Diagramme de Piper	91

Figure : V.22 représentation des analyses chimiques des eaux de Kebir Ouest sur le diagramme de Piper	92
Figure : V. 23 Diagramme de Stiff	93
Figure : V. 24 Diagramme de Stabler	93
Figure : V.25 les faciès chimiques des eaux souterraines d'el Kebir Ouest par le diagramme de Piper	95
Figure : V. 26 Faciès chimiques des eaux souterraines d'el Kebir Ouest par le diagramme de Stiff	96
Figure : V. 27 Faciès chimiques des eaux souterraines d'el Kebir Ouest par le diagramme de Schöeller Berkaloff	97
Figure : V.28 Classification des eaux superficielles de Kebir Ouest par degré d'aptitude à l'irrigation par le diagramme de Wilcox	98
Figure : V.29 Classification des eaux profondes de Kebir Ouest par degré d'aptitude à l'irrigation par le diagramme de Wilcox	99
CHAPITRE VI : VULNÉRABILITÉ	
Figure VI.1 : Profondeurs des nappes de la plaine de Kebir Ouest « paramètre D »	106
Figure VI.2 : Recharge des nappes de la plaine de Kebir Ouest « paramètre R »	107
Figure VI.3 : Nature lithologique des aquifères de la plaine de Kebir Ouest « paramètre A»	108
Figure VI.4 : Nature de sol de la plaine de Kebir Ouest « paramètre S »	109
Figure VI.5 : Topographie de la plaine de Kebir Ouest « paramètre T »	110
Figure VI.6 : lithologie de la couche vadose dans la plaine de Kebir Ouest « paramètre I »	111
Figure VI.7 : Conductivité hydraulique de la plaine de Kebir Ouest « paramètre C »	112
Figure VI.8 : Carte de vulnérabilité à la pollution des eaux souterraine de la plaine de Kebir Ouest selon la méthode DRASTIC	113
Figure VI. 9 : Répartition des degrés de vulnérabilité à la pollution des eaux de la plaine de Kebir Ouest	113
Figure VI.10 : Type d'aquifère de la plaine de Kebir Ouest « paramètre G »	116
Figure VI.11 : Nature lithologique des aquifères de la plaine de Kebir Ouest « paramètre O »	117

Figure VI.12 : Profondeur de la nappe dans la plaine de Kebir Ouest « paramètre D »	118
Figure VI.13 : Carte de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la plaine de Kebir Ouest par la méthode GOD	119
Figure VI. 14 : Répartition des degrés de vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la plaine de Kebir Ouest	119

INTRODUCTION GÉNÉRALE



INTRODUCTION GÉNÉRALE

À la surface du Globe, l'eau se répartit très inégalement. Le bassin méditerranéen a été décrit comme l'une des régions les plus riches et les plus complexes sur les plans géologique, biologique et culturel. (*J. BLONDEL et al., 2010*). Par sa diversité biologique et son degré d'endémicité élevés, il constitue l'un des 25 "points chauds" de la planète. (*M. MYERS et al., 2000*). Toutefois, la perte et la dégradation des habitats y figurent parmi les menaces les plus sérieuses d'érosion de la biodiversité. (*E. RISERVATO et al., 2009*). Au fur et à mesure, le problème de la pénurie et la pollution de l'eau douce s'accroît et devient inévitable, ces milieux naturels n'ont été aussi modifiés qu'en région méditerranéenne, cette pression anthropique est nettement plus intense en Afrique du Nord. (*N. GARCIA et al., 2010*) et il est prévu qu'elle s'intensifie dans la perspective d'un réchauffement climatique qui exacerbera l'aridité de la région. (*M. HULME et al., 2001*).

La ville de Skikda est l'une des villes les plus importantes dans le domaine de l'eau à travers le pays, et la région d'oued Kebir Ouest à l'Est de la wilaya est l'une des zones les plus abondantes de cette matière, qu'il s'agisse d'eaux souterraines ou superficielles, ce qui leur a valu une grande importance environnementale et biologique

La plaine est une zone rurale distincte, de la région d'Ain Charchar dans le Sud à la Marsa dans le Nord, avec l'existence de certaines unités industrielles, en particulier dans le sud, tel les unités de fabrication agro-alimentaire, en plus des unités d'élevages de volailles et de bovins, de briqueteries et carrières.

La croissance démographique de la région a eu un effet direct sur les secteurs agricole et industriel. La superficie des terres cultivées a augmenté, l'agriculture est devenue plus dépendante des engrais chimiques et des pesticides, ce qui a eu une incidence négative sur la qualité des eaux de surface et souterraines. Les unités industrielles n'étaient pas loin de ce problème, leurs déchets déversés dans les cours d'eau ont une grande influence sur les eaux superficielles et par conséquent les eaux souterraines. L'autre source de pollution sont les déchets ménagers, où la zone ne dispose pas d'un réseau d'assainissement approprié, de sorte que les cours d'eau qui collectent tous les rejets, ce qui affecte négativement les autres ressources.

L'agence nationale pour la protection de l'environnement et la lutte contre la pollution (*ANPEP*) estime les déchets industriels en Algérie à un million de tonnes par an. 400.000 tonnes (40%) sont considérées comme toxiques et dangereuses dont 8 % sont jugées comme étant encore plus dangereuses.

La zone Est est la plus polluée du pays avec 55% du chiffre global. Concernant le rejet des déchets industriels dans les cours d'eau, la wilaya de Annaba est classée première avec 50 %, suivie de la wilaya de Skikda avec 10 % de rejets. En effet, l'ANPEP insiste sur la gestion rationnelle des déchets toxiques qui menacent la vie des citoyens et détériorent la qualité des eaux.

Nous avons mené cette recherche, qui repose principalement sur l'étude de la nature Géologique et les caractéristiques Hydrologique, Hydrogéologique et Hydroclimatologique de la région, elle nécessite également une connaissance approfondie des propriétés Hydrochimiques, afin de pouvoir effectuer une estimation de la vulnérabilité à la pollution des eaux à l'aide des méthodes DRASTIC et GOD, pour connaître les zones affectées de plus en plus rapidement, et les degrés de vulnérabilité afin de protéger la zone et préserver leur ressources en eau.

La vulnérabilité des eaux à la pollution dépend du type de nappe, libre ou captive et du mode de circulation de l'eau dans l'aquifère.

Les nappes libres sont les plus vulnérables, les polluants d'origine superficielle peuvent diffuser librement dans le sol et la zone non saturée jusqu'au niveau piézométrique. La fluctuation du niveau piézométrique entraîne les substances polluantes vers la zone saturée de l'aquifère.

Les nappes captives sont mieux protégées par les couches imperméables qui les surmontent. Leur vulnérabilité vis-à-vis de la pollution se manifeste dans le cas où le niveau protecteur imperméable est foré par un ouvrage. (*Ben Rabah Samia2006*).

CHAPITRE 1

*CARACTÉRISTIQUES
NATURELLES*

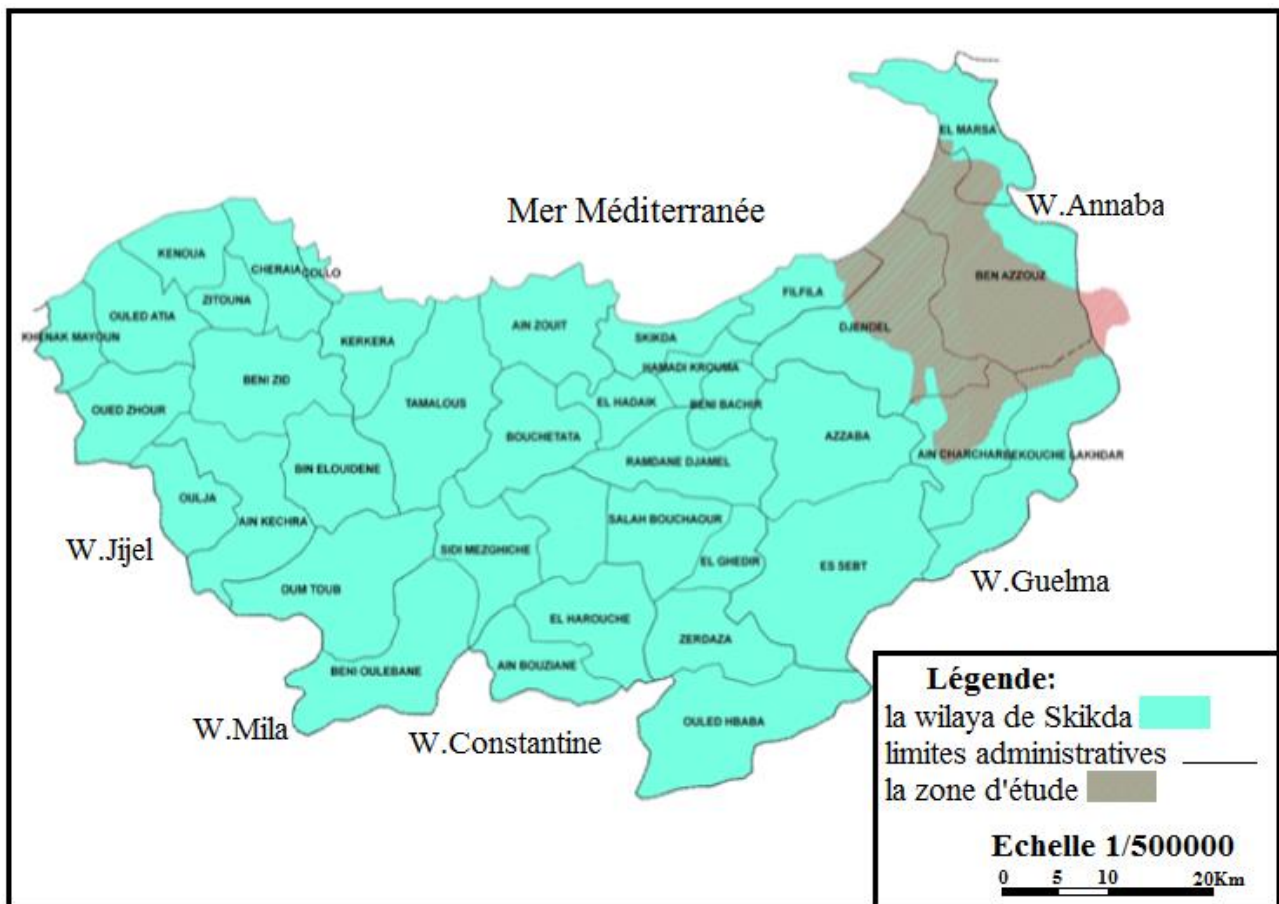


I. SITUATION GÉOGRAPHIQUE

La région d'étude est un Complexe des zones humides appelé Guerbès Sanhadja, il couvre la partie littorale Est de la wilaya de Skikda. Il est encadré par les collines dunaires côtières et la méditerranée au Nord, le massif côtier de Chetaïbi et les monts de l'Edough à l'Est, les reliefs de Boumaïza et Berrahal au Sud-Est, et les monts de Filfila-Safia à l'Ouest et le Sud-Ouest.

Le Complexe de Guerbès Sanhadja est une aire de 42000 ha, appartient au grand bassin côtier Constantinois N° 3, se partage entre trois sous bassins versants. Ce sont le sous bassin côtier Kebir - Magroun appelé sous bassin d'Oued El Kebir (03-12) qui couvre l'essentiel de la surface de la zone humide, celui de Kebir – Hammam (03-11) et enfin celui du côtier Filfila (03-10).

Le secteur d'étude est limité entre les latitudes 36°,46' et 37°,05' Nord et les longitudes 7°,10' et 7°,38' Est. Administrativement la zone d'étude fait partie de la wilaya de Skikda(fig1). *Cahier de l'ABH.*



Source : Direction des Forêts de Skikda

Figure I. 1 : situation géographique de la zone d'étude

II. APERÇU MORPHOLOGIQUE

Dans la zone de Guerbès on distingue deux types de paysages en fonction de leur altitude. La première est une plaine, son élévation varie entre 9 et 12 m, occupant la région Sud-Est et allant tout au long de l'Oued el Kebir, présente sur ses bordures des étangs marécageux. Le deuxième paysage est le gros cordon dunaire, son altitude peut atteindre 110 m de hauteur, il se prolonge vers l'intérieur par une série de dunes plus ou moins hautes et couverte par une forêt de chêne-liège. (Marre. A. 1992)

II.1 Caractéristiques de la surface topographique

La zone étudiée est drainée par le talweg principal d'Oued el Kebir Ouest, qui est le résultat de la confluence de deux cours d'eau, celui de Emchekel et Hammam, il prend naissance au Sud dans la région de Azzaba, ensuite il poursuit son parcours vers le Nord en contournant les dunes pour rejoindre la mer.

On y distingue deux principaux sous bassins :

- le sous bassin de Magroun drainé par le cours supérieur et s'étend sur 396 km².
- le sous bassin de Hammam qui représente la surface drainée par le cours inférieur, il occupe une aire de l'ordre de 1131 km².

Ainsi la surface totale drainée par Oued el Kebir est d'environ 1527 km².

Le périmètre total du bassin est d'environ 250 km.

Le secteur d'étude occupe une aire d'environ 135 Km².

II.2 Répartition des surfaces en fonction de l'altitude

L'altitude a une grande influence sur les facteurs climatiques, c'est elle qui régit les précipitations et la température ainsi que l'écoulement des eaux et le phénomène de l'évaporation.

La relation entre l'altitude et la surface dans un bassin versant est donnée sous forme d'intervalles d'altitude et la surface correspondante qu'elle occupe (tab.I.1), pour tracer la courbe hypsométrique.

La courbe hypsométrique fournit une vue synthétique de la pente du bassin, donc du relief. Par ailleurs, dans un contexte d'évolution géomorphologique, elle renseigne sur le niveau de maturité des cours d'eau.

Tableau I. 1. Répartition altimétrique des bassins versants d'Oued el Kebir

BASSIN DE L'OUED EL KEBIR OUEST							
Hamam				Magroun			
Altitude (m)	Surface (km ²)	Surface (%)	Surface cumulée	Altitude (m)	Surface (km ²)	Surface (%)	Surface cumulée
> 1200	0,90	0,08	0,08	> 1000	0,11	0,03	0,03
1200 - 1000	3,12	0,28	0,36	1000 - 800	1,60	0,40	0,43
1000 - 800	16,79	1,48	1,84	800 - 600	6,00	1,61	1,95
800 - 600	53,06	4,69	6,53	600 - 400	35,60	8,99	10,94
600 - 400	207,31	18,33	24,86	400 - 200	131,40	33,18	44,12
400 - 200	449,74	39,76	64,62	200 - 20	221,29	55,88	100,00
200 - 50	400,16	35,38	100,00				

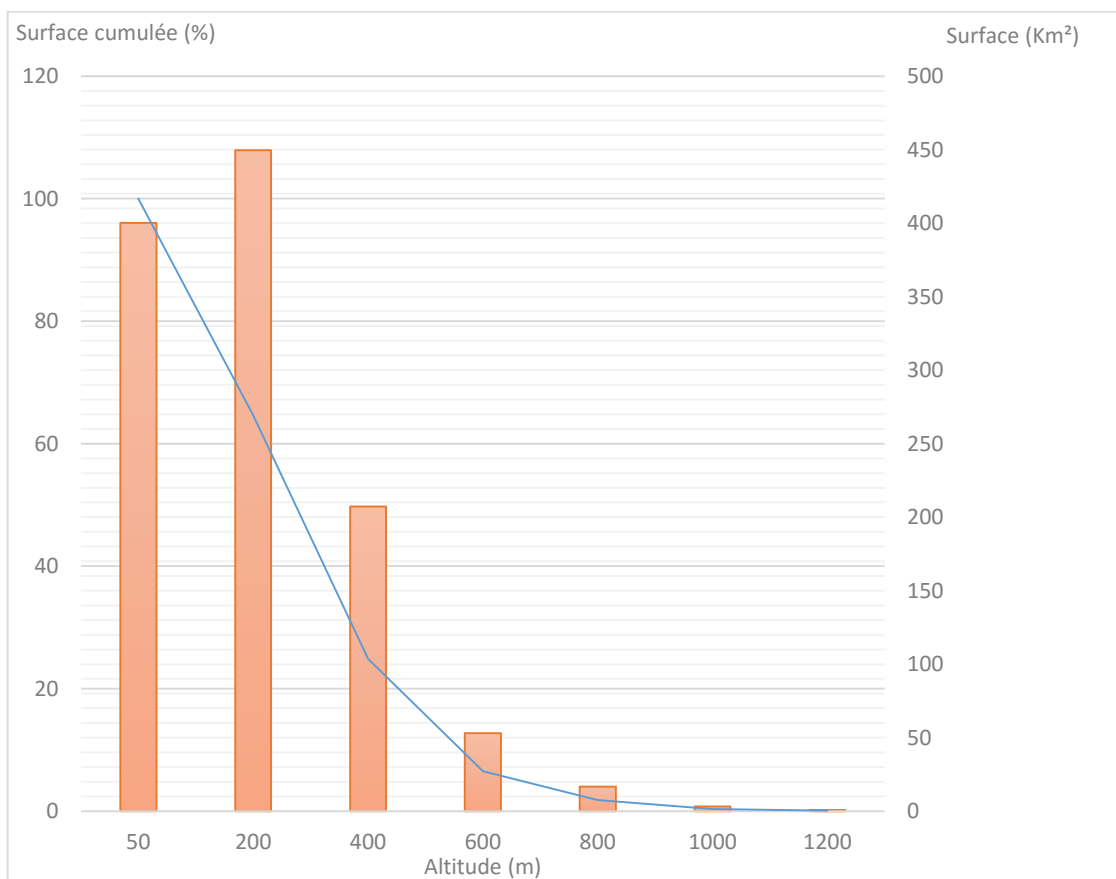


Figure I. 2 : Courbe hypsométrique et diagramme de fréquences altimétrique du sous bassin de Hamam

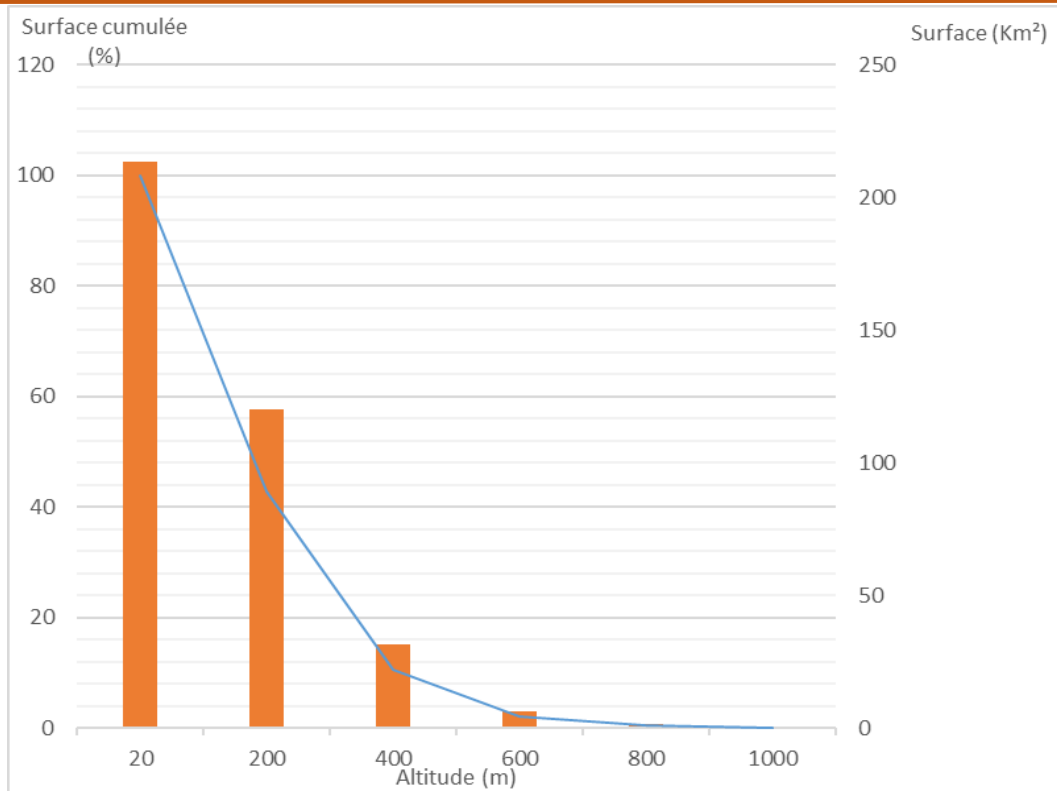


Figure I. 3 : Courbe hypsométrique et diagramme de fréquences altimétrique du sous bassin de Magroun

D'après les deux courbes on remarque que la zone d'étude est caractérisée par des altitudes faibles ou moyennes, sachant que plus de 75% de la superficie du sous bassin de Hammam, et plus de 89% de celui de Magroun sont inférieures à 400m. donc le relief en général est dite modéré allant vers la pénélaine.

II.1.1 Caractéristiques de disposition dans le plan

a) La forme

La forme d'un bassin versant peut-être caractérisé par l'Indice de compacité de Gravelius (1914) K_c , ce paramètre influe directement sur l'écoulement. La forme du bassin détermine l'allure de l'hydrogramme résultant d'une averse donnée, où un bassin allongé ne réagira pas de la même manière qu'un bassin de forme ramassée.

La forme est exprimée par l'indice de compacité, qui correspond au rapport du périmètre P du bassin et sa surface A .

$$K_c = P/2\sqrt{\pi \cdot A} \rightarrow K_c = 0.28 P / \sqrt{A}$$

✓ Le périmètre P est de l'ordre de 96,65Km pour le bassin versant de Kebir Magroun, et de 153Km pour le bassin de Kebir Hammam.

Alors les indices de compacité pour les deux bassins sont respectivement :

➤ $K_c = 0,28 \times 153 / 33,63 \rightarrow K_c = 1,27$ Kebir Hammam.

➤ $K_c = 0,28 \times 96,65 / 19,9 \rightarrow K_c = 1,35$ Kebir Magroun.

Le K_c est supérieur à 1, dans ce cas les deux bassins sont allongés.

b) Le rectangle équivalent

En 1963 L. Roche a introduit cette notion pour la première fois, elle permet la comparaison des bassins versants entre eux. Si l'indice de compacité est supérieur à 1,12, les dimensions du rectangle équivalent sont obtenues à l'aide des relations suivantes :

$$\text{la longueur du rectangle équivalent } L = \sqrt{A} \frac{Kc}{1,128} \left[1 + \sqrt{1 - \frac{(1,12)^2}{(Kc)^2}} \right]$$

$$\text{la largeur } l \text{ est donnée par la relation suivante : } l = [(P - 2L) / 2] \approx \sqrt{A} \frac{Kc}{1,128} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{(1,12)^2}{(Kc)^2}} \right]$$

→ L = 55,24Km et l = 20,47Km pour le bassin de Kebir Hammam

→ L = 23,81Km et l = 10,73Km pour le bassin de Kebir Magroun

II.1.2 Indices de pente

Les indices de pentes servent à caractériser les pentes d'un bassin versant et de permettre la comparaison et la classification, des différents reliefs pour faire ensuite des comparaisons entre les différents bassins. Plusieurs indices peuvent être calculer pour bien classer et comparer les bassins entre eux.

a) Indice de pente global

C'est un paramètre simple et facile à calculer, l'indice de pente globale (I_g) est exprimé en m/km, il est donné par le rapport de la dénivelée simple (D en m) estimée à partir de la courbe hypsométrique à la longueur du rectangle équivalent (L en Km) suivant la formule : $I_g = \frac{D}{L}$

La dénivelée simple (D) est estimée à partir de la courbe hypsométrique, par la différence des altitudes correspondant à 5% et 95% de la superficie totale étudiée; les altitudes dénotées, respectivement, par $H_{5\%}$ et $H_{95\%}$.

$$I_g = D/L = 195 / 55,24 \rightarrow I_g = 3,53 \text{ m/Km à Kebir Hammam.}$$

$$I_g = D/L = 167 / 36,89 \rightarrow I_g = 4,52 \text{ m/Km à Kebir Magroun.}$$

Selon la classification d'IRD (ex ORSTOM) I_g est inférieur à 10 alors le relief est assez faible.

II.1.3 Le réseau hydrographique

a) Caractéristiques du réseau hydrographique

Le réseau hydrographique est un ensemble de canaux naturels de drainage, permanents ou temporaires, où s'écoulent les eaux provenant de ruissellement ou restituées par les nappes souterraines soit sous forme de sources soit par restitution continues le long du lit de l'oued.

Le réseau hydrographique peut se caractériser par trois éléments : sa hiérarchisation, son développement (nombre et longueur des cours d'eau) et son profil en long.

La région d'étude est caractérisée par un réseau hydrographique très dense drainant la totalité de la zone et un nombre considérable de marais et garâats, cela leur permet d'être des terres humides qui doivent être protégés et pris en charge.

b) Principaux ressources superficielles

1. Les oueds

La région de Guerbès Sanhadja se caractérise par un chevelu hydrographique très dense drainant toute la surface de la zone étudiée, ce réseau est constitué essentiellement de deux grands oueds, oued el-Kebir qui naît d'après la confluence d'oueds Emchekel et el-hammam, et oued el-Aneb.

Oued el-Kebir est le plus important dans la zone, aussi bien en longueur qu'en capacité, sa longueur dépasse les 42Km dont sa largeur varie entre 20 et 50m il débauche sur la plage d'el-Marsa.

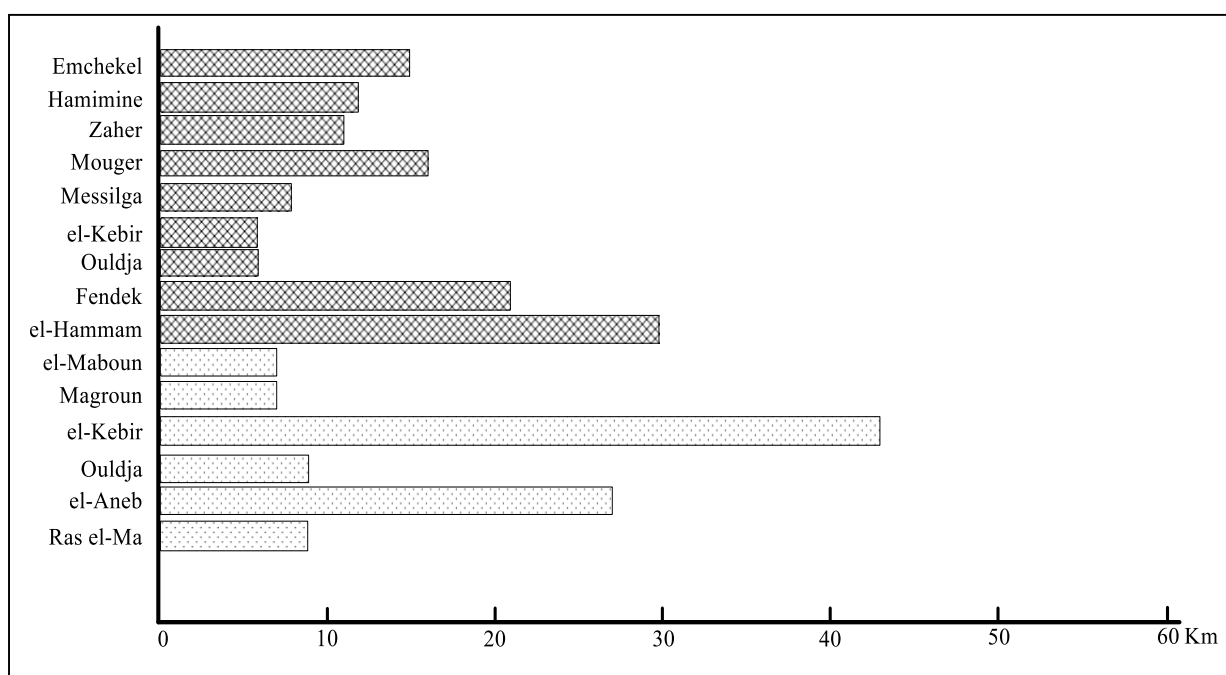


Figure I. 4 : Longueur des principaux oueds dans la plaine de Kebir Ouest.

Tableau I. 2 : Longueurs des principaux oueds dans la plaine de Kebir Ouest.

<i>L'oued</i>	<i>La longueur (Km)</i>	<i>L'oued</i>	<i>La longueur (Km)</i>
<i>El Kebir</i>	43	<i>El-hammam</i>	30
<i>El Maboun</i>	07	<i>Fendek</i>	21
<i>Magroun</i>	07	<i>Ouldja</i>	06
<i>Enkouche</i>	11	<i>El-kebir</i>	06
<i>Ouldja</i>	09	<i>Messilga</i>	08
<i>El Aneb</i>	27	<i>Mouger</i>	16
<i>Ras Elma</i>	09	<i>Zaher</i>	11
		<i>Hamimine</i>	12
		<i>Emchekel</i>	15

2. Les marais

un marais est une lame d'eau stagnante, en général peu profonde, et envahie par la végétation aquatique. C'est une zone humide.

Ils se forment dans des zones mal drainées par le réseau hydrographique, et à sous-sol imperméable. On le trouve dans des zones peu accidentées, soit à proximité de cours d'eau ou de la mer, ou encore dans des creux dépourvus d'écoulement vers la mer (endoréisme).

Cette forme des eaux superficielles se trouve dans les bas-fonds de la plaine de Ben Azzouz (Guerbès Sanhadja) où la texture des sols est argileuse, ces zones favorisent la stagnation des eaux pluviales ou parfois des inondations résultant des crues des cours d'eau.

Cette récession représente une richesse d'eau supplémentaire dont jouit la région, tant en termes de ressources en eau ou en termes de biodiversité.

3. Les garâats

Sont des dépressions qui se remplissent des crues des oueds pendant la période hivernale, ou par les eaux de pluie. Elles se différencient suivant les superficies, et elles sont récapitulées dans le tableau suivant.

Tableau I. 3 : Principales marais et garâats dans la plaine de Kebir Ouest.

Dénomination	Coordonnées Lambert	Code de site	A. (ha)	Alt (m)	Description
<i>G. Dissaya</i>	36° 52' N 07° 21' E	21 013 300 01	2	/	Petite dépression qui se remplit des crues des oueds pendant la période hivernale. Elle est saisonnière et est peu importante.
<i>G. El-Khemissa</i>	36° 52' N 07° 21' E	21 013 300 02	2	/	//
<i>G. Lougnaat</i>	//	21 013 300 03	3	22	Petite dépression temporaire
<i>G. Moussissi</i>	//	21 023 300 04	392	6	Prairie alimentée par Oued El Kebir. Elle est temporaire profondeur maximale 0.5 m
<i>G. Sidi Fritis</i>	//	21 023 300 05	45	14	Marécage entre les dunes de sable, l'eau est douce et peut être temporaire
<i>G. Chichaya</i>	36° 53' N 7° 17' E	21 023 300 06	4	13	Marécage entre les dunes de sable
<i>G. Sidi Makhlof</i>	//	21 023 300 07	5	13	De moins importance.
<i>G. Boumaïza</i>	//	21 033 300 08	6	19	//
<i>G. Beni Mohamed</i>	36° 58' N 7° 16' E	21 043 300 09	462	6	Vaste prairie côtière.
<i>G. Elhaoues</i>	36° 58' N 7° 15' E	21 043 300 10	287	2	Vaste prairie côtière inondable.
<i>G. Messoussa</i>	36° 56' N 7° 15' E	21 043 300 11	32	6	Lac d'eau douce entièrement boisé en aulne glutineux (<i>aulnus glutinosa</i>), détruit à moitié par les sables mouvants.
<i>G. Hadj Tahar</i>	36° 52' N 7° 15' E	21 053 300 12	112	19	Lac d'eau douce généralement remplis toute l'année sauf exception, on trouve les nénuphars, présence d'oiseaux d'eau ; (érismaure à tête blanche).
<i>G. Dahria</i>	36° 59' N 7° 15' E	21 060 380 13	30	1	Lac situé sur l'embouchure d'Oued el Kebir avec la mer méditerranéenne. Lac permanent d'eau salée.

Source : Fiche technique relative à la réhabilitation et la préservation du complexe humide Guerbès-Sanhadja. W. Skikda

III. GEOMORPHOLOGIE

Le bassin versant d'un cours d'eau en une section normale considéré de son cours d'eau, et la surface topographique drainée et ses affluents, de façon que tous écoulements prennent naissance à l'intérieur de cette surface doivent traverser la section considérée pour suivre son trajet.

L'aire d'étude se présente comme une cuvette allongée, remplie par des formations récentes. De point de vue géomorphologique, plusieurs formes s'y rencontrent et qui sont en même temps des unités hydrogéologiques très intéressantes.

III.1 Massifs de bordure

On note que la région est limitée par le massif de l'Edough constitué par des roches métamorphiques d'âge Paléozoïque à l'Est et le massif de Filfila et Safia à l'Ouest, constituées par les calcaires du Crétacé inférieur et par la série flyschöide du Crétacé supérieur et moyen.

III.2 Vallée de l'Oued el-Kebir Ouest

Limitée par les grandes failles de l'Edough et de Filfila, formée avant la Pliocène. Le système de failles dicte le changement des conditions de sédimentation marine et continentale.

III.3 Massif dunaire

Nous notons la présence des dunes distinctes, parallèles au littoral en forme de croissant d'altitude moyenne de l'ordre de 40 m et qui sont le résultat de la rubéfaction des dunes lors de la régression.

Nous remarquons de même les sédiments sableux, hétérogènes, mélangés à des argiles qui diminuent la possibilité aquifère de cette forme géomorphologique.

III.4 Les Terrasses

III.4.1 Terrasse I

Résulte de l'accumulation d'alluvions d'une épaisseur de 20 à 30 m. Cette terrasse est assez étendue, continue et présente un réservoir aquifère assez important.

III.4.2 Terrasse II

Localisée sur la périphérie de la vallée de l'Oued el-Kebir Ouest. Cette deuxième terrasse a été observée au Sud-Est et Sud-Ouest de Ben Azzouz de façon discontinue et présentant une épaisseur de 3 à 4 m.

III.4.3 Terrasse III

Cette terrasse est une petite zone que l'on observe sur les pentes de massifs de bordure avec une très faible puissance, elle est totalement érodée, complètement drainée du point de vue hydrogéologique, elle est sans importance.

III.5 Colluvions

Constitués de pierres et un mélange argilo-sableux d'une épaisseur de 3 à 4 m. Ces colluvions s'accumulent sur les pentes de massifs de bordure et représentent une unité discontinue.

III.6 Éboulis

Constitués par les cailloutis du Numidien, argiles et sables du massif dunaire. Cette forme géomorphologique continue s'observe au pied du djebel Filfila.

Ces éboulis sont probablement le résultat d'action des eaux temporaires et présentent une faible possibilité aquifère, son épaisseur est de 10 m.

III.7 Marécages

Beaucoup de marécages temporaires et permanents existent dans le secteur d'étude et sont localisés dans les terrains argileux et dans les zones représentant une limite entre le massif dunaire et la terrasse. L'augmentation du niveau de l'oued, l'existence de fossés dans le massif dunaire présentent une base argileuse et les précipitations favorisant la formation des marécages.

III.8 Côte

On distingue deux types de côtes :

- Côte liée au massif dunaire et présentant une faible pente et inclinée vers la mer.
- Côte liée aux massifs de bordures caractérisés par une forte pente.

III.9 Plage

C'est une zone formée par les sables du massif dunaire et considérée comme intermédiaire entre les eaux souterraines du massif dunaire et la mer.

III.10 Massif karstique

Cette forme géomorphologique se rencontre au massif de Safia. Ce massif karstique est constitué de calcaires du crétacé inférieur. L'abondance de grottes, cavernes favorisent l'accumulation des eaux.

III.11 Formes d'érosion

Elles sont liées à l'action de précipitations, aux vents et à la faible résistance des sédiments Quaternaires et à la néotectonique. Elles sont présentes dans toute l'étendue de la région.

IV. TAPIS VÉGÉTAL

IV.1 Introduction

L'analyse de la répartition géographique des formations végétal et leur divers type est nécessaire, vu leur action sur le ruissellement et la protection du sol contre l'érosion.

Le couvert végétal a un rôle prépondérant, par son abondance, il joue un rôle important, d'atténuation des crues, et contrairement par son absence ou sa discontinuité il favorise l'érosion hydrique.

La carte d'occupation du sol dans la région de Guerbès nous a permis d'effectuer le planimétrage donnant une estimation approchée des superficies de chaque groupe de végétation ainsi que leur répartition géographique.

Tableau I. 4 : Répartition des types de végétations

Type d'occupation	Superficie (Km ²)	En %
1. Culture et jachère	172.89	43.66
2. Arboriculture	8.99	2.27
3. Olivier	0.67	0.17
4. Forêt dense	1.90	0.48
5. Forêt claire	26.37	6.66
6. Maquis dense	85.34	21.55
7. Maquis claire	42.29	10.68
8. Reboisement	19.72	4.98
9. Terrains nus	16.75	4.23
10. Lacs	20.35	5.14
11. Terrains urbanisés	0.71	0.18

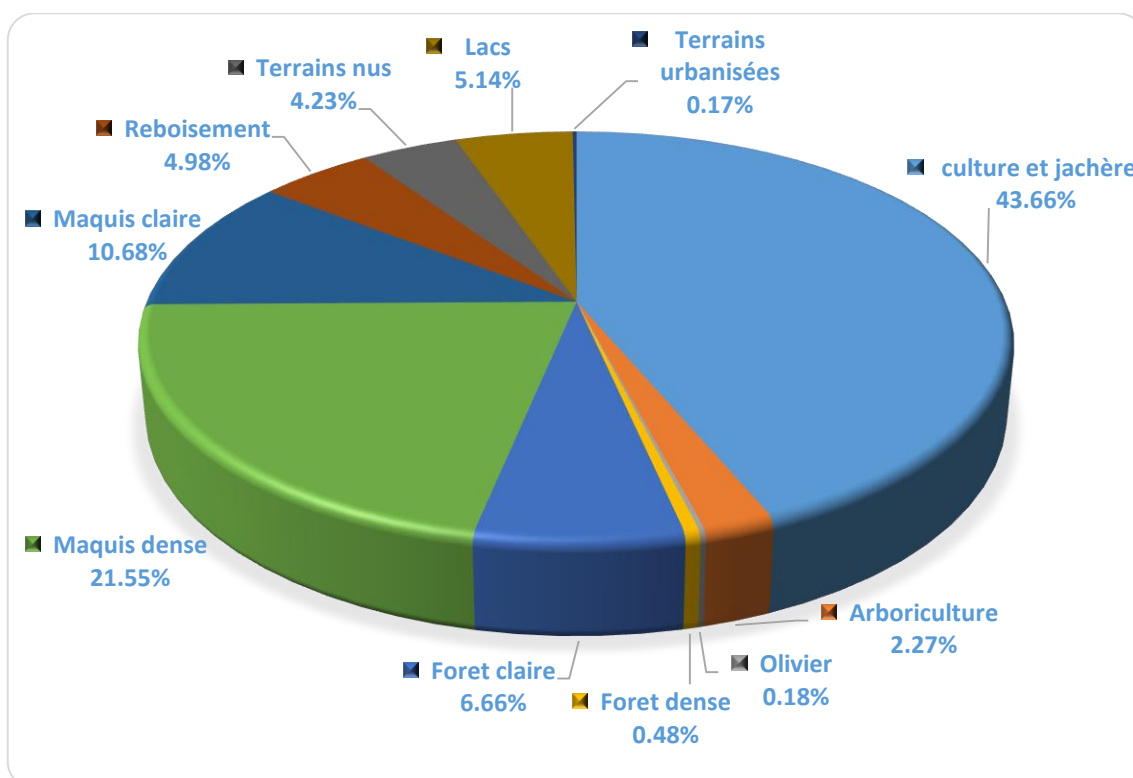


Figure I. 5 : Répartition des types de végétations dans la plaine de Kebir Ouest

Les différentes catégories occupant le sol sont :

IV.2 Le domaine agricole

IV.2.1 Les terrains agricoles

Ce sont les terrains occupés par les cultures englobant les céréalicultures, la jachère, les cultures industrielles et surtout maraichère.

Ils occupent une superficie de 172,89 Km² soit 43,66 % de la superficie totale du sous bassin versant.

Ce qui indique la vocation agricole de la zone.

Ces terrains se localisent surtout le long de l'oued el- Kebir

IV.2.2 Les terrains arboricoles

La part réservée à ce type de culture est faible soit 2,27 % du totale de bassin versant représentant une superficie de 8,99 Km².

Cette culture est localisée au Sud du sous bassin.

IV.2.3 L'olivier

Les oliviers occupent une superficie réduite, ils s'étendent sur une superficie de 0,67 Km² soit 0,17 % de la superficie totale du sous bassin, on les trouve sur les piedmonts et les terrains à pente faible.

IV.3 La végétation naturelle

Ce domaine regroupe toute la végétation naturelle à ses divers états d'évolution, il représente 192,38 Km² soit 48,58 % de la totalité du sous bassin.

IV.3.1 Les forêts et les maquis

Elles jouent un rôle très important dans la protection du sol particulièrement contre l'érosion, elles se situent sur des terrains de moyennes à fortes pentes.

a) Les forêts

Elles couvrent 28,27 Km² soit 7,14 % de la superficie totale dont la forêt dense occupe 0,48 % alors que la forêt claire occupe 6,66 %. Elles se localisent au centre et au Sud-Ouest du sous bassin versant.

b) Les maquis

Ils occupent un territoire de 127,63 Km² soit 32,23 % de la superficie totale du sous bassin versant. Dans cet ensemble on distingue les maquis clairs et denses.

Les maquis denses sont les plus dominants de l'occupation forestière. Ils couvrent 85,34 Km² soit 21,55 % par contre les maquis clairs occupent 42,29 Km² soit 10,68 % de la superficie totale.

Ils se localisent au Nord et à l'Ouest du sous bassin versant.

IV.3.2 Le reboisement

La superficie concernant le reboisement s'élève à 19,72 Km² soit 4,98 % de la superficie totale, elle se localise au Nord-Ouest et au Sud du bassin versant ce qui correspond au forêt de Sanhadja.

IV.3.3 Terrains nus

Ces terrains représentent une superficie de 16,75 Km² soit 4,23 % de la superficie totale de sous bassin.

Ils regroupent des arbres disséminés et d'une très faible densité par hectare.

IV.4 Autre occupation

IV.4.1 Les lacs et les marais

Ils occupent une superficie de 20,35 Km² soit 5,14 % de la superficie, les plus importantes sont localisées le long de l'oued El-Kebir (Garâat Moussissi, Garâat Beni Mohamed, et Garâat hadj Tahar). L'existence de ces garâats est liée à la surface topographique plane du relief.

IV.4.2 Le tissu urbain

Il occupe une petite étendue de 0,71 Km² soit 0,18 % de la superficie du bassin, ce qui correspond au chef-lieu de la commune de Ben Azzouz, village de Ain Nechma, Dem el-Bagrat, et de Guerbès.

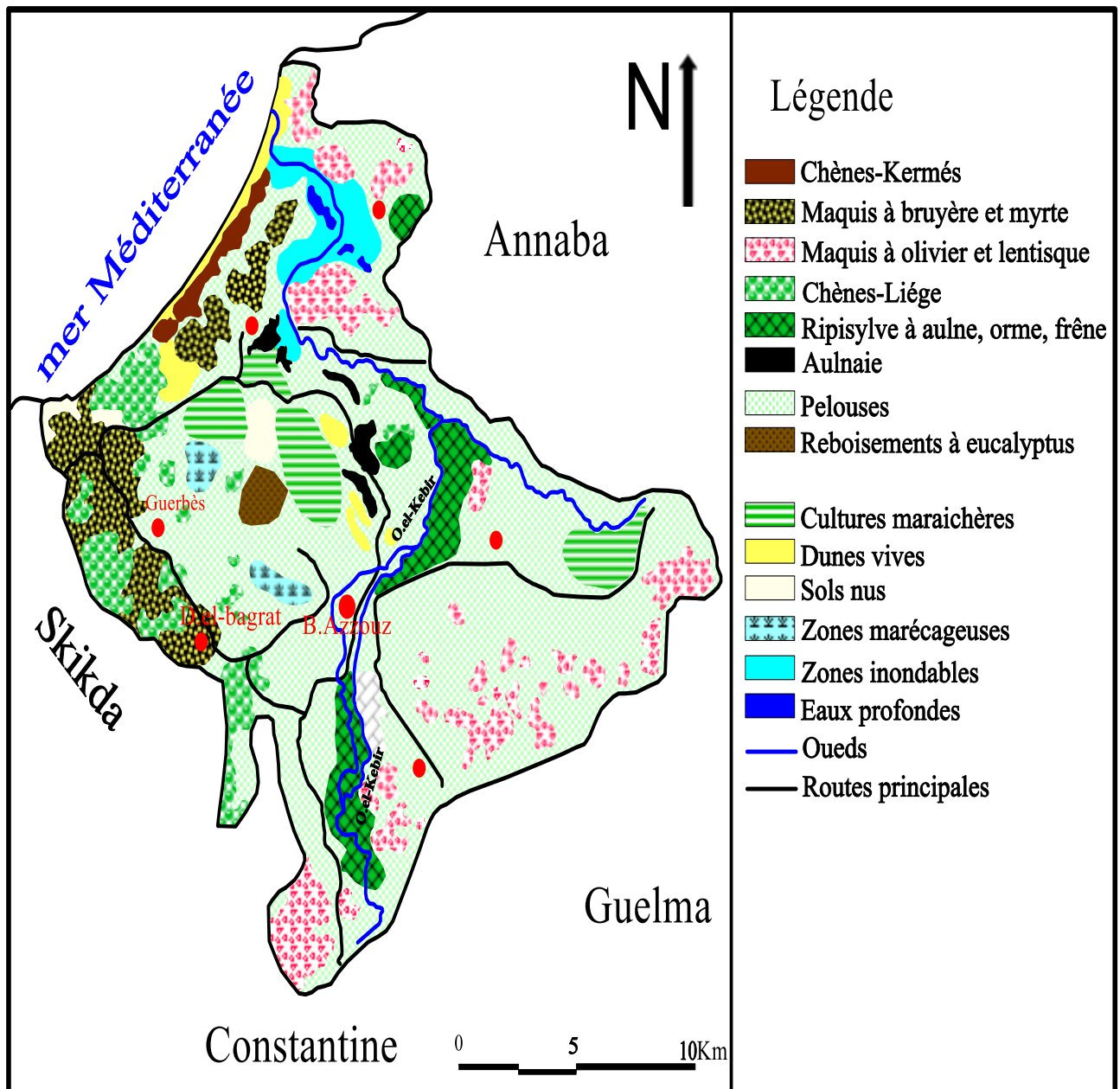


Figure I. 6 : Occupation du sol et types de végétations dans la région de Kebir Ouest

Source : DSA.SKIKDA

V. CONCLUSION

L'identification de la planimétrie des surfaces des différents types d'occupation du sol de la plaine de Guerbès nous révèle que 185,29 Km² soit 46,79 % de la superficie totale de la région est protégée et défavorable au ruissellement et par conséquent à l'érosion hydrique. Ce sont les forêts, les maquis, et les terrains arboricoles. Les surfaces incomplètement protégées représentent un total de 189,64 Km² soit 47,89 %. Ces sols sont des formations superficielles et des roches tendres, qui ne jouent pas parfaitement leur rôle face à l'érosion hydrique, ce sont les surfaces occupées par les cultures et la jachère.

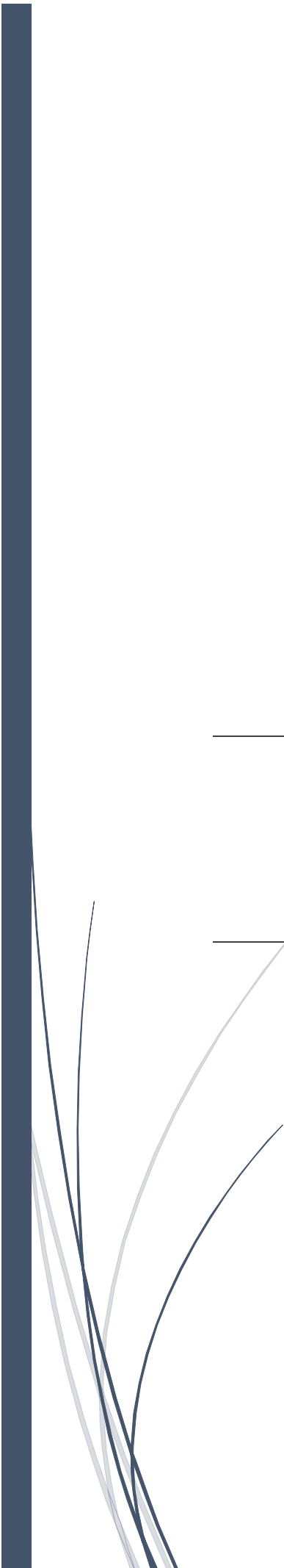
Donc d'une façon générale, la dégradation du couvert végétale par l'homme dans la région est faite sous forme d'incendie, des coupes illicites du bois, et par les défrichements du maquis au niveau du massif dunaire à des fins d'utilité agraire. Ce qui jouera en faveur de l'érosion éolienne ainsi qu'hydrique.

