

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار- عنابة

Faculté des sciences de la Terre
Département de Géologie

Année 2008

MÉMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de
Magister

**RESSOURCES EN EAU ET PERSPECTIVES DE GESTION
INTEGREE DANS LE BASSIN VERSANT
D'EL-KEBIR OUEST**

Option

Hydrogéologie

Intitulé

Ressources en eau, gestion intégrée, environnement et le développement durable

Par

BOULKENAFET Zohir

DIRECTEUR DE MEMOIRE : Dr F. DERRADJI M.C Université d'Annaba

DEVANT LE JURY

PRÉSIDENTE: Mme : ASSASSI Fella M.C Université d'Annaba

EXAMINATEURS: Mr : KHERICI Nacer Prof Université d'Annaba
Mr : ZOUINI Derradji M.C Université d'Annaba

Juin 2008

Résumé

Le bassin versant d'el-Kebir Ouest est une région côtière du Nord-Est Algérien, il fait partie du grand bassin constantinois centre, il occupe une superficie de 396 km² situé sur les terres de deux wilaya sont Skikda et Annaba, les caractéristiques géologique et le climat méditerranéen ont permis l'installation de conditions favorables à l'emmagasinement d'une réserve d'eau importante.

Les zones humides de Guerbes - Sanhadja sont des habitats de grandes importance, de part les innombrables variétés de la faune et les différentes espèces de la flore, elles présentent une grande richesse de point de vue hydrologique, écologique, biologique, et touristique.

La région d'étude renferme un système de deux nappes l'une profonde et l'autre libre où la capacité de stockage dépasse 300,85 hm³.

Malgré la grande importance que présente cette zone humide ; elle reste mal exploitée et non protégée. C'est une zone vulnérable qui nécessite une préoccupation permanente, et une utilisation rationnelle de ses ressources à fin d'aboutir à un développement durable.

Mots clés: la plaine de Guerbes, les zones humides, l'eau souterraine, Guerbes Ben Azzouz,

ملخص

بما أن الماء هو العصب المحرك للحياة مهما كان نوعها، فإن الاهتمام بموارده وطريقة تسييره من أكبر تحديات الوقت الراهن. إن الماء لن يختفي عن سطح الأرض مهما حدث، لكن المنابع الطبيعية الصافية، هي التي تتناقص شيئاً فشيئاً وذلك نظراً للطلب المتزايد على المياه الصالحة للشرب بسبب الانفجار الديمغرافي الهائل، بالإضافة إلى التطور الصناعي و الزراعي، الذين أصبحا من أكبر المستهلكين وأكبر الملوثين في نفس الوقت، مما يتطلب التدخل السريع من أجل تنظيم استغلال الموارد المائية للحفاظ على هذه الثروة التي لا تقل أهمية عن باقي الموارد الطبيعية كالغاز والبتروول.

يقع حوض الوادي الكبير الغربي (الجزء الشمالي) في الشمال الشرقي الجزائري محتلا مساحة قدرها 396 كلم² بين ولايتي سكيكده وعنابه، يضم 92324 نسمة(2006).

ورغم صغر مساحة الحوض إلا أنه يشتمل على كميات هائلة من المياه الجوفية (300.85 مليون م³) بالإضافة إلى المياه السطحية سواء كانت جارية والتي تقدر بحوالي 73 مليون م³ سنويا أو مياه راكدة مثل البرك، حيث يوجد 13 بركة ذات مساحات معتبرة والتي تصل مساحة أكبرها إلى 462 هكتار.

إن تحديات العصر الراهن تفرض علينا التحكم الجيد في العوامل الحيوية مثل مصادر الطاقة ومنابع المياه، لأجل ذلك كان من الواجب علينا انتهاج سياسة راشدة تضمن لنا التسيير العقلاني المتكامل والمستديم لهذه المادة الإستراتيجية من أجل إشباع حاجياتنا دون أن نحرّم الأجيال القادمة من حقها في إشباع حاجياتها، وذلك بالحفاظ على المنابع الصافية من التلوث وعدم استنفاد المخزونات الجوفية.

الكلمات المفتاحية: قرباز- بن عزوز، حوض وادي الكبير، المياه الجوفية، التلوث، المناطق الرطبة.

Summarized

We know all that water is very important in our life and lack of water make our life more and more difficult, so without a good water management we can say that the Algerian hydraulic potential will be not able to face the population needs from water drinkable without forgetting it's agricultural use which play an indispensable role in our economic development, our reserve in water knew the important enough fluctuation that have influence on the stability of our resources by decreasing them below the red line, and by polluting the rest.

The organization of the exploitation of our resources in water is primordial in order to preserve our hydraulic heritage that is more important than gas and oil.

Summarized The basin pouring West el-Kebir is an inshore region of the Northeast Algerian, it is part of the big Constantinois basin centers, it occupies a surface of 396 km² situated on the earths of two wilaya which are Skikda and Annabas, the features geological and the Mediterranean climate permitted the installation of conditions favorable to the storage of an important water reserve.

The humid zones of Guerbes - Sanhadjas are habitats of big importance, of part the innumerable varieties of fauna and the different species of flora, they present a big wealth of point of view hydraulic, ecological, biologic, and tourist.

The region of survey contains a system of two tablecloths one deep and the free other where the capacity of storage passes 300,85 hm³.

In spite of the big importance that present this humid zone; it remains exploited male and non protected. It is a vulnerable zone that requires a permanent preoccupation, and an use rational of its resources to end to succeed to a lasting development.

The bad management of water risks making us loses our reserve.

Key words: the plain of Guerbes, the humid zones, the underground water, Guerbes Ben Azzouz,

Au nom de dieu le miséricordieux clément

Au premier lieu et à la fin de ce travail; j'adresse mes sincère remerciements au grand et bon dieu qui ma donné la force et la volonté pour arriver à ce niveau.

Mes remerciements particuliers s'adressent à monsieur EL-FADEL DERRADJI maitre de conférence à l'université d'Annaba qui a accepté de m'encadrer et de me diriger, et qui n'a jamais épargner effort où conseil, pour réaliser ce travail.

Je voudrais également remercier Madame F. ASSASSI maitre de conférence à l'université d'Annaba, d'avoir accepté d'examiner ce travail et de présider le jury qui va le débattre.

Mes profondes et vives gratitudes vont aussi à monsieur N. KHERICI professeur à l'université d'Annaba pour sa gentillesse, et ses conseils durant plusieurs années d'enseignement à la graduation et au poste graduation, et pour accepter d'être examinateur de mon travail.

Mes remerciements s'adressent aussi à monsieur D. ZOUINI maitre de conférence à l'université d'Annaba pour toutes les discussions enrichissantes qu'on a eu pour élaborer ce mémoire.

Je tien à remercier les enseignants de département de géologie ainsi que les administrateurs.

Avant de mettre fin à cette recognition je dois remercier tous les amis et collègues chacun par son nom pour les bon moments qu'on a passé ensemble,

Finalement, et si par inattention j'ai oublié quelqu'un, qu'il me pardonne et qu'il soit remercié.

CHAPITRE I : Caractéristiques naturelles

I. Situation géographique.....	4
II. Cadre géologique.....	5
II.1. Introduction.....	5
II.2. Stratigraphie.....	6
II.2.1. Les kabyrides.....	6
II.2. 2. Les ultras kabyrides.....	7
II.2. 3. Les roches syn et post orogènes.....	7
II.2.4 Chaine calcaire.....	9
II.3. Tectonique.....	13
II.3.1. Structure autochtone.....	13
II.3.2. Structure para-autochtone.....	13
II.3.3. Structure allochtone.....	15
II.3.4. Ensemble lithologique et formations superficielles.....	16
II.3.5. Conclusion.....	17
III. Géomorphologie.....	18
III.1. Massifs de bordure.....	18
III.2. Vallée de l'oued el-Kebir Ouest.....	18
III.3. Massif dunaire.....	18
III.4. Les Terrasses.....	19
III.5. Colluvions.....	19
III. 6. Éboulis.....	19
III.7. Marécages.....	19
III.8. Cote.....	20
III.9. Plage.....	20
III.10. Massif Karstique.....	20
III.11. Formes d' érosion.....	20
IV. Analyse morphometrique.....	21

IV.1. Caractéristiques morphométriques.....	21
IV.1.1. Caractéristiques de disposition dans le plan.....	21
IV.1.2. Caractéristiques hypsométriques.....	22
IV.1.3. Les indices de pente.....	23
IV.2. Le réseau hydrographique.....	25
IV.2.1. Caractéristiques du réseau hydrographique.....	25
IV.2.2. Conclusion.....	30
V. Tapis végétal.....	32
Introduction.....	32
V.1. Le domaine agricole.....	33
V.1.1. Les terrains agricoles.....	33
V.1.2. Les terrains arboricoles.....	33
V.1.3. L'olivier.....	34
V.2. La végétation naturelle.....	34
V.2.1. Les forêts et les maquis.....	34
V.2.2. Le reboisement.....	35
V.2.3. Terrains nus.....	35
V.3. Autre occupation.....	35
V.3.1. Les lacs et les marais.....	35
V.3.2. Le tissu urbain.....	35
VI. Conclusion.....	36

CHAPITRE II : Étude Hydroclimatologique

1	Introduction.....	38
2	Le climat et l'eau en Algérie.....	38
3	Paramètre climatologique.....	38
3.1	Précipitation.....	39
3.1.1	Répartition annuelle des précipitations.....	40
3.1.2	Répartition mensuelle des précipitations.....	41
3.1.3	Représentation saisonnière des précipitations.....	42
3.1.4	Estimation de la lame d'eau moyenne précipitée.....	43
	A. Méthode des Isohyètes.....	43
	B. Méthode Arithmétique.....	43
	C. Méthode de THIESSEN.....	44
3.2.	Température.....	45
3.2.1	Relation Température – Précipitation.....	47
	1. Le diagramme pluviothermique.....	47
	2. La courbe pluviothermique.....	47
	3. Détermination d'humidité du sol (méthode d'EUVERTE)....	48
3.3	L'humidité relative.....	49
3.1.	Le vent.....	50
4	Le régime climatique.....	50
	a) Indice de MARTONNE.....	50
	b) Climagramme de L. EMBERGER.....	51
	c) Climatogramme de PEGUY.....	52
5	Le bilan hydrique.....	53
5.1	Estimation de l'évapotranspiration.....	53
5.2	Calcul de l'ETR.....	55
5.3	Méthode du bilan hydrique de THORNTHWAITE.....	57
5.4	Discussion des résultats.....	60
5.5	Calcul de l'infiltration.....	61
6	Conclusion.....	61

Chapitre III: Hydrogéologie

1. Introduction.....	64
2. Géométrie des aquifères.....	64
2.1 Caractéristiques hydrogéologiques des formations aquifères.....	64
2.2 Les formations perméables.....	65
2.3 Les formations imperméables.....	66
2.4 Conclusion.....	66
3. Piézométrie.....	66
3.1 Introduction.....	66
3.2 Inventaire des points d'eau.....	66
3.3 Commentaire des cartes piézométriques.....	67
3.4 Interprétation des cartes piézométriques.....	69
3.5 Conclusion.....	70
4. caractéristiques hydrogéologiques.....	71
4.1 Première coupe A.....	71
4.2 Deuxième coupe B.....	72
5. Caractéristiques hydrodynamiques.....	73
5.1 Introduction.....	73
5.2 Caractéristiques hydrodynamiques.....	73
5.2.1 Définition des caractéristiques hydrodynamiques.....	73
5.2.2 Détermination des caractéristiques hydrodynamiques.....	74
1) La transmissivité.....	75
2) La perméabilité.....	75
3) Le coefficient d'emménagement.....	76
5.2.3 Estimation de la réserve en eau.....	76
6. Carte des conditions aux limites.....	76
7. Conclusion.....	77

Chapitre IV : QUALITÉ DES EAUX

I. Introduction.....	81
II. Paramètres physico-chimique des eaux.....	81
II. 1. Paramètres physiques.....	81
II. 1. 1. Température.....	81
II. 1. 2. Le potentiel hydrogène (pH).....	82
II. 1. 3. La conductivité.....	82
II. 1. 4. Minéralisation.....	85
II. 1. 5. Dureté totale où degré hydrotimétrique (DH).....	85
II. 2. Paramètres chimiques.....	85
II. 2. 1. Les cations.....	85
A) Le calcium (Ca^{++}).....	85
B) Le magnésium (Mg^{++}).....	86
C) Le sodium et le potassium ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$).....	86
II. 2. 2. Les Anions.....	86
A) Les chlorures (Cl^-).....	86
B) Les sulfates (SO_4).....	87
C) Les bicarbonates (HCO_3).....	87
II. 2. 3. Conclusion.....	87
II. 3. Étude de valeurs relatives.....	88
II. 3. 1. Indice d'échange de base.....	88
II. 3. 2. Rapports caractéristiques.....	88
III. Classification des eaux.....	89
III. 1. Classification de Stabler.....	89
A) Faciès bicarbonaté.....	89
B) Faciès sulfatés.....	90
C) Faciès chloruré.....	90
III. 2. Classification de PIPER.....	91
III. 3. Conclusion.....	92
IV. Potabilité des eaux.....	92
V. Qualité des eaux pour l'irrigation.....	93
V. 1. Introduction.....	93
V. 2. Méthode de SAR.....	93
V. 3. Conclusion.....	94
VI. Conclusion générale.....	95

Chapitre V: Gestion des ressources en eau

I. Introduction.....	97
II. Mobilisation des ressources en eau.....	98
1. Les eaux de surface.....	98
2. Les eaux souterraines.....	98
III. Estimation des besoins en eau.....	101
III.1 Besoins en eau domestiques.....	101
III.1.1 Répartition de la population actuelle (2007).....	101
III.1.2 Estimations des besoins en eau actuelles.....	103
III.1.3 Évaluation des besoins futurs en eau potable.....	105
III.2 Besoins en eau pour l'industrie.....	106
III.3 Besoins en eau pour l'irrigation.....	107
III.3.1 Introduction.....	107
III.3.2 Évolution de la superficie irriguée.....	108
III.3.3 Ressources et modes d'irrigation.....	109
III.3.4 Estimation des besoins futurs en eau d'irrigation.....	109
III.3.5 Le barrage de Zit Emba.....	111
III.3.6 Le périmètre en cours de Zit Emba.....	111
IV. Conclusion.....	115

Liste des tableaux

Chapitre: I

Tableau : N°.I.1. Colonne lithostratigraphique et hydrogéologique de la région de Gerbes.....	12
Tableau : N°.I.2. Répartition des différents types de roches dans le bassin de l'oued Kebir Magroun.....	17
Tableau : N°.I.3. Répartition altimétrique du sous bassin versant	22
Tableau : N°.I.4. Répartition des altitudes dans le sous bassin d'oued el-Kebir Ouest.....	23
Tableau : N°.I.5 Répartition des superficies par tranche d'altitude à el-Kebir Ouest.....	24
Tableau : N°.I.6. Longueurs et nombre des cours d'eau dan l'oued el- Kebir Ouest.....	27
Tableau : N°.I.7. Longueurs des principaux oueds dans le bassin Kebir Ouest.....	29
Tableau : N°.I.8. Principales garâats dans le bassin versant d'oued Kebir Ouest.....	30
Tableau : N°.I.9. Récapitulation des caractéristiques physiographique du bassin versant d'oued el-Kebir.....	31
Tableau : N°.I.10. Répartition des types de végétations.....	32

Chapitre: II

Tableau : N°.II.1. Références des stations pluviométriques.....	39
Tableau : N°.II.2. Représentation saisonnière des précipitations.....	42
Tableau : N°.II.3. La température moyenne mensuelle série SELTZER.....	45
Tableau : N°.II.4. La température moyenne mensuelle à la station de Skikda.....	45
Tableau : N°.II.5. Relation température précipitation.....	48
Tableau : N°.II.6. Répartition des régimes selon la méthode d' Heuverte.....	48
Tableau : N°.II.7. Humidité relative moyenne mensuelles à la station de Skikda.....	49
Tableau : N°.II.8. Vitesse du vent à la station de Skikda.....	50
Tableau : N°.II.9. Calcule de l'ETP selon Thornthwaite.....	54

Tableau: N°.II.10. Bilan de Thornthwaite.....	57
Tableau: N°.II.11. Valeurs de l'évapotranspiration obtenues par les différentes méthodes.....	60

Chapitre: IV

Tableau: N°.IV.1. Classification des eaux en fonction de la conductivité selon l'O.M.S.....	83
---	----

Chapitre: V

Tableau : N°.V. 1 Les retenues collinaires dans le bassin versant d'el-Kebir Ouest.....	99
Tableau : N°.V. 2 Potentialité des ressources en eau souterraines dans le bassin versant.....	100
Tableau : N°.V. 3 Répartition spatiale de la population dans le bassin versant.....	103
Tableau : N°.V. 4 Besoins en eau actuelle dans le bassin versant d'el-Kebir Ouest.....	105
Tableau : N°.V. 5 Évolution de la population par commune à el-Kebir Ouest.....	106
Tableau : N°.V. 6 Besoin en eau pour l'industrie.....	107
Tableau : N°.V. 7 État actuelle en eau d'irrigation.....	108
Tableau : N°.V. 8 Mode d'irrigation et les ressources en eau.....	110
Tableau : N°.V. 9 État de GPI à el-Kebir Ouest.....	110
Tableau : N°.V. 10 Superficie irrigable et demande en eau d'irrigation.....	110
Tableau : N°.V. 11 Débit des sous bassins versants de la plaine de Guerbes.....	113

Liste des figures

Chapitre: I

Figure : N°.I.1. Situation géographique du bassin d'el-Kebir Ouest.....	4
Figure : N°.I.2. Carte géologique de la région de d'étude el-Kebir.....	10
Figure : N°.I.3. Coupe géologique à travers oued.....	11
Figure : N°.I.4. Le réseau hydrographique dans le bassin de Kebir Magroun.....	26
Figure : N°.I.5. Longueur des principaux oueds dans le bassin de Kebir.....	28
Figure : N°.I.6. Répartition des types de végétations dans l'oued el - Kebir Ouest.....	33

Chapitre II

Figure: N°.II.1. Répartition annuelle des précipitations (1970-2006).....	40
Figure: N°.II.2. Répartition annuelle des précipitations (1970-2006).....	41
Figure: N°.II.3. Moyennes mensuelles des précipitations (1970-2006).....	41
Figure: N°.II.4. Moyennes saisonnière des précipitations (1970-2006).....	42
Figure: N°.II.5. Série de la station de Skikda.....	45
Figure: N°.II.6. Série de P.SELTZER.....	46
Figure: N°.II.7. Diagramme pluviothermique de la station de Skikda (1970 -2006).....	47
Figure: N°.II.8. Humidité moyenne mensuelle (station de Skikda).....	49
Figure: N°.II.9. Climagramme d'Emberger à la station de Skikda.....	51
Figure: N°.II.10. Climatogramme de Peguy.....	52
Figure: N°.II.11. Abaque de Wundt modifiée par Coutagne.....	56
Figure: N°.II.12. Représentation graphique du bilan d'eau à la station de Skikda (1970/06).....	58
Figure: N°.II.13. Le bilan d'eau selon Thornthwaite à la station de Skikda (1970/2006).....	59

Chapitre: III

Figure : N°.III.1. Carte piézométrique Avril 2003.....	68
Figure : N°.III.2. Coupe hydrogéologique à travers la vallée de Kebir Ouest.....	71
Figure : N°.III.3. Coupe hydrogéologique à travers la vallée de Kebir Ouest.....	72
Figure : N°.III.4. Courbe de rabattement dans la plaine de Guerbes.....	75
Figure : N°.III.5. Carte des conditions aux limites de l'aquifère de Guerbes.....	78

Chapitre: IV

Figure : N°.IV.1. Carte de répartition spatiale de conductivité.....	84
Figure : N°.IV.2. Représentation graphique des eaux d'après PIPER.....	91
Figure : N°.IV.3. Classification des eaux d'irrigation SAR d'après Richards.....	94

Chapitre: V

Figure : N°.V.1 Mobilisation des ressources en eau souterraine.....	100
Figure : N°.V.2 Répartition des eaux mobilisées par secteurs.....	101
Figure : N°.V.3 Ressources en eaux mobilisées dans le bassin d'el-Kebir Ouest.....	101
Figure : N°.V.4 Répartition spatiale de la population à el-Kebir Ouest	102
Figure : N°.V.5 Besoins en eau actuelle dans le bassin versant d'el-Kebir Ouest.....	104
Figure : N°.V.6 Estimation des besoins futur en eau potable	107
Figure : N°.V.7 Évolution de la superficie irriguée de 1990 à 2003.....	109
Figure : N°.V.8 Différent types de cultures de 1990 à 2003.....	109
Figure : N°.V.9 Grand périmètre irrigué à el-Kebir Ouest.....	111
Figure : N°.V.10 Les différents périmètres en différents horizons.....	114
Figure : N°.V.11 Renforcement de la retenue d'oued Enkouche.....	115
Figure : N°.V.12 Projet de transfert depuis Zit Emba vers Skikda.....	115
Figure : N°.V.13 Répartition des eaux mobilisée en pourcentage par utilisateur.....	116
Figure : N°.V.14 Vue général dans le bassin el-Kebir.....	117

Introduction

Penser globalement et agir localement

Y'a-t-il une personne dans ce monde qui doute que l'eau est la vie ?

S'il n'y avait bientôt plus assez d'eau pour que la vie continue comme avant ?

Si l'on venait à manquer d'eau ? Qu'est-ce que cela signifie ?

Si le changement climatique pourrait bien à l'avenir modifier certains équilibres du cycle hydrologique. Qu'est ce qu'on doit faire pour préserver les ressources naturelles de l'eau pour nous et pour les générations futures ?

L'eau douce ne va pas disparaître globalement de la surface de la terre, Mais il y aura de moins en moins de nouvelles ressources naturelles disponibles pour subvenir à des demandes toujours croissantes.

Il est devenu nécessaire et urgent de trouver des réponses pour toutes ces questions et autres, en Algérie nous sommes menacés par le problème de pénurie d'eau, avec un seuil inférieur aux normes internationales (1000 m³/hab/an), malgré les apports importants de quelques cours d'eau. Pour cela une nouvelle politique de l'eau a été mise en place, basée sur une nouvelle conception de gestion intégrée des ressources en eau (GIRE), dont l'unité principale de cette gestion est le découpage géographique appelé bassin versant, et cela pour une meilleure mobilisation et bonne gestion des ressources de chaque bassin.

Les eaux souterraines représentent une excellente source d'approvisionnement en eau potable. Le filtre naturel constitué par les matériaux géologiques produit le plus souvent une eau de bonne qualité, leur exploitation présente des avantages économiques appréciables, car elle ne nécessite que peu de traitement et parfois même aucun. Le maintien de cet avantage nous oblige de préserver de façon durable la qualité de cette ressource.

La gestion intégrée de l'eau par bassin versant est un processus qui favorise la gestion coordonnée de l'eau et des ressources connexes à l'intérieur des limites d'un bassin versant en vue d'optimiser, de manière équitable, le bien-être socio-économique qui en résulte, sans pour autant compromettre la pérennité des écosystèmes vitaux. La gestion intégrée de l'eau par bassin versant est donc un concept très large. Par conséquent, chaque pays l'applique en l'adaptant selon la nature et l'intensité des problèmes liés à l'eau, les ressources humaines, les capacités institutionnelles, les forces et les caractéristiques relatives des acteurs de l'eau, le paysage culturel et les conditions naturelles qui lui sont propres.

La région d'étude est une plaine côtière du Nord –Est Algérien, située entre Skikda et Annaba, c'est un bassin versant qui ne dépasse pas les 400 Km² en superficie, caractérisé par un réseau hydrographique dense, composé de deux grands oueds, oued el-Kebir Ouest et oued Magroun, plus huit autres oueds de moindre importance. Il débouche sur la plage de la Marsa. La précipitation moyenne annuelle calculée sur le bassin versant d'el-Kebir Ouest est estimée à 741,69 mm, cette lame d'eau sert à alimentée les plans d'eau superficielles (les garâats), et à la recharge des nappes souterraines.

Cette région représente aussi un des sites les plus importants, grâce à sa richesse floristique et faunistique et de même de son milieu physique.

L'objectif de cette étude est de collecter le plus grand nombre d'information concernant l'eau dans la zone pour mettre en place finalement un plan directeur de l'eau (PDE). Ce dernier représente un ouvrage de référence en ce qui concerne l'eau dans la région. Et pour la mise en place de ce PDE on a élaboré ce présent travail qui s'articule sur les chapitres suivants :

1. Chapitre I : Caractéristiques naturelles

Dans ce chapitre on a parlé sur la géographie, la géologie, la géomorphologie, l'analyse morphométrique, et enfin le tapis végétal.

2. Chapitre II : Étude hydrogéologique

Où on a parlé sur le climat et l'eau en Algérie, les paramètres climatologiques, le régime climatique, en finalisant par le calcul du bilan hydrique.

3. Chapitre III : Hydrogéologie

Destiné à la description de la géométrie des aquifère, la piézométrie, les caractéristiques hydrogéologiques et hydrodynamiques, et enfin la carte des conditions aux limites.

4. Chapitre IV : Qualité des eaux

Pour connaître la qualité des eaux de la région on a étudié les paramètres physico – chimiques, la classification, la potabilité, et dernièrement la qualité de cette eau pour l'irrigation.

5. Chapitre V : Gestion des ressources en eau

Le dernier chapitre est consacré pour l'étude des ressources en eau mobilisées et mobilisables, en calculant les besoins actuels et futurs pour chaque utilisateur, et l'essai d'une mise en place d'un PDE pour gérer cette eau équitablement et sans gaspillage.

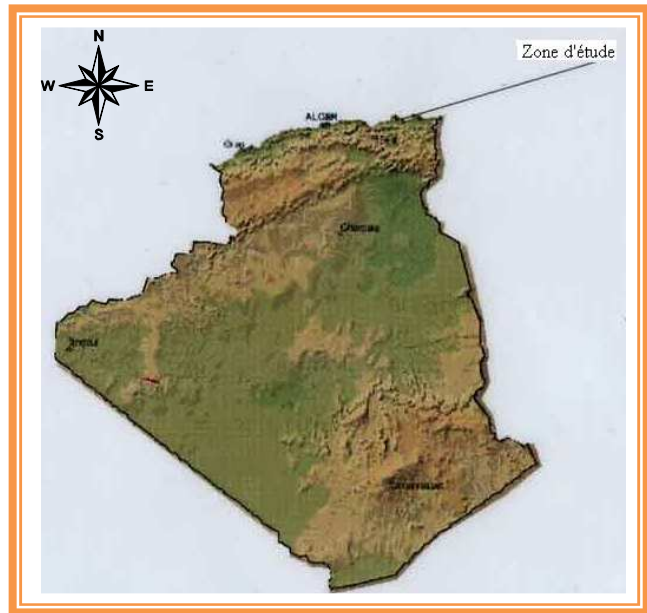
chapitre I

Caractéristiques naturelles

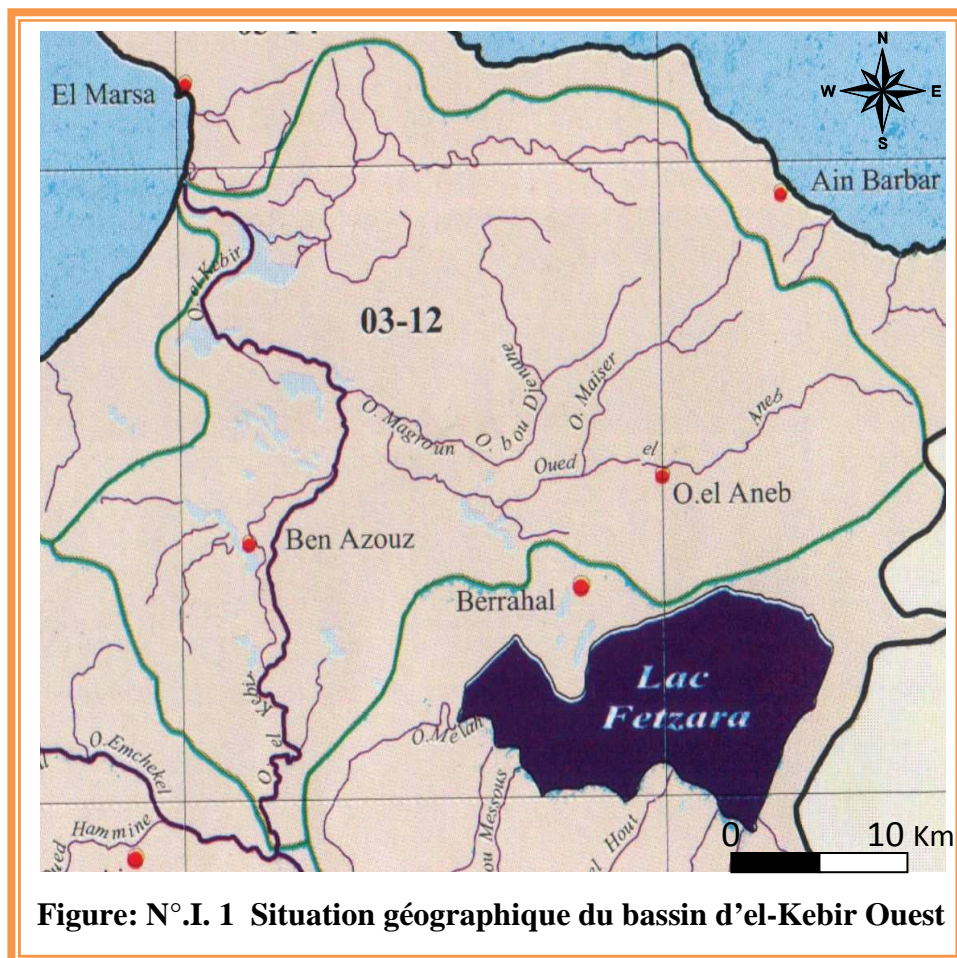
I. Situation Géographique

La région d'étude se situe dans la partie Nord-Est de l'Algérie, à environ 40 Km de Skikda, 60 Km d'Annaba et de 90 Km de Constantine, dans la partie orientale de l'atlas tellien,

Cernée par le massif de l'Edough au Nord Nord-Est et le massif de Fil-Fila au Nord Nord -Ouest, la mer Méditerranée au Nord, le massif de Boumaiza au Sud Sud- Est et de djebel Safia au Sud Sud- Ouest.



Le secteur d'étude est limité entre les longitudes $7^{\circ},10'$ et $7^{\circ},38'$ Est et les latitudes $36^{\circ},46'$ et $37^{\circ},05'$ Nord



II. Cadre géologique de la région

II.1. Introduction

Le territoire de l'étude appartient à la zone alpine de l'Afrique du Nord. Un ouvrage est le plus complet, reflétant le mieux l'état de connaissance actuel de territoire et faisant le point de l'analyse des structures et de compartimentage de la région est dû à Mr Durand Delga (1969).

La synthèse des travaux nous permet de conclure que :

La composition de la région d'étude est déterminée par l'existence d'ensemble autochtone, para-autochtone et allochtone occupant chacun une position bien définie dans la structure.

Les ensembles structuraux distingués se caractérisent chacun par leur propre allure tectonique et se reposant individuellement par des contacts anormaux où des discordances.

Cette étude géologique nous a permis de distinguer les unités géologiques suivantes :

1. Les kabyldes

Regroupent autochtone précambrien, le para-autochtone de la chaîne calcaire et l'allochtone métamorphique du paléozoïque inférieur transgressé par le flyscholigocène kabyle.

2. Les ultra- kabyldes

Regroupe le flysch à microbrèches et à nummulites et le flysch numidien.

3. Les roches syn et post orogène

Ce sont des formations mio-pliocènes et essentiellement quaternaires, ces derniers constituent des remblaiements de la vallée d'oued el-Kebir qui présente un fossé d'effondrement le long de la faille supposée Nord - Ouest, Sud - Est.

II.2. La stratigraphie

La région d'étude est composée de plusieurs formations lithologiques dont la plus dominante est celle du quaternaire parce qu'elle occupe la plus grande superficie de la région.

1. Les kabyliques

A. Les roches métamorphiques de l'autochtone précambrien

Constituées essentiellement de schistes cristallins à biotites, muscovite feldspath, actinolite, sericite dont la puissance dépasse 1000 m.

Ce précambrien affleure dans le massif de Boumaiza mais ne permet pas d'établir la succession stratigraphique des différents schistes cristallins.

Ces roches métamorphiques sont envahies par des sables rouge dans la partie Nord - Ouest et les alluvions récentes dans la vallée de l'oued Magroun, et dans la partie Nord -Est.

B. Les roches métamorphiques de cambro – ordovicien

Ces roches sont accessibles au Sud - Ouest de Kef Siada et dans la zone de Dem el- Bagrat le long de la route passant par cette agglomération dirigeant vers la plage de Guerbes.

Ces formations sont constitués de schistes sericito-chloritique mais présentant un moindre métamorphisme.

Comparativement aux roches métamorphiques du Précambrien, elles surplombent un important colluvium dissimulé en grand partie par une broussaille très dense et par une végétation de chaine liège ne facilitant pas l'accès.

A la base de cette série Paléozoïque inférieure affleurent des séricito-schistes gris bleuâtres à schistosité très accusée avec intercalation de petite lentille de quartzites brunâtres ainsi que des couches d'arkoses et de grauwackes vers les niveaux supérieurs sericito-schistes, chlorito-schistes, phyllades de teintes verdâtres et grés métamorphiques avec une variété plus grossière de micro-poudingue traduisant une diversité lithologique.

C. Oligocène transgressifs (faciès kabyles)

Ce faciès kabyle transgresse en discordance angulaire sur les roches métamorphiques. Il débute par des calcaires à épido-cyclines et myo-psynoides du chattein.

Tandis que les marnes sableuses et les poudingues appartiennent à l'Oligocène terminal et s'étendent jusqu'au Miocène.

D. Les sédiments de la chaîne calcaire

Elle affleure au djebel Safia, cette formation est constituée de calcaire dolomitique du Lias sur la quelle repose en discordance une série flyschoise de l'Albo- Aptien.

Des dolomies massives d'une épaisseur de 80 m datées du Rhetien inumérien affleurent à l'extrémité du Sud-Est de Koudiat Embarek.

Elle est surmontée par des calcaires blanc à gris d'âge lotharingien – Kimmeridgien d'épaisseur de 200 m qu'on observe à Koudiat si Messaoud et Koudiat El- Hadjar.

Le Néocomien occupe la zone basse, discordant sur les terres inférieures, il affleure sous forme de calcaire marneux pyriteuses.

2. Les ultras kabyliques

A. Flysch- oligocène

Affleure au Nord - Ouest de la dépression de la vallée de l'oued el-Kebir et constitue le premier flysch de recouvrement ultra- kabyle, il présente une alternance d'argilites, aleurolite, marnes des lits de calcarenites des brèches calcaires à mumilithes.

B. Flysch – numidien

Ce flysch numidien est constitué à la base soit par des argilites bigarrées, soit par des marnes sableuses que surmontent des grès quartzeux, il se répand à kef Siada à l'Ouest, Nord - Ouest de la dépression alluviale et repose sur la nappe de recouvrement du flysch oligocène kabyle et sur les roches métamorphiques.

Ce flysch numidien appartiendrait à l'Oligocène vu la présence des arénacés et quelques globigérines de 400 m de puissance. (Durand Delgha 1960).

3. Les roches syn et post orogènes

A. Le Pliocène

Il affleure sous forme de marnes grises à jaune très sableuses, dans la partie Nord-Est à Ain Delia et Sidi Bouzid à la proximité de Koudiat l'Ebourrall, il est recouvert par les sédiments Quaternaires.

B. Le Quaternaire

a) Du Quaternaire ancien au Pléistocène

➤ Travertin

Affleure sous forme d lambeau de 100 m de largeur sou les sables rougeâtres au Sud-Est de Dem el- Begrat, il et extrêmement poreux, c'est le sédiment Quaternaire le plus ancien de la vallée de l'oued el-Kebir.

➤ Les grés de dunes

Composés de grains de quartz et d'hydroxyde de fer, ces grés dunaires s'observent de façon très générale dans la zone de sidi Lakhdar et le lit de l'oued Dissya et le long du littoral de la vallée de l'oued el-Kebir. Ces formations sont prises dans un ciment argilo- calcaire.

b) Colluvium

Ce Colluvium est constitué de sable, argile et éboulis de pente, il s'est formé au Pléistocène et pendant l'Holocène, il se localise tout le long de contrefort ouvert de la vallée de l'oued el-Kebir selon un alignement Sud-Est, Nord – Ouest.

c) Le sable rougeâtre (Holocène)

On les observe dans la vallée de l'oued el-Kebir au pied du massif métamorphique de Boumaiza et Koudiat el- Aneb à l'Ouest. Le sable est mélangé a des fragments de schistes et à des sédiments sablo-argileux qui date de l'Holocène.

d) Le sable blanc des dunes

Ce sable existe dans la partie littorale, transporté par le vent, il occupe une orientation Nord - Ouest Sud-Est, avec quelques kilomètres de longueur sur 500 m de largeur et une hauteur moyenne de 100 m.

Ce sédiment est formé dans la période de régression poste thyrbenienne où des lames à double tranchant datant de l'Achilléen ont été découvertes par (H. Morel 1966).

A la limite Nord - Ouest, et à proximité de la plage de Guerbes, on observe le profil suivant de bas en haut :

- Grés des dunes d'une puissance d' 1 m.
- Sable rouge de 2 m.
- Grés des dunes de 4 m.
- Sable blanc récent des dunes

e) Alluvium

Ces dépôts sont constitués de galets, calcaires, graviers, sables, et argiles, parfois mêlé à des fragments de schistes. Ils sont assez importants dans la vallée de l'oued entre le massif cristallophyllien de Boumaiza et complexe Lias Crétacé de djebel Safia. Cette formation présente un granoclassement (matériel grossier) au débouche de l'oued, dans la plaine, et devient de plus en plus fin tout en dirigeant vers Ain Nechma.

f) Marais permanents et périodiques

Ces étendues couvrent une superficie de 10 km² et représentent des zones à forte évaporation. Leur niveau est maximum en hiver et minimum en période sèche.