Remarque

Le massif dunaire occupe une superficie de 21,07 Km² soit 5,32 % de la superficie totale, il est recouvert par des maquis, son extension étant plus important au Nord.

CHAPITRE 2

ÉTUDE
GÉOLOGIQUE



I. INTRODUCTION

La région d'étude est une zone à très grande importance, sur l'échelle locale, nationale et même internationale. Depuis les années trente, les géologues n'ont jamais épargnés le moindre effort pour étudier cette région et les territoires environnants, tel que les travaux de (*Deleau., P. 1938*) sur le pays constantinois, de (*Bolfa., J. et al., 1952*) sur les massifs cristallins du Nord constantinois, de (*Durand D.M. et al., 1956, 1960, 1967, 1969*), de (*Hilly., J. 1962*) sur le massif de l'Edough et Cap de Fer, de (*Raoult., J.F. 1974*) sur la géologie du centre de la chaîne Numidique dans lequel il a donné une description lithostratigraphique et structurale des monts de Safia et Filfila et de (*Vila., J.M. 1980*) sur la chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro – Tunisiens.

II. GÉOLOGIE DE L'ALGÉRIE

L'Algérie située dans la partie Nord du craton africain, peut être divisée en quatre grands ensembles structuraux (fig.II.1). Il s'agit de domaines fortement différenciés au cours des phases tectoniques Mésozoïques et Cénozoïque. Ce sont du Nord au Sud :

- les chaînes littorales kabyles
- les chaînes telliennes
- les hauts plateaux et les hautes plaines
- l'Atlas Saharien.

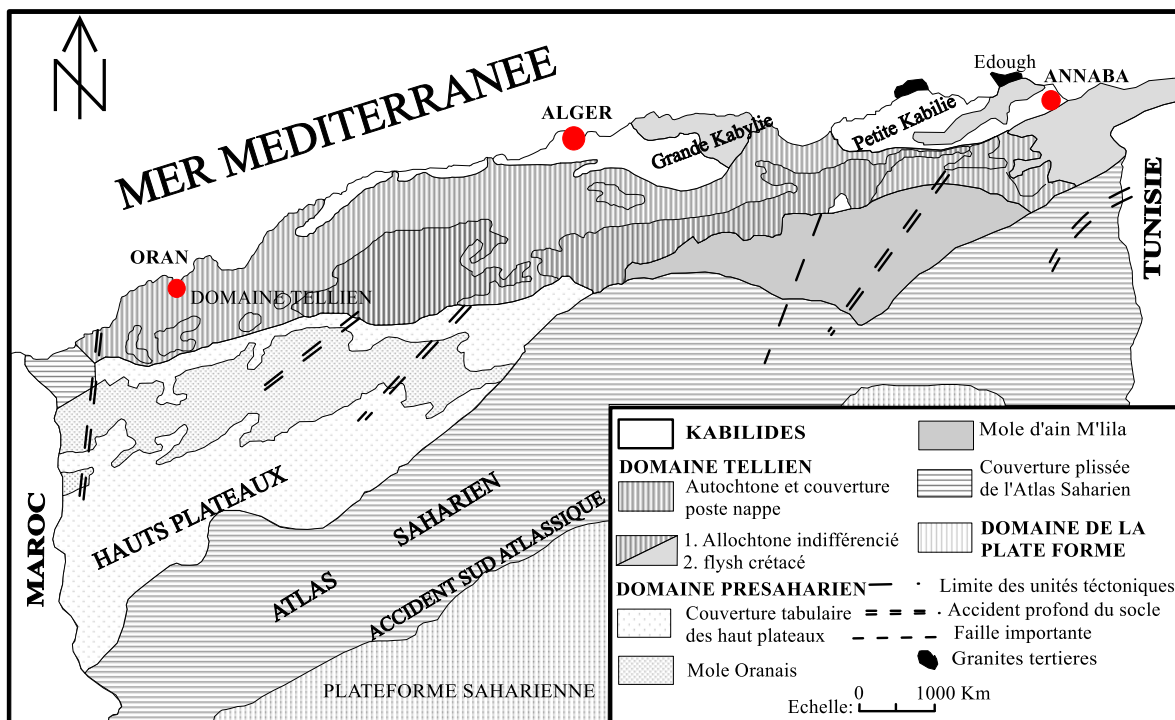


Figure II.1: Cadre structural schématique de l'Algérie

(D'après les travaux de : Durand D.M. et al de 1956 à 1969, Raoult., J.F. 1974 et Vila., J.M. 1980)

II.1 Les chaînes littorales kabyles

Elles sont situées au Nord de l'Algérie. Les massifs Primaires essentiellement métamorphiques d'âge Anté-Gothlandien (*Durand Delgha. M. 1956, in Khammar. C. 1980*), Anté-Silurien représentent les noyaux rigides d'un géantoclinal qui séparent l'Eurogéosynclinal septentrional du sillon miogéosynclinal tellien. Ce domaine est marqué par l'absence du Trias gypso-salin, les lacunes du Mésozoïque et surtout par l'importance de manifestations éruptives syn et post tectoniques (Oligocène à Pliocène).

II.2 Les chaînes telliennes

L'emplacement des chaînes telliennes fut occupé au Mésozoïque et au Cénozoïque par un fossé de sédimentation où se sont déposés en mer le plus souvent profonde, des sédiments épais, plissés de façon complexe lors des phases Orogéniques pyrénéennes et alpine suivant des directions généralement Est-Ouest. Du Nord au Sud, on distingue :

- la zone Ultra-tellienne (*Durand D. M. 1969*), caractérisée par des faciès « bathyaux » clairs au Crétacé et à l'Éocène à sa marge septentrionale la zone tellienne stricto sensu est caractérisée par un Lias de plate-forme suivi par un Jurassique plus marneux avec cependant réapparition de faciès de plate-forme. Le Crétacé d'abord détritique devient marneux à argilo-calcaire. L'Éocène est caractérisé par des marnes épaisses.

- la zone Péni-tellienne : récemment définie (*Vila., J-M 1977*) est un des traits les plus originaux de la chaîne alpine d'Algérie orientale. Les séries de l'avant-pays sétifien ou constantinois constituent un vaste ensemble d'unités allochtones au front duquel se manifestent des phénomènes morphotectoniques. Leur faciès se diversifie vers l'Est à partir du méridien de Constantine.

II.3 Les Hauts plateaux et les Hautes plaines

Les Hautes Plainnes correspondent à une zone surélevée où la couverture néritique des terrains crétacés et éocènes, moins épaisse que dans les chaînes telliennes, est peu plissée. C'est l'ensemble des régions qui séparent la chaîne tellienne de l'Atlas Saharien, il se rétrécit progressivement à l'Est vers les confins Algéro-Tunisiens où l'Atlas Saharien et la chaîne tellienne sont en contact.

II.4 L'Atlas Saharien

Situé au Sud, l'Atlas Saharien correspond à une fosse peu profonde où s'est accumulée, du fait de la subsidence, une grande épaisseur de terrains néritiques et continentaux durant le Secondaire et le Tertiaire. Il présente par l'épaisseur de ses sédiments et par l'amplitude de ses plissements pyrénéens, une individualité bien marquée vis-à-vis des régions qui l'encadrent.

III. GÉOLOGIE DE LA RÉGION D'ÉTUDE

III.1 Introduction

La région d'étude fait partie de l'ensemble géologique de l'Atlas Tellien, zone plissée alpine de l'Afrique du Nord caractérisée par sa complexité lithologique et structurale. La région présente une succession d'ensembles structuraux tectoniquement empilés. Ce sont de bas en haut :

- l'autochtone de la bordure occidentale de l'Edough. (*Khammar., C. 1980*).
- la zone para-autochtone des terrains Mésozoïques du mont de Safia.
- un ensemble allochtone des schistes métamorphiques du Paléozoïque inférieur que surmonte une couverture sédimentaire oligocène.
- un flysch Albo-aptien et paléogène recouvert par du flysch à microbrèches présentant une extension limitée.
- la nappe numidienne dont l'âge a été attribuée au sommet de l'Oligocène et à l'Aquitainien.
- et enfin, les sédiments plio-quadernaires déposés en discordance sur l'ensemble de ces formations.

III.2 Lithostratigraphie de la région

III.2.1 Paléozoïque

❖ Les formations cristallophylliennes

Le Djebel Edough est le principal affleurement des formations cristallophylliennes. Celles-ci comprennent des schistes, des micascistes et des gneiss ainsi que des calcaires et dolomies métamorphiques associés à des roches basiques variées. Les gneiss qui occupent la zone centrale du massif, dessinent un dôme anticlinal dont l'axe est orienté Sud-Ouest Nord-Est. Ils sont surmontés par les formations schisteuses sauf vers le nord-est où ils sont directement recouverts par les assises du Nummulitique supérieur mais ils peuvent réapparaître à la périphérie du massif soit en position normale soit par le jeu de failles. (*Hilly J., 1962*).

Le massif de Boumaïza est l'extrémité occidentale de la série cristallophyllienne à métamorphisme moindre. Cet autochtone présumé précambrien est situé à la bordure Sud-Est de la dépression alluviale en rive droite de l'Oued el Kebir. Cet ensemble métamorphique est recouvert par des sables rouges dans sa partie Nord-Ouest et par des alluvions récentes de la vallée de l'Oued Magroun dans sa partie Nord-Est. Les roches saines, généralement satinées, verdâtres, gris-bleu fumés, ou violacés, sont des schistes, des séricitoschistes et, beaucoup plus rarement des chloritoschistes. Outre le quartz et les minéraux phylliteux, ces roches peuvent contenir du grenat, du staurotide et de la tourmaline.

Des grès légèrement métamorphiques et des quartzites sont associés à ces schistes. Les micaschistes sont plus abondant et sont localisés dans les zones périphériques de l'Edough dans le massif de Ain Mokra- Oued el Aneb. Ils sont essentiellement formés de quartz, de biotite et de muscovite associés à d'autres minéraux (grenat, staurotide, tourmaline, andalousite et disthène).

Il n'y a pas de coupure nette entre les schistes et les gneiss ; les uns passent en effet progressivement aux autres par l'intermédiaire des micaschistes feldspathiques dont les affleurements peuvent être assez importants.

Les calcaires et dolomies métamorphiques sont interstratifiés dans les séricitoschistes, dans les micaschistes et, plus rarement, dans les gneiss. Ils y forment des amas lenticulaires courts et épais ou des bancs plus ou moins continus et d'épaisseur relativement constante. Ils affleurent dans le massif de Ain Mokra - Oued el Aneb, au Nord du lac Fetzara.

III.2.2 Mésozoïque

❖ Les formations sédimentaires

Ces formations dessinent les pointements des monts de Safia et Filfila, une grande partie du massif du Cap de Fer et recouvrent partiellement quelques secteurs périphériques du massif de l'Edough.

Le Djebel Safia montre une série mésozoïque affectée par un épimétamorphisme net, plus marqué au Nord qu'au Sud (*Raoult., J-F. 1974*). De même, (*Durand Delgha M., et al. 1967*) ont montré qu'il est en position de fenêtre sous le socle kabyle. Cette série présente de bas en haut :

- des dolomies massives grises à stratification très confuse de 80m d'épaisseur. Ces formations attribuées au Rhétien-Sinémurien, affleurent à l'extrémité Sud-Est de koudiat Embarek. Elles sont représentées à la base par des petits bancs calcaires à lumachelles. (*Durand Delgha M., et al. 1967*).

Le Lias moyen se termine par des calcaires légèrement marneux.

- les dolomies liasiques sont surmontées par des calcaires blancs à gris clairs grossièrement lités d'âge Lotharingien-Kimméridgien atteignant 200m d'épaisseur. Ils s'observent à Koudiat Messaoud et Koudiat El-Hadjar où ils sont localement cristallisés et oolithiques. Plus haut, ils se présentent en plaquettes et renferment des traces de crinoïdes. De minces lits de protoglobigérines présumés Malm et des niveaux de Saccocomidés ont permis leur datation. (*Durand Delgha M., et al.1967*)

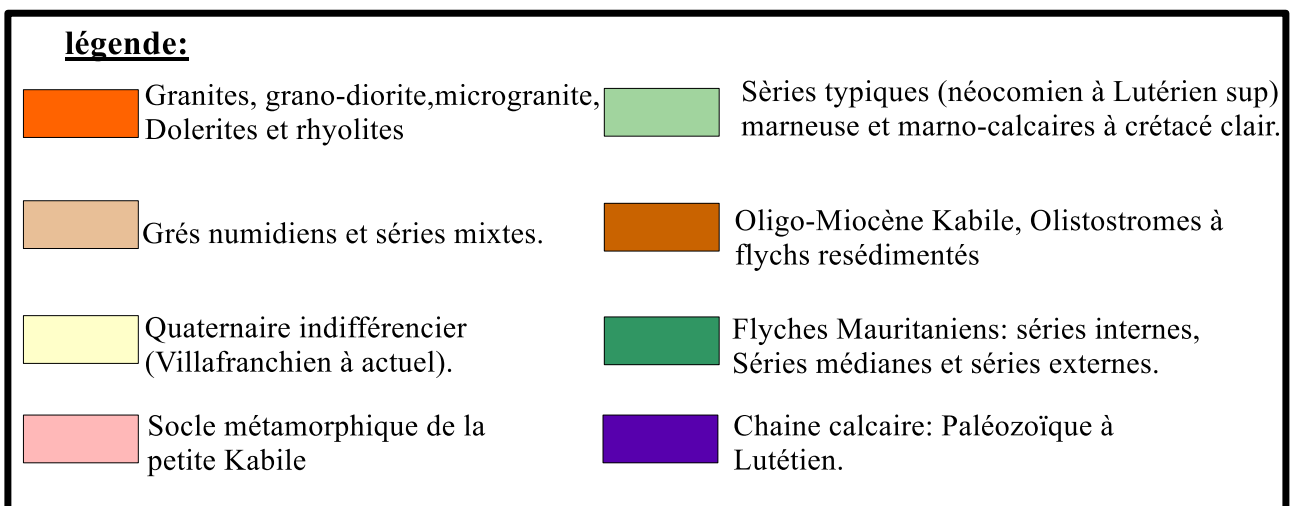


Figure II.2 : Carte géologique de la région d'Oued el-Kebir Ouest (D'après J.M. Vila. 1978)

- des calcaires marneux Valanginien-Barrémien de 60 m d'épaisseur sont discordants sur les termes inférieurs. Ils renferment des Ammonites pyriteuses découvertes pour la première fois par DELEAU (1938) et occupe les zones basses.

- un ensemble Albo-aptien de schistes à net épimétamorphisme de grès quartzitique en bancs gris clairs à rosés.

- une série du Crétacé supérieur cartographiquement discordante sur les niveaux sous-jacents, ce sont des argiles schisteuses et des pélites grises à vert sombre avec des grès fins et des brèches. Le mont côtier de Filfila est caractérisé par un épimétamorphisme plus marqué que dans le Djebel Safia. La série Mésozoïque de Filfila apparaît aussi en fenêtre sous le socle kabyle (*Lemoy C., Perrin C. 1969*) est encore assez mal connue, elle comporte de bas en haut :

- des dolomies et des calcaires marmorisés en bancs épais, localement à Brachiopodes et riches en entroques vers leur sommet.

- des calcaires en lits de 10 à 40cm, parfois accompagnés de silex et admettant des passées de pélites verdâtre.

- un ensemble schisto-gréseux, très tectonisé, comportant à la base des bancs de 30 à 50cm de grès quartzite, gris sombre à verdâtre séparé par des niveaux minces de schistes et de pélites probablement Albo-aptien que surmontent des bancs de calcaires recristallisés et des bancs blancs totalement silicifiés pouvant évoquer les phtanites Cénomaniens. Enfin au sommet des schistes et des pélites avec de minces intercalations à aspect quartzitique attribués au Sénonien.

Dans le secteur Edough-Cap de Fer, les sédiments les plus anciens observés en place appartiennent au Crétacé inférieur et moyen. L'un des principaux affleurements se trouve en bordure de la route d'Herbillon. Il s'agit des calcaires à grains très fins renfermant parfois de très rares Calpionelles. Des niveaux finement détritiques dont certains éléments ont été empruntés au Berriasien sont associés à des calcaires de même faciès. À 4km plus au Nord, dans la région d'Ain Kebira, des jaspes à Radiolaires intercalés dans des argilites calcaires représentent le Cénomaniens. Les affleurements, bien visibles dans le talus de la route d'Herbillon, sont très limités. Près d'Ain Kebira, vers l'extrémité orientale du massif du Cap de Fer, les assises Cénomaniennes sont surmontées, en continuité de sédimentation semble-t-il, par des argilites marneuses avec intercalation de calcaires microbréchiques à microfaunes emschériennes. La partie supérieure du Sénonien est beaucoup mieux caractérisée. Les affleurements sont localisés dans le massif du Cap de Fer, entre le Djebel Mzihla (au Sud d'Herbillon) et le koudiat Mrabeut Ahmed (au Nord de la Marsa). Ils sont formés par des argilites feuilletées plus ou moins calcaires admettant souvent de fines intercalations de microbrèches calcaires. Les faunes et les microfaunes datent ces terrains du Maestrichtien et du Danien.

III.2.3 Cénozoïque

❖ Les formations sédimentaires

Dans le Djebel Safia, les terrains Tertiaires sont représentés par les argiles et les calcaires fins bleus sombres d'âge paléocène. Le sillon méso-méditerranéen (*Durand D M. 1969*) au Nord du géoanticlinal kabyle a accueilli une sédimentation flyscholite Oligocène que le même auteur qualifie de flysch ultrakabyle, charriée plus tard vers le Sud ; deux nappes de flysch sont définies dans la région d'étude :

a) Flysch Oligocène

Il constitue le premier flysch de la nappe de recouvrement ultra-kabyle. Il présente une alternance d'argilites, aleurolites et marnes où s'intercalent des grès quartzo-argileux, des lits de calcarénites et des brèches calcaires à nummulites souvent importantes. Cette dernière affleure en horizons caractéristiques que nous avons observées au Nord-Ouest de la dépression de l'Oued el Kebir à Sidi Ali Ben Ali dans le vallon de l'Oued Ksaiba. (*Flandrin., 1955*) y a déterminé une faune caractéristique à lépidoclines qui se rapporte à l'Oligocène.

b) Flysch Numidien

Le flysch numidien se répand dans une grande partie de la région, à Djebel Laharta, Kef Siada à l'Ouest-Sud-Ouest de la dépression alluviale. Au Nord-Est, on l'observe à Koudiat Dieb, Sidi Ali Ben Ali, koudiat El-bourral et Ras t'mara voisinant avec la nappe de flysch Oligocène. Il repose comme nappe de recouvrement sur le flysch Oligocène kabyle et sur les roches métamorphiques. Ce flysch Numidien est constitué à la base soit par des argiles bigarrées, soit par des marnes sableuses qui surmontent les grès quartzeux. Sa puissance est d'environ 400m. Par analogie avec ces grès reposant sur des argiles bariolées à tubotomaculum dans le territoire de Grande Kabylie et à en juger par la présence des arénacés et de quelques Globigérines (*Durand M D, 1960*), le flysch Numidien appartiendrait probablement à la fin de l'Oligocène et à l'Aquitainien. Les terrains Syn et Post-orogènes représentent les formations Mio-Pliocènes et Quaternaires donc postérieures aux déplacements tangentiels qui se sont manifestés dans la région. Ces déplacements Miocènes se sont accompagnés d'intrusion de granite. Ces granites visibles dans le Djebel Filfila sont calco-alcalins monzonitiques. Ils recouvrent les formations calcaires du Lias et les couches flyscholites du Crétacé inférieur qui montrent un métamorphisme de contact.

Le Pliocène affleure à la faveur des talwegs, et il est représenté surtout par des marnes bleues.

III.2.4 Quaternaire

Les formations Quaternaires occupent la plus grande partie de la vallée de l'Oued el Kebir. Ce sont des terrains variés, dans lesquels on peut distinguer le travertin et les grès dunaires qui sont Pléistocènes, et le matériel colluvial, sables littoraux et alluvions, d'âge Holocène

III.2.4.1 Quaternaire ancien ou Pléistocène

- Le travertin est le sédiment Quaternaire le plus ancien, il affleure sous forme d'un lambeau d'environ 100m de largeur, de couleur grisâtre pigmentée de jaune brun par les hydroxydes de fer. Il est observé au Sud.

- Les grès dunaires qui sont un peu plus récents que le terrain précédent, présentent des stratifications entrecroisées et renferment de nombreux débris d'organismes : algues, mollusques et oursins ; ils se composent aussi de grains de quartz et des fragments empruntés des roches des environs immédiats. Ils sont désignés par (*Hilly J. 1962*) comme des arénites calcaires ou calcarénites et se répandent dans la petite vallée de l'Oued Dissya jusqu'à la zone de Sidi Lakhdar, au Nord-Est de Dar Saïd et sur le cordon littoral.

III.2.4.2 Quaternaire récent ou Holocène

On distingue :

- Le colluvium formé au Pléistocène et pendant l'Holocène est constitué de fragments de roches du substratum mélangés à des sédiments sablo-argileux et à des éboulis de pente forte subordonnés ; il occupe la partie Ouest selon une orientation Sud – Est, Nord-Ouest.

- Les sables rouges : sont désignés ainsi par (*Morel. J., Hilly. J. 1956*), les sables argileux rubéfiés. Ces sables rouges ne sont jamais consolidés, ils sont seulement bien tassés. Ils sont principalement formés de grains de quartz associés à des proportions de matériaux argileux et ferrugineux. À l'Est du massif métamorphique de Boumaïza, ce matériel sableux renferme des fragments de schistes. En plus de la vallée de l'oued el-Kebir, on les retrouve également dans les forêts de Guerbès Sanhadja.

- Les sables blancs transportés par le vent de direction Nord-Ouest sur la zone littorale ont abouti à la formation de dunes d'orientation Nord-Ouest, Sud-Est de quelques kilomètres de long, de 500 m de large et d'une hauteur moyenne de 100 m. Des bifaces Acheuléen terminal ont été découverts par (*Morel. J., Hilly. J. 1956*).

Dans la falaise côtière à l'Ouest de la plaine de Sanhadja, s'observe de bas en haut, la coupe suivante :

- 1- Grès dunaires lités visible sur 1,10 m
- 2- Sables rouges.
- 3- Grès dunaire lités de 4m
- 4- Dunes récentes.

Au Sud, les sables rouges viendraient se placer entre les niveaux (3) et (4). Ainsi, on remarque que la série grès dunaires-sables rouges se répéterait deux fois entre le Tyrrhénien ancien et récent. Les sédiments se seraient donc formés dans la période de régression de la mer.

- L'alluvium, lié à l'environnement géologique immédiat, le faciès des alluvions varie d'amont en aval, grossier au débouché de l'Oued el Kebir, plus fin à Ain Nechma voire argileux avec quelques passages de lentilles de graviers ; argilo-sableux à Ben Azouz ; sableux au voisinage du massif dunaire et dans les espaces inter dunaires et enfin argileux et tourbeux à l'embouchure. Le matériau grossier et fluvial est localisé aux abords immédiats de l'Oued el Kebir et de ses affluents, il s'agit essentiellement de galets, de grès, de calcaires, de schistes, souvent liés par une matrice argileuse à argilo-sableuse.

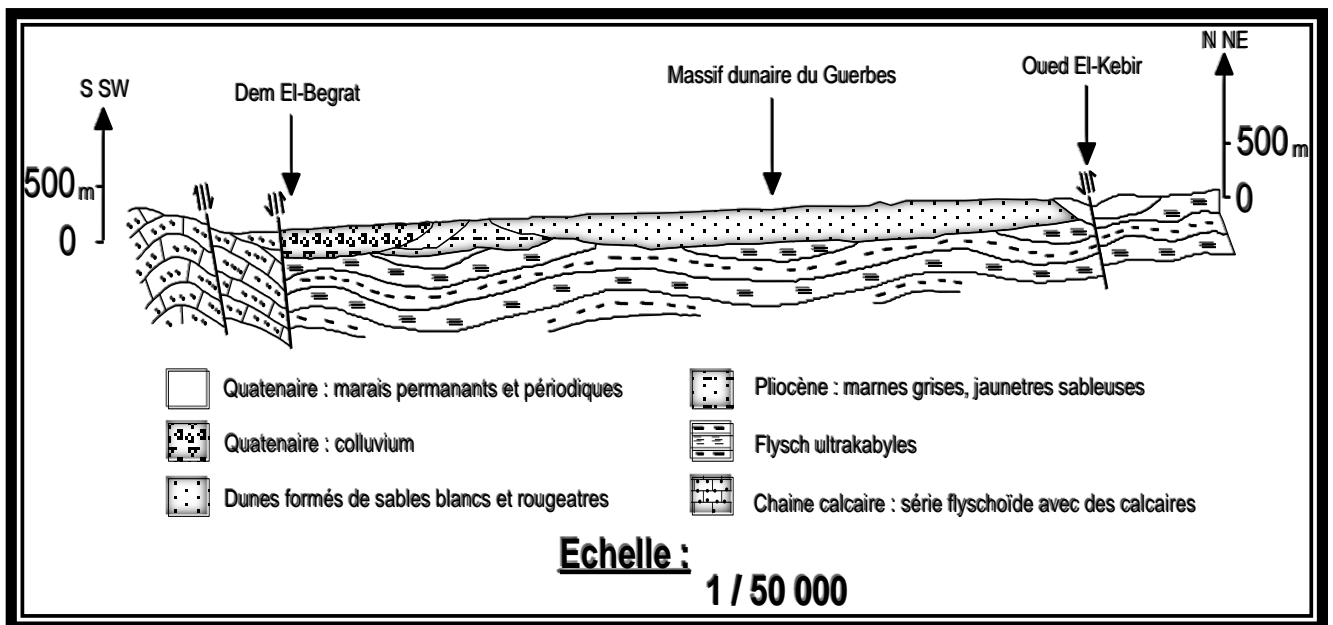


Figure : N°. I. 3. Coupe géologique à travers oued el-Kebir

III.3 Tectonique

III.3.1 Introduction

La région étudiée se situe dans le domaine plissé alpin de l'Afrique du Nord, caractérisé par une tectonique complexe. Les mouvements tectoniques ont été à l'origine de l'individualisation des trois principaux ensembles structuraux qui sont : l'ensemble autochtone des massifs métamorphiques, l'ensemble paraautochtone comportant la chaîne calcaire et enfin l'ensemble allochtone que représentent les flyschs.

III.3.2 Les ensembles structuraux

III.3.2.1 Structure autochtone

Le massif cristallophyllien de l'Edough se présente comme une antiforme de gneiss et micaschistes de 50 km de long sur 20 km de large et d'orientation axiale N 060. Le cœur de l'antiforme de foliation est constitué essentiellement par des orthogneiss surmontés de micaschistes contenant des marbres. Ces différentes formations sont intensément foliées et plissées. (*Brunel. M et al., 1988*).

Au Sud-Ouest, le massif de Boumaïza caractérisé par un grand pli anticlinal axé au Nord-Ouest avec des pendages maxima de 30 à 40° sur les flancs. Cet autochtone présente, en effet, une structure beaucoup plus simple dans les assises Antécambriennes que dans l'assise beaucoup plus jeune. Nous notons une correspondance totale de la schistosité avec la stratification primitive dans les calcaires cristallisés Antécambriens. De même, leurs structures internes présentent des traits particuliers à savoir un micro plissement et gaufrage propre aux schistes métamorphiques du Paléozoïque inférieur.

III.3.2.2 Structure para-autochtone

Déposés sur la bordure du sillon méso-méditerranéen, ces sédiments ont été charriés au Sud, à travers le géanticlinal kabyle. La chaîne calcaire forme le socle des unités qui lui sont tectoniquement superposées.

Le Djebel Safia dessine un bombement anticlinal déformé d'axe Nord-Ouest Sud-Est. Sa partie orientale est recouverte par des dépôts Quaternaires de la vallée de l'Oued el Kebir à Ain Nechma. Les deux flancs déformés par des failles, parallèles à l'axe, sont occupés par des terrains du Crétacé inférieur dont le pendage varie de 20 à 70°. Le cœur de l'anticlinal laisse apparaître des dolomies ou calcaires massifs du Lias. Les assises argilo-gréseuses du Crétacé inférieur déformées en plis disharmoniques se distinguent par des plissements fins. Ces assises ont été soumises à un métamorphisme dynamique qui leur confère une ressemblance avec les schistes métamorphiques du Paléozoïque inférieur.

Dans la zone du Djebel Filfila, des forages miniers réalisés près de la côte ont montré que les phyllades sus-jacents au bancs de grès et des calcaires fins à Calpionnelles sont surmontés par un Oligo-Miocène kabyle souvent puissant, couronné en plusieurs points par des silexites. L'ensemble est enseveli par la nappe de recouvrement Numidienne. (*Raoult. J-F., 1974*).

III.3.2.3 Structure allochtone

a) Nappe de charriage métamorphique kabyle du Paléozoïque inférieur

La nappe de charriage métamorphique du Paléozoïque inférieur transgressée par le complexe flysch conglomérat de l'Oligocène kabyle, affleure dans la localité de Dem el Bagrat en fenêtres sous la nappe de charriage Numidienne. Vers le Sud, elle repasse sur les terrains mésozoïques parautochtones sous-jacents de Koudiat Messaoud des travaux de (*Durand D.M., Raoult. J-F., Vila J-M. 1967*) ont mis en évidence ce contact avec l'unité tectonique de la chaîne calcaire, contact visible à l'Est du Djebel Sebâ Koudiat, à l'Ouest de notre secteur d'étude et sur la rive gauche de l'embouchure de Chaabet el Ouara. Le sondage de la mine de Meçadjet où sont rencontrés, sous l'assise de schistes métamorphiques, des roches sédimentaires du Néocomien à Calpionnelles confirme ce contact. Représentant la partie inférieure de l'allochtone, ces schistes dessinent un grand pli anticlinal à cœur de séricitoschistes quartzeux affectés par de petites fractures. Leur structure interne est fortement plissée avec des plis complexes, étroits de direction Est-Ouest généralement déversés vers le Sud. Le flysch Oligocène kabyle présente une structure sensiblement plus simple à plis plats, à rayon de courbure relativement grand et dont les pendages sont de 20 à 30°. Dans l'ensemble, cette structure se traduit par un anticlinal de direction générale Nord-Est qui définit une discordance avec les structures Nord-Ouest parautochtones d'une part, et avec les plis Est-Ouest de l'assise métamorphique du Paléozoïque inférieur d'autre part.

Cette configuration anticlinale du complexe flyschoïde Oligocène kabyle dans le cadre géologique régional sépare les bombements anticlinaux du Djebel Safia de ceux du Djebel Filfila.

b) Nappe du flysch argilo-gréseux

Affleurant en grande partie dans le coin Nord-Est de notre région d'étude, en rive droite de l'Oued el Kebir aux Koudiets M'zair et Dieb, la nappe du flysch est surmontée par la nappe de charriage Numidien. Elle est masquée plus au Sud par les sédiments Quaternaires.

La grande structure synclinale monotone constituée essentiellement de terrains Éocènes-Oligocènes, affectée par des plis et fractures secondaires est l'un des traits essentiels de cette unité flyschoïde.

c) Nappe de charriage numidienne

La série Numidienne recouvre l'empilement de l'édifice structural complexe de la région ; elle affleure dans les forêts de l'Oued Soudan et de Lashas à l'Ouest. Elle constitue dans notre région les pointements du Kef Siada et ceux des Koudiats de part et d'autre de la dépression alluviale. Le soubassement de cette unité surmonte soit le flysch ultra-kabyle, soit la nappe métamorphique du Paléozoïque inférieur, soit l'Oligocène transgressif kabyle, soit les couches flyschoïdes Crétacées de la chaîne calcaire. Elle supporte les sédiments Quaternaires dont le contact discordant a été mis en évidence par la géophysique, par les sondages mécaniques réalisés dans la région et par les observations dans les talwegs.

IV. CONCLUSION

La région d'el-Kebir Ouest fait partie du Tell oriental algérien, ce dernier n'est qu'une partie de l'atlas tellien.

La géologie de la région semble très complexe. En effet, les études menées ont montré que le tell oriental algérien est constitué par un empilement de nappes ; on a du Nord vers le Sud : le socle Kabyle et la dorsale Kabyle, la série des flyschs (Mauritanien, Massylien, Numidien et ultra tellien), la série des grès Numidiens et la nappe néritique du constantinois.

Les études ont montré aussi que la dorsale kabyle se compose d'unités nettement différenciées par leurs séries stratigraphiques ; de même que l'âge du Numidien est difficile à préciser.

La plaine d'oued el-Kebir est limitée donc au Sud par des formations purement sédimentaires qui appartiennent au môle néritique Constantinois, et constituées généralement par des formations carbonatées d'âge Crétacé. Quant aux formations cristallophylliennes d'âge Paléozoïque, elles le limitent à l'Ouest par les monts de Filfila-Safia, et à l'Est par le massif côtier de Chetaïbi et les monts de l'Edough.

Les formations alluvionnaires côtoient l'oued el-Kebir Ouest dans toute sa trajectoire, ces formations par leurs épaisseurs, leur structure, leur surface d'affleurement constituent une configuration géologique favorable pour l'emmagasinement et la circulation des eaux souterraines.

CHAPITRE 3

HYDROCLIMATOLOGIE



I. INTRODUCTION

Le mouvement de l'eau dans le sol et le sous-sol est une étape d'un grand circuit sur la terre, le cycle global de l'eau. La source d'alimentation de l'eau souterraine est l'infiltration qui renouvelle l'eau des réservoirs souterrains et entretient, par son circuit dans les aquifères, le débit de l'écoulement souterrain (*Castany., 1998*).

L'ouvrage de *P. Seltzer « climat de l'Algérie »* sur la période de (1913-1938), qui est le plus adéquat et le plus approprié, en outre « la carte pluviométrique de l'Algérie » de (*Chaumont M.et Paquin C. 1913-1963*) sont devenus les travaux de référence de toutes études climatologiques, c'est pourquoi on les consulte durant cette étude.

La pluviométrie, et la température, sont les facteurs climatiques indispensables qu'on doit collecter au début de chaque étude climatologique, pour la quantification des ressources en eau et la détermination des différents paramètres du bilan hydrologique.

II. CLIMAT ET L'EAU EN ALGÉRIE

La plupart des pays méditerranéen reçoivent des quantités importante d'eau à la période hivernale, l'Algérie une de ces pays, elle est considérée sèche bien qu'elle dispose d'une quantité énorme d'eau sous forme de précipitations peuvent atteindre 65 milliards de m³, mais malheureusement on ne profite que d'une quantité très limitée cela dû au nombre réduit des jours précipités, la concentration de la précipitation sur des espaces limités, la forte évaporation et le grand problème c'est l'évacuation rapide vers la mer.

L'organisation des ressources hydrauliques est connue dans ses grandes lignes schématiquement, les ressources de surface décroissant du Nord au Sud et à mesure que croissent les ressources souterraines, ce phénomène est lié à :

- ✓ La répartition pluviométrique abondante sur le littorale (surtout N-E) et décroissant vers le Sud avec le net gradient.

- ✓ Les données structurales les plus amples et calme vers le Sud.

III. PARAMÈTRES CLIMATOLOGIQUES

Les études de l'hydroclimatologie sont basées sur les données climatiques fournies par les stations météorologiques telle que la pluviométrie, la température, le vent, et l'humidité relative. La précipitation est le paramètre le plus important, elle influe directement sur le régime des cours d'eau et les écoulements, l'infiltration et l'alimentation des nappes d'eau souterraines, et aussi sur l'évapotranspiration.

Cinq stations météorologiques sont situées dans les périphéries du bassin versant de Kebir Ouest peuvent le contrôler, leurs altitudes varient de 1,30m à Skikda, jusqu'au 96m à Azzaba,

malheureusement une sixième celle de Charka qui se trouve au plein centre du bassin n'est pas fonctionnelle.

Les données sont recueillies au niveau de l'ONM et de l'ANRH de Skikda, Annaba et Constantine. Le tableau ci-après récapitule les coordonnées et les références des cinq stations consultées.

Tableau III.1. Références des stations pluviométriques

Coordonnées	Skikda	Azzaba	Ain Charchar	Berrahal	Zit Emba
X	874,50	892,35	909,50	923,35	/
°E	6° 54' 33"	7° 5' 45"	7° 17' 17"	7° 27' 30"	7° 18' 22"
Y	406,40	391,35	393,27	405,56	/
°N	36° 20' 47"	36° 44' 38"	36° 45' 15"	36° 50' 5"	36° 40' 53"
Altitude (m)	1,30	96	34	33	58
Code	031102	031106	031201	031302	0312 ..

III.1 Régime des vents

Il représente l'un des facteurs les plus déterminants du régime pluvieux, de l'évaporation et par conséquent du climat. Les vents dominants dans la région d'oued Kebir Ouest sont de direction Nord-Ouest avec une vitesse presque constante au cours de l'année varient entre 3,22 m/s la vitesse minimale enregistrée au mois de Mai et 3,89 m/s une vitesse maximale enregistrée au mois de Décembre, avec une moyenne annuelle de l'ordre de 3,52 m/s.

Le sirocco se manifeste aux mois de Juillet et Août mais de manière discontinue, ce sont des vents de direction Sud-Est et Sud-Ouest, ils proviennent généralement du Sahara ils sont sec et chaud soufflant sur la région pendant la période sèche.

Puisque la station de Skikda est la seule qui enregistre la vitesse du vent alors on s'y retourne pour recueillir les données possibles, et dans le tableau ci-après on trouve les moyennes mensuelles

Tableau III.2. Vitesse du vent enregistrée à la station de Skikda

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy
Vitesse m/s	3,34	3,50	3,60	3,89	3,74	3,84	3,78	3,36	3,22	3,32	3,32	3,36	3,52

Station de Skikda 2012

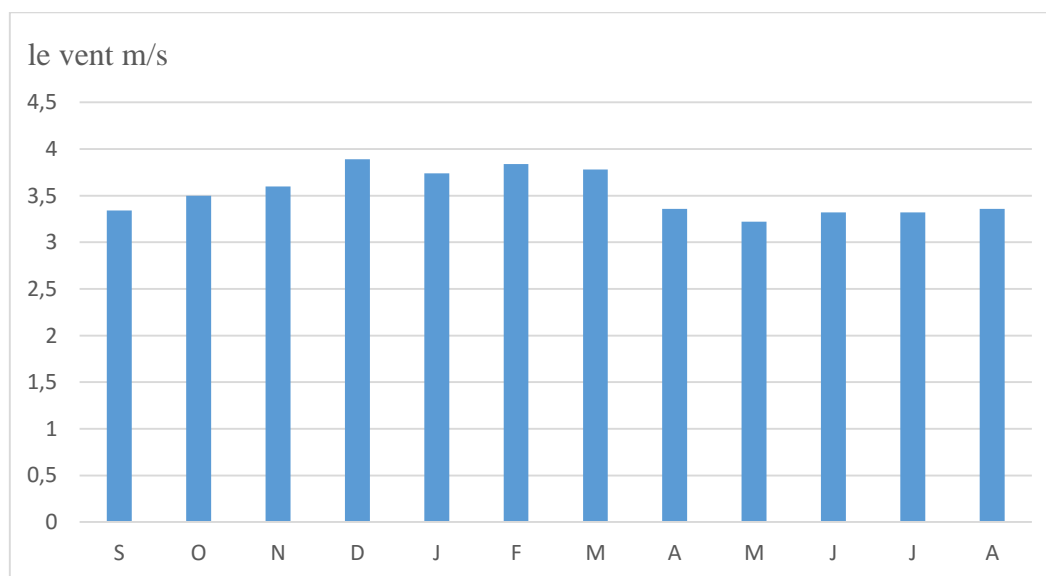


Figure III.1 : Vitesse du vent enregistrée à la station de Skikda

III.2 Humidité relative

L'humidité relative de l'air correspond au rapport de la tension de vapeur réelle observée à la tension de valeur saturante à la même température, exprimée en (%).

Les moyennes mensuelles présent au niveau de la station de Skikda varient entre 72,80 % valeur minimale transcrite au mois de Juillet et 76,10 % valeur maximale enregistrée au mois de Mai avec une moyenne annuelle de l'ordre de 74,80 %.

Tableau III.3. Humidité relative moyenne mensuelles à la station de Skikda

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy
Hum (%)	75,00	74,30	75,20	75,40	75,20	74,90	75,00	74,70	76,10	75,00	72,80	74,00	74,80

Station de Skikda

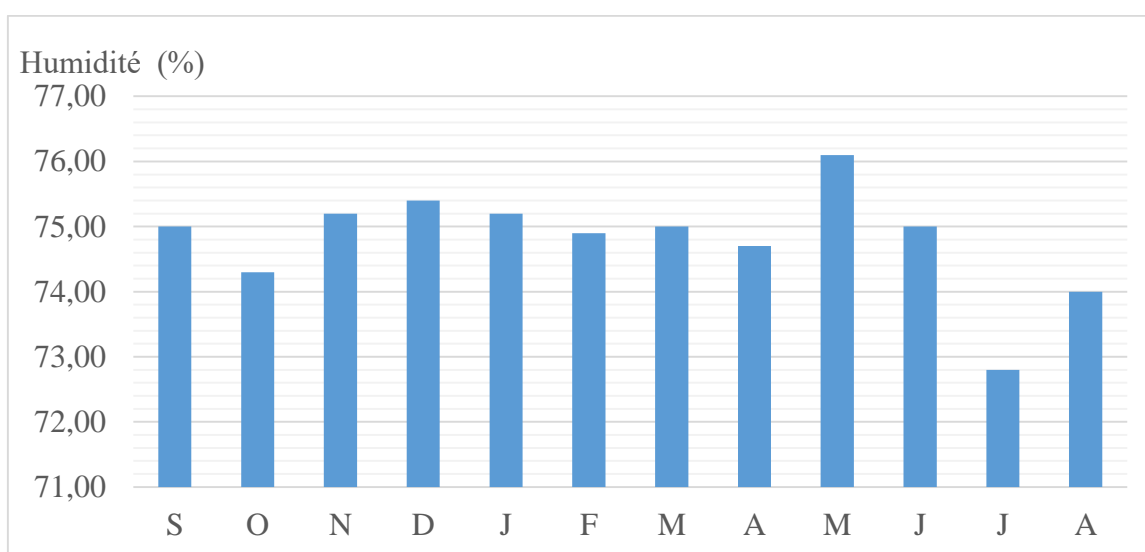


Figure III.2 : Moyenne Mensuelle de l'humidité relative à la station de Skikda

III.3 Précipitations

Les précipitations désignent les gouttes d'eau ou les cristaux de glace qui, formés après condensation et agglomération dans les nuages, deviennent trop lourds pour se maintenir en suspension dans l'air et tombent au sol ou s'évaporent avant de l'atteindre. D'autre façon c'est la hauteur de la lame d'eau recueillie par la pluviométrie quel que soit l'origine de cette eau, pluie, neige, grêle ou toutes autres formes de condensation.

Dans les études pareilles on s'intéresse uniquement aux précipitations liquides (pluies), qui constituent le facteur primordial dans le comportement hydrogéologique du bassin versant, elles sont relativement importantes, variables, et irrégulières d'une année à l'autre, et d'une saison à l'autre.

Dans l'équation du bilan hydrologique, la pluviométrie est le paramètre essentiel que nous essaierons d'étudier de façon mensuelle, saisonnière, et annuelle. La forme particulière de ce bilan s'écrit :

$$P = E_{tr} + R + I$$

Où : P = Précipitation moyenne annuelle (mm).

Etr = Évapotranspiration réelle moyenne annuelle (mm).

R = Ruissellement moyen annuel (mm).

I = Infiltration moyenne annuelle (mm).

La pluviométrie obtenue par les différentes méthodes statistiques, arithmétiques et graphiques n'est qu'une estimation de la valeur vraie puisque nous la mesurons en un point donné qui serait représentatif de la superficie totale du bassin versant. L'altitude, l'exposition et l'éloignement à la mer de la station sont les principaux facteurs qui conditionnent la précipitation.

III.3.1 Répartition interannuelle des précipitations

La carte de précipitation moyenne annuelle de *M. Chaumont* et *C. Paquin* montre une répartition géographique des précipitations qui dépend d'une part de l'influence de la mer et d'autre part de l'altitude et de l'orographie.

D'autres cartes des précipitations du Nord Algérien établies par l'A.N.R.H pour la période (1965-1995) montre que les précipitations oscillent entre 400 et 700 mm dans la plaine alluviale de l'oued el-Kebir Ouest.

L'étude d'un échantillon de précipitations allant de 1970 jusqu'au 2013, recueillies au niveau des différentes stations pluviométriques de Skikda, Azzaba, Ain Charchar, Zit-Emba et Berrahal nous a permis de réaliser un graphe et un histogramme de chaque station où ils représentent les hauteurs de la pluie interannuelle d'une période de 43 ans.

D'après les données étudiées on remarque que la pluviosité varie de 268 mm la valeur minimale enregistrée à la station de Zit-Emba en 1984/85, et 1275,1 mm en 2002/03 la valeur maximale transcrite à la station de Ain Charchar.

Le tableau ci-après récapitule les minima et les maxima des précipitations enregistrées dans les différentes stations pluviométriques.

Tableau III.4. Les valeurs minimales et maximales observées dans différentes stations

Station	P _{max}	Année	P _{min}	Année
<i>Skikda</i>	1112,4	2004/05	411,3	1973/74
<i>Azzaba</i>	1099,7	1994/95	370,5	1992/93
<i>A. Charchar</i>	1275,1	2002/03	381,3	1995/96
<i>Zit-Emba</i>	912,46	2004/05	268,0	1984/85
<i>Berrahal</i>	1068,9	2004/05	433,6	2001/02

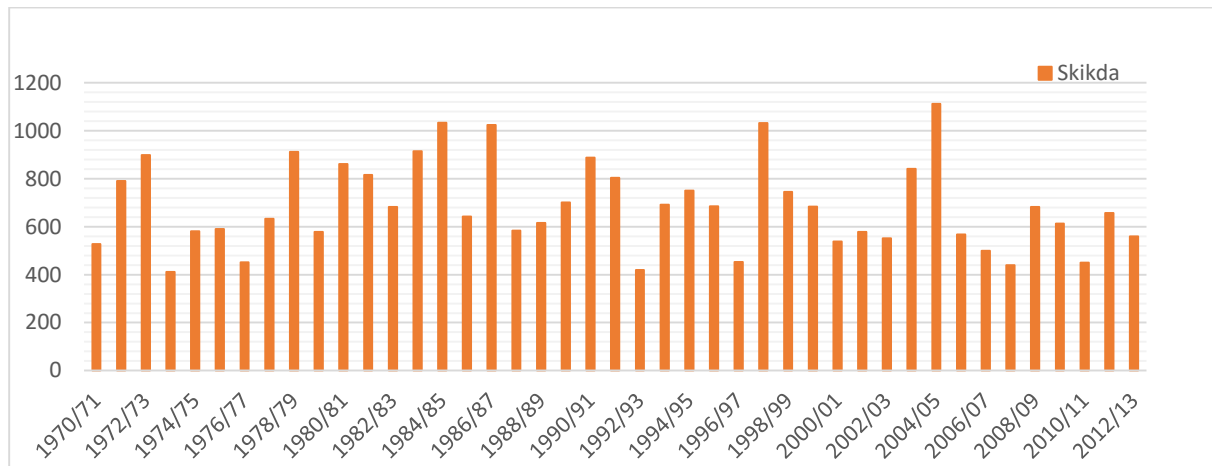


Figure III.3 : Variation interannuelle des précipitations à la station de Skikda (1970-13)

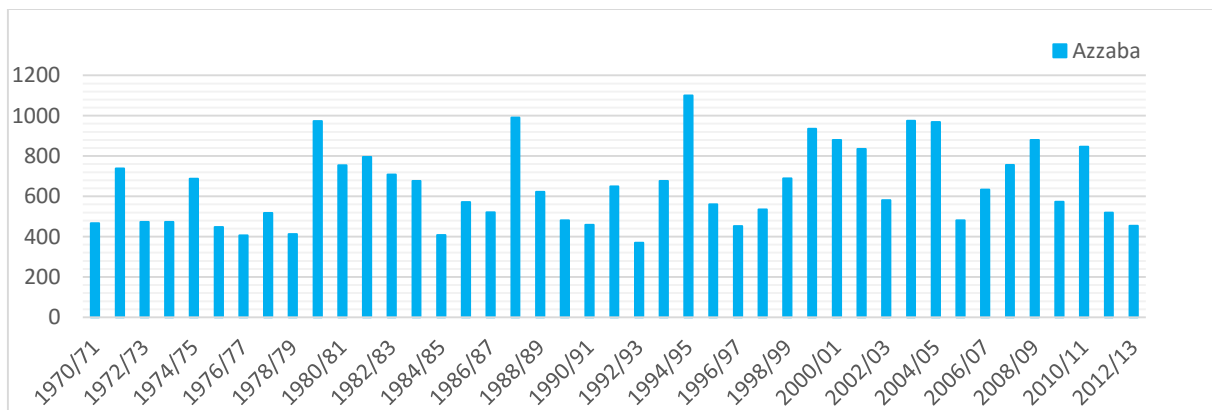


Figure III.4 : Variation interannuelle des précipitations à la station de Azzaba (1970-13)

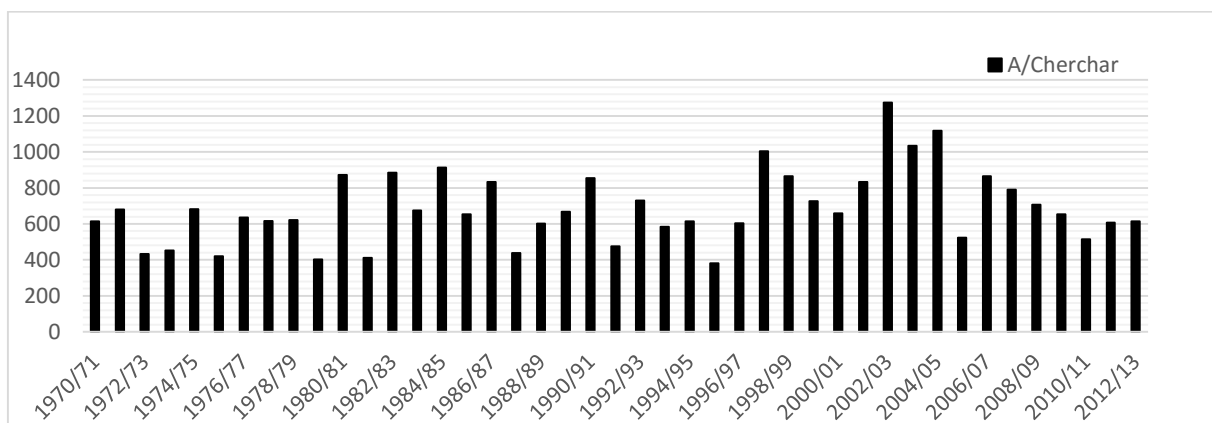


Figure III.5 : Variation interannuelle des précipitations à la station de A. Charchar (1970-13)

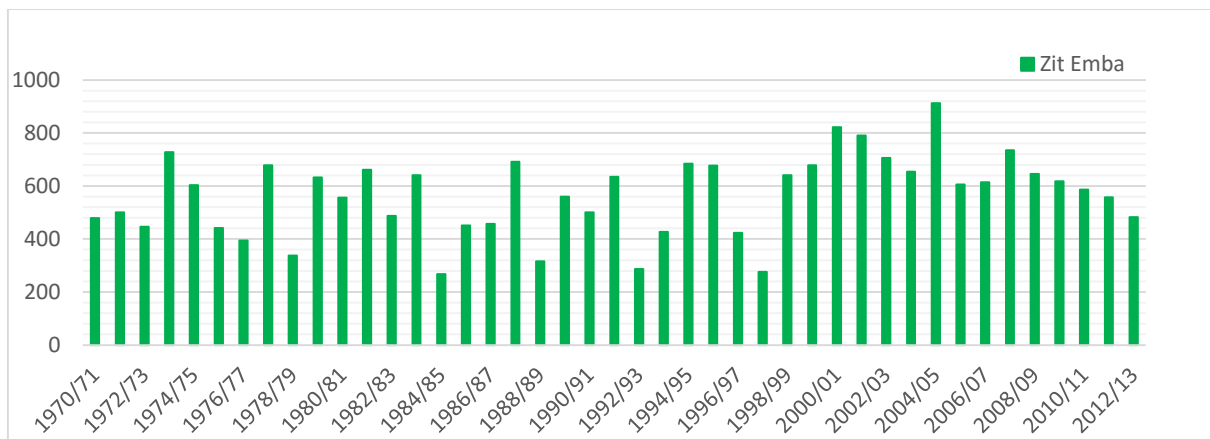


Figure III.6 : Variation interannuelle des précipitations à la station de Zit-Emba (1970-13)

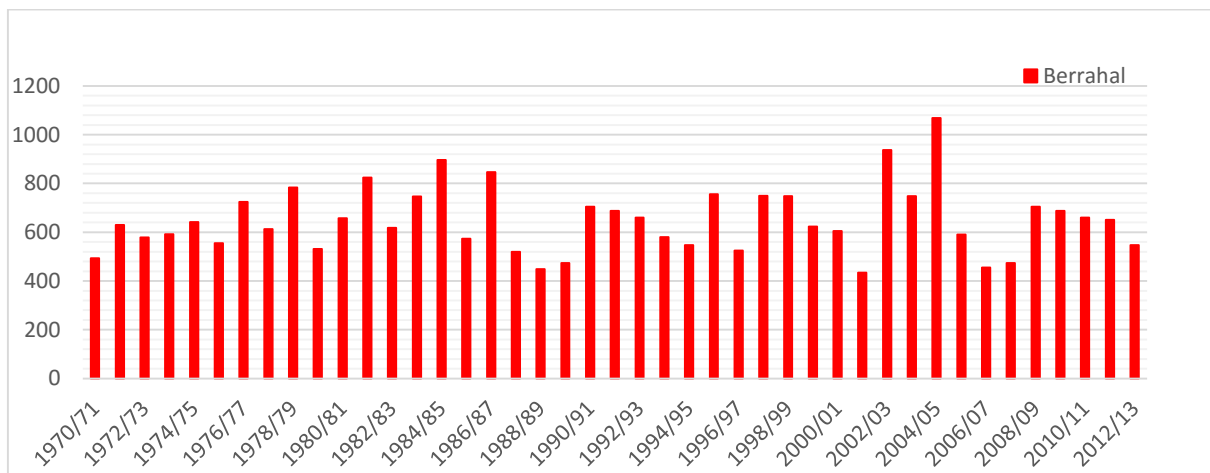


Figure III.7 : Variation interannuelle des précipitations à la station de Berrahal (1970-13)

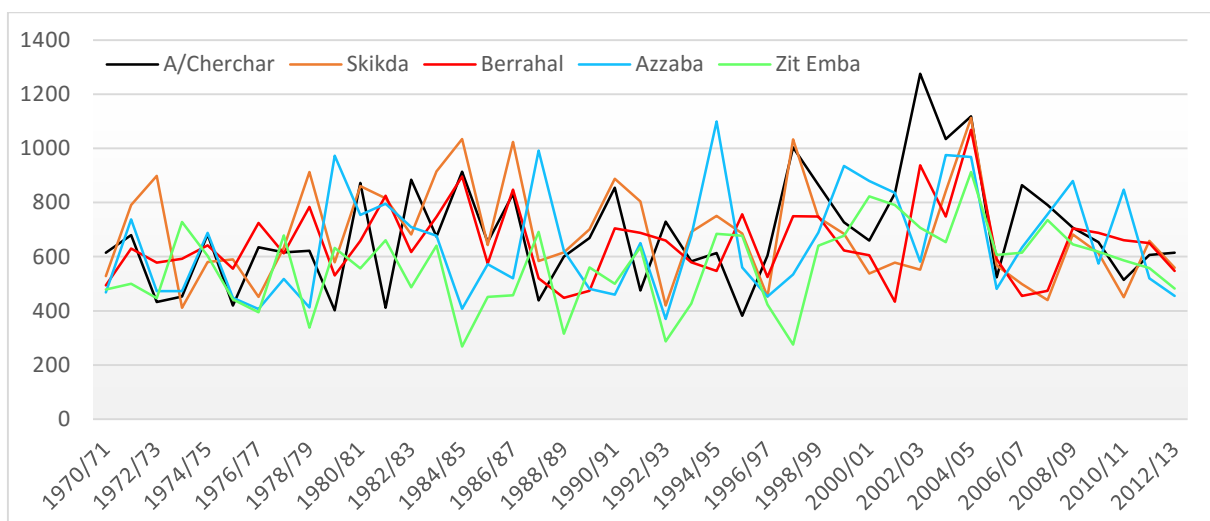


Figure III.8 : Variation interannuelle des précipitations (1970-13)

III.3.2 Répartition mensuelle des précipitations

La précipitation moyenne mensuelle présente une croissance allons de Septembre jusqu'au Décembre où elle atteint son maximum puis elle se décroisse au fur et à mesure jusqu'au mois de Juillet le mois le plus sec durant l'année, comme il est montré sur l'histogramme suivant.

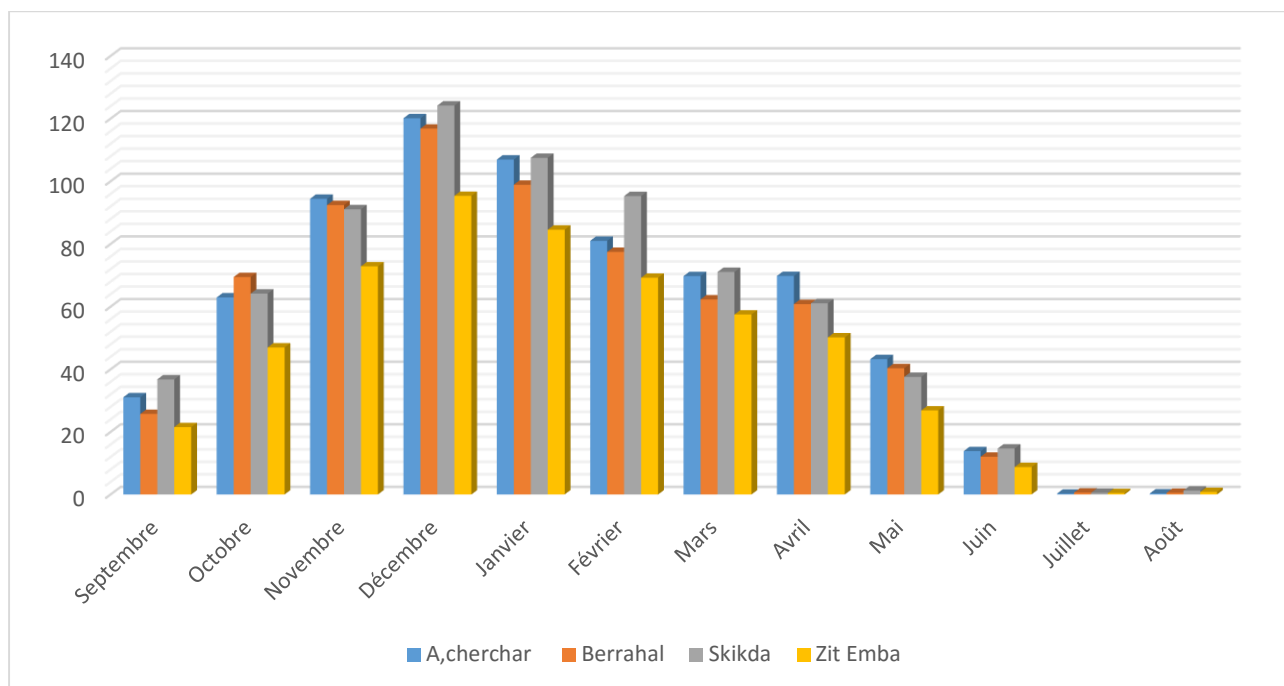


Figure. III.9 : Moyennes mensuelles des précipitations (1970-2013)

III.3.3 Représentation saisonnière des précipitations

Tableau. III.5 : Représentation saisonnière des précipitations

Station	Automne			Hiver			Printemps			Été			Moy/An (mm)
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	
Skikda	192,10			327,00			169,80			16,47			705,37
	27,23			46,36			24,07			2,33			100 %
A. Charchar	188,48			308,12			182,88			14,47			693,95
	27,16			44,40			26,35			2,09			100 %
Berrahal	192,10			327,00			169,80			13,21			657,64
	28,54			44,59			24,87			2,01			100 %
Zit Emba	141,42			249,19			134,61			10,03			535,25
	26,42			46,56			25,15			1,87			100 %

L'étude de la pluviosité saisonnière montre que l'hiver est la saison la plus pluvieuse, avec un pourcentage qui dépasse 44 % dans les quatre stations. Presque la moitié de la précipitation annuelle. Le printemps et l'automne ont presque la même quantité tombant elle représente presque le un quart de la précipitation totale enregistrée sur les quatre stations.

En été la précipitation ne dépasse en aucun cas 16,50 mm, la valeur maximale enregistrée à la station de Skikda est 16,47 mm, qui veut dire 2,33 % de la précipitation annuelle.

En général c'est le climat méditerranéen qui se caractérise par un hiver pluvieux (humide) et froid et un été sec et chaud.

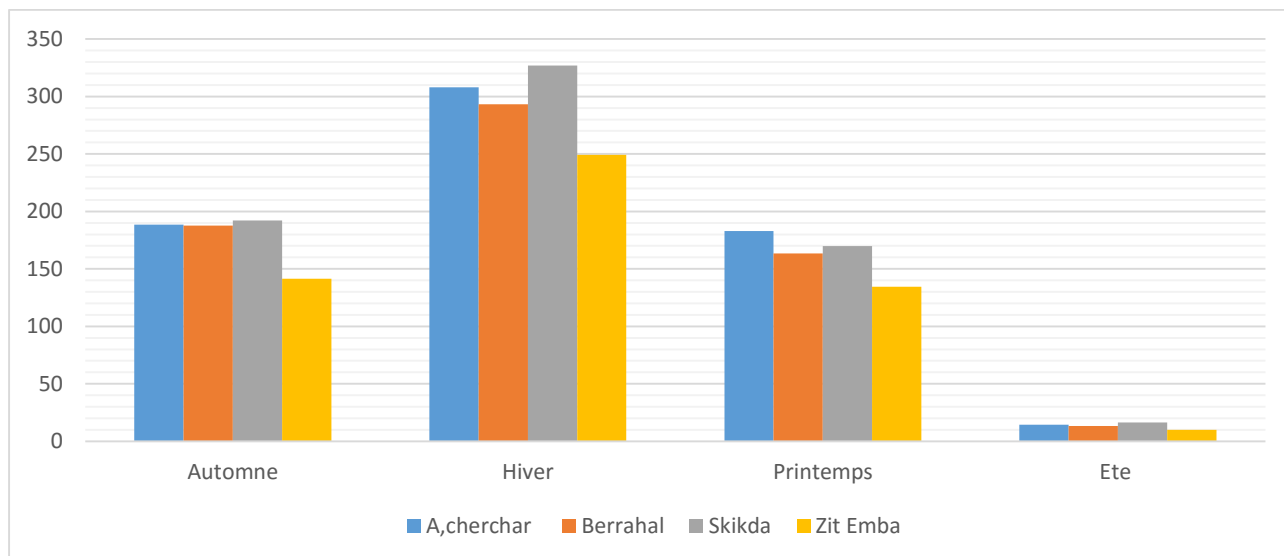


Figure III.10 : Moyennes saisonnière des précipitations (1970-2013)

III.3.4 Estimation de la lame d'eau moyenne précipitée

La lame d'eau précipitée sur un bassin versant est égale au quotient en millimètre (mm) par la superficie en millimètre carrés (mm²), elle permet de cerner la variabilité des précipitations sur de longues séries d'observation.

Dans la région d'étude nous sommes référés aux données de précipitations d'une période de 50 ans (1913-1963) représentant la série ancienne recueillie par (M. Chaummont et C. Paquin) et les séries récentes de l'A.N.R.H.

Des différentes méthodes peut être utilisés pour le calcul de la lame d'eau :

A. Méthode des Isohyètes

Considérée comme la méthode la plus précise, elle donne la lame d'eau précipitée comme étant le quotient de la somme des valeurs partielles par la surface du bassin.

$$P = (\sum P_i S_i) / S_{totale}$$

D'après les cartes d'isohyètes établies par (M. Chaummont et C. Paquin) la lame d'eau est évaluée à

$$P = 817,61 \text{ mm}$$

et d'après la carte de l'A.N.R.H en a

$$P = 654,59 \text{ mm}$$

B. Méthode Arithmétique

Elle donne de bons résultats lorsque le bassin versant renferme plusieurs stations bien réparties à des altitudes différentes suivent la formule : $P = \sum P_i / n$

Où : P_i : précipitation moyenne mensuelle pour chaque poste pluviométrique en mm

n : le nombre de postes = 10

Alors $P = 7467/10 \rightarrow P = 746,7 \text{ mm}$

C. Méthode de THIESSEN

Cette méthode géométrique est moins précise à l'analyse au cours de laquelle, on attribue à chaque pluviomètre une zone d'influence présumée, tel qu'un point situé dans cette zone soit plus près en distance horizontale de ce pluviomètre.

La hauteur de précipitation choisie est celle relevée à la station à l'intérieure du polygone en considérant les précipitations uniformément réparties. La hauteur d'eau recherchée sur le bassin s'obtient par quotient de la somme des volumes partiels par la surface totale :

$$P = (\sum P_i S_i) / S_{\text{totale}}$$

Le résultat calculé toujours par (M. Chaumont et C. Paquin) est de l'ordre de : $P = 575,81 \text{ mm}$

EN CONCLUSION :

La moyenne de la lame d'eau précipitée sur le bassin versant de l'oued Kebir Ouest et pour les études déjà faites est de l'ordre de 698,67 mm, pour cette étude et pour notre série de 1970-2013 elle est de l'ordre de **712,32 mm**.

III.4 Température

La température de l'air est un des facteurs ayant une grande influence sur le climat et sur les calculs du bilan hydrique car il conditionne l'évaporation et l'évapotranspiration réelle.

Les données dont nous disposons sont celle de la station de Skikda pour une période de 42 ans (1970 – 2013) et l'autre d'une période de 25 ans de P. SELTZER (1913 – 1938).

Tableau III.6 : La température moyenne mensuelle série P. SELTZER

SELTZER(1913/38)	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
min	18,7	15,2	11,5	8,7	7,4	7,4	9,0	10,1	13,4	16,8	19,4	20,4
moy	22,7	19,1	15,05	11,85	10,55	11,05	13,05	14,55	17,65	20,8	23,9	24,75
max	26,7	23,0	18,6	15,0	13,7	14,7	17,1	19,0	21,9	24,8	28,4	29,1

Tableau III.7 : La température moyenne mensuelle à la station de Skikda

Skikda (1970/13)	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
min	21,05	17,46	12,4	10,5	9,9	10,1	10,66	11	15,8	16,75	22	22,74
moy	23,38	21,42	15,35	14,65	14,38	12,55	14,74	14,65	18,50	21,18	25,15	29,24
max	25,7	25,38	18,3	18,8	18,85	15	18,81	18,3	21,2	25,6	28,3	35,74

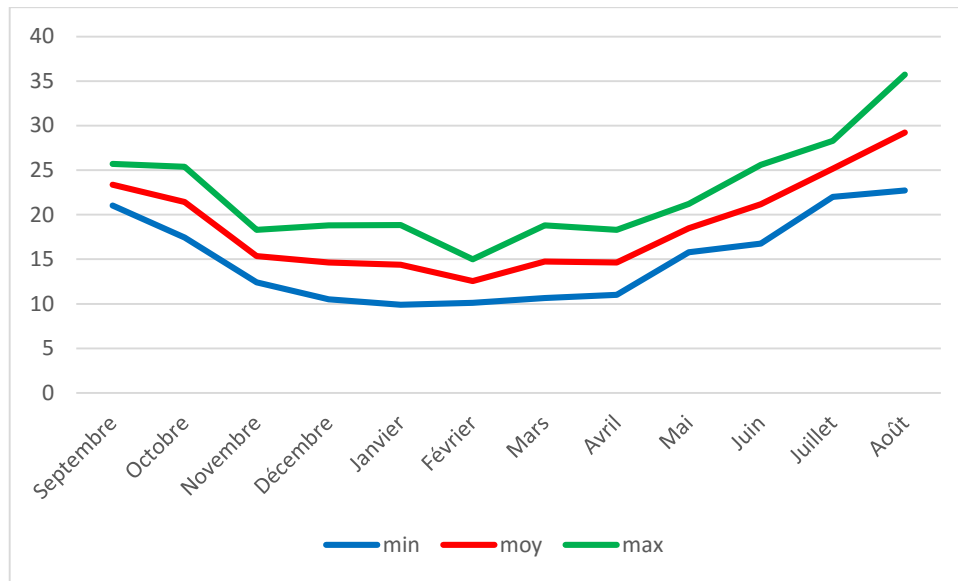


Figure III.11 : La température moyenne mensuelle à la station de Skikda

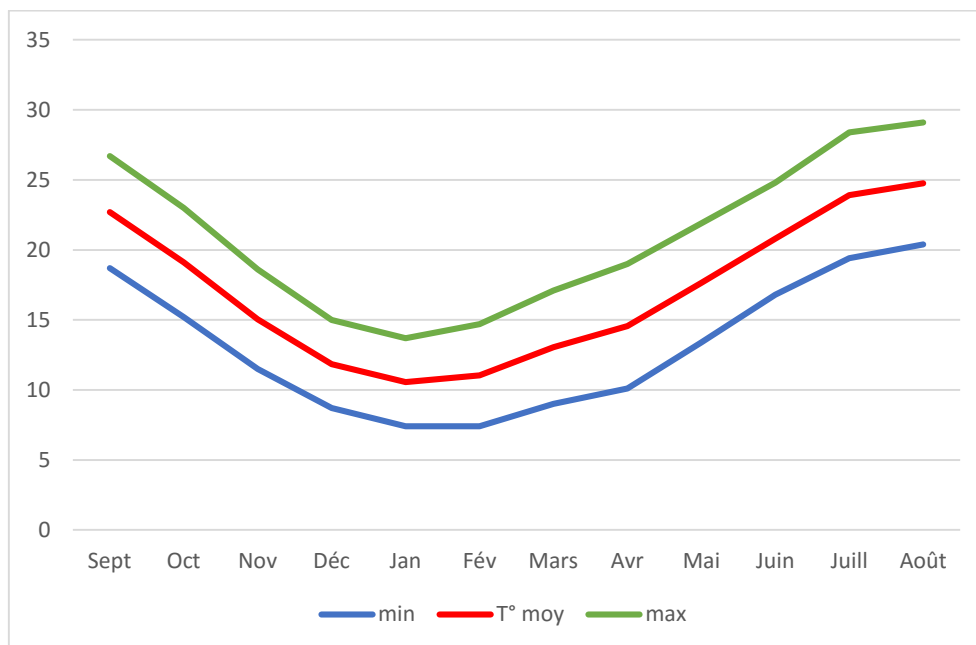


Figure III.12 : La température moyenne mensuelle série de P. SELTZER

Il est clairement remarquable d'après les graphes et les tableaux ci-dessus que la température moyenne atteint son maximum au mois d'Août, elle est de l'ordre de 29,24 °C valeur enregistrée à la station de Skikda, et de 24,75 °C pour la série de P. Seltzer, tandis que la température moyenne minimale est remarquée au mois de Février pour la station de Skikda, elle est de l'ordre de 12,55 °C, et de l'ordre de 10,55 °C au mois de Janvier pour la série de P. Seltzer. On peut aussi remarquer que la saison chaude s'étale du mois de Juin jusqu'au mois d'Octobre où les températures mensuelles dépassent la moyenne annuelle, alors que la période allant de Novembre à Avril représente la saison froide avec une moyenne mensuelle inférieure à la moyenne annuelle.

III.4.1 Relation précipitation – température

a) Le diagramme Ombrothermique

Un diagramme ombrothermique est un type particulier de diagramme climatique, représentant les variations mensuelles sur une année des température et des précipitation selon des gradations standardisées: une gradation de l'échelle des précipitations correspond à deux gradations de l'échelle des températures ($P = 2T$). Il a été développé par Henri GAUSSEN et F. BAGNOULS (1953).

Ces diagrammes permettent de comparer facilement les climats de différents endroits d'un coup d'œil du point de vue pluviosité. Les températures sont indiquées à droite et les précipitations sont indiquées à gauche.

L'analyse des deux paramètres climatiques, la précipitation et la température permet de tracer la courbe ombrothermique qui met en évidence la période de sécheresse.

Pour H. GAUSSEN et F. BAGNOULS un mois sec est celui où le total de précipitation mensuelle en (mm) est inférieur ou égal au double de la température moyenne mensuelle.

Donc on doit établir un diagramme ombrothermique dans lequel les températures sont portées à l'échelle double des précipitations.

b) La courbe Ombrothermique

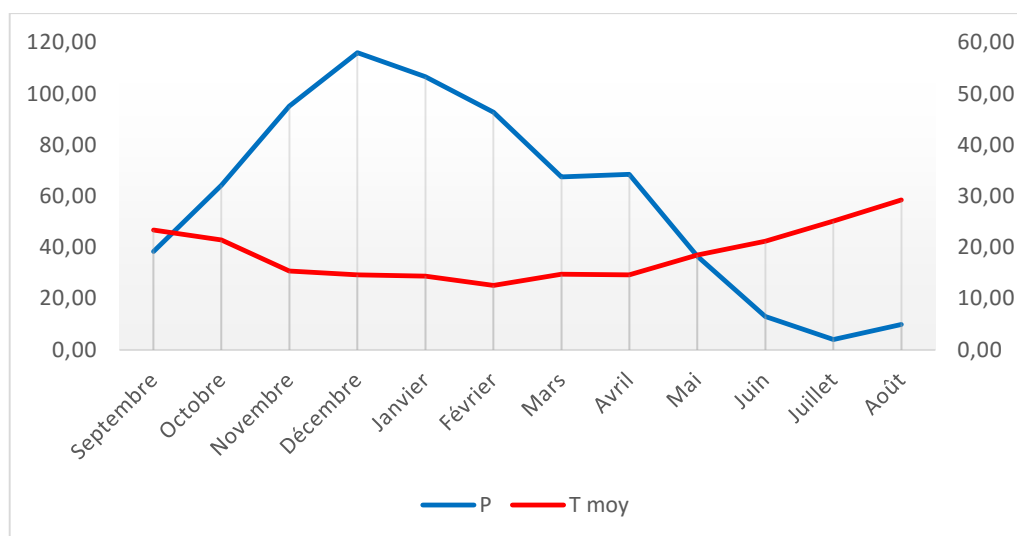


Figure III. 13 : Diagramme ombrothermique de la station de Skikda (1970 -2013)

D'après le diagramme ombrothermique, on peut distinguer deux périodes différentes, la première commence au mi-Mai jusqu' à mi-Septembre, c'est la période de sécheresse qui devienne plus accentuée au Juillet et Août, c'est la saison de l'été, au-delà la température commence à se réduire. Au-delà la température s'abaisse au fur et à mesure, et la précipitation reprend, dès le début d'Octobre, c'est l'automne. La pluie tombe pendant toute la période allant d'Octobre jusqu'à mi-Mai, pour avoir son maximum au mois de Décembre en plein Hiver.

c) Détermination d'humidité du sol (méthode d'HEUVERTE)

Pour déterminer l'humidité du sol selon la méthode d'Heuverte, il est nécessaire d'avoir les données des paramètres des températures et des précipitations établies mensuellement pour calculer le rapport (P/T), qui permet de connaître l'humidité du sol, pour distinguer également le types de régime climatique régnant sur la zone étudiée, enfin le résultat du rapport P/T doit répondre à une proposition des quatre suivantes :

- Régime très sec où $P/T < 1$.
- Régime sec où $1 < P/T < 2$.
- Régime subhumide où $2 < P/T < 3$.
- Régime humide où $P/T > 3$.

Tableau III. 8 : Relation température précipitation

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
P(mm)	38,37	64,29	95,06	115,99	106,57	92,75	67,55	68,46	36,46	12,99	3,96	9,87
T °C	23,38	21,42	15,35	14,65	14,38	12,55	14,74	14,65	18,50	21,18	25,15	38,24
P/T	1,64	3,00	6,19	7,92	7,41	7,39	4,58	4,67	1,97	0,61	0,16	0,26

Le calcul du rapport P/T nous a permis de construire le tableau suivant, dans lequel on a classé chaque mois selon leur régime correspondant.

Tableau III. 9 : Répartition des régimes selon la méthode d'Heuverte

Station	Régime	Mois
Skikda	Très Sec	Juin, Juillet, et Août
	Sec	Septembre, Mai
	Subhumide	Octobre
	Humide	Novembre, Décembre, Janvier, Février, Mars, et Avril

IV. LE RÉGIME CLIMATIQUE

a) Indice de MARTONNE

En se basant sur le régime de précipitation et des températures De MARTONNE (1923) a défini un indice d'aridité « A » dont :

$$A = P / (T + 10)$$

P : précipitations moyennes annuelles (mm)

T : température moyennes annuelles (°C).

Et nous avons pour :

$A < 5$	➔	climat hyperaride
$5 < A < 7,5$	➔	climat désertique
$7,5 < A < 10$	➔	climat steppique
$10 < A < 20$	➔	climat semi-aride
$20 < A < 30$	➔	climat tempéré

$$A = 712,32 / (18,76+10) = 24,76$$

L'indice d'aridité calculé pour la station de Skikda est de l'ordre de 24,76 pour les autres stations, l'indice d'aridité est de l'ordre de 22,7 à Azzaba, 25,2 à Ain Charchar et 23,1 à Berrahal indiquant donc un climat tempéré. Il est de 18,2 à Zit-Emba, ce qui reflète un climat semi-aride.

b) Climagramme de L. EMBERGER

Le quotient pluviométrique "Q₂" d'EMBERGER correspond à une expression synthétique du climat méditerranéen tenant compte de la moyenne annuelle des précipitations (P mm) et des températures. Pour cette dernière sont prise en considération d'une part la moyenne des minima du mois le plus froid "m", et d'autre part la moyenne des maxima du mois le plus chaud "M".

Le Climagramme de L. EMBERGER permet de définir le climat de la région étudiée, c'est un abaque comportant en ordonnées les valeurs Q₂ donnée par la relation : $Q_2 = [(2000 P) / (M^2 - m^2)]$

Dont : Q₂ : est appelée quotient pluviométrique d'Emberger.

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud en degrés absolu (°K).

m : moyenne des minima du mois le plus froid en degrés absolu (°K).

P : précipitation moyenne annuelle (mm).

Sur l'axe des abscisses en mettant les moyennes des minima de la saison froide (hiver) en °C.

Pour la station de Skikda :

$$M = 29,24 \text{ °C} + 273,15 = 302,39 \text{ K}$$

$$m = 12,55 \text{ °C} + 273,15 = 285,70 \text{ K}$$

$$P = 712,32 \text{ mm (moyenne annuelle)}$$

$$Q_2 = 145,15$$

Les valeurs du quotient pluviométrique pour les stations de Ain Charchar, Berrahal Azzaba et Zit Emba sont respectivement : 122,6, 112,3, 110,1 et 88,6 ce qui indique un régime subhumide.

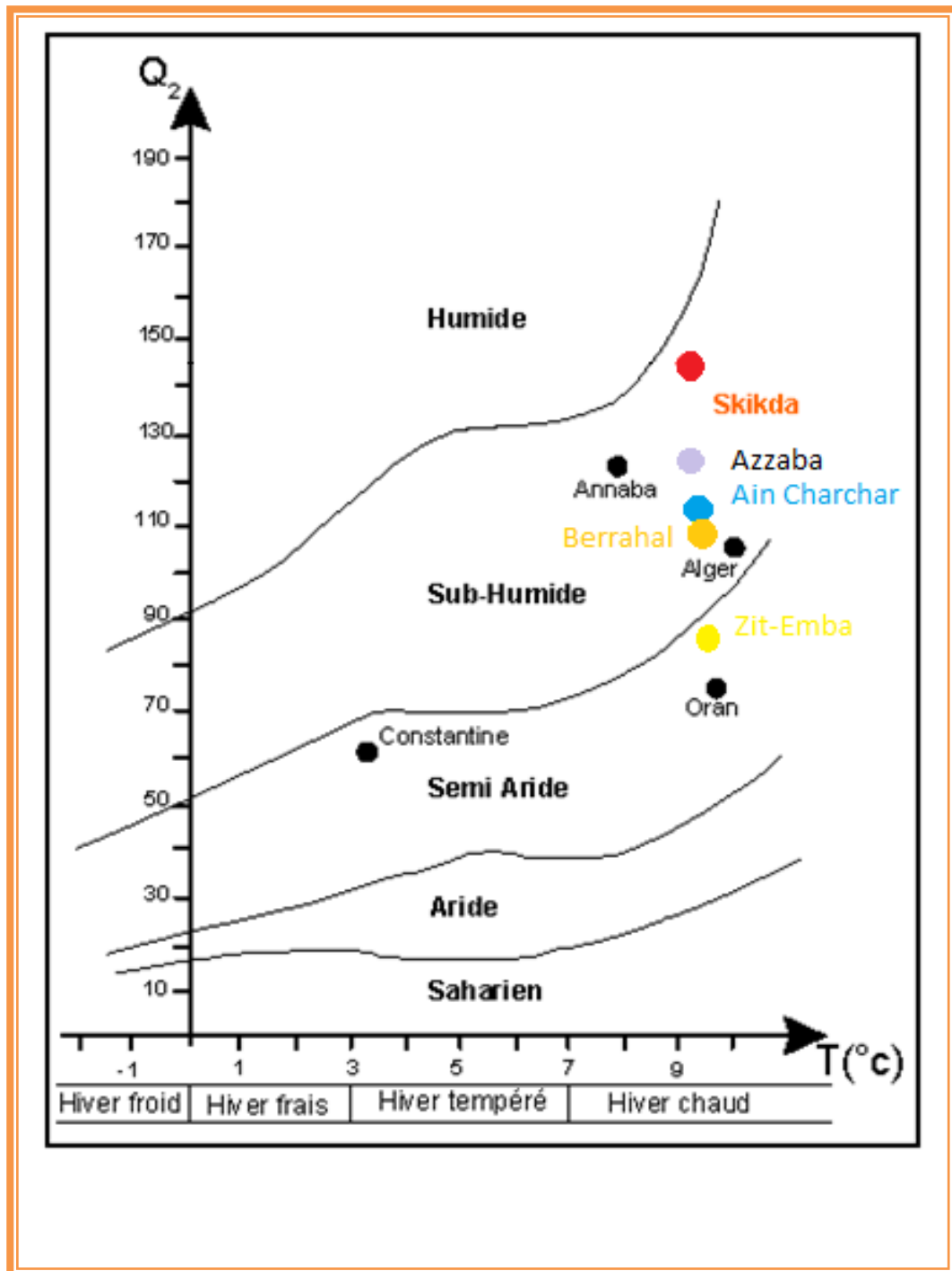


Figure III. 14 : Climagramme de L. EMBERGER

c) Climatogramme de PEGUY

Le climatogramme de Peguy est une méthode graphique permettant de déterminer le régime climatique d'une région. On met sur le graphique les températures mensuelles en abscisse et les précipitations en ordonnées. On obtient alors douze points représentant douze mois.

Cette méthode a montré que les mois de Décembre et Janvier sont des mois humides, les mois de Février, Mars, Avril, Octobre et Novembre des mois tempérés et enfin Mai, Juin, Juillet Août et Septembre sont des mois arides.

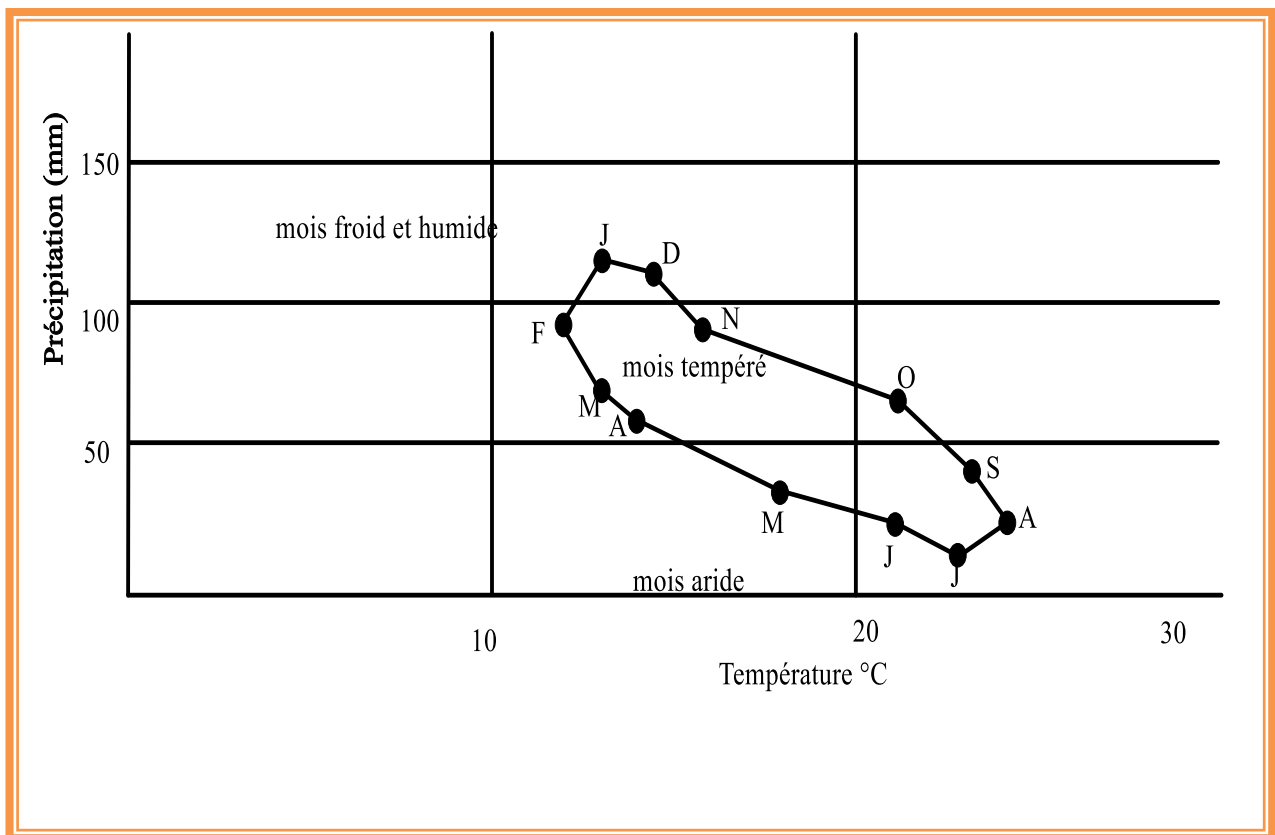


Figure III. 15 : Climatogramme de Peguy

V. LE BILAN HYDRIQUE

Le bilan de l'eau global a pour but d'établir et évaluer la répartition des précipitations entre les différents composants du bilan (Évaporation, Ruissellement, et Infiltration), l'équation d'équilibre entre les apports et les pertes influent directement sur la variation des réserves, en calcule ce bilan pour évaluer ses composants. Il est donné par la formule suivante :

$$P = E_{tr} + R + I$$

P : Pluviométrie moyenne annuelle en mm

E_{tr} : Évapotranspiration réelle moyenne annuelle en mm

R : Ruissellement moyen annuel en mm

I : Infiltration moyenne annuelle en mm

V.1 Évapotranspiration

L'évapotranspiration est définie comme l'ensemble de toutes pertes (sols, végétation, plan d'eau libre, etc...), par transformation de l'eau en vapeur. Ce paramètre est un élément très important pour l'établissement d'un bilan hydrologique, il est fonction des paramètres climatiques et leurs variations.

V.1.1 Évapotranspiration potentielle ETP

Dans les régions à climat humide ou subhumide C.W. THORNTHWAITE a défini l'évapotranspiration potentielle par la perte en eau qui est conditionné par :

- ❖ La température de l'air et de l'eau.
- ❖ L'insolation et l'humidité de l'air.
- ❖ La vitesse et la turbulence du vent.
- ❖ La pression barométrique et l'altitude.

et il a proposé une formule pour le calculer basée sur un indice thermique et la température moyenne mensuelle.

V.1.2 Calcul de l'ETP selon THORNTHWAITE

La formule utilisée est : $ETP = 16 (10 t / I)^a$

$$i = (t / 5)^{1,514} \text{ et } I = \sum_1^{12} i$$

$$a = 0,016 I + 0,5$$

$$ETP_c = ETP. K$$

Où : **ETP** = évapotranspiration potentielle (mm).

ETP_c = évapotranspiration potentielle corrigé (mm)

t = température moyenne mensuelle en degré (°C)

I = somme des indices thermiques mensuels

a = exposant climatique

K est un facteur de corrélation mensuel dépend de la latitude et du mois.

Les résultats de calcul de l'ETP par la méthode de C. W. Thornthwaite sont récapitulés dans le tableau ci-dessous.

Tableau III.10 : Calcule de l'ETP selon THORNTHWAITE

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total/an
<i>T°</i>	23,38	21,42	15,35	14,65	14,38	12,55	14,74	14,65	18,50	21,18	25,15	29,24	18,77
<i>i</i>	10,33	9,05	5,46	5,09	4,95	4,03	5,14	5,09	7,25	8,90	11,54	14,50	91,33
<i>ETP</i>	101,08	85,132	44,291	40,417	38,969	29,84	40,905	40,417	63,868	83,272	116,63	156,73	841,55
<i>K</i>	1,05	0,91	0,75	0,70	0,73	0,78	1,02	1,15	1,32	1,33	1,33	1,24	/
<i>ETP_c</i>	106,13	77,47	33,218	28,292	28,448	23,275	41,723	46,48	84,305	110,75	155,12	194,34	929,55

V.1.3 Évapotranspiration réelle ETR

L'évapotranspiration réelle (ETR) appelée aussi le déficit d'écoulement (D_e), correspond à la quantité d'eau évaporée ou transpirée par le sol, les végétations, et les plans d'eau libres.

L'estimation de l'évapotranspiration réelle peut se faire à l'aide de plusieurs formules. La hauteur des précipitations et les températures moyennes mensuelles forment les bases de ces calculs.

V.2 Calcule de l'ETR

a. Formule de TURC

Cette formule est applicable à tous les climats, elle est en fonction des précipitations et des températures moyennes annuelles.

$$ETR = P [0,9 + (P / L)^2]^{1/2}$$

$$\text{Avec : } L = 300 + 25T + 0,05T^3$$

ETR : évapotranspiration réelle (mm/an)

P : hauteur moyenne annuelle de la pluie (mm)

T : température moyenne annuelle (°c)

$$L = 300 + 25 (18,77) + 0,05 (18,77)^3 \rightarrow L = 1099,90$$

$$\Rightarrow ETR = 712,32 [0,9 + (712,32 / 1099,99)^2]^{1/2}$$

$$\Rightarrow ETR = 620,13 \text{ mm/an} \quad \text{soit } 87,06 \% \text{ des précipitations}$$

$$R = P - ETR \quad \text{Donc } R = 712,32 - 620,13 = 92,19 \text{ mm}$$

b. Formule de COUTAGNE

Le déficit d'écoulement calculé à partir de cette formule peut être rapproché de l'évapotranspiration réelle qui ne fait intervenir que la température et les précipitations.

$$\text{ETR} = \text{P} - \lambda \text{P}^2 \quad \text{Avec : } \lambda = \frac{1}{0,8+0,14\text{T}}$$

ETR : évapotranspiration réelle (m/an)

P : hauteur annuelle de la pluie (m/an)

T : température moyenne annuelle (°C)

On ne peut jamais appliquer cette formule sauf si : $1/8\lambda < \text{P} < 1/2\lambda$

Nous avons $\lambda = 0,29$ donc les données pluviométriques qu'on veut utiliser répondent bien à cette condition $0,431 < 0,712 < 1,724$

$$\Rightarrow \text{ETR} = 0,712 - 0,29 \times 0,506 = 0,565\text{m/an}$$

$$\Rightarrow \text{ETR} = 0,565 \text{ m/an} = 565 \text{ mm/an} \text{ soit } 79,32 \% \text{ des précipitations}$$

$$\text{Et } R = 712,32 - 565 = 147,32 \text{ mm /an}$$

L'évapotranspiration réelle calculé selon la méthode de Coutagne dans les autres stations sont mentionnés dans le tableau suivant :

Tableau III.11 : Évapotranspiration réelle (méthode de COUTAGNE)

Station	T °C	P (mm)	ETR (mm)
Ain Charchar	18,5	719,7	547,67
Azzaba	18,5	646,1	525,21
Berrahal	18,5	659,2	524,56
Zit-Emba	18,5	520	470,76

c. Formule de WUNDT

Cette méthode permet d’obtenir graphiquement l’ETR (le déficit d’écoulement) à partir d’un diagramme (de WUNDT) en fonction de la température moyenne et les précipitations. En utilisant les résultats obtenus à la station de Skikda pour une précipitation égale à 712,32 mm et une température de 18,77 °C.

À partir du diagramme de WUNDT, dont lequel les températures et les précipitations sont prises en considération, nous pouvons obtenir graphiquement l’ETR (le déficit d’écoulement) en utilisant les résultats obtenus à la station de Skikda pour une précipitation égale à 712,32 mm et une température de 18,77 °C.

La projection des grandeurs de P et T nous donne la valeur de l’ETR (D_e) sur le diagramme et elle est de l’ordre de 680 mm soit 95,46 % pour la station de Skikda.

Le ruissellement alors est $R = P - ETR = 712,32 - 680 \rightarrow R = 32,32 \text{ mm}$

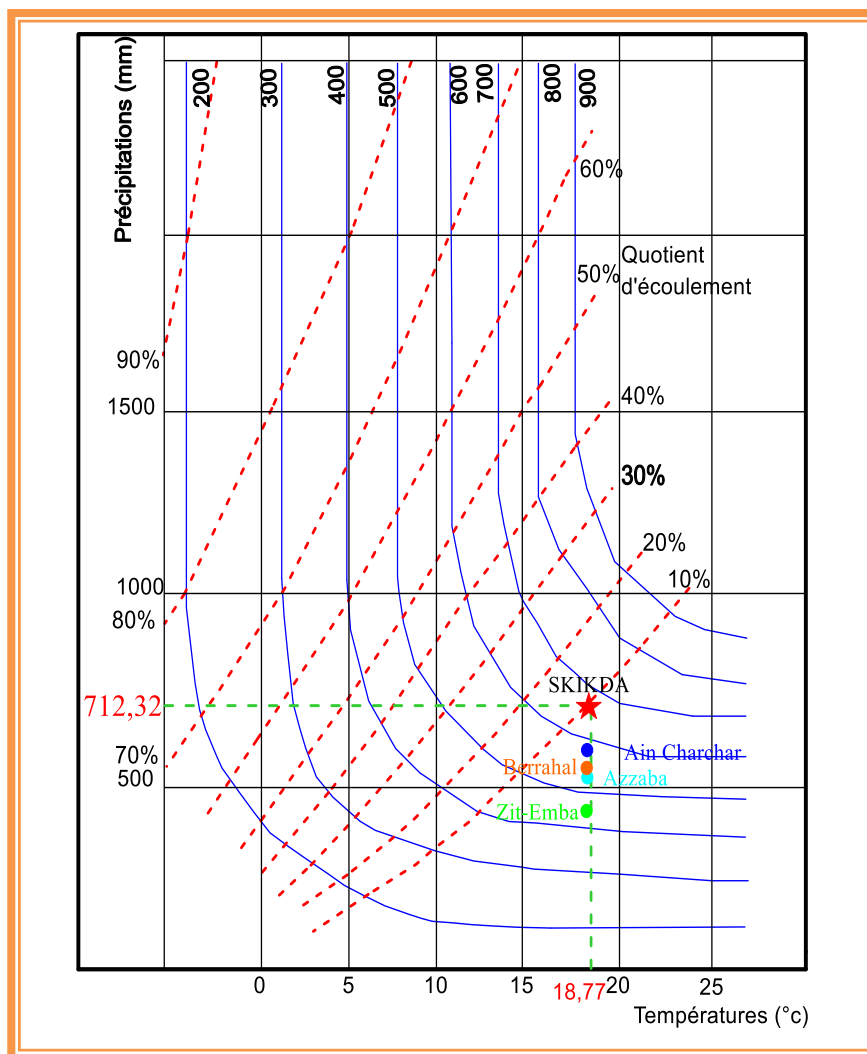


Figure III.16 : Abaque de WUNDT modifiée par COUTAGNE

V.3 Méthode du bilan hydrique de THORNTHWAITE

C.W Thornthwaite a proposé une méthode qui permet de connaître les différents termes d'un bilan hydrique à l'échelle mensuelle, il fait intervenir l'évapotranspiration (ETP) et la pluviométrie (P), cette méthode est basée sur la notion de réserve en eau facilement utilisable (RFU). Cette dernière peut être reprise pour l'évaporation par l'intermédiaire des plantes. On suppose qu'une lame d'eau de 100 mm est la quantité nécessaire pour que le sol soit saturé. Cette valeur représente alors la quantité d'eau optimale que le sol peut retenir ou soustraire à l'écoulement interne. On peut distinguer trois cas :

⇒ **P > ETP** : alors $ETR = ETP$

- Il reste un excédent (P- ETP) qui est affecté en premier lieu à la RFU, et si la RFU est complète à l'écoulement Q

⇒ **P = ETP**

- Les précipitations sont reprises par l'évapotranspiration.