4. Chaine calcaire

La chaine calcaire affleure à djebel Safia et se développe de l'Ouest à l'Est de sidi Driss au Sud de Collo et s'étend jusqu'au Sud de Cap de Fer

Cette formation est constituée de calcaire dolomitique du Lias sur laquelle repose en discordance une série flyschoides de l'Albo – Aptien.

• **l'Albo – Aptien**

S'étend le long du versant Est et Ouest de djebel Safia. Il se compose d'un matériel flyschoides comportant des argiles et des grés quartzeux.

• **Néocomien**

Il affleure dans les zones basses sous forme de calcaire marneux à ammonite pyriteuse.

• **Lotharingien – toarcien**

Il occupe l'extrémité Sud – Est de koudiet Embarek sous forme de dolomies massives grises.

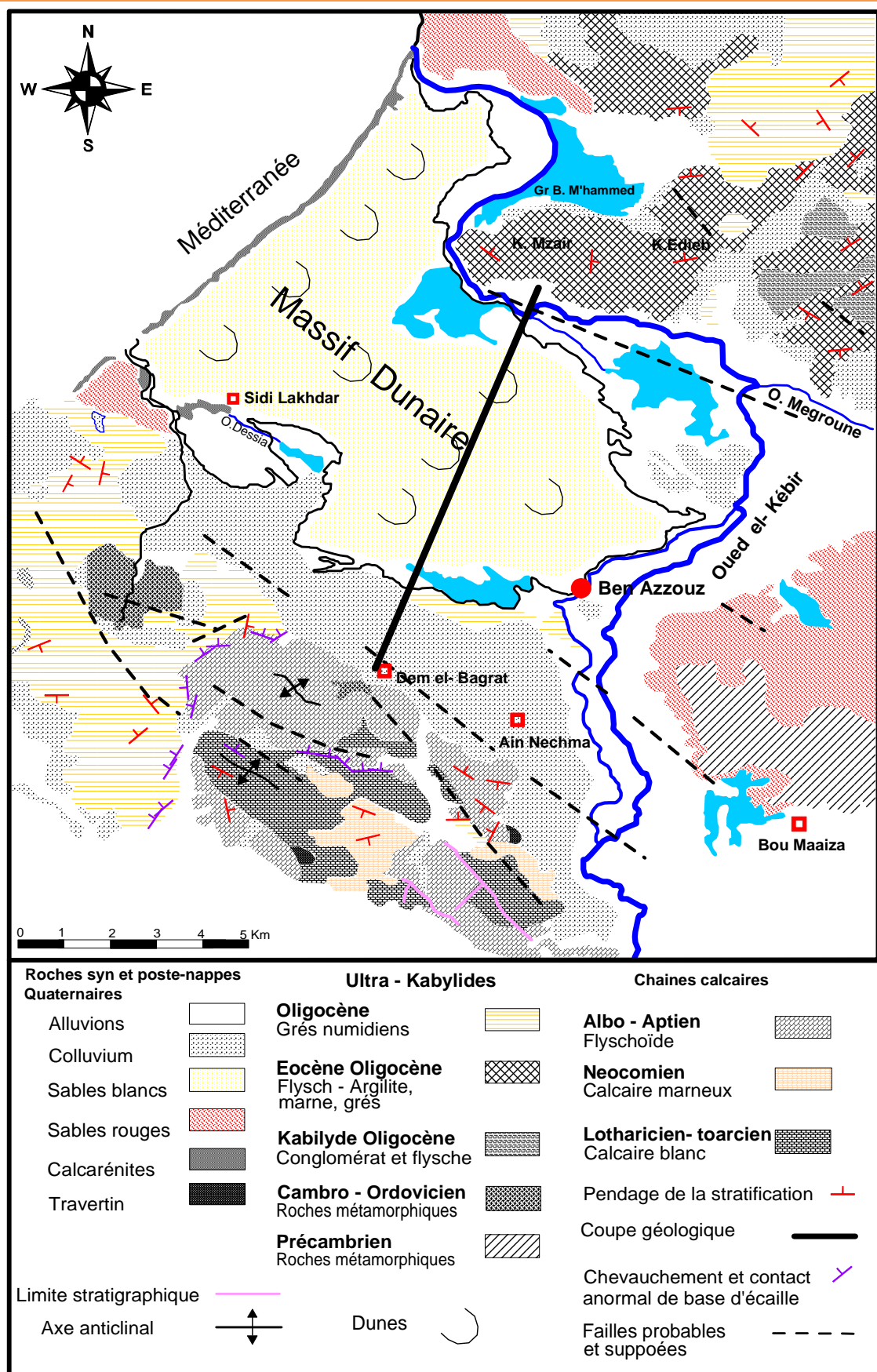


Figure: N°.I. 2 Carte géologique de la région de d'étude

Source : Gacem A et Refes M

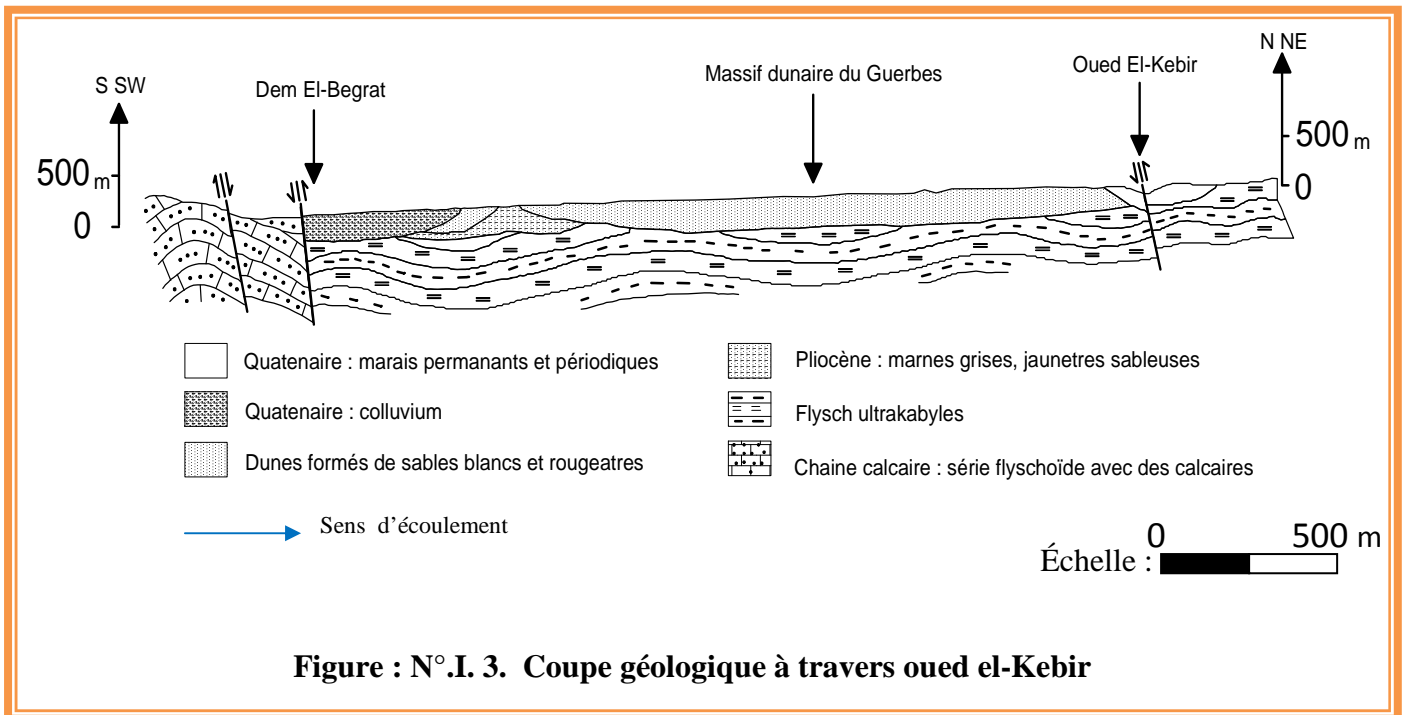


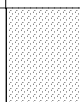
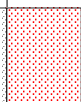
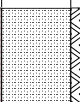

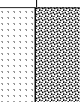
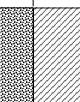


Figure : N°.I. 3. Coupe géologique à travers oued el-Kebir

Tableau : N° I. 1. Colonne lithostratigraphique et hydrogéologique de la région de Gerbes

Colonne lithostratigraphique et hydrogéologique

ERE	SYS	Etage	Coupe	Lithologie	Epaisseur (m)	Affleurement	Formation Hydrogéologique	Type de l' aquifère	
Quaternaire				Grés permanents et périodiques		entre Dj-boumaiza et Safia	Perméable	Nappe Libre	
Tertiaire	néogène			Alluvion		la surface du massif dunaire	Perméable	Nappe Libre	
	paléogène				Sable rougeâtre		vallée de l'oued el-Kebir foret de Guerbes et sanhaja le long de la partie ouest de l' oued (SE- NW)	semi Perméable	Substratum
					Colluvium		O. dissya et sidi lakhdar		
					Calcaire gréseux		à dem el bagrat entre machtetes haded et adila		
					Travertin		affleure à la faveur des talwegs		
				Marnes grises et jaunâtres sableuses	100	NW de la vallée de l'oued	Imperméable	Substratum	
				Grés numidiens					
				Conglomérat flych	400	Kef siada	Imperméable	Substratum	
				Flych argillites, marnes grés intercalation calcaire		dj laharta, kef siada à l'ouest du depression alluviale			
	crétacé	albo-aptien		Série flychoïdes intercalation calcaire	500	versant Est et Ouest du dj safia	Perméable	Nappe Karstique	
				calcaire mameux à ammonites	600	occupes les zones basses			semi Perméable
	jurassique			Calcaires blancs à grés claires	200	moudiet massaoud el hadjar	Perméable	Nappe Karstique	
				Dolomies fracturés	80	SE de koudiet mbarek			
prim- aire	préc- ambrien			Roches métamorphiques		S du kef siada et dem el bagrat	Imperméable	Substratum	
				Roches métamorphiques		massif de boumaiza			

II.3. Tectonique

La région d'étude est caractérisée par l'existence de plusieurs unités structurales syn-orogéniques et fracturées en divers blocs dont les mouvements relatifs aurait été à l'origine de la vallée de l'oued Kebir considérée comme l'unité poste-orogénique.

Les différents ensembles structuraux sont les suivantes :

II.3.1. Structure autochtone

Les formations constituant autochtones sont isolées des autres complexes structuraux par des grands champs de terrains quaternaires.

Les parties internes de la structure présentent des traits particuliers. Avant tout il convient de noter la schistosité qui correspond entièrement à la stratification primitive des roches. Ceci apparait clairement dans les niveaux et lentilles de calcaires cristallisés qui se rencontre dans l'assise anté-Cambrien.

Les conditions d'affleurement ne permettent pas débauche d'une manière générale la structure de cette autochtone qui au Nord-Est de Boumaiza forme un grand pli anticlinal axé au Nord-Ouest au pendage maximum de 30 à 40° sur les flancs. Cependant l'assise anté-Cambrien présente encore un micro plissement et propres aux schistes métamorphiques du Paléozoïque inférieur.

Il est évident que la simplicité extérieure de la rareté des affleurements et de l'extension insignifiante des formations qui la composent.

II.3.2. Structure para-autochtone

L'étude stratigraphique des coupes et l'analyse des sédiments ont permis à Mr: Delga de désigner en Algérie du Nord la zone structuro-faciale prekabyle (1967). Celle-ci comprend notamment djebel Safia, (Villa) qui mènera des études dans le massif de l'Edough estime possible de suggérer que les roches cristallines de celui-ci doivent être le sol immédiat des assises Mésozoïque dans la zone prekabyle.

Les terrains constituant la zone de djebel safia forment une grosse structure anticlinale qui apparait en émergeant des ensembles allochtones qui les chevauchent.

Cet anticlinal dont les flancs sont composés de terrains du Crétacé est affecté par ces plis relativement gros d'ordre secondaire, axé au Nord -Ouest.

L'amplitude des flancs de ses plis atteint 1 à 1,5 Km. Dans les cœurs de synclinaux apparaissent généralement les sédiments calcaro-marneux du Néocomien. Dans les cœurs des anticlinaux, les dolomies en calcaire massif du Lias. Les pendages sur les flancs de pli varient de 10 à 70°.

Nous n'observons nulle part de pendages déversés. Ceci concerne surtout les terrains constituant l'anticlinal du Dj. Safia puisque l'assise argilo-gréseuse du Crétacé formant ce massif et déformées plut nettement.

Elle est d'ailleurs le plus souvent décelée et chevauchée au Sud. Elle se distingue par un plissement fin et renversement des structures au Sud.

Le métamorphisme dynamique, localement assez sensible change l'aspect de l'assise qui acquiert une ressemblance avec l'assise de schiste métamorphique de Paléozoïque inférieur.

La tectonique des formations de la zone de Fil-Fila est plus complexe dans l'ensemble, cette dernière présente aussi un bombement anticlinal qui émerge de l'allochtone kabyle.

La structure interne présente un plissement très intense, un renversement des structures essentielles au Sud – Ouest et se distingue par le développement des écaillés tectoniques.

L'orientation des structures principales de la zone de Fil-Fila est également Nord – Ouest.

Les massifs de granites de Miocène inférieur sont concordants et étirés dans la même direction.

Les calcaires cristallisés du Lias inférieur forment le cœur de l'anticlinal, reposent sur les sédiments argilo-carbonaté du Lias moyen supérieur avec un contacte généralement tétanisé au Nord ils sont chevauchés par une assise terrigènes d'âge Aptien-Albien. D'après les affleurements que l'on peut observer à l'embouchure de l'oued cette dernière assise se distingue par des plis très complexes.

II.3.3. Structure allochtone

II.3.3.1 nappe de charriage métamorphique kabyle du Paléozoïque inférieur

La position de terrain métamorphique du Paléozoïque inférieur dans une nappe de charriage chevauchant le Néozoïque para-autochtone avait été prédite déjà par la suite dans la zone de Safia, (Dulandien1960).

Ceci fut démontré aussi par les travaux de (F. Raoult, J.M.Villa et D.Delga).

Parmi les structures internes du complexe allochtone inférieur nous distinguons la structure plissée de l'assise métamorphique du Paléozoïque inférieur et nettement discordant de celui-ci, les structures relativement simples de l'assise de la molasse de l'Oligocène.

Les schistes métamorphiques du Paléozoïque inférieur forment les plis complexes étroits de direction latitudinale qui sont en général déversés au Sud. Dans l'ensemble l'allochtone inférieur forme un grand pli anticlinal renversé au Sud dans le cœur duquel apparaissent les sericitoschistes quartzeux bleuâtres de l'assise inférieur.

Les structures de l'assise de molasse –Oligocène reposent avec une lacune et une discordance nette.

II.3.3.2. Nappe de flysch argilo-gréseux

Cette nappe affleure en grande partie au Nord – Ouest dans notre région, en rive droite de l'oued el-Kebir au Koudiat-Boumed, la nappe de flysch est surmonté par la nappe de charriage numidienne, ainsi elle est masquée par les sédiments Quaternaires du Sud.

II.3.3.3.Nappe de charriage numidienne

Elle couronne l'édifice structural complexe de la région d'étude. Leur soubassement tectonique peut être représenté par tous les ensembles susmentionnés seuls les sédiments des cuvettes Miocènes et les terrains Quaternaires se trouvent plus haut dans le plan structural.

Les structures internes de l'ensemble numidien sont les plus simples, elles se distinguent par le glissement doux souvent subhorizontal, de l'assise gréseuse supérieure.

Leur deuxième particularité réside dans leur discordance tectonique habituelle entre l'assise inférieur des argiles et des argiles, et l'assise supérieure de grés sur le territoire de la

faille, l'assise argileuse supérieure n'est développée que sporadiquement et l'assise gréseuse supérieure repose le plus souvent sur les formations des autres ensembles structuraux.

II.3.4. Ensemble lithologique et formations superficielles

Le sous bassin versant de l'oued el-Kebir Magroun présente une variété de faciès allant des roches les plus tendres représentés essentiellement par les microbrèches aux roches les plus dures représentées par les roches gréseuses.

Les ensembles retenus peuvent être regroupés en quatre ensembles :

- ✓ Les formations superficielles.
- ✓ Les roches tendres.
- ✓ Les roches moyennement dures.
- ✓ Les roches dures.

II.3.4.1. Les formations superficielles

Elle sont représentées par les dépôts d'alluvions fluviaux, des basses terrasses ainsi que des alluvions anciennes, des éboulis et des dépôts de pentes, ces formations occupent des superficies considérables de 173 Km² soit 69,13 % de la superficie totale, et se situent sur les rebords de l'oued el- Kebir et le long de littoral, elle se localisent sur des pentes faibles a moyennes.

II.3.4.2. Les roches tendres

Elles sont composées essentiellement de microbrèches, elles caractérisent les reliefs moyennement faibles et se situe dans la partie Nord – Est du bassin. Ces faciès couvrent 4,25 Km² soit 1,70 % de l'ensemble des affleurements rocheux.

II.3.4.3. Les roches moyennement dures

Elle correspond aux roches (grés argiles), (grés micacés), (schistes), et (conglomérat), cet affleurement est localisée au Nord – Est, Sud –Ouest, Sud –Est ainsi au centre de la plaine de Guerbes occupant des surfaces importantes (51,25 Km²) soit 20,47 % de la superficie totale du sous bassin.

II.3.4.4. Les roches dures

Elles sont composées de calcaires et dolomies et des grés numidiens, elles se répartissent dans la partie Nord – Est, Sud- Ouest, ainsi que la partie Sud du bassin, ces différents faciès occupent une superficie de 21,75 Km² soit 8,69 % de la superficie total du bassin.

Tableau: N° .I. 2. Répartition des différents types de roches dans le Bassin de l'oued Kebir Magroun

Ensemble	Roches	Superficie (Km2)	Superficie (%)
Formations superficielles	- Alluvions anciennes	23,00	9,19
	- Alluvions récentes	150,00	59,94
Roches tendres	- Microbrèches	04,25	01,70
Roches moyennement dures	- Grés micacés	13,50	5,39
	- Grés argile	14,50	5,79
	- Schistes	07,00	2,80
	- Conglomérats	16,25	6,49
Roches dures	- Grés Numidie	15,75	6,29
	- Calcaires et dolomies	06,00	2,40

Source : Baouche. N et Hadibi. S

II.3.5. Conclusion

L'étude géologique a mis en évidence une structure complexe dont le fait remarquable est la présence d'un fossé du massif dunaire qui est limité par faille normale de même direction, et un empilement de chainage nappe de charriage de recouvrement mise en place lors de l'Orogenèse Alpine et s'insérant chacune dans un domaine structural propre.

Par la même occasion, elle permet de distinguer selon la nature lithologique, les caractéristiques hydrogéologiques des formations occupant le secteur étudié. Ainsi, les formations perméables susceptibles d'abriter l'eau souterraine sont représentées par les formations carbonatées Liasiques. Les dépôts sableux du massif dunaire et les alluvions de l'oued el-Kebir quant aux formations imperméables, elles sont d'une part celles situées en profondeur et qui constituent le substratum des nappes de recouvrement et notamment les formations aquifères, C'est le socle métamorphique et les flysch, et d'autre part celles qui affleurent et favorisent le ruissellement. Ces formations par leurs épaisseurs, leur structure, et leur surface d'affleurement constituent une configuration géologique favorable pour l'emmagasinement et la circulation des eaux souterraines.

III. Géomorphologie

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 doit 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 Fil-Fila 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 Fil-Fila, 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.

Du point de vue hydrogéologique cette unité n'est pas importante.

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 Fil-Fila.

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 Analyse morphométrique

Le bassin versant d'un cours d'eau en une section normale considéré de son cours, est la surface topographique drainée par ce cours d'eau et ses affluents, de telle façon que tout écoulement prenant naissance à l'intérieur de cette surface doit traverser la section considérée pour suivre son trajet.

IV.1. Caractéristiques morphométriques

L'utilisation des analyses morphométriques a pour but de condenser en un certain nombre de paramètres chiffrés, la fonction $h = f(x, y)$ à l'intérieur du bassin versant (h : Altitude, x et y coordonnées d'un point de bassin versant).

IV.1.1. Caractéristiques de disposition dans le plan

1-1.1 la surface A

La surface a un rôle très important elle est la première des caractéristiques, elle s'obtient par planimétrie sur la carte topographique après traçage des limites topographique et hydrogéologique, elle s'exprime en Km^2 . Dans notre zone d'étude elle est de l'ordre de 396 Km^2

1-1.2 la forme

Elle joue un rôle très important sur la forme de l'hydrogramme résultant, d'une averse donnée la caractéristique de forme utilisée est le coefficient K_c de Gravelius, il se définit comme le rapport de périmètre du bassin versant du cercle ayant la surface.

✓ le périmètre P est de l'ordre de $96,65 \text{ Km}$ selon la carte topographique

$$\text{L'indice de compacité} \quad K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \rightarrow K_c = (0,28 \times 96,65) / \sqrt{396} = 1,36$$

Le $K_c > 1,12 \rightarrow$ le bassin versant est rectiligne

1-1.3 la longueur

Il existe plusieurs caractéristiques de longueurs

$$\checkmark \text{ la longueur du rectangle équivalent } L = \sqrt{A} \frac{K_c}{1,128} \left[1 + \sqrt{1 - \frac{(1,12)^2}{(K_c)^2}} \right] \rightarrow L = 37,60 \text{ Km}$$

$$\checkmark \text{ la largeur } l \text{ dont : } l = (p-2L)/2 \rightarrow l = 10,72 \text{ Km}$$

IV.1.2. Caractéristiques hypsométriques

1-2.1. Répartition altimétrique du sous bassin versant

Le tableau ci-après récapitule la distribution altimétrique du sous bassin versant de l'oued el-Kebir Magroun.

Tableau: N°.I. 3. Répartition altimétrique du sous bassin versant

Classes d'altitudes	Superficie partielle		Superficie cumulée	
	Km ²	%	Km ² cumulé	% cumulé
5-50	282,942	71,45	396	100
50-100	64,7064	16,34	113,058	28,55
100-200	26,3736	6,66	48,3516	12,21
200-300	17,2656	4,36	21,978	5,55
300-400	3,2868	0,83	4,7124	1,19
400-561	1,4256	0,36	1,4256	0,36
total	396	100%	/	/

A partir de ce tableau on peut déduire que la tranche d'altitude (400-561) est la moins représentée, elle n'occupe que 0,36 % soit 1,42 Km² de la superficie totale du bassin versant, et elle correspond aux sommets des collines.

D'autre part la tranche de (5-50) est la plus fréquente, elle couvre 71,45 % soit 282,94 Km² de la superficie totale, elle correspond aux plaines de sous bassin.

La dénivelée (D) est définie comme étant la différence de cote entre H_{5%} et H_{95%}.

$$D = H_{5\%} - H_{95\%} \quad \text{dont} \quad \left. \begin{array}{l} H_{95\%} = 15 \\ H_{5\%} = 210 \end{array} \right\} \rightarrow D = 210 - 15 = 195 \text{ m}$$

1-2.2. l'altitude moyenne : $H = \sum S_i \cdot H_i / S_i$

Dont : S_i = la surface partielle de la tranche d'altitude.

H_i = le centre de la classe d'altitude.

Tableau : N°.I. 4. Répartition des altitudes dans le sous bassin d'oued el-Kebir Ouest

classe d'altitude (m)	Altitude moyenne H_i	Superficie S_i (Km^2)	$S_i \cdot H_i$ (m. Km^2)	$S_i \cdot H_i$ Km^3
05-50	27,5	282,942	7780,90	7,78
50-100	75	64,7064	4852,98	4,85
100-200	150	26,3736	3956,04	3,95
200-300	250	17,2656	4316,40	4,31
300-400	350	3,2868	1150,38	1,15
400-561	480,5	1,4256	685,00	0,68
total	-	396	22741,70	22,74

$S_i \cdot H_i$ est le volume montagneux (Km^3).

$$\Rightarrow H = (22,74 / 396) = 57,42 \text{ m}$$

IV.1.3. Les indices de pente

Les indices de pentes servent à caractériser les pentes d'un bassin versant et de permettre des comparaisons et des classifications.

a) La pente moyenne

Elle est donnée par la relation suivante $I_{moy} = (H_{max} - H_{min}) / L$

$$I_{moy} = (561 - 5) / 37,60$$

$$\rightarrow I_{moy} = 14,78 \%$$

b) Indice de pente de roches

Il est donné par la formule suivante

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_1^n \sqrt{b_i (a_i - a_{i-1})}$$

Avec :

L : longueur du rectangle équivalent.

b_i : fraction de surface comprise entre les cotes a_i et a_{i-1} (%).

a_i et a_{i-1} : différence entre les courbes de niveau i et $i-1$ (Km).

Tableau : N°.I. 5. Répartition des superficies par tranche d'altitude à el-Kebir Ouest

Tranches	Superficie partielles b_i (%)	$a_i - a_{i-1}$	$b_i (a_i - a_{i-1})$	$\sqrt{b_i (a_i - a_{i-1})}$
5-50	71,45	45	3215,25	56,70
50-100	16,34	50	817	28,58
100-200	6,66	100	666	25,81
200-300	4,36	100	436	20,88
300-400	0,83	100	83	9,11
400-561	0,36	161	57,96	7,61
total	100%	/	/	148,69

L = 37,60 Km

$$\Rightarrow I_p = (1/37,60) \times 148,69 \rightarrow I_p = 24,24$$

c) Indice de pente global

$$I_g = D/L = 195 / 37,60 \rightarrow I_g = 5,18 \text{ m/Km}$$

D : dénivelée simple = 195 m

L : longueur de rectangle équivalent. = 37,60

$I_g = 5,18 \text{ m/km}$ alors $I_g < 5,18 < 10$ c'est-à-dire le relief est assez faible.

d) Dénivelée spécifique DS

\Rightarrow L'indice I_g décroît pour un même Bassin lorsque la surface augmente.

\Rightarrow La dénivelée spécifique est plus facile à utiliser que l' I_g car elle permet de comparer les sous bassins de taille différentes.

\Rightarrow La dénivelée spécifique ne dépend pas de l'hypsométrie ($D = H_{5\%} - H_{95\%}$) et de la forme du bassin.

Elle donne lieu à une deuxième classification indépendante des surfaces du bassin.

$$D_s = D \sqrt{\frac{l}{L}} = 195 \sqrt{\frac{10,72}{37,60}} = 104,12 \text{ m}$$

$50 < D_s < 105 \rightarrow$ le relief est modéré

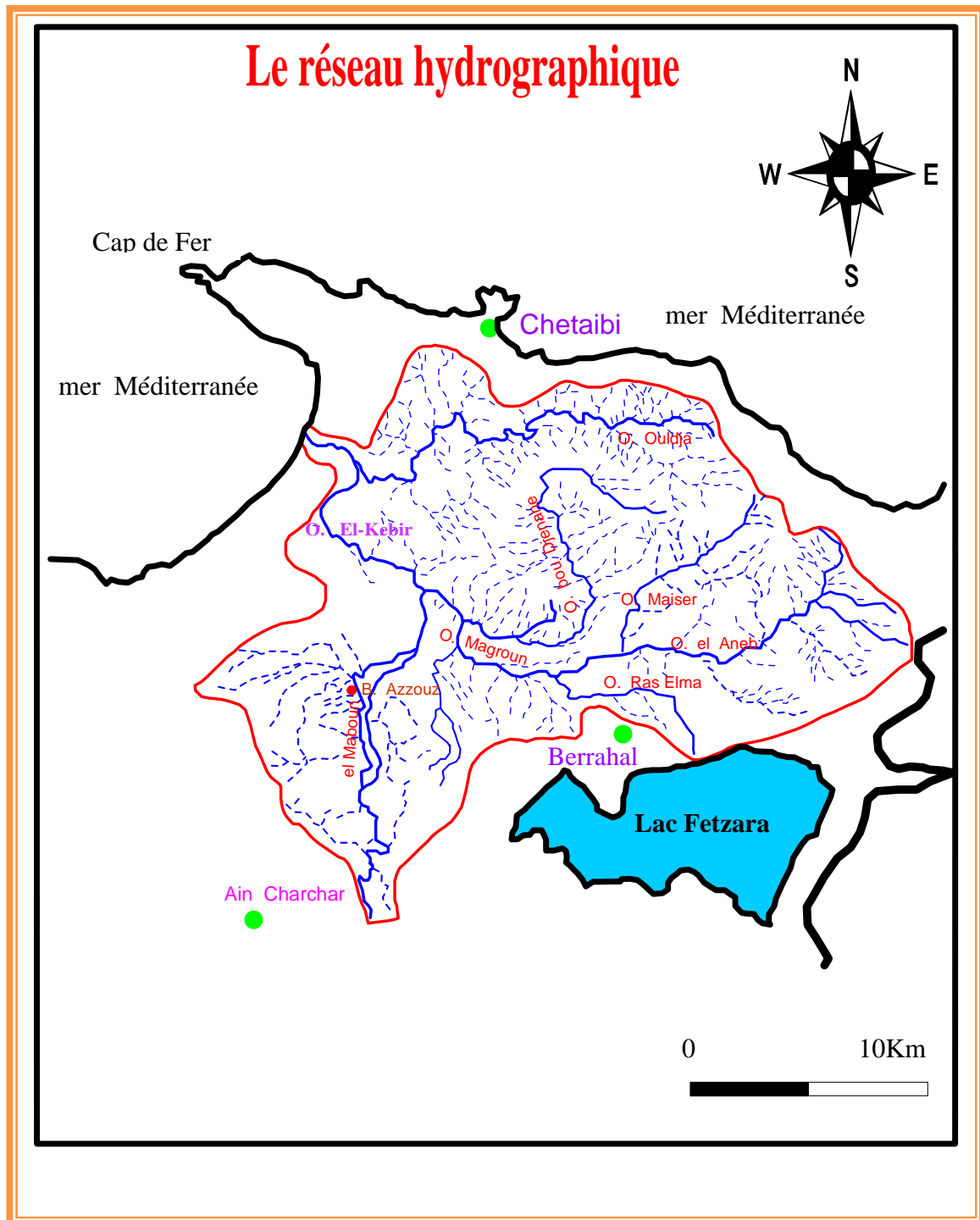
IV.2. Le réseau hydrographique

IV.2.1. 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.

Le réseau est de l'ordre 5 et selon l'agence de bassin hydrographique il y a quelque cours d'eau ont une longueur moyenne variée entre 07 et 11 Km, dont le cours d'eau principal est celui d'oued el Kebir. Où il dépasse les 42 Km. En second lieu on trouve oued el-Aneb avec une longueur supérieure à 26 Km.



Le tableau suivant récapitule les longueurs et le nombre de chaque ordre

Tableau : N° .I. 6. Longueurs et nombre des cours d'eau dans l'oued el- Kebir Ouest.

Ordre	Le nombre de cours d'eau	La longueur (Km)
1	434	146,7
2	113	67,6
3	28	54,4
4	8	26,55
5	1	21
		325,25

- La densité de drainage totale

Elle est constituée par la densité de drainage permanente et temporaire. Cette densité nous renseigne directement sur les faciès lithologiques présents sur le bassin versant et reflètent la stabilité du réseau de drainage.

$$D_d = \sum_1^n \frac{Lx}{A} \quad \text{Km/Km}^2$$

L: La longueur totale des talwegs permanent et temporaires.

A: la superficie du sous bassin versant en Km².

$$D_d = \frac{325,25}{396} = 0,821 \quad \text{Km/Km}^2$$

- Fréquence des talwegs d'ordres 1 :

C'est le rapport total de talwegs d'ordre 1 à la surface du bassin versant.

$$F_1 = \frac{N_1}{A} \quad \text{Km}^{-2} \quad \rightarrow \quad F_1 = 434/396 = 1,09 \quad \text{Km}^{-2}$$

- Le coefficient de torrentialité :

$$CT = F_1 \times D_d = 0,894$$

- Le temps de concentration :

C'est le temps nécessaire pour qu'une goutte d'eau tombée au point le plus hydrologiquement éloignée atteigne l'exutoire, il est mesuré en heure

Il est en fonction de l'intensité de pluie, de la pente et de la dimension du talweg.

Selon **Giandotti** :

$$TC = \frac{4 \sqrt{A + 1,5 L_p}}{0,8 \sqrt{H_n}}$$

Dont :

A : la superficie = 396 km²

L_p : la longueur du cours d'eau principal = 21 km

H_n : l'altitude moyenne = 85,51 m

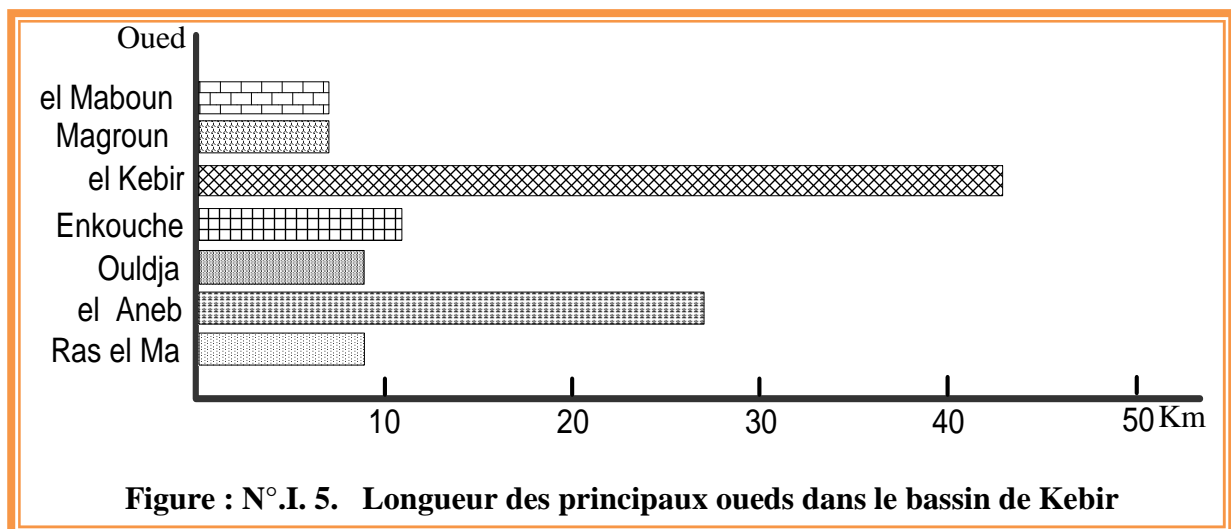
→ TC = 11,18 heures

Le temps de concentration est de l'ordre de 11 heures d'où une longue durée pour l'évacuation des crues.

1. Les oueds

Le sous bassin versant d'el-Kebir Ouest se caractérise par un chevelu hydrographique très dense drainant toute la surface du bassin. Ce réseau est essentiellement constitué de deux grands oueds, oued el-Kebir et oued el-Aneb.

L'oued el-Kebir est le plus important d'entre eux, aussi bien en longueur qu'en capacité. Sa largeur varie entre 20 et 50 m il débauche sur la plage d'el-Marsa.



Le tableau suivant montre les longueurs de principaux cours d'eau dans le sous bassin

Tableau: N°.I. 7. Longueurs des principaux oueds dans le bassin Kebir Ouest.

L'oued	La longueur (Km)
EL MABOUN	07
MAGROUN	07
EL KEBIR	42,5
ENKOUCHE	11
OULDJA	09
EI ANEB	27
RAS EL Ma	09

2. Les marais

Cette forme des eaux superficielles se trouve dans les bas fond de la plaine de Ben Azzouz où la texture des sols est argileuse ces zones favorisent la stagnation des eaux pluviales qui constituent les marais.

Cette stagnation donne à la commune un réseau hydrographique moyennement dense, qui représente une richesse en eau.

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 diffèrent suivent les superficies, et elles sont récapitulées au tableau suivant.

Tableau : N° .I. 8. Principales garâats dans le bassin versant d'oued el-Kebir Ouest.

Dénomination	Coordonnées Lambert	Code de site	A. (ha)	Alt (m)	Description
G.dassaya	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.
G. El-Khemissa	36° 52' N 07° 21' E	21 013 300 02	2	/	//
G. Lougnaat	//	21 013 300 03	3	22	Petite dépression temporaire
G. Moussissi	//	21 023 300 04	392	6	Prairie alimentée par Oued El kebir. Elle est temporaire Profondeur maximale 0.5 m
G. Sidi Fritis	//	21 023 300 05	45	14	Marécage entre les dunes de sable, l'eau est douce et peut être temporaire
G. Chichaya	36° 53' N 7° 17' E	21 023 300 06	4	13	Marécage entre les dunes de sable
G. Sidi Makhlouf	//	21 023 300 07	5	13	De moins importance.
G. Boumaiza	//	21 033 300 08	6	19	-
G. Beni Mohamed	36° 58' N 7° 16' E	21 043 300 09	462	6	Vaste prairie côtière.
G. Elhaoues	36° 58' N 7° 15' E	21 043 300 10	287	2	Vaste prairie côtière inondable.
G. Messoussa	36° 56' N 7° 15' E	21 043 300 11	32	6	Lac d'eau douce entièrement boisé en aulne glutineux (<i>alnus glutinosa</i>), détruit à moitié par les sables mouvants.
G. Hadj Tahar	36° 52' N 7° 15' E	21 053 300 12	112	19	Lac d'eau douce généralement rempli toute l'année sauf exception, on trouve les nénuphars, présence d'oiseaux d'eau ; (érismature à tête blanche).
G. Dahria	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 Sanhadja-Guerbes
W. Skikda

IV.2.2. Conclusion

La synthèse de l'analyse des paramètres morphométriques du sous bassin de l'oued El-Kebir nous indiquent sur :

- La forme rectangulaire du sous bassin avec une superficie de l'ordre de 396 km²
- La dominance des classes altimétriques inférieure à 100 m et surtout celle de (5 – 50 m) qui est la plus représentée.
- Un temps de concentration de 11,18 heures, est long pour la concentration des eaux et des crues.

Tableau : N°I. 9. Récapitulation des caractéristiques physiographique du bassin versant d'oued el-Kebir

Paramètres	Unité	Formule utilisée	valeurs
Surface (A)	Km ²	-	396
Périmètre (P)	Km	-	96,65
Altitude maximale (Hmax)	m	-	361
Altitude minimale (Hmin)	m	-	5
Altitude moyenne (Hmoy)	m	$H = \frac{\sum Si \cdot Hi}{St}$	57,42
Dénivelée simple (D)	m	D = H5% - H95%	195
Indice de compacité de gravélius (Kc)		$Kc = 0.28 P/\sqrt{A}$	1,36
Longueur de rectangle équivalent (L)	Km	$L = \sqrt{A} \frac{Kc}{1,128} \left[1 + \sqrt{1 - \frac{(1,12)^2}{(Kc)^2}} \right]$	37,60
Largeur de rectangle équivalent (l)	Km	$l = (p-2L)/2$	10,72
Indice de pente moyenne (Imoy)	%	$Imoy = (Hmax - Hmin) / L$	14,78
Indice de pente de roche (Ip)	%	$Ip = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_{i=1}^n \sqrt{b(a - a_i)}$	24,24
Indice de pente globale (Ig)	m / Km	$Ig = D / L$	5,18
Densité de drainage (Dd)	Km / Km ²	$Dd = L / A$	0,821
Coefficient de torrentialité (Ct)	-	$CT = F1 \times Dd$	0,894
Temps de concentration (Tc)	Heures	$TC = \frac{4 \sqrt{A+1,5 Lp}}{0,8 \sqrt{Hn}}$	11,18

V. Tapis végétal

Introduction

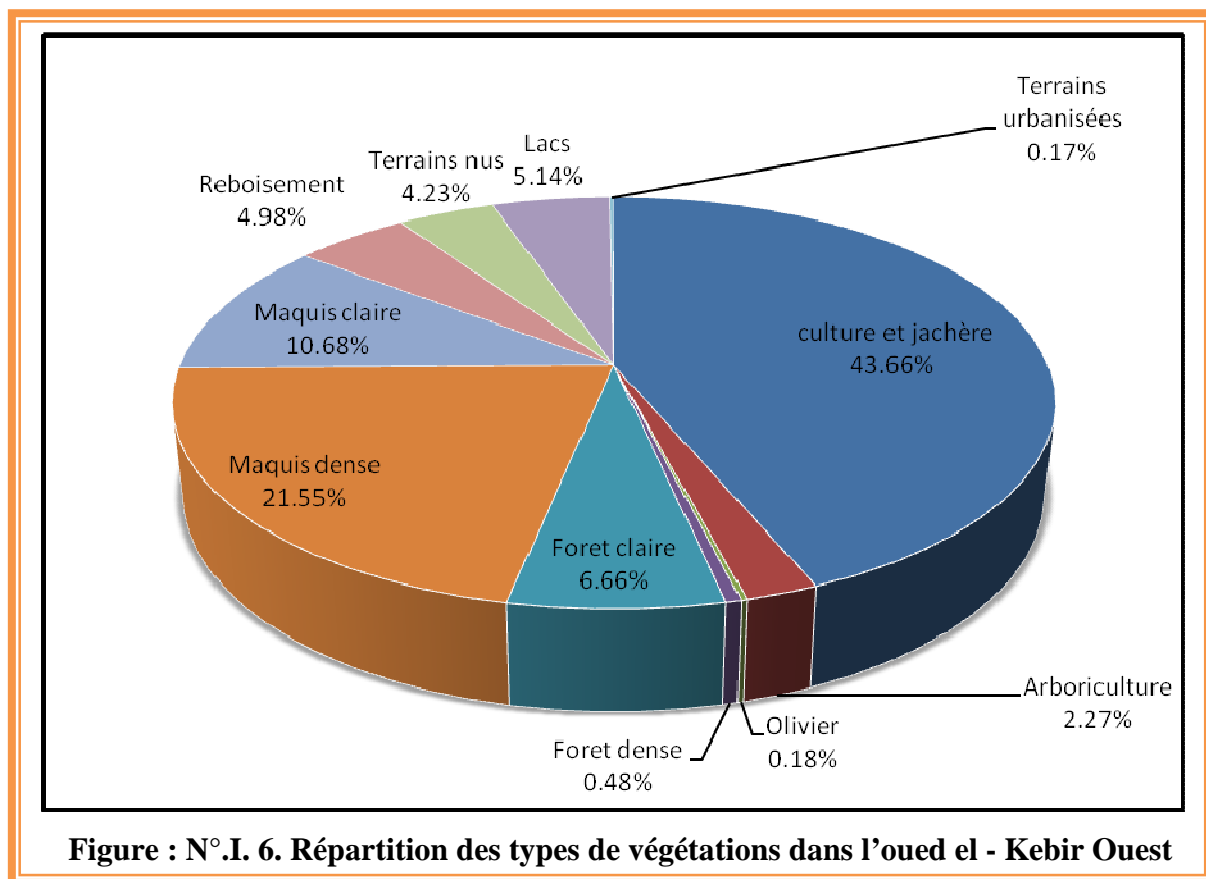
L'analyse de la répartition géographique des formations végétal et leur divers types est nécessaire vu leur action sur le ruissellement et la protection du sol contre l'érosion hydrique.

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 le sous bassin nous a permis d'effectuer les planimètrages donnant une estimation approchée des superficies de chaque groupe de végétation ainsi que leur répartition géographique.

Tableau : N°.I. 10. Répartition des types de végétations:

Type d'occupation	Superficie (Km ²)	%
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 urbanisées	0.71	0.18



Les différentes catégories occupant le sol sont :

V.1. Le domaine agricole

V.1.1. Les terrains agricoles

Se 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

V.1.2. Les terrains arboricoles

La part réservé 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.

V.1.3. 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.

V.2. 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.

V.2.1. 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.

1.1.1. 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.

1.1.2. 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.

V2.2. 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.

V.2.3. 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.

V.3. Autre occupation

V.3.1. 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 (Garaàt Mississi, Garaàt M'hammed, et Garaàt hadj Tahar). L'existence de ces garaàts est liée à la surface topographique plane du relief.

V.3.2. 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-Bagrât, et de Guerbes.

VI. Conclusion

L'identification de la planimétrie des surfaces des différents types d'occupation du sous bassin versant de l'oued el-Kebir nous révèle que 185,29 Km² soit 46,79 % de la superficie totale du sous bassin sont protégées et sont défavorables 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 totale 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, se sont les surfaces occupées par les cultures et la jachère.

Donc d'une façon générale, la dégradation du couvert végétale par l'homme dans le sous bassin 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 que hydrique.

Remarque

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

chapitre II

étude

Hydroclimatologique

1 Introduction

L'étude des caractéristiques climatologique et l'évolution du climat dans le temps et dans l'espace restent nécessaires pour toute étude relative à un milieu naturel.

L'analyse et le traitement des différents éléments climatiques d'une région particulièrement les précipitations et la température permettent de calculer l'évapotranspiration correspondante au ruissèlement, l'infiltration et à établir enfin le bilan hydrique, qui est fondamental pour la schématisation du fonctionnement du système hydrologique et son influence sur le comportement des aquifères.

2 Le climat et l'eau en Algérie

Comme dans la plus part des pays méditerranéens l'Algérie est sèche bien qu'elle reçoive une quantité importante d'eau en forme des précipitations peuvent atteindre 65 milliard de m³, mais finalement profitant peut au pays : nombre réduit des jours de précipitation, concentration sur des espaces limités, forte évaporation, 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 :

- ✓ A la répartition pluviométrique abondante sur le littorale (surtout NE) et décroissant vers le sud avec le net gradient.

- ✓ Aux données structurales les plus amples et calme vers le sud.

3 Paramètres climatologiques

Dans cette étude nous allons utilisés les données relatives aux stations pluviométriques d'Ain Charchar, Skikda, et Berrahal (données récentes recueillis de l'ONM de Skikda et l'ANRH de Annaba et Constantine). Ces données ont été recueillies d'après les différentes stations situées au voisinage du bassin versant d'oued el-Kebir à l'absence des stations fonctionnelles dans le bassin. Les stations concernées se trouvent dans des différentes altitudes allant de 1,30 m (Skikda) jusqu'à 43 m (Ain Charchar).

La précipitation est le paramètre le plus important. Elle conditionne l'écoulement saisonnier, ainsi que le régime des cours d'eau et l'alimentation des nappes d'eau souterraines.

Nous nous sommes aussi référés aux travaux à :

- P. Seltzer période (1913 -1938) climat de l'Algérie.
- M. Chaumont et C. Paquin période (1913-1963) carte pluviométrique de l'Algérie.

Références des stations

Tableau : N°.II.1. Références des stations pluviométriques

Structures coordonnées	Skikda	A.Charchar	Berrahal
X	874,50	909,50	923,35
Y	406,40	393,27	405,56
Altitude (m)	1,30	34	33
Code	031102	031201	031302

3.1. Précipitations

On entend par précipitation la hauteur de la lame d'eau recueillie par la pluviométrie quelque soit l'origine de cette eau, pluie, neige, grêle et toutes autres formes de condensation.

Nous nous intéressons dans cette étude uniquement aux précipitations liquides (pluies), qui constituent le facteur primordiale dans le comportement hydrogéologique, de la région elles sont relativement importantes, variables et irrégulières d'une année à autre.

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

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

Où : \mathbf{P} = Précipitation moyenne annuelle en mm.

$\mathbf{E_{tr}}$ = Évapotranspiration réelle moyenne annuelle en mm.

\mathbf{R} = Ruissellement moyen annuel en mm.

\mathbf{I} = Infiltration moyenne annuelle en 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.

3.1.1 Répartition annuelle 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'histogramme et le graphique ci-dessous représentent les hauteurs annuelles des précipitations d'une période de 36 ans (1970-2006) aux stations de Skikda, A. Charchar, et Berrahal en remarquant qu'elles varient de 411,3 mm en 1973/74 l'année la plus sèche à 1198,3 mm en 2004/05 l'année la plus pluvieuse au niveau de la station d'A. Charchar.

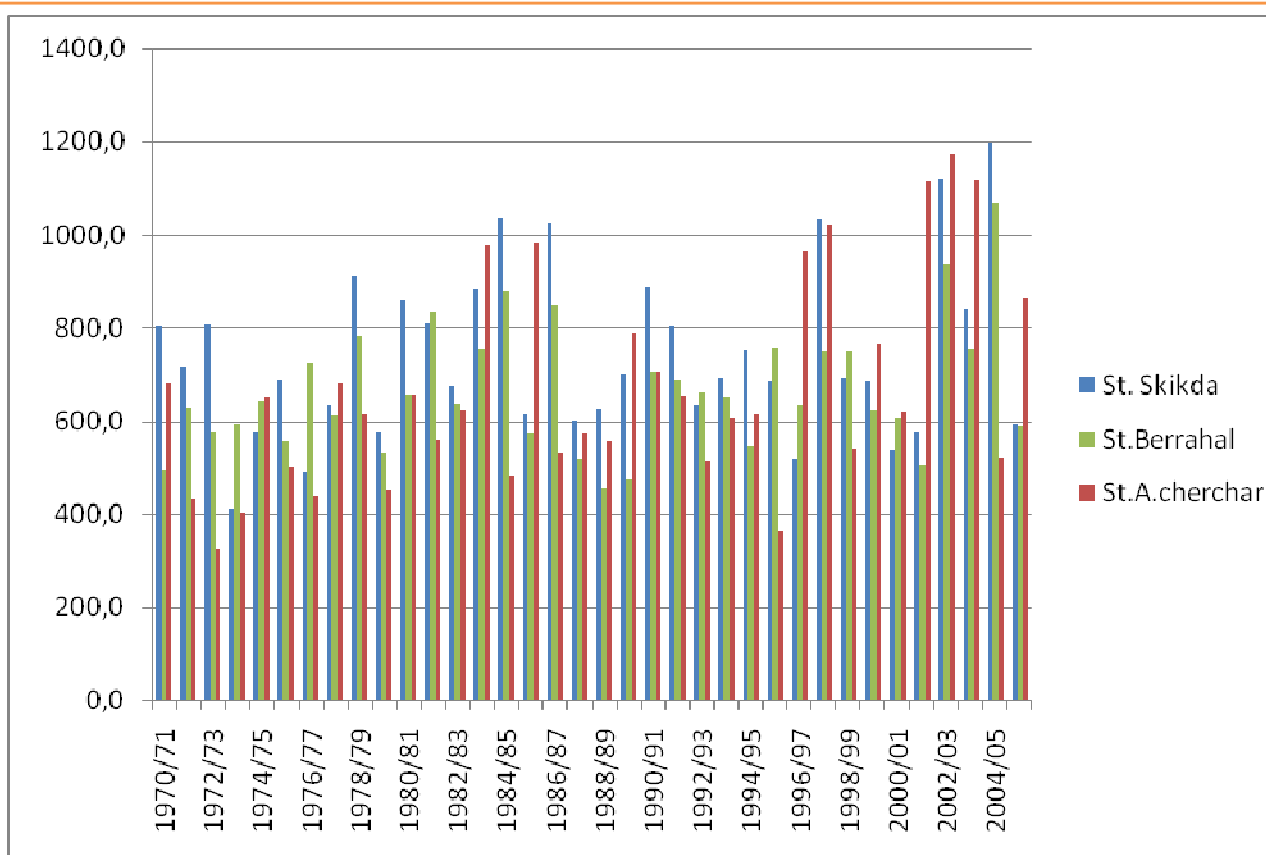
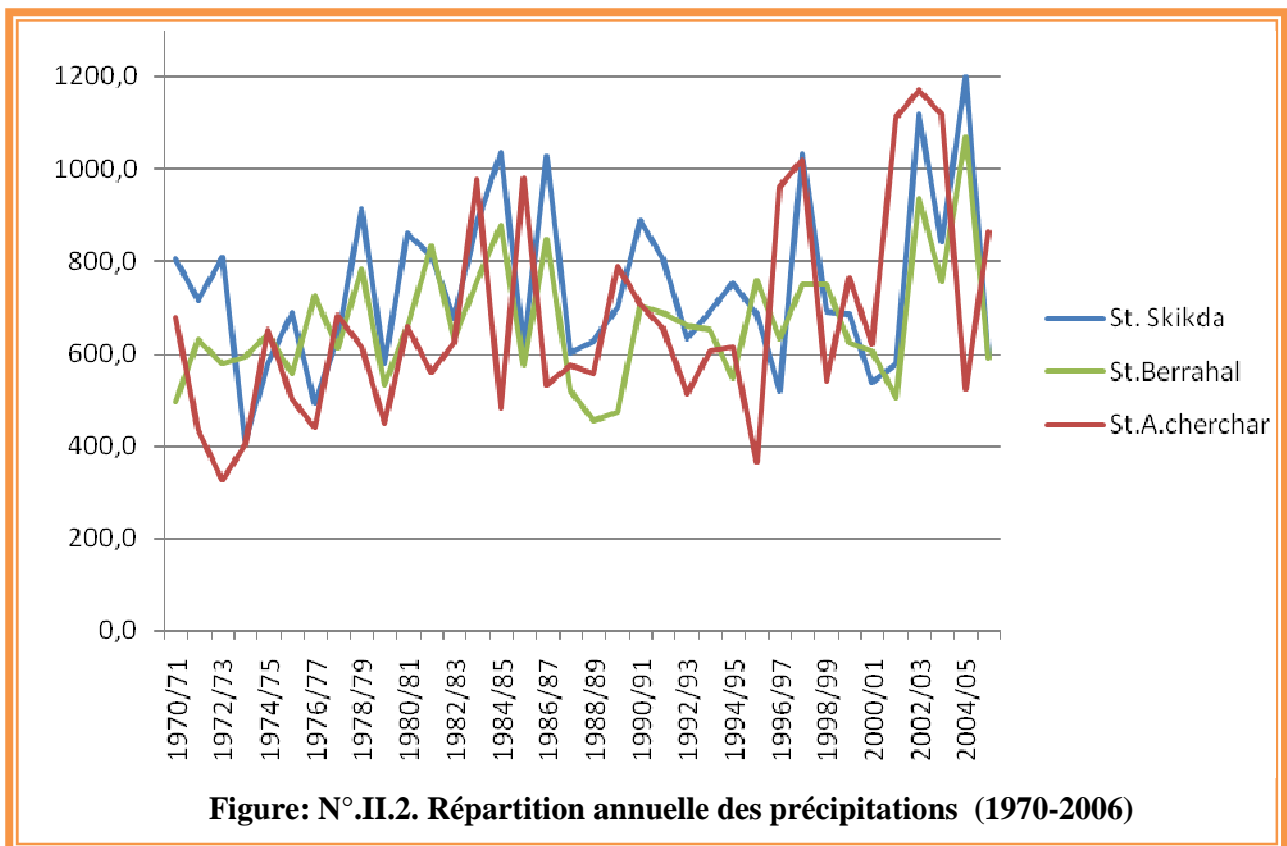
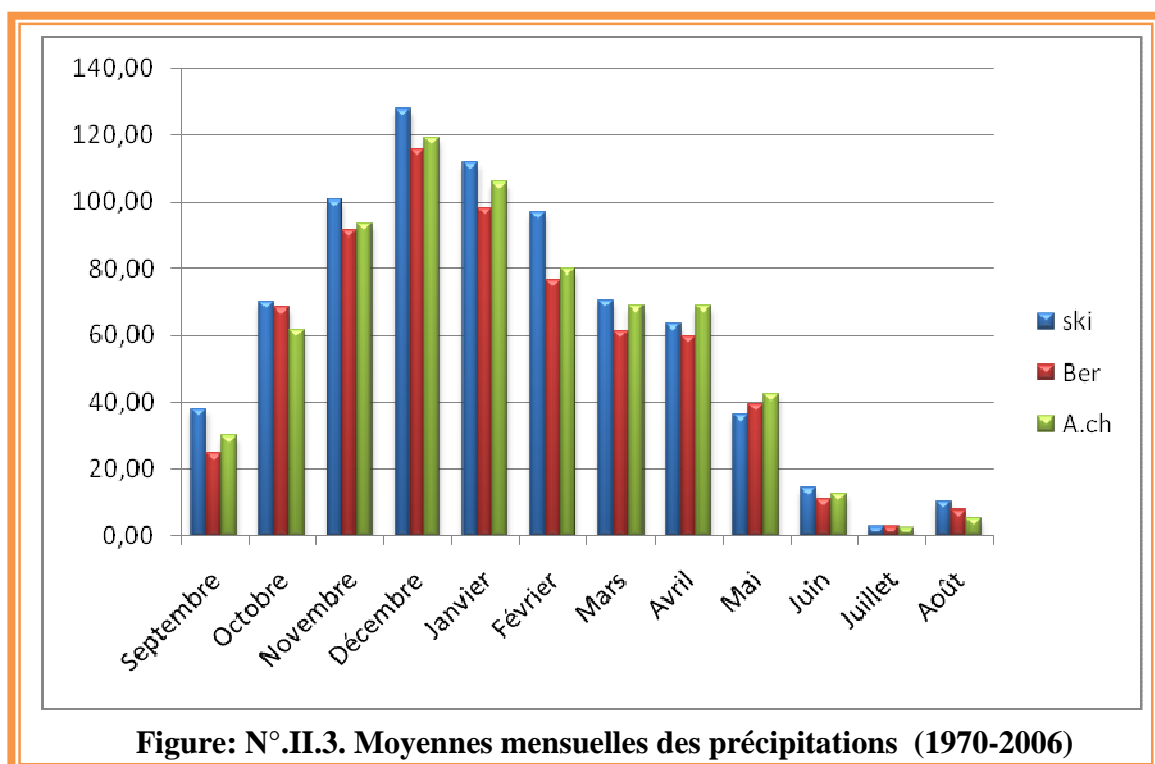


Figure: N° II.1. Répartition annuelle des précipitations (1970-2006)



3.1.2 Répartition mensuelle des précipitations

La précipitation moyenne mensuelle présente une croissance allons de septembre jusqu’au décembre où elle atteinte son maximum puis elle se décroisse jusqu’au mois de juillet le mois le plus sec durant l’année comme il est montré sur l’histogramme suivant.



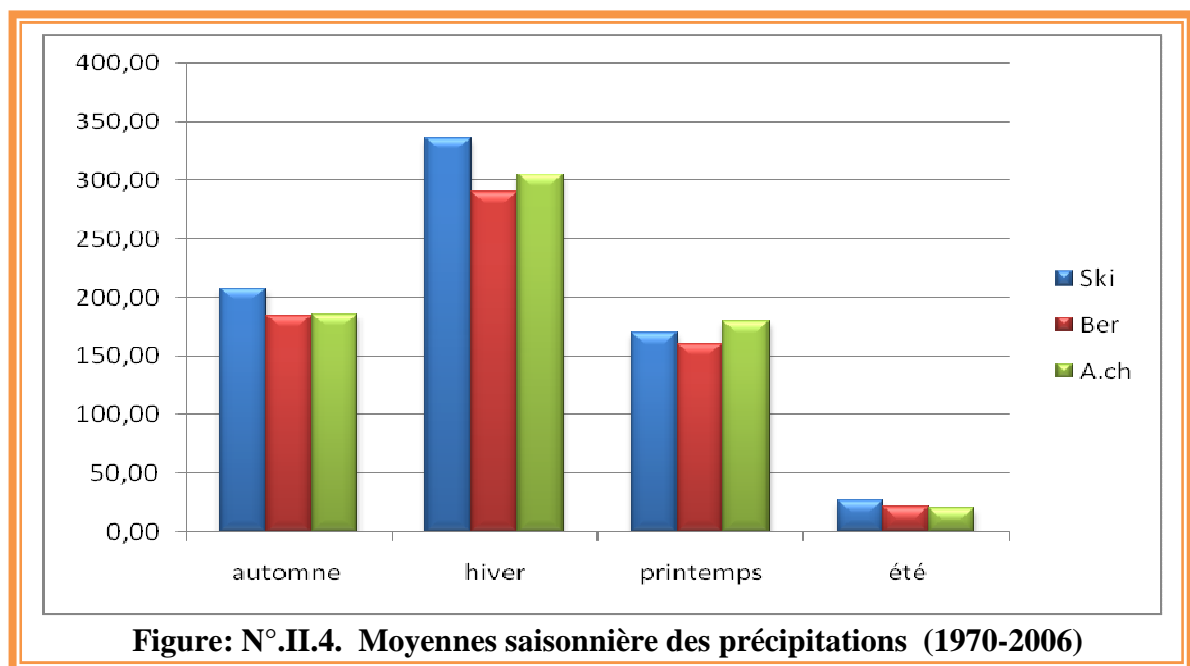
3.1.3 Représentation saisonnière des précipitations

Tableau: N°.II.2. Représentation saisonnière des précipitations

Station	Automne			Hiver			Printemps			Été			Moyenne Annuelle
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	
Skikda	208,12			336,12			170,10			27,35			741,69 mm
	28,06			45,32			22,93			3,69			100 %
A.Charchar	185,36			305,00			179,76			20,70			690,82 mm
	26,83			44,15			26,02			3,00			100 %
Berrahal	184,54			290,11			160,42			21,43			656,50 mm
	28,11			44,19			24,44			3,26			100 %

L'étude de la pluviosité saisonnière montre que l'hiver est la saison la plus pluvieuse, avec un pourcentage qui dépasse toujours 44 %. Presque la moitié de la précipitation annuelle. Le printemps et l'automne ont presque la même quantité tombant. En été la précipitation ne dépasse en aucun cas 27,35 mm, qui veut dire 3,69 % de la précipitation annuelle est c'est la saison la plus sèche remarquable au niveau des trois stations.

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



3.1.4 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 estimée 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 pluviométriques en mm

n : le nombre de postes = 10

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

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.Chaummont et C.Paquin) est de l'ordre de :

$$P = 575,81 \text{ mm}$$

En conclusion

La lame d'eau précipitée sur le bassin versant de l'oued el-Kebir Ouest est en moyenne de l'ordre de **698,7 mm**

3.2. 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 36 ans (1970 – 2006) et l'autre d'une période de 25 ans de P. SELTZER (1913 – 1938).

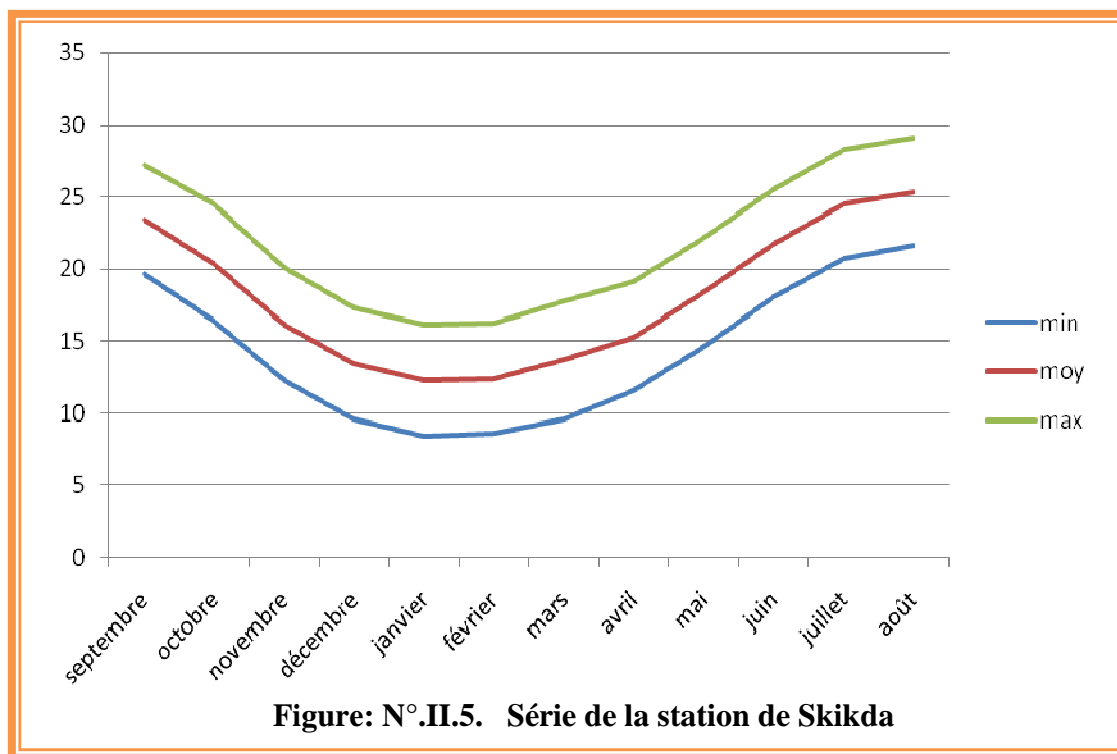
Tableau: N°.II.3. La température moyenne mensuelle série SELTZER

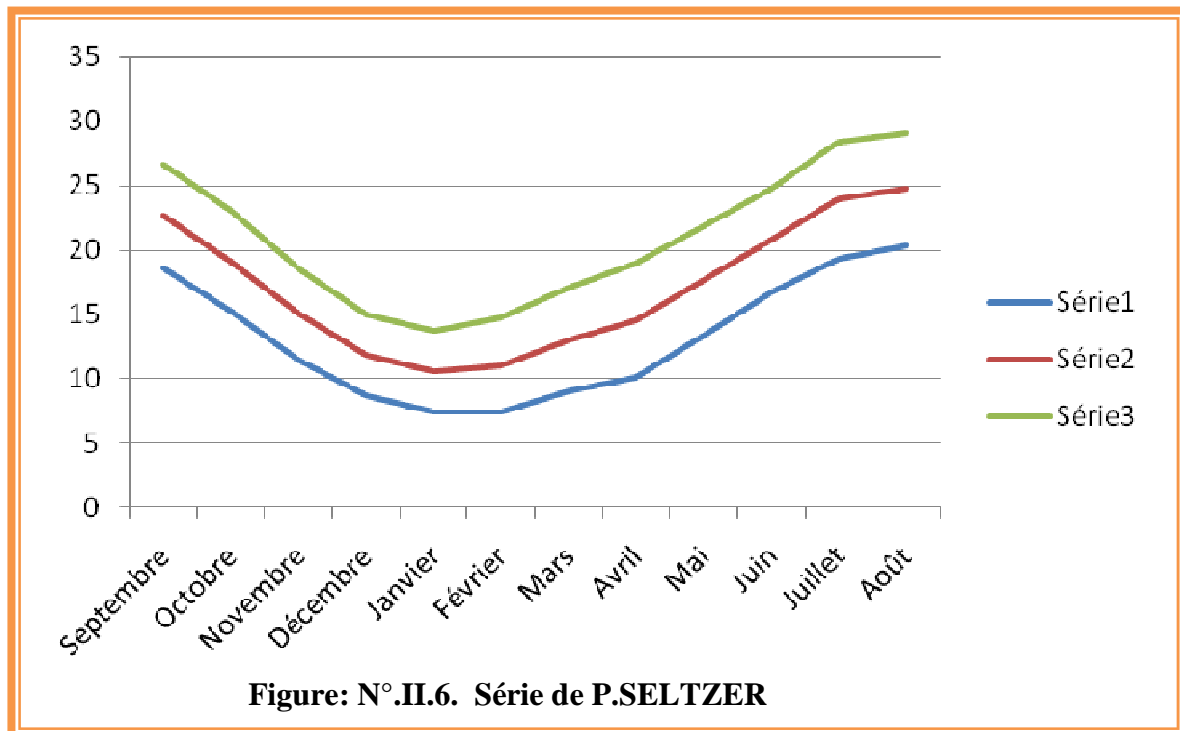
SELTZER 1913/38	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
min	18,7	15,2	11,5	8,7	7,4	7,4	9,0	10,1	13,4	16,8	19,4	20,4
max	26,7	23,0	18,6	15,0	13,7	14,7	17,1	19,0	21,9	24,8	28,4	29,1
moy	22,7	19,1	15,1	11,9	10,6	11,1	13,1	14,6	17,7	20,8	23,9	24,8

Tableau: N°.II.4. La température moyenne mensuelle à la station de Skikda

Skikda (1970/06)	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
min	19,6	16,4	12,3	9,6	8,4	8,6	9,6	11,5	14,6	18,0	20,7	21,6
moy	23,4	20,4	16,2	13,5	12,3	12,4	13,7	15,3	18,4	21,7	24,5	25,3
max	27,2	24,5	20,1	17,4	16,2	16,3	17,8	19,2	22,2	25,5	28,3	29,1

Source ONM 2006





Il est clairement remarquable d'après les graphes et les tableaux ci-dessus que les températures moyennes atteintes son maximum au mois d'août, elle est de l'ordre de 25,3 °C tandis que les températures moyennes minimum s'observent au mois de janvier et février, elle est de l'ordre de 13,7 °C pour la série de P.SELTZER et de 12,3 °C et 12,4 °C pour la station de Skikda.

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.

3.2.1 Relation température – précipitation

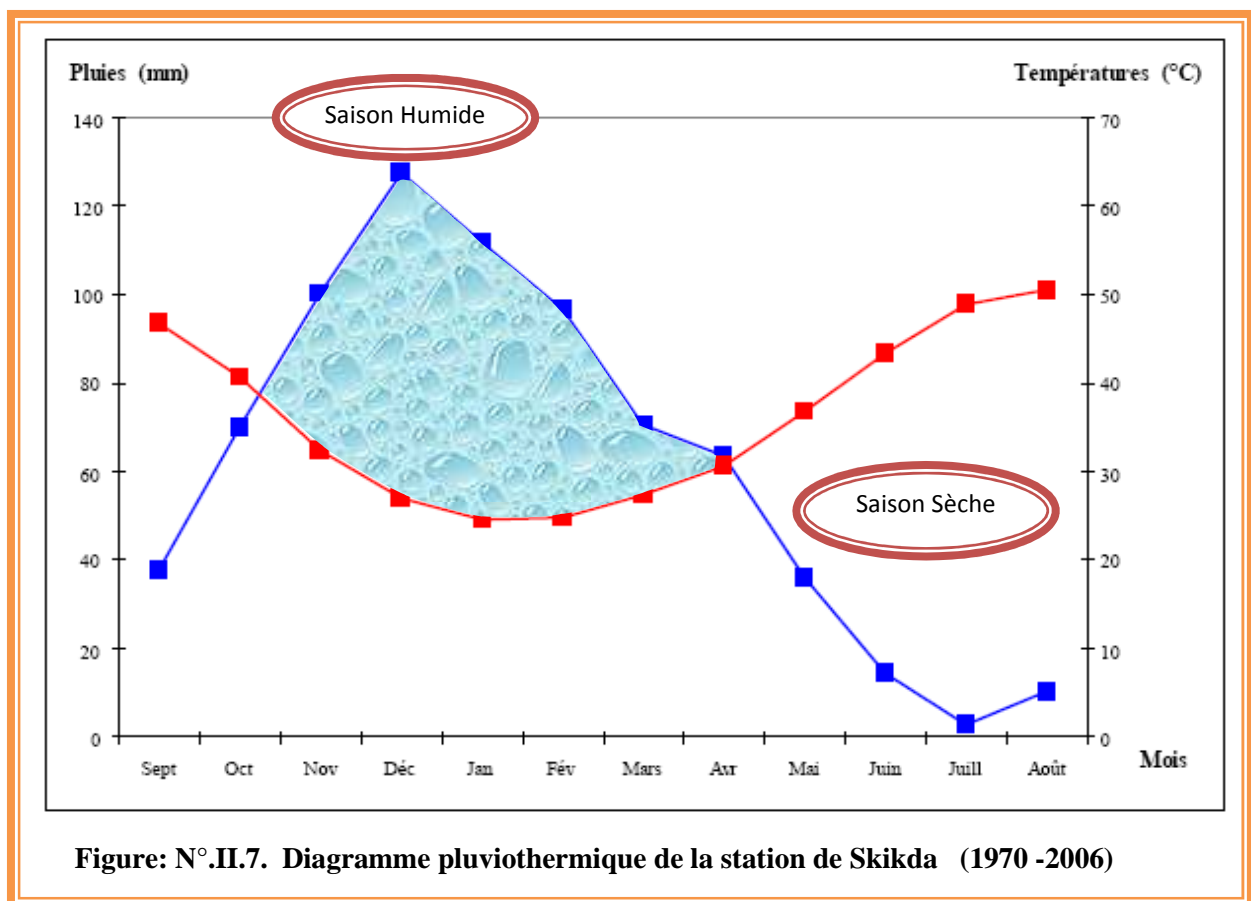
1. Le diagramme pluviothermique

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

Pour GAUSSEN et 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 pluviothermique dans lequel les températures sont portées à l'échelle double des précipitations.

2. La courbe pluviothermique



Ce diagramme montre qu'à la station de Skikda la période sèche s'étale pendant six mois allant de mai jusqu' au septembre cette sécheresse devienne plus accentuée au juillet et août.

3. Détermination d'humidité du sol (méthode d'EUVERTE)

La méthode d'EUVERTE nécessite la présence de deux paramètres essentiels qui sont les températures et les précipitations établies mensuellement où l'on calcule le rapport (P/T) qui permet de connaître l'humidité du sol, on distingue également quatre types de régimes :

- Un régime très sec où $P/T < 1$.
- Un régime sec où $1 < P/T < 2$.
- Un régime sub humide où $2 < P/T < 3$.
- Un régime humide où $P/T > 3$.

Tableau: N°.II.5 Relation température précipitation

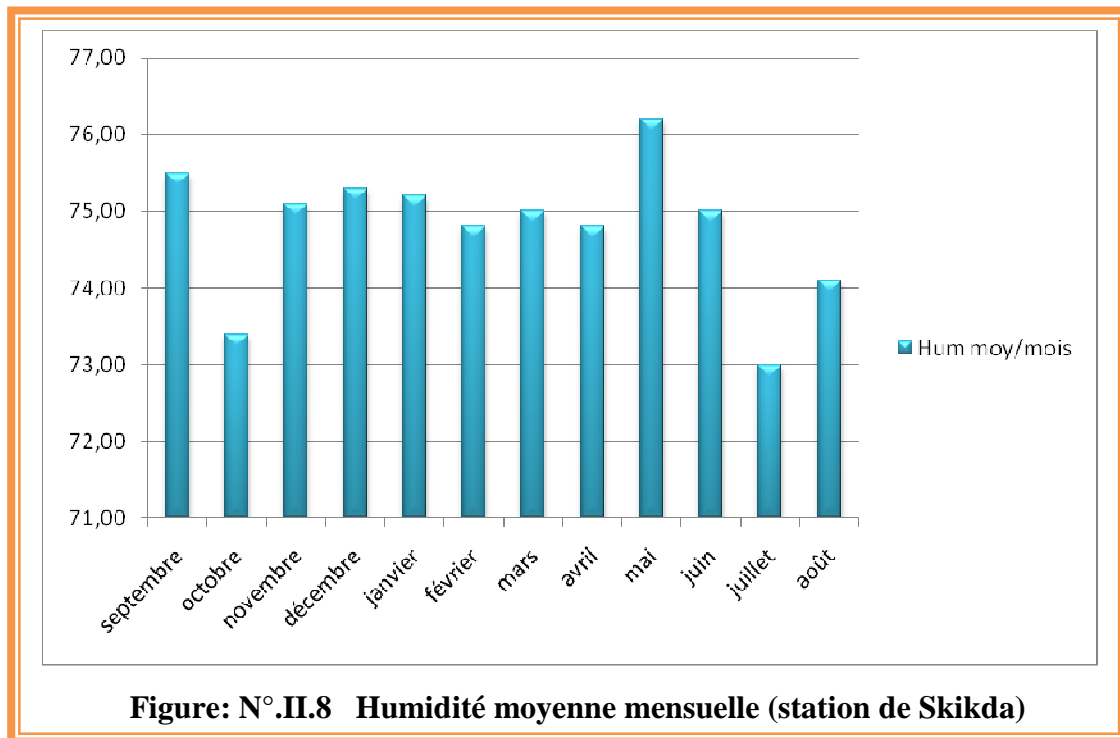
Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
P (mm)	37,75	70,01	100,36	127,75	111,70	96,68	70,58	63,51	36,02	14,29	2,65	10,40
T° c	23,40	20,40	16,20	13,50	12,30	12,40	13,70	15,30	18,40	21,70	24,50	25,30
P/T	1,61	3,43	6,20	9,46	9,08	7,80	5,15	4,15	1,96	0,66	0,11	0,41

Tableau: N°.II.6 Répartition des régimes selon la méthode d'Heuverte

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

3.3. L'humidité relative

L'humidité relative est le rapport de la tension de vapeur à la tension maximum correspondant à la température mesurée au thermomètre sec, exprimée en (%)



Les moyennes mensuelles présent au niveau de la station de Skikda varient entre 64,3 % la valeur minimale remarquée au mois de juin et 80,6 % la valeur maximale enregistrée au mois de janvier avec une moyenne annuelle de l'ordre de 70,44 %.