⇒ **P < ETP**

- Dans ce cas il y a un épuisement des réserves et en aura alors un déficit.

- Si le RFU = 0 la quantité $D = ETP - ETR$ représente le déficit agricole

Tableau III.12 : Bilan de THORNTHWAITE

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
<i>T</i>	23,38	21,42	15,35	14,65	14,38	12,55	14,74	14,65	18,50	21,18	25,15	29,24	225,19
<i>P</i>	38,37	64,29	95,06	115,99	106,6	92,75	67,55	68,46	36,46	12,99	3,96	9,87	712,32
<i>i</i>	10,33	9,05	5,46	5,09	4,95	4,03	5,14	5,09	7,25	8,9	11,54	14,5	91,33
<i>K</i>	1,05	0,91	0,75	0,7	0,73	0,78	1,02	1,15	1,32	1,33	1,33	1,24	
<i>ETP</i>	106,13	77,47	33,22	28,29	28,45	23,28	41,72	46,48	84,31	110,8	155,12	154,34	889,55
<i>ETR</i>	38,37	64,29	33,22	28,29	28,45	23,28	41,72	46,48	84,31	65,15	3,96	9,87	467,39
<i>RFU</i>	0,00	0,00	61,84	100	100	100	100	100	72,59	2,31	0,00	0,00	636,74
<i>Ex</i>	0,00	0,00	0,00	49,54	78,12	69,48	25,83	21,98	0,00	0,00	0,00	0,00	244,94
<i>D</i>	67,76	13,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	148,85	144,47	374,26

Le tableau du bilan d'eau de Thornthwaite nous aide à conclure qu'à partir du mois de Novembre le RFU commence à restaurer les stocks, pour atteindre son maximum au mois de Décembre, ces réserves se reconstituent, et on aura aussi un excédent varie de 0,00 mm au mois de Novembre à 49,54 mm au Décembre puis il se diminue à 21,98 mm au mois d'Avril revenant à 0,00 à partir du mois de Mai.

Le déficit agricole est un phénomène signifiant le manque de l'eau, il manifeste en été, au mois de Juillet, avec 148,85 mm, puis il atteint son maximum au mois d'Aout avec 184,47 mm, il durera pendant quatre mois jusqu'au mois d'Octobre ou en enregistre un déficit de 13,18 mm. Pendant ces mois les réserves sont épuisés, mais dès le mois de Novembre la reconstitution des stocks débute et le cycle recommence de nouveau.

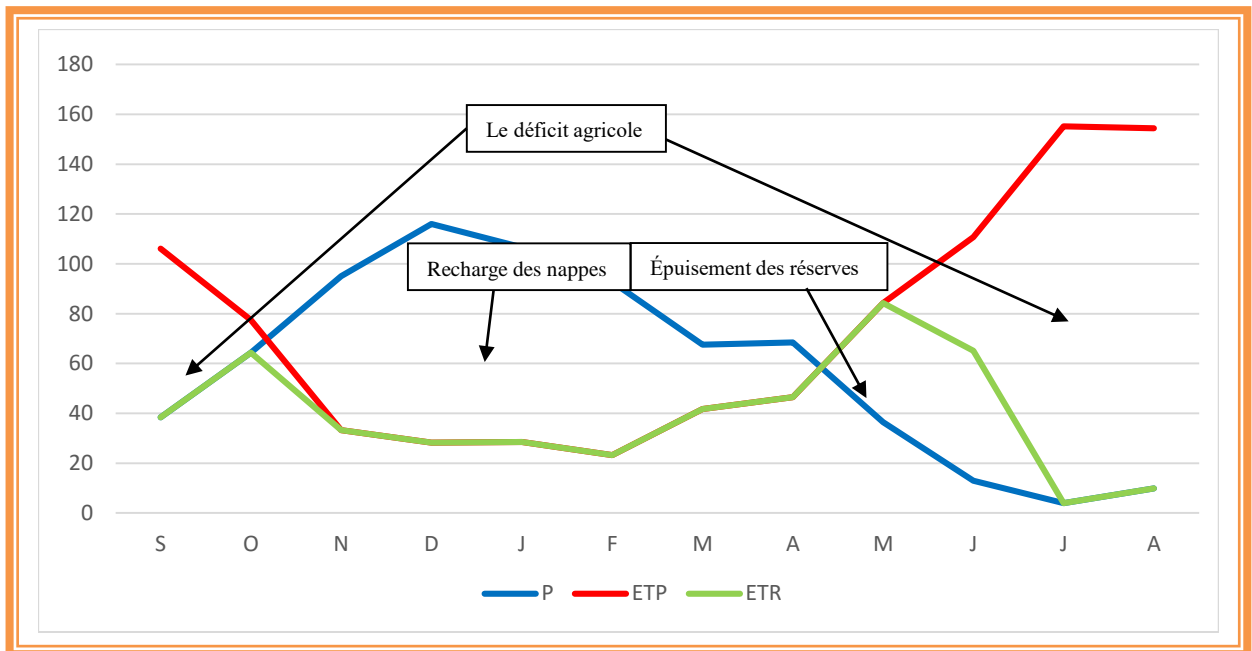


Figure III.17 : Représentation graphique du bilan de Thornthwaite à la station de Skikda (1970/13)

La figure III.17, représente les paramètres du bilan d'eau selon Thornthwaite, dont on peut remarquer que la précipitation enregistrée au mois de Septembre est faible 38,37mm, contre une forte évaporation ETP de 106,13 mm, cela mène à une perte d'eau sous forme de déficit agricole (D) 67,76 mm. Peu à peu la précipitation devient plus intense en même temps moins d'évaporation, ce qui contribue à recharger les nappes dès le mois de Novembre, les réservoirs sont pleins à partir de Décembre et l'excédent (ex) va s'écouler, mais au mois de Mai la précipitation diminue une autre fois et le niveau des réserves s'abaisse jusqu'à l'épuisement des stocks (RFU) en Juillet ou le déficit agricole apparaitre une autre fois 148,85 mm.

Cet épuisement persiste jusqu'au mois d'Octobre formant une période de déficit agricole, et à partir de ce mois la précipitation retombe en reconstituant les réserves et les cours d'eau, est c'est la saison pluvieuse étalant jusqu'au mois de Mai.

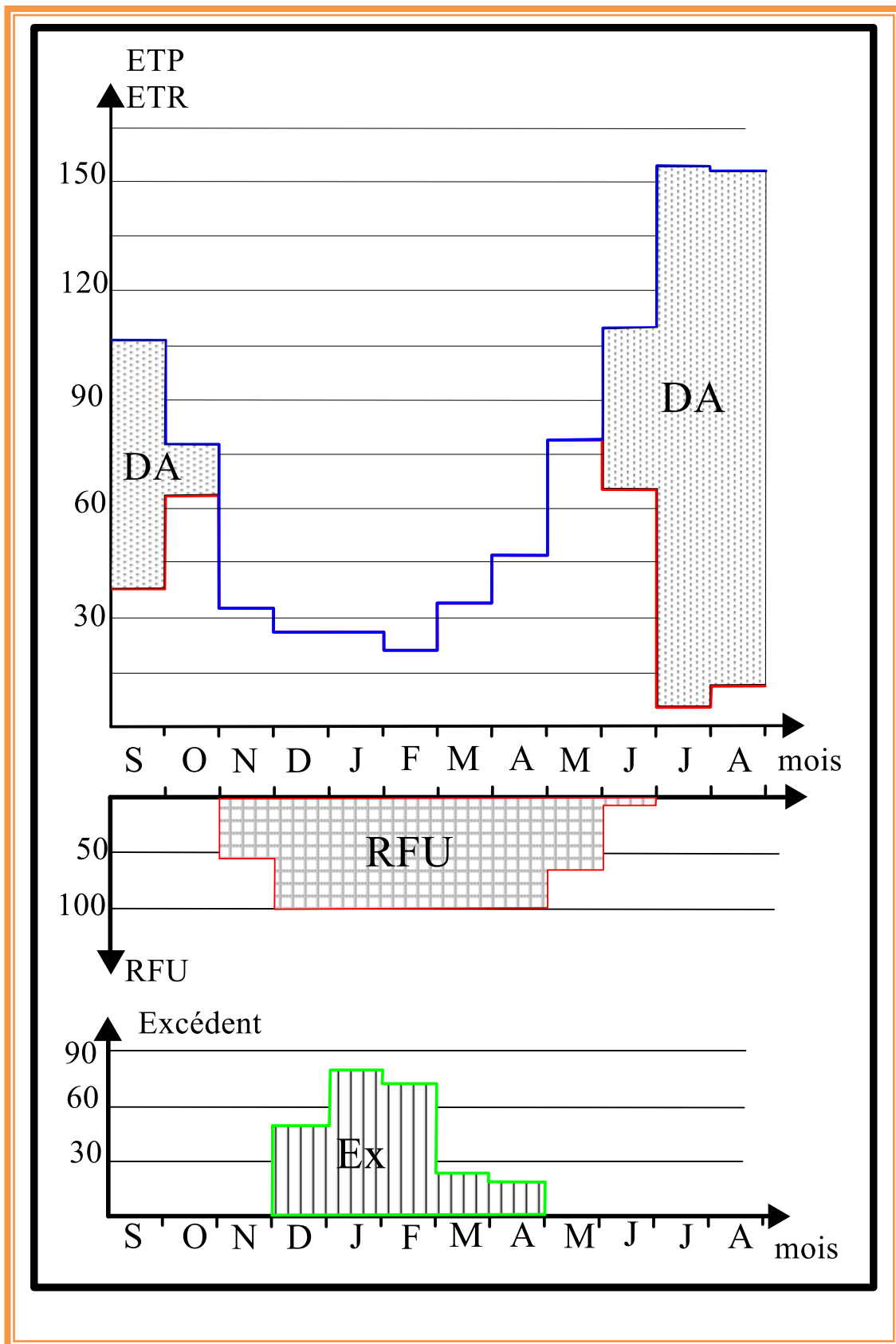


Figure III.18 : Le bilan d'eau selon Thornthwaite à la station de Skikda 1970/2013

V.4 Discussion des résultats

Les différentes valeurs de l'évapotranspiration obtenues par les différentes formules appliquées sur la station de Skikda sont récapitulées dans le tableau suivant :

Tableau III.13 : Valeurs de l'évapotranspiration obtenues par les différentes méthodes

	<i>Paramètre (mm)</i>	ETR	R	ETP
<i>Méthode</i>	Thornthwaite	467,39	244,93	929,55
	Coutagne	565	147,32	
	Turc	620,13	92,19	
	Wundt	680	32,32	
<i>Moyenne</i>		583,13	129,19	

V.5 Le bilan hydrologique

Le bilan de l'eau global a pour but principal d'établir une équation d'équilibre entre les apports et les pertes qui influent directement sur la variation des réserves. Pour calculer le bilan il est indispensable d'évaluer ses composantes. $P = ETR + R + I$

Où : P = Précipitation moyenne annuelle (mm).

ETR = Évapotranspiration réelle moyenne annuelle (mm).

R = Ruissellement moyen annuel (mm).

I = Infiltration moyenne annuelle (mm).

À propos des paramètres de cette équation, on a une précipitation moyenne annuelle égale à **712,32** mm/an.

Pour l'évapotranspiration réelle nous l'avons calculer par les différentes méthodes et la moyenne générale des quatre estimations est de l'ordre de **583,13** mm

À partir de la moyenne annuelle des précipitations et de l'évapotranspiration nous calculons la lame d'eau écoulee et qui est égale à **129,19** mm ce qui représente 18,14 % des précipitations. Cette quantité représente l'écoulement total qui englobe l'écoulement superficiel et souterrain, (R+I).

V.6 Calcul de l'infiltration

En vue d'estimer la valeur du ruissellement on utilise la méthode de TIXERONT-BERKALOFF

$$R = P^3 / 3 ETP^2$$

P : Hauteur de précipitation (mm).

R : Ruissellement de surface (mm).

ETP : Évapotranspiration potentielle (mm).

Dont : $P = 712,32$ mm

$ETP = 467,39$ mm

⇒ $R = 129,19$ mm

Mais nous avons la quantité d'eau écoulee est 244,94 mm englobant l'écoulement superficielle et souterraine alors $I = 244,94 - 129,19 = 115,75$ mm soit 16,25 % de la précipitation.

VI. CONCLUSION

Cette étude hydroclimatologique dont nous avons essayé de rassembler le maximum de données pour plusieurs de stations pluviométriques et pour les divers facteurs climatiques (précipitation, température, humidité, vent...etc.), pour obtenir une analyse assez complète, qui nous a permis d'effectuer les évaluations et les variations de la lame d'eau écoulée dans le bassin versant afin de pouvoir calculer le bilan d'eau.

Dans ce chapitre, et après utilisation des différentes méthodes, on a trouvé que la région d'étude est soumise à un climat méditerranéen caractérisé par un été chaud et sec, où la précipitation atteint les 2 mm comme moyenne mensuelle, et une température supérieure à 24 °C, et un hiver froid et pluvieux, avec une moyenne annuelle de précipitation de l'ordre de 712,32 mm.

La saison humide s'étale depuis le mois d'Octobre jusqu'à Mai, et l'autre saison de Juin jusqu'à septembre.

En ce qui concerne la lame d'eau précipitée sur le bassin, on a trouvé quelle est de l'ordre de 712,32 mm, et une température de 18,77 °C comme moyenne annuelle pour une période de 43 ans (1970/13). L'évapotranspiration réelle est égale en moyenne à 583,13 mm soit 81,86 % des précipitations, cette quantité appréciable favorisée par la présence d'importantes surfaces de plans d'eau, représentées par l'abondance des marécages qui se répartissent le long de l'oued el-Kebir, la quantité d'eau ruisselée à la surface est estimée à 129,19 mm, dont 115,75 mm soit 16,25 % des précipitations s'infilte dans le sol.

CHAPITRE 4

HYDROGÉOLOGIE



I. Introduction

La plaine de Kebir Ouest, dont Guerbès y comprise est une région côtière, et humide. Elle est caractérisée par un couvert végétal très dense, et une formation géologique à forte perméabilité (alluvions, sables). Ces conditions font que la zone recèle un important réservoir d'eau souterraine, ainsi que des eaux de surfaces.

Le système aquifère de la plaine est la principale ressource pour la population de la région. Ces dernières années une sécheresse importante et une demande en eau croissante ont été remarquées, ce qui a conduit par conséquence à une sollicitation accrue, et une exploitation non-rationnel des nappes, et dans la major partie du temps les répercussions vont retourner sur les nappes d'eaux.

Alors le plus grand défi est de trouver une solution à la demande croissante tout en préservant les ressources naturelles contre la pollution ou l'extinction.

C'est ainsi que les principales formations géologiques jugées hydrauliquement favorables à l'emmagasinement de l'eau sont :

i. Les dépôts Quaternaires récents :

Ils constituent les colluvions d'oued El Kebir d'une part et l'Alluvium constitué de galets calcaires, de graviers, de sable et d'argiles qui est parfois mêlé à des fragments remaniés de schistes d'autre part. Il est à noter qu'un granoclassement de ces dépôts est grossiers en amont de la plaine, devient fin et mêlé aux particules fines d'argiles et de tourbe dans sa partie avale. Ces dépôts sont remarquables au niveau de l'ensemble du réseau hydrographique.

ii. Les formations quaternaires anciennes :

Elles sont représentées par les sables rougeâtres de l'Holocène. Ce faciès se localise essentiellement aux piémonts du massif métamorphique de djebel Boumaïza dans la partie Est de la plaine et de Koudiat El Aneb à l'Ouest. Un autre faciès constitué de sable blanc et qui constitue les dunes proprement dites entre dans cette formation. Déposé et orienté Nord-Ouest Sud-Est à la faveur des vents dominants, son épaisseur déterminée par la géophysique peut atteindre cent mètres.

iii. Les grès dunaires :

Ils se localisent surtout dans la région de Sidi Lakhdar qui supportent le lit de l'oued Dissya et qui bordent le littoral.

II. Géométrie des aquifères

Les logs litho-stratigraphiques des forages et l'analyse des données géophysiques ont permis d'établir la nature et la géométrie des aquifères existants. Ils montrent que le système hydrogéologique de la plaine de Guerbès occupe un fossé d'effondrement ayant servi à la genèse de la vallée actuelle de l'oued El Kebir, le remplissage de ce fossé d'effondrement s'est fait avec des dépôts Plio-Quaternaires d'origines multiples (lacustre, marine, colluviale et éolienne).

Ces origines expliquent la diversité des faciès. Par ailleurs, la dynamique du fossé d'effondrement et de son contexte (massif de l'Edough et les monts de Constantine) expliquent les passages latéraux de faciès ainsi que la variation de leurs épaisseurs.

II.1 Caractéristiques hydrogéologiques des formations aquifères

Dans la zone d'étude l'examen des coupes schématiques et les données de forages, montre la présence d'un système d'aquifère constitué de plusieurs nappes.

II.1.1 Région Nord du massif dunaire

Quelques forages y sont implantés ont permis d'identifier un aquifère profond constitué de matériaux polygéniques de gravier et de galets plus épais dans la région Nord-Ouest, où il remonte très haut en surface. Il est surmonté dans la région Nord-Est par un dépôt d'argiles qui lui confère une identité captive dans cette zone. À l'Est de l'oued El Kebir, il est en continuité hydraulique directe avec une formation dunaire de sables blancs. Partout ailleurs, il est surmonté par une formation de sables argileux peu perméable mais assurant une continuité hydraulique verticale jusqu'aux dépôts de sables dunaires dans la partie centrale. L'épaisseur des formations aquifères varie entre 50 mètres au Nord-Est et 140 mètres dans la partie centrale.

II.1.2 Région centrale de la plaine

Les logs litho-stratigraphiques des forages permettent d'identifier une formation aquifère constituée de graviers et de sables de nature alluvionnaire qui est surmontée par un horizon imperméable d'argiles qui lui confère une captivité sur toute la largeur de la vallée. L'épaisseur de l'aquifère varie entre 12 mètres au Sud et 50 mètres dans la centrale.

a. Le bassin versant de Kebir Ouest

La coupe effectuée dans la plaine alluviale du Kebir Ouest, d'orientation Nord-Sud nous révèle l'existence de deux aquifères superposés (Fig : IV.2).

La première nappe alluviale de Kebir Ouest est formée d'un mélange de sable, graviers et de galets, se localise sous un toit imperméable à semi perméable, son épaisseur varie de 5 m au Nord (forage Ain Nechma 3) et peut aller jusqu'à 20 mètres au Sud (forage Das Loumi).

La deuxième nappe étant captive, possède un toit imperméable formé d'argiles limoneuses dont l'épaisseur varie de 10 à 20 mètres légèrement incliné vers le Sud.

Le substratum est formé en général par des marnes d'âge pliocène d'épaisseur variable, les zones les plus perméables de la nappe alluvionnaire se trouvent au débouché de l'oued Kebir Ouest et ses affluents en raison de la granulométrie du sol, la valeur maximale de la Transmissivité est de l'ordre de $10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ au Sud-Est dans la région de Hadjar Essoud. (STROJEXPORT PRAGUE. 1974).

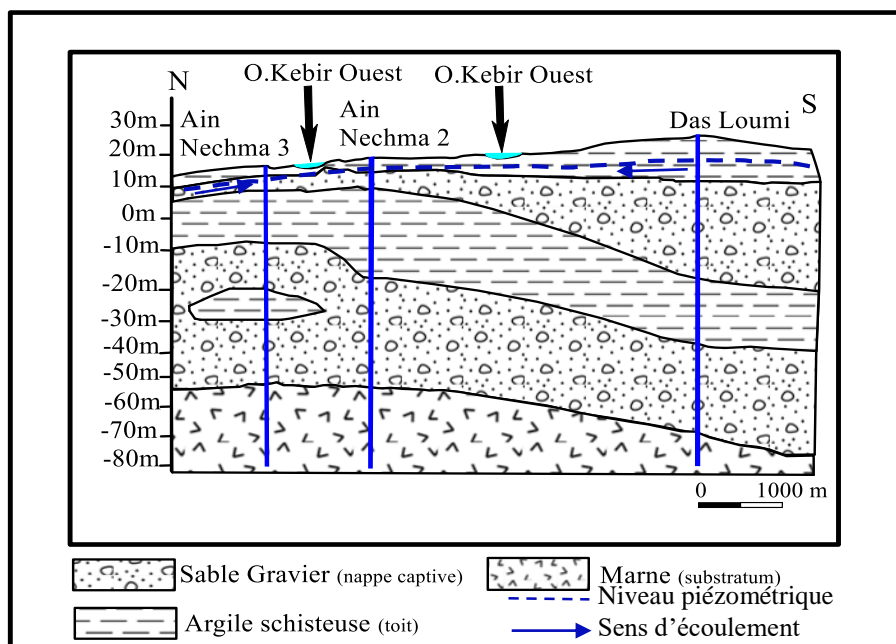


Figure IV.1: Coupe Hydrogéologique dans l'aquifère de Azzaba
(d'après les coupes de forages).

b. Le massif dunaire de Guerbès

Le massif dunaire de Guerbès se présente comme un bourrelet littoral, il culmine à 107 m au centre du bassin de Guerbès. Les formations sableuses du massif dunaire de Guerbès révèlent l'existence de deux nappes superposées distinctes l'une superficielle et l'autre profonde séparées par une couche semi-perméable à certains endroits :

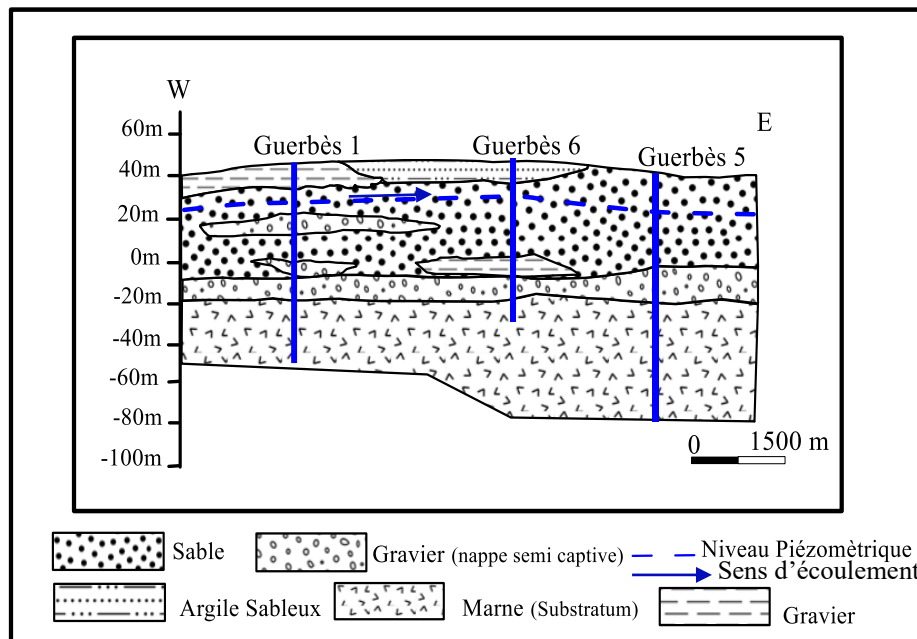


Figure IV.2: Coupe hydrogéologique (EW) dans le massif dunaire de Guerbès (d'après les coupes de forages).

La coupe effectuée dans les formations du massif dunaire de Guerbès, d'orientation Est Ouest (Fig.IV.3) nous révèle l'existence de deux nappes, l'une est libre formée par un matériel sableux, son épaisseur est variable de 5 à 10 m. À quelques endroits, on remarque l'absence de la couche semi-perméable (qui forme le substratum) ou la nappe superficielle et la nappe profonde se confondent (Guerbès 1 et Guerbès 5).

La seconde est une nappe semi captive à matériel alluvionnaire grossier constituée de sable, graviers et galets. Son épaisseur moyenne est de 15 mètres (forages Guerbès 1, 5, et 6).

La Transmissivité (T) moyenne de la nappe est de l'ordre de $2.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ et d'un coefficient d'emménagement (S) allant de 3.10^{-4} à 30.10^{-4} . (Khammar C. 1981).

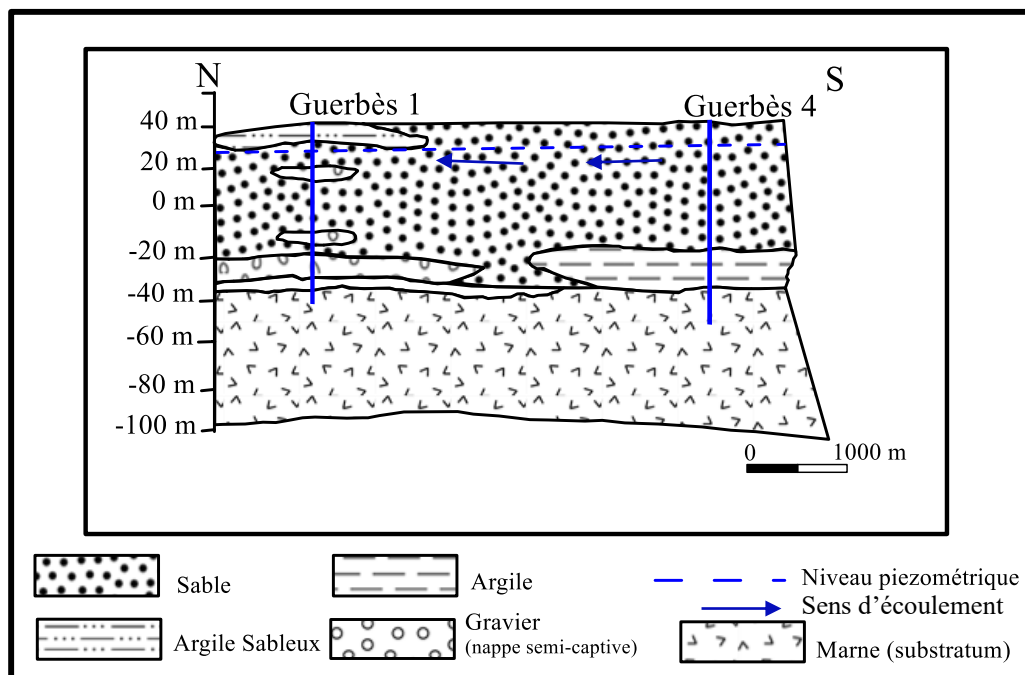


Figure IV.3 : Coupe Hydrogéologique à travers le massif dunaire de Guerbès (NS)

L'ensemble du système repose sur un substratum imperméable formé d'argiles grises d'âge pliocène. (Coupe IV.3, IV.4). Le débit total d'exploitation dans la vallée de Kebir Ouest est de l'ordre de 362 l/s (*D.R.E Skikda*). alors que le débit moyen fictif et continu est de l'ordre de 377 l/s (*Bacha., Boutefnouchet. 1988*).

II.2 Extension des nappes

Pour l'étude de la nature des nappes aquifères et leurs extensions, il est nécessaire d'établir des coupes hydrogéologiques à partir des forages, qui permettront par la suite la représentation de toutes les couches traversées par ces forages (en particulier les forages parfaits qui peuvent atteindre le substratum de l'aquifère).

La carte (Fig. IV.4) établie de l'extension latérale des couches aquifères (d'après les coupes de forages et coupes hydrogéologiques), nous montre d'une façon approximative leurs extension générale dans l'espace.

Dans la région de Guerbès les nappes révélées sont celles des sables dunaires, s'étendant à plusieurs kilomètres du nord au Sud, (selon la disponibilité des forages et leurs lieux d'implantation).

Dans la plaine de Kebir Ouest la nappe la plus importante est celle des sables et graviers d'une puissance qui peut dépasser 20 m, son extension latérale se remarque de part et d'autre de l'oued Kebir Ouest dépassant 10 kilomètres de chaque côté.

II.2.1 Cartes isopaques

À partir des résultats de la géophysique et de la géologie nous avons déterminé les épaisseurs des différentes nappes constituant le système aquifère, ce qui nous a permis de dresser les cartes isopaques des niveaux correspondants. L'observation de ces dernières montrent :

a. Nappe libre : La carte (fig. IV.5) montre que l'épaisseur de l'aquifère des sables augmente du Nord au Sud. Elle varie entre 15 m d'épaisseur observée au niveau du piézomètre P7 jusqu'à 37 m au niveau de P14.

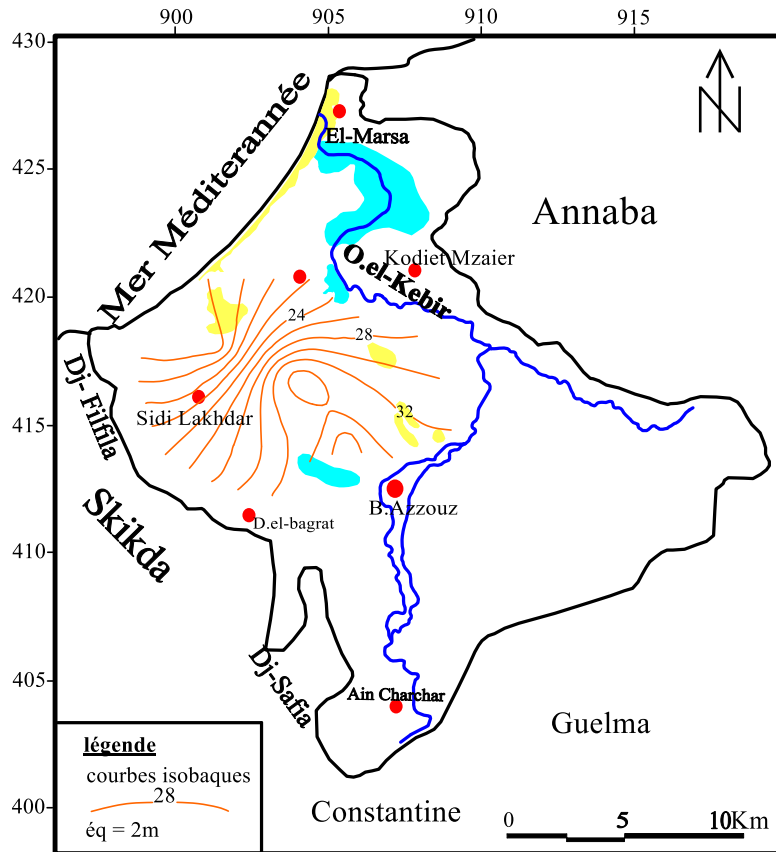


Figure IV.4 : Carte des isopaques de la nappe des sables. (Hadj Saïd. S 2007)

b. **Nappe profonde**, la carte des isopaques de l'aquifère des alluvions (fig. IV.6) indique une croissance des épaisseurs du Sud vers le Nord. L'épaisseur minimale s'observe au niveau du forage G2, elle est de l'ordre de 7m tandis que la valeur maximale est de 50 m s'observe au forage G1.

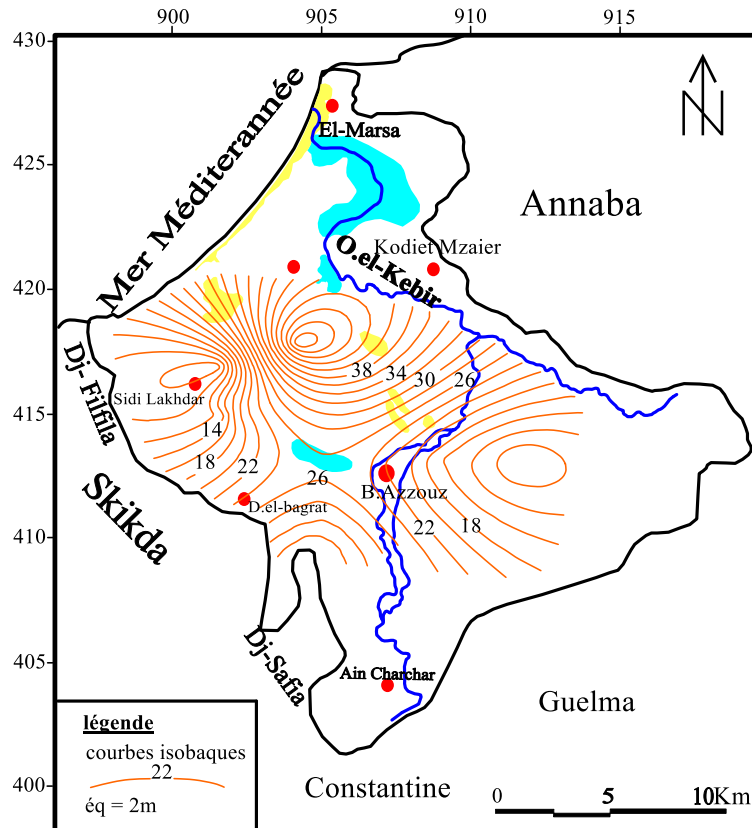


Figure IV.5 : Carte des isopaques de la nappe des alluvions (Hadj Saïd, S 2007)

II.2.2 Carte de substratum

La carte des courbes des isobathes de substratum établie à partir des coupes de forages et piézomètres, implantés dans la région, met en évidence un affaissement du mur de la nappe, de direction Sud –Nord. Ce qui conforte les résultats obtenus par la géophysique qui ont mentionnés ces affaissements au centre du massif ainsi que des sur élévation du substratum qui est à l'origine du changement topographique près du rivage.

La profondeur maximale est atteinte par le forage G1, elle est de l'ordre de 109m. Par ailleurs, le manque d'ouvrages dans la partie Nord au voisinage du rivage ne permet pas de connaître la nature du mur de la nappe.

Le substratum est constitué par des niveaux marneux à argileux passant à des calcaires à l'Ouest car il juxtapose le massif calcaire situé dans la région (cf. sondage G7).

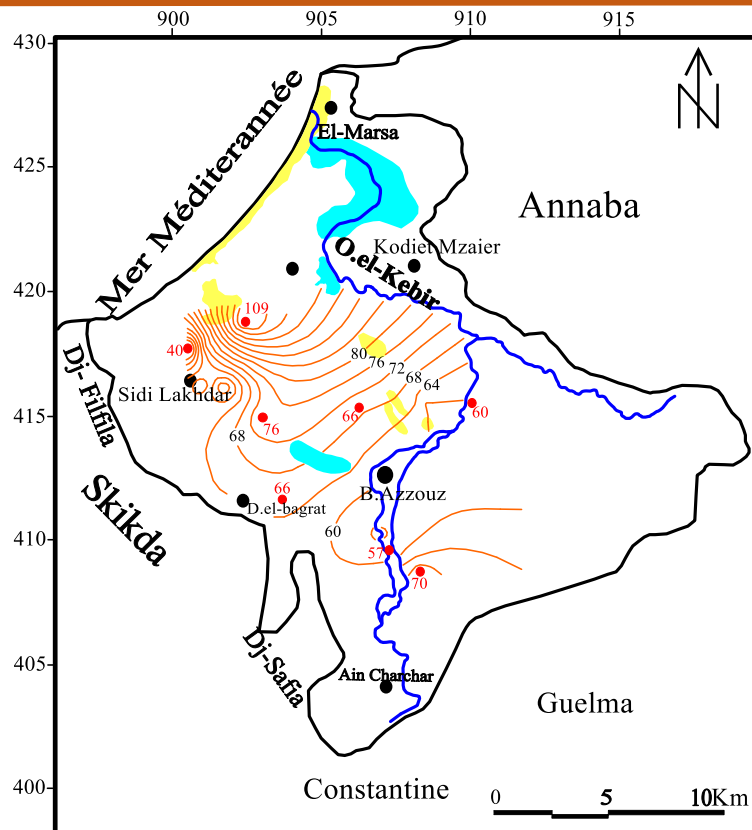


Figure IV.6 : Carte des isobathes du substratum de la nappe profonde

III. APERÇU SUR L’HYDROLOGIE DE SURFACE

L’oued Kebir Ouest débute au versant Nord de djebel Boutellis (Nord de Guelma), de direction Nord-Sud sa longueur approximative est de 43 Km avec principaux affluents oued el-Aneb oued el-hammam et oued Fendek. Le tracé des profils en long des principaux affluents de cet oued, montre qu’à l’amont les pentes sont très fortes, généralement supérieures à 50 m/Km, qui sont dues à la résistance des formations consolidées au creusement. À l’aval, les pentes sont moins faibles à cause des formations meubles, les pentes très faibles s’étendent dans la zone entre Essebt et l’oued Emchekel ou la pente diminue jusqu’à 3,5 m/Km. Il traverse les bassins de Azzaba et Essebt pour se déverser dans la mer tout en passant par le massif dunaire de Guerbès, il draine une superficie de 1131 Km², son apport hydraulique est estimé à 282 Mm³ à la station de Ain Charchar. (ADE Skikda.2010)

Le traçage du profil en long du lit d’oued el-Kebir sur une longueur de 30Km à l’aide de Google Earth a montré que la pente maximale est de 11,0% et la pente minimale de 0,9%.



Figure IV.7 : Profil en long du lit d’oued el Kebir

IV. HYDROLOGIE SOUTERRAINE

IV.1 Piézométrie

Afin de connaître l'état et l'évolution du niveau des nappes d'eau souterraine, il est indispensable de surveiller la profondeur de la surface des nappes (niveau piézométrique), par la réalisation de plusieurs campagnes de mesures piézométriques. Cette opération va nous aider à élaborer des cartes piézométriques relatives à chaque campagne de mesures. Chaque carte permet la détermination du sens de l'écoulement des eaux ainsi que le mode d'alimentation de la nappe.

La totalité des cartes établies concernent la nappe libre captée par les puits et les piézomètres. L'insuffisance des ouvrages d'un côté, et l'inaccessibilité des forages profonds de l'autre côté, rend le traçage des cartes correspondant à ce niveau impossible.

Dans la zone d'étude, plusieurs cartes ont été déjà réalisées, compte tenu de l'importance de la région, en plus son endroit et son à proximité des grandes universités tel que : Annaba, Constantine, Skikda, et Guelma.

IV.2 Utilité de la carte piézométrique

La carte piézométrique nous donne une idée sur l'extension de l'aquifère, la direction et la vitesse de l'écoulement, ainsi que les zones favorables pour l'accumulation des eaux souterraines.

La carte en courbe isopièzes permet de :

- Calculer la profondeur de la surface piézométrique.
- Tracer les lignes de courant, et les axes de drainage.
- Situer les zones d'alimentation.
- Déterminer le gradient hydraulique $I = (H1 - H2) / L$

D'où le niveau piézométrique H1, H2 sont déterminés par les courbes hydro-isohypse, et L la distance entre ces deux points par l'échelle de la carte.

IV.3 Inventaire des points d'eau

Les puits d'eau recensés dans la plaine d'oued el-Kebir et le massif dunaire sont des puits à usage domestique, c'est-à-dire pour l'irrigation des parcelles agricoles individuelles ou collectives, et l'alimentation humaine et animale, et parfois ils servent à l'alimentation des petites unités industrielles. L'exploitation des horizons profonds est peu développée car la profondeur des puits ne dépasse pas les 20 m dans les bonnes conditions.

Dans le massif dunaire les puits et les sources fournissent les besoins en eaux pour l'alimentation humaine, animale et agricole ; dans la plaine alluviale la nappe phréatique est exploitée par une soixantaine de puits. L'agriculture est plus importante que dans le massif dunaire et aussi la vie économique, elle est plus intense due à la proximité des agglomérations de Hajar Essoud, Boumaïza,

Ben Azzouz et Dem el-Bagrat, traduisent une exploitation plus grande dont le débit fictif est plus grand que celui exploité dans le massif dunaire.

IV.4 Interprétation des cartes piézométrique

IV.4.1 Carte piézométrique Avril 2013

L'examen de la carte piézométrique du mois d'Avril 2013, période des hautes eaux, nous a permis de distinguer les zones suivantes :

1) **La zone Nord** : au niveau de cette région on remarque que les courbes isopièzes sont serrées, indiquant une faible perméabilité avec un gradient hydraulique fort de l'ordre de 0,016, dans cette zone les eaux se convergent vers le centre de la plaine, alors la nappe est alimentée d'après l'oued et les lacs s'y existent dans la partie Nord-Est et d'après la mer dans sa partie Nord-Ouest.

2) **La zone centrale** : dans cette deuxième zone on remarque que les courbes sont espacées par rapport au Nord, le gradient hydraulique est de l'ordre de 0,0024 montrant une forte perméabilité, dans cette région l'existence d'un dôme piézométrique jouant le rôle d'une ligne de partage des eaux provoque deux sens d'écoulement, le premier se diverge vers l'oued el-Kebir et les marécages, et l'autre vers les bordures Ouest de la plaine.

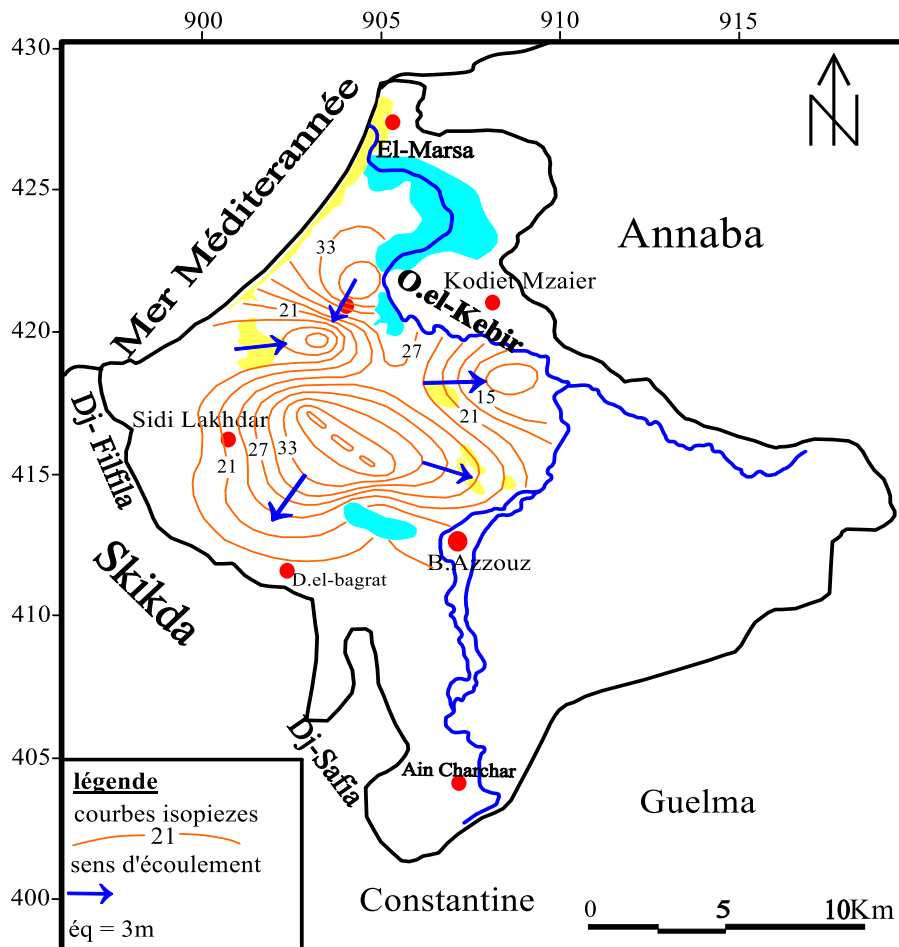


Figure IV.8 : carte piézométrique Avril 2013

IV.4.2 Carte piézométrique Octobre 2013

La carte piézométrique d'Octobre 2013 période des basses eaux (fig. IV.9), montre une situation analogue à celui d'Avril 2013, le dôme piézométrique constitue toujours une ligne de partage des eaux mais de faible extension.

Au centre de la nappe le sens d'écoulement est de direction Ouest Est vers l'oued et les marais, au Sud les eaux se dirigent vers l'oued el-Kebir à la localité de Ben Azzouz, la troisième partie se dirige vers la région de Sidi Lakhdar.

Le gradient hydraulique est de 0,072 au Sud-Est ; il est de 0,048 à l'Ouest à Sidi Lakhdar et au sud près de Ben Azzouz. Ainsi, les fortes valeurs du gradient hydraulique enregistrées dans ces secteurs indiquent une faible perméabilité.

Au Nord et à la zone littorale, les écoulements se subdivisent en deux parties, une se dirige vers la mer de direction complètement Ouest, et l'autre de direction Nord vers la zone marécageuse.

Au niveau de secteur, le gradient hydraulique est de 0,017, une faible valeur reflétant une forte perméabilité.

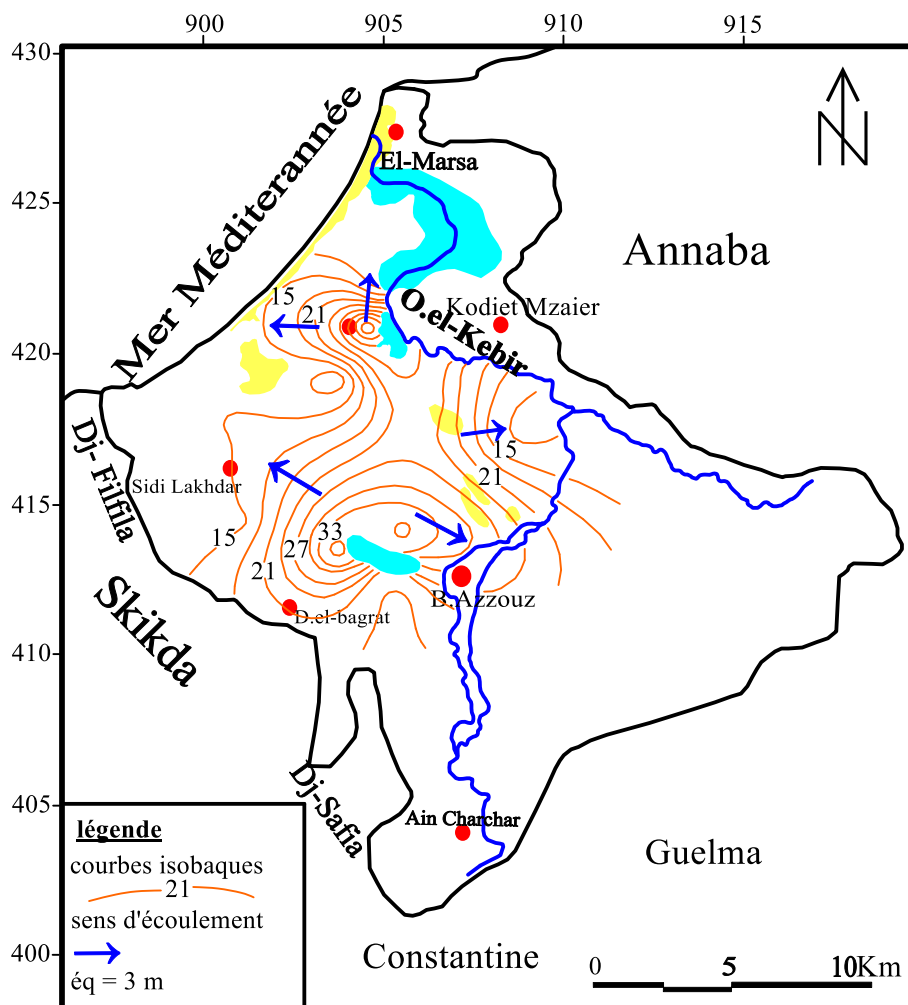


Figure IV.9 : carte piézométrique Octobre 2013

IV.4.3 Conclusion sur les cartes piézométriques :

L'examen des cartes piézométriques établies dans la zone d'étude ont montrés deux tendances possible, tout dépend de la période et la région.