Tableau : N°.II.7. Humidité relative moyenne mensuelles à la station de Skikda

mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	moyenne
Humidité (%)	75,50	73,40	75,10	75,30	75,20	74,80	75,00	74,80	76,20	75,00	73,00	74,10	74,78

Source : station de Skikda (2006)

3.4. Le vent

Il représente l'un des facteurs les plus déterminants du régime pluvieux, de l'évaporation et par conséquent le climat. Les vents de direction Nord-Ouest sont les plus dominants sur la région d'étude avec une vitesse assez constante au cours de l'année et oscille entre 2,54 m/s et 3,59 m/s

Tableau : N°.II.8. Vitesse du vent à la station de Skikda

mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	moyenne
Vitesse m/s	2,65	2,75	3,30	3,50	3,38	3,59	2,93	3,02	2,54	2,63	2,59	2,59	2,96

Source : station de Skikda (2006)

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 d'étude pendant la période sèche.

4 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

$$A = 741.69 / (18.09 + 10) = 26.40$$

L'estimation de l'indice d'aridité pour la station de Skikda est de l'ordre de 26,40 indiquant dans ce cas un climat tempéré.

b) Climagramme de L. EMBERGER

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

Dont : Q_2 : est appelée quotient pluviométrique d'Emberger.

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud en degrés absolu ($^{\circ}K$).

m : moyenne des minima du mois le plus froid en degrés absolu ($^{\circ}K$).

P : précipitation moyenne annuelle en (mm).

Sur l'axe des abscisses en mettant les moyennes des minima de la saison froide (hiver) en $^{\circ}C$.

Pour la station de Skikda :

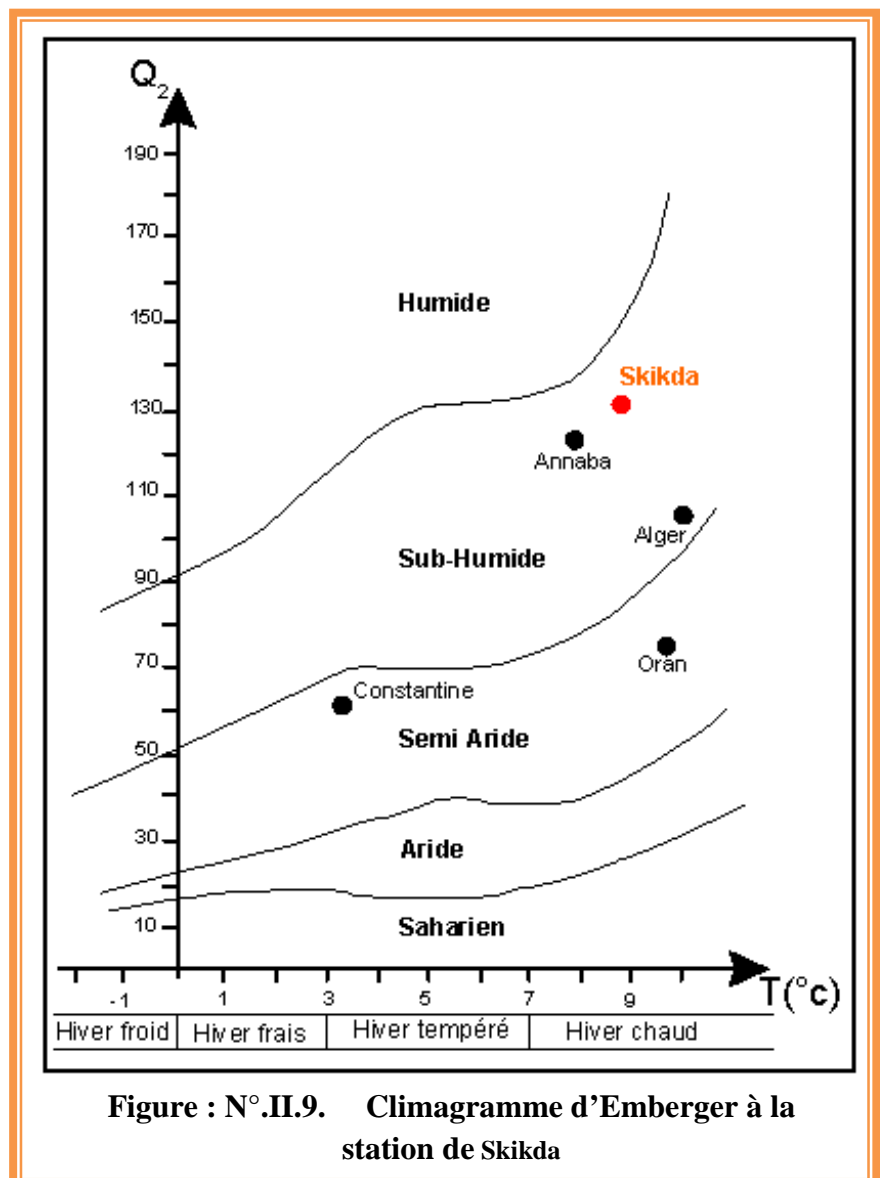
$$M = 28.20 \text{ }^{\circ}C + 273.15 = 301.35 \text{ K}$$

$$m = 9.05 \text{ }^{\circ}C + 273.15 = 282.20 \text{ K}$$

$$P = 741.69 \text{ mm (moyenne annuelle)}$$

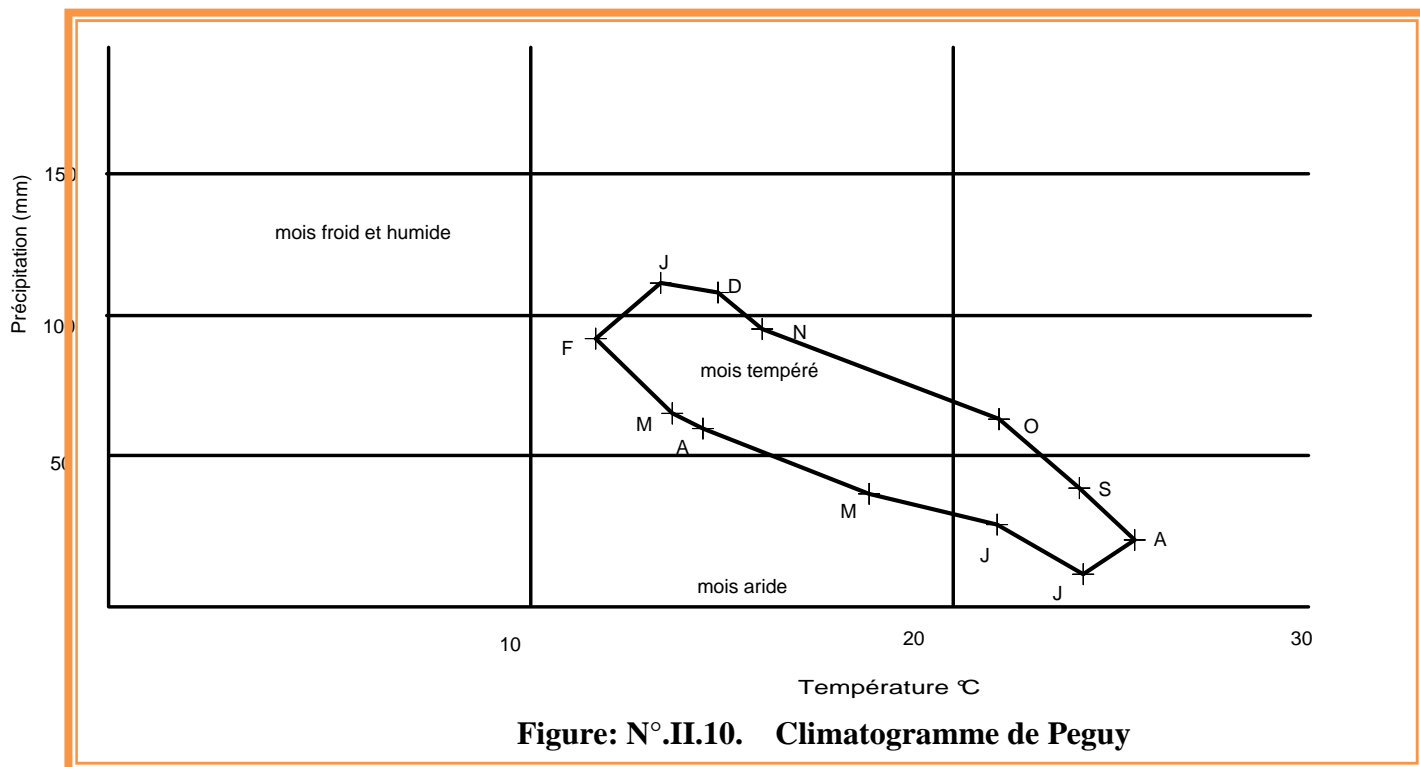
$$Q_2 = 132.74$$

$$T = 8,86 \text{ }^{\circ}C$$



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 montrée que les mois de décembre et janvier sont des mois humides, les mois de février, mars, octobre et novembre des mois tempérés et enfin mai, juin, juillet aout et septembre sont des mois arides.

5 Le bilan hydrique

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. En calcule ce bilan pour évaluer ses composants. Il est donné par la formule suivante :

$$\mathbf{P = E + R + I}$$

P : Pluviométrie moyenne annuelle en mm

E : Évapotranspiration réelle moyenne annuelle en mm

R : Ruissellement moyen annuel en mm

I : Infiltration moyenne annuelle en mm

5.1 Estimation de l'évapotranspiration

L'évapotranspiration est la déperdition en eau par retour directe à l'atmosphère sous forme de vapeur et correspondant à un phénomène regroupant à la fois des processus d'évaporation physique de l'eau contenue dans le sol et ceux relatifs à la transpiration correspondant à l'utilisation de l'eau atmosphérique et celle du sol par les végétaux et au rejet de vapeur d'eau dans l'atmosphère.

L'évapotranspiration est un des composantes fondamentales du cycle hydrologique, son étude est essentielle pour connaître le potentiel hydrique d'une région ou d'un bassin versant. On distingue :

5.1.1 Évapotranspiration potentielle ETP

C. W Thornthwaite à 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.

5.1.2. Calcul de l'ETP selon Thornthwaite

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

Où : t = la température moyenne annuelle en degré (°C)

I = la somme des indices thermiques mensuels $i = (T / 5)^{1,514}$

a = un exposant climatique où $a = 0,016T + 0,5$

$ETP_{\text{corrigé}} = ETP \cdot K$ dont K = est un facteur de corrélation mensuel dépend de la latitude et du mois, il est obtenu par un abaque de la durée d'éclairage.

Le tableau ci-dessous récapitule les résultats obtenus par la formule de thornthwaite

Tableau: N°.II.9. Calcule de l'ETP selon Thornthwaite

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total/an
T°	23,40	20,40	16,20	13,50	12,30	12,40	13,70	15,30	18,40	21,70	24,50	25,30	18.09
I	10,12	8,24	5,83	4,44	3,86	3,91	4,54	5,35	7,06	9,04	10,85	11,38	84.62
ETP	110,29	74,16	39,90	26,58	23,33	25,31	39,79	55,04	88,88	121,51	152,09	150,48	907,35
K	1,05	0,91	0,75	0,70	0,73	0,78	1,02	1,15	1,32	1,33	1,33	1,24	
ETPc	115.80	67.48	29.92	18.60	17.03	19.74	40.59	63.30	117.32	161.60	202.28	186.60	1040.27

5.1.3. Évapotranspiration réelle ETR

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

Plusieurs formules ont été proposées Pour l'estimation de l'évapotranspiration réelle ETR. La hauteur des précipitations et les températures moyennes mensuelles forment les bases de ces formules.

5.2 Calcul de l'ETR

a. Formule de TURC

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

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

Avec : $L = 300 + 25T + 0,05T^3$

ETR : évapotranspiration réelle (mm/an)

P : hauteur annuelle de la pluie (mm)

T : température moyenne annuelle (°c)

$$L = 300 + 25 (18,09) + 0,05 (18,09)^3 \rightarrow L = 1048,37$$

$$\Rightarrow \text{ETR} = 741,69 (0,9 + (550106,53 / 1099078,38))^{1/2}$$

$$\Rightarrow \mathbf{ETR = 626,73 \text{ mm/an}}$$
 soit 84,50 % des précipitations

$$R = P - \text{ETR} \quad \text{Donc } R = 741,69 - 626,73 = 114,96 \text{ mm}$$

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.

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

ETR : évapotranspiration réelle (m/an)

P : hauteur annuelle de la pluie (m)

T : température moyenne annuelle (°c)

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

Nous avons $\lambda = \mathbf{0,28}$ donc les données pluviométriques qu'on veut utiliser répondent bien à cette condition $\mathbf{0,417 < 0,741 < 1,666}$

$$\Rightarrow \text{ETR} = 0,741 - 0,30 \times 0,549 = 0,576$$

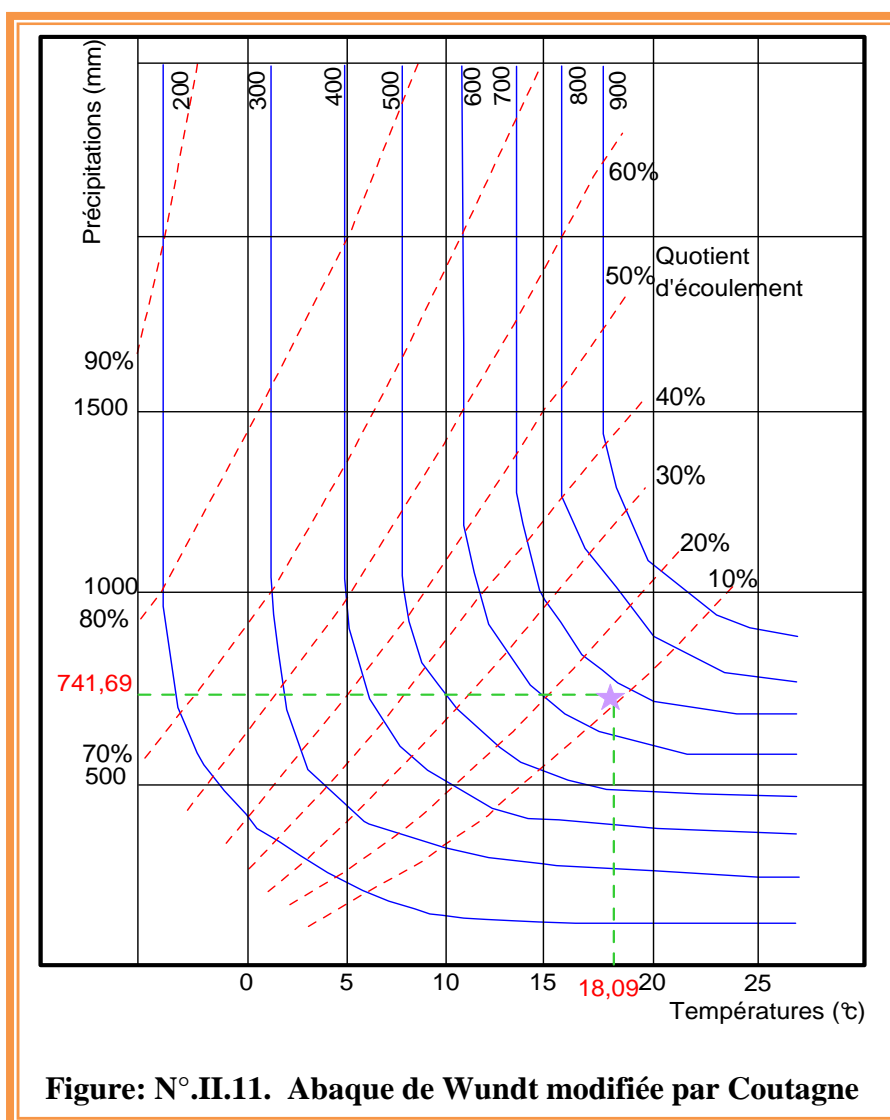
$$\Rightarrow \mathbf{ETR = 0,576 \text{ m/an} = 576 \text{ mm/an}}$$
 soit 77,66 % des précipitations

$$\text{Et } R = 741,69 - 576 = 165,69 \text{ mm}$$

c. Formule de WUNDT

A 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) on utilisant les résultats obtenus à la station de Skikda pour une précipitation égale à 741,69 mm et une température de 18,09 °C.

Après projection des valeurs de P et T on trouve que l'ETR (D_e) est de l'ordre de 680 mm soit 91,67 % des précipitations. Le ruissellement alors est $R = P - ETR = 741,69 - 680$
 → $R = 61,69$ mm



5.3 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 (ETR) 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.

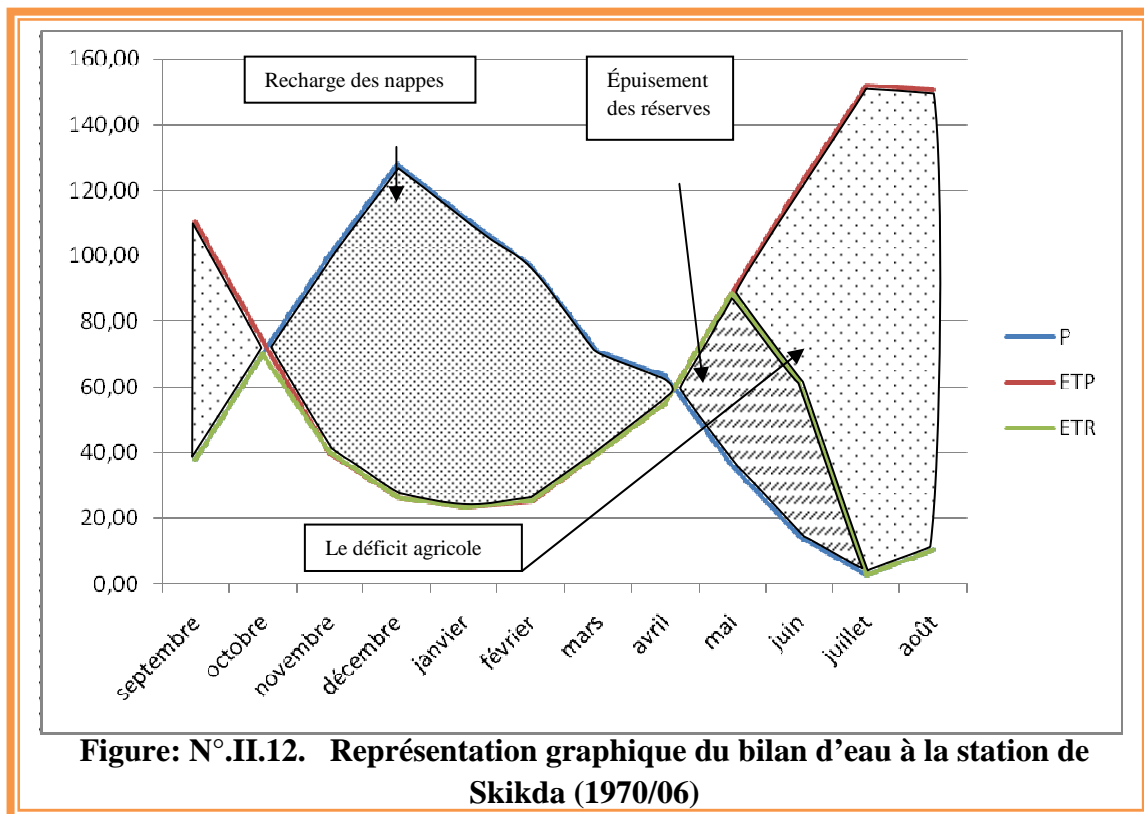
- Si le RFU = 0 la quantité $D = ETP - ETR$ représente le déficit agricole

Tableau: N°.II.10. Bilan de Thornthwaite

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	total
T	23,40	20,40	16,20	13,50	12,30	12,40	13,70	15,30	18,40	21,70	24,50	25,30	217,10
P	37,75	70,01	100,36	127,75	111,70	96,68	70,58	63,51	36,02	14,29	2,65	10,40	741,69
i	10,12	8,24	5,83	4,44	3,86	3,91	4,54	5,35	7,06	9,04	10,85	11,38	84,62
K	1,05	0,91	0,75	0,70	0,73	0,78	1,02	1,15	1,32	1,33	1,33	1,24	1,05
ETP	110,29	74,16	39,90	26,58	23,33	25,31	39,79	55,04	88,88	121,51	152,09	150,48	907,35
ETR	37,75	70,01	39,90	26,58	23,33	25,31	39,79	55,04	88,88	61,44	2,65	10,40	481,07
RFU	0,00	0,00	60,47	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	47,14	0,00	0,00	0,00	
Ex	0,00	0,00	0,00	61,64	88,37	71,37	30,78	8,47	0,00	0,00	0,00	0,00	260,63
D	72,54	4,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	60,07	149,44	140,08	426,28

D'après ce tableau on remarque qu'à partir du mois de décembre le RFU atteint son maximum, alors les réserves se reconstituent, on aura aussi un excédent qui varie de 0,00 mm au mois de novembre à 61,64 mm au décembre puis il se diminue à 8,47 mm au mois d'avril revenant à 0,00 à partir du mois de mai.

Dès le mois de juin en aura un déficit de 60,07 mm où les réserves commencent à s'épuiser pour devenir nuls au mois de novembre, ce déficit atteint son maximum au mois de juillet avec 149,44 mm.



De ce diagramme qui représente les trois paramètres du bilan d'eau, on remarque clairement qu'au mois d'avril la précipitation commence à se diminuer jusqu'à l'obtention de sa plus petite valeur au mois de juillet (2,65 mm). En même temps l'ETP augmente et atteint son maximum toujours au mois de juillet (152,09 mm). Dans cette période qui s'étale entre avril et juillet l'ETR continue son augmentation qui l'a débuté au mois de février jusqu'au mois de mai et c'est à cause le RFU qui n'a pas encore épuisé. Dès que le RFU diminue à partir de mai, l'ETR diminue aussi et atteint son minimum avec la précipitation au mois de juillet, et c'est la période d'épuisement des réserves.

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 d'avril, (voir figure suivante).

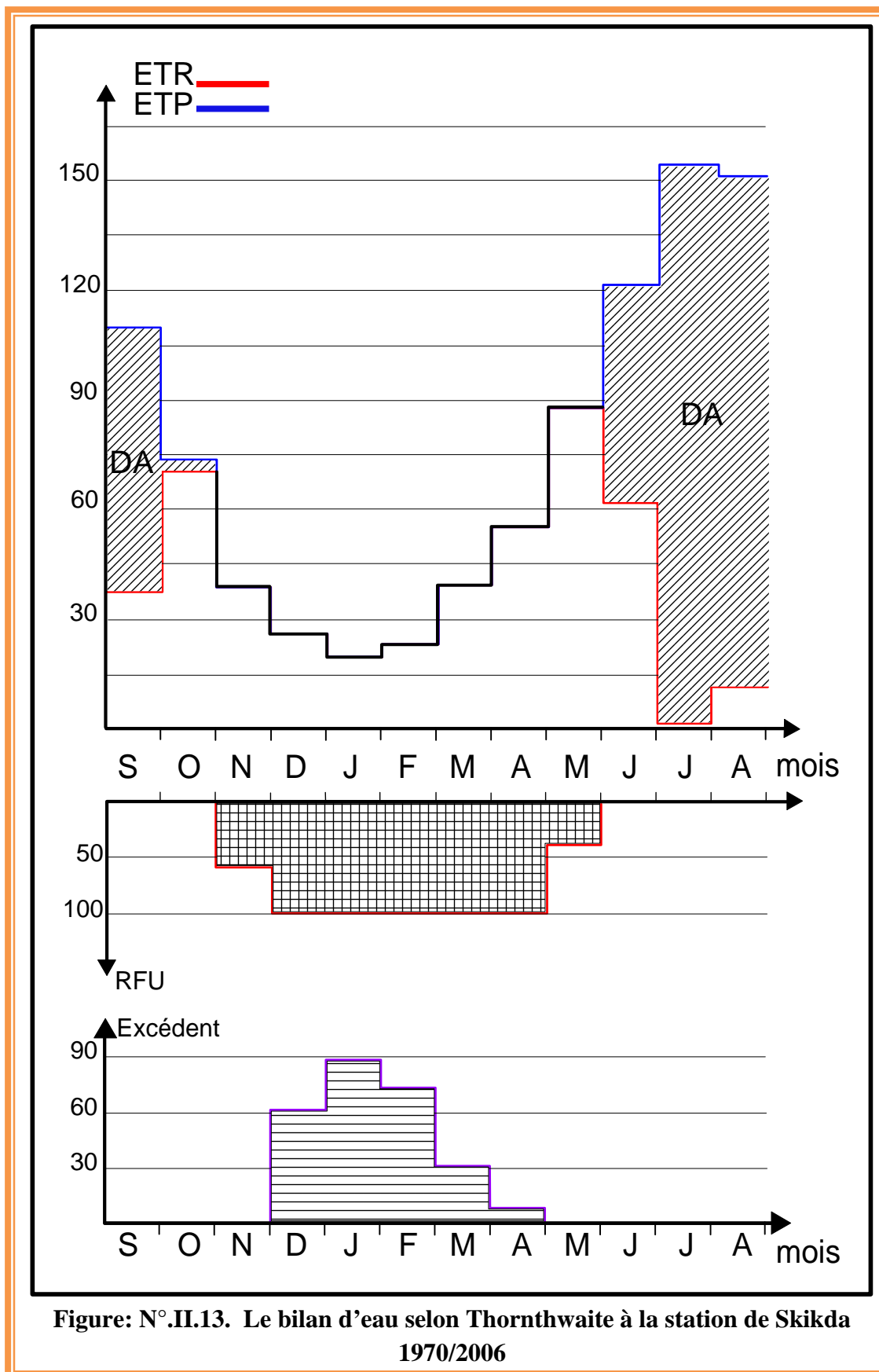


Figure: N°.II.13. Le bilan d'eau selon Thornthwaite à la station de Skikda 1970/2006

5.4 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: N°.II.11. Valeurs de l'évapotranspiration obtenues par les différentes méthodes

Paramètre (mm)	ETR	R	ETP	
Méthode	Thornthwaite	481,07	260,63	907,35
	Coutagne	576	165,69	
	Turc	626,73	114,96	
	Wundt	680	61,69	
moyenne	590,95	150,74		

5.5 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 en mm.

ETR = Évapotranspiration réelle moyenne annuelle en mm.

R = Ruissellement moyen annuel en mm.

I = Infiltration moyenne annuelle en mm.

A propos des paramètres de cette équation, on a une précipitation moyenne annuelle égale à 741,69 mm/an.

Pour l'évapotranspiration réelle nous l'avons estimé par les différentes méthodes et elle est de l'ordre de 481,07 mm

A partir des précipitations et de l'évapotranspiration nous obtenons la lame d'eau écoulée et qui est égale 260,63 mm ce qui représente 35,14 % des précipitations. Cette quantité représente l'écoulement total qui englobe l'écoulement superficiel et souterrain, (R +I)

5.6 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 en (mm).

R : Ruissellement de surface en (mm).

ETP : Évapotranspiration potentielle en (mm).

Dont : P = 741,69 mm

ETP = 481,07 mm

⇒ R = 165,19 mm

Mais nous avons la quantité d'eau écoulée est 260,63mm englobant l'écoulement superficielle et souterraine alors $I = 260,63 - 165,19 = 94,43$ mm soit 12,73 % de la précipitation.

6 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 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 741,69 mm.

La saison humide s'étale depuis le mois d'octobre jusqu'à avril, et l'autre saison de mai jusqu'à septembre.

En ce qui concerne la lame d'eau précipitée sur le bassin, on a trouvé quelle est de l'ordre de 741,69 mm, et une température de 18,09 °c comme moyenne annuelle pour une période de 36 ans (1970/06). L'évapotranspiration réelle est égale en moyenne à 590,95 mm soit 68,75 % 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, pour la quantité d'eau ruisselée elle estimée à 260,63 mm dont 94,43 mm soit 12,73 % des précipitations s'infilte et le reste forme l'écoulement superficiel.

chapitre III

Hydrogéologie

1. Introduction

La région de Guerbes est caractérisée par un couvert végétal très dense. L'abondance des marécages et la nature géologique des formations lithostratigraphiques caractérisées par une forte perméabilité (sable) font que cette région recèle un important gisement d'eau souterraine.

Le système aquifère de Guerbes est la principale ressource pour la population de la région, pour cela, il est indispensable de déterminer les extensions des aquifères et leur caractéristiques hydrodynamiques qui nous mèneront à définir l'état des nappes vis-à-vis de la demande.

L'identification des différentes formations lithostratigraphiques a mis en évidence les différents horizons aquifères de la plaine.

Dans ce chapitre on s'intéressera à la piézométrie qui est la synthèse la plus importante dans une étude hydrogéologique. En effet des cartes représentent à une date donnée la distribution spatiale des charges qui nous permet de connaître le sens des écoulements, les zones d'alimentation ainsi que les zones de vidanges.

2. Géométrie des aquifères

La nature, la cohésion, et la structure de la roche dans laquelle l'eau est stockée et circulée, sont les conditions nécessaires pour qu'une formation géologique soit productrice de l'eau. Dans le but de la détermination de la qualité géologique du remplissage sableux et alluvial et la reconnaissance du substratum, une synthèse des données de forages a été réalisée.

2.1 Caractéristiques hydrogéologiques des formations aquifères

Pour déterminer la nature et l'emplacement des aquifères de la région, des coupes schématiques ont été réalisées dont les informations sont issues des données de forages. L'examen de ces coupes montre la présence d'un système d'aquifère constitué de plusieurs nappes.

Une nappe libre localisée au niveau des formations sableuses, surmontant une nappe profonde contenue dans les alluvions. Les deux nappes se confondent vers l'Ouest.

La nature géologique de ces formations et les caractéristiques hydrodynamiques (perméabilité) constituent les facteurs les plus importants susceptibles de nous renseigner sur la présence de nappes aquifères.

Ainsi dans la région d'étude, nous avons et selon les études préalablement établies distingués deux catégories de formations.

2.2 Les formations perméables

2.2.1 Les formations liasiques du djebel SAFIA

Les formations calcaires et dolomies du Dj Safia forment un aquifère important, mais leur structure anticlinale joue le rôle d'un drain. Ces formations reçoivent des précipitations représentant un volume important et ces eaux deviennent captives sous les dépôts argileux de l'oued el-Kebir.

2.2.2 Les alluvions de l'Oued El-Kebir

Ils sont en relation avec les formations de Dj Safia, les massifs métamorphiques de Boumaiza, les formations numidiennes et le massif dunaire.

Les zones les plus perméables se situent à la débauche de l'oued el-Kebir et ses affluents dans la vallée. Ainsi que le réservoir alluvionnaire le plus important se trouve dans la partie amont de la vallée.

2.2.3 Le colluvium

Les niveaux les plus grossiers de ce colluvium représentent un drain des eaux de ruissellement.

2.2.4 Le massif dunaire (80 Km²)

Le principal réservoir se trouve dans les dunes qui reçoivent des précipitations très importantes. Les sources et la majorité des puits sont tous à la périphérie.

Les grés dunaires où calcarénites gréseuses, les sables rouges et les sables blancs constituent le massif dunaire s'étend sur une superficie d'environ 80 Km² encadré sur trois cotés par des dépôts alluvionnaires plus argileux au Sud - Est et Nord - Est et des alluvions plus sableuses au Sud – Ouest. Leur extension est limitée à 2 ou 3 Km du rivage.

Ce massif dunaire est caractérisé par une forte infiltration atteint les 300 mm (Khammar.C, 1981) de fait que le ruissellement est négligeable. La morphologie et la perméabilité des sables étant les principales causes.

2.3 Les formations imperméables

Elles concernent en premier lieu les roches métamorphiques du Paléozoïque et les formations flyshoides Crétacé et tertiaire (massif de Boumaiza) dont la nature lithologique essentiellement plastique traduit un ruissellement des eaux beaucoup plus qu'à l'infiltration.

2.4 Conclusion

Les terrains essentiellement perméables sont les calcaires du Dj SAFIA, les dépôts alluvionnaires au débouché des oueds et les dépôts du massif dunaire où les réserves sont les plus importants.

3. Piézométrie

3.1 Introduction

L'étude piézométrique sert à déterminer le niveau de l'eau dans les nappes, elle va nous aider à la réalisation des cartes piézométriques relatives à chaque état, cette dernière permet la détermination du sens d'écoulement ainsi que le mode d'alimentation de la nappe.

Les cartes piézométriques établies d'après les données des niveaux piézométriques schématisent les fonctions capacitives et conductrices du réservoir et le comportement hydrodynamique de l'aquifère.

Plusieurs cartes ont été réalisées :

- les cartes des basses et hautes eaux de 1975 et celle des hautes eaux de 1978 de l'A.N.R.H
- les cartes des basses et hautes eaux de 1997.
- les cartes des basses et hautes eaux de 1998. (HAMDI. A, 2003)

3.2 Inventaire des points d'eau

Prenant en considération l'inventaire des points d'eau effectué par l'ANRH (Annaba) et qui englobe dans sa totalité 183 points et 18 forages pour l'ensemble de la vallée de l'oued el-Kebir Ouest nous avons retenu les points qui nous paraissent les plus représentatifs.

Une campagne piézométrique a été effectuée pendant la période des hautes eaux (Mai 1989) sur l'ensemble des points choisis recouvrant le secteur d'étude. Ces points sont dispersés à travers la plaine et le massif dunaire.

L'ensemble du réseau du massif est constituée par des puits peu profond et des forages atteignant le substratum.

La plus part des points est destinés à :

- ✓ L'alimentation des agglomérations urbaines.
- ✓ L'alimentation des propriétés individuelles.
- ✓ L'alimentation du bétail.
- ✓ L'irrigation des terres cultivées.
- ✓ L'alimentation des industries de matériaux de construction.

3.3 Commentaire des cartes piézométriques

Les cartes de la surface piézométriques établies avec les données des niveaux piézométriques permettent de déterminer le sens d'écoulement, les principales zones de circulation des eaux souterraines, l'alimentation des nappes, les lignes de partage des eaux, et l'évaluation du gradient hydraulique.

3.3.1 Cartes hautes et basses eaux 1975

A partir de cartes réalisées des hautes et basses eaux de l'année 1975 on peut conclure les conditions d'écoulement qui sont les suivantes :

- * A l'Ouest de la région d'étude l'écoulement se fait à partir du massif de bordure et le centre du massif vers la garaat qui se dirige vers la mer au Nord.
- * A l'Est l'écoulement se fait au centre du massif dunaire vers garaat Moussissi et l'oued el-Kebir.
- * Au Sud dans la région de Ben Azzouz l'écoulement se fait du centre du massif dunaire vers garaat Seberka et l'oued el-Kebir.

3.3.2 Cartes hautes et basses eaux (78.89.97)

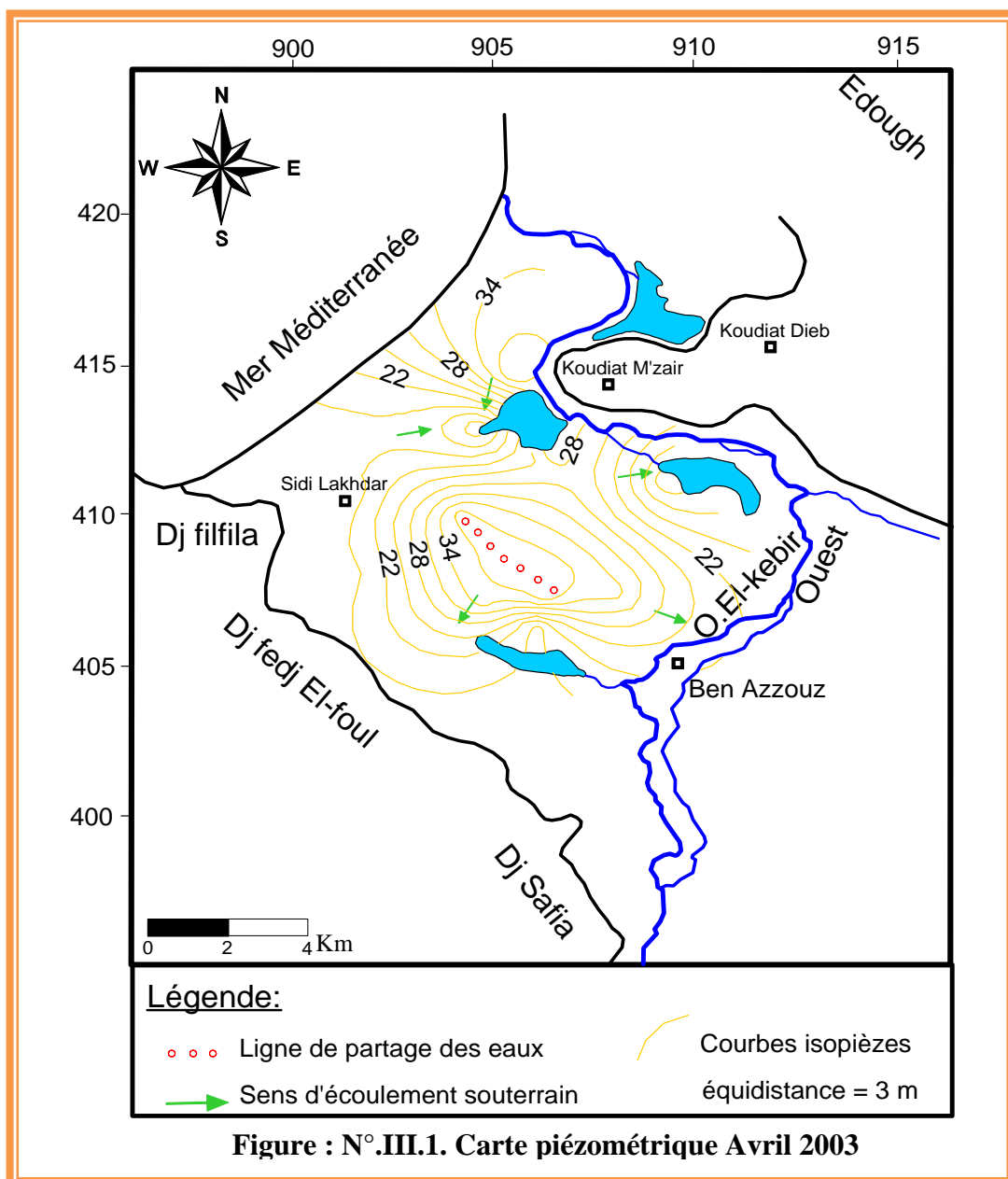
En général ces cartes montrent que l'écoulement se repartit en trois zones principales :

- * A l'Ouest, l'alimentation se fait à partir du massif de bordure (Dj Saifa et Senhadja) et convergent vers Garaat et l'oued Dissia qui s'écoulent vers la mer au Nord.
- * A l'Est l'écoulement se fait au centre du massif dunaire vers garaat Moussissi et l'oued el-Kebir à l'Ouest.
- * Dans la région de Dem el-Begrat l'écoulement se fait à partir du massif de bordure Dj Safia vers garaat Seberka ainsi que du centre du massif dunaire vers la même garaat.
- * Dans la région de Ben Azzouz, les eaux viennent du massif de Boumaiza et le centre du massif dunaire et se dirigent vers l'oued el-Kebir.