- La période des hautes eaux (Avril 2013), en distingue deux régions, la première se situe au Nord-Est, elle représente la zone de convergence des lignes de courant, la nappe est alimentée par l'oued et les lacs d'une part, et par la mer de l'autre part. La deuxième région se localise au centre d'où il existe un dôme piézométrique, les écoulements dans cet endroit se divergent suivant la topographie, et généralement en remarque une alimentation de l'oued par la nappe à l'Est et le Sud-Est, et vers la localité de Dem el-Bagrat à l'Ouest.

Le gradient hydraulique enregistré est de l'ordre de $24 \cdot 10^{-4}$ au centre et $16 \cdot 10^{-3}$ au Nord, cela nous permet de conclure que la perméabilité est plus fort au centre qu'au Nord.

- La période des basses eaux (Octobre 2013), les mêmes régions sont remarquées avec une différence au niveau du sens d'écoulement.

Au Nord on remarque une divergence totale des écoulements, en cette période la nappe va alimenter les marais, le cours d'eau et même la mer, au centre la topographie règne toujours et les écoulements divergent de la même façon que pour les hautes eaux, par contre à l'Ouest l'écoulement se dirige vers Sidi Lakhdar au Nord-Ouest au lieu de Dem el-Bagrat à l'Ouest.

Le gradient hydraulique enregistré cette fois oscille entre $72 \cdot 10^{-3}$ et $50 \cdot 10^{-3}$ au centre de la zone d'étude, et $15 \cdot 10^{-3}$ au Nord, Ce qui nous permet de dire que la perméabilité au centre est plus faible qu'au Nord.

NB : La comparaison entre les nouvelles cartes piézométriques et les autres tracées auparavant, nous à permet de remarquer la différence entre les niveaux piézométriques, cela peut être expliquer par la hausse des températures remarquée dans la dernière décennie, en plus la mauvaise exploitation de la nappe souterraine.

IV.4.4 Exploitation des eaux souterraines

Dans le massif dunaire l'exploitation des horizons profonds ne concerne qu'un nombre restreint de forages, ces ouvrages sont repartis selon les besoins locaux, ce qui implique des débits d'exploitation différents d'une zone à l'autre. Par contre les puits et les sources fournissent les besoins en eaux pour l'alimentation humaine, animale et agricole.

La plaine alluviale est exploitée par un nombre de puits et de forages plus grand que celui dans le massif dunaire, cela revient à la proximité des grandes agglomérations, en plus la grande superficie irriguée, sans oublier les unités industrielles répartis dans la zone.

Au total plus de 280 puits et 60 forages ont été recensés dans la plaine d'oued el-Kebir, et le massif dunaire, malgré le nombre considérable de puits, qui a été abandonné en raison de la sécheresse ou de colmatage par des déchets solides.

Le débit total d'exploitation dans la vallée de Kebir Ouest est de l'ordre de 360 l/s soit un volume de $11,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ (*D.H.W Skikda*) alors que le débit moyen fictif continu est de l'ordre de 377 l/s soit un volume de $11,72 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ (*Bacha-Boutefnouchet 1988*), soit une différence de $0,52 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$. (*Ben Rabah Samia. 2006*).

V. CARACTÉRISTIQUES HYDRODYNAMIQUES DES AQUIFERES

Le moyen le plus utilisé à la détermination des caractéristiques hydrodynamiques des nappes souterraines est bien les essais de pompage, les expérimentations, par pompage à débit constant sur les puits consistent à mesurer l'accroissement des rabattements du niveau piézométrique et leur remontée après l'arrêt de l'opération.

Les caractéristiques susceptibles d'être étudiées par cette méthode sont, la Transmissivité, le coefficient d'emmagasinement, et les caractéristiques particulières de l'aquifère tel que les tests de conditions aux limites, l'hétérogénéité, la structure, la drainance...etc.

V.1 Définition des caractéristiques hydrodynamiques

V.1.1 Perméabilité

La perméabilité "K" est définie par la proportion de vide dans la section perpendiculaire à la direction de l'écoulement. Elle est mesurée par l'eau qui coule sous une charge donnée, ce qui permet de connaître la vitesse de filtration dont la porosité est connue, la perméabilité diminue avec le diamètre des grains constituant le terrain. La filtration devient impossible en deçà d'un certain diamètre : c'est pourquoi les sablons très fins et les poudres sont imperméables.

Tableau IV.1: vitesse de filtration et perméabilité intrinsèque de sols

Nature du sol	Vitesse de filtration (m/s)	Perméabilité intrinsèque correspondante K (m ²)
<i>Graviers</i>	10 ⁻¹	10 ⁻⁸
<i>Sables grossiers</i>	10 ⁻³	10 ⁻¹⁰
<i>Sables fins</i>	10 ⁻⁵	10 ⁻¹²
<i>Sables très fins</i>	10 ⁻⁷	10 ⁻¹⁴
<i>Sol limoneux</i>	10 ⁻⁸ (1)	10 ⁻¹⁵
<i>Sol argileux</i>	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁶

(1) 10⁻⁸ m/s = 30 Cm /an.

V.1.2 Transmissivité

La transmissivité " T " est un paramètre d'un corps aquifère géométriquement défini, à la différence de la perméabilité, paramètre du milieu. Elle représente le débit d'un niveau aquifère sur toute son épaisseur, par unité de largeur et sous un gradient hydraulique unitaire. Elle est exprimée en m²/s par l'expression : $T = K \cdot e$

Avec : K : perméabilité (m/s).

e : épaisseur de la nappe (m).

V.1.3 Coefficient d'emmagasinement

Le coefficient d'emmagasinement "S" est défini comme le volume d'eau libéré ou emmagasiné par unité de surface Vs sous une charge hydraulique unitaire, déterminant ainsi la fonction capacitive du réservoir.

Le coefficient "S" est égal à la porosité efficace dont la valeur varie de :

- 0,2 à 0,01 pour les nappes libres (couramment 10%).
- 0,001 à 0,0001 pour les nappes captives.
- Le coefficient "S" est mesuré sur le terrain par des pompages d'essai qui rabattent la nappe.

Régis Bourrier & Bachir Selmi

L'évaluation de ces paramètres hydrodynamiques fait appel aux essais de pompage, l'interprétation est souvent délicate en raison de la complexité des conditions aux limites rencontrées dans la nature ; la précision des valeurs de ces caractéristiques à une incidence importante sur celles des estimations des réserves d'eau exploitables et leur gestion.

Les essais ayant été effectués soit sur des forages profonds, soit sur des puits, nous avons tenu compte de plusieurs facteurs intervenant dans le choix de la méthode d'interprétation :

- Caractéristiques de l'ouvrage équipements utilisés pour le pompage.
- Temps de pompage, aquifère testé et régime d'écoulement.

Il s'avère en outre intéressant quand cela est possible de conjuguer plusieurs méthodes de détermination des caractéristiques hydrodynamiques d'un aquifère ; ceci permet de comparer les valeurs entre elle, d'en dégager les plus représentatives de la région étudiée afin d'aboutir à une estimation acceptable des volumes d'eau stockés dans le sous-sol.

V.2 Détermination des paramètres hydrodynamiques

Le calcul des paramètres hydrodynamiques par la méthode des essais de pompages fait appel à certain nombre de données résultant de cette opération réalisée par (*Khammar. C.1981*) au niveau des forages et piézomètres de la plaine alluviale du Kebir Ouest et du massif dunaire.

V.2.1 La transmissivité

Ce paramètre peut être calculé par plusieurs méthodes, parmi lesquelles l'expression d'approximation logarithmique de la formule de THEIS donnée par JACOB.

Où :
$$s = [(0,183Q) / T] \log [(2,25 T.t) / r^2 . S]$$

Avec : s : le rabattement (m)

Q : le débit (m³/s)

T : transmissivité (m²/s)

t : temps de pompage en seconde.

r : distance du piézomètre d'observation à l'axe du puits de pompage (m)

S : coefficient d'emmagasinement (m/s)

Le tableau suivant présente les valeurs de la transmissivité calculée par cette méthode pour quelques forages.

V.2.2 La perméabilité

Elle est liée à la transmissivité par la formule $T = K \cdot e \rightarrow K = T/e$

Dans l'absence des données d'observations de décente ou de remontée du niveau de l'eau au cours de pompage, on applique la formule de DUPUIT pour calculer la transmissivité, avec :

$$T = [0,366 Q \log (R/r)] / s$$

Dont : R : rayon d'action.

r : rayon de forage.

D'après les expériences la valeur du rayon d'action (R) peut être estimé à 1000 m pour la nappe captive composé de gravier.

V.2.3 Le coefficient d'emmagasinement

Le calcul de ce coefficient peut être estimé par l'expression suivante :

$$S = 2,25 T t_0 / r$$

Avec : t_0 = le temps à l'origine, ($s = 0$) et on a $t_0 = 5$ seconde.

r = la distance entre le puits et le piézomètre.

Les résultats de calcul des paramètres hydrodynamiques de la plaine de Kebir Ouest et du massif dunaire sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau IV.2: récapitulation des résultats de la T, K et s dans la plaine de Kebir Ouest et le massif de Guerbès.

<i>N° de puits</i>	Q (m ³ /s)	e (m)	r (m)	R (m)	T (m ² /s)	s (m)	K (m/s)
F1	20 . 10 ⁻³	15	0,17	1000	24 . 10 ⁻⁴	11	1,6 . 10 ⁻⁴
F2	20 . 10 ⁻⁴	12	0,17	1000	6 . 10 ⁻⁴	25	5 . 10 ⁻⁵
F3	14 . 10 ⁻³	20	0,17	1000	12 . 10 ⁻⁴	14	6 . 10 ⁻⁵
F4	15 . 10 ⁻³	18	0,17	1000	34,2 . 10 ⁻⁴	5,7	1,9 . 10 ⁻⁴
F5	22 . 10 ⁻³	10	0,17	1000	74 . 10 ⁻⁴	0,40	7,4 . 10 ⁻⁴
F6	4 . 10 ⁻³	22	0,17	1000	3,9 . 10 ⁻⁴	13	1,8 . 10 ⁻⁵

V.3 Interprétation des résultats :

Les essais réalisés dans la plaine alluviale et dans le massif dunaire, ont montrés une hétérogénéité dans les formations aquifères. Cette hétérogénéité est due à la grande variation des différents paramètres hydrodynamiques.

V.3.1 Épaisseur de la nappe

Dans la plaine, les épaisseurs alluviales mouillées ont tendance à décroître en allant de l'amont vers l'aval de l'oued Kebir Ouest. La valeur maximale a été observée au forage F26 de Hadjar Essoud avec 71 m, tandis que la valeur minimale est de 7 m, observée au forage de Ain Nechma. La valeur moyenne est de 39 m.

Dans le massif dunaire, la valeur maximale est de 81 m, observée au Nord-Ouest de la région, au forage F31, et la valeur minimale est de 38 m au forage F32. La moyenne est de l'ordre de 59 m.

V.3.2 Estimation de la réserve en eau

La réserve est le volume d'eau gravitaire contenue à une date donnée ou stockée au cours d'une période moyenne annuelle, dans un système hydrologique.

La réserve en eau souterraine « W » est évaluée par la relation suivante : $W = V \cdot n_e$

Avec : W : réserve en eau souterraine.

V : volume de tranche d'aquifère considéré.

n_e : porosité efficace de l'aquifère libre.

Le calcul de volume de la tranche aquifère considérée est basée sur l'épaisseur moyenne de cette tranche qui est de l'ordre de 25 m, et la surface de la nappe estimée à 109,4 Km².

La porosité efficace moyenne de l'aquifère libre est de l'ordre de 0,11. Ainsi la réserve en eau souterraine a été estimée à **300,85 hm³**. (*Khammar. C. 1981*).

V.3.3 Transmissivité

La répartition géographique de la transmissivité dans la plaine d'oued Kebir Ouest et dans le massif dunaire de Guerbès est indiquée dans la figure suivante, d'une manière générale les valeurs de transmissivités se répartissent comme suit :

➤ La zone à transmissivité supérieure à $5 \cdot 10^{-3}$ m²/s : région de Ain Nechma et Hadjar Essoud (3 forages), région de Boumaïza (1 forage). La plus forte valeur est obtenue au forage SNMC de Hadjar Essoud, avec $6 \cdot 10^{-2}$ m²/s.

➤ Zone de transmissivité inférieure à $5 \cdot 10^{-3}$ m²/s : région de Sidi Saïd (1 forage), Ain Nechma (4 forages), Sidi Lakhdar (5 forages), Boumaïza (3 forages), Guerbes (entre Ben Azzouz et douar Cherka) (4 forages) et Dem el-Bagrat (1 forage).

Compte tenu des transmissivités, si nous voulons classer les différentes régions par ordre décroissant ça sera comme suit :

- Région de Zit Emba, Boumaïza, Ain Nechma, Hadjar Essoud.
- Région de Sidi Lakhdar.
- Région de Guerbès.

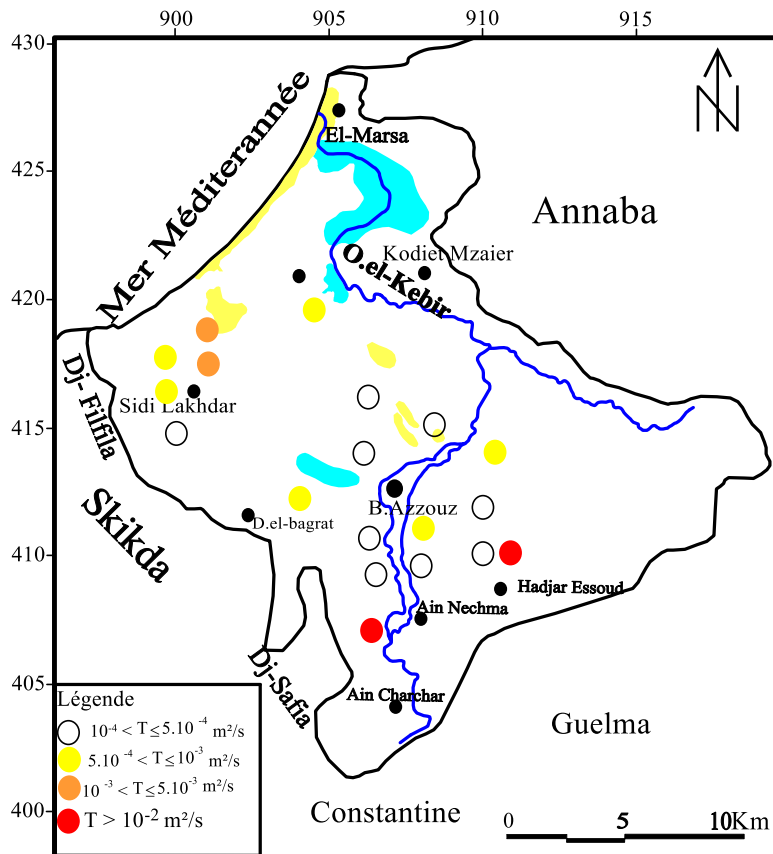


Figure IV.10 : carte représentative de la transmissivité dans la plaine de Kebir Ouest et le massif dunaire de Guerbès.

V.3.4 Carte des conditions aux limites

La mise en place d’une carte des conditions aux limites d’un aquifère repose sur l’identification des paramètres hydrodynamiques et de la structure hydrogéologique, de la zone étudiée.

La plaine d’oued Kebir Ouest peut être séparée en zones chaque une a ces propres caractéristiques.

⇒ La première zone au Nord, elle est limitée par la mer, vers laquelle se dirigent les écoulements souterrains, c’est une limite imperméable. Il s’agit d’une limite géologique étanche sachant que les formations occupant le littoral sont des calcaires, donc un massif imperméable.

La morphologie du substratum aussi joue le rôle d’une barrière contre l’intrusion marine.

À l’Ouest du rivage on remarque un écoulement en provenance de la mer, ce qui nous permet à dire que l’imperméabilité ne serait pas sur la totalité du rivage.

Ainsi, l’exploitation de cette zone nécessite la surveillance du front salé donc l’implantation de piézomètre profond car le risque de l’intrusion marine est toujours présent.

⇒ La deuxième zone est celle des alluvions argileuses de l’oued el Kebir qui forment une limite étanche continue qui provoque le débordement de la nappe par des sources dans les marécages

cependant l'oued est en contact direct avec les dunes en plusieurs points où des échanges doivent avoir lieu.

Les régions en relation avec l'oued sont en surveillance par un réseau de piézomètres.

⇒ La troisième zone localisée au sud. Comprend à la fois des dunes des alluvions argilo sableuses.

Les argiles de l'oued forment un barrage qui empêche au contact des sables rouges le débordement de la nappe.

Les argiles sableuses portent des marécages alimentés à la fois par la nappe et le ruissellement provenant de Dj Safia et Sanhadja.

Pendant les crues, les étangs débordent dans l'oued el-Maboun.

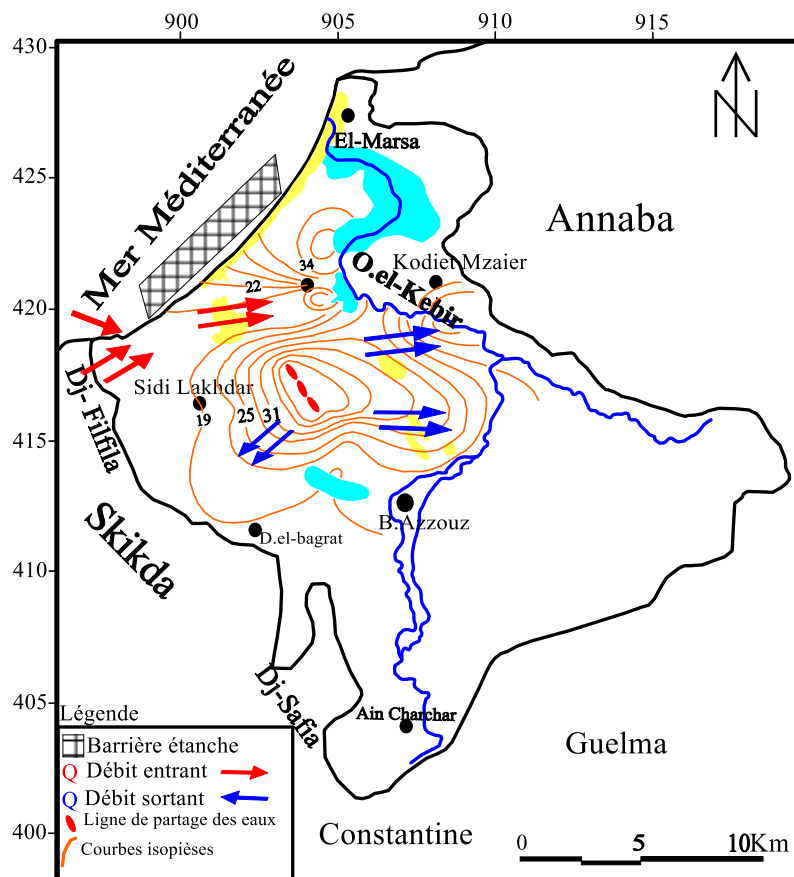


Figure IV.11: cartes des conditions aux limites de la plaine de Kebir Ouest et le massif de Guerbès

VI. CONCLUSION

L'étude hydrogéologique de la vallée de l'oued el-Kebir Ouest nous a permis de mettre en évidence l'existence d'un réservoir contenu dans les formations alluviales grossière de la plaine et sableuses du massif dunaire.

Les formations alluviales d'âge Plio-Quaternaire renferme une nappe profonde d'une épaisseur moyenne de 35 mètres. Cette configuration géologique est favorable pour l'emmagasinement et la circulation des eaux souterraine.

Les formations sableuses constituent la plaine côtière, ils renferment un système d'aquifère qui abrite une nappe libre dont l'épaisseur varie entre 15 m et 37 m. au-dessous un deuxième aquifère alluvionnaire contenant une nappe profonde dont la puissance oscille entre 7 m et 50 m. l'ensemble des deux aquifères se confondent vers l'Ouest de la plaine.

Les mesures piézométriques de la nappe libre ont permis l'établissement des cartes piézométriques, celles-ci ont mis en évidence deux systèmes hydrogéologiques séparés par une ligne de partage des eaux souterraine.

L'étude des caractéristiques hydrodynamiques de la nappe a montré que la transmissivité dans la zone d'étude varie entre (0,4 et 8,4) 10^{-3} m²/s.

La carte des conditions aux limites de la nappe résultant de l'étude piézométrique a mis en évidence trois zones distinctes, la première localisée au rivage, l'existence d'une barrière étanche rond les échanges dans les deux sens nuls à l'Est, mais à l'Ouest en remarque un flux entrant. La deuxième située à l'Est, au Sud et au Sud-Ouest. Ces limites à potentiels imposé à flux sortant et la troisième zone se trouve au Nord-Ouest, c'est une limite à flux entrant.

La réserve en eau souterraine a été déterminée à la base de l'épaisseur moyenne de la tranche saturée et de la porosité efficace, elle a été estimée à 300,85 hm³ pour l'aquifère libre.

CHAPITRE 5

HYDROCHIMIE



I. INTRODUCTION

L'accès à l'eau potable est l'un des plus grands problèmes auxquels sont confrontés les humains en ces temps, bien qu'ils soient souvent la cause principale de la pollution, que ce soit intentionnellement ou non.

Les déchets industriels et domestiques non traités sont affectés par les eaux de surface et souterraines, cependant le plus grand problème est l'utilisation des produits chimiques et des engrais dans l'agriculture afin d'obtenir plus de rendements agricoles, mais les agriculteurs ne connaissent pas ou ignorent le risque de surexploitation de ces substances sur leur santé d'abord, sur les eaux ensuite et sur l'environnement en général.

Signalons que la pollution des nappes d'eau souterraines est la contamination de l'eau d'une nappe par des substances indésirables, qui provoquent des nuisances et qui rendent l'eau impropre pour certaines utilisations.

La chimie de l'eau n'a jamais été stable, en raison de son cycle hydrologique continu, en plus de la pression croissante imposée par les consommateurs, ce qui entraîne de multiples polluants, industriels, domestiques et même agricoles.

Afin de connaître les types, les sources et le volume de cette pollution pour déterminer la qualité de l'eau, nous avons mené cette étude sur la qualité de l'eau dans la plaine d'el Kebir Ouest, en se basant sur les analyses des échantillons de l'eau souterraine et de surface provenant de diverses régions en amont et en aval de la plaine et qui sont collectés de différents sites (3 sites chaque campagne d'échantillonnage) et à différents moments de l'année, suivant les saisons de hautes et basses eaux de l'année 2014. (Avril 2014, Septembre 2014,).

Au cours de ces périodes de l'année (Avril, Septembre), la composition générale et les propriétés physico-chimiques des eaux de surface et souterraines sont souvent modifiées, en fonction du début ou de la fin des précipitations.

Les lignes directrices de l'OMS en ce qui concerne la qualité de l'eau potable, mises à jour en 2006 sont la référence en ce qui concerne la sécurité en matière d'eau potable.

Tableau : V.1 Normes de l'OMS sur l'eau potable

Élément/ substance	Symbole/ formule	Concentration normalement trouvée dans l'eau de surface	Lignes directrices fixées par l'OMS
Aluminium	Al		0,2 mg/l
Ammonium	NH ₄ ⁺	< 0,2 mg/l (peut aller jusqu'à 0,3mg/l dans une eau anaérobique)	Pas de contraintes
Antimoine	Sb	< 4 µg/l	0.02 mg/l
Arsenic	As		0,01 mg/l
Amiante			Pas de valeur guide
Baryum	Ba		0,7 mg/l
Béryllium	Be	< 1 µg/l	Pas de valeur guide
Bore	B	< 1 mg/l	0.5mg/l
Cadmium	Cd	< 1 µg/l	0,003 mg/l
Chlore	Cl		Pas de valeur mais on peut noter un goût à partir de 250 mg/l
Chrome	Cr ⁺³ , Cr ⁺⁶	< 2 µg/l	chrome total : 0,05 mg/l
Couleur			Pas de valeur guide
Cuivre	Cu ²⁺		2 mg/l
Cyanure	CN ⁻		0,07 mg/l
oxygène dissous	O ₂		Pas de valeur guide
Fluorure	F ⁻	< 1,5 mg/l (up to 10)	1,5 mg/l
Dureté	mg/l CaCO ₃		200 ppm
Sulfure d'hydrogène	H ₂ S		0.05 à 1 mg/L
Fer	Fe	0,5 - 50 mg/l	Pas de valeur guide
Plomb	Pb		0,01 mg/l
Manganèse	Mn		0,4 mg/l
Mercure	Hg	< 0,5 µg/l	inorganique : 0,006 mg/l
Molybdène	Mb	< 0,01 mg/l	0,07 mg/l
Nickel	Ni	< 0,02 mg/l	0,07 mg/l
Nitrate et nitrite	NO ₃ , NO ₂		50 et 3 mg/l (exposition à court terme) 0.2 mg/l (exposition à long terme)
Turbidité			Non mentionnée
pH			Pas de valeur guide mais un optimum entre 6.5 et 9.5
Sélénium	Se	<< 0,01 mg/l	0,01 mg/l
Argent	Ag	5 – 50 µg/l	Pas de valeur guide
Sodium	Na	< 20 mg/l	Pas de valeur guide
Sulfate	SO ₄		500 mg/l
Étain inorganique	Sn		Pas de valeur guide : peu toxique
TDS			Pas de valeur guide mais optimum en dessous de 1000 mg/l
Uranium	U		0.015 mg/l
Zinc	Zn		3 mg/l

II. PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

II.1 Paramètres physiques

Généralement on désigne par ce terme les caractéristiques qu'on peut mesurer sur terrain, il s'agit du potentiel d'hydrogène (pH), la température (T), la conductivité électrique (CE), l'oxygène dissous (OD) et du potentiel d'oxydoréduction (Eh). Les mesures sont effectuées à l'aide d'un multi-paramètres.

II.1.1 La température (T)

La température de l'eau est un paramètre très intéressant, elle joue un rôle très important dans la solubilité des sels en particulier les gaz et dans la dissociation des sels dessous, donc sur la conductivité électrique, ainsi que dans la détermination du pH. Elle permet de différencier les eaux qui circulent en profondeur et donne une idée sur la thermalité des eaux. Elle varie en fonction de la saison et influe sur l'évaporation.

Dans la plaine d'oued el-Kebir Ouest les températures enregistrées oscillent entre 10,1 °C et 24,8 °C pour la nappe superficielle, et entre 18,7 °C et 25,8 °C pour la nappe profonde.

En générale les températures des eaux sont inférieures à la norme de potabilité, mais ce paramètre est dite paramètre de confort.

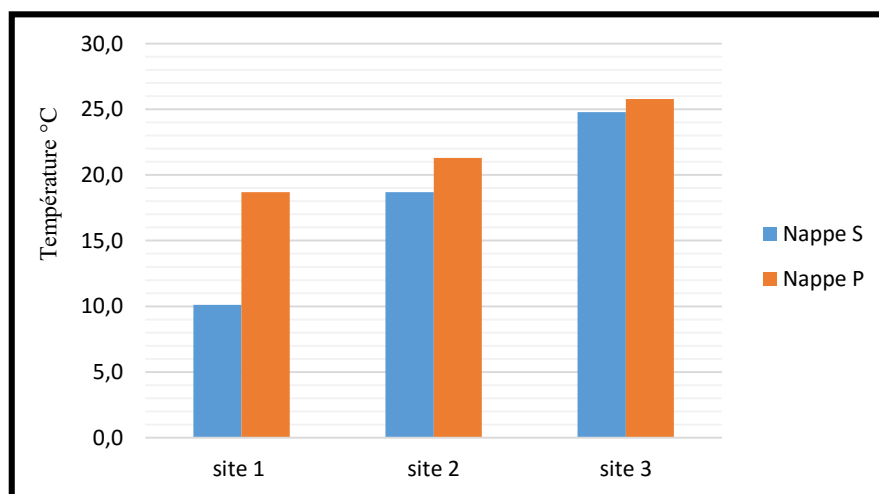


Figure V.1 : variation de la température des eaux de la plaine de Kebir Ouest

II.1.2 Le potentiel d'Hydrogène (pH)

Le pH d'une eau est la concentration des protons H^+ contenus dans cette substance. Une eau de pH égal à 7 est dite neutre. Au-dessous de 7 l'eau devienne acide, et au-delà de 7 elle est basique.

- En ce qui concerne la nappe superficielle de la plaine de Kebir Ouest, les valeurs de pH enregistrés varient entre, 5,8 et 8,4 en période des basses eaux, et entre 6,0 et 8,6 en période des hautes eaux, avec une valeur peu étrange enregistrée au niveau du forage de Sidi Lakhdar de l'ordre de 9,3.

- Au niveau de la nappe profonde le pH varie entre 6,7 et 8,9 en basses eaux et entre 7,0 et 9,1 en période des hautes eaux.

Pour l'OMS, et suivant la dernière mise à jour, il n'existe pas de valeur guide de pH mais un optimum entre 6,5 et 9,5, alors les eaux de la plaine de Kebir Ouest répondent aux normes de potabilité sans exception.

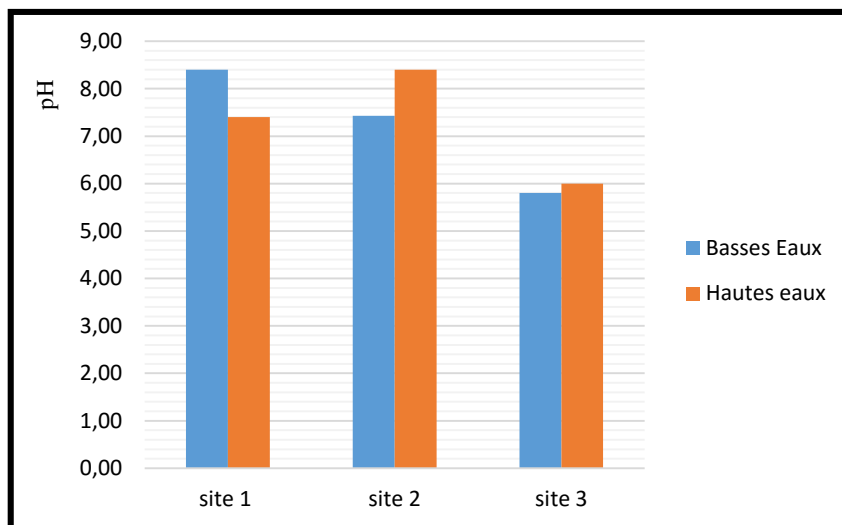


Figure V.2 : variation du pH des eaux de la plaine de Kebir Ouest

II.1.3 L'oxygène dissous (OD)

La qualité des eaux dépend essentiellement des interactions géochimiques et biologiques qui les affectent dans le sol et dans la nappe. Les concentrations en oxygène dissous constituent, avec les valeurs du pH, l'un des plus importants paramètres de qualité des eaux pour la vie aquatique.

L'oxygène dissous conditionne l'action bactérienne dans les sols et imprègne donc la chimie des eaux contenues dans l'aquifère. Régissant les réactions d'oxydoréduction, il présente une évolution identique à celle du Eh.

Dans la région d'étude les concentrations en oxygène dissous varient entre 0,9 et 6,9 mg /l. pour la nappe superficielle, cette variation est enregistrée sur toute l'étendue de la plaine et durant l'année, parce qu'elle est due d'une part aux apports par les eaux météoriques, cette pluie va participer à l'augmentation des concentrations en Oxygène dissous, d'autre part, la perméabilité des formations cela aide à l'évolution de la teneur en oxygène dissous des nappes souterraines.

Dans l'ensemble la concentration de l'oxygène dissous augmente à mesure que nous approchons de l'oued. En fait, cette variation est à l'origine de la nature des formations géologiques, les fortes concentrations en oxygène dissous reflètent une couche perméable, et les faibles teneurs un niveau peu perméable.

Au niveau de la nappe profonde les teneurs en oxygène dissous oscillent entre 0,9 et 5,0 mg /l. Cette variation comme pour la nappe superficielle est à l'origine des apports d'eau en période des hautes eaux.

II.1.4 La conductivité électrique (CE)

C'est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 Cm² de surface et séparé l'un de l'autre de 1 Cm.

Elle traduit la propriété d'une eau à laisser passer le courant électrique. La mesure de la conductance ou de la résistance présente un grand intérêt car elle permet de suivre avec rapidité et précision les moindres perturbations atteignant les nappes souterraines.

La mesure de la conductivité électrique permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale de l'eau. (Rodier j., et al. 2009).

a) La nappe superficielle

La conductivité électrique a bien évolué dans la nappe superficielle et elle est facilement remarquable à l'échelle des saisons, où les fortes valeurs s'observent en période de basses eaux, elles atteignent 3400 µS/cm au Sud, alors que les faibles valeurs sont enregistrées en période de crue, elles sont de l'ordre de 317 µS/cm au Nord. À l'exception une très forte minéralisation, a été noté en période d'Avril 2004, où la conductivité électrique a dépassé 4000 µS/cm au Sud, ce qui reflète plutôt une pollution au niveau de cet endroit.

En conclusion les fortes minéralisations se manifestent dans le secteur Sud et Sud-Ouest où se concentre l'agglomération et par conséquent l'activité agricole intense, ce qui explique les fortes valeurs de conductivité électrique dans ces zones qui ont une origine anthropique.

b) La nappe profonde

De même, l'évolution de la conductivité électrique a été établie pour la nappe profonde. Ainsi, on remarque que les fortes minéralisations de cette nappe s'observent en période de basses eaux elle est de 1156 µS/cm comme valeur maximale. Les faibles valeurs sont enregistrées en période de hautes eaux, elles sont de l'ordre de 239 µS/cm.

L'évolution de la conductivité électrique pour la nappe profonde a été établie en période de basses eaux. On remarque que les fortes minéralisations de cette nappe sont de 1156 µS/cm, et les faibles valeurs sont enregistrées en période de hautes eaux, elles sont de l'ordre de 239 µS/cm.

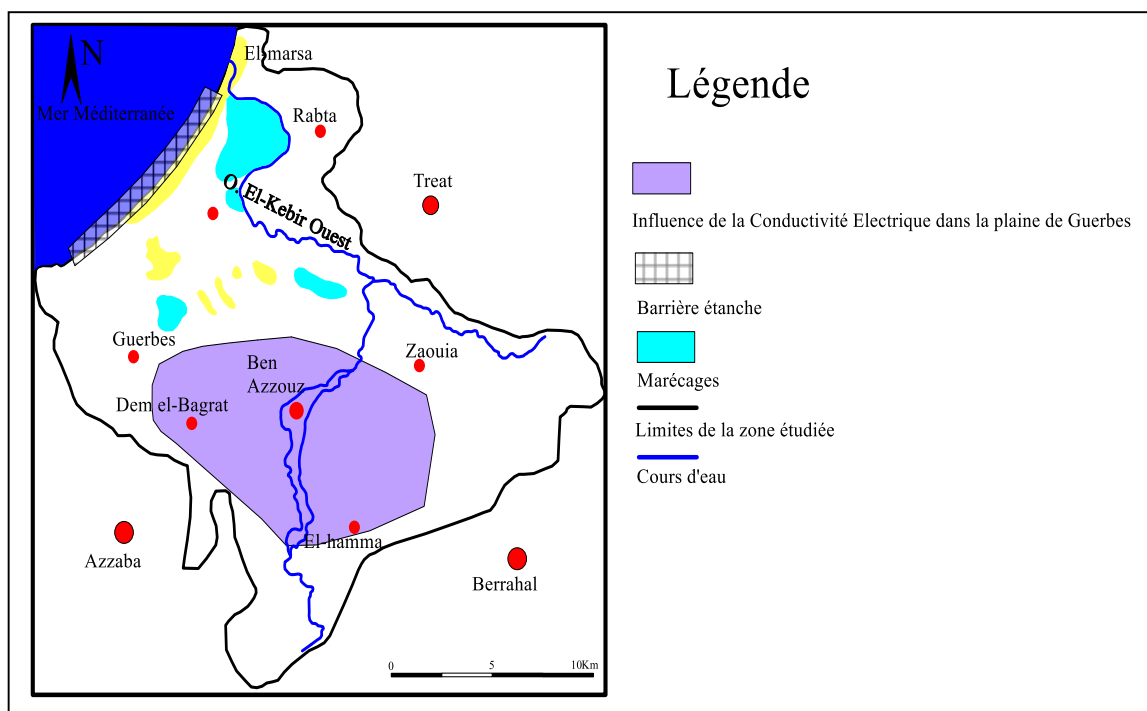


Figure V.3 : Influence de la conductivité électrique dans la plaine de Kebir Ouest

(Bouleknafet Z., Derradji F. 2017)

II.1.5 Le potentiel d'oxydoréduction (Eh)

Le potentiel redox, (Eh) d'une solution est le potentiel que peut prendre un fil de platine plongé dans la solution (potentiel de l'électrode de platine) quand cette solution se trouve à l'équilibre du point de vue des réactions d'oxydo-réduction de tous les couples redox qu'elle contient.

Il permet de prévoir l'évolution de la composition chimique des eaux naturelles, au cours des échanges avec les autres phases de leur environnement.

a) La nappe superficielle

Aux périodes des basses eaux, le potentiel d'oxydoréduction évolue mais à faibles valeurs ou on note la valeur de 50 mV enregistrée au Sud et 305 mV comme la plus forte valeur en période des hautes eaux. Ceci est dû comme pour les teneurs en oxygène dissous aux apports des précipitations qui régénèrent la nappe.

Par ailleurs, la variation du potentiel d'oxydoréduction dans l'espace montre que dans le secteur Est les valeurs sont de l'ordre de 214,7 mV, une augmentation enregistrée toute en allant vers le Sud pour atteindre le maximum de 305 mV.

b) La nappe profonde

Les valeurs d'Eh dans la nappe profonde, oscillent entre 110 et 179 mV. La variation temporelle de ce paramètre représentée par des valeurs faibles de l'ordre de 110 mV puis augmente à 179 mV.

II.1.6 La salinité

La salinité présente peu de variations dans les eaux d'oued Kebir Ouest et s'observe essentiellement durant les périodes de pluie.

Elle varie généralement entre 0,1 ‰ et 1,1 ‰, dont les valeurs maximales sont enregistrées auprès de la mer et pendant les périodes des basses eaux et les valeurs minimales sont observées à la période des hautes eaux, ces derniers due probablement à l'effet de dilution pendant les périodes pluviales.

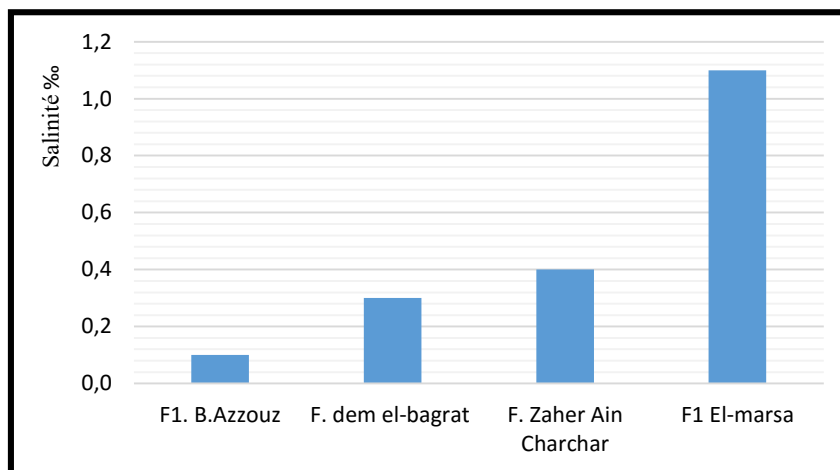


Figure V.4: Variations de la salinité de l'eau dans la plaine d'Oued el Kebir Ouest

II.1.7 Les TDS

Les teneurs en sels dissous de l'eau peuvent être mesurées et exprimées de différentes manières selon la période de prélèvement. (Rodier j., et al 2009).

D'une manière générale, les teneurs en sels dissous varient en fonction des saisons de la même manière que la conductivité électrique.

La mesure de la TDS permet d'illustrer que la valeur 976 mg/l enregistrée dans le mois de Mars est la valeur maximale, tandis que la valeur 136 mg/l enregistrée pendant le mois de Novembre est la valeur minimale.

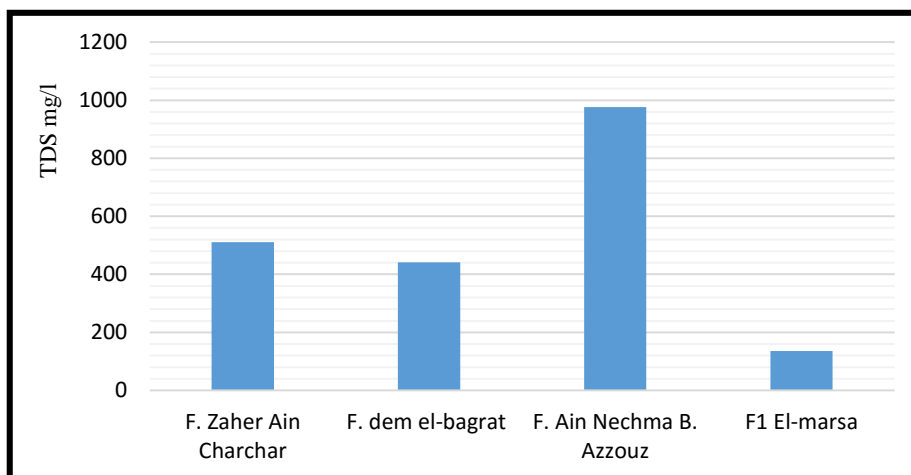


Figure V.5: Variations de TDS de l'eau dans la plaine d'Oued el Kebir Ouest

III. CARACTERISTIQUES CHIMIQUES DES EAUX DE SURFACE

Des analyses chimiques complètes concernant tous les éléments majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} et HCO_3^-). Les métaux lourds en traces (Fe^{3+} , Mn^{2+}) ont fait l'objet d'un travail de laboratoire pour les deux campagnes d'échantillonnage. Les polluants résultants des activités agricoles ont été l'objet d'un suivi particulier (NO_3^-) ainsi que les matières en suspension (MES), la turbidité, la demande biologique en oxygène (DBO_5) et la demande chimique en oxygène (DCO).

Les résultats des analyses physico-chimiques des eaux de surface de l'Oued Kebir Ouest et des marécages alimentés par la nappe souterraine durant les deux campagnes de prélèvement sont récapitulés dans le tableau ci-dessous.

Tableau V.2. Récapitulation des résultats des analyses des campagnes d'échantillonnage

paramètre		Unité	Période des hautes eaux (Avril 2014)			Période des basses eaux (Septembre 2014)		
			Site 1	Site 2	Site 3	Site 1	Site 2	Site 3
Bicarbonate	HCO_3	mg/l	344	156	99	263	49	143
Calcium	Ca	mg/l	118	179	132	120	109	97
Chlorure	Cl	mg/l	119,7	78,1	85,2	106,5	113,5	120,7
COT	/	mg/l	21,5	25,6	23,4	28,7	30,4	27,8
DBO5	/	mg/l	36,17	36,31	38,37	66,63	71,06	58,28
DCO	/	mg/l	65,12	54,47	58,31	133,25	142,12	116,55
Fer total	Fe	mg/l	0,5	0,4	0,7	1,9	2,0	1,7
Magnésium	Mg	mg/l	92,1	124,2	98,2	102,1	133,6	113,5
Manganèse	Mn	mg/l	0,0784	0,0647	0,0565	0,0175	0,1095	0,0210
MES à 105°C	/	mg/l	Abs	Abs	Abs	95	88	Abs
Nitrate	NO_3	mg/l	19	23	31	35	29	24
Potassium	K	mg/l	1,42	1,12	1,21	0,96	2,10	2,31
Sodium	Na	mg/l	69	71	54	83	45	32
Sulfate	SO_4	mg/l	112,67	149,9	175,62	125,47	134,44	115,22
Turbidité	/	N.T.U	3,79	4,90	3,13	7,86	9,40	8,57

III.1 Éléments majeurs

III.1.1 Cations

A. Calcium (Ca^{2+})

Les concentrations enregistrées de l'analyse du calcium semblent être légèrement différentes, cela dû au moment et l'endroit où les échantillons ont été prélevés, mais les valeurs enregistrées ne dépassent pas les normes algériennes des paramètres de qualité de l'eau destinée à la consommation humaine, parus dans le décret exécutif, n° 11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 publié dans le J.O.R.A.D.P N° 18.

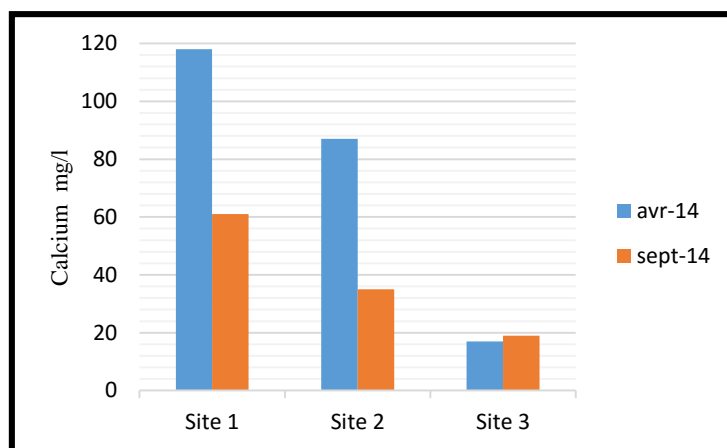


Figure V. 6. Concentrations du Calcium dans les eaux de surface de plaine de Kebir Ouest

B. Magnésium (Mg^{2+})

La concentration du magnésium est très variable d'un site à l'autre et d'une période à l'autre aussi, sa concentration minimale est enregistrée en amont de la plaine vers Ain Charchar, et la valeur maximale au centre vers la localité de Ben-Azzouz.

Il n'existe pas de valeur indicative pour cet élément dans normes de l'OMS sur l'eau potable, ni dans le décret exécutif n° 11-125 du 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine.

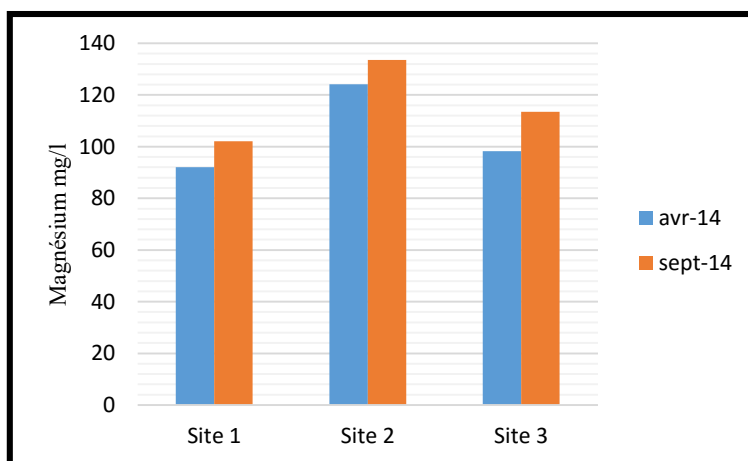


Figure V. 7. Concentrations du Magnésium dans les eaux de surface de plaine de Kebir Ouest

C. Sodium (Na^+)

La variation de la concentration du sodium dans l'espace et dans le temps est remarquable de l'amont vers l'aval, les plus fortes concentrations sont enregistrées dans le premier site au Sud de la plaine, où se concentre la grande partie de la population et donc les activités agricoles et industrielles, sachant qu'une valeur trop élevée a été enregistrée après l'analyse de l'eau d'oued Kebir Ouest qui a dépassé le 2500 mg/l, ce chiffre dépasse largement la norme concernant le sodium, mais ça nous révèle à une pollution anthropique.

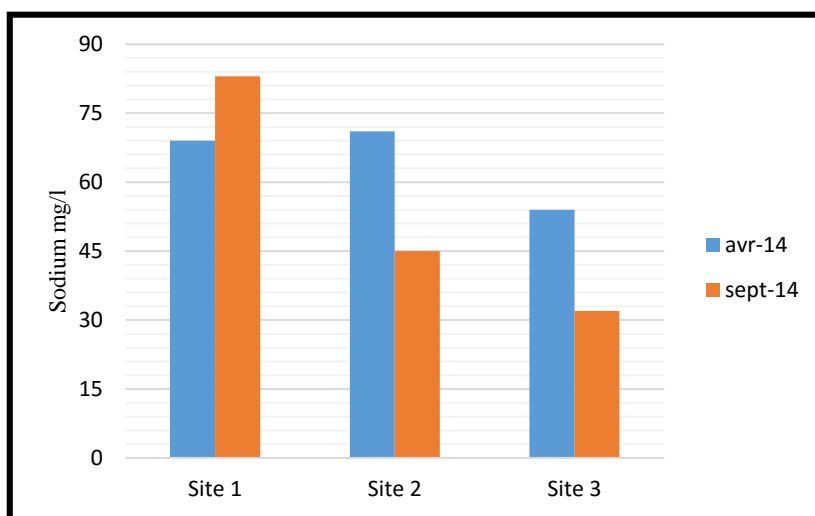


Figure V. 8. Concentrations du Sodium dans les eaux de surface de plaine de Kebir Ouest

D. Potassium (K^+)

Les valeurs de concentrations enregistrées de cet élément restent toujours faibles par rapport aux normes du décret exécutif, dont la grande valeur a été remarquée dans le premier site pendant la période des hautes eaux.

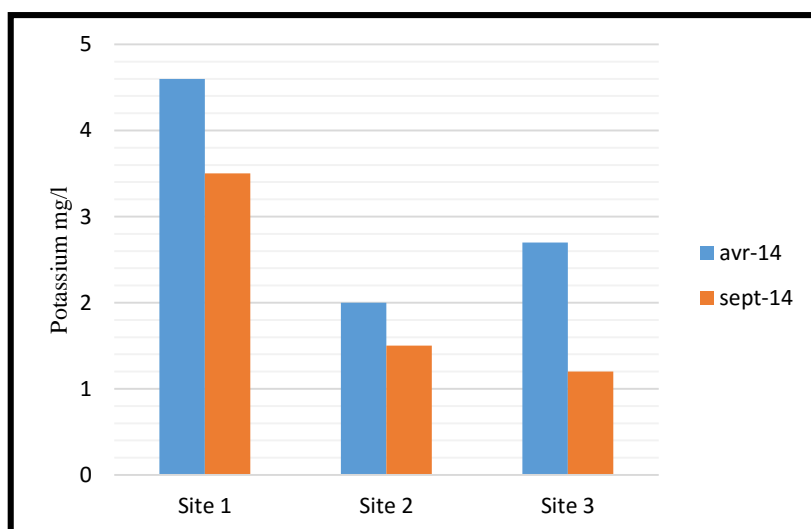


Figure V. 9. Concentrations du Potassium dans les eaux de surface de plaine de Kebir Ouest

III.1.2 Anions

A. Chlorures (Cl⁻)

Les Chlorures sont généralement stables dans l'espace et dans le temps, sa concentration est incluse entre 78 mg/l et 120 mg/l, la seule anomalie a été remarquée dans l'échantillon d'oued Kebir Ouest le même cas pour le sodium, ou on a enregistré plus de 4950 mg/l, cette exception peut s'expliquer par les mêmes raisons qui conduisent à une forte concentration de sodium.

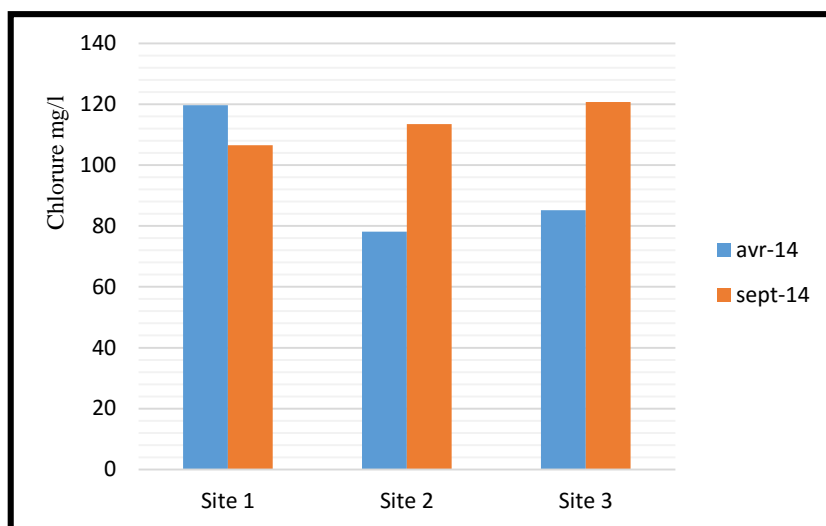


Figure V. 10. Concentrations du Chlorure dans les eaux de surface de plaine de Kebir Ouest

B. Sulfate (SO₄²⁻)

La concentration des sulfates varie dans l'espace et dans le temps, où nous pouvons enregistrer cette concentration croissante lorsque nous nous déplaçons de Sud vers le Nord, tandis que des concentrations presque stables sont enregistrées dans les trois sites pendant la période des basses eaux.

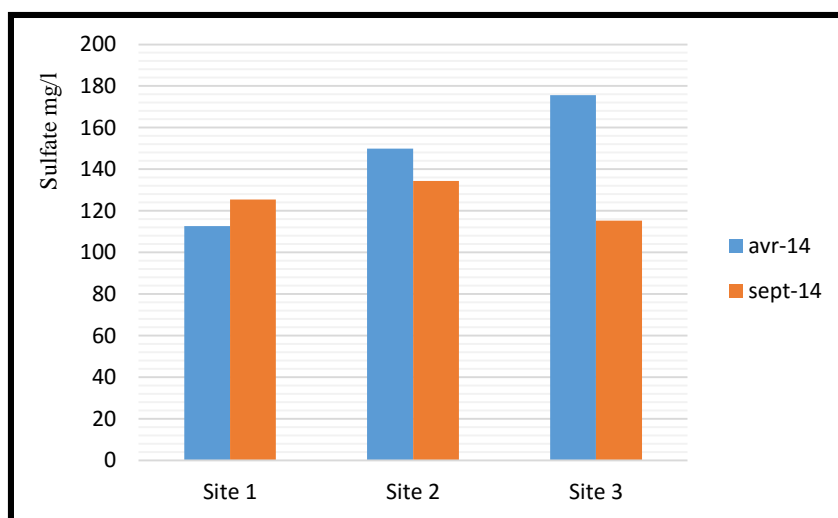
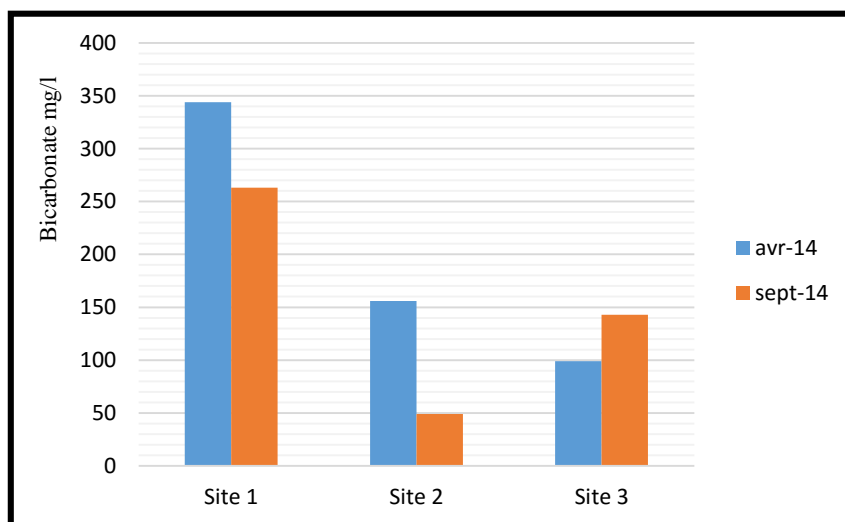


Figure V. 11. Concentrations du Chlorure dans les eaux de surface de plaine de Kebir Ouest

C. Bicarbonates (CO_3^{2-})

La concentration des bicarbonates varie d'un endroit à l'autre et de temps en temps, où nous avons enregistré la plus petite valeur dans la période des basses eaux et la valeur la plus élevée dans la période des hautes eaux. Généralement la concentration diminue tout en allant vers le Nord.

Il n'existe pas de valeur indicative pour cet élément dans le décret exécutif n° 11-125 du 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine.



FigureV.12. Concentrations du Bicarbonate dans les eaux de surface de plaine de Kebir Ouest

III.2 Métaux lourds et Nitrates

La pollution par composés métalliques est généralement d'origine industrielle, mais elle peut également provenir de la nature géologique des roches en contact avec l'eau souterraine, ou de surface au cours de ruissellement, ou par la lixiviation des déchets solides ménagers. Des métaux telle que (Fer, zinc, manganèse...) ne produisent que des inconvénients d'aspect ou de goût ; l'eau doit être traitée pour être potable, ou l'utilisée pour d'autres usages.

Les métaux lourds, comme le Mercure, le Cadmium, le Plomb, le Chrome, sont toxiques et rendent l'eau inutilisable pour l'usage domestique et l'agriculture.

A. Fer (Fe^{2+})

La concentration en fer varie considérablement entre les périodes de hautes et basses eaux, où nous enregistrons des valeurs trop élevées par rapport aux taux admissibles. Les sources de fer dans l'eau peuvent être d'origines géologiques, industriels ou domestiques, ce métal a le caractère polluant à effets toxiques s'il dépasse les concentrations admises.

Les concentrations maximales de Fer observées dans les eaux de l'oued sont faiblement en hausse, mais ils constituent une pollution qui peut être inquiétante à long terme.

La présence des minéraux ferreux dans les différentes unités géologiques de la région : grès, dolomies, certains calcaires et l'argile, font la cause principale de la concentration élevée du fer.

Les valeurs des concentrations du fer enregistrées dans les trois sites d'échantillonnage sont assez élevées durant les deux périodes allant d'un minimum sur le site S2 de 0,4 mg/l en hautes eaux à un maximum au niveau du site S2 de 2 mg/l en basses eaux.

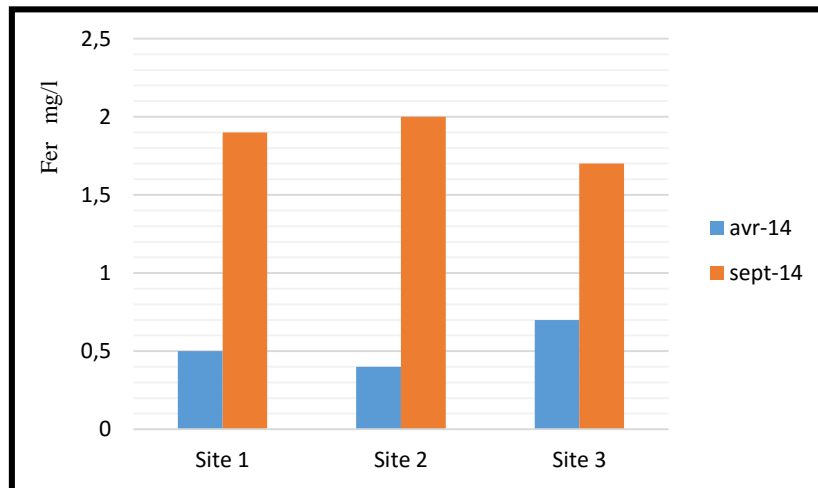


Figure V. 13. Concentrations du Fer dans les eaux de surface de plaine de Kebir Ouest

B. Manganèse (Mn^{2+})

Le manganèse accompagne généralement le fer dans les roches, ils sont souvent associés dans les minéraux ferreux, sa solubilité dépend du potentiel d'oxydo-réduction (Eh), c'est pourquoi ses concentrations élevées sont dues à la présence des différentes unités géologiques (les grès, les dolomies, les calcaires, les argiles).

Les concentrations du manganèse dans les trois sites dépassent largement la limite figurée dans le décret exécutif, sauf dans deux cas mesurés en période des basses eaux. Les concentrations sont incluses entre un maximum de 0,1095 $\mu g/l$ enregistrée en période des basses eaux au niveau du site 2, et un minimum de 0,0175 $\mu g/l$ noté au site 1. (Ben Rabah S., et al. 2013).

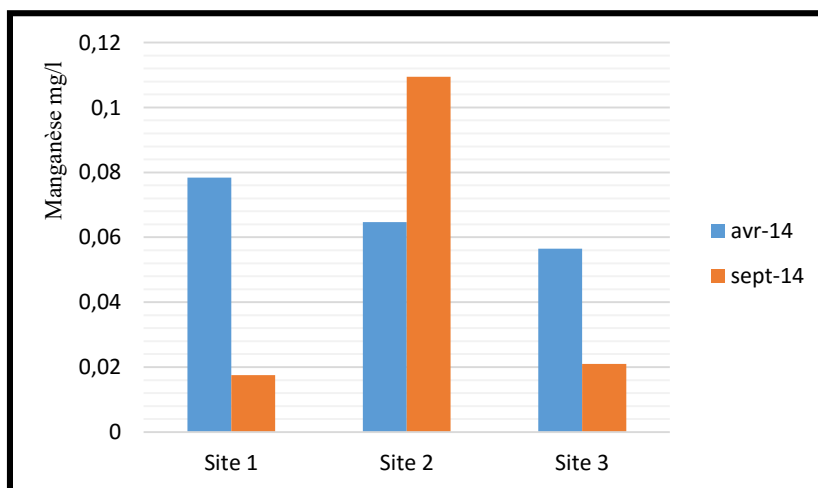


Figure V. 14. Concentrations du Manganèse dans les eaux de surface de plaine de Kebir Ouest

C. Nitrates (NO_3^-)

Les concentrations des nitrates sont tous moins de 35 mg/l cette valeur est inférieure à la norme transcrite dans le décret exécutif n° 11-125 du 22 mars 2011.

On remarque que la concentration augmente au fur et à mesure de Sud vers le Nord pendant la période des hautes eaux, cela revient probablement à la dissolution des engrais. Pendant la période des basses eaux il y'aura une diminution dans la même direction Sud-Nord, cette fois, cela peut être dû à la décomposition des résidus organiques dans la partie Sud en raison de l'abondance des zones agricoles ainsi que de l'élevage.

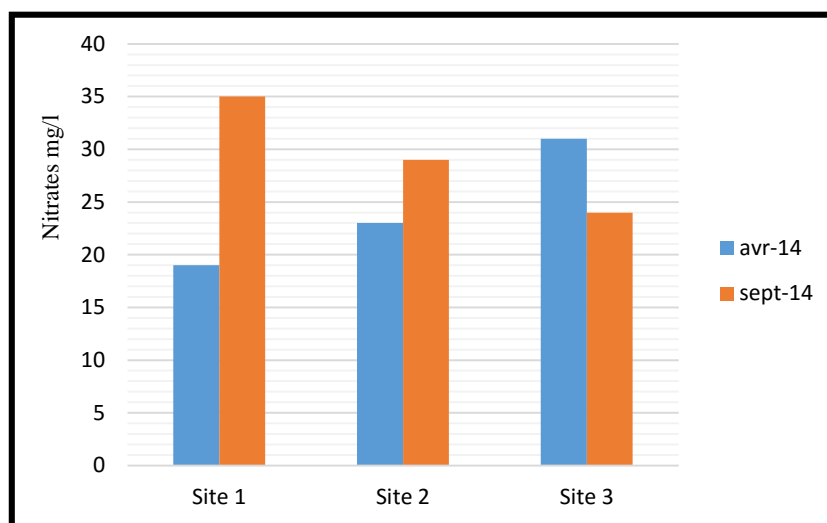


Figure V. 15. Concentrations du Nitrate dans les eaux de surface de plaine de Kebir Ouest

III.3 Analyses physico-chimiques

A. Turbidité

La turbidité désigne la teneur d'une eau en matières qui le troublent. Dans les cours d'eau elle est généralement causée par des matières en suspension (particules d'argile, limon, plancton et des particules colloïdales...). La turbidité s'accroît tout en augmentant la vitesse de ruissellement superficiel et l'érosion des sols.

Dans la plaine d'oued Kebir les concentrations de turbidité sont divisées en deux parties, la première représente la période des hautes eaux où nous enregistrons des niveaux élevés de turbidité au-dessus du taux admissible et la seconde représente la période des basses eaux où nous enregistrons des valeurs inférieures au taux admissible. La période des basses eaux survient pendant et après l'été avant que la pluie ne commence à précipiter, sachant que les pics de turbidité suivent les fortes précipitations.

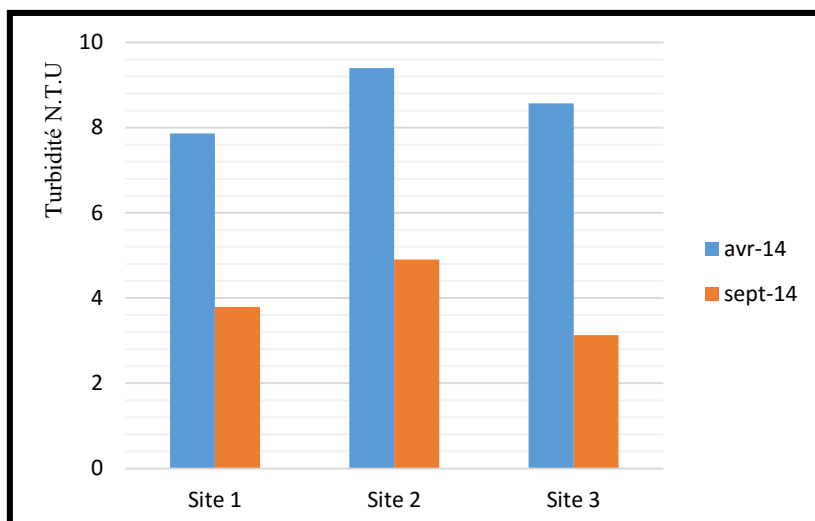


Figure V. 16. Variation des turbidités dans les eaux de surface de la plaine de Kebir Ouest
B. Demande biologique et chimique en Oxygène (DBO₅ et DCO)

B.1 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 présente dans un échantillon d'eau maintenu à 20 °C, à l'obscurité, pendant 5 jours.

La mesure de la DBO₅ est un paramètre prescrit pour la surveillance des rejets et de fonctionnement des stations d'épuration mais elle est peu précise pour qualifier la bonne qualité d'une eau naturelle.

La DBO₅ d'une eau de surface non polluée, varie généralement de 2 à 20 mg/l. Au-delà, on peut suspecter une pollution.

Les résultats des analyses effectuées dans la plaine de Kebir Ouest ont montré que les valeurs du DBO₅ sont tous supérieur à 20 mg/l, ce qui signifié la présence d'une contamination dans la plaine.

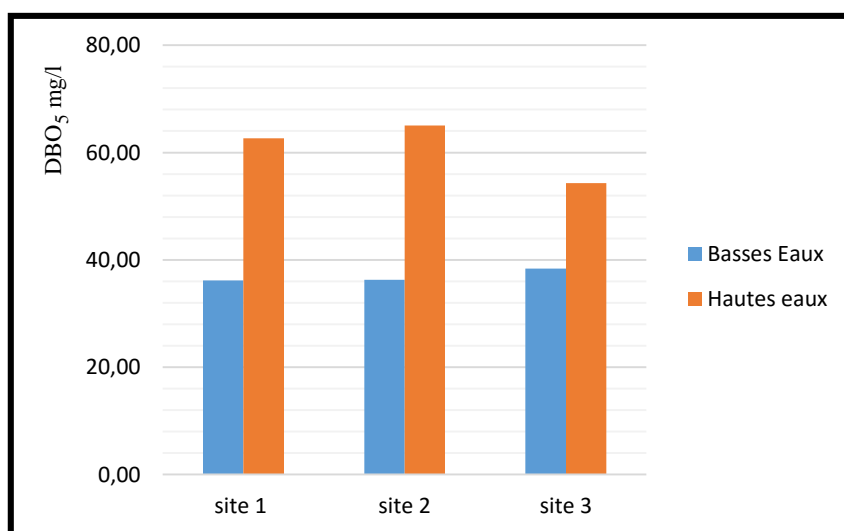


Figure V. 17. Concentration du DBO₅ dans les eaux de surface de la plaine de Kebir Ouest

B.2 DCO

La Demande Chimique en Oxygène (DCO) est la consommation en oxygène par les oxydants chimiques forts pour oxyder les substances organiques et minérales de l'eau. Elle permet d'évaluer la charge polluante des eaux usées.

La DCO mesure la totalité des substances oxydables, ce qui inclut celles qui sont biodégradables. Dans une eau résiduaire urbaine, le rapport DCO / DBO₅ est de l'ordre de 2 à 2,6.

Les effluents industriels offrent un rapport DCO / DBO₅ > 3.

Les effluents tels que les hydrocarbures et les savons, offrent un rapport DCO / DBO₅ proche de 5.

Les résultats de mesures de la DCO dans la plaine nous révèlent des concentrations variées entre 54,47 mg/l et 146,12 mg/l.

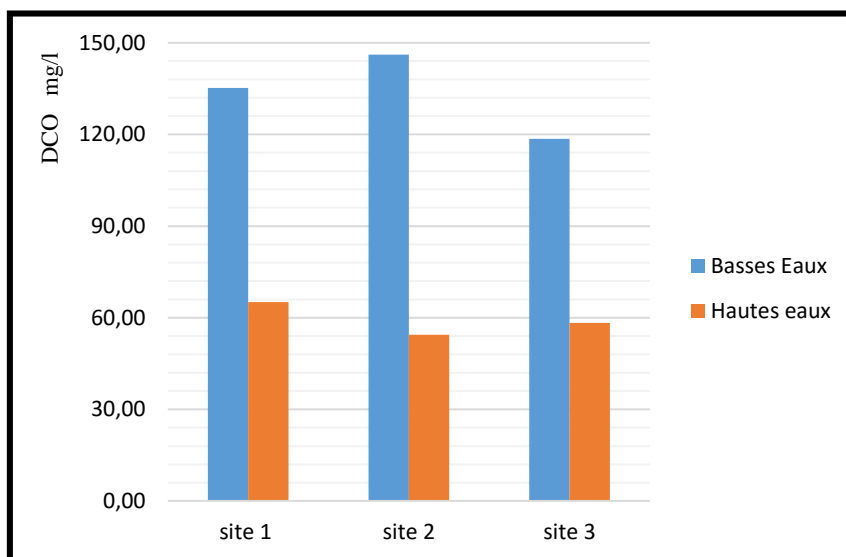


Figure V. 18. Concentration du DCO dans les eaux de surface de la plaine de Kebir Ouest

Les résultats des analyses des DBO₅ et des DCO dans les eaux de surface de la plaine de Kebir Ouest, nous révèlent que les concentrations des DCO sont trop élevées en comparaison avec la DBO₅.

Les rapports DCO / DBO₅ ont donné les résultats suivants :

Tableau : V.3. Résultats du rapport DCO / DBO₅ dans la plaine de Kebir Ouest

	S1 H.E	S2 H.E	S3 H.E	S1 B.E	S2 B.E	S3 B.E
<i>DCO</i>	65,12	54,47	58,31	135,25	146,12	118,55
<i>DBO₅</i>	36,17	36,31	38,37	62,63	65,06	54,28
<i>DCO/DBO₅</i>	1,80	1,50	1,25	2,16	2,25	2,18

Dans la période des hautes eaux le rapport est inférieur à 2 tandis qu'il est supérieur à 2 en période des basses eaux, et par conséquent le rapport entre la DCO et la DBO₅ est inclus entre 1,50 et 2,25.

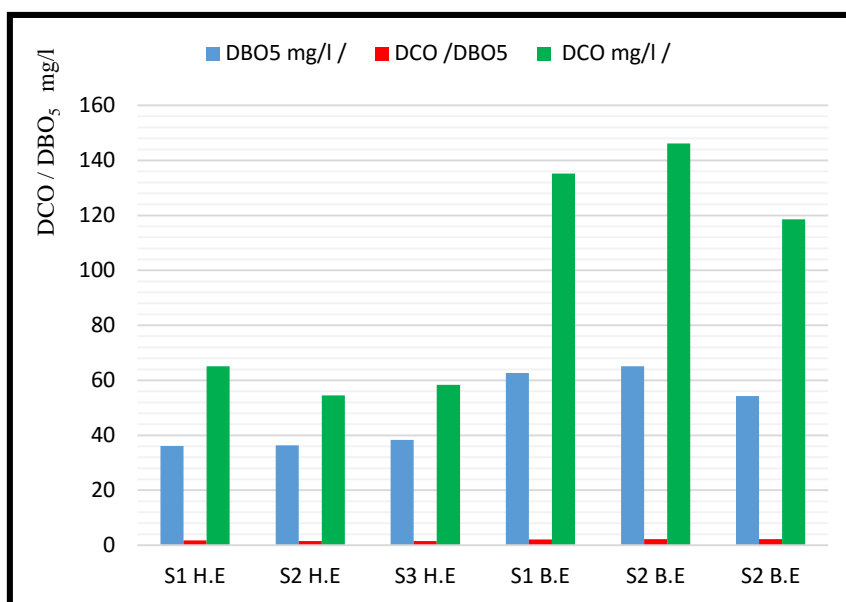


Figure V. 19. Concentrations des DBO₅ et DCO et le rapport DCO / DBO₅ dans les eaux de surface de la plaine de Kebir Ouest

Selon les recommandations de l'organisation mondiale de la santé (OMS), pour qu'une eau de surface soit de bonne qualité, sa demande biologique en oxygène (DBO₅) ne doit pas dépasser 3 mg/l, dans les eaux de l'oued Kebir Ouest la DBO₅ varie de 36,17 à 65,06 mg/l.

C. Matières en suspension (MES)

La notion de matière en suspension (**MES**) désigne l'ensemble des matières solides insolubles visibles à l'œil nu présentes dans l'eau. Plus une eau en contient, plus elle est dite turbide.

Ce terme, utilisé dans les domaines de l'écologie des milieux aquatiques et dans le secteur industriel, il inclut toutes les formes de minéraux, de sable, de boue, d'argile, de roche sous forme de débris, de particule de matières organiques ou autres, dont la taille est comprise entre 1 micromètre et 1 centimètre.

On différencie :

- Les matières en suspension des colloïdes (taille comprise entre 10 nm et 1 µm).
- Les matières dissoutes (taille inférieure à 10 nm).

Dans la plaine de Kebir Ouest il parut que les MES sont absent durant l'année, sauf dans les sites 1 et 2 (en amont et au centre de la plaine), ou on a enregistré des valeurs significatives, en période des basses eaux.

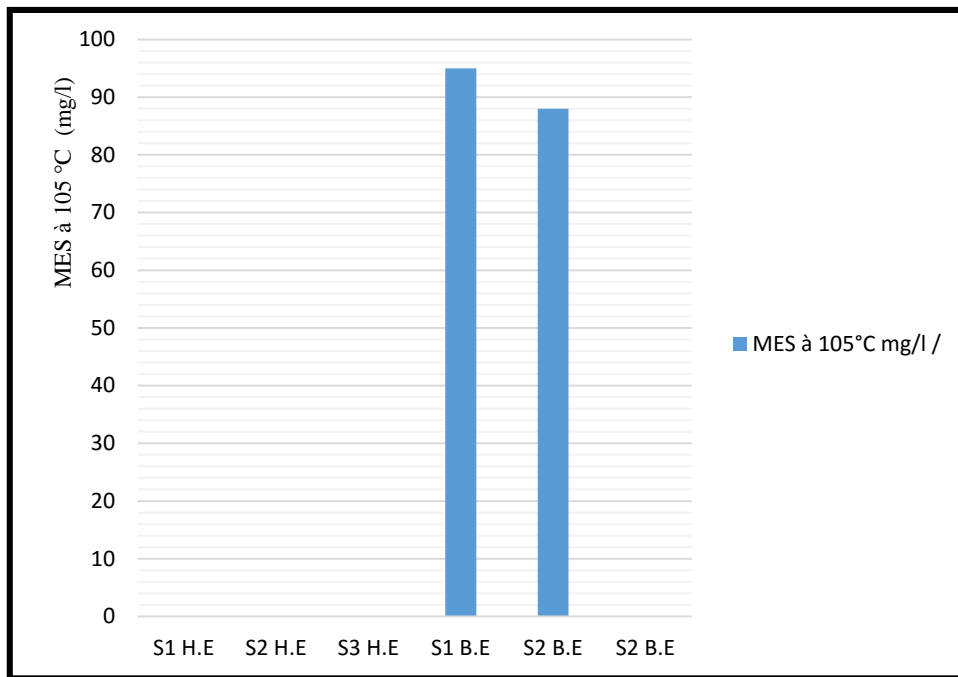


Figure V. 20. Variation des M.E.S dans les eaux de surface de la plaine de Kebir Ouest

IV. PRÉSENTATION GRAPHIQUE DES ANALYSES CHIMIQUES

Afin d'effectuer une bonne interprétation des analyses des eaux de la plaine et oued Kebir Ouest il est nécessaire d'examiner la fiabilité, l'exactitude et la certitude des analyses effectuées, par la vérification de la balance ionique, pour établir la formule ionique, après on doit classer par ordre décroissant de gauche à droite les anions puis les cations pour déterminer le faciès chimique dominant.

Le traitement des résultats par le diagramme de Piper nous montre que les eaux de la plaine et l'oued Kebir Ouest appartiennent essentiellement aux deux familles des eaux qui sont :

- Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne.
- Chlorurée sodique et potassique ou sulfatée sodique.

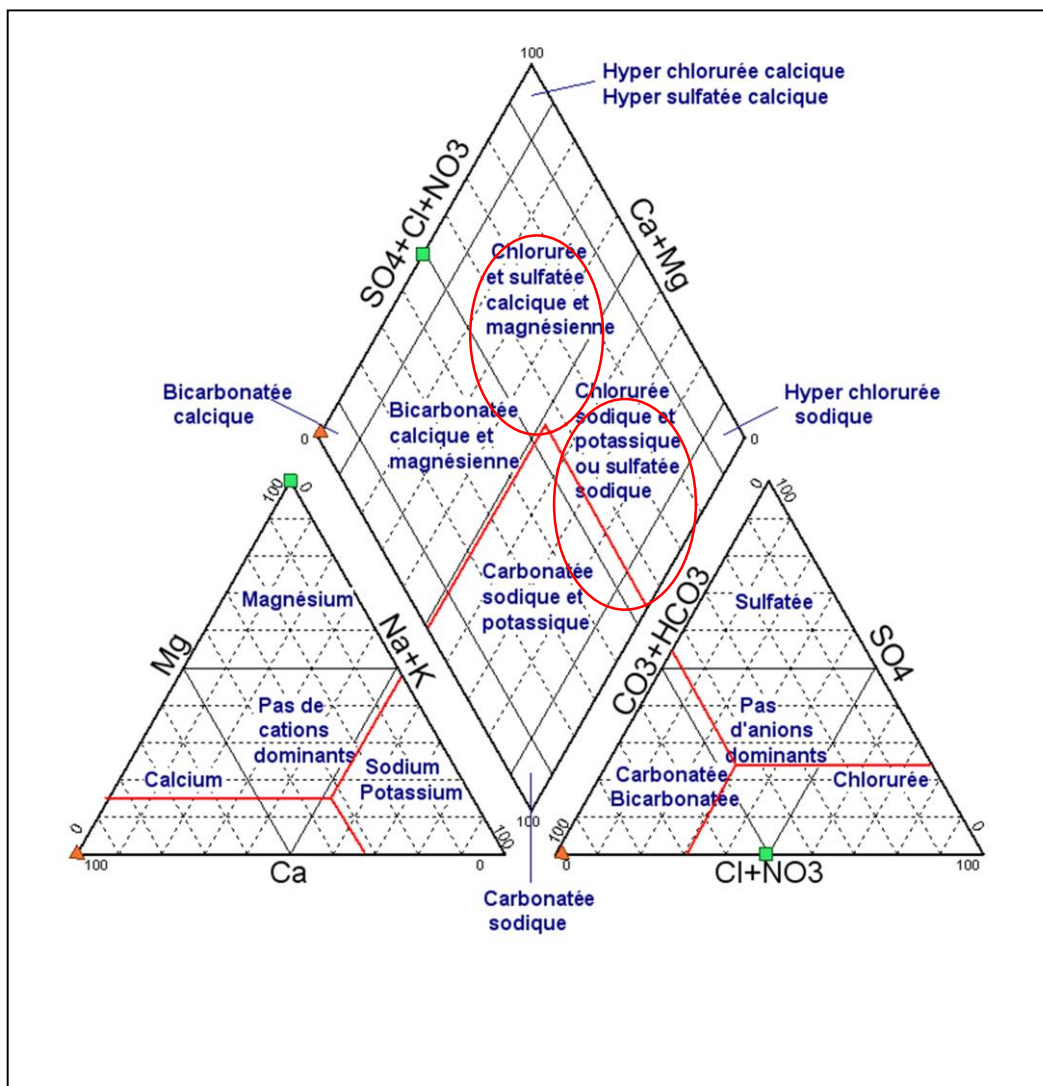


Figure : V.21 Diagramme de Piper

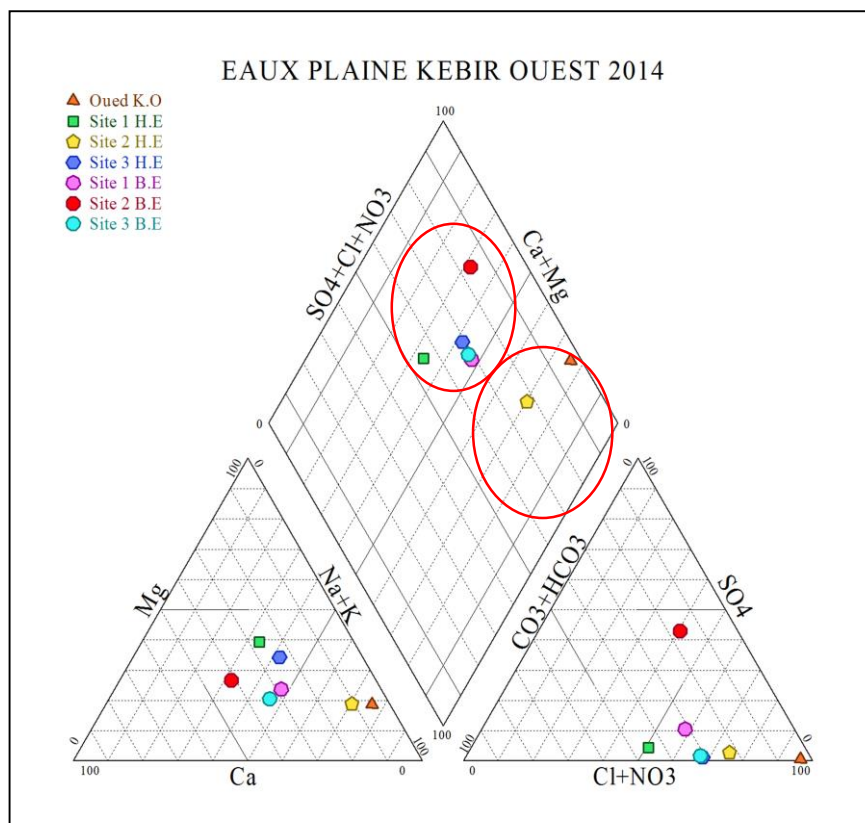


Figure : V.22 représentation des analyses chimiques des eaux de Kebir Ouest sur le **diagramme de Piper**

Le classement des anions et des cations par ordre décroissant nous révèle les formules ioniques récapitulées dans le tableau ci-après :

Tableau : V.4 Représentation des formules ioniques et des faciès chimiques

Station	Formule ionique	Faciès chimique
<i>O. Kebir Ouest</i>	$rCl > rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rNO_3^{2-} \text{ --- } r(Na^+ + K^+) > rMg^{2+} > rCa^{2+}$	Chloruré - sodique
<i>S1 H.E</i>	$rCl > rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rNO_3^{2-} \text{ --- } rMg^{2+} > rCa^{2+} > r(Na^+ + K^+)$	Chloruré - magnésien
<i>S2 H.E</i>	$rCl > rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rNO_3^{2-} \text{ --- } r(Na^+ + K^+) > rMg^{2+} > rCa^{2+}$	Chloruré - sodique
<i>S3 H.E</i>	$rCl > rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rNO_3^{2-} \text{ --- } r(Na^+ + K^+) > rCa^{2+} > rMg^{2+}$	Chloruré - sodique
<i>S1 B.E</i>	$rCl > rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rNO_3^{2-} \text{ --- } r(Na^+ + K^+) > rCa^{2+} > rMg^{2+}$	Chloruré - sodique
<i>S2 B.E</i>	$rSO_4^{2-} > rCl^- > rHCO_3^- > rNO_3^{2-} \text{ --- } rCa^{2+} > r(Na^+ + K^+) > rMg^{2+}$	Sulfaté - calcique
<i>S3 B.E</i>	$rCl > rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rNO_3^{2-} \text{ --- } r(Na^+ + K^+) > rCa^{2+} > rMg^{2+}$	Chloruré - sodique

Pour s'assurer des résultats du tableau nous avons traité les données par le diagramme de Stiff et Stabler qui nous a donné ce qui suit :

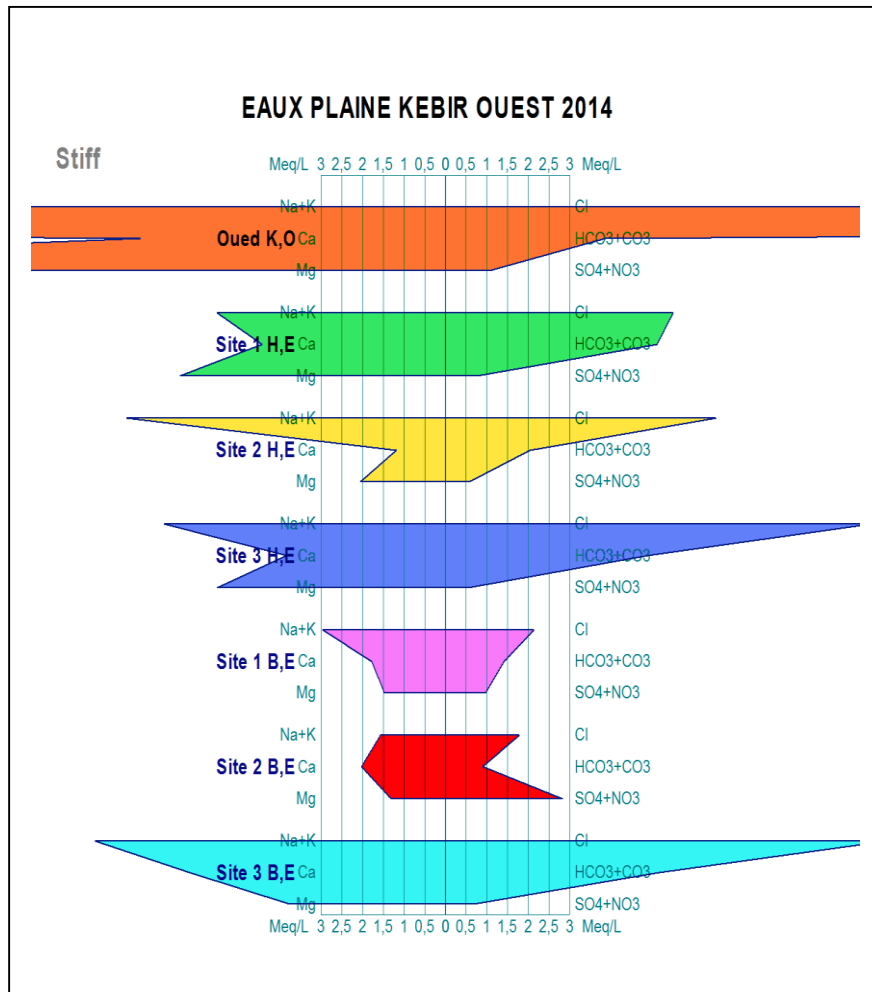


Figure : V. 23 Diagramme de Stiff

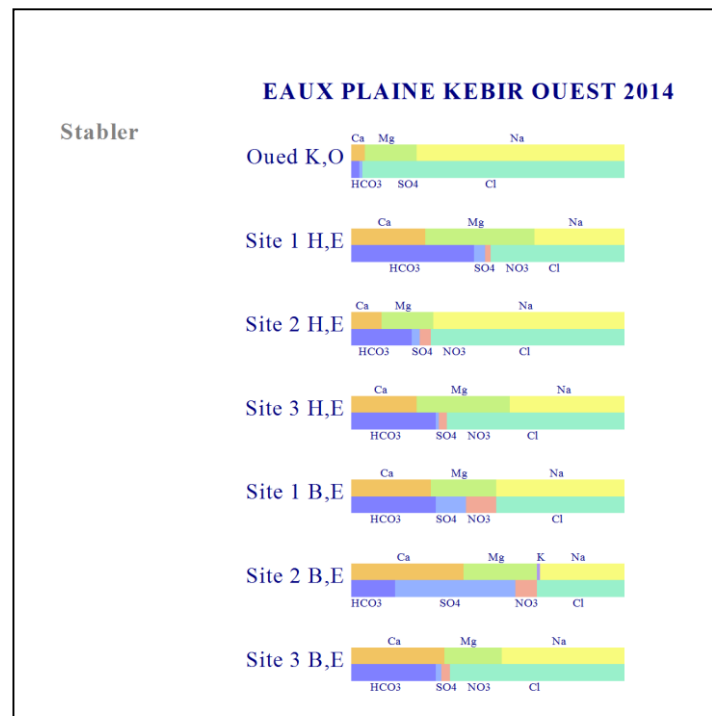


Figure : V. 24 Diagramme de Stabler

Selon les diagrammes de Stiff et Stabler, nous concluons que la plupart des eaux ont un faciès chlorurée sodique seulement dans quelques cas où elles sont chlorurées magnésiennes ou sulfatées sodiques.

V. CARACTERISTIQUES CHIMIQUES DES EAUX SOUTERRAINES

Pour avoir une idée sur la qualité des eaux souterraines des nappes superficielle et profonde, de la plaine de Kebir Ouest, des campagnes de prélèvements ont été effectuées au niveau de différents forages captant les deux nappes.

Après avoir effectué les analyses chimiques des échantillons, nous avons traité les résultats par les différents diagrammes de manipulation.

Tableau : V.5 Synthèse des analyses chimiques des eaux de la plaine et d'oued Kebir Ouest

Site	pH	CE	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
N P. Ain N	7,42	752,45	122,06	88,92	49,92	2,87	33,47	14,5	27,53	2,95
N P. B. Azzouz	7,18	781,72	115,93	118	28,25	6,62	45,75	18,83	28,56	0,28
N P. S. Lakhdar	7,31	732,69	123,19	126	22,42	2,85	50,96	15,83	23,39	1,28
N S. Ain N	7,25	635,46	109,95	99,83	34,5	2,27	46,98	15,42	41,08	1,7
N S. B. Azzouz	7,47	628,84	116,33	137,38	36,58	1,26	52,40	16,08	62	1,53
N S. S. Lakhdar	7,56	662,81	106,48	147,83	46,58	6,03	48,52	17,5	56,67	1,53
N S. El-Marsa	7,61	689,87	117,35	124,67	39,92	1,37	62,33	15,42	50,42	1,2

NB : les mesures sont effectuées en (mg/l), et la CE en (μS/cm).

Tableau : V.6 Représentation des formules ioniques et des faciès chimiques des eaux souterraines

Site	Formule ionique	Faciès chimique
N P. Ain N	$rCl^- > rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rNO_3^{2-} \text{ --- } rCa^{2+} > r(Na^+ + K^+) > rMg^{2+}$	Chloruré - calcique
N P. B. Azzouz	$rCl^- > rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rNO_3^{2-} \text{ --- } rCa^{2+} > r(Na^+ + K^+) > rMg^{2+}$	Chloruré - calcique
N P. S. Lakhdar	$rCl^- > rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rNO_3^{2-} \text{ --- } rCa^{2+} > r(Na^+ + K^+) > rMg^{2+}$	Chloruré - calcique
N S. Ain N	$rCl^- > rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rNO_3^{2-} \text{ --- } rCa^{2+} > r(Na^+ + K^+) > rMg^{2+}$	Chloruré - calcique
N S. B. Azzouz	$rCl^- > rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rNO_3^{2-} \text{ --- } r(Na^+ + K^+) > rCa^{2+} > rMg^{2+}$	Chloruré - sodique
N S. S. Lakhdar	$rSO_4^{2-} > rCl^- > rHCO_3^- > rNO_3^{2-} \text{ --- } r(Na^+ + K^+) > rCa^{2+} > rMg^{2+}$	Sulfaté - sodique
N S. El-Marsa	$rCl^- > rSO_4^{2-} > rHCO_3^- > rNO_3^{2-} \text{ --- } rCa^{2+} > r(Na^+ + K^+) > rMg^{2+}$	Chloruré - calcique

V.1 Traitement des résultats

a. Diagramme de Piper

Les résultats des analyses chimiques des eaux souterraines sont reportés sur le diagramme de Piper afin de déterminer les tendances chimiques de l'eau.

Le diagramme de Piper a montré que les eaux souterraines des deux nappes d'el Kebir Ouest appartiennent à la famille des eaux Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne, et à l'aide du diagramme de Stiff ou Stabler on peut déduire le faciès chimique correspondant à chaque échantillon.

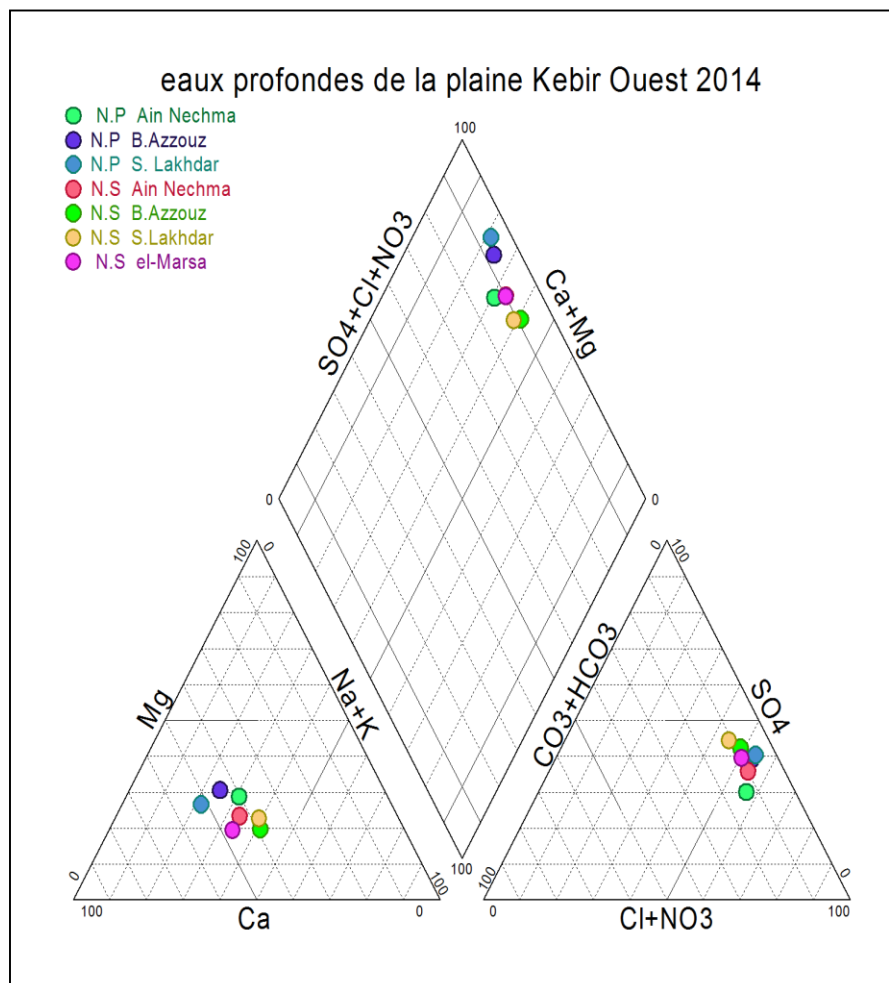


Figure : V.25 les faciès chimiques des eaux souterraines d'el Kebir Ouest par le diagramme de Piper

b. Diagramme de Stiff

Le diagramme de Stiff a montré que le faciès dominant dans la nappe profonde est le chlorurée calcique, tandis que la nappe superficielle présente plusieurs faciès, où on peut trouver le chlorurée calcique, le chlorurée sodique et le sulfatée sodique.