3.3.3 Carte du mois d'avril 2003

La carte piézométrique du mois d'avril montre la présence d'un dôme piézométrique joue le rôle d'une ligne de partage des eaux, on distingue alors deux systèmes hydrogéologiques. Le premier occidental où l'écoulement se fait vers la zone comprise entre les reliefs de bordure et la plaine, le deuxième oriental où l'écoulement se dirige vers les marécages adjacente et l'oued.

En ce qui concerne le gradient hydraulique, il est de l'ordre de 0,015 au Nord – Est, ce qui traduit une faible perméabilité, par contre il est faible au Nord – Ouest, il est de l'ordre de 0,0025 indiquant une forte perméabilité, et il est de l'ordre de 0,0075 au Sud – Est du secteur.



3.3.4 Carte du mois d'Avril 2004

Après une année la carte piézométrique du mois d'avril 2004 préserve la même physionomie que celle du 2003, la même ligne de partage des eaux, les sens d'écoulement sont les mêmes sauf le gradient hydraulique qui se change, il a devenu 0,05 au centre, un gradient fort qui veut dire une faible perméabilité. Au Nord et au Sud – Ouest il est respectivement 0,002 et 0,003 en remarquant aussi des courbes très serrées indiquant une forte perméabilité

3.4 Interprétation des cartes piézométriques

Les cartes piézométriques traitées lors de cette étude nous permettent d'en tirer les conditions d'écoulement suivantes.

- ✓ Dans la zone de Sidi Lakhdar, l'écoulement se fait vers les marécages.
- ✓ Dans la zone de Boumaiza les eaux viennent de ce massif se dirigent vers l'oued el-Kebir.
- ✓ En bordure du massif l'écoulement se fait vers l'oued.
- ✓ Sur le front de la mer, au massif de Fil-fila les eaux se dirigent vers la mer.
- ✓ Aux axes des oueds les eaux viennent du Dj Safia et du massif dunaire et se dirigent vers les marécages et les oueds.

➤ **On général on peut noter**

En étudiant les différentes cartes établies sur plusieurs auteurs et étalés sur plusieurs périodes.

L'importante variation du sens d'écoulement et l'évolution de la surface piézométrique.

Ceci est du fait que le massif de Guerbes se caractérise par une forte hétérogénéité et une tectonique très importante.

L'étude de la carte des résistances transversales montre plusieurs failles.

Ces failles sont de direction NE-SE et NO-SE ont surtout pour effet le compartimentage de la nappe.

A cela s'ajoute la morphologie du toit du substratum qui montre plusieurs zones soulevées faisant que l'épaisseur parfois de l'aquifère diminue énormément et disparaît dans certains cas.

Ces discontinuités ont pour effet de créer des seuils hydrauliques.

En période des hautes eaux, il y a bien une communication à travers toute la nappe et déversant au niveau des seuils provoquant un gradient hydraulique plus fort.

On observe de ce fait dans certaines cartes l'existence de plusieurs lignes de partage des eaux ce qui montre parfois un sens d'écoulement qui se fait vers le SE alors que pour les nappes côtières.

L'écoulement se fait généralement vers la mer. L'existence de ces seuils hydraulique se manifestent aussi lors des essais de pompages ou des changements brusque dans les courbes de relativement-temps.

Il faut aussi prendre en considération les effets locaux liés a la topographie au pied du massif de Safia qui alimente la nappe le gradient hydraulique est très fort.

Celui-ci est du a l'importante pente topographique et celle du substratum.

L'écoulement souterrain a pour origine le massif de bordure du Dj Safia et Sanhadja ainsi que le centre du massif dunaire et se dirigent :

- Au Nord vers la mer.
- Au Sud et à l'Est vers garaat et l'oued el-Kebir Ouest.

L'alimentation du système aquifère de la plaine alluviale de l'oued el-Kebir se fait à partir des eaux météoriques qui s'infiltrent dans les alluvions grossières et surtout dans le massif dunaire ou la morphologie et la nature pétrographique des dunes sont favorables à une infiltration importante, et les apports des massifs de bordure.

3.5 Conclusion

L'étude des cartes piézométriques a montrée deux tendances dans la partie Nord :

La première montre un écoulement qui se dirige de la nappe vers la mer pendant les mois pluvieux, et la deuxième montre un écoulement qui se dirige de la mer vers la nappe à partir du mois d'avril, le début de la saison sèche. La zone Ouest reste toujours caractérisée par un dôme piézométrique jouant le rôle d'une ligne de partage des eaux.

4. caractéristiques hydrogéologiques

Pour mieux connaître la géométrie du réservoir, la structure de la couche aquifère, la lithologie des coupes de la vallée de l'oued el-Kebir et les logs stratigraphiques des forages réalisés,

Deux coupes schématiques hydrogéologiques A et B ont été tracées dans deux endroits différents du secteur d'étude.

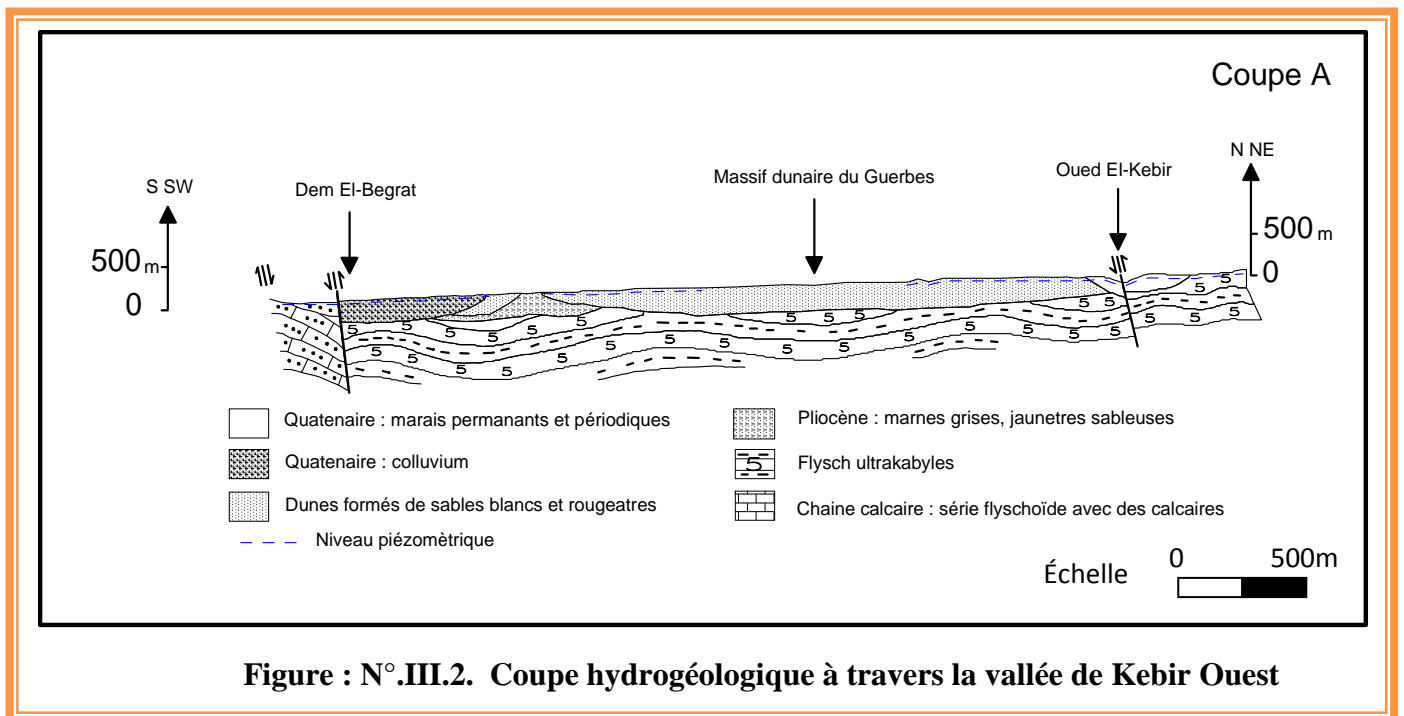
4.1 Première coupe A

Cette coupe traverse la vallée de l'oued el-Kebir Ouest de direction SSO- NNE au voisinage du village Dem El-Begrat et le massif dunaire de Guerbes recoupant l'oued el-Kebir avec un certain nombre de puits.

➤ La structure géologique est plissée. Les formations récentes du Quaternaire recouvre en profondeur.

➤ Le niveau piézométrique est presque horizontal puis commence à prendre la forme de la topographie ou il atteint la surface près de Dem el-Bagratt et la massif dunaire.

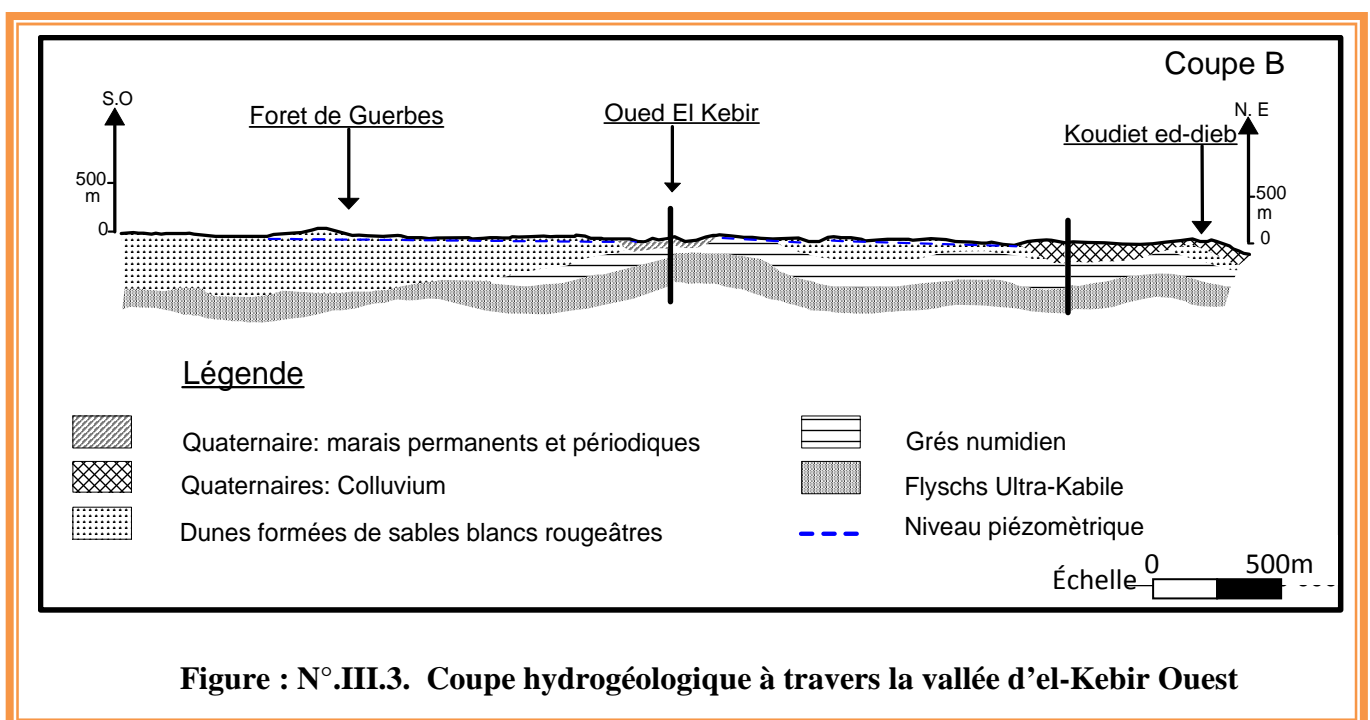
➤ La profondeur du niveau piézométrique est en moyenne de 35,65 m au centre de la coupe et diminue jusqu'à 8,63 m.



4.2 Deuxième coupe B

Cette coupe traverse la forêt de Guerbes au Sud –Ouest et koudiat –Eddieb au Nord –Est.

- La structure géologique est faillée à l'extrémité Nord –Est (koudiat –Eddieb) et au centre de la coupe (oued el-Kebir), la coupe est recouverte d'une couche de colluvium, de sable blanc rougeâtre.
- Au centre de la coupe le niveau piézométrique relatif à la nappe superficielle est horizontal, la profondeur va jusqu'à 24,12 m.



5. Caractéristiques hydrodynamiques

5.1 Introduction

Les caractéristiques hydrodynamiques des nappes souterraines sont généralement obtenues au moyen des tests portant sur les modifications du comportement hydrodynamique du complexe –ouvrage de captage, en réponse à une impulsion créée par un pompage à un débit constant.

L'essai de pompage est l'un des moyens les plus utilisés pour déterminer les propriétés hydrauliques des couches aquifères. Il permet de connaître les caractéristiques du complexe aquifère –ouvrage les paramètres hydrodynamiques (perméabilité, transmissivité, coefficient d'emménagement) et les caractéristiques particulières de l'aquifère (test des conditions aux limites, structure, hétérogénéité, drainance, ...etc.)

En effet un certain nombre de données résultant des essais de pompage réalisées par C. Khammar au 1981 au niveau des forages et des piézomètres du massif et la nappe alluviale nous permet de calculer les paramètres susmentionnés.

5.2 Caractéristiques hydrodynamiques

5.2.1 Définition des caractéristiques hydrodynamiques

5.2.1.1 La transmissivité

C'est le produit du coefficient de perméabilité par l'épaisseur de l'aquifère. Elle est égale au débit traversant une section normale à l'écoulement, de largeur unitaire prise sur toute l'épaisseur de l'aquifère et sous un gradient hydraulique égal à l'unité. Elle s'exprime en m^2/s .

5.2.1.2 La perméabilité

C'est le volume d'eau gravitaire en m^3 traversant en une unité de temps, sous l'effet d'une unité de gradient hydraulique, une unité de section en m^2 orthogonale à la direction de l'écoulement. Elle s'exprime en m/s . selon la loi de DARCY

5.2.1.3 Le coefficient d'emménagement

Il est défini comme un volume d'eau libre où emmagasiné à travers une surface d'air égale à l'unité, pour une unité de variation de la charge hydraulique, Δh , normal à cette surface. Il est désigné par le symbole S , (sans dimension).

Dans un aquifère libre, l'eau est libérée par l'action des forces de gravité (drainage). Le coefficient d'emmagasinement est équivalent en pratique à la porosité efficace.

Dans un aquifère captif ou semi captif l'expulsion de l'eau est le résultat de la compression de l'aquifère et de la baisse du niveau statique lors du pompage provoquant une baisse de pression, une détente élastique et une déformation du solide libérant l'eau (action d'élasticité de l'eau et du solide). Le module d'élasticité étant faibles, le volume d'eau libéré est beaucoup plus petit.

5.2.2 Détermination des caractéristiques hydrodynamiques

Pour la détermination graphique des paramètres hydrodynamiques on a appliqué l'expression d'approximation logarithmique de la formule de Theis donnée par Jacob.

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

Où :

S = rabattement (m)

Q = débit constant de pompage dans le puits (m³/s)

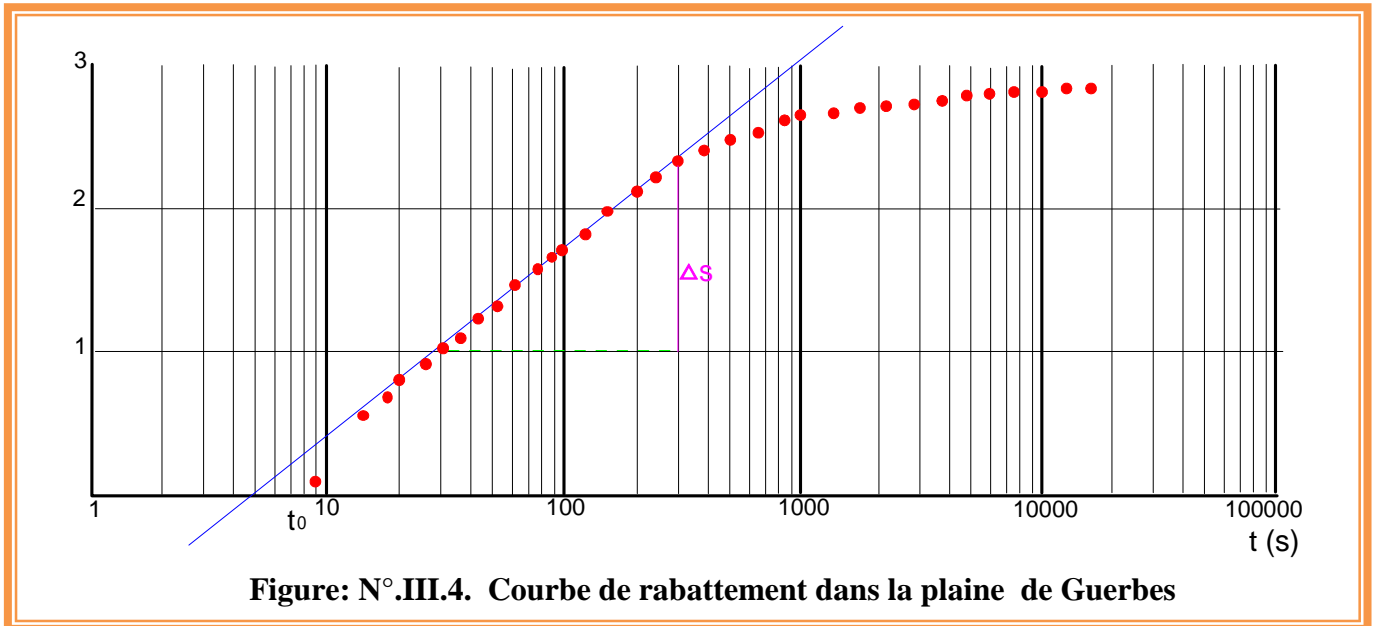
T = transmissivité (m²/s).

S = Coefficient d'emmagasinement (m/s)

t = temps de pompage en seconde.

r = distance du piézomètre d'observation à l'axe du puits de pompage en mètre.

On calcule la transmissivité à partir de l'équation suivante :



1) La transmissivité

$$T = 0,183 Q / \Delta S$$

Selon la tangente nous avons :

$$\triangleright \Delta S = 1,35 \text{ m et on a } Q = 3 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\Rightarrow T = (0,183 \times 3 \times 10^{-3}) / 1,35 \qquad T = 0,40 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

Les essais de pompage réalisés dans les puits à débit compris entre $0,6 \cdot 10^{-3}$ et $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ ont donnés des transmissivités comprises entre $0,1 \cdot 10^{-3}$ et $0,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ (Khammar.C 1981).

2) La perméabilité

Nous avons $T = K \cdot e$ avec $e = 15 \text{ m}$

$$\rightarrow K = 0,40 \cdot 10^{-3} \times 15 = 6,10 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

$$K = 6,10 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

3) Le coefficient d'emmagasinement

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

Dont : t_0 = le temps à l'origine ($S = 0$) et on a $t_0 = 5$ s

r = la distance entre le puits et le piézomètre = 100 m

$$\Rightarrow S = (2,25 \times 0,40 \cdot 10^{-3} \times 5) / 100 = 0,45 \cdot 10^{-4}$$

5.2.3 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)

6. Carte des conditions aux limites

L'identification du comportement hydrodynamique de l'aquifère repose sur une définition drastique des conditions aux limites, elles sont identifiées par les structures hydrogéologiques, les pompages d'essais, les mesures du niveau piézométrique et ses fluctuations.

Dans la région qui nous concerne, chaque zone peut être considérée séparément étant donné que la crête piézométrique qui les sépare est une limite imperméable susceptible de se déplacer.

⇒ La première zone est bordée par la mer, vers laquelle se dirigent les écoulements souterrains, c'est une limite imperméable à flux nul. Il s'agit d'une limite géologique étanche sachant que les formations occupant le littoral sont des calcaires donc des grés, massifs imperméables. La morphologie du substratum aussi joue le rôle d'un écran contre l'intrusion marine. Malgré qu'à l'Ouest du rivage on remarque un écoulement en provenance de la mer, ce qui nous mène 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 argilosableuses. Les argiles de l'oued forment un barrage qui entraîne au contact des sables rouges de débordement de la nappe. Les argiles sableuses portent des marécages alimentés à la fois par la nappe et le ruissellement provenant des Dj Safia et Sanhadja. Pendant les crues, les étangs débordent dans l'oued Maboun.

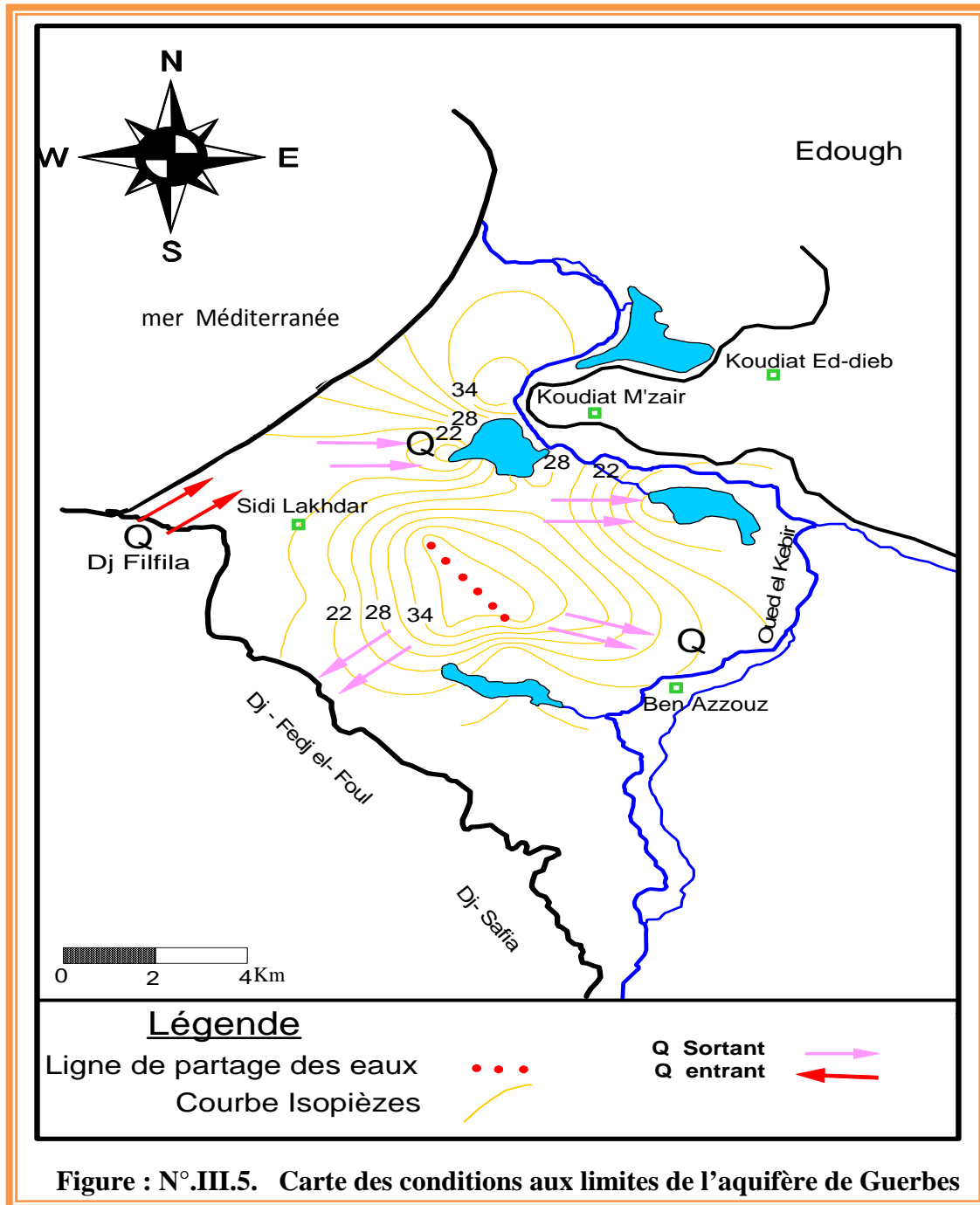


Figure : N°.III.5. Carte des conditions aux limites de l'aquifère de Guerbes

7. Conclusion

Le substratum présente des fossés d'effondrements individualisé le long des accidents qui seraient de directions Sud-Est Nord-Ouest. Il est recouvert de dépôt plio-Quaternaires. Cette configuration géologique est favorable pour l'emménagement et la circulation des eaux souterraines. Les dolomies et les calcaires Liasique sont parmi les formations auront anté-Miocène les plus perméable.

L'étude géophysique a révélé la présence de zone saline qui longe l'oued el-Kebir depuis Ain Meklem jusqu'à Garaat Cherouk. Ces formations auront une incidence sur la qualité chimique de la nappe.

La plaine côtière de Guerbes renferme un système d'aquifère, essentiellement sableux qui abrite une nappe libre dont l'épaisseur varient entre 15 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 piézométrique. Celles-ci ont mis en évidence deux systèmes hydrogéologiques séparés par une ligne de partage des eaux souterraines. Un système oriental traduisant une zone de drainage par l'oued et les marécages, l'autre occidentale indique une zone d'alimentation.

L'étude des caractéristiques hydrodynamiques de la nappe a donné un résultat de transmissivité de l'ordre de $0.40 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ au massif dunaire.

L'étude de l'aquifère, la piézométrie et les essais de pompages ont permis de dresser une carte des conditions aux limites de la nappe. Celle-ci a mis en évidence trois zones : la première située au rivage, il s'agit d'une limite à potentiel imposé c'est une limite étanche à flux nul à l'Est mais qui serait à flux entrant à l'Ouest. La deuxième localisée à l'Est, au Sud et au Sud-Ouest, c'est limite à potentiel imposé à flux sortant et la troisième zone est celle située au Nord-Ouest c'est une limite à flux entrant.

Finalement, la réserve en eau souterraine déterminée à la base de l'épaisseur moyenne de la tranche saturée et de la porosité efficace a été estimée à $300,85 \text{ hm}^3$ pour l'aquifère libre ce qui représente une réserve appréciable.

chapitre IV

Qualité

des eaux

I. Introduction

L'étude hydrochimique est toujours indispensable afin de compléter l'étude hydrogéologique car elle permet de connaître les caractéristiques physico-chimique de l'eau, le processus de leur acquisition et leur évolution ainsi que les lois qui régissent les échanges entre l'eau et le sol où l'interaction eau-roche.

Elle est primordiale dans la gestion des ressources en eaux car elle permet de comprendre leur hydrodynamisme et la qualité des eaux.

Dans ce chapitre nous essayerons de:

- déterminer les principaux faciès chimiques des eaux, leur répartition quantitative dans la plaine et le massif dunaire et de suivre leur évolution dans l'espace et dans le temps.
- Donner une idée sur la qualité des eaux de la région.
- Apprécier les différents paramètres ayant une influence sur l'évolution de la qualité chimique des eaux à savoir, la salinité et l'agressivité qui posent de sérieux problèmes au niveau de la consommation ainsi la pollution induite par les activités humaines.

II. Paramètres physico-chimique des eaux

II. 1. Paramètres physiques

II. 1. 1. Température

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

Pour le bassin versant d'el-Kebir Ouest, les études faites pour cet élément ont montrées que la température oscille entre 12,6 °C et 27,1 °C (2002-2003) au niveau de la nappe superficielle, et de 19,1 °C et 25,7 °C (2004-2006) pour la nappe profonde.

II. 1. 2. Le potentiel hydrogène (pH)

Le pH, est l'élément essentiel dans les propriétés physico-chimiques constitue le mode de présentations en ions (H^+) d'une solution ce qui exprime l'acidité et l'alcalinité d'une solution et permet de déterminer l'agressivité des eaux.

Les mesures faites sur terrain montrent que le pH varie d'un point à l'autre, pour les deux nappes. Il est compris entre 5,6 et 8,5 en basses eaux, et entre 5,7 et 8,6 en hautes eaux pour la nappe superficielle, et de 6,7 et 9,3 en basses eaux et entre 7,1 et 9,2 en hautes eaux pour la nappe profonde.

Cette variation du pH due essentiellement à la géologie du terrain.

Les valeurs du pH des eaux de la nappe alluviale varient entre 6,3 et 7,5 ce qui montre le caractère acide des eaux en moyenne.

II. 1. 3. La conductivité

La conductivité est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1cm^2 de surface et séparées l'une de l'autre de 1cm.

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

Elle permet aussi d'évaluer approximativement la minéralisation totale de l'eau. Les mesures sont exprimées en ($\mu\text{S}/\text{cm}$) à une température de $20\text{ }^\circ\text{C}$, cette mesure accroît directement avec l'augmentation de la teneur de l'eau en sels dissous.

Selon la recommandation de l'organisation mondiale de la santé de 1994 :

Tableau: N°.IV.1. Classification des eaux en fonction de la conductivité selon l'O.M.S

Classe de qualité	Unité	Excellente	Bonne	Passable	Médiocre	Pollution excessive
Conductivité	$\mu\text{S}/\text{cm}$	2500	3000	3500	4000	> 4000

A.B.H.C.S.M (1998-2003)

Pour la région d'étude, on distingue deux cas.

II. 1. 3. 1. La nappe superficielle

L'évolution de la conductivité électrique est bien visible dans la nappe superficielle à l'échelle des saisons où on remarque que les fortes valeurs s'observent en période d'étiage, atteignant 3410 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en juillet 2006, alors que les faibles valeurs sont remarquées en période de crue, elles sont de l'ordre de 230 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en avril 2004.

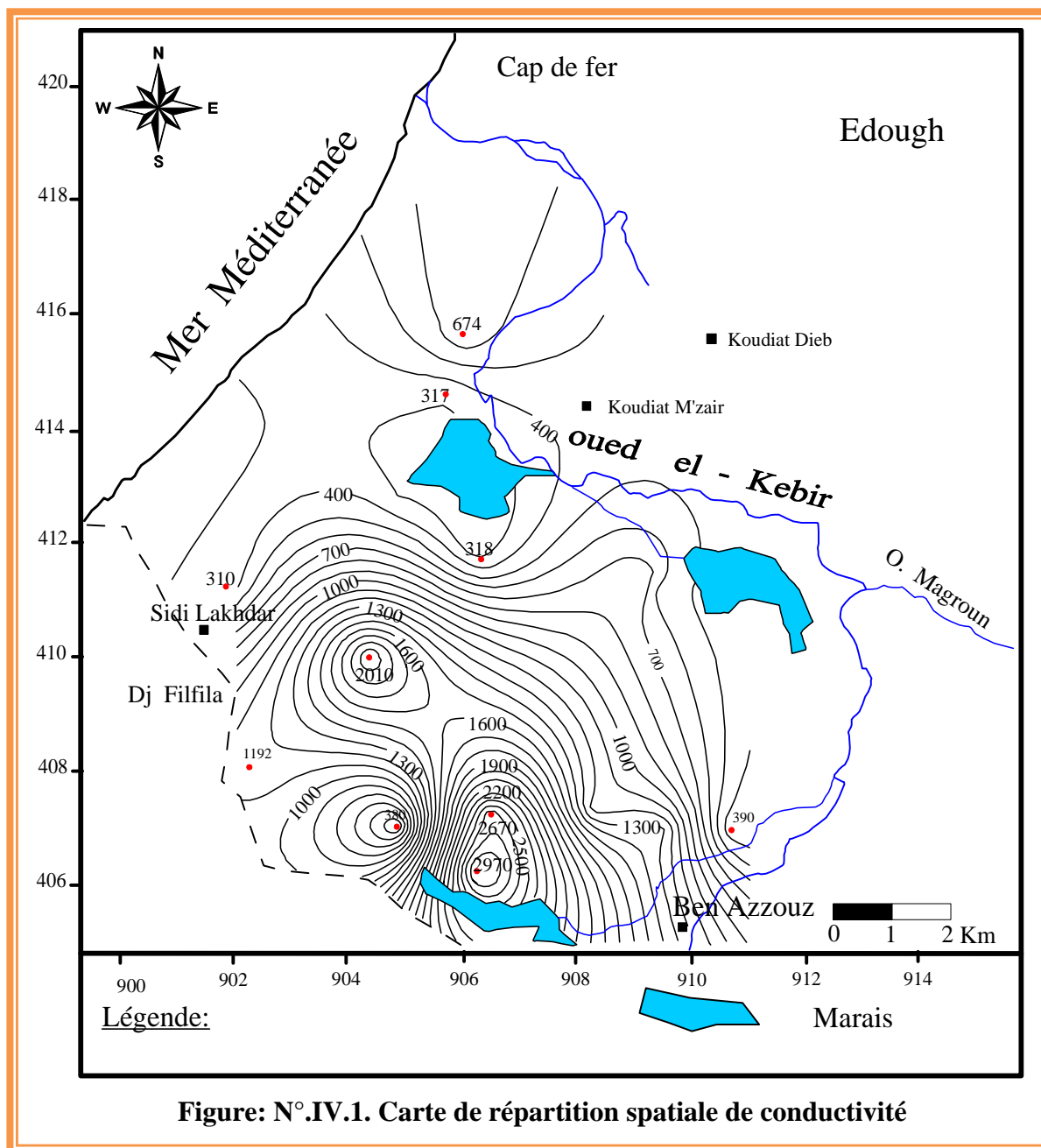
Ce changement de la conductivité montre une grande différence d'une zone à l'autre par rapport aux points cardinaux, car on note une conductivité de l'ordre de 347 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au Nord, cette valeur augmente toute en allant vers le Sud où en mesure 2920 $\mu\text{S}/\text{cm}$ la grande valeur mesuré passant par 2580 $\mu\text{S}/\text{cm}$, au centre, à l'Est de la zone en note 710 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et à l'Ouest 296 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

En conclusion on peut dire que les fortes concentrations se manifestent surtout au Sud et au centre où se concentrent l'agglomération et les activités agricoles ce qui explique ces fortes valeurs de conductivité qui sont d'origine anthropique.

II. 1. 3. 2. La nappe profonde

La nappe profonde se caractérise par une forte conductivité observée dans une période de quatre ans, dont on mesure 11560 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en octobre 2002 et 7850 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en juillet 2006. Entre ces deux années en note des valeurs plus faible par rapport à celle du 2006, car en remarque 2390 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en avril 2003, 2380 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en septembre 2003, 2430 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en avril 2004 et 2390 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en octobre 2004.

(Dr : HADJ-SAID. S)



II. 1. 4. Minéralisation

La minéralisation d'une eau est la concentration en sels dessous, elle est exprimé en mg/l et peut être estimée à partir de la conductivité.

Dans la région d'étude la minéralisation est comprise entre 210 et 1660 mg/l, on peut constater que les valeurs les plus élevées sont observées à proximité des massifs (Dj Safia) et la partie Sud-Est de la plaine, vers l'aval de l'oued, la minéralisation devient faible sur le massif dunaire.

II .1. 5. Dureté totale où degré hydrotimétrique (DH)

Elle indique la teneur totale en sels de calcium (Ca^{++}) et de Magnésium (Mg^{++}) elle est exprimée en degrés français ($^{\circ}\text{F}$) et calculée par la formule suivante:

$$\text{DH} = 5. (\text{r Ca}^{++} + \text{r Mg}^{++})$$

Les eaux de bonne qualité ont un degré hydrotimétrique inférieur à 15 $^{\circ}\text{F}$ elles sont acceptables jusqu'à 50 $^{\circ}\text{F}$.

Dans notre secteur d'étude la dureté totale est très variable allant de 11,6 $^{\circ}\text{F}$ jusqu'au 111 $^{\circ}\text{F}$.

Les valeurs maximales sont observées au Sud et au Sud-Est à proximité de Béni-Merouane et en général on peut constater que les teneurs en sels sont variables et que les pourcentages de la dureté des eaux sont comme suit:

- 40 % des eaux sont douces.
- 27 % des eaux sont dures.
- 33 % des eaux sont très dures

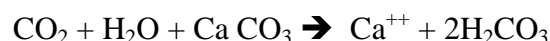
Ces résultats nous indiquent que les eaux sont en général de bonnes qualités.

II. 2. Paramètres chimiques

II. 2. 1. Les cations

A) Le calcium (Ca^{++})

Il provient essentiellement de l'attaque des roches carbonatées par le gaz carbonique dans l'eau, le gaz provient de l'atmosphère et des couches superficielles du sol.



Le calcium peut provenir aussi des formations gypsifères ($\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$) qui sont relativement plus solubles.

Dans notre secteur d'étude, nous constatons que les teneurs les plus élevées sont observées à proximité du massif et au Sud de la région.

A l'Est près de la garaat, on a une diminution de la teneur (< à 50 mg/l) ou le minimum observé est de l'ordre de 33,66 mg/l.

B) Le magnésium (Mg^{++})

Le magnésium provient principalement de la dissolution des dolomies, des calcaires dolomitiques et surtout des marnes dolomitiques, mais sa mise en solution nécessite un temps de contact plus long avec la roche.

Dans notre cas les valeurs de Mg varient entre 4,76 mg/l et 119,6 mg/l. La concentration maximale est observée dans la partie Sud atteignant 110 mg/l, à l'Est la concentration est faible inférieur à 10 mg/l.

A l'ouest la concentration varie entre 30 et 50 mg/l.