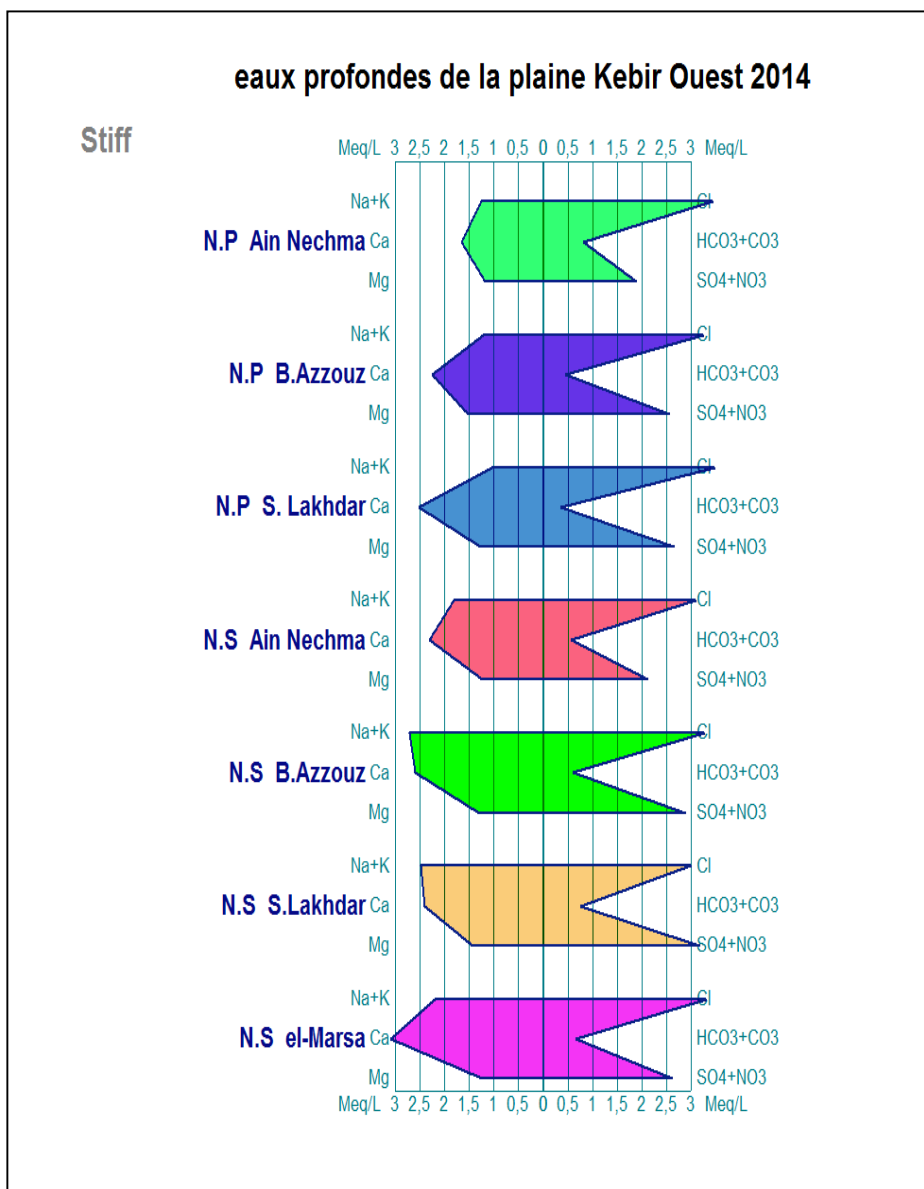


Figure : V. 26 faciès chimiques des eaux souterraines d’el Kebir Ouest par le diagramme de Stiff

c. Diagramme de Schöeller Berkaloff

L'interprétation des résultats des analyses chimiques des eaux souterraines par le diagramme de Schöeller Berkaloff montre une dominance du faciès chlorurée-calcique dans la nappe profonde, avec l'existence du faciès Chloruré – sodique, chlorurée-sodique et Sulfaté-sodique dans la nappe superficielle.

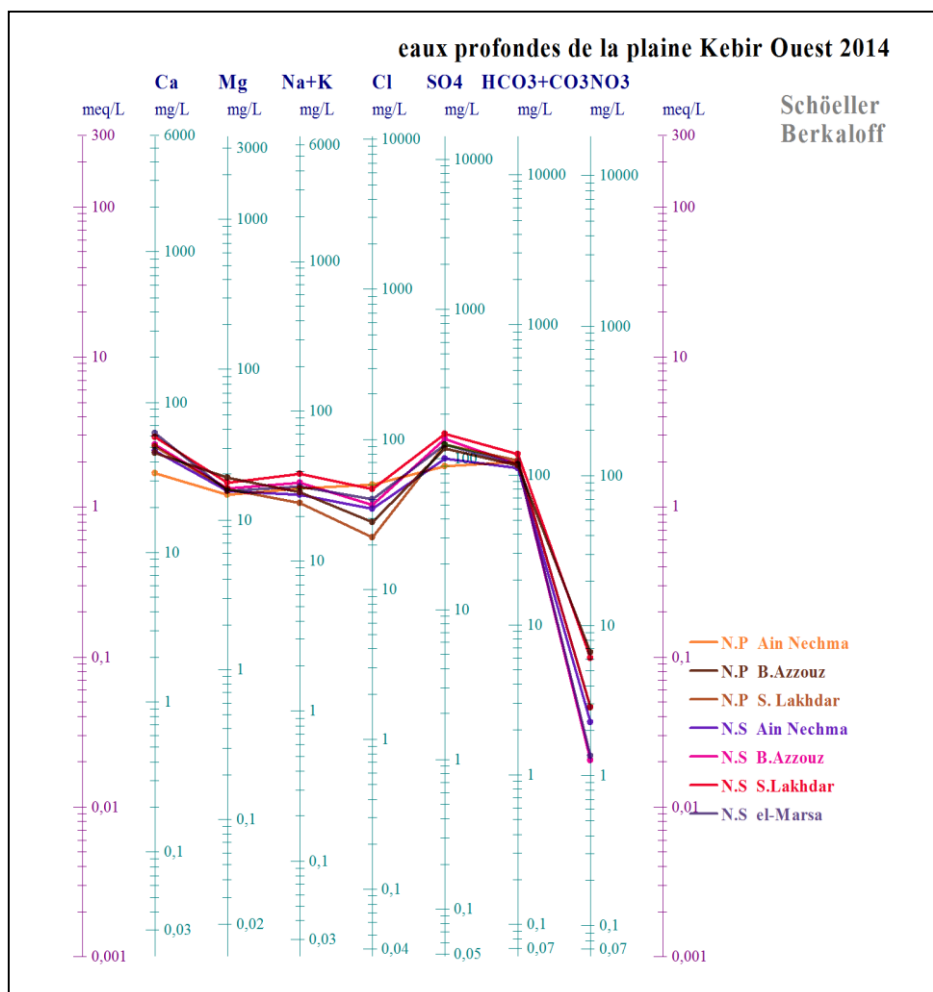


Figure : V. 27 faciès chimiques des eaux souterraines d'el Kebir Ouest par le diagramme de Schöeller Berkaloff

V.2 Aptitude des eaux à l'irrigation

a) Les eaux superficielles

La zone étudiée est une région littorale à vocation agricole, deux facteurs susceptibles d'être facteurs pollueurs, les eaux de surface de la plaine de Kebir Ouest représentée par l'oued Kebir et les marais sont utilisées directement à l'irrigation par pompage, sans faire attention à l'état et à la composition chimique de l'eau utilisée.

Pour vérifier la validité de cette eau à l'irrigation nous sommes obligés de classer ces eaux par le diagramme de Wilcox, qui a donné les résultats suivants :

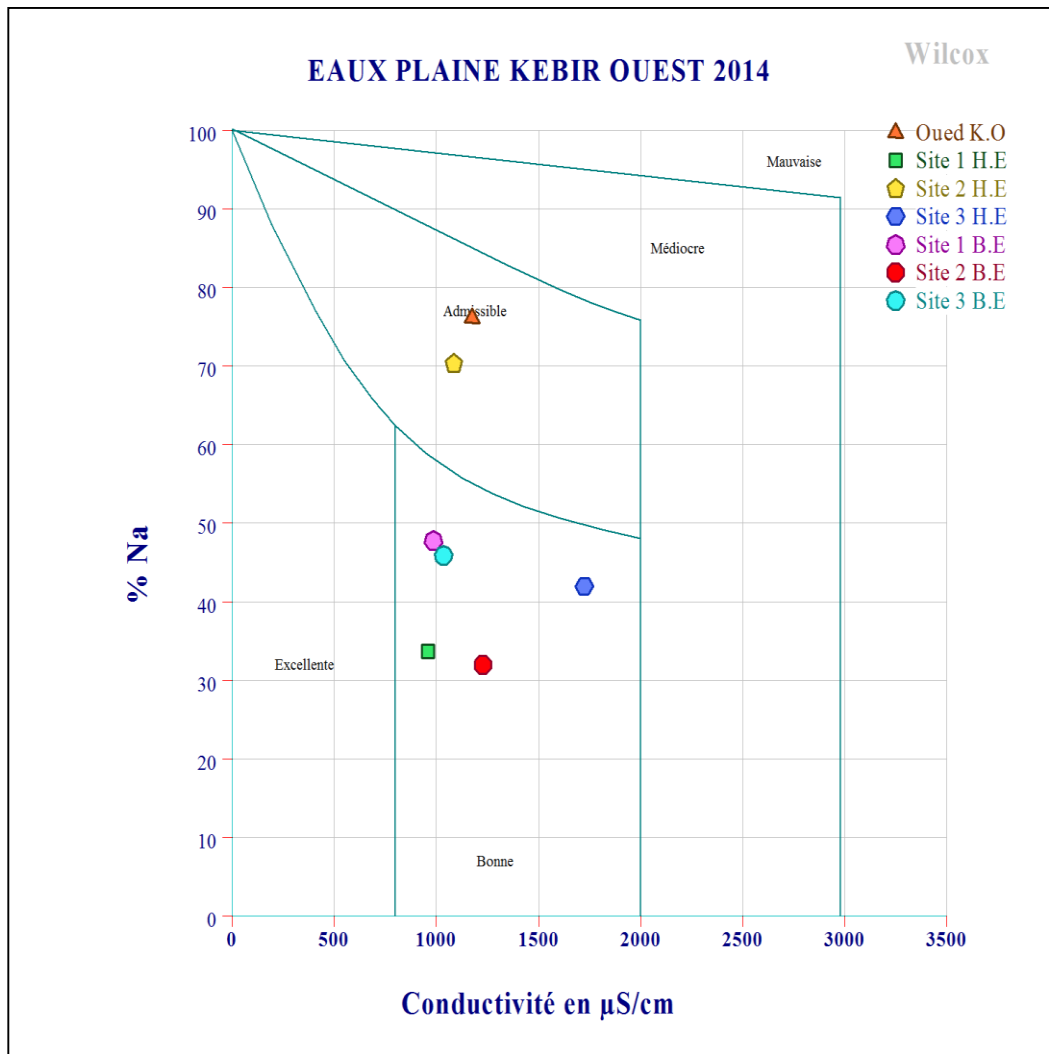


Figure : V.28 Classification des eaux superficielles de Kebir Ouest par degré d'aptitude à l'irrigation par le diagramme de Wilcox

D'après le diagramme de Wilcox on distingue deux qualités des eaux d'irrigation.

- La première est bonne, elle est en général, utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation de plantes moyennement tolérantes en sels.

- La deuxième est admissible, cette eau convenant en général à l'irrigation des cultures tolérantes en sel, sur des sols bien drainés, mais l'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée.

b) Les eaux profondes

Les nappes souterraines sans peu loin de la pollution et ses eaux sont d'excellente qualité ce qui est montré par le diagramme de Wilcox.

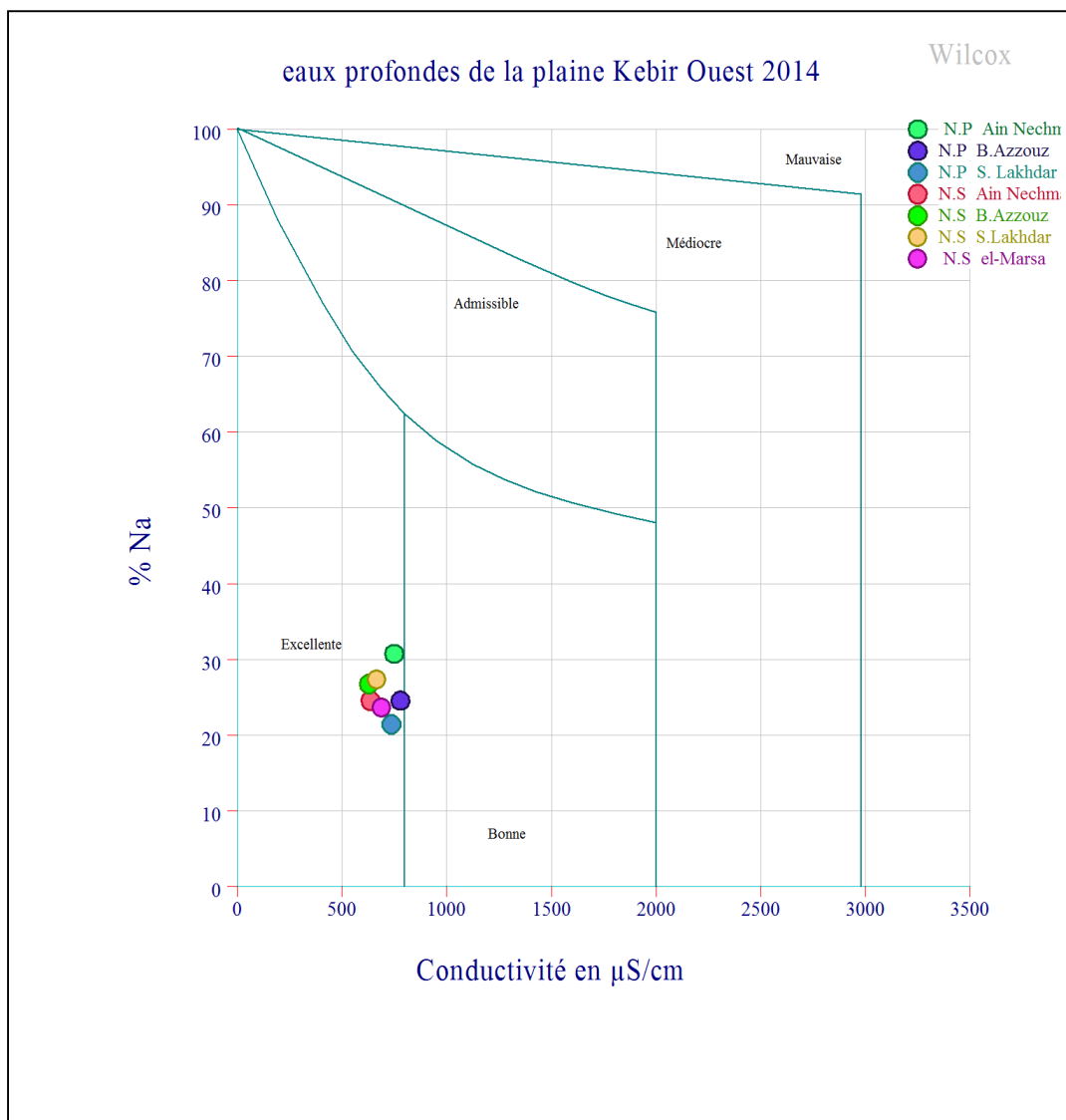


Figure : V.29 Classification des eaux profondes de Kebir Ouest par degré d'aptitude à l'irrigation par le diagramme de Wilcox

V.3 Normes de potabilité des éléments majeurs

Dans le cadre de la surveillance de la potabilité des eaux de la plaine de Kebir Ouest, des analyses de routines ont été effectuées par les organismes spécialisés. Le contrôle portait sur les éléments majeurs. Les résultats ont révélé des eaux de bonne qualité et ne sont pas présentés de danger sur la santé des habitants.

➤ Calcium

Le calcium n'a pas d'effet nocif sur la santé de l'individu, car la quantité susceptible d'être ingérée quotidiennement sous forme des besoins est inférieure à celle nécessaire pour l'organisme. En effet l'O.M.S impose 140 mg/l comme teneur maximale. Les eaux dépassant les 200 mg/l présentent un sérieux problème pour les usages domestiques et pour l'alimentation des chaudières.

➤ **Magnésium**

Le magnésium est un élément indispensable pour la croissance de l'organisme, au-delà d'une certaine concentration il offre un goût désagréable et provoque des troubles chez les enfants, l'O.M.S donne 50 mg/l comme concentration maximale admissible.

➤ **Sodium**

Le sodium ne présente aucun danger pour la santé, à l'exception de certaines maladies telles que l'hypertension et les maladies du cœur qui nécessitent des teneurs faibles. Les teneurs élevées offrent à l'eau un goût désagréable.

➤ **Potassium**

Présent dans l'eau naturelle, ne dépasse pas habituellement 10 à 15 mg/l, donc il n'a pas de problèmes pour la santé.

➤ **Chlorures**

Les chlorures donnent un goût désagréable et pose le problème de corrosion et aussi pour les personnes atteintes de maladies cardio-vasculaires ou rénales. La norme donnée par l'O.M.S est de 250 mg/l.

➤ **Sulfates**

Les sulfates provoquent des troubles intestinaux, l'O.M.S fixe à 250 mg/l la teneur maximale admissible.

➤ **Bicarbonates**

La présence des bicarbonates dans l'eau de boisson ne provoque aucun effet nocif sur la santé. La recommandation pour la quantité de l'eau potable ne comporte pas de norme relative (l'OMS fixe le TAC à 500mg/l).

VI. CONCLUSION

L'homme a besoin de l'eau dans sa vie quotidienne et pour ses activités et son développement. Il utilise l'eau pour son agriculture, industrie et pour ses besoins domestiques.

Cette utilisation n'est pas sans imperfections, car il entraîne des problèmes de contamination des sources d'eau, qu'il s'agisse d'eau souterraine ou de surface, cette pollution peut se présenter sous différentes formes : physique chimique, ou même bactériologiques.

La plaine de Kebir Ouest se caractérise par une salinité variable ; les secteurs situés au sud étant les plus chargées, cela dû à la concentration relative de la forte population en ces lieux et donc l'activité agricole. Dans la zone Nord les fortes concentrations de la salinité ont été expliquer par l'effet de dilution et la proximité de la mer.

Une autre pollution physique qui se présente dans la conductivité électrique touchant les deux nappes où on enregistre une valeur de 1156 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dans la nappe profonde, et une autre qui dépasse 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au Sud au niveau de la nappe superficielle.

La nappe profonde elle aussi subit des variations de faciès et de minéralisation dans le temps. L'existence de rapports hydrodynamiques entre les deux aquifères n'exclut pas les échanges.

La zone côtière montre des enrichissements des eaux en chlorures ; c'est l'existence du biseau d'eau salée.

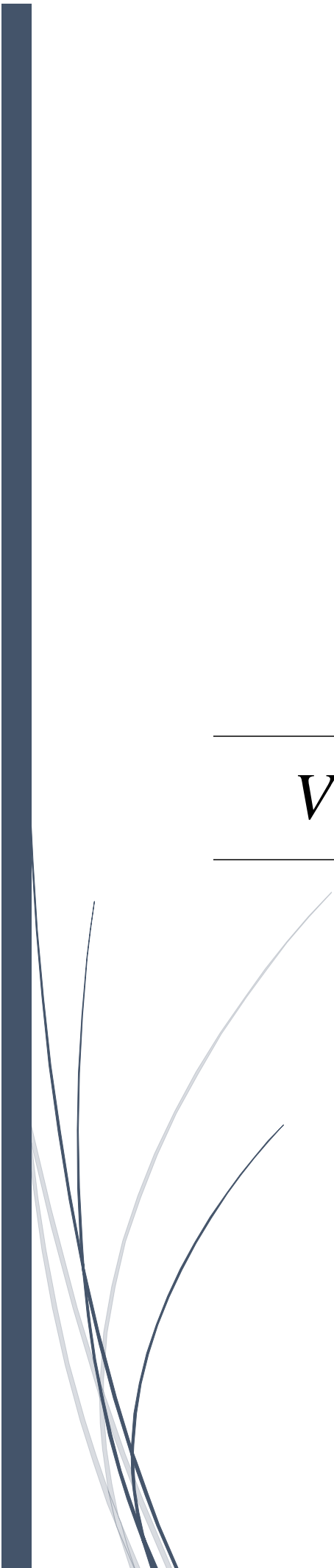
Les normes de potabilité des eaux souterraines sont pour le moment passables sauf concernant les nitrates qui en certaines périodes et en certains lieux les dépassent du double. Les faciès dominants dans les eaux superficielles sont le chloruré sodique parfois magnésien et parfois sulfaté calcique.

Le faciès chloruré calcique est le faciès dominant pour les eaux souterraines avec l'existence du sulfaté sodique parfois et le chloruré sodique d'autre fois.

L'hydrochimie des eaux souterraines est en étroite liaison avec les roches magazines et les affleurements ainsi que par les activités anthropiques de surface, elle reste en générale une source d'eau douce peu polluée qui nécessite une protection et une attention particulière contre tout type de contamination.

CHAPITRE 6

VULNÉRABILITÉ



I. INTRODUCTION

Les eaux souterraines sont dans la plupart des cas, de meilleure qualité que les eaux de surface, car elles sont moins directement exposées aux pollutions. Cependant, si les pollutions sont en général plus discrètes, elles peuvent persister beaucoup plus longtemps et il est très difficile de remédier à la contamination. Étant donné que les eaux souterraines sont souvent utilisées pour l'alimentation en eau potable, leur protection vis-à-vis des pollutions est un enjeu majeur.

Plusieurs sont les sources de pollution, mais l'activité humaine est la cause principale de cette contamination, que ce soit agricole, industrielle ou domestique. Ce problème constitue actuellement une source d'inquiétude qui requiert un intérêt universel. Elle peut, en atteignant des niveaux critiques, présenter un danger grave pour la santé publique.

Pour atteindre une nappe libre en milieu poreux, les matières polluantes transportées par les eaux d'infiltration, doivent franchir :

- Le sol où l'activité chimique et microbiologique est intense (oxydation, réduction...), c'est là où les eaux subissent plusieurs changements, physique, chimique, ou même biologique. Ces modifications sont en relation avec la nature des terrains traversés, de la durée de transit et aussi de la composition initiale de l'eau, particulièrement lorsque cette eau est polluée.

- La zone non saturée, comme le sol, joue un rôle dans la filtration et la rétention de certaines substances polluantes. Cette action est d'autant plus efficace que la granulométrie du sol est plus faible.

- La zone saturée où la filtration se poursuit dans le milieu poreux de la nappe et par la suite le polluant est dilué dans la masse d'eau.

Afin de sauvegarder les ressources, il est nécessaire de fournir des moyens de protection. Face aux difficultés liées aux techniques de dépollution et au coût de celles-ci, la protection impose en premier lieu des mesures préventives. Celles-ci passent par la cartographie des zones de l'aquifère susceptibles d'être atteintes par des polluants que l'on qualifiera de vulnérables.

II. OBJECTIF ET MÉTHODE DE TRAVAIL

Dans le but de la détermination de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines, plusieurs méthodes plus ou moins complexes et plus ou moins précises, (DRASTIC, GOD, SINTACS, SI...) ont été développées dans le monde, allant des modèles prenant en compte des processus physique, chimique et biologique dans la zone saturée, à des méthodes de pondération entre différents critères affectant la vulnérabilité.

Dans le cadre de la présente étude, notre objet est d'évaluer la vulnérabilité et le risque de contamination dans le système aquifère de la plaine de Kebir Ouest et pour cela notre choix a porté

sur l'application de certaines méthodes de la catégorie de cartographie à index avec pondération des critères.

Les méthodes de cette catégorie sont les plus pertinentes par rapport aux réalités de terrain du fait de la prise en compte de l'importance relative de chaque critère vis-à-vis de la vulnérabilité générale de la nappe. Ce sont aussi les plus reconnues et utilisées à l'heure actuelle pour la cartographie de la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines.

III. ÉVALUATION DE LA VULNÉRABILITÉ DES EAUX SOUTERRAINES

III.1 Méthode DRASTIC :

La méthode DRASTIC standard, développée par (Aller., et al.1987) sous l'égide de l'Agence américaine de protection de l'environnement USEPA, est une méthode d'évaluation de la vulnérabilité verticale intrinsèque à la pollution des aquifères, par systèmes paramétriques ; le principe commun de ces systèmes consiste à sélectionner préalablement les paramètres sur lesquels se base l'évaluation de la vulnérabilité. Chaque paramètre est subdivisé en intervalles de valeurs significatives et est affecté d'une cotation numérique croissante, en fonction de son importance dans la vulnérabilité. L'acronyme DRASTIC correspond aux initiales des sept facteurs déterminant la valeur de l'indice de vulnérabilité :

- *Depth to water* (**D**) : profondeur du plan d'eau.
- *Net Recharge* (**R**) : recharge efficace de l'aquifère.
- *Aquifer media* (**A**) : lithologie de l'aquifère.
- *Soil media* (**S**) : type de sol.
- *Topography* (**T**) : pente topographique du terrain.
- *Impact of vadose zone* (**I**) : impact de la zone vadose (zone non saturée).
- *Hydraulic Conductivity of the aquifer* (**C**) : conductivité hydraulique de l'aquifère.

Les sept paramètres découpent, de façon schématique, une unité hydrogéologique locale en ses principales composantes, lesquelles influencent, à différents degrés, les processus de transport et d'atténuation des contaminants dans le sol, ainsi que leur temps de transit. Une valeur numérique, appelée poids paramétrique, comprise entre 1 et 5 (Tableau. VI.1), est attribuée à chaque paramètre, reflétant son degré d'influence. Chaque paramètre est trié en classes associées à des cotes variant de 1 à 10. La plus petite cote représente les conditions de plus faible vulnérabilité à la contamination.

Une valeur numérique, appelée indice de vulnérabilité DRASTIC et notée ID, est déterminée ; elle décrit le degré de vulnérabilité de chaque unité hydrogéologique. L'indice de vulnérabilité DRASTIC est calculé en faisant la somme des produits des cotes par les poids des paramètres correspondants :

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

(Ou D, R, A, S, T, I et C sont les sept paramètres de la méthode DRASTIC, *p* étant le poids du paramètre et *c* la cote associée).

Il existe deux versions de la méthode DRASTIC : la version DRASTIC « standard », appliquée dans le cas où les contaminants considérés sont des polluants inorganiques et la version DRASTIC « pesticides », appliquée dans le cas où les contaminants considérés sont des pesticides.

Les valeurs des poids des paramètres dans la version standard de la méthode DRASTIC sont présentées dans le Tableau.VI.1.

Tableau. VI.1 : Poids associés aux paramètres de la méthode DRASTIC (Aller et al., 1987)

In (Hamza et al., 2007).

Paramètres	DRASTIC version standard	DRASTIC version pesticides
D : profondeur du plan d'eau	5	5
R : recharge efficace	4	4
A : type de l'aquifère	3	3
S : type de sol	2	5
T : pente de terrain	1	3
I : impact de la zone non saturé	5	4
C : conductivité hydraulique	3	2

Les valeurs de l'indice DRASTIC obtenues représentent la mesure de la vulnérabilité hydrogéologique de l'aquifère ; elles varient de 23 à 226 dans le cas de la version standard. Les valeurs obtenues sont classées selon Engel et al., (1996) (In Hamza., et al.2007) en quatre classes (Tab. VI.2).

Tableau. VI.2 : Critères d'évaluation des de la vulnérabilité dans la méthode DRASTIC.

Degré de vulnérabilité	Indice de vulnérabilité selon Engel (1996)	Indice de vulnérabilité selon Aller (1987)
Très faible	/	< 80
Faible	< 101	80 - 120
Moyen	101-140	121 - 160
Élevé	141-200	161 - 200
Très Élevé	>200	> 200

L'appréciation de cet indice de vulnérabilité n'est possible que par l'analyse comparative entre différents unités hydrogéologiques. À cet effet, un système de représentation du degré de vulnérabilité a été développé afin de permettre aux utilisateurs une visualisation immédiate de ce dernier. Le principe consiste à exprimer la vulnérabilité en pourcentage par l'application de l'équation suivante :

$$ID (\%) = (ID - 23) * 100/203$$

Avec : I D : Indice de vulnérabilité de l'unité hydrogéologique calculé.

III.1.1 Base de données et acquisition

L'application de la méthode DRASTIC nécessite une collecte importante de données ayant trait à l'hydrogéologie, à la géologie, à la morphologie, à la pédologie et à la topographie du milieu naturel. Chaque paramètre de DRASTIC nécessite un certain nombre de données et propriétés récapitulés dans le tableau VI.3.

Tableau. VI.3 : propriétés et poids des paramètres de DRASTIC

Symbole	Paramètre	Propriétés	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

Chaque critère est cartographié avec un index, appelé aussi cote (c), allant typiquement de 1 à 10. Un facteur de pondération (p) est ensuite appliqué aux différents critères afin de relativiser leur importance respective en termes de vulnérabilité.

III.1.2 Description des paramètres et élaboration des cartes thématiques

A. Épaisseur de la zone non saturée (D)

L'épaisseur de la zone non saturée joue un rôle primordial dans la qualification de la capacité de l'aquifère à être affecté par l'infiltration d'un polluant. Elle est déterminée par la différence d'altitude entre la courbe de niveau (MNT) et la courbe isopièze (niveau d'eau).

La définition des classes de l'épaisseur de la zone non saturée (D) a été basée selon la notation accordée par (Lallemand., Barrés.1994).

Les classes ainsi retenues pour le paramètre « D » sont récapitulées dans le Tableau VI.4.

L'évaluation de ce paramètre a été faite sur la base d'une série de mesures piézométriques, effectuées pendant une période de plus de 20 ans. Ces mesures montrent que le niveau piézométrique de la nappe varie entre 3 et 18 m. Ce résultat nous a permis de distinguer trois régions différentes dans la plaine de Kebir Ouest, chaque une est affectée d'un indice de vulnérabilité partiel (ID), relatif au paramètre « Profondeur du niveau statique » :

1- La zone située au Sud de la plaine de Kebir Ouest, où la profondeur de l'eau varie entre 4,5 et 9 m et l'indice de vulnérabilité partiel, est de valeur 35.

2- La zone centrale occupe une grande partie de la plaine, dont la profondeur de l'eau varie entre 9 et 15 m et l'indice partiel est de 25.

3- La Troisième zone est le massif dunaire, il est situé au Nord et s'étend du centre de la plaine à la plage et de l'Est à l'Ouest. Dans cette zone la profondeur de l'eau variée entre 1,5 à 4,5 m et l'indice de vulnérabilité partiel correspond à 45.

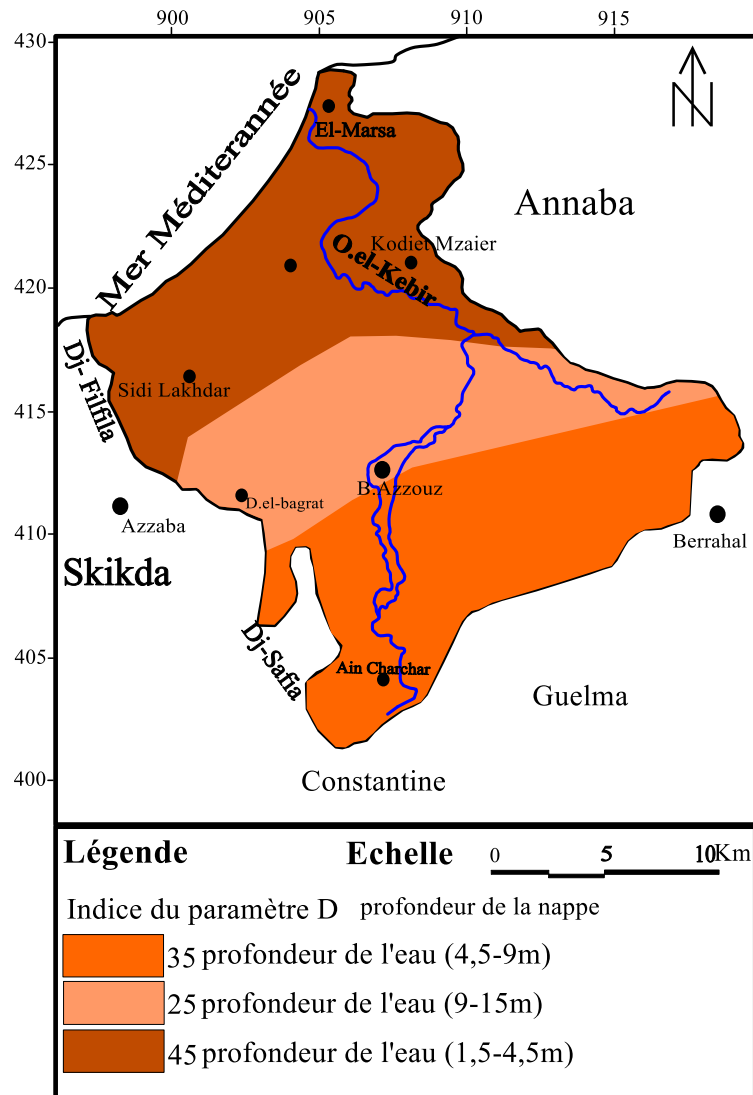


Figure VI.1 : profondeurs des nappes de la plaine de Kebir Ouest « paramètre D »

B. Recharge nette (R)

Définit la quantité de l'eau par unité de surface qui s'infiltre et atteint la zone saturée. Elle dépend du climat (précipitations et ETP), mais également de la topographie et de la nature des formations. Cette eau constitue un facteur de transfert des polluants vers les eaux souterraines en traversant la zone vadoze. Généralement plus la quantité d'eau est importante, plus la possibilité de contaminer la nappe est élevée.

Pour l'estimation de ce paramètre, nous avons utilisé les résultats de bilans hydriques des Stations pluviométriques bien répartis dans la plaine établis par plusieurs auteurs (*Thornthwaite et Turc.....etc.*). La carte du paramètre "Recharge nette", ainsi obtenue (Fig.VI.2), montre deux domaines d'indices de vulnérabilité partiels (IR) distincts:

1- La première zone occupe presque la totalité de la plaine avec une réalimentation qui dépasse les 650 mm/an, pour cela on a attribué un indice partiel de l'ordre de 24.

2- La deuxième zone occupe la partie Sud-Est ou on a enregistré une réalimentation inférieure à 600 mm/an et l'indice partiel correspondant est de l'ordre de 12.

NB : Pour calculé la recharge directe de la nappe à partir des précipitations sur la plaine, on peut appliquer le modèle établi par Mac Donald donnée par la relation :

$$R = (P - RT).RP$$

Avec :

P : pluviométrie brute.

RP : fraction des précipitations efficaces qui contribue à la recharge de la nappe.

RT : valeur limite des précipitations, en dessous de laquelle aucune recharge ne se produit.

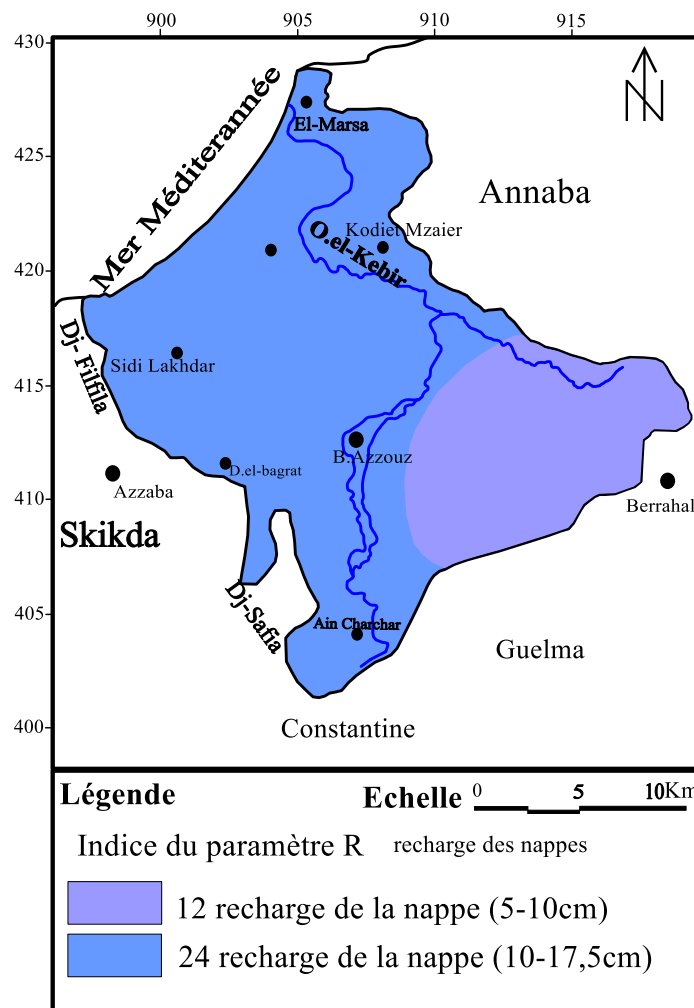


Figure VI.2 : recharge des nappes de la plaine de Kebir Ouest « paramètre R »

C. Lithologie de l'aquifère (A)

La lithologie de l'aquifère intervient dans le piégeage des polluants, son identification a été basée sur les logs et les coupes lithologiques des forages réalisés dans la zone d'étude. L'analyse de ces données a montré que la lithologie de l'aquifère des nappes de Kebir Ouest est constituée essentiellement de matériaux alluvionnaires (sable, gravier et argile), et certains endroits où on trouve des grès et du calcaire.

Des indices correspondant à chaque lithologie ont été estimés comme suite :

- 1- Le matériel alluvionnaire remarqué sur toute la zone occupée par le chevelu hydrographique et la zone marécageuse, son indice partiel correspondant attribué est 15.
- 2- La deuxième zone est une partie au Sud-Est où on trouve du grès, l'indice partiel attribué est 18.
- 3- La troisième région se trouve au Nord-Ouest, elle est composée essentiellement par le calcaire, l'indice partiel attribué est 30.
- 4- Le reste de la plaine est formé seulement par du sable et du gravier, l'indice partiel attribué est 24.

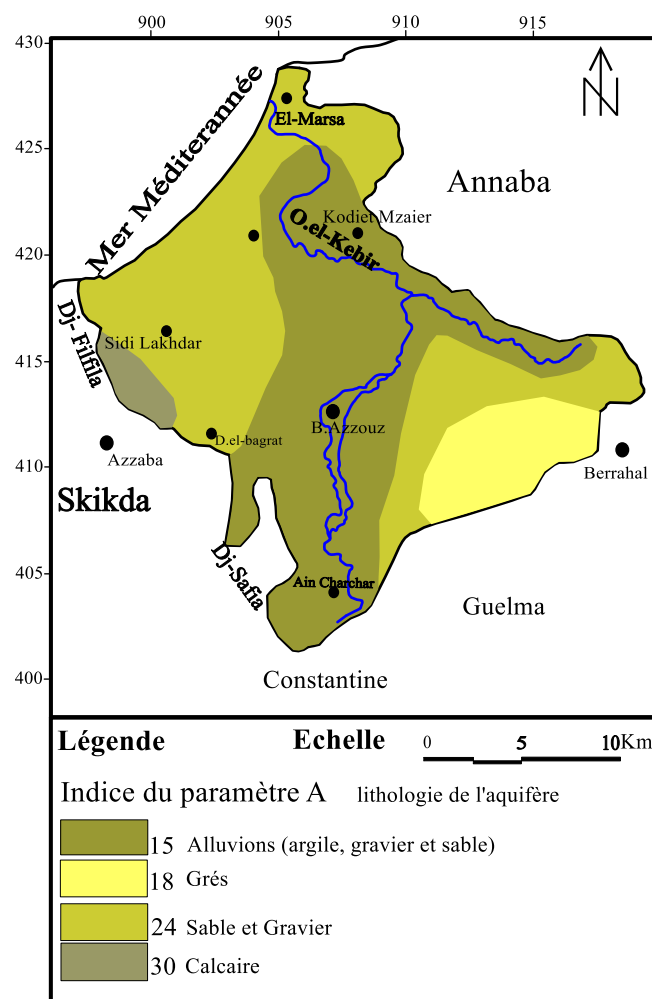


Figure VI.3 : nature lithologique des aquifères de la plaine de Kebir Ouest « paramètre A »

D. Nature de sol (S)

La nature du sol a un impact considérable sur la contamination des nappes phréatiques par les polluants provenant de la surface. Elle peut réduire, retarder ou accélérer le processus de propagation de polluant vers l'aquifère. Plus le sol est riche en argile, plus l'absorption des polluants est importante, et plus la protection des eaux souterraines est grande.

Les informations recueillies concernant ce paramètre dans la plaine de Kebir Ouest nous a révélé l'existence de trois régions distincts.

- 1- Le sol sableux, occupe plus que la moitié de la superficie totale de la plaine, son indice attribué est 18.
- 2- Le sol argilo-limoneux couvre les zones des marécages et du chevelu hydrographique, l'index partiel attribué est 06.
- 3- La troisième région est un sol composé d'un mélange d'argile, limon et calcaire, se localise dans le Nord-Ouest, ou on a attribué un index partiel de 12.

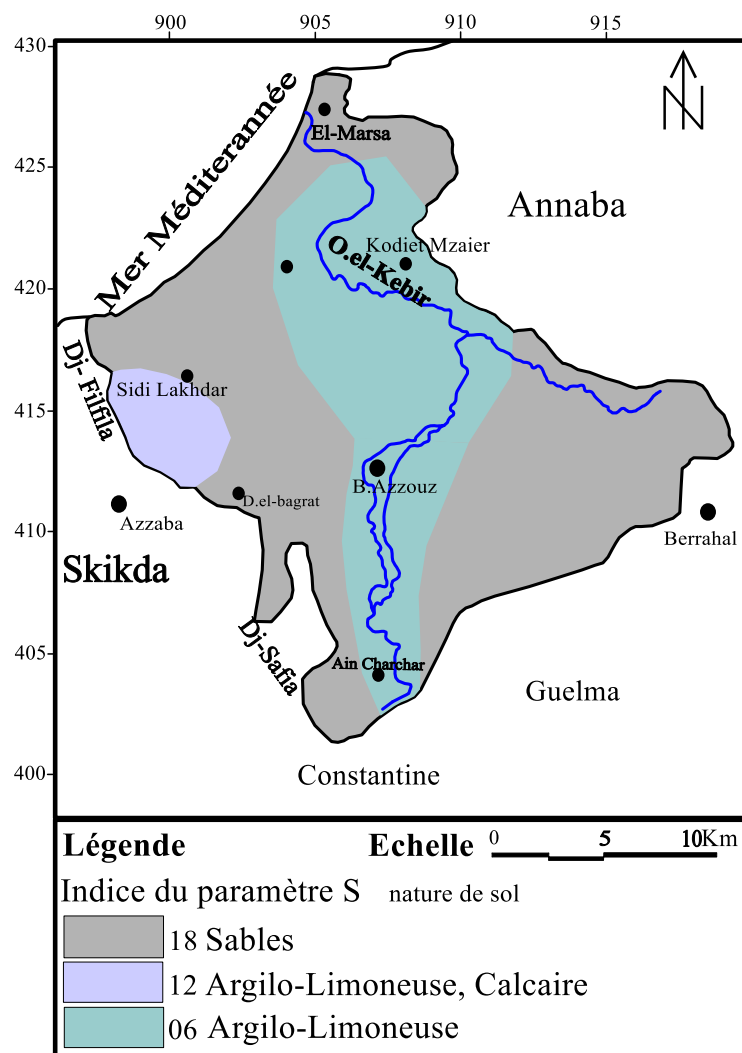


Figure VI.4 : nature de sol de la plaine de Kebir Ouest « paramètre S »

E. Topographie (T)

Dans la méthode DRASTIC le paramètre topographie est représenté par les valeurs de la pente en pourcentage, il traduit l'aptitude au ruissellement et à l'infiltration des eaux superficielles vers la nappe et reflète donc la capacité de ces eaux à introduire des agents polluants vers la nappe. En effet, Plus la pente des terrains est grande, plus le ruissellement des eaux est important et par conséquent la contamination des eaux souterraines est faible. En revanche, une zone à faible pente a une tendance à retenir l'eau pendant une longue période, cela permet un plus grand potentiel de migration des contaminants.

La plaine de Kebir Ouest est généralement plane à basse altitude varie entre 0 et 2% avec un indice partiel de 10. Mais nous enregistrons des élévations relativement fortes, supérieur à 18% dans toute la région Sud avec un indice partiel de 01. Une troisième zone moyennement élevée entre 6 et 12%, a été remarqué dans le centre vers l'Ouest, son indice correspondant est de 05.

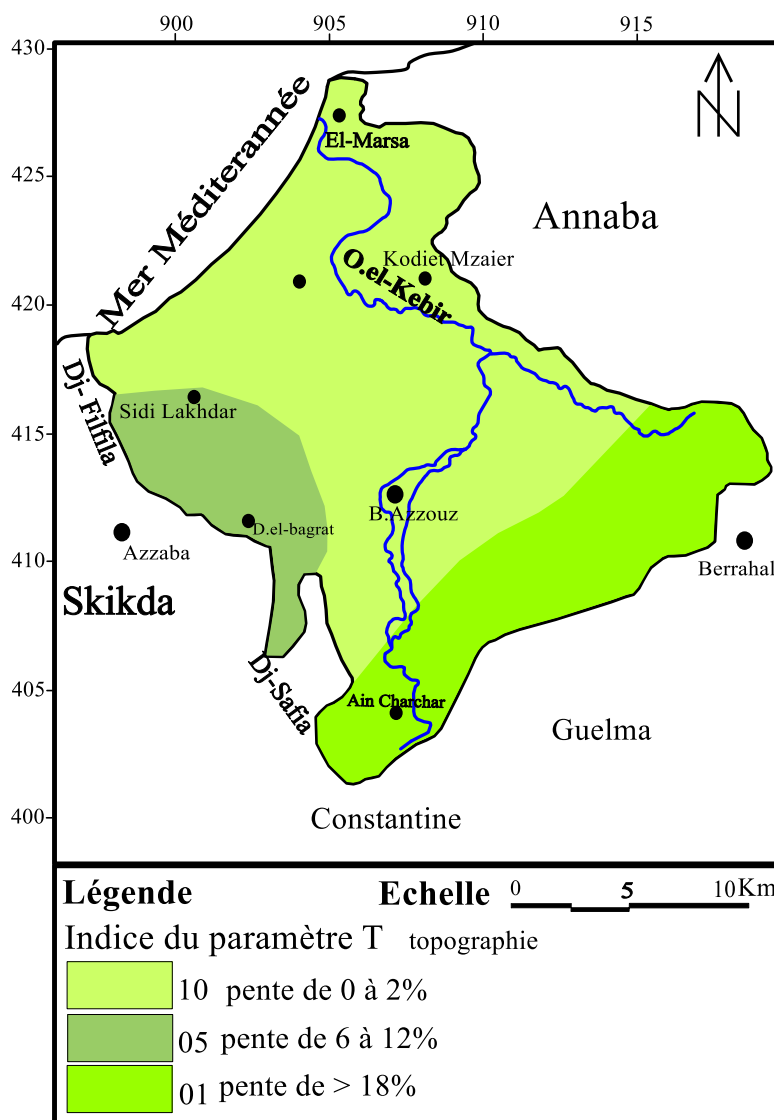


Figure VI.5 : topographie de la plaine de Kebir Ouest « paramètre T »

F. Zone non saturée (I)

La zone vadose est une zone insaturée, située entre la couche de sol et la nappe phréatique, la nature de cette zone constitue un paramètre important dans l'estimation de la vulnérabilité, car elle influe sur la vitesse de propagation des polluants vers l'aquifère. Son impact est déterminé à partir de la lithologie des terrains qui la constituent.

Le processus de calcul et de cartographie du paramètre « I » est le même que celui de la zone saturée (A). Il est obtenu par interpolation et corrélation des données de forages (logs) et par digitalisation de la carte géologique.

La zone non saturée de Kebir Ouest est composée du sable, gravier et de l'argile sur la plupart de la plaine, un indice partiel pour ce paramètre est de l'ordre de 40.

Une région se compose seulement de sable et de gravier a été remarqué dans l'Ouest vers l'intérieur de la plaine, pour laquelle un indice partiel de 45 est attribué.