C) Le sodium et le potassium ($Na^+ + K^+$)

Le sodium provient de diverses origines et essentiellement du lessivage des formations géologiques riches en NaCl.

Le potassium est beaucoup moins abondant que le sodium et dépasse rarement des teneurs supérieurs à 20 mg/l.

Dans la région étudiée, les teneurs de ($Na^+ + K^+$) varient entre 13,84 mg/l et 286,69 mg/l. Les faibles teneurs sont concentrés dans le centre du massif.

A l'Ouest et au Sud, les concentrations varient entre 50 et 150 mg/l.

II. 2. 2. Les anions

A) Les chlorures (Cl^-)

L'eau l'en contient presque toujours, mais en proportions très variables, la teneur en chlorures augmente généralement avec le degré de minéralisation d'une eau. Les chlorures rencontrés proviennent :

- Des rejets d'origine industrielle telle que l'acide chlorhydrique (HCl)
- Des rejets d'eau d'origine domestique.
- De la dissolution des sels naturels des terrains salifères.

Dans notre secteur d'étude les teneurs les plus faibles sont observées à proximité des garaats vers l'Est de la plaine et au Nord-Ouest (inférieur à 50 mg/l). Plus au Sud et au centre de la plaine les teneurs augmentent (supérieur à 100 mg/l) elles atteignent 308,85 mg/l. La majorité des eaux du massif ont des teneurs qui respectent les normes de l'OMS et qui sont de 250 mg/l.

B) Les sulfates (SO₄)

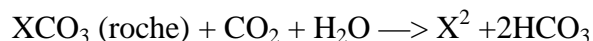
Les eaux souterraines contiennent des teneurs très variables, leur présence résulte

- De la légère solubilité du sulfate de calcium, des terrains gypsifères et de l'oxydation de la pyrite lors des précipitations.
- Des eaux usées industrielles contenant l'acide sulfurique (H₂SO₄) et du lessivage des engrais.
- De l'oxydation du sulfure d'hydrogène et des oxydes de soufre émis dans l'atmosphère puis amenés lors des précipitations.

Dans la région d'étude les résultats de l'analyse chimique montre que les teneurs en sulfates varient de 15 mg/l à 760,25 mg/l, et que leur concentration se fait sentir au niveau de la partie Sud et à l'Ouest à proximité des massifs Safia et Sanhadja, à l'Est la concentration diminue et cela dû à la nature lithologique des terrains lessivés.

C) Les bicarbonates (HCO₃):

Les bicarbonates sont les résultats de l'équilibre physico-chimique entre la roche, l'eau et le gaz carbonique selon l'équation générale.



Leur concentration dans l'eau est donc en fonction des paramètres suivants

- La tension de CO₂ dissous.
- La température de l'eau.
- Le pH de l'eau et la nature des terrains traversés.

Dans notre région les teneurs en HCO₃ varient entre 53,08 mg/l et 391,62 mg/l. On remarque que la concentration varie entre 150 mg/l et 350 mg/l au niveau de la partie Sud et à l'Ouest les concentrations atteignent 391,62 mg/l.

La valeur la plus faible se trouve dans les régions de Ben-Azzouz. Cette teneur est expliquée par la formation alluvionnaire, à l'Est les concentrations atteignent 265,9 mg/l.

II. 2. 3. Conclusion

D'après les analyses chimiques on peut dire que l'évolution des concentrations des eaux de la nappe est liée à la lithologie et que nous constatons que les eaux de l'oued el-Kebir se chargent au fur et à mesure de leur parcours vers l'exutoire en amont de l'oued.

❖ L'adoucissement des eaux de l'oued el-Kebir au Nord de la plaine est dû aux apports du massif dunaire de Guerbes.

- ❖ La prédominance des chlorures au centre de la plaine dû aux rejets domestiques, industriels, et liée aux eaux du lac Fetzara.
- ❖ Les teneurs élevées des bicarbonates se localisent presque dans toute la plaine et proviennent des formations carbonatées de la série ultra-kabyle.
- ❖ L'évolution des teneurs de sodium et potassium au Sud du secteur d'étude proviennent des eaux de Fetzara.

II. 3. Étude de valeurs relatives

II. 3. 1. Indice d'échange de base

Schoeller en 1934 a défini l'indice d'échange de base (i.e.b) où l'indice du déséquilibre chloroalcalin. (i.c.a) comme le rapport entre les ions échangés et les ions de même nature primitivement existants, lorsque il y a échange de Na et K de l'eau contre les alcalinoterreux des argiles alors:

$$i.e.b = [rCl^- - r(Na^+ + K^+)] / rCl$$

- Si $i.e.b < 0 \rightarrow$ l'eau est d'origine cristalline.
- Si $i.e.b > 0 \rightarrow$ l'eau est d'origine sédimentaire.

Les résultats obtenus par Mehdid et Bouyadaine montrent que la majorité des eaux analysées ont un i.e.b négatif soit 64,70 % de l'ensemble. (HAMDLA 2003)

II. 3. 2. Rapports caractéristiques:

Il s'agit des rapports de certains éléments chimiques exprimés en milliéquivalent par litre (mé/l).

Les rapports utilisés sont;

$$r Mg^{2+} / r Ca^{2+}$$

$$r SO_4^{2-} / r Cl^-$$

$$r Na^{2+} / r Cl^-$$

L'étude de ces rapports donne des informations sur la zone d'alimentation et le contact de l'eau souterraine avec le milieu rocheux.

a) Rapport rMg^{2+} / rCa^{2+}

- Si ce rapport est inférieur à 1 le calcium prédomine ce qui est le cas au niveau de la majorité des puits de la plaine 82,35% de l'ensemble.

- Si ce rapport est supérieur à 1, il y a prédominance du magnésium et ceci n'apparaît que pour quelques puits. On admet que les eaux sont liées aux formations carbonatées et aux dolomies de la chaîne calcaire.

b) Rapport $r\text{SO}_4^{2-} / r\text{Cl}^-$

- Si le rapport est inférieur à 1, il y a prédominance des chlorures liés au lessivage des terrains salifères.

- Si le rapport est supérieur à 1, il y a prédominance des sulfates liés essentiellement aux lessivages des terrains gypsifères c'est le cas des puits situés à proximité des Garaats et au Sud –Est de la plaine.

c) Rapport $r\text{Na}^{2+} / r\text{Cl}^-$

- Si le rapport est inférieur à 1, il y a prédominance des chlorures qui sont surtout liées aux terrains salifères et rejets domestiques et industriels et aussi liées aux terrains argileux.

- Si le rapport est supérieur à 1, il y a prédominance du sodium qui est essentiellement liés aux formations riches en NaCl au Sud de la plaine.

III. Classification des eaux

Pour classer et connaître les différents faciès chimiques auxquelles appartiennent les eaux naturelles, plusieurs méthodes ont été définies par divers auteurs. Dans le cadre de notre étude nous faisons appel aux principales méthodes et la plus utilisées de ces classifications.

III. 1. Classification de Stabler

Dans cette classification, les concentrations sont exprimés en m.é/l et elles sont réduites en quantités en réaction (r %) par rapport à la concentration totale et peuvent être exprimées de façon imagée par une formule caractéristique ou formule ionique. On classe de gauche à droite par ordre décroissant les quantités en réaction ensuite celles des cations.

Le faciès alors défini par le cation et l'anion prédominant.

Nous distinguons trois principales familles de faciès chimiques:

A) Faciès bicarbonaté :

Dominant surtout à l'Est de la plaine et au Sud soit 29,4% représenté par deux types d'eaux:

a₁) Eaux bicarbonatées sodiques, prédominance de $(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$ par rapport au Ca^{2+} et Mg^{2+}

Ceci apparaît dans 3 puits sur 17 (soit 17,64%).

a₂) Eaux bicarbonatées calciques, prédominance de (Ca^{2+} et $\text{Na}^+ + \text{K}^+$), ceci apparaît dans 2 puits sur 17 (soit 11,76%).

B) Faciès sulfatés:

Ce faciès est très dominant à l'approche du massif calcaire et du Sud de la plaine représenté par 9 échantillons soit (52,94%) présenté par deux types:

b₁) Eaux sulfatées calciques: Les eaux sont caractérisées par la prédominance de (Ca^{2+}) par rapport ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) et Mg^{2+} représenté par 4 puits soit 23,54%.

b₂) Eaux sulfatées sodiques: Représentées par 5 échantillons, localisés dans la partie Sud de la plaine soit 29,41%.

C) Faciès chloruré

Ce faciès occupe la partie Ouest et Sud de la plaine représenté par 3 puits soit 17,65% de l'ensemble.

c₁) Eaux chlorurées sodiques : Prédominance de ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) par rapport au Ca^{2+} et Mg^{2+} ceci est représenté par un seul puits soit 5,88%.

c₂) Eaux chlorurées magnésiennes : Prédominance de Mg^{2+} par rapport au Ca^{2+} et ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) ceci est représenté par 2 échantillons soit 11,76%.

III. 2. Classification de PIPER

Le procédé consiste à représenter dans chaque triangle équilatéral les quantités en réaction, en pourcentage (%) de chaque ion par rapport à la somme des ions de même signe, ainsi dans chaque triangle nous obtenons un point indiquant la dominance d'un cation ou d'un anion.

Après avoir reporté les différentes valeurs sur le diagramme de PIPER, nous constatons que les eaux de la plaine appartiennent à trois familles différentes qui sont :

- Famille des eaux bicarbonatées sodiques et calciques par 29,41 % de l'ensemble.
- Famille des eaux sulfatées sodiques et calciques avec 52,4 % de l'ensemble.
- Famille des eaux chlorurées magnésiennes avec 17,65 % de l'ensemble.

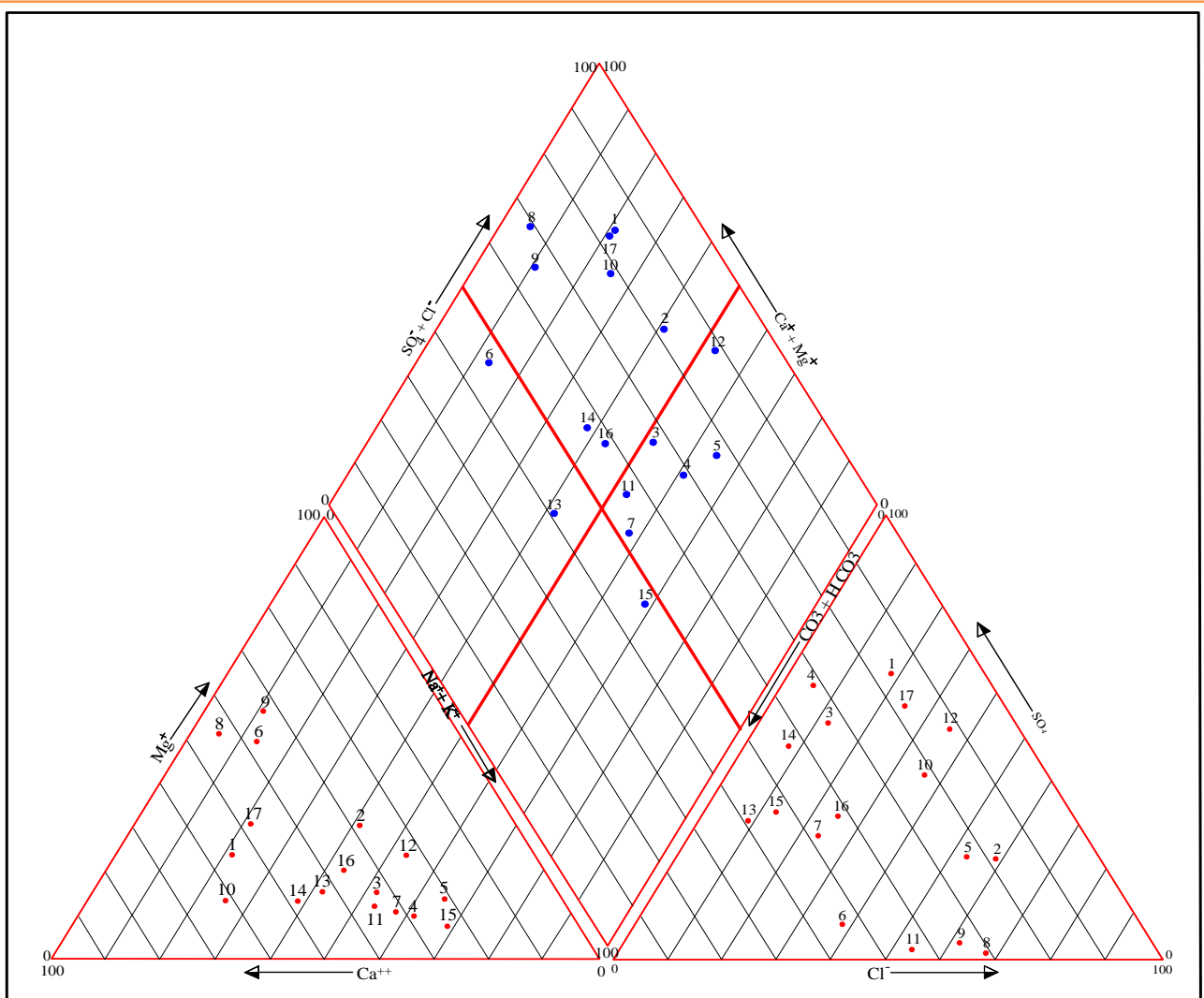


Figure : N°.IV.2. Représentation graphique des eaux d'après PIPER

III. 3. Conclusion

D'après les résultats obtenus par les méthodes de classification des eaux analysées nous constatons que :

✓ Les eaux bicarbonatées sodiques et calciques se répartissent dans la zone de Ben Azzouz et à l'Ouest du massif près de garaat Moussissi. Les bicarbonates proviennent du massif calcaire de Dj Safia

✓ Les eaux chlorurées sodiques, se répartissent dans les sédiments sableux du massif dunaire ainsi que la région de koudiat Chabillat.

✓ Les eaux sulfatées sodiques et calciques généralement concentrées dans le Sud et le Sud-Est (Ben Azzouz) du massif. Les argiles sodiques fixent le calcium et libèrent le sodium des apports d'eaux venant du massif calcaire du Dj Safia. Les sulfates proviendraient probablement du lessivage des engrais chimiques utilisés pour l'agriculture et les rejets des eaux usées industrielles.

IV. Potabilité des eaux

Une eau potable est une eau sans risque pour la consommation humaine. Les eaux souterraines chimiquement pures n'existent pas, elles contiennent toujours une certaine quantité de sels dissous qui interviennent dans la qualité et la potabilité de l'eau.

L'organisation mondiale de la santé (O.M.S) a établi des normes de potabilité en fonction de la teneur en éléments chimiques.

Les résultats des analyses chimiques montrent que les eaux du massif dunaire présentent une bonne potabilité dans la majorité des puits, soit 64,72 % de l'ensemble.

Des eaux non potables se trouvent au Sud et au Sud-Est du massif c'est-à-dire vers l'amont où l'indice de contamination devient plus élevé dues aux rejets des eaux usées domestiques des agglomérations (Ben Azzouz) et les rejets industrielles (Cimenterie Hadjar-Soud) ainsi des différents éléments chimiques (engrais) qui sont utilisées en agriculture.

V. Qualité des eaux pour l'irrigation

V. 1. Introduction

La plaine de l'oued el-Kebir est une région agricole, des cultures maraichères, des céréales et de l'aviculture de plus en plus importante.

Le développement de l'agriculture nécessite des quantités d'eaux importantes pour l'irrigation, donc il est nécessaire de déterminer la qualité de cette eau, car une eau trop minéralisée peut nuire les cultures et perturber leurs croissance entraînant un mauvais rendement. Parmi les éléments responsables de ces problèmes, le sodium, parce que les fortes teneurs en cet élément provoquent un changement de la structure du sol à cause du gonflement des particules d'argile, rendant la circulation de l'eau plus lente au sein du sol cette dégradation des caractéristiques physiques du sol se traduit par une baisse de sa perméabilité et de son aération.

Donc il est indispensable d'étudier la qualité de l'eau destinée à l'irrigation, et pour ce fait on a utilisé la méthode de RICHARDS (SAR) basée sur le calcul d'un coefficient d'absorption du sodium.

V. 2. Méthode de SAR

C'est le coefficient de l'absorption du sodium exprimé en (m³/l). Il traduit le risque de l'alcalinisation. Notons que le sodium est un élément des bases alcalines jouant un rôle important maintient de la perméabilité du sol pour l'irrigation.

Ce coefficient est calculé par la formule suivante :

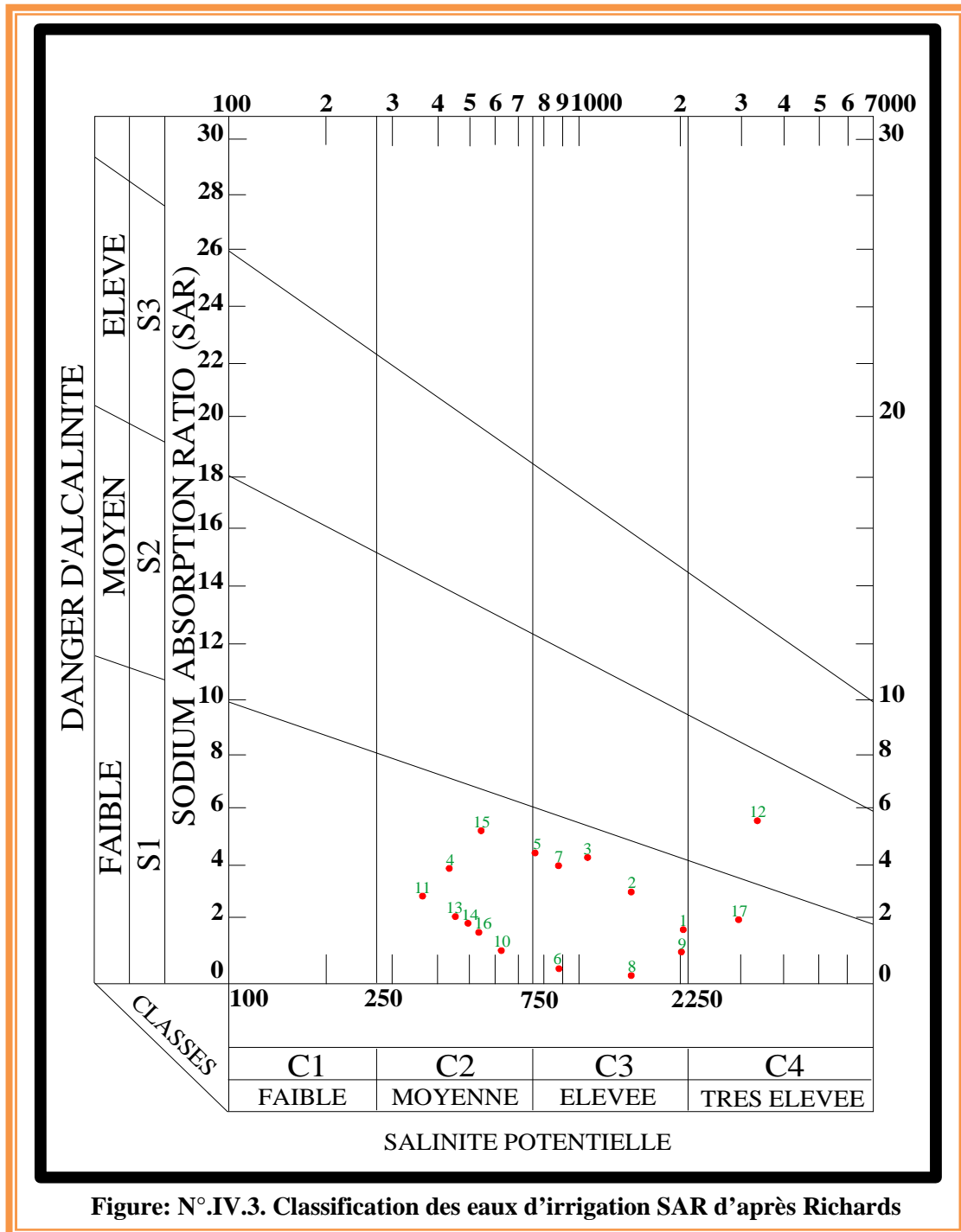
$$SAR = Na^+ / \sqrt{[(Ca^{++} + Mg^{++}) / 2]}$$

Cette méthode fait intervenir la salinité et risque d'alcalinisation des sols, la combinaison et la conductivité électrique de l'eau permet la classification de l'eau d'irrigation.

Les valeurs de SAR obtenues après des mesures faites par Bouyadaine et Mehdid sont comprises entre 0,23 et 4,4 m³/l.

(HAMDI. A 2003)

Nous remarquons que les eaux du massif présentent un degré de salinité généralement faible.



VI. 3. Conclusion

Les échantillons analysés ont donnés des résultats reportés sur le diagramme de Richards. Où on remarque que l'ensemble des points d'eau se situe dans la deuxième, troisième et la quatrième classe, ces classes d'eau correspondent aux caractéristiques suivantes :

C2 S1 : Les points d'eau appartenant a cette classe est utilisable sans danger pour l'irrigation pour la plupart des cultures, elles sont de bonne qualité.

C3 S1 : L'eau de cette classe est en générale peuvent être utilisée sans contrôle, particulier pour l'irrigation des plantes moyennement tolérantes au sel, sur un sol ayant une bonne perméabilité.

C4 S1 : En cette classe l'eau destinée à l'irrigation des cultures tolérantes au sel sur des sols bien drainées et l'évolution de la salinité doit être contrôlée.

C4 S2 : L'eau de cette catégorie est fortement minéralisée, elle est utilisée pour l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés.

Sur terrain on remarque que les eaux du massif dunaire ne présentent aucun inconvénient pour l'irrigation, soit disant l'eau appartienne à la deuxième et la troisième classe, par contre au Sud du massif dunaire le danger de la salinité est très élevé, c'est l'eau de la quatrième classe.

VII. Conclusion

Pour bien connaître la qualité des eaux du bassin versant de l'oued el-Kebir Ouest il est indispensable de connaître ces caractéristiques physico-chimiques, pour cela cette étude a été faite et les résultats obtenus ont montrés que ces eaux sont caractérisées par des températures moyennes de 19,8 °C pour la nappe superficielle et de 22,4 °C pour la nappe profonde, pour le pH on a trouvé en moyenne 7,05 en basses eaux et 7,15 en hautes eaux pour la nappe superficielle, mais il est de l'ordre de 8,0 en basses eaux et 8,15 en hautes eaux pour la nappe profonde. Pour la conductivité électrique on note une moyenne de 1370 µS/cm, pour la nappe libre, et 7250 µS/cm pour la nappe profonde.

Globalement l'eau de la région présente une faible minéralisation, elle est en général potable, sauf pour quelques points d'eau où on remarque une salinité dépassant les moyennes et les normes, ces points se convergent vers le Sud cela due a la géologie où a une origine anthropique car c'est le lieu où se concentre la majorité de la population et l'agriculture. Cette salinité est aussi remarquable dans le secteur côtier, elle serait due à la pollution marine, a cause d'une forte perméabilité du terrain d'une part, et de la concentration des puits à la périphérie du massif dunaire d'autre part.

D'après la classification de Stabler on peut regrouper les eaux en trois grandes familles :

1. Faciès Bicarbonaté : 29,4 %
2. Faciès Sulfaté : 52,94 %
3. Faciès chloruré : 17,65 %

chapitre V

Gestion
des ressources
en eau

I. Introduction

Dans le but d'utiliser l'eau d'une manière rationnelle, il est indispensable de créer des projets et de tracer des plans à suivre, pour protéger cet élément précieux, ou bien d'utiliser ce bijou sans gaspillage et sans perte. Qu'est ce qu'on doit faire ? Comment le faire ? Est-il nécessaire ? Quelles sont les résultats ?

A cet égard, et après avoir indiqué les caractéristiques des ressources en eau superficielles et souterraines présentes dans notre bassin versant, une gestion intégrée de ce patrimoine national s'y impose. Elle doit assurer une utilisation raisonnable des ressources par les différents secteurs qui y en consomment de façon à arriver à une satisfaction des demandes en eau potable et industrielle (AEPI), et de contrôler l'irrigation des terres agricoles tout en préservant l'environnement.

Alors la gestion intégrée par bassin versant est un progrès qui favorise la gestion coordonnée de l'eau et des ressources connexes à l'intérieur des limites d'un bassin versant en vue d'optimiser le bien-être socio-économique qui en résulte.

La gestion intégrée est donc un concept très large, par conséquent chacun l'applique selon la nature et l'intensité des problèmes liés à l'eau, les ressources humaines, les capacités institutionnelles, et les forces et les caractéristiques relatives des acteurs de l'eau. Dont les buts de cette gestion est de maintenir ou de récupérer les usages de l'eau, en assurant une protection de la santé humaine; sans oublier la conservation de l'intégrité physique, chimique et biologique des écosystèmes aquatiques, pour assurer finalement un climat socio-économique durable.

(Gestion intégrée de l'eau par bassin versant : concepts et application)

II. Mobilisation des ressources en eau

1. Les eaux de surface

Il existe 28 retenues collinaires sur toute l'étendue du bassin versant d'el-Kebir Ouest, dont 19 parmi elles sont en service, mobilisant un volume de 1108500 m³ soit 1,10 hm³ destinées à l'irrigation, et 480000 m³ des 9 retenues restantes non pas encore exploitées.

Tableau : N°.V. 1 Les retenues collinaires dans le bassin versant d'el-Kebir Ouest

Code s.b	Wilaya	Commune	Dénomination	Capacité (m3)	Etat	Destination
03 12	21	Djendel	Querbes 1	30000	/	Irr
03 12	21		Hamr Kroua	10000	/	Irr
03 12	21		Djenane Randa	16000	Bon	Irr
03 12	21		Ras El Oued	10000	Bon	Irr
03 12	21	B.Azzouz	7 Martyrs	30000	Bon	Irr
03 12	21		Aoudi Mabrouk	30000	Moyen	Irr
03 12	21		Bouchaala 1	22750	Moyen	Irr
03 12	21		Bouchaala 2	22750	Bon	Irr
03 12	21		Dem El Bagrat	30000	Bon	Irr
03 12	21	el-Ghedir	Khouchmane	120000	Bon	Irr
03 12	23	Treat	Sidi Hocine	12000	Moyen	Irr
03 12	23		Hanouchia 1	70000	Bon	Irr
03 12	23		Hanouchia 2	80000	Moyen	Irr
03 12	23		El Khenga	80000	Moyen	Irr
03 12	23		Ain F'Taima	60000	/	N.Ex
03 12	23		Zgatma	90000	Moyen	Irr
03 12	23		Den Den	80000	/	N.Ex
03 12	23		Ain Torki	80000	/	N.Ex
03 12	23		Mhafeur Zaouch	70000	/	N.Ex
03 12	23	O. el Aneb	Abbadi	40000	/	N.Ex
03 12	23		Bey A.ouahab	60000	Moyen	Irr
03 12	23		Boudiaf	30000	/	N .Ex
03 12	23		Fahama	80000	Moyen	Irr
03 12	23		Sidi Gouri	90000	Moyen	Irr
03 12	23		Gridjima	95000	Moyen	Irr
03 12	23		Charchara	80000	/	N.Ex
03 12	23		Siklina	80000	Moyen	Irr
03 12	23		Nedjai	90000	Bon	Irr

Source : ABH.CSM

2. Les eaux souterraines

Les potentialités des eaux souterraines dans le bassin versant d'el-Kebir Ouest sont estimés à plus de 44,9 hm³/ an.

Tableau : N°.V.2 Potentialité des ressources en eau souterraines dans le bassin versant d'el Kebir Ouest

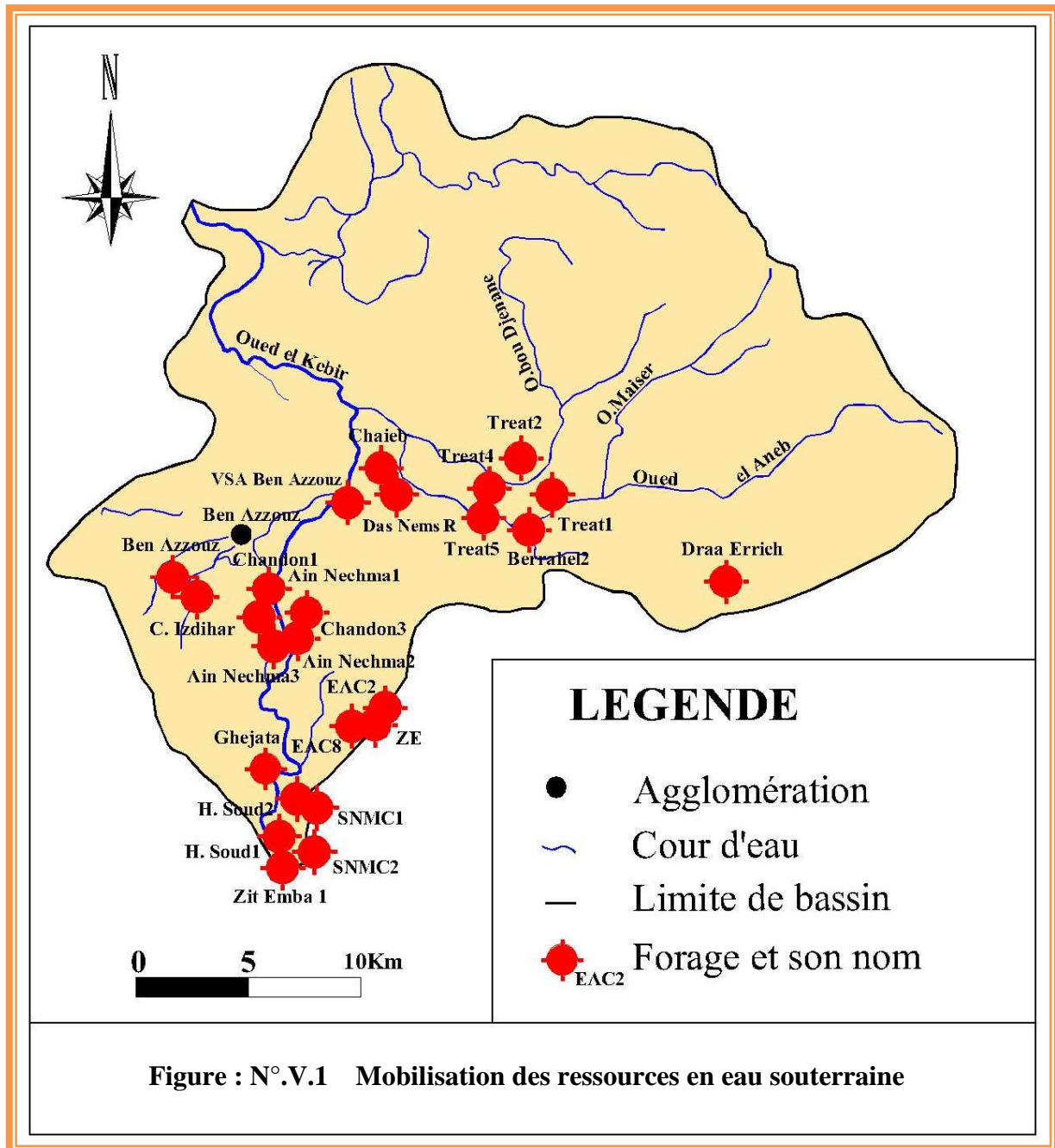
AQUIFERE	Potentialité des nappes (hm³)/an	bassin Kebir Ouest	Autres bassins
Plaine de Guerbes	18,4	10,3	8,1
Massif du Cap de fer	2,2	0,1	/
Massif de l'Edough	12,5	4,5	/
Grés numidiens Annaba	11,8	10,8	/
TOTAL	44,9	25,7	8,1

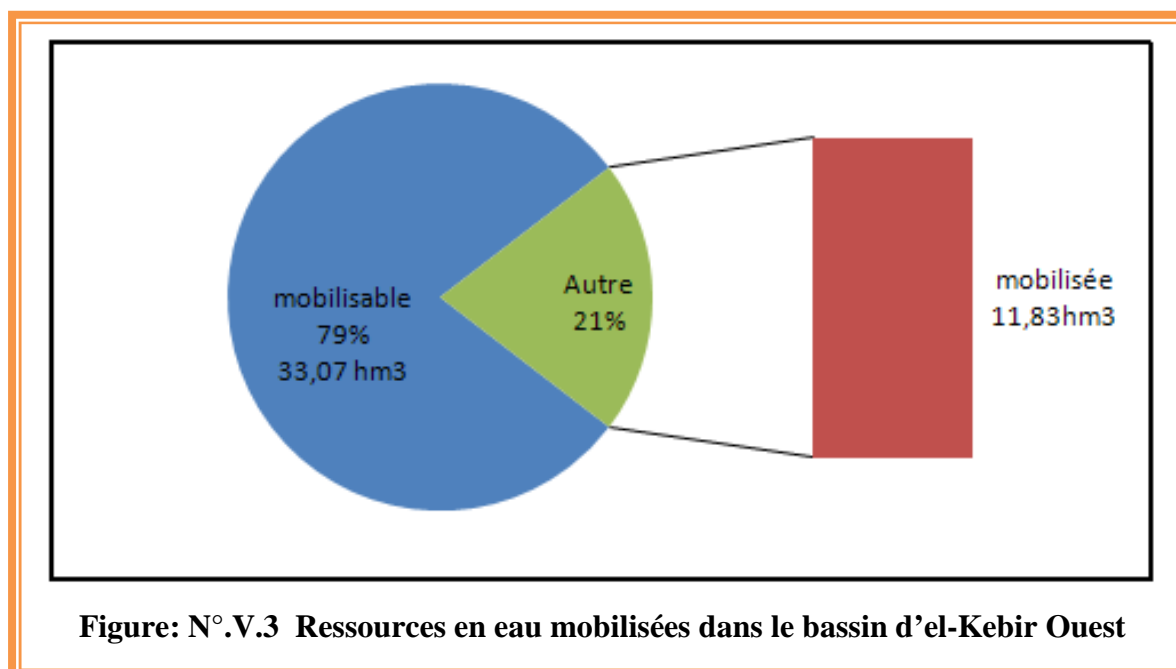
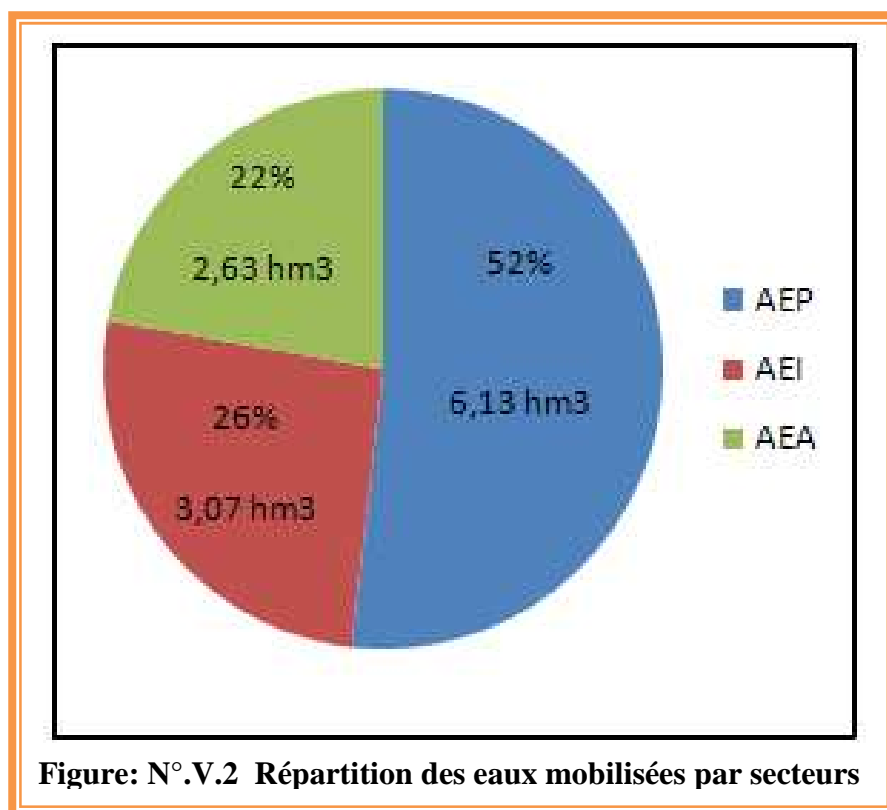
Source : ABH.CSM

Ces ressources en eau sont sollicitées par vingt cinq (25) forages assurant ainsi les besoins en eau des différents secteurs consommateurs de l'eau. Leur répartition entre ces derniers est comme suit :

- ✓ Dix sept (17) forages sont destinés à l'AEP mobilisant un volume de 6,13 hm³/ an.
- ✓ Quatre (04) forages sont destinés à l'AEI mobilisant un volume de 3,07 hm³/ an.
- ✓ Quatre (04) sont destinés à l'AEA mobilisant un volume de 2,24 hm³/ an.

A ceux-ci s'ajoute l'existence de plus de cent trente puits dont trente quatre (34) sont considérés comme collectifs et vingt quatre (24) sont individuels, leur profondeur varie entre 8 et 12 m. ils sont utilisés essentiellement pour l'usage domestique. Pour l'irrigation, on compte 73 puits dont le débit varie entre 5 et 20 l/s, qui veut dire une exploitation de 0,39 hm³/an en moyenne.





III. Estimation des besoins en eau

III.1 Besoins en eau domestiques

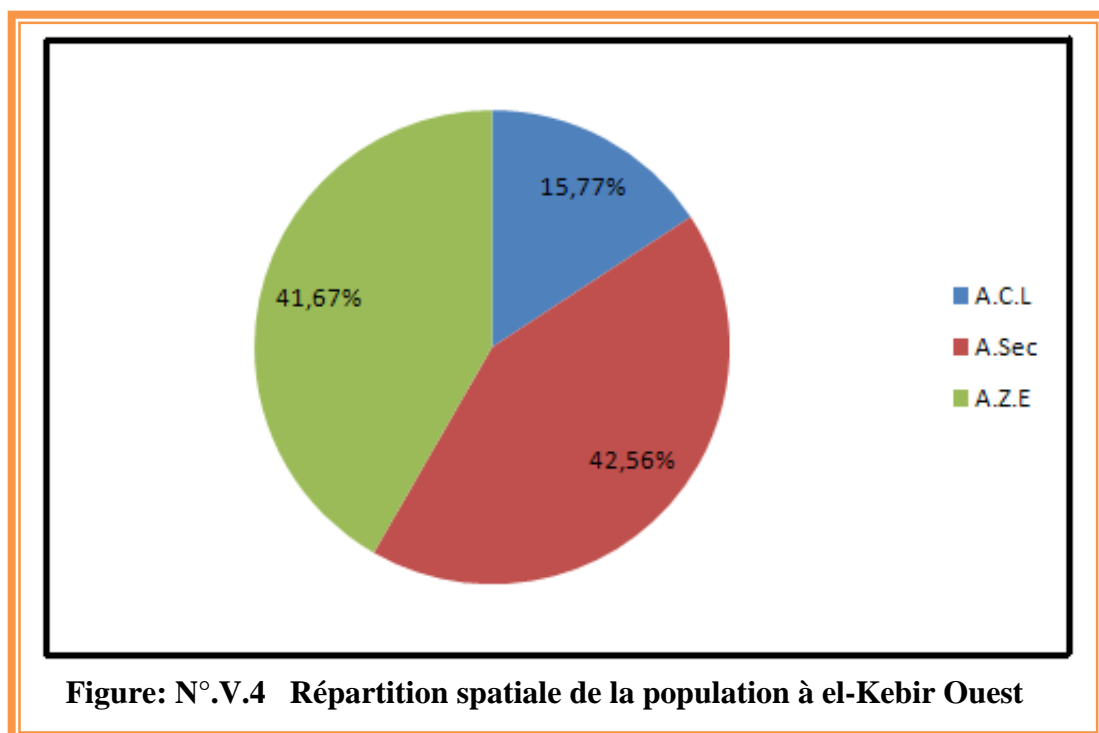
III.1.1 Répartition de la population actuelle (2007)

A l'opposition de la plus part des communes Algérienne qui connaissent une forte concentration de la population au chef lieu, la région du bassin d'el-Kebir Ouest montre un déploiement de sa population en zones éparses plutôt que dans le chef lieu.

Le bassin versant d'el-Kebir Ouest regroupe 27357 habitants soit une densité démographique de l'ordre de 69 h/km², se répartie spatialement en cinq agglomérations principales, qui sont le chef lieu (Ben Azzouz) et les agglomérations secondaires (Boumaiza, Zaouïa, Ain Nechma, et el-Hama) regroupant ensemble 15958 habitants représentant 58,33 % de la population totale, contre 11399 habitant soit 41,67 % de la population totale demeurant aux zones éparses, selon les derniers recensements établis en 2007.

Répartie comme suite :

- 04314 habitants soit 15,77 % au chef lieu
- 11644 habitants soit 42,56 % aux agglomérations secondaires
- 11399 habitants soit 41,67 % au zones éparses



Source : APC Ben Azzouz 03/2007

Tableau : N°.V.3 Répartition spatiale de la population dans le bassin versant d'el-Kebir Ouest

	Agglomération	N° District	population	N° de Logt
Chef lieu	Ben Azzouz	4	4314	773
Agglomérations secondaires	Ain Nechma	2	2393	397
	Elhamma	2	2166	356
	Boumaiza	4	3625	620
	Zaouia	3	3460	519
Agglomérations éparses	Zouaraa	1	607	110
	Lakhlalba	1	579	105
	Lakhrarta	1	558	106
	Lahlaimia	2	1035	177
	O. Malek	1	804	144
	Lasnab	1	303	54
	Nadji Brahim	1	360	61
	Aouadi Mabrouk	1	780	137
	Tabgha	1	823	131
	Mraidia 01	1	639	84
	A. Mabrouk 01	1	656	96
	Laftimat	1	804	145
	Serdoune	1	603	115
	Ain chaiba	1	725	120
	Toraicha	2	1006	195
	Ladjeraf	1	344	58
	Ayayeche	1	773	140
TOTAL		34	27357	4643

Source : APC Ben Azzouz 03/2007

III.1.2 Estimations des besoins en eau actuelle

L'eau est la vie; de cette notion il est devenu fondamental et indispensable de satisfaire les besoins en eau de tout le monde, chaque personne a le droit de consommer une quantité d'eau chaque jour, c'est la dotation journalière. Cette dotation varie en fonction de la situation géographique, du climat, de la profusion des ressources en eau, de la population...etc.

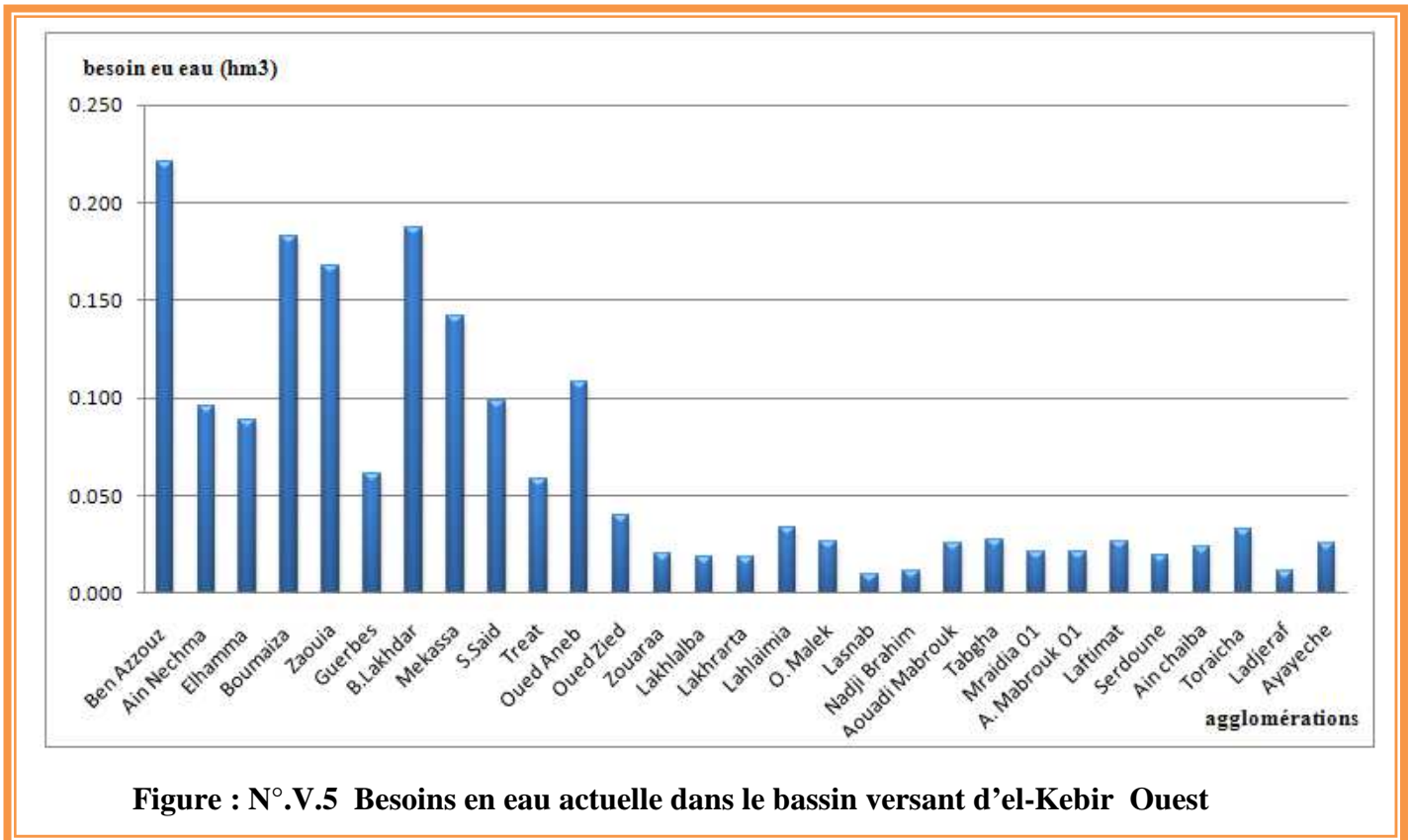


Figure : N°.V.5 Besoins en eau actuelle dans le bassin versant d'el-Kebir Ouest

Tableau: N°.V.4 Besoins en eau actuelle dans le bassin versant d'el-Kebir Ouest

zone	dénomination	population	dotation l/j	besoins l/j	m ³ /an	hm ³ /an
Chef Lieu Agglomération secondaire	Ben Azzouz	4314	140	603960	220445.40	0.220
	Ain Nechma	2393	110	263230	96078.95	0.096
	Elhamma	2166	112	242592	88546.08	0.089
	Boumaiza	3625	138	500250	182591.25	0.183
	Zaouia	3460	133	460180	167965.70	0.168
	Guerbes	1478	114	168492	61499.58	0.061
	B.Lakhdar	6336	81	513216	187323.84	0.187
	Mekassa	2702	144	389088	142017.12	0.142
	S.Said	1833	147	269451	98349.62	0.098
	Treat	2098	76	159448	58198.52	0.058
	Oued Aneb	3123	95	296685	108290.03	0.108
	Oued Zied	2010	54	108540	39617.10	0.040
	Zone éparses	Zouaraa	607	90	54630	19939.95
Lakhlalba		579	90	52110	19020.15	0.019
Lakhrarta		558	90	50220	18330.30	0.018
Lahlaimia		1035	90	93150	33999.75	0.034
O. Malek		804	90	72360	26411.40	0.026
Lasnab		303	90	27270	9953.55	0.010
Nadji Brahim		360	90	32400	11826.00	0.012
Aouadi Mabrouk		780	90	70200	25623.00	0.026
Tabgha		823	90	74070	27035.55	0.027
Mraidia 01		639	90	57510	20991.15	0.021
A. Mabrouk 01		656	90	59040	21549.60	0.022
Laftimat		804	90	72360	26411.40	0.026
Serdoune		603	90	54270	19808.55	0.020
Ain chaiba		725	90	65250	23816.25	0.024
Toraicha		1006	90	90540	33047.10	0.033
Ladjeraf		344	90	30960	11300.40	0.011
Ayayeche		773	90	69570	25393.05	0.025
TOTAL		46937		5001042.00	1825380.33	1.825

Source : APC Ben Azzouz 03/2007

Dans le bassin versant d'el-Kebir Ouest la dotation journalière varie entre 54 l/j/hab. et 147 l/j/ha, alors le volume distribué est 1,825 hm³/an, si on prend en considération la dotation journalière fixée par la DHW de Skikda qui est 160 l/j/hab. on doit alors distribuer un volume de 2,74 hm³/an, la quantité qui manque et qui est de l'ordre de 0,916 hm³/an n'est pas un déficit, puisque le volume mobilisé destiné à l'AEP est de l'ordre de 6,13 hm³/an, donc le problème qui se pose dans ce cas est la dotation journalière qui n'est pas respectée,

mais dans tout les cas toute la population est satisfaite en eau potable à la présence des puits domestiques.

III.1.3 Évaluation des besoins futurs en eau potable

Tout travail reste incomplet à la négligence des calculs des besoins futurs, pour cela on a mené cette étude commençant par le calcul de la population sur les différents horizons, de court, moyen et long terme.

Tableau: N°.V.5 Évolution de la population par commune à el-Kebir Ouest

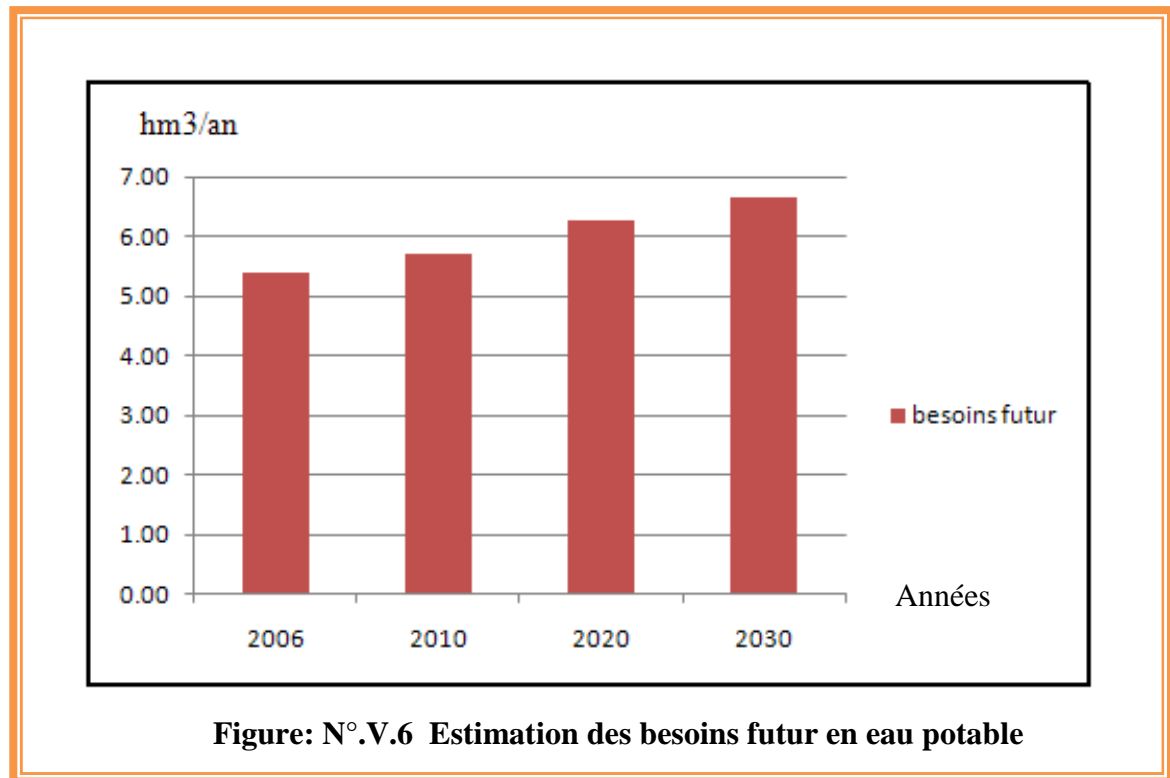
commune	population par horizon					
	1998	2003	2006	2010	2020	2030
B.Lakhdar	14092	14689	15264	16030	17676	18949
B.Azzouz	24969	26420	27844	29743	33777	36754
Djendel M.S	7831	7902	7975	8074	8212	8191
El-Marsa	5899	5871	5876	5883	5695	5303
Chetaibi	7583	7727	7728	7730	7654	7514
O.el-Aneb	17307	20469	22178	24457	28455	31467
Treat	5089	5374	5457	5569	5643	5550
Total	82770	88452	92324	97486	107112	113728

Source: ANRH. Constantine

Avec un taux d'accroissement démographique global moyen de l'ordre de 2,3 % et en utilisant d'autre paramètres telle que le taux de mortalité moyen, le taux d'émigration vers les villes et d'autre, ce tableau a été calculé jusqu'au long terme (2030), avec un intervalle de dix ans.

Les principales communes concernées par les eaux du bassin versant d'el-Kebir Ouest sont sept, englobant ensemble 92324 habitants en 2006, ce nombre deviendra 113728 habitants en 2030.

L'augmentation de la population nécessite une augmentation de la quantité d'eau mobilisée pour satisfaire tous les habitants. Dans ce cas et avec une dotation journalière de 160 l/hab, et en 2030 nous allons jamais dépasser les 6,65 hm³/an, sachant qu'actuellement on mobilise 6,13 hm³/an.



III.2 Besoins en eau pour l'industrie

Le tissu industriel dans le bassin versant d'el-Kebir Ouest est limitée en deux usines, la conserverie de Ben Azzouz et l'ERCE de Bekouche Lakhdar (production du ciment), ces deux usines ont besoins d'un volume d'eau à fourni chaque jour.

Tableau: N°.V.6 Besoin en eau pour l'industrie

Lieu d'implantation	Nom	Production	Besoins (m ³ /an)	Besoins (hm ³ /an)
B. Azzouz	Conserverie	Transformation des fruits et légumes	5840	0,006
B. Lakhdar	ERCE	Production du ciment	1759300	1.759

Source : ABH.CSM

De ce fait l'industrie a besoin d'un volume de 1,765 hm³ annuel, au temps que 3,07 hm³/an sont mobilisés et destinés à l'AEI.

III.3 Besoins en eau pour l'irrigation

III.3.1 Introduction

Au début des années 90 les structures foncières agricoles et depuis la révolution agraire ont subi des opérations de restructuration font modifié profondément la composition de la production agricole dans la région d'el-Kebir Ouest.

La dernière décennie montre clairement la dominance des cultures industrielles par rapport aux autres cultures, jusqu'à l'occupation de la majeure partie de la superficie totale, c'est à cause du développement des industries agro-alimentaires et les conserveries de tomates plus précisément.

Les industries de transformation alimentaire ont changé la structure de production communale a fin qu'elle leurs fournisse la matière nécessaire à leur développement, c'est ainsi l'agriculture de la commune de Ben Azzouz a consacré plus de 2/3 de ses terre soit 74,4 % pour la tomate industrielle.

III.3.2 Évolution de la superficie irriguée

De 1990 jusqu'au 2003 les terres irriguées ont progressé en superficie de façon indéterminé oscille dans un intervalle allant de 5000 ha en 1991/92 à 6426,7 ha en 1998/99 et 6355 ha en 2003 à Ben Azzouz.

En même temps il existe d'autre parcelles dans d'autre communes incluses dans le périmètre d'el-Kebir Ouest telle que les 77 ha dans la commune de oued el-Aneb, et 155 ha à Treat.

Pour une dose de 5500 m³ /ha /an on est besoin alors d'un volume de 36,22 hm³ /ha/an pour irriguer une superficie de 6587 ha

Tableau: N°.V.7 État actuelle en eau d'irrigation

Commune	Superficie (ha)	Besoins (hm ³ /an)
Ben Azzouz	6355	34.95
Treat	155	0.85
O. Aneb	77	0.42
TOTAL	6587	36.22

Ce volume d'eau (36,22 hm³/an) est assuré si on prend en considération les puits domestiques et les forages mobilisant 3,73 hm³/an, avec un apport annuel de l'oued qui dépasse 73 hm³/an.

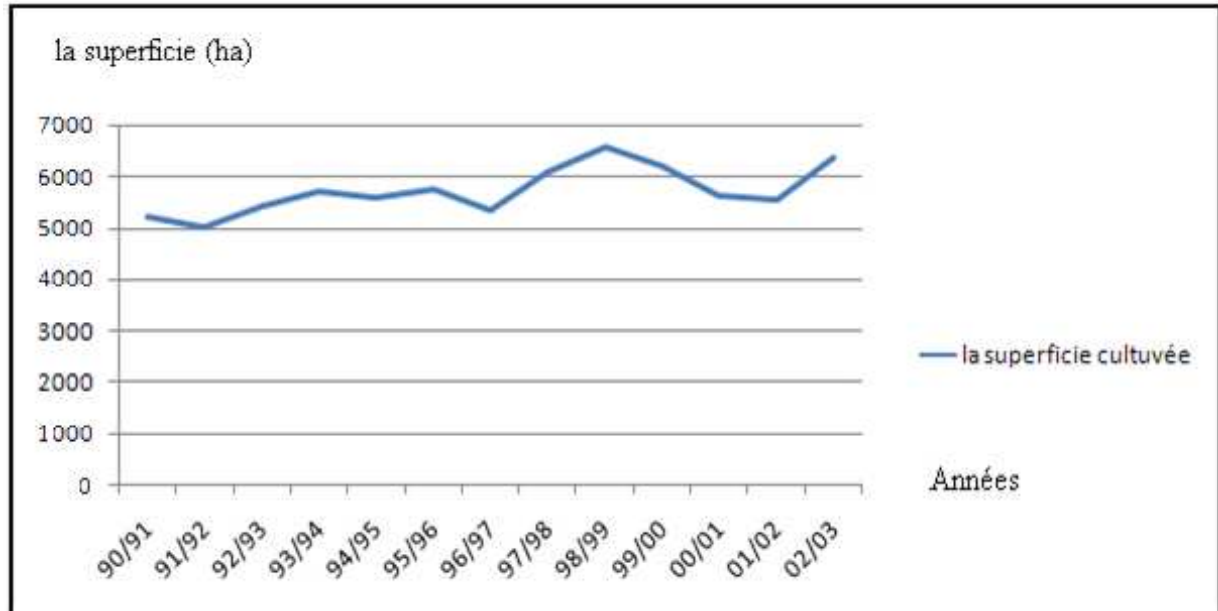


Figure : N°.V.7 Évolution de la superficie irriguée de 1990 à 2003

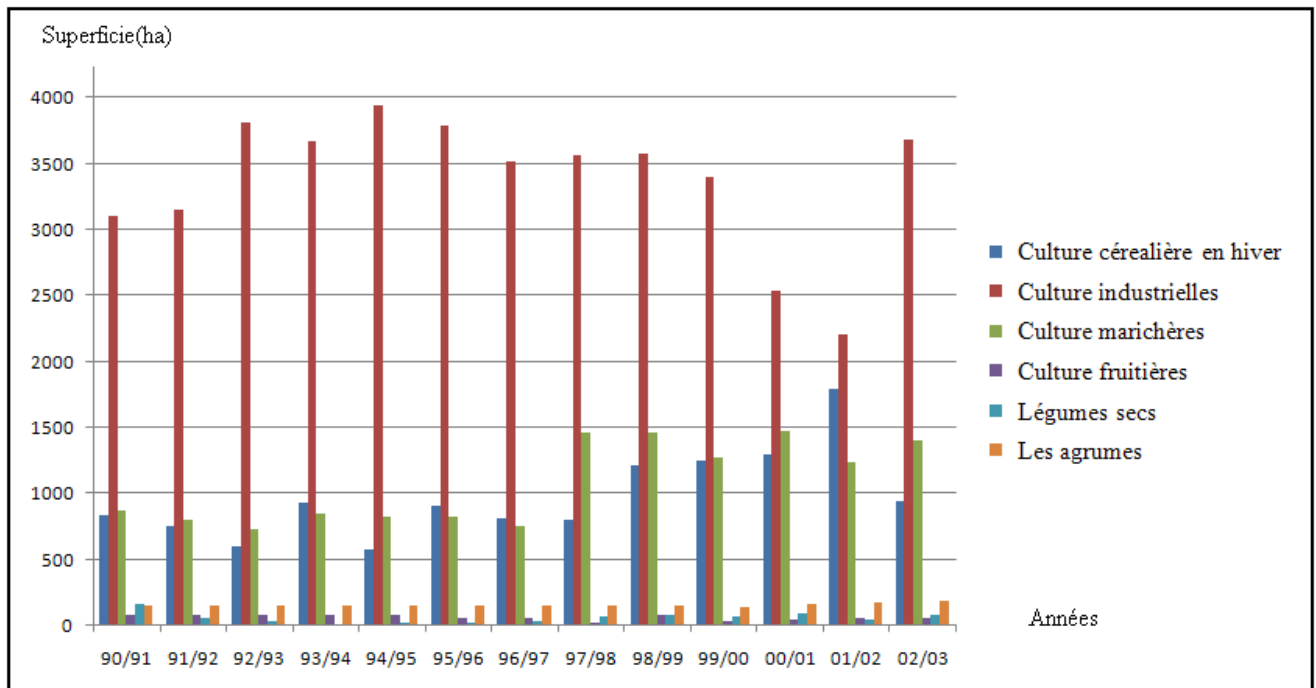


Figure : N°.V.8 Différent types de cultures de 1990 à 2003

III.3.3 Ressources et modes d'irrigation

Plusieurs modes ont été utilisées à l'irrigation des terres cultivées, le point commun c'est que tous les agriculteurs utilisent l'irrigation par gravité; où la circulation des eaux est favorisée par la force de pesanteur et de la pente.

Tableau : N°.V.8 Mode d'irrigation et les ressources en eau.

Mode d'irrigation	Ressource en eau	Pourcentage (%)
Aspersion	Source	/
Gravitaire	Citerne	15
Goutte à goutte	Ced	65
Pivot	Ced + Citerne	20
Crues d'oued	/	/

Source : Boushaba A.rezak

Notant que les Ced sont des petits barrages alimentés soit par des sources souterraines où bien par les eaux de ruissellement.

Généralement les citernes sont utilisées pour l'arrosage des jeunes plantes, dont les Ced sont utilisés pour les plantes adultes.

III.3.4 Estimation des besoins futurs en eau d'irrigation

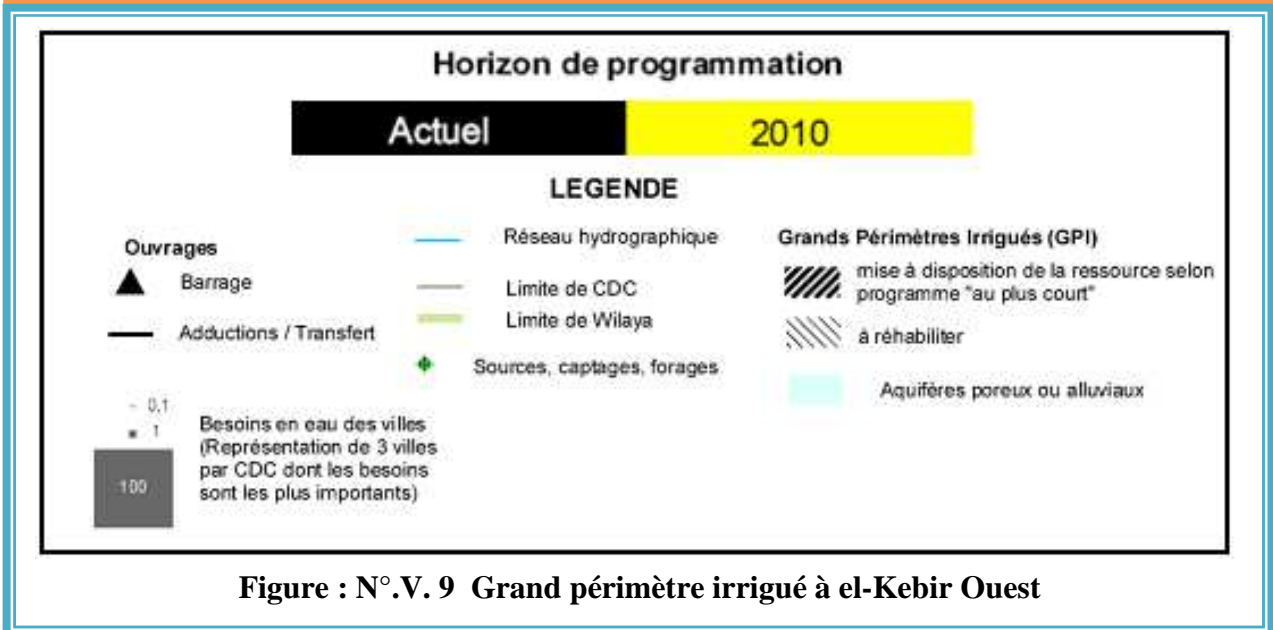
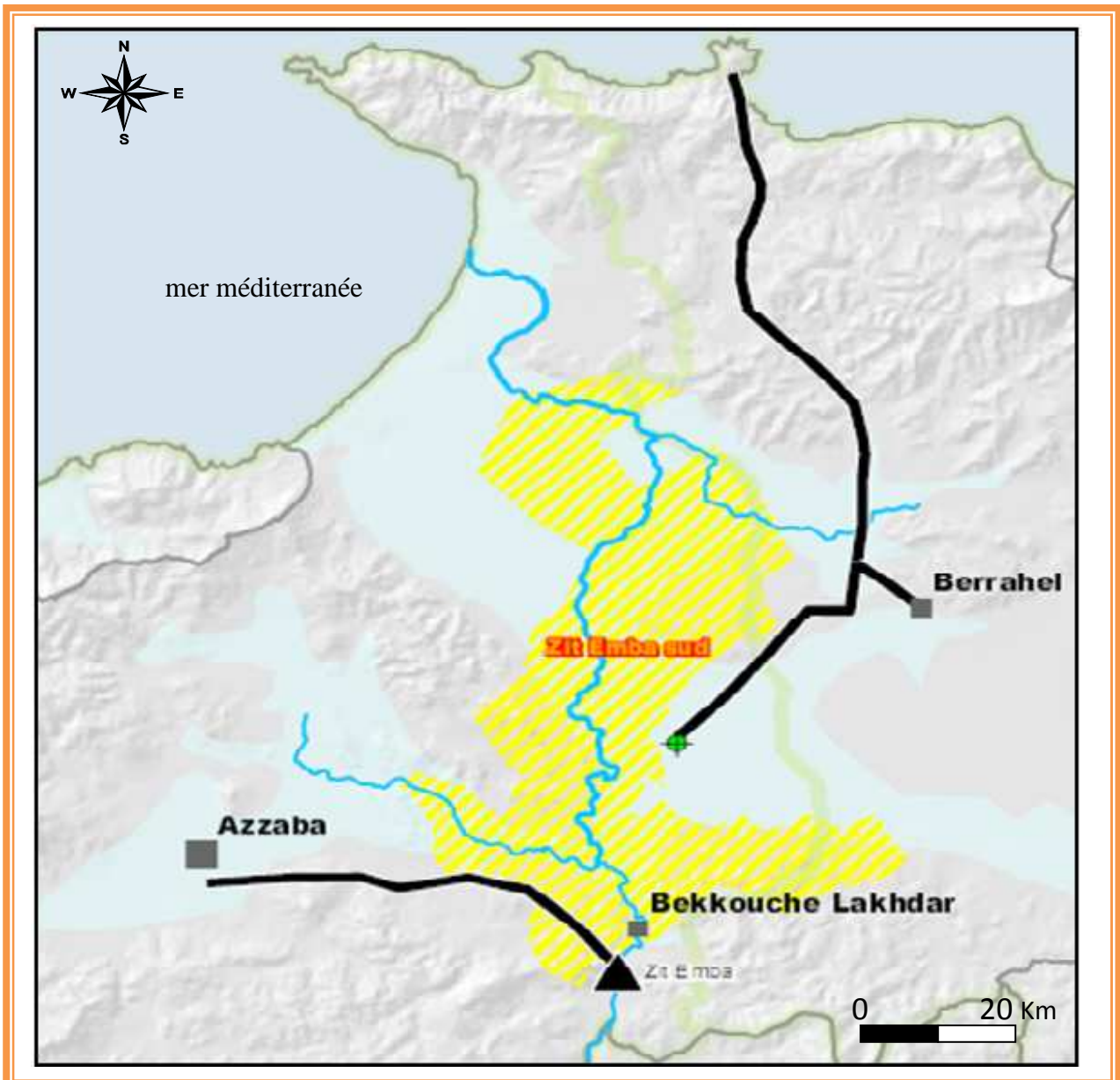
Après le calcul des besoins actuels en eau pour l'irrigation, il est devenu nécessaire d'estimer ou d'évaluer les besoins futurs, pour mobiliser le volume demandé et mettre face aux problèmes liés à la pénurie de l'eau.

Tableau : N°.V. 9 État de GPI à el-Kebir Ouest

GPI	état actuel du périmètre	Superficie aux horizons (ha)			
		Actuel	2010	2020	2030
Zit Emba 1+2	Superficie future équipée	-	6475	6475	6475
	Superficie irrigable probable	-	5500	5500	5500

Tableau: N°.V. 10 Superficie irrigable et demande en eau d'irrigation

GPI	2010		2020		2030	
	Superficie irrigable (ha)	Demande (hm ³ /an)	Superficie irrigable (ha)	Demande (hm ³ /an)	Superficie irrigable (ha)	Demande (hm ³ /an)
Zit Emba 1+2	5500	31.3	5500	29.7	5500	28



III.3.5 Le barrage de Zit Emba

Le barrage de Zit Emba (2001) situé au Sud du bassin d'el-Kebir Ouest dans sa partie Nord sur l'oued El Hammam, contrôle une superficie de 490 km². Avec un volume utile de 120 Mm³ soit le double des apports (62 Mm³/an), cet ouvrage régularisera la quasi-totalité des apports soit de 49 à 52 Mm³/an. Cet ouvrage est destiné à l'AEP des agglomérations de Zardezas, Ain Bouziane, El Harouch, Emdjez Edchiche, Salah Bouchaour et à l'irrigation du GPI de Saf Saf, et dans le plus proche futur le GPI d'el-Kebir Ouest.

Les apports moyens annuels sont de l'ordre de 193 Mm³. Cette prise est capable de transférer les eaux de l'oued el-Kebir à hauteur d'environ 70 Mm³/an pour le renforcement de la retenue en étude d'Enkouche, il existe aussi d'autres projets de transfert d'eau à partir de Zit Emba vers Skikda, ce projet doit assurer 9,49 hm³ annuel, il représente la principale source d'alimentation en eau potable pour la ville de Skikda

III.3.6 Le périmètre en cours de Zit Emba

Situé dans la partie occidentale de la plaine d'Annaba au bord du lac Fetzara sur les wilayas de Skikda et Annaba, ce périmètre est divisé en deux zones en cours de réalisation. La partie Nord est prévue pour une superficie de 3959 ha et la partie sud (plus avancée) comportera 2516 ha. Le barrage de Zit Emba devrait alimenter ce périmètre. Bien qu'étant soumise à des températures douces et d'importantes précipitations (pouvant même donner lieu à des inondations en hiver), cette zone subit une nette saison sèche qui oblige à irriguer l'été. L'étude conduite en 1992 indiquait une multiplication des forages profonds en raison de l'épuisement rapide des puits d'irrigation. La répartition culturale observée lors de cette étude fait une fois encore la part belle aux cultures industrielles (tomates).

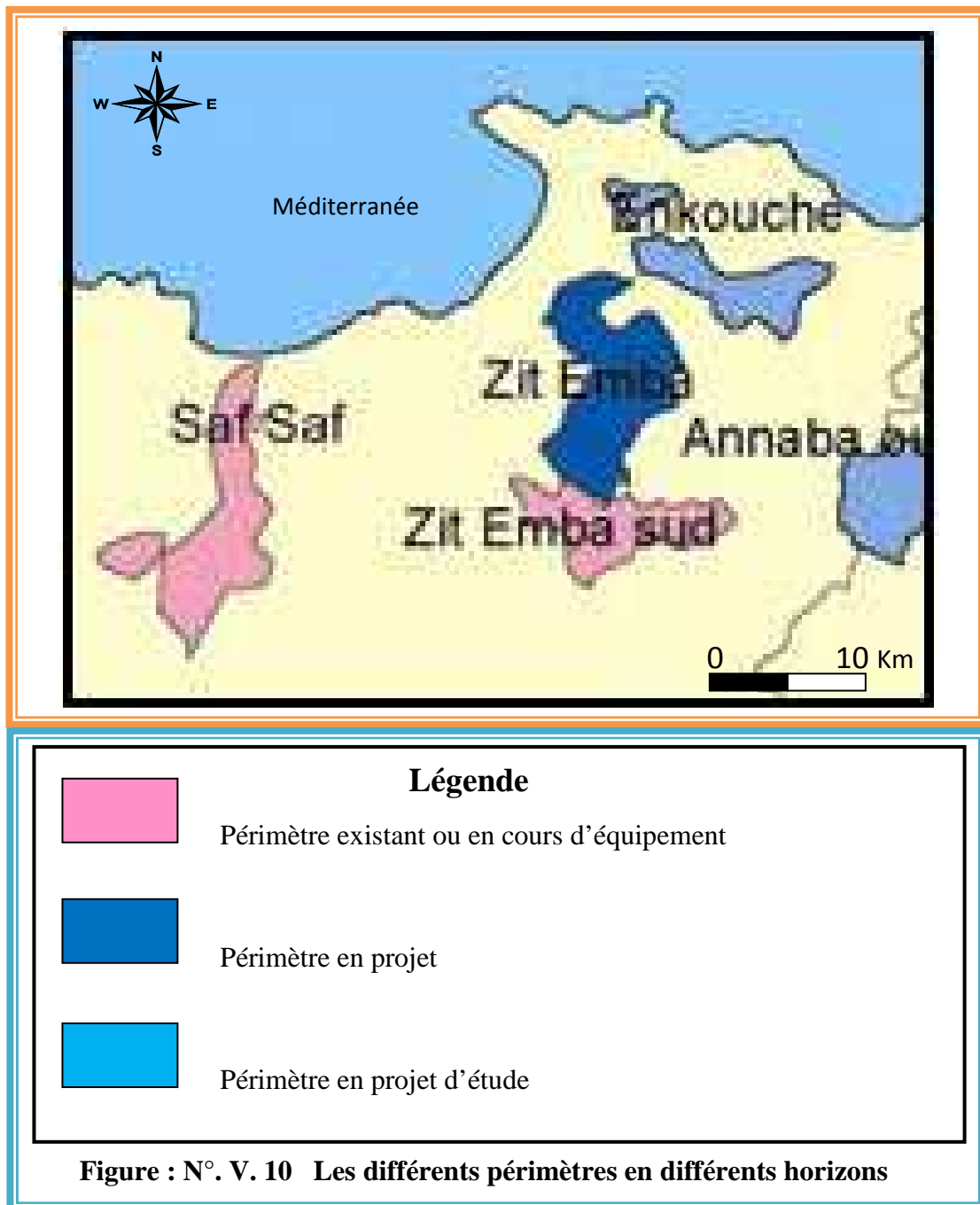
Le bassin versant d'el-Kebir Ouest peut se répartir en trois petits sous bassin, mais de grande importance en matière de l'eau, avec une capacité de rétention de 734,5 Mm³ dans une superficie de 28677 ha, comme il est montré dans le tableau ci-après. Il ne reste que l'exploitation de ces ressources de façon raisonnable et sans gaspillage,

Tableau: N°.V. 11 Débit des sous bassins versants de la plaine de GuerbesMm³ = million de m³

Sous bassin versant	Superficie (ha)	Débit (Mm ³)	Retenue (Mm ³)	Ressources en eaux souterraines
Est de Skikda	4927	16,5	202,5	19,0
Oued el-Kebir Ouest	23046	27,5	181,0	10,0
Ouest d'Annaba	704	38,0	360,0	84,5
Total	28677	82,0	734,5	113,5

Source: Fiche descriptive sur les zones humides Ramsar

Toute cette eaux mobilisées où réservées, vienne du barrage où du réserves souterraines et superficielles et dans tous les cas capable d'assurer le volume nécessaire pour l'irrigation soit des PMH ou soit pour le GPI du SAFSAF et de Zit Emba.