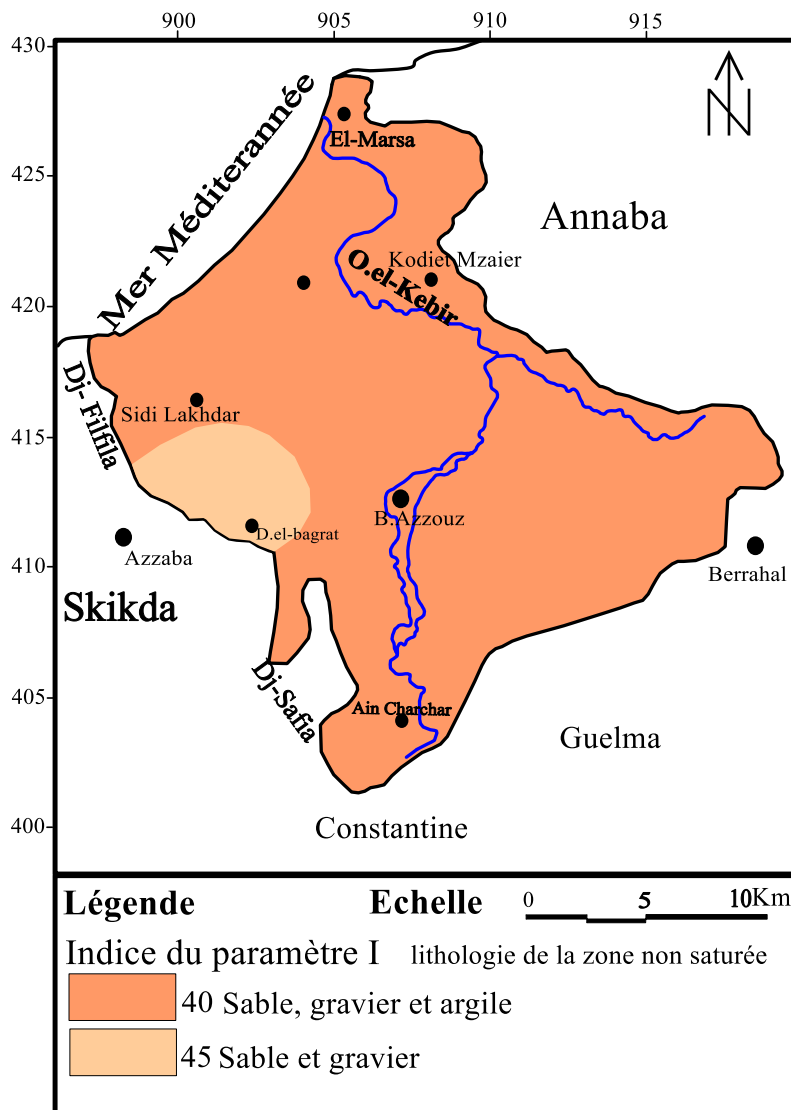


Figure VI.6 : lithologie de la couche vadose dans la plaine de Kebir Ouest « paramètre I »

G. Conductivité Hydraulique (C)

La conductivité hydraulique de la couche aquifère nous renseigne sur la vitesse de migration des polluants et leur dispersion dans la nappe du point d'injection, à la surface, jusqu'à la zone saturée et, par conséquent, leurs concentrations dans la nappe aquifère. Plus ce paramètre est important, plus le transfert des polluants est rapide.

Les valeurs des conductivités hydrauliques utilisées pour calculer les degrés de vulnérabilité dans notre zone d'étude, sont disponibles sous forme de transmissivités.

Les perméabilités sont calculées en divisant les transmissivités par la puissance de la nappe.

Trois zones de conductivité hydraulique différentes ont été enregistrées dans la plaine de Kebir Ouest.

1- La première à conductivité faible, varie entre $(14,7 \text{ et } 32,9) \cdot 10^{-5}$, cette zone se trouve dans la partie Sud-Est de la plaine, l'indice partiel de vulnérabilité attribué est 12.

2- La deuxième région à conductivité moyenne varie entre $(4,7 \text{ et } 14,7) \cdot 10^{-5}$, cette zone couvre la partie Ouest de la plaine, l'indice partiel de vulnérabilité attribué est 06.

3- La troisième partie couvre presque les trois quarts de la plaine, sa conductivité est élevée, varie entre $(4,7 \text{ et } 9,4) \cdot 10^{-4}$, son indice partiel de vulnérabilité attribué est 24.

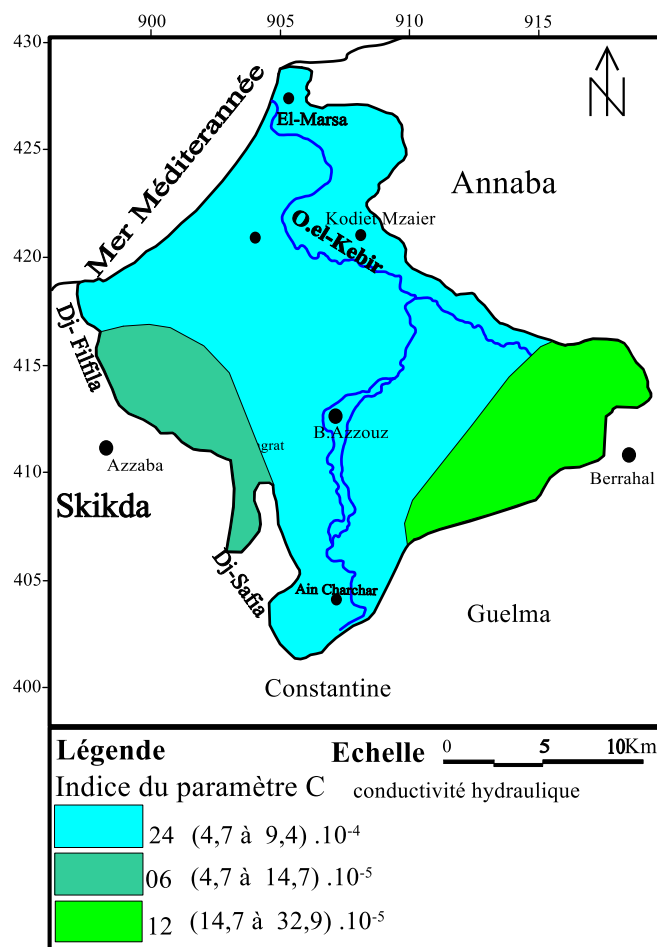


Figure VI.7 : conductivité hydraulique de la plaine de Kebir Ouest « paramètre C »

H. Indice DRASTIC et degré de vulnérabilité

La construction de la carte de vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la plaine de Kebir Ouest selon la méthode DRASTIC a révélée des indices de vulnérabilité oscillent entre 102 et 235 et d’après le tableau des critères d’évaluation de la vulnérabilité, Ils représentent deux classes réparties comme suit :

1- La classe à vulnérabilité « faible » à la pollution se localise au Sud et au centre du côté Ouest, elle occupe 47,43% de la superficie totale de la zone étudiée, ce résultat peut être expliquer par la nature lithologique et la topographie de ces endroits.

2- La classe à vulnérabilité « fort », elle occupe le reste de la zone étudiée avec 52,57%. Les conditions favorisant cette sensibilité à la pollution reviennent aux conditions naturelles régnant dans ces endroits, tel que la lithologie de la zone non saturée, la topographie, la précipitation et l’infiltration, la profondeur de la nappe ...etc.

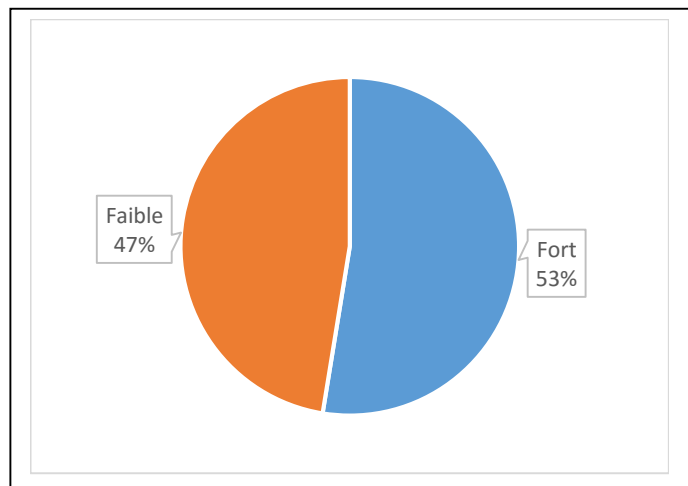
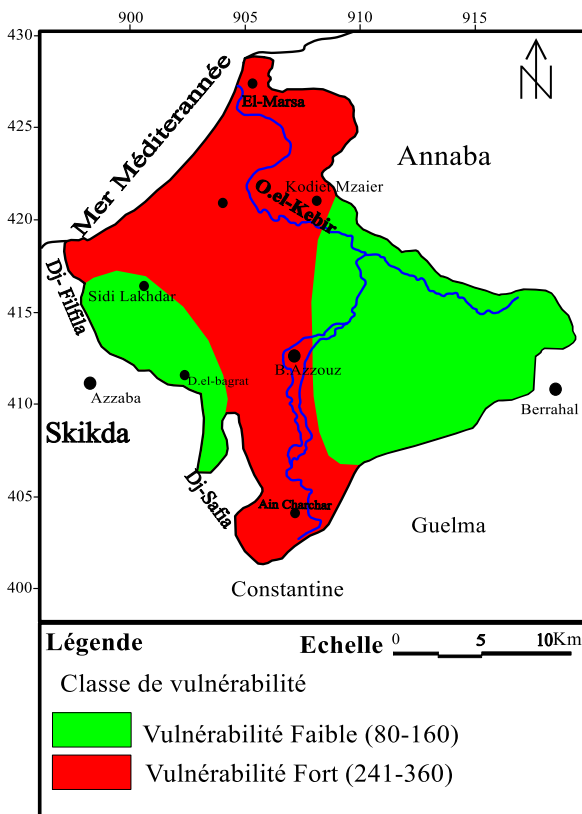


Figure VI. 9 : Répartition des degrés de vulnérabilité à la pollution des eaux de la plaine de Kebir Ouest

Figure VI.8 : Carte de vulnérabilité à la pollution des eaux souterraine de la plaine de Kebir Ouest selon la méthode DRASTIC

Tableau VI. 4 : Classes et notes des sept paramètres d'après (Lallemand., Barres.1994).

D : Profondeur de la nappe (m)		R : Recharge (mm)	
Valeurs (m)	Cote	Valeurs (mm)	Cote
0 – 1.5	10	25.5	9
1.5 – 4.5	9	17.5 – 25.5	8
4.5 – 9	7	10 – 17.5	6
9 - 15	5	5 - 10	3
15 - 22	3	0 - 5	1
22.5- 30	2		
>30	1		
A : Nature de la zone saturée		S : Nature du sol	
Calcaire karstique	10	Mince ou absent	10
Sable et gravier	8	Sables	9
Grès massif	6	Limons sableux	6
Alluvions (argile, gravier et sable)	5	Limons	4
Métamorphique altéré	4	Limons silteux	3
Massive shale	2	Argiles	1
T : Topographie (pente)		I : lithologie de la couche vadose	
Valeurs (%)	Cote		
0 à 2	10	Calcaire Karstique	10
2 à 6	9	Sable et gravier	9
6 à 12	5	Sable et gravier avec silt et argile	8
12 à 18	3	Grès	6
> 18	1	Calcaire	6
		Silt et argile	1
C : Perméabilité			
Valeurs (m/s)	Cote		
>9,4.10-4	10		
4,7.10-4 à 9,4.10-4	8		
32,9.10-5 à 4,7.10-4	6		
14,7.10-5 à 32,9. 10-5	4		
4,7.10-5 à 14,7.10-5	2		
4,7. 10-7 à 4,7.10-5			

Tableau VI.5 : Critère d'évaluation de la vulnérabilité dans la méthode DRASTIC

(Aller et al., 1987)

Indice de vulnérabilité	Degré de vulnérabilité
< 80	Très faible
80-160	Faible
161-240	Moyenne
241-320	Forte
321-400	Très forte

III.2 Méthode GOD

La méthode GOD a été développée par en Angleterre par (*Foster, 1987*). L'appellation de la méthode provient de l'Acronyme suivant:

- **G**roundwater occurrence (type de l'aquifère);
- **O**verall aquifer class (caractéristiques de l'aquifère en termes de lithologie et de porosité);
- **D**epth to groundwater table (profondeur de la nappe).

Elle présente la vulnérabilité de l'aquifère face à la percolation verticale de polluants à travers la ZNS et ne traite pas de la migration latérale des polluants dans la ZS.

Elle utilise une approche empirique où la vulnérabilité des aquifères est définie en fonction de l'inaccessibilité de la ZS, au sens de la pénétration du polluant, et de la capacité d'atténuation des couches sus-jacentes à la ZS. L'approche employée pour ce modèle a recours à trois paramètres. Le premier réside dans l'identification du type d'aquifère en fonction de son degré de confinement (C_A), le deuxième correspond à la lithologie de l'aquifère (C_L) et le troisième est défini par la profondeur de la nappe (C_D) (*Murat., et al.2003*). Les cotes attribuées aux classes des différents paramètres (Tab.VI.6) sont inférieures ou égales à "1". L'Indice GOD (IG) qui permet d'évaluer la vulnérabilité de l'aquifère à la pollution est obtenu par la multiplication de ces trois paramètres.

La cartographie de la vulnérabilité à la pollution des aquifères par la méthode GOD a été faite par le calcul de l'Indice GOD (IG) selon l'équation (*Murat., et al. 2003*).

$$IG = C_A \times C_L \times C_D$$

Avec

C_A : Type d'aquifère. « G »

C_L : Lithologie de l'aquifère. « O »

C_D : Profondeur de la nappe. « D »

Tableau VI.6 : Classification de la vulnérabilité par la méthode GOD selon (*Foster, 1987*).

Type d'aquifère « G »					
Aucune	Captive	Semi captive	Subsurface	Semi libre	Libre
0	0,1	0,2	0,3	0,5	1
Type de lithologie « O »					
Sol résiduel	Silt et limon	Sable éolien	Sable alluvionnaire	Colluvion et graveleux	Sédiment non consolidé
0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	
Sol Meuble		Sable	Craie		
Argile	Silts volcanique	Tuf			Roches poreuses consolidées
0,6	0,7		0,9		
Formation ignées et métamorphique et ancien volcanique		Récents niveaux volcaniques		Calcaire et autre roches	Roches denses consolidées
0,5 à 0,8		0,8 à 0,9	0,9 à 1		
Profondeur de l'eau en (zone captive et libre) « D »					
>100 m	50-100 m	20-50 m	10-20 m	5-10 m	2-5 m <2 m
0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9 1

Les différentes pages d'IG obtenues ont été mises en parallèle avec les classes de vulnérabilité. D'une manière générale, les indices GOD obtenus sont répartis en cinq classes de vulnérabilité allant du "très faible" à "Très forte (extrême) vulnérabilité" (Tab.VI.7).

Tableau VI.7 : Indice de vulnérabilité et critère d'évaluation par la méthode GOD

0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Négligeable	Faible		Modéré		forte			Très forte (extrême)		

III.2.1 Description des paramètres et réalisation des cartes thématiques

A. Type de l'aquifère « G »

Les logs des forages et les coupes hydrogéologiques réalisés dans la plaine de Kebir Ouest ont montré l'existence de deux type de nappes, au Sud et au Nord.

1- Dans la partie Sud, la plaine est caractérisée par l'existence de deux aquifères superposés.

La première nappe est libre, tandis que la deuxième est captive, possède un toit imperméable, suivant le tableau VI.6 la cote attribuée pour ce paramètre est : $C_A = 0,5$.

2- Au centre, les logs de forages ont permis d'identifier une formation aquifère dans les alluvions, surmontée par un horizon imperméable d'argiles lui confère une captivité sur toute la largeur de la vallée. La cote correspondant est : $C_L = 0,6$.

3- Le massif dunaire abrite deux nappes superposées, l'une superficielle libre et l'autre profonde, séparées par une couche semi-perméable à certains endroits, les deux nappes se confondent pour donner une libre, la cote correspondant est : $C_D = 0,9$

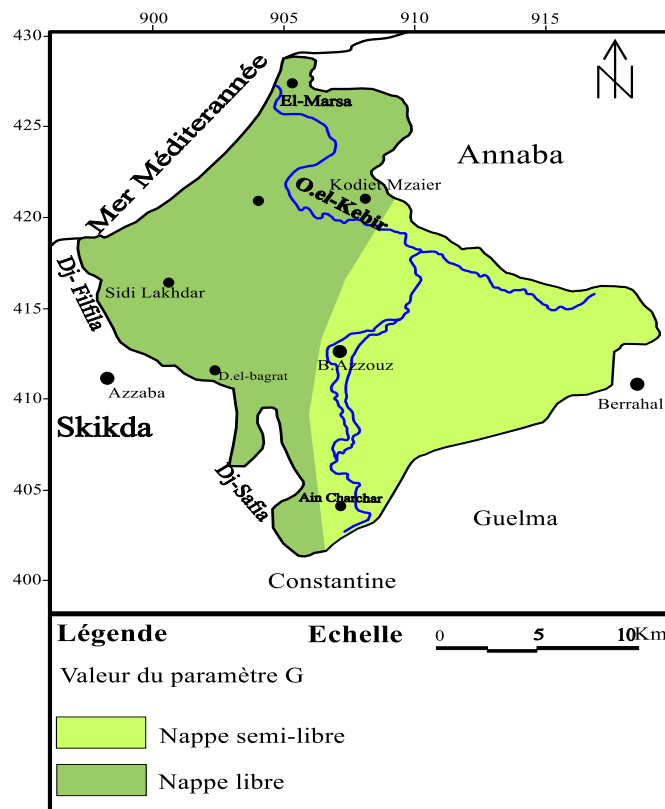


Figure VI.10 : type d'aquifère de la plaine de Kebir Ouest « paramètre G »

B. Type de lithologie « O »

La lithologie des aquifères du Sud au Nord n'est pas très différentes. Elle est souvent composée du sable et du gravier et parfois des argiles, nous observons :

Au Sud, la nappe est alluviale, formée d'un mélange de sable, gravier et du galet.

Au centre l'aquifère est constituée de graviers de sables et des argiles.

Au Nord dans le massif dunaire, la nappe est formée d'un matériel sablonneux.

Pour cela nous avons attribué une même valeur pour la cote C_L qui est égale 0,7 au Sud et au Nord et $C_L = 0,6$ pour la zone centrale.

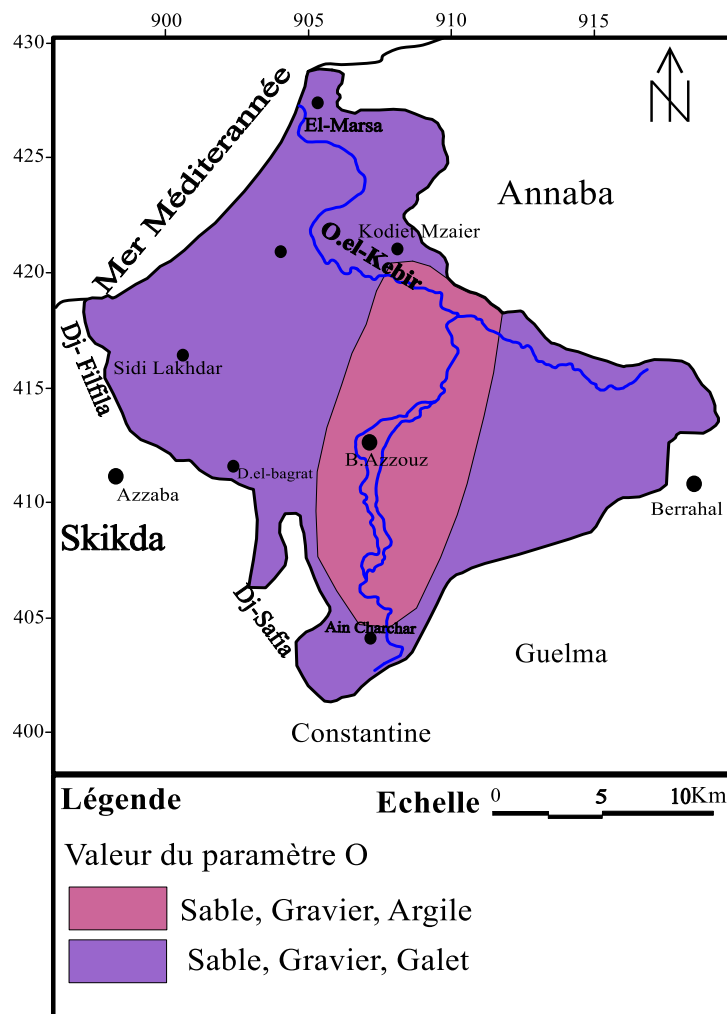


Figure VI.11 : nature lithologique des aquifères de la plaine de Kebir Ouest « paramètre O »

C. Profondeur de la nappe « D »

La profondeur de la nappe est un paramètre très important dans la méthode GOD, et dans la plaine de Kebir Ouest on peut distinguer trois zones différentes concernant ce paramètre.

Au Sud, la profondeur varie entre 4,5 et 9m, avec une cote $C_D = 0,7$

Au centre la profondeur est de 9m, avec une cote $C_D = 0,8$

Dans le massif la profondeur enregistrée varie de 2 à 5m, avec une cote $C_D = 0,9$

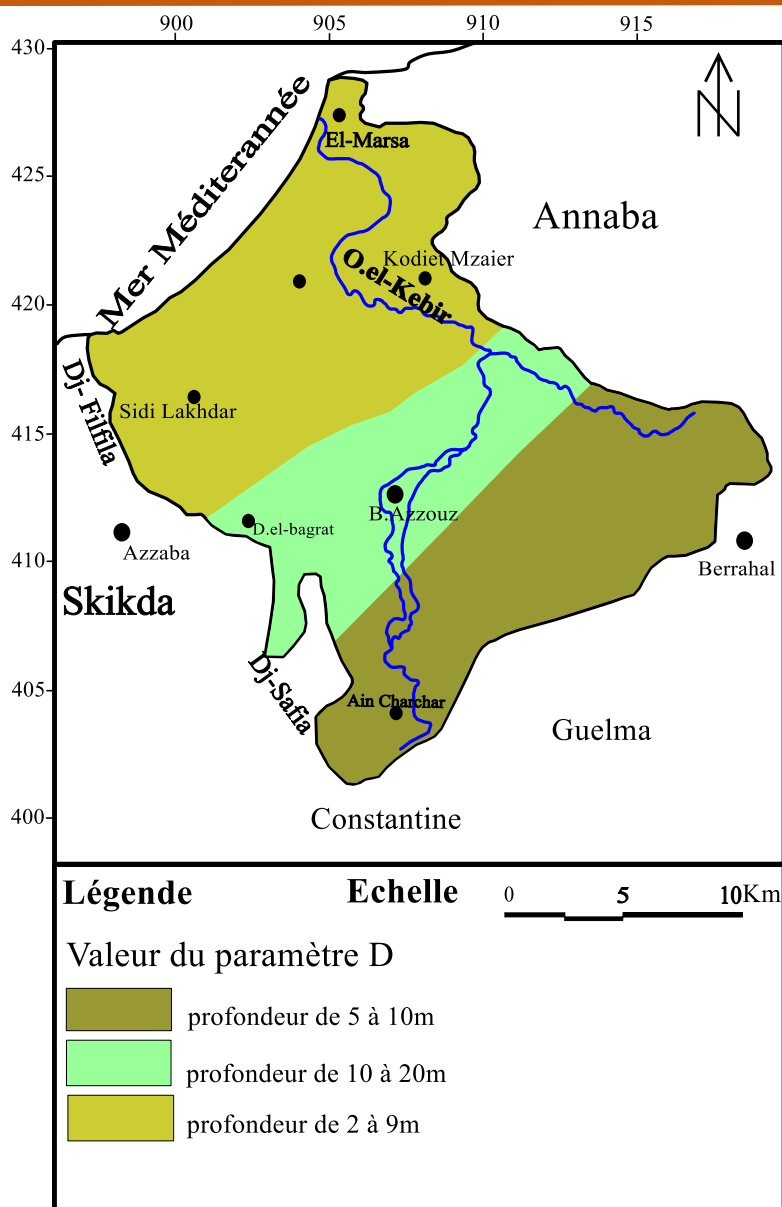


Figure VI.12 : profondeur de la nappe dans la plaine de Kebir Ouest « paramètre D »

D. Indice GOD et degré de vulnérabilité

Le calcul de l'Indice GOD (IG) selon l'équation de (Murat et al., 2003), a mis en évidence l'état de la plaine de Kebir Ouest et le massif dunaire de Guerbès. Cet indice nous révèle deux zones de vulnérabilité à la pollution. (Fig. VI.13)

- La classe à forte vulnérabilité couvre le massif dunaire et une partie de la plaine au Nord.

Ces régions représentent 51,22% de la superficie totale de la plaine, cette sensibilité due à la faible profondeur de la nappe et la nature lithologique de l'aquifère.

- La classe à faible vulnérabilité occupe le reste de la plaine au Sud et à l'Ouest, elle représente 48,78% de la superficie totale de la plaine, la lithologie de l'aquifère et la profondeur jouent un rôle protecteur contre la contamination.

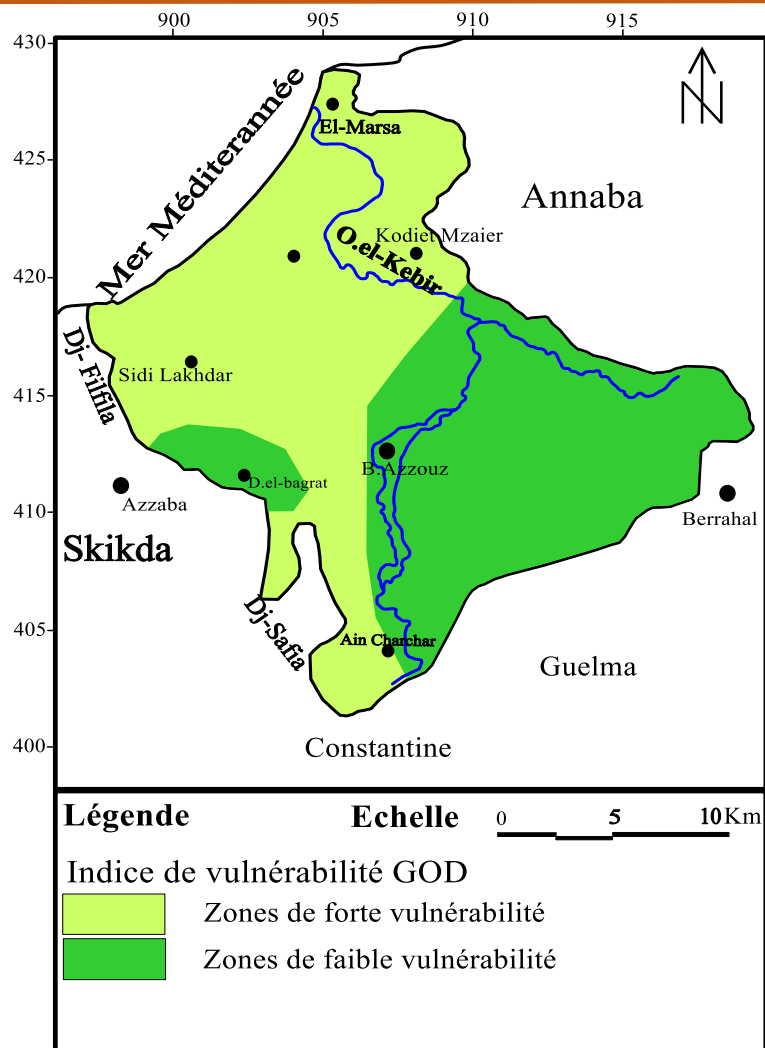


Figure VI.13: Carte de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la plaine de Kebir Ouest par la méthode GOD

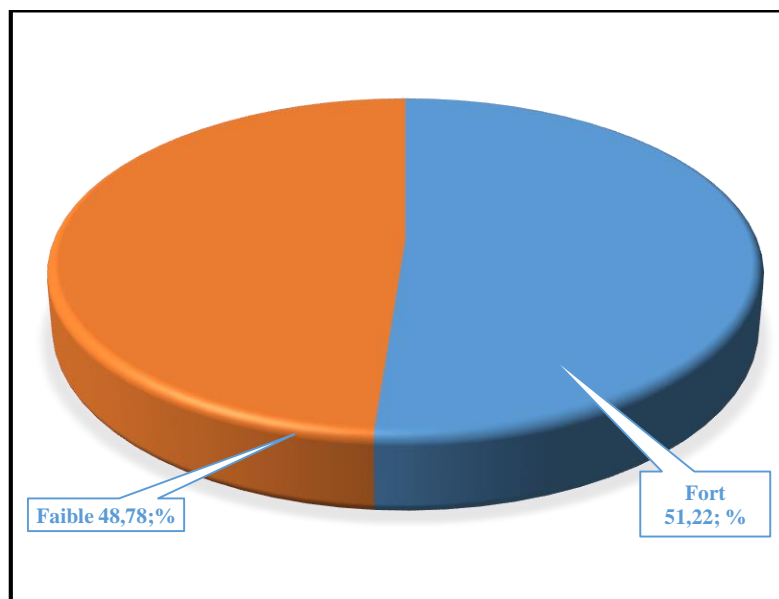


Figure VI. 14 : Répartition des degrés de vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la plaine de Kebir Ouest

III.3 Discussion des résultats

L'application des méthodes DRASTIC et GOD pour le calcul des indices de vulnérabilité à la pollution et la réalisation des cartes de vulnérabilité dans la plaine de Kebir Ouest nous révèle des résultats qui sont presque homogène et proches.

Tableau VI.8 : Pourcentage des superficies selon les classes de vulnérabilité

Résultat	Méthode appliquée	Superficie %	
		méthode DRASTIC	méthode GOD
Classe à vulnérabilité faible		47,43 %	48,78 %
Classe à vulnérabilité fort		52,57 %	51,22 %

Les différences peuvent être due à la méthode elle-même, où la première méthode est basée sur sept paramètres chacun a un poids vari de 1 à 5 et une cotation de 1 à 10, cette classification changera certains résultats, surtout si nous n'avons pas de numéro de cotation spécifique (comme exemple : un sol formé de mélange de sable et d'argile qui n'a pas de cote), où nous sommes forcés de faire une approche (interpolation) entre les cotations. Même la deuxième méthode semble insuffisante pour étudier la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines, en s'appuyant seulement sur trois paramètres, qui sont le type de l'aquifère, sa profondeur et sa lithologie, La négligence de certains autres facteurs tels que la précipitation et la perméabilité peut entraîner des erreurs dans le calcul et l'estimation de l'impact de la pollution sur les nappes souterraines.

Ces études ne sont que des estimations, car le calcul du niveau d'exposition à la pollution dépend de nombreux paramètres naturels qui changent de temps à autre, et chaque changement affectera les résultats de recherche.

IV. CAUSES DE LA VULNÉRABILITÉ DES EAUX SOUTERRAINES

La plaine de Kebir Ouest, constituée de la superposition de deux aquifères, avec un réservoir superficiel de grande porosité, est naturellement prédisposé aux effets d'apports extérieurs polluants. Les rapports hydrodynamiques directs avec l'oued principal et les activités agricoles qui sont pratiquées dans la plaine et essentiellement sur les dunes, compte tenu des utilisations abusives des engrais ainsi que de l'irrigation irraisonnée et les unités industrielles qui sont implantées principalement au Sud, et les rejets domestiques constituent les facteurs explicatifs de la vulnérabilité à la pollution de la zone d'étude.

Les menaces sur la qualité des eaux souterraines sont ainsi d'ordre naturel et anthropiques.

a. Les causes naturelles

Elles tiennent à :

- La texture de l'aquifère de surface.
- La structure des deux aquifères superposés et communicants entre eux.
- La perméabilité des berges de l'oued El Kebir dans certains secteurs qui permet les échanges nappe de surface – oued ou infero-flux.
- La présence de la cote marine avec une plage alluviale et sédimentaire perméable qui induit l'existence d'un biseau d'eau salée dont la stabilité géographique dépend des pluies et de l'exploitation de l'aquifère.

b. Les causes anthropiques.

Elles sont essentiellement liées à l'usage qui est fait du milieu : agriculture mal conduite et inadaptée, défrichage des dunes, rejets directs dans les oueds des eaux non assainies, des rejets industriels, des décharges et de l'exploitation de sablières.

Tableau VI.9 : principaux pôles de pollution.

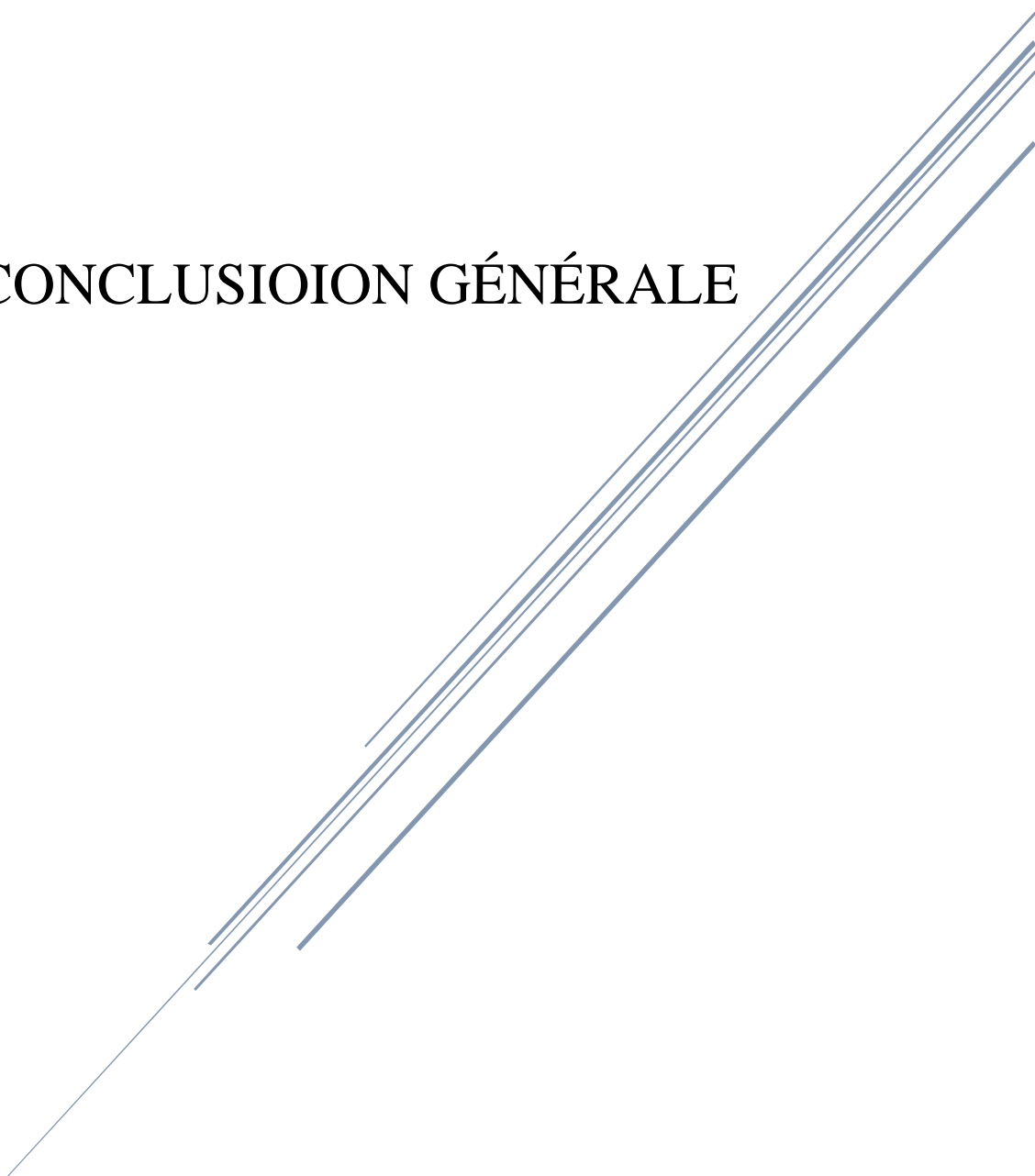
<i>Communes</i>	Situation	Dénomination
<i>Ben Azzouz</i>	Ain Nechma	Conserverie Izdihar (Étatique)
	Boumaïza	Conserverie de tomates et fruits (Privé)
	Ain Nechma	ONAB / alimentation bétail (Étatique)
	Safia (zone éparses)	ENG (Entreprise Nationale de production d'agrégats)
	Ben Azzouz (chef-lieu)	Unité d'élevage de volaille
	Boumaïza	Unité d'élevage de volaille
	Ain Nechma	Unité d'élevage de volaille
	Boumaïza	Briqueterie (récemment réalisée)
	Zaouïa (zone éparses)	Unité de production de viandes et d'élevage bovin
	Oued N'khel	Carrière
<i>Djendel Saadi Mohamed</i>	Bougsaïba	Carrière

Source : Ministère de l'agriculture et du développement rural : direction générale des forêts

V. CONCLUSION

Le calcul des indices de vulnérabilité est une opération très nécessaire, qui nous aide à connaître les régions selon leur degré de pollution. La vulnérabilité intrinsèque des aquifères de la plaine de Kebir Ouest, déterminée par les méthodes DRASTIC et GOD, révèle une tendance à la vulnérabilité fort, cela prouve que les aquifères sont susceptibles d'être menacés localement par l'infiltration des polluants. D'une manière générale, cette tendance à la vulnérabilité fort est suivie par celle de vulnérabilité faible. Il est donc souhaitable de contrôler les zones et les sources de pollution et de faire le suivi des paramètres de pollution, afin de caractériser la sensibilité des aquifères car cette vulnérabilité peut évoluer par les effets conjugués de l'homme et des années pluviales.

CONCLUSIOION GÉNÉRALE



CONCLUSION GÉNÉRALE

La plaine de Kebir Ouest fait partie de l'ensemble géologique de l'Atlas Tellien, une zone caractérisée par sa complexité lithologique et structurale, elle présente une succession d'ensembles structuraux tectoniquement empilés.

La plaine est soumise à un climat méditerranéen, caractérisé par un hiver pluvieux et froid et un été sec et chaud. La moyenne annuelle de la précipitation enregistrée dans la plaine est de l'ordre de 712,32 mm/an, où 16,25 % soit 115,75 mm de cette précipitation représente l'infiltration.

Hydrogéologiquement la plaine de Kebir Ouest englobe quatre nappes principales, où on trouve la nappe captive du sable graveleux au Sud surmontée par une autre libre dans le sable et le gravier aussi. Au Nord il existe une nappe semi-captive dans le gravier, surmontée par la nappe du cordon dunaire de Guerbès. Selon des études antérieures ces nappes d'eaux ont la capacité de stocker une quantité de plus de 300 hm³.

Les analyses physico-chimiques menées sur les eaux de la région révèlent la présence de certains types de pollution dans les eaux de surface ou souterraines, qu'il s'agisse d'origines agricoles, industriels, ou ménagers.

La pollution des eaux est le problème inquiétant pour les chercheurs et les spécialistes du domaine, même les consommateurs ne veulent pas voir de l'eau de robinet polluée, bien qu'ils ne fassent rien contre ce problème, qui sont leur pollueur principal.

La région d'oued Kebir Ouest est une plaine de plus de 1100 km² caractérisée par sa richesse en eau et de diverses espèces rares de flores et faunes, ce qui lui qualifie d'être d'une grande importance, et nécessite une attention particulière, Cela l'a constitué une des zones protégées en vertu de la convention de RAMSAR. Mais la cupidité humaine qui ne cesse pas, a influé sur ces zones, l'exploitation des terres agricoles de façon irrationnellement a conduit à l'impact sur les eaux souterraines, par l'utilisation abusive des engrais. Les unités industrielles aussi jouent le rôle de pollueur lors des rejets de ses déchets dans la nature sans traitement, le même cas pour les rejets domestiques dans l'inexistence des réseaux d'assainissement couvrant toutes les zones habitées et dans ce cas les eaux non assainies vont directement vers les cours d'eaux.

Parmi les problèmes persistent dans la plaine et qui contribuent de manière significative à la pollution des eaux souterraines, le défrichage des dunes et l'exploitation des sablières, ce qui mène à réduire le volume de la zone non saturée qui affecte directement sur la zone saturée.

Cette recherche menée sur la plaine de Kebir Ouest en vue de cartographier les zones vulnérables à la pollution, nous a dégagé la voile sur deux classes dans la plaine. La classe à vulnérabilité fort, elle occupe un peu plus que la moitié de la superficie totale de la plaine cela revient à la nature de sol, la topographie, la profondeur de la nappe, et autres, qui favorisent l'infiltration des polluants vers l'eau souterraines. Et une deuxième classe à vulnérabilité faible qui occupe le reste de la superficie ou ils existent des conditions défavorables à l'infiltration rapide des polluant telle que toujours la nature de sol et la topographie.

L'atténuation de ces menaces ne peut faire appel qu'à une gestion rationnelle du milieu notamment par l'organisation de l'agriculture et l'utilisation des engrais naturels, s'il le faut des engrais chimiques mais de façon rationnelles, par la sensibilisation des agriculteurs, par la surveillance et le traitement des déchets industriels, par la réparation des réseaux d'assainissement et l'implantation d'une unité de traitement des eaux, et des sites d'enfouissement des déchets, par la sauvegarde des plages, la réhabilitation des dunes littorales et de leurs végétations ainsi que par l'entretien de l'oued El Kebir pour harmoniser et faciliter l'écoulement de ses eaux.

Tout cela et plus, afin de maintenir des zones de réputation mondiale, car si elles vont, elles ne retourneront jamais.

« La rareté de l'eau ne tue pas, mais sa pollution »

I. Références bibliographique

- 1- **Aller et al. 1987.** A standardised system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings, Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency Report (EPA/600/2-87/035).
- 2- **Bacha M-R. Boutefnouchet D., 1988.** Estimation des ressources en eaux du massif dunaire de Guerbès – synthèse des données piézométriques- Université de Annaba, Mémoire d'ingénieur 119p.
- 3- **Badra A., (2014).** État de la vulnérabilité à la pollution des eaux des grands réservoirs d'eaux souterraines de la région de Annaba El-Tarf et identification des sites d'enfouissement de déchets - Thèse univ Annaba 2014. 172p.
- 4- **Ben Rabah S 2006.** État actuel des ressources en eau dans la wilaya de Skikda (essai de synthèse) bilan – gestion – perspective mémoire de magister (page 149).
- 5- **Ben Rabah. S, Bousnoubra. H, Kherici. N, Cote. M. (2013).** Caractérisation de la qualité des eaux de l'oued Kebir ouest (Nord Est algérien). (Synthèse 26 : 30- 39).
- 6- **Blondel J et al., 2010.** The mediterranean region. Biological diversity in space and time. Oxford University Press, Oxford, 2nd edition, 376 p.
- 7- **Bouleknafet. Z & Derradji. f. (2017).** Hydrogéologie et Vulnérabilité à la Pollution des Ressources en Eau dans la Plaine du Kebir Ouest. (Synthèse 34 : 85 -94).
- 8- **Brunel M et al., 1988.** Cisaillements synmétamorphiques avec transport vers le Nord-Ouest dans le massif cristallin de l'Edough (Wilaya d'Annaba, Algérie) : une faille normale ductile hercynienne ? C. R. Acad. Sci. Paris, 306, 1039-1045.
- 9- **Castany G 1982.** Principe et méthodes de l'hydrogéologie. Éd DUNOD. 238p.
- 10- **Chaumont M. et Paquin C (1913-1963).** La carte pluviométrique de l'Algérie.
- 11- **Deleau P 1938.** Étude géologique des régions de Jemmapes et Hammam Meskoutine et du Col des Oliviers. 584 p.
- 12- **Deleau P. 1952.** Le pays Constantinois. XIXème Congrès Géologique International. 1ère série : Algérie, n° 13. 83p.
- 13- **Durand D.M., Raoult J.F. & Vila J.M., 1967.** Situation en fenêtre du secondaire du djebel Safia. (Nord Constantinois, Algérie). Paris : Louis-Jean.
- 14- **Durand D. M. 1969.** Mise au point sur la structure du Nord-Est de la Berbérie. Publ. Serv. Géol. Algérie, n°39, 89-131.
- 15- **Fiche descriptive des zones humides Guerbès Sanhadja RAMSAR 2001.**
- 16- **Flandrin 1955.** Étude de l'Ouest de la chaîne Numidique, Algérie 533p.

- 17- Foster 1987.** Concept fondamental dans la stratégie de protection et de risque de pollution de la vulnérabilité des aquifères. Vulnérabilité des sols et des eaux souterraines à la pollution Nordwijk, Pays-Bas, avril.
- 18- Gacem et Refes 1993.** Vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines dans la vallée d'El-Kebir Ouest, Université Badji Mokhtar Annaba, Algérie 80p.
- 19- Garcia N et al., 2010.** The status and distribution of freshwater biodiversity in northern Africa. Éd. IUCN, Gland (Suisse), Cambridge (Royaume Uni) et Malaga (Espagne), 156p.
- 20- Hadj-Saïd S. 2007.** Contribution à l'étude hydrogéologique d'un aquifère en zone côtière : cas de la nappe de Guerbès. Thèse univ Annaba. 215p.
- 21- Hilly J 1962.** Étude géologique du massif de l'Edough et du Cap de Fer. 408 p.
- 22- Hulme M et al., 2001.** African climate change : 1900-2100. Climate Research, vol.17, n°2, p. 45-168.
- 23- Journal Officiel de la R.A.D.P.** N° du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011.
- 24- Khammar C. 1980.** Contribution à l'étude hydrogéologique de la vallée de l'oued Kebir ouest. Wilaya de Skikda. Algérie. Thèse de Doctorat 3e cycle. Grenoble. France. 176p.
- 25- Khammar C.1981.** Contribution à l'étude hydrogéologique de la vallée de l'Oued Kebir Ouest Wilaya de Skikda (Algérie) 110 p.
- 26- Lallemand Barres.** Périmètres de protection des captages d'eau souterraine destinée à la consommation humaine. Manuels & méthodes. Éd BRGM. 334 pages.
- 27- Lemoy C. 1969.** Stratigraphie des Unités Allochtones : Structures et Métamorphisme du Massif de Filfila. Thèse 3ème Cycle, Univ., Nancy
- 28- Marre A. 1992.** Le Telle oriental Algérien de Collo à la frontière Tunisienne. Étude géomorphologique. OPU Alger.
- 29- Ministère de l'agriculture et du développement rural.** Direction générale des forêts. Étude analytique et descriptive Guerbes 330p.
- 30- Morel J et Hilly J. 1956.** Nouvelles observations sur les formations quaternaires dans le département de Bône et particulièrement dans le massif de cap de fer et de l'Edough.
- 31- Murat et al., 2003.** Vulnérabilité à la nappe des aquifères fracturés du sud-ouest du Québec : évaluation par les méthodes DRASTIC et GOD ; commission géologique du Canada, D3, 14 p.
- 32- Perrin C (1969).** Contribution à l'étude géologique du Massif du Filfila (Algérie Nord-Orientale). Stratigraphie et sédimentologie de la série mésozoïque de l'unité inférieure. Thèse 3ème Cycle, Univ., Nancy.
- 33- Raoult J.F (1974).** Géologie de la chaîne Numidique (Nord du Constantinois, Algérie). Mémoire de la société géologique de France n°121.

- 34- Régis Bourrier & Bachir Selmi 2010. Techniques de la gestion et de la distribution de l'eau : 829 p251.
- 35- Riservato E. et al. 2009. statut de conservation et répartition géographique des libellules du bassin méditerranéen.
- 36- Rodier J et al 2009. L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires et eau de mer. 9ème édition. Dunod. Paris.
- 37- Seltzer. P. Climat de l'Algérie de (1913 à 1938).
- 38- STROJEXPORT PRAGUE.1974. Étude géophysique de la plaine de l'oued Kebir Ouest.
- 39- USEPA. L'Agence américaine de protection de l'environnement.
- 40- Vila. J.M 1977. Carte géologique de l'Est algérien.
- 41- Vila. J.M 1980. La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro – Tunisiens. Thèse de doctorat Paris. 665p.
- 42- -Visiter T., (1982). Régularisation de l'oued Kebir Ouest (étude hydrologique). 35 p.

II. Bureaux et organismes

- 1- A.D.E Skikda 2010
- 2- D.R.E Skikda
- 3- D.H.W Skikda
- 4- D.S.A. Direction des Services Agricoles SKIKDA
- 5- Station météorologique de Skikda 2013
- 6- A.N.R.H Skikda
- 7- A.N.R.H Annaba
- 8- A.N.R.H Constantine
- 9- O.N.M 2013
- 10- Direction des Forêts de Skikda