Source : Mebarki A

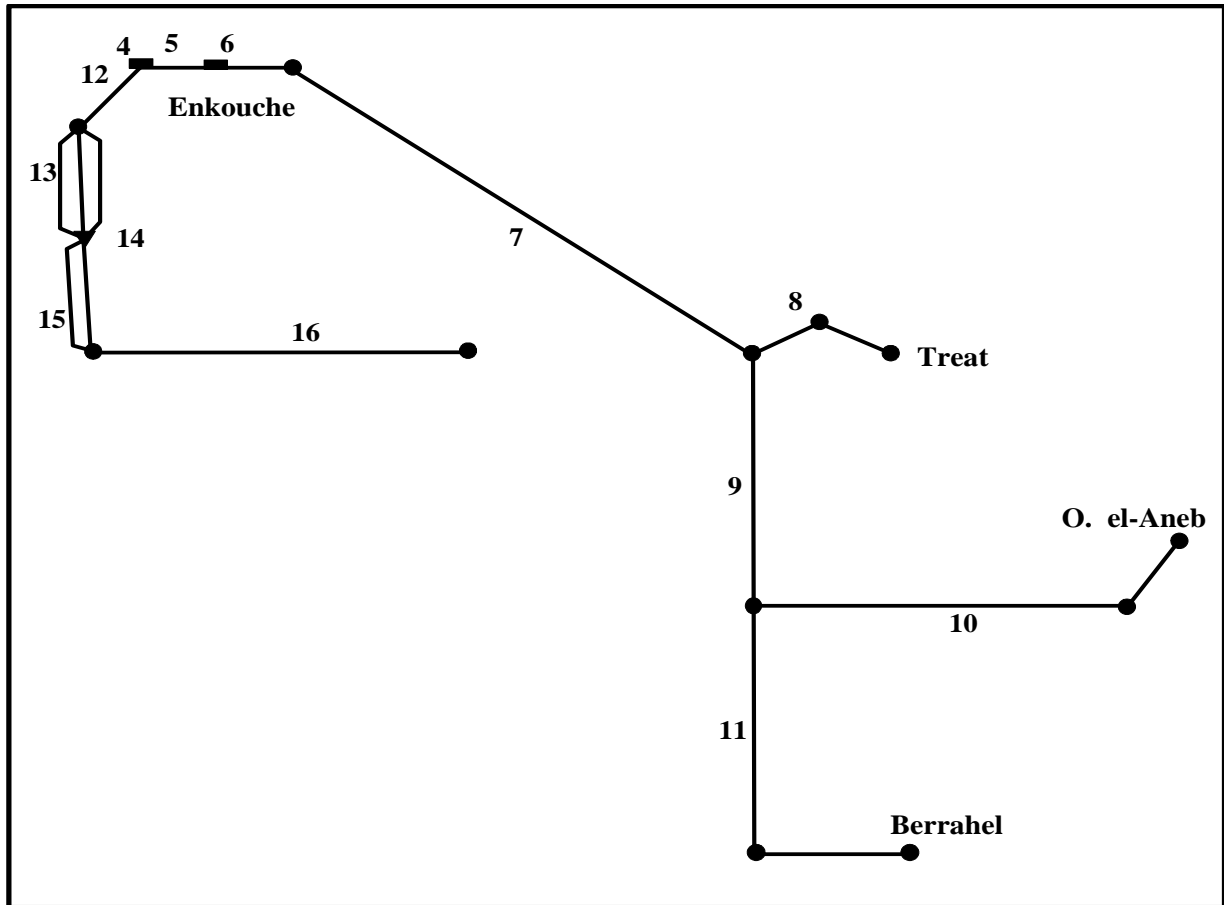


Figure : N°.V. 11 Renforcement de la retenue d'oued Enkouche

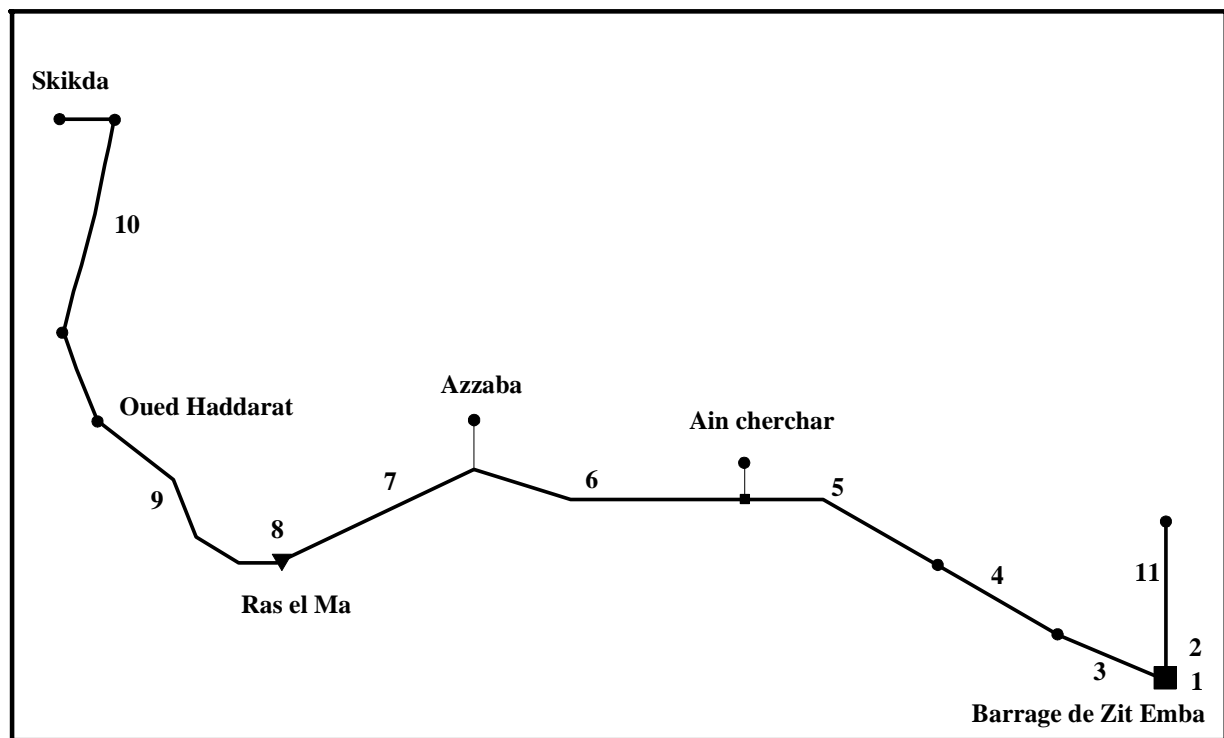


Figure : N°.V. 12 Projet de transfert depuis Zit Emba vers Skikda

IV. Conclusion

396 km² est la surface totale drainée par le bassin versant d'el-Kebir Ouest, il situ entre Annaba et Skikda. La population atteignait 92324 habitants en 2006, répartie sur trois zones, le chef lieu, les agglomérations secondaires et les zones éparses.

La région d'el-Kebir Ouest est caractérisée par ces ressources en eau, superficielles et souterraines, ces derniers lui permet d'être classer comme étant zone humide celons les conventions internationale de RAMSAR.

Pour les habitants de la région et en matière d'alimentation en eau potable, il n'y aura aucun problème, car ils sont tous satisfait soit par le réseau d'alimentation avec un volume mobilisé atteint 6,13 hm³/an soit 13,90 % du total mobilisé des eaux souterraines, où bien par les puits domestiques.

Le tissu industriel est très limité dans la région, on ne trouve qu'une unité de transformation des fruits et légumes; et une usine de production du ciment, ces besoins en eau rassemblées ne dépassent en aucun cas 1,76 hm³ /an, soit 3,99 % du volume total mobilisé, au temps que 3,07 hm³/an sont destiné pour ce domaine.

Pour le troisième et le grand utilisateur de l'eau ; l'irrigation consomme la quasi-totalité des eaux souterraines mobilisées où elle dépasse un volume de 36,22 hm³ chaque année soit 82,11% du volume total.

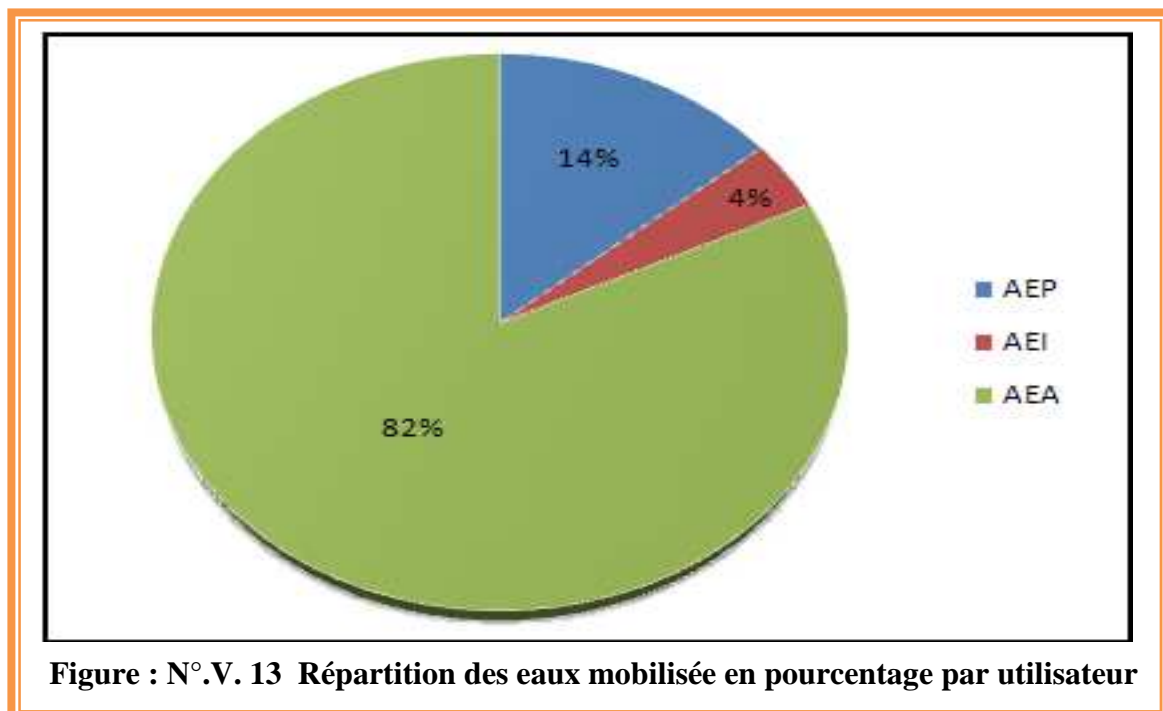




Figure: N°.V.14. Vue générale dans le bassin d'el-Kebir

CONCLUSION GÉNÉRALE

La présente étude menée sur le bassin versant d'el-Kebir Ouest dans sa partie Nord constitue une première contribution vers une gestion intégrée des ressources en eau. Elle a été réalisée en vue d'améliorer la gestion des ressources hydriques et satisfaire les besoins en eau pour les différents utilisateurs (AEP, AEI et irrigation) sans oublier la satisfaction des écosystèmes aquatiques.

Les différentes étapes du plan directeur de l'eau (PDE), ont permis de proposer une stratégie de gestion intégrée des ressources en eau visant l'amélioration de ces ressources pour satisfaire les besoins des principaux usagers (AEP, AEI, AEA) et essayé de trouver des bonnes méthodes pour éviter l'utilisation irrationnelle des aquifères.

Ce travail nous a permis d'aboutir aux constatations suivantes :

- La géologie du bassin est caractérisée par une structure complexe dont le fait remarquable est la présence d'un fossé du massif dunaire qui est limité par faille normale de même direction, et un empilement de chainage nappe de charriage de recouvrement mise en place lors de l'orogénèse alpine et s'insérant chacune dans un domaine structural propre.

- L'hydroclimatologie montre que le bassin est soumis à un climat méditerranéen caractérisé par un été chaud et sec, où la précipitation atteint les 2 mm comme moyenne saisonnière, et une température supérieure à 24° C, et un hiver froid et pluvieux, avec une moyenne annuelle de précipitation de l'ordre de 741,69 mm.

La saison humide s'étale depuis le mois d'octobre jusqu'à avril, et l'autre saison de mai jusqu'à septembre.

Le bilan hydrique calculé par la méthode de Thornthwaite donne un taux de ruissellement de 22,27 % et une infiltration de 12,73 % de P.

- Les données hydrogéologiques montrent qu'el-Kebir Ouest est caractérisé par une grande plaine alluviale où abrite deux nappes aquifères une profonde et l'autre libre avec une capacité de stockage de 300.85 hm³

L'expérience acquise en matière de gestion de l'eau, a mis en évidence la nécessité d'une association institutionnelle de "la société civile" dans des mécanismes de gestion décentralisée des ressources en eau, afin de tendre à une satisfaction optimale et adaptée de besoins diversifiés et en croissance constante.

En effet :

- les administrations et organismes publics chargés de la gestion de l'eau doivent déconcentrer leurs actions et l'appuyer sur un partenariat ouvrant la voie à une réelle participation à la prise de décision des Pouvoirs locaux et des représentants des usagers (ménages, irrigants, industriels, pêcheurs, ...).

- l'amélioration des services collectifs, tels que l'adduction d'eau potable, l'assainissement ou l'irrigation, ne sera possible qu'en développant des mécanismes permettant le recouvrement des coûts auprès des usagers, qui ne l'accepteront qu'en contrepartie de garantie sur la qualité et la permanence des prestations qu'ils attendent et d'une transparence accrue dans les modalités de la gestion, à laquelle ils exigeront d'être de plus en plus associés.

- les décisions devront progressivement s'inscrire dans des procédures démocratiques, ouvrant de plus en plus largement la possibilité d'expression de contre-pouvoirs qui, pour faire œuvre utile et ne pas s'enliser dans des débats théoriques et stériles, devront disposer d'une capacité d'expertise indépendante et sérieuse et avoir accès à une information transparente et complète.

- de nombreux besoins ne pourront pas trouver leur solution par des voies traditionnelles organisées par les Pouvoirs Publics, mais par des initiatives individuelles ou collectives directement du terrain, qui ne seront pas forcément spontanées et supposeront tout autant de compétences et de savoir-faire adaptés.

- les économies d'eau, la lutte contre les gaspillages, la protection des écosystèmes aquatiques, le contrôle de la pollution supposent d'abord une sensibilisation de chacun des utilisateurs et donc des habitants.

- une part importante des aménagements et des équipements est réalisée par les propriétaires riverains ou des utilisateurs individuels dont la somme des initiatives ne correspond pas forcément à l'intérêt général, en l'absence d'une politique d'ensemble à l'élaboration de laquelle ils auraient été associés.

Références bibliographiques

I. Thèses et mémoires

1. **Baouche. N et Hadibi. S 2000:** contribution à l'étude de la zone humide de Guerbes-Sanhadja protection et mise en valeur. mémoire d'ingénieur 139p. univ Annaba
2. **Boushaba. A 2005:** Contribution à l'étude des problèmes d'action anthropique et le suivi d'un projet de concession dans la zone de Guerbes-Ben Azzouz. mémoire d'ingénieur 61p. univ Constantine
3. **D.E.M.R.H :** annuaire pluviométrique de l'Algérie..., Alger.
4. **Fiche descriptive sur les zones humides RAMSAR**
5. **Gacem A et Refes M 1993:** vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines dans la vallée d'el-Kebir Ouest. mémoire d'ingénieur 80p. univ Annaba
6. **Gestion intégrée de l'eau par bassin versant : concepts et application 2004:** 46p.
7. **Hadj-saïd S. 2007:** Contribution à l'étude hydrogéologique d'un aquifère en zone côtière, cas de la nappe de Guerbes. Thèse de doctorat 168p. univ Annaba
8. **Hamdi A. 2003 :** étude hydrogéologique de la plaine de Guerbes par modèle mathématique. mémoire de magister 146 p. univ Constantine
9. **Hedbani E 2003 :** cartographie de quelques polluants dans les oueds de l'Est Algérien (Seybouse, Safsaf, Medjerda, Kebir Est, Kebir Ouest). mémoire d'ingénieur 69p. univ Annaba
10. **Khemmar C. 1981:** Contribution à l'étude hydrogéologique de la vallée de l'oued Kebir Ouest wilaya de Skikda (Algérie) thèse de doctorat
11. **Lakehal Z. 1987:** étude hydrogéologique dans le massif dunaire de Guerbes. mémoire d'ingénieur 100p. univ Annaba

12. **Mebarki. A 2005**: hydrologie des bassins versants de l'Est algérien. ressources en eau, aménagement et environnement. 360p.

13. **Seltzer P. 1946** : le climat de l'Algérie.

14. **SDAGE RMC** : (basin Rhône Méditerranée Corse) - Orientations fondamentales, mesures opérationnelles et modalités de mise en œuvre. (Volume1). 125p.

15. **Treyer S** : à quelle raréfaction de l'eau faut-il se préparer ? : Construire une intervention prospective au service de la planification pour les ressources en eau en Tunisie. École Nationale du Génie Rural, des Eaux et Forêts (ENGREF)

16. **Villa. J.M. 1980** : la chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro-Tunisienne (tome 1+2)

17. **Villa. J.M et Magne 1969** : le cadre structural du Dj Debar (Nord du constantinois).

II. Bureaux et Organismes

1. A.B.H C.S.M Constantine
2. A.N.R.H Annaba
3. A.N.R.H. Constantine
4. A.P.C Ben Azzouz
5. D.H.W Skikda
6. O.N.M Office National de Météorologie
7. Secteur agricole de Ben Azzouz
8. Subdivision d'hydraulique de Ben Azzouz

III. Cartes utilisées

1. Carte AZZABA (1/50 000)
2. Carte BUGEAUD (1/50 000)
3. Carte Cape de Fer (1/50 000)
4. Carte djebel FILFILA (1/50 000)
5. Carte HERBILLON (1/50 000)

Annexes

La température à la station de Skikda 1975/ 2006

Année	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août
1975-1976	24.07	18.33	14.55	12.50	12.02	11.34	12.51	13.76	16.02	19.84	23.53	24.42
1976-1977	22.60	18.60	13.80	18.80	10.20	15.00	11.80	14.20	17.70	20.60	23.40	23.80
1977-1978	21.05	20.20	16.20	13.20	18.85	13.50	18.81	15.30	17.80	20.50	23.30	23.26
1978-1979	21.80	17.60	13.60	14.58	10.70	14.00	13.30	14.20	17.20	20.90	23.90	23.90
1979-1980	21.40	19.80	13.80	12.50	13.90	13.50	13.30	13.44	17.70	21.50	23.34	24.10
1980-1981	22.50	18.20	16.10	10.50	11.60	12.29	12.80	11.00	16.60	20.30	22.00	24.20
1981-1982	23.22	19.10	15.10	15.50	9.90	12.50	14.30	16.30	17.80	20.80	22.20	23.60
1982-1983	23.10	20.10	16.40	12.37	13.83	12.89	13.30	14.90	18.12	23.23	27.28	24.55
1983-1984	23.91	20.40	17.87	14.27	11.33	11.20	13.51	16.68	18.81	21.74	27.10	25.10
1984-1985	22.50	19.19	17.77	13.51	12.69	11.76	12.48	15.40	17.30	20.35	24.85	23.60
1985-1986	22.51	20.72	17.92	14.18	11.42	14.83	12.58	16.27	17.80	21.61	24.87	24.09
1986-1987	23.35	21.30	16.60	13.00	12.55	12.53	13.25	18.30	19.49	20.26	23.78	25.61
1987-1988	23.47	25.38	16.99	15.40	12.47	12.99	12.90	16.20	17.20	21.24	24.74	26.21
1988-1989	22.07	22.07	16.78	12.60	14.49	12.07	14.30	15.85	18.97	21.72	24.76	25.76
1989-1990	23.64	19.81	17.63	16.56	11.83	12.72	15.03	16.00	17.68	21.00	24.93	25.90
1990-1991	25.60	22.20	17.10	12.00	12.60	14.60	14.50	15.40	18.80	22.20	24.40	24.30
1991-1992	24.40	20.50	15.90	12.30	12.00	11.40	15.40	13.80	15.80	20.20	24.20	25.30
1992-1993	23.90	19.60	16.70	13.90	11.40	11.80	13.40	15.30	17.70	20.40	22.60	24.80
1993-1994	23.30	21.00	16.10	13.60	11.50	11.10	12.80	15.60	19.20	21.50	24.10	25.40
1994-1995	25.70	21.20	18.30	14.10	12.90	13.40	14.00	14.40	19.50	21.40	25.10	28.50
1995-1996	23.30	20.90	17.80	16.10	12.60	14.60	13.30	14.50	20.00	21.40	24.20	25.70
1996-1997	21.80	18.70	17.40	15.60	15.60	10.50	14.70	16.10	18.30	21.30	24.50	25.60
1997-1998	24.20	21.70	17.50	14.90	14.40	13.40	13.20	15.70	19.90	23.40	24.10	26.50
1998-1999	25.70	19.60	15.40	12.80	13.30	13.30	14.50	16.90	18.50	24.40	24.90	25.60
1999-2000	24.60	23.50	15.90	13.60	12.90	11.90	15.20	16.20	20.60	23.20	25.70	27.90
2000-2001	24.60	21.30	17.70	15.30	10.50	12.90	14.20	17.30	19.50	22.20	26.20	27.00
2001-2002	24.00	23.30	16.60	13.70	14.20	13.10	18.00	16.10	19.00	23.60	25.40	27.30
2002-2003	23.30	21.10	17.90	14.80	12.10	13.10	15.60	13.50	19.30	22.90	24.90	25.40
2003-2004	24.60	22.10	17.20	13.10	12.50	11.90	13.50	17.20	19.40	25.60	28.30	29.20
2004-2005	23.70	22.40	15.10	13.60	10.20	10.10	13.30	16.40	20.10	23.70	26.40	25.70
2005-2006	23.70	21.60	16.90	15.30	12.00	11.90	15.00	18.10	21.20	23.40	26.10	24.90

La température à la station des salines 1972/2004

mois	Jan	Fèv	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
1972	11.10	10.10	10.90	13.70	18.60	24.50	22.10	25.00	24.00	19.60	14.60	12.39
1973	11.10	10.10	10.90	13.80	18.70	22.10	24.50	25.00	24.00	19.60	14.60	12.40
1974	12.50	11.70	13.70	13.80	17.90	21.39	22.90	24.10	23.30	17.40	14.50	11.80
1975	11.60	11.00	12.20	13.50	16.80	19.90	22.90	24.60	24.50	18.20	14.40	12.50
1976	10.90	10.90	11.50	17.60	17.60	20.70	24.40	22.50	22.20	13.30	13.30	12.30
1977	13.00	13.70	13.70	15.70	18.00	20.90	32.90	24.00	21.10	20.10	15.50	10.19
1978	10.20	13.50	13.40	14.10	17.60	21.00	23.20	24.50	22.40	17.50	13.30	14.30
1979	13.30	13.00	13.20	13.30	17.80	22.30	24.70	24.50	21.70	19.50	13.80	12.50
1980	11.30	12.20	12.90	13.40	16.80	20.30	22.50	24.70	23.20	18.60	15.90	10.30
1981	18.00	11.90	14.50	13.30	18.20	21.20	22.90	24.20	25.60	21.10	15.00	14.70
1982	12.90	12.00	12.90	14.90	18.30	23.90	27.50	25.50	23.80	20.30	15.80	11.60
1983	10.80	10.50	13.10	16.10	18.50	12.10	26.80	25.40	23.90	19.70	17.20	13.00
1984	11.70	11.10	12.30	14.40	17.70	20.70	24.80	24.00	22.30	18.70	16.80	12.30
1985	10.70	14.00	12.00	15.70	18.00	21.70	25.10	24.80	25.70	20.00	17.10	13.00
1986	11.80	11.60	12.90	15.30	15.20	20.90	24.00	26.20	22.50	21.30	15.30	12.00
1987	11.30	12.40	12.50	15.80	17.10	21.40	25.40	26.50	25.60	22.90	16.20	14.40
1988	13.10	11.30	13.80	16.20	19.40	22.40	25.10	26.10	22.40	21.70	16.00	11.40
1989	10.70	11.60	14.30	15.30	14.80	21.20	25.20	26.30	23.60	19.40	16.50	17.20
1990	12.10	13.70	13.90	15.40	19.80	22.60	24.90	24.60	25.30	22.40	16.60	11.00
1991	10.46	10.81	14.85	13.67	15.79	21.30	24.64	25.62	24.70	19.90	14.35	10.78
1992	9.70	10.76	12.87	14.74	17.94	21.36	23.31	25.58	24.17	19.84	15.95	14.70
1993	10.16	10.34	11.49	15.01	18.84	22.23	24.61	26.62	20.58	15.19	9.79	12.22
1994	12.21	12.00	13.80	14.02	19.49	20.05	25.63	28.28	25.40	20.32	17.19	12.97
1995	11.41	13.58	12.38	14.34	19.21	21.84	24.89	26.11	23.14	20.09	16.30	14.32
1996	13.45	11.04	13.33	15.34	18.32	27.60	24.32	25.82	21.80	18.10	16.25	13.93
1997	13.01	12.41	12.79	15.28	20.12	23.41	24.77	25.93	23.45	20.72	12.78	13.28
1998	11.86	12.24	13.67	16.28	18.28	23.55	24.82	25.27	11.16	13.87	18.25	23.89
1999	11.86	10.14	14.14	15.49	20.37	23.38	25.24	27.50	25.21	22.39	15.18	12.09
2000	9.07	13.51	11.99	16.03	19.66	22.00	25.30	26.87	23.07	18.89	15.82	12.73
2001	12.01	11.02	15.99	14.56	18.16	22.67	24.97	25.65	21.86	22.95	15.33	11.26
2002	9.77	11.52	13.65	15.15	18.65	22.70	24.76	24.93	22.59	19.63	16.30	13.49
2003	11.45	10.56	13.24	16.40	18.45	24.78	27.59	28.10	23.56	21.20	16.06	11.71
2004	11.54	12.26	12.72	14.43	17.17	20.84	24.46	26.24	23.00	21.20	13.95	12.20

Série de précipitation à la station de Skikda (1970-2006)

Année	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août
1970-1971	5.0	186.4	5.7	84.8	148.7	110.0	156.3	65.7	36.1	3.0	1.3	0.3
1971-1972	37.0	127.3	71.6	33.6	128.7	69.1	92.7	94.9	51.0	5.7	1.1	2.4
1972-1973	50.6	89.2	7.2	175.6	194.6	115.6	125.2	17.7	2.1	18.6	6.0	5.2
1973-1974	32.5	31.7	32.5	78.4	19.9	80.9	42.1	82.6	2.4	1.3	7.0	0.0
1974-1975	29.1	166.3	74.0	57.6	25.6	55.8	72.7	9.2	58.2	6.2	0.0	21.3
1975-1976	4.2	25.0	156.3	81.2	92.5	113.8	82.4	34.4	47.1	26.6	0.0	23.8
1976-1977	22.6	18.6	139.0	28.0	54.0	44.0	17.0	67.0	62.0	19.0	0.0	21.0
1977-1978	24.0	11.0	151.0	22.0	124.0	116.0	62.0	77.0	37.0	8.0	0.0	1.0
1978-1979	9.0	81.0	139.0	51.0	111.0	169.0	95.0	211.0	13.0	20.0	10.0	3.0
1979-1980	51.0	73.0	112.0	38.0	48.0	30.0	94.0	74.0	56.0	1.0	0.0	1.7
1980-1981	19.0	88.0	151.0	240.0	87.0	101.0	51.0	39.0	17.0	21.0	1.0	46.0
1981-1982	14.0	67.0	37.0	188.0	141.0	128.0	121.0	59.0	37.0	7.0	0.5	12.0
1982-1983	14.6	100.0	232.0	156.0	21.0	37.0	70.0	13.0	23.0	0.7	0.5	8.0
1983-1984	55.0	91.0	119.0	62.0	204.0	161.0	104.0	52.0	22.0	14.0	0.0	0.9
1984-1985	68.0	148.0	27.0	343.0	148.0	76.0	172.0	21.0	29.0	0.0	0.0	2.0
1985-1986	42.0	22.0	66.0	50.0	162.0	82.0	88.0	55.0	12.0	18.0	13.0	3.0
1986-1987	24.0	86.0	149.0	157.0	140.0	246.0	89.0	36.0	82.0	4.0	11.0	1.0
1987-1988	30.0	30.0	116.0	50.0	111.0	111.0	55.0	36.0	37.0	24.0	0.0	1.0
1988-1989	58.0	4.0	130.0	147.0	48.0	53.0	23.0	148.0	2.0	9.0	5.0	0.0
1989-1990	33.0	83.0	69.0	100.0	157.0	1.0	75.0	85.0	22.0	31.0	4.0	41.0

1990-1991	0.0	66.0	123.0	326.0	89.0	104.0	103.0	34.0	25.0	5.0	0.0	13.0
1991-1992	49.0	118.0	51.0	30.0	109.0	87.0	120.0	144.0	60.0	28.0	7.0	1.0
1992-1993	9.0	38.0	39.0	237.0	53.0	78.0	63.0	39.0	69.0	6.0	1.0	1.0
1993-1994	36.0	85.0	40.0	136.0	116.0	120.0	0.0	142.0	12.0	0.0	1.0	4.0
1994-1995	58.0	102.0	6.0	170.0	219.0	25.0	107.0	32.2	3.0	19.0	0.0	12.3
1995-1996	100.0	9.0	48.0	55.1	65.0	192.0	59.3	92.0	46.4	14.0	1.0	4.0
1996-1997	38.0	95.0	49.0	102.0	66.0	13.3	18.0	34.2	72.0	27.0	0.0	4.0
1997-1998	69.0	190.0	174.0	148.2	82.0	104.2	43.0	57.3	129.2	11.0	0.0	25.0
1998-1999	25.0	26.0	198.0	86.0	116.7	106.0	72.4	32.0	15.0	4.0	1.0	8.0
1999-2000	29.5	25.0	106.1	238.0	61.0	20.0	21.0	16.0	119.0	43.0	0.0	5.0
2000-2001	18.0	52.0	36.7	102.0	150.0	87.0	11.0	48.0	28.0	0.0	0.0	5.0
2001-2002	65.0	2.0	103.0	95.0	47.5	121.6	21.4	59.1	10.1	1.0	22.1	30.6
2002-2003	35.9	85.0	244.0	215.0	276.0	114.0	35.0	99.0	14.0	2.0	0.0	0.0
2003-2004	114.0	47.0	37.0	169.0	121.0	161.0	73.0	66.0	31.0	20.5	1.0	0.0
2004-2005	55.5	26.2	284.0	165.4	156.0	189.0	65.2	99.0	7.0	87.0	0.0	64.0
2005-2006	34.4	25.5	90.0	181.0	128.0	58.0	41.1	15.0	8.0	9.0	1.0	3.0

Humidité relative station des salines (1975-2006)

Année	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fèv	Mar	Avr	Mai	Juin	Juillet	Août
75/76	70.40	71.31	79.40	82.00	80.30	82.60	80.80	76.40	80.80	75.10	75.40	72.90
76/77	71.80	81.30	82.00	78.80	81.80	79.60	75.40	71.40	73.20	72.30	73.00	70.90
77/78	74.40	68.70	76.30	77.60	72.66	71.42	73.19	77.02	74.12	69.60	67.01	70.61
78/79	69.13	76.40	76.22	69.70	71.93	74.62	77.40	76.30	74.00	75.40	67.80	71.60
79/80	78.60	77.30	75.10	74.07	73.50	76.60	74.70	72.57	75.17	70.30	68.46	70.33
80/81	71.91	70.90	76.65	77.99	72.60	80.43	80.59	79.54	73.80	72.30	70.54	72.79
81/82	71.10	71.88	77.29	72.38	76.85	82.82	76.33	79.21	79.48	71.01	65.60	73.46
82/83	72.73	69.16	78.20	79.49	76.77	75.05	75.73	71.22	69.56	68.64	61.31	72.05
83/84	69.82	75.62	81.74	74.10	82.00	78.00	77.00	77.00	69.00	72.00	69.00	80.00
84/85	76.00	79.00	73.00	79.00	80.00	76.00	79.00	76.00	80.00	77.00	75.00	73.00
85/86	79.00	75.00	73.00	78.00	77.00	73.00	78.00	72.00	74.00	75.00	70.00	73.00
86/87	71.00	80.00	80.00	80.00	78.00	73.00	70.00	68.00	73.00	72.00	67.00	71.00
87/88	69.00	77.00	75.00	77.00	78.00	73.00	70.00	68.00	73.00	72.00	67.00	71.00
88/89	69.00	77.00	75.00	77.00	78.00	73.00	70.00	68.00	73.00	72.00	67.00	71.00
89/90	73.00	77.00	77.00	77.00	83.00	78.00	75.00	78.00	77.00	75.00	69.00	71.00
90/91	73.00	75.00	76.00	82.00	89.00	77.00	75.00	77.00	72.00	75.00	72.00	74.00
91/92	80.00	75.00	79.00	73.00	79.00	77.00	76.00	75.00	78.00	71.00	76.00	73.00
92/93	73.00	73.00	81.00	81.00	83.00	81.00	78.00	77.00	77.00	78.00	72.00	76.00
93/94	72.00	72.00	73.00	81.00	79.00	72.00	78.00	75.00	75.00	74.00	69.00	65.00
94/95	51.00	77.00	75.00	79.00	76.00	76.00	73.00	75.00	70.00	78.00	76.00	73.00
95/96	74.00	76.00	69.00	76.00	74.00	77.00	73.00	76.00	76.00	74.00	69.00	73.00
96/97	70.00	72.00	66.00	68.00	72.00	78.00	75.00	71.00	69.00	72.00	70.00	69.00
97/98	80.00	76.00	83.00	79.00	77.00	80.00	72.00	70.00	76.00	66.00	71.00	73.00
98/99	69.00	74.00	81.00	78.00	81.00	79.00	71.00	73.00	75.00	71.00	69.00	71.00
99/00	72.00	67.00	78.00	78.00	80.00	75.00	75.00	69.00	80.00	76.00	69.00	68.00
00/01	70.00	76.00	73.00	75.00	75.00	75.00	71.00	74.00	78.00	69.00	71.00	73.00
2001/02	74.00	76.00	74.00	76.00	76.00	79.00	75.00	76.00	68.00	70.00	71.00	74.00
2002/03	74.00	74.00	74.00	77.00	78.00	77.00	76.00	79.00	79.00	72.00	69.00	67.00
2003/04	77.00	74.00	75.00	76.00	78.60	77.00	80.80	80.40	78.90	77.00	73.60	70.10
2004/05	74.00	73.00	83.00	82.00	84.00	80.00	82.00	80.00	78.00	75.00	71.00	71.00
2005/06	75.00	78.00	73.00	78.00	79.00	80.00	75.00	76.00	77.00	70.00	74.00	73.00

série de précipitation station de Berrahal 1981/2006

Mois	sept	oct	nov	dec	jan	fev	mars	avr	mai	juin	juil	aout
1981/1982	37	49	30.9	195	147	165	80.9	59	18	13	3	35.9
1982/1983	20.8	100	174.6	102.4	69	22.3	108	11.9	20.9	2	0.5	1.6
1983/1984	12.5	64.4	107	69.5	161	170	57.9	69.9	22.6	20.7	0	0.7
1984/1985	49.8	88	31.1	292	143	46	160	31.5	37.7	0	0	0
1985/1986	24.6	23.9	62.1	60.4	143.9	70.5	99.2	59.4	6.3	15.6	4.4	3.6
1986/1987	29.2	82.8	93.6	140.0	102.4	174.5	94.5	42.5	83.2	0.1	2.7	1.5
1987/1988	19.5	26.7	97.5	32.2	94.1	83.2	45.3	28.8	41.3	42.3	8.7	0.0
1988/1989	25.1	2.2	10.0	116.6	57.1	47.1	62.8	97.8	6.6	19.0	7.0	3.4
1989/1990	21.0	54.7	92.1	87.4	126.6	6.0	13.1	36.3	14.7	11.7	0.0	10.1
1990/1991	7.5	65.4	95.7	175.9	74.9	80.5	93.3	34.0	57.6	8.9	0.0	11.2
1991/1992	40.5	115.9	44.1	15.0	59.0	68.7	70.9	143.3	84.0	35.3	11.2	0.0
1992/1993	1.4	40.3	113.3	227.1	70.3	36.6	64.8	56.4	47.7	1.1	1.1	0.5
1993/1994	17.2	71.7	26.1	182.6	107.1	72.2	63.2	80.8	20.9	0.0	8.0	0.8
1994/1995	17.6	46.1	28.5	161.0	151.1	14.4	85.2	22.2	2.6	10.2	0.0	8.7
1995/1996	55.2	7.9	77.5	109.3	105.5	191.0	46.8	102.8	48.9	1.6	1.6	9.4
1996/1997	34.9	103.3	136.1	88.6	90.9	100.1	10.6	12.9	5.7	41.0	7.1	1.2
1997/1998	59.8	134.1	176.3	106.9	47.3	46.9	27.9	55.1	75.2	11.5	0.0	8.5
1998/1999	62.2	45.2	190.0	108.7	105.3	100.2	50.6	47.7	25.0	11.3	1.0	0.9
1999/2000	11.0	9.5	73.9	159.6	92.6	13.9	20.5	20.7	205.6	14.8	0.0	0.8
2000/2001	9.2	79.7	48.3	95.2	198.9	49.0	28.1	74.9	16.0	0.0	0.0	5.8
2001/2002	35.7	70.3	88.9	66.5	29.8	83.1	21.6	39.2	11.5	0.0	21.8	35.1
2002/2003	13.4	89.0	258.9	194.6	185.8	67.4	11.4	97.2	20.0	0.0	0.0	0.0
2003/2004	43.7	28.2	32.6	225.1	119.8	25.3	69.8	109.4	65.6	29.0	6.0	0.0
2004/2005	80.0	12.7	213.7	181.3	156.6	210.9	34.3	146.8	12.6	3.4	1.1	15.5
2005/2006	24.0	40.0	60.0	154.2	146.2	73.9	34.8	26.1	21.0	6.7	1.5	2.